

情報処理学会
IoT 行動変容学研究グループ
第3回研究会論文集

(Proceedings of IPSJ Behavior Transformation by IoT Research Group 3rd Research Meeting)

2023年3月6日

九州大学（伊都キャンパス）
共進化社会システムイノベーション施設

目次

- プログラム . . . P1~4
- スポンサー . . . P5
- 一般講演一覧 . . . P6~8
- ポスター・デモ発表一覧 . . . P9~10
- 一般講演、ポスター・デモ発表予稿集 . . . P11~201

情報処理学会 IoT行動変容学研究グループ

第3回研究会 (BTI3)

- ❖ URL: <http://www.sig-bti.jp/event/bti03.html> • Twitter: [@ipsjbtj](https://twitter.com/ipsjbtj)
- ❖ 日程: 2023年3月6日(月)9:30 ~
- ❖ オンサイト会場: 九州大学 伊都キャンパス 共進化
- ❖ オンライン会場: zoom(参加者の方にメールでお知らせいたします)
- ❖ 九州大学近辺のスポットマップ: <https://sharecheese.page.link/9A4F>

◆ 会場内マップ



◆ プログラム

- 08:30- 受付
- 09:30-09:50 オープニングセッション: A会場, (B会場での配信あり)
- 09:50-10:00 部屋移動時間
- 10:00-11:30 セッション1(90min): A会場, B会場
- 11:30-13:00 昼食休憩(各自自由:場所は上記スポットマップを参照ください)
- 13:00-14:30 デモ・ポスターセッション(90min):デモポスター会場
- 14:30-15:00 休憩
- 15:00-16:30 セッション2(90min): A会場, B会場
- 16:30-16:45 休憩
- 16:45-18:00 セッション3(75min): A会場, B会場
- 18:00-18:15 休憩
- 18:15-18:45 スポンサーセッション(30min): A会場, (B会場での配信あり)
- 18:45-19:00 クロージングセッション
- 19:00-19:30 懇親会会場への移動(送迎バス)
- 19:30-21:00 懇親会

◆ 発表フォーマット

- 口頭発表(1件当たり18分:発表12分 + 質疑 5分 + 交代1分)
- スポンサー発表(1件当たり15分)
- デモ・ポスター(前半・後半に分け、45分ずつ)

09:30-09:50 オープニングセッション: A会場, (B会場での配信あり)	
09:50-10:00 部屋移動時間	
10:00-11:30 セッション1(90min):パラレル	
セッション1A: A会場	セッション1B: B会場
<p>1A-1 Kaolid: 飲料の味変化のための口中香を実現する蓋型嗅覚デバイスの設計と基礎評価 真弓大輝(奈良先端科学技術大学院大学), 中村優吾(九州大学), 松田裕貴(奈良先端科学技術大学院大学), 三崎慎也(奈良先端科学技術大学院大学), 安本慶一(奈良先端科学技術大学院大学)</p> <p>1A-2 Vacuum Colorner: 複合現実を用いた掃除における行動変容を促すアプリケーションの提案 浜田惇矢(慶應義塾大学), 浜中智己(慶應義塾大学), 佐々木航(慶應義塾大学), 大越匡(慶應義塾大学), 中澤仁(慶應義塾大学)</p> <p>1A-3 水分補給支援システムと行動変容検証 元川錦(青山学院大学), 横窪安奈(青山学院大学), ロペズギヨーム(青山学院大学)</p> <p>1A-4 (オンライン) 高齢者の介護予防に向けた行動変容を促す介入方法の推定 早川昭二(富士通株式会社), 渡辺一郎(富士通株式会社), 上村拓也(富士通株式会社), 前田一穂(富士通株式会社), 烏谷彰(富士通株式会社)</p> <p>1A-5 目標宣言共有型プラットフォームを用いたソーシャルナッジの量的質的効果の評価 濱谷尚志(NTTドコモ), 落合桂一(NTTドコモ), 山田渉(NTTドコモ), 檜山聡(NTTドコモ), 白井拓也(NTTドコモ), 荒川豊(九州大学)</p>	<p>1B-1 イスの揺れからの人物と活動の識別 望月康平(山梨大学), 細川健人(山梨大学), 豊浦正広(山梨大学)</p> <p>1B-2 Stand-up Activity Prediction from Textile Pressure Sensors Tahia Tazin (Kyushu Institute of Technology), John Noel Victorino (Kyushu Institute of Technology), Yu Enokibori (Nagoya University), Sozo Inoue (Kyushu Institute of Technology)</p> <p>1B-3 短時間パターン認識結果の投票的統合によるドア利用者識別 豊浦正広(山梨大学), 奥田雅也(山梨大学)</p> <p>1B-4 顔表情解析による自然な笑いと作り笑いの識別 中嶋桃香(慶應義塾大学), 浜中智己(慶應義塾大学), 佐々木航(慶應義塾大学), 大越匡(慶應義塾大学), 中澤仁(慶應義塾大学)</p> <p>1B-5 (オンライン) Basic experiment related to overconfidence detection method from PC interaction data Picard Sébastien(富士通株式会社), 上村拓也(富士通株式会社), 烏谷彰(富士通株式会社)</p>
11:30-13:00 昼食休憩	
13:00-14:30 デモ・ポスターセッション(90min): ホール会場	
ポスター前半	ポスター後半
<p>DP-1 骨格推定を用いたバドミントンのスマッシュフォーム改善アプリの実装 大原黎明(慶應義塾大学), 中嶋桃香(慶應義塾大学), 浜中智己(慶應義塾大学), 佐々木航(慶應義塾大学), 大越匡(慶應義塾大学), 中澤仁(慶應義塾大学)</p>	<p>DP-8 睡眠の質と量の主観的・客観的評価の乖離について 今野祥太(早稲田大学), 大森幹真(早稲田大学)</p>

<p>DP-2 CoreMoni-α: 効果的な体幹トレーニングのためのリアルタイムフィードバックシステム 佐藤圭翼 (青山学院大学), ロペズギョーム (青山学院大学)</p> <p>DP-3 ウェアラブルエアコンによるフィードバックの生理効果 川崎勇佑 (青山学院大学), 本多一騎 (青山学院大学), ホサインタヘラ (青山学院大学), ロペズ ギョーム (青山学院大学)</p> <p>DP-4 英語の読み能力向上に付随した授業内問題行動の変容 高橋裕子 (早稲田大学), 大森幹真 (早稲田大学)</p> <p>DP-5 刺激の実観察割合による外国語の書き獲得支援: 見せ方の違いによる行動変容の可能性 大森幹真 (早稲田大学)</p> <p>DP-6 拡張現実を用いたマルチプレイ掃除活性化システム 阿部悠貴 (青山学院大学), ロペズ・ギョーム (青山学院大学)</p> <p>DP-7 多様な情報への接触促進を目的とする行動を考慮したコンテンツ適応情報提示システム 小川展夢 (日本放送協会), 松村欣司 (日本放送協会), 藤沢寛 (日本放送協会)</p>	<p>DP-9 主体・客体の相違における言語行動の変容: ASD 傾向との関連 林珠里 (早稲田大学), 大森幹真 (早稲田大学)</p> <p>DP-10 室内環境測定に基づく居住者の行動推定システム 鈴木臣 (愛知大学), 深沢圭一郎 (京都大学), 村井孝子 (純真学園大学)</p> <p>DP-11 コラボレーションの定量・定性分析を接続するIoT システムの一検討 山口隼平 (大阪大学), 大島律子 (静岡大学), 大島純 (静岡大学), 木崎一廣 (大阪大学), 藤橋卓也 (大阪大学), 猿渡俊介 (大阪大学), 渡辺尚 (大阪大学)</p> <p>DP-12 社会的意義付けを活用したハイブリッド介入の基礎検討 柏本幸俊 (KDDI総合研究所), 山崎悠大 (KDDI総合研究所), 曹蓮 (KDDI総合研究所), 上坂大輔 (KDDI総合研究所)</p> <p>DP-13 心理特性に基づいたメッセージ配信によるクーポン開封率向上の検討 三村知洋 (株式会社NTTドコモ), 酒井亮勢 (株式会社NTTドコモ), 石黒慎 (株式会社NTTドコモ), 鈴木喬 (株式会社NTTドコモ), 山田暁 (株式会社NTTドコモ)</p>
<p>14:30-15:00 休憩</p>	
<p>15:00-16:30 セッション2 (90min): パラレル</p>	
<p>セッション2A: A会場</p>	<p>セッション2B: B会場</p>
<p>2A-1 行動変容を促すナッジ文言選定のためのアプリログによる属性情報の補完手法 吉川裕木子 (株式会社NTTドコモ), 勝間田優樹 (株式会社NTTドコモ), 鈴木喬 (株式会社NTTドコモ), 山田暁 (株式会社NTTドコモ)</p> <p>2A-2 法人向け運動促進アプリケーションにおけるインセンティブが身体活動に及ぼす影響の分析 斉藤虎太郎 (九州大学), 江口直輝 (九州大学), 荒川豊 (九州大学), 中村優吾 (九州大学)</p> <p>2A-3 インセンティブとの組み合わせを前提としたナッジ効果測定のための実験設計方法 酒井亮勢, 落合柱一, 井手崇博, 大滝亨, 山田暁, 鈴木喬, 佐藤弘之, 川上博, 矢野達也, 大川博生, 和久井圭祐, 白井拓也 (株式会社NTTドコモ), 荒川豊 (九州大学), 星野崇宏 (慶應義塾大学)</p> <p>2A-4 製造業におけるDX推進に向けたリテラシー醸成の取り</p>	<p>2B-1 ハラスメント被害時の主観的ストレス差異による心拍変動特徴分析 上野貴弘 (福岡大学), 大橋正良 (福岡大学)</p> <p>2B-2 資源循環促進に向けた住民の行動変容 江島直也 (NECソリューションイノベータ株式会社), 日室聡仁 (NECソリューションイノベータ株式会社), 笹鹿祐司 (NECソリューションイノベータ株式会社), 後藤晶 (明治大学)</p> <p>2B-3 健康メディアデザインによる大学生の生活習慣の改善と集中力の向上 千種康民 (東京工科大学), 保坂浩太郎 (東京工科大学), 熊谷華菜 (東京工科大学), 落合育海 (東京工科大学), 今野駿太 (東京工科大学)</p> <p>2B-4 (オンライン) 地磁気センサとBLEビーコンを用いた低コスト屋内混雑</p>

<p>組み 磯田祐世 (株式会社UACJ), 浅田勝義 (株式会社UACJ), 山本佑樹 (株式会社UACJ)</p> <p>2A-5 継続的な学習機能を有するWiFi ポータルシステムの設計と実装 松尾周汰 (九州大学), 中村優吾 (九州大学), 荒川豊 (九州大学)</p>	<p>度推定システム 友浦一樹 (立命館大学), 吉田政望 (立命館大学), 野口拓 (立命館大学)</p> <p>2A-5 混雑緩和やユーザ体験価値向上に向けた行動変容施策の設計および社会実装について 勝間田優樹 (株式会社NTTドコモ), 吉川裕木子 (株式会社NTTドコモ), 鈴木喬 (株式会社NTTドコモ), 山田暁 (株式会社NTTドコモ)</p>
<p>16:30-16:45 休憩</p>	
<p>16:45-18:00 セッション3(75min):パラレル</p>	
<p>セッション3A: A会場</p>	<p>セッション3B: B会場</p>
<p>3A-1 オンライン会議中の参加状態推定と音声変換提示による参加促進手法の提案 城谷知葵 (九州大学), 難波洸也 (九州大学), 中村優吾 (九州大学), 荒川豊 (九州大学)</p> <p>3A-2 スマートウォッチによる煩わしさを低減する通知タイミングの推定方法に関する検討 神田琢也 (NTT社会情報研究所), 高橋公海 (NTT社会情報研究所), 宮島麻美 (NTT社会情報研究所)</p> <p>3A-3 (オンライン) 行動変容を定着化させるための介入制御方式の検討 原田将治 (富士通株式会社), 烏谷彰 (富士通株式会社)</p> <p>3A-4 行動多動性とプッシュ通知による行動変容容易性 田中宏昌 (株式会社NTTドコモ), 實成優馬 (株式会社NTTドコモ), 吉川裕木子 (株式会社NTTドコモ), 勝間田優樹 (株式会社NTTドコモ), 山田渉 (株式会社NTTドコモ), 落合桂一 (株式会社NTTドコモ)</p>	<p>3B-1 (オンライン) 案件割当における従業員の作業時間の均一化を図る割当手法 小林久也 (富士通株式会社), 尾形晋 (富士通株式会社), 烏谷彰 (富士通株式会社)</p> <p>3B-2 製造業における技術革新と行動変容～アルミ圧延加工事業を例に～ 浅田勝義 (株式会社UACJ), 磯田祐世 (株式会社UACJ), 山本佑樹 (株式会社UACJ)</p> <p>3B-3 IoT行動変容に向けた向社会的行動の他者推奨意向に関する検討 山崎悠大 (KDDI総合研究所), 曹蓮 (KDDI総合研究所), 柏本幸俊 (KDDI総合研究所), 上坂大輔 (KDDI総合研究所)</p>
<p>18:00-18:15 休憩</p>	
<p>18:15-18:45 スポンサーセッション:A会場</p> <p>SP-1: アジャイルウェア様</p> <p>SP-2: NTTドコモ様</p>	
<p>18:45-19:00 クロージングセッション</p>	
<p>19:00-19:30 懇親会会場への移動(送迎バス)</p>	
<p>19:30-21:00 懇親会</p>	

スポンサー

情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループ（以下、本グループ）は以下の組織よりご支援を受けて活動しております。

ゴールドスポンサー



株式会社 KDDI 総合研究所

シルバースポンサー



NTT ドコモ株式会社



Aluminum lightens the world
アルミでかなえる、軽やかな世界

株式会社 UACJ



株式会社アジャイルウェア

ブロンズスポンサー



カディンチェ株式会社



株式会社リンクアンドコミュニケーション

一般講演発表一覧

(P11~18) Kaolid: 飲料の味変化のための口中香を実現する蓋型嗅覚デバイスの設計と基礎評価

真弓 大輝 (奈良先端科学技術大学院大学), 中村 優吾(九州大学), 松田 裕貴, 三崎 慎也, 安本 慶一(奈良先端科学技術大学院大学)

(P19~26) Vacuum Colorner: 複合現実を用いた掃除における行動変容を促すアプリケーションの提案

浜田 惇矢, 浜中 智己, 佐々木 航, 大越 匡, 中澤 仁 (慶應義塾大学)

(P27~34) 水分補給支援システムと行動変容検証

元川 錦, 横窪 安奈, ロペズ ギヨーム (青山学院大学)

(P35~38) 高齢者の介護予防に向けた行動変容を促す介入方法の推定

早川 昭二, 渡辺 一郎, 上村 拓也, 前田 一穂, 烏谷 彰 (富士通株式会社)

(P39~44) 目標宣言共有型プラットフォームを用いたソーシャルナッジの量的質的効果の評価

濱谷 尚志, 落合 桂一, 山田 渉, 檜山 聡, 白井 拓也 (NTT ドコモ), 荒川 豊 (九州大学)

(P45~51) Stand-up Activity Prediction from Textile Pressure Sensors

Tahia Tazin, John Noel Victorino (Kyushu Institute of Technology), Yu Enokibori (Nagoya University), Sozo Inoue (Kyushu Institute of Technology)

(P52~59) 顔表情解析による自然な笑いと作り笑いの識別

中嶋 桃香, 浜中 智己, 佐々木 航, 大越 匡, 中澤 仁 (慶應義塾大学)

(P60~62) Basic experiment related to overconfidence detection method from PC interaction data

Picard Sébastien, 上村 拓也, 烏谷 彰 (富士通株式会社)

(P63~68) 行動変容を促すナッジ文言選定のためのアプリログによる属性情報の補完手法

吉川 裕木子, 勝間田 優樹, 鈴木 喬, 山田 暁 (株式会社 NTT ドコモ)

(P69~74) 法人向け運動促進アプリケーションにおけるインセンティブが身体活動に及ぼす影響の分析

斉藤 虎太郎, 江口 直輝, 荒川 豊, 中村 優吾 (九州大学)

(P75~80) インセンティブとの組み合わせを前提としたナッジ効果測定のための実験設計方法

酒井 亮勢, 落合 桂一, 井手 崇博, 大滝 亨, 山田 暁, 鈴木 喬, 佐藤 弘之, 川上 博, 矢野 達也, 大川 博生, 和久井 圭祐, 白井 拓也 (株式会社 NTT ドコモ), 荒川 豊 (九州大学), 星野 崇宏 (慶應義塾大学)

(P81~84) 製造業における DX 推進に向けたリテラシー醸成の取り組み

磯田 祐世, 浅田 勝義, 山本 佑樹 (株式会社 UACJ)

(P85~92) 継続的な学習機能を有する WiFi ポータルシステムの設計と実装

松尾 周汰, 中村 優吾, 荒川 豊 (九州大学)

(P93~99) ハラスメント被害時の主観的ストレス差異による心拍変動特徴分析

上野 貴弘, 大橋 正良 (福岡大学)

(P100~103) 資源循環促進に向けた住民の行動変容

江島 直也, 日室 聡仁, 笹鹿 祐司 (NEC ソリューションイノベータ株式会社), 後藤 晶 (明治大学)

(P104~109) 健康メディアデザインによる大学生の生活習慣の改善と集中力の向上

千種 康民, 保坂 浩太郎, 熊谷 華菜, 落合 育海, 今野 駿太 (東京工科大学)

(P110~117) 地磁気センサと BLE ビーコンを用いた低コスト屋内混雑度推定システム

友浦 一樹, 吉田 政望, 野口 拓 (立命館大学)

(P118~122) 混雑緩和やユーザ体験価値向上に向けた行動変容施策の設計および社会実装について

勝間田 優樹, 吉川 裕木子, 鈴木 喬, 山田 暁 (株式会社 NTT ドコモ)

(P123~129) オンライン会議中の参加状態推定と音声変換提示による参加促進手法の提案

城谷 知葵, 難波 洸也, 中村 優吾, 荒川 豊 (九州大学)

(P130~136) スマートウォッチによる煩わしさを低減する通知タイミングの推定方法に関する検討

神田 琢也, 高橋 公海, 宮島 麻美 (NTT 社会情報研究所)

(P137~140) 行動変容を定着化させるための介入制御方式の検討

原田 将治, 烏谷 彰 (富士通株式会社)

(P141~145) 行動多動性とプッシュ通知による行動変容容易性

田中 宏昌, 實成 優馬, 吉川 裕木子, 勝間田 優樹, 山田 渉, 落合 桂一 (株式会社 NTT ドコモ)

(P146~151) 案件割当における従業員の作業時間の均一化を図る割当手法

小林 久也, 尾形 晋, 烏谷 彰 (富士通株式会社)

(P152~156) 製造業における技術革新と行動変容～アルミ圧延加工事業を例に～

浅田 勝義, 磯田 祐世, 山本 佑樹 (株式会社 UACJ)

(P157~162) IoT 行動変容に向けた向社会的行動の他者推奨意向に関する検討

山崎 悠大, 曹 蓮, 柏本 幸俊, 上坂 大輔 (KDDI 総合研究所)

ポスター・デモ発表一覧

(P163~166) 骨格推定を用いたバドミントンのスマッシュフォーム改善アプリの実装
大原 黎明, 中嶋 桃香, 浜中 智己, 佐々木 航, 大越 匡, 中澤 仁 (慶應義塾大学)

(P167~170) CoreMoni-α : 効果的な体幹トレーニングのためのリアルタイムフィードバックシステム
佐藤 圭翼, ロペズ ギョーム (青山学院大学)

(P171~173) ウェアラブルエアコンによるフィードバックの生理効果
川崎 勇佑, 本多 一騎, ホサイン タヘラ, ロペズ ギョーム (青山学院大学)

(P174) 英語の読み能力向上に付随した授業内問題行動の変容
高橋 裕子, 大森 幹真 (早稲田大学)

(P175) 刺激の実観察割合による外国語の書き獲得支援 : 見せ方の違いによる行動変容の可能性
大森 幹真 (早稲田大学)

(P176~179) 拡張現実を用いたマルチプレイ掃除活性化システム
阿部 悠貴, ロペズ ギョーム (青山学院大学)

(P180~183) 心理特性に基づいたメッセージ配信によるクーポン開封率向上の検討
三村 知洋, 酒井 亮勢, 石黒 慎, 鈴木 喬, 山田 暁 (株式会社 NTT ドコモ)

(P184) 睡眠の質と量の主観的・客観的評価の乖離について
今野 祥太, 大森 幹真 (早稲田大学)

(P185) 主体・客体の相違における言語行動の変容 : ASD 傾向との関連
林 珠里, 大森 幹真 (早稲田大学)

(P186~189) 室内環境測定に基づく居住者の行動推定システム
鈴木 臣 (愛知大学), 深沢 圭一郎 (京都大学), 村井 孝子 (純真学園大学)

(P190~193) コラボレーションの定量・定性分析を接続する IoT システムの一検討

山口 隼平 (大阪大学), 大島 律子, 大島 純 (静岡大学), 木崎 一廣, 藤橋 卓也, 猿渡 俊介, 渡辺 尚 (大阪大学)

(P194~197) 社会的意義付けを活用したハイブリッド介入の基礎検討

柏本 幸俊, 山崎 悠大, 曹 蓮, 上坂 大輔 (KDDI 総合研究所)

(P198~201) 多様な情報への接触促進を目的とする行動を考慮したコンテキスト適応情報提示システム

小川 展夢, 松村 欣司, 藤沢 寛 (日本放送協会)

Kaolid: 飲料の味変化のための口中香を実現する 蓋型嗅覚デバイスの設計と基礎評価

真弓大輝^{†1} 中村優吾^{†2} 松田裕貴^{†3}
 奈良先端科学技術大学院大学 九州大学 奈良先端科学技術大学院大学
 三崎慎也^{†4} 安本慶一^{†5}
 奈良先端科学技術大学院大学 奈良先端科学技術大学院大学

1. はじめに

糖分入り飲料 (SSB) は、私たちの食生活において主要な糖分摂取源となっている。特に低所得国や中所得国においては、消費パターンの増加は都市化や経済発展に伴い、これら飲料の入手可能性が増加したため、多くの低所得国や中所得国で SSB の摂取量が増加している [1, 2, 3, 4]。また習慣的な SSB の摂取は、肥満 [5, 6, 7, 8] や糖尿病 [5, 9]、心臓病などの心疾患のリスクが高まるため [10, 11]、SSB の摂取量を低減させる取り組みが必要である。これまで SSB の摂取量問題を解決するための施策がいくつか提案されている [12, 13, 14, 15]。これら手法により、一時的に SSB の摂取を低減することは可能であるが、砂糖が少ないまたは無糖の飲料水は、味が物足りなく感じられることが多い。結果的に、糖分含有量が少ない飲料を選択するという習慣が長続きせず、甘い飲み物を常飲する元の生活に戻ってしまうケースが多い。

これまで、我々のグループでは、「味」として認識する大部分を香りが占めている [16, 17, 18] ことに着目し、飲み物を飲む際に甘い香りを提示することで、知覚する甘さを増幅するマグカップ型の嗅覚デバイスの研究開発に取り組んできた [19, 20, 21]。本デバイスにより、香りによって知覚するコーヒーの味の甘さ増幅を実現しているが、味の満足度向上には至っていない。

そこで我々は、嗅覚へのアプローチ方法を模索する。人には鼻先から香る「鼻先香 (Orthonasal smell)」と口の中から鼻を抜ける香り「口中香 (Retronasal smell)」の2つの鼻腔経路が存在し、鼻先香と口中香の嗅覚情報は、脳で異なる方法として処理されることが示されている [22, 23, 24]。



図1 Kaolid の概要 ((a) ストロー型デバイス, (b) コップ型デバイス)

特に、食べ物や飲み物の風味に寄与する口中香は、味覚との関連が強いことが知られている [25]。

しかし、既存アプローチは、鼻先香の提示に留まっており、口中香を提示できていないという点で、味覚の変化を促すには十分な設計ではない可能性がある。そこで本研究では、口中香を実現し、飲料の味覚を変化させるスマートな蓋型嗅覚デバイス「Kaolid」を提案する。図1に示すように、Kaolid は小型で軽量の嗅覚デバイスを搭載し、口中香を実現するストロー型デバイスとコップ型デバイスである。ストロー型デバイスは、ストロー中間部分から香りをチューブ内に注入し、飲料と同時に香りをユーザの口内に届ける。コップ型デバイスは、蓋からコップ内に香りを噴射し、ユーザが飲む際に香りを口内に届け、口中香を実現する。

本稿では、Kaolid のプロトタイプシステムの設計・実装について述べ、口中香を提示した際の飲料の温度の違いが味覚に与える影響の調査結果について報告する。

2. 関連研究

2.1. SSB の代替飲料

SSB の摂取量を低減させるために、代替飲料として人工甘味飲料が注目されている。人工甘味料の普及に伴い、日常生活で人工甘味料が添付された製品に触れる機会が多くなっているが、人工甘味料で体重を減らすことは難しい。Fowler らの研究 [26] では、1980 年代に7~8 年間に渡り、3682 人の成人を対象に調査を行なっている。結果として、人工甘味料入り飲料を摂取した人は、摂取量に依存し、高い

Manuscript Format for Kickoff Symposium of IPSJ Behavior Transformation by IoT (BTI)

^{†1} DAIKI MAYUMI, Nara Institute of Science and Technology
^{†2} YUGO NAKAMURA, Kyushu University
^{†3} YUKI MATSUDA, Nara Institute of Science and Technology
^{†4} MISAKI SHINYA, Nara Institute of Science and Technology
^{†5} KEIICHI YASUMOTO, Nara Institute of Science and Technology

BMI を示した。また、103 名の青少年を対象に行った研究でも、砂糖入り飲料をダイエット飲料に置き換えたが、25 週間後の BMI は減少しなかった [27]。結果の要因として、砂糖または人工甘味料によってもたらされる甘味が人間の食欲を高めることが関連している [28]。

100% フルーツジュースが SSB の代替品として受け入れられるかどうかについても、関心が寄せられている。ほとんどのフルーツジュースはビタミンや栄養素を含んでいるため、健康に良いと見なされる。しかし一部のフルーツジュースには、果物に含まれる天然糖が SSB と同程度のカロリーと糖分が含まれている。フルーツジュースの摂取が体重増加 [3] および 2 型糖尿病のリスク [29] と関連していることが報告されている。

一方、水には砂糖やカロリーが含まれておらず、水分補給に最適な飲料と考えられている。水の需要が高まるにつれて、様々な種類のスパークリングやフレーバーのオプションが利用できるようになり、習慣的に SSB を消費する人が水に切り替えるのに役立つ可能性がある。

2.2. 嗅覚デバイスに関する研究

近年、様々な種類の嗅覚デバイスとそれを用いたインタラクティブな提案が提案されている。例えば、ウェアラブルデバイスで香りを提示するヘッドマウント・ディスプレイ [30, 31] や、首からかけるウェアラブルデバイス [32, 33] などが開発されている。Wang らの研究 [34] では、ピアス型、ネックレス型、顔に装着するオンフェイス型の嗅覚デバイスを提案している。提案システムは日常生活で利用しやすいデザインと小型化を実現している。日常生活に溶け込んだデザインでユーザーが日常的に持ち運びが可能な設計である。提案システムの社会的受容性、快適性および装着者と観察者の双方が感じる匂いの強さなどを評価している。Amores らの研究 [32] では、スマートフォンから遠隔操作可能で、生体情報や文脈情報に基づいて香りの強さや頻度を変えることができるネックレス型の嗅覚デバイスを提案している。Dobbelstein らの研究 [33] では、日常生活で利用可能なウェアラブル嗅覚デバイスを開発し、個人の香りの通知を受けることが可能である。Choi ら [35] は、フレームの端に香りを放出するための加熱モジュールを埋め込んだ 3D プリントメガネを開発している。

2.3. 嗅覚が味覚に与える影響

人の味覚のうち 75~95 % は香りによる影響であると言われており、一般的に我々が「味」として認識している大部分は匂いが占めている [16, 17, 18]。つまり、香りを制御することで人の味覚を変化させることができる可能性がある。また風邪を引いて鼻が詰まったり、鼻を摘んで食事を行なっ

た際、味を感じなかったり、感じ取りにくい経験はないだろうか。これは味覚が嗅覚に依存していることがわかる身近な体験の 1 つである。また、嗅覚が味覚に与える影響の例としてかき氷のシロップが挙げられる。かき氷で使用される代表的なシロップとして、いちご味・レモン味・ブルーハワイ味などがある。これら 3 種類のシロップは甘味、旨味、塩味、苦味、酸味の数値は全てほとんど同じ数値であるが味わいがそれぞれ異なる。赤いシロップといちごの香りでいちご味を表現するなど、視覚および嗅覚情報の提示方法の違いによって異なる味わいを表現している。

Ranasinghe らの研究 [36, 37] では、AR や VR 空間での飲料体験を拡張することを目的として、電気刺激や香り、視覚効果を実現するデバイスを制作し、各刺激が味覚に及ぼす影響を調査している。結果として、異なる感覚相互作用によって味覚の拡張を実現しているが、甘味増幅に関しては実現できていない。また香りの提示方法は、鼻にチューブを直接挿す仕組みとなっており、ユーザが日常的に利用しやすいデザインではない。

また我々の研究グループは、香りによって甘さを増幅させるマグカップ型の嗅覚インターフェースを提案してきた [19, 20, 21]。被験者 33 名に対して実証実験を行い、香りによって知覚する味の甘さが増幅することを確認したが、味の満足度は向上しなかった。

つまり、SSB の代替飲料として人工甘味料を用いることは不十分であり、糖分やカロリーを含まない水の飲料促進を行うことが望ましい。我々は飲料の甘さを増幅させる手法の一つとして、香りによるアプローチを行ってきたが、現在の設計では味の甘さ増幅は実現するものの味の満足度向上は難しい。そこで本研究では、人の鼻腔経路の違いに着目し、異なる嗅覚のアプローチを考える。人には鼻先から香る「鼻先香 (Orthonasal smell)」と口の中から鼻を抜ける香り「口中香 (Retronasal smell)」の 2 つの鼻腔経路が存在し、鼻先香と口中香の嗅覚情報は、脳で異なる方法として処理されることが示されている [22, 23, 24]。特に、食べ物や飲み物の風味に寄与する口中香は、味覚との関連が強いことが知られている [25]。本論文では、口中香を提示可能とするデバイス「Kaolid」のプロトタイプシステムの設計・実装を提案し、口中香を提示した際の飲料が味覚に与える影響の調査結果について報告する。

3. 蓋型嗅覚デバイス Kaolid の設計と実装

3.1. アプローチ

糖分摂取量を低減するために、砂糖が入っていない飲料の摂取が重要である。しかし、これまで砂糖入り飲料を多く摂取していた人にとって、糖分のない水に代替することは

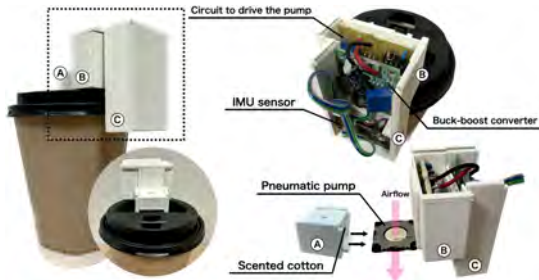


図2 Kaolidのシステム設計

難しい。そこで味として認識される大部分が匂いが占めていること、食べ物や飲み物の風味に寄与する口中香は味覚との関連が強いというこれら知見に基づき、飲料を飲む際に口中香を提示することで味覚を変化させ、知覚する味の甘さ増幅と味の満足度向上を図る。我々は飲み物を飲む際に日常的に使用する道具であるストローおよびコップに着目し、飲むという行為の動作センシング機能と、味覚を変化させる香り情報の提示機能を備えた嗅覚デバイス「Kaolid」を提案する。

3.2. システムの設計

本システムは口中香を実現する機構として、空気圧ポンプと空気圧ポンプを駆動するための回路で構成されている。

香りを噴射する空気圧ポンプは一方から空気を吸引し、一方から空気を吐出するデバイスとなっている。本研究で用いた空気圧ポンプは圧電式(ピエゾ)ダイヤフラムポンプの原理を利用しており、超音波振動を応用することで小型かつ薄型でありながら、高い圧力・流量を実現している。

図2に示すように、口中香を実現するための機構として、蓋上部からコップ内に香りを噴射する機構を設計した。香りを噴射する図2・Aは、空気圧ポンプと香りが染み込んだコットンを備えるため、3Dプリンタでコンテナを作成し、蓋上部に取り付けた。

また図2・BCに示すように、空気圧ポンプを駆動させるための回路はコンパクトに備えるために蓋上部に取り付ける設計にした。空気圧ポンプは入力電圧によって出力する圧力が変化する特性を持っているため、本デバイスでは空気圧ポンプへの入力電圧を15Vに設定し、空気圧は約1.6kPaで実験を行なった。これはデバイスから30cmほど離れた箇所ではほんのり香る程度の空気圧である。また香りにはアロマオイルを使用し、香りを染み込ませたコットンをコンテナ内に収めている。これによりコンテナに溜まった香りを空気圧ポンプによって噴射する機構となっている。

3.3. プロトタイプ

本研究では、口中香を実現するデバイスの設計を目的として、香りをストロー内に噴射するストロー型デバイスとコッ



図3 実験の様子

プ内に香りを噴射するコップ型デバイスを提案する。冷たい飲み物と温かい飲み物に対応するため、飲み物を飲む際に日常的に使用する道具であるストローとコップに着目した。

図1(a)に示すストロー型デバイスは、ストローの中心部から別口が生えており、別口から香りをストロー内に噴射する機構で口の中に香りを届ける。また図1(b)に示すコップ型デバイスは、コップ上部に香りを噴射するデバイスを設置し、コップ内に香りを噴射する機構することで飲料時に口の中に香りを届ける。

4. 調査実験

本研究では、Kaolidのプロトタイプを用いて各種フレーバーが味覚に及ぼす影響を調査するため、感覚的な官能評価実験を実施した。またKaolidと各種フレーバーで実現する味の評価を行うためにアンケートを実施した。

4.1. 参加者

本実験では、所属研究室の学生10名が参加し、年齢は20代(平均年齢23.9歳)であった。被験者の健康状態に問題はなく(風邪や発熱などの症状はない)、味覚や嗅覚についても正常な状態で実験は行われた。

4.2. 実験概要

本実験では、Kaolidのプロトタイプ別に異なる飲料を用意した。冷たい飲み物で利用するストロー型デバイスには、香りのない炭酸水を用いた。また温かい飲み物で利用するコップ型デバイスには、白湯を用いた。香りは人が感じることのできる10種類の匂いのグループ[38]から炭酸水、白湯と相性が良いとされる柑橘系のグループからオレンジ、パイナップルを選択した。利用するデバイスの順番によるバイアスを防ぐため、順番が異なるように2種類の実験パターンを用意し実施した。また香りによるバイアスを防ぐため、各刺激の間に5分間休憩し水を飲んでもらった。各試行後、試飲に対するアンケートに回答してもらった。アンケートは、9段階のヘドニックテストを採用した。被験者には、飲

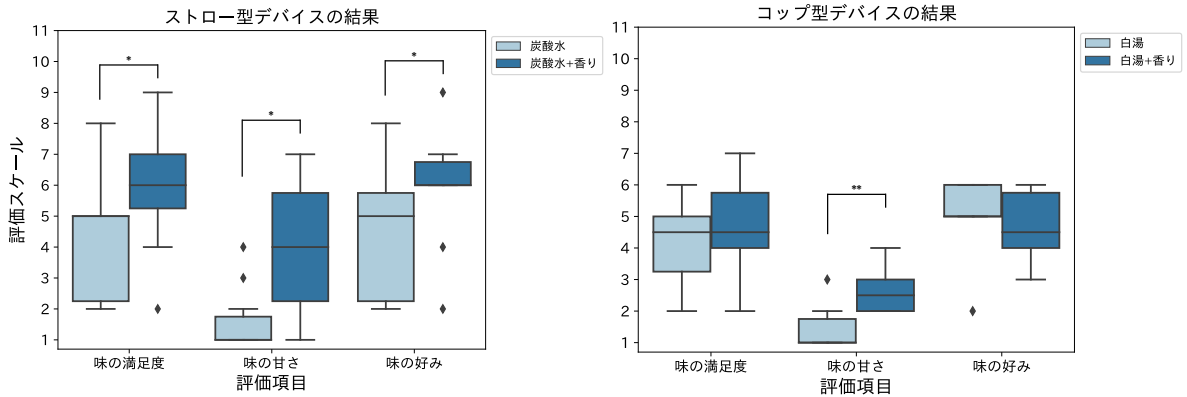


図4 全体の結果 (左・ストロー型, 右・コップ型)

んだ際に知覚した味の満足度, 味の甘さ, 味の好み, 具体的な甘さの評価を行ってもらった. 具体的な甘さの評価では, 図3に示すように, 被験者の前に糖分量の異なる砂糖水を10カップ用意し, 飲んだ際に感じた甘さに近いものを選択してもらった. 異なる砂糖水10カップは, 「1」は砂糖が含まれない水であり, 「9」は一般的な炭酸飲料の砂糖含有量11.3g/100mlの砂糖が入った砂糖水を用意した. その他は等分になるように砂糖水を用意した. 「10」は一般的な炭酸飲料よりも甘く感じた際に選択してもらうために用意した. これを行うことでKaolidを利用した際に感じた味の甘さと実際の糖分量で比較することができる.

5. 実験結果

はじめに, 本実験で用いた香り(オレンジ, パイナップル)の結果を統合し, 評価を行った. 次に香りによる味の評価を比較するため, 本実験で用いた香り(オレンジ, パイナップル)別に評価を行った. 最後に具体的な味の甘さの評価結果を示す.

5.1. 全体結果

図4にそれぞれストロー型デバイス, コップ型デバイスの結果を示す. ストロー型デバイスを用いた味の評価では, 香りを付与していない場合に比べ, 全ての評価項目(味の満足度, 味の甘さ, 味の好み)で評価が高くなる傾向が見られた. 特に味の甘さに関しては, 味の無い炭酸水に口中香を提示することで大幅に知覚する甘さが増幅することが確認された. つまり, ストロー型のKaolidによって口中香を実現し, ユーザーの飲料体験を拡張することが可能であることが示された.

コップ型デバイスを用いた味の評価では, 香りを付与することで味の満足度, 味の甘さに関しては, 香りを付与していない場合に比べ評価が高くなる傾向が見られた. しかし, 味の好みに関しては香りがない方が評価が高くなった.

コップ型デバイスでは, 味の満足度や味の甘さは上昇する傾向が見られたが, ユーザーの味の好みには合わない結果となった. つまり, コップ型のKaolidによってユーザーの飲料体験を拡張するかに関しては今後議論していく必要がある.

また味の変化に関しては, ストロー型デバイスの方がコップ型デバイスよりも変化すると感じたユーザーが多いことがわかった. 被験者のコメントでは, 「(ストロー型デバイスに用いた飲料が)炭酸だったので, より味の変化を感じられた.」というコメントがいくつか見られた. 他には, 「ストローの方が匂いが無駄なく口に入る分, 味の変化が大きい結果になると感じた.」と回答する人もいた. またコップ型に関しては, 「味の変化はストロー型の方が感じられたが, 口当たりの好みはコップ型であった.」と回答する人がいた.

つまり, ストロー型デバイスの方が香りが直接口に運ばれるため, 味の変化を感じやすいことが被験者のコメントより確認された. しかし, ストロー型デバイスは香りがストローを伝って口に入るため, 普段とは飲み心地が異なった結果, コップ型の方を好む人も見られた.

続いて, 2組の標本に対応があるときに有意差検定として用いられるWilcoxonの符号順位検定を使用し, 香りの有無による各評価項目を定量的に比較した. 各評価項目の検定結果を表1にまとめる. 検定の結果, ストロー型デバイスでは, すべての評価項目で有意差が認められた. またコップ型デバイスでは, 味の甘さの評価で有意差が認められた.

5.2. 香り別の分析結果

次に香りの違いによる味覚の調査を行うため, オレンジとパイナップルの香り別に評価を行った.

5.2.1 オレンジの香りの結果

オレンジの香りを用いた際の実験結果を図5に示す. ストロー型デバイスに関しては, 全体の分析結果同様, 全ての評価項目(味の満足度, 味の甘さ, 味の好み)で香りを付与していない場合に比べ評価が高くなる傾向が見られた. ま

表 1 香りの有無による各評価項目の検定結果

比較する 2 組		p 値	有意差 ($p \leq 0.05$)
ストロー型デバイス	味の満足度 (炭酸水) & 味の満足度 (炭酸水 + 香り)	1.032×10^{-2}	✓
	味の甘さ (炭酸水) & 味の甘さ (炭酸水 + 香り)	1.755×10^{-2}	✓
	味の好み (炭酸水) & 味の好み (炭酸水 + 香り)	2.778×10^{-2}	✓
コップ型デバイス	味の満足度 (白湯) & 味の満足度 (白湯 + 香り)	2.720×10^{-1}	-
	味の甘さ (白湯) & 味の甘さ (白湯 + 香り)	9.765×10^{-3}	✓
	味の好み (白湯) & 味の好み (白湯 + 香り)	3.506×10^{-1}	-

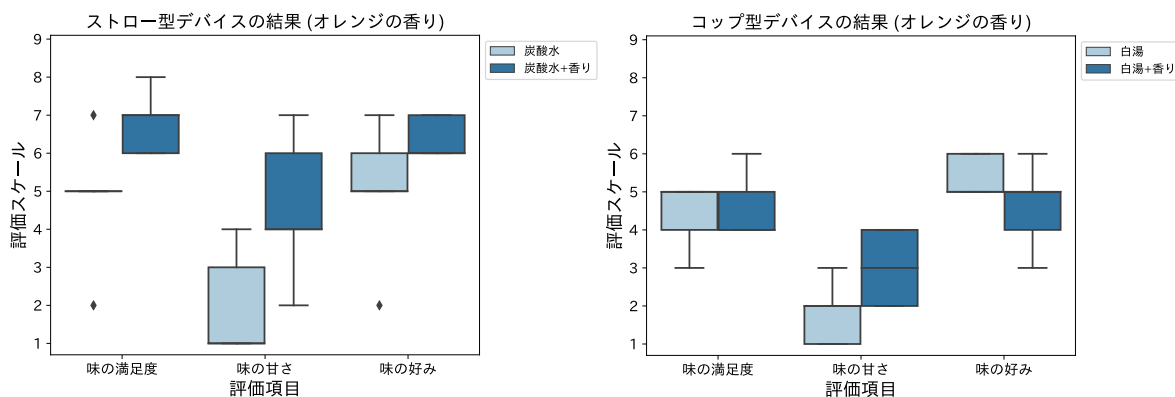


図 5 オレンジの香りの結果 (左・ストロー型, 右・コップ型)

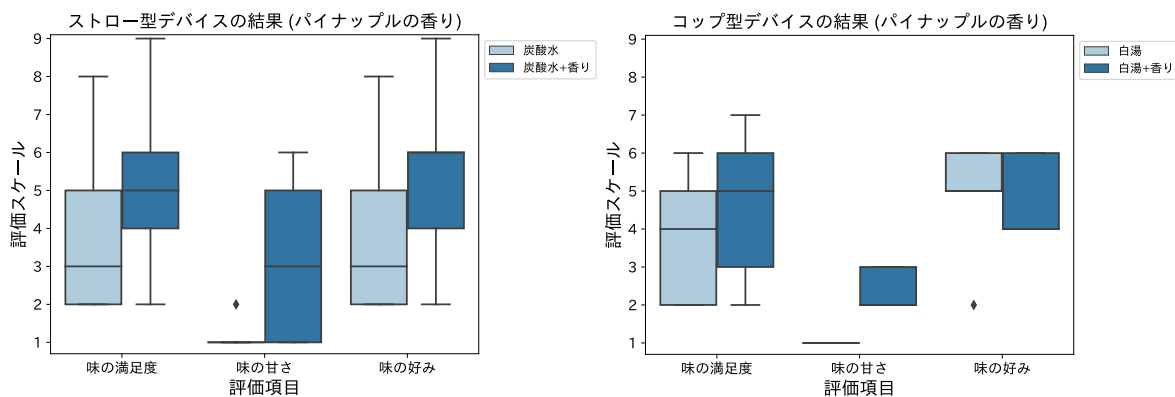


図 6 パイナップルの香りの結果 (左・ストロー型, 右・コップ型)

た味の満足度と味の好みに関しては、標準偏差の結果より、散らばりが少なく評価が高い傾向が確認された。味の甘さに関しては、全体分析結果に比べさらに味の甘さが増幅する傾向が確認された。

一方、コップ型デバイスでは、味の甘さに関しては増幅する傾向が確認されたが、味の満足度は香りがない場合に比べてほとんど変わらない結果となった。味の好みに関しては、全体分析結果同様、香りを付与することで評価が下がる結果となった。

味の変化に関しては、ストロー型デバイスの方が大幅に変化する傾向が見られた。また標準偏差の結果より、データの散らばりも少ないことが確認された。

5.2.2 パイナップルの香りの結果

パイナップルの香りを用いた際の実験結果を図 6 に示す。ストロー型デバイスでは、オレンジの香りの結果に比べ、全ての評価項目で低い傾向が確認された。また、各評価項目でデータのばらつきが大きく見られ、個人の好みの差が大きく見られた。コップ型デバイスでは、オレンジの香りと同様の傾向が確認された。

香り別に分析を行った結果、ストロー型デバイスではパイナップルの香りよりオレンジの香りの方が好まれる傾向が見られた。これは本実験で使用した飲料が影響していると考えられる。ストロー型デバイスには、飲料として炭酸水を

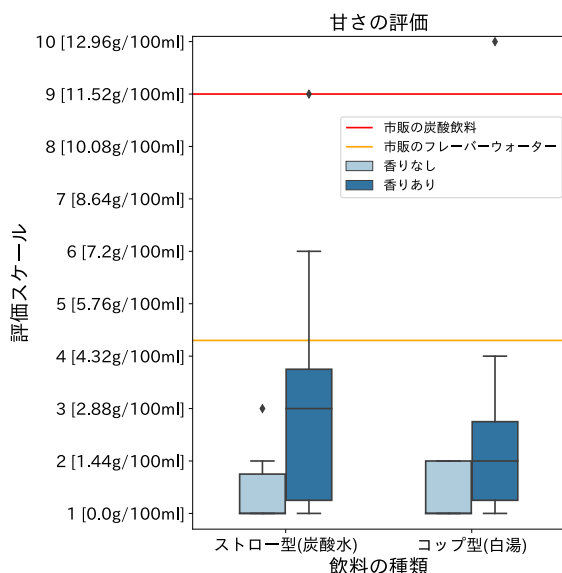


図7 甘さの評価結果

用いたが、炭酸水と相性が良い香りとしてオレンジであることが確認された。本実験で用いた香りの選定には、人が感じることのできる10個の匂いのグループ [38] から2つのグループから選定を行った。つまり、オレンジのグループの香りが炭酸水と相性が良い可能性が示された。

またコップ型デバイスでは、味の甘さは増幅する傾向が確認されたが、香りの種類に関係なく満足度や味の好み、味の変化は有意に上昇する傾向は確認されなかった。つまり、現状のコップ型デバイスでは、口中香の実現は難しい可能性が示された。

5.3. 味の甘さの評価

具体的にどれくらいの味の甘さを感じるかを評価した結果を図7に示す。市販の炭酸飲料の糖分量を赤線、市販のフレーバーウォーターの糖分量をオレンジ線で示す。結果より、炭酸水を用いたストロー型デバイスの場合では香りを提示することで平均でスケール約2つ分の味の甘さ増幅を記録した。評価スケール1つで1.44g/100mlの糖分量であったため、中央値と比較した場合、ストロー型デバイスでは約2.88g分の甘さ増幅を実現したことがわかる。また被験者によっては、市販の炭酸飲料の甘さと同等の評価をしていることがわかった。また白湯を用いたコップ型デバイスの場合では、ストロー型デバイスには劣るが、同様に甘さ増幅の傾向が見られた。コップ型では、一般的な炭酸飲料よりも甘く感じたと評価した被験者も見られた。つまり、Kaolidを用いることで味の甘さ増幅を実現し、糖分摂取量低減を補助する可能性が見られた。

6. おわりに

本実験により、香りがない場合に比べ、Kaolidを利用することで味の満足度、味の甘さが大幅に上昇する傾向が確認された。また検定の結果、被験者数は10名であったが、ストロー型デバイスではすべての評価項目で有意差が確認され、コップ型デバイスでも味の甘さで有意差が確認された。今後はさらに大規模に実験を行うことで、Kaolidの有効性を示していく。

また香り別に分析を行うことで、飲料によって相性の良い香りが変わる可能性が示唆された。本実験では、香りにオレンジ、パイナップルを用いたが、人が感じることのできる10個の匂いのグループ [38] に基づき、飲料と相性の良い香りを探索する必要がある。またデバイス別では、ストロー型デバイスは口中香を実現した可能性が見られたが、コップ型デバイスに関しては、口中香の実現はできていない可能性が見られた。今後は、白湯などの温かい飲み物でも口中香を実現するデバイスを模索する必要がある。

参考文献

- [1] Malik, V., Willett, W. and Hu, F.: Global obesity: trends, risk factors and policy implications, *Nature Reviews Endocrinology*, Vol. 9, No. 1, pp. 13–27 (2013).
- [2] World Health Organization: Diabetes, Available online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>. Accessed: 2022-02-25.
- [3] Schulze, M. B., Manson, J. E., Ludwig, D. S., Colditz, G. A., Stampfer, M. J., Willett, W. C. and Hu, F. B.: Sugar-sweetened beverages, weight gain, and incidence of type 2 diabetes in young and middle-aged women, *Jama*, Vol. 292, No. 8, pp. 927–934 (2004).
- [4] Singh, G. M., Micha, R., Khatibzadeh, S., Shi, P., Lim, S., Andrews, K. G., Engell, R. E., Ezzati, M., Mozaffarian, D., of Diseases Nutrition, G. B. and (NutriCoDE), C. D. E. G.: Global, regional, and national consumption of sugar-sweetened beverages, fruit juices, and milk: a systematic assessment of beverage intake in 187 countries, *PLoS one*, Vol. 10, No. 8, p. e0124845 (2015).
- [5] Gross, L. S., Li, L., Ford, E. S. and Liu, S.: Increased consumption of refined carbohydrates and the epidemic of type 2 diabetes in the United States: an ecologic assessment, *The American journal of clinical nutrition*, Vol. 79, No. 5, pp. 774–779 (2004).
- [6] Vartanian, L. R., Schwartz, M. B. and Brownell, K. D.: Effects of soft drink consumption on nutrition and health: a systematic review and meta-analysis, *American journal of public health*, Vol. 97, No. 4, pp. 667–675 (2007).
- [7] Te Morenga, L., Mallard, S. and Mann, J.: Dietary sugars and body weight: systematic review and meta-analyses of randomised controlled trials and cohort studies, *Bmj*, Vol. 346 (2013).

- [8] Malik, V. S., Pan, A., Willett, W. C. and Hu, F. B.: Sugar-sweetened beverages and weight gain in children and adults: a systematic review and meta-analysis, *The American journal of clinical nutrition*, Vol. 98, No. 4, pp. 1084–1102 (2013).
- [9] Imamura, F., Laura O’ Connor, Ye, Z., Mursu, J., Hayashino, Y., Bhupathiraju, S. N., Forouhi, N. G. Consumption of sugar sweetened beverages, artificially sweetened beverages, and fruit juice and incidence of type 2 diabetes: systematic review, meta-analysis, and estimation of population attributable fraction, *Bmj*, Vol. 351 (2015).
- [10] Yin, J., Zhu, Y., Malik, V., Li, X., Peng, X., Zhang, F. F., Shan, Z. and Liu, L.: Intake of sugar-sweetened and low-calorie sweetened beverages and risk of cardiovascular disease: a meta-analysis and systematic review, *Advances in Nutrition*, Vol. 12, No. 1, pp. 89–101 (2021).
- [11] Malik, V. S. and Hu, F. B.: The role of sugar-sweetened beverages in the global epidemics of obesity and chronic diseases, *Nature Reviews Endocrinology*, Vol. 18, No. 4, pp. 205–218 (2022).
- [12] Popkin, B. M. and Hawkes, C.: Sweetening of the global diet, particularly beverages: patterns, trends, and policy responses, *The lancet Diabetes & endocrinology*, Vol. 4, No. 2, pp. 174–186 (2016).
- [13] Muth, N. D., Dietz, W. H., Magge, S. N., Johnson, R. K., Bolling, C. F., Armstrong, S. C., Haemer, M. A., Rausch, J. C., Rogers, V. W., Abrams, S. A. et al.: Public policies to reduce sugary drink consumption in children and adolescents, *Pediatrics*, Vol. 143, No. 4 (2019).
- [14] Hoenink, J., Stuber, J., Lakerveld, J., Waterlander, W., Beulens, J. and Mackenbach, J.: The effect of on-shelf sugar labeling on beverage sales in the supermarket: a comparative interrupted time series analysis of a natural experiment, *ISBNPA*, Vol. 18, No. 1, pp. 1–11 (2021).
- [15] Villinger, K., Wahl, D., Engel, K. and Renner, B.: Nudging sugar portions: a real-world experiment, *BMC nutrition*, Vol. 7, No. 1, pp. 1–5 (2021).
- [16] Lyman, B.: *A psychology of food: More than a matter of taste*, Springer Science & Business Media (2012).
- [17] Rosenblum, L. D.: *See what I’m saying: The extraordinary powers of our five senses*, WW Norton & Company (2011).
- [18] Stuckey, B.: *Taste what you’re missing: the passionate eater’s guide to why good food tastes good*, Simon and Schuster (2012).
- [19] 真弓大輝, 中村優吾, 松田裕貴, 安本慶一 Aromug: 糖分摂取量低減を補助するスマートマグカップの検討, 情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループ キックオフシンポジウム, pp. 1–4 (2022).
- [20] 真弓大輝, 中村優吾, 三崎慎也, 松田裕貴, 安本慶一 Aromug: 糖分摂取量低減を補助するスマートマグカップの設計と基礎評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2022) シンポジウム論文集, pp. 981–988 (2022).
- [21] Mayumi, D., Nakamura, Y., Misaki, S., Matsuda, Y. and Yasumoto, K.: Aromug: Mug-type Olfactory Interface to Assist in Reducing Sugar Intake, *The 5th International Workshop on Computing for Well-Being (WellComp ’22)* (2022).
- [22] Heilmann, S. and Hummel, T.: A new method for comparing orthonasal and retronasal olfaction., *Behavioral neuroscience*, Vol. 118, No. 2, p. 412 (2004).
- [23] Small, D. M., Gerber, J. C., Mak, Y. E. and Hummel, T.: Differential neural responses evoked by orthonasal versus retronasal odorant perception in humans, *Neuron*, Vol. 47, No. 4, pp. 593–605 (2005).
- [24] Bojanowski, V. and Hummel, T.: Retronasal perception of odors, *Physiology & behavior*, Vol. 107, No. 4, pp. 484–487 (2012).
- [25] Rozin, P.: ” Taste–smell confusions” and the duality of the olfactory sense., *Perception & psychophysics* (1982).
- [26] Fowler, S. P., Williams, K., Resendez, R. G., Hunt, K. J., Hazuda, H. P. and Stern, M. P.: Fueling the obesity epidemic? Artificially sweetened beverage use and long-term weight gain, *Obesity*, Vol. 16, No. 8, pp. 1894–1900 (2008).
- [27] Ebbeling, C. B., Feldman, H. A., Osganian, S. K., Chomitz, V. R., Ellenbogen, S. J. and Ludwig, D. S.: Effects of decreasing sugar-sweetened beverage consumption on body weight in adolescents: a randomized, controlled pilot study, *Pediatrics*, Vol. 117, No. 3, pp. 673–680 (2006).
- [28] Black, R. M., Leiter, L. A. and Anderson, G. H.: Consuming aspartame with and without taste: differential effects on appetite and food intake of young adult males, *Physiology & behavior*, Vol. 53, No. 3, pp. 459–466 (1993).
- [29] Bazzano, L. A., Li, T. Y., Joshipura, K. J. and Hu, F. B.: Intake of fruit, vegetables, and fruit juices and risk of diabetes in women, *Diabetes care*, Vol. 31, No. 7, pp. 1311–1317 (2008).
- [30] Yamada, T., Yokoyama, S., Tanikawa, T., Hirota, K. and Hirose, M.: Wearable olfactory display: Using odor in outdoor environment, *IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006)*, IEEE, pp. 199–206 (2006).
- [31] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented reality flavors: gustatory display based on edible marker and cross-modal interaction, *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 93–102 (2011).
- [32] Amores, J. and Maes, P.: Essence: Olfactory interfaces for unconscious influence of mood and cognitive performance, *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems*, pp. 28–34 (2017).
- [33] Dobbelsstein, D., Herrdum, S. and Rukzio, E.: inScent: A wearable olfactory display as an amplification for mobile notifications, *Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 130–137 (2017).
- [34] Wang, Y., Amores, J. and Maes, P.: On-face olfactory

- interfaces, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–9 (2020).
- [35] Choi, Y., Parsani, R., Roman, X., Pandey, A. V. and Cheok, A. D.: Sound perfume: building positive impression during face-to-face communication, *SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies*, pp. 1–3 (2012).
- [36] Ranasinghe, N., Suthokumar, G., Lee, K.-Y. and Do, E. Y.-L.: Digital flavor: towards digitally simulating virtual flavors, *Proceedings of the 2015 ACM on international conference on multimodal interaction*, pp. 139–146 (2015).
- [37] Ranasinghe, N., James, M. N., Gecawicz, M., Bland, J. and Smith, D.: Influence of Electric Taste, Smell, Color, and Thermal Sensory Modalities on the Liking and Mediated Emotions of Virtual Flavor Perception, *Proceedings of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction*, pp. 296–304 (2020).
- [38] Castro, J. B., Ramanathan, A. and Chennubhotla, C. S.: Categorical dimensions of human odor descriptor space revealed by non-negative matrix factorization, *PLoS one*, Vol. 8, No. 9, p. e73289 (2013).

Vacuum Colorner:

複合現実を用いた掃除における行動変容を促すアプリケーションの提案

浜田惇矢^{†1}

慶應義塾大学総合政策学部

浜中智己, 佐々木航^{†2}

慶應義塾大学院政策・メディア研究科

大越匡^{†3}

慶應義塾大学環境情報学部

中澤仁^{†4}

慶應義塾大学環境情報学部

概要

家事は生活する上で日常的に多くの人が取り組んでいる一方で、煩わしさや面倒臭さ、ストレスを感じる場合がある。さらに家事に対するストレスは家庭内ストレスの一種である。家庭内ストレスを日常的に感じ続けることにより、人々の主観的健康にも影響を与えることがわかっている。本研究では、MR（複合現実）を用いて家事における掃除機がけをストレスフリーかつゲーム感覚で行えるゲーミフィケーションを応用したアプリケーション Vacuum Colorner を提案する。Vacuum Colorner を用いることで、掃除機の位置情報をもとに掃除をした箇所を青、赤、黄色、半透明の4色から好きな色で塗ることができる。これによりユーザは掃除をした位置をMR経由で視覚的に認識し、掃除に対する達成感を感じられる。本システムの有効性を検証した結果、定量的な比較項目である面積とストレス値において、視覚的な介入を行わなかった場合と比較して統計的に有意となった。よって、MRや色塗りといった視覚情報を介入方法とすることで、家事における掃除を対象に行動変容を促せる可能性を見出した。

1. はじめに

家庭内での家事を苦痛に感じている人は多数存在する。リンナイ社のアンケート [1] によると家庭内で感じるストレスに関する意識調査において25%の人が家事にストレスを感じると回答した。また、家庭内ストレスは自覚的健康度に悪影響 [2] を与えているという事もわかっているため家事

のストレスはより健康的に幸福に生活することにおいて妨げになっている。また、家事がストレスとなる要因は評価されない事と、義務感 [3] である。本研究では家事をよりストレスフリーに娯楽感覚で行うことで義務感を排除することを目的としている。そのためにゲーミフィケーション [4] という手法を利用し、より家事を娯楽に近づける。ゲーミフィケーションとはタスクにゲームの要素を加えることで意欲の向上や、ストレスの軽減を図る手法である。本研究ではゲーミフィケーションの即時フィードバックと達成感の項目を利用し、掃除機をかけたところが色で塗られ、かけたところがすぐわかる即時フィードバック、かけ終わったタイミングで綺麗に、多く色が塗られていることを確認し達成感を味わうことのできるアプリケーションを開発した。視覚情報の追加には複合現実を用いた。複合現実とは現実世界との相互的なインタラクションが可能であるが故に現実世界とシステムによる視覚情報の差が少ないため、我々の日常生活に溶け込みやすかつ、新たな価値の創造が容易である。そこで、本研究を通して普段の掃除機掛けに違和感のない視覚情報を追加し、色が塗られていくという新たな価値を付随できるアプリケーションを提案し、複合現実を用いた掃除機行為への介入による行動変容について調査した。調査をおこなった掃除機行為に対する行動変容の項目は面積、距離、時間、ストレス値について評価を行い、面積とストレス値において無介入時とシステムによる介入時において統計的な有意差が確認された。

本論文は以下のように構成される。3章では本研究の関連研究についてゲーミフィケーションを利用した関連研究と複合現実についての関連研究に分けて提示する。3章では複合現実を用いた掃除活性化システム「Vacuum Colorner」についての詳細を述べる。4章では評価実験の手法について述べる。5章では評価に基づく考察を行い、6章で本研究のまとめと、今後の展望を結論として述べる。

Vacuum Colorner: Proposal for an Application to Promote Behavior Change in Cleaning Using Mixed Reality

^{†1} ATSUYA HAMADA, Faculty of Policy Management, Keio University

^{†2} SATOKI HAMANAKA, WATARU SASAKI, Graduate School of Media and Governance, Keio University

^{†3} TADASHI OKOSHI, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

^{†4} JIN NAKAZAWA, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

2. 関連研究

本研究は介入方法にゲーミフィケーションとその手法として複合現実を使用している。掃除機行為に対するゲーミフィケーションの介入についての関連研究と複合現実による掃除機行為に対する介入についての関連研究の2種類に分けて考える。

2.1. ゲーミフィケーションを利用した家事促進

小笠原ら [5] 市村ら [6] 冨田ら [7] は、掃除機行為にゲーミフィケーションを応用した。また、小坂ら [8] は「掃除機をかける」という行為をゲームコンテンツに設定することで子供たちの行動を誘導、誘発し、楽しみながら掃除機かけを行うことを目指すシリアスゲーム「妖怪クリーナーズ」の提案を行った。ホコリセンサを利用し、ごみの中の妖怪を吸い込むという対戦型の掃除機かけをすることによるゲームの提案を行った。また、その表示は画面だけでなく、実際に掃除機にもエフェクトがあり、現実空間とゲームをうまく結びつけることで、掃除機をよりゲームの感覚に落とし込んだ。また、他のゲーミフィケーションを盛り込んだ掃除機行為とは違い、現実世界へのアプローチがある。それは視覚的に掃除機で吸い込んだ時にノズルが光るという点である。やはりゲーム画面を通してではなく現実世界に影響することは直感的であり、人々(特に子供達)の楽しみを掻き立てるものであることが分かった。これら関連研究のようなゲーミフィケーションの掃除機行為への適応は多く行われてきた。その結果として、システム使用時の掃除機行為に対する意欲の向上や意識の変化が見られた。

また、これらの研究では掃除に対して加速度センサやプロジェクトを設置する過程が必要となっていることや対象が子どもであったり、普段の掃除機を利用した状態でシステムを利用することが難しかった。本研究では、より掃除機行為に対するゲーミフィケーションを馴染みあるものにするため、掃除機への設置はQRコードのみとし、気軽に家庭でも再現可能な形をとることとした。また、複合現実を利用することでより現実に近い視覚情報を追加することなど、全年齢に向けて行動変容を図れるようにした。

2.2. 家事行為へのMR(複合現実)利用例

本研究では掃除機行為を別のディスプレイを参照することなく直感的にストレスフリーに楽しくすることを目的としているため、複合現実を利用した。ロベズら [9] はMRを用いて掃除の面倒さや手間を解消し、掃除のモチベーションを向上して楽しく掃除を行うための掃除活性化システム「Dustoon」を提案した。掃除機状況の可視化することで、重複掃除の防止や、掃除不足箇所の特定を可能にした。塵濃度センサから取得した塵濃度を5秒おきにデバイスに送

信し、塵濃度をもとに色を変化させたオブジェクトを3次元マーカをカメラの画像認識により追跡し位置を合わせて描画するシステムであった。

本研究ではオブジェクトの位置合わせに誰でも簡単に設置や入手の可能であるQRコードを利用した。それにより自宅でMRデバイスに加えて、プリンタ等でQRコードを用意、配置すれば普段の掃除機を用いたとしてもシステムの利用を可能とした。また、QRコードは動画撮影用の撮影用カメラではなく空間認識カメラにより位置情報を取得することができる。そのため、撮影用カメラを作動させる必要がなく動作が軽く、かつ認識対照が掃除機のノズルの分遠距離になったとしてもスムーズな動作を可能とした。

3. 複合現実を用いた掃除活性化システム

本研究では掃除機をストレスフリーに行うために掃除機をかけたところが色が塗られるシステムを実装した。色を塗ること自体にストレス軽減の効果 [10] があるだけでなく、掃除機の重複や掃除残しを確認することで視覚的な楽しさ、達成感を味わうことのできる掃除機体験を提供する。システム構成図は以下の図1の通りである。

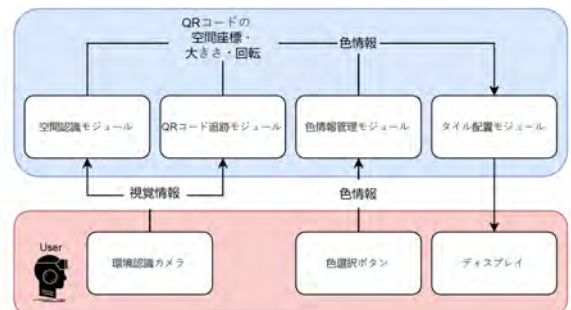


図1 システム構成図

本研究ではMRデバイスにmicrosoft社のhololens2を利用した。実装にはUnity(2020. 3. 38f1)を用いた。まず、環境認識カメラによって空間の座標を取得する。加えて環境認識カメラより、QRコードを追跡する。掃除機にQRコードを設置することで、実質的に掃除機の追跡を可能にした。これら二つの情報から、QRコードの空間内での座標、大きさ、回転を取得し、それをもとにタイルを設置する。タイルはQRコードと同じサイズのタイルを掃除機側に少しずらした位置に配置する。こうすることで、ユーザにまるで掃除機をかけたところが色が塗られているかのような体験を与える。また、ユーザにとって色塗りが楽しい体験になるように好きな色で塗る機能を付した。色選択はアプリケーション開始時の目線の位置に常駐させる形で表示させ、色は4色(青、赤、黄色、半透明)を用意し、ボタンを押下することで、各色に変更することができる。以上のよ

うに 4 色の好きな色を選択し掃除機をかける事でその色で掃除機をかけた軌跡が見れるアプリケーションを実装した。使用時の外からの様子を以下の図 2 に示す。



図 2 システム使用の様子

3.1. 空間認識

本研究では hololens2 をデバイスとして使用しており、hololens2 は 2 種類のカメラを搭載している。1 種類目はデバイス中央の環境認識カメラ、2 種類目はデバイスの左右に 2 つ付いている 4 つの環境認識カメラである。空間認識は hololens2 を起動したタイミングから常に空間の状態を把握し続ける。これにより、オブジェクトを配置する際により自然に適切な位置に配置することができる。例えば机の裏にオブジェクトが回り込んだ場合には表示を止めることや、実世界の物体とオブジェクトが重ならないように実装が可能である。また、本研究には実装していないが、オブジェクトに重力をつけた際には床におち、重心の安定した状態になるなど、オブジェクトをより現実世界の物体に近しいものにする事が可能である。本研究ではデバイスの空間認識による座標に対して、適切な位置に座標を合わせる事により、ユーザに直感的な視覚情報を与えている。

3.2. QR コードの座標取得

本研究では掃除機の検出に QR コードを用いた。掃除機を掃除機であると認識することは技術的に可能であるが、掃除機を検出する際に使用する撮影用のカメラを起動しなくてはならないために、動作が重くなる。MR は空間把握を正確に行うため、他の動的処理を加えると動作がスムーズにならない欠点がある。本研究ではなるべくデバイスへの負荷を削減するため、撮影用カメラを用いることな

く、掃除機の追跡を行うこととした。QR コードの追跡は Microsoft.MixedReality.QR.QRCodeWatcher という API プラグインファイル [11] を利用した。本研究では QR コードにマイクロ QR コードを使用すること、光の反射防止のため画用紙にペンタブラックを使用して QR コードを描画することで長い距離においてもサイズの小さい QR コードでの検出を可能としている。180cm の人が使用した際、掃除機のヘッドに取り付けた QR コードまでの距離は約 230cm である。この時過不足なく反応するマイクロ QR コードのサイズは約 15cm 四方であり、本研究では約 14cm 四方の QR コードを利用した。

3.3. 色選択

より色塗りを楽しい物にするために好きな色を選択できるようにした。色は全部で 4 色あり青、赤、黄色、半透明である。色選択はボタンでできるようにしている。使用感を hololens2 の使用時と同じようにするために MRTK のボタンオブジェクトを利用している。ボタンの利用感はハンドトラッキングにより認識している手の人差し指の先にポインタが表示されるようになっている。ポインタがボタンに乗っている時、ボタンの前方に透明のボックスが表示される。これにより、ボタン一つ一つが隣り合っているもののボタンを参照しているのか分かりやすくなっている。さらに、ボタンを押して選択というテキストを表示し、UI を分かりやすくしている。ボタンを押した際のトリガーはボタンをタッチしている時、押し始めた時、押し切った時等あるが、本システムではボタンを押し切った時をトリガーとして、タイルのマテリアルの変更を行っている。ボタンは様々なジェスチャーにより出したりしまったりすることもできるが、掃除機行為の最中に意識せずにボタンが表示することを防ぐため、今回は常にボタンが出ている状態でボタンの位置は起動時の目線のポジションにする。そうすることで起動時に色選択をできるようにし、かつ掃除機行為の邪魔にならないようにした。ユーザ側の操作は単純にするためにボタン操作のみとしている。

3.4. タイル設置

空間認識により、周りの空間情報を取得し、QR コード追跡により掃除機の位置情報を空間上の座標として取得する。タイルは厚みのないタイルオブジェクトを使用し、QR コードよりも少し掃除機側にずらして設置する事で掃除機をかけた所が色が塗られているように見せる。また、タイルの大きさは設置した QR コードの大きさと同じにしてある。掃除機の大きさに応じて QR コードの大きさを定めることでどの掃除機に対してもシステムを利用出来るようにするためである。また、より自然に見せるために、重力や物体の衝

表 1 実験概要

	A 群 (5 名)	B 群 (5 名)	C 群 (5 名)	D 群 (5 名)	E 群 (5 名)	F 群 (5 名)
30 秒	唾液アミラーゼ検査 (一回目)					
1 分以上	普段通り	普段通り	デバイス装着	デバイス装着	システム使用	システム使用
30 秒	唾液アミラーゼ検査 (2 回目)					
1 分以上	デバイス装着	システム使用	普段通り	システム使用	普段通り	デバイス装着
30 秒	唾液アミラーゼ検査 (3 回目)					
1 分以上	システム使用	デバイス装着	システム使用	普段通り	デバイス装着	普段通り
30 秒	唾液アミラーゼ検査 (4 回目)					

突は行わないものとした。物体の物理演算を行わないことによりシステムをスムーズに動作させる目的もある。また、配置には Unity のプレハブにタイルを登録し、プレハブからオブジェクトを読み込むことで、タイルを配置している。色選択により、プレハブの色変更を行っているため、指定した位置に指定した色のタイルを配置している。使用時の様子を下記の図 3 に示す。

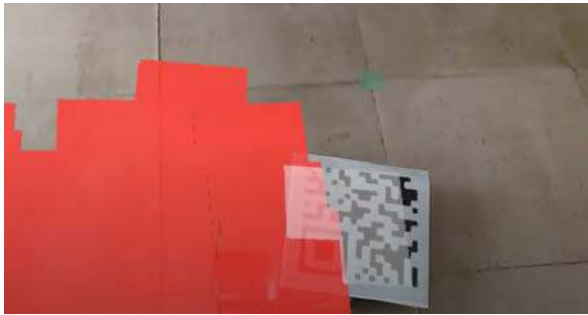


図 3 システム使用の様子

4. 評価実験

4.1. 実験設計

本研究では大学生 30 名の被験者を集め、実験を行った。実験は各工程に対し、1 教室 (4.05m, 8.55m) を自由に掃除してもらい、最低 1 分半、上限は満足いくまで掃除機をかけてもらうという実験を行う。

実験では唾液アミラーゼによるストレス評価と、掃除機をかけた面積、距離、時間を測る。各工程の前後でニプロ社の唾液アミラーゼモニターを利用して、唾液アミラーゼの値を取得する。中野ら [12] は唾液アミラーゼが急性のストレス評価に適していることを示し、快・不快の判別が可能であることを示した。唾液は非侵襲で、随時性、簡易性に優れ、血液等のように採取がストレス要因にならないことから、短期的かつ快・不快のストレス値を複数回取得する本研究と非常に相性がよいと考えたため、唾液アミラーゼをストレス評価指標として採用した。唾液アミラーゼ活性の生理的特徴として、朝低く午後に上昇し [13]、就寝中は再び

低い値 [14] となるという日内変動がある。その差には統計的な有意差が示されていない [15] が、個人差がある可能性を考慮し、唾液アミラーゼの絶対値ではなく、 SAA_0 をストレスを加える前の唾液アミラーゼ活性 (ベースライン kU/l)、 SAA をストレスを加えた後の唾液アミラーゼ活性 (kU/l) と定義したとき、

$$\Delta \frac{SAA - SAA_0}{SAA_0} \times 100 \quad (1)$$

にてアミラーゼ活性の絶対値から変化率 (%) を求め、その数値をストレス値として判定する。変化率が大きい方が、よりストレスを感じたことになる。

実験は 3 工程あり、3 工程を連続で行うため、唾液検査、1 工程目、唾液検査、2 工程目、唾液検査、3 工程目、唾液検査という順で唾液アミラーゼを取得する。そのため、1 回の実験で 4 回唾液アミラーゼを取得する、唾液アミラーゼからストレス値を算出する際絶対値と前の値からの差分を記録する。

また掃除機をかけた面積、距離は、掃除機にマウスを取り付けることによって座標を取得し、距離と面積を算出した。使用マウスは ROCCAT 社の Kone Pro Air [16] を利用した。dpi は専用の dpi 変更ソフトウェアの swarm を利用し、50dpi に設定をした。また、距離に関しては 1 フレームごとに x 座標、y 座標を前のフレームで取得した値と比較して距離を算出し、それを距離変数に加算していくことにより、掃除機を始めてから終わるまでのストロークの総距離を算出している。面積はポイントに対して、格子状に区切った部分にポイントが入った場合色を塗る仕様にし、色が塗られている総合計を取得できるようにした。重複を加味しており、実際に目線で見ている色の塗られた範囲に近似した面積を取得した。システム上のエラー等を確認するために、デバイスからのミラーキャストを用いて画面共有を行うことになって被験者の視界を確認しながら実験を進めた。以下の表 1 に実験概要をまとめる。

4.2. 実験後アンケート

実験終了後に評価に必要なアンケートを実施する。アンケート内容は年齢、性別、5 段階評価である

表 2 実験後に行った 5 段階評価のアンケート内容

1	普段の掃除機がけは楽しいか
2	日常的に掃除機をかけるか
3	普段の家事にストレスを感じるか
4	普段掃除機を掛けることにストレスを感じるか
5	何もつけていない時の掃除機がけは楽しかったか
6	デバイスをつけているのにストレスを感じたか
7	システムを使って達成感を感じたか
8	システムを使った掃除機は楽しかったか
9	色を塗ることで掃除が楽しくなったか
10	システムを使って日常的に掃除をしたいか

定性評価では定量評価では得ることのできない楽しさや、モチベーションについて調査することが主な目的である。よって、システムを使った際と普段の楽しさやモチベーションを比較できるように 5 段階の数値に落とし込んだアンケートとした。以下の表 2 に 5 段階アンケート内容をまとめる。

また、5 段階評価では確認できない部分については記述式で解答を求めた。記述式アンケート項目は、

- システムの良かったところ
- システムの改善点
- 実験中にストレスを感じたことがあったか

から構成される。

5. 評価

5.1. 定性評価

実験参加者 30 名に対して 5 段階のアンケートを行った。本アンケートでは 1 がネガティブ、5 がポジティブな評価になるように設定している。以下の表 3 に得られた評価に対する平均値をまとめる。

表 3 5 段階評価のアンケート内容に対する評価

質問項目	平均値
普段の掃除機がけは楽しいか	1.8
日常的に掃除機をかけるか	2.1
普段の家事にストレスを感じるか	3.8
普段掃除機を掛けることにストレスを感じるか	3.3
何もつけていない時の掃除機がけは楽しかったか	2.4
デバイスをつけているのにストレスを感じたか	2.8
システムを使って達成感を感じたか	3.2
システムを使った掃除機は楽しかったか	3.9
色を塗ることで掃除が楽しくなったか	3.7
システムを使って日常的に掃除をしたいか	2.8

楽しさのアンケートについて、システムによる介入時では中央値として 4 の評価が得られた。また、無介入時では

中央値として 1 の評価が得られた。介入時と比較すると 3 の差があり、通常の掃除機掛けよりもシステムを使った方が掃除機行為が楽しく感じられたことが分かる。普段の掃除機がけは中央値として 1 の評価が得られ、また、面倒だと感じている (1 を選択した) 被験者は 50 % 存在し、掃除機がけを面倒だと考えている被験者は非常に多いことが分かった。これによりシステムを使った掃除機がけは普段の掃除機がけに比べて幾分か面白いものであるという評価が得られた。

また、モチベーションについてのアンケートでは普段は中央値として 2 の評価が得られた。対象者が学生であったためか掃除機を日常的にかけたいという被験者は少なかった。また、システムを使用した場合には中央値として 2.5 の評価が得られた。日常的に掃除機を掛けるかの評価に対して 0.5 高い評価であり、モチベーションの向上についても効果がある可能性が示唆される。

システムを使って達成感を感じたかというアンケートでは中央値として 4 の評価が得られた。色を塗ることにより、掃除機を行った形跡が見え達成感が得られのではないかと考えられる。また、色を塗ったことによる楽しさも中央値として 4 の評価が得られた。これにより、システムの色塗り要素に楽しさがあることが推測される。

記述式のユーザアンケートではシステムの良かった点、改善点、実験中にストレスを感じた点について解答を求めた。システムの良かった点については、

- ゲーム感覚で快感を感じながら掃除をすることができ、長時間の掃除機がけも苦では無くなった
- 近未来的
- 掃除したところが可視化できたことで見落とししていたところを直ぐに発見できる
- 自分の動きが可視化されて面白かった
- 掃除した軌道が分かりやすく見えたので、掃除し忘れた箇所がないか確認できた

などの回答が得られた。

システムの良かった点について、掃除漏れがなくなることにより、達成感や楽しさを感じるという意見が最も多かった。このアンケートより掃除機を掛ける行為はやはり綺麗に掃除できていること、目に見える達成感があることでより楽しく行うことができるのではないかと推測できる。また、視覚的な面白さを追加したことで掃除機行為よりも色塗り行為を優先し、掃除という行為を家事のようなタスクではなく、色塗り行為を行った際のおまけのように感じられる人も存在した。色塗り行為をゲームのように感じるという回答も多数あり、本システムを使うことで、たまたま掃除機がかけられたという可能性もあると考えられる。

改善点については、

表 4 面積評価統計値

	面積			距離			時間			SRE		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
中央値	13.4	13.4	18.4	106.0	98.2	108.3	1.7	1.7	2.3	35.0	106.0	0.0
平均値	14.5	14.2	18.6	99.6	97.0	115.5	1.9	1.9	2.9	101.3	125.3	18.3
標準偏差	5.1	5.1	6.2	17.0	14.6	30.9	0.5	0.5	1.6	169.2	171.0	115.7

表 5 システムによる介入時と他群との u 検定結果と p 値

	面積	距離	時間	ストレス値
無介入	○ p = 0.006	× p = 0.102	× p = 0.182	○ p = 0.042
装着時	○ p = 0.002	○ p = 0.027	× p = 0.066	○ p = 0.008

- 実際にゴミが落ちている時に、色とゴミが混ざってしまうのではないかと思った
- ちょっと重いので、軽かったらいいかなと思った
- 装着しているものが少し重かった
- 部分的ではなく、軌道に色をつけるといいと思った

等の意見が得られた。

もっと面白くできるという回答もあり、具体的には音楽をつけることが挙げられた。また、システムで色を塗る関係上その部分の視界が遮られることで、ゴミが見つけづらくなってしまうという意見がみられた。これについては、逆に掃除機をかけていない部分に色を塗り、掃除機をかけたところの色を消すことが考えられるが、実際に色を塗っていくアプローチを楽しい、面白いという意見があるため、この部分は個人ごとに一長一短である。しかしながら、デバイスのカメラから、ゴミの検知を行いアラートを出すなど、視界が悪くなることを補える要素をシステムに追加することができれば改善できると考えられる。デバイスの動作の関係上綺麗に色を塗ることは難しい、そこについて改善としている回答が多くみられた。もしスムーズな動作を必要とするのであれば、違うアプローチが必要となってくるだろう。

実験中ストレスを感じた点についてアンケートをとったが、ほとんどがデバイスに対する不満であった。デバイスに対する不満ではやはり重量感や、装着時の不快感が挙げられた。やはりデバイスの装着自体にストレスを感じてた人は多かった。その中には不慣れであるからであるという理由も含まれていたが、初めて使うデバイスとしてはやはりストレスに感じると推察できる。

5.2. 定量評価

定量評価では主に何もつけていない時とシステム使用時を比べどのような変化があったかを検定を通して評価した。特に唾液アミラーゼなど、個人差が生じるデータを評価す

るため、統計的な有意差を示す。本研究では独立した2群比較かつ、データに必ずしも正規性があるに限らない。それゆえ、本研究では正規性のない/分からない独立した2群比較を行うマン・ホイットニーのU検定を用いて有意差を検証した。

データの評価値は以下の表4のとおりである。

- A: 無介入時
- B: デバイス装着時
- C: システム使用時
- SRE: ストレス値

数値で見るとデバイスをつけている際と、何もつけていない時の差はあまり無いと考えられるが、システムを使った際には面積が大きくなっていることがわかる。また、統計値だけでは個人差につき偶然の結果が得られた可能性があるため、統計的有意差を示すために行ったマンホイットニーのu検定の結果を下記の表5に示す。u検定の帰無仮説は2群に差がないことであり、有意確率は5%とした。

システムを利用した際に掃除する面積が増えたことについては何もつけていない時、デバイスをつけている時とどちらと比べても統計的有意差が示され、システムの面積における優位性が示された。また、ストレス値においても何もつけていない時とシステム使用時、デバイス装着時とシステム使用時に統計的な有意差があることが示された。これによりシステムを使用することでストレスが軽減されていることが統計的に示され、システムのストレスに対する有効性を明らかにしている。

6. 考察

6.1. 定性評価に対する考察

定性評価では大学生30名に対するアンケートにより、現状普段の家事や、掃除機行為に対してストレスを感じている人がほとんどであった。システムを利用した人は他の条

件と比較し楽しんだ傾向にあった。その要因として達成感や色塗りの要素を追加することで楽しさを感じたことが推測される。また、普段の掃除意欲とシステムを使った際の掃除意欲を比べると、システムを使った方が意欲が相対的に高い結果が得られた。これはシステムを使った掃除機行為が楽しいものであるという認識から意欲向上が見られたと考えられる。

システムの良い点として、軌道が見えることで掃除が丁寧になったり、達成感を感じたり、意識が変化することが挙げられた。それに対し、システムの改善点では動作が重いことに起因する色が綺麗に塗られないことや、デバイスとの相性の問題である、目がチカチカする、デバイスが重い、視界が狭いなどの回答があり、これらのほとんどはデバイスの改善により解決すると考えられる。

現状の段階ではスムーズな動きやデバイスの改善点を同時に解決できる技術は見受けられず、デバイスの軽量化、処理能力の向上を待つ他ない。しかしながら、本システムにおいて改善点がありながらも、通常の掃除機行為と比べると楽しさや意欲の点でポジティブな効果が見られており、MR や掃除機行為に対しての色塗りのアプローチが効果的であると推測される。

6.2. 定量評価に対する考察

面積とストレス値においてシステムの優位性が示された。面積や距離においては色塗りの要素があるが故に逆に丁寧にかけている様子が見受けられたが、それ以上に掃除時間が長かったことから、面積や距離の値が大きくなったものであると考えられる。距離に関しては無介入時のストロークの速度が非常に速い被験者が数名いたため、統計的な有意差が出せなかったと考えられる。時間においては1.5以上の制約をかけてしまったが故にほとんどの被験者が1.5分で掃除機掛けをやめてしまったことが、統計的な有意差が出せなかった原因であると考えられる。しかしながら、距離、時間に関しても中央値や平均値だけみると優位性が見てとれ、データの数を増やすなどすれば統計的な有意も示せるのではないかと考えられる。また、デバイスをかけた際のストレスは定性評価ほど大きいものは得られていなかったが、明らかにデバイスをつけた際の評価が低いことが多くこれは視界が狭まっていることや、デバイスのへの不慣れさからくる物理的なものであるとも考えられる。

7. 今後の展望

本システムは少し早く掃除機がけをすると、QRコードの検出が遅れてしまい、タイルとタイルに隙間が生まれてしまう。隙間が生まれるときれいに色が塗られているようには見えなくなってしまう。改善方法として空間メッシュを

取得し、掃除機をかけた位置座標により近い、メッシュに色付けを行う方法が考えられる。その場合、その地点が床である判定や掃除機の位置情報との位置合わせを行う必要がある。メッシュに色付けを行う際各メッシュの隙間を埋めるようにするとより、きれいに色付けをすることが可能となるはずだ。また本研究では実験の対象を大学生とした。しかしながら、掃除機がけをした部分が塗られていくゲーム性は大学生には少し単純すぎたと考えられる。一方で小学3年生以下がシステムを使用した際、とても熱中して掃除機をかけている姿が見受けられた。本研究では主な評価指標を唾液アミラーゼによるストレス値としたが、意欲向上や、掃除を楽しんでいるかという指標で、子供を対象とした実験であれば、MR や本システムの通常に比べた有効性がより大きく示せると示唆される。また、実験で対象とした教室が元々綺麗に保たれていたこともあり、実際に掃除機がけによる達成感がより失われてしまっていたように感じる。ゴミが少ない環境での掃除機掛けだったので実験自体を作業のような感覚で取り組み、その結果短時間で掃除機掛けを終わらす被験者が多かったのではないかと考えられるので、実験環境にゴミやゴミに類するものを用意することでより正確なデータが取れたと推測される。また、ゴミを用意することでゴミを何%きれいにできたかなど違う評価指標で評価することも考えられる。

8. 結論

本論文は健康な生活を促進するために、家庭内ストレスの削減と家事の意欲向上を目的とし研究を行った。その手法としてゲーミフィケーションの要素である即時フィードバックや達成感の要素を加えることで目的を達成できるような行動変容を促した。ゲーミフィケーションの要素をあらゆる家事に応用できると考えたのが、色塗りにより掃除をした形跡をリアルタイムに確認できるという機能である。本研究ではその中で掃除機をピックアップし、掃除機をかけたところが色で塗られていくシステム (Vacuum Colorner) を提案した。システムはMR技術を用いたものでhololens2にて実装を行った。システムでは色選択を行ったのち、掃除機を掛けると掃除機に取り付けたQRコードを追跡し、QRコードから掃除機をかけた形跡を算出し、選択した色のタイルを配置していくというものである。空間認識に優れたMRデバイスで実装を行うことでより現実に近い視覚情報を与えた。システムの有効性を示すため30名の大学生を被験者とし実験を行った。実験では掃除意欲、掃除の楽しさ、面積、距離、ストレス値、時間について比較を行うため、定性的なアンケートと定量的な数値を用いてシステムの有効性を示した。意欲、楽しさ、ストレス要因については5段階のアンケートと記述式のアンケートにて評価を行った。面

積, 距離は掃除機につけたマウスの座標データから値を算出し, ストレス値は唾液アミラーゼの変化率から値を求めた. 以上の実験から, 意欲や楽しさ, 面積, ストレス値において何もつけていない普通の掃除機かけよりもシステムを使用した掃除機掛けに優位性が示された. これにより, MR や色塗り効果を交えたシステムは掃除機掛けに効果があり, これは他の家事にも応用可能であると考えられる.

謝辞 本研究成果は, 国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究 (05401), JSPS 科研費 JP21K11853, JST RISTEX (JPMJRX21J1) の支援を受けたものである.

参考文献

- [1] リンナイ株式会社【熱と暮らし通信】(2018). <https://www.rinnai.co.jp/releases/2018/0515/>.
- [2] 卯津羅祥子, ウヅラサチコ職場, および家庭におけるストレス要因が自覚的健康度, 心理的健康度に及ぼす影響 (2002).
- [3] ゲンナイ製薬株式会社【プレスリリース・ニュースリリース】. <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/0000000008.000038158.html>.
- [4] Seaborn, K. and Fels, D. I.: Gamification in theory and action: A survey, *International Journal of human-computer studies*, Vol. 74, pp. 14–31 (2015).
- [5] 小笠原遼子, 山木妙子, 塚田浩二, 渡邊恵太, 椎尾一郎インタラクティブな掃除機, エンタテインメントコンピューティング 2007 講演論文集 (2007).
- [6] 市村哲, 矢澤崇史, 戸丸慎也, 渡邊宏優ほか家事をゲーミフィケーション化する試み「掃除への適用」, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol. 2014, pp. 1285–1290 (2014).
- [7] 菅野恭平 川畑裕也 冨田一貴 VACUUU(・∨・)UUUM, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol. 19.
- [8] 小坂崇之ほか妖怪クリーナーズ: 現実世界の掃除をゲームコンテンツにしたシリアスゲームの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集, Vol. 2016, pp. 148–151 (2016).
- [9] Kaeriyama, Y., Yokokubo, A. and Lopez, G.: Dustoon: Support System for Improvement of Cleaning using Dust Sensor and Mixed Reality, *IEICE Technical Report; IEICE Tech. Rep.*, Vol. 120, No. 319, pp. 42–44 (2021).
- [10] 竹島由起, 山田晃子秋野暢子と一緒に楽しもう! 5分でできるシンプル健康法 (8) ストレスが消える塗り絵, 日経ヘルス, Vol. 4, No. 13, pp. 52–54 (2001).
- [11] Microsoft: QR コード 追跡の概要. <https://learn.microsoft.com/ja-jp/windows/mixed-reality/develop/advanced-concepts/qr-code-tracking-overview>.
- [12] 中野敦行, 山口昌樹唾液アミラーゼによるストレスの評価, バイオフィードバック研究, Vol. 38, No. 1, pp. 3–9 (2011).
- [13] Jenzano, J. W., Brown, C. and Mauriello, S. M.: Temporal variations of glandular kallikrein, protein and amylase in mixed human saliva, *Archives of Oral Biology*, Vol. 32, No. 10, pp. 757–759 (1987).
- [14] Kivelä, J., Parkkila, S., Metteri, J., Parkkila, A.-K., Toivanen, A. and Rajaniemi, H.: Salivary carbonic anhydrase VI concentration and its relation to basic characteristics of saliva in young men, *Acta physiologica scandinavica*, Vol. 161, No. 2, pp. 221–225 (1997).
- [15] Salvolini, E., Mazzanti, L., Martarelli, D., Di Giorgio, R., Fratto, G. and Curatola, G.: Changes in the composition of human unstimulated whole saliva with age, *Aging Clinical and Experimental Research*, Vol. 11, pp. 119–122 (1999).
- [16] roccat: kone pro air. <https://jp.roccat.com/products/kone-pro-air>.

水分補給支援システムと行動変容検証

元川錦^{†1} 横窪安奈^{†2} ロペズギヨーム^{†3}
 青山学院大学 青山学院大学 青山学院大学

2023年2月17日

1. はじめに

水は体内において多方面に渡って重要な役割を担うため、人は一定の水分を補給しなければ生きていくことができない [1]. 厚生労働省が推奨する1日の水分補給量は1.2Lである一方、人間は一度に大量の水を吸収することができず、1時間あたり250mlが限界である。水分補給の重要性は老若男女問わず広く知られているが、知らず知らずの内に水分不足になることが多く、水分補給の重要性は認知しているも、適切な水分摂取量を認知していないことが多い。2019年にサントリーが水分摂取に関する調査として、全国の20歳以上のオフィスワーカー1600人を対象に水分摂取量のアンケート調査を実施した。本調査によると、約9割のオフィスワーカーが自分自身が1日の中で摂取する飲料、すなわち水分量は500mlペットボトル2本分である1L以下であると回答した。これはオフィスワーカーの約9割が一日に必要な水分量を補給できておらず、慢性的な水分不足であることを示している。加えて、1日に必要だと思う水分量として、最も適当な水分摂取量を調査したところ、6割のオフィスワーカーが1日に摂取すべき水分量の不足を認識できていないことが明らかになった。総務省の発表 [2] によると、水分不足が大きく関与しているとされる熱中症による救急搬送人員は2020年6月から9月の全国において累計6万人超で、そのうち約半数が自宅にいたにもかかわらず発症しており、いつ、どこにいても水分不足になると考えられる。以上のことから、ユーザの水分補給状態に加え、発汗などによる健康状態や、ユーザがいる環境の温度・湿度などの環境情報を総合的に考慮したタイミングでのサポートが必要かつ効果的である。

2. 関連研究

水分補給や飲料容器に着目した研究は以下のようなものがある。Beddoeら [3] はNudge Technologyと呼ばれる、ユーザに適切な選択や危険回避を人に促す仕掛けや手法 [4]

に注目しシステムを開発した。システムは適度なタイミングで水分補給できていないと、内容物が溢れてしまいユーザに水分補給が不十分であることを想起させ、それ以上こぼさないように促す。本システムではアンケート結果から飲水量の向上が示唆された。長田ら [5] は、コップにセンサを埋め込んだインテリジェントコップを作成し、服薬の際に十分な量の飲水を促すシステムを開発した。その結果、飲水量の測定が可能になり、多くの被験者が指定された飲水量を飲み切った。これにより、患者への適切な服薬指導が可能であることが確認された。Lesselら [6] は重量から水分量を測定するコースター型デバイスを開発し、ユーザの水分補給状態を反映したスマートフォンゲームを提案した。本システムでは、飲水量が向上し、水分補給の促進に効果があることが明らかになった。一方で、スマートフォンのゲーム機能を用いたフィードバックによる有意差はみられなかった。

以上のように、現在様々な手法を用いた水分補給支援システムが研究開発されており、ユーザーに水分補給不足を認識させ、促進させることが可能である。一方で、[3]のシステムではボトル内の水分があふれてしまうことによるリスクが大きく、このようなシステムを実際のオフィス環境で使用したり、持ち歩いたりすると、周囲の電子機器の故障につながる可能性があり、実用的では無い。[5]や[6]のような持ち運びに適さないシステムでは、日常生活を通じた支援が難しく、利用シーンが限定されてしまう。このように、これらの既存システムは、制約のない現実的な環境において、自然な形で水分補給を促すことを可能にするトラッキングシステムとしては多くの制限があると考えられる。そこで、本研究では、これらの制約や実用性の課題を踏まえて「日常生活どこでもいつでも使用できるシステム」を実現することでユーザの水分補給を支援できると考える。加えて、上記の問題を解決するために、物理駆動型情報提示手法を採用する。物理駆動型情報提示は、ウェイトレスがコーヒーを運んでくるように自然でわかりやすく、有用であると考えられる。また、これまでに開発された水分補給新システムではユーザの水分補給に基づいた支援はされているものの、水分補給支援で考慮されるべきユーザの健康状態や環境情報は全く考慮されておらず、ユーザの状態を踏まえた

Hydration Support System and Behavior Change Verification

^{†1} NISHIKI MOTOKAWA, nmotokawa@wil-aoyama.jp

^{†2} ANNA YOKOKUBO, yokokubo@it.aoyama.ac.jp

^{†3} GUILLAUME LOPEZ, guillaume@it.aoyama.ac.jp

支援がされていないのが現状である。そこで、本研究では、上記の課題を解決するために、ユーザの生体情報に基づくパーソナライズされた情報提示を用いることで、ユーザの生体情報とユーザのいる環境に応じてパーソナライズされた情報提示の実装を行う、パーソナライズされた情報提示は、運動などによる発汗で知らぬ間に消耗した水分を補給することができるため、有用だと考える。

3. HydReminder

3.1. システム概要

本研究では、水分補給不足を通知し、適切なタイミングで水分補給不足を解消するための水分補給支援システム HydReminder を開発し、その有用性を検証した。HydReminder は、ユーザの生体信号をもとにパーソナライズすることで、理想的なタイミングで水分補給を促すことができるウェアラブル・デスクトップ両対応型水分補給支援システムである。HydReminder は、水分補給の「Hydration」と思い出させるものの「Reminder」を組み合わせた名称である。コースター型デバイス・キャップ型デバイスの内側に搭載したセンサでユーザの水分補給状況を、同じくキャップ内側に搭載された環境センサでユーザのいる環境の温度と湿度を、そしてユーザの手首に装着したスマートウォッチでユーザの心拍数をそれぞれ測定する。ユーザの水分必要度に対し、水分補給が不足すると、ウェアラブル・デスクトップ両モードに対応したフィードバックを通して、ユーザへ水分不足を伝達する。HydReminder のシステム構成を図 1、デバイスを図 2、図 3、利用イメージを図 4 図 5 にそれぞれ示す。



図 2 HydReminder デスクトップモード

運動状態として利用される。また、制御部と有線で接続された環境センサからユーザ環境の温度と湿度を取得し、熱中症の危険度や環境の極端な乾燥度合いを判断するために利用する。そして、これらの健康状態や運動状態、危険度を踏まえた水分補給ができていないかを確認するために、デスクトップモードでは、ロードセルから水分量を、ウェアラブルモードでは、赤外線距離センサから容器内の水面まで距離を用いて、ユーザが十分に水分を補給しているかどうかを判断する。ユーザが十分な水分補給をしていない場合、キャップ型デバイスはアラート音を発し、スマートウォッチの画面には水分補給を促すメッセージが表示される。スマートウォッチ上の支援メッセージの様子を図 7 に示す。

3.3. HydReminder デバイス

HydReminder はコースター部とキャップ部の二種類のデバイスから構成される。コースター部分は車輪駆動型デバイス (toio core cube^{*1}) を固定するための部品 C。ロードセル、アナログ・デジタルコンバータ (HX711)、制御部 (M5 ATOM Lite) を固定するための部品 B。これらを格納する外壁の部品 A の 3 部品で構成されている (図 8)。コースター部分はいずれも 3D プリンタを用いて出力した。ロードセルは上下を 3D プリンターで出力した板で固定し、コースター型デバイスに置かれた飲料容器と中身の水分の重量を測定する。測定されたセンサデータはアナログ・デジタルコンバータ (HX711) を介して接続された制御部へ送信され重量へ変換される。制御部はロードセルと有線で、車

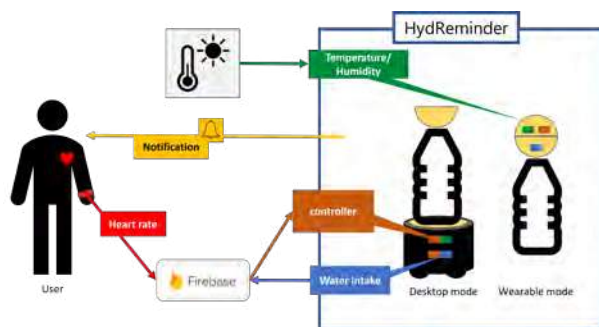


図 1 HydReminder のシステム構成

3.2. 水分補給必要度判定アルゴリズム

システム遷移図を図 6 に示す。制御部は、クラウドホスティングの NoSQL データベースである Firebase Realtime Database を介して、スマートウォッチからユーザの心拍数を取得する。取得した心拍数データは、ユーザの健康状態や

^{*1} toio core cube, Sony, <https://toio.io/>

Necessity level 1	Necessity level 2	Necessity level 3
Temperature ~25 °C Humidity 40 ~ 60%	Temperature 25 ~ 30°C Humidity ~ 40%	Temperature 30°C ~ Humidity ~ 30%
BPM Available : true <h2 style="text-decoration: underline;">Let's drink!</h2> The temperature and humidity in your location is appropriate. <div style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 5px; text-align: center; width: fit-content; margin: auto;">Stop Reading</div>	BPM Available : true <h2 style="text-decoration: underline;">It's about time.</h2> It's going to be dry... <div style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 5px; text-align: center; width: fit-content; margin: auto;">Stop Reading</div>	BPM Available : true <h2 style="text-decoration: underline;">Drink and rest NOW.</h2> Danger! Whenever possible, move to a cooler and Move to a place that is not dry. <div style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 5px; text-align: center; width: fit-content; margin: auto;">Stop Reading</div>

図7 スマートウォッチ上のフィードバックの様子



図3 HydReminder ウェアラブルモード

輪駆動型デバイスと BlueTooth でそれぞれ接続しており、ロードセルから取得したセンサデータを重量に変換し、水分補給しているか否かを認識する。

ボトルキャップ部分は ToF センサと制御部を固定するための部品環境センサと制御部を固定するための部品ペットボトルキャップとして固定するための部品の4部品で構成されている(図9)。コースター部分はいずれも3Dプリンタを用いて出力した。使用した3DプリンタはXYZ Printing社製の da vinci super であり、樹脂フィラメントを熱して出力し造形することが可能である。パーツCには車輪駆動

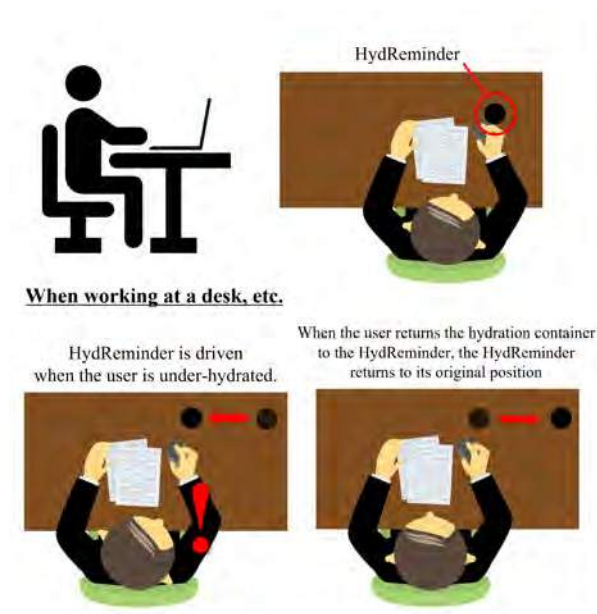


図4 HydReminder の利用イメージ (デスクトップモード)

型デバイスを配置し、パーツBにはロードセルとアナログ・デジタルコンバータ、制御部を設置した。ロードセルは上下を3Dプリンタで出力した板で固定し、コースター型デバイスに置かれた飲料容器と中身の水分の重量を測定する。測定されたセンサデータはアナログ・デジタルコンバータ(HX711)を介して接続された制御部へ送信され重量へ変換される。制御部はロードセルと有線で、車輪駆動型デバイスと BlueTooth でそれぞれ接続しており、ロードセルから



図5 HydReminder の利用イメージ (ウェアラブルモード)

取得したセンサデータを重量に変換し、水分補給しているか否かを認識する。これらの部品を統合するために、「卓上でも邪魔にならない大きさ」「部品をすべて配置できる」を満たす最小サイズで外壁シェルを作成し、パーツを格納している。

3.4. HydReminder のモード

HydReminder はデスクトップモードとウェアラブルモードの2モードから構成される。デスクトップモードは主にデスクワーク中などで使用し、物理駆動型情報提示による支援を行う。ウェアラブルモードは移動時や運動時などで使用し、スマートウォッチ画面のメッセージとアラート音による支援を行う。デスクトップモード時のデバイスの様子を図2に示す。デスクトップモード時はコースター型デバイスにキャップ型デバイス球体上部をドッキングした状態で使用する。コースター内部に設置されたロードセルから圧力データを取得し、アナログ・デジタルコンバータ(HX711)を介して接続された制御部へ送信され重量へ変換される。制御部はロードセルが圧力を検知不能になった際、コースターデバイスからボトルが持ち上げられ飲水しているとする。また、ドッキングしている球体上部に設置した環境センサからユーザの周辺環境温湿度を計測し、クラウドホスティングのNoSQLデータベースである Firebase Realtime Database を介して、スマートウォッチからユー

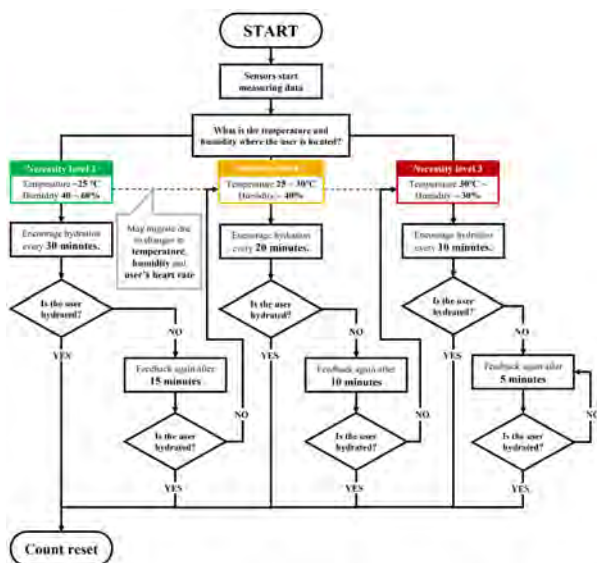


図6 Power switch for the control unit attached to a wheel-driven device.

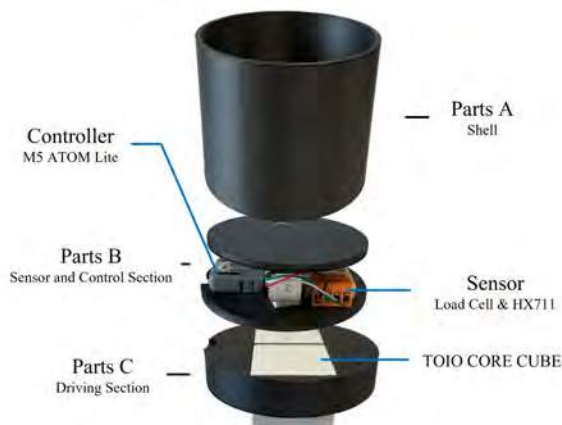


図8 コースター部のデバイス構成

ザの心拍数を取得する。ユーザが十分な水分補給をしていない場合、bluetooth 接続している車輪駆動型デバイスを駆動しユーザへ水分不足を知らせる。その際、ペットボトルから水分補給をする際にペットボトルのふたを開け口元までもっていき、卓上へ置くまでの一連の動作にかかる時間を計測した結果、最短で5秒以上かかることから、不正防止を目的として5秒以上圧力が計測されなかった場合のみシステムはリセットされ、toioの駆動時にはtoioは停止する仕組みになっている。利用者が水分補給を終え、水分補給容器をコースターに戻すと、コースターは来た道に戻り、元の位置で待機する。

ウェアラブルモードのデバイスの様子を図3に示す。ウェアラブルモード時はコースター型デバイスを使用せず、

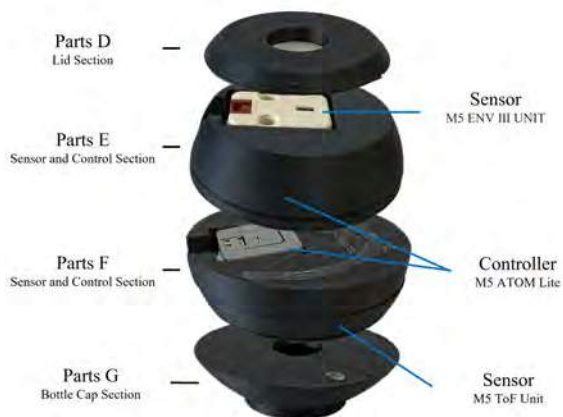


図9 ボトルキャップ部分のデバイス構成

キャップは球体の状態で使用する。球体下部に配置された赤外線距離センサから容器内の水面まで距離を用いて、ユーザが十分に水分を補給しているかどうかを判断する。球体下部に配置された制御部は、デスクトップモード時同様に、Firebase Realtime Database を介して、スマートウォッチからユーザの心拍数を取得する。同様に球体下部に配置され、制御部と有線接続している赤外線距離センサから容器内の水面まで距離を計測し、ユーザが十分に水分を補給しているかどうかを判断する。また、球体上部に設置した環境センサからユーザの周辺環境温湿度を計測し、熱中症の危険度や環境の極端な乾燥度合いを判断するために利用する。ユーザが十分な水分補給をしていない場合、制御部からアラート音を発し、スマートウォッチ上に支援メッセージを表示する

4. ユーザビリティ検証実験

4.1. ユーザビリティ検証実験の概要

HydReminder のユーザビリティ検証実験では、10代から50代までの男女10名を被験者とした。被験者には2日間に分け HydReminder を使用した場合と使用しなかった場合で、1時間もしくは9:00~12:00・13:00~18:00の計8時間の日常生活に普段通りの生活をしてもらった。実験は、被験者が普段生活している空間で行い、極端な乾燥や湿度、気温のある環境にいる場合もあったことから、周辺環境が水分補給に影響を及ぼす可能性があると考えた。実験終了後にアンケートに回答してもらい、水分摂取量を実験担当者がデジタルスケールにて計測した。また、提案システムの印象を評価するために、HydReminder のユーザビリティの受け止められ方について測定するために SUS を用いたアンケートおよび自由記述のアンケートを実施した。

4.2. HydReminder の有無による水分摂取量・回数の比較

HydReminder を1時間使用した場合と使用していない場合において水分摂取量および水分摂取回数の比較を行った。水分摂取量を比較した結果を図10、水分摂取回数を比較した結果を図11に記す。結果を見ると水分摂取量では10人中9人の水分摂取量が増加した。水分摂取回数では10人中7人の水分摂取回数が増加し回数が減った被験者はいなかった。

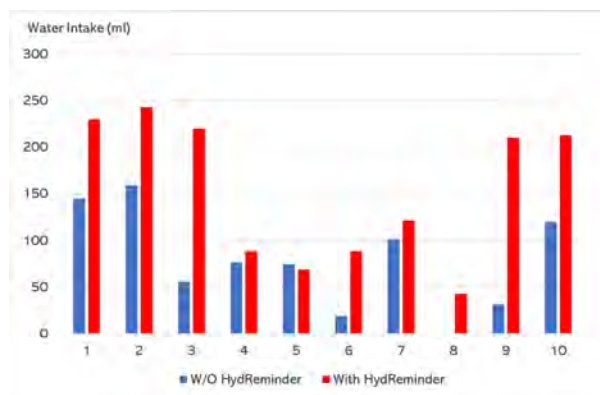


図10 Comparison of the amount of water consumed by each subject (ml)

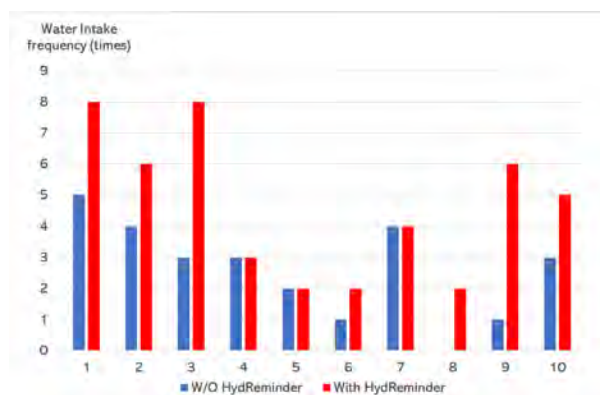


図11 Comparison of water intake frequency per subject(times)

また、HydReminder を9:00~12:00・13:00~18:00の計8時間使用した場合と使用していない場合において水分摂取量および水分摂取回数の比較を行った。水分摂取量を比較した結果を図12、水分摂取回数を比較した結果を図13に記す。結果を見ると水分摂取量では10人中10人の水分摂取量が増加した。水分摂取回数では10人中9人の水分摂取回数が増加し回数が減った被験者はいなかった。

表1 SUS score per subject used for 1 hour(points)

Subject	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ave
Score	87.5	80	90	77.5	75	97.5	75	92.5	87.5	90	85.25

表2 SUS score per subject used for 8 hours(points)

Subject	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ave
Score	82.5	82.5	82.5	80	77.5	85	80	82.5	95	85	83.25

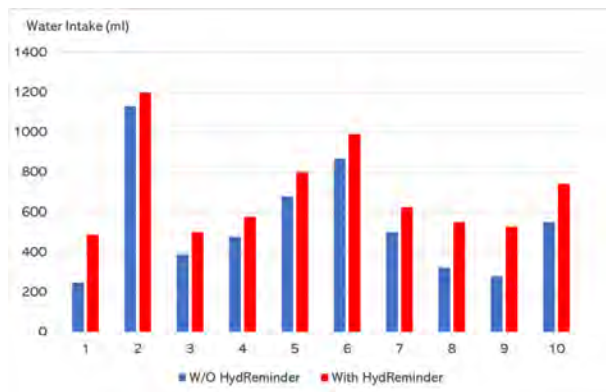


図12 Comparison of the amount of water consumed by each subject (ml)

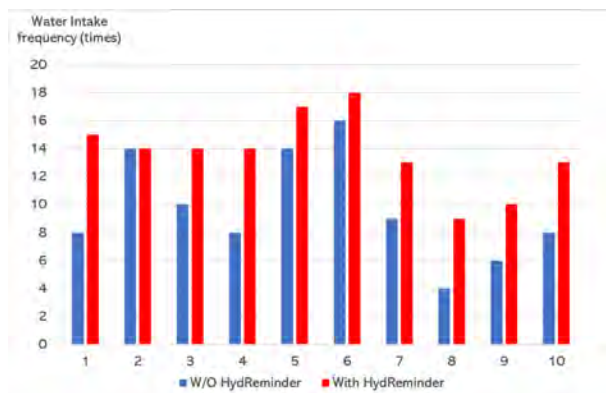


図13 Comparison of water intake frequency per subject(times)

4.3. SUS による評価

HydReminder のユーザビリティ検証実験では SUS を用いたアンケートを実施した。それぞれの項目から 100 点を基準としたスコアを計算し、ユーザビリティを数値化した。その結果を表 1、表 2 にそれぞれ記す。結果を見ると、HydReminder を 1 時間使用した 10 人全員で SUS の平均スコアである 68 点を超過しており、10 人の平均スコアは 85.25 点であった。また、HydReminder を 8 時間使用した 10 人全員で SUS の平均スコアである 68 点を超過しており、

10 人の平均スコアは 83.25 点であった。以上の結果から、

HydReminder は非常に優れたユーザビリティであることが示された。

4.4. 考察

4.2 節で述べたように、HydReminder を使用した場合と使用していない場合において、HydReminder の有無による実験結果を比較したところ、HydReminder を 1 時間使用した被験者 10 人中 9 人の水分摂取量が増加し、10 人中 7 人の水分摂取回数が増加し回数が減った被験者はいなかった。また、HydReminder を 8 時間使用した被験者 10 人中 10 人の水分摂取量が増加し、10 人中 9 人の水分摂取回数が増加し回数が減った被験者はいなかった。この結果から HydReminder を比較的長時間使用することで、システム使用の効果がより現れる可能性が考えられる。加えて、システム未使用時に 8 時間で 300ml に満たない量しか水分補給をしていない被験者 2 人において、システムを使用することで 2 倍近く水分摂取量を増加させることができた。このことから、普段の水分摂取量が少ないユーザが HydReminder を使用することで、より効果が表れる可能性がある。また、表 1、表 2 からわかるように、HydReminder を 1 時間使用した被験者の SUS 平均スコアが 85.25 点。HydReminder を 8 時間使用した被験者の SUS 平均スコアは 83.25 点と SUS スコアの平均である 68 点を上回っていた。そのため、HydReminder は非常に優れたユーザビリティであることが示された。アンケートの自由記述欄からは「こんなに飲む必要があるとは知らなかった」「スタイリッシュなのでオフィスでも使いやすい」「動くとき飲まなきゃって気持ちになる」との意見があった。一方で、「ちょっと大きい」「わざわざドッキングさせなくてもいいかも」との意見があった。そのため、デバイスのデザインや仕様をより改善していく必要があると考える。以上の結果から HydReminder を使用することにより、ユーザへ適切なタイミングで水分補給の必要性を知らすことができ、水分補給を促進することが可能になると考える。

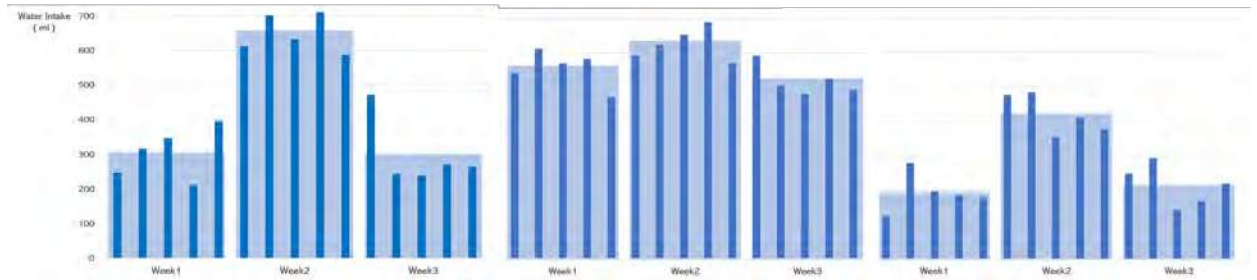


図 14 被験者 A の水分摂取量の推移

5. 行動変容検証実験

本研究では、HydReminder を習慣的に使用した際にユーザの行動や習慣に変化が起こるかを検証するために水分摂取量の計測およびアンケート調査を行った。

5.1. 実験方法及び評価方法

HydReminder を習慣的に使用した際にユーザの行動や習慣に変化が起こるかを検証するために水分摂取量の計測およびアンケート調査を行った。行動変容検証実験では、10代から30代までの男女3名を被験者とし、被験者には平日5日間を3週間計15日間にわたりHydReminderを使用した場合と使用しなかった場合で、9:00~12:00・13:00~18:00の計8時間日常生活中に普段通りの生活をしてもらった。なお、実験1週目と3週目はHydReminderデバイスのみ使用し、特にフィードバックを行わず、実験2週目のみHydReminderのデバイスとシステムを使用してもらった。実験は、被験者が普段生活している空間で行い、極端な乾燥や湿度、気温のある環境にいる場合もあった。そのため周辺環境が水分補給に影響を及ぼす可能性があると考えた。

5.2. 行動変容検証実験の結果

水分摂取量および水分摂取回数の比較を行った。結果を図14にそれぞれ示す。全被験者においてHydReminderを使用しなかった1週目に比べて使用した2週目の平均水分摂取量・摂取回数は増加するという結果になった。また、再びHydReminderを使用しなかった3週目はHydReminderを使用した2週目に比べて平均水分摂取量・摂取回数は減少し、同じくHydReminderを使用しなかった1週目と比べて大きな変化は見られなかった。一方で、HydReminderを使用しなかった1週目に比べてHydReminder使用後の3週目に水分摂取量が増加した被験者もいた。加えて、事後アンケートにおいて、「システムを使うことで水分補給への意識は変わりましたか?」という問いに対し、被験者全員が「変わった」と回答した。アンケートの自由記述欄からは「特定のデバイスを使わなくてはならないという制限が少し

煩わしい」「システムを使うことで『そろそろ飲んだほうがいいのかも』と思うようになった」「頑張って飲んだ報酬とかがあれば続けられそう」などの意見があった。以上の結果から、ユーザの普段の水分補給習慣によっては1週間続けてHydReminderを使用するだけでもその後の水分補給習慣に変化を与える可能性が示された。

5.3. 考察

5.2節で述べたように、HydReminderを一定期間使用した結果、水分補給行動に大きな変化は見られなかったものの、事後アンケートにおいて、「システムを使うことで水分補給への意識は変わりましたか?」という問いに対し、被験者全員が「変わった」と回答した。ユーザの普段の水分補給習慣によってはその後の水分補給習慣に変化を与える可能性が示された。アンケートの自由記述欄からは「特定のデバイスを使わなくてはならないという制限が少し煩わしい」「システムを使うことで『そろそろ飲んだほうがいいのかも』と思うようになった」「頑張って飲んだ報酬とかがあれば続けられそう」などの意見があった。以上の結果から、大きな変化が見られなかった要因として、長期間使用することによってシステム使用の煩わしさを感じたり、より多く水分補給することのメリットを感じにくい点などが考えられる。このことから、システムをより使いやすくすることや使用期間に応じてユーザへ報酬を与えるといった改良を行うことでHydReminderの使用による更なる行動変容を促せる可能性があると考えた。加えて、水分摂取量増加によるメリットに合わせた目標設定などでユーザの水分補給へのモチベーションを向上・保持することも重要であると考えた。

また、今回の実験では実験環境やユーザの行動にばらつきがあり、制限なく実施されたことから、周辺環境状態など外的要因による変化の可能性も考えられる。そのため、外的要因による影響を可能な限り排除した実験環境下での実験を行い、さらに多くのデータを取得する必要があると考えた。

実験中のユーザのいた環境の温湿度の割合を表3に示す。

結果を見ると、気温 25°C 以下、湿度 40% 以上のデータが多く、大半を占めている。この原因として、本実験は冬季に集中して実施したことや、ユーザがオフィス等の比較的空調整備された空間にいたためと考えられる。そのため、今後の実験を通して高温多湿時に HydReminder を使用してもらい有用性の検証をする必要があると考える。

表3 Percentage of temperature and humidity during the experiment (%).

Temp(°C)/Humi(%)	-30%	30%-40%	40%-
-25°C	22.3	17	49.2
25-30°C	2.1	1.9	6.6
30°C-	0.8	0.1	0

6. まとめ

本研究では、水分補給不足を通知し、適切なタイミングで水分補給不足を解消するための水分補給支援システム HydReminder を開発し、その有用性を検証した。HydReminder は、ユーザの生体信号をもとに支援間隔をパーソナライズすることで、ユーザに適したタイミングで水分補給を促すことができるウェアラブル・デスクトップ両対応型水分補給支援システムである。HydReminder を使用した際に水分補給が促進されているかの確認及び HydReminder の印象を評価するために、水分摂取量の計測および SUS を用いた印象評価を行った。結果を見ると、HydReminder を 1 日 8 時間使用した場合、10 人中 10 人の水分摂取量が増加し、10 人中 9 人の水分摂取回数が増加した。また、HydReminder を 8 時間使用した被験者 10 人 SUS の平均スコアは 83.25 点であった。以上の結果から、HydReminder は非常に優れたユーザビリティを持ち、水分補給支援システムとして有用であることが示された。また、HydReminder を習慣的に使用した際にユーザの行動や習慣に変化が起こるかを検証するために水分摂取量の計測およびアンケート調査を行った。結果を見ると、システムを一定期間使用することによる水分補給習慣に大きな変化は見られなかった。一方で、HydReminder 使用前と比較し、HydReminder 使用后に水分摂取量が増加した被験者もいた。加えて、事後アンケートにおいて「システム使用による水分補給への意識変化はあるか」という問いに対し、被験者全員が「変わった」と回答した。以上の結果から、HydReminder の使用によりその後の水分補給習慣に変化を与える可能性が示された。

今後の展望として、現状では人間情報としてユーザの心拍数のみを活用していたが、皮膚電位や IMU といった複数の人間情報を組み合わせて用いることで、よりユーザの

状態を考慮したシステムへと改良できると考える。また、HydReminder を用いた行動変容検証実験のアンケートの自由記述欄からは「頑張って飲んだ報酬とかがあれば続けられそう」という意見があった。現状では、システムを終了してしまうとこれまでの水分補給結果が失われてしまうため、水分補給履歴をデータベースに保存し、月別、週別などで可視化することで長期的なモチベーションの向上につなげ、ユーザの水分補給習慣をより良くしていきたいと考える。

謝辞 本研究は、セコム科学技術振興財団の研究助成を受けたものである。

参考文献

- [1] サントリー サントリー次世代環境教育「水育人間」と水の関わり, サントリー (オンライン), <https://mizuiku.suntory.jp/kids/study/n004.html> 2021-7-12.
- [2] 総務省 令和 2 年 (6 月から 9 月) の熱中症による救急搬送状況, 消防庁 (オンライン), https://www.fdma.go.jp/disaster/heatstroke/items/heatstroke_geppou.2020.pdf 2021-7-12.
- [3] Beddoe, A., Burgess, R., Carp, L., Foster, J., Fox, A., Moran, L., Bennett, P. and Bennett, D.: Disruptabottle: Encouraging Hydration with an Overflowing Bottle, *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1-7 (online), 10.1145/3334480.3382959 (2020).
- [4] 井原敏宏「IoT と AI 普及の鍵は Nudge」NTT ファシリティーズが実証, 日経 XTECH (オンライン), <https://xtech.nikkei.com/it/atcl/news/17/011802980/> 2021-7-12.
- [5] 長田拓也, 鈴木拓央, 中内 靖 インテリジェント・コップによる服薬指導支援システムの提案, 日本機械学会論文集, Vol. 83, No. 853, pp. 1-7 (2017).
- [6] Lessel, P., Altmeyer, M., Kerber, F., Barz, M., Leidinger, C. and Krüger, A.: WaterCoaster: A Device to Encourage People in a Playful Fashion to Reach Their Daily Water Intake Level, *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1813-1820 (online), 10.1145/2851581.2892498 (2016).

高齢者の介護予防に向けた行動変容を促す介入方法の推定

早川昭二^{†1} 渡辺一郎^{†1} 上村拓也^{†1} 前田一穂^{†1} 烏谷彰^{†1}
富士通株式会社^{†1}

1. 背景

厚生労働省が提唱する健康寿命延伸プランでは、2040年までに健康寿命を男女とも3年以上延伸する目標と、その実現のために高齢者が要介護状態になることをできる限り防ぐ「介護予防」の重要性が示されている[1]。これに対し、先進的な自治体では、介護予防の施策として、行政と高齢者を繋ぐ「仲介者」となる行政保健師が直接自宅へ訪問して高齢者の状況を把握し、適切な介護予防行動を促す「アウトリーチ支援」が実施され始めている[2]。超高齢化社会の進展により、支援が必要な高齢者数は今後も増え続けることが予想されている一方で、「アウトリーチ支援」の担い手となる行政保健師数の伸びは少ない[3]。仲介者が増えない状況において、介護予防行動をする高齢者を増やすためには、少数の仲介者により効果的に介入していく必要があり、仲介者の介入スキルの向上や業務効率化が必須となる。「アウトリーチ支援」で介護予防行動を促す訪問勧奨業務を支援する技術の実現により、地域住民の健康寿命延伸に寄与することを目指している。

2. 本研究の課題と解決アプローチ

従来の訪問勧奨業務では、保健師が訪問現場で得た介入の成功ノウハウは、保健師の職場での事例共有会などにおいて「成功事例」として共有されていたが、データとしてチーム内に共有する仕組みがなかった。そこで、このような成功ノウハウを共有し、他の保健師が効果的にそのノウハウを活用可能にするシステムを提供することで、訪問勧奨業務を支援することを考えた。

2.1 行動変容を促すための介入プロセスに関する分析

介入の成功ノウハウを共有する仕組みの実現のため、訪問現場において、仲介者である行政保健師や社会福祉士がどのように介入手段を選択し行動変容を促しているのかをヒアリング調査した。その結果、訪問先の部屋に置かれている物や生活状況の聞き取りといった情報から、その人の特性や傾向、行動の障壁となっている問題(阻害要因)などを探り、適切な介入方法を選択・実施することで、高齢者の意識や状況を変えて行動変容を促している実態を把握した。ここで得た実態を踏まえ、図1に示すような3段階からなる介入選択プロセスの仮説を立てた。

このプロセスは①訪問時に着目した高齢者個々人の特性

を表す要因群を見極める過程(特に行動変容の成否への影響の大きい要因)、②要因群に基づき有効と判断した介入を選択する過程、③介入による意識変化や行動変容の成否結果、からなる。ここで、②から③の間において、介入により直接的に行動を変容させるのではなく、介入によって高齢者の阻害要因を取り除き「これなら自分にもできる」と自信を持たせるなど、外面的・内面的要因を変化させて行動を変容させることを考える。この介入と行動変容との間を工学的に表現することが、介入の成功ノウハウをチーム内に共有・活用する仕組み実現する上での技術課題となる。

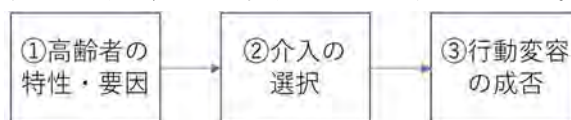


図1: 仲介者の介入方法選択のプロセス

2.2 介入により行動変容するメカニズムについての仮説

介入と行動変容の間を繋ぐメカニズムを工学的に表現するため、行動要因という説明変数を導入した。行動要因とは、高齢者それぞれの自己効力感やモチベーション、知的・身体的能力、社会的支援の状況などのように、目的の行動を起こす際に、十分であれば行動を起こしやすくなり、不足すれば行動を阻害するような要因のことである。これらの行動要因は、図1中の①、②の過程で、仲介者が実際に介入方法を選択する際にも考慮している重要な要因であり、BJ FoggのMAPモデル[4]や、社会的認知理論[5]、COM-B[6]などの行動変容理論でも用いられているものである。これらの解釈可能な要因群について、介入による改善量を推定・提示し、行動変容の成否を説明可能とすることで、支援システムを利用する仲介者の納得性も高められると考えた。

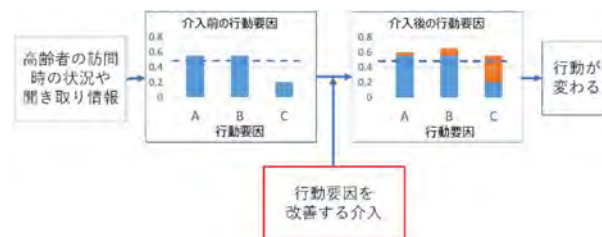


図2: 介入による行動変容メカニズムの仮説

導入した行動要因が介入により改善し、行動変容するメカニズムを工学的に表現した仮説を図2に示す。図では、訪問時の高齢者の状況や聞き取りといった情報から、介入前の行動要因A,B,Cを推定したとする。ここで、要因C(例

Estimation of Intervention Methods to Promote Behavior Changes for Care Prevention in the Elderly
†1 SHOJI HAYAKAWA, Fujitsu Ltd.
†1 ICHIRO WATANABE, Fujitsu Ltd.

†1 TAKUYA KAMIMURA, Fujitsu Ltd.
†1 KAZUHO MAEDA, Fujitsu Ltd.
†1 AKIRA KARASUDANI, Fujitsu Ltd.

えば自己効力感とする)が行動に移すのに必要なしきい値(ここでは便宜的に0.5であるとする)を下回り、これが阻害要因となって行動できていなかったことを想定している。

それに対して、「行動要因を改善する介入」を行うことで、要因Cの値が改善してしきい値を超える(自己効力感が改善される)ことで、行動が変わるメカニズムを考えた。

すなわち、介入前の行動要因に、介入によって決まる改善量を加算した結果、行動要因がしきい値を超えて行動が変わるメカニズムである。

我々の研究[7]では本メカニズムを検証する予備実験として、訪問勧奨時に取得したアンケート等の業務データから行動変容に与える影響が大きいと考えられる行動要因を抽出・定量化し、算出した行動要因から、新規の高齢者であっても行動状態を予測できる可能性を示した。本稿では、訪問勧奨時に、対象高齢者に対して行った介入方法と、保健師が判断した介入前後の行動変容ステージ情報を用いて、介入により行動要因の値が改善し、その結果として行動状態が変容するメカニズムを統計的にモデル化する手法を提案し、実データを用いてその検証を行ったので報告する。

3. 介入による行動変容のモデル化

本章では、前章で示した行動変容メカニズムのモデル化方法について述べる。

3.1 行動状態の識別モデルと行動要因の改善量推定モデル

2.2節では二つの仮定を設定した。一つ目は、「対象者の行動要因によって行動状態が決まる」であり、二つ目は、「介入によって行動要因が改善し、その結果として行動変容する(行動状態が介入前と変わる)」である。それぞれに対応した、以下に示す二つのモデルを考えた：

- モデル1: 行動要因から行動状態を識別する機能
- モデル2: 介入による行動要因改善量を推定する機能

モデル1は行動要因を入力し、その行動状態を出力する識別モデルである。このモデルは過去の発表[7]において報告済である。モデル2は、高齢者の行動要因と介入方法の情報を入力し、各行動要因の改善量を推定する回帰モデルである。

3.2 モデル全体の構造

図3にモデル1とモデル2を連結した、介入による行動変容メカニズムのモデル全体を示す。図2で示した介入前の行動要因の値に、介入による改善量が加算されるメカニズムを図3中の加算器で実現している。すなわち、介入が行われると、図中のスイッチが入り、介入前の行動要因に、モデル2によって推定された改善量が加算器で加わり、その結果、ノードが行動要因に対応した入力層に介入後の行動要因が入る仕組みである。

以降、モデル1とモデル2それぞれの学習方法について

述べる。まずモデル1のみを単独で学習し、次にモデル1のパラメータを固定した状態で、モデル2の学習を行う。なお、以下の図や説明では、行動状態の識別について、行動変容ステージ[8]の「無関心期」なのか、「関心期以上」なのかを識別することを例題としている。

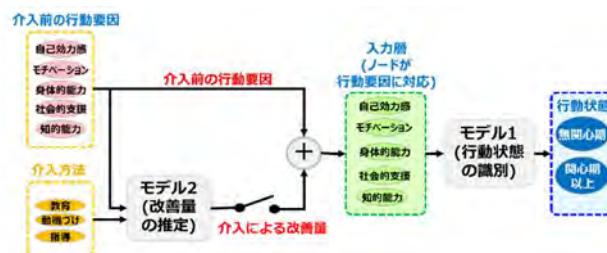


図3: 行動要因の改善量を推定するモデル

3.3 行動状態の識別モデル(モデル1)の学習

モデル1は、高齢者それぞれの介入前の行動要因を入力ベクトルとし行動状態の識別結果を出力する、いわば静的な関係を表す関数である。そこで行動要因を説明変数として、無関心期の高齢者の集団と、すでに関心期以上である高齢者の集団を識別するモデルを学習する。図4に多クラス分類ロジスティック回帰であるモデル1を示す。モデル1は重み W_1 、バイアス b_1 、活性化関数としてソフトマックス関数および”無関心期”と”関心期以上”の二つのノードを持つ出力層で構成される。パラメータ W_1, b_1 は誤差逆伝播法により学習する。

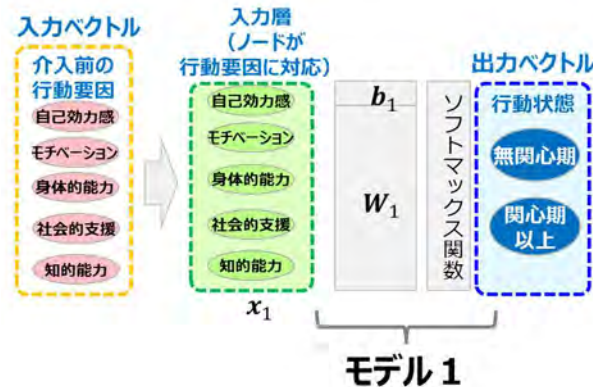


図4: モデル1の学習

3.4 行動要因の改善量推定モデル(モデル2)の学習

モデル2は、学習済のモデル1を活用し、図3のスイッチをオンにして、ニューラルネットワークとして学習を行う。図5に学習時の構成を示す。モデル1のパラメータを固定した状態で、入力ベクトルを、介入前の行動要因の値と実施された介入方法(1種類の場合はone-hotベクトル、2種類の場合は”two-hot”ベクトル)とし、出力ベクトルは実際の介入後の行動状態を教師データとして学習を行う。

次にモデル2の内部構造を説明する。図5の①部分は介入前の行動要因と介入方法を一緒に入力して、交互作用の効果を算出する部分である。次に②部分は①の算出結果に

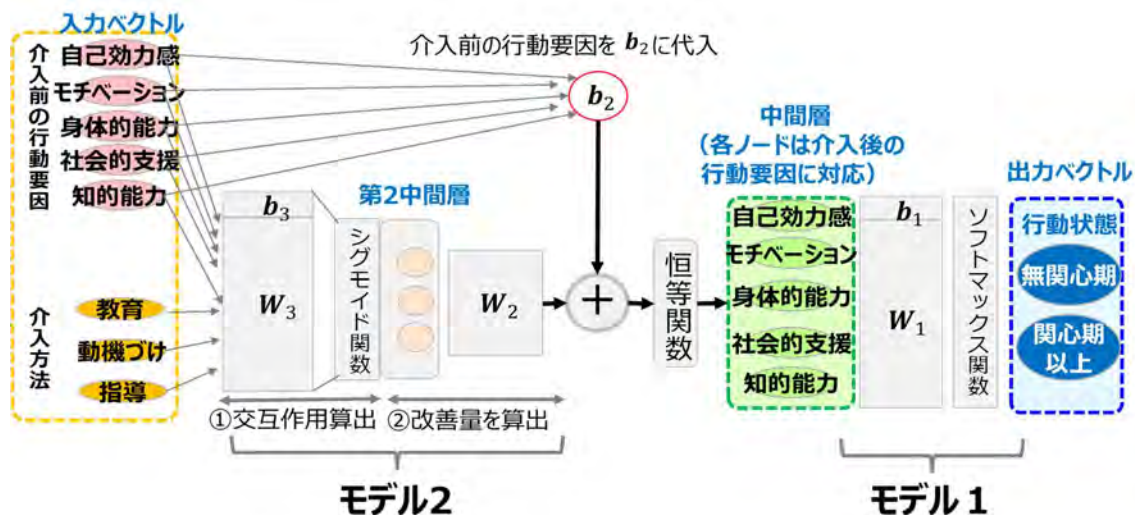


図 5：モデル 2 学習時のニューラルネットワークの構成

に基づいて、各行動要因に対する介入による改善量を求める部分である。学習時において、3.3 節で学習済のモデル 1 は誤差をモデル 2 に伝播するために使い、モデル 2 のパラメータ W_2, W_3, b_3 を誤差逆伝播法により更新した。

モデル 1, 2 が学習できれば、新規の高齢者に対して、行動変容する確率の高い介入方法を推定できる。次節では、提案したモデル 2 を実データで検証する。

4. 実験

本章では、実際の保健勧奨の現場において高齢者から聞き取ったアンケートデータを用いて、前章で提案したモデルにより効果的な介入方法を推定できるか検証した結果について述べる。

4.1 実験データ

実験データには、ある自治体で行われた訪問勧奨業務の対象となった高齢者 70 人分のデータを用いた。データには、高齢者への介入方法（複数種の介入も含む）と、仲介者が判断した介入前後の行動変容ステージの情報を含んでいる。その内訳を表 1 に示す。また実験に用いた行動要因の値は、研究発表[3]に記載した、健康状態や日常生活に関するアンケートデータを SEM で分析し因子得点化する方法で算出した。

表 1：実験に用いた高齢者の内訳

モデル 1 の学習に用いた高齢者数	<ul style="list-style-type: none"> 介入前が無関心期: 37 名 介入前が関心期以上: 33 名
モデル 2 の学習・評価に用いた高齢者数	<ul style="list-style-type: none"> 介入前が無関心期で介入後も無関心期: 29 名 介入前が無関心期で介入後に関心期以上へ移動: 8 名

4.2 学習条件

モデルの学習・評価は少数データであったため Leave-one-out CV (LOOCV) により実施した。モデル 1 は無関心期と関

心期以上を識別する必要があるため、表 1 に示す計 70 名分のデータを用いて学習した。またモデル 2 は、介入前の行動状態が無関心期の高齢者が介入によって関心期以上に遷移するかを学習するため、表 1 に示す介入前が無関心期の高齢者計 37 名のデータを用いて LOOCV 評価した。各モデルの学習条件は以下の通りである：

- モデル 1 のエポック数: 500
- モデル 1 の学習率: 0.01
- モデル 2 のエポック数: 1000
- モデル 2 の学習率: 0.1

4.3 介入後の行動状態の推定結果

モデル 2 による介入後の行動状態の推定精度、すなわち、介入前の行動要因と実施された介入方法を入力することで、正解データ通りの行動状態を出力できるかを、評価した。結果を表 2 に示す。正解率は 68%(25/37)、再現率は 75%(6/8)、適合率は 38%(6/16) という結果となった。

表 2：介入後の行動状態の推定結果

		推定結果	
		無関心期	関心期以上
正解	無関心期のまま	19人	10人
	関心期以上に遷移	2人	6人

4.4 考察

前節で学習したモデルが、図 2 で示したような介入により行動要因が改善されるメカニズムを実現できているか、図 5 の中間層に入力される介入前の行動要因と改善量の値を取り出して確認した。図 6 に介入により関心期以上に遷移した高齢者の例と、介入しても無関心期のままの高齢者の例をそれぞれ 2 名について、介入前の行動要因と加えた改善量を 5 種類の行動要因ごとに示す。介入により関心期以上へ遷移した高齢者 2 例については、ほとんどの行動要因において改善量が加算されていた(図 6 上)。また、例 1 で

は「動機づけ」の介入によりモチベーションが改善しているのに対し、例2では「訓練」の介入により身体的能力が改善しており、介入によって改善する行動要因が異なる傾向が見られた。一方、介入しても無関心期の高齢者2名に対しては、改善量が小さいか、マイナス方向に加算されていた(図6下)。実際の介入後の行動要因と比較を行う必要はあるものの、図2で提案した、介入による行動要因の改善量を介入前の行動要因に加算するモデルにより、行動変容のメカニズムを表現できる見込みを得た。また、介入前の行動要因と介入方法を入力することで、意図通りに改善量の推定ができていることから、事前に対象者の行動要因が分かれば、その対象者を行動変容されるうえで有効な介入方法を予測できる可能性を示すことができた。

5. まとめ

本稿では、介入により行動変容するメカニズムを、説明変数として行動要因を導入したモデルで表現する方式を提案し、実際の訪問勧奨業務において収集されたデータを用いて検証した。実験の結果、介入により無関心期から関心期以上にステージが遷移している高齢者は、説明変数である行動要因が改善されており、行動変容のメカニズムの確からしさを裏付けることができた。また、新規の高齢者に対して、ステージ遷移に有効な介入方法を確率的に予測できることを示した。これにより、他の保健師の介入方法のノウハウをモデルで表現でき、新規対象者に対しても他の保健師が成功率の高い介入方法を知ることができるようになり、ノウハウの共有に有用であると考えられる。今後は、高齢者数を増やして実験を行い、精度改善を図る。また、推定した行動要因と似た高齢者の過去事例の検索可能なアプ

リケーションの検討など[9]、訪問勧奨業務に従事する保健師を支援可能なシステム検討を進める。

参考文献

- [1] 厚生労働省 HP, “現在の健康づくりの取り組みと今後の施策について”, 厚生労働省健康局健康課, 2021年3月19日
- [2] 厚生労働省 HP, “高齢者の保健事業と介護予防の一体的な実施について”, 2018年9月6日
- [3] 厚生労働省 HP, “令和2年衛生行政報告例(就業医療関係者)の概況”, 2022年1月27日
- [4] BJ Fogg 著, 須川訳, “習慣超大全”, ダイアモンド社, p. 50, 161 (2021).
- [5] 中澤ら, “社会的学習理論から社会的認知理論へ-Bandura理論の新展開をめぐる最近の動向-”, 心理学評論, vol. 31, no. 2, pp. 229-251 (1988).
- [6] Michie, S. et al., “The behaviour change wheel: A new method for characterizing and designing behaviour change interventions,” *Implementation Science*, vol. 6, no. 42, (2011).
- [7] 早川ら, “高齢者の介護予防行動を決定する要因に関する研究”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2022 論文集, pp. 590-594 (2022).
- [8] Prochaska JO, et al., “The transtheoretical model of health behavior change,” *American Journal of health promotion AJHP*, vol. 12, no. 1, pp. 38-48 (1997).
- [9] 田口ら, “業務経験の分析に基づく適切な参照面談事例の提示による保健師の育成支援”, 情報処理学会第85回全国大会講演論文集 (in printing) (2023).

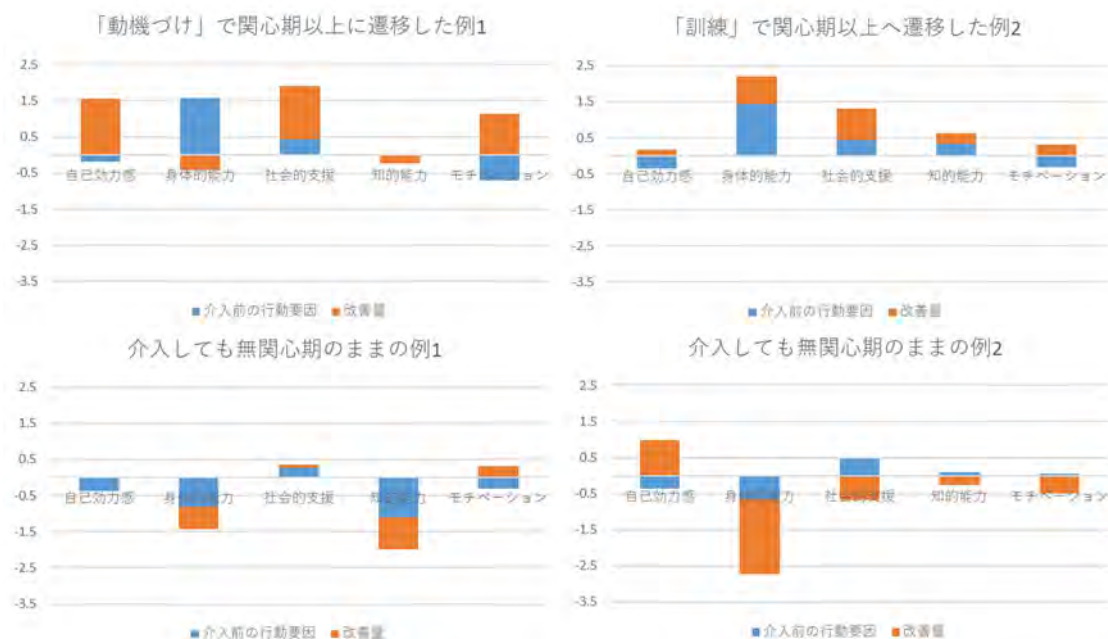


図 6: 介入前の行動要因と改善量の例

(上: 介入により関心期以上へ遷移した高齢者2例、下: 介入しても無関心期のままの高齢者2例)

目標宣言共有型プラットフォームを用いた ソーシャルナッジの量的質的効果の評価

濱谷尚志^{†1} 落合桂一^{†2} 山田渉^{†3}
 NTT ドコモ^{†1} NTT ドコモ^{†2} NTT ドコモ^{†3}
 檜山聡^{†4} 白井拓也^{†5} 荒川豊^{†6}
 NTT ドコモ^{†4} NTT ドコモ^{†5} 九州大学^{†6}

概要

健康寿命延伸の実現のため、健康的な行動を習慣化することが重要である。習慣化を支援するためスマートフォンのアプリケーションを用いた取り組みが数多くなされている。本研究では、ソーシャルネットワークサービスでの繋がりを通じて、仲間との関わりを通じた習慣化支援技術について検討を行う。具体的には、健康的な行動の目標を立てて、仲間から応援を受けることにより目標達成が支援されること、さらに、応援を受ける仲間との親密さに応じて、同じ応援1回でも目標達成後押しに対する効果が異なるという仮説を検証する。実際に大学生504人の約3ヶ月半にわたる歩数データ、歩数目標宣言データを取得し評価を行った結果、目標宣言を行うこと自体に歩数を増加させる効果があること、目標宣言に対して応援を受けることで歩数が増加すること、および応援を受ける相手との過去のコミュニケーション履歴に応じて、歩数の増加効果の大きさに差異があることが示唆された。

1. 研究概要

高齢化の進展および疾病構造の変化により、日本では生活習慣病の予防、社会生活を営むために必要な機能の維持および向上等による、健康寿命延伸の実現が求められている[1]。生活習慣病の予防、身体機能の維持のためには、健康的な生活習慣の定着が欠かせない。習慣化のために、身近なデバイスであるスマートフォンやスマートウォッチ等のモバイル端末を活用した支援が重要となってきた。

スマートフォンを活用した健康的な習慣づくり支援の取り組みとして、毎日の歩数に応じてポイントを付与するサー

ビスが提供されている*1。また、健康に限らず、一人ひとりが望む習慣化を支援するため、同じ目標を掲げるユーザ同士でグループを形成し、グループ内のユーザ間で日々の目標達成状況を共有することで、習慣化を支援するサービスが存在する*2。このサービスでは、ユーザに対してポイントなど金銭的価値を持つ報酬を付与することなく、仲間との関わりを通じて習慣づくりを支援している点が特徴的である。

我々は、仲間との関わりを通じた習慣化支援に関してより追求できる観点があると考えた。具体的には、ユーザ同士の親密さに応じて、相手からの応援行為による行動変容への寄与度が変動しうること、すなわち、応援を行うかどうかの量的な観点だけでなく、どういった相手から応援を受けるかどうかの質的な観点が重要であるという仮説を立てた。この仮説について、著者らの先行研究[2]により、ソーシャル・ネットワーク・サービス(SNS)の公開データを用いた検証により、運動継続に関して応援(いいね!)の量だけでなく誰からの応援なのかも影響しうることを確認しているが、相関分析にとどまっており、因果が明らかになっていない課題が残っていた。

本研究ではこの課題解決を目的として、応援による運動促進効果を因果も含めて分析するため、学生を対象として、目標を宣言し他者と共有することができるSNSサービスを実装し、約3ヶ月にわたる目標宣言、ならびに歩数のデータを収集した。データ収集期間において、目標宣言をサービス内の機能として実装する前後のデータを用いることで、目標宣言を行うこと自体の効果、ならびに目標に対して応援されることの量および質的な効果を明らかにすることを目的とし、取得したデータについて目標宣言機能開始前後の差分の差分分析、および回帰分析の一手法の固定効果モデルを用い、目標宣言の実施や応援を得るかどうかの変数の回帰係数値として定量的な効果を推定した。

その結果、歩数目標宣言の実装後に歩数目標宣言を実施したユーザ群において、以降の期間において対照群に対し歩数の平均値が有意に高いことを確認し、歩数を増加させ

Evaluation of Quantitative and Qualitative Effect of Social Nudge Platform

^{†1} TAKASHI HAMATANI, NTT DOCOMO, INC.

^{†2} KEIICHI OCHIAI, NTT DOCOMO, INC.

^{†3} WATARU YAMADA, NTT DOCOMO, INC.

^{†4} SATOSHI HIYAMA, NTT DOCOMO, INC.

^{†5} TAKUYA SHIRAI, NTT DOCOMO, INC.

^{†6} YUTAKA ARAKAWA, Kyushu University

*1 dヘルスケア, <https://health.docomo.ne.jp/>

*2 みんなチャレ, <https://minchalle.com/>

る効果を確認するとともに、歩数の増加効果が9週間にわたって継続することを確認した。さらに、固定効果モデルによる検証により、宣言した目標に対する他者からの応援に関して、応援1回ごとに歩数の平均値が約289から571歩増加すること、ならびに、過去のコミュニケーション回数が多いユーザからの応援は、過去にコミュニケーション履歴がない相手と比較して歩数を約2倍増加させることを確認し、応援の量的・質的な効果を確認した。

2. 関連研究

運動や読書などの習慣化のために、エーテンラボ株式会社より「みんなチャレ」というサービスが社会実装され、習慣化に挑戦したいユーザを中心に活用されている。このサービスでは、読書の習慣化や体重の減少など同じ目標を目指すユーザが匿名で5人集まり、チームで報告を行ったり、挑戦が途切れる日が続くとチームを脱退させられるなどの仕掛けにより習慣化を高める支援を行っている。「みんなチャレ」では同じ目標を持った仲間からの働きかけのより社会的な繋がりをうい行動変容の後押し（本研究ではソーシャルナッジと呼ぶ）を実現している。

みんなチャレではチームの仲間の頑張り度合いが自身の行動変容にも影響すると考えられる。例えば、継続率が高いチームにおいては、皆が頑張っているという同調圧力（ピアプレッシャー）が強くなることに対し、継続率が低いチームにおいてはピアプレッシャーが弱まると考えられるため、どういう仲間とチームを組むかが重要な要素となりうる。先行研究においても、チームを組むだけでなく競い合う設計にすることが重要であることや[3]、行動変容を目的としたチームの設計において感情的なサポートや情報的なサポートが求められていることなどが明らかになっている[4]。

著者らの先行研究[2]では、チームという概念を拡大し、SNSの一つであるTwitterの公開情報を用いた検証により、ダイエットの継続において応援（いいね!）の量だけでなく誰からの応援なのかという質的な観点も影響しうることを確認した。この研究では継続と応援の相関性 ($|R| \approx 0.357$) を認めたものの、継続したことに対する称賛なのか、称賛を受けたことによる継続成功なのかという因果が明らかにならない課題があった。

3. 問題設定

本研究では、計測が容易であること、および一日単位で行動変容を起こすことが容易であると考えられることなどから、運動の指標として歩数に着目する。さらに、歩数を単に計測するだけでなく歩数の目標宣言や応援を行う機能を提供し、研究目的のアプリケーションを配布することで、目

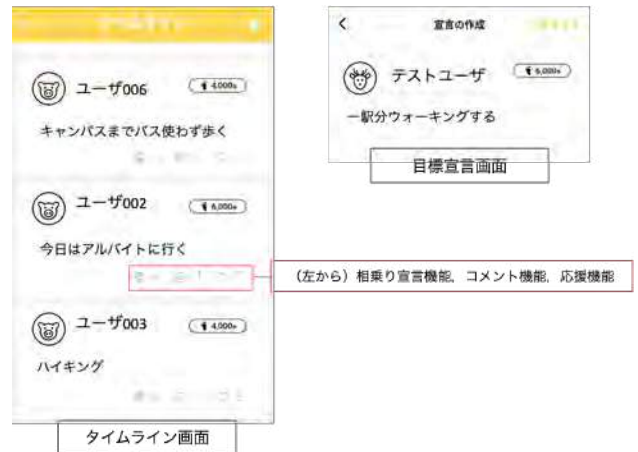


図1 研究用アプリケーションの概要

標宣言や応援の実績データを収集する。このとき、目標宣言や応援を行う機能を時間差で提供し、歩数を宣言しない期間と、歩数を宣言することができる期間を意図的に作り出し、これらの期間の差分を比較することで、目標宣言や応援が歩数に与える因果的效果を分析することを目指す。

アプリケーションでは、行動変容のための仕掛け（ナッジ）を取り入れている。例えば、ナッジのフレームワーク EAST [5] に基づき、他の人の目標宣言を見られるようにすることで、他の人の目標宣言に応援やコメントを付けられるようにすることで、Social の観点を取り入れる。また目標を宣言すること自体も MINDSPACE フレームワーク [6] におけるコミットメントとして知られている。さらに、歩数などの目標宣言を自主的に作成することだけでなく、他の人の目標に相乗りすることでより容易に宣言する機能を取り入れている（Easy の観点）。さらには、プッシュ通知によって応援されたことを知らせる機能により、Timely にユーザに働きかけることを目指す。

さらに、すべての機能を実装したアプリケーションを配布、ユーザが利用開始するのではなく、当初歩数の計測だけを行う期間を設け、その後、目標宣言などの社会的な行動変容のための機能を提供することで、ベースラインの歩数を取得し評価に組み込むことで、目標宣言などの機能の追加に伴う因果的な効果の分析を行う。

4. システムを利用した実データ収集

歩数と応援の関係分析に必要なデータを取得するため、本研究では九州大学の学生を対象に研究用アプリケーションを提供する。アプリケーションの概要を図1に示す。アプリケーションでは、歩数を計測する機能と、歩数の目標をリストから選んで宣言する機能（歩数宣言）、他の人の目標宣言に対して相乗り（同じ目標を宣言する機能）や、応援やコ

メントを送る機能を有する。また、歩数に限らず、勉強などの利用者自身が達成したい目標を宣言し、手動で達成を報告する機能（自由目標宣言機能）を有する。歩数を計測する機能では、各 OS で提供されている計測用の API を利用し歩数を取得する。歩数の目標を宣言する機能では、歩数を 4,000 歩、6,000 歩、8,000 歩、10,000 歩の中から選択し、自由記述のコメントと合わせて宣言することができる。宣言された目標は、他のユーザがアプリケーションを利用したときに最初に表示される画面（タイムライン）において表示され、目標を見たユーザは応援（ハートマーク）やコメント（自由記述）を送ることができる。コメントや応援を受領したユーザには、OS のプッシュ通知機能により通知が送信される。

上記のアプリケーションを、研究参加およびデータ提供の同意を得た被験者を対象に配布し、2022 年 7 月 1 日よりデータの収集を開始した。後段で因果的効果を検証するため、アプリケーション提供開始当初は歩数宣言は実装せず、歩数はバックグラウンドでデータ取得するのみとした。したがって、当初は自由宣言機能と応援・コメント機能のみのアプリケーションをユーザは利用し、応援やコメントなどのコミュニケーションを行いつつ、自己の目標管理のためにアプリケーションを利用した。なお、自由宣言は一日に何回も実施可能、歩数宣言は一日一回のみ宣言可能であり、研究参加者には研究参加に対する謝礼として、アプリケーションの利用日数に応じたポイントを配布した。ポイントの配布は自由宣言や歩数宣言、歩数といったアプリケーション内での行動と独立して行うことで、歩数の宣言や歩数といった行動実績とインセンティブは独立に設計した。その後、8 月 16 日より歩数宣言機能を提供開始し、歩数の目標宣言ならびに応援によるデータの取得を開始した。データの収集は 2022 年 10 月 17 日まで行い、研究期間中の参加者も含め研究参加者は最終的に 504 人となり、のべ 26,456 日の歩数データを収集した。8 月 1 日から 8 月 15 日は、アプリケーションで想定外のバグが生じており、歩数データを連携できない事象が発生していたため、次章の評価においては、8 月 1 日から 15 日のデータは含めないものとする期間中の歩数宣言の総数は 112 人による合計 374 件であり、自由宣言の総数は 313 人による合計 3,516 件であった。歩数宣言への応援は 158 人による 5,961 件、コメントは 29 人による 178 件、自由宣言への応援は 294 人による 18,092 件、コメントは 92 人による 1,483 件であった。

以上の特性から、研究参加者のうち約 22% が歩数宣言を利用するが、他のユーザは歩数を宣言せず、自由宣言や他のユーザの宣言にコメントをするなどの利用にとどまっていることがわかる。また、応援機能とコメント機能を比較すると、応援機能の利用数がコメント機能を大きく上回っており、簡単な操作（応援アイコンのタップ）のみで実施でき

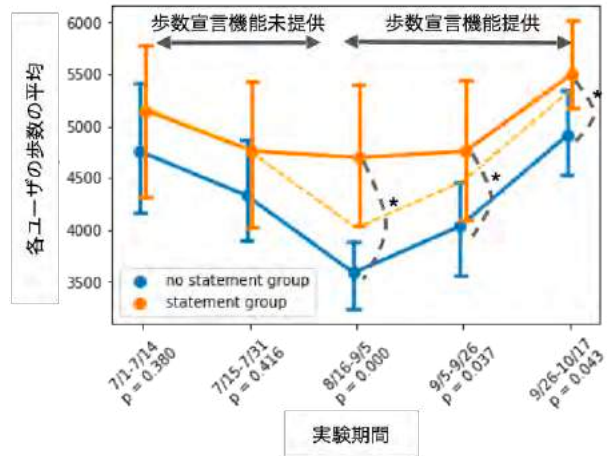


図 2 歩数宣言の有無による影響

る応援行動が支持されていることがわかる。

5. 評価結果

前章で述べたデータセットを用いて、歩数の宣言や応援という行動と歩数の関係性を分析し、ソーシャルナッジの効果を明らかにするため、本章では以下 2 つの方針で分析を行う。

1. 歩数目標の機能の有無が分かれる期間を比較することにより、歩数宣言自体の効果を測る。
2. 歩数宣言がある条件のもとで、宣言の有無や応援の有無による効果を測る。

5.1. 歩数宣言自体の効果の評価

歩数宣言自体の大局的な効果を評価するため、歩数宣言機能をリリースする前後における歩数を比較する。今回のデータ取得期間は 7 月から 10 月と夏季から秋季にわたり、この時、歩数には季節的な影響が含まれるものと考えられるため、単に歩数宣言機能のリリース前後を比較すると季節的な影響が混在する評価となってしまう。そのため、本研究では差分の差分法 [7] を用いて、歩数宣言機能の実装後に歩数宣言機能を利用した群 (N=112) と利用しなかった群 (N=392) の差を時系列的に比較することで季節的影響の除去を試みる。評価においては、歩数宣言機能リリース前の二群のトレンドが並行しているかどうかを確認するため 2 週間ごとに 2 つの期間に分け、さらに、歩数宣言機能リリース後の持続効果を検証するため、リリース後の期間を 3 週間ごとに 3 つに分けて評価を行った。

図 2 に 5 つの期間における歩数宣言実施群と不実施群の各ユーザの歩数の中央値について、中央値と信頼区間を示す。歩数は天気や気温、その人の用事などの外的要因の影響

を受けやすい値であるため、本研究ではユーザの内的なモチベーションによる歩数の傾向がより現れやすいと考えられる中央値を各ユーザの代表値として用いた。さらに、各群における中央値の分布に関して、マンホイットニーのU検定を用い、統計的に有意な差が生じているかどうかを確認している。

図2の結果より、歩数宣言のリリース前の2期間においては、2群における中央値の分布には有意差が生じていないことが確認できた。一方で、信頼区間としては重なりがあるものの、傾向としては宣言ありの群のほうが歩数の中央値が大きいユーザが多いとは解釈できる。これは、歩数宣言を行うユーザの中には、もともと歩数が多いから宣言を行う、すなわち宣言を行うから歩数が増えることと逆の因果を伴っている可能性があることが示唆されている。

さらに、歩数宣言リリース前の2期間を比較すると、2群の平均値が並行に推移していることが確認できる。このことにより、歩数宣言をリリースした以降の期間も並行するトレンドを仮定することができるため、破線で仮定した並行トレンドを示す。破線で示した並行トレンド（宣言実施の群において、宣言を実施しなかった場合の仮定）と、宣言実施の群を比較すると、差が生じていることがわかる。この差について、季節的な影響を除去した上で歩数宣言によってもたらされた効果と捉えることができる。また、破線と宣言実施群の差を比較すると、歩数宣言実装直後の3週間において宣言実施群の歩数が大きく上回っており、宣言実施群と未実施群でも歩数の差が大きく開いていることが分かる。このことより、歩数宣言を提供開始したことにより、歩数が増加したことが示唆される結果となった。加えて、マンホイットニーのU検定による検定結果によると、歩数宣言実装後の3期間（9週間）にわたって統計的に有意な差が継続していることが分かる。

以上の結果より、歩数宣言の実施前後において、歩数宣言の実施前は2群間の歩数分布に有意差が生じていなかったことに対して、歩数宣言実施後は2群間の歩数分布に有意差が生じ、かつ9週間に渡って有意差が継続していることから、アプリケーション内で歩数を宣言し他のユーザから見える状態にする行為によって歩数が増加する効果があったものと考えられる。このことから、ナッジのフレームワークとして知られるMINDSPACE[6]における一つの手法であるコミットメント（目標を公言すること）が、歩行という行動変容達成においても効果をもたらしたといえる。

5.2. 歩数宣言における宣言有無や応援の効果の評価

前節の評価により、「歩数宣言を行うか否か」という観点において、歩数宣言を行うことの効果は差分の差分分析によって明らかになった。本節では、歩数宣言によって歩数を増加

させる効果が生じるという前提の元で、歩数宣言に付随する応援やコメント、相乗りといった他のユーザからの働きかけの効果を定量的に測ることを目標とする。そこで、本研究ではユーザのソーシャルナッジに関する行動を変数化したうえで、パネルデータ分析でよく用いられる固定効果モデルを用いたフィッティングにより行動の効果を回帰式の係数として定量化する。

ソーシャルナッジに関する行動は、歩数宣言の実施だけでなく、自身の目標宣言に相乗りされること、応援されること、およびコメントされることが考えられる。上記の行動のうち、相乗りとコメントに関してはそれぞれ28件、178件と応援の5,961件と比較して数が少ないことから、分析の簡単のため相乗りとコメントは本研究における分析対象からは除外することとした。さらに前節の評価により、歩数宣言を行うユーザと行わないユーザの数に偏りがあることが確認できたため、サンプル数の調整を行うことで偏りの影響を低減する。具体的には、歩数宣言を行うかどうかをアウトカム、歩数の平均値と標準偏差、研究参加日数を共変量として傾向スコアによるマッチングを行い、歩数宣言を行うユーザとそうでないユーザの数を均一にした上で、固定効果モデルへのフィッティングを行う。

各行動の重みを詳しく分析するため、歩数宣言については初回の宣言と、二回目以降の宣言かどうかを別々のダミー変数として定義する。また、応援に関しては、先行研究において誰から応援されるかが重要であると知見を得ていることから、応援された相手かという相手かを考慮するため、過去にも応援されたことがある相手かどうかを考慮する。具体的には、各ユーザの過去の歩数宣言だけでなく自由宣言への応援も含め、「過去に応援されたことがない相手かどうか」「過去に1度応援されたことがある相手かどうか」「過去に2度以上応援されたことがある相手かどうか」の3つに場合分けを行った。ここで、閾値としては1回と2回を設けているが、これは今回収集したデータに基づき、それぞれの場合分けされたサンプル数が可能な限り均等になるように選定した。

以上の条件のもと、具体的には以下の回帰式を用いる。

$$\begin{aligned} Steps_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \cdot Statement_1 + \alpha_2 \cdot Statement_2 \\ & + \alpha_3 \cdot Like_0 + \alpha_4 \cdot Like_1 + \alpha_5 \cdot Like_2 \\ & + \sum \beta_i \cdot Individual_i + \sum \gamma_t \cdot Day_t + \epsilon_{it} \end{aligned}$$

ここで、 $Statement_1$ と $Statement_2$ は初回の歩数宣言であること、2回目以降の歩数宣言であることであることを表すダミー変数であり、 $Like_0$ 、 $Like_1$ 、 $Like_2$ はそれぞれ過去に応援されたことがない相手からの応援の数、過去に1回応援されたことがある相手からの応援の数、過去に2回以上応援されたことがある相手からの応援の数をそれぞれ表す。また、 $Individual_i$ は各ユーザを表すダミー変数、 Day_t

表 1 歩数宣言実施と歩数宣言への応援が歩数に与える影響

	Parameter	Std. Err.	T-stat	P-value	Lower CI	Upper CI
	α_0	6381.0	119.71	53.306	0.0000	6146.4 6615.7
	α_1	-211.92	235.49	-0.8999	0.3682	-673.53 249.69
	α_2	-528.76	278.84	-1.8963	0.0579	-1075.3 17.810
	α_3	289.61	125.08	2.3154	0.0206	44.428 534.78
	α_4	370.06	157.52	2.3493	0.0188	61.294 678.83
	α_5	571.85	72.457	7.8923	0.0000	429.82 713.87

は各日付を表すダミー変数である。以上の式に実際のデータを当てはめることで回帰係数 α_0 から α_5 を推定する。各ユーザを表すダミー変数を導入することで主体固定効果、日付を表すダミー変数を導入することで時間固定効果を考慮する。

表 1 に歩数宣言の実施、ならびに歩数宣言への応援が歩数に与えた影響を示す。表では、Parameter 列に推定されたパラメータ（歩数）を表す。すなわち、 α_0 の行では、切片として 6381 歩、すなわちユーザの個人差や日付による差を除いた上で、すべてのユーザはそれぞれの日で、平均的に 6381 歩歩いていることを示している。その前提のもとで、歩数宣言を実施するかどうかの係数 α_1 と α_2 は負の値を示しており、歩数宣言を行うことは歩数を下げる方向に寄与するように見える。その一方で、応援の係数 α_3 , α_4 , α_5 が正の値であること、ならびに応援は歩数宣言を行っていないと実施できないことから、これらは打ち消し合って、応援の数に応じて歩数が増加していくことを示していると考えられる。また、宣言したにも関わらず、応援がゼロであると、最終的な歩数については負の影響を与えるということも示している。ただし、p 値は有意水準 5% の条件のもとでは有意な効果であることは認めない。

応援の係数 α_3 , α_4 , α_5 に着目すると、p 値は有意水準 5% を下回っており、応援が歩数に正の効果をもたらすことは有意であるといえる。さらに、パラメータの値の大小関係が $\alpha_3 < \alpha_4 < \alpha_5$ と過去の応援の量に応じて大きくなっていることから、応援される相手との過去のコミュニケーションの量に応じて、応援が歩数にもたらす質的な効果が増幅されることが示唆されている。以上の結果を踏まえると、歩数目標を宣言すること自体の効果は有意ではないが、宣言した目標に対して他者より受け取る応援については、歩数に対し正の影響を与えることを定量的に確認できた。

6. まとめ

本研究では運動の習慣化を目的とし、普及している SNS サービスを利用したソーシャルナッジの手法を検討するた

め、目標宣言型プラットフォームを用いて歩数の目標宣言、応援のデータを収集、分析を行った。実際に 504 人のべ 26,456 日のデータを取得し、歩数宣言を行うかどうかによる歩数への効果、ならびに歩数宣言に対する他ユーザからの応援が歩数に与える効果を検証した。その結果、歩数目標宣言の実装後に歩数目標宣言を実施したユーザ群において、対照群に対し歩数が増加する効果があり、歩数の増加効果が継続することを確認した。さらに、固定効果モデルによる検証により、宣言した目標に対する他者からの応援に関して、応援 1 回ごとに歩数の平均値が増加すること、および過去のコミュニケーション回数が多いユーザからの応援が歩数の平均値をより多く増加させることを確認し、応援の量的・質的な効果を確認した。

謝辞 本研究は九州大学倫理審査委員会による承認のもと行われたものである（研究課題名：人々を望ましい行動へと導く行動変容技術に関する研究、承認番号：シス情認 2022-02）。本研究で利用したアプリケーションの開発、運用に協力した株式会社イマージ iQLab プロジェクト関係者に感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 厚生労働省: 国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基本的な方針, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/kenkounippon21.html.
- [2] 濱谷尚志, 三村知洋, 山田 渉, 落合桂一: Twitter を活用したソーシャルナッジのためのいいね! と運動習慣化成功との関係の分析, 情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループキックオフシンポジウム (2022).
- [3] Nishiyama, Y., Okoshi, T., Yonezawa, T., Nakazawa, J., Takashio, K. and Tokuda, H.: Toward health exercise behavior change for teams using lifelog sharing models, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, Vol. 20, No. 3, pp. 775–786 (2015).
- [4] Luhanga, E. T., Hippocrate, A. A. E., Suwa, H.,

- Arakawa, Y. and Yasumoto, K.: Identifying and evaluating user requirements for smartphone group fitness applications, *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 3256–3269 (2018).
- [5] 厚生労働省: 明日から使えるナッジ理論, <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000506624.pdf>.
- [6] Dolan, P., Hallsworth, M., Halpern, D., King, D. and Vlaev, I.: MINDSPACE: influencing behaviour for public policy (2010).
- [7] Conley, T. G. and Taber, C. R.: Inference with “difference in differences” with a small number of policy changes, *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 93, No. 1, pp. 113–125 (2011).

Stand-up Activity Prediction from Textile Pressure Sensors

Tahia Tazin^{†1}

Kyushu Institute of Technology

John Noel Victorino^{†2}

Kyushu Institute of Technology

Yu Enokibori^{†4}

Nagoya University

Sozo Inoue^{†5}

Kyushu Institute of Technology

1. Abstract

This paper presents a stand-up activity prediction system using textile pressure sensors to reduce unexpected falls. To achieve this, we equipped a wheelchair with textile pressure sensors to collect data on wheelchair users' activities, such as sitting, exercising, and trying to stand up. In a lab environment, we collected activity data from three users to forecast sudden attempts to stand up, which may lead to falls.

In this study, the effectiveness of the personalized model and the leave-one-subject-out (LOSO) method were compared. Also, we compared the performance with different feature sets. With four general statistical features, we achieved an 84% accuracy and an 81% F1-score to predict trying to stand-up activity in the one-person leave-out method. Then, the accuracy and F1-score increased to 86% and 83%, respectively with six additional features. Finally, personalized models produced the highest accuracy and F1-score of 91% and 94%, respectively for the stand-up activity.

Overall, the results demonstrate the potential of predicting wheelchair activities using textile pressure sensors, contributing to a lower risk of falling from the wheelchair.

2. Introduction

Along with longevity, labor shortages are becoming a severe problem in today's society, especially in nursing homes. Caregivers are not growing at the same rate as the aging population, making accurate monitoring difficult. It is not possible for a caregiver to monitor every move-

ment of the elderly all the time, especially when they are sitting in a wheelchair. Accidents are more likely to occur when they try to stand up from the wheelchair. Also, many times these accidents occur in a location where it is difficult for a nurse to monitor these issues at all times.

On the other hand, in addition to the increase in the elderly population in Japan, dementia patients are also increasing rapidly. Based on data analysis results from research by Kyushu University, it is estimated that by 2025, 1 in 5 adults over 65 will be affected by dementia [1]. Movement and balance-related brain regions can be impacted by dementia. Many people with Alzheimer's disease or another kind of dementia eventually lose the capacity to move and carry out daily duties. Also, patients with dementia often forget their current state. As a result, they can fall when they suddenly try to stand up from their sitting position. In nursing homes, people with dementia experience fall an average of 4.05 times a year compared to 2.33 times annually for other patients [2]. To prevent these accidents, it is vital to establish the proper provisions after completing assessments on the relevant patients. Using a textile pressure sensor-based prediction system that alerts caregivers when patients attempt to stand up from their wheelchairs is one solution to this issue.

Electronic textile structures have attracted much attention over the past 20 years in research and development due to their innate softness, breathability, and flexibility. These features produce a satisfying platform for sensing various inputs like pressure, temperature, and strain [3, 4, 5]. However, to support the daily lives of the elderly, professional life-logging technologies have also started to arise, and context-aware solutions with sensor devices are being introduced. Attaching several sensors to the body makes it possible to obtain much information about human movement and activity. Wearable technology should be incorporated into daily life use products,

Stand-up Activity Prediction from Textile Pressure Sensors

^{†1} Tahia Tazin, Kyushu Institute of Technology

^{†2} John Noel Victorino, Kyushu Institute of Technology

^{†4} Yu Enokibori, Nagoya University

^{†5} Sozo Inoue, Kyushu Institute of Technology

as attaching several devices may involve labor or additional expense. At the same time, having many sensors attached to the body can feel unsteady for elderly or dementia patients. As a result, we concentrated on wheelchair cushions since they are commonly used for elderly and dementia patients and can be used to monitor body pressure and postural position, allowing us to get many data on human behavior.

If activity were predicted from the pressure sensors built into cushions, it would be possible to naturally sense human behavior during movement. This capability would be helpful in many situations, not only in daily life but also in nursing homes or hospitals. Also, such cushion-type technology would become comfortable for wheelchair users who are not used to charging or discharging devices, so they might be employed in technologies used for dementia patients or the elderly.

Currently, there are many methods of using wearable sensors for fall detection; however, the sudden effort of the elderly to stand up has never been predicted. Also, the ideal sensor configuration for predicting states must be thoroughly researched. The rate of unexpected falls will drastically decrease if we can investigate the posture movement before standing up and alert the nurses via the alarm system.

This paper proposes a method for predicting body postural movements before standing up from a wheelchair using e-textile pressure sensors embedded in wheelchair cushions. We designed a supervised machine learning model to address the trying-to-stand-up activity prediction system utilizing textile pressure sensor data. In a lab setting, we started by collecting a series of raw pressure data. The instances of raw data were then aggregated, with each instance labeled with the activity that took place while the data was being collected. Then, using machine learning techniques, we created predictive models for stand-up activity prediction systems.

The rest of the paper is organized as follows: Section 3 discusses the related research, then Section 4 describes the details of the proposed method, Section 5 analyzes the results, and finally, Section 6 summarizes the entire paper.

3. Related Research

Nowadays, detecting the posture and daily activities of the elderly is a hot research topic worldwide. These

activities, or posture detection, are done with different sensors, such as accelerometers, gyroscopes, force, and pressure sensors. Because pressure sensor-based smart cushions are unobstructed, they have been used in various related studies to track the comfort and well-being, posture, fatigue, and physical activity of regular chair and wheelchair users [6, 7]. On the other hand, researchers have proposed many methods by which it is possible to detect the fall of the elderly. In this case, also, fall detection is done by various wearable sensors and cameras [8, 9, 10].

Xu et al. [11] proposed the smart textile-based sensor in the cushion to recognize human sitting postures. The binary representation of a gray-scale image was evaluated using data on the binary pressure distribution that had been collected. By employing dynamic temporal warping to analyze the pressure distributions, they could pinpoint specific postures of the sitting position. Also, Kamiya et al. [12] used an 8 x 8 pressure sensor matrix placed in a chair cushion to recognize the sitting postures. They used Support Vector Machine (SVM) with a radial basis function for classification.

On the other hand, Khan et al. proposed a camera-based technique for an abnormal human activity detection system [13]. They proved that this method could be used for elderly care using Kernel discriminant analysis and the Hidden Markov model. Similarly, Pavan et al. analyzed the video signals by applying manifold learning to identify human activities [14].

Sensor systems with early bed-leaving behavior predictions have been researched to prevent fall accidents. Asano et al. [15] proposed a depth camera-based detection system to avoid fall-related incidents. After optimizing parameters and motion variables with distinct participants' body size, location, and orientation, they used SVM to recognize bed-leaving behavior patterns. After 68 iterations, their experimentally produced result had a 92.65% recall rate. On the other side, the authors in [16] provided the bed-leaving behavior identification system. They employed bed pad sensors on a bed and a rail sensor placed inside a rail to detect bed leaving behavior. Additionally, they generated a benchmark dataset of ten subjects' continuous and discontinuous behavioral patterns. According to the experimentally collected results, Random forest achieved 91.1% accuracy in their benchmark dataset.

However, different bed-leaving sensors are now widely

available from manufacturers. For instance, clip sensors, infrared (IR), and mat sensors are often used in hospitals and nursing homes. The most practical method currently available, clip sensors, is simple to use, but because they are fastened directly to the patient’s nightwear, care recipients are confined by sensor wires. Furthermore, a care recipient’s neck could get wrapped around a sensor wire. Consequently, the usage of clip sensors has recently been discouraged. Due to the lack of constraints, mat sensors which are more affordable than clip sensors, are frequently utilized in clinical settings. One drawback of mat sensors is that they take a long time to detect and react when a care recipient places their feet on the mat while seated at the bed terminal.

As clip and mat sensors have some drawbacks, and wearable sensors are always difficult to use for older adults, we proposed a textile pressure sensor-based stand-up activity prediction system that can prevent any accidental event in a nursing home. Our proposed method has been discussed in the following section.

4. Proposed Method

The smart wheelchair contains an e-textile pressure sensor in the seat cushion and the backrest. These sensor data can be used to recognize postural movement activities such as sitting, exercising, and trying to stand up. The pressure sensors must be connected to a Raspberry Pi via Bluetooth to get the raw activity data. When the device is connected, it can even detect very slight postural movement. Figure 1 shows the overview of our smart wheelchair. In this section, we discuss our proposed system architecture.

4.1. System Architecture

As it is a textile pressure sensor-based smart wheelchair system, the pressure sensor can detect when someone is sitting in a wheelchair. After that, the pressure sensor starts collecting each postural movement data. So, from that data, it is easily possible to recognize the users’ regular activities. This system cannot be able to detect when someone is standing up from the wheelchair and fall immediately. Moreover, many established methods are available for fall detection-related alarm systems in nursing homes or hospitals. Nevertheless, when patients already stand up from their wheelchairs may already be too late for caregivers to take necessary actions. Keeping

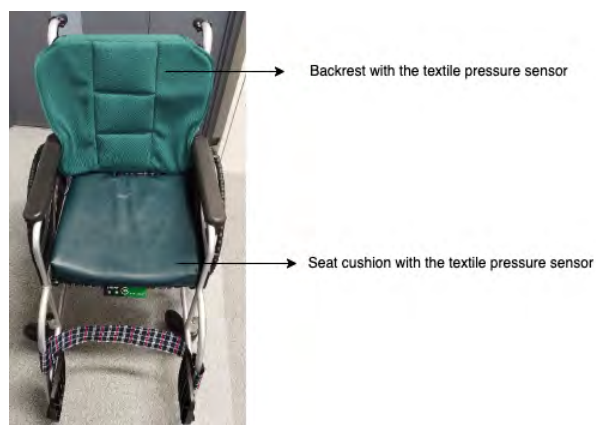


図1 e-textile 圧力センサを搭載した車いす

Figure 1 Wheelchair with e-textile pressure sensors

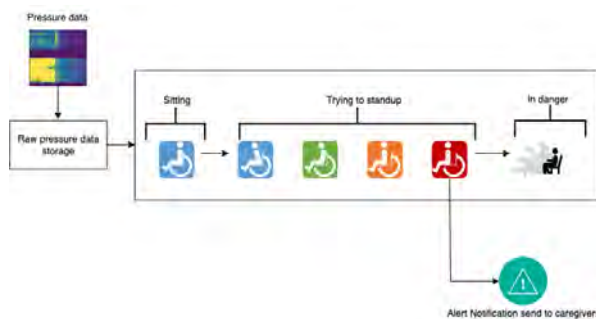


図2 織物圧力センサを用いた転倒防止システムのアーキテクチャ提案

Figure 2 Proposed architecture of the textile pressure sensor-based fall prevention system

this in mind, we have proposed a system that can give an alarm when someone is trying to stand up from their sitting position.

Figure 2 shows our proposed system architecture. Seat and backrest pressure sensors gather pressure data when a person is seated in a wheelchair. An older person or a patient’s posture frequently alters as they attempt to stand up from a wheelchair. Their backrest pressure sensor and seat pressure sensor both experience a gradual reduction in pressure as they lean forward. They consequently slowly adopt a dangerous position. Our system alerts the caregivers to take action since the patient could unexpectedly stand up from the wheelchair or fall while seated in a risky position.

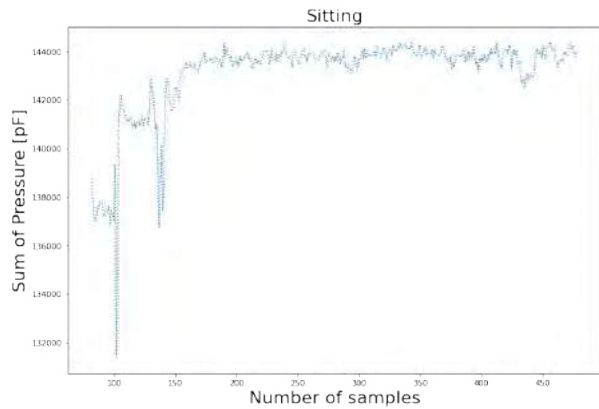


図3 座位動作の圧力センサデータ (単位: 約ピコファラド、pF)

Figure3 Pressure sensor data for sitting activity (approximately in picofarad, pF)

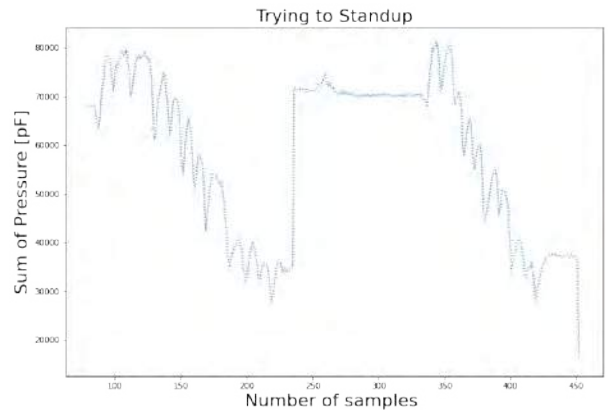


図5 立ち上がり動作に挑戦する圧力センサデータ (単位: 約ピコファラド、pF)

Figure5 Pressure sensor data for trying to stand-up activity (approximately in picofarad, pF)

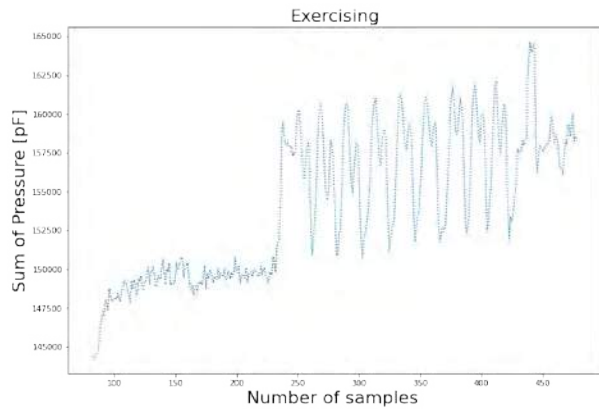


図4 運動時の圧力センサデータ (単位: 約ピコファラド、pF)

Figure4 Pressure sensor data for exercising activity (approximately in picofarad, pF)

4.2. Experimental Setup

We collected a sequence of three activity data such as sitting, exercising, and trying to stand up using wheelchair pressure sensors. We analyze those data using a machine learning algorithm to predict the activity in different methodologies. The time duration for conducting each activity is 60 seconds. Data were collected at a constant rate of 8Hz from e-textile pressure sensors. For the first experiment, in the laboratory environment, we collected three subjects' data, and we considered 2-person data for training and different 1-person data for testing. Figures 3-5 show the sum of each activity's pressure data (approximately in picofarad, pF).

We obtained 16,000 columns of textile pressure sensor data for each activity in our experiments. Since the pressure sensor data is complicated, we did three experiments for better accuracy. We extracted mean, variance, minimum, and maximum features from the raw pressure sensor data for the first experiment. Using a 1-second window size, we set the features for 50% overlapping data. We used one traditional machine learning model K-Nearest Neighbor (KNN), for predicting the activity. In the second experiment, we extracted ten statistical features, i.e., mean, median, standard deviation (STD), minimum, maximum, median absolute deviation (MAD), interquartile range (IQR), Kurtosis, skewness, and variance. Then for the third experiment, we again collected data with one person on a different date. Moreover, we used the same subject data for training and testing, but they were collected on different dates.

5. Result Analysis

In the first experiment with four statistical features and one person leave out the method, we achieved 84% accuracy. For trying to stand up activity, we got 81% F1-score. Then we extracted six more statistical features, and with them, our model achieved 86% accuracy and 83% F1-score for trying to stand up activity prediction. In the personalized experiment, we achieved 91% accuracy and 94% F1-score for trying to stand-up activity prediction. The result of our experiment with trying to standup prediction demonstrates that adding more sta-

表1 マルチクラス分類の結果

Table1 Multi-Class Classification Results for three experiments, showing Macro average and weighted average for precision (Prec.), recall (Rec.), and F1-Score (F1)

Activities	Experiment 1: Leave-one-out 4 features			Experiment 2: Leave-one-out 10 features			Experiment 3: Personalized models 10 features		
	Prec.	Rec.	F1	Prec.	Rec.	F1	Prec.	Rec.	F1
Sitting	0.95	0.93	0.94	0.96	0.93	0.95	0.86	0.93	0.89
Exercise	0.87	0.68	0.76	0.86	0.75	0.80	0.90	0.93	0.91
Trying to Stand-up	0.73	0.90	0.81	0.78	0.90	0.83	1.00	0.88	0.94
Accuracy	0.84			0.86			0.91		
Macro Average	0.85	0.84	0.84	0.87	0.86	0.86	0.92	0.91	0.91
Weighted Average	0.85	0.84	0.84	0.87	0.86	0.86	0.92	0.91	0.91

Prec.: Precision, Rec.: Recall, F1: F1-Score

tistical features has increased the accuracy of our model. In particular, we observed that the accuracy of our model improved from 84% to 86% when utilizing a one-person leave-out method by increasing the number of statistical features from four to ten. Table one shows the detail prediction result. From experiment 1 and 2, we observed that with one person leave out method, exercise data are mostly misclassified with trying to stand up activity data. However, we achieved the highest accuracy with the personalized model because of less misclassification between exercise and trying to stand up data. Figure 6-8 shows confusion matrix for each experiment, respectively.

6. Conclusion

The smart technology described in this paper uses e-textile pressure sensors and machine learning algorithms to detect attempts to stand up by wheelchair users. This system’s deployment attempts to reduce the possibility of unintentional falls happening in healthcare facilities, including hospitals and nursing homes. The personalized model showed the highest level of accuracy at 91% by combining a pressure matrix array configuration with the KNN algorithm. According to these findings, a wheelchair system with an e-textile pressure sensor is a helpful tool for preventing unexpected falls. The suggested technology is intended to anticipate attempts to stand up from a wheelchair, which can also carry a significant risk of injury.

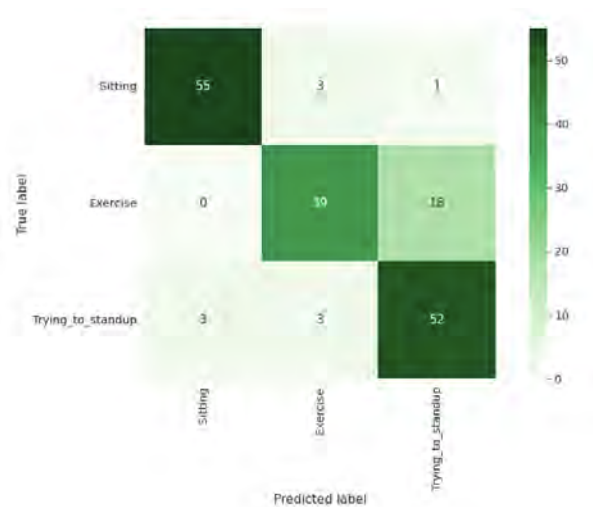


図6 4つの特徴量の場合の混同行列

Figure 6 Confusion matrix with 4 statistical features

In summary, the safety and well-being of older adults and dementia patients at risk of falling can be significantly improved using e-textile pressure sensors in fall prevention systems. These sensors can recognize movement patterns and pressure variations, enabling early identification of falls and other abnormalities. These devices can assist in preventing falls and lowering the risk of injuries by providing real-time feedback and alarms to caregivers and healthcare professionals. E-textile pressure sensors have the potential to be an essential factor

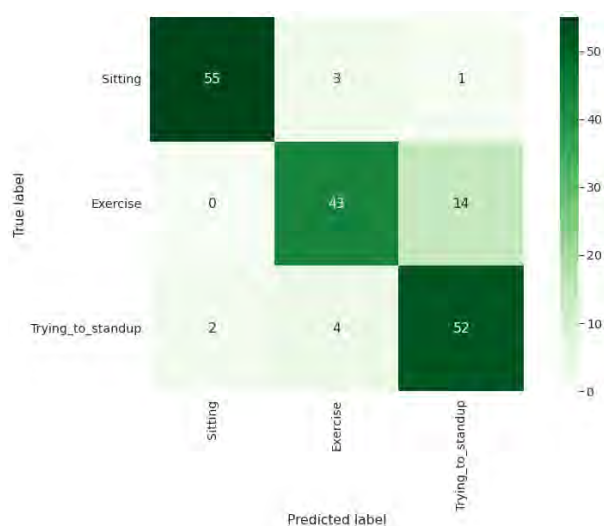


図7 10個の特徴量の場合の混同行列

Figure 7 Confusion matrix with 10 statistical features



図8 10個の特徴量の場合の個人化モデルの混同行列

Figure 8 Confusion matrix for personalized model with 10 statistical features

in the ongoing endeavor to enhance fall prevention techniques and support healthy aging. In the future, we will collect real-field data from nursing homes to make this system more robust and valuable.

References

[1] Ninomiya, T.: A study on future estimates of the elderly population with dementia in Japan, *Research report for 2014. Grant-in-aid for scientific research*

on health, labor and welfare. Special Research Project on Health, Labor and Welfare Science (2015).

[2] van Doorn, C., Gruber-Baldini, A., Zimmerman, S., Hebel, J., Port, C., Baumgarten, M., Quinn, C., Taler, G., May, C. and Magaziner, J.: Dementia as a Risk Factor for Falls and Fall Injuries Among Nursing Home Residents, *Journal of the American Geriatrics Society*, Vol. 51, pp. 1213–8 (online), 10.1046/j.1532-5415.2003.51404.x (2003).

[3] Islam, G. M. N., Ali, M. and Collie, S.: Textile sensors for wearable applications: a comprehensive review, *Cellulose*, Vol. 27, pp. 1–29 (online), 10.1007/s10570-020-03215-5 (2020).

[4] Liu, S., Ma, K., Yang, B., Li, H. and Tao, X.: Textile Electronics for VR/AR Applications, *Advanced Functional Materials*, Vol. 31 (online), 10.1002/adfm.202007254 (2021).

[5] Atalay, O., Kalaoglu, F. and Bahadir, S.: Development of textile-based transmission lines using conductive yarns and ultrasonic welding technology for e-textile applications, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol. 14, p. 1558925019856660 (online), 10.1177/1558925019856603 (2019).

[6] Arnrich, B., Setz, C., Marca, R., Tröster, G. and Ehlert, U.: What Does Your Chair Know About Your Stress Level?, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 14, pp. 207–214 (online), 10.1109/TITB.2009.2035498 (2010).

[7] Congcong Ma, Wenfeng Li, J. C. S. W. L. W.: A Fatigue Detect System Based on Activity Recognition, pp. 303–311 (2014).

[8] Chen, T., Ding, Z. and Li, B.: Elderly Fall Detection Based on Improved YOLOv5s Network, *IEEE Access*, Vol. PP, pp. 1–1 (online), 10.1109/ACCESS.2022.3202293 (2022).

[9] Vadivelu, S., Ganesan, S., Murthy, O. and Dhall, A.: Thermal Imaging Based Elderly Fall Detection, pp. 541–553 (online), 10.1007/978-3-319-54526-4_40(2017).

[10] Wang, X., Gao, C. and Guo, Y.: Elderly fall detection using SIFT hybrid features, p. 96751W (online), 10.1117/12.2199683 (2015).

[11] Xu, W., Huang, M.-C., Amini, N., He, L. and Sarrafzadeh, M.: eCushion: A Textile Pressure Sensor Array Design and Calibration for Sitting Posture Analysis, *Sensors Journal, IEEE*, Vol. 13, pp. 3926–3934 (online), 10.1109/JSEN.2013.2259589 (2013).

- [12] Kamiya, K., Kudo, M., Nonaka, H. and Toyama, J.: Sitting Posture Analysis by Pressure Sensors, pp. 1–4 (online), 10.1109/ICPR.2008.4761863 (2008).
- [13] Khan, Z. and Sohn, W.: Abnormal Human Activity Recognition System Based on R-Transform and Kernel Discriminant Technique for Elderly Home Care, *IEEE Transactions on Consumer Electronics - IEEE TRANS CONSUM ELECTRON*, Vol. 57, pp. 1843–1850 (online), 10.1109/TCE.2011.6131162 (2011).
- [14] Turaga, P., Veeraraghavan, A., Srivastava, A. and Chellappa, R.: Statistical Computations on Grassmann and Stiefel Manifolds for Image and Video-Based Recognition, *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 33, pp. 2273–86 (online), 10.1109/TPAMI.2011.52 (2011).
- [15] Asano, H., Suzuki, T., Okamoto, J., Muragaki, Y. and Iseki, H.: Bed Exit Detection Using Depth Image Sensor, *J. TWMU*, Vol. 84, pp. 45–53 (2014).
- [16] Madokoro, H., Nakasho, K., Shimoi, N., Woo, H. and Sato, K.: Development of Invisible Sensors and a Machine-Learning-Based Recognition System Used for Early Prediction of Discontinuous Bed-Leaving Behavior Patterns, *Sensors*, Vol. 20, p. 1415 (online), 10.3390/s20051415 (2020).

顔表情解析による自然な笑いと作り笑いの識別

中嶋桃香^{†1}

慶應義塾大学環境情報学部

浜中智己, 佐々木航^{†2}

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

大越匡^{†3}

慶應義塾大学環境情報学部

中澤仁^{†4}

慶應義塾大学環境情報学部

概要

表情と感情の結びつきに着目した先行研究によると、基本6感情を表す普遍的な表情があると明らかになっている。しかし、現実世界では表情と感情は必ずしも一対一の関係ではない。例えば喜びのようにポジティブな感情を表す笑顔と、ネガティブな感情を表す作り笑いがある。特に作り笑いはうつ病の症状として見られることがある。そのため、心療内科では笑顔状態で元気な印象であっても注意深く診療を行っている。そこで、笑顔表出時の感情を推定することを目的として、顔表情データから機械学習モデルを構築することによって自然な笑いと作り笑いの識別をする手法を提案した。その結果、最大で97.0%の識別精度を達成した。

1. はじめに

人間はコミュニケーションを取る際に、表情や声色といった情報から相手の感情や内面状態を推定している。様々な種類の表情の中で、特に笑顔は対人関係を円滑に進め、日常生活で頻繁に見られる幸福の表象とされている [1]。感情と表情の結びつきに関する研究の第一人者として知られる Ekman らの研究によると、図1のように基本的な6つの感情(怒り、嫌悪、恐怖、喜び、悲しみ、驚き)を表す普遍的な表情があることが示されている [2]。

李・渋谷 [4] らの研究では、社会的笑いに関する心理学研究を笑いの分類、社会的笑いの機能、自然な笑いと作り笑いの差異、笑いの発達、笑いの識別、笑いの6つの観点から概観した。この研究では、快感情を伴わない笑いを社会的な笑いとして述べている。例えば、真の感情を隠蔽、擬装



図1 Ekman らが提唱した基本6感情に結びつく普遍的な表情 [3]

するための笑い。面白く感じていないのに空笑いする擬態、悲しみや恐怖の感情を他人に悟られないようにするための笑いである。社会的笑いについて、コミュニケーションを円滑に進めるために笑いがどのような感情の下で生じたのかを理解することが重要だと述べている。

そして、心理臨床場面において快感情を伴わない笑い、内面と表出のずれがうつ病患者の特徴として研究されている。うつ病の中でも特に若い女性に多いのが「ほほえみうつ病」「仮面うつ病」だと言われている [4]。この病気の特徴は周囲の人に笑顔や明るい表情を出して周りから悟られないように振る舞うことである。また、他人の視線を意識しやすいう傾向や自己の容姿や行動への意識は心理学の研究では公的自己意識と呼ばれているが、この公的自己意識が高い人ほど作り笑いをしやすいという研究もされている [5]。

このように、作り笑いが注目される中で、自然な笑いと作り笑いを識別することを目的とした研究が行われている。しかし、既存研究ではセンサーが付属した眼鏡型のデバイスを用いて表情の動きをトラッキングしているため実用性を伴わず、日常生活に応用するのは難しい [6]。そこで、本研究はPCやスマートフォンのカメラで撮影される顔表情から Action Unit ごとに表情の動きの強度を特徴量として、機械学習によって自然な笑いと作り笑いを識別する手法の提案

Facial Expression Analysis to Discriminate Between Natural and Fake Smiles

^{†1} MOMOKA NAKAJIMA, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

^{†2} SATOKI HAMANAKA, WATARU SASAKI, Graduate School of Media and Governance, Keio University

^{†3} TADASHI OKOSHI, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

^{†4} JIN NAKAZAWA, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

をする。本研究で行った顔表情のデータ収集実験において顔表情データを収集し、Openface を用いて顔表情を Action Unit に分割した。その Action Unit の動きの強度を特徴量として笑いを識別するモデルの学習を行った。AUC を用いたモデルの性能評価において 95.7% を達成した。

本論文は以下のように構成される。2 章では自然な笑いと作り笑いの差異、識別に関する関連研究を提示する。3 章では自然な笑いと作り笑いを識別するための詳細なアプローチについて述べる。4 章では機械学習モデルを構築するためのデータセットを収集する実験について述べる。5 章ではデータ収集実験の結果や実験内で実施したアンケート結果から性格と作り笑いの関連性について述べる。6 章では自然な笑いと作り笑いを識別するモデルを学習させるためのデータセット構築や精度評価について述べる。8 章では結果を元にした結論と考察を述べる。そして 7 章で考察とともに今後の展望を述べる。

2. 関連研究

2.1. 自然な笑いと作り笑いの差異

フランスの神経学者デュシェンヌ (Duchenne) は、ポジティブな情動から表出される笑顔を「真の笑顔」、ポジティブな情動とは関係なく表出される笑顔を「偽の笑顔」として、2 つの笑顔を解剖学的特徴から違いを明らかにした [7]。2 つの笑顔の一例を図 2 に表す。



図 2 左が真の笑顔、右が偽の笑顔を表す [8]

真の笑顔はデュシェンヌスマイルとしても知られており、大頬骨筋による頬の上昇と眼窩部眼輪筋による口角の上昇が特徴として挙げられる。菅原の研究 [8] では、笑顔は目元と口元が魅力の要因であり、知覚において他の顔要素よりも好印象を与える際に有意に働くということを述べている。そして、目元と口元のどちらか片方の動きだけでは不十分であり、目と口の両方にデュシェンヌスマイルの特徴が見

られてこそ好印象を与えるのである。また、人種や民族の違いによって顔のパーツは個人によって大きく異なるが、喜怒哀楽などの感情を表情から認識する際には感情の共通認識がある程度得られることも述べている。

2.2. 自然な笑いと作り笑いの識別

齊藤、正井、杉本らの研究 [6] は反射型光センサアレイを装着した眼鏡型のデバイスから得られるセンサーデータで自然な笑いと作り笑いを識別する研究を行っている。表情筋の動きによって皮膚変形が生じると、図 3 のような眼鏡型デバイスに取り付けられた 16 個の反射型光センサーと皮膚表面の間の距離に変化が生じる。その距離によって光の反射強度が変わるため、センサーデータから表情を識別する設計である。

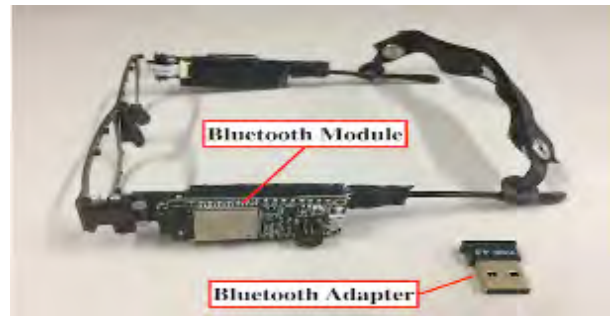


図 3 反射型光センサアレイを装着した眼鏡型のデバイス [6]

この研究では、コメディ動画によって誘発された快感を伴う自然な笑いとコンピュータからの指示によって意図的に作らせた快感を伴わない作り笑いとを区別できるかを検証した。センサーから得られた反射強度の分布である幾何学的特徴と時間的特徴の両方から学習された機械学習モデル (SVM) で 94.6 % と非常に高い平均識別精度を記録した。しかし、この研究は眼鏡型のデバイスから得られるセンサーデータに依存するものである。そのためこの提案された手法に基づいて笑顔の識別を日常生活に応用することは難しい。

3. アプローチ

自然な笑いと作り笑いとを識別するためのアプローチを以下の図 4 に表す。

本研究は、特殊なデバイスを用いることなく笑いを識別することを目的とした。日常生活にこの識別技術を応用することを見込んで、機械学習モデルの構築という手法を採用した。そして、モデルの構築においては笑顔が表出しているときの表情データセットを作成するところから行った。



図4 本研究のアプローチの概観図

笑顔状態の表情データは基本的にポジティブな感情から表出するものを取り上げている。本研究が着目しているような内面状態と表出事項の不一致、作り笑いのようにネガティブな感情を含む笑顔のデータセットは存在しない。そのため、データセット構築から取り組む必要がありデータセット構築は本研究の大きな新規性の一つである。

4. データセット作成のための実験

本実験は、会話上から生まれる自然な笑いと作り笑いの顔表情データを取得することを目的としたものである。男子大学生5名、女子大学生3名を対象に、30分ほどの実験を行った。実験は、被験者2名と筆者自身の合計3名で構成され被験者2名の組み合わせはランダムに行った。実験中は筆者自身がファシリテーターとなり、オンライン上で質問に回答したり雑談を行った。そして、実験中に会話する様子を録画し、実験後被験者に録画を配布して各被験者に自然な笑い/作り笑いをした時間について動画を見ながら記録してもらった。また、先行研究でパーソナリティと作り笑いの相関について述べられていたため、個人の性格と作り笑いの表出について検証すべく、被験者ごとにBig-Fiveに基づく性格尺度を測るためにTIPI-Jに回答してもらった。

被験者自身に作り笑いの記録をしてもらうにあたって、以下のような作り笑いの定義を共有した。これは先行研究からまとめたものである [4]。

1. 擬態：初対面同士の会話、意見が対立した際に対立を避けるために、また緊張を軽減するための笑い
2. 雰囲気操作：場が凍っている時、白けてしまった時に場の雰囲気を和ませるための笑い
3. 感情制御：立場や雰囲気が原因で本音を言えない時、社交辞令によりネガティブな感情を隠蔽するための笑い

実験手順の詳細は以下の通りである。

1. 実験の概要と作り笑いの定義について説明を受ける。
2. アイスブレイクのために設定された自己紹介を行う。
3. 実験実施者からのコミュニケーションに関する質問に回答する。
4. 実験実施者からの与えられたお題について被験者同士で話す。
5. 実験終了後、実験実施者が提供する録画データを見な

がら、「自然な笑い/作り笑い」をした場面について記録を行う。

6. 「自然な笑い/作り笑い」の場面を記録したものと、TIPI-Jへの回答結果をGoogle formで送信する。

4.1. 被験者に行った質問項目

被験者に会話のきっかけとして行った質問項目を以下に示す。

1. 対面コミュニケーションにおいて自分が気まずいな、困ったなと思う瞬間を教えてください。
2. オンラインコミュニケーションにおいて自分が気まずい、困ったなと思う瞬間を教えてください。
3. 自分の感情とは反して笑顔を無理矢理作る、作り笑いをしたことがありますか？またどのような場面でしましたか？
4. SFCにコース制度を導入するとしたら賛成ですか？反対ですか？理由も教えてください。

これらは筆者が答えやすい質問と答えにくいと想定したものである。答えやすい質問として(1)~(3)、答えにくいと想定される質問として(4)を設定した。これらの質問は筆者が被験者に1人ずつ聞いていき、1対1の対話形式とした。(1)~(3)には作り笑いの定義を実験の冒頭で行った際に、コミュニケーションにおける意思疎通の齟齬や作り笑いについての例を述べたため、実験の流れに沿った質問であり、答えやすいと考えた。(4)は唐突に実験の主題とは異なった質問で、理由も述べなければならぬことから深く考える必要があり答えにくいと考えた。

4.2. アンケートによる笑顔のラベル付け

笑顔のラベル付けにおいては、実験終了後にZoomの録画を配布して、自然な笑い(ポジティブな感情を含む)をした時間と作り笑い(ポジティブな感情を含まない)をした時間について記録するよう依頼した。記録を依頼する前に作り笑いの定義に関して被験者に再度補足の説明を行い、実験動画を視聴しながら記録してもらった。このアンケートデータから筆者が自然な笑いと作り笑いの場面だけ動画をトリミングし、機械学習モデル作成のために、データ整形を行った。

5. 実験結果

本節では第4.1章で述べたデータ収集実験において被験者から得られた回答について考察を述べる。また性格と作り笑いの表出頻度についての検証結果も本章で記す。

実験から自然な笑いの動画データが全体で120秒、作り

笑いが 251 秒収集できた。特徴化する過程については第 6 章で詳細を述べるが、データセットのカラム数としては自然な笑いのデータが 2986 行、作り笑いは 6291 行となった。

実験中に行った (1)~(4) の質問の回答結果を以下に記す。

5.1. 対面コミュニケーションにおいて気まずさを感じる点

対面コミュニケーションにおいて気まずさを感じる点について、「自分が原因で仲違いしてしまった相手とばったり会ったときのコミュニケーション」「初対面同士でグループワークを行い、意見が対立したとき」、「言葉が急に出てこなくなり、沈黙状態を生み出してしまうとき」、「自分が話しているのに相手から会話を早く切り上げたい雰囲気を感じ取ったとき」、「顔見知り程度の人とばったり会って挨拶以外に会話をしようとも話題選定が難しいとき」、といった回答が得られた。5 名の被験者から初対面や顔見知りといったようにそこまで関係性を築けていない人とのコミュニケーションにおける話題が挙げられた。また 2 名の被験者から、先輩や上司のように立場が上の人と話す際は関係性が築けていても気まずさを感じる人が多いという回答が得られた。

5.2. オンラインコミュニケーションにおいて気まずさを感じる点

オンラインコミュニケーションにおいて気まずさを感じる点について、「複数人で話すとき、お互いに話始めるタイミングを伺っているような雰囲気があるとき」、「グループワークでカメラオフの状態でする人がいると表情が見えないから話し始めるタイミングが伺えない」、「深く考えずにテキストチャットを送信してしまい、意図が正確に伝わっているかわからないとき。口頭で簡単な補足をするのができないから」、「大人数でのグループワークで沈黙状態から話し始めるハードルが高い」、「話し出しが被ったとき、会話を始める順番の譲り合いのようなことが始まり気まずい」、「グループワークでのアイスブレイクが気まずい、当たり障りのない授業に関する話題を持ちかけて頑張ることが多い」といった回答が得られた。

4 名の被験者からオンライン上で会話する際に話し始めるタイミングについて回答が得られた。また 2 名の被験者から、相手がカメラオフだと表情が見えず話しづらい、感情が読み取りづらい、といった回答が得られた。

5.3. 作り笑いをする経験や場面について

作り笑いをした経験について 8 名中 7 名が作り笑いをすると回答した。7 名の被験者からは、「目上の立場の人と会話をするときには対面でもオンラインでも作り笑いを頻繁に

してしまう」、「自分が興味のない話題でも相手が楽しく話せるように、作り笑いをして場を和ませる」、「相手の話が全く分からなくても、ひたすら相槌と作り笑いをして話を聞き続けたことがある」といった回答が得られた。作り笑いの経験があると回答した 7 名のうち全ての被験者が、会話する相手との関係性について述べていた。関係性について、目上の人に対しては頻繁に作り笑いをすると回答していたが、友人や後輩のような親しい関係性では作り笑いをすることなく、ありのままに感情を表している。といった回答が得られた。作り笑いをあまりしないと回答した 1 名の被験者は「感情が表情や言動にストレートに出てしまうので、あまり作り笑いはしない」と回答していた。

5.4. 性格と作り笑いの表出頻度の関連性

本研究において、被験者ごとの性格を表す指標をとっては Big-Five を採用した。Big-five は Goldberg [9] が提唱した、人の性格が 5 つの因子の組み合わせで決まるという学説である。そして、実験において信頼性が担保される形で被験者に負担をかけずに性格尺度を測定するために日本語版 Ten Item Personality Inventory (TIPI-J) を採用した [10]。これは Big-five の 5 因子に対して、各 2 項目の設問から測定するものである。5 つの因子を以下に記す。

- Openness (開放性)
- Conscientiousness (誠実性)
- Extraversion (外向性)
- Agreeableness (調和性)
- Neuroticism (情緒安定性)

TIPI-J を作成する際に信頼性・妥当性の検討について、予備調査と本調査を大学生を対象に行っており、青年期以降に適用することが可能と述べていることから本研究の実験でも Big-five の 5 特性を測る際に妥当な指標だと考える。TIPI-J の回答から Big-five の 5 因子に対して尺度を測る式を以下に記す [10]。

- 開放性 = (項目 5 + (8 - 項目 10)) / 2
- 誠実性 = 項目 3 + (8 - 項目 8) / 2
- 外向性 = (項目 1 + (8 - 項目 6)) / 2
- 調和性 = ((8 - 項目 2) + 項目 7) / 2
- 情緒安定性 = (項目 4 + (8 - 項目 9)) / 2

以上の計算式から被験者ごとに、開放性、誠実性、外向性、調和性、情緒安定性を算出した結果を表 1 に示す。

そして、TIPI-J から算出された各 5 項目の素点と実験内における自然な笑いの発生回数と作り笑いの発生回数について相関係数を算出した結果を表 2 に表す。

1 番強い相関が見られた項目が外向性との相関関係で相

被験者番号	自然な笑い	作り笑い	開放性	誠実性	外向性	調和性	情緒安定性
1	1	7	6.0	2.5	5.5	5.5	5.0
2	3	5	5.0	6.0	6.5	5.0	4.0
3	3	1	6.0	5.0	3.0	3.0	5.5
4	1	3	5.0	5.0	4.5	4.5	4.0
5	6	5	5.0	5.5	6.0	5.5	4.0
6	2	3	4.5	6.0	5.0	4.5	5.0
7	2	1	6.0	7.0	6.0	6.0	1.5
8	12	5	6.5	8.5	5.0	6.5	4.0

表1 TIPI-Jに基づいて被験者ごとに算出した性格の項目

	自然な笑い	作り笑い
開放性	0.4375	1.480297e-16
誠実性	0.6899	-0.3161
外向性	0.0307	0.4821
調和性	0.5041	0.4738
情緒安定性	-0.0397	0.2904

表2 Big-Fiveと自然な笑い作り笑いの表出に関する相関

関係数は0.482154となった。次いで強い相関が見られた項目は調和性で相関係数が0.473895となった。また、性格の尺度と自然な笑いの表出回数にも相関が見られなかった。

自然な笑いの表出回数と誠実性の項目で相関係数が0.689952となった。データ数が8であることから、十分な相関関係にあるとはいえないと考えられる。次いで自然な笑い強い相関関係が見られた項目は調和性で相関係数が0.504178となった。

このような結果になった1つの原因としてデータ不足が挙げられる。今回の実験では被験者8名を対象としている。そもそも、被験者をさらに増やしてデータ数を増やすべきという反省点が考えられる。

6. 機械学習モデルの評価

6.1. 特徴量抽出

実験で収集した動画の特徴量化するにあたって、Tadas Baltrušaitis とケンブリッジ大学 Multicomp group が開発した Openface2.0 [11][12] を用いた。このツールキットは顔のランドマーク検出、頭の姿勢推定、表情変化の認識、視線推定をリアルタイムで行うものである。顔表情を解析するツールにおいて、顔のランドマーク検出から姿勢推定まで全てをカバーするソフトは少ない。また、このソフトは Windows, OSX, Ubuntu といったクロスプラットフォームに対応しており GPU を必要としないリアルタイム性能を持つ。この Openface を用いて、顔の筋肉の動きを客観的に分割する Facial Action Unit(AU) を検出した。Openface

の処理によって笑いの動画は1フレーム0.04秒単位で各AUの動きが1-5の5段階評価で表される強度を特徴量化した。その結果、データとして自然な笑いは2986フレーム、作り笑いは6291フレーム集まった。特徴量化されたデータは以下のような構成になった。

カラム名
face_id
timestamp
confidence
success
AU01_r - AU45_r
AU01_c - AU45_c

表3 OpenfaceによるAction Unit抽出

face_id は、1つの動画内に複数人が映っている場合に人を区別するためのデータである。confidence は、顔のランドマーク検出におけるトラッキングの信頼度を表すものである。実験内で実際にあったものとして、口元を手で隠すような動作がある際に顔のランドマークが検出できずにトラッキングの信頼度が0に近い値を取っていた。そのため今回実験で撮影された動画からデータセットを作成する際には、特徴量抽出を行った際に confidence の値が0.90を下回ったカラムを削除する処理を行った。success はランドマーク検出における顔部位のトラッキングが成功しているかどうかを表すものである。主にフレーム内に顔が写っているかどうかを表している。AU_r は、AUの強度について表すものである。例えば、AU01_r のとき内眉の上がり具合について0(存在しない)、1(最小強度で存在)、5(最大強度で存在)の範囲で連続した値が出力される。AU_c は、AUが存在するかどうかを表すものである。例えば、AU01_r のとき内眉の上がり具合が0(存在しない)、1(存在する)が出力される。

そして、実際に機械学習モデルを構築するにあたって Action Unit の動きの強度である [AU01_r] から [AU45_r] のみを説明変数として使用した。

今回作成したデータセットでは、実験内で被験者に回答

手法	Precision	Recall	F1 Score	AUC
Logistic Regression	0.895	0.910	0.902	0.840
Random Forest Classifier	0.972	0.973	0.973	0.957
Support Vector Classifier	0.893	0.916	0.904	0.840

表 4 教師あり学習の各手法とその性能評価

してもらった TIPI-J の性格尺度は使用していない。被験者はそれぞれ実験内で複数回作り笑いを行っているため 1 人の被験者につき約数百行の顔表情データがある。しかし顔表情のデータに性格尺度のラベルを付けるとしても数百行のデータに一意のラベルをつけることになる。そのため今回作成するデータセットでは Action Unit の強度のみを採用した。

6.2. 機械学習モデルの構築と精度評価

本節では機械学習モデルの手法について述べる。

まず実験で作成したデータをモデル構築用データ (学習データ) と予測精度検証用データ (検証データ) に分割する。今回は 8:2 の割合で学習用データと検証用データを分割した。

そして、実際に自然な笑いと作り笑いとを分類する機械学習の手法に Logistic Regression・Random Forest Classifier・Support Vector Classifier を用いる。今回はデータ数も各クラスにつき数千行とそこまで大きくないことから、学習速度が早いこと、また 2 値分類に優れているモデルを採用した。

今回識別したモデルの自作データセットにおいて、自然な笑いのデータが全体の 32%、作り笑いのデータが全体の 68% とやや不均衡なデータセットとなっている。そのため今回は特に不均衡なクラスの問題において有用だとされる AUC (Area Under the ROC Curve) を用いて、識別モデルの全体の性能評価を行うことにした。AUC は、ROC 曲線下の面積を示し、0.5 以上が望ましい結果で 1 に近いほど識別能力が高いことを表す。ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲線は、二値分類モデルの識別能力を表すグラフで、真陽性率 (True Positive Rate, recall) を縦軸に、偽陽性率 (False Positive Rate, precision) を横軸にとり、その結果をプロットしたものである。自然な笑いと作り笑いの識別モデルの性能について、表 4 に表す。

AUC で比較すると、ランダムフォレストによる手法において 95.7% を達成した。今回、学習手法として用いた Logistic regression, Random Forest Classifier, Support Vector Classifier において Precision, Recall, F1-Score, AUC の全ての指標においてランダムフォレストが 1 番高い性能を示した。ランダムフォレストはアンサンブル学習により複数の決定木が異なる特徴量を使用して学習し、その結果を組み合わせるため予測精度が高くなりやすいという

性質を持つ。そのためこのように高い精度で予測できたと考えられる。

また、機械学習モデルの汎化性能を検証するために k=8 の k 分割交差検証を用いて精度の評価も行ったところ、精度は 97.0% と非常に高い精度で識別できることが示された。

1 番高い精度で分類することができたランダムフォレストは決定木からなる学習手法であるため、各特徴量がどれだけモデルの精度向上に寄与しているのかを示す Feature Importance を算出し、以下の図 5 に示す。

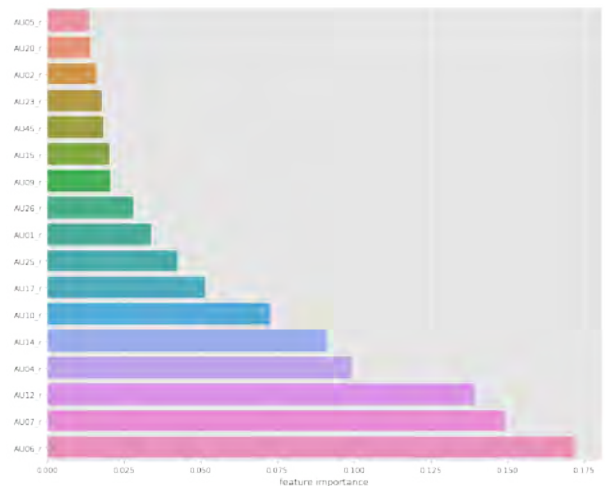


図 5 特徴量の重要度

特徴量の重要度において AU06 と AU07 と AU12 に重要度の高い傾向が見られた。この結果から作り笑いの表出時には、眼輪筋の動きによる頬の上がり方と瞼の動き、唇の両端の引き上がり具合が特徴的であり、これらの特徴量が識別予測に寄与していると考えられる。しかし、第 1 章で基本 6 感情にはそれぞれ普遍的な表情が存在するという主張を取り上げたが、佐藤らの研究 [2] では、基本 6 感情を表出する普遍的な表情の理論は日本人に当てはまらない可能性を示唆しており、実証に基づいて修正される必要性を述べている。そのため自然な笑いと作り笑いの識別に関して、Feature Importance から識別予測に寄与すると取り上げた特徴量が日本人特有の傾向という可能性もある。そのため世代や国籍を限定せず、自然な笑いと作り笑いの特徴について幅広く掘り下げていくためにはよりデータセットを充実させる必要があると考えられる。

7. 今後の展望

今後の展望として、作り笑いの深掘りと自然な笑いと作り笑いの識別技術の応用という観点から述べる。

7.1. 自然な笑いを作り笑いの識別技術のユースケース

自然な笑いを作り笑いの識別技術の応用について、この技術を実用段階に持っていくためには、手元にある任意の画像や動画からリアルタイムで自然な笑いを作り笑いを識別することが必要になると考えられる。リアルタイムで識別する技術をシステムとして実装することで、応用先の一例として挙げたカウンセリングや真の感情を隠すことが求められる場面への練習といった日常生活にも活用されると考えられる。

例えば営業や面接の場で、緊張する気持ちや気まずい気持ちを隠すために笑顔になることがあるだろう。相手にはネガティブな感情を悟られないように、表情の工夫を行うためにこの技術が応用できると考えられる。しかしコミュニケーションにおいて、自分の感情が隠されることなく相手に伝わったら不都合なこともある。例えば立場上の都合で本音と立前を使い分けて会話をすることが強いられる場面が挙げられる。そのため自然な笑いを作り笑いの識別技術は、コミュニケーションにおいて幅広く応用することを想定はしていない。あくまでカウンセリングのように内面状態(感情)と表情のずれを識別してメリットが生じる場合の実用を期待している。

7.2. 作り笑い時の感情分析

作り笑いについて、本研究のデータ収集実験では、被験者に作り笑いの定義を事前に共有した上で、作り笑いをした場面を申告してもらった。その実験内で被験者に行った質問から日常生活において作り笑いはさまざまな場面で見られることがわかった。例えば人と話していて「興味が無い、つまらない」といったネガティブな感情を隠蔽するための笑いや初対面同士での会話で場を和ませるための笑いといったものである。このように、場の状況がさまざまであり感情も様々である。特に笑顔は通常嬉しい、楽しいといったポジティブな感情を結びつけられることが多いため、ネガティブな感情に基づいた笑顔(作り笑い)を識別することに意義があると考えられる。また、自然な笑いを作り笑いの識別だけでなく笑顔表出時の感情についても顔表情の動きから推定することができるのではないかと考える。作り笑い時のネガティブな感情の中でも辛い、苦しいといった感情を推定することが可能になれば、本研究の応用先として考えるうつ病患者のカウンセリングといった医療的な場面での実用に役立つことが考えられる。

また人間の目視では笑顔状態の人がポジティブな感情を

抱いているのかネガティブ、中立な感情を抱いているのか即座に判断することが難しいケースが想定される。商業施設や観光地において施設のサービスの満足度を測るためには、現地でのインタビューや紙面でアンケートを依頼することが一般的な方法である。しかし対面でのインタビューは非常に時間もコストもかかる。そのため、1つの代替案として商業施設や観光地において各施設を訪問した人の帰るタイミングの表情をモニタリングし、笑顔であればそこからポジティブな感情を抱いているかどうかを測り、満足度の評価につなげられるのではないかと考える。

そして、コロナ禍においてオンラインでの対話やコミュニケーションが珍しくない。オンライン上ではカメラ越しの音声や動画といったように限られた情報から、相手の感情を汲み取る必要があることから表情から感情を推定する技術に、より注目が高まると考えられる。そのため、今後の展望として技術を幅広い分野で使用できるように、顔表情からではポジティブと捉えられがちな笑顔状態における感情推定を行うことが挙げられる。

8. 結論

本研究ではデータセットの作成からモデルの評価までを行ったため、各ステップごとに結論と考察を述べていく。

8.1. データセット作成

まずデータセットに関する結論を述べる。本研究で作成したデータセットは自然な笑いを作り笑いのデータ比率が1:2となった。やや作り笑いに偏ったデータセットになってしまった原因として、実験環境の雰囲気や挙げられる。実験内容について第4.1章で述べたように、自然な会話を再現するために答えやすい質問と答えにくい質問を用意した。オンライン環境での実験ということで、そもそも硬い雰囲気を作り出してしまった、話すのが気まずかったというような原因が考えられる。また今回行った実験では質問内容は固定であるものの、会話内容は被験者によって異なり、雰囲気も様々であった。そのため場の雰囲気や会話のコンテキストを加味した上で表情データを収集することで、自然な笑いを作り笑いだけでなく、笑い表出時の感情を推定することも可能になると考えられる。またデータセット収集実験の被験者に関して、今回は大学生を対象にして行った。被験者が8名だったため、さらに被験者を増やすこと、また表情を収集する世代も幅広くすることでより充実したデータセットになることが考えられる。また、職業によって真の感情を隠して表情を作り出すことが得意になるケースも想定される。例えば役者や営業職のサラリーマンなどは自然な笑いを作り笑いの表出にあまり差分が見られないことも想定される。そのため世代や職業など幅広く被験者を募

集することで、自然な笑いと作り笑いの表出に関する差についてより深く知見が深まることが想定される。

8.2. 機械学習モデルの評価

最後に自然な笑いと作り笑いの識別モデルについて、ランダムフォレストによる学習において 95.7% という高い精度で識別することができた。特徴量の重要度を算出したところ、眼や頬の動き、口角といった部位に高い傾向が見られた。しかし、この特徴は大学生の会話時に限定した自然な笑いと作り笑いの識別に重要な特徴だと考えることもできる。今回は各被験者から収集した実験の録画データから顔表情を特徴量化して 1 つのデータセットを作成した。前の節でも述べたように被験者の対象を性年代や職業、国籍といった項目ごとにデータセットを分割することで表情の出方に特徴が見られる可能性もある。そのため本研究で作成したデータセットにおいては、非常に高い精度を達成することができたが、今後データセットを拡張した上でも同程度の精度を達成できるようにする必要があると考えられる。

謝辞 本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究 (05401), JSPS 科研費 JP21K11853, JST RISTEX (JPMJRX21J1) の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 菅原 徹, 笠井直子, 佐渡山亜兵, 上條正義, 細谷 聡, 井口竹喜笑顔の多様性と印象の関係性分析, 感性工学研究論文集, Vol. 7, No. 2, pp. 401–407 (オンライン), 10.5057/jjske2001.7.401 (2007).
- [2] Ekman, P.: Universals and cultural differences in facial expressions of emotion, *Nebraska Symposium on Motivation*. *Nebraska Symposium on Motivation*, Vol. Vol. 19 (1971).
- [3] Ekman, P.: Paul Ekman Group — Universal Facial Expressions. <https://www.paulekman.com/resources/universal-facial-expressions/>.
- [4] 珊 李, 昌三渋谷社会的笑いに関する心理学研究の動向, 目白大学心理学研究 = Mejiro journal of psychology, Vol. (7), pp. 81–93 (オンライン), <https://cir.nii.ac.jp/crid/1050001338378901632> (2011).
- [5] 押見輝男公的自己意識が作り笑いに及ぼす効果, 心理学研究, Vol. 73, No. 3, pp. 251–257 (オンライン), 10.4992/jjpsy.73.251 (2002).
- [6] 千紗齊藤, 克俊正井, 麻樹杉本反射型光センサアレイを用いた眼鏡型装置による作り笑いと自然な笑いの識別, 情報処理学会論文誌, Vol. 62, No. 10, pp. 1681–1690 (2021).
- [7] Duchenne de Boulogne, G. B.: *The Mechanism of Human Facial Expression*, Studies in Emotion and Social Interaction, Cambridge University Press (1990).
- [8] 菅原 徹笑顔の形状と表情筋活動の分析, 可視化情報学会誌, Vol. 34, No. 133, pp. 14–19 (オンライン),

10.3154/jvs.34.14 (2014).

- [9] Goldberg, L. R.: An alternative "description of personality": the big-five factor structure., *Journal of personality and social psychology*, Vol. 59 6, pp. 1216–29 (1990).
- [10] 小塩真司, 阿部晋吾, Cutrone, P. 日本語版 Ten Item Personality Inventory (TIPI-J) 作成の試み, パーソナリティ研究, Vol. 21, No. 1, pp. 40–52 (オンライン), 10.2132/personality.21.40 (2012).
- [11] Baltrušaitis, T.: OpenFace 2.2.0: a facial behavior analysis toolkit. <https://github.com/TadasBaltrušaitis/OpenFace>.
- [12] Baltrušaitis, T., Zadeh, A., Lim, Y. C. and Morency, L.-P.: OpenFace 2.0: Facial Behavior Analysis Toolkit, *2018 13th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2018)*, pp. 59–66 (online), 10.1109/FG.2018.00019 (2018).

Basic experiment related to overconfidence detection method from PC interaction data

Picard Sébastien、 上村拓也、 鳥谷彰
富士通株式会社

1. Background

Overconfidence can lead to poor task performance or failure to achieve one's goals and can also prevent the implementation of optimal behavior change strategies. Overall, it can negatively impact a various range of industries from health promotion to fitness and exercise, to business and learning among others.

2. Problems with existing work

Typically, the way to approach the issue for the above-mentioned cases is as follows: analyze if the user has met their goal or not and compare that with a questionnaire about their expectation of success with regard to the goal [1], this allows to measure to what extent the user is overconfident. After that it is possible to take into account the overconfidence level for subsequent objectives and customize programs. However instead of waiting until the user has either achieved or failed at a first goal, it is desirable to detect overconfidence before adverse outcomes such as program abandonment or low achievement occur to be able to implement countermeasures.

3. Proposed method

We envisioned scenes where the user is interacting with a PC to carry out their work or to study. For such use cases, we used a definition of overconfidence similar to the over-estimation category from [2]. Specifically, we defined overconfidence as 1) the user will not be able to perform their task correctly or solve problems correctly 2) the user is confident of their future success and do not realize they will fail.

For this paper we focused on 1). Our hypothesis is that we can infer whether the user will achieve their goal or not by detecting behavior that indicates the user is experiencing difficulty.

We focused on the aspect that when a user is operating a PC, if they hesitate because they are experiencing difficulty, the typing patterns will be slower than usual, also the time needed to make decisions will be longer (for example they will pause longer before clicking validation buttons) than usual. We conducted a principle experiment to verify the feasibility of our method. To reflect the above-mentioned behavioral hypothesis, we implemented a

memory task and computed features such as follows: the duration of keystrokes, the duration between keystrokes, the duration hovering over a button before clicking it. We hypothesized that the more the user will experience difficulty recalling a combination from memory, the larger the feature values will be. Figure 1 illustrates this hypothesis.

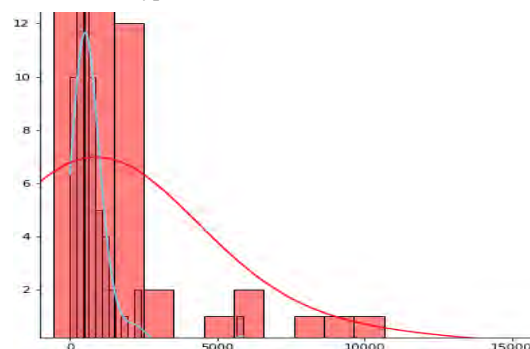


Figure 1): distribution of average duration in milliseconds between consecutive keystrokes. Blue line = 1st iteration (when the user is experiencing no difficulty), Red line = last iteration (when user cannot remember recall the combination)

In this experiment we started from simple combinations of digits, thus we could compute a baseline for each user (we assume the users experience no problem remembering the first easy combinations).

Based on the data of all the other participants in the experiment we built a model to assess whether the user will achieve their goal (until how many digits they can remember combinations) or not based on feature data relative to the baseline.

4. Experiment design

We devised a principle experiment to verify the feasibility of our method to detect whether a user operating a PC in an office setting with achieve their goal or not.

4.1 Task and experiment scenario:

- Display a random combination of digits for 5 seconds
- The user memorizes the combination and interacts with a custom UI requiring keyboard input and mouse movement before submitting their answer (this is called

an iteration for the rest of the paper)

- Starting from a combination with less than 5 digits, the combination grows in length with a 1-digit increment, either to the left or right to the previous combination
- This iteratively continues until the user either gives up or fails to remember up to 3 times (we call this series of iteration a sequence for the rest of the paper)
- Before the first combination is displayed the user is asked to input the expected length of the combination they can remember (We call this goal for the rest of the paper)
-

4.2 Example of features used as input for the model

Keyboard typing speed, average duration between keystrokes, time spent hovering on the submit button after typing the last digit.

5. Data collection

16 users responded to a pre-experiment survey and indicated their ascent to participate in the experiment. Explanations about how to install the program and run the user interface (UI) was provided to all participants. The task consisted of running the UI daily for 2 weeks (excluding weekends) and report their performance in a shared file so as to elicit overconfidence. 11 participants engaged with the program and we discarded the first sequence (used for practice). From the data obtained, we restricted the analysis to the iterations where the number of digits is lower than the goal, 66 sessions and 525 iterations.

6. Analysis

6.1 Features

We computed a battery of features meant to reflect our hypotheses stated in 3. Proposed method section. Those features included features computed from keyboard as well as mouse hovers over buttons to highlight the slowing of typing patterns expected to arise when hesitation due to inability to remember kicked in.

6.2 Normalization

Our hypothesis relies on comparing behavior with a normal level, we believe that changes in the above features are more meaningful than absolute values. To verify this, in the result section we compared performance for absolute values and data normalized as follows: a) the first 5 iterations of the second sequence (the first sequence being excluded from the data) is used to compute the minimum and maximum values independently for each participant. All features measuring durations (e.g. mean or standard deviation of the inter-keystroke duration) are normalized by subtracting the minimum and dividing by (maximum-minimum) independently for each user.

6.3 Model

To estimate whether a user is going to achieve or fail at their goal of remembering a certain number of digits, we used a statistical model which takes multiple features described in the previous section as input and outputs a binary label where 1 indicates the user will not meet their goal.

We used a random forest algorithm after early results (not reported in this paper) showing an improvement over other model tested (included KNN, logistic regression) and assumed that the in-built feature selection exhibited by random forest is responsible for the improvement of performance compared to other models. In this experiment we adopted a randomized search for the selection of hyper-parameters combined with a cross validation scheme. Further, to minimize the impact of overfitting due to personal differences we put emphasis in selecting folds such that data from participants cannot be both in the training and validation set. Additionally, we reported results where data from one user is exclusively used in the test set, this means that for user i in test, we trained the model based on the remaining 10 users, then we repeated for $i = 1$ to 11 and aggregated the results.

7. Results

From the computation of features related to the task where users remember a combination of growing length, we evaluated our method and reported results about the feasibility to predict whether the user will achieve their goal (meet their expectations) or not. At first, we focused on each iteration separately. This task is rather ambitious but constitute the fundamental building block of our method.

We report the following results in figure 2): samples where the user does not meet their goal are labeled as 1 and samples where the user meets their goal are labeled as 0. The rows of the confusion matrix indicate the true label and the columns the predicted labels. We report the accuracy as well as balanced accuracy which is the average accuracy per class, we consider it is a better indicator in case of imbalanced data sets such as we have here. The models are also trained to maximize the balanced accuracy. For the rest of the paper, we report performance statistics rounded to the first decimal. Figure 2a) shows the results for the basic model with no normalization. Figure 2b) show results with normalization where the user goal, iteration number of current number of digits are also added as features.

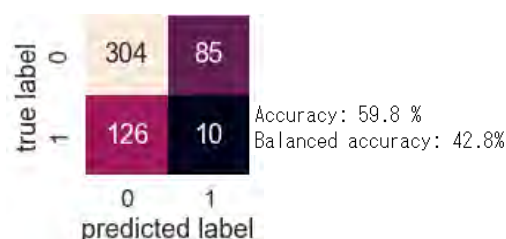


Figure 2a) confusion matrix without normalization



Figure 2b) confusion matrix with normalization

The results shown in figure 2a) confirm the feeling that the problem is extremely ambitious. Without normalization the balanced accuracy falls below 45% and reaches 56% with the normalization scheme. The improvement in balanced accuracy is substantial, especially in the latter case recall ($41/136 = 30\%$) for class 1 is much higher compared with the former case ($10/136 = 7.4\%$), however it is still much below 50%. For class 0, that is, when user will meet their goal, recall is $85 / 389 = 78.1\%$ in the latter case and $319 / 389 = 82\%$. The results obtained here confirm the hypothesis that absolute feature values are less meaningful than relative values and we keep the normalization scheme for the rest of the analysis.

To verify our claims, we then evaluated the performance of our method to predict sequence labels, focusing on making predictions at an early stage (when the number of digits is lower than the goal). Due to the low number of sequences we decided to harness the iteration labels instead of computing features at sequence levels. However, with binary labels the information loss would be too significant, so a more fine-grained approach is preferable to predict sequence labels from iteration labels. Finally, for ease of comparison with the results described in figure 2, we output the sequence classification results in binary format.

The implementation steps are described here:

Step 1: modify the iteration model to output 4-class labels (L0: outperformed goal by more than 10 digits, L1: by 5 to 10 digits, L2: met goal or exceeded by less than 4 digits, L3:user didn't meet their goal).

Step 2: obtain the 4-level labels for the first 5 iterations of each sequence and return the maximum value as intermediate result.

Step 3: return to a binary label by converting L0, L1, L2 to label 0, L3 to label 1.

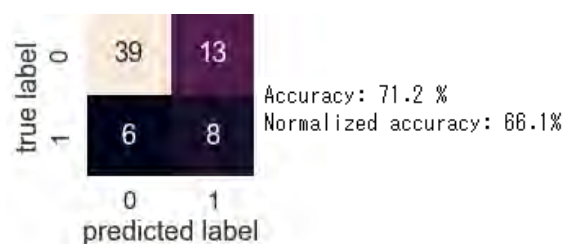


Figure 3): sequence level results

Figure 3) shows more promising results with a balanced accuracy reaching 66%, also recall for class 1 exceeds 50% with $8 / 14 = 57.1\%$ but decreases for class 0 with $39 / 52 = 75.0\%$. The results obtained here show that it is possible to obtain better performance at sequence level by harnessing the results from the first few iterations.

We consider further tests with larger data sets are needed to confirm the reproducibility of the results and improvements in terms of prediction performance are required for various applications.

8. Conclusions and future work

Our experiment results indicate that it is possible to infer from PC interaction data the first part of our overconfidence definition, namely 1) the user will not be able to perform their task correctly or solve problems correctly.

We need to address the second part of our definition of overconfidence, namely 2) the user is confident of their future success and do not realize they will fail. We consider this may be done using a questionnaire, when the user is expected to be unable to reach their goal.

Overall, our vision is that overconfidence may be detected early enough to modify intervention strategies, benefit users and make significant impact for all sorts of applications. Future work includes various steps towards the realization of this vision, for example the implementation of the 2-step overconfidence detection in real-time and the evaluation of countermeasures for different applications.

9. References:

- [1] Ifcher, John, and Homa Zarghamee. "Affect and Overconfidence: A Laboratory Investigation." *Journal of Neuroscience, Psychology and Economics* 7.3 (2014): 125-50. Print.
- [2] Moore, Don A., and Paul J. Healy. "The trouble with overconfidence." *Psychological review* 115.2 (2008): 502

行動変容を促すナッジ文言選定のための アプリログによる属性情報の補完手法

吉川裕木子[†] 勝間田優樹[†] 鈴木喬[†] 山田暁[†]
株式会社 NTT ドコモ[†]

1. はじめに

近年、スマートフォンの普及に伴い、個人が持つ端末に情報を送信することで、ユーザ毎に異なる内容を伝達する手法が広く実施されている。また、情報を配信する際に、音・振動・短い文章で知らせることでユーザの興味を惹き、配信した情報の認知率を向上させるプッシュ通知が注目されている。よって、プッシュ通知によるレコメンデーションにおいて、端末を利用しているユーザを分析し、配信内容やタイミングをユーザの興味に沿うように最適化することで、ユーザの情報認知率を最大化させるという営みが様々な企業で行われている。

また、ユーザに情報を提供することが意思決定に与える影響について、行動変容に関する分野の研究が注目されている。ここで述べる行動変容とは、行動経済学でいわれる人間の行動理論に基づいて働きかけることで、その人の行動を変化させることができるというものである。このような働きかけを活用して、環境問題や都市渋滞など様々な社会問題の解決に取り組んだ事例研究がおこなわれている[1][2]。

また、行動変容をさらに促す手法として、ナッジ[3]が注目されている。ナッジとは、人間の思考の癖を利用し、ユーザにとって望ましい選択をするように促す行動変容に関する手法の一つであり、ナッジを活用した研究や実例が多く実施されている。例えば、プッシュ通知によって表示されるメッセージにナッジを適応することでプッシュ通知の開封率を向上させるという効果が挙げられている[4][5]。

ナッジには複数のフレームワークが存在する。例えば、人間の得をすることより損をすることの方を大きく評価するという損失回避バイアスという心理特性を活用した「損失回避フレーム」や、他人と同じようにふるまうことを好むという同調性バイアスという心理特性を活用した「同調フレーム」などが例に挙げられる[6]。

本研究では、ユーザのもつ心理特性によって、異なるフレームワークによって設計されたナッジ種別の効果が異なることに着目し、ユーザの心理特性の度合いを推定することで、ユーザに最も効果のあるナッジの種別を推定することができる。さらに、その推定に基づいて、最適

なナッジを選定し、プッシュ通知に活用することで、プッシュ通知の開封率の向上をはかることができる。しかし、このナッジ種別の推定にはユーザの属性情報が必要であり、その情報量はナッジ種別の推定に精度に大きくかわる。こういったシステムを実現するには、推定精度の担保のため多くの情報を収集する必要があり、その情報収集にかかるコストがシステム化する際の課題となることが予想される。

よって本提案手法では、属性情報を持たないユーザのナッジ種別の推定に必要な情報の拡張手法を提案する。具体的には、属性情報が取得できている一部のユーザを用いて、属性情報を持たないユーザの属性情報を補完する。本提案手法により、すべてのユーザに対して属性情報を獲得することが可能となり、これは最適なナッジ種別の推定に効果的であると言える。

2. 関連研究

ユーザの意思決定の癖である心理バイアスとユーザのパーソナリティの関係性は、過去の研究で示されている。例えば、時間割引率に関するアンケート分析[7]では、年齢や性別、婚姻の有無などが時間割引率に対して影響があることを示した。このような研究から、ユーザが持つ心理バイアス特性を調査できるようにデザインされたアンケートを用いることで、ユーザ自身の属性情報との関係性を分析できることが分かる。

一方、心理バイアスと対応したフレームワークを用いたナッジとユーザのパーソナリティの関係性についても、過去の研究で示されている。例えば、学習を促すメッセージ配信において、事前に測定したユーザの性格特性と、メッセージ配信に用いた 2 種類のナッジに対する反応に相関関係があったという実例が挙げられている[8]。このような研究から、ユーザのもつパーソナリティに応じたナッジを用いることで、行動変容率の向上が期待できることを示している。

これらの従来研究から、ユーザのパーソナリティを用いて学習モデルを構築することで、そのユーザの行動変容を促すのに最適なナッジを推定することが可能だといえる。しかし、こういった学習モデルの構築に必要な、ユーザのパーソナリティは、年収や性別などの属性情報に関するア

Proposal and Evaluation for Nudge Optimization Recommendation System Using Extending Attribute Information with Application Logs
[†]YUKIKOYOSHIKAWA, YUKI KATUMATA, TAKASHI SUZUKI, AKIRA YAMADA, NTT DOCOMO Ltd.

ンケートや、くじの購入金額の質問[9]のようなユーザがもつ心理バイアス特性を特定するようなアンケートを実施することで収集する、といったことが従来の研究では行われてきた。しかし、こういったアンケートの質問設計は大変複雑であり、またユーザから有効な回答が得られる割合多くはない。よって、情報収集の面でナッジのユーザ最適化を実サービスとして実現するのが難しいといえる。

ユーザのパーソナリティを示すデータの収集方法に、ユーザのスマートフォンなどから収集できるログを活用して推定する研究がおこなわれている。例えば、携帯端末から収集できる位置情報などからわかる、日常的な行動パターンから職業属性が推定できる [10]。また、Web サイトにおける時系列的なアクセス数から、年齢などのユーザ属性に基づいたクラスターを推定することができる[11]。

これらのことから、パーソナリティデータを収集するために、スマートフォンから自動的に収集できるログを活用することで、アンケートなどから収集できる情報相当を推測できると考えられる。

よって、本研究では、一部のユーザに実施したアンケートなどから収集した情報と、全てのユーザから自動的に取得可能なスマートフォンからのログを用いて、ナッジのユーザ最適化に有効な属性情報を補完する手法を提案する。また、ナッジのユーザ最適化において本提案手法が有効であることを示す。

3. 提案手法

3.1 ユーザが持つ情報種別について

本研究では、図 1 のように 2 種類のユーザ群を対象ユーザとする。ユーザ群 A は属性情報とアプリログの 2 種類のデータを持ち、ユーザ群 B はアプリログのみをもつ。また、属性情報とアプリログはベクトル表現に変換されており、ベクトル間距離を算出することで、ユーザ間の類似度を示すことができる。

ここで属性情報は、ユーザ群 A の過去のアンケート回答や他のサービス利用から推測される、性年代や趣味趣向のことを指し、アプリログは本システムが導入されたアプリケーションから取得できる、各画面の閲覧時間やボタン押下回数などの操作ログを指す。

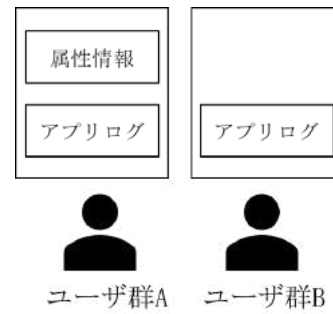


図 1 本研究で用いたユーザ群と保持するデータ

3.2 アプリログのベクトル空間距離の算出

2 で述べたスマートフォンからパーソナリティを推定できるという従来研究より、本研究における属性情報とアプリログには相関関係があり、アプリログが類似しているユーザ同士は属性情報も類似していると考えられる。本提案手法では属性情報とアプリログの類似度をベクトル間距離と定義する。

まず、属性情報とアプリログのベクトル間距離を定義する。ここで、ユーザ i とユーザ j 間の属性情報 X_d の距離は以下の式で与えられる。

$$distance_{Xd} = \sqrt{(x_i^d - x_j^d)^2} \tag{1}$$

また、アプリログ X_a の距離を以下の式で与える。

$$distance = \sqrt{(x_i^a - x_j^a)^T W (x_i^a - x_j^a)} \tag{2}$$

$$W = \begin{bmatrix} W_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & W_n \end{bmatrix} \tag{3}$$

ここで、 W はアプリログの重み付けパラメータであり、アプリログの距離が近いと属性情報の距離が近いという関係が成り立っている。なお、パラメータ W の学習は以下の式を用いて、対象ユーザの全通りの組み合わせで行われる。

$$Loss Function = distance_{Xd} - distance \tag{4}$$

$$W' = W + \frac{\partial Loss}{\partial W} \tag{5}$$

次に、属性情報とアプリログの両方をもつユーザ群 A を用いて、パラメータ W を学習する。式(2)に学習済みの W を用いて、アプリログのユーザ間距離が近いユーザは同じクラスターになるようクラスタリングを行い、各クラスターに所属するユーザの平均ベクトルを獲得する。

3.3 属性情報の補完手法

アプリログのみをもつユーザ群 B のユーザ B の属性情報を補完する手法を示す。ユーザ B のアプリログと 3.2 で獲得したクラスターの平均ベクトルとの距離を、式(2)を用いて

算出し、ユーザ B に最も近いクラスタを選択する。

次に、選択されたクラスタ内からユーザ群 A に所属するユーザ A をランダムで抽出し、そのユーザがもつ属性情報をユーザ B の属性情報とする。なお、ランダムで選ぶ理由として、ユーザ群 A とユーザ群 B にアプリログの傾向が異なる可能性が考えられるため、最も近いユーザを選んだ場合、常に同じユーザが選ばれてしまうことを避けるためである。

4. 評価手法

4.1 実証実験

本提案手法の評価は、2022年2月1日から2022年3月21日の期間で実施された、幕張新都心エリアにおける実証実験で収集されたデータを用いて行った*1。本実証実験は、地域住民の回遊性向上を目的とした実証実験であり、実証参加者にはアプリケーション「まくはり MaaS」をインストールしてもらい、それを活用しながら幕張新都心エリアを周遊する。図2のように、アプリケーションからは、エリアを周遊するための交通手段の予約や、周遊エリアのスポット情報にアクセスすることができる。また、本評価手法で用いるユーザ数の内訳を表1に示す。

4.2 プッシュ通知について

実証実験で用いたプッシュ通知システムについて説明する。本システムでは、ユーザの状況をトリガとして、店舗と文言を該当のユーザへプッシュ通知を行う。ユーザの状況とは、アプリケーションをインストールした端末から取得できる位置情報や、特定の時刻、交通手段の予約履歴などのことを示す。ユーザ状況をトリガにしたプッシュ通知は、「幕張駅に着いた時に、周遊スポットをおすすめ」や、「お昼時に飲食店をおすすめ」といった内容のレコメンドをユーザに提供することが可能である。

また、メッセージ確認画面は図3のようになっている。プッシュ受信時には、通知タイトルに「あなたへのおすすめがあります」、通知文に「あなたにおすすめの店舗でお食事はいかがですか？」のプッシュ通知が通知エリアに表示される。なお、通知文にはプレーン・損失回避フレーム・同調フレームを活用して設計された3種類のナッジ文言を採用した。



図2 「まくはり MaaS」の画面イメージ

表1 評価で用いるユーザ数内訳

	総ユーザ数	1回以上開封有のユーザ数			
		文言1	文言2	文言3	合計
ユーザ群 A	835	118	119	112	245
ユーザ群 B	3125	345	378	366	773



図3 メッセージ確認画面

表2 アプリログの例

プッシュ開封時間	カーシェア利用回数
アプリ起動回数	シェアサイクリング利用回数
プッシュ開封率	タクシー配車サービス利用回数
クーポン利用回数	バス利用回数
メッセージ詳細閲覧回数	バス予約時間/乗車時間
スポット詳細閲覧回数	ルート検索条件(歩く速度・並び替え)
スポット検索回数	ルート検索使用回数

4.3 最適なナッジ文言の推定

本研究の評価で利用する実証実験の開封履歴について、実証実験中に介入があったことを説明する。具体的には、本実証実験において、ユーザ群 A に所属するユーザの半数には属性情報に応じて推定された文言のプッシュ通知を、もう一方にはランダムで配信を行った。なお、ユーザ群 B に対しては、すべてのユーザに対してランダムで配信した。

ユーザ毎の最適なナッジ文言の推定には、文脈付きバンディットアルゴリズム[12]を採用し、属性情報と過去の開封履歴から学習を行った。バンディットアルゴリズムは、

*1 https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_220125_00.pdf

複数の選択肢から利得を最大にするのを目的としており、新しい情報の探索と、既存情報に基づく選択肢の実行を同時に実施するものである。本実証実験では、選択肢を3種類の文言、情報の探索と実行をプッシュ通知、利得をその開封と定義して学習を行う。具体的には、過去の開封実績とユーザの属性情報に基づいて、文言のユーザ毎評価値を算出する3つのパラメータの更新を夜間に行い、日中はトリガが発火した際に、その評価値に基づいた確率でプッシュ通知を実施するものである。また、ユーザ群Aにおける属性情報に応じたナッジ文言の推定による介入効果を検証したところ、有意差10%で優位に開封率が向上したことがわかった。

4.4 属性情報とアプリログ

実証実験の参加者から、事前同意を得て取得した属性情報とアプリログについて説明をする。属性情報は、NTTドコモが過去に実施したアンケートなどから収集したデータであり、性年代や職業といったものが挙げられる。このような情報を、141次元のベクトル表現にしたものを用いる。

一方、アプリログは、4.1で紹介したアプリケーションから特徴量を作成した。アプリケーションは、各種モバイルサービスの利用ボタンや、経路検索機能、クーポン利用画面を所持しており、ユーザによって操作の差異が現れると考える。表2のような情報を、44次元のベクトル表現にしたものを用いる。

4.5 プッシュ通知開封の推定による評価

本提案手法の評価は、実証実験の開封履歴を用いたオフライン検証によって行う。また、本研究の目的であるユーザ毎の最適なナッジ文言の推定を、ユーザ毎の各文言のプッシュ通知の開封を予測する問題として定義し、本提案手法の評価を行う。この予測問題に対して、PythonのオープンソースライブラリであるPyCaret[13]によって、ナッジ文言毎の機械学習モデルを構築する。また、機械学習モデルの説明変数として、アプリログと3.3で補完した属性情報を用い、目的変数としてプッシュ通知に対する開封を用いる。

本研究における評価値の指標として、PyCaretの機能によって選定された最も性能のよいモデルによる予測値と、正解値との相関値を評価値とする。

4.6 プッシュ通知の開封の算出について

目的変数に、ユーザ毎に本実証実験期間での合計開封回数を用いることで、予測値を算出することができる。なお、プッシュ通知回数が極端に少ないユーザや、開封自体が少ないといったユーザが存在するため、開封毎に何回目のプッシュ通知かを考慮した重み付けを行う。ここで、図4に本実証実験のプッシュ通知の結果を集計した結果を示す。

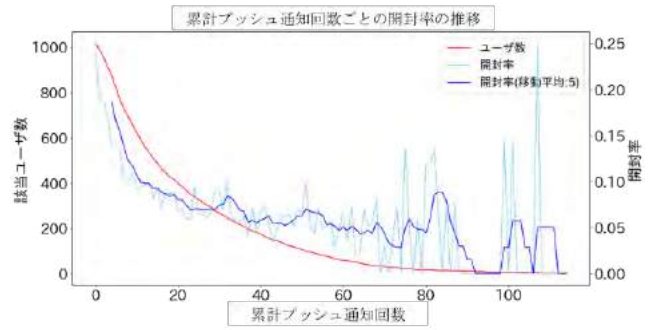


図4 累計プッシュ通知回数ごとの開封率の推移

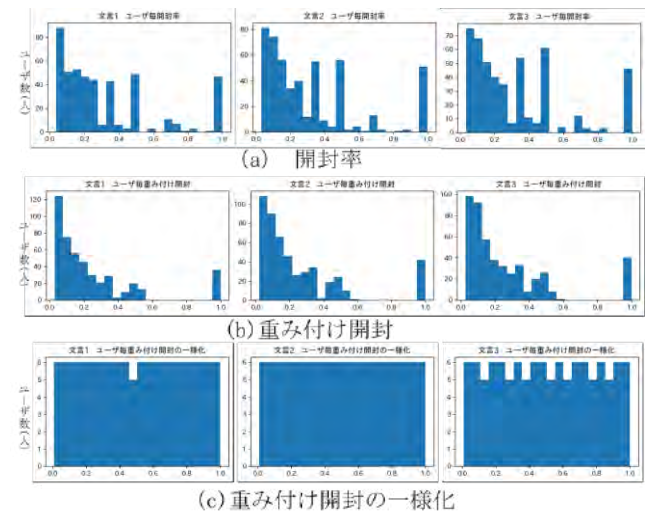


図5 重み付けによる開封Yの変化

図4で示すように、プッシュ通知回数が20回以下の場合、プッシュ通知の開封率が減少傾向にあるが、20回を超えると定常化している。これは、プッシュ通知が少ない間は配信に興味を惹かれ開封するが、何度も配信されるとプッシュ通知に対する興味が低下し、反応しなくなるという事が言える。一方、配信回数に関わらず開封し続けるユーザが一定数いることも示している。

累計プッシュ通知回数が少ないときより、多いときに開封したものが、1回の開封の価値が大きくなるような重み付けを図5(a)に行った結果を図5(b)に示す。また、重み付けは以下の式で行う。

$$Y^{j,a} = \frac{1}{n^{j,a}} \sum_{i:\pi_i^a=j} \frac{\log(1/p_i)}{\sum_{k:\pi_k^a=j} \log(1/p_k)} \quad (6)$$

ここで、Yはユーザaの文言jの重み付け開封である。nはユーザaの文言jの開封回数を、Pは全ユーザのk回目の平均開封率の移動平均を、 $\pi_i^a=j$ はユーザaのi回目のプッシュ受信の文言が文言jであることを示す。なお、60回以上のユーザ数が少ないことから、60回以上のプッシュ通知に関しては無効とする。さらに、重み付け開封Yが一様分布になるように、Yの大きさの順序を合計ユーザ数で割ったY'を予測値として用いる。一様化を行った結果を図5(c)

に示す。

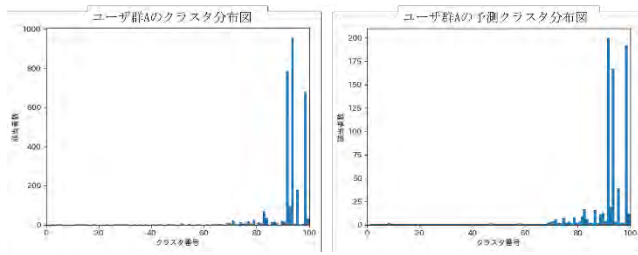


図6 ユーザ群Aの予測クラスタ分布

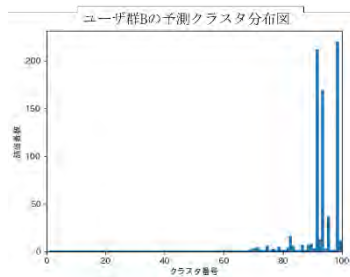


図7 ユーザ群Bの予測クラスタ分布

	ユーザ群 A	ユーザ群 B
ユーザ数	835	3167
ユーザ所属クラスタ数	100	65
クラスタ所属平均ユーザ数	8.35	48.07
標準偏差	34.431	172.114
変動係数	4.123	3.580

表3 ユーザ群Aとユーザ群Bの予測クラスタ結果

5. 評価結果

5.1 ユーザのクラスタリングに関する評価

ユーザ群 A に所属する 835 人のユーザの 141 次元の属性情報ベクトルと 44 次元のアプリログベクトルを用いて、式(2)のパラメータ W の学習を行った。学習した W を用いて 100 個のクラスタにユーザ群 A をクラスタリングした結果とユーザ群 A の所属クラスタを予測した結果を図 6 に示す。本提案手法による所属クラスタの予測正解率はマイクロ正解率で 94.7%であった。しかし、図 6 のクラスタ分布図からわかるように、多くのユーザは 4 つのクラスタに所属しているため、正解率が高くなっているともいえる。

次に、ユーザ群 B に所属するユーザ 3125 人を用いて、所属クラスタの予測を行った結果を図 7 に示す。また、表 3 に示すように、ユーザ群 A とユーザ群 B のクラスタリング結果の比較をしたところ、ユーザ群 A とユーザ群 B の傾向に大きく乖離がないところから、3.3 の提案手法による所属クラスタの予測が、ある程度可能であるといえる。

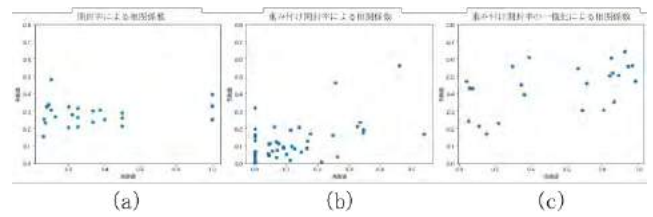


図8 重み付けによる予測値 Y の分散変化

表4 ユーザ群 A : 学習と評価に用いたユーザ数

	文言 1	文言 2	文言 3
ユーザ数(人)	118	119	112
学習データ	94	95	89
評価データ	24	24	23

表5 ユーザ群 A : 属性情報による予測結果

	文言 1	文言 2	文言 3
Best model	K Neighbors Regressor	Random Forest Regressor	Ridge Regression
Correlation	0.289	0.123	0.211
MSE	0.120	0.090	0.129

表6 ユーザ群 A : 属性情報とアプリログによる予測結果

	文言 1	文言 2	文言 3
Best model	K Neighbors Regressor	AdaBoost Regressor	Ridge Regression
Correlation	0.502	0.290	0.339
MSE	0.101	0.082	0.121

5.2 ユーザ群 A に関する評価

4.6 で示した開封に対する重み付けの処理による効果を、ユーザ群 A を用いた文言 1 における開封 Y の予測結果によって示す。予測に用いたユーザは、1 回以上開封を行ったユーザとする。これは、表 1 で示すように、プッシュ通知を一度も開封していないユーザの割合が多いため、全ユーザを用いて学習をしてしまうと、開封 Y の予測が難しくなるためである。説明変数として、属性情報とアプリログを用い、アプリログは開封率と強い相関のある特徴量を除いた 22 次元で推測を行った。

重み付けと一様化を目的変数である開封率に実施し、学習した場合の予測結果を図 8 に示す。予測値が低い値に集中することなく予測が行えていることが分かる。

次に、属性情報とアプリログが、ナッジ種別推定に有効であることを示すために、ユーザ群 A の属性情報のみを用いた場合と、属性情報とアプリログの両方を用いた場合の予測を行った。表 4 に示すように、モデルの学習と評価に用いたユーザは、各文言プッシュ通知を 1 度でも開封したことのあるユーザのみで行い、学習データと評価データは 8:2 で分割した。

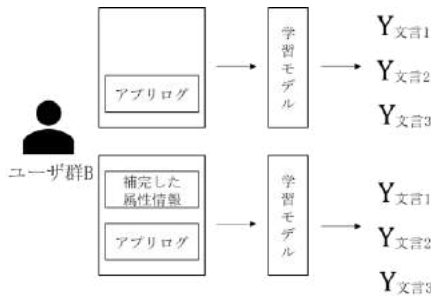


図9 ユーザ B 群を用いた提案手法の評価

表7 ユーザ群 B : 学習と評価に用いたユーザ数

	文言 1	文言 2	文言 3
ユーザ数(人)	345	378	366
学習データ	276	302	292
評価データ	69	76	74

表8 ユーザ群 B : アプリログによる予測結果

	文言 1	文言 2	文言 3
Best model	Random Forest Regressor	Ridge Regression	Ridge Regression
Correlation	0.310	0.158	0.270
MSE	0.07	0.08	0.07

表9 ユーザ群 B : 属性情報とアプリログによる予測結果

	文言 1	文言 2	文言 3
Best model	AdaBoost Regressor	Random Forest Regressor	Random Forest Regressor
Correlation	0.312	0.196	0.379
MSE	0.08	0.08	0.07

属性情報のみを用いた場合と、属性情報とアプリログを用いた場合の予測結果を表5と表6に示す。全ての文言において、属性情報とアプリログを用いた場合が、属性情報のみを用いた場合の相関値を上回っているため、ナッジの開封の予測には属性情報だけでなくアプリログも有効であることが分かる。

5.3 ユーザ群 B に関する評価

本提案手法の有効性の評価方法の概要を図9で示す。ユーザ群 B のアプリログのみを用いた場合と、3で示した提案手法によって選定した属性情報とアプリログの両方を用いた場合の予測結果を比較することで有効性を示す。なお、予測に用いたユーザは、1回以上開封を行ったユーザであり、モデルの学習と評価に用いたデータは表7に示す。表8と表9が示すように、2つの場合を比較した結果、提案手法によって選定した属性情報を用いた場合、予測精度が改善したことがわかる。なお、文言によっては相関値の変化が小さい文言もあり、すべての文言に対して予測精度を

改善するためには、アプリログのベクトルの次元数をより増やすことで表現力を向上させる必要がある。

6. おわりに

本研究では、アプリログを用いて属性情報を補完する手法を提案と評価を行った。ナッジ毎の開封予測精度が向上したことから、本提案手法が有効であるという示唆を得られた。しかし、本研究で行った評価は、過去の実証実験のデータを用いたナッジ毎のプッシュ通知開封の予測によるものであり、本研究の目的であるナッジ種別の推定への有効性を100%示せるものではない。よって、各モデルが出した評価値の違いに基づいて、実際に文言を出し分けることで、その有効性を検証する必要がある。なお、評価値の違いに基づいてナッジの出し分けを行う点については、4.3でユーザ群 A において効果があったことを述べている。

今後は、本研究で未検証である内容について実証実験を実施することで、提案手法によるプッシュ通知の介入効果の向上の有効性を検証していきたい。

参考文献

- [1] Reddy, S. M.W., Montambault, J., Masuda, Y. J., Keenan, E., Bulter, W., Fisher, J. R. B., Asah, S. T., and Gneezy, A. "Advancing Conservation by Understanding and Influencing Human Behavior", *Conversation Letters*, Vol.10, No.2, pp.248-256 (2017)
- [2] Xu, W., Kuriki, Y., Sato, T., Taya, M., and Ono, C. "Does Traffic Information Provided by Smartphones Increase Detour Behavior? An Examination of Emotional Persuasive Strategy by Longitudinal Online Surveys and Location Information", *Proc. 15th international conference on Persuasive Technology*, pp.45-57 (2020)
- [3] Leonard, T. C.: Richard H. Thaler, Cass R. Sunstein, "Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness" (2008)
- [4] Hyun Bae Kim, Toshiya Iwamatsu, Ken-ichiro Nishio, Hidenori Komatsu, Toshihiro Mukai, Yoko Odate, Masanobu Sasaki, "Field experiment of smartphone-based energy efficiency services for households: Impact of advice through push notifications", *Energy and Buildings*, Vol. 223 (2020)
- [5] Carmina G. Valle, Brooke T. Nezami, Deborah F. Tate, "Designing in-app messages to nudge behavior change: Lessons learned from a weight management app for young adults", *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol. 161, pp. 95-101, (2020)
- [6] 竹内幹, "社会保障のための行動経済学: 補正か誘導か?" *社会保障研究*, Vol. 6, No. 3, pp. 233-244 (2021)
- [7] 池田新介・大竹文雄・筒井義郎, "時間割引率: 経済実験とアンケートによる分析", *淡路島行動経済学ワークショップ提出論文* (2005)
- [8] Yamauchi Taisei, Takami Kyosuke, Flanagan. Brendan, Ogata Hiroaki, "Nudge Messages for E-Learning Engagement and Student's Personality Traits: Effects and Implication for Personalization", *30th International Conference on Computers in Education Conference, Proceedings* (2022)
- [9] 池田新介, 筒井義郎, "アンケート調査と経済実験による危険回避度と時間割引率の解明", *大阪大学社会経済研究所*,
- [10] 佐藤一夫, "プライバシー保護を考慮したケータイ行動ログの活用について", *情報処理*, vol. 50, No. 7 (2009)
- [11] 佐藤哲, "アクセスパターンのクラスタリングによる Web ログからのユーザ属性推定", *情報科学技術フォーラム* (2016)
- [12] Shipra Agrawal, Navin Goyal, "Thompson Sampling for Contextual Bandits with Linear Payoffs", *the 30th International Conference on Machine Learning*, vol. 28, pp. 127-135 (2013)
- [13] <https://github.com/pycaret>

法人向け運動促進アプリケーションにおける インセンティブが身体活動に及ぼす影響の分析

斉藤虎太郎^{†1} 江口直輝^{†2} 荒川豊^{†3} 中村優吾^{†4}
九州大学 九州大学 九州大学 九州大学

1. はじめに

身体活動を習慣化することは、生活習慣病の予防、メンタルヘルス、生活の質 (QOL: Quality of Life) 及びウェルビーイングの改善において効果的である。厚生労働省が示した健康日本 21(身体活動・運動)[1]によると、日本人の3人に1人以上が運動不足であり、歩行を中心とした身体活動を増加させるように心掛けることで、日常生活において身体活動量を増やす必要があり、日本人の歩数を1,200~1,500歩/日増大させることが具体的な目標として示されている。また、令和元年国民栄養調査 [2] では、運動習慣改善の意思について、「関心はあるが改善するつもりはない」と回答した人の割合が最も高く、男性 23.9%、女性 26.3%と、約4人に1人が運動習慣について改善する意思がないことが示されており、日本人の歩数や身体活動の意欲を向上する方法について議論することは、現在も日本の健康問題上非常に重要なことであることが示唆されている。

こうした問題を解決するには、人々が何らかの動機づけによって、身体活動に関する行動変容を起こすことが必要である。厚生労働省の示す行動変容ステージモデル [3] によると、人の行動変容は、無関心期、関心期、準備期、実行期、維持期の5つのステージを通ると考えられている。人々が身体活動に関する行動変容を起こすように動機付けるには、その人が今どのステージにいるかを把握し、それぞれのステージに合わせた働きかけが必要とされている。

近年、身体活動に関する行動変容を促す手段として、スマートフォンのヘルスケアアプリなどにゲームの要素を取り入れるゲーミフィケーションが注目されている [4, 5]。スマートフォンアプリによる介入は身体活動量の増加に影響する可能性があることが示されている [6] が、研究対象のアプリの多くは研究用にデザインされたものであり、市場に回るアプリの多くは効果が十分検証されていない [7]。つまり、ゲーミフィケーションを活用したアプリを、市場に回

る程の規模感を持って社会実装した場合の介入の有効性については、十分明らかになっていない。

Agileware Inc. によって開発された KIWI GO^{*1}は、歩数データと心拍データを利用した多様なゲーミフィケーションによって、組織単位での身体活動促進を目的としたスマートフォン向けアプリケーションである (図 1)。KIWI GO は、組織単位で加入する福利厚生サービスの1つであり、選択されたプランに応じて、従業員に還元される総額インセンティブが異なっている。また、ここでの組織は、行動変容ステージモデルの5つのステージのいずれかに該当する人々で構成されていると考えられ、KIWI GO には、こうした様々な層の行動変容を動機づけるための多様な仕組みが実装されている。また、動機づけには、インセンティブの付与などによって得られる外発的動機付けと、その人自身の興味や関心、意欲によって得られる内発的動機付けの2種類が存在する。KIWI GO 提供するゲーミフィケーションの仕組みは、外発的動機付けに当たるものであるが、予算によってその上限は決められており、限界がある。提供できる外発的動機づけの中でやりくりして、内発的動機づけにつなげていく必要がある。

Agileware Inc. において、KIWI GO を導入したところ、実際に約7割の社員の運動量が増加したことが示されており、KIWI GO の利用が日々の身体活動の意欲向上に効果的であることが示唆されている。そこで本研究では、様々な仮説に基づいて設計された KIWI GO の多様なゲーミフィケーションやインセンティブが、実際にどのようにして利用者の身体活動の意欲向上に機能しているのかを明らかにする。

2. KIWI GO について

Agileware Inc. によって開発された KIWI GO は、歩数データと心拍データを利用した多様なゲーミフィケーションによって、組織単位での身体活動促進を目的としたスマートフォン向けアプリケーションである。KIWI GO の利用には組織単位での加入が必要となるが、KIWI GO には、利

Analysis of the Effects of Incentives on Physical Activity in a Corporate Exercise Promotion Application

^{†1} KOTARO SAITO, Kyushu University

^{†2} NAOKI EGUCHI, Kyushu University

^{†3} YUTAKA ARAKAWA, Kyushu University

^{†4} YUGO NAKAMURA, Kyushu University

^{*1} <https://kiwi-go.jp/>



図1 KIWI GO のアプリ画面

ユーザーの行動変容を動機づけるための多様なゲーミフィケーションの仕組みが実装されている。

ここでは、KIWI GO に実装されているインセンティブ機能について説明する。KIWI GO では、運動によってポイントが貯まるとともに、ポイントやアクティビティに応じた5つのインセンティブが用意されている。アプリ内の通貨は、100 コインで1円相当の価値である。

- 連続ログインボーナス
 - － 狙い：毎日アプリを起動させることで身体活動の意欲を高める
 - － 報酬：10 コイン ～ 100 コイン
- 目標達成ボーナス
 - － 狙い：目標達成の喜びによって運動強度の高い有酸素運動を促進する
 - － 1000 歩達成ごとに 400 コイン，運動強度の高い運動 5分ごとに 800 コイン
- 1 日単位での目標達成ボーナス
 - － 狙い：目標達成の喜びによって身体活動の継続を促進する
 - － 5000 歩達成ごとに 1200 コイン
- ごほうびガチャ
 - － 狙い：ジュース一本程度のご褒美によって身体活動の意欲を高めたい
 - － 1 週間に 1 度ランダム抽選 (5000 コイン or 16000 コイン)
- ドリームガチャ
 - － 狙い：豪華なご褒美によって身体活動の意欲を高めたい 口コミによる利用者の拡大
 - － 1 月に 1 度ランダム抽選 (Amazon ギフト 10000

円 or はずれ)

月々に得られるコインの上限は、会社が契約しているプランに依存しており、月の途中で上限に達する利用者も多い。また、歩数のデータはウェアラブルデバイスやモバイル端末から取得される。ポイントインセンティブの他にも、ギルド機能やギルド内でのイベント機能なども実装されており、同じ組織に属する利用者同士を結びつけることで、利用者の行動変容につなげることも、KIWI GO の狙いである。

3. 仮説と分析手法

本章では、本研究における仮説と分析手法について説明する。

3.1. 仮説

本研究は、様々な仮説に基づいて設計された KIWI GO の多様なインセンティブやゲーミフィケーションが、実際どのようなようにして利用者の身体活動の意欲向上に機能しているのかを明らかにするために、以下の2つの仮説を立て、検証した。

- 仮説1：アプリをインストールすることで身体活動の意欲が高まる
- 仮説2：ドリームガチャに当選することで身体活動の意欲が高まる

3.2. 対象データと分析手法

本研究では、2021年9月から2022年9月の1年間で KIWI GO を利用した1,253名のアプリ利用データを対象とし分析を行った。アプリ利用データは、利用者の歩数データ、ガチャの当選データ、ポイント交換の履歴などから構成されている。利用したデータや外れ値として除外したデータ、解析手法は検証する仮説ごとに異なるため、以降で説明する。

3.2.1 仮説1

仮説1の検証では、日々の運動レポートのデータを利用した。日々の運動レポートには記録された日付、合計歩数、ワークアウトの合計時間などのデータが含まれている。利用者がアプリをインストールする際にモバイル端末に蓄積されている過去30日分の歩数データがアプリのデータベースに収集されるため、アプリインストール前の1日ごとの歩数データも運動レポートに含まれている。ウェアラブルデバイスやモバイル端末を所持していない日があることを考慮して、1日ごとに集計された歩数データのうち上下5%を削除した。さらにアプリインストール前のデータに関して、アプリの不具合により数日しか歩数データを収集でき

ていない利用者も含まれていたため、2週間以上の歩数データがある273名の利用者のデータを分析対象とした。これらのデータに対し、アプリインストール前後で歩数分布と平均歩数の変化の比較を行った。また、アプリインストール後の経過に関する分析として、0日から30日後、31日から60日後、61日から90日後の4つの時期の平均歩数について比較する分析を行った。さらに、対象の273人に対し、アプリインストール後の歩数の推移が、アプリインストール前の歩数によって変化しているかについての分析を行った。具体的にはアプリインストール前の利用者ごとの歩数データを平均歩数によって4分割し、それらの利用者群がアプリインストール後の0日から30日後、31日から60日後、61日から90日後の4つの時期において平均歩数がどのように推移していくのかについて分析を行った。

3.2.2 仮説2

仮説2の検証では、KIWI GO 利用者の日々の運動レポートとドリームガチャ当選者のデータを利用した。日々の運動レポートには記録された日付、合計歩数、ワークアウトの合計時間、ドリームガチャ当選者のデータには、当選した日付、当選した利用者のID、景品の種類などのデータが含まれている。これらのデータに対してまず、ドリームガチャ当選者と非当選者の群の代表値の比較する分析を行った。具体的には、2021年9月から2022年9月の1年間で、当選者と非当選者の群の1日あたりの平均歩数に有意な差が認められるかどうかについて検証した。ウェアラブルデバイスやモバイル端末を所持していない日があることを考慮して、1日ごとに集計された歩数データのうち上下5%を削除し、残った988名の利用者のデータを分析対象とした。分析対象とした988名のうち、当選者は142名、非当選者は846名であった。次に、ドリームガチャ当選データに対して、ドリームガチャ当選後の歩数の推移について分析を行った。具体的には、ガチャ当選日前、ガチャ当選日の0日から30日後、31日から60日後、61日から90日後の4つの時期の平均歩数について比較する分析を行った。2021年9月から2022年9月の1年間において、ドリームガチャの当選件数は合計166件であった。そのうち、当選日から90日以上の上の当選後の経過を分析するのに十分なデータが得られている100件の当選データを対象に分析を行った。さらに、ドリームガチャ当選データを用いて、ドリームガチャ当選後の歩数の推移が、当選前の歩数によって変化しているかについて、分析を行った。分析対象としたデータは前述のものと同様である。具体的には、当選者の群をガチャ当選日前の平均歩数が少ない方から多い方まで4分割し、4つの群それぞれにおいて、ガチャ当選日前、ガチャ当選日の0日から30日後、31日から60日後、61日から90日後の4つの期間における、平均歩数について比較する分析を行った。

3.3. 統計処理

2群間の値やベースラインの値、ベースラインからの変化量の比較には、データに対応があるパラメトリックのデータには対応のあるt検定を、データに対応があるノンパラメトリックのデータにはWilcoxonの符号順位検定を、データに対応がなく、2群間の分散に差がないパラメトリックのデータにはWelchのt検定をそれぞれ用いた。また、結果は対応のないデータ群同士の比較では平均値、対応のあるデータ群同士の比較では平均値±標準誤差で示した。

4. 結果と考察

本章では、各仮説の検証において得られた結果について説明する。

4.1. 仮説1の分析結果

インストール前後の歩数データに対し、インストール後0日から30日後、31日から60日後、61日から90日後の4つの時期の平均歩数について比較した結果を図2に示す。各期間ごとに一つ前の期間と比較したところ、アプリインストール前とインストール後0日から30日後の1日あたりの平均歩数に 894 ± 108 歩の有意な増大が認められた($P < 0.01$)。さらに、31日から60日後と61日から90日後の歩数に関して、1日あたりの平均歩数に 112 ± 81 歩の有意な増大が認められた($P < 0.05$)。一方で、0日から30日後と31日から60日後においては有意な差は認められなかった。本結果より、アプリを導入したと直後は身体活動の意欲が高まることが明らかとなった。しかし、31日から60日後と61日から90日後の歩数平均には有意差があることから、インストール直後の30日間をピークにして、次第に運動意欲が低下していく可能性があることが明らかとなった。

次に、アプリインストール前において、利用者ごとの歩数データを平均歩数によって以下のように4分割し、それらの利用者群がアプリインストール後の0日から30日後、31日から60日後、61日から90日後の4つの時期において平均歩数を推移を分析した。

- Q1：972歩以上3352歩未満69人
- Q2：3352歩以上4913歩未満68人
- Q3：4913歩以上6647歩未満68人
- Q4：6647歩以上11512歩未満68人

結果を図3に示す。歩数平均によって4分割し、さらにそれらの群において、各期間ごとにひとつ前の期間と比較した。その結果、Q1には、インストール前とインストール後30日間において、1日あたりの平均歩数に 1993 ± 128 歩

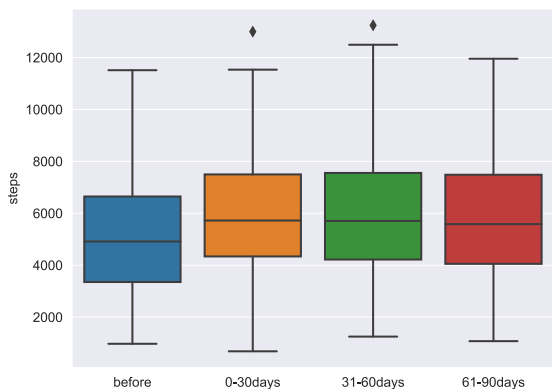


図2 アプリインストール前後での歩数推移

($P < 0.01$) 有意な増大が見られた。Q2 には、インストール前とインストール後 30 日間において、1 日あたりの平均歩数に 954 ± 89 歩 ($P < 0.01$) 有意な増大が見られた。Q3 には、インストール後 31 日から 60 日後と 61 日から 90 日後の間において、1 日あたりの平均歩数に 298 ± 80 歩 ($P < 0.01$) の有意な増大が見られた。Q4 には、インストール後 0 日から 30 日後と 31 日から 60 日後の間において、1 日あたりの平均歩数に 170 ± 88 歩 ($P < 0.05$) 有意な増大が見られた。本結果より、アプリ導入時において最も効果を発揮したのはアプリインストール前に平均歩数が最も少なかった群である Q1 であることが明らかになった。さらに、4 群のうち 2 番目に平均歩数が少なかった群である Q2 においても、平均歩数が増加していた。これらの結果を踏まえ、KIWI GO をインストールすることは、元々それほど歩数が多くない利用者に対して、より効果的に身体活動を促進できるということが明らかとなった。一方で、アプリインストール前に最も平均歩数が多かった群である Q4 に対しては、アプリインストール前と 0 日から 30 日後で平均歩数が低下していることから、平均歩数が多い利用者には、アプリをインストールすることによる効果は少ないということがわかった。以上の結果を踏まえ、本アプリをインストールすることは、インストール前の身体活動量が少ない利用者に対しては、身体活動の促進に大きな効果を発揮するが、インストール前の身体活動量が多い利用者に対しては、身体活動の促進には効果を発揮しないことが明らかとなった。よって、本検証において、アプリをインストールすることで身体活動の意欲が高まるという仮説 1 は、インストール前の身体活動量が少ない利用者に対しては、正しいと言える結論づけた。

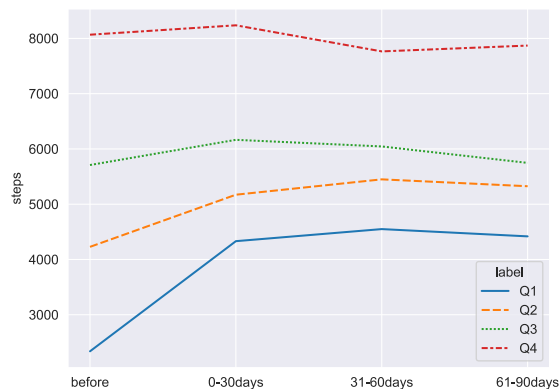


図3 Q1~Q4 の各群のアプリインストール前後における経過日数ごとの 1 日あたりの平均歩数

表1 当選者と非当選者の各群の代表値の比較

代表値	全体	当選者	非当選者
対象人数 (人)	n=988	n=142	n=846
平均歩数/日 (歩)	4694 ± 57	5029 ± 130	4638 ± 63

4.2. 仮説 2 の分析結果

当選者と非当選者の各群の代表値の比較を行った結果を表 1 に示す。

非当選者の群と比較し、当選者の群の 1 日あたりの平均歩数は 391 歩有意に大きかった ($P < 0.01$)。

ドリームガチャ当選データに対して、当選日前、当選日の 0 日から 30 日後、31 日から 60 日後、61 日から 90 日後の 4 つの時期の平均歩数について比較した結果を図 4 に示す。

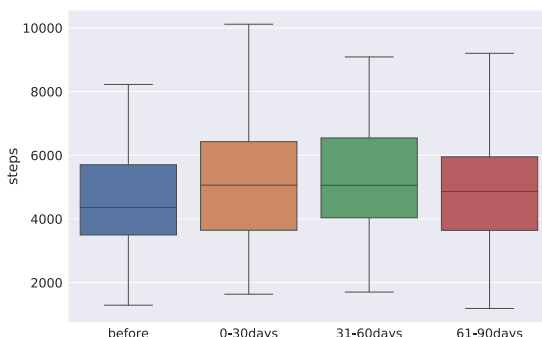


図4 ドリームガチャ当選後の経過日数ごとの 1 日あたりの平均歩数

各期間ごとにひとつ前の期間と比較したところ、当選日

前と 0 日から 30 日後の期間の 1 日あたりの平均歩数に 568 ± 142 歩の有意な増大が確認できた ($P < 0.01$). そのほかの期間については有意な差は見られなかった。

当選者の群をガチャ当選日前の平均歩数によって以下のように 4 分割し、各群に関してガチャ当選日前、ガチャ当選日の 0 日から 30 日後、31 日から 60 日後、61 日から 90 日後の 4 つの時期の平均歩数について比較を行った。

- R1 : 1290 歩以上 3496 歩未満 25 人
- R2 : 3496 歩以上 4360 歩未満 25 人
- R3 : 4360 歩以上 5702 歩未満 25 人
- R4 : 5702 歩以上 11932 歩未満 25 人

結果を図 5 に示す。R1 群において、ガチャ当選前とガチャ当選後 30 日間の平均値には 1450 ± 247 歩 ($P < 0.01$) の有意な増大が認められた。R2 群において、ガチャ当選前とガチャ当選後 30 日間の平均値には 690 ± 196 歩 ($P < 0.01$) の有意な増大が認められた。それ以外のデータ群と期間にの組み合わせには有意な差は認められなかった。

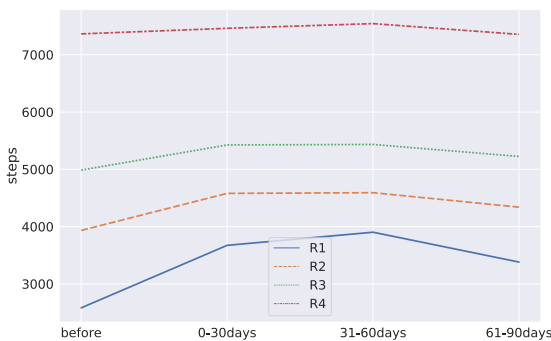


図 5 R1~R4 の各群のドリームガチャ当選前後における経過日数ごとの 1 日あたりの平均歩数

パ・リーグ 6 球団公式アプリ「パ・リーグウォーク」の利用が毎日の歩数に与える影響を調査した研究 [5] では、パ・リーグウォークのインストール前後において、アプリ利用者の 1 日あたりの平均歩数が 579 歩増加したことが報告されており、ドリームガチャ当選者の歩数増加と同程度であった。ポケモン GO が身体活動に与える影響について調査した研究 [8] では、アプリインストール直後は歩数増加が見られるが、時間経過とともに歩数増加が次第に弱まり、平均的には 6 週間で利用開始前の水準の歩数に戻るなど、効果が一部の利用者に限られている可能性も指摘されており [8]、本検証の結果と類似した傾向であった。また、本検証の結果は、ドリームガチャ当選後 30 日間での歩数の増加量が、当選前の歩数が少ない R1 群と R2 群において特に大きいことを示

しており、ドリームガチャの当選は、当選前にそれほど身体活動が活発でなかった利用者の身体活動意欲をより促進しているということが明らかになった。よって、本検証において、ドリームガチャに当選することで身体活動の意欲が高まるという仮説 2 は、元々身体活動を活発に行っていた利用者に対しては、本結果からは正しいとは言えず、元々身体活動が活発ではなかった利用者に対しては正しいが、一時的な効果にとどまるものであると結論付けた。

5. まとめと今後の展望

本章では、本研究におけるまとめと今後の展望に述べる。

5.1. まとめ

本研究では、Agileware Inc. によって開発された KIWI GO アプリの多様なゲーミフィケーションが、実際にどのようにして利用者の身体活動の意欲向上に機能しているのかについて、2 つの仮説を立て分析を行った。

分析の結果、アプリをインストールすることで身体活動の意欲が高まるという仮説 1 は、インストール前の身体活動量が少ない利用者に対しては正しく、ドリームガチャに当選することで身体活動の意欲が高まるという仮説 2 は、元々身体活動を活発に行っていた利用者に対しては、結果からは正しいとは言えず、元々身体活動が活発ではなかった利用者に対しては正しいが、一時的な効果にとどまるものであるという結論を得た。

日常歩数は身体活動量の指標の一つであり、死亡リスクや循環器疾患発症リスクとの関連が知られている [9]。歩数が 1,000 歩/日多いと 15 % 死亡リスクが低いという報告もあり [10]、今回 KIWI GO のアプリインストールやドリームガチャ機能の利用によって、歩数の増加が確認されたことは、健康寿命延伸の観点からも意義が大きい。また、KIWI GO が利用者に対してアプリをインストール、ドリームガチャに当選する、特に、元々身体活動が活発でない利用者において、身体活動を大きく促進していたことは、健康格差是正の観点からも特筆すべき点である。

5.2. 今後の展望

本研究では、KIWI GO のインストールと多様なゲーミフィケーションのうちの一つであるドリームガチャが身体活動に及ぼす影響について分析したが、KIWI GO にはドリームガチャの他にも、連続ログインボーナスや目標達成ボーナス、ギルド機能やイベント機能といったゲーミフィケーションの仕組みが実装されている。連続ログインボーナスや目標達成ボーナスは、利用者の身体活動の習慣化を促進する狙いのもと実装されている。本研究のドリームガチャ

に関する分析では、ドリームガチャは利用者の継続的な身体活動の促進には影響しているとは言えないことが明らかとなった。そのため、KIWI GO が利用者の継続的な身体活動の促進に影響しているかどうかを調べるには、連続ログインボーナスや目標達成ボーナスの機能に関して新たな仮説を立て、検証する必要がある。また、ギルド機能やイベント機能は、ギルド参加者の間での心理的つながりを利用し、行動変容を起こそうという狙いのもと実装されている。心理的つながりによる動機づけは、自己決定理論における外発的動機づけのうち、最も自己決定の程度が高いとされており、利用者の身体活動に与える影響が大きいが推察される。そのため、ギルド機能やイベント機能についても、新たな仮説を立て、利用者の身体活動への影響度を検証したいと考えている。

KIWI GO には、本研究で着目した機能のほかにも、分析対象とすべき機能が多く残されている。今後は、本研究で扱えなかった機能に関しての分析にも取り組みたいと考えている。本研究での取り組み成果や今後の取り組み成果が、将来的に、より多様な人々の身体活動を促進するための新たなアイデアが生まれるきっかけとなれば幸いである。

謝辞 本研究の遂行にあたり、多数のデータや資料の提供、サポートをいただいた Agileware Inc. の皆様に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] 厚生労働省健康日本 21(身体活動・運動) (2000). https://www.mhlw.go.jp/www1/topics/kenko21_11/b2.html.
- [2] 厚生労働省令和元年度国民栄養調査 (2019). https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_14156.html.
- [3] 厚生労働省 e-ヘルスネット 行動変容ステージモデル (2019). <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/exercise/s-07-001.html>.
- [4] Mitesh, S., Patel, M., Small, D. and Harrison, JD, e. a.: Effectiveness of Behaviorally Designed Gamification Interventions With Social Incentives for Increasing Physical Activity Among Overweight and Obese Adults Across the United States The STEP UP Randomized Clinical Trial, *JAMA Internal Medicine* (2019).
- [5] Matsumoto, N., Kamada, M., Hayasi, H., Kawachi, I., Hirayama, T., Negishi, T. An official app for the Pacific Baseball Leagues “Pa-League Walk” : boost the team with your daily steps ! , J-STAGE, 日本健康教育学会誌 (2021).
- [6] Roxanne, G., Anne, M. M., Elon, J., van, O., Monique, S. and Evelyn, M.: The Effect of Physical Activity Interventions Comprising Wearables and Smartphone Applications on Physical Activity: a Systematic Review and Meta-analysis, *Sports Medicine-Open* (2018).
- [7] Amelia, R., Sarah, E., Ronald, P., Rachel, C., Jillian, R., Ilea, S., Alyson, C. and Carol, M.: Can Smartphone Apps Increase Physical Activity? Systematic Review and Meta-Analysis, *Journal of Medical Internet Research* (2019).
- [8] Katherine, B, H., Christian, S., Peter, U., Daniel, H., Ichiro, K. and Eric, B, R.: Gotta catch’em all! Pokémon GO and physical activity among young adults: difference in differences study, *BMJ* (2016).
- [9] Pedro, F., Saint, M., Richard, P., Troiano, David, R. and Bassett, J.: Association of Daily Step Count and Step Intensity With Mortality Among US Adults, *JAMA* (2020).
- [10] I-Min, L., MBBS, Eric, J., Shiroma and Masamitsu, K.: Association of Step Volume and Intensity With All-Cause Mortality in Older Women, *JAMA Internal Medicine* (2019).

インセンティブとの組み合わせを前提とした ナッジ効果測定のための実験設計方法

酒井 亮勢* 落合 桂一* 井手 崇博* 大滝 亨* 山田 暁* 鈴木 喬* 佐藤 弘之*
川上 博* 矢野 達也* 大川 博生* 和久井 圭祐* 白井 拓也* 荒川 豊† 星野 崇宏‡
株式会社 NTT ドコモ* 九州大学† 慶應義塾大学‡

【キーワード】 ナッジ, インセンティブ, 行動変容, 行動経済学, 行動インサイト

1. はじめに

2019年12月頃に発生した新型コロナウイルス感染症(COVID-19)は、2023年1月現在も収束の見通しが立たない[1]。国や各自治体、メディアからアルコール消毒やマスク着用等の感染症予防対策が推奨されている他、クラスターの発生防止の観点から厚生労働省より3密回避[2]が推奨されている。

各自治体や各企業がテレワークによる外出や対面の会議を避けることを推進しているものの、社会経済活動を継続するためには外出抑制は限度があり、感染症拡大の抑制と社会経済活動の両立が重要である。一定の外出量がある前提で3密が重ならないようにするためには、密集場所の回避、言い換えると混雑回避が必要不可欠である。具体的な混雑回避の手段としては、移動時や商業施設利用時の混雑時間帯の回避や飲食店でのテイクアウト等が考えられる。つまり、これらの行動変容を促すことで社会全体の混雑を緩和させることが可能である。

しかし、混雑回避を目的とした単なる呼びかけでは十分な行動変容を促すことは難しい。行動変容を促すための従来研究は様々あり、インセンティブ[3][4]によるものや人の心理に働きかける行動経済学的手法であるナッジ[5][6][7]、ゲームデザインやルールをゲーム以外に応用するゲーミフィケーション[8][9]等がある。理想としては、“そっと後押しする”という意味を持つナッジで本人に認知させることなく自然に行動を促すことが望ましい。

一方で、ナッジは万能でないことも知られている。実際、“ナッジは効果があるもののその効果は小さい”と考える経済学者もおり[10]、単純なナッジの効果だけには限界があることが報告されている[11][12]。そこで、より行動変容を促すためにナッジに効用の高いインセンティブを組み合わせる手段が考えられ、実際にその組み合わせによる介入の有効性が報告されている[13]。

ナッジとインセンティブの組み合わせは様々な場面で応

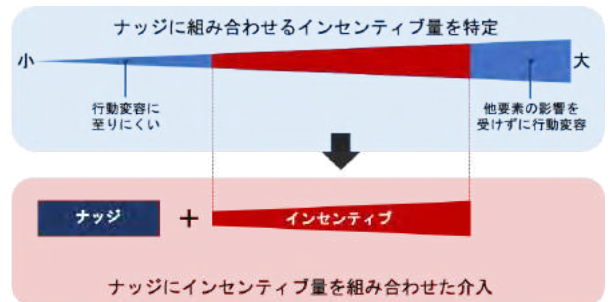


図1 インセンティブを組み合わせたナッジの効果測定のための実証設計イメージ

用可能な一方で、組み合わせる際のインセンティブ設計には以下の3点を考慮する必要がある。まず1点目は、インセンティブの効用が高くその影響が大きいという点である。具体的には、インセンティブが無い場合や極めて少ない場合は高い行動変容効果は期待できず、また、極めて多い場合はナッジとは関係なく高い確率で行動変容に至るためナッジの効果測定が困難となる。2点目は、サービス観点においてインセンティブ原資は有限である点である。そして3点目は、アンカリング効果[14]が働き、最初に大きいインセンティブを提示することでインセンティブを小さくした際の行動変容効果が減少してしまう。これら3点を考慮した上でナッジの効果検証を行えることは有意義であると言える。

そこで本論文では、インセンティブを組み合わせることを想定したナッジの効果検証を行う上での実験設計方法を提案する。具体的には、インセンティブのみで効果測定を行うフェーズとナッジにインセンティブを組み合わせるフェーズの2段階の実験設計である(図1)。これにより、ナッジによる行動変容効果向上の余地を残しつつ行動変容し得るインセンティブ量を特定した上で、ナッジの効果測定を可能とする。

本論文は次のように構成される。第二章では、ナッジとインセンティブについて述べ、第三章でナッジとインセンティブを組み合わせた実験設計方法について論じる。第四

Manuscript Format for Kickoff Symposium of IPSJ Behavior Transformation by IoT (BTI)

章でその実験設計に基づき実施した実証実験について概説し、最後に第五章で本論文についてまとめる。

2. 理論背景

2.1. ナッジ

2.1.1 ナッジの概要

Richard H Thaler らによって提唱されたナッジ (Nudge) とは、肘で軽くつくという意味を持ち、行動の意思決定の際に強制することなく自発的に本人や社会にとって望ましい行動を促す仕組みや仕掛けを表す [5].

ナッジ理論は、人間は必ずしも合理的には行動しないが故に伝統的な経済学では説明困難な人間の経済活動を実証的に観測することで明らかにするという行動経済学の枠組みで提唱されたものである。その行動経済学の基礎となるのが、Daniel Kahneman らの提唱した二重過程理論 [15] であり、この理論によると人の思考、情報処理、意思決定は2つのシステムに分類される。1つは、直感的で感情的、かつ自動的に処理するシステム1であり、もう一つは理論的かつ意識的にゆっくり処理されるシステム2である。つまり、本来このシステム2で物事の判断を行うことができれば、人は合理的に動くことができる。

しかし、人間は日常の中で様々な意思決定と行動をする必要があり、すべての物事を論理的に思考することは困難である。そのため、過去の経験や周囲の状況から半ば無意識的にシステム1の情報処理になることが多く、合理的ではない行動に至ってしまう。システム1は日常における意思決定の効率化に重要な一方で、時として損失や過失に繋がってしまう場合がある。例えば、衝動買いやSNSにおける浅慮な発言による炎上などである。

このように、半ば無意識の意思決定で社会的に好ましくない行動を行ってしまうことがあるため、外発的に本人や社会にとって望ましい方向へ行動変容を促すナッジが有効であるとされている。ここで留意したいのは、ナッジはあくまで個人の選択を強制することなくより良い意思決定を促す手法のことであり、個人が不利益を被ることや向社会的行動を困難にすることを促すスラッジ (Sludge) とは区別される。

2.1.2 ナッジの例

ナッジは通常、人の認知バイアスに基づき設計される。認知バイアスとは、周囲の環境やこれまでの経験、直感等の先入観による認知の偏りのことを表す。人はこの認知の偏りにより非合理的な意思決定をしてしまうが、ナッジは認知の歪みを認識するきっかけを与えたり、あるいは、この偏りを逆手に取りより良い行動を促すことを目的としている。

こうした認知バイアスを活用したナッジは様々あるが、本

論文では認知バイアスに基づくメッセージング (フレーミング効果) を扱う。フレーミング効果とは、情報の提示の仕方によって受け取り方に変化が生じるバイアスである。言い換えると、内容が論理的に等価であっても、その言い回しにより印象が異なる。例えば、以下の2つの文章は等価であるためどちらを見ても同様の選択率であると考えられるが、実験によりポジティブな表現である前者を見た群の方が選択率が高い [16].

- 術後1ヶ月後の生存率は90%ですが手術しますか？
- 術後1ヶ月の死亡率は10%ですが手術しますか？

2.1.3 ナッジの課題

より良い意思決定を促すために、日本では環境省が日本版ナッジ・ユニット (BEST: Behavioral Sciences Team) を立ち上げ、家庭における省エネや節電を推進する他、新型コロナウイルス対策におけるナッジの活用も進められている。このように、関係府省庁や地方公共団体、産業界で環境や健康、教育等の社会課題解決に向けてナッジの取り組みが推し進められる一方で、ナッジは万能ではなく効果が小さいと考える経済学者も少なくない [10]。人の意思決定は、置かれている状況や文化、習慣に大きく依存するため、“そっと後押しする” ナッジには限界がある。

こうした課題に対し、ナッジの効果を増強ないし持続可能なものとするべく次世代のナッジ (Beyond Nudge) が世界的に検討されているが、その定義は提唱者ごとに異なり、まだまだ発展途上と言える。

2.2. インセンティブ

インセンティブとは、人の意思決定や行動を変容させる外発的な動機付けのための報酬を表す。インセンティブには、金銭的な物質的インセンティブと非金銭的な評価的インセンティブ、人的インセンティブ、理念的インセンティブ、自己実現的インセンティブがある [17]。本論文では、経済的な報酬を与える金銭的インセンティブを扱う。

インセンティブは動機付けのためのメジャーな手法の1つであり、禁煙や禁酒、運動行動の促進など、幅広い領域で適用可能であるが、行動変容を促すに足るインセンティブ量やその種類は行動の目的に依存することは明らかである。すぐに取り組める行動と手間と時間を要する行動で必要なインセンティブ量は異なり、目的に応じたインセンティブ設計が必要である。また、インセンティブ原資は有限であり、限られた原資で最大の行動変容効果を得られるように最適化していくことが重要である。

3. 実験設計

3.1. ナッジとインセンティブを組み合わせる際の課題

ナッジとインセンティブの組み合わせにおける相乗効果により高い行動変容率が期待される。実際、組み合わせた介入による行動変容効果を検証した研究がいくつか存在する。

例えば、エクササイズプログラムへの参加を促す研究において、参加回数が群内で上位 10 % の人に 20 ドルの報酬が与えられるコントロール群とそれにナッジ要素を組み合わせた群で比較検証をしている [13]。この検証においては、ナッジの有無で有意差を観測できていたものの、インセンティブ量の妥当性については検証されていない。つまり、インセンティブ量が 20 ドルではなかった場合、ナッジの有無で有意差を確認できなかった可能性がある。

ここでの課題としては、インセンティブ量が妥当でない場合は、行動変容効果がインセンティブによるものかナッジによるものか解釈が困難となる点である。具体的には、インセンティブ量が極めて多い場合、ナッジの有無によらずに高い確率で行動変容に至り、逆に極めて少ない場合、インセンティブによる効果向上が期待できなくなる。つまり、極めて多い量と少ない量を排除した妥当な量のインセンティブを組み合わせたナッジの効果検証が有意義である。

本来このようなインセンティブとナッジを組み合わせた検証は、ランダム化比較実験により行うことが好ましい。しかし、インセンティブの種類数を N_1 、ナッジの種類数を N_2 とすると、検証群数は N_1N_2 となり、一群あたりのサンプルサイズが小さくなり検証が困難になってしまう。言い換えると、妥当なインセンティブが事前に把握できており、その種類数を N_3 とすると、 $(N_1 - N_3)N_2$ だけ検証群数を削減することが可能である。

3.2. 実験設計方法

本実験設計方法は、インセンティブ毎の効果の踏まえた効率的なナッジの効果検証を可能とする。具体的には図 1 の通り、インセンティブのみで効果測定を行い目的に応じたインセンティブ量を特定すること及び、インセンティブとナッジを組み合わせた効果測定の 2 つのフェーズで成り立つ。

最初のフェーズでは、目的の行動に対する妥当なインセンティブ量を特定するための効果測定を行う。そのために非常に少ない量からある程度多い量まで様々なインセンティブ量で効果検証を行う。その際、最初に与える情報が後の意思決定に影響を及ぼすアンカリング効果 [14] が働く可能性がある。つまり、最初に多いインセンティブを提示した場合、最初よりも少ないインセンティブの介入は行動変容効果が低下する可能性がある。そこで本提案では、はじめに少ないインセンティブを提示し、徐々にインセンティブ

量を増加させる。

インセンティブのみによる介入結果をもとに妥当なインセンティブ量を選択する。例えば、シンプルに妥当なインセンティブ量でナッジの効果検証を行いたい場合、インセンティブ全体の行動変容率を閾値とし、閾値に近い行動変容率のインセンティブ量を選択することが考えられる。もう一つ具体例を挙げると、ナッジを組み合わせることで、閾値に設定したインセンティブのみの介入と同等以上の行動変容効果が発揮可能であるという仮説の検証を行いたいとする。この場合、インセンティブ全体の行動変容率を閾値とし、閾値以下の行動変容率のインセンティブ量を選択することで検証を可能とする。

次のフェーズでは、選択したインセンティブ量にナッジを組み合わせた介入を行う。これにより、インセンティブによる行動変容効果を加味した上で効率的なナッジの効果検証を可能とする。

4. 実験

本章では、第 3 章で述べた実験設計方法に基づき実施した実証実験内容について提示する。

4.1. 実証実験概要

NTT ドコモと九州大学は、コロナ禍における混雑緩和を目的とした行動変容を促す実証実験を九州大学伊都キャンパスで 2021 年 4 月から 2022 年 1 月にかけて実施した。具体的にはランチタイムにおける混雑回避を想定し、キャンパス内にある複数の飲食店でランチタイム前 (11:00~12:00) または後 (13:00~14:00) に訪問を促すタイムシフト、ランチタイム (12:00~13:00) にイートインではなくテイクアウトを促すキャンペーン情報の配信を行なった。なお、被験者は実証実験への参加を希望した九州大学の学生約 1,500 名である。

実証実験専用アプリを通じてキャンペーン情報を配信し、被験者はタイムシフトまたはテイクアウトを行うことで d ポイントを受け取れる。行動に至ったかの定義は図 2 の通り、アプリのキャンペーン画面の“参加する”ボタンを押下後、指定の時間帯に対象店舗に設置された QR コードをスキャンし、イートインまたはテイクアウトをすることである。

本実証実験では、インセンティブとして d ポイント、ナッジとして PUSH 通知による認知バイアスを考慮したメッセージの効果を検証した。その際、ナッジの効果測定のために複数の通知文言を用意し、事前に被験者を群分けした。

なお、本実証実験は九州大学倫理委員会の承認 (受承認番号: シス情認 2021-08-1) を受け、実施したものである。



図2 実証実験における行動変容までの流れ

4.2. 検証方法

本検証において、インセンティブのみの効果測定を行う第一フェーズを2021年4月～2021年8月、ナッジを組み合わせた効果測定を行う第二フェーズを2021年10月～2021年11月に実施した。

第一フェーズにおける配布ポイント数は [1, 10, 50, 100, 150, 200] であり、週次でポイント数を増加させた。なお、週ごとのポイント数は [1, 10, 50] のように3つないし2つのレンジとなっており、そのレンジ内で日ごとの配布ポイントをランダムに選択した。

第一フェーズの検証の結果、1ポイントではほとんど行動変容を促せないことが分かった。そのため、第二フェーズにおけるポイント数は [10, 50, 100, 150, 200] とし、ナッジを組み合わせた効果検証を行った (図3)。

ナッジは認知バイアスを考慮したメッセージングによる介入と定義し、10月、11月それぞれで3つの検証群を設け、表1の通りの PUSH 通知本文を検証群ごとに出し分けた。なお、本フェーズにおいても、はじめのうちは少ないポイント数で配布し、徐々に増加させた。

表1 PUSH 通知文言

PUSH 通知タイトル (共通)	
ランチタイムがお得になるキャンペーン!	
検証群 (10月)	PUSH 通知本文
コントロール	{ 店舗 A } ^{*1} に行ってみよう!
ナッジ 1	今日は { 店舗 A } か { 店舗 B } を選ぶとお得
ナッジ 2	{ 店舗 A } で〇〇ポイントゲット
検証群 (11月)	PUSH 通知本文
コントロール	{ 店舗 A }に行ってみよう!
ナッジ 1	【期間限定】ポイントを { 店舗 A } でゲットしよう
ナッジ 2	みんなで { 店舗 A } でご飯を食べてポイントを貯めよう

*1 { } 内の店舗名は今回の実証実験の対象となった4店舗の名称が表示される。

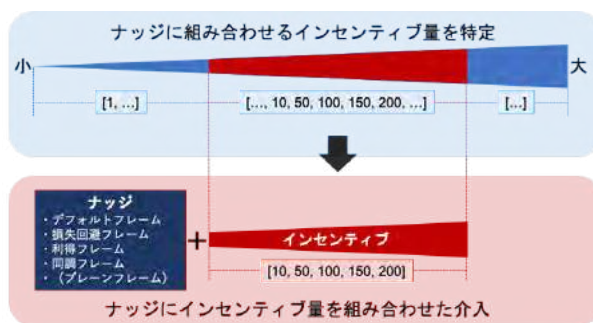


図3 本検証におけるインセンティブ設計

4.3. 結果

まず、本検証の第一フェーズの結果を踏まえ第二フェーズにおけるインセンティブパターン数を6から5に削減したため、10月、11月それぞれでインセンティブとナッジの組み合わせが18パターンあったところを15パターンに削減できた。

本実験におけるコントロール群の平均行動変容受容率を基準とした行動変容受容率 [18] を表2, 3の通りまとめる。ナッジの効果検証結果については井手らの研究 [18] で報告した通りであり、結果の概要についてまとめると下記の通りである。

- コントロール群と比較して、デフォルトと呼ばれるナッジの介入群の平均行動変容受容率が約 20% 向上
- コントロール群と比較して、損失回避と呼ばれるナッジの介入群の平均行動変容受容率が約 33% 向上
- 検定の結果、ナッジ群 (デフォルトナッジ, 損失回避

表2 10月における各週の行動変容受容率の平均

検証群	week1	week2	week3	week4	平均
コントロール	0.77	1.03	1.11	1.08	1.00
ナッジ1	0.89	1.04	1.38	1.45	1.19
ナッジ2	0.74	0.94	1.20	1.13	1.00

表3 11月における各週の行動変容受容率の平均

検証群	week1	week2	week3	week4	平均
コントロール	0.87	0.83	1.22	1.11	1.00
ナッジ1	0.90	1.02	1.55	1.80	1.33
ナッジ2	0.73	0.63	1.20	1.30	1.00

ナッジ)はコントロール群よりも優位に行動変容率が高い

- ナッジを組み合わせる場合もインセンティブ量と行動変容率は相関がある

以上のことから、本提案の実証実験方法はインセンティブを組み合わせることを前提としたナッジ効果の検証において意義のあるものであると言える。

5. まとめ

本稿では、ナッジとインセンティブを組み合わせることを想定したナッジの効果検証のための実験設計方法について述べた。具体的には、目的に対して行動を変え得る妥当なインセンティブ量を測定し、それに基づきナッジを組み合わせさせた検証を行うという2段階の実験設計方法を提案した。本提案に基づき実験設計を行ったコロナ禍における混雑回避を促す実証実験において、ナッジの効果検証を効率的に行えたことと実際に有意なナッジの効果を確認できたことから、本提案による実験設計方法が有効であるという示唆を得られた。

今後はインセンティブとナッジを組み合わせさせた効果検証だけでなく、インセンティブ量ごとのナッジへ及ぼす影響を明らかにし、より行動変容を促せる最適化手法を検討していきたい。

謝辞 本実証実験に参加した九州大学の学生および実証実験の運用に関わった株式会社 イマーゴ iQLab プロジェクト関係者に感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 倉橋節也：新型コロナウイルス (COVID-19) における感染予防策の推定, 人工知能学会論文誌, Vol. 35, No. 3, pp. D-K28.1 (2020).
- [2] 田中重人：「3密」概念の誕生と変遷: 日本の COVID-19 対策とコミュニケーションの問題, 東北大学文学研究科研究年報= The Annual Reports of Graduate School of Arts and Letters Tohoku University, Vol. 70, pp. 140-116 (2021).
- [3] Keiichi, O., Hiroyuki, S., Hiroshi, K., Takahiro, I., Toru, O., Akira, Y., Tatsuya, Y., Hiroki, O., Takuya, S. and Yutaka, A.: Encouraging Crowd Avoidance Behavior using Dynamic Pricing Framework Towards Preventing the Spread of COVID-19, 2022 IEEE International Conference on Big Data (IEEE BigData 2022) (2022).
- [4] 陳美怡, 幡井皓介, 西山勇毅, 瀬崎薫ほか: 感染症予防行動を促進させるインセンティブモデルに関する一検討, 研究報告モバイルコンピューティングと新社会システム (MBL), Vol. 2021, No. 3, pp. 1-7 (2021).
- [5] Leonard, T. C.: Richard H. Thaler, Cass R. Sunstein, Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness: Yale University Press, New Haven, CT, 2008, 293 pp, \$26.00 (2008).
- [6] Sugden, R.: On nudging: A review of nudge: Improving decisions about health, wealth and happiness by Richard H. Thaler and Cass R. Sunstein (2009).
- [7] 板谷祥奈, 竹内穂波, 松村真宏: 「ひじでつく」ナッジ, 「そそる」仕掛け (2018).
- [8] Hamari, J., Koivisto, J. and Sarsa, H.: Does gamification work?—a literature review of empirical studies on gamification, 2014 47th Hawaii international conference on system sciences, Ieee, pp. 3025-3034 (2014).
- [9] 根本啓一, 高橋正道, 林直樹, 水谷美由起, 堀田竜士, 井上明人ほか: ゲームフィケーションを活用した自発的・持続的行動支援プラットフォームの試作と実践, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 6, pp. 1600-1613 (2014).
- [10] Gneezy, U., Meier, S. and Rey-Biel, P.: When and why incentives (don't) work to modify behavior, Journal of economic perspectives, Vol. 25, No. 4, pp. 191-210 (2011).
- [11] Ito, K., Ida, T. and Tanaka, M.: Moral suasion and economic incentives: Field experimental evidence

- from energy demand, *American Economic Journal: Economic Policy*, Vol. 10, No. 1, pp. 240–67 (2018).
- [12] 依田高典, 石原卓典: 金銭的インセンティブとナッジが健康増進に及ぼす効果: フィールド実験によるエビデンス, *行動経済学*, Vol. 11, pp. 132–142 (2019).
- [13] Zhang, J., Brackbill, D., Yang, S., Becker, J., Herbert, N. and Centola, D.: Support or competition? How online social networks increase physical activity: A randomized controlled trial, *Preventive medicine reports*, Vol. 4, pp. 453–458 (2016).
- [14] Tversky, A. and Kahneman, D.: Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases: Biases in judgments reveal some heuristics of thinking under uncertainty., *science*, Vol. 185, No. 4157, pp. 1124–1131 (1974).
- [15] Stanovich, K. E. and West, R. F.: Advancing the rationality debate, *Behavioral and brain sciences*, Vol. 23, No. 5, pp. 701–717 (2000).
- [16] 井田政則, 小橋真理子: BIS/BAS が意思決定フレーミング効果に及ぼす影響, 立正大学心理学研究年報= The Journal of Psychology Risho University, Vol. 11, pp. 1–12 (2020).
- [17] 石塚浩ほか: 非営利ゆえの強さ: 理念的インセンティブ・システムとしての NPO, *経営論集*, Vol. 2, pp. 1–14 (2016).
- [18] 井手崇博, 大滝亨, 山田暁, 佐藤弘之, 落合桂一, 川上博, 矢野達也, 大川博生, 和久井圭祐, 白井拓也, 荒川豊: 新型コロナウイルス感染防止に向けた混雑回避行動を促進する行動変容技術の検証, 情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループキックオフシンポジウム (2022).

製造業における DX 推進に向けたリテラシー醸成の取り組み

磯田祐世^{†1}

株式会社 UACJ

浅田勝義^{†2}

株式会社 UACJ

山本佑樹^{†3}

株式会社 UACJ

1. はじめに

(株)UACJは、アルミニウムの軽圧メーカーである。当社主力設備である圧延機は、第三次産業革命(third industrial revolution, 3IR)の圧延機自動制御化により生産能力を飛躍的に向上させてきた。現在は、情報技術が主役の第四次産業革命(forth industrial revolution, 4IR)と呼ばれる時代であり、データ・デジタル技術を活用した産業構造の変化が起きつつある。このような時代において企業が競争上の優位性を確立するには、変化する社会や顧客の情報を常に捉え、デジタルトランスフォーメーション(以下、DX)と呼ばれる変革が企業に求められている。当社においても、産業 IoT の活用を含む DX を推進している。

国内外企業の DX への取り組み状況は以下の通りである。DX 白書 2023[1]によると、日本での取り組み割合は 2021 年度調査の 55.8%から 2022 年度調査は 69.3%に増加しており、米国の 77.9%に近づいている。しかしながら、成果創出の割合については、米国の 89.0%に対して日本は 58.0%と依然としてその差は大きくおくれをとっている。具体的には、日本企業はデジタイゼーションやデジタルライゼーションといった領域では成果をあげてはいるものの、価値創出やビジネスモデルの変革といったトランスフォーメーションは不十分であり、「X=変革」に向けた更なる取り組みの深化が必要であると報告されている。

ところで、当社では DX を行動変容の一つの形態と捉えているが、どのような変容を目指すべきかが大きな議題となっている。その要因として、変容を想像・創造する力(=リテラシー)がないことが挙げられる。企業が DX を実現するには、経営層を含め従業員一人ひとりが DX を自分事と捉え、全てのビジネスパーソンに DX に関するリテラシーを身につけた人材の確保・育成が必要であると考えられる。

様々な製造業において人材育成の取り組みがなされており、当社と同じ金属メーカーである日本製鉄では、総合職を対象とした育成プログラムや高度なデータ分析・活用スキルを備えるデータサイエンティストの育成に着手している[2]。当社においては、総合職だけでなく現場作業者も含めた全従業員を対象に、職位や役割に応じて必要なリテラシーを身につけるという位置づけで教育方法を設計し、実践している。その取り組みの一部を紹介する。

2. DX 推進の現状と課題を踏まえた方策

DX リテラシー教育実践にあたって、現状把握として当社従業員の DX に関する意識を調査した。これをもとに教育に必要な条件を明確にし、その方策を立案した。

2.1 従業員の DX に関する意識

当社従業員の DX に関する意識調査結果を表 1 に示す。これは、当社のこれまでの DX 活動の振り返りの中で得られた情報をリテラシー／マインドの観点で整理したものである。当社との比較対象として、一般企業における意識調査結果についてもあわせて列挙する。リテラシーについては帝国データバンク[3]、マインドについては RECEPTIONITST 社の調査結果[4]である。

表 1 より、当社従業員の DX リテラシーおよび DX に対するマインドが当社における課題であることがわかる。当社の DX リテラシーは従業員それぞれが業務内容に応じて身につけ「digital-ready(デジタル技術を理解しレベルに応じた活用ができる状態)」となる必要がある。しかしながら、現状は DX に関するスキル不足やそれにより向かうべきゴールを描くのが困難な状態である。DX に対するマインドについては、新人は現状維持バイアスがない状態であるものの中堅／管理職以上の従業員となると現状を維持したい・自分には無関係といったマインドであることがわかった。これらは一般企業の意識調査結果と同様の傾向であった。

表 1 UACJ における DX 推進に関する意識調査結果

Table1 Perceptions of DX promotion in UACJ.

対象	リテラシー	マインド
UACJ社員	<ul style="list-style-type: none"> •スキルがないとゴールを設定できない •DXのゴールがわからない •DXと言われても何から始めたらよいかわからない 	<p><新人></p> <ul style="list-style-type: none"> •DXに対してニュートラルな思考 <p><中堅／管理職以上></p> <ul style="list-style-type: none"> •DXの重要性は理解するが、困っていないため手間をかけて変化したくない •DXリテラシーがある人がやってしまえばいい、誰かがやってくれる
一般企業	<ul style="list-style-type: none"> •必要なスキルやノウハウがない •対応する時間が確保できない •どこから手をつけてよいかわからない •データ活用の方針がない 	<ul style="list-style-type: none"> •変化を受け入れられない •組織風土が変わるのを恐れている •仕事を増やしたくない •必要性を感じていない

Measures to foster literacy for DX promotion in the manufacturing industry

†1 YUSEI ISODA, UACJ Corporation

†2 KATSUYOSHI ASADA, UACJ Corporation

†3 YUKI YAMAMOTO, UACJ Corporation

2.2 DX リテラシー教育が成功する条件および方策

DX に対して現状維持バイアスのない当社総合職一年目社員を教育対象とした。表 2 に DX リテラシー教育が成功する条件および方策を示す。③④の自発性/心理的安全性については、一般的な新入社員の特徴[5]をもとに条件および方策を模索した。

各条件に対する方策の詳細は以下の通りである。

表 2 DX リテラシー教育が成功する条件および方策
Table2 Prerequisites and measures for DX literacy education.

教育が成功する条件	方策
①人数効率	集合研修形式で教育を実施
②学習効果	・ハンズオンによる学習 ・グループ討議の実施 ・デュアルディスプレイの使用
③受講者の自発性を促す	・チューターの配置 ・チューターによるアサーティブコミュニケーションの実施
④心理的安全性 活発な質問, 良い質問を引き出す	・返報性の利用

① 人数効率

局所的な育成による人海戦術が通用しないこと、全社員に教育が必要なため、集合研修の形式で中長期的かつ体系的に DX 人材を育成することとした。2022 年度は全社実施に先だって行われたトライアルの位置づけである。

② 学習効果

単なる座学ではなく、「理論×実践」のハンズオン学習により表 3 に示すデータ活用スキルを把握できるようにすることで学習効果を高めるようにした。またハンズオン学習に加え、図 1 に示すような実施形態でグループ討議することで、学習内容の理解促進を促すようにした。快適性という観点では、PC とモバイルモニタを用いてデュアルディスプレイにすることで、コーディングや練習問題を効率良く解けるようにした。

表 3 DX リテラシー教育のコンテンツ内容
Table3 Contents of the DX literacy education.

	内容
基礎編	1回目 Pythonとは、Pythonにおける変数、データ構造
	2回目 繰り返し文(for文、while文)、制御文(if文)
	3回目 関数
	4回目 データの前処理(Numpy,Pandas①)
	5回目 データの前処理(Pandas②)、データの可視化(matplotlib)、その他標準ライブラリ(os, pickle, read, random, 正規表現)
	6回目 探索、ソート、数理最適化
応用編	7回目 統計学①
	8回目 統計学②
	9回目 機械学習
	10回目 機械学習
	11回目 機械学習
	12回目 SQLAlchemy (データベース)

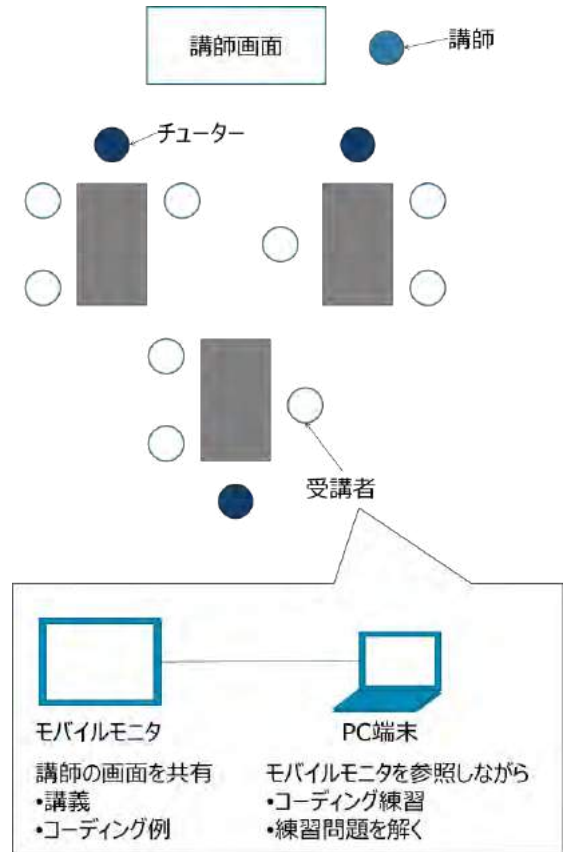


図 1 DX リテラシー教育の実施形態
Figure1 Setup of the DX literacy education.

③ 受講者の自発性を促す

受講者の自発性を促すため、各グループに受講者と歳の近いチューターを配置し、アサーティブコミュニケーションを導入した。アサーティブコミュニケーションとは、以下の特徴を持った相互尊重コミュニケーションスタイルのことである[6].

- 場に沿った適切な表現を選択できる
- 相手の気持ちや意見を受け止め大切にする
- 自分の気持ちや意見をはっきりと主張できる
- 相手と意見が対立してもお互いが納得できる結論を導くことができる

図 2 にアサーティブコミュニケーションの例を示す。近年の新入社員は、指示待ちで主体性が低いと言われていた。そこで、受講者の様子やその場の雰囲気・状況に応じて誠実に指導・支援するといったアサーティブコミュニケーションを用いる。その結果、受講者の返報性に作用して自発性を促すことができると考えている。他者から何らかの恩恵を受け、お返しをしなければいけないという感情を抱くことを返報性の原理といい、デニス・リーガンによって提唱されたものである[7].

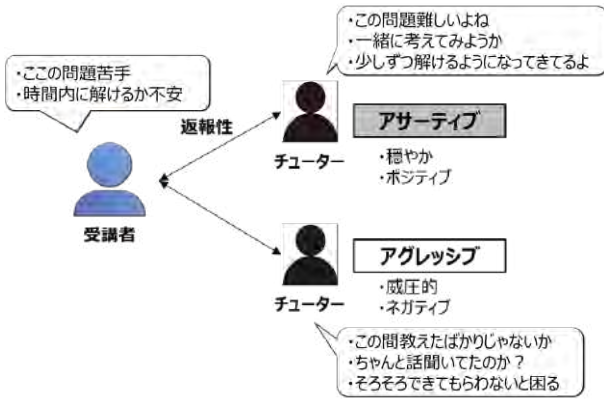


図 2 アサーティブコミュニケーションの例
Figure2 Examples of assertive communication.

④ 心理的安全性

自分の考えや気持ちを誰に対してでも安心して発言できる状態のことを心理的安全性という[8,9]。心理的安全性に対する方策として、③の自発性と同様に各グループにチューターを配置し、チューターにはアサーティブコミュニケーションを意識させた。教育の場において、受講者から質問行動を引き出すのがチューターの役割である。教育の場における質問行動は、学習内容の理解促進・思考の深化ができるため重要である。しかし、近年の新入社員は質問行動に消極的な傾向がある。秋田らは、大学生の質問行動に寄与する要因について調査しており、「つまらない質問で馬鹿だと思われたくない」、「目立ちたくない」といった理由が、質問への抵抗感と関連することを報告している[10]。これと同様に、自分の行動に対して上司・先輩がネガティブな反応をするのではないかとこの恐れから質問行動に消極的になると思われる。よって、図 2 に示すアサーティブコミュニケーションを用いることで安心して発言できる状態をつくりだし、質問行動を引き出すこととした。

上記を盛り込んだ教育効果の確認として、受講者の追跡調査および事後アンケートを実施した。

3. 結果と考察

3.1 受講者の自発性に関する追跡調査

DX リテラシー教育で学んだデータ活用スキルを自発的に業務で活用しているか確認するため、受講者へヒアリングを実施した。その結果を図 3 に示す。

全受講者の 40% にデータ活用スキルを用いて自職場課題を解決するといった DX に対する自発性という点で積極的な変容が認められた。このことから、今回開発した教育は DX リテラシー醸成においてある一定の効果が期待できると考えられる。行動変容のなかった受講者に対しては、さ

らなる追跡調査をするなどして別途施策を検討・実施するのが今後の課題である。

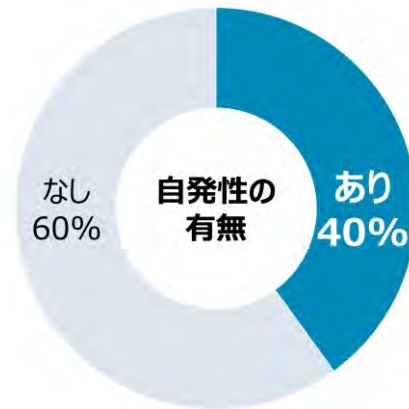


図 3 データ活用スキルを自発的に業務で活用している受講者の割合

Figure3 Percentage of participants who voluntarily use data utilization skills in their work.

3.2 満足度に及ぼすチューターの影響

DX リテラシー教育の受講者満足度に及ぼすチューターの影響を把握するため、教育終了後にアンケートを収集した。アンケート結果をもとに満足度とチューターに関する相関分析を実施した。その結果を図 4 に示す。

図 4 より、受講者満足度に対するチューターの相関係数は 0.72 となっており、全アンケート項目の中で最も相関が強いことがわかった。これより、DX リテラシー教育の良し悪しにチューターとのコミュニケーションが大きく作用していることがわかった。

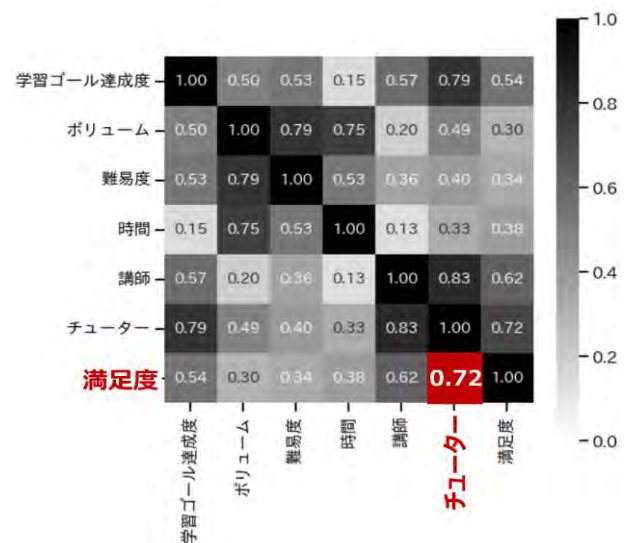


図 4 満足度に及ぼすチューターの影響
Figure4 Influence of tutors on satisfaction.

ところで、企画段階で想定できなかった新たな気づきが研修を通して得られた。具体的には、以下のようなシチュエーションである：特に機械学習の回においてであるが、受講者の半数が原理原則を隅々まで理解しなければ先に進めず、足踏み状態に陥ってしまうような状況である。受講者に対して、機械学習には多様かつ有用なロジックが膨大に存在するが、その原理原則を隅々まで覚えなければ応用できないということは一般にない(機械学習は問題解決するのが目的で原理起点ではない)という意識付けをすべきであった。

4. まとめ

当社総合職一年目社員を対象とした DX リテラシー教育を開発し、集合研修形式で教育を実践した。その結果、全受講者の 40%にデータ活用スキルを用いて自職場課題を解決するといった DX に対する自発性という点で積極的な変容が認められた。

本教育では、受講者の自発性を促すためにチューターによるアサーティブコミュニケーションをとりいれており、以下の知見を得ることができた。

- 受講者満足度に及ぼすチューターの影響を相関分析したところ、DX リテラシー教育の良し悪しにチューターが大きく作用していることがわかった。
- 教育の心構えとして、機械学習には多様かつ有用なロジックが膨大に存在するが、その原理原則を隅々まで覚えなければ応用できないということは一般にないという意識付けを受講者にすべきであった。

このような新人教育を継続していくことで IoT を活用するリテラシーが身につく、どのような変容を目指すべきか想像・創造できるようになる。また今後は、教育に IoT を導入して受講者のリアクションや生体反応をセンシングし、更なる学習効果の向上や心理的安全性確保の合理化等を検討していきたい。

参考文献

- [1] IPA 独立行政法人 情報処理推進機構. “DX 白書 2023”. IPA 独立行政法人 情報処理推進機構ホームページ. 2023. <https://www.ipa.go.jp/files/000108048.pdf>, (参照 2023-2-16)
- [2] 日鉄 DX 具体的な取り組み | デジタルトランスフォーメーション (DX) 戦略の推進 | 企業情報 | 日本製鉄. 日本製鉄. 2022. <https://www.nipponsteel.com/company/dx/specific.html>, (参照 2023-2-16)
- [3] 株式会社帝国データバンク 情報統括部. “DX 推進に関する企業の意識調査 (2022 年 9 月)”. TDB 景気動向オンラインホームページ. 2022. <https://www.tdb-di.com/2022/10/sp20221028.pdf>, (参照 2023-2-16)
- [4] 株式会社 RECEPTIONIST. “調査レポート】DX 化が遅れる大企業の共通点 若手社員の 7 割が課題意識薄い | 株式会社 RECEPTIONIST”. 株式会社 RECEPTIONIST - ビジネスコミュニケーションをアップデートする. . 2022. <https://receptionist.co.jp/release/report-office-dx/>, (参照 2023-2-16)
- [5] 武石 美有紀. “2022 年新入社員意識調査 | 定着・早期立ち上がりに向けて”. 人材育成・研修・組織開発のリクルートマネジメントソリューションズ. 2022. https://www.recruit-ms.co.jp/issue/inquiry_report/0000001077/?theme=starter, (参照 2023-2-16)
- [6] 平木 典子. アサーションの心. 朝日新聞出版, 2015
- [7] ロバート・B・チャルディーニ. 影響力の武器. 誠信書房, 2007
- [8] Edmondson, A. (1999). Psychological safety and learning behavior in work teams. *Administrative Science Quarterly*, 44(2), 350-383.
- [9] Edmondson, A. C. (2019). *The fearless organization: Creating psychological safety in the workplace for learning, innovation, and growth*. John Wiley & Sons.
- [10] 秋田 喜代美. 心理学に対する授業観と質問行動: 一般教育課程と心理学専攻の比較検討. 立教大学心理学科研究年報. 1995, 38, 25-38.

継続的な学習機能を有する WiFi ポータルシステムの設計と実装

松尾周汰^{†1} 中村優吾^{†2} 荒川豊^{†3}
九州大学 九州大学 九州大学

1. はじめに

スマートフォンの普及やデジタル活用の推進に伴い、インターネット利用が拡大しているが、安全にインターネットを利用するには、情報セキュリティへのリテラシーが求められる。総務省による調査^{*1}によると、個人のインターネット利用率は83.4%であり、利用目的は「電子メールの送受信」が全体では最も多く、「ソーシャルネットワーキングサービスの利用」については、全ての年齢階層で利用率が上昇している。ICTサービスの利用が増えている一方で、インターネットを利用して「不安を感じる」又は「どちらかと言えば不安を感じる」との回答は合わせて74.2%となっている。また、インターネット利用に伴う個人の被害経験として、「迷惑メール・架空請求メールを受信」が61.4%と最も多くなっており、「何らかの被害を受けた」企業の割合は51.4%と半数以上である。インターネット利用に対する不安感や被害の原因として、学校におけるセキュリティリテラシー学習の機会や、企業におけるセキュリティ対策の未熟さが挙げられる。文部科学省により実施された学校における教育の情報化の実態等の調査^{*2}によると、無線LANの設置やインターネット接続率などのICT環境の整備状況や、ICTの活用や情報セキュリティの基本的な知識などを指導する教員の能力には都道府県により格差があり、教育方法や教育体制が学区現場に十分に行き渡っていないとの指摘もある[1]。また、企業における情報セキュリティ対策^{*3}について、「何らかの対策を実施している」企業は98.2%であるが、「社員教育」を行なっている企業は49.4%と半数を下回っている。

これらを解決するための継続学習支援として、マイクロラーニングとナッジの手法に着目した。短時間で手軽に取り組むことができる学習方法であるマイクロラーニングは、

学習の習慣化や行動変容が期待されている[2]。しかしながら、言語学習以外のトピックの取り扱いが少なく、ラーニングシステムの設計とその影響については十分に理解されていない。また、ブラウザ拡張機能やモバイルアプリのPUSH通知を活用した学習提案では、限られたフィールドでしか学習ができないことや、回数を重ねるごとに無視されやすくなるという課題もある。行動経済学を発端とするナッジ理論では、選択肢を禁じたり、金銭的インセンティブを与えることなく、他人の行動を予測的に変化させる[3]。社会や健康といった観点からはじまり、プライバシー保護やセキュアな選択を促進するための手法としてもナッジが活用されている。しかし、これらの実験は、実験のための仮想環境にとどまった実証が多く実世界へのフィードバックが無いものや、文脈によってはナッジの効果がない場合もあり、まだ議論の余地がある。

そこで本研究では、学習システムの設計と実証運用を行った。学習の機会として、フリーWiFi接続時に出現するような、ダイアログやブラウザとして表示されるランディングポータルを活用する。以下のようなフローで学習を支援する。

- (1) アクセスポイントの選択時に、認証と共に情報セキュリティに関するテストが出题される。
- (2) 回答後画面のインターフェース情報にナッジ要素を取り入れ、学習に対する動機付けを狙う。
- (3) 回答すると正誤結果と共に、コミュニティのスコアがフィードバックされる。
- (4) スコアボードには、その日のコミュニティにおける回答数、正答率、回答人数が表示される。
- (5) また、当日の回答数と目標数がプログレスバーと共に示され、回答が一定数未満であると、再認証までの利用時間が1時間に制限される旨の文言を表示される。

これらのスコアボードの下には再挑戦ボタンを設置し、新たにテストに回答することができる設計とした。これらの文章やシステム情報の設計には、ナッジ理論のフレームワークであるEAST^{*4}を活用している。テストの回答を1問のみに限定し、一回のアクションを小さくすることでEasy、

Design and implementation of a WiFi portal system with continuous learning capabilities

^{†1} SHUTA MATSUO, Kyushu University

^{†2} YUGO NAKAMURA, Kyushu University

^{†3} YUTAKA ARAKAWA, Kyushu University

^{*1} <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/statistics05.html>

^{*2}

^{*3} <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/statistics05.html>

^{*4} [https://www.bi.team/publications/](https://www.bi.team/publications/east-four-simple-ways-to-apply-behavioural-insights/)

[east-four-simple-ways-to-apply-behavioural-insights/](https://www.bi.team/publications/east-four-simple-ways-to-apply-behavioural-insights/)

コミュニティの他メンバーの回答情報を示していることから Social, インターネット利用行動の動線上でのテストであることから Timely を実現した。

アンケートにより学習システムの受容性と、システム利用ログからインターフェース情報による回答動機付け効果の評価を行う。学習システム運用前後での情報セキュリティテストのスコアの比較を行う。これらの調査の結果、スコアボードやプログレスバーの受容性が高いことがわかった。また、目標回答数の可視化が、繰り返し学習へ取り組むことへの動機付けとなることがわかった。さらに、学習システム前に比べ、後のテストでは有意にスコアが上昇したことが確認された。

2. 関連研究

本研究は、マイクロラーニングやナッジ手法に関する既存の研究に基づいている。これらの関連研究を示し、課題の整理と本研究の位置づけを行う。

2.1. マイクロラーニングを活用した関連研究

マイクロラーニングとは、学習タスクを小さな単位に分解し、短い時間で取り組むことを目的としている [2]。短く小さな取り組みに分解することで、日常的な活動の中のわずかな隙間時間に、簡単かつ柔軟に学習を組み込むことができる [4]。マイクロラーニングを取り入れるアプローチとして、コンピューターのスクリーンセーバーを活用したもの [2] や、Web ブラウザの拡張機能を活用したもの [5] がある。これらの学習システムは、ユーザーに受容され自発的な学習を促した一方で、インタラクティブ性が小さく、徐々に学習への取り組みが弱まる事も指摘されている。また、Web ブラウザを利用する場合、ブラウザ内の限られたフィールドしか活用できない拡張性の限界や、対応するブラウザに依存するという制約がある。スマートフォンのセンサーから退屈状態を判定して PUSH 通知による割り込みを行う研究 [6] も行われたが、通常状態の学習効果との有意な差は見られなかった。ユーザーの動作や状態の判定では、提供する情報が多く、特に位置情報は端末バッテリーの負荷となったり、情報の種類によってはプライバシーの侵害にあたる可能性があるため、ユーザーの受容性が課題として挙げられる。

2.2. ナッジを活用した関連研究

ナッジとは選択の自由を奪ったり、金銭的報酬を変えることなく、人々が望ましい選択をするよう影響を与える手法である [3]。オンライン環境におけるプライバシー関連のナッジデザインの研究 [7] では、Slack 上でのプライバシーに関

する意思決定をするインターフェースに対し、ユーザーの嗜好調査を行った。その結果、ユーザーは視覚的なデザインや赤や緑といった色に基づくナッジを好む一方で、情報提供やフィードバックのようなテキスト要素に基づくナッジはあまり好まれないことが明らかになった。色の表示とフレーミングによるナッジは理解がしやすく、プライバシー関連の情報を公開するかどうかの意思決定を迅速に行うことに役に立つことが分かった。セキュリティ選択とナッジの組み合わせの研究 [8] では、公衆 WiFi 選択、クラウドサービスの選択、スマートフォンの暗号化、パスワード生成というサイバーセキュリティに関するシナリオにおいてナッジの効果検証を行っている。色や図表を用いた直感に訴えかける変更を行うものや、選択に関する説明による情報提供を行うものをナッジとして活用した。実験の結果、全てのシナリオにおいて、ナッジを用いるとよりセキュアな選択をすることがあることが分かった。既存の研究では、アンケートフォーム上の仮想的な環境や一部の限られた環境で実験が行われている。その環境では、SNS の投稿やセキュリティの選択などの自分の行動が実際に現実世界には反映されないため、実際の選択や行動と異なる可能性があることが課題として挙げられている。

2.3. 本研究の位置づけ

上記関連研究より、さまざまな媒体や環境でマイクロラーニングシステムの設計と開発が行われ、ナッジのテキストやインターフェースへの有効な活用方法が明らかになっているものの、システムの設計や実証シナリオにおいては課題や議論の余地がある。既存研究の考えられる課題を解決しつつ、効果的な学習システムを設計するために、マイクロラーニングとナッジの観点から以下の視点を取り入れるべきであると考えられる。

- 学習システムには、ブラウザやアプリケーションに依存しない環境や、ユーザーにとって負担を感じさせない介入方法、回答データを活用したインタラクティブ性への工夫が必要である。
- セキュリティ文脈のナッジ実験においては、実環境への影響がある状態で、ナッジ介入の受容性や行動変容の効果測定が必要である。

これまでの研究の課題や以上の考察を踏まえ、本研究ではマイクロラーニングやナッジの概念に基づき、情報セキュリティリテラシの向上支援をする学習システムの設計と実装を行うことを目的とする。その上で、以下 3 つのリサーチクエスト (RQ) を立て、調査を行う。

- (1) WiFi 接続時のランディングポータルが、マイクロラーニングの学習環境として受容されるか。



図1 学習システム構成図と学習フロー

- (2) 学習システム上のインターフェースにインタラクティブなナッジ情報を追加することは、回答数に影響を与えるか。
- (3) 学習システムの運用が、情報セキュリティリテラシーの向上に繋がるか。

3. 実験方法

この実験では、情報セキュリティリテラシー向上を支援する学習システムを設計、実装し、研究室内を実験環境として実証運用することで、RQを検証する。RQ1つ目に対して、一定期間、実験環境で学習システムを運用した後、アンケートによってシステム受容性の調査を行う。RQ2つ目に対して、実験期間中の回答実績の分析を行う。RQ3つ目に対して、実験期間の前後のテスト結果でスコアに比較を行う。

3.1. 学習システム設計

学習システムの構成図と学習フローを図1に示す。アクセスポイントとなるルータの設定により、ゲストネットワークを使用してインターネットにアクセスするとき、接続端末にゲスト向けのランディングポータルを出現させることが可能である。このランディングポータルの仕組みは主に、コーヒESHOPやコンビニ、観光地で提供されているフリーWi-Fiに活用されている。ランディングポータルとは、クライアントがユーザー認証を行うまで、ネットワークへアクセス出来ない環境を作る機能である。この機能を使用すると、端末がネットワークに接続したときに、表示されたポータル上で、指定したWebページにリダイレクトして誘導することができる。また、このゲストネットワークは接続セッションの制限時間を設定することも可能である。制限時間が過ぎると、再びランディングポータル上の学習システムが起動され、ポータルの表示後にインターネット接続が可能となる。本実験のため、デフォルトの接続制限時間を3時間とした。

はじめに、被験者はWi-Fi接続のために学習システムに紐づいたSSIDを選択する。アクセスポイントのWi-Fiネットワークに接続されると、PC画面上へのダイアログやスマートフォンのブラウザ上でランディングポータルが出現する。ポータル上では、Webアプリケーションとして実装された学習システムにリダイレクトされ、情報セキュリティ



図2 回答画面の例

に関する問題が1問、ランダムに表示される。回答後の画面では、正誤や問題解説のフィードバックのほか、その他の被験者達の回答状況に関する情報が表示される。再挑戦ボタンも設置しているので、同一ポータル上から繰り返し問題に取り組むことができる。インターネット接続の制限時間が切れると、再び学習ステップが繰り返される。なお、離席などにより一度Wi-Fi接続が切れ、手動または自動的に再接続される場合であっても、ポータルによる学習システムが起動される。

本学習システムでは、インターネット接続制限を活用する。被験者による一日あたりの問題回答数の合計が一定数以上に達しない場合、次の日の接続制限時間をデフォルトの3時間から1時間に短縮するというメッセージを表示する。また、回答データを活用したインタラクティブな学習システムのインターフェース設計を説明する。学習システムの回答画面の例を図2に、回答後の画面のうち、ナッジ要素を含んだ部分の例を図3に示す。

回答結果画面は主に、4つの部分に分かれている。研究室全体のスコアには、当日の合計回答数、正答率、累計回答者数が表示される。社会規範ナッジ [9] を参考に、身近な人たちの情報を付与することで、周りがやっているから自分もやるという動機付けにより、回答数の増加を狙う。目標回答数と現在の回答数、それに基づく回答率がプログレスバーとともに視覚的に表示される。これは、目標達成が目に見える形で近づくモチベーションが高まる心理を活用する [10]。また、目標回答数を30とした。この値は、一日あたりの研究室への出席人数が約10人、一人当たり2回程度の学習システムの起動を仮定して算出した。回答数が目標に達しない場合、接続時間がより短く制限されることをの説明が表示される。時間を強調するために、「1時間」という箇所を赤色にした。なお、目標回答数を超えると、「今日の



図3 回答後の画面の例

目標回答数に達しました!」との表示に変更される。「もう1回挑戦する」という文字付きのボタンが表示される。ボタンの色は、クリックへの動機付けの効果が高める赤色とした [11]。また、これらの要素に加え、問題文と正誤情報もフィードバックされる。

3.2. 実験条件

実験対象として、研究室メンバーである20代~40代の男女、学生と教員合わせて52人を被験者とした。ただし、研究室への出席は任意であるため、実際に学習システムとインタラクティブな交流を持った被験者は、対象期間に出席した人に限られる。実験期間は3日間とした。また、実験前に情報セキュリティテストの受講を案内し、実験後にアンケートによるシステムの受容性調査とセキュリティテストの再実施を行った。セキュリティテストの内容は、九州大学の教職員向けに配信された「九州大学情報セキュリティ教育及び自己点検」の内容を参考に、一部変更したものを採用した。設問内容は、ナッジに対する受容性と、介入タイミングに対する受容性に関するものである。ナッジ受容性の設問は、健康や持続可能性に関する行動 [12] や政策におけるオプトイン/オプトアウト [13]、フレーミングナッジに対するナッジ [14] を調査した研究に基づいて作成された。介入タイミング受容性の設問は、スクリーンタイムや、モバイルデバイスによる待機時間や外出時間を活用したマイク

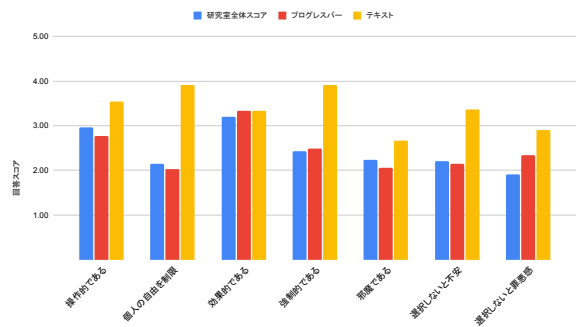


図4 ナッジに対する受容性調査の結果

ローラーニングの研究 [2][6][15] における受容性調査に基づいて作成された。

4. 実験結果

4.1. 学習システムの受容性

本節ではRQ1つ目の「WiFi接続時のランディングポータルが、マイクロラーニングの学習環境として受容されるか」に対して結果の確認と考察を行う。

4.1.1 インターフェース情報の受容性

インターフェース情報に関しては、研究室全体のスコア、目標達成率を表すプログレスバー、目標未達成の場合のインターネット接続制限を説明するテキストに対してそれぞれ受容性の調査を行った。各箇所に対する5件法による調査の集計結果を図4に示す。なお、設問内容は以下の通りである。

- (1) 「もう1回挑戦する」を選択することに対して、判断を迷わせ、操作的であると思う
- (2) 「もう1回挑戦する」を選択することに対して、個人の自由を制限していると思う
- (3) 「もう1回挑戦する」を選択することに対して、効果的であると感じる
- (4) 「もう1回挑戦する」を選択することを、強制的にさせるように感じる
- (5) 「もう1回挑戦する」を選択することの判断に、邪魔であると感じる
- (6) 「もう1回挑戦する」の選択をしない場合に、不安を感じる
- (7) 「もう1回挑戦する」の選択をしない場合に、罪悪感を感じる

各設問ごとに、2つのインターフェース情報に対して対応ありt検定を行った結果、インターフェース情報によって受容性が異なることが確認された。研究室全体のスコアとプ

ログレスパーは、『「もう一回挑戦する」の選択をしない場合に、罪悪感を感じる』の項目において $p < 0.05$ で有意差ありとなったが、その他の全ての項目において、有意差は見られなかった。接続制限を説明するテキストとプログレスパーは『「もう一回挑戦する」の選択することに対して、効果的である』の項目において、有意差は見られなかったが、それ以外の項目においては全て $p < 0.05$ で有意差ありとなった。研究室全体のスコアとテキストにおいては、すべての項目に対して、 $p < 0.05$ で有意差ありとなった。

これらの結果から、目標回答数によって接続時間を制限することは、受容性の評価に大きな影響を与えることがわかった。特に、「個人の自由を制限している」「強制されるように感じる」といった項目に対するスコアが比較的高く、ユーザーによっては、再び問題へ回答することを作為的に促されているように感じる恐れがある。この説明テキストはもう一度回答することに対し、直接的に操作をしているわけではないが、ナッジの活用においては選択肢を強制してはならないため、慎重に取り扱うべきである。一方で、研究室全体のスコアにおいては、「個人の自由を制限している」「邪魔であると感じる」の項目のスコアが低いことから、ユーザーにとっては束縛感がなく、自然に受け入れられやすい要素であると考えられる。「効果的である」の項目のスコアが、接続制限説明テキストと同様に高いことから、ユーザーに負担をかけずに問題へのもう一度回答することを促す手段としては適していると言える。また、プログレスパーにおいては、「罪悪感を感じる」「個人の自由を制限している」の項目のスコアが低いことから、研究室全体のスコアと同様、ユーザーへの負担が少なく、再度回答を促す手段として有効であると言える。

4.1.2 システム起動タイミングに対する受容性

学習システム起動タイミングの受容性に対する調査を行った。5 件法による調査の集計結果を図 5 に示す。なお、設問内容は以下の通りである。

- (1) 学習システムが起動するタイミングは適していた
- (2) 学習システムによって、進行中の活動が妨げられた。
- (3) 学習システムの起動に対して、苛立ちを感じた
- (4) 学習システムでの回答後、実行しようとしていたタスクにすぐに取り掛かることができた
- (5) 学習システムによって、集中力が失われたと感じた

1 日のうち初回のシステム起動時と 2 回目以降のシステム起動時の結果に対して、対応あり t 検定を行った。検定の結果、初回と 2 回目以降のシステム起動の受容性の間に有意差は見られなかった。1 日のうち初回の学習システムの起動タイミングは、その日初めて学習システム対応 WiFi に接続された時である。このタイミングはタスクへ取り掛かると同時のタイミングであるため、スクリーンセーバー

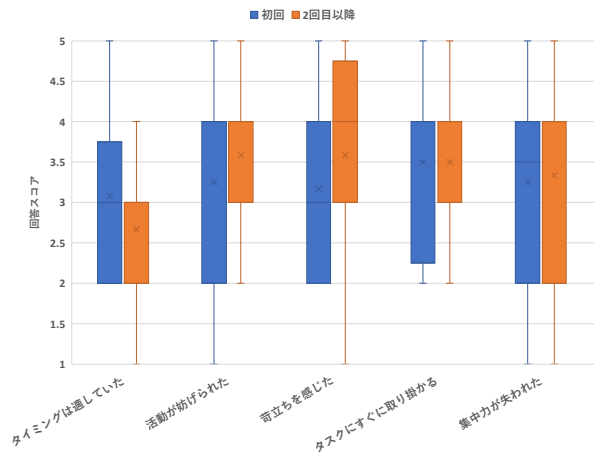


図 5 学習システム起動に対する受容性調査の結果

によるマイクロラーニング [2] と同様に、タスクの途中での介入とはならず、精神的負荷への影響はないと想定していた。一方で、2 回目以降の時間経過による学習システム起動は二次タスクの割り込みにあたり、精神的負荷への影響が考えられた。しかしながら、これらには有意な差が見られなかった。特に、「進行中の活動が妨げられた」「集中力が失われたと感じた」の項目においては、初回起動時の回答でも、平均値が 3 を超えており、中央値がどちらも 4 という結果であった。これは、初回起動のタイミングはタスクへの介入とはならないという予想とは反する結果である。初回起動に対しても精神的負荷を感じた理由として、実際にブラウザの立ち上げや、インターネットを使用するアプリケーションを使用する直前まで行動を移していたタイミングで介入が行われたからであると考えられる。スクリーンセーバーによる介入は、PC 起動直後であり、ブラウザやアプリケーション立ち上げよりも前に学習タイミングが発生する。このタイミングの僅かな差の間に、ユーザーの注意力が取り掛かろうとしているタスクへ向いている状態になるため、学習システムの起動が、一次タスクへの割り込みであると感じられたのではないかと考えられる。また、「実行しようとしていたタスクにすぐに取り掛かることができた」の項目においては、初回起動と 2 回目以降どちらも平均値が 3.5、中央値が 4 という同等の結果となり、ある程度容易に一次タスクへの切り替えができたと考えられる。WiFi ポータルの起動後は、ウィンドウの「完了」ボタンでポータル自体を閉じることが可能である。問題に対する回答は選択式であり、回答後に続けて回答するかどうかはユーザーに委ねられるため、一度の学習にかかる時間は最短で 1 分未満であると想定される。学習システムの終了の容易さや、学習完了までの時間が短いことは、元のタスクへの復帰には重要な観点であると考えられる。

以上の結果から、RQ1 つ目の「WiFi 接続時のランディングポータルが、マイクロラーニングの学習環境として受容されるか」への回答を述べる。インターフェース情報の観点からは、学習システムを共有しているコミュニティユーザーの回答状況や、目標回答数を可視化することは受容されやすく、繰り返しの回答動機付けの効果があると言える。一方で、インターネット接続制限を表すことに対しては、操作的、強制的な印象から受容されにくく、システム設計やインターフェース情報への採用は慎重に行うべきである。最後に、システム起動タイミングの観点からは、どのタイミングでの起動でも一次タスクの妨げになる可能性が大きく、頻繁な介入は受容性を低下させる恐れがある。そのため、学習環境として、起動回数の考慮が必要である。また、学習システムから迅速に元のタスクに復帰できることも受容性で重要な観点であり、容易に学習システムを閉じられることや、一回の学習時間を短くする工夫が必要であるといえる。

4.2. 学習システムの利用頻度

本節では RQ2 つ目の「学習システム上のインターフェースにインタラクティブなナッジ情報を追加することは、回答数に影響を与えるか」に対して、学習システムの利用ログから、日毎と全期間の回答結果と時間帯別の回答数についての結果を示し、考察を行う。

実証運用期間における、学習システムの利用結果を図 6 に示す。日毎の回答結果から、日を追うごとに回答数と正答率が増えていることが確認できる。回答目標数を 30 件としており、2 日目と 3 日目はこの目標数を超える回答数となった。2 日目と 3 日目の時系列に沿った回答記録を図 7 と図 8 に示す。同じ色の箇所は、同一 ID で連続して回答していた記録を指す。2 日目と 3 日目の間で色と ID の対応はない。この結果から、目標回答数の 30 件に達する前では短時間による繰り返しの学習が行われており、目標数を達成した後は繰り返しの学習ほとんど見られなかったことがわかった。

以上の結果をもとに、回答数について考察を行う。回答数の推移を見ると、目標の 30 件を達成する前後で連続回答の数に変化がある。目標回答数を達成する前は、連続回答が続いていることが確認される。これは、回答数を増やしプログレスバーを進めることで、インターネット接続制限を解除しようとする動機付けが作用したと考えられる。反対に、目標回答数を達成すると、プログレスバーが埋まり、インターネット接続制限を説明するテキストが「今日の目標回答数に達しました!」という内容が変わるため、再度回答することへの動機付けの効果が無くなったと考えられる。これらより、RQ の 2 つ目である「学習システム上のインターフェースにインタラクティブなナッジ情報を追加する

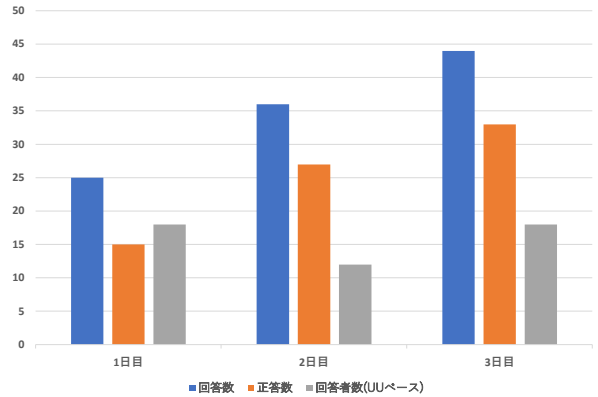


図 6 日毎の回答結果

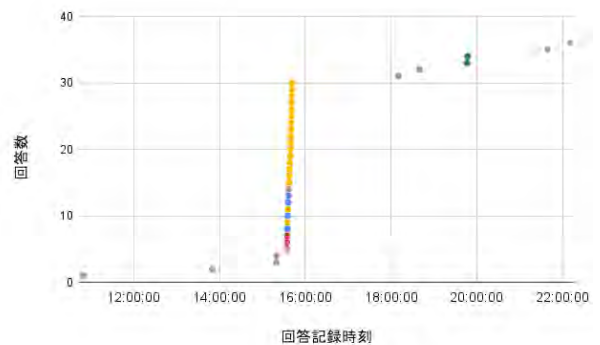


図 7 2 日目の時刻ごとの回答記録

ことは、回答数に影響を与えるか」に対して、目標回答数を達成する前は、回答数を増やす効果があるが、目標回答数を達成した後は、回答数を増やす効果は見られなくなると結論づけられる。

4.3. セキュリティテストのスコア比較

本節では RQ3 つ目の「学習システムの運用が、情報セキュリティリテラシーの向上に繋がるか」に対し、情報セキュリティテストの回答スコアの結果を示し、考察を行う。実験前、実験後全ての回答データを集計した結果をと図 9 に、実験前、実験後どちらにも回答があったデータを集計した結果を図 10 に示す。これらのテストはおよそ 3 週間ほど間隔を空けて実施された。はじめに、実験前と実験後に収集した全ての回答データを比較した。実験前と実験後の回答人数がそれぞれ異なるため、対応なしの検定を行った。F 値を算出したところ、0.438 であり、分散は等しいことが確認されたので、対応なし片側 t 検定を行った。検定の結果、 $p < 0.05$ で有意差ありとなった。つぎに、実験前と実験後のどちらにも回答があったデータに対して検定を行った。対応あり片側 t 検定を行った結果、 $p < 0.05$ で有意差ありと

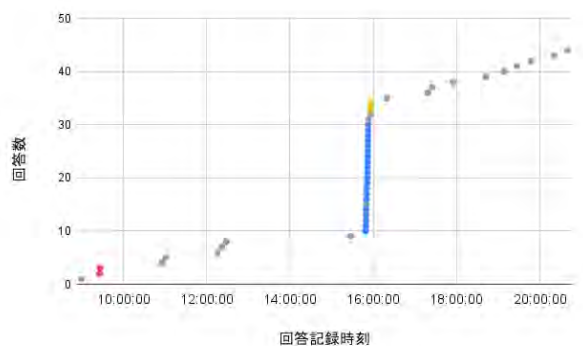


図8 3日目の時刻ごとの回答記録

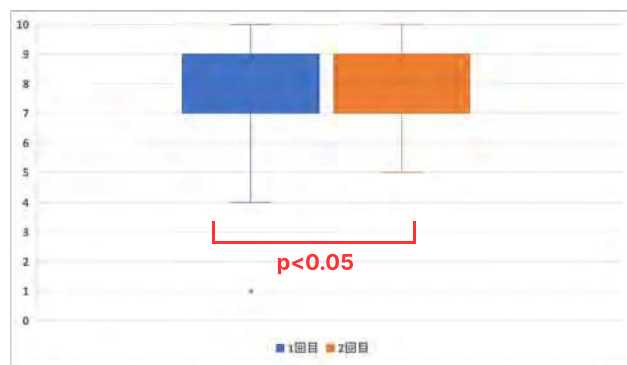


図9 すべての回答データの集計結果

なった。これらより、対応なしの全データに対しても、対応ありのデータに対しても、学習システムの実証運用前に比べ、後の方がテストのスコアが有意に高い結果となった。

学習システムの問題には、テストに使用した問題と同じものが含まれており、実証運用期間中に同一問題に取り組んだことで正答率が高まったと考えられる。また、テストには使用されていない問題であっても、学習システムを通じて情報セキュリティの題材に触れることで、セキュリティリテラシーへの意識が高まり、テスト回答時への影響があったと考えられる。これらの結果より、RQの3つ目である「学習システムの運用が、情報セキュリティリテラシーの向上に繋がるか」に対して、学習システムはリテラシー向上を促すと結論づけられる。

5. まとめ

5.1. 本研究の成果

本研究では、継続的な学習機能を有するWiFiポータルシステムの設計と実装を行い、マイクロラーニングとナッジの観点から介入の効果や受容性の評価を行った。各実験結果から得られた結果は以下の通りである。

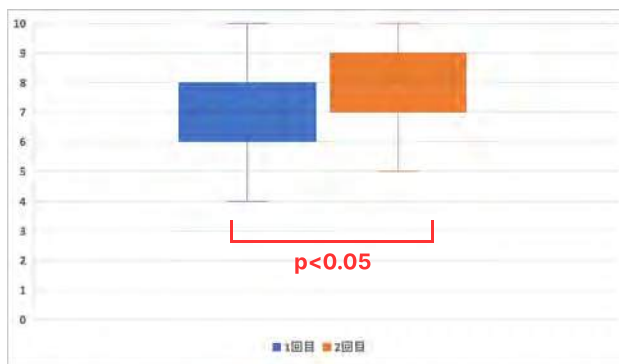


図10 実験前、実験後のどちらにも回答があったデータの集計結果

- インターフェース情報に研究室全体のスコアや目標回答数を表示し、可視化することは受容され、繰り返しの学習行動への動機付け効果がある
- 介入タイミングはインターネット接続時間の制限やタスク割り込みによる心理的負担を考慮すべきであり、短時間で1単位の学習を終えることは受容性の観点で重要である
- 学習システムの運用前後で、情報セキュリティテストのスコアが有意に上昇する

5.2. 研究上の制限

実験結果からの考察とともに各RQへの結論を述べたが、実験条件や考察に関して、課題となるいくつかの考慮すべき点が存在する。一つ目は、学習システムの運用期間である。本実験は、受容性の調査も目的としていたため、運用した期間が3日間と短いものであった。この学習システムをより長期的に運用することで、回答数の推移やセキュリティテストのスコアが変動する可能性がある。

二つ目は、2回の情報セキュリティテストの回答期間と学習システムの問題への取り組みが与える、テストスコアへの影響である。テストに使用した問題は実験前と実験後で同じものであったので、実験前のテスト結果による復習効果が持続している可能性がある。また、本学習システムには、セキュリティテストの問題以外の題材も採用しており、問題はランダムで出題されるため、実証運用期間中にテストで出題される問題に取り組んでいない可能性がある。そのため、実証期間中に学習システム上でテストに出題される問題には取り組んでいない被験者がいることも考慮すべきである。

最後に、被験者の基礎的な情報セキュリティリテラシーである。本実験では、情報系の大学生、大学院生が在籍する研究室を実験環境とした。そのため、基礎的な情報リテラシーが一般的な値よりも高く、学習前後のスコアの変動

や、学習への取り組みに影響を与えた可能性を考慮すべきである。

5.3. 今後の展望

今後の研究において、実験環境やシステム設計に対しての改善点や工夫点が挙げられる。実験環境として、被験者の属性の偏りをなくすことや、長期の学習システム運用を行うことで、より一般的な議論を行うことができる。システムの設計として、目標回答数を出席者数や前日の回答結果をもとに変動させることで、目標達成までの繰り返しの回答をより多く誘発できる可能性がある。また、インターネット接続制限時間に対して、個人のテストスコアや回答状況を反映させることで、学習の個別最適化も考えられるさらに、ローカルデータとして管理していた問題をサーバー上で管理することで、コミュニティ全体や個人の回答結果によって出す回数や頻度を操作し、効率の良い学習の促進ができると考えられる。このように回答状況を細かく分析することで、より受容されやすく、学習への動機付けの効果があるシステムの設計ができると考えられる。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 (JP19KT0020) および JST さきがけ (JPMJPR21P7) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 堀田龍也, 佐藤和紀. 日本の初等中等教育における情報リテラシーに関する教育の動向と課題. 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, Vol. 13, No. 2, pp. 117–125, 2019.
- [2] Gerhard Gassler, Theo Hug, and Christian Glahn. Integrated micro learning—an outline of the basic method and first results. *Interactive computer aided learning*, Vol. 4, pp. 1–7, 2004.
- [3] Thomas C Leonard. Richard h. thaler, cass r. sunstein, nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness, 2008.
- [4] 徳田博行, 高橋雄太, 松田裕貴, 荒川豊, 安本慶一. 辞書検索履歴の自動収集に基づく英単語マイクロラーニング支援手法. 情報処理学会モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム (MBL) 研究会, No. 44, pp. 1–8, 2019.
- [5] Andrew Trusty and Khai N Truong. Augmenting the web for second language vocabulary learning. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3179–3188, 2011.
- [6] Carrie J Cai, Anji Ren, and Robert C Miller. Wait-suite: Productive use of diverse waiting moments. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, Vol. 24, No. 1, pp. 1–41, 2017.
- [7] Sofia Schöbel, Torben Jan Barev, Andreas Janson, Felix Hupfeld, and Jan Marco Leimeister. Understanding user preferences of digital privacy nudges—a best-worst scaling

- approach. In *Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 2020.
- [8] Verena Zimmermann and Karen Renaud. The nudge puzzle: matching nudge interventions to cybersecurity decisions. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, Vol. 28, No. 1, pp. 1–45, 2021.
- [9] Michael Hallsworth, John A List, Robert D Metcalfe, and Ivo Vlaev. The behavioralist as tax collector: Using natural field experiments to enhance tax compliance. *Journal of public economics*, Vol. 148, pp. 14–31, 2017.
- [10] Joseph C Nunes and Xavier Dreze. The endowed progress effect: How artificial advancement increases effort. *Journal of Consumer Research*, Vol. 32, No. 4, pp. 504–512, 2006.
- [11] 松尾周汰, 中村優吾, 荒川豊. ナッジフレームを適用した captive portal によるセキュリティリテラシー向上支援システムの検討と評価. 情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループ 第 2 回研究会 (IPSJ BTI2).
- [12] Laurens C van Gestel, Marieke A Adriaanse, and Denise TD de Ridder. Who accepts nudges? nudge acceptability from a self-regulation perspective. *PloS one*, Vol. 16, No. 12, p. e0260531, 2021.
- [13] Haoyang Yan and J Frank Yates. Improving acceptability of nudges: Learning from attitudes towards opt-in and opt-out policies. *Judgment and Decision Making*, Vol. 14, No. 1, pp. 26–39, 2019.
- [14] Ismaël Rafai, Arthur Ribailier, and Dorian Jullien. The impact on nudge acceptability judgements of framing and consultation of the targeted population. *Behavioural Public Policy*, pp. 1–16, 2021.
- [15] Tilman Dingler, Dominik Weber, Martin Pielot, Jennifer Cooper, Chung-Cheng Chang, and Niels Henze. Language learning on-the-go: opportune moments and design of mobile microlearning sessions. In *Proceedings of the 19th international conference on human-computer interaction with mobile devices and services*, pp. 1–12, 2017.

ハラスメント被害時の 主観的ストレス差異による心拍変動特徴分析

上野貴弘^{1,a)} 大橋正良²

概要：いじめやパワーハラスメントなどのハラスメント行為の解決に向けて、早期発見・対応が重要な要素である。一方で、ハラスメントとなるか否かは被害者の主観的な感情に基づいているため、目視による判断が難しい。本研究では、被害者の心拍情報を基に機械学習手法を用いた主観的高ストレスの検出を目的としている。実験では、VR 動画視聴による疑似的な体験から、被験者のハラスメント被害時とリラックス時における心拍情報の取得と主観的ストレス評価を実施した。また検出モデルの評価において、これまでの研究では、線形モデルでの分類が難しく、多変量の組み合わせによる特徴選択が必要であることが判明している。そこで本報告では、全被験者（16名）と高ストレス被験者（9名）、低ストレス被験者（7名）データを用いた各決定木モデルにおける有効な特徴量を詳細に比較するため、しらみつぶし探索によって特徴量の組み合わせの分類精度統計を算出した。そして比較結果を基に、主観的高ストレスの検出に有効な特徴量を分析した。

キーワード：主観的ストレス検出、心拍変動、しらみつぶし探索、特徴選択

1. はじめに

いじめやパワーハラスメントなどの、関係性のアンバランスを利用して個人の心身を傷つける事象（以下、ハラスメント）は、被害者にメンタルヘルスの不調を引き起こす。その結果、うつ病などの重篤な精神傷害や自殺につながる要因となるため、我が国では大きな社会問題となっている。文部科学省の「令和三年度児童生徒の問題行動・不登校等生徒指導上の諸課題に関する調査結果」によると、いじめの認知件数は 615,351 件、重大事態件数は 705 件といずれも平成二十五年度以降では過去最高を記録している[1]。また、厚生労働省の「令和三年度個別労働紛争解決制度の施行状況」によると、民事上の個別労働紛争相談件数は 284,139 件と平成二十四年度以降で過去最高を記録しており、特に相談項目は「いじめ・嫌がらせ」が最多で、件数が 86,034 件と 24.4%を占めている[2]。

ハラスメントに対しては、早期発見・対応を行うことが被害者の重大事態を防ぐ重要な要素である。一方で、第三者ではハラスメントか否かの判断及び発生状況の把握が難しいことが課題として挙げられている[3]。これは、文部科学省がいじめを「当該児童が、一定関係にある者からの行為に対して心身の苦痛を感じるもの」という内容で取り扱っている[4]ように、ハラスメントが被害者の主観的な感情に基づいていることが要因である。

以上の背景から、近年はセンサデバイスが安価に入手できるようになったことに伴い、クラウドサービスとセンシングデータ、機械学習を活用した、ハラスメント行為を検出するためのデザインが検討されている[5][6]。またハラス

メント検出手法の面では、市販のデバイスを用いて収集したセンシングデータから、加害者が行う「叩く」「押し倒す」のような暴力的な事象と非暴力的な事象を分類する研究が行われている[7][8]。しかし、ハラスメントは被害者自身がアクションを起こさない限り、客観的に断定することは難しい。加えて、ハラスメントの態様の多くは精神的攻撃であり[1][9]、身体的暴力の検出だけでは多くのハラスメントに対応できない。

そこで、本研究では被害者の心拍情報を基にハラスメントを検出する機械学習モデルの構築を目的としている。心拍情報は市販のウェアラブルセンサで取得できるため、日常のストレス推定で使用されている。さらに、ストレスは被害者自身の精神的苦痛を伴う視点でハラスメントを捉えるため、網羅的な態様の検出が期待できる。また、検出結果は第三者の介入及び被害者自身が異常を認識するための判断材料になり得る。ただし、現在多く行われている心拍変動データを用いたストレス認識に関する研究は、緊張状態をストレスと捉えた実験課題が主である。そのため、被害者の絶対主観的な事象であるハラスメントに適用できない可能性があることから、ハラスメント特有の主観的ストレスについてモデルの分類精度及び検出に有効な特徴量を調査する必要がある。

本報告では、精神的攻撃に起因したハラスメントを疑似的に受ける VR 動画を視聴した被験者の ECG (Electrocardiogram) を基に、ハラスメント被害の検出に有効な心拍変動の特徴量を分析する。ただし、ハラスメントか否かの判断は、先述の通り被害者の主観的な感情が基準となっている。そのため、ハラスメントを受ける実験課題

1 福岡大学大学院工学研究科情報・制御システム工学専攻
Department of Information and Control Systems, Fukuoka University

2 福岡大学工学部電子情報工学科
Faculty of Electronics and Computer Science, Fukuoka University

a) td216501@cis.fukuoka-u.ac.jp

のデータだけでは被験者の主観評価が考慮されておらず、ハラスメント被害特有の心拍変動を正確に評価できない。そこで本実験では、被験者に主観ストレスアンケートを実施し、全被験者データ及び、高ストレス被験者データ、低ストレス被験者データの3種類を作成している。また特徴量分析では、各作成データを用いて構築した機械学習モデルに対し、しらみつぶし探索で算出した分類精度統計を基に、ハラスメントの分類に寄与する特徴量の組み合わせを比較評価する。しらみつぶし探索は、これまでの研究成果[10][11]において、単変量では分類精度に寄与しない特徴量が多変量では寄与する可能性が考えられることから、包括的に特徴量の組み合わせを調査するために採用している。

2. 関連研究

2.1 被害者視点のハラスメント検出に関する研究

被害者視点でのハラスメント検出には、被害者に関するデータが必要であるため、倫理的問題から検討された研究は少ない。その中で、Ferdinando らは、暴力的な事象（押しつけ、タックル、揺さぶり、前からの押し付け、肩をぶつけるなど）と非暴力的な事象（走る、歩く、動きを伴う遊び、ジャンプなど）を小学生にシミュレートさせることで取得した ECG を基に、6 秒未満のサンプルで暴力を検出する可能性を検討している[7]。これにより、短時間で暴力に起因したハラスメント事象の検出が期待できる。また、Vasileios らは、傍観者の EEG(Electroencephalography)からいじめの脳内刺激を特定する試みを行っている[12]。実験では、いじめの事例に関する動画視聴により被害者の共感を誘発しているため、傍観者の感情に沿った多くの態様に関するハラスメント事象が検出できる。一方で、これらの研究は被害者の主観性が含まれておらず、ハラスメントを断定する要素が少ない。そのため本研究では、被害者の精神的苦痛が市販のデバイスで評価できる心拍情報に焦点を当て、主観性の含まれたデータを主眼として、ハラスメントの検出に有効な特徴量を分析する。また、主観的ストレスに応じた特徴量分析では、二値分類の結果から選択された特徴量を基に、ストレス反応の生理的特徴との関連性を確認する。

2.2 感情認識に関する研究

感情認識は音声処理、自然言語処理、画像処理など様々な分野で研究が行われており、ECG を用いた研究も多く存在する。データ収集の面では、怒りや幸せなどの基本感情や、Russell の円環モデルに基づく感情次元を、音や画像、動画での誘発や[13][14]、自然の会話からラベル付けする[15]ことで実施している。

一方で、ストレスを感情として捉えたストレス認識の分野では、就職面接時や自動車運転時、暗算タスク時の状況を作り出すことで、ストレス状態を誘発している[16]。そし

て、収集データを基にして、クラスごとの分類精度によって認識精度が評価される。

本研究は動画視聴により、ハラスメント被害におけるストレスを誘発している。これは、前述のストレス認識の実験課題とは異なり、感情認識と同様の手法である。そのため、ハラスメント被害特有の感情である可能性が考えられる。さらに、ハラスメントは主観的なストレスが検出基準であり、被験者の主観的なストレスが低いと学習用データとして用いることができない。そのため、主観的なストレス差異による特徴量を比較分析することは、ハラスメント検出の有効性を示す要素となり得る。

3. ECG 測定実験

ハラスメント又はリラックスのコンセプトに沿った動画を視聴している被験者から、ECG データを取得する。実験実施にあたり、福岡大学医に関する倫理委員会の承認を得た。本実験手法はこれまでの研究[10][11]と同様であるが、被験者数及び使用データの選択が異なっている。

3.1 被験者

被験者は16名（男性12名、女性4名、 21.8 ± 1.6 歳）の健全な大学生及び大学院生である。実験にあたり、動画内容は伏せた状態で、事前に健康被害のリスクと個人情報の扱い、実験の同意撤回について十分な説明を行い、書面で参加の同意を得た。そして、測定前の6時間はカフェイン及びアルコールの摂取を禁止した。各被験者にはS1~16の番号を付与している。

3.2 測定方法

ECG の取得には市販の胸部型心拍センサ Polar H10 を使用した。動画(映像媒体、動画時間)は、ハラスメント (VR, 166 秒)、リラックス(VR, 601 秒)の2種類を用意した。各動画は状況に没入できるように360度見渡せるVR映像を採用した。ハラスメント動画は、厚生労働省が提供しているハラスメント被害体験動画[17]である。仕事ミスに対して怒られる被害者の、一人称視点でのパワーハラスメント被害を体験できる。また、リラックスは浜辺の海を眺める動画である。視聴機器として、VRヘッドセットOculus Rift S及びMeta Quest 2を使用した。実験にあたり、気温の変化による心拍への刺激を避けるため、実験室の空調を25°Cに設定した上で測定を実施した。被験者は心拍センサを装着し、モニタとVRヘッドセットが設置されたデスクに向かった状態でオフィスチェアに座った。測定の様子を図1に示す。

動画視聴時の主観ストレスのアンケート項目を表1に示す。本アンケートでは、ハラスメント被害における感情を尺度として扱うために、主観的なストレスの度合いに置き換えて質問している。アンケートによる評価は、1.全くスト



図1 VR 動画視聴実験の様子

表1 ハラスメント被害体験動画に対する4段階評価

得点	ストレス評価
1	全くストレスを感じなかった
2	あまりストレスを感じなかった
3	少しストレスを感じた
4	かなりストレスを感じた

レスを感じなかった, 2.あまりストレスを感じなかった, 3.少しストレスを感じた, 4.かなりストレスを感じた, の4段階である。

被験者は、ハラスメント→リラクスの順番で動画を視聴した。次の動画を視聴するまでには、実験による精神的影響をリセットするため1時間以上の間隔を空けた。ハラスメント動画視聴後は、主観ストレスのアンケートを実施した。

4. 特徴量抽出

4.1 ECG データの切り出し

ECG データの開始位置～終了位置は、ハラスメント動画の場合「加害者役の暴言発話開始～再生終了 60 秒後」、リラクスの動画の場合「動画の再生開始～再生終了時」である。各動画の ECG データ時間を以下に示す。

- ・ハラスメント：192 秒
- ・リラククス：601 秒

また、各動画の ECG データに対して解析用に、1 サンプルにつき窓幅 60 秒、スライド幅 5 秒に切り出した。

4.2 特徴量

解析用データである ECG に対して、ピーク検出を用いて RRI (隣接する R 波の時間間隔) データを抽出する。前処理として、RRI データの 400 以下 2000 ミリ秒以上の外れ値を除去した後、平均 0 分散 1 の標準化を行った。

表2 RRI データから抽出する特徴

特徴	説明
RRI	R-R 間隔[ms]
HR	$RRI * 60 / 1000$
LF	交感神経成分
HF	副交感神経成分
LF/HF	交感神経系の作用成分
CVNN	RRI の変動係数
CVLF	LF の変動係数
CVHF	HF の変動係数

表3 特徴量を算出するための統計量

統計量	説明
mean	平均
min	最小値
max	最大値
range	$max - min$
var	分散

本実験では、RRI データから下記の 8 種類の特徴 (表 2) と 5 種類の統計量 (表 3) を組み合わせた 40 種類の特徴量を算出した。なお、周波数データである LF と HF は、RRI データに対して、スプライン補間後 2Hz でリサンプリングし、AR 法により算出したパワースペクトルである。LF は 0.04~0.15Hz、HF は 0.15~0.4Hz の周波数領域である。さらに、下記の 3 種類を追加し、合計 43 種類の特徴量を 1 サンプルにつき使用する。

- ・NN50

隣接する RRI の差が 50 ミリ秒以上の総数

- ・pNN50

RRI の総数に対する NN50 の割合

- ・RMSSD

隣接する RRI の差の 2 乗平均の平方根

5. 評価方法

5.1 主観的なストレスの評価について

表 4 に被験者データの主観ストレス評価得点と各評価カテゴリの人数内訳を示す。主観ストレス評価得点が 3 以上を高ストレス、得点が 2 以下を低ストレスと定義している。高ストレスと低ストレスの被験者数の差が 2 名であることから、本実験は被験者ごとにストレスの感じ方に差が生じていることが判明している。全被験者の評価得点平均 2.75 は、低ストレスの基準を上回っているが、高ストレスの基準未満であるため、主観的なストレスの度合いでは中性と言える。また、本実験において低ストレスと評価した女性は 0 名であった。

5.2 機械学習モデルの構築と分類精度評価方法

表 4 被験者の主観ストレス評価得点と人数内訳

	評価得点	被験者数	
		男性	女性
全被験者	2.75±0.75	16	
		12	4
高ストレス	3.33±0.47	9	
		5	4
低ストレス	2±0	7	
		7	0

機械学習モデルは、得られた特徴量に対して、「ハラスメント」と「リラックス」の2値分類を行う。モデルの構築に使用する機械学習手法は、決定木を採用した。主な理由として、これまでの研究[10][11]で得られた成果の中で、本実験データは線形モデルと比較して、非線形モデルである決定木の分類精度が高い結果であったことが挙げられる。また、5.3章で後述する特徴選択手法において、同じ決定木系のランダムフォレストと比較して計算量の問題を軽減できる。なお、決定木のパラメータである深さは4に設定している。

モデルの組み合わせは、Harassment-Relax(All Subject)とHarassment-Relax(High Stress), Harassment-Relax(Low Stress)の3種類である。Harassment-Relax(All Subject)は全被験者(16名)のデータを用いており、全般的なハラスメント刺激を分類する。Harassment-Relax(High Stress)は本アンケートでハラスメント動画を高ストレスと評価した被験者(9名)のデータを用いており、主観的な高ストレスを分類する。また、Harassment-Relax(Low Stress)は本アンケートでハラスメント動画を低ストレスと評価した被験者(7名)のデータを用いており、主観的な低ストレスを分類する。全モデルの分類精度の評価指標はF1scoreである。ただし、Harassment-Relax(Low Stress)についてはRelaxの分類精度にも焦点を当てるため、NegativeF1scoreを追加する。NegativeF1scoreは(3)式で表す。

$$Specificity = \frac{TN}{FP + TN} \quad (1)$$

$$NegativePrecision = \frac{TN}{FN + TN} \quad (2)$$

$$NegativeF1score = \frac{2Specificity * NegativePrecision}{Specificity + NegativePrecision} \quad (3)$$

分類精度の各評価指標はLeave-One-Subject-Out (LOSO)による交差検証で算出している。LOSOはデータセットにおける被験者1名のデータをテスト用とし、残りの被験者データを訓練用として使用する交差検証法である。

5.3 特徴量選択手法

本報告では、しらみつぶし探索で算出した分類精度統計を基に、各モデルの比較結果から特徴量を選択する。しらみつぶし探索は、全組み合わせを検証することで最適な特徴量を探索する方法である。ただし、43種類の特徴量における全組み合わせの分類精度を算出することは計算量が多く難しい。そのため、1~4種類の組み合わせに限定して分類精度統計を算出している。便宜上1~4種類の組み合わせを1~4kindと表記する。また特徴量の評価・選択方法については、特徴量の組み合わせによる分類精度を、各kindに分けて降順にソートした統計から、各モデルに有効な特徴量及び共通項を比較することで実施する。

分類精度統計から各モデルに有効な特徴量の評価にあたり、比較対象である特徴量同士の多重共線性を検証する必要がある。そのため、偏相関係数を用いた分散拡大係数(VIF)を多重共線性の評価指標とした。VIFは各特徴量同士の偏相関係数をRとした場合、(4)の式に表す。

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2} \quad (4)$$

特徴量同士の多重共線性の問題を認める基準はVIF > 10とした。

6. 評価結果

6.1 各モデルの分類精度評価

各モデルの分類精度統計を表5~8に示す。全kindのHarassment-Relaxモデルにおいて、第一位のF1scoreがHigh Stress > All Subject > Low Stressであった。この序列は、ハラスメント被害に対して、主観的なストレスが高いほど分類精度に影響を与えていることを示唆している。また、Harassment-Relax(Low Stress)のNegativeF1scoreは全kindにおいて90%以上であり、高精度にRelaxを分類できることが判明した。ただし、女性の被験者データが入っていないため、性差が含まれていない。

表5~8によると、kind数の増加に伴い第一位の分類精度が向上している。他方で、ひとつ前のkindで第一位であった組み合わせをベースとして、1種類追加した組み合わせが分類精度統計の上位を占めているkindがある。加えて、これらの組み合わせは分類精度に1%以上の向上が見られず、ベースよりも減少する組み合わせも見られた。この結果は、ベースの組み合わせに対して、個体差のある特徴量の追加が分類精度に影響を与えている可能性がある。

6.2 各モデルの分類に有効な特徴量について

主観的なストレス差異によって分類精度が大きく変化するような特徴量は見られなかった。ただし、全特徴量が

表 5 1kind における各 Harassment-Relax モデルの分類精度統計

	All Subject		High Stress		Low Stress			
	F1score	特徴量	F1score	特徴量	F1score	特徴量	NegativeF1score	特徴量
第一位	67.63	pNN50	77.83	pNN50	50.85	pNN50	91.81	pNN50
第二位	66.86	HR_mean	76.78	NN50	43.66	RRI_mean	91.17	RRI_mean
第三位	66.26	RRI_mean	76.56	RMSSD	43.14	HR_mean	90.12	HR_mean

表 6 2kind における各 Harassment-Relax モデルの分類精度統計

	All Subject		High Stress		Low Stress			
	F1score	特徴量	F1score	特徴量	F1score	特徴量	NegativeF1score	特徴量
第一位	73.49	HR_max	84.09	HR_max	57.31	HR_max	92.42	HR_range
		NN50		NN50		NN50		pNN50
第二位	72.71	NN50	83.97	RRI_min	56.96	RRI_min	92.16	HR_range
		pNN50		NN50		NN50		NN50
第三位	71.08	LF/HF_var	81.97	RRI_min	55.76	RRI_min	91.89	RRI_mean
		NN50		HR_mean		pNN50		CVLF_min

表 7 3kind における各 Harassment-Relax モデルの分類精度統計

	All Subject		High Stress		Low Stress			
	F1score	特徴量	F1score	特徴量	F1score	特徴量	NegativeF1score	特徴量
第一位	73.72	HR_var	87.57	RRI_min	62.72	RRI_min	93.36	RRI_min
		CVLF_min		HF_var		LF/HF_var		LF/HF_var
		pNN50		NN50		NN50		NN50
第二位	73.49	HR_max	87.11	HR_max	60.96	HR_mean	93.22	RRI_mean
		HF_min		HF_var		HR_max		HR_max
		NN50		NN50		LF/HF_var		LF/HF_var
第三位	73.49	HR_max	85.94	HR_max	60.32	RRI_min	92.98	HR_mean
		HF_range		HR_range		HR_mean		HR_max
		NN50		NN50		LF/HF_var		LF/HF_var

表 8 4kind における各 Harassment-Relax モデルの分類精度統計

	All Subject		High Stress		Low Stress			
	F1score	特徴量	F1score	特徴量	F1score	特徴量	NegativeF1score	特徴量
第一位	74.04	HF_range	88.43	RRI_min	63.60	HR_max	93.51	HR_max
		LF/HF_max		HF_var		LF/HF_var		LF/HF_var
		NN50		LF/HF_min		CVLF_var		CVHF_var
		pNN50		NN50		NN50		pNN50
第二位	73.86	HF_range	88.43	RRI_min	60.96	RRI_min	93.43	RRI_min
		LF/HF_range		HF_var		LF/HF_var		LF/HF_var
		NN50		CVHF_max		CVHF_var		NN50
		pNN50		NN50		pNN50		pNN50
第三位	73.86	LF/HF_max	88.26	RRI_min	60.32	HR_max	93.42	HR_max
		CVHF_max		LF_var		LF_range		HR_range
		NN50		HF_var		LF/HF_var		LF/HF_var
		pNN50		NN50		NN50		NN50

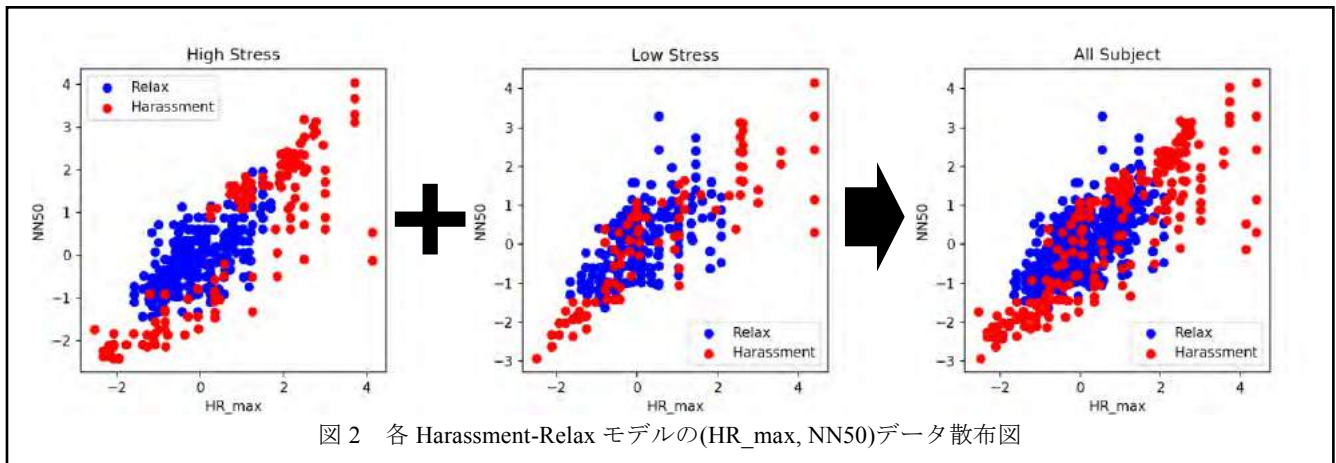


図2 各 Harassment-Relax モデルの(HR_max, NN50)データ散布図

前節の分類精度序列に沿う傾向にあった。また、前節の考察を踏まえて、各モデルの統計を参照すると、Harassment-Relax(All Subject)では(HR_max, NN50)と(HR_var, CVLF_min, pNN50)、Harassment-Relax(High Stress)では(RRI_min or HR_max, HF_var, NN50)、Harassment-Relax(Low Stress)の f1score 及び Negative-F1score では(RRI_min or HR_max, LF/HF_var, NN50 or pNN50)がベースの組み合わせとして考えられる。ただし、(RRI_min, HR_max), (NN50, pNN50)については各モデルの分類精度統計において組み合わせが競合していた。

2kind では、(HR_max, NN50)の組み合わせが全モデルにおいて F1score が最も高かった。この結果は、(HR_max, NN50)がハラスメントを分類するための共通した特徴量の組み合わせであることを示唆している。図2に、各モデルデータにおける(HR_max, NN50)の散布図を示す。Harassment-Relax(High Stress)は Harassment データが分散している一方、Harassment-Relax(Low Stress)では分散が見られなかった。このことから、(HR_max, NN50)の分散差が分類精度に表れている。

さらに、各モデルにおける上記の共通した組み合わせとその競合の特徴量を除くと、Harassment-Relax(High Stress)では HF_var、Harassment-Relax(Low Stress)では LF/HF_var が各主観的ストレスを分類する上で有効な特徴量であることが考えられる。また、ハラスメント検出モデルの評価対象である 3kind の Harassment-Relax(High Stress)では、(RRI_min or HR_max, HF_var, NN50)が第三位の f1score と 1.2%以上差があることから、他の特徴量と比較して HF_var の有意性を補強していると言える。ただし、1kind において HF_var は 3.96%と低精度であり、単変量での有意差が少ない。

ストレスの一般反応として交感神経が賦活し、副交感神経が抑制されるが、本実験ではこの特徴が確認できなかった。よって、様々な実験課題におけるストレス状態だけでなく、他の感情との比較が必要である。

表9 VIF10以上の特徴量の組み合わせ

モデル	VIF	組み合わせ	
All Subject	11.7	RRI_range	CVNN_range
	12.2	HF_min	CVHF_min
	5945	LF/HF_max	LF/HF_range
	31.5	NN50	pNN50
High Stress	12.3	RRI_min	HR_max
	10.8	HF_min	CVHF_min
	5547.4	LF/HF_max	LF/HF_range
	18.7	NN50	pNN50
Low Stress	13.4	RRI_max	HR_min
	20	RRI_range	CVNN_range
	13.4	RRI_var	CVNN_var
	12	LF_max	LF_range
	11.2	HF_min	CVHF_min
	12000	LF/HF_max	LF/HF_range
	53.3	NN50	pNN50

6.3 VIFを含めた特徴量の組み合わせ評価

特徴量において多重共線性の問題がある組み合わせを表9に示す。全モデルデータで、(LF/HF_max, LF/HF_range), (NN50, pNN50), (HF_min, CVLF_min)の組み合わせが多重共線性の問題に該当していた。また、Harassment-Relax(High Stress)のデータでは(RRI_min, HR_max)も該当していたことから、前節で述べた分類精度統計において競合した特徴量同士が同質であることを示唆する結果となった。

7. まとめ

本報告では、VR 動画視聴によってハラスメント疑似体験をした被験者の ECG を基に、ハラスメント事象における被害者の心拍変動の特徴量を算出した。加えて、被験者の主観的なストレスが異なる3種類のデータを作成し、それぞれの決定木モデルを構築した。そして、しらみつぶし探索を用いて、1~4種類の特徴量の組み合わせに限定した

分類精度統計を算出した。その結果、主観的なストレスが高いほど分類精度に影響を与えていることが示唆された。また、(HR_max, NN50) がハラスメントを有効に分類できる共通した特徴量の組み合わせであることが示唆された上、各モデルのデータ散布図を比較した結果、ストレスが低いデータほど分散度合いが低い傾向にあった。そして、ハラスメント検出モデルの対象である、主観的な高ストレスの被験者データを用いたモデルでは、(RRI_min or HR_max, HF_var, NN50) の特徴量の組み合わせが有効であることが示唆された。ただし、単変量での有効性が低い特徴量も含まれており、ストレスの一般反応における交感神経系の特徴も確認できなかった。そのため、今後の課題としては、様々な実験課題におけるストレス状態だけでなく、他の基本感情との生体反応比較を行う必要がある。また、有効な特徴量を正確に評価するためには定量的な特徴選択手法による検証が必要となる。

参考文献

- [1] “文部科学省 令和3年度 児童生徒の問題行動・不登校等生徒指導上の諸課題に関する調査結果” https://www.mext.go.jp/content/20221021-mxt_jidou02-100002753_1.pdf, (参照 2023-02-15).
- [2] “厚生労働省 令和3年度個別労働紛争解決制度の施工状況要” <https://www.mhlw.go.jp/content/11909000/000959370.pdf>, (参照 2023-02-15).
- [3] “厚生労働省 令和2年度職場のハラスメントに関する実態調査報告書” https://www.soumu.go.jp/main_content/000538672.pdf, (参照 2023-02-15).
- [4] “文部科学省 いじめ防止対策推進法(概要)” https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/seitoshidou/1337288.htm, (参照 2023-02-15).
- [5] Kim, J., Ho, T. D., Kim, J., et al.: Can Bullying Detection Systems Help in School Violence Scenarios?: A Teachers' Perspective, In Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-7(2020).
- [6] Brahnam, S., Roberts, J.J., Nanni, L., et al.: Design of a bullying detection/alert system for school-wide intervention, Proc. Human-Computer Interaction: Interaction Technologies, pp.695-705 (2015).
- [7] Ferdinando, H., Ye, L., Han, T., et al.: Violence detection from ECG signals: a preliminary study, Journal of Pattern Recognition Research, Vol.12, No.1, pp.7-18 (2017).
- [8] Ye, L., Wang, P., Wang, L., et al.: A combined motion-audio school bullying detection algorithm, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Vol.32, No.12, 1850046 (2018).
- [9] 入江正洋: 職場のパワーハラスメント: 現状と対応, 健康科学, Vol.37, pp.23-35 (2015).
- [10] 上野貴弘, 大橋正良: 心拍情報に基づくいじめ検出手法の一検, 情報処理学会研究報告, Vol.2022-HCI-199, No.25, pp.1-6 (2022).
- [11] 上野貴弘, 大橋正良: 心拍情報に基づくいじめ検出手法の一検, 電子情報通信学会総合大会, H-2-3, 2023年3月(発表予定)。
- [12] Baltatzis, V., Bintsis, K. M., Apostolidis, G. K., et al.: Bullying incidences identification within an immersive environment using HD EEG-based analysis: A Swarm Decomposition and Deep Learning approach, Scientific reports, vol.7, pp.1-8(2017).
- [13] Minhad, K. N., Sawal, H. M. A, and Mamun, B. I. R.: Happy-anger emotions classifications from electrocardiogram signal for automobile driving safety and awareness, Journal of Transport & Health, Vol.7, pp. 75-89 (2017).
- [14] Mavridou, I., Seiss, E., Kostoulas, T., Nduka, C., and Balaguer-Ballester, E.: Proceedings of the Workshop on Human-Habitat for Health (H3), No.4, pp. 1-6 (2018).
- [15] Park, C. Y., et al.: K-EmoCon, a multimodal sensor dataset for continuous emotion recognition in naturalistic conversations." Scientific Data, Vol.7.1, No.293 (2020).
- [16] Schmidt, P., Reiss, A., Dürichen, R, Laerhoven, K. V.: Wearable-Based Affect Recognition—A Review, Sensors. Vol.19, No.19, pp. 4079(2019).
- [17] “厚生労働省 動画で学ぶハラスメント”, <https://www.no-harassment.mhlw.go.jp/movie>, (参照 2023-02-15)

資源循環促進に向けた住民の行動変容

江島直也^{†1} 日室聡仁^{†1} 笹鹿祐司^{†1} 後藤晶^{†2}
 NEC ソリューションイノベータ株式会社^{†1} 明治大学^{†2}

1. 背景

近年、大量生産、大量消費、大量廃棄型社会から資源循環型社会への転換が求められている。宮城県南三陸町では地域資源循環の取組として、可燃ごみ回収とは別に生ごみを回収している。町内約 250 か所のごみ集積所に生ごみ回収用のバケツが常設されており、住民はいつでもバケツに生ごみを捨てることができるようになっている。回収した生ごみはバイオガス施設で電力や液肥に変換し地域内で再利用している[1]。生ごみ回収の課題として、生ごみの回収量を増やすことと生ごみの中の異物を減らすことがある。課題解決のためには住民のごみ分別行動を変容する必要がある。筆者らは行動経済学や心理学の知見にもとづいて介入をデザイン、実験を通して効果を検証した。本稿ではこれまでに実施した実験とその結果、そこから得た学びについて報告する。2 章では生ごみの回収状況を把握するために作成したシステムについて述べる。3 章では 1 つ目の実験である感謝をフィードバックすることで住民の向社会的行動を促す 2 つの実験について述べる。4 章では損失情報をフィードバックすることで住民の損失回避行動を促す 1 つの実験について述べる。

2. 生ごみ回収状況把握環境の整備

施策の効果を検証するためには施策前後のデータ比較が必要となるが、生ごみ回収のデータ計測方法には 2 つの問題があった。

1 つは計測データがデジタル化されていない点である。元々は資源回収業者が紙にデータを記録し、それを図 1 のように手動で集計していた。そのため、分析に手間がかかる状況であった。

もう 1 つは分析に必要なデータが不足している点である。元々の生ごみ回収に関する計測データにはごみ集積所に生ごみが「ある/ない」の情報しか記録されていなかった。また、分別品質に関しては、複数のバケツのうち 1 つでも異物が混入している場合にすべてのバケツに異物ありと記録されており、情報量が少なくなっていた。

前者の問題に対して、筆者らはタブレット PC を使いデジタルデータとして計測データを保存するシステムを開発す

ることで解決を図った。システム開発の際には、タブレット PC を使い慣れていない回収業者がシステムを利用することを想定し、インターフェースを単純な設計にした。また、ユーザーである作業員にシステムの使用感を確認しながら開発を行った。システムの回収状況入力画面を図 2 に示す。

後者の問題に対しては、計測データに記録する内容を見直した。生ごみの回収量については、バケツ毎に 0(空)~5(超)の 6 段階とし、図 3 のような基準で記録することとした。分別品質については、バケツ毎に混入した異物を記録できるようにし、評価の際に異物無し 2 点・異物あり 1 点・資源なし 0 点として扱った。



図 1 生ごみ回収データの集計結果(手動)



図 2 生ごみ回収状況入力システム画面

Change of residents' behavior to promote resource circulation

†1 NAOYA EJIMA, NEC Solution Innovators, Ltd
 †1 AKIHITO HIMURO, NEC Solution Innovators, Ltd
 †1 YUJI SASAKA, NEC Solution Innovators, Ltd
 †2 AKIRA GOTO, Meiji University

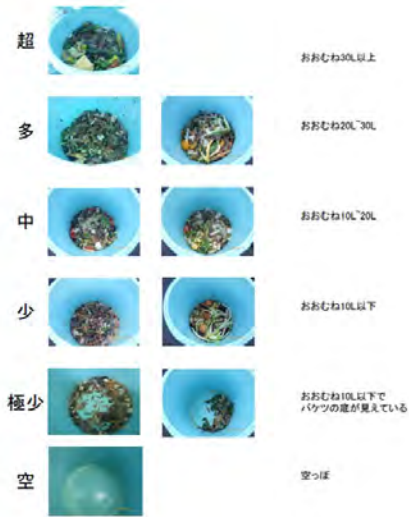


図 3 生ごみ回収量の記録基準



図 4 集積所に掲示した感謝状

3. 施策 1 : 感謝フィードバックによる施策

地域資源循環の取り組みにおける町民の行動は、一種の向社会的行動として理解できる。向社会的行動とは、社会のために無私の心で行う行為を指し、寄付やボランティア活動を支える心性のひとつである。地域資源循環の取り組みは金銭などの外的な報酬がなく、町民の地域をより良くしたいという善意によって成り立つ活動のため、筆者らは向社会的行動であるにとらえた。また、蔵永らの研究によると、感謝を受取るなどの恩恵の受領評価が向社会的行動に影響を及ぼすことが示唆されている[2]。住民の分別行動に対して感謝をフィードバックすることで、生ごみ回収量や分別品質の向上に繋がるのではないかと考え、以下の実験を実施した[3][4]。

3.1 生ごみ集積所への感謝状の設置実験

3.1.1 実験内容

感謝フィードバック前後の生ごみ回収量と分別品質の変化を確認するために、ランダムに抽出したごみ集積所に図 4 の感謝状を貼り付けた看板を設置し、感謝を町民へフィードバックした。看板には感謝状の他に、過去のごみ出し傾向、ワンポイントアドバイスを記載した紙を張り付けて設置した。1 週間あたり 6 か所に感謝状を掲示し 7 週間で計 42 か所の生ごみ集積所に掲示した。実際に看板を設置している様子を図 5 に示す。



図 5 看板を実際に設置している様子

3.1.2 結果と考察

感謝状を掲示した 42 か所の集積所のうち、有効なデータを取得することができた 31 か所を掲示群として分析した。掲示群と非掲示群ごとに、掲示前後 1 ヶ月の生ごみ回収量の平均変化量を図 6 に、分別品質の平均変化量を図 7 に示す。生ごみ回収量・分別品質ともに、掲示群において非掲示群に対して向上が確認された。t 検定による仮説検証では、分別品質にのみ有意差がみられた。集積所に感謝状を設置するという物理的制約のため、掲示群のサンプルサイズを十分に確保できず、生ごみ回収量が有意に向上するという証左までは得ることができなかったと考えられる。

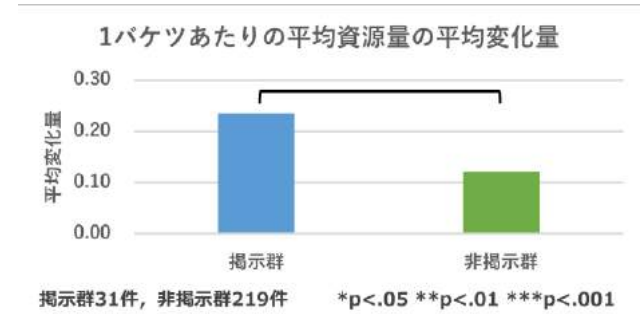


図 6 掲示群と非掲示群の生ごみ回収量の変化量の比較

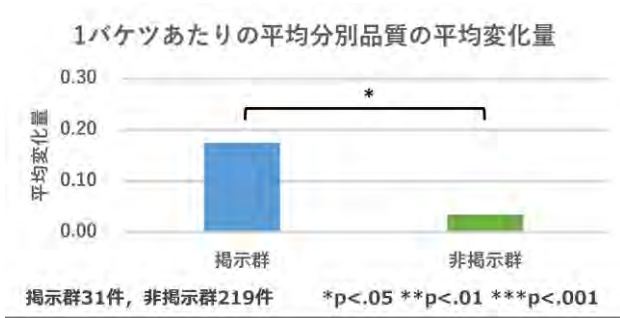


図 7 掲示群と非掲示群の生ごみ分別品質の変化量の比較

3.2 住民に対する感謝状の配布実験

3.2.1 実験内容

3.1.1 の感謝状設置の実験では、感謝状を設置した生ごみ集積所が 42 か所に対して、感謝状を設置しなかった生ごみ集積所が 219 か所と群分けのバランスが悪くなっていた。また、感謝状を設置したタイミングが集積所ごとに異なってしまう、季節性の影響を受け正しく分析できない可能性があるという問題点があった。本実験では上記の問題を解消するような実験設計として、感謝状を南三陸町の広報誌に挟み配布した。全 251 か所の集積所のうち、125 か所の集積所を利用する住民に感謝状を配布した。

3.2.2 結果と考察

感謝状を配布した住民が利用する 125 か所の集積所のうち、有効なデータを取得することができた 124 か所を介入群、感謝状を配布していない住民が利用する 126 か所の集積所のうち有効なデータを取得することができた 122 か所を待機群として分析を行った。介入群と待機群ごとに、介入群に感謝状を配布した前後一カ月の生ごみ回収量の変化量を図 8 に、異物混入率の変化量を図 9 に示す。生ごみ回収量は介入群の方が増加していたが異物混入率は介入群の方が悪化していた。t 検定による仮説検証では、異物混入率にのみ有意差がみられた。感謝状を広報誌に挟み配布したことによる、ごみの分別行動の促進は見られなかった。実験前に群ごとに回収傾向に大きな差がないことを確認していたが、群ごとに異物の種類ごとの混入率を確認したところ、介入群の方が待機群と比べ月ごとの値のブレが大きかった。この偏りが影響して介入群の異物混入率が悪化したように見えた可能性が考えられる。

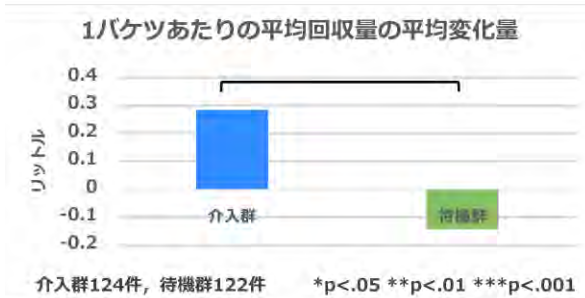


図 8 介入群と待機群の生ごみ回収量の変化量の比較

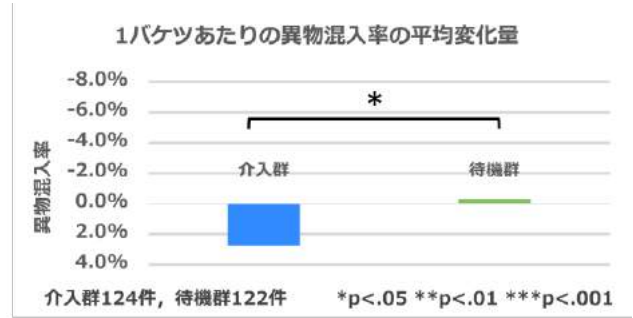


図 9 介入群と待機群の異物混入率の変化量の比較

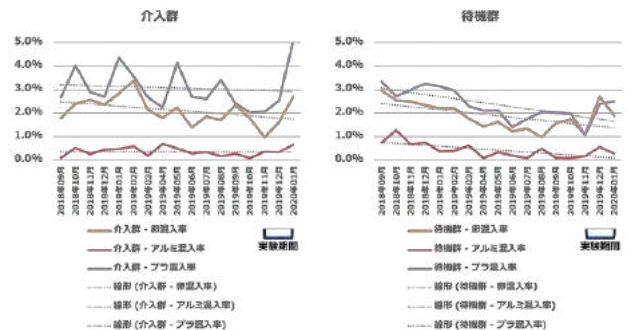


図 10 群別異物ごとの混入率推移

4. 施策 2：損失情報フィードバックによる施策

行動経済学で近年盛んに研究されているプロスペクト理論では、損失回避性というものがある。これは、人は利益を得るときよりも損をするときの方がより感情的に反応し、その結果、人は損失を回避するような行動を取るというものである[5]。

生ごみを分別せず可燃ごみとして廃棄することによる損失の情報をフィードバックすることで、損失回避行動を促し、生ごみ回収量の増加に繋がるのではないかと考え、以下の実験を実施した。

4.1 可燃ごみ袋売り場へのポスター掲示実験

4.1.1 実験内容

南三陸町には可燃ごみ処理施設がなく、隣町である気仙沼市に年間 4,200 万円を支払い処理している。4,200 万円の損失を町が負担しているということを記載したポスターをデザインし、住民に提示することで損失回避行動を促した。また、ポスターには生ごみ回収に協力することで可燃ごみ量が減少し、焼却費や CO₂ の排出量が削減できることを記載した。生ごみ回収という具体的な行動を記載することで、情報を受け取った人が行動に移しやすくなる狙いがある。町内で可燃ごみ袋を販売している 20 店舗のうち、11 店舗の可燃ごみ袋を販売している棚にこのポスターを掲示した[6]。可燃ごみ袋売り場に掲示することで、住民がごみについて考えているタイミングで損失の情報を伝えることができるようにした。掲示したポスターを図 11 に示す。

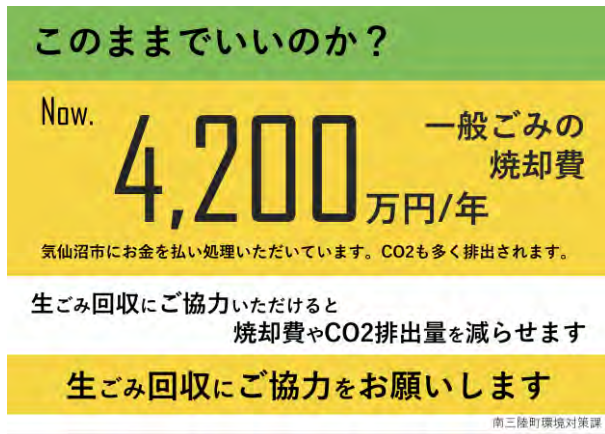


図 11 掲示したポスター

4.1.2 結果と考察

スーパーマーケット等でポスターを見た住民がどの集積所を利用しているかを特定することができないため、本実験では 3.1.2 や 3.2.2 のように介入群と非介入群を比較し効果を確認することができなかった。そのため、過去の生ごみ回収量からポスター掲示後の生ごみ回収量を予測し、その値と実際に回収された生ごみ量を比較することでポスター掲示による介入効果を確認した。予測には時系列因果推論フレームワークである CausalImpact[7]を利用し、2016 年から 2020 年の生ごみ回収量を学習データとして本実験を実施した 2021 年の生ごみ回収量を予測した。予測値と実際の回収量を比較した結果を図 12 に示す。ポスターを掲示した 37 週目以前は予測値と実際の回収量が同じような値となっているが、ポスター掲示以降 12 週間は実際の回収量が予測値より 14.68%高くなっていた。この結果から、ポスター掲示による住民への損失回避行動の促進には一定の効果があったと考えられる。理由としては、損失額を見せることで住民の損失回避行動の促進に繋がったことや、ごみ袋売り場にポスターを掲示したことで住民がごみのことを考えているタイミングでの介入となり行動変容に繋がった可能性が考えられる。

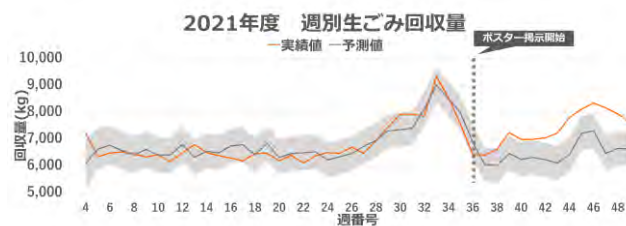


図 12 生ごみ回収量と予測値

5. まとめ

本研究では、宮城県南三陸町で取り組んでいる生ごみ回収における、回収量の増加と分別品質の向上という 2 つの課題について行動経済学や心理学の手法を用いて 3 つの実験を実施した。

生ごみ集積所に感謝状を掲示することにより住民に感謝をフィードバックし、生ごみ分別行動を促す実験では回収量、分別品質ともに感謝状を設置した集積所の方が向上し分別品質は有意差がみられた。

感謝状を広報誌に挟み配布することで感謝をフィードバックし、生ごみ分別行動を促す実験では、回収量は感謝状を配布した住民が利用する集積所の方が向上していたが異物混入率は悪化しており有意差がみられた。

南三陸町の焼却費を記載したポスターをデザインし可燃ごみ袋売り場に掲示することで、損失回避として生ごみ分別行動を促す実験では、ポスター掲示によって生ごみ回収量が予測値より約 14.68%高くなった。

これらの結果から、生ごみ分別という行動に対して、行動経済学や心理学の手法を用いてポジティブに変容できる可能性が示されたが、一方で情報の提示方法次第で効果に差があることが認められた。一定の効果が確認されたケースはごみ捨てや買い物など既存の行動の導線上に情報を掲示し、かつ繰り返し接触する機会が提供できており、介入をデザインする上で重要な要素であると考えられる。実際の運用においては利用できるメディアの制約など、必ずしも効果的な導線上に介入を設計できないことも考えられ、そのような場合には感性に訴えかけるレイアウトを検討するなどの工夫が必要だろう。

参考文献

- [1] アミタホールディングス株式会社:南三陸 BIO(ビオ)資源循環の基盤づくり事例
https://www.aise.jp/case/circulation/minamisanriku_bio.html(参照 2023-02-13)
- [2] 蔵永瞳,樋口匡貴:感謝生起状況における状況評価と感情体験が対人行動に及ぼす影響,心理学研究 84.4(2013):376-385
- [3] 日室聡仁,笹鹿祐司,福井知宏,河又恒久:資源回収状況のデジタル化および感謝フィードバックによって向社会的行動が促進されることの検証,情報処理学会第 81 回全国大会 2K-03(2019)
- [4] 日室聡仁,笹鹿祐司,江島直也,福井知宏,後藤晶: IT を活用した感謝フィードバックによる資源循環促進の検証,情報処理学会全国大会第 82 回全国大会 4G-05(2020)
- [5] Kahneman, Daniel, and Amos Tversky. "Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk.", *Econometrica* 47.2 (1979): 263-292.
- [6] 行動経済学会第 16 回大会ベストナッジ賞コンテスト
http://www.abef.jp/conf/2022/common/doc/program_best-nudge.pdf(参照 2023-02-17)
- [7] KAY H. BRODERSEN, FABIAN GALLUSSER, JIM KOEHLER, NICOLAS REMY AND STEVEN L. SCOTT: INFERRING CAUSAL IMPACT USING BAYESIAN STRUCTURAL TIME-SERIES MODELS, *The Annals of Applied Statistics* 2015, Vol. 9, No. 1, 247-274

健康メディアデザインによる 大学生の生活習慣の改善と集中力の向上

千種 康民¹ 保坂 浩太郎¹ 熊谷 華菜¹ 落合 育海¹ 今野 駿太¹

概要：本報告は筆者らが 2015 年から発案して実践してきた健康メディアデザインに基づく成果をまとめたものである。メディア学部多くの大学生は生活スタイルが夜型でかつ PC 作業やゲームなど液晶ディスプレイの使用時間が長く、朝食欠食も運動不足も長時間デスクワークも多い傾向にあり、結果として日中に実施される授業や学修に深刻な悪影響をもたらしていた。これらを踏まえて、最初は学生本人の睡眠不足や眼精疲労など健康状態を低下させている要因分析を行ない、悪影響への寄与の高い、あるいは現状の早急な改善が必要であるなどの改善対象となる健康テーマを決定する(PLAN)。そして健康テーマに関連すると考えられる行動や健康状態を学生本人が記録し、現状分析から改善に至るための有効な対策を必要最小限だけ実施し(DO)、その経過観察をデータサイエンス的な視点から可視化と分析(CHECK)、改善手法の追加・変更(ACTION)という、健康 PDCA サイクル着想して実践し有効な結果を残してきた。これらの活動を卒業研究として位置づけるため、前述の過程を基に自身の健康テーマ改善に役立つ健康アプリをデザインすることも併行して実施し、情報系への就職活動に役立ててきた。本報告ではそれらの成果を報告する。

キーワード：健康メディアデザイン、健康 PDCA サイクル、健康アプリ、低負担な改善手法、睡眠改善、集中力向上

Improving lifestyle-Habits of Students by Health Media Design Method

YASUTAMI CHIGUSA¹ KOTAROUH HOSAKA¹
HANA KUMAGAYA¹ IKUMI OCHIAI¹ SHUNTA KONNO¹

Abstract: This report summarizes the results based on the health media design that the authors have proposed and practiced since 2015. Many university students in the Faculty of Media Studies have a night-time lifestyle and spend a lot of time using liquid crystal displays such as PC work and games, and tend to skip breakfast, lack exercise, and work at a desk for long periods of time. It had a serious negative impact on teaching and learning. Based on these, we will first analyze the factors that are deteriorating the student's health condition, such as lack of sleep and eye strain. Decide on a health theme (PLAN). Students themselves record behaviors and health conditions that are considered to be related to health themes, analyze the current situation, implement the minimum necessary effective measures for improvement (DO), and observe the progress from the perspective of data science. We have visualized and analyzed (CHECK), added and changed improvement methods (ACTION), conceived and practiced the health PDCA cycle, and left effective results. In order to connect these activities to graduation research, based on the above-mentioned process, I also designed a health app that would help me improve my health theme, which has been useful for my job hunting in the information field. This report reports those results.

1. 健康メディアデザインとは

研究者らは、2014 年に研究室に配属になった大学生の 1 名との対話の中で「卒業研究に必要なプログラミングに取り組みたいけれど、日中が眠くてほとんどプログラミングが学修できない」という発言を発端として、人間の生活習慣の状況を「健康メディア」ととらえ、人間ひとりひとりの生活習慣の乱れ等の正常化や改善を目的とする方法論を「健康メディアデザイン」と定義し、その改善プロセスを「健康 PDCA サイクル」と呼び、週 1 回の授業やゼミにおいて、記録⇒分析⇒報告⇒議論⇒次週対策の策定、を毎週の授業時に実施するスタイルを確立し、対外発表によ



図 1 2018 年卒研究生の 3 年次の前期から後期の GPA の変化

¹ 東京工科大学メディア学部
Tokyo University of Technology, Faculty of Media Science

2015年から2022年度の現在まで、実施した授業科目は、



図2 2019年卒研究生の3年次の前期から後期のGPAの変化

卒研関連が半期×3科目(卒研究生:5~14名)、プロジェクト演習関連(履修生:3~8名)が半期×2科目、プレミアム科目(履修生3名前後)、大学院の特論(履修生:約20名)が四半期×1科目、であり、大多数が一定の成果を得てきた。総数126名の3分の2程度95名の健康改善テーマが「睡眠改善」であり、これに関しては50%以上が下記のKPI(Key Performance Indicator)が3項目以上改善し、90%以上が1項目以上改善した。KPIとして、①入眠時間短縮、②二度寝時間の短縮、③睡眠時間の増加、④朝食摂取率の上昇、⑤午前中の集中度の改善、⑥午後の集中度の改善、を使用した。卒業研究生においては⑦GPAの0.2ポイント以上上昇も使用した。

図1に示す2018年に3年後期から配属された卒研究生13名の健康テーマは13名中12名が睡眠改善であり、配属されてから半年後のGPAは平均0.28ポイントの上昇を示している。図2に示す2019年の卒研究生5名は全員の健康テーマが睡眠改善であり、同じ半年後のGPAは平均0.9ポイントの大幅上昇を示している。

学年全体のGPAの変化と比べて優位であることの確認が必要であるが、GPAが一定以上上昇した学生に関しては、健康メディアデザインの方法論の確立や少人数教育の効果などの影響のほか、睡眠改善により日中の授業における集中力が改善され、授業中の学修がスムーズであったことなどが考えられる。

2. 健康PDCAサイクルとその基本原則

最初の1年間を経過し、この2年間の健康PDCAサイクルで実施した記録は、日々の睡眠についての諸情報の記録を行なった。ベッドや布団に入る時刻である入床時刻、入床してから入眠するまでの入眠時間、朝起きる起床時刻、一旦起きてから完全に起床するまでの二度寝時間、を記録

した。改善が好ましい学生はアラーム無しでの自然な目覚めの起床回数を記録した場合もあった。

さらに学生たちとの対話を踏まえて、睡眠に影響のある項目も随時増やしていった。入床前の環境づくりとして、歩数、入浴時間や入浴後から就床までの時間、入床前のスマホやPC作業の終了時刻、起床後の活動状態として、二度寝時間、朝食摂取の有無、午前中の集中の度合い、午後の集中の度合い、夕食後の集中の度合い、なども随時記録していった。さらに実施する対策として、学生が記録してきた状況や実施した対策の効果を確認しながら、睡眠状況を改善する手法を学生とともに調査しながら、学生本人に適していると思われる手法を実践していった。

この時点で、従来11時前後に起床していた学生が、スタート時に8時~9時起床と急激な変化のある行動を設定した場合に、適応できる学生と適応できない学生の差が生じた。これは適応力の高い学生、自律心の強い学生とそうでない学生の差と考えられるが、実際に急激な変化は人体への負荷が大きく、急激なダイエットはリバウンドするケースが多いなど、決して好ましい状況に至らないことも明らかである。

2015年から2年間でこの人体の適応力を考慮した健康PDCAサイクル(図3)の基本原則を以下のように設定した。

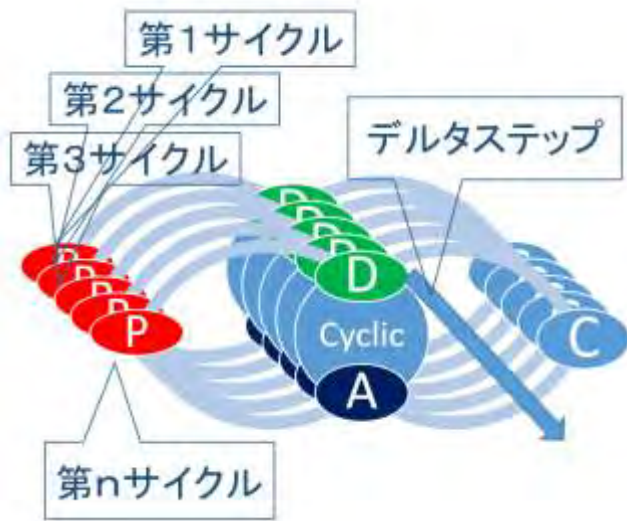
1. 健康PDCAサイクルは1週間1サイクル、半期で15サイクル前後である。
2. 1~4週間後に改善意欲の強い健康テーマを選定し、その目標設定をし、記録する項目は必要最小限からスタートする。
3. 様々な記録は、自動記録可能なスマートウォッチや睡眠記録アプリなどを積極利用し、途中から様々な記録が簡便にできる記録アプリを使用し、正確性と網羅性を担保する。
4. 新たに導入する対策は週1回の授業中に、最も効果が期待できる、あるいは、もっとも導入が容易な対策の複数の中から学生本人がその選択理由とともに1つを選択し、その効果測定が可能なKPIを設定し、導入を決定し実施する。
5. 新たに導入した対策の効果が確認できない場合でも1, 2週間は経過観察する。3週以上経過して効果が確認できない場合は、対策を停止し、他の対策を1つだけ選択する。
6. 週1回の授業前に、学生は各自の記録をまとめ分析し、その分析内容を報告できるようにしておく。
7. 授業中は学生ひとり一人が1週間の記録とその分析結果を報告し、教員および他学生と議論を行ない、その後、次週の対策について検討する。
8. 多少の体調不良でも自宅から参加でき、オンラインで習熟したzoomのチャットを用いて、他学生からのリアクションを得るとともに時短を図る。

以上の基本原則に則り、事前に提供するテンプレートとし

での「行動記録シート」に毎日の状況や対策などを必要最小限の項目のみ記録することからスタートする。



(a) 1 週間の健康 PDCA サイクル



(b) 繰り返し実施する健康 PDCA サイクル

図 3 健康 PDCA サイクル

通常的一般企業などで実施される業務改善などの PDCA サイクルは、長い一定の期間をかけて改善量が数 10% と大幅な改善を目標設定し、失敗が許されなく厳格かつ多面的に同時進行させていく行動計画が設定される。それをそのまま人間の生活スタイルに適用すると人体への負荷が過大になる可能性が高く、より多くの学生が適応不可能になってしまうため、業務改善的な PDCA サイクルのアプローチは必ずしも適さない。

改善目標は容易に到達できるレベルより少しだけ上の位置を設定する。健康 PDCA サイクルは、毎週 1 サイクル、設定する対策とその効果測定のための KPI は 1 つもしくはごく少数としている。

そして実績の改善量は必ずしもプラスでなくてもよく、例えば、風邪を引いたとか、冬休みに生活習慣が乱れて、改善した状態が悪化する場合など、改善しないケースも多々ありとして許容している。

例えば、起床時刻を早めるという健康テーマを設定した場合の最終的な目標は、例えば通常の社会人が通勤時間 1 時間かけて 9 時から 18 時まで勤務するような一般的な

社会人の生活スタイルから派生する「平日」+「起床時刻」+「7 時以前」であるが、いきなり来週からの目標が 7 時起床では、持続する前に破綻する可能性が高い。したがって、スタート時の現状が「平日」+「起床時刻」+「10 時以前」であるなら、1~4 週間後の目標設定を例えば「平日」+「起床時刻」+「9 時半以前」と緩めにであるが平日 5 日間と設定する。実現が困難であった場合は「平日」を「平日の 3 日以上」とより緩い目標設定にする場合もある。この目標設定が安定して達成された場合の次の目標設定は「9 時以前」とするのではなく、「平日」を「毎日」と変更し、毎朝の起床時刻を揃えて、人体の 24 時間時計の働きを有効活用する方向に誘導していく。

他にも多様な問題がある可能性があるが、起床時刻に問題がある場合は、就床時刻や入眠時間にも問題がある場合が多いため、起床時刻だけを早期化しても、睡眠時間が短縮して悪化するケースもあり、そのままだと破綻してしまう。その場合は、一定以上の睡眠時間を確保するために、就床時刻あるいは入眠時間の改善余地の多い、あるいは改善可能性が高い項目を選定し、少しだけ改善された起床時刻を固定したまま、どちらかの項目を改善するための健康 PDCA サイクルを実施する。前述の取り組みをしても、一定以上の睡眠時間が確保できない場合は、昼食後の眠気が深刻な場合が多く、午後の授業に対する集中度が著しく悪化するため、対症療法として、昼食後に 20 から 30 分の仮眠を取り入れるケースもある。

以上のように起床時刻、就床時刻、入眠時間、睡眠時間、二度寝、昼食後の眠気、など睡眠問題に関しては多種多様で実績のある対策が多く蓄積されてきた。眼精疲労や朝食欠食に対する実績も地道に蓄積されてきている。

KPI は「」当面の起床時刻など、とすることになるが、1~4 週間後の目標値は本人の現状と目標から換算するにとって到達可能

数年間の実績により、事前に学生に提供する健康テーマのテンプレートは、適用人数の多いものから、「睡眠」、「朝食欠食」、「眼精疲労」、「首コリ・肩こり」、「運動不足」、「ストレス」、「集中力」、である。コロナ禍の影響もあるが、ディスプレイ作業の多いメディア学部ならではの傾向があるともいえる。

3. 反転授業としての健康メディアデザイン

能動的学修が期待される、グループワークなどを取り入れたアクティブラーニングと自宅での学修を組み合わせた反転授業では、学修者（ここでは大学生）が受け身ではなく、自ら能動的に学びに向かうよう設計された教授・学習法により学修をしていくことにより学習効果を高めている。学修者の認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験といった能力を育むことが期待されている。

図 4 に示す 7 階層のラーニングピラミッド[9]において、従来の講義スタイルの学修定着率は 5% とされており、

読書や視聴覚資料を用いた授業では学修定着率が 20%まで上昇する。さらに実習的なデモンストレーションにより、

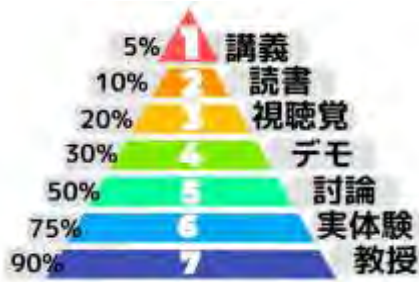
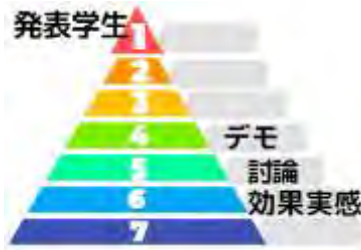


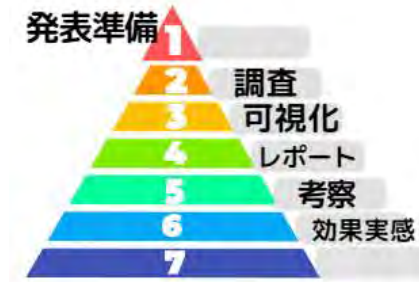
図4 反転授業におけるラーニングピラミッドと学修定着率



(a) 健康メディアデザイン授業中（発表学生）



(b) 健康メディアデザイン授業中（他学生）



(c) 予習中（発表準備）

図5 健康メディアデザインの授業中と授業外

学修定着率は 30%まで上昇すると言われている[9]。またラーニングピラミッドの第 5 層から第 7 層に該当するアクティブラーニングの実施法と第 1 層から第 3 層に該当する事前予習法との適合性に応じて差異が生じることになる[10]。

一方、1 週間ごとの健康メディアデザインの授業において、図 5 (a)に示す発表学生と教師のインタラクションは、アクティブラーニングとして、第 5 層の教師との討論を中心に、第 4 層の可視化された自身の記録データ分析に基づくデモンストレーション発表と 1 週間記録された第 6 層の効果実感を体験している。

また、図 5 (b)に示す、他学生が発表学生や教師との討

論などから受けるインタラクションは、第 3 層の可視化されたデータについての第 1 層の解説、それらを聞いた上での第 5 層の発表学生へのコメント、コメントは場合によっては発表学生へのアドバイスという第 7 層の教授、も発生する可能性がある。

図 5 (c)の発表準備において、自分自身の 7 日分の行動記録において第 6 層の効果実感を得て、第 3 層の直前のデータ可視化と、その分析結果に関する第 2 層の調査が必要となり、第 4 層のレポート作成と第 5 層の考察により発表準備を実施する。

1 コマの授業においては、全受講生数の発表があり、学生は 1 回の発表学生と、受講生数 - 1 の回数の他学生を演じることになる。これらにより全学生の多様な健康テーマに関する情報も多様に共有され、学生の知識の獲得にも該当テーマだけに限らず多種多様な効果が得られる。

4. ケーススタディ

4.1 夜型生活から朝型生活化による集中力改善例[5]

2020 年前期のプレミアム科目履修学生が夜型生活であり、夜間ながら作業による作業効率悪化と、その影響で入眠時間が 2020 年 5 月の段階で、平均睡眠時間 5 時間、平均入眠時間 60 分という睡眠不足問題があった。

5 月から当面は、入眠時間 60 分の短縮と、就床時刻の早期化、定刻 8:30 の起床時刻化により 6 時間以上の睡眠時間の確保を当面の目標と設定した。約 1 か月後には就床時刻の早期化と定刻起床が安定的に実現でき、6 時間半以上の睡眠時間および午前中 3 時間半が確保できた。その後、夜間ながら作業で作業効率が悪化していた創造的作業を安定的に確保できた午前中の 3 時間半内へシフトした。

6 月の中盤からは、苦手科目のただ作業の時短をポモドーロ法により試行した。並行して前述の夜間作業の午前中への移行と、定刻 8:00 のより早期の起床時刻により、午前中の作業時間が 30 分増え 4 時間が確保でき、入眠時間の短縮にも効果が出始め 30 分程度まで改善できた。これらにより時短できた余剰時間は半分程度を睡眠時間に組み入れて増やし、さらに午前中作業も増やし、日中気分と集中力の向上に成功した。余剰した自由時間も確保できた。

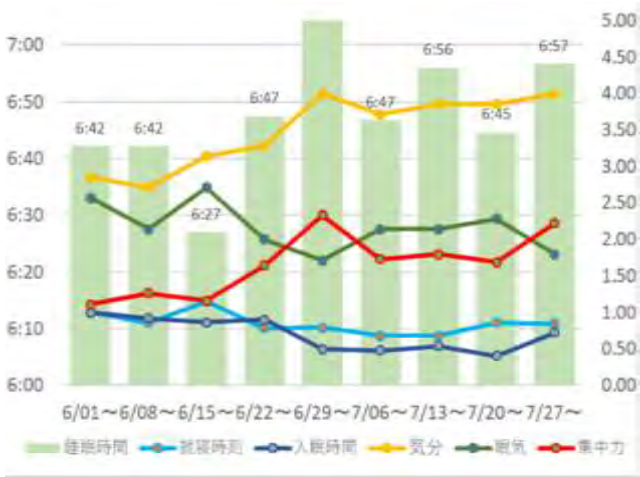
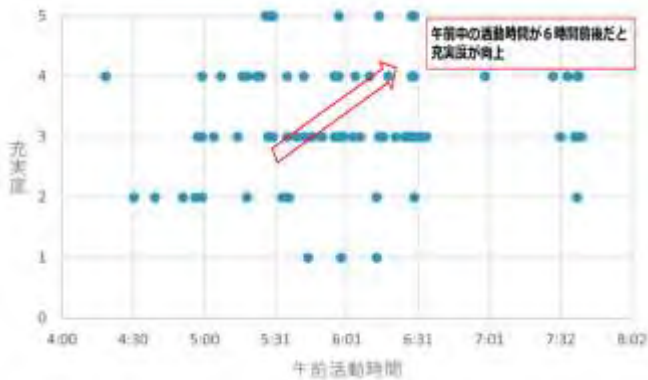


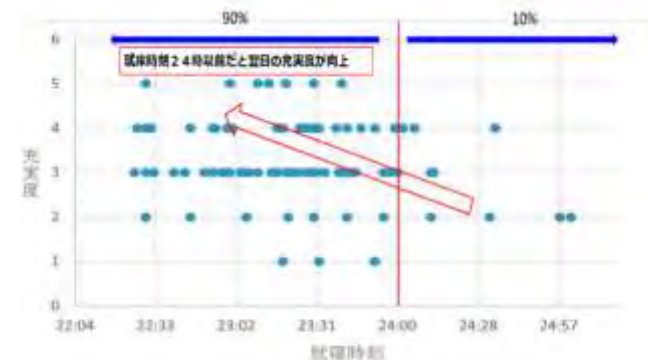
図6 作業の朝型化と入眠時間の短縮による効果

4.2 早寝・早起きの効果測定(充実度として)

2022年後期のプレミアム科目の履修生が朝活を実践し、その充実度を観測した。6時くらいに起床する学生であったが、5時半～6時半の早起きをすると午前中の予定が順調にはかどるため、1日の充実度が高くなった。また23時前後に就寝すると翌日の充実度が高くなった。これは23時前後の就寝により、早朝起床になるためと推察される。



(a)早起きと充実度の関係



入眠時刻



(b)早寝と充実度の関係

図7 早寝と早起きの効果測定

4.3 入眠時間短縮に効果的なルーチン

2022年後期のプレミアム科目の履修生が時々60分を超える入眠時間があり、翌朝に悪影響があり問題であった。この現状に対して、10/13～1/11まで入眠時間と対策を記録した。①就床60分前にスマホ利用を停止、などを実践し、現在は安定的に10～20分程度に安定している。

図8 様々なルーチンを取り入れた入眠時間の改善

4.4 ストレスコーピングによる大学生活の充実化

2022年後期のプレミアム科目の履修生が、苦手科目によりモチベーション(気分)が低下している問題を改善するためにストレスコーピングを用いて対策した。図9に示すように、開始前の気分は最悪であったがストレスコーピングを開始してから着実に効果が表れ、ジム利用開始なども効果がみられて、後半には、通常以上に改善できた。



(a)改善の過程(1週ごとのサンプル)

番号	ジャンル	項目	効果	どうしたらよくなったか
1	音	カウンセリングに行く	○	いつでも
2	音	いいことを声に出す	△	
3	音	よくなかったことを声に出す	△	
4	音	がんばれ私!と言い聞かせる	○	バイト通勤
5	音	紙を読む	○	何もやる気が起きないとき
6	音	母と話す	○	いつでも
7	音	友人と話す	○	やる気なとき
8	運動	ウォーキング	○	いつでも
9	運動	ジョギング50分	○	いつでも
10	運動	ジョギング20分	△	
11	運動	ジム	○	いつでも
12	運動	プール	○	いつでも
13	運動	運動	○	
14	音	自分とマッチした曲を聴く	○	モチベーションを上げた時
15	音	お気に入りの曲を聴く	○	モチベーションが上がった時
16	音	サウンドトラックを聴く	○	モチベーションが上がった時
17	音	水の流れる音を聴く	○	
18	外出	コンビニに行く		
19	散歩	散歩に行く	○	いつでも

(b)ストレスコーピングリストと効果のある対策

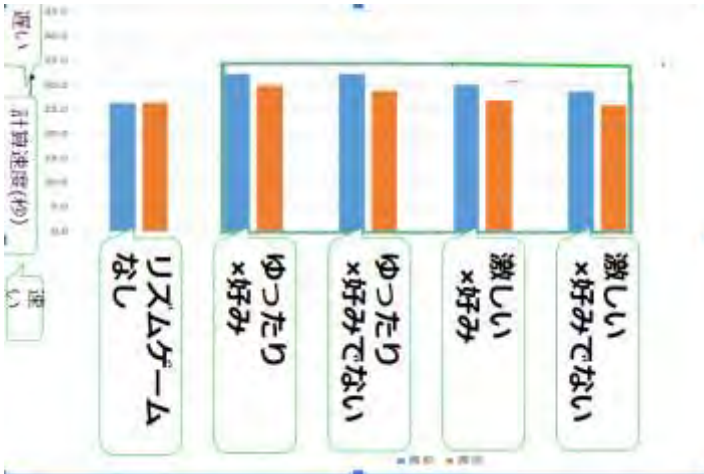
図9 ストレスコーピングによる苦手科目の克服

4.5 作業開始前のリズムゲームによる集中力向上法

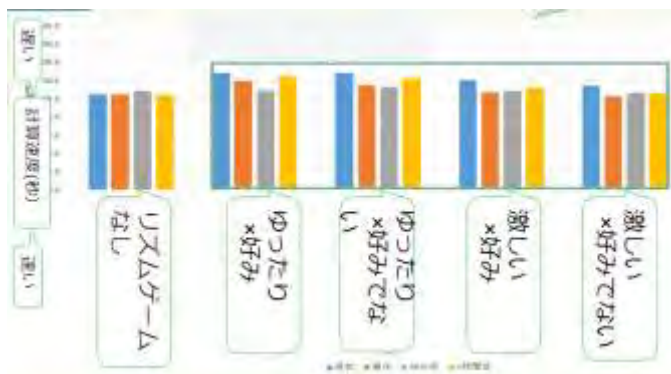
卒業研究生が、昼食後の眠気のために午後の集中力が低下する問題があり、その問題解決のための対症療法として、本人が好んでいるリズムゲームにより短期的に集中力向上効果を確認した。

実験では、効果確認のために、四則演算計算をするアプリを使用して、一定の問題数を解く計算時間を測定した。計算時間が短いほど、計算間違いが少ないほど集中力が高いと仮定する。

測定実験では、リズムゲームをしない場合、リズムゲームのジャンルを分類し、好きー好きでない、ゆったりー激しい、の2x2の4パターンの曲群に分類して、リズムゲームの前後に計算アプリでその瞬間の集中力を測定するこ



とにより、リズムゲームの効果を測定した。



(a) 曲の分類によるリズムゲームの集中力向上効果
 (b) 時間経過後の集中力向上の持続性

図 10 作業前のリズムゲームによる集中力向上効果

図 10(a)に、リズムゲーム無し、4つのジャンルの曲群ごとのリズムゲームの直前(左側)と直後(右側)の計算時間をグラフにしている。全体として、リズムゲームを実施すると集中力が平均 11%向上している。曲群の違いによる有意な差はみられなかったが、リズムゲームのプレイした場合は総じて集中力が向上した。

また図 10(b)にリズムゲーム実施の直前、直後、30分後、60分後、の集中力を計測した。直後から30分後にかけていったん集中力が向上した。直前から1時間後までの遷移に違いがみられたが有意な差は見られなかった。

5. まとめと今後の課題

本報告では、これまで実施してきた健康メディアデザ

インによる学生個人の健康改善の効果を確認できた。非常に興味深い結果が観測できた場合が多々あるが、エビデンスと言える統計結果は得られていないため、今後の追実験が必要である。

最後に今回、個別にピックアップして報告した事例では、すべてのケースにおいて、実験で得られた成果・知見をアプリ化またはポスター化することにより、自分自身が取り組んだ健康テーマの改善の成果を活かし、本人のポートフォリオの充実に役立てており、より達成感の得られた課題設定であったとの感想を得た。

参考文献

- [1] 千種他, "健康意識の改善を促進するストレス度のチェックテストと可視化法: メディアと健康における可視化の取り組み", 信学技報 115(479), p.81-85 (2016).
- [2] 千種, 山崎, "PDCA サイクルに基づく健康メディアに対するセルフケア法の提案", vol.116, no.EMM-501, pp.67-71 (2017).
- [3] 千種, 呉, "健康メディアにおける集中力をはじめとしたセルフケアの分析と改善アプリの開発", 信学技報 IE2017-139, pp.123-127, (2018).
- [4] 佐藤, 千種, "環境音と音楽をポモドーロテクニックに適用した集中力向上法", 映像情報メディア学会, 映像情報メディア学会技術報告, ITE-42 (34), pp.13-17 (2018)
- [5] 千種, 井上, "健康メディアデザインに基づく座位姿勢の悪化要因分析と改善法に関する研究", FIT2019, vol.4 pp. O-036-037 (2019).
- [6] 小林, 千種, "健康メディアデザインによる睡眠力と集中力の改善", 大学コンソーシアム八王子講演予稿集, pp.122-123 (2020).
- [7] 矢野, 千種, "健康メディアデザインに基づく集中力向上を目指した新しいポモドーロ法", 情処大会第 84 回全国大会講演論文集, vol.1, pp.69-70 (2022).
- [8] 井上, 千種, "健康 PDCA サイクルにより運動不足解消と免疫力改善を両立する運動力向上支援アプリの開発", 情処大会第 84 回全国大会講演論文集, vol.1, pp.107-108 (2022).
- [9] 千種, 黄, "健康メディアデザインに基づく夜勤アルバイト学生のための日勤夜勤混合タイムスケジュール法の一提案", 信学技報 vol.ET-212, ET2022-28, pp.39-42(ET)(2022).
- [10] 安達 一寿, "ブレンディッドラーニングでの学習活動の類型化に関する分析", 日本教育工学会論文誌, vol.31, no.1, p.29-40 (2007).
- [11] 三保 紀裕, 本田 周二, 森 朋子, 溝上 慎一, "反転授業における予習の仕方とアクティブラーニングの関連", 日本教育工学会論文誌, vol.40, p.161-164 (2016).

地磁気センサと BLE ビーコンを用いた低コスト屋内混雑度推定システム

友浦一樹^{†1}立命館大学 情報理工学研究科^{†1}吉田政望^{†2}立命館大学 情報理工学研究科^{†2}野口拓^{†3}立命館大学 情報理工学部^{†3}

1. はじめに

近年、コロナ禍の影響により、感染症対策の観点からユーザと商業施設の両方から混雑度推定の需要が増している。混雑度推定とは、一定空間内の群衆密度を推定することである。例えば、ショッピングモールを任意のエリアに分割し、エリア別の混雑度推定ができると3密（密閉、密集、密接）の回避ができ、感染症対策に活用できる。

混雑度推定には様々な手法が存在する。特に GPS (Global Positioning System) で得られる位置情報を利用した混雑度推定は手軽でかつ正確に混雑度推定が可能であるが、屋内や地下では衛星からの電波が十分に届かず、機能しない。そのため、屋内ではカメラや Wi-Fi, Bluetooth 等を用いたものが主流となっている。しかし、カメラや Wi-Fi 等を利用するとコストが高くなる傾向がある。

そこで本稿では、安価な BLE (Bluetooth Low Energy) ビーコンとスマートフォンに標準搭載されている地磁気センサを用いて既存システムと比較して低コストな屋内混雑度推定システムを提案する。本提案システムは、屋内を任意の数にエリア分割し、エリアごとの人数を把握することで混雑度推定を行う。この手法では、エリアの境界をまたぐユーザの移動に着目し、BLE ビーコンの配置と地磁気収集場所を限定することで、既存システムと比較して導入コストを削減している。

本提案システムの有効性を示すために、エリア推定精度について、実証実験を行い BLE のみを用いたシステムとの比較を行う。続いて、コスト削減効果を検証するため、実在する大規模商業施設におけるデータ収集コストの評価を行う。

2. 屋内端末位置推定技術

2.1. 地磁気測位

地磁気とは、地球の磁場のことであり、屋内では地球の磁場の影響だけでなく、建物の鉄筋などの金属が地磁気に影響を与える。そのため、位置によって磁気の特徴が異なる。地磁気測位は、前述のように位置によってわずかに違いのある地磁気を収集し、大きさと方向を位置ごとにデータベースに保存する。地磁気センサは、 x, y の 2 軸または、 x, y, z の 3 軸のタイプがあり、それぞれの方向の磁力の値を取得する。地磁気測位は、事前に収集されてデータベースに登録されている地磁気とスマートフォン等が搭載している地磁気センサが収集した地磁気の特徴を用いてマッチングを行い、その合致度合によって位置を推定する。マッチングは機械学習を用いて行う。スマートフォンを用いた地磁気測位の既存研究 [1] では、各場所の地磁気の特徴のみではなく、ユーザが通過した経路の一連の磁気特性を特徴として利用する。まず、ビル内を一定の速度で歩行し、データを収集する。この経路で得たデータと事前に収集したデータを機械学習を用いてマッチングを行い、ユーザの経路を推定する。この手法は実験場が細い廊下のみであり、広いエリアで測位した際に精度が低下すると考えられる。

2.2. Bluetooth を用いた位置推定

2.2.1 Bluetooth を用いた位置測位

Bluetooth を用いた位置測位は、固定された Bluetooth ビーコンとスマートフォンが通信を行うときに確認できる RSSI (Received Signal Strength Indicator) を用いてユーザの位置を推定する手法である。

RSSI とは、Bluetooth や Wi-Fi などの無線通信機器が受信する信号の強度を示す指標である。RSSI は数値が大きいほど信号強度が強く、無線通信機器同士の距離が近いほど大きくなる。この関係を式 1 に示す。 R は RSSI (受信信号強度)、 T は送信出力、 D は発信機と受信機の距離を表す。図 1 は式 1 をグラフにしたものである。図 1 では T を $-4dBm$ に設定している。 R と T が分かれば、式 1 を用いて距離 D が推定できる。

Low-cost Indoor Congestion Estimation System Using Geomagnetic Sensors and BLE Beacons

^{†1} KAZUKI TOMOURA, Ritsumeikan University Graduate School of Information Science and Engineering

^{†2} MASAMI YOSHIDA, Ritsumeikan University Graduate School of Information Science and Engineering

^{†3} TAKU NOGUCHI, Ritsumeikan University College of Information Science and Engineering

$$R = T - \log_{10} D \tag{1}$$

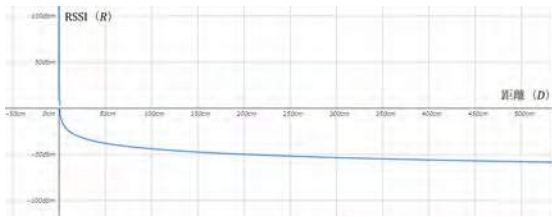


図1 RSSIの距離特性

3つ以上のビーコンを利用し、それぞれのビーコンからユーザの距離が推定できると、それらの情報を元にユーザの位置を1つに推定できる。このような手法を3点測位と呼ぶ。自由空間においては、RSSIは距離と反比例して小さくなるため、距離の測定が簡単に行えるが、実際の空間では地面や壁などによる反射波の影響や障害物による電波の減衰など様々な要因によって、距離とRSSIが反比例しない場合がある。そのため、事前にRSSIを収集し、地磁気測位と同様に、各場所で収集されたRSSIをデータベースに登録する必要がある。また、この手法では、位置測位を行うすべての場所において複数のビーコンからの電波が届くようにビーコンを配置する必要がある。

2.2.2 BLE ビーコンを用いた混雑度推定システム

既存研究 [2] では、複数のBLE ビーコンを用いて大規模イベント会場での混雑度を推定している。BLE ビーコンは安価かつ通信時の消費電力も少ない。この研究では、BLE ビーコンを会場内に複数配置し、各ユーザのスマートフォンからビーコンの電波受信情報を収集することでビーコン周辺にいるユーザ数を把握している。しかし、既存のビーコンを用いた手法では、位置測位と同様に混雑度を推定したい範囲すべてをカバーできるようにビーコンを配置する必要がある。そのため、建物や施設が大きくなればなるほどコストが増加する。

3. 地磁気と受信信号強度を用いた低コスト屋内混雑度推定システム

3.1. 概要

広い範囲をカバーできる屋内混雑度推定は、Wi-Fi や Bluetooth など、システムの導入の際に、既存インフラや新たな機器の設置が必要である。しかし、広大な範囲を電波でカバーする必要があることから、必要な機器数も膨大となり導入コストが高くなる傾向がある。そのため、既存システムと比較して導入コストの低いシステムの需要が増している。本稿では、地磁気センサとBLE ビーコンを用いた混雑度推定システムを提案する。本提案システムは、BLE

ビーコンの設置場所と地磁気を収集するエリアを限定することで、既存システムと比較してBLE ビーコンの設置数を減らし、任意のエリアごとの混雑度を推定できる。

3.2. システム構成

本提案システムの構成図を図2に示す。まず、ユーザはスマートフォンに搭載されている地磁気センサとBLE機能を用いて地磁気データとRSSIを収集し、サーバへ送信する。サーバは、スマートフォンから受信したデータが事前にデータを収集し作成したデータセットとの類似度を機械学習を用いて算出し、比較することでユーザの位置を推定し、推定した位置情報を元に混雑度を推定する。



図2 本提案システムの構成

3.3. 混雑度推定システム

3.3.1 推定手法の概要

本提案システムは、導入コストを削減するために屋内を任意の数のエリアに分割し、そのエリアの境界にのみBLE ビーコンを設置し、境界内でのみ地磁気の事前収集を行う。BLE ビーコンは1つで境界を1つ以上カバーできるように設置する。境界とエリアはそれぞれ番号ラベルを付与し、管理する。例を図3に示す。提案システムは、ユーザの所在エリアを推定し、エリア内のユーザ数を把握することでエリア別の混雑度推定を行う。ユーザの所在エリアは、ユーザのスマートフォンから収集された地磁気とRSSIのデータを用いて推定する。エリアを推定するためにユーザの境界通過を検知する。まず、BLE ビーコンの電波範囲内で取得した地磁気とRSSIを用いてユーザの現在地がエリアの境界内か境界外なのかを推定する。ユーザの現在地が境界内であれば、機械学習を用いてユーザの所在エリアを推定する。また、ユーザの現在地が境界外であれば、推定の履歴から境界内で最後に推定されたエリアをユーザの所在エリアとする。

混雑度推定までの手順を以下に示す。

1. 事前に各境界に、境界全体をカバーできるようにBLE ビーコンを設置する。地磁気センサを用いて境界内の地磁気を収集する。
2. 境界ごとに収集した地磁気データをデータセットにする。

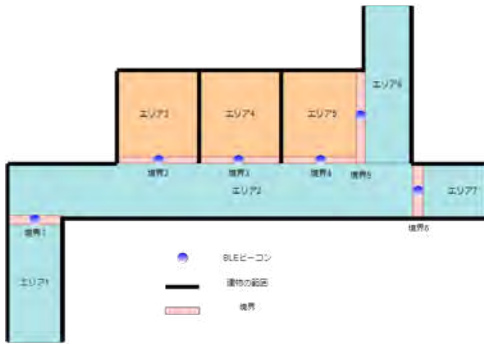


図3 BLEビーコンの配置例

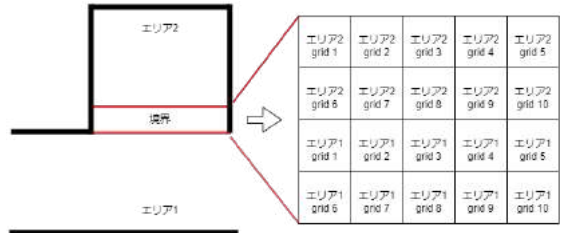


図4 境界の詳細

3. ユーザはスマートフォンを用いて地磁気と RSSI を常に収集し、サーバに送信する。
4. サーバは、スマートフォンから受信したデータとデータセットを用いて機械学習を行い、ユーザの所在エリアを推定する。
5. エリア別のユーザ数を元にエリアごとの混雑度を算出する。

3.3.2 事前データ収集

本提案システムでは、事前に境界内の地磁気を収集し、データセットを作成する。データの収集はスマートフォンの地磁気センサを用いて行い、3軸 (x, y, z) の地磁気を収集する。境界内での位置推定を行うために、境界をさらに分割しグリッドを作成する。地磁気収集はグリッド単位で行う。図4は境界内部の詳細である。グリッドのサイズは小さいほど高い密度でデータセット作成を行うことができるため、精度が高くなる。今回は、地磁気を用いた既存研究 [3] を参考に境界は1辺1mのグリッドで構成する。また、それぞれのグリッドは所属エリアとグリッド番号が定められる。図4の例ではエリア1とエリア2に分類されるグリッドが存在する。スマートフォンを用いてグリッドごとに地磁気の事前データ収集を行う。収集は、それぞれのグリッドの中心で行う。また、地磁気はスマートフォンの姿勢に依存するため、1グリッドにつき24方向のデータを収集する。スマートフォンの姿勢を3軸 (x, y, z) で示す場合、初期の姿勢を (0, 0, 0) とする。この状態からそれぞれの軸を90度ずつ回転させ、スマートフォンの姿勢が重複しないように (0, 0, 0), (0, 90, 0), (0, 180, 0), (0, 270, 0), (0, 0, 90), (0, 90, 90), (0, 180, 90), (0, 270, 90), (0, 0, 180), (0, 90, 180), (0, 180, 180), (0, 270, 180), (0, 0, 270), (0, 90, 270), (0, 180, 270), (0, 270, 270), (90, 0, 0), (90, 90, 0), (90, 180, 0), (90, 270, 0), (180, 0, 0), (180, 90, 0), (180, 180, 0), (180, 270, 0) の24方向とする。データ収集は0.5秒間隔で、1方向につき5秒間行う。

3.3.3 データセット作成

収集した地磁気データからエリア推定に利用する機械学習用のデータセットを作成する。データセット作成の手順を以下に示す。

1. 24方向の地磁気データをそれぞれ x, y, z 軸ごとに平均化し、特徴量とする。
2. 平均化した3軸の地磁気を利用して地磁気のノルムを算出し、新たな特徴量として追加する。これは式2で算出される。Nはノルム、x_a, y_a, z_aはそれぞれ x, y, z の地磁気の平均を示す。

$$N = \sqrt{x_a^2 + y_a^2 + z_a^2} \tag{2}$$

3. 平均化した地磁気データにラベル付けを行う。ラベルは、データを収集したグリッドの番号、所属するエリア、および境界番号で構成される。
4. 1, 2, 3と同様の手順で、1グリッドにつき24方向のデータセットが作成できる。

3.3.4 ユーザの動作と推定例

図5にユーザのエリア移動例を示す。ユーザは矢印に沿って点1, 2, 3を順番に通過すると仮定する。ユーザは初期状態ではエリア推定履歴を持っていない。本提案システムは、ユーザが境界を通過した場合には、ユーザの所在グリッドを推定し、そのグリッドに対応したエリアをユーザの所在エリアとする。ユーザは、入口の境界の右半分を通過した際にエリア1と推定される。その後、点1に到達するまでの境界外では直前の所在エリア履歴からエリア1と推定される。さらに点1の境界の下半分にユーザが存在する場合はエリア1、上半分に存在する場合はエリア2と推定される。次に点1から点2までは境界外のためユーザの所在エリア履歴の中で最新の所在エリアであるエリア2と推定される。その後、点2で境界内の下半分を通過したとき、エリア1に更新される。その後、点2から点3までは境界外のため履歴からエリア1と推定される。

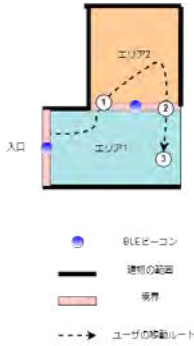


図5 ユーザの移動例

3.3.5 最近隣境界の判定

本提案システムでは、境界の通過を検知してエリアを推定する。そこで、ユーザがどの境界を通過しようとしているのか判定する必要がある。これは、3.3.1項でラベル付けした境界の番号ラベルを用いてデータセットの中から最も近い境界の番号ラベルが付与されているデータセットを選択するために行う。ユーザに最も近い境界はBLEビーコンを用いて判定する。ユーザがBLEビーコンからの電波が届かない場所にいる場合は、3.3.4項で述べた境界外での処理と同様に直前の所在エリア履歴によるエリア推定が行われる。BLEビーコンと境界は紐づけられており、ユーザの現在地に最も近いBLEビーコンが判明すると最も近い境界も判明する。このユーザの現在地に最も近いBLEビーコンはBLEビーコンから発信されている電波のRSSIを用いて判定する。2.2節で述べたようにRSSIは発信元と距離が近いほど大きくなる特性がある。これを利用して、最もRSSIが大きいBLEビーコンに紐づけられている境界が最も近い境界と判定される。

図6はユーザに最も近い境界を判定する例である。ユーザは現在地で境界1と境界2のBLEビーコンの電波を受信している。境界1のBLEビーコンによる電波のRSSIは-50.3dBmであり、境界2のBLEビーコンによる電波のRSSIは-69.1dBmである。RSSIは前述のように距離が近いほど強く、大きな値になるためRSSIが-50.3dBmである境界1が最も近い境界だと判定できる。なお、RSSIが同じ値になった場合は境界に割り当てられた番号の小さい境界と判定される。

3.3.6 境界の内外判定

サーバはユーザが収集したデータと事前に収集したデータセットを利用してエリア推定を行う。その際にユーザが境界内に居るのか境界外に居るのかを判定する必要がある。この境界の内外判定を、3軸(x, y, z)の地磁気およびノルムで構成される4次元ユークリッド空間上のユークリッド距離を利用して行う。まず、ユーザの収集したデータと

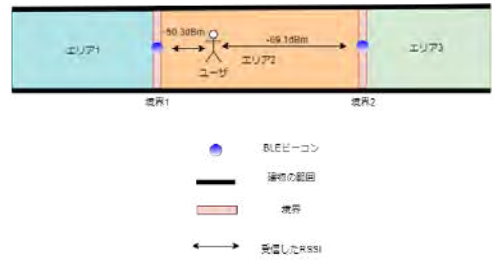


図6 最も近い境界の例

3.3.5項で判定したユーザに最も近い境界の番号ラベルが付与されているデータセットのユークリッド距離を算出する。ユークリッド距離の閾値を設定し、算出したユークリッド距離が閾値未満の場合は境界内、閾値以上の場合は境界外と判定する。ユークリッド距離は式3で算出される。Eは算出されるユークリッド距離を示す。xm, xn, ym, yn, zm, znは地磁気データ, Nm, Nnはノルムを示す。mは事前に収集したデータ, nはユーザが収集したデータを示す添字である。

$$E = \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2 + (z_m - z_n)^2 + (N_m - N_n)^2} \quad (3)$$

3.3.7 エリアの推定

3.3.6項でユーザが境界内であると判定された場合、エリア推定を行う。エリア推定には機械学習のk近傍法(k-nearest neighbor algorithm, k-NN)を用いる。このアルゴリズムは、データを分類する際に予測データに近いデータk個の多数決によってクラスを推測するものである。位置ごとの特徴を収集し、類似度によって位置推定を行う、フィンガープリント法の既存研究[4][5]では、他のアルゴリズムと比較してk近傍法が最も精度が良いとされている。

3.3.5-3.3.7項までのエリア推定の手順を以下に示す。

1. RSSIを用いてユーザに最も近い境界を判定する。
2. 最も近い境界のデータセットを用いて境界の内外判定を行う。
3. 境界外と判定された場合、履歴から前回のエリアと推定される。境界内と判定された場合、k近傍法を用いて境界内のデータセットの内、最も収集データに近いデータセットを算出する。
4. 算出された最も収集データに近いデータセットのエリアラベルを参照し、ユーザの所在エリアを推定する。

3.3.8 閾値の決定法

3.3.6項で述べたように、境界の内外判定を行う際に、ユークリッド距離の閾値が必要となる。この閾値の決定は2ステップで行う。はじめに、スマートフォンの姿勢を固定した実験を行う。実験で取得した地磁気データは、実験シナリオと整合する必要があることを利用して、閾値の適切な

範囲を決定する。続いて、スマートフォンの姿勢を固定しない実験を行い、得られた閾値の範囲内でエリア推定精度が最も高くなる閾値を決定する。

スマートフォンの姿勢を固定した実験によるデータ収集

適切なユークリッド距離の閾値範囲を決定するため、はじめにスマートフォンの姿勢を固定した実験を行う。図7に実験シナリオを示す。この実験では、ユーザの移動経路とスマートフォンの姿勢を固定し、実験の誤差要因を可能な限り取り除く。ユーザは0.7-1.0m/sで歩行する。

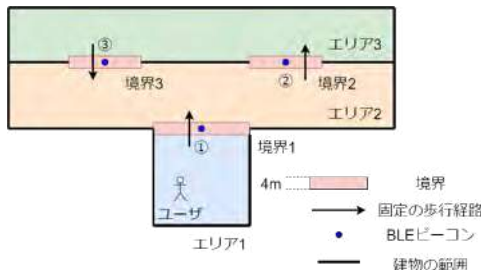


図7 スマートフォンの姿勢を固定した実験シナリオ

この実験の手順を以下に示す。

1. スマートフォンを用いて境界内の地磁気を収集する。地磁気はスマートフォンの姿勢を固定した1方向 (x, y, z) を収集する。
2. 境界ごとに収集した地磁気データをデータセットにする。
3. スマートフォンを用いて図7の3つの境界を矢印の番号と方向に従い通過しつつ地磁気データとRSSIを収集する。まず、エリア1から開始し、境界1を通過してエリア2に入る。次にエリア2から境界2を通過し、エリア3に入る。最後にエリア3から境界3を通過し、エリア2に戻る。境界の通過は任意のタイミングで行い、すべての境界の通過時間が合計1分間になるように行う。また、スマートフォンの姿勢は一定姿勢で固定して実験を行う。データの収集間隔は3.3.2項と同様に0.5秒である。
4. 収集した合計120個のデータをサーバに送信する。
5. 1-4を1回として合計3回行う。

閾値の範囲決定方法

収集した1回120個のデータの内、閾値内に収まるべきデータ数を求める。閾値内に収まるべきデータ数は、実験においてユーザが境界内にいたときに収集されたデータ数である。これをユーザが通過した境界内の距離とデータ収集間隔、ユーザの歩行速度を用いて式4で求めることができる。

x は閾値内に収まるべきデータ数、 d は通過する境界内の距離、 v は歩行速度、 t はデータ収集間隔を表す。

$$x = \frac{d}{v \times t} \tag{4}$$

この実験では歩行速度は0.7-1.0m/sである。また、通過する境界内の距離は合計3つの境界を通過するため図7より12mとなる。データ収集間隔は0.5秒である。式4に上記の数値を代入した結果、この実験1回での理想的な閾値内のデータ数は24-34個となる。

図8はこの実験3回の平均データ120個の閾値ごとのデータ分布である。また、閾値は0.1刻みで変化させる。この結果より、実験シナリオと同じエリア推定結果となっている閾値は3.8-4.2である。これにより、境界の内外判定を行うために利用すべきユークリッド距離の閾値の範囲は3.8-4.2であると判明した。

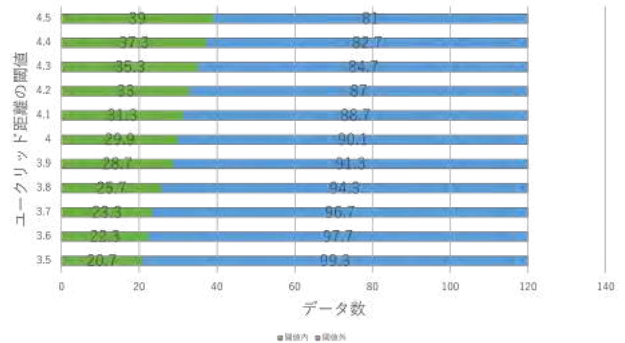


図8 実際のデータ分布

閾値の決定

図9は閾値の範囲3.8-4.2でのスマートフォンの姿勢を固定した実験におけるエリア推定の精度である。精度は閾値ごとに式5で算出される。この範囲内では閾値ごとの差は小さく、最大の差は閾値4.2と閾値4.1のときで2%である。範囲内で最も推定精度が高いのは閾値4.2の85.3%である。

$$\text{エリア推定精度} = \frac{\text{エリア推定の正解データ数}}{\text{収集データ数}} \tag{5}$$

閾値3.8-4.2の範囲内で本提案システムのエリア推定の精度が最大になるようにユークリッド距離の閾値を1つに決定する必要がある。そのために、スマートフォンの姿勢を固定しないエリア推定実験を行い、その結果を利用する。図10はこの実験の様子である。実験の手順を以下に示す。データ収集やデータセットは、3.3.2項、3.3.3項の手順に従って作成する。

1. 境界1, 2, 3で事前にデータ収集を行う。

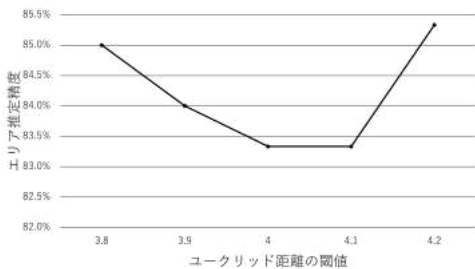


図9 閾値ごとのエリア推定精度

2. 収集した地磁気データを用いてデータセットを作成する。
3. ユーザはエリア内を1分間スマートフォンの姿勢、移動経路、歩行速度を自由に歩行しつつ、スマートフォンでデータ収集を行う。
4. データセットと1分間歩行したデータを利用し、エリア推定を行う。
5. 実際にユーザが居たエリアと比較し、精度を算出する。
6. 1-5を1回として合計6回行う。

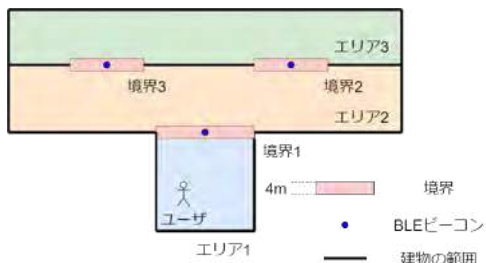


図10 エリア推定の実験

図11はこの実験のエリア推定の精度である。data1-6は、合計6回行った実験それぞれの精度である。また、図12は図11のdata1-6の平均精度である。精度は、方向を固定した実験と同様に式5で算出される。平均の精度は、閾値3.8が72.1%と最も低くなっている。一方、閾値4.2は78%と最も精度が高い。この結果からユークリッド距離の閾値は、端末の姿勢を固定した実験結果から得られた範囲である3.8-4.2の中から、端末の姿勢を固定しない実験結果で最もエリア推定精度の良い閾値4.2を選択するべきであることが示された。

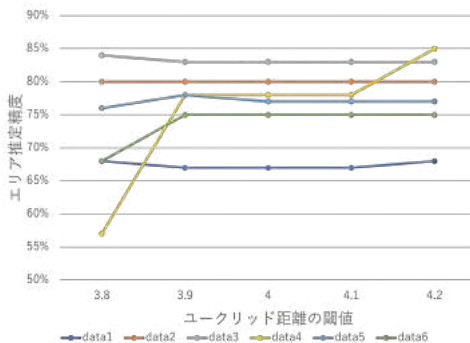


図11 エリア推定精度

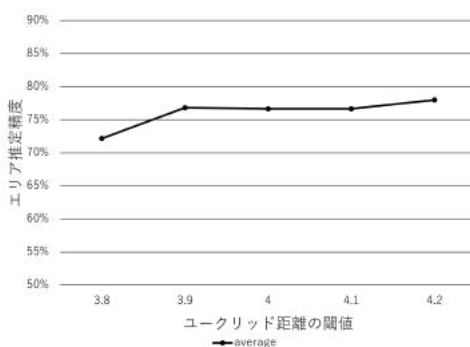


図12 エリア推定精度の平均

4. 性能評価

4.1. エリア推定精度評価

本稿では、大学内の建物を利用した評価実験によるエリア推定の精度と実際の利用を想定した導入コストの評価を行った。また、本提案システムをBLEビーコンのみを用いた手法と比較し、精度と導入コストの差を評価した。精度の評価は、評価実験を大学内の建物であらかじめ決めたエリア内でエリア推定を行い、結果を評価する。評価実験でのBLEビーコンはサンワサプライ社のMM-BLEBC5を利用する。また、スマートフォンはGoogle社のAndroidスマートフォンである、Nexus5を利用する。コストの評価は、実在する施設を参考にBLEビーコンの価格と事前データ収集における導入コストを算出することで行う。本提案システムの評価実験は、3.3.8項の閾値の決定で述べた実験と同様に合計6回行う。エリア推定精度は、3.3.8項の実験と同様に式5で算出する。

4.1.1 比較システムの概要

本提案システムに対する比較システムとしてBLEビーコンのみを用いた混雑度推定システム [2] を利用する。このシステムは、BLEビーコンからの電波をユーザのスマー

トフォンで受信した際の RSSI のみを利用する。評価実験を行う各エリアの中心に 1 つずつ BLE ビーコンを設置する。ユーザのエリアは、データ収集の際に最も RSSI の強い BLE ビーコンの配置されているエリアと推定される。この比較システムで評価実験と同様の場所でエリア推定を行い、精度を比較する。

4.1.2 比較システムの実験内容

本提案システムと同様の場所でこの比較システムの評価実験を行う。この実験は精度に焦点を当てたものである。ビーコンの個数や境界の距離については、4.2 項で述べる。図 13 は実験の様子である。手順を以下に示す。

1. エリアの中心に BLE ビーコンを設置する。
2. エリア内をスマートフォンでデータ収集しつつ、1 分間スマートフォンの姿勢、移動経路、歩行速度を自由に歩行する。
3. 収集したデータと実際にユーザが居たエリアを比較し、精度を算出する。
4. 1-3 を 1 回として合計 6 回行う。

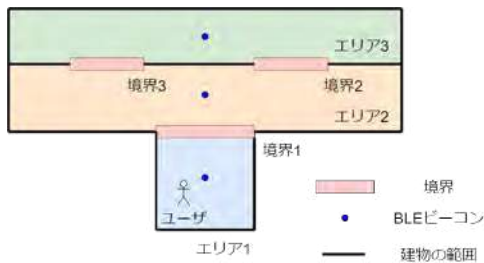


図 13 BLE ビーコンのみを用いた比較システムの実験

4.1.3 実験結果

表 1 にエリア推定精度の実験結果を示す。実験結果としては、本提案システムのエリア推定精度の最低値は 68%、最高値は 85% となり、平均値は 78.1% となった。比較システムの実験結果としては、最低値は 72%、最高値は 85% となり、平均値は 79.3% となった。

表 1 提案システムと比較システムの精度

[Redacted Table Content]

4.2. コスト評価

実際の施設を想定して BLE ビーコンと地磁気データの収集コストを算出する。BLE ビーコンの価格は今回使用したものを参考に、1 個 5000 円と仮定する。また、BLE ビーコンの通信半径は 15m とする。事前データ収集は 3.3.2 項と

同様にデータ収集を行うと仮定すると、1 グリッドにつき 2 分、境界の長さ 1m (4 グリッド) につき 8 分の時間がかかる。さらに、データ収集のための移動時間も考慮し、今回は 1m につき 9 分の収集時間が必要と仮定する。これをコストに換算するために日本の平均時給 [6] を参考にする。日本の平均時給は 961 円である。計算の簡略化のために時給 1000 円と仮定すると、データ収集 1m につき、150 円となる。これらの前提を元に本提案システムと BLE ビーコンのみを用いた比較システムにおける導入コストを算出する。

評価の場所は滋賀県草津市のイオンモール草津と滋賀県大津市のフォレオ大津一里山を想定する。イオンモール草津は店舗面積が約 78,000m² の大型ショッピングモールである。フォレオ大津一里山は店舗面積が約 41,000m² のショッピングモールである。これらを店舗ごとのエリア分割とジャンルごとのエリア分割の 2 つの手法で一定空間ごとにエリア分割する。ショッピングモールでは、店舗のジャンルによって店舗の配置が決められている。図 14 にジャンルによってエリア分割したイオンモール草津 1 階のフロアマップ [7] を示す。黄色が飲食、緑色がファッション、青色が雑貨、紫色がサービス、桃色がイオンスタイル (スーパーマーケット) となっている。店舗ごとのエリア分割では、通路をファッションエリア通路と飲食エリア通路の 2 種類に分割した。ジャンルごとのエリア分割手法では粒度が大きく、店舗ごとのエリア分割手法では粒度が小さくなる。この分割手法を各フロアに適用し、イオンモール草津ではジャンルごとのエリア数は 15、店舗ごとのエリア数は 178 となった。フォレオ大津一里山も同様の手法でフロアマップ [8] に基づいてエリア分割を行い、エリア数はジャンルごとの分割が 9、店舗ごとの分割が 98 となった。エリア数と境界数は比例しており、境界数が少ない程、地磁気収集コストと BLE ビーコン数が減少し、コストが低下する。

表 2 はイオンモール草津をエリア分割した場合のコストである。この場合、本提案システムは、BLE ビーコンのみのシステムと比較して約 13.1% のコスト削減ができる。また、表 3 はフォレオ大津一里山を店舗ごとにエリア分割した場合のコストである。この場合、本提案システムは、BLE ビーコンのみのシステムと比較して約 19.4% のコスト削減ができる。表 4 はこの方法でイオンモール草津をジャンルごとエリア分割した場合のコストである。この場合、本提案システムは、約 56.4% のコスト削減ができる。また、表 5 はフォレオ大津一里山をジャンルごとにエリア分割した場合のコストである。この場合、本提案システムは、BLE ビーコンのみのシステムと比較して約 53.4% のコスト削減ができる。つまり、本提案システムは、BLE ビーコンのみのシステムと比較してエリア分割の粒度が粗いほどコスト削減できることが示された。



図 14 イオンモール草津 1 階 [7]

表 2 イオンモール草津における店舗ごとのコスト表

--

表 3 フォレオ大津一里山における店舗ごとのコスト表

--

表 4 イオンモール草津におけるジャンルごとのコスト表

--

5. おわりに

本稿では、安価な BLE ビーコンとスマートフォンに標準搭載されている地磁気センサを用いて既存システムと比較して低コストかつ同等の精度を持つ屋内混雑度推定システムを提案した。評価の結果、本提案システムは、BLE ビーコンのみのシステムと比較して同程度のエリア推定精度を保ちながらコストを削減できることを示した。また、エリア分割の粒度が粗いほど、コストを削減することができた。

今後の展望としては、実際に大規模な商業施設で実験を行い、周囲の環境による影響も考慮する。また、今回は考慮していなかった閾値の決定コストや効率的な閾値の決定手法についても考慮する。

表 5 フォレオ大津一里山におけるジャンルごとのコスト表

--

参考文献

- [1] Shervin, S. and Shahrokh, V.: GIPSY: Geomagnetic Indoor Positioning System for Smartphones, *IPIN* (2015).
- [2] Sato, D., Mihara, Y., Sato, Y., Tanaka, Y., Miyamoto, M. and Sakuma, S.: BLE ビーコンを利用した混雑度可視化サービス, 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, Vol. 8, No. 1 (2018).
- [3] Azuma, K. and Arai, I.: 相互補完型 Wi-Fi, 地磁気フィンガープリンティング手法の評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 58, No. 2 (2017).
- [4] Ranimol, J. and Swapna, B, S.: Indoor Positioning Using WiFi Fingerprint, *ICCSDET* (2018).
- [5] Devin, Ryan, R., Marcel, Bonar, K. and Maria, Irmina, P.: Multi-Floor Indoor Positioning Mobile Application using Earth's Magnetic Field, *IEEE* (2017).
- [6] ”日本労働組合連合会 | 労働・賃金・雇用 最低賃金労働・賃金・雇用”, <https://www.jtuc-rengo.or.jp/activity/roudou/chingin/>, (参照 2022).
- [7] ”イオンモール草津 | フロアガイド”, <https://kusatsu.aeonmall.com/floorguide/>, (参照 2022-12-01).
- [8] ”ショッピングガイド (フロア 1F) — フォレオ大津一里山公式ホームページ”, <https://otsu.foleo.jp/shop/?search=floor-1>, (参照 2022-12-01).

混雑緩和やユーザ体験価値向上に向けた 行動変容施策の設計および社会実装について

勝間田優樹^{†1}
株式会社 NTT ドコモ

吉川裕木子^{†2}
株式会社 NTT ドコモ

鈴木喬^{†3}
株式会社 NTT ドコモ

山田暁^{†4}
株式会社 NTT ドコモ

1. はじめに

「自分が好きな店に立ち寄っていたら自然と混雑を回避していた。」このような交通最適化された世界の実現を目指し様々な検討が進められている。交通最適化された世界では、人は無理なく混雑を回避することができ、その効果が他者にも波及することでメリットを社会全体で享受することができる。渋滞を回避する手段として、例に挙げたような立ち寄りに限らず、ピークシフトや交通手段の変更など人によって妥当性が異なる様々な手段が採用される。

交通最適化された世界の実現に向けては、本来の取るはずだった行動を、交通手段の変更や立ち寄りなどの行動へと変容させることが必要であり、そのためには行動変容をするための十分な動機付けが必要である。多くの人にとって、混雑を認識してもそれを回避することは容易ではない。例えば、多くの高速道路サービスエリアではリアルタイムの混雑情報が提示されており、それを見たドライバーによる緩和効果には一定の成果はあるものの、それだけで混雑を緩和することは難しい。

動機付けのアプローチの一つとして行動経済学に基づくナッジ [1, 2] が着目されている。ナッジとは、人間の価値観や心理的な傾向を利用し、対象者にとってより望ましい選択をするように促す行動変容に関する一手法である。ナッジを活用した研究はこれまでも数多く実施されており、例えば、Push 通知によって配信されるメッセージにナッジを適用することで配信されたメッセージの開封率を向上させる検討などが行われている [3, 4]。

筆者らは、その中でもナッジのパーソナライズ化について検討している。ナッジのパーソナライズ化は、個人がそれぞれ持つ価値観・心理傾向の違いを考慮し、それに応じてナッジを含むメッセージ文言（以下、本稿ではナッジ文言と呼ぶ）の出し分けを行うことを意味する。例えば、損失回避

的な心理傾向を持つ人には「このサービスを利用しないと損してしまいます」と伝え、同調的な心理傾向を持つ人には「多くの人がこのサービスを利用しています」と伝える。対象者をナッジ文言を配信する群としない群とに分け、ナッジ文言を配信する群に対して一律に同じメッセージを配信するものとは異なり、個別にナッジ文言の出し分けを行うことで、行動変容施策や検討の効果を最大化させることを目指す。

本稿では、ナッジのパーソナライズ化の検討の中で実施した多数のフィールド実証で得られた知見や課題を述べる。

2. ナッジのパーソナライズ化

ナッジのパーソナライズ化を実現するためには様々なデータを収集する必要がある。扱うデータは想定されるサービスによって異なり、例えばユーザの性別・年代のようなデモグラフィックデータの他にも、アプリを使う目的や好きな食べ物のジャンルといった情報もアンケートなどを活用して取得する場合がある。また、ユーザのコンテキストの推定のためにユーザの位置情報などのリアルタイム情報を取得する場合もある。データはユーザに限らず、交通手段の状況や気象状況といった環境情報や立ち寄りを促す場合には立ち寄り先の店舗などの情報を扱う場合もある。

収集されたデータの一部からユーザの特徴量を抽出し、そのユーザに対してより行動変容効果の高いナッジ文言の推定を行う。推定する手法として、機械学習モデルの分類器を用いる。フィールドによっては収集できるデータが大きなサンプルサイズとならないことも考えられるため、十分に学習を進められるよう、フィールド実証開始前に広くアンケート調査を行い別途正解データを収集する場合もある。出力されるナッジ文言としては、例えば

- 「周辺の魅力的なお店にお出かけしませんか？せっかくのお得なクーポンを使わないのはもったいないですよ！」
- 「カフェで一休みはいかがですか？多くのお客様がお得なクーポンを利用しています！」

などがある。

Design and Implementation of Behavior Transformation Measures for Congestion Reduction and User Experience Improvement

^{†1} Yuki KATSUMATA, NTT DOCOMO, INC.

^{†2} Yukiko YOSHIKAWA, NTT DOCOMO, INC.

^{†3} Takashi SUZUKI, NTT DOCOMO, INC.

^{†4} Akira YAMADA, NTT DOCOMO, INC.

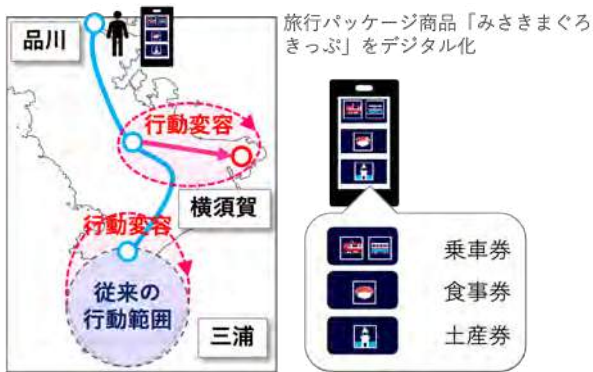


図1 みうらよこすか MaaS の概要
Figure 1 Overview of Miura Yokosuka MaaS

ナッジ文言による介入手段にも様々なものがあり、その一つに端末アプリへの Push 通知がある。ナッジ文言による介入に対するユーザの行動有無から、効果の有無を判定し再度学習に用い、推定精度を向上させる。目的に応じてユーザの行動有無の判定の定義が異なり、例えば開封率の向上が目的であれば端末アプリ内のメッセージ開封有無のログを収集し、訪問率の向上が目的であれば店舗への訪問有無のログを収集し、それらをそれぞれ正解データとして学習に用いる。

3. 実証実験および社会実装

この章では、これまで取り組んできた社会実装に向けたフィールド実証の概要を述べる。検討してきたナッジのパーソナライズ化技術の適用先は大きく 2 種類ある。1 つは、混雑や渋滞の緩和を目的とした行動変容施策である。目的は、発生しているもしくは発生するであろう渋滞という損失を減少させることにある。もう 1 つは、街全体の周遊性向上を目的とした行動変容施策である。目的は新たな体験価値を提供し便益を増加させることにある。

3.1. みうらよこすか MaaS [5]

本フィールド実証の概要を図 1 に示す。みさきまぐろきっぷ [6] という電車・バスの周遊券を含む旅行パッケージ商品がある。みさきまぐろきっぷを電子化し端末アプリで扱い、その端末アプリの中でナッジ文言を Push 通知することによる行動変容施策を実施した。観光動線が概ね固定化されているという課題に対し、自治体が持つ多様な観光資源への立ち寄りを促し周遊性を向上させることを目的としている。多様な観光資源の情報およびそこへ至る交通手段の情報をナッジ文言と併せて提示するという手段により、地域の様々な場所に周遊することで新たな体験価値を提供することを旨とした。

行動変容施策として、いくつかのパターンで介入を行った。具体的には、これから旅先へ向かおうとしているユーザに対する旅前の介入、周遊中に食事をしたユーザに対する旅中の介入、旅行を終え帰路につこうとしているユーザに対する旅後の介入に分類される 3 パターンの介入を行った。本フィールド実証では、観光という非日常の中でのナッジ文言の効果検証を目的としており、ナッジ文言の出し分けを行うためのデータや知見がない状態での施策実施を行ったため、ユーザに対してランダムにナッジ文言を Push 通知し、ナッジ文言自体の行動変容効果有無の検証および出し分けの実現可能性についての事後検証を行った。

通知対象ユーザのうち、11 % が旅後の介入で立ち寄りを行うなどナッジ文言自体の行動変容効果が見られることができた他、メッセージ文言の種類によっては最大で約 25 % の行動変容率^{*1}を達成することができ、ナッジのパーソナライズ化の有効性について示唆が得られた。

3.2. バス快適乗車案内 [7]

本フィールド実証の概要を図 2 に示す。通勤時間など混雑時間帯のバスでは、バス停での混雑および乗り降りにかかる時間によるダイヤ乱れが発生し、それによりバス車内の混雑度の偏りが加速する場合があります。オペレーション煩雑化や利用者満足度の低下が生じる。加えて、コロナ禍における密回避の必要性も顕在化しており、バス毎の混雑度の平準化が喫緊の課題となっている。本フィールド実証では、混雑時間帯のバス車内の混雑度の平準化を目指し、混雑度が低い後続のバスが数分で到着すると見込まれる場合に、そのバスの混雑情報およびナッジ文言を Push 通知し混雑バスの見送りを促進するとともに、見送り実施したユーザに対してポイントによるインセンティブを付与することで動機付けを行った。

本フィールド実証では、日常の中でのナッジ文言の効果検証を目的としており、主な対象者が日常的に通勤や通学などでバスを使うユーザである。そのため、毎日同じような内容の Push 通知がなされることから、行動変容施策の効果が摩耗することが懸念される。ナッジ文言の有無に限らず、ユーザ端末へのメッセージ配信頻度による効果の摩耗 [8] や Web マーケティングにおいても同じ広告を配信することによる効果の摩耗 [9] が存在することが報告されており、同様の事象がナッジ文言の Push 通知にどの程度起こるのかを検証した。特定のナッジ文言で行動変容を行ったユーザを事後分析すると、特定の心理傾向が強い傾向であることが分かるなど、本フィールドのようなユースケースにおいても

^{*1} 本フィールド実証では、端末アプリの中で事前に設定できる旅程に対して、介入をすることで外れた行動をした場合に行動変容したと定義した。



図2 バス快適乗車案内の概要

Figure 2 Overview of Comfortable Bus Ride

ナッジのパーソナライズ化が有効であることが示唆された。

3.3. ゆるり GO!TEMBA [10]

自家用車で行楽地に行った場合に、帰りの高速道路の渋滞に巻き込まれるという事象が発生する。大型連休などにおける帰省に際して発生する渋滞はUターンラッシュとも呼ばれ、幅広く認知されている課題である。本フィールド実証では、行楽地からの帰路の高速道路で発生する渋滞を緩和およびそれによるCO2排出を削減する目的で、これから帰ろうとしているユーザに対する行動変容施策を実施した。

具体的には、御殿場プレミアム・アウトレットに東京方面から自家用車で訪れたユーザに対して、東名高速道路の上り方向の混雑予測情報およびナッジ文言のPush配信を行い、滞在時間延長または周辺施設への立ち寄りを促した。本フィールド実証では、観光という非日常の中での混雑緩和を目的とした検証を行うため、過去の実証で得られたデータの活用による行動変容効果向上が必ずしも見込まれなかった。そのため、事前に広くアンケート調査を行いそのアンケート結果を正解データとする機械学習モデルを構築し、ナッジ文言の出し分けによる行動変容効果の検証を行った。検証を通して、高速道路の渋滞緩和にナッジのパーソナライズ化が一定の効果をもたらすことが示唆された。

3.4. 大学キャンパスにおける店舗内の密回避 [11]

本フィールド実証の概要を図3に示す。大学キャンパスのような閉空間においては、ランチタイム時に食堂などの飲食店に利用者が集中し局地的な混雑が発生する。とりわけコロナ禍においては密回避を行うことが重要であり、このような日常的に発生する混雑を緩和することが求められる。本フィールド実証では、局地的な混雑が日常的に起こるようなケースに対してピークシフトを実現することを目的として、混雑時間帯を避けて来店を促すタイムシフトおよび持ち帰りを促すテイクアウトの2種類のキャンペーン



図3 九州大学におけるフィールド実証の概要

Figure 3 Overview of Field Experiment at Kyushu Univ.



図4 通勤電車の混雑緩和施策の概要

Figure 4 Overview of Behavior Transformation Measures for Easing Commuter Rush

施策を行った。

具体的には、上記キャンペーンの中で店舗の情報配信とポイントによるインセンティブ付与を行うとともに、行動変容施策として、ナッジ文言のPush配信およびゲーミフィケーションによる行動変容効果の向上が見込まれるかを検証した [12, 13]. 結果として、ナッジ文言による行動変容受容率*2は20%から33%向上、ゲーミフィケーションによる行動変容受容率は30%から41%向上させることが確認され、これらの行動変容施策が混雑緩和に対して一定の効果をもたらすことが示唆された。

3.5. 通勤電車の混雑緩和施策 [14]

本フィールド実証の概要を図4に示す。通勤時間帯の鉄道は慢性的に混雑が発生しており、3.2と同様にダイヤ乱れによるオペレーション煩雑化や利用者の満足度低下が生じるだけでなく、コロナ禍においては密回避の必要性の高まりもあり、混雑の緩和が課題である。本フィールド実証では、通勤時間帯の鉄道利用者であるモニタに対してオフピークを促すナッジ文言のPush通知を行った。具体的には、通勤時間帯を後ろ倒しにするタイムシフトもしくは別の交通手段を用いるモーダルシフトを促すメッセージのPush通知を行った。

*2 本フィールド実証では、Push通知を受けた全ユーザに対する、Push通知を受けた後にタイムシフトもしくはテイクアウトを行ったユーザの割合を行動変容受容率として定義した。



図5 まくはり MaaS の概要

Figure5 Overview of Makuhari MaaS

具体的には、モニタに限定せずに収集したアンケートの結果を正解データとしユーザの心理傾向を推定する機械学習モデルを生成し、その機械学習モデルをモニタに適用することでモニタの心理傾向を推定した。モニタを2群に分離し、1つの群には推定した心理傾向に応じてナッジ文言の出し分けを行い、ランダムにナッジ文言を出し分けた群との比較を行った。結果として、推定した心理傾向に応じてナッジ文言の出し分けを行った群は有意にオフピークを達成することが分かり、行動変容効果の高いナッジ文言をユーザの特徴量から直接推定するナッジのパーソナライズ化手法だけでなく、推定したユーザの心理傾向を用いるナッジのパーソナライズ化手法にも一定の行動変容効果が見込まれることが示唆された。

3.6. まくはり MaaS [15]

本フィールド実証の概要を図5に示す。幕張新都心エリアにおいて、回遊性向上や賑わいの創出が課題となっている。次世代モビリティの提供とともにユーザ個人に寄り添ったレコメンドを提供することにより、回遊性向上による地域経済の活性化や賑わいの創出をするとともに、様々な施設に分散誘導することによるコロナ禍における安心・安全を意識した施策実施を行った。

本フィールド実証では、日常の中での周遊性促進を目的としたナッジ文言の効果検証を目的としている。具体的には、住民向けの端末アプリに対し、おすすめの店舗情報およびクーポン情報とともにナッジ文言のPush通知を行った。本実証においては、回遊性向上に向けたマイルストーンとして、Push通知の開封による認知率向上を目的としたナッジ文言の出し分けを行いその効果を検証した [16]。結果として、ナッジを含まないメッセージをPush通知した群のメッセージ開封率に対する、ナッジ文言を出し分けてPush通知した群のメッセージ開封率の増加率が20.3%であった。

4. 得られた知見と今後の課題

これまでの実フィールド実証の結果を受け、ナッジ文言を個人ごとに出し分けることによる行動変容には一定の効

果が見込まれることが示唆された。一方で、社会実装においても効果を見込むためにはいくつかの課題が存在する。

(1) 出し分けに資するユーザ情報の取得の難しさ：個人ごとにメッセージ文言を出し分け、最適化された状態を目指すものの、最適化に必要なユーザ情報を取得することは難しい。既存の端末アプリやWebアプリなどを用いる場合は取得可能な情報に制約がある上、既にサービス上同意取得している範囲を逸脱してデータ取得をすることはサービス規約の変更を伴うため一定のハードルを超える必要がある。一方で、新規に端末アプリなどを新規に作成する場合は、サンプルサイズを大きくするためにユーザへの認知や周知を十分に行う必要がある。情報の種類と量のいずれも担保するためには、社会実装した際の状態を精緻に予測しながら計画的に検証を進める必要がある。

(2) 実データの測定難しさ：行動変容施策の最終的な目的は、ユーザの行動を変えることにある。例えば、移動行動に関する行動変容で店舗への送客を目的とした場合においては、送客先の店舗への訪問や送客先の店舗での決済を検知する必要がある。訪問の検知については、GPSを用いた手法により端末アプリでの実装だけで実現が可能で最も低コストで実現することが可能である。しかしながら、大型のショッピングモールや地下などGPSでは十分に精度が出ない環境においては、BluetoothビーコンやWi-Fiなどを用いた代替の検知手法が必要となるケースがあり、これらには信号の発信機や受信機などの機器の設置によるコストがかかる。決済の検知については、キャッシュレス決済システムなどを店舗ごとに導入することで実現が可能であるものの、システム間の連携や機器導入自体のコストやハードルが存在し、容易には実現できない。行動変容施策を実施する範囲は数個の店舗ではなく数十や百以上の店舗を対象として実施することが多く、全ての店舗に対してこれらの訪問や決済を検知する方法を実装することは難しい。

(3) 因果関係の明確化の難しさ：ここまで述べたような現実世界のデータを収集することが可能であったとしても、施策による行動変容効果を実計測することは難しい。サービス提供者や施策実施の意思決定者が期待する行動変容の効果は、「もともとそのつもりがなかった人が施策により行動を変えた」ことによる効果である。施策実施の対象者と施策実施後の行動を観察・計測できた場合でも、「もともとそのつもりがあったのか否か」を計測することは難しい。そのため、行動変容により何を実現したいのか、実現に向けてどのようにKPIを設定するのか、は施策設計者と綿密にすり合わせる必要がある。

(4) ナッジによる行動変容効果の限界：ナッジというのは付加的なものであり、それ単体で劇的な効果を発揮することはない。いかに素晴らしいメッセージ文言による介入を行ったとしても、限られたデータ取得の中でナッジによる

効果を明確に提示することは難しい。そのため、コンテンツの種類を増やす、ユーザの数を増やす、といったより根本的な部分での施策効果向上のための取り組みと並行して実施していくことが重要である。

5. おわりに

本稿では、筆者らが検討を進めているナッジのパーソナライズ化の概要を実フィールド実証の例とともに述べた。引き続き大規模かつ長期に渡る実フィールドでの実証および社会実装を進め、ナッジのパーソナライズ化による効果検証を推進していく。

参考文献

- [1] Thaler, R. H. and Sunstein, C. R.: *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*, Penguin (2009).
- [2] Sunstein, C.: Nudging: A Very Short Guide, *Journal of Consumer Policy*, Vol. 37, No. 4, pp. 583–588 (2014).
- [3] Kim, H. B., Iwamatsu, T., ichiro Nishio, K., Komatsu, H., Mukai, T., Odate, Y. and Sasaki, M.: Field experiment of smartphone-based energy efficiency services for households: Impact of advice through push notifications, *Energy and Buildings*, Vol. 223, pp. 110–151 (2020).
- [4] Valle, C. G., Nezami, B. T. and Tate, D. F.: Designing in-app messages to nudge behavior change: Lessons learned from a weight management app for young adults, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol. 161, pp. 95–101 (2020).
- [5] NTT ドコモ: 横須賀・三浦エリアで「観光型 MaaS」の実証実験を実施, https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_210621_01.pdf.
- [6] 京浜急行電鉄: みさきまぐろきっぷ, https://www.keikyuu.co.jp/visit/otoku/otoku_maguro/.
- [7] NTT ドコモ: バス車内の混雑平準化に向けた実証実験用アプリ「バス快適乗車案内」を提供, https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_210916_00.pdf.
- [8] Pop-Eleches, C., Thirumurthy, H., Habyarimana, J. P., Zivin, J. G., Goldstein, M. P., de Walque, D., MacKeen, L., Haberer, J., Kimaiyo, S., Sidle, J., Ngare, D. and Bangsberg, D. R.: Mobile phone technologies improve adherence to antiretroviral treatment in a resource-limited setting: a randomized controlled trial of text message reminders, *AIDS*, Vol. 25, No. 6, pp. 825–834 (2011).
- [9] Moriwaki, D., Fujita, K., Yasui, S. and Hoshino, T.: Fatigue-Aware Ad Creative Selection, Workshop SUM'20: State-based User Modelling at The 13th ACM International WSDM Conference (WSDMSUM'20), p. 8 (2020).
- [10] NTT ドコモ: 行動変容で「CO2 の削減」をめざす実証実験を御殿場プレミアム・アウトレット付近で開始, https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_211105_00.pdf.
- [11] NTT ドコモ: 店舗の混雑状況で、d ポイントの進呈率を変動! 店舗内の「密」を防ぐ共同研究開始, https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_201119_00.pdf.
- [12] 井手崇博, 大滝亨, 山田暁, 佐藤弘之, 落合桂一, 川上博, 矢野達也, 大川博生, 和久井圭祐, 白井拓也, 荒川豊: 新型コロナウイルス感染防止に向けた混雑回避行動を促進する行動変容技術の検証, 情報処理学会 SIG-BTI シンポジウム, pp. 52–55 (2022).
- [13] 酒井亮勢, 落合桂一, 井手崇博, 大滝亨, 山田暁, 鈴木喬, 佐藤弘之, 川上博, 矢野達也, 大川博生, 和久井圭祐, 白井拓也, 荒川豊, 星野崇宏: インセンティブとの組み合わせを前提としたナッジ効果測定のための実験設計方法, 情報処理学会 SIG-BTI シンポジウム (2023).
- [14] NTT ドコモ: 鉄道の混雑解消に向け、行動変容を促す共同実験を実施, https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/topics/2021/topics_220121_00.pdf.
- [15] NTT ドコモ: 幕張新都心エリアにおける「千葉市幕張 MaaS 実証事業」を推進, https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_220125_00.pdf.
- [16] 吉川裕木子, 勝間田優樹, 鈴木喬, 山田暁: アプリログによる属性情報の拡張を用いたナッジ最適化レコメンデーションシステムの提案と評価, 情報処理学会 SIG-BTI シンポジウム (2023).

オンライン会議中の参加状態推定と 音声変換提示による参加促進手法の提案

城谷知葵^{†1}
九州大学大学院システム情報科学研究院

中村優吾^{†3}
九州大学大学院システム情報科学研究院

難波洸也^{†2}
九州大学大学院システム情報科学研究院

荒川豊^{†4}
九州大学大学院システム情報科学研究院

1. はじめに

会議においては発言やリアクションなど場への参加度が高いことが望ましい。発言やリアクションなどの情報によって相手の状況を理解することができ、会議を円滑に進めることができる。これは近年盛んであるオンライン会議においても同じである。オンライン会議は場所を気にすることなく参加できるため、従来の対面会議に比べて会議への参加が容易になった。オンライン会議において参加度を上げるために効果的な方法はカメラとマイクを ON にすることである。カメラを ON にすることで表情や頷きなどの仕草を確認することができ、相手の反応を理解することが出来る。つまり参加者の情報を対面会議同様に得ることができる。

しかしオンライン会議中にカメラとマイクを ON にすることは参加者に測定されている・監視されているなどの印象を与えてしまう。そのため対面会議よりも心理的な負荷が大きくなる。さらに話し手・聞き手ともに無意識のうちに自然な振る舞いが阻害されることや心理的な緊張感による疲れも懸念される。会議などのコミュニケーションにおいて心理的な安全性を確保することは会議を活発にする上でも会議の質を高める上でも大切である。

上記の問題を解決するにはカメラとマイクを OFF にする方法が考えられる。カメラを OFF にすることによって自分と相手の顔が見れなくなり、心理的負担を減らすことができる。しかし、カメラやマイクを OFF にするとノンバーバル情報(身振り・手振り、息遣い、視線、布ズレ音、椅子に座り直す音など)が欠落し、他の参加者の反応を理解することが困難になる。その結果会議を円滑に進めることが難しくなり、会議の質が低下してしまう。

カメラやマイクを OFF でもリアクションを伝えるために

Teams, Zoom, Discord, Slack, hangout, WebEx などの各種コミュニケーションツールはチャットやエモート、他者のチャットへのいいねなどの機能が存在している。しかしこれらの機能は参加者自らが用いる必要があり、対面会議時のリアクションのように自然に発生するものとは異なる。そのため参加者に心理的負担を与えることになる。よって参加者のリアクションを自動でフィードバックするシステムがあれば、情報開示のような負荷やリスクの影響なく、会議を円滑に進めることができる。

しかしカメラ OFF でのオンライン会議においてはリアクションを伝えることよりもオンライン会議特有の問題を先に解決すべきである。1つ目はカメラを OFF にすることによって参加者の緊張感が減ることである。対面会議ではオンライン会議のカメラほどではないが、他の参加者に見られているかという緊張感を少なからず与えることができる。しかし、オンライン会議でカメラを OFF にすると他者の視線が完全にカットされるため、会議への集中力が減ってしまうことがある。2つ目は認知資源が他のことに奪われやすいことである。オンライン会議に使用しているデバイス(PCやタブレット、スマートフォンなど)を前に置いていることによってポップアップ通知やその他の機能に気が散ってしまう。また個々の作業空間によってはデバイスの外にも気が散るものが存在し、注意が別の方向に向いてしまうことがある。

以上のことからリアクションを自動で伝えるシステムの開発より先にオンライン会議中に他所にそれる注意を引き戻すシステムが必要である。

Arakawa らは、ビデオベースの学習において非集中状態を音声変化によって再び集中状態に戻す手法を提案している [1]。Mindless Attractor は実験参加者の視線によってビデオへの集中力を測定しており、PC から視線が外れている(スマホなどを見ている)場合には、ビデオ音声のピッチを変化させることで集中状態に引き戻している。しかし上記の手法ではオンライン会議への参加と PC 上での内職(ネットサーフィンや動画視聴)を識別することが困難である。ま

^{†1} TOMOKI JOYA, Kyushu University

^{†2} KOYA NAMBA, Kyushu University

^{†3} YUGO NAKAMURA, Kyushu University

^{†4} YUTAKA ARAKAWA, Kyushu University

た音声変化に用いているのはピッチだけであり、音声変化が1種類だけであると馴化してしまう可能性がある。

そこで本研究では、オンライン会議において参加者のPC情報からオンライン会議への集中状態を推定し、その状態に応じて音声を変化させ、参加者をオンライン会議へと注意を引き戻す手法を提案する。オンライン会議への集中状態を推定するために用いるのはPCのプロセス情報だけであるため、カメラやマイクなどによる測定感を軽減することができ、参加者に不快感を与えることがなくなる。さらにプロセス情報によってPC上での内職を識別することもできる。また、非集中状態と推定された参加者に対しては、オンライン会議の音声に対し、ピッチやリバーブといった音変化をさせることにより、参加者に強制感を与えずに会議への注意を引き戻すことができる。

オンライン会議中、非集中状態と推定された参加者に対し、ピッチやリバーブといった音声変換提示をすることで、参加者の注意を会議へ引き戻し、集中状態へ戻る効果があるかを明らかにするための評価実験を実施した。7名の実験協力者に対し、普段オンライン授業に参加するときと同じ状況下において、ビデオ講演を聞いてもらった。音声変換ありとなしの場合の集中状態時間を比較した結果、音声変換を体験した実験参加者5名中4名に対し、ビデオ講演への集中時間割合が増加した。また、実験参加者は、ピッチやリバーブといった音声変換機能の詳細まで意識的に気づかなくとも、集中状態への復帰行動を取ることが確認できた。

2. 関連研究

本章ではユーザの状態をセンシング技術によって取得する研究と、聞き手を集中状態に引き戻す研究について述べる。

2.1. ユーザの状態を認識する研究

ユーザの集中状態を外部センサを用いて取得する研究が多く行われている [2,3]。文献 [2] では、被験者が装着したウェアラブルデバイスから生理学的なデータを取得することで被験者の参加状態をセンシングしている。また文献 [3] では外部センサをPCに装着することで視線情報を取得している。しかし、外部センサを使用するためにはコストがかかる上に、会議のためにセンサを装着することは現実的ではない。

オンライン会議で用いるPCに付属しているカメラでユーザの状態をセンシングする研究も行われている [4-7]。文献 [4] ではオンライン講義を受講している学生の表情をPCのカメラで撮影し感情を分析している。文献 [5] では表情に加えて頷きや眉の動きをセンシングしている。PCのカ

メラを用いる手法は外部センサを新しく導入する必要がないため手軽に実施できるが、カメラの画角に顔を収める必要がある。また、オンライン会議ではカメラをオフにすることもあり、その場合は自分がカメラの画角内に収まっているか確認することができない。

そこで本研究ではCPU使用率やマウスの挙動などのユーザのPC情報に着目した。PC情報を用いることで画角を気にすることなくデータを収集することが可能となる。本研究ではActivityWatch [8] を参考にユーザのPC情報を取得し参加度を推定する。

2.2. 非集中状態のユーザを集中状態に戻す研究

次に参加度が低い聞き手に対してのフィードバック手法について述べる。文献 [9] では視線情報から参加度を推定し、参加度が低い聞き手に対して試聴している動画を止めて画面上にアラートを表示する。文献 [10] ではプレゼン資料上に四角形の枠を表示して聞き手に注意を促している。このようなPCの画面に提示する手法では聞き手がPCの画面を見ている必要があるが、別の画面を見ている場合には有効ではない。

そこで本研究では音による提示によって聞き手へフィードバックする。文献 [1] では、聞き手が聞く音声のピッチを変換することで無意識的に会議に集中するよう促す手法を提案している。本研究でも音声変換をすることにより参加度が低い聞き手の参加度を向上させることを目標とする。

3. 提案システム

本章では、オンライン会議中において、注意が会議に向けられていない非集中状態にいる参加者を、会議へと注意が向いている集中状態に引き戻すシステムの概要について記す。まずはじめに、3.1節でオンライン会議における参加者の状態や遷移について定義し、ターゲットとなる参加者の状態と目指すべき参加者の状態について述べる。次に、3.2節でターゲットとなる参加者の状態のセンシング推定手法について述べ、3.3節でセンシング結果に基づいてシステムが参加者へどういった介入をすべきかについて述べる。最後に、3.4節で上記要件を満たしたプロトタイプ開発の詳細について述べる。

また、本研究で提案するシステムの適応対象となるオンライン会議の想定環境について下記に記す。

- ・会議形式：先生（話し手）と生徒（聞き手）といったような役割が分かれている会議
- ・発表資料：あり。話し手は画面共有をしている
- ・ハードウェア：PCやスマートフォンといった視覚と聴覚機能を有するデバイス
- ・ソフトウェア：TeamsやZoomといったオンライン会

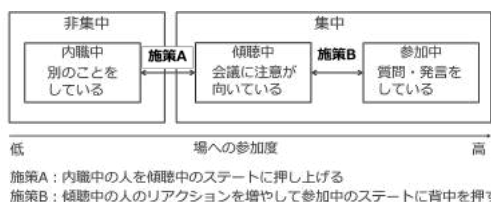


図1 オンライン会議中における参加者の状態遷移

議システム

- ・参加者のマイクの状態：問わない
- ・参加者のカメラプレビュー：OFF

3.1. オンライン会議における参加者の状態遷移

図1に示すように、オンライン会議における参加者の状態は、非集中状態と集中状態に大別できる。

非集中状態とは、参加者の注意がオンライン会議から外れており、心身の理由から集中度が低い・乱れている状態、または会議システムを実行している機器の別のアプリケーションに認知資源を割いている状態、会議システムを実行している機器の外（参加者が置かれている環境）に認知資源を割いている状態を示す。代表的な行動としては、会議には直接関係のないアプリケーションを使用する（メールチェックや Web 検索）、会議に参加せずにスマートフォンを操作するなどが挙げられる。

集中状態とは、オンライン会議に注意を向け、高いパフォーマンスが発揮されている状態である。集中状態は参加者の状態を傾聴中・参加中の二つに分類することができる。傾聴中はその名の通り、話に耳を傾けている状態を示す。参加中の代表的な行動としては、発話をする・チャットに書き込む・エモートを押すなどが挙げられる。

図1に示したように、左側に行くほど場への参加度が低くなり会議への貢献が低下し、反対に右側へ行くほど場への参加度が高まり、会議への貢献が向上すると言える。1章でも触れた通り、我々は会議の参加者の場への参加度を高めるため、会議の参加者をこの一番右側の参加中の状態へと促すことを目指したい。しかし先に挙げた様々な要因から参加者の集中が保たれず、参加者の注意がオンライン会議から逸れて、非集中状態に落ちてしまうことがある。

そこで、オンライン会議の参加者の場への参加度を高めるためには、図2のようにまず参加者の状態が集中・非集中状態のどちらにあるのかを検出し、参加者の状態に応じて、“施策A：内職中の人を傾聴中のステートに押し上げる”と、“施策B：傾聴中の人リアクションを増やして参加中の状態に背中を押す”を使い分ける必要がある。これらの施策のうち、本研究ではオンライン会議中に注意が逸れてしまう参加者の注意を引きもどすシステムを提案する。また本論

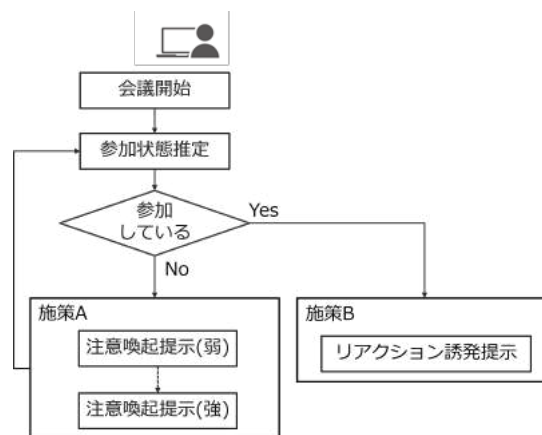


図2 参加度を高めるための全体フロー

文では、デバイスは普段使用しているノート PC を想定し、代表的な非集中状態の行動として、内職作業を取り上げる。

3.2. 参加状態推定ブロック

参加状態推定ブロックではユーザの参加状態を推定する。図3に参加状態推定ブロックの概要を示す。

まずユーザの PC から PC 情報を取得する。PC 情報は CPU 使用率・Active Window (PC 上で作業中や選択中の画面)・AFK 時間 (マウスやキーボードを触っていない秒数) で構成されている。PC 情報を取得するプログラムは python で記述しユーザの PC で動作させる。プログラムは 1 秒毎に CPU 情報を取得し csv ファイルに書き込む。

次に取得したデータをそれぞれ前処理ブロックに入力する。CPU 使用率データに対しては、全て値が 0 である CPU プロセスを削除した後に使用した Web 会議システムの CPU 使用率で正規化する。Active Window データに対しては、使用した Web 会議システムかそれ以外かの 2 値に分類する。AFK データに対しては、閾値を設定して 2 値化する。本研究では閾値は 3 秒とする。

特徴量抽出ブロックでは前処理したデータを窓で区切り、それぞれ特徴量を抽出する。本研究では窓サイズは 4 サンプル、スライド幅は 2 サンプルとする。CPU 使用率データからは最大値と最小値の差・標準偏差を計算する。Active

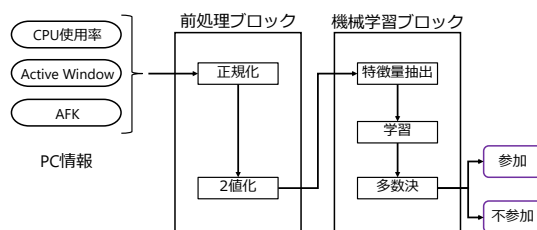


図3 参加状態推定ブロックの全体像

Window と AFK データからは合計値を計算する。

機械学習ブロックでは教師あり学習を用いて特徴量からユーザの参加状態を推定する。正解ラベルは参加状態と不参加状態の 2 値である。機械学習モデルは限定しないが、本研究では lightGBM を用いた。

最後に推定されたラベルについて数サンプル毎に多数決をとり、最も個数が多かった状態を最終状態として出力する。本研究では 5 サンプル毎に多数決をとる。

3.3. 施策 A: どのように参加者の注意を引き戻すのか

施策 A の目的は、オンライン会議の非集中状態における参加者に対し、再びオンライン会議へ注意を向けさせることである。この際、我々が重要視するのは、参加者に対して強制感を与えることなく、感情や心理に訴えかけてさりげなく行動を促したいということである。よって、システムの介入によって参加者が作業を中断する必要がある・不快な思いをするようなことは避けたい。また、オンライン会議では、非集中状態にある参加者は常に PC 画面を見ているとは限らず、PC 画面を見ていたとしても打ち合わせアプリケーションではない他のアプリケーションを閲覧している状況も考えられる。こういった状況下で、参加者に対して有効な提示をするには、視覚的な提示よりも聴覚提示の方が適していると考えた。先にも述べたが、文献 [1] では、聞き手が聞く音声のピッチを変換することで無意識的に会議に集中するよう促す手法を提案している。しかし、ピッチ変換は音声変換の開始と終了時に注意を惹くことはできるが、変換中は馴化してしまい、効果としては不十分であると予測されたため、音声のピッチ変換だけでなく、音声変換中ずっと効果の持続性が期待できると考えられるリバーブ変換に着目した。

3.4. 施策 A : プロトタイプ実装

図 4 に提案手法の一連の流れを示す。我々は、非集中状態と判定された場合には、会議の音声を変換するプロトタイプ実装を行った。音声変換は 3 種類 (ピッチ、リバーブ弱、リバーブ強) 用意した。非集中時間の継続時間に応じて、ピッチ→リバーブ弱→リバーブ強と段階的に刺激の強度が変化するようにし、参加者が非集中状態になるごとに、繰り返されるようにした。オンライン会議システムに入力された話し手の音声を、仮想マイクを介すことで聞き手の PC にインストールされたプログラムに入力して音声変換を施す。

使用 OS は macOS のみを対象としており、音声変換は pedalboard, CPU 情報取得には psutil を用いた。PC 情報は 1 秒間に 1 回取得し、音声変換は非集中状態の場合は 15 秒に 1 回施した。

4. 実験

4.1. 参加度推定性能

参加度推定の機械学習モデルを作成するために、教師データ取得実験と評価用データ取得実験を行った。いずれの実験でも、実験参加者のパソコンに「CPU 使用率」・「Active Window」・「AFK」を取得するソースコードをインストールし、コードを実行した状態で、Microsoft Teams を使用したオンライン会議を行った。

まず教師データ取得実験のため、オンライン会議に入った 5 人の実験参加者に指定した行動をとってもらった。参加している状態では「Teams の画面を真面目に見る」・「議事録をとる」・「Teams のチャットに質問を書く」の行動をしてもらった。不参加の状態では「ネットサーフィンする」・「資料を作成する」・「YouTube 動画を見る」などの行動をしてもらった。なお、パソコンを使用する以外の不参加状態はここでは取得していない。

次に評価用データ取得実験を行った。2 名の実験参加者を参加している状態と不参加の状態に分け、オンライン会議室に入ってもらった。教師データ取得実験とは異なり、実験参加者には指定した行動ではなく自由な行動をとってもらった。実際は、参加状態では「Teams の画面を真面目に見る」、不参加状態では「ネットサーフィンする」の行動があった。

取得した教師データを用いて 3.2 章の手順で機械学習モデルを作成した。前処理とアンダーサンプリングの結果、機械学習モデルに使用したデータは参加状態と不参加状態いずれも 1770 サンプルであった。作成した機械学習モデルを評価データで検証したところ正解率は 0.776 であった。

4.2. 施策 A : 予備実験

ピッチやリバーブ音声変換によって、参加者の注意をオンライン会議に引き戻す効果があるかを検証するにあたり、まず参加者がピッチやリバーブ音声変換に気づくかどうか、またその機能はシステムの挙動として受け入れられる (受容性) のか、ピッチとリバーブ変換はどちらが効果的なのか

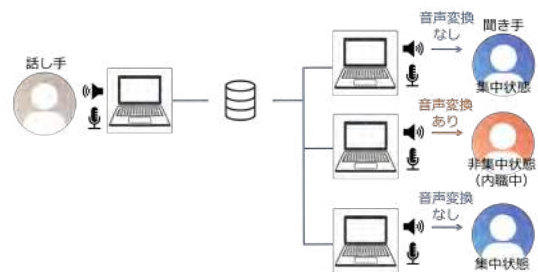


図 4 提案手法の一連の流れ

といった知見を得るための予備実験を行った。

4.2.1 実験概要

音声変換データを3種類(ピッチ, リバース弱, リバース強)用意した。14名の実験参加者に対し, 3種類の音声変換データのうち1種類を体験するようにグループ分けした。内訳はピッチ変換(5名), リバース弱変換(5名), リバース強変換(4名)である。テスト中, 実験参加者は変換された音声を聴きながら, 手元のPCで文章を読む作業を行ってもらった。テスト終了後に音声内容理解の確認テストと作業負荷や音声に対する印象についてのアンケート調査を行った。

4.2.2 実験結果

アンケート調査によって, ピッチよりもリバース音声変換の方が気づきやすいという結果が得られた。また, テスト中に変換された音声を聞くことによる認知負荷については, 変換されていない音声を聞くときと比較して大きな変化は見られなかった。変換されていない音声と変換された音声を聞く場合を比較して, 音声内容の理解度や参加者の手元PC画面でのタスクパフォーマンスに大きな違いは見られなかった。

4.2.3 まとめと本実験に向けて

アンケート調査から明らかになった, ピッチよりもリバース変換の方が気づきやすいという結果から, 音声変換した際に参加者に与える刺激の強度としてピッチ<リバースの関係があると考えられる。また, テスト中に変換された音声を聞くことによる認知負荷については, 変換されていない音声を聞くときと比較して変化はなかったことから, ピッチやリバースによる音声変換提示が参加者の心理や感情を阻害することはないと言える。ピッチ変換は音変換の開始と終了時に注意を惹けるが, 変換中は馴化してしまい, また元々の話し手の音声に依存する部分も重なって効果が不十分であることが明らかになった。一方でリバース変換にはその懸念がなく, 音変換開始, 終了時に注意を惹けるのはもちろんのこと, 音声変換中ずっと効果の持続性が期待できると考えられる。よって, 本実験では, 非集中時間の継続時間に応じて, ピッチ→リバース弱→リバース強と段階的に刺激の強度が変化するようにし, 参加者が非集中状態になるごとに, 繰り返されるようにした。

4.3. 施策 A: 本実験

4.3.1 目的

予備実験の結果および得られた知見を踏まえ, オンライン会議において参加者が別アプリケーションに認知資源を割いている状態において, 音声変換提示が, 参加者の注意を引き付けて別アプリケーション作業を中断させる効果があるか否かを明らかにするための実験を行った。

4.3.2 タスク

実験参加者は, 各自が普段使用しているノートPC内の打ち合わせアプリケーション(Teams)を通して, 用意された音声ビデオを学習するように指示された。

4.3.3 素材

15分程度のUIST2019のプレゼンテーション発表動画を用意し, 実験参加者に学習状況を再現させた。

4.3.4 実験参加者

実験はファシリテータ1名と実験参加者7名で行った。ファシリテータ1名と実験参加者7名は, 共に九州大学の学生である。

4.3.5 実験手順

実験参加者は, 椅子に座り, 机の上にPCを置き, 有線のイヤホンまたはヘッドフォンを装着してもらい, 普段オンライン授業に参加するときと同じ状況下で実験を行った。音声変換機能がある場合とない場合での, 違いを比較するため音声ビデオ学習を2回実施した。その際, 順序効果をなくすため, 最初に音声変換機能を体験するグループと2回目体験するグループに実験参加者を分けた。図5に実験の流れを示す。まずはじめに, 実験参加者に, これから音声ビデオ学習を行ってもらう旨を伝えた(事前説明)。音声ビデオ学習は2回に分けて行い, ビデオ学習後に作業負荷や音声に対する印象についてのアンケート調査を行った。すべてのテスト終了後, 事後インタビューを行った。

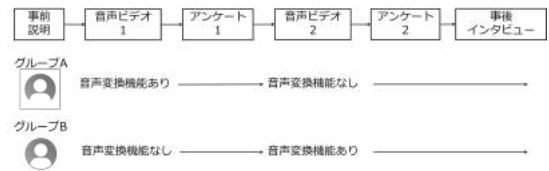


図5 実験の流れ

4.3.6 測定データ

音声ビデオ学習中は, 参加者のPCのCPU使用率, ActiveWindow, AFKのログを採取した。学習後に行ったアンケートについては, ポジティブ/ネガティブ感情の変化や音声変換に気づいたか否かを調査した。すべてのテスト後の事後インタビューによって, 参加者の感想を集めた。

4.3.7 実験結果

図6に, 音声変換機能なしとありの場合の集中状態時間割合の変化を示す。7名の実験参加者のうち, 複数回にわたって音声変換を体験したのは5人(ID:3,4,5,6,7)であった。図6のグレー色で示した2名(ID:1,2)はテスト中ずっと集中していたため, 音声変換機能をほとんど体験しなかった。音声変換を体験した5人中4人が, 音声変換提示をすることで, 音声ビデオへの集中時間の割合が上がった。また, 音声ビデオへの集中状態へ戻ったのは, リバース変換発動時

が最も多く、ピッチ変換だけでは音声ビデオへの集中状態に戻らなかった。また、テスト後の事後インタビューから、実験参加者 7 人中 2 人が、音声変換に気づき、残りの 5 名は気づかなかった。音声変換を体験した 5 人中、リバーブ変換機能に気づいた人は 1 人しかいなかった。実験参加者 7 人中 2 人が、音が変わった際に Teams 画面を確認したとコメントした。音声変換による、ポジティブ/ネガティブ感情の大きな変化は見られなかった。

参加者ID	音声変換なし(%)	音声変換あり(%)	変化率(%)
3	21.1	27.6	130.8
4	65.1	69.6	106.9
5	29.9	41.0	137.1
6	64.1	45.6	71.1
7	25.2	56.2	223.0
平均	56.1	62.3	111.0

図 6 実験参加者の集中時間割合の変化

4.3.8 まとめと今後の課題

音声変換を体験した 5 名中 4 名に対し、音声ビデオへの集中時間割合が増加する結果が得られたことから、本システムによる音声変換提示は、参加者の注意を惹き戻す効果があると言える。音声ビデオへの集中状態へ戻ったのは、リバーブ時が多かった理由としては、実験参加者が、そもそもピッチ変換に気づいていない可能性が高い。本実験で使ったプロトタイプは、ピッチ変換時の音声の変化量が小さかったために参加者に気づかれにくかったことや、実装の都合上、変換時にノイズ（ぷつぷつ途切れる音）が混ざってしまったことが原因と考えられる。音声変換を体験した 5 人中、リバーブに気づいた人は 1 人だけだったが、意識的に気づいてなくとも実際に集中状態への復帰行動は複数の実験参加者の間で観測されていた。最後に、音声変換によるポジティブ/ネガティブ感情の大きな変化は見られなかったことから、本システムによる音声変換に対する参加者の受容度（受け入れやすさ）に関しては問題ないレベルであったといえる。

今後の課題としては、まず今回の本実験におけるピッチ音声変換時にノイズが混ざってしまったことで、純粋にピッチ変換だけの効果ではなく、ピッチ+ノイズの効果になってしまった点が挙げられる。また、音声変換提示は、話し手の声の性質や聞き手との関係性（聞き手にとって面識のない人が発表する際はより気づきにくくなる可能性）、参加者が使用しているヘッドフォンの性能、出力方法（ヘッドフォン or スピーカ）といった外部環境に注意する必要がある。

5. おわりに

本研究ではオンライン会議においてカメラを ON にすることなく参加者を集中状態にする手法を提案した。そのための第一歩として内職中の人を傾聴中のステートに押し上げる手法（施策 A）の有効性を検証した。提案手法では、まず参加者の PC から取得した CPU 使用率、Active Window、AFK 情報を機械学習モデルに入力し参加状態を推定する。次いで非集中状態と判定された参加者の音声に対してピッチシフト、リバーブの加工を施す。実験の結果より、音声変換を体験した実験参加者 5 名中 4 名に対し、ビデオ講演への集中時間割合が増加したこと、音声変換を施しても無意識的に実験参加者を集中状態へ復帰できることを確認した。今後は、傾聴中の参加者のリアクションを増やして参加中の状態に背中を押す手法（施策 B）について取り組む予定である。

謝辞

本稿の研究を行うに際し、ご助言いただいたソニーグループ株式会社川名氏、森氏、朽木氏に感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Arakawa, R. and Yakura, H.: Mindless Attractor: A False-Positive Resistant Intervention for Drawing Attention Using Auditory Perturbation, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–15 (2021).
- [2] Di Lascio, E., Gashi, S. and Santini, S.: Unobtrusive Assessment of Students' Emotional Engagement during Lectures Using Electrodermal Activity Sensors, Vol. 2, No. 3 (online), 10.1145/3264913 (2018).
- [3] Yao, N., Brewer, J., D'Angelo, S., Horn, M. and Gergle, D.: Visualizing Gaze Information from Multiple Students to Support Remote Instruction, *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–6 (online), 10.1145/3170427.3188453 (2018).
- [4] Yao, N., Brewer, J., D'Angelo, S., Horn, M. and Gergle, D.: Visualizing Gaze Information from Multiple Students to Support Remote Instruction, *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–6 (online), 10.1145/3170427.3188453 (2018).
- [5] Murali, P., Hernandez, J., McDuff, D., Rowan, K., Suh, J. and Czerwinski, M.: AffectiveSpotlight: Facilitating the Communication of Affective Responses from Audience Members during Online Presentations, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY,

- USA, Association for Computing Machinery, (online), 10.1145/3411764.3445235 (2021).
- [6] Watanabe, K., Soneda, Y., Matsuda, Y., Nakamura, Y., Arakawa, Y., Dengel, A. and Ishimaru, S.: Discaas: Micro behavior analysis on discussion by camera as a sensor, *Sensors*, Vol. 21, No. 17, p. 5719 (2021).
- [7] Chen, C., Arakawa, Y., Watanabe, K. and Ishimaru, S.: Quantitative Evaluation System for Online Meetings Based on Multimodal Microbehavior Analysis, *Sensors and Materials*, Vol. 34, No. 8, pp. 3017–3027 (2022).
- [8] : ActivityWatch, <https://github.com/ActivityWatch/activitywatch>.
- [9] D’Mello, S., Olney, A., Williams, C. and Hays, P.: Gaze tutor: A gaze-reactive intelligent tutoring system, *International Journal of human-computer studies*, Vol. 70, No. 5, pp. 377–398 (2012).
- [10] Sharma, K., Alavi, H. S., Jermann, P. and Dillenbourg, P.: A Gaze-Based Learning Analytics Model: In-Video Visual Feedback to Improve Learner’s Attention in MOOCs, *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics and Knowledge, LAK ’16*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 417–421 (online), 10.1145/2883851.2883902 (2016).

スマートウォッチによる煩わしさを低減する 通知タイミングの推定方法に関する検討

神田琢也[†] 高橋公海[†] 宮島麻美[†]
NTT 社会情報研究所[†]

概要

健康行動を促すことを目的として、多くのヘルスケアアプリケーションで Push 通知が活用されている。Push 通知はユーザに行動を促す上で有用である一方、そのわずらわしさによってアプリの利用をやめてしまうケースも多く見られる。こういった通知の煩わしさを低減させる方法の一つとして、行動の切り替わりのタイミング (breakpoint) に通知をするという方法が挙げられる。そこで本研究では、breakpoint を検出しそのタイミングで Push 通知を送ることで煩わしさを低減させることを目指し、スマートウォッチのセンサ情報を用いて機械学習で breakpoint を推定する方法を検討し、予備実験でその有効性を検証した。

1. はじめに

高齢化社会や COVID-19 の影響により、人々のヘルスケアへの注目は近年ますます向上している。スマートホンや、スマートウォッチなどウェアラブルデバイスの普及に伴い、それらのデバイスを活用し、個人の健康管理を行う Fitbit (Fitbit Inc., San Francisco, CA, USA) ¹ や Apple Health (Apple Inc., Cupertino, CA, USA) ², Google fit (Google Inc., Mountain View, CA, USA) ³ などに代表される健康行動を促すモバイルヘルスケアアプリケーションが多く登場している。

IQUVIA の 2021 年の調査 [1]によれば、現在 350,000 を超えるヘルスケアアプリが利用可能であり、毎日約 250 個の新しいヘルスケアアプリがリリースされている。こういったヘルスケアアプリはアプリユーザの健康管理に対する手間を削減し、健康の維持や疾病の予防に対して大きく寄与すると考えられている。

また、個人の健康管理という目的だけでなく、新しい疾病の治療手段として Digital Therapeutics (DTx) が注目されている。医薬品のように薬事承認を必要とし、医師の管理下で疾病患者自身が使用する治療目的のプログラムである。日本でもニコチン依存症改善アプリの CureApp SC (CureApp Inc., Tokyo, Japan) ⁴ や高血圧治療アプリの

CureApp HT (CureApp Inc., Tokyo, Japan) ⁵ など医療機器認定されたヘルスケアアプリが登場し注目を集めている。これらの DTx は主にスマートホンやスマートウォッチなどのデバイスを用いたアプリを活用し、疾病患者の生活習慣や行動に変化を生じさせるよう促すことにより、治療効果をもたらすことを目的としている。このように、ヘルスケアアプリで個人の生活習慣や行動に変化をもたらすことが、今後、健康状態の改善・維持においてさらに大きな役割を果たすことが予想される。

しかし、ヘルスケアアプリの課題としてユーザの利用が継続しないことやエンゲージメントの低さが指摘されている [2]。継続率を低下させる可能性のある主要な要因の一つとして、具体的にはヘルスケアアプリからの Push 通知が挙げられる。ヘルスケアアプリにおける Push 通知は、内容とタイミングが適切である場合、アプリユーザの満足度の向上に寄与するとされている [3, 4]。一方で、内容やタイミングが適切でなかった場合や、頻度が高すぎる Push 通知はユーザの満足度を低下させ、アプリを削除してしまう可能性があるとして指摘されている [4, 5]。ヘルスケアアプリでは健康に関わる情報提供や健康行動のリマインダする際に Push 通知が使われることが多く、健康行動を促す際に重要な機能の一つである。そのため、その煩わしさを低減させることは、多くのヘルスケアアプリの改善につながる事が期待できると我々は考えている。また、ヘルスケアアプリが対象としている健康行動の内容に関わらず、広い範囲のヘルスケアアプリへの応用が可能であることから通知の内容ではなく、タイミングに着目して研究を進める。

本研究では、ヘルスケアアプリの Push 通知のタイミングに着目し、スマートウォッチのセンサデータを活用して Push 通知の適切なタイミングを自動的に推定する手法を検討とする。スマートウォッチでセンシングしたデータを用いることで、従来のスマートホンなどのデバイスを活用した手法と比較して、適切なタイミングをより高頻度で検出できる可能性がある。本稿では適切な通知タイミングを推定することを目的とし、スマートウォッチのセンサ情報を用いた機械学習による推定手法の有効性の検証を行った。

Study on Estimation Method of Notification Timing by Smartwatch to Reduce Annoyance

[†]1 TAKUYA KANDA, NTT Social Informatics Laboratories.

[†]2 MASAMI TAKAHASHI, NTT Social Informatics Laboratories.

[†]3 ASAMI MIYAJIMA, NTT Social Informatics Laboratories.

1 <https://www.fitbit.com/>

2 <https://www.apple.com/jp/ios/health/>

3 <https://developers.google.com/fit/>

4 <https://sc.cureapp.com/d/>

5 <https://cureapp.co.jp/productsite/ht/>

予備実験として実験参加者 11 名の通常の業務時のスマートウォッチのセンサ情報と適切な通知タイミングと考えられる breakpoint のアノテーションデータを収集し、Long Short-Term Memory (LSTM) ネットワークを用いた機械学習モデルを構築し推定の精度の検証を行った。その結果機械学習による breakpoint の推定に対する一定の有効性を確認した。

2. 関連研究

2.1 Breakpoint を活用した通知の煩わしさの低減手法

Push 通知の煩わしさを低減させる手法の研究として、時間帯や場所、一週間のどの日か、Bluetooth で検出したユーザ間の距離、電話・SMS のログに着目した手法など多くの先行研究が存在する [6]。先行研究の中でも主要なアプローチの一つとして breakpoint に着目した手法が挙げられる。breakpoint は心理学分野における概念であり、「意味がある自然な行動が終わり、新たな行動が始まったタイミング」と定義されている [7]。この breakpoint に通知を送ることで、通知によって起きる悪影響が軽減されているという結果がいくつかの先行研究で示されている [8~15]。

Iqbal ら[8~11]はオフィス作業をさせた際にパソコン上のクリックなどのイベント情報をもとに breakpoint を推定するミドルウェアの Oasis を提案し、Oasis による breakpoint の検出とその通知の煩わしさを低減させる効果を検証した。Oasis では実験参加者の作業中の動画をもとに、その作業に関する専門家がアノテーションをすることによって breakpoint の機械学習を行っている。

Okoshi ら [12~15] はモバイル端末を対象に、breakpoint を検出する手法を提案している。これらの研究ではスマートホン操作（アプリの起動、スワイプなど）やセンサ情報をもとにした行動認識 API の認識結果をもとに breakpoint を検出する手法の提案を行っている。

Breakpoint を活用した Push 通知の煩わしさを低減させる手法は、Push 通知を breakpoint が検出されるまで遅延させることによって、Push 通知の煩わしさを低減させている。そのため、検出できる breakpoint の頻度が低いと、必要なタイミングに Push 通知を送ることができない可能性がある。

パソコンやスマートホンなど多くのデバイスで breakpoint を推定する手法が提案されている [8~15] が、これらのタイミングの推定は実験参加者がデバイスを扱っている、もしくは身に着けている状態を前提とした手法である。スマートウォッチは体に密着しているデバイスであることから、breakpoint をより高頻度で検出できる可能性がある。

スマートウォッチを活用して breakpoint の検出を行った研究としてスマートウォッチとスマートホンを併用して使

用した際の breakpoint の検出手法の検討を行った [13] が挙げられる。[13] における実験の一部としてスマートウォッチ画面のタッチなどの UI 操作と、スマートウォッチに搭載されているセンサ情報をもとにした行動認識 API を活用し「立つ」、「座る」などの行動を認識し、認識された行動の切り替わりから breakpoint を推定する手法を提案した。

2.2 先行研究と本研究の違い

本研究では breakpoint を検出しそのタイミングで Push 通知を送ることで煩わしさを低減することを目指し、スマートウォッチなどのリスト型デバイスに一般的に搭載されている加速度センサとジャイロセンサの情報をもとに、高頻度で breakpoint を検出する手法の検討を行う。

行動認識を活用した breakpoint の推定手法は「立つ」、「座る」といった行動認識 API などのシステム側が検出する対象として事前に設定された行動のカテゴリ間の切り替えタイミングで breakpoint を検出することができる。しかし、事前に設定された行動のカテゴリだけでなく、ほかの種類行動を切り替えたタイミングでも breakpoint が発生することが想定され、これらの breakpoint の検出が可能になれば、Push 通知のタイミングを breakpoint まで遅延させる煩わしさ低減の手法が適用しやすくなると考えられる。

そこで、加速度センサやジャイロセンサから得られる情報に対して、行動認識を活用した breakpoint の検出ではなく、センサ情報に対して行動認識を活用せず、直接 breakpoint を推定する方法の検討を行う。本稿ではまず基礎検討として、機械学習による breakpoint の推定手法を構築し、予備実験でその有効性の検証を行う。

3. 実験手順

3.1 データ収集

機械学習による breakpoint の推定に用いるデータ収集のために、研究業務に従事している社員 11 名を募集し、業務中のスマートウォッチのデータと業務の様子を撮影した。実験参加者は実験の説明を受けたのち、実験参加に関する同意書にサインした。その後、利き手ではない方の手首にスマートウォッチの Fitbit Sense (Fitbit Inc., San Francisco, CA, USA) を装着し、Fitbit Sense 上に Fitbit SDK (Fitbit Inc., San Francisco, CA, USA) を用いて実装された加速度と角速度を記録するアプリを起動した。データ収集実験時の構成を図 1 に示す。

アプリの起動後参加者の作業の様子がわかる角度で動画の撮影をはじめ、通常の業務を 1 時間実施するよう依頼した。データ収集時の Fitbit に搭載された加速度と角速度のデータは Bluetooth を経由し、スマートホンの Google Pixel 5a (Google Inc., Mountain View, CA, USA) 内のサーバに送信

された。また、実験参加者が作業をしている様子の撮影には Insta 360 ONE RS (Arashi Vision Inc., Shenzhen, China) を用いた。実験中にデータ収集システムに不具合が生じた場合は、実験参加者に作業を中断してもらいデータ収集システムの再起動の実施を依頼した。

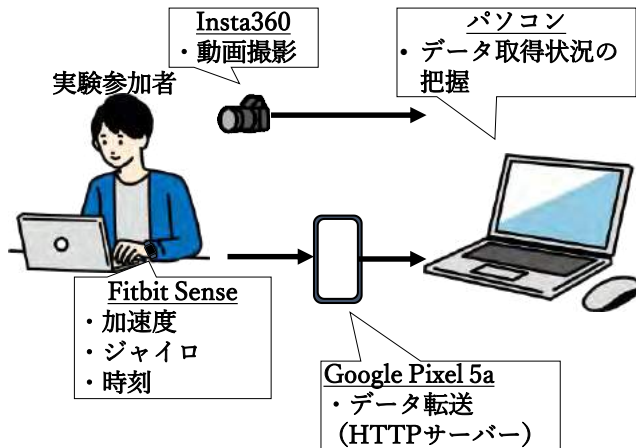


図1 データ収集実験時の構成

3.2 Breakpoint アノテーションデータの作成

各実験参加者の作業動画に対して、アノテーター2名にアノテーションデータの作成を依頼した。アノテーションデータの作成には音声・映像アノテーションツールである ELAN 5.8 [16] を用いた。アノテーターはデータ収集実験に参加しておらず、なおかつ ELAN 5.8 の操作方法に精通しているものに依頼した。アノテーターはデータ収集実験参加者の作業動画を視聴しながら、一定の間隔で分割された動画の期間（タイムステップ）において breakpoint の発生を記録した。Iqbal ら[8~11]の実験では breakpoint の有無だけでなく、発生した breakpoint を3段階の粒度 (Course, Medium, Fine) に分類したアノテーション方法を実施したが、本稿では breakpoint の発生自体を機械学習で推定可能か検証を行うために breakpoint の有無のみを記録した。

本実験ではタイムステップの間隔を2秒と設定した。アノテーターには下記の文面でアノテーションを依頼した。「実験参加者が作業している動画を見ていただきながら Breakpoint をアノテーションして頂く作業になります。

(※Breakpoint: 意味がある自然な行動が終わり、新たな行動が始まったタイミング)。具体的には動画を見ていて実験参加者が行動を切り替えたと感じたタイミングにフラグを入れてください。どう感じたかを知りたいので、正解や間違いはありません。」

アノテーション作業完了後、アノテーターごとに判断に偏りがある可能性を考慮して、2人のアノテーターがいずれも breakpoint があると記録したタイムステップもしくは、一つずれたタイムステップに breakpoint があると記録

されたタイムステップを Breakpoint クラス、無いと記録されたタイムステップを Not Breakpoint クラスとした。



図2 ELANによるアノテーションの画面例

4. 機械学習による breakpoint 推定モデルの構築

4.1 センサデータの前処理

スマートウォッチの Fitbit Sense から得られた3軸の加速度センサ及び3軸の角速度のデータには欠損値が存在したため、前後の平均値を算出して補完した。欠損値補完処理を行った後、実験参加者の体の動きの情報をより、学習データに反映するために、加速度センサのデータに対してローパスフィルタを用いることで重力加速度の影響を除去する処理を行った。また、重力加速度の影響を除去した加速度センサから合成加速度の算出を行った。

4.2 センサデータの特徴量選択

4.1項までの前処理を施した加速度 (x, y, z), 合成加速度, 角速度 (x, y, z) のデータに対して、学習に用いる特徴量として、タイムステップごとに以下の値を算出した。

- 平均値
- 中央値
- 最大値
- 最小値
- 標準偏差

スマートウォッチ上のデータ収集アプリの不具合により、スマートウォッチのセンサ情報が記録できていないタイムステップを排除した結果、各実験参加者のデータに含まれるタイムステップ数は表1のようになった。

表 1 Not Breakpoint クラス, Breakpoint クラスの
タイムステップの数

実験参加者 ID	Not Breakpoint	Breakpoint	合計
P1	1327	16	1343
P2	1701	11	1712
P3	1256	2	1258
P4	864	2	866
P5	1504	13	1517
P6	1524	20	1544
P7	1733	5	1738
P8	1444	6	1450
P9	1491	28	1519
P10	1747	2	1749
P11	1756	14	1770
合計	16347	119	16466

4.3 機械学習モデル

スマートウォッチのセンサデータをもとに各タイムステップの breakpoint の有無を推定するため, 4.2 項までの処理を施したタイムステップごとの特徴量を入力とした, 機械学習モデルを作成した. 機械学習のモデルを選択する際にはロジスティック回帰や Support Vector Machine (SVM), 勾配ブースティングなど複数の手法を検討したが, 最終的にテスト検証で精度の良かった Long Short-Term Memory (LSTM) ネットワークを選択した. 本実験で使った LSTM の構造を表 2 に示す. 作成した機械学習モデルは入力とした特徴量の次のタイムステップに breakpoint が存在する (Breakpoint クラス), 存在しない (Not Breakpoint クラス) かの 2 値分類を予測結果として出力した. 入力データと予測対象のタイムステップの関係を示したものを図 3 に示す. また, Breakpoint クラスと Not Breakpoint クラスの比率に大きな偏りが生じているため, クラスごとの重みを考慮した係数をかけた学習を行った [17].

表 2 モデルの構造

入力サイズ	7×5
入力タイムステップ	30
LSTM の次元数	10
活性化関数	Sigmoid 関数
全結合層	1
最適化手法	Adam
損失関数	Binary Cross Entropy

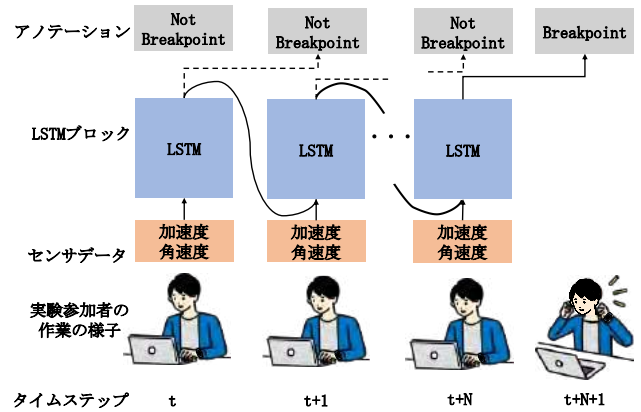


図 3 入力データと予測対象のタイムステップとの関係

4.4 評価

実験参加者 11 名のデータに対して Leave One Person Out (LOPO) 法を用いて学習を行い, モデルの推定精度を評価した. 評価に用いたハイパーパラメータを表 3 に示す.

表 3 ハイパーパラメータ

バッチサイズ	32
エポック数	20
確信度の閾値	0.95

なお, 加速度, 角速度のデータが取得できていなかったタイムステップは学習時もテスト時も除外した. 学習時のモデルのばらつきを考慮し, 学習モデルを 10 回作成し, それぞれの予測結果の評価指標 (Accuracy, Precision, Recall, F1 値) の平均値を算出した. 表 4 に各実験参加者のデータに対する各評価指標の平均値を示す. また, 図 4 に各実験参加者のデータに対する予測結果の評価指標の箱ひげ図を示す.

表 4 評価指標の平均値

	Accuracy	Precision	Recall	F1 値
P1	1.00	0.99	0.86	0.88
P2	0.99	0.78	0.89	0.78
P3	1.00	1.00	1.00	1.00
P4	1.00	0.81	0.90	0.84
P5	0.99	0.77	0.85	0.76
P6	0.90	0.88	0.84	0.77
P7	1.00	0.64	0.78	0.65
P8	0.99	0.89	0.73	0.79
P9	0.99	0.77	0.84	0.77
P10	1.00	0.95	1.00	0.97
P11	1.00	0.90	0.86	0.87

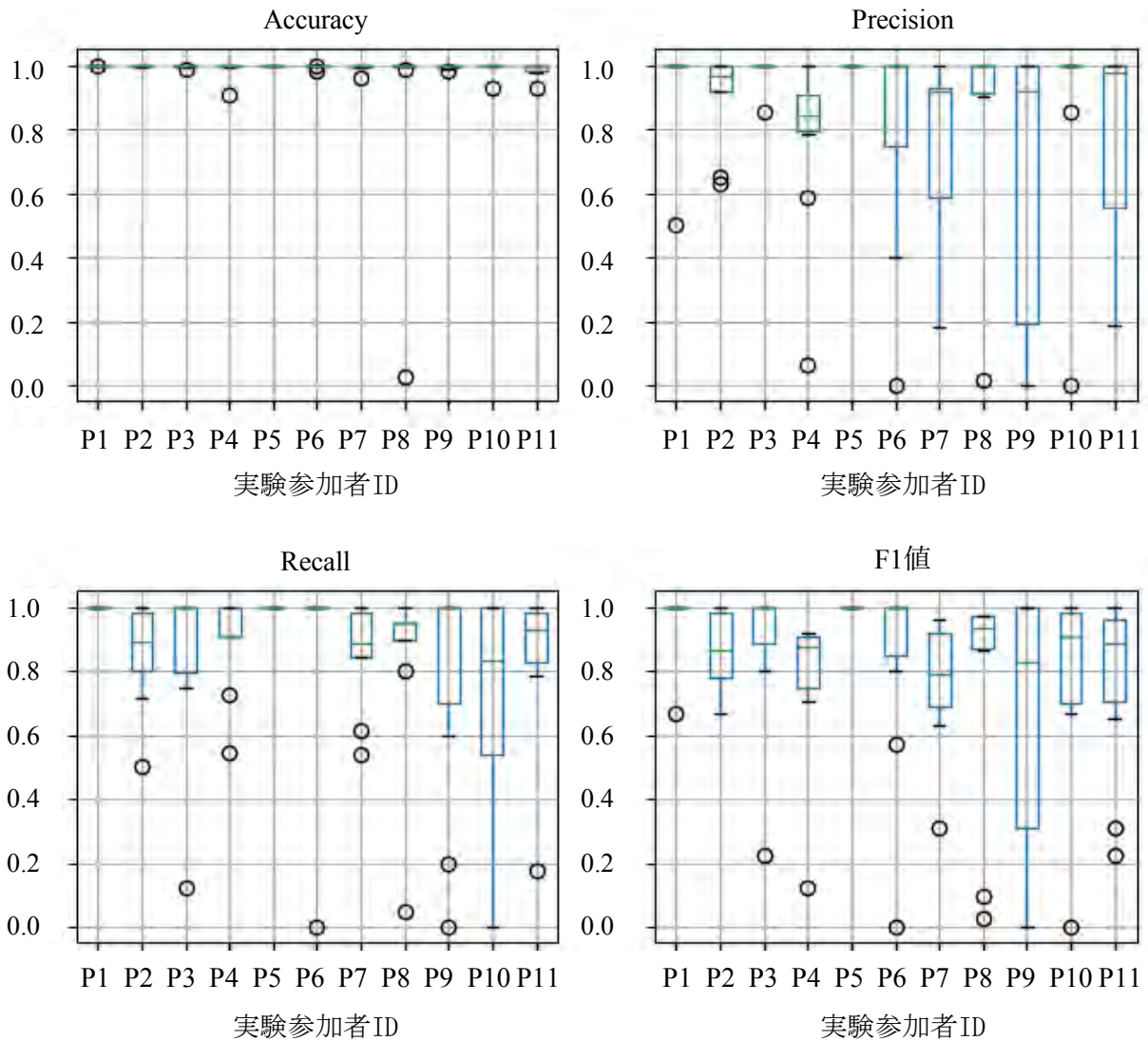


図4 各実験参加者のデータに対する予測結果 (Accuracy, Precision, Recall, F1 値)

5. 考察

5.1 Breakpoint の推定精度に関して

Accuracy は全体的に高かったが、これは Not Breakpoint クラスと Breakpoint クラスの比率に大きな偏りが生じていたためであると考えられる。Precision と Recall に関しては Accuracy ほど高い精度での予測はできなかったが、ある程度の精度で予測ができたためスマートウォッチのセンサ情報を用いた機械学習による推定手法に一定の有効性があることが示唆された。

Precision と Recall に関しては実験参加者のデータごとにも大きな差が出ている。P9 のデータに対する予測精度が Precision, Recall とともにほかの実験参加者のデータと比較して低い結果が得られた。ほかの実験参加者はデータ収集中の作業がパソコン作業であったのに対して、P9 のデータ収集実験時の作業にはパソコン作業以外の作業も多く含まれていた。今回の実験では Breakpoint クラスの学習データ

が少なかったため、LOPO 法で評価するために学習データから排除した。そのため、作業内容がほかの実験参加者のデータと大きく異なる P9 のデータに対する予測結果の精度がほかの実験参加者のデータと比較して低くなったと考えられる。

本研究は Push 通知の煩わしさを低減させることを目的としている。煩わしくないタイミングを煩わしいタイミングと誤推定しても、アプリユーザは煩わしいと感じない。一方で、煩わしいタイミングを誤って煩わしくないタイミングであると誤推定し、Push 通知をするとアプリユーザに煩わしいと感じさせてしまうことが想定される。そのため、煩わしいタイミングに通知をしないという観点から、Recall の精度の向上よりも Precision の精度の向上がより重要であると考えられる。

5.2 Breakpoint をアノテーションする作業におけるアノテーター間の個人差

本実験ではデータ収集実験で撮影した実験参加者の作業動画に対して2人のアノテーターにアノテーションを実施してもらった。各アノテーターの Breakpoint クラスと Not Breakpoint クラスの数を比較したものを表5に示す。アノテーターをそれぞれ A1, A2 と記載する。同じ実験参加者の作業動画であっても、P2, P3, P4 のアノテーションデータは各クラスのアノテーションの数が大きく異なっていた。一方で、Breakpoint クラスであるとアノテーションしているタイムステップは同一、もしくは隣り合った前後のタイムステップであった。アノテーター間で Breakpoint の数に差が生じた理由は Iqbal らの研究 [13~16] で指摘されている breakpoint の粒度による影響であると我々は考えている。アノテーションデータ作成後にアノテーションを付与した基準など感想をアノテーターに尋ねたところ、A2 のアノテーターからは「視線が大きく作業から外れた場合は breakpoint と判断した」というコメントがあり、A1 のアノテーターからは「視線が作業から外れた場合もその後作業が継続していた場合 breakpoint とは判断しなかった」とコメントがあった。これは、アノテーターごとに、breakpoint だと認識する場面に差異があるのではなく、アノテーションした際に粒度が小さいものでも Breakpoint クラスであるとアノテーションを付与したかどうかの差異であるように見受けられる。

表5 アノテーターごとの各クラスのアノテーション数の比較

	Not Breakpoint		Breakpoint	
	A1	A2	A1	A2
P1	1318	1319	25	24
P2	1701	1667	11	45
P3	1256	1230	2	28
P4	862	829	4	37
P5	1502	1499	15	18
P6	1514	1524	30	20
P7	1733	1724	5	14
P8	1442	1431	8	19
P9	1491	1504	28	15
P10	1747	1743	2	6
P11	1756	1747	14	23
合計	16322	16217	144	249

5.3 本研究の適用範囲

本稿の実験ではオフィスのデスクワーク時の作業に関するデータを収集した検証であったため、今後はさらに生活の様々なシーンに適用範囲を広げていきたいと考えてい

る。また、本実験の参加者は普段からデスクワークを行っている研究者であり、作業の内容や実験参加者の属性として偏りが生じていたため、全てのオフィスワーカーで本手法が有効であるかどうかは実験の範囲外である点は留意する必要がある。

6. 結論・今後の展望

本稿では、ヘルスケアアプリの Push 通知の煩わしさを低減させることを目指し、適切な通知タイミングの推定に取り組んだ。Push 通知の煩わしさを低減させる手法の中でも breakpoint を活用した手法に着目し、常時アプリユーザに装着されているスマートウォッチのセンサデータを用いて LSTM ネットワークを活用した機械学習モデルで breakpoint を推定する手法を構築し、予備実験で検証を行った。

予備実験では、デスクワーク時のスマートウォッチのセンサデータの収集と breakpoint のアノテーションを行い、収集したセンサデータとアノテーションデータから LSTM ネットワークを活用したモデルで推定が可能かという検証を行った。その結果、今回の収集データでは比較的高い精度で breakpoint を推定することができたことから、スマートホンやスマートウォッチの行動認識 API などを活用せず、スマートウォッチに搭載された加速度センサやジャイロセンサの情報から直接 breakpoint を推定する手法が有効である可能性が示唆された。

今後は、さらに多く、多様な実験参加者からの作業時のデータ収集を行い検証する必要がある。また、本実験で実施した参加者は通常からデスクワークを行っている研究者であり、参加者の属性としては偏りがある。そのため、参加者の属性をより広げた実験をしたいと考えている。実験で対象とした行動に関しても、デスクワークと限られたシチュエーションであることから、さらに多様なシチュエーションでデータ収集を実施したいと考えている。また、これまでの先行研究との組み合わせを行うことで、Push 通知によってより効果的に発生する煩わしさを低減することが可能になるのではないかと考えている。

アノテーションに関しては、今回2人のアノテーターがアノテーションを行ったが、アノテーター間でアノテーションを付ける数に大きな差が発生していた。これは個人の主観に基づいてアノテーションを付けていることから、breakpoint だと判断するアノテーターの基準に差があったためであると考えられる。今後、大規模な実験や実用化を考える上では、さらに多くのアノテーションデータが必要になると考えられ、一人のアノテーターが大量の breakpoint のアノテーションデータを作成することは現実的ではないことから、複数人のアノテーターがアノテーションデータを作成することが考えられる。そのため、アノ

テーター間のアノテーションに差が生じないようにアノテーション方法を検討していきたい。

将来的には、機械学習モデルを実際にスマートウォッチ上に実装し、breakpointを検出した際にPush通知することによって、その煩わしさが低下するかを実際に検証することを検討している。また、煩わしさを低減させることによる、ヘルスケアアプリの継続利用率の変化や、健康行動を促すリマインダのPush通知をアプリ利用者が受け取った際の健康行動の実施率を調査することで、行動の変化にどの程度繋がるかを検証する必要があると考えている。

7. 参考文献

- [1] IQVIA INSTITUTE FOR HUMAN DATA SCIENCE, Digital Health Trends 2021: Innovation, Evidence, Regulation, and Adoption (online), available from <<https://www.iqvia.com/-/media/iqvia/pdfs/institute-reports/digital-health-trends-2021/iqvia-institute-digital-health-trends-2021.pdf>>, (accessed 2023-02-13).
- [2] Amagai, S., Pila, S., Kaat, A., Nowinski C. and Gershon, R.: Challenges in Participant Engagement and Retention Using Mobile Health Apps: Literature Review J Med Internet Res, doi: 10.2196/35120 (2022).
- [3] Bidargaddi, N., Almirall, D., Murphy, S., Nahum-Shani I, Kovalcik, M., Pituch, T., Maaieh, H. and Strecher, V.: To Prompt or Not to Prompt? A Microrandomized Trial of Time-Varying Push Notifications to Increase Proximal Engagement With a Mobile Health App, JMIR Mhealth Uhealth, doi: 10.2196/10123 (2018).
- [4] Haggag, O., Grundy, J., Abdelrazek, M. and Haggag, S.: A large scale analysis of mHealth app user reviews. Empir Softw Eng, doi: 10.1007/s10664-022-10222-6 (2022).
- [5] Morrison, L.G., Hargood, C., Pejovic, V.: Geraghty AWA, Lloyd S, et al., The Effect of Timing and Frequency of Push Notifications on Usage of a Smartphone-Based Stress Management Intervention: An Exploratory Trial., PLOS ONE, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169162>, (2017).
- [6] Abhinav, M., Musolesi, M.: Intelligent notification systems: A survey of the state of the art and research challenges, arXiv preprint arXiv:1711.10171, (2017).
- [7] Newton, D. and Engquist, G.: The perceptual organization of ongoing behavior, Journal of Experimental Social Psychology, vol. 12, no. 5, pp. 436–450 (1976).
- [8] Iqbal, S. T. and Horvitz, E.: Notifications and awareness: A field study of alert usage and preferences, Proc. 2010 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW '10), pp. 27–30, (2010).
- [9] Iqbal, S. T. and Bailey, B. P.: Understanding and developing models for detecting and differentiating breakpoints during interactive tasks, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '07), pp. 697–706 (2007).
- [10] Iqbal, S. T. and Bailey, B. P.: Investigating the effectiveness of mental workload as a predictor of opportune moments for interruption, Proc. 05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '05), pp. 1489–1492 (2005).
- [11] Iqbal, S. T. and Bailey, B. P.: Leveraging characteristics of task structure to predict the cost of interruption, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06), pp. 741–750 (2006).
- [12] Okoshi, T., Ramos, J., Nozaki, H., Nakazawa, J., Dey, A. K. and Tokuda, H.: Attelia: Reducing user's cognitive load due to interruptive notifications on smart phones, Proc. 2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), IEEE, pp. 96–104 (2015).
- [13] Okoshi, T., Ramos, J., Nozaki, H., Nakazawa, J., Dey, A. K. and Tokuda, H.: Reducing users' perceived mental effort due to interruptive notifications in multi-device mobile environments, Proc. 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp), pp. 475–486 (2015).
- [14] Okoshi, T., Tsubouchi, K., Taji, M., Ichikawa, T. and Tokuda, H.: Attention and engagement-awareness in the wild: A large-scale study with adaptive notifications, Proc. 2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), IEEE, pp. 100–110 (2017).
- [15] Okoshi, T., Tsubouchi, K. and Tokuda, H.: Realworld product deployment of adaptive push notification scheduling on smartphones, Proc. the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data mining (KDD), pp. 2792–2800 (2019).
- [16] Brugman, H., Russel, A.: Annotating multi-media/multimodal resources with ELAN, Proc. the Fourth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'04) (2004).
- [17] King, G., Zeng, L.: Logistic regression in rare events data. Political analysis, 9(2), pp.137-163 (2001).

行動変容を定着化させるための介入制御方式の検討

原田将治^{†1}
富士通株式会社

烏谷彰^{†2}
富士通株式会社

1. はじめに

より良い社会に向かうために、人々を行動変容させなければ達成できない社会課題がある。例えば、健康推進やセキュリティ向上といった目標を達成するには、より多くの人の行動変容の定着化が必要となる。しかし、これらの行動変容の定着化に向けたプロセスにおいては、数回行動するだけでは成果が得られず、むしろ、すぐに行動による身体的な負担や心理的な負担を感じるが多いため、目標達成に至ることが容易ではない。

さらに、目標を達成するための行動は、義務感や強制ではなく主体的な取り組みであることが望まれることが多い。なぜなら、運動習慣やセキュリティ対策などは、ただ決められたことをやればよいというものではないからである。例えば、運動習慣なら、どれくらいの負荷や頻度であれば適切に継続できるのか各自のやり方は異なる。また、セキュリティ対策では、規制やルールの想定外の事態に直面することが多々あり、目的を理解して自ら判断して適切に行動することも求められる。

そこで本稿では、ICTをどのように活用したら、より多くの人の行動変容が定着化し、目的達成のための主体的な活動へと昇華させられるのかについて検討する。

2. 関連研究

行動変容を促す働きかけや支援となる介入は多くの種類や方法が試みられており、Behavior Change Technique Taxonomy(v1)[1]では、93種類もの介入方法が定義されている。ICTを活用した介入も多く検討がなされている。例えば、ライフログを活用したチーム内の「競争」と「協力」による介入の有効性の検証[2]や仲間と比較した電力消費量ランキングと報酬の有効性の検証[3]といったように、ICTでは計測した対象者の結果を提示するだけでなく、他者との合計、他者との比較といった見せ方を工夫して介入することが容易にできる。他にも、スマートクッション[4][5]において、対象者が良い姿勢を保てるように触覚刺激を与えるとといったように常時介入し続ける仕組みはICTの得意とするところである。それ以外にも、対象者の状態に応じた介入、例えば、行動変容ステージモデルに基づきながらも、その間に生じる対象者の内面状態に応じたメッセージを提供したり[6][7]、対象者の忙しさや鼓動パターンに応じた提案を

提供したり[8][9][10]と、対象者に合わせた画一的でない介入も提案されている。

また、ICTによる機械的な介入が嫌がられないようにする試みもある。否定的なフィードバックであっても、優しく間接的に対象者に働きかける論しの有効性を検証する試み[11][12]や、情報の閲覧を強制するが自ら選んで閲覧したと感じさせる手法の有効性を検証する試み[13]といったように、介入自体が対象者に不快感を与えない仕組みについての検討がなされている。

3. 行動変容の定着化

行動変容を定着化させるには長期的な戦略が必要と考えた。行動を主体的な取り組みとさせるには、一時的な行動変容ではなく、介入者側が戦略を持ちながら、少しずつ時間を掛けて、対象者の同意や共感を得ていくことが大切と考えたからである。例えば、6ヶ月の間に継続的に行動させることを想定してみても、対象者はその間、様々な心理状態になるし、様々な状況にも直面することが想像できる。これに対し、同じ介入、あるいは、最良の介入をただ繰り返していても、やがては飽きられることが容易に想像できる。例えば、意欲がなくなる度に仲間の状況を見せて奮起させる、ゴール達成者の感想で勇気付けるといった同じことを繰り返していても徐々に刺激が弱まり、いつまでも行動変容を持続できるとは限らない。つまり、1回の介入で、対象とする行動をすぐにさせることだけを単調に目指していても、定着化するまでを支援し続けることは困難である。したがって、定着化を目指すのであれば、時には行動変容に価値があることを論理的に納得させること、行動は体感的に意外と簡単だと気付かせること、行動変容にどのような意味があるかを考えさせること、といった直接行動を促すことを目的としない介入も必要であり、行動変容の定着化に向けて徐々に進めていくことが重要である。

そのような長期的な戦略の一つとして、認知を変容させることに着目するとよいのではないかと考えた。最終的なゴールとして、主体的に行動に取り組ませるには、本人が行動やその目的の必要性や効果をどのように捉えているかという認知が内発的動機を高めることにつながると考えたからである。また、その認知の状態によって、介入自体の受け入れやすさや、介入によって生じる効果が変わることが予想されるので、認知に着目することは有用と考えた。例えば、単純なりマインダー通知であっても、行動変容の重要性を認知した状態であれば、状況やタイミングが悪く

Proposal of intervention control method to habituate behavior change
†1 SHOJI HARADA, Fujitsu Ltd.
†2 AKIRA KARASUDANI, Fujitsu Ltd.

行動に至らなかったとしても、通知されることに対する不快感は強くないであろう。逆に、それほど行動変容に好感を持っていない認知状態の場合、少しでも状況やタイミングが悪いときに通知されてしまうと、通知されたという介入自体を邪魔に感じ不快感が生じる。したがって、どんなに単純な介入であっても、対象者の認知状態で受け止め方が変わるので、認知は介入の効果を左右する大事な着眼点になると考える。

また、介入を続ける際には、その不快感に対しても過度に与えたり、蓄積させたりしない仕組みが必要である。介入は必ずしも対象者に受け入れられるものではなく、タイミングが良くても介入内容が合わず、どうしても不快感を与えてしまうことがある。にもかかわらず、介入により不快感を与え続けることで、行動変容自体を挫折させてしまう可能性があるからである。

介入により不快感を与えてしまう要因としては、認知のギャップやタイミングの悪さ以外にも、次のようなものが考えられる。

- 現状維持バイアス
- 心理的リアクタンス
- ネガティブな感情
- 行動への阻害要因
- 介入内容が不明瞭

「現状維持バイアス」により、介入が対象者に生じさせる変化の度合いが高いほど受け入れにくくなり、不快感を生じやすい。さらに、介入が日常をどれくらい妨害するのか、つまり、どれだけ自由を奪われたのかによっても「心理的リアクタンス」が生じて不快感が増す。時には「ネガティブな感情」が強かったり、「行動への阻害要因」が生じ

たりしていると、合理的には受容していた介入内容に対しても不快感を抱くことがある。また、対象者にとって「介入内容が不明瞭」であった場合、介入の意味が伝わらないことで、意図したつもりはなくても不快感を生じさせることがあるだろう。このように様々な要因があるため、対象者への介入において不快感を生じさせることは避けにくい。むしろ、全く不快感を生じさせない介入は対象者に何も刺激を与えられていないともいえるので、完全な回避は目指すことではないと考える。

4. 提案方式

4.1 認知変容ステージモデルと介入制御

認知に着目した戦略とするため、行動変容ステージモデルを参考に表 1 のような認知変容ステージモデルを提案する。この認知変容ステージモデルに基づいて、対象者は認知の状態によって 6 種類に分けられ、そのステージに応じて認知に変化を与えられるように介入を制御する。したがって、1回1回の介入の主目的は対象者に行動を起こさせることではなく、認知に刺激を与えることにある。なお、認知も無理に1回の介入で変容させることは目指さず、段階を追いながら行動に対して対象者が自身にとって納得のいく捉え方を見付けさせることで、主体的な行動変容の定着化を目指す。次に各ステージにおける認知の状態と介入制御について説明する。

0) 反対期は、何らかの理由で目的や行動に反対しており、価値や意義がないと認知している状態である。そのため、ほとんどの介入は受容することが困難になっている。

表 1 認知変容ステージモデル
Table 1 Attitude change stage model

ステージ	行動の捉え方	介入の方向性	状況	ステージにおける傾向			
				介入の受容	意図	行動	意欲
0) 反対期	意義や価値がない。	反対する理由の解消。	行動や目的に反対しているか、賛同していない。	困難	やらない	なし	なし
1) 無関心期 ▼	関心がない。	興味の喚起。	関心がないので、行動の目的も価値も分からない。	やや難	ない	なし	なし
2) 興味期 ▼	関心はあるが、価値は分からない。	目的への同意・理解の深化。	関心はあるが目的には不同意・行動の価値は分からない。	ある程度	ない >ある	なし >あり	低い
3) 期待期 ▼	価値はありそう。	価値の実感。	行動に価値はありそうだが、効果は実感していない。	ほぼ受容	ない ≒ある	なし ≒あり	中
4) 実感期 ▼	価値はあるが、意義は分からない。	意義の会得。	価値は実感したが、本人にとって取り組む意義は分からない。	ほぼ受容 やや不要	ない <ある	あり	高い
5) 会得期	自分にとって行動する意義を会得した。	介入しない。	本人にとって行動する意義を感じ、主体的に取り組んでいる。	ほぼ不要	ある	あり	高い

したがって、介入制御としては、反対する理由を解消し、行動に価値がありそうと思わせ、期待期への移行を目指す介入を選出する。反対期は認知の段階としては、行動に挫折した状態でもあり、どのステージからも残念ながら反対期に移行してしまうことがある。

1) 無関心期は、行動変容ステージモデルと同様に関心を持っていないため、行動の目的や価値も知らないか、理解していない状態である。したがって、介入制御としては、興味を喚起し、関心を持ってもらう介入を選出することになる。反対期と同様に介入によって無理に行動させることは逆効果になる恐れがある。

2) 興味期は、関心は持ったものの、行動の目的や価値を十分に理解できていない、あるいは、同意には至っていない状態である。傾向としては、関心はあるので、意欲や意図がある時もあるが、概ね行動を起こしておらず、介入もあまり好まれない。この興味期は、行動を起こしたときに、行動変容によって得たい効果をすぐに得られないにも関わらず、行動コストはすぐに実感できてしまうため、マイナス面を認知しやすい時期でもある。したがって、この時期も無理に行動を促すことよりも、行動変容に対する理解を深めて、行動コスト以上に価値がありそうだと認知させる介入を選出することが重要となる。

3) 期待期は、行動に価値がありそうと思っているが、実感としては認知していない状態である。傾向としては、価値があるとは感じているので、意欲も意図も中程度で、行動もそれなりに見られる。介入も受け入れられやすく、行動を促せば比較的行動させやすいが、積み重なる行動コストに目を向けてしまうと止めやすい時期でもある。したがって、少しでも効果に気付かせるとともに、行動コストを低く感じさせる介入を選出することになる。どうしたら行動を継続できるのか自分に合った正解を見つけさせる介入も有効になると考える。

4) 実感期は、行動に価値があること、つまり、効果があることは体感しているが、自分にとって行動する意義については認知していない状態である。例えば、歩行習慣といった行動で、心身が健康になると実感していても、良い散歩コースや散歩仲間がなくなったら止めてしまうことがある。これは、対象者が行動の目的である健康の価値、つまり、自分にとって健康であることの意義を十分に認知していなかったことが原因と考えられる。この実感期は、行動の価値は実感しているため、行動を継続する傾向ではあるので、事例によってはここをゴールと定めても構わない。しかし、確固とした定着化を目指すのであれば、対象者にとって行動の目的を達成することの意義をしっかりと認知させるような介入を選出する必要がある。

5) 会得期は、自分にとって行動する意義を認知している状態である。そのため、取り組み方は主体的となっており、どんな環境や状況の変化が生じてても、継続できるよう努力を惜しまないであろう。ここは理想的なゴールであり、介入も不要となる。もちろん、認知の状態はいつでも変わるので、ここで終わりとは限らない。また、行動変容を促してきた介入者側にも終わりはなく、そのままよいケースは少なく常に改善が求められるであろう。ここまでは、介入される側の変容に着目してきたが、介入する側も、何をゴールとするのかを明確に定め、介入者自身も目標に向けて継続的に取り組むことが重要である。

以上のように、行動変容ステージモデルと違い、対象者を意図や行動の様子で分類するのではなく、対象者が行動やその目的をどのように捉えているかに基づいて分類し、介入方法や介入内容を選出することで、1回の介入で大きな変化を求めず、長期的に対象者が定着化するまで導くことを目指す介入制御を提案した。1回1回の介入においては、感情的に気分が乗らなかったり、行動する場所や時間がなかったりして、行動を起こさないこともあるだろう。

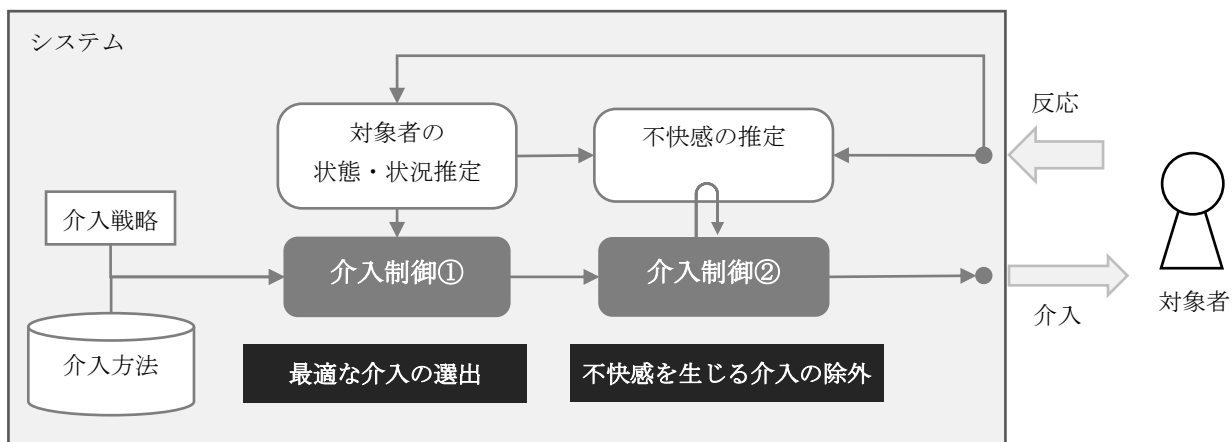


図 1 介入制御方式の構成図

Figure 1 system configuration diagram of intervention control method

そのようなときは、無理に行動を喚起するのではなく、少なくとも余計な介入は避け、例えば、改めて何のために行動するのか、どうして行動に嫌な気持ちを持つのか、といったことを考えさせる介入が必要である。他にも、意欲や感情面を考慮して、これまでの行動を賞賛したり、行動できないことに共感したりといったように、行動させることを主目的としない介入も、上手く活用すべきである。

4.2 不快感を考慮した介入制御

介入の不快感を考慮した介入制御を行うために、図 1 のような二段階の構成による介入制御方式を提案する。介入制御①においては、前述の通り、認知変容ステージモデルを用いて対象者の認知の状態に合わせ、次に目指すべき状態となるにはどのような介入が良いかという観点で選出する。これだけでも、重要性や価値観といった認知のギャップによる介入の不快感はかなり抑制される。

さらに、介入制御②では、選出された介入によって対象者に生じる不快感を推定して介入の可否を判断する。不快感は、介入頻度、介入への反応、介入方法や介入内容に起因する妨害度や嫌悪感、これまでの介入により与えてきた不快感を踏まえ推定する。特に介入内容に関しては、過去に実施した内容と同一、あるいは、類似している場合、介入が受容されていたとしても、それらの介入による不快感の蓄積が強烈なインパクトを与えることがあるため、最も考慮すべき点であると考えられる。このように介入の適切性や成功確率とは別に、介入が与える不快感によって、その介入を実行するか否かを決定し、時には何も介入しないという判断がなされる。したがって、いかに行動や認知の変容の成功確率が高い介入方法であっても、不快感を生じさせる介入は実行されなくなり、定着化の挫折、つまり、二度と介入を受け入れられないような事態を回避することができる。逆に不快感を生じさせない介入であれば問題はなく、例えば成功確率が低くても介入することは、無視されたとしても、その無視されたという反応を次の介入に活かすことができる。どのような介入に対して、どのような反応があったのか、例えば、メッセージを読んでももらえなかったのか、読んだけど変化がなかったのかによっても、対象者の状態や好む介入の傾向を見極めるヒントになるからである。

5. まとめ

ICT を活用して、行動変容を定着化させるため、挫折を回避して長期的に介入を継続するための介入制御方式を提案した。ひとつは、認知変容ステージモデルに基づく介入制御である。対象者が行動やその目的の重要性や効果をどのように捉えているかに応じ、段階的な変容を促し、定着化を目指す長期的な戦略である。これにより、単に行動を実行し続けるだけでなく、その価値を認識し、主体的な取り組みとして定着化させるところまで支援することを目指す。もうひとつは、継続的な介入を続けるために、不快感を考

慮した介入制御である。これにより、行動や介入自体を拒絶されることを回避し、長期的に対象者に寄り添った介入を継続することを目指す。

今後は、具体的な事例に適用し、提案方式によるシステムの有効性を検証していく。また、認知の状態だけでなく、気分といった感情面や自己効力感、モチベーションといった要因が長期的な介入に与える影響についても検討を進め、より効果的に統合していくことを目指す。

参考文献

- [1] Michie, S., Richardson, M., Johnston, M. et al. "The Behavior Change Technique Taxonomy (v1) of 93 Hierarchically Clustered Techniques: Building an International Consensus for the Reporting of Behavior Change Interventions," *Annals of Behavioral Medicine*, vol. 46, pp. 81-95, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12160-013-9486-6>.
- [2] 西山 勇毅, 大越 匡, 米澤 拓郎, 中澤 仁, 高汐 一紀, 徳田 英幸, "ライフログデータを用いたチームの行動変容促進," 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 1, pp. 349-361, 2015.
- [3] Ming-Chuan Chiu, Tsai-Chi Kuo, Hsin-Ting Liao, "Design for sustainable behavior strategies: Impact of persuasive technology on energy usage," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 248, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119214>.
- [4] Munir, F, Biddle, Stuart, Davies, MJ, Dunstan, D, Esliger, D, Gray, LJ, Jackson, BR, O'Connell, SE, Yates, T and Edwardson, CL, "Stand More AT Work (SMArT Work): using the behaviour change wheel to develop an intervention to reduce sitting time in the workplace," *BMC Public Health* 18, Article No. 319, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5187-1>
- [5] 上岡 玲子, "デスクワーク中の良姿勢習慣化のための触覚提示インタフェースシステムの提案," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 120, No. 391, MVE2020-66, pp. 121-126, 2021.
- [6] 佐藤 妙, 青木 良輔, 小安 宗徳, 篠崎 一慶, 大島 直樹, 武川 直樹, 渡部 智樹, 犬童 拓也, "行動変容ステージモデルに着目したユーザ状態遷移の検討," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 119, No. 38, HCS2019-1, pp. 1-6, 2019.
- [7] 佐藤 妙, 青木 良輔, 小安 宗徳, 篠崎 一慶, 大島 直樹, 武川 直樹, 渡部 智樹, 犬童 拓也, "行動変容のための「認知的不協和」におけるメッセージ提示方法," マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2019 論文集, pp. 670-675, 2019.
- [8] 森 拓也, 島川 博光, "行動変容をもたらすユーザに寄り添うヘルスケアシステムの提案," 情報科学技術フォーラム講演論文集(FIT), Vol. 19, No. 4, pp. 205-206, 2020.
- [9] Takuya Mori, Fumiko Harada and Hiromitsu Shimakawa, "Effects of Nudge Reflecting Day-of-Week Pattern against Induction to Walk," *Advances in Social Sciences Research Journal*, Vol. 8, No. 1, pp. 610-630, 2021, <https://doi.org/10.14738/assrj.81.9686>.
- [10] 湯淺 智也, 島川 博光, "忙しさと行動変容ステージを考慮した健康増進のための歩行量改善," 情報科学技術フォーラム講演論文集(FIT), Vol. 20, No. 4, pp. 359-360, 2021.
- [11] 二田 悠史, 杉原 太郎, 佐藤 健治, 五福 明夫, "行動変容促進を目的とした論しおよび警告メッセージの予備的検討," 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-AAC-10, No. 13, pp. 1-8, 2019.
- [12] 二田 悠史, 杉原 太郎, 佐藤 健治, 五福 明夫, "敵意を喚起しない行動変容促進を目的とした論しおよび警告メッセージの検討," 情報処理学会研究報告, Vol. 2021-HCI-192, No. 32, pp. 1-8, 2021.
- [13] 西條 涼平, 佐藤 妙, 永徳 真一郎, 渡辺 昌洋, "習慣化支援のための視線誘導に着目した情報表示方法の基礎検証," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 119, No. 477, LOIS2019-59, pp. 19-24, 2020.

行動多動性とプッシュ通知による行動変容容易性

田中宏昌 ^{†1}
株式会社 NTT ドコモ

實成優馬 ^{†2}
株式会社 NTT ドコモ

吉川 裕木子 ^{†3}
株式会社 NTT ドコモ

勝間田 優樹 ^{†4}
株式会社 NTT ドコモ

山田 渉 ^{†5}
株式会社 NTT ドコモ

落合桂一 ^{†6}
株式会社 NTT ドコモ

概要

混雑緩和や地域活性化を目指した人の流動性向上などの様々な目的のため、人を特定の場所に誘導する方法の研究が行われている。その中でもスマートフォンのプッシュ通知を用いたアプローチはスマートフォンを持つユーザーに対して広く実施できるため、他のアプローチに比べて比較簡単に実施することができる。その便利さの一方で、過剰なプッシュ通知はユーザーにとってストレスを感じる原因となるだけでなく、プッシュ通知を出すアプリケーションをスマートフォン上から削除する行動につながってしまう [1]。この対応策として、ユーザーの興味対象に沿った施設を推薦するプッシュ通知を出す方法が開発されているが、プッシュ通知によって行動が変容されにくい性質をもつユーザーが存在する場合は、ユーザーの興味に沿ったプッシュ通知を提供したとしてもユーザーのストレスを増加させる。そこで本研究では、プッシュ通知によって誘導されやすい性質をもつ人と誘導されにくい特性を持つ人が存在することを示し、その性質を日々の行動ログから推定できる方法を提案する。具体的には、人々の日々の施設へのチェックインログから、どの程度多様な施設にチェックインしやすいかという行動多動性という指標を定義し、その行動多動性を特徴量として、プッシュ通知によって誘導されやすい性質を持つ人か、誘導されにくい性質を持つ人かを判定する機械学習モデル（分類器）を提案する。このモデルを用いることで、プッシュ通知を出す前に事前に目的地に誘導できるかを予測できるため、行動変容が期待できる人のみにプッシュ通知を出すことで、ユーザー体験の向上に寄与する。

1. はじめに

人々が地域内で回遊して賑わいを創出することは、その地域にとって、地域経済活性化や防犯を始めとした様々な利点がある。実際に日本においても、地域の回遊性向上や賑わいの創出を目的とした NTT ドコモによる実証実験（以下、この実験を「幕張新都心エリアでの実証実験」と呼ぶ）が行われている^{*1}。幕張新都心エリアでの実証実験では、人々の局所的な集中を防ぎつつも人を様々な場所に流動させるために、スマートフォンへのプッシュ通知を用いて、人々を様々な施設に分散誘導させることを目指した。

幕張新都心エリアでの実証実験のように、人を特定の場所に誘導するための研究には、都市や建物自体の設計を工夫して人が流れやすい場所を作るアプローチ [2] を始めとして様々なアプローチが存在する。このようなアプローチの中でも、プッシュ通知を用いたアプローチはスマートフォン利用者（以下、ユーザーと呼ぶ）に対して比較的容易に実施できるという点で有効である。

プッシュ通知は比較的容易に実施できる一方で、プッシュ通知によって誘導されにくいユーザーが存在する場合、そのようなユーザーにとって通知は不快なものであり、プッシュ通知を可能にしているアプリケーションの削除につながる [1]。アプリケーションを通してサービスを提供する多くの企業にとって、アプリケーションの削除は顧客との接点を喪失することに繋がるため、プッシュ通知によるユーザー体験の低下は、企業にとってもユーザーにとっても避けるべき事象である。実際に幕張新都心エリアでの実証実験においても、ユーザー体験向上のためにユーザーが興味を持てるような施設の通知を行っていた。しかし、たとえ興味対象の施設を推薦していてもそこに行かないような、個人特性としてプッシュ通知によって誘導されにくい性質を持つユーザーが存在する場合は、いくら推薦モデルを改善してもユーザー体験は低下する一方である。

そこで本研究では、プッシュ通知によって誘導されやすい性質を持つユーザーと誘導されにくい性質を持つユーザーが存

Analysis of Relationship between Hyperactivity of Behaviour and Ease of Induction

^{†1} Hiroaki Tanaka, NTT DOCOMO INC.

^{†2} Yuuma Jitsunari, NTT DOCOMO INC.

^{†3} Yukiko Yoshikawa, NTT DOCOMO INC.

^{†4} Yuki Katsumata, NTT DOCOMO INC.

^{†5} Wataru Yamada, NTT DOCOMO INC.

^{†6} Keiichi Ochiai, NTT DOCOMO INC.

^{*1} https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_220125_00.pdf

在する（この性質を、以下では行動変容容易性と呼び、誘導されやすいユーザを行動変容容易性が高く、誘導されにくいユーザを行動変容容易性が低いと呼ぶ）ことを示し、さらに行動変容容易性はユーザの日々の行動データから予測できることを示す。具体的には、幕張新都心エリアでの実証実験で取得したデータから、プッシュ通知によって施設を推薦した回数に対しての実際にチェックインした割合を個人ごとに算出し、チェックイン割合の分布が二極化することを確認する。そして、チェックイン割合の中央値によってユーザを2つの群に分割して、行動変容容易性が中央値よりも高い群のチェックイン割合分布と、行動変容容易性が中央値よりも低い群のチェックイン割合分布に差があることを統計的仮説検定によって示す。

さらに、行動変容容易性が低いユーザか高いユーザかをプッシュ通知を出す前に判定するために、ユーザのチェックイン行動に関する多動性を表す指標として「行動多動性」を提案し、行動多動性を特徴量として行動変容容易性の高低を目的変数とした機械学習モデル（分類器）を構築する。行動変容容易性は、プッシュ通知を出す2週間前までの1日あたりの平均チェックイン数によって定義され、ユーザが一日にいろいろな場所にチェックインするほど大きい値をとる。この定義方法は、多動性のある子どもが衝動的に行動を変容しやすい [3] という特徴から発想を得ており、様々な場所に他動的にチェックインするユーザほど、プッシュ通知によって行動を変容しやすいと考えられる。

構築した分類機の評価のため、幕張新都心エリアでの実証実験データを用いた実験を行った。その結果、行動変容容易性が高いユーザラベルをポジティブ、行動変容容易性が低いユーザラベルをネガティブとしたとき、構築した分類機は適合率77%、再現率88%でユーザの行動変容容易性を推定できることが分かった。まとめると、本研究の貢献は以下の2点である：

- プッシュ通知によって誘導されやすいユーザと誘導されにくいユーザが存在することをデータから示した
- ユーザの行動多動性という指標を定義し、行動多動性によって行動変容容易性は推定できることを示した

2. 関連研究

2.1. 特定のエリアへの人の誘導

人を特定の場所に誘導するアプローチには、街や建物の設計自体を工夫するアプローチ [4, 2] や人の目に入る標識などのデザインを工夫するアプローチ [5]、さらには音声を用いて人を誘導するもの [6] などの様々なアプローチが存在する。これらのアプローチには、対象エリアに存在するすべての人に対して介入を実施できるという利点があるが、

実施のしづらさという欠点も存在する。たとえば、街や建物の設計を工夫するアプローチは、エリアや建物の設計を既存のものから変更する必要がある。また、標識などのデザインを工夫するアプローチや音声を用いて人を誘導するアプローチにおいても、事前に標識を設置したり、音声を発生させるための機材を設置する必要がある。

これらのアプローチに対して、スマートフォンのプッシュ通知を用いて人を誘導するアプローチは、世帯保有率86.8%^{*2}を締めるスマートフォン所有者に対して事前のハードウェアの準備なしに実施できる。そのため、比較的容易に実施できるアプローチであるといえる。

2.2. スマートフォンにおけるプッシュ通知

スマートフォンにおけるプッシュ通知は、企業がスマートフォンユーザと積極的にコミュニケーションを取るための有効な手段であり [7]、様々な企業がプッシュ通知を利用している。一方で、過剰頻度のプッシュ通知はユーザにとって好ましいものではなく、アプリケーションのアンインストールにつながる事が指摘されている [1]。そのため、ユーザに対してプッシュ通知をどのぐらいの頻度で送るのが良いかを決定する研究も行われている。たとえば、スマートニュース社は新規ユーザに対して自社のアプリケーションをアンインストールされる事なく継続的に利用してもらうためにはどの程度の頻度でプッシュ通知を送信すればよいかを明らかにするため、プッシュ通知のネガティブ影響を機械学習を用いて予測する研究を行っている^{*3}。

スマートニュース社の研究のように、個別のアプリケーションにおけるアプリケーション利用率を維持または向上するためのプッシュ通知に関する研究が行われている一方で、スマートフォン上のプッシュ通知が実在する場所への誘導にどの程度効果的なのかや、どのような人が実際に誘導されたのかという評価は行われていない。したがって本研究では、プッシュ通知によって推薦された場所に誘導されやすいかを示す行動変容容易性という概念を定義し、さらにユーザの日々の行動を表現する行動多動性という概念を定義して、行動多動性によって行動変容容易性を推定できることを示す。

3. データセット

本研究では、幕張新都心エリアでの実証実験において、幕張新都心エリアの居住者1129人から事前同意を得て取得したデータを用いる（以下、データ取得対象者を被験者と呼

^{*2} 令和3年版版情報通信白書（総務省）<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/html/nd111100.html> より

^{*3} <https://medium.com/smartnews-inc/optimizing-push-frequency-for-new-users-5db5e04d76df>

データ取得期間	2022年2月1日から2022年3月21日
被験者数	1129人
被験者あたりプッシュ通知送信数の平均 ± 標準偏差	4.97 ± 5.08
プッシュ通知誘導による被験者あたり施設チェックイン数の平均 ± 標準偏差	1.06 ± 2.18
被験者あたり施設チェックイン数の平均 ± 標準偏差	199.20 ± 499.11
プッシュ通知による誘導先施設数	399

表1 本研究で利用するデータセットの主要な統計値
Table1 Statistics of Dataset

ぶ)。本データセットは2022年2月1日から2022年3月21日までの期間で収集されており、被験者が普段の生活の中でどのような施設にチェックインしているか、被験者に対してプッシュ通知を送信したタイムスタンプ、プッシュ通知による推薦施設が記録されている。データセットの主要な統計値は表1に示す。

4. 予備実験：行動変容容易性の存在

4.1. 実験目的と実験方法

本研究の有効性である、「行動変容容易性の低いユーザに対してプッシュ通知を減らすことで該当ユーザのストレスを軽減し、アプリのアンインストールを回避することができる」という主張が成立する前提として、行動変容容易性の低いユーザの存在がある。そこで本節では、行動変容容易性が高いユーザと低いユーザ、すなわちプッシュ通知によって誘導されやすいユーザと誘導されにくいユーザが存在することをデータから確認する。

データセットから、各被験者に対して

$$R_{bc} = \frac{\text{(実際に誘導先にチェックインした回数)}}{\text{(プッシュ通知を受け取った回数)}}$$

を算出し、ヒストグラムを確認する。 R_{bc} はプッシュ通知によって目的地へと誘導された割合を表しているため、 R_{bc} の値が1に近いほどプッシュ通知によって誘導されやすく、0に近いほど誘導されにくいことを表す。

4.2. 実験結果

データから算出した R_{bc} のヒストグラムを、カーネル密度推定した結果は図1のようになった。図1から分かるように、 R_{bc} の分布には $R_{bc} = 0$ と $R_{bc} = 1$ の2箇所にピークが存在しており、行動変容容易性が低い被験者群と高い被験者群が存在することが分かる。

行動変容容易性が低い群と高い群の間に統計的に有意な差があるかを確認するため、 R_{bc} がとりうる値の中央値である $R_{bc} = 0.5$ をしきい値として被験者を2つの群に分けて統計的仮説検定を実施した。具体的には、 $R_{bc} < 0.5$ の群

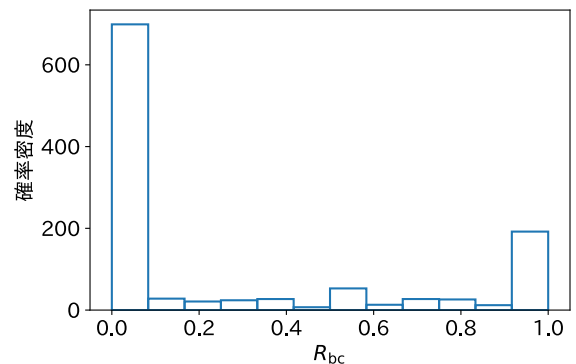


図1 R_{bc} のヒストグラムをカーネル密度推定した結果：0付近と1付近の2つの群にピークが立っていることが分かる。

Figure1 Kernel Density Estimation of R_{bc} : We can find that the density achieve two peaks around 0 and 1.

を G_{low} , $R_{bc} \geq 0.5$ の群を G_{high} とし、 μ_{low}, μ_{high} をそれぞれ G_{low} と G_{high} の母平均として、帰無仮説 H_0 と対立仮説 H_1 をそれぞれ

$$H_0 : \mu_{low} \geq \mu_{high}, \quad H_1 : \mu_{low} < \mu_{high}$$

とした有意水準5%のWelchのt検定を行った。その結果、p値は 1.13×10^{-23} (t統計量は71.52)となり、帰無仮説 H_0 を棄却できた。すなわち、 G_{high} に属する被験者は G_{low} に属する被験者に比べて有意に行動変容容易性が高いといえる。以上のことから、プッシュ通知によって特定の施設に誘導されやすいユーザ群と、誘導されにくいユーザ群が存在することが示された。

5. 行動変容容易性判定モデル

5.1. 提案指標と提案モデル

4章で示したように行動変容容易性が低いユーザ群が存在するため、そのようなユーザ群を日々の行動ログから特定する行動変容容易性判定モデルを提案する。提案モデル

		Predicted Label	
		G_{high}	G_{low}
True Label	G_{high}	72	10
	G_{low}	81	182

表 2 提案モデルによるテストデータでの分類結果： G_{high} は行動変容容易性が高いクラスを表し、 G_{low} は行動変容容易性が低いクラスを表す。

Table 2 Result of classification by proposed model: The label G_{high} expresses the user class whose *human behavior change easiness* is high; on the other hand, G_{low} represents the user class whose *human behavior change easiness* is low.

は、プッシュ通知を受け取る日付 T における行動変容容易性が高いか低いかの 2 値ラベルを目的変数にとり、特徴ベクトルには以下で定義する行動多動性

$$x_d = \sum_{t=t_0}^{T-\Delta t} \frac{c_{td}}{\sum_{d=1}^D c_{td}}, \quad (1)$$

c_{td} = (日付 t における施設 d へのチェックイン回数)

を誘導先候補となる施設数分だけ並べたベクトル

$$\mathbf{x} = [x_1 \quad \dots \quad x_D] \quad (2)$$

を用いる。(1) は一日あたりに施設にチェックインする回数が増えるほど、すなわち他動的であるほど大きい値をとるため、行動変容容易性の判定対象となるユーザが普段からの程度他動的な性質を持つのかを表現できる。

5.2. 評価方法と評価結果

提案モデルを評価するために、3 章で説明したデータセットを用いる。データセットに含まれる被験者 1129 人のうち、幕張新都心エリアでの実証実験期間において R_{bc} が 0.5 以上であった被験者 (G_{high} に属する被験者) は 323 人、 R_{bc} が 0.5 未満であった被験者 (G_{low} に属する被験者) は 806 含まれている。これらの被験者を、学習データ：開発用データ：テストデータに 565 : 281 : 283 に分けて、機械学習モデルの一つである LightGBM [8] の学習・ハイパーパラメータチューニング・評価を行う。ただし、分割されたそれぞれのデータセットには G_{high} と G_{low} それぞれのクラスに属する被験者が同程度の割合で含まれている。また、ハイパーパラメータのチューニングには Optuna [9] を用いる。

本研究では行動変容容易性が低いユーザに対するプッシュ通知を減らすことを目指しているため、行動変容容易性が低い人を誤って行動変容用意性が高いと予測している

割合

$$\frac{(\text{False Positive})}{(\text{True Positive}) + (\text{False Positive})}$$

が低いこと、すなわち適合率

$$(\text{正確度}) = 1 - \frac{(\text{False Positive})}{(\text{True Positive}) + (\text{False Positive})}$$

が高いことが望ましい。したがって、本実験の評価指標では正確度を最も重視し、次点で行動変容容易性が高い人に対してプッシュ通知を漏れなく送信することを重視して再現率で評価する。テストデータで評価した結果は表 2 のようになり、適合率は 0.77、再現率は 0.88 となった。すなわち、提案モデルは行動変容容易性が高いと分類した人のうち 77% の人は実際に行動変容用意性が高く、行動変容容易性が低い人の内 88% を実際に発見できていることが分かった。

6. おわりに

本研究では、人々を様々な施設に誘導するためのスマートフォンによるプッシュ通知を対象として、不要なプッシュ通知を無くしてユーザのストレスを減少させることを目的とし、プッシュ通知によってユーザの行動が変容しづらいユーザを特定する方法を提案した。具体的には、プッシュ通知による施設推薦に誘導されやすいユーザと誘導されにくいユーザが存在する、すなわち行動変容容易性が高いユーザと低いユーザが存在することを示し、行動変容容易性は行動多動性と呼ばれる日々の行動特徴によって推定できることを示した。行動多動性は、ユーザが日々の行動においてどの程度他動的に施設に移動を行っているかを表す指標であり、普段から色々な施設に移動する傾向がある人ほどプッシュ通知による施設推薦によって推薦施設に誘導されやすいと考えられる。

行動変容容易性を推定するために、行動多動性を特徴量とする機械学習モデルによる分類器を構築し、幕張新都心エリアでの実証実験において取得したデータセットを用いて分類機の学習及び評価を行った。その結果、行動変容容易性が高いユーザと低いユーザを適合率 77%、再現率 88% で発見できることを確認した。この結果から、行動変容用意性が高いと判断されたユーザのみに対してプッシュ通知を送った場合、すべてのユーザに対してプッシュ通知を送る場合に比べて、誤って行動変容用意性が低いユーザにプッシュ通知を送ってしまう割合を 23% 低減する事が可能になる。また、再現率も 88% であるため、行動変容容易性が高いユーザ群に対しても 88% は正しく行動変容容易性が高いと推定できている事がわかる。

評価実験の結果から、行動多動性は行動変容容易性を推定するために有効な指標の一つであると考えられる。その一方で、本稿では他の指標との比較を実施していないため、

考える様々な指標の中で行動多動性が行動変容容易性の推定に最も有効な特徴量ではない可能性がある。また、本研究の結果は幕張新都心エリアでの実証実験で取得したデータから導かれたものであるため、都市としての特性が著しく異なるようなエリア、たとえば公共交通機関が極端に発展していない山間部等には安易に一般化できないという制限がある。

参考文献

- [1] Atilla Wohllebe, Dirk-Siegfried Hübner, U. R. and Podruzsik, S.: Mobile apps in retail: Effect of push notification frequency on app user behavior, *Innovative Marketing*, Vol. 17, No. 2, pp. 102–111 (2021).
- [2] Vaez, S., Burke, M. and Alizadeh, T.: Urban form and wayfinding: Review of cognitive and spatial knowledge for individuals' navigation, *Australasian Transport Research Forum (ATRF), 38th, 2016, Melbourne, Victoria, Australia* (2016).
- [3] Singh, A., Yeh, C. J., Verma, N. and Das, A. K.: Overview of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Young Children, *Health Psychology Research*, Vol. 3, p. 2115 (2015).
- [4] Raubal, M. and Egenhofer, M. J.: Comparing the complexity of wayfinding tasks in built environments, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 25, No. 6, pp. 895–913 (1998).
- [5] Shi, Y., Zhang, Y., Wang, T., Li, C. and Yuan, S.: The Effects of Ambient Illumination, Color Combination, Sign Height, and Observation Angle on the Legibility of Wayfinding Signs in Metro Stations, *Sustainability*, Vol. 12, No. 10 (online), <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/10/4133> (2020).
- [6] Milliman, R. E.: Using Background Music to Affect the Behavior of Supermarket Shoppers, *Journal of Marketing*, Vol. 46, No. 3, pp. 86–91 (1982).
- [7] Gavilan, D. and Avello, M.: Enabling smartphone push notifications: the effect of a framed opt-in request, *International Journal of Mobile Communications*, Vol. 21, No. 1, pp. 1–18 (2022).
- [8] Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q. and Liu, T.-Y.: LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 30, Curran Associates, Inc. (2017).
- [9] Akiba, T., Sano, S., Yanase, T., Ohta, T. and Koyama, M.: Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework, *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, KDD '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery*, pp. 2623–2631 (2019).

案件割当における従業員の作業時間の均一化を図る割当手法

小林久也^{†1}

富士通株式会社^{†1}

尾形晋^{†2}

富士通株式会社^{†2}

烏谷彰^{†3}

富士通株式会社^{†3}

概要

少子高齢化に伴う労働力不足が顕在化しつつある中、多くの業務案件を適切に従業員へ割り振り、業務の効率化や生産性を向上したいとのニーズが高まっている。このようなニーズへ対応する方法の一つに、多数の業務案件を複数の従業員へ割り当て、分担するマッチングの仕組みがある。例えば、作業期日の遵守と従業員の作業負担の公平性の観点から、全案件の処理に要する時間は短く、従業員毎の担当案件処理に要する作業時間をなるべく均一にしたいようなケースでは、線形計画法を用いて割当ることが一般的である。しかし、従来の線形計画法では、割当てる期間や対象となる業務案件内のみでの最適化を意図しているために、その中で従業員毎の作業時間にばらつきなどが生じた場合、その割当を繰り返すことで、作業時間のばらつきが積みあがって大きくなる問題があった。

これを解消するためには従業員毎の作業時間のばらつきを把握し、業務が追加されて割当を繰り返す際に、従業員毎の総作業時間が均一になるように調整を行うことが考えられる。

本稿では、これを実現するために、既存の従業員毎の作業時間のばらつきから、追加案件の割当により従業員毎の総作業時間が均一になる調整量を求め、線形計画問題における従業員毎の担当案件処理に要する作業時間の上限値の制約式に加えることで、全案件の処理時間を短くしつつ、かつ従業員毎の総作業時間を均一にする新たな割当手法を提案する。

1. はじめに

チームにおける各個人へ案件の割り振りを最適化し、工数等を最小化するマッチングサービスのニーズが高まっている。

例えば、池上(2005)は病院に属する複数の看護師に対し、日勤や夜勤などの勤務シフトを割り振る数理計画モデルを用いたマッチングサービスを報告している[1]。マッチング

する際には、各勤務シフトにおける看護師の必要人数の確保や、看護師による休みの希望や不規則な勤務シフトから生じる健康影響等の条件を考慮している。

また、マッチングサービスへのニーズ例として、黒坂(2007)は役所などの滞納整理業務について、職員の習熟度向上や困難な滞納整理案件を職員同士でカバーしながら、滞納整理業務の効率化を図るマネジメントの必要性を報告している[2]。この仕組みを実現するためには、滞納整理案件における未納や回収不能などの問題による案件の難易度、各職員の経験や能力から生じる習熟度を考慮する必要がある。

以下、滞納整理業務を題材に、マッチングサービスに必要な要件や課題について論じる。滞納整理業務について、職員の滞納整理業務における習熟度と滞納整理案件の難易度が既知のものとし、滞納整理案件の処理に要する時間は、担当職員の習熟度と案件の難易度より決まるものとする。このとき、職員毎の担当案件処理に要する作業時間をなるべく均一にするような職員への滞納整理案件の割当が、職員同士のカバーに繋がると考える。また、全ての滞納整理案件の処理に要する時間を短くすることが、滞納整理業務の効率化に繋がると推察する。しかし、人手でこのような職員への滞納整理案件の割当を行うのは、職員の習熟度や、案件の難易度の違いを考慮するため困難である。

本稿では、書類確認業務等で多数の案件を、複数の従業員に割当することで分担し、全案件の処理が完了した後、多数の追加案件を同じ従業員へ割当することを繰り返す業務を対象とする。このとき、多数の案件を複数の従業員へ割当する従来方式として線形計画問題を考える。前提として、案件には易しい、標準などの難易度、従業員には新任、中堅などの習熟度が付与されているものとし、一案件当たりの処理時間は、担当者の業務への習熟度と案件の難易度より決まるものと想定する。

以上の議論から、本稿での案件割当の目標として、作業期日の遵守の観点から全案件の処理に要する時間は短く、従業員間の作業負担の公平性の観点から従業員毎の総作業時間が均一になる仕組みの実現を目指す。この目標を実現するため、線形計画問題における目的関数を従業員毎の担当案件処理に要する作業時間の総和の最小化とする。そして、線形計画問題における制約条件として次の4点を設定する。

Manuscript Format for Kickoff Symposium of IPSJ Behavior Transformation by IoT (BTI)

^{†1} HISAYA KOAYASHI, Fujitsu Ltd.

^{†2} SUSUMU OGATA, Fujitsu Ltd.

^{†3} AKIRA KARASUDANI, Fujitsu Ltd.

1. 一案件につき、担当の従業員は一名とする。
2. 全ての従業員は、必ず一件以上の案件を担当する。
3. 従業員毎の担当案件処理に要する作業時間はなるべく案件割当担当者が指定する作業時間に収める。
4. 従業員毎の担当案件処理に要する作業時間をなるべく均一にする。

しかし、案件割当担当者が指定する作業時間や割当する案件内のみで最適化を行うため、必ずしも従業員毎の担当案件処理に要する作業時間を均一にすることができず、ばらつきが生じる。この状況で繰り返し割当を行うと、従業員毎の総作業時間のばらつきは拡大し、従業員間の作業負担に大きな差が生じる。

本稿では、既存の従業員毎の作業時間のばらつきから、追加案件の割当により従業員毎の総作業時間が均一になる調整量を求め、制約式3に加えることで、全案件の処理時間を短くしつつ、かつ従業員毎の総作業時間を均一にする新たな割当手法を提案する。

2. 提案手法による従業員への案件割当

2.1. 従業員への案件割当における線形計画問題

はじめに、従来方式として線形計画問題による従業員への案件割当を説明する。1章の線形計画問題における前提として、従業員の習熟度を表す集合 $L_1 = \{1, 2, \dots, l\} (l \in \mathbb{N})$ 、案件の難易度を表す集合 $L_2 = \{1, 2, \dots, d\} (d \in \mathbb{N})$ とし、習熟度が $s (s \in L_1)$ の従業員が難易度 $q (q \in L_2)$ の案件処理に要する時間を $e_{s,q} (e_{s,q} > 0, e_{s,q} \in \mathbb{R})$ とする (表1)。

この前提をもとに、線形計画問題における案件構成と従業員構成を定める。従業員へ割当する案件数 $n_t (n_t \in \mathbb{N})$ とし、各案件の識別番号 $T = \{1, 2, \dots, n_t\}$ とする。また、難易度が q の案件について、案件数 $n_{t,q}$ 、案件の識別番号の集合 T_q 、連番の集合 T'_q とする (表2)。同様に、従業員数 $n_w (n_w \in \mathbb{N})$ とし、従業員の識別番号 $W = \{1, 2, \dots, n_w\}$ とする。そして、習熟度 s の従業員について、従業員数を $n_{w,s}$ 、識別番号の集合 W_s 、連番の集合を W'_s とする (表3)。このとき、識別番号が $w (w \in W)$ の従業員に対し、識別番号が $t (t \in T)$ の案件を割当することを $x_{w,t} = 1$ 、割当しないことを $x_{w,t} = 0$ で表す (表4)。最後に、案件割当担当者が指定する作業時間は、案件割当担当者が定める所要日数と案件処理における1日の作業時間の積 D とする。

これまで定めた表1から表4における各変数を用いて、識別番号 $t_q (t_q \in T_q)$ の案件を担当する従業員数 f_1 は (1) 式のように得られる。

$$f_1 = \sum_{s \in L_1} \sum_{w'_s \in W'_s} x_{n_w(s-1)+t'_q, t_q} \left(= \sum_{w \in W} x_{w, t_q} \right) \quad (1)$$

ただし、 $n_w(i) = \sum_{k=1}^i n_{w_k}$ とする。

表1 1件の案件調査に要する時間の見積値

Table 1 Estimated time for an employee with level s to finish a case with difficulty level q .

		L_2				
		1	...	q	...	d
L_1	1	$e_{1,1}$	...	$e_{1,q}$	...	$e_{1,d}$
	⋮	⋮	⋱	⋮	⋱	⋮
	s	$e_{s,1}$	...	$e_{s,q}$	...	$e_{s,d}$
	⋮	⋮	⋱	⋮	⋱	⋮
	l	$e_{l,1}$	...	$e_{l,q}$	...	$e_{l,d}$

表2 案件情報

Table 2 Cases list.

T'_q	T_q
1	$\sum_{k=1}^{q-1} n_{t_k} + 1$
2	$\sum_{k=1}^{q-1} n_{t_k} + 2$
⋮	⋮
n_{t_q}	$\sum_{k=1}^q n_{t_k}$

表3 従業員情報

Table 3 Employees list.

W'_s	W_s
1	$\sum_{k=1}^{s-1} n_{w_k} + 1$
2	$\sum_{k=1}^{s-1} n_{w_k} + 2$
⋮	⋮
n_{w_s}	$\sum_{k=1}^s n_{w_k}$

表4 従業員への案件割当テーブル

Table 4 Variables in the linear programming problem.

		T				
		1	...	t	...	n_t
W	1	$x_{1,1}$	...	$x_{1,t}$	...	x_{1,n_t}
	⋮	⋮	⋱	⋮	⋱	⋮
	w	$x_{w,1}$	...	$x_{w,t}$	...	x_{w,n_t}
	⋮	⋮	⋱	⋮	⋱	⋮
	n_w	$x_{n_w,1}$	...	$x_{n_w,t}$	...	x_{n_w,n_t}

そして、識別番号 $w_s (w_s \in W_s)$ の従業員へ割当する案件数 f_2 は (2) 式のように得られる。

$$f_2 = \sum_{q \in L_2} \sum_{t'_q \in T'_q} x_{w_s, n_t(q-1)+t'_q} \left(= \sum_{q \in T} x_{w_s, q} \right) \quad (2)$$

ただし、 $n_t(i) = \sum_{k=1}^i n_{t_k}$ とする。また、識別番号 w_s の従業員が担当案件処理に要する作業時間 $f_3(w_s)$ は (3) 式のように得られる。

$$f_3(w_s) = \sum_{q \in L_2} e_{s,q} \sum_{t'_q \in T'_q} x_{w_s, n_t(q-1)+t'_q} \quad (3)$$

よって、従業員毎の担当案件処理に要する作業時間の総和 f_4 は (4) 式のように得られる。

$$f_4 = \sum_{s \in L_1} \sum_{w_s \in W_s} \sum_{q \in L_2} e_{s,q} \sum_{t'_q \in T'_q} x_{w_s, n_t(q-1)+t'_q} \quad (4)$$

従って、従業員への案件の割当における線計画問題は次のように定式化する。

$$\text{minimize} : f_4 + \sum_{i \in W} a_i + \sum_{j=1}^2 \left(\sum_{s \in L_1} \sum_{i=1}^{n_{w_s}-1} b_{j,i} + \sum_{i=1}^{l-1} c_{j,i} \right)$$

$$s.t. : \forall q \in L_2, \forall t_q \in T_q, \quad f_1 = 1 \quad (5)$$

$$\forall s \in L_1, \forall w_s \in W_s, \quad f_2 \geq 1 \quad (6)$$

$$\forall s \in L_1, \forall w_s \in W_s, \forall i \in W,$$

$$f_3(w_s) - a_i \leq D \quad (7)$$

$$\forall s \in L_1, \forall w_s \in W_s, \forall i \in \{1, 2, \dots, n_{w_s} - 1\},$$

$$f_3(w_s) \geq f_3(w_s + 1) - b_{1,i} \quad (8)$$

$$f_3(w_s) - b_{2,i} \leq f_3(w_s + 1) \quad (9)$$

$$\forall s \in L_1, \forall w_s \in W_s, \forall i \in \{1, 2, \dots, l - 1\},$$

$$f_3(w_s) \geq f_3(w_{s+1}) - c_{1,i} \quad (10)$$

$$f_3(w_s) - c_{2,i} \leq f_3(w_{s+1}) \quad (11)$$

ただし、 $a_i, b_{1,i}, b_{2,i}, c_{1,i}, c_{2,i}$ は非負の実数とし、 $b_{1,i}$ と $b_{2,i}$ 、そして $c_{1,i}$ と $c_{2,i}$ はなるべく等しい値とする。この線形計画問題から得られる最適解を用いて (3) 式から、識別番号 w の従業員の担当案件処理に要する作業時間 w_{h_w} ($w_{h_w} > 0$) が得られる。また、 w_{h_w} が D に対し、超過あるいは不足する時間 d_{h_w} は (12) 式のように得られる。

$$d_{h_w} = w_{h_w} - D \quad (12)$$

2.2. 提案手法による従業員の総作業時間を均一化する案件割当

提案手法による従業員への案件割当を説明する。提案手法におけるフローチャートは図1に記す。ここで、提案手法では既存の従業員毎の作業時間のばらつきを追加案件の割当により解消するため、過去における従業員の作業時間を w'_{h_w} 、案件割当担当者が指定した作業時間を D' とする。識別番号 w の従業員の過去における作業時間の超過あるいは不足時間 d'_{h_w} は、(12) 式を用いることで得られる。このとき、 $\forall w \in W, d'_{h_w} = 0$ の場合、過去における従業員毎の作業時間に超過あるいは不足時間がないため、過去における従業員毎の作業時間にばらつきがないと判断する。よって、既存の従業員毎の作業時間のばらつきを解消する必要はなく、前述の線形計画問題から得られる最適解が、従業員毎の担当案件処理に要する作業時間のばらつきをなるべく抑えた結果であることから処理を終了する。一方で、 $\exists w \in W, d'_{h_w} \neq 0$ の場合、過去における従業員毎の作業時間に超過あるいは不足時間があるため、過去における従業員毎の作業時間にばらつきがあると判断する。このばらつきを追加案件の割

当によって解消し、従業員毎の総作業時間を均一にするためには、前述の線形計画問題による最適解から得られる従業員毎の担当案件処理に要する作業時間を調整する必要がある。

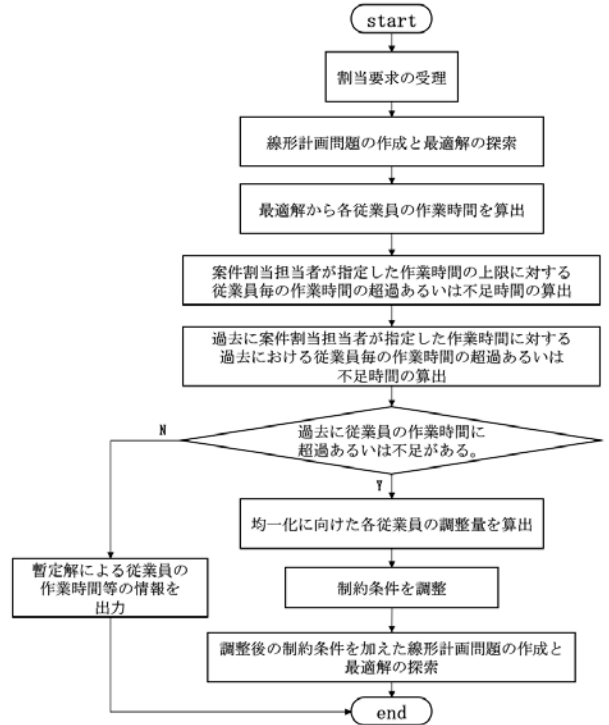


図1 提案手法におけるフローチャート

Figure 1 Flowchart of the proposed method.

ここからは、過去における従業員毎の作業時間のばらつきを追加の案件の割当により従業員毎の総作業時間が均一になる調整量を求める。まず、過去と前述の線形計画問題による最適解における全従業員の作業時間の超過あるいは不足時間 d_{h_w} と d'_{h_w} を平準化する。この平準化した値 eq は (13) 式のように得られる。

$$eq = \frac{1}{n_w} \sum_{w \in W} (d_{h_w} + d'_{h_w}) \quad (13)$$

従業員毎の総作業時間を均一にするために全従業員の作業時間の超過あるいは不足時間を平準化した値 eq を用いて、識別番号 $w \in W$ の従業員の担当案件処理に要する作業時間の調整量 ad_w は (14) 式のように得られる。

$$ad_w = eq - d'_{h_w}. \quad (14)$$

この調整量 ad_w を線形計画問題における制約式 (7) の右辺に加えると、(15) 式のように得られる。

$$\forall s \in L_1, \forall w_s \in W_s, \forall i \in W, f_3(w_s) - a_i \leq D + ad_w \quad (15)$$

前述の線形計画問題における制約式 (7) を (15) に変えた新しい線形計画問題での最適解から得られる従業員毎の担当案件処理に要する作業時間により、既存の従業員の作業時間のばらつきを解消する。

3. 具体例を用いた従業員への案件割当

本章では、2章で定式化した従来方式と提案手法を用いて、具体例での、従業員毎の総作業時間を比較し、提案手法の有効性を示す。すなわち、従来方式による従業員への案件割当を繰り返すことで生じる職員毎の総作業時間のばらつきに対して、提案手法を用いることで総作業時間が均一になることを示す。(図2)。

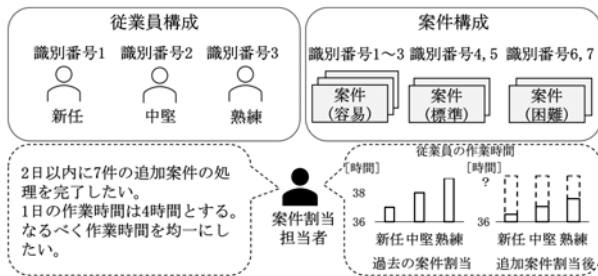


図2 従業員への案件割当 (具体例)

Figure 2 Example of assigning seven cases to three employees.

はじめに、従来方式と提案手法で次の5点を共通の問題設定とする。

- 従業員の習熟度は新任, 中堅, 熟練の3種類とする。
- 従業員数は新任, 中堅, 熟練のそれぞれを1名とした合計3名とする。
- 過去における従業員毎の作業時間にそれぞれの超過がある。
- 案件の難易度は容易, 標準, 困難の3種類とする。
- 案件数は容易3件, 標準と困難を2件ずつとした合計7件とする。

上記の問題設定をもとに、2章における各変数を定義する。従業員の習熟度を新任, 中堅, 熟練の3種類, 案件の難易度を容易, 標準, 困難の3種類とすれば、 $l = d = 3$ と定めることができ、 $L_1 = L_2 = \{1, 2, 3\}$ と与えられる。このとき、 $s (s \in L_1), q (q \in L_2)$ に対し、1案件当たりの処理時間 $e_{s,q}$ を表5とする。次に、具体例を簡単にするため、各難易度の案件数を容易3件, 標準と困難をそれぞれ2件ずつとすれば、 $T = \{1, 2, \dots, 7\}, n_{t_1} = 3, n_{t_2} = n_{t_3} = 2$ と与えられる。また、各難易度の案件における識別番号の集合は $T_1 = \{1, 2, 3\}, T_2 = \{4, 5\}, T_3 = \{6, 7\}$ となり、連番

の集合は $T'_1 = \{1, 2, 3\}, T'_2 = T'_3 = \{1, 2\}$ となる。同様に従業員数を新任, 中堅, 熟練のそれぞれ1名ずつとすれば、 $W = \{1, 2, 3\}, n_{w_1} = n_{w_2} = n_{w_3} = 1$ となる。識別番号が $w (w \in W)$ の従業員に対し、識別番号が $t (t \in T)$ の案件を割当することを $x_{w,t} = 1$, 割当しないことを $x_{w,t} = 0$ で表す。そして、案件割当担当者が定める所要日数を2日, 1日における作業時間を4時間とすれば $D = 8$ となる。次に、既存の従業員毎の作業時間のばらつきとして、過去における識別番号 $w = 1$ の従業員の担当案件処理に要した作業時間 $w'_{h_1} = 37$ 時間, 識別番号 $w = 2$ の従業員は $w'_{h_2} = 38$ 時間, 識別番号 $w = 3$ の従業員は $w'_{h_3} = 39$ 時間とする。過去において案件割当担当者が指定した所要日数を12日間とし、案件処理における1日の作業時間を3時間とすると、案件割当担当者が指定した作業時間 D' は $D' = 36$ 時間となる。よって、過去における従業員の作業時間の超過は、識別番号 $w = 1$ の従業員は $d'_{h_1} = 1$ 時間, 識別番号 $w = 2$ の従業員は $d'_{h_2} = 2$ 時間, 識別番号 $w = 3$ の従業員は $d'_{h_3} = 3$ 時間として得られる。

表5 具体例における1件の案件調査に要する時間の見積
Table 5 Ex. Estimated time for an employee with proficiency level s to finish a case with difficulty level q .

		L_2		
		1	2	3
L_1	1	4	6	7
	2	3	5	6
	3	2	4	5

3.1. 従来方式による従業員への案件割当

2.1章における線形計画問題に対し、上記の具体例を適用した線形計画問題は次のように得られる。

$$\text{minimize} : f_4 + \sum_{i \in W} a_i + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{l-1} c_{j,i}$$

$$s.t. : \forall q \in L_2, \forall t_q \in T_q, f_1 = 1 \tag{16}$$

$$\forall s \in L_1, \forall w_s \in W_s, f_2 \geq 1 \tag{17}$$

$$\forall s \in L_1, \forall w_s \in W_s, \forall i \in W, f_3(w_s) - a_i \leq D \tag{18}$$

$$\forall s \in L_1, \forall w_s \in W_s, \forall i \in \{1, 2, \dots, l-1\}, f_3(w_s) \geq f_3(w_{s+1}) - c_{1,i} \tag{19}$$

$$f_3(w_s) - c_{2,i} \leq f_3(w_{s+1}) \tag{20}$$

ただし、 $a_i, c_{1,i}, c_{2,i}$ は非負の実数とし、 $c_{1,i}$ と $c_{2,i}$ はなるべく等しい値とする。ここで、各習熟度において従業員は1名ずつであるため、(8)式と(9)式は消去される。

従って、上記の線形計画問題による従来方式から得られる最適解は表 6 となる。

表 6 従来手法による従業員への案件割当結果

Table 6 Assignment result by the conventional method.

		T						
		1	2	3	4	5	6	7
W	1	0	0	0	0	0	0	1
	2	0	0	0	1	1	0	0
	3	1	1	1	0	0	1	0

この表 6 を用いて (12) 式より、識別番号 $w = 1$ の従業員の担当案件処理に要する作業時間 $w_{h_1} = 7$ 時間、識別番号 $w = 2$ の従業員では $w_{h_2} = 10$ 時間、そして識別番号 $w = 3$ の従業員では $w_{h_3} = 11$ 時間となることわかる。従って、表 6 による従業員の作業時間の超過あるいは不足時間 d_{h_w} は、識別番号 $w = 1$ の従業員では $d_{h_1} = -1$ 時間、識別番号 $w = 2$ では $d_{h_2} = 2$ 時間、識別番号 $w = 3$ では $d_{h_3} = 3$ 時間として得られる。これらを踏まえ、表 6 の結果による従業員毎の総作業時間は、識別番号 $w = 1$ の従業員は $w_{h_1} + w'_{h_1} = 44$ 時間、識別番号 $w = 2$ の従業員は $w_{h_2} + w'_{h_2} = 48$ 時間、識別番号 $w = 3$ の従業員は $w_{h_3} + w_{h_3} = 50$ 時間のように得られる。

3.2. 提案手法による従業員への案件割当

はじめに、提案手法における従業員毎の総作業時間を均一化するための調整量を算出する。(13) 式より、全従業員の作業時間の超過あるいは不足時間を平準化した値 eq は $eq = \sum_{w=1}^3 (d_{h_w} + d'_{h_w}) / 3 = 3.3$ 時間として得られる。よって、式 (14) より、従業員毎の総作業時間を均一にするための調整量は識別番号 $w = 1$ の従業員は $ad_1 = 3.3 - 1 = 2.3$ 時間、識別番号 $w = 2$ の従業員は $ad_2 = 3.3 - 2 = 1.3$ 時間、識別番号 $w = 3$ の従業員は $ad_3 = 3.3 - 3 = 0.3$ 時間として得られる。この調整量 ad_1 から ad_3 を制約式 (18) に加えた新たな線形計画問題における最適解は表 7 として得られる。

表 7 提案手法による従業員への案件割当テーブル結果

Table 7 Assignment result by the proposed method.

		T						
		1	2	3	4	5	6	7
W	1	0	1	0	0	0	1	0
	2	0	0	0	1	1	0	0
	3	1	0	1	0	0	0	1

表 7 から従業員毎の担当案件処理に要する作業時間は、識別番号 $w = 1$ の従業員は $w_{h_1} = 11$ 時間、識別番号 $w = 2$

の従業員は $w_{h_2} = 10$ 時間、識別番号 $w = 3$ は $w_{h_3} = 9$ 時間として更新される。これら $\forall w \in \{1, 2, 3\}, w_{h_w}$ に対し、過去における従業員毎の担当案件処理に要した作業時間 $\forall w \in \{1, 2, 3\}, w'_{h_w}$ を加算すると、従業員毎の総作業時間 $\forall w \in \{1, 2, 3\}, w_{h_w} + w'_{h_w} = 48$ 時間のように得られる。

3.3. 結果と考察

3.1 節と 3.2 節より、従来方式と提案手法による従業員毎の総作業時間を比較した結果は図 3 となる。

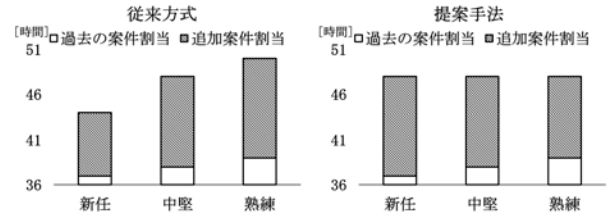


図 3 従来方式と提案手法による従業員の作業時間の比較
Figure 3 Comparison of total working hours for three employees by the conventional and proposed method.

過去における従業員毎の作業時間は新任の従業員が 37 時間、中堅は 38 時間、熟練は 39 時間であることから、新任と熟練の従業員毎の作業時間のばらつきは 2 時間であった。従来方式による追加案件の割当を行うと、従業員毎の総作業時間は新任の従業員で 44 時間、中堅は 48 時間、熟練は 50 時間の結果となった。従って、新任と熟練の従業員の総作業時間のばらつきは、2 時間から 6 時間へと拡大した。

一方で、提案手法による追加案件の割当を行うと、過去における新任と熟練の従業員の作業時間のばらつきを解消し、従業員毎の総作業時間が 48 時間として均一になる結果が得られた。

従来方式を用いて本具体例と類似の案件構成を従業員へ割当する場合、新任と熟練の従業員の総作業時間のばらつきは 4 時間ずつ拡大してしまう。この総作業時間のばらつきの調整を追加案件の割当時に行うことは、案件割当担当者にとってかなりの負担となり得る。また、定期的に従業員毎の総作業時間を調整するため、総作業時間が少ない従業員に対し多くの案件を割当てしまうと、この従業員の負担となってしまう。

これに対し、提案手法を用いて本具体例と類似の案件構成を従業員へ割当する場合、既存の従業員毎の作業時間のばらつきから、追加案件の割当により従業員毎の総作業時間が均一になる調整量を使い、従業員毎の総作業時間の均一化を自動的に行うため、案件割当担当者の負担を軽減する。そして、毎回の従業員への案件割当時に従業員毎の総作業時間が均一になる調整を行うため、従業員に負担の大きな割当にはならないと考えられる。

4. おわりに

従業員への案件割当において、従業員の習熟度と案件の難易度による作業時間の差異を考慮し、作業期日の遵守と従業員作業負担の公平性の観点から、全案件の処理に要する時間は短時間にしつつ、従業員毎の総作業時間をなるべく均一にする新たな割当手法を提案した。さらに、小規模な具体例を用いて、従来方式と提案手法による従業員への案件割当結果による従業員毎の総作業時間のばらつき具合の比較を行い、提案手法において従業員毎の総作業時間が均一になることを確認し、本手法の有効性を確認した。今後、実業務への適用において、本手法で必ずしも従業員毎の総作業時間が均一にならないケースが生じた場合、現場の案件割当担当者による微調整の方法を確認し、提案手法に取り入れたい。

参考文献

- [1] 池上敦子 (2005). ナース・スケジューリング -調査・モデル化・アルゴリズム-, 統計数理, 第 53 巻 第 2 号, p.231-259
- [2] 黒坂昭一 (2007). 滞納整理における処理促進のための一考察 -リスク管理及び滞納事案の類型別アプローチ手法を中心に-, 税大論叢, 53 号

製造業における技術革新と行動変容 ～アルミ圧延加工事業を例に～

浅田勝義^{†1} 磯田祐世^{†2} 山本佑樹^{†3}
株式会社 UACJ 株式会社 UACJ 株式会社 UACJ

1. はじめに

世界の産業は過去に三度の産業革命を経て、大きく姿を変えてきた。近年は、大量データの活用を主役とした第四次産業革命の時代に入ったと言われている。株式会社 UACJ(以下、当社)においては主力のアルミ圧延工程において、1980年代から進んだコンピュータによるファクトリーオートメーション(Factory automation, FA)導入により、圧延加工における従業員のマニュアル機械設定および操作の機会が減少し、人による機械操作は熟練が必要な、例えば圧延頻度の少ない材料の通板などの場面に限られるようになった。更に近年ではIoT導入により、前述の様な熟練者の技術に頼らざるを得ない場面についても、一部自動化が可能となっている。上記のように、生産技術の発展に伴い、製品の生産性・品質は飛躍的に向上し、量産現場における従業員の業務の大部分はマニュアル機械設定・操作からデスクワークへと変容した。

一方、当社における技術発展(FA・IoT)の経緯を振り返ると、品質の良いものを大量に効率的に作るという観点では一定の成功を収めてきたが、従業員一人一人の幸福度という観点では必ずしもそうではない。また、エンゲージメントの低下、離職者増加等の問題は日増しに深刻となっている。IoT・デジタル技術は、生産性・品質を追求のみならず、従業員一人一人の幸福度向上への応用も期待される。

本報告では、当社におけるFA・IoT導入による製造現場の変容の具体的な事例を紹介するとともに、IoTおよびデジタル技術活用により、製造業が今後目指すべき働き方および企業の組織形態を対照しながら組織の在り方について分析・議論する。

2. 技術と働き方

当社ではFA(1980年代～)、IoT導入(2010年代～)によって、労働生産性向上を高める活動をしてきた。特に図1に示す熱間仕上圧延機は機械的性能や表面品質の作りこみに最も重要な工程であり優先的に技術導入を進めてきた。

2.1 当社のファクトリーオートメーション(FA)

FAとは一般に工場の自動化を示すが、ドメインにより自動化対象は異なる。当社の圧延加工部門では圧延機の制御を自動化対象としている。圧延とは回転している二本の圧延ロールの間に材料である金属を挿入し、所定の厚みに成形する加工法のことである。

高温に加熱されたスラブ(およそ厚さ 500 mm×幅 1500～2000mm×長さ 10000 mm程度の直方体、図2)、は熱間粗圧延機にて往復圧延され、板厚 30 mm程度まで伸ばされる。その後、複数のスタンドが並んだ状態となっている熱間仕上圧延機に搬送される。熱間仕上圧延機では1スタンドあたり最大 50%程度の圧下率で出厚 2～10 mm程度まで圧延され、コイル状に巻き取られる[1]。代表的な製品である缶材の場合、顧客毎の要求に合わせて機械的性質、表面品質の作りこみを行う為、冷間圧延工程に移行し、製品厚 0.3mm程度まで圧延されたコイル状の製品として出荷される。その後、当社の顧客である製缶メーカーで缶として成形され、飲料メーカーで中身を充填後、缶飲料として市販されている(図3)。

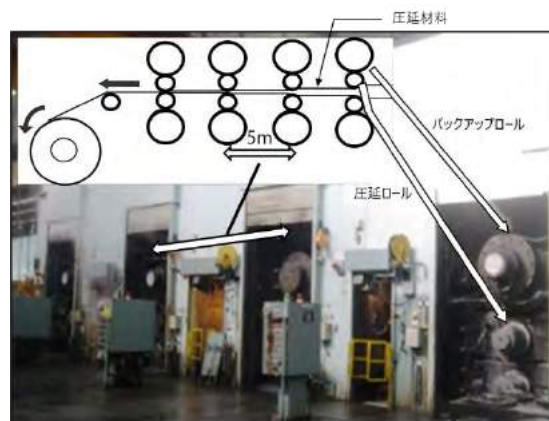


図1 熱間仕上圧延機の概観
Figure1 Overview of hot finishing mills

Technological innovation and behavioral change in the manufacturing industry
~Taking the example of the aluminum rolling and processing business~

†1 KATSUYOSHI ASADA, UACJ Corporation

†2 YUSEI ISODA, UACJ Corporation

†3 YUKI YAMAMOTO, UACJ Corporation



図2 スラブの例

Figure2 Examples of slabs



図3 圧延コイルと飲料缶

Figure3 Rolling coils and beverage cans

一方、圧延機で各製品の要求特性に応じて、板厚や温度を高精度に制御する為には、①圧延ロールの間隙設定(ロールギャップ設定)、②速度設定、③ロール冷却・潤滑スプレーのタイミング・圧力などの多くの条件設定が必要となる。

FA 導入前、圧延機の多数の条件設定は、マニュアルでの打ち込み作業となっていた。そのため指示書や標準書にある多くの設定条件パターンを人が参照しながら入力するには限界があった。その結果、粗い条件設定となり、高精度制御は実現できていなかった。1980年代からコンピュータによる設定条件のプリセットが可能となり、品質、生産性が向

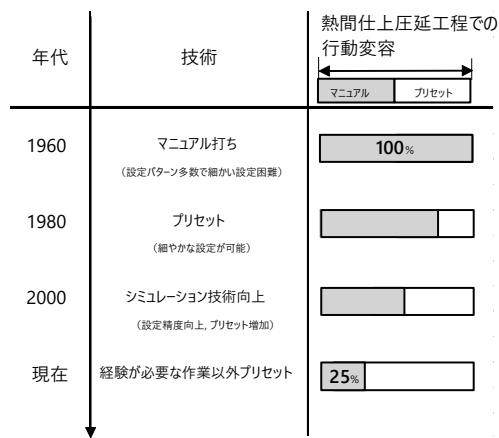


図4 技術と行動変容

Figure 4 Technology and behavior transformation

上すると共に、マニュアルでの打ち込み作業は大幅に減少した。その後、シミュレーション技術の向上により、前述の様な熟練者のノウハウに頼らざるを得ないケースを除いてマニュアル設定作業の多くは無くなってきている(図4)。

2.2 IoT 導入について

近年のIoT導入により、製造における確認・点検メンテナンスに必要なデータがリモートで収集されるようになった。その結果、以前は1日の就業時間の中で時間を要していた確認・点検などの設備メンテナンスの為に現地確認作業が減少し、会議/デスクワークの比率が増加した。代表的な技術者、の典型的な一日のタイムチャートを分析した結果、一日の行動は図5の様に変容している。現在、当社ではIoT導入を更に進めており、上記の行動変容は今後、更に進んでいくと予想される。

一方で、図6に示すようにFA・IoT導入後、満足度について従業員をランダムに選定しヒアリング(12名)した結果、大部分の人の仕事に対する満足度は変化していない結果となっており、IoT導入で製造における労働生産性は上がっているものそこに携わる従業員の総合的な満足度という観点ではまだまだ課題が残る。

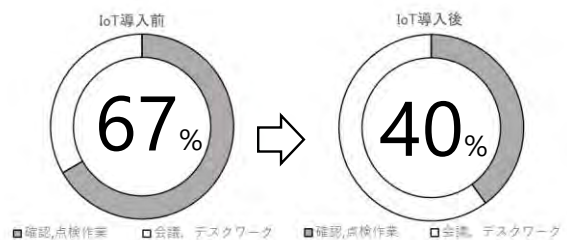


図5 IoT導入による行動変容

Figure 5 Behavioral changes due to IoT implementation

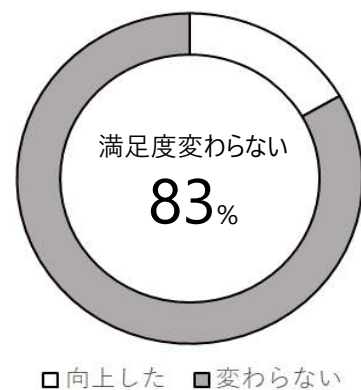


図6 FA, IoT導入後の仕事への満足度(n=12)

Figure 6 Satisfaction with work after introducing FA and IoT (n=12)

3. 製造業と組織形態

一般に規模の大きい企業ではすべての従業員に対してきめ細やかなマネジメントを行うことが難しくなり、上位者の管理が管理対象組織全体に行き届かなくなることも増えてくる。その結果、組織のどこで何が起きているのか、変化を把握できなくなり、課題やトラブルが生じていてもすぐに気づけなくなるケースが増加する。従って組織の規模が大きくなるとともに、組織形態として、トップダウンで上長から下位へと指示や命令が下り、経営者以外は他者にマネジメントをされている状態をつくり出せるピラミッド型の組織形態を採用する企業が多い。

当社のような製造業では、課題やトラブルにすぐに対応できなければ、大量の品質不良や大きな設備トラブルに繋がりがビジネスに影響する。その為当社もやはりピラミッド型組織となっている。またピラミッド型組織は指揮命令系統が1方向となるため、明確かつシンプルで、混乱、変化が起きにくいという点がメリットとして挙げられる。その為、当社のようにモノを大量生産する企業にとって適切であり、必然性を持った組織形態であるとも言える。

しかし、指揮命令系統が1方向のみでシンプルである反面で例外対応業務の規則を属人化してしまっていることが問題の一つになっている(業務の属人化とは、ある特定の社員のみが担当し、業務関連情報が担当者にしかわからない状態になることである)。実際、当社のような部門へヒアリングすると、真っ先に業務の属人化が挙げられるケースが多い。属人化の弊害として、(1) 業務の標準がないため業務プロセスや業務品質の改善が困難、(2) 担当者が退職等ではなくなった場合、重要な情報が失われ引継ぎも困難、(3) ノウハウが共有されず全体レベルが向上しない等が挙げられる。また、ピラミッド型組織は、責任の所在が明確で、下位の各担当が自発的な起こす前には、責任者である上長の承認が必ず必要となる。上長へは多くの課題が集中するため、判断に時間を要するなど、トラブルリスクへの不安感から、上司が担当者へ非常に細かい説明を何度も要求する場合もある。その為、各担当の自発的な意思決定や行動は抑制されてしまい、結果として、自ら考えて動かない自律性の低い人材、つまり「指示待ち人間」が増えるという問題が増加している。統率されたマネジメントの中で、責任者からの指示で動くことを要求される中では、一人ひとり個性を持った人



図7 ピラミッド型組織
Figure 7 Pyramidal organization

間の良さ/裁量が発揮されない部分もある。これらのことは、FA・IoT 導入後も、仕事への満足度が向上しないことと密接に関わっていると考えられる。

4. Well-being と組織形態論

ラファエル・A・カルヴォ、ドリアン・ピーターズ[2]によれば、Well-beingには大きく医学的、快樂心理的、そして人間の潜在能力の発揮にかかわるエウダイモニア(ギリシャ語で幸福)的観点があるとされ、総じて「人生に意義を見出し、自分の潜在能力を最大限に発揮している状態」と定義されている。さらに、Well-beingを人間の能力発揮と捉える定義は、人口減少や働き手のニーズの多様化を背景として、厚生労働省が示す方向性「投資やイノベーションによる生産性向上とともに、就業機会の拡大や意欲・能力を存分に発揮できる環境を作ること」[3]とも一致している。このように、働く中で Well-being をどのように実現していくかということとは社会的課題と言われる。

製造業は顧客の要望に基づくきめ細かい対応が必要で、典型的な労働集約的な産業である。製品を作る従業員の処理能力は限られており、個人個人が処理能力ギリギリの負荷を負う形で顧客要求が満たされていた。結果として従業員は重労働で精神的に負担が大きい仕事となっていた。その状況において、FA・IoT 導入は、一人で対応できる作業の数を増やす、労働に伴う負担を減らすなど、労働生産性を上げる目的で導入されてきた。その結果、「生産性」的な効率化には成功した。しかし一方で従業員は仕事において十分な満足感を得られているとは言えず、いまのところ Well-being が達成されている状況とは言えない。

従業員が仕事を含めた Well-being な状況となるためには仕事(企業)における組織形態を考えることは重要である。組織形態に関して、近年、生産性/ビジネス/Well-being を両立し得る組織形態としてティール組織が提唱されている[4]。その中では図8に示すように組織モデルをその進化過程ごとに色で区別した5つの組織モデルがあり[5]、現状当社の組

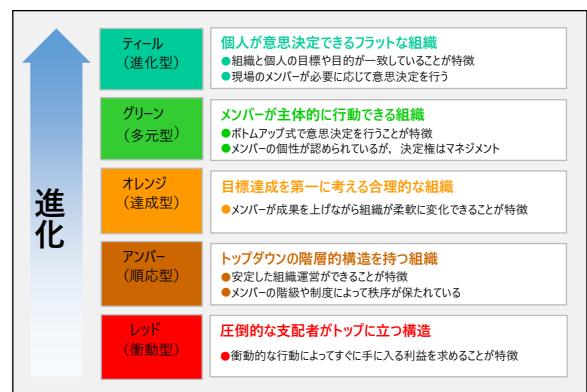


図8 5つの組織モデル
Figure 8 Five organization models

組織形態はアンバー～オレンジの組織に近い。アンバー～オレンジ組織はピラミッド型組織であるが、ピラミッド型組織のトップダウン階層構造の中ではトップの意思は絶対となりその為下位からの反論が許容されにくい。結果として上司とのコミュニケーション不足に陥り、上司に対して不満を抱えた状態で、例外対応として業務を属人化し、自律的に働くことをあきらめて指示待ち人間になるケースが認められる。このことは、人間関係の問題として表面化することが多い。事実、一般的にも社員がモチベーションを低下させる因子として職場の人間関係が好ましくないことはよく挙げられる[6]。すなわちピラミッド組織は人が離れていく組織形態と考えられる。

対して ティール組織は組織内に権力を集中させたリーダーは存在せず、現場においてメンバーが必要に応じて意思決定をおこなうことが特徴である。ティール組織の提唱者であるラルー氏は、表 1 に示すような 3 つの重要な要素を唱えている[4]。これら 3 つの要素の共通項はコミュニケーションであり、フラットで活発なコミュニケーションをとれる環境が確保された組織であることで、人間の能力は最大限に発揮され、Well-being の実現に繋がる[7]。ティール組織は表 2 に示すようにピラミッド型の問題を解決できる組織と考えられ、事実、製造業の枠組みにおいてもティール組織を採用して成功しているフランスの自動車部品製造メーカー(FAVI、従業員 500 名)の例も報告されている[4]。

ただし、暗黙知の多い、大規模製造業で従来機能でのアウトプットを劣化させることなくティール組織を成功させるにはセルフマネジメントにおける「助言プロセス」と呼ばれ

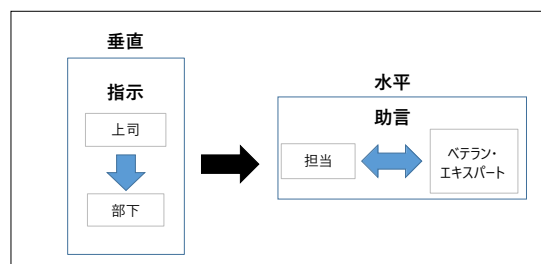


図9 指示から助言へ（垂直から水平へ）
Figure 9 Transformation from instructions to advices

る考え方がキーになる。「助言プロセス」とは適切な意思決定を助ける「助言を得られる仕組み」であり、従来のピラミッド組織において行われていた上から下への業務指示を代替するものである(図 9)。このプロセスにより組織で動く人間はアクションを起こす前に適切な情報を得ることができ、従来の上司→部下でやり取りされていた情報伝達の内容が損なわれることはない。

5. 当社の向かうべき姿

筆者らは、旧来の組織にティール組織の仕組みを組み込むことで高付加価値創出と Well-being を実現できる組織形態に進化(ある種の行動変容)していくと考えている。その変容において課題となるのはピラミッド型で実施していた上意下達業務フローをどのように仕事の質を損なわずに変えていくかである。4 項で述べた「助言を得られる仕組み」を実現する手段として、図 10 に示すような IoT/デジタル技術よりなる知識ベースを包含した「集合知プラットフォーム」が必要となってくる[8]。従業員が集合知プラットフォームに接続された組織では、現在の上位者の指示通りに動く個の尊重の少ない行動から、個が自律して助言し合うような行動へ変容する。またそこでは個人の気づき、工夫を集合知プラットフォームにアップロードすることで知識ベースを強化したり、AI による社内ジョブマッチングなども可能である。これにより、従業員は常に各人の性格、価値観、体調に適し

表1 ティール組織の3つの柱
Table 1 Three Pillars of Teal Organizations

柱	内容
セルフマネジメント	メンバーには責任に応じて大きな裁量が与えられるメンバーが意思決定する権利を持っている状態となるため、会社が保有している情報は、基本的にメンバーに対して開示され、適切な意思決定をするための助言を得られる仕組みも必要となる。
ホールネス	ティール組織におけるメンバーは、それぞれが対等(フラットな関係)であり、組織はメンバー全員のものであると考える。「組織の社会的使命を果たすために自分ができること」と「自分自身の目標達成のための行動」が一致した組織である。
エボリューションナリー・パーパス	メンバーが組織の目的をはっきりと理解し、組織の使命を果たすための自律的な行動ができなくてはならない。

表2 ピラミッド組織、ティール組織の比較
Table 2 Comparison of Pyramid organization Teal organization

	評価軸			
	マネジメント	業務の属人化	社員の自律性	社員の Well-being
ピラミッド型組織	Good	Bad	Bad	Bad
ティール型組織	Good	Good	Good	Good

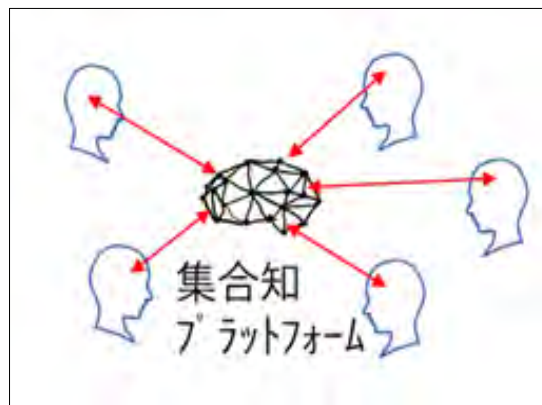


図 10 集合知プラットフォーム
Figure 10 Collective knowledge platform

た仕事を得ることが可能となり、結果として全体(Well-being, 会社, 社会)の利益をも最大化していく。現在、筆者らはこのような将来向かうべき姿の実現に向けて技術開発に取り組んでいる。

参考文献

- [1] 藤森崇起：アルミニウム板製品の製造プロセスと品質管理，第25回 表面探傷シンポジウム講演論文集， pp.1-8 (2022).
- [2] ラファエル・A・カルヴォ， ドリアン・ピーターズ，
Positive Computing : Technology for Well-being and Human Potential :
MIT press
(渡邊淳司，ドミニク・チェン監訳『ウェルビーイングの設計論』，BNN， 2017) (2014)
- [3] 厚生労働省.『働き方改革』の実現に向けて，
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000148322.html>
(2019年7月25日現在)
- [4] フレデリック・ラルー. Reinventing Organizations. 英治出版
(2014)
- [5] ティール組織とは？それぞれの組織モデルをわかりやすく解説
<https://hr-trend-lab.mynavi.jp/column/organizational-development/1509/>(2023年2月17日現在)
- [6] 厚生労働省. 平成30年若年者雇用実態調査の概況
- [7] テレワーク導入による Well-being の向上一個人と組織の Well-being—デジタルプラクティス Vol.10 No.4.(Oct. 2019)
<https://www.ipsj.or.jp/dp/contents/publication/40/S1004-S01.html>(2023年2月17日現在)
- [8] ティール組織の内部コミュニケーションはどうなっているか(5分読書#46)
<https://hr-trend-lab.mynavi.jp/column/organizational-development/1509/> (2023年2月17日現在)

IoT 行動変容に向けた向社会的行動の他者推奨意向に関する検討

山崎悠大^{†1}
KDDI 総合研究所

曹蓮^{†2}
KDDI 総合研究所

柏本幸俊^{†3}
KDDI 総合研究所

上坂大輔^{†4}
KDDI 総合研究所

概要

近年、災害の激甚化やコロナ禍を受け、人と人との助け合いがより重要視されてきている。相手のことを思いやっ、または誰かのために行う行動は向社会的行動と呼ばれ、Inducements(誘引)やPersuasion(説得)に代表される介入を行うことで向社会的行動を促進する行動変容研究が数多くなされている。しかしながら、既存研究の課題として直接介入されていない人に対する行動変容の実現が困難であることが挙げられる。限られた対象者への介入でより多くの人や社会に影響を及ぼすためには、介入対象者の向社会的行動を促進するだけでなく、他者への推奨を促す行動変容技術が必要である。そこで本研究では、行動変容のステージが説得受容(介入によって説得を受け入れ、対象行動を行う意欲がある状態)と他者推奨意向(人に対象行動を推奨する状態)の2段階で進行すると仮説を立て、介入対象者が他者推奨意向に至り、行動変容が他者に伝搬する要因が何であるかを明らかにする。向社会的行動の1つである「パトロールラン」を対象とし説得的介入を含む206名を対象にしたWEBアンケート調査結果の媒介分析(Bootstrap法)により、説得的介入を受けた実験群で2つの変数の媒介効果が有意となった(向社会性認知: $z = 3.43$, $p < .01$, 自発性: $z = 2.08$, $p < .05$)。よって説得受容から他者推奨意向に至る過程で、自発性と向社会的行動の向社会性認知に媒介効果があることを明らかにした。本プロセスを情報システムによる向社会的行動変容支援へ活用することで、その効果が広く波及することが期待される。

1. はじめに

一般に相手や誰かを思いやっ、行う利他行動や援助行動は向社会的行動と呼ばれる。向社会的行動は社会に利益をもたらすことから、その促進に関する様々な研究が行われている。Capraraらは中学生を対象に思春期の向社会的行動を促進する介入プログラムを実施し、身体および言葉に

よる攻撃の減少と支援行動の増加を確認しており[1]、曹らは特定の向社会的行動の促進が日常的な向社会的行動の般化を及ぼすかどうかについて検証している[2]。

このような特定の行動を促進する介入の1つにPersuasion(説得)が存在する。Marjaらは説得を金銭の授受や行動の強制を伴わずに言語的および非言語的なシンボルを用いて人の行動の促進を行うことであると説明づけている[3]。説得はその効果が生じるまでに時間がかかる一方で効果の持続時間が長いという特徴があり、行動の習慣化に適している。よって現在までに座りすぎ行動の抑制[4]やオンライン学習活動に対する学生の関与促進[5]など幅広い行動を対象とした説得による介入が検討されている。また、同様に向社会的行動の促進においても説得の活用について様々な研究がなされている[6][7]。

ボランティア活動や寄付活動などの向社会的行動はより多くの人々によって実施されることで助け合いを生み、社会的に大きな効果を持つようになる。よって向社会的行動の促進介入においてはその影響を広く波及させることが重要である。説得介入は介入対象者の行動変容を促すことは自明であるが、介入対象者を媒介した他者への介入効果の伝搬については未検証である。本研究では向社会的行動の他者推奨の促進に向けて、向社会的行動を促す介入を受けた対象者は、まず向社会的行動を行う意欲がある状態(説得需要)に移行し、次に他者推奨意向を生じると仮定し、以下の課題に取り組む。

課題1 説得的介入によって向社会的行動の説得受容との関係性

課題2 向社会的行動の説得受容から他者推奨意向を導く要因の調査

課題1においては他者推奨意向について検証をする前に説得的介入によって介入対象者が説得を受け入れ、説得受容に移行することを確認する。そこで、本研究では社会的意義付けによる説得的介入を用いて対象行動の促進を行い説得受容度合を評価する。また、本研究における行動変容の対象行動には向社会的行動の中の1つである、日常の屋外での軽い運動(散歩・ジョギング)のついでに街の見回りを行う向社会的行動「パトロールラン」を選択する。

課題2では向社会的行動の他者推奨意向を生じる要因に

Manuscript Format for Kickoff Symposium of IPSJ Behavior Transformation by IoT (BTI)

^{†1} YAMAZAKI YUDAI, KDDI Research, Inc.

^{†2} CAO LIAN, KDDI Research, Inc.

^{†3} KASHIMOTO YUKITOSHI, KDDI Research, Inc.

^{†4} KAMISAKA DAISUKE, KDDI Research, Inc.

について検討する。特定の対象を他者へ推奨する態度や行動についてはレコメンド分野で広く研究がなされており、多くの研究が満足感と他者推奨の関係性について言及している。Bontis らは銀行業における顧客満足度が推奨意向に影響を与えると述べており [8], Al-Ansi らはハラル食品について信頼度や満足度が推奨意向に影響を与えると述べている [9]。これらの研究は概して購買行動における満足の度が高まることで他者推奨につながることを示唆している。しかしながら既存の研究では向社会的行動の他者推奨に関する検討が十分になされていない。向社会的行動は購買行動と異なり必ずしも自己が利益を得る行動ではないため、異なる要因を用いて他者推奨を促進する必要があると考えられる。そこで、本研究では向社会的行動の促進を目的とした説得的介入によって介入対象者は初めに説得受容に移行し、その後に説得を受け入れた対象行動を人に推奨する状態 (他者推奨意向) に移ると仮定する。本仮定に基づき説得受容と他者推奨意向を媒介する要因について検証を行う。ここで本研究は媒介変数の候補として考えられる次の3つの変数について検討する。まず1つめの検証対象は行動の向社会性認知である。向社会的行動は他者のために実施する行動であることから、その意義すなわち行動の目的やその価値を認知することで他者推奨意向を生じる可能性がある。2つめの媒介変数の候補としては自発性が考えられる、自発性が高い人は自ら向社会的行動に取り組む傾向があると考えられるため、同様に自発的な他者推奨意向を示す可能性がある。3つ目の媒介変数候補としては自分に対して対象行動が利益をもたらすと感じる度合 (自己利益) が考えられる。向社会的行動においては行動が直接自身の利益になるとは限らないが、他者や社会への貢献を通して向社会的行動が自身にとっても有益であると感じる場合にはその他者推奨傾向が見られる可能性がある。以上より本研究では課題2の対処を目的として介入対象者の行動の向社会性認知、自発性、自己利益について検証する。また、本課題2は課題1の説得的介入の効果検証に基づいて実施するため、その対象行動についても課題1と同じ「パトロールラン」を用いる。

以上の方針を踏まえ、本研究では説得的介入を含むWEBアンケート調査を実施する。アンケートでは回答者を統制群と実験群に分け、実験群にのみ「パトロールラン」を促進する説得的介入を行う。本調査では課題1の説得的介入の効果検証を行うために説得受容を測定し、分析する。次に課題2の対処として行動の向社会性認知、自発性、自己利益、他者推奨意向について測定し、媒介分析によって説得受容から他者推奨意向の間の媒介要因を明らかにする。



図1 社会的意義付けによる説得記事

以下に本稿の構成を述べる。第2章では本研究の課題を検証するために実施したWEBアンケート調査について述べ、第3章でその分析結果について説明する。第4章では本稿の結論を述べる。

2. WEB アンケート調査

2.1. アンケート設計

本研究では課題1の向社会的行動の促進を目的とした説得的介入の効果と課題2の向社会的行動の説得受容と他者推奨意向の媒介要因を検証するためにアンケート調査を行った。本アンケートでは初めにその調査対象を対象行動「パトロールラン」が可能な人に絞るため、週1回以上屋外での軽い運動 (散歩・ジョギング) を行っており、今後も引き続き継続しようとする意欲がある24歳-69歳の回答者計206名を対象とした。次に説得的介入の効果と比較するため、被験者全体を統制群103名と実験群103名の2組にランダムに割り付け、実験群にのみ「パトロールラン」の社会的意義付け記事を提示して説得的介入を行った。最後に後述する複数の質問調査項目を用いてアンケートを実施し、課題1の説得的介入の効果および課題2の説得受容と他者推奨意向を媒介する要因を分析した。本アンケートはWEBアンケート調査会社に依頼し、2022年12月12日 (月)~2022年12月13日 (火) に実施した。

表 1 質問調査項目

尺度	質問調査項目
説得受容 (実験群)	今後、パトランを意識した屋外での軽い運動 (散歩・ジョギング) を行おうと思いますか？
説得受容 (統制群)	今後、誰かのためになることを意識した屋外での軽い運動 (散歩・ジョギング) を行おうと思いますか？
向社会的認知	あなたが現在行っている屋外での軽い運動 (散歩・ジョギング) は誰かの役に立つと思いますか？
自発性	今までやったことのない新しい目標を立て進んで軽い運動 (散歩・ジョギング) を行う 軽い運動 (散歩・ジョギング) をしようと思えば、誰かに言われなくても進んで行う 誰かの役に立つ軽い運動 (散歩・ジョギング) であれば、言われなくても進んで行う
自己利益	誰かのためになることを意識した屋外での軽い運動 (散歩・ジョギング) は、 今後自分の利益にもなると思いますか？
他者推奨意向	普段行われている屋外での軽い運動 (散歩・ジョギング) を誰かに勧めたいと思いますか？

2.2. 社会的意義付けによる説得記事

アンケート回答者のうち実験群には図 1 に示す記事を提示した。本記事は「パトロールラン」についての説明とその社会的意義を伝えるものとなっており、閲覧者に「パトロールラン」を意識して軽い運動を行うと街の安全安心に貢献できることを提示した。

2.3. 質問調査項目

本アンケートにおける尺度と質問調査項目を表 1 に示す。まず課題 1 の対処のために説得受容の質問調査を行った。次に行動の向社会的認知、自発性、自己利益、他者推奨意向に関して質問することで、どの変数が説得受容と他者推奨意向の因果関係を媒介するのかを明らかにした。以降は各調査項目について説明する。

説得受容

説得受容は実験群と統制群で質問項目が異なる。実験群については説得記事を踏まえて今後「パトロールラン」を意識した軽い運動を行う意思がどれくらいあるか測定することを目的として独自項目を作成した。また、統制群については本質問項目の回答を依頼することが説得的介入とならないように質問文の「パトロールラン」を「誰かのためになること」に置き換え、一般的な向社会的意識した軽い運動を行う意思があるかどうかについて質問している。本項目により統制群では説得的介入が無い状況における向社会的行動の受容度合い測定する。いずれも 5 件法 (1: まったく当てはまらない-5: 非常に当てはまる) を用いて測定した。

向社会的認知

向社会的認知は自身の実施する軽い運動に向社会的性をどれくらい感じるか測定することを目的とした独自作成項目である。5 件法 (1: まったく当てはまらない-5: 非常に当てはまる) を用いて測定した。統制群については説得記事による介入を実施していないため、本質問項目によって一般的な軽い運動に対する向社会的性の認知度合いを測定した。

表 2 井上らによる自発性尺度 [10]

質問調査項目
今までにやったことのない新しい行事などはすすんでやる 皆の役に立つことであれば進んでその仕事を引き受ける 自分で発言しようと思えば誰かに言われなくても進んで発表する

他者推奨意向

他者推奨意向は軽い運動に対する他者推奨意向を測定することを目的とした独自項目であり、5 件法 (1: まったく思わない-5: 非常にそう思う) で測定した。また、本質問項目について「非常にそう思う」「ややそう思う」と答えた回答者についてその理由を「運動が楽しいと思うから」、「健康のためになると思うから」、「一緒に運動する仲間が欲しいから」、「運動をすること自体に意義を感じるから」、「その他」の 5 つの選択肢それぞれについて 5 件法 (1: まったく当てはまらない-5: 非常に当てはまる) で質問した。

自発性

自発性は井上らが開発した中学校における自主性尺度項目 [10] の下位尺度である自発性尺度 (表 2) を参考に、本研究の対象行動 (パトロールラン・軽い運動) に対する回答者の自発性を測定する質問調査項目を作成した。各質問項目について 5 件法 (1: まったく当てはまらない-5: 非常に当てはまる) を用いて測定した。本アンケート調査において α 係数は .75 であった。

自己利益

自己利益は向社会的行動としての軽い運動が自身にとってどれくらい利益をもたらすと感じるか測定することを目的とした独自項目である。5 件法 (1: まったく当てはまらない-5: 非常に当てはまる) を用いて測定した。

3. アンケート分析結果

3.1. 説得的介入の効果確認

はじめに課題1に対処するため「パトロールラン」に関する社会的意義付け記事を用いた説得的介入と説得受容との関係を確認した。まず実権群に対して「パトロールラン」の記事の理解を確認する質問を行い、正しく記事を理解できていない回答者については記事を教示通りに閲覧していないとみなして以降の分析から除外した。ここでは実験群のうち19名を除外し、実験群84名、統制群103名のデータを採用した。次に屋外での軽い運動を向社会的行動として行う意思があるかどうかを説得受容の項目で測定した。測定結果より実験群は「3: どちらともいえない」を基準としたとき有意に高い値 ($t_s > 2.27, p_s < .05$) が示されたのに対して、統制群は同基準値に対して有意な差は示されなかった。以上の結果から説得的介入を受けた実験群は介入によって説得を受け入れ対象行動を行う意欲がより高く、説得的介入の効果が確認された。続いて向社会的行動の他者推奨について検討する。

3.2. 向社会的行動の他者推奨意向

続いて本節では課題2の説得受容と他者推奨意向の因果関係を媒介する要因が何であるかを検証するため、向社会的認知、自発性、自己利益について Bootstrap 法を用いた媒介効果の検証を行った。また、本媒介分析には心理統計分析用のソフトウェア HAD を用いた [11]。

向社会的認知の媒介効果

まず、向社会的認知が向社会的行動の説得受容を他者推奨意向に導くかどうかを実験群と統制群で検証した。向社会的行動の他者推奨意向を従属変数、説得受容を独立変数、向社会的認知を媒介変数とにおいて実験群の媒介分析を行った結果を図2に示した。分析結果より説得受容から他者推奨意向 ($\beta = .54, p < .01$)、向社会的認知 ($\beta = .61, p < .01$) にそれぞれ有意な正の効果が確認できた。また、向社会的行動の向社会的認知から他者推奨意向 ($\beta = .37, p < .01$) に有意な正の効果が示された。加えて、向社会的行動の説得受容が向社会的認知を媒介して他者推奨意向に有意な媒介効果がみられた ($z = 3.43, p < .01$)。また、この際媒介変数の投入後に $\beta = .54$ が $\beta = .31$ と減少しており、媒介変数による効果が確認できた。

続いて統制群についても実験群と同様の媒介分析を実施し、その結果を図3に示した。統制群では説得記事による介入は実施していないが、実験群と同様に行動の向社会的認知に関する質問調査によって測定された一般的な軽い運動に対する向社会的認知度合に基づいて分析を行った。分析結果より統制群についても説得受容から他者推奨意向

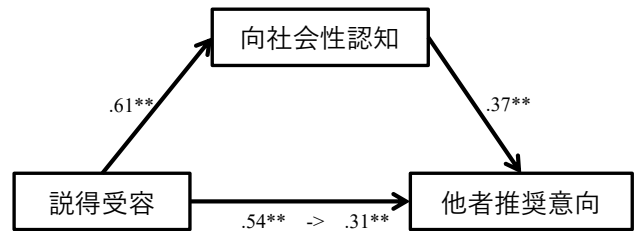


図2 実験群における社向社会的認知の媒介効果

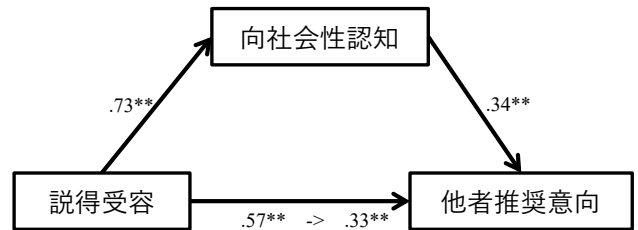


図3 統制群における向社会的認知の媒介効果

($\beta = .57, p < .01$)、向社会的認知 ($\beta = .73, p < .01$) にそれぞれ有意な正の効果が確認でき、向社会的行動の向社会的認知から他者推奨意向 ($\beta = .34, p < .01$) に有意な正の効果が示された。さらに実験群と同様に媒介分析を行ったところ媒介効果が有意であることが示され ($z = 2.89, p < .01$)、媒介変数の投入前後で $\beta = .57$ が $\beta = .33$ に減少していることから媒介変数による効果が示された。

以上の結果から、説得記事による介入の有無にかかわらず向社会的性を意識した軽い運動を行う意思を持っている人は、自身の軽い運動の社会的意義を感じているほど他者推奨意向が促進されることが示された。よって自身の軽い運動の社会的意義を感じるように介入を実施することで、より向社会的行動の他者推奨を促進させることができると考えられる。また、介入を行わずとも元より向社会的行動を行う傾向のある人は自身の軽い運動の社会的意義を感じることで自発的に他者推奨を行う傾向があることを示唆している。

自発性の媒介効果

次に自発性が向社会的行動の説得受容と他者推奨意向の因果関係を媒介するかどうかについて実験群と統制群で検証した。向社会的行動の他者推奨意向を従属変数、説得受容を独立変数、自発性を媒介変数とにおいて実験群の媒介分析を行った結果を図4に示した。分析結果より説得受容から他者推奨意向 ($\beta = .54, p < .01$)、自発性 ($\beta = .59, p < .01$)、にそれぞれ有意な正の効果が確認できた。また、自発性から他者推奨意向 ($\beta = .26, p < .05$) に有意な正の効果が示された。続いて説得受容と他者推奨意向を自発性が媒介することを検証する目的で媒介分析を行った。結果として有意な媒介効果が確認された ($z = 2.08, p < .05$)。さらに自

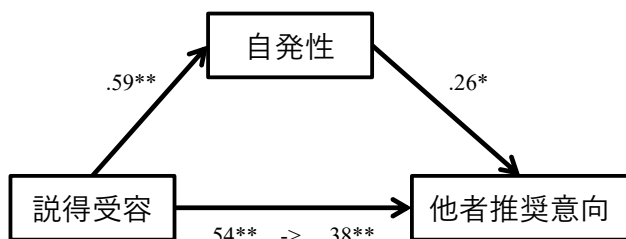


図4 実験群における自発性の媒介効果

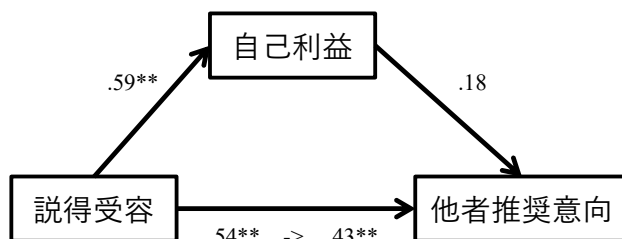


図6 実験群における自己利益の媒介効果

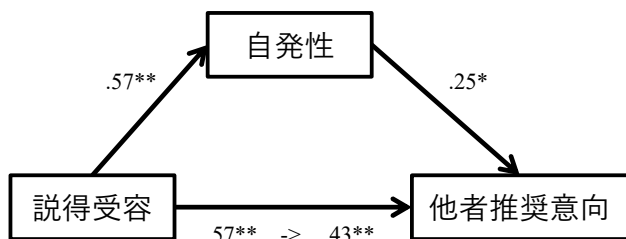


図5 統制群における自発性の媒介効果

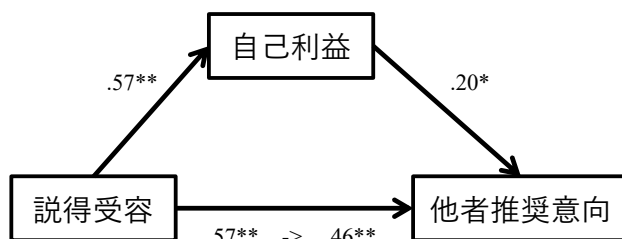


図7 統制群における自己利益の媒介効果

発性を媒介変数として投入することで $\beta = .54$ が $\beta = .38$ と減少しており、媒介変数による効果が見られた。

統制群についても実験群と同様の媒介分析を実施し、図5に分析結果を示した。図5は統制群についても説得受容から他者推奨意向 ($\beta = .57, p < .01$) と自発性 ($\beta = .57, p < .01$) に有意な正の効果があることを表している。また、向社会的行動の向社会的性認知から他者推奨意向 ($\beta = .25, p < .05$) に有意な正の効果が示された。加えて媒介分析をおこなったところ、媒介効果がみられなかった ($z = 1.81, n.s.$)。

分析結果から説得記事による介入がある場合には説得受容と他者推奨意向の関係性に自発性が影響を与えることが示された。本結果より自発性の高い人に向けた向社会的行動の説得はより他者推奨意向を生み、向社会的行動を伝搬させると考えられる。また、自発性を高める介入がより向社会的行動の他者推奨を促す可能性がある。一方で統制群においては説得受容と他者推奨意向の関係に自発性を与える影響が小さいことが分かった。統制群では説得受容の項目で一般的な向社会的行動の意向を測定していることから、自発的に向社会的行動を実施する状況について想定出来ない可能性が考えられる。

自己利益の媒介効果

同様に自己利益が向社会的行動の説得受容から他者推奨意向を媒介するのかどうかを検証した。向社会的行動の他者推奨意向を従属変数、説得受容を独立変数、自己利益を媒介変数として実験群の媒介分析を行った結果を図6に示した。分析結果は説得受容から他者推奨意向 ($\beta = .54, p < .01$)、自己利益 ($\beta = .59, p < .01$) にそれ

表3 高い他者推奨意向を示した回答者の理由回答

理由	実験群 (n=46)	統制群 (n=55)
運動が楽しいと思うから	76.1 %	65.5 %
健康のためになると思うから	97.8 %	98.2 %
一緒に運動する仲間が欲しいから	39.1 %	36.4 %
運動をすること自体に意義を感じるから	80.4 %	76.4 %
その他	8.7 %	7.3 %

ぞれ有意な正の効果を示したが、自己利益から他者推奨意向 ($\beta = .18, n.s.$) に有意な正の効果が示されなかった。本要因についても自己利益を媒介変数とした媒介分析を行ったところ媒介効果が有意ではなかった ($z = 1.41, n.s.$)。統制群についても図7のように同様の分析を行ったが自己利益に関して媒介効果は見られなかった ($z = 1.65, n.s.$)。本結果より向社会的行動が自身にとって利益をもたらすと感じる度合いが他者推奨意向に与える影響は小さいことが示された。

高い他者推奨意向を示した回答者の理由

他者推奨意向の質問調査項目について「非常にそう思う」「ややそう思う」と回答し、他者推奨意向が高いと判断できる実験群46人、統制群55人についてその理由に関する質問を行った結果を表3にまとめる。結果より他者推奨意向が高いユーザのうち「運動をすること自体に意義を感じるから」を選択したユーザが両群とも70%以上と高く、実験群は統制群と比べて4%高いことが示された。次にここで回答された運動の意義が社会的意義を指しているかを明らかにするために実験群、統制群のそれぞれで向社会的性認知

を従属変数として他者推奨意向の高い群と低い群を 2 標本 t 検定で比較した。その結果、実験群と統制群の両方で他者推奨意向が高い群は低い群と比べて向社会的認知が有意に高いことが示された (実験群: $t(82) = -5.7, p < .01$, 実験群: $t(101) = -4.1, p < .01$)。よって向社会的行動の他者推奨意向が高い人はより行動の社会的意義を理解して行動の他者推奨意向に至っていることが示された。また、回答者の多くは「運動が楽しいと思うから」や「健康のためになると思うから」についてもその回答理由に挙げていた。従って、楽しさや健康といった理由が基盤にあった上で、社会的意義をあわせて運動をすることを他者に推奨していると考えられる。

以上の結果より本検討では向社会的行動の説得受容から他者推奨意向へ至る過程を向社会的認知と自発性が媒介することが示された。

4. おわりに

本研究の目的は向社会的行動の促進に向けた説得的介入において向社会的行動の他者推奨意向を導く要因を明らかにすることである。本目的のため、本研究では行動変容のステージが説得受容 (介入によって説得を受け入れた状態) と他者推奨意向 (人に対象行動を推奨する状態) の 2 段階で進行すると仮説を立ててその媒介変数を明らかにするために WEB アンケート調査を実施した。また、本調査においては向社会的行動の 1 つであるパトロールランを対象行動として選んだ。アンケート調査結果より各被験者の行動に対する社会的な意義の理解と行動に対する自発性が説得受容と行動の他者推奨意向を媒介することが分かった (向社会的認知: $z = 3.43, p < .01$, 自発性: $z = 2.08, p < .05$) 以上のように向社会的行動の他者推奨を促すためには行動の自発性や社会的意義の理解を向上させる介入が有効であることが示唆された。本研究結果を情報システムによる行動変容に活用することで、一部の個人に向社会的行動を促進する介入の効果が他者にも波及し、結果的に人々が助け合う社会の実現に寄与できる可能性がある。今後の課題として説得的介入による態度変容の長期的な効果、および行動面での効果についても検証を行う必要がある。また、他者推奨行動は他者とのかわりの中で生じるものであることから個人の特性のみならず集団やコミュニティの特性を活用することによって向社会的行動の他者推奨を促す技術について検討できる可能性が考えられる。

参考文献

- [1] Caprara, G. V., Kanacri, B. P. L., Gerbino, M., Zuffianò, A., Alessandri, G., Vecchio, G., Caprara, E., Pastorelli, C. and Bridglall, B.: Positive effects of promoting prosocial behavior in early adolescence: Evidence from a school-based intervention, *International Journal of Behavioral Development*, Vol. 38, No. 4, pp. 386–396 (online), 10.1177/0165025414531464 (2014).
- [2] 曹蓮, 山崎悠大, 柏本幸俊, 上坂大輔. 向社会的行動の般化に及ぼす心理的要因 ~社会的意義づけされた軽い運動に焦点を当て~, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎 (HCS) 2022 年 12 月研究会 (2022).
- [3] Harjuma, M. and Oinas-Kukkonen, O.: Persuasion Theories and IT Design, pp. 311–314 (online), 10.1007/978-3-540-77006-0_37 (2007).
- [4] Aldenaini, N., Alqahtani, F., Orji, R. and Sampalli, S.: Trends in Persuasive Technologies for Physical Activity and Sedentary Behavior: A Systematic Review, *Frontiers in Artificial Intelligence*, Vol. 3 (online), 10.3389/frai.2020.00007 (2020).
- [5] Orji, F. A., Vassileva, J. and Greer, J.: Evaluating a Persuasive Intervention for Engagement in a Large University Class, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 31, No. 4, pp. 700–725 (online), 10.1007/s40593-021-00260-4 (2021).
- [6] 柏本幸俊, 曹蓮, 山崎悠大, 上坂大輔. 向社会的行動促進に向けた心理プロセス調査と AI による行動誘発・習慣化に向けた展望, 情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループ 第 2 回研究会, p. 33–39 (2022).
- [7] Slattery, P., Finnegan, P., Vidgen, R. and Land, L.: Persuasion in prosocial domains: Explaining the persuasive affordances of volunteering websites (2014).
- [8] Bontis, N., Booker, L. D. and Serenko, A.: The mediating effect of organizational reputation on customer loyalty and service recommendation in the banking industry, *Management Decision*, Vol. 45, pp. 1426–1445 (2007).
- [9] Al-Ansi, A., Olya, H. G. and Han, H.: Effect of general risk on trust, satisfaction, and recommendation intention for halal food, *International Journal of Hospitality Management*, Vol. 83, pp. 210–219 (online), <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2018.10.017> (2019).
- [10] 井上史子, 沖 裕貴, 林 徳治中学校における自主性尺度項目の開発, 教育情報研究, Vol. 21, No. 3, pp. 13–20 (2006).
- [11] 清水裕士. フリーの統計分析ソフト HAD: 機能の紹介と統計学習・教育, 研究実践における利用方法の提案, メディア・情報・コミュニケーション研究, No. 1, pp. 59–73 (2016).

骨格推定を用いたバドミントンの スマッシュフォーム改善アプリの実装

大原黎明^{†1}

慶應義塾大学環境情報学部

中嶋桃香^{†2}

慶應義塾大学環境情報学部

浜中智己, 佐々木航^{†3}

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

大越匡^{†4}

慶應義塾大学環境情報学部

中澤仁^{†5}

慶應義塾大学環境情報学部

概要

部活動においてスポーツの習熟度を向上させるためには顧問やコーチなどの指導者の指導力が大きく関係する。一方で、膨大な仕事量による教員のリソース不足や学校に在籍する教員の中で顧問を決定するため経験のないスポーツの部活動を担当してしまい、十分に指導することができない問題がある。本研究ではバドミントンのスマッシュの動作に焦点を当て、スマートフォンを用いて国際大会に出場するレベルの選手のスマッシュ動作と比較する。そして、四肢の類似度スコアを算出して問題のある部位とともにフィードバックを行うシステムを開発、効果の検証を行なった。

1. はじめに

中学校、高校の部活動の顧問は基本的にその学校に在籍している教員が担当するため経験のないスポーツの顧問になってしまう教員が一定数存在することに加えて経験がある教員も習熟度や指導力が高いとは限らない。また、部活動以外の仕事で忙しいため指導を行う時間を割くことができない場合もある。一方で優秀な指導者が指導しないと習熟度を向上させることは難しいという問題がある。

また、バドミントンのコーチングをサポートするためのシステムに関する既存研究として、Myo という慣性と筋電図を

計測することが可能なウェアラブル端末を使用する研究 [1] と Kinect を用いて骨格情報を取得してそれを利用する研究 [2] がある。ただ、どちらも一般の人が所持しない特殊な機材を用意する必要があるため一般のユーザが利用しにくいという問題がある。よって本研究では広く普及しているスマートフォンをシステムとのインターフェースとして利用することで一般のユーザも利用しやすくする。

スマートフォンを持った状態で動くスポーツをする上で動きの邪魔になってしまう問題が発生するため本研究ではスマートフォンはカメラとして利用する。また、動画から不要な情報を削除するための前処理として OpenPose を利用して骨格情報の取得を行う。さらに、国際大会に出場した選手の動画から右腕・左腕・右脚・左脚の骨格情報を取得し、DTW^{*1}を用いて類似度を算出するライブラリを作成した。そして作成したライブラリを用いて各部位の類似度スコアを算出し問題のある部位とともにフィードバックを行う。

本研究の貢献は以下の通りである。

- 特殊な機材を必要とせずに広く普及しているスマートフォンを利用してバドミントンのコーチングをサポートするためのシステムを開発した。
- 実験にてシステムを利用したグループにスコアの向上が見られた。

本論文では以下のように構成される。2章では、類似度スコアの算出手法の詳細について述べる。3章では構成したシステムをもとに行う実験手順を述べる。4章では実験結果について述べる。5章では結果をもとにした考察を行い今後の課題を明らかにする。5.2章では今後の課題をもとにした今後の展望を述べる。

Using Skeletal Estimation Implementation of an application to improve badminton smash form

^{†1} REIMEI OHARA, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

^{†2} MOMOKA NAKAJIMA, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

^{†3} SATOKI HAMANAKA, Graduate School of Media and Governance, Keio University

^{†4} TADASHI OKOSHI, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

^{†5} JIN NAKAZAWA, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

^{*1} Dynamic Time Warping, 時系列データ間の類似性を計測するアルゴリズム

2. 本研究の手法

まず類似度スコアを算出するにあたり基準となるデータを収集するために YouTube からバドミントンの国際大会の動画をダウンロードする。そしてダウンロードした動画から選手がスマッシュを打っているシーンかつその選手のみが映るように切り出す。次に切り出した動画 (n=120) を OpenPose*2を用いて骨格情報の時系列データに変換し、それを一つのリストとしてまとめて npy ファイルに保存する。

システムを利用する際はスマートフォンを用いてユーザーが類似度を算出したいショットの動画を撮影する。そして撮影した動画を実験用に開発した Web アプリケーションのフォームからアップロードする。次にアップロードされた動画を OpenPose を用いて骨格情報の時系列データに変換する。また前述した npy ファイルの骨格情報を四肢ごとに分割しそれぞれに対して DBA*3を用いて類似度スコアを算出するための基準となる軸を作成する。そして基準となる軸とアップロードされた動画から変換された骨格情報の時系列データから DTW を用いて距離を算出する。次に図 1, 図 2, 図 3, 図 4 をもとにプロデータと素人データの境界値が 50 点になる sigmoid 関数を作成し、先ほど算出した距離を入力して類似度スコアを算出する。最後に各部位の類似度スコアに対して 40 点だと赤, 40 点 60 点だと黄色, 60 点だと緑色で類似度スコアをユーザーにフィードバックする (図 5)。

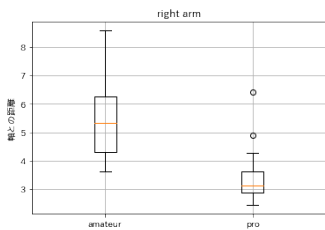


図 1 DTW を用いて算出した軸と入力値の距離の箱ひげ図 (右腕)

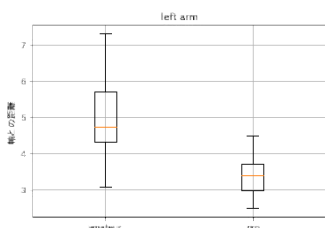


図 2 DTW を用いて算出した軸と入力値の距離の箱ひげ図 (左腕)

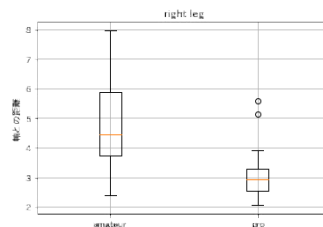


図 3 DTW を用いて算出した軸と入力値の距離の箱ひげ図 (右脚)

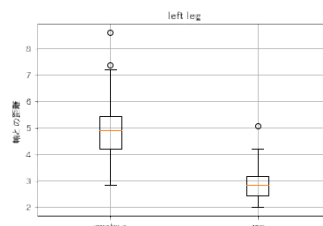


図 4 DTW を用いて算出した軸と入力値の距離の箱ひげ図 (左脚)

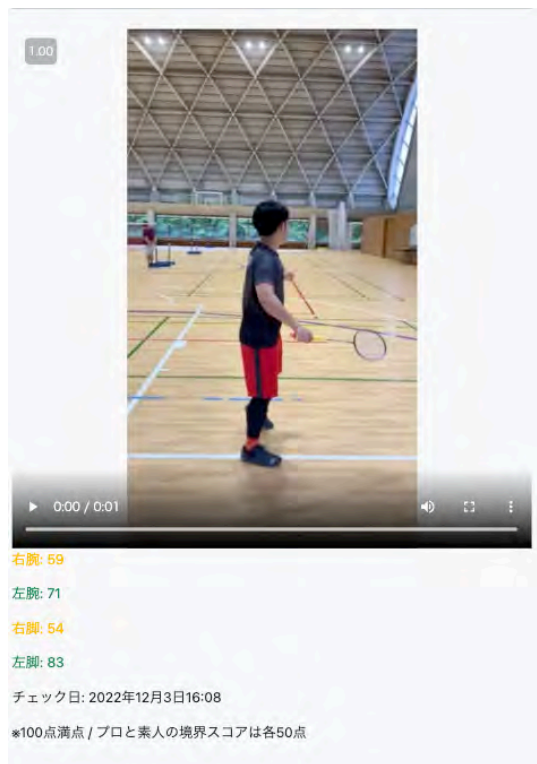


図 5 スコアのフィードバック

*2 画像から人の体や手などのキーポイントを検出するライブラリ
 *3 DTW Barycenter Averaging, 時系列データの平均を求めるアルゴリズム

本研究で実装するアプリケーションのシステム構成図を 図 6 に示す。

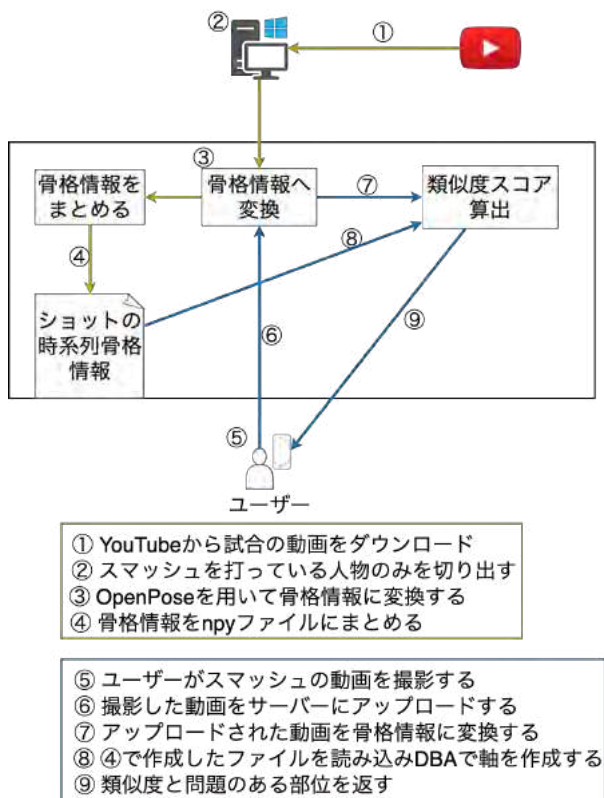


図6 システム構成図

3. 実験手順

3.1. 実験概要

バドミントンサークルのメンバーをシステムを使用するグループ (n=6), 使用しないグループ (n=5) にかけて3週間実験を行った。内容としては検証を行うために実験期間の最初と最後に両方のグループの被験者に対してシステムを使用してフォームのスコアを算出した。さらにシステムを使用したグループに対しては実験期間中サークル活動参加時に最低一回はシステムを利用して、システムからのフィードバックをもとにフォーム改善に努めた。また被験者に対してシステム利用時には試合の時と同じスマッシュのフォームで体全体がカメラに映るように後ろから撮影するように指示をした。

3.2. 実験参加者情報

バドミントンサークルに所属し過去にバドミントン部に所属していなかった未経験の学生を対象にした。システムを使用したグループの被験者の属性は20歳で3年生の男性,20歳で2年生の男性,19歳で2年生の男性,20歳で1年生の男性,21歳で2年生の女性,19歳で1年生の女性の計6人だった。また、システムを使用しなかったグループの被験

者の属性は20歳で2年生の男性,20歳で2年生の男性,18歳で1年生の男性,18歳で1年生の女性,18歳で1年生の女性の計5人だった。

4. 結果

システムを使用したグループと使用しなかったグループとでは使用したグループの方がプロ選手とのフォームの類似度スコアは高くなった。

各グループの実験開始時と終了時の各部位のスコアの遷移は以下の通りとなった(図7, 8, 9, 10)。青色の線がシステムを使用したグループで赤色の線がシステムを使用しなかったグループのスコアの遷移を表している。

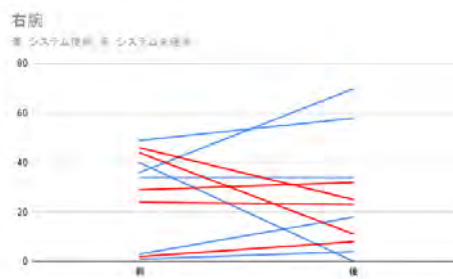


図7 実験結果(右腕)

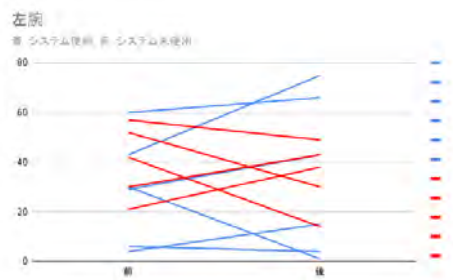


図8 実験結果(左腕)

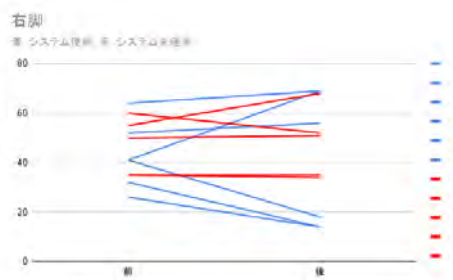


図9 実験結果(右脚)

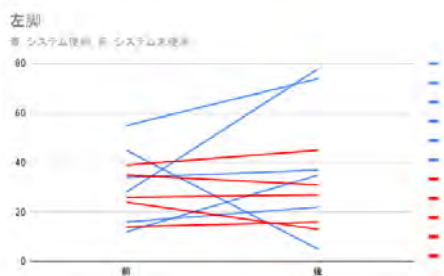


図 10 実験結果 (左脚)

また、各グループ・各部位の実験前後の差分の中央値 (表 1) は以下の通りになった。外れ値の存在が影響を与えないように中央値を使用した。

特に左脚に関しては他の部位と比較してシステムを利用したグループのスコアの向上がより顕著に見られた。

システム	右腕	左腕	右脚	左脚
使用群	+6	+8.5	-4	+12.5
使用しない群	-1	-8	0	1

表 1 各グループ・各部位の実験前後の差分の中央値

システムの評価として元山口県の代表選手で全国大会にも出場した経験のある人に各被験者の実験前後でのフォームの上達度を評価してもらった (表 2)。結果としてはシステムの評価と合致した評価もあるものの反対の評価をされた被験者も存在した。

システム	体全体の平均値	評価
使用	+9.75	変わらない
使用	+5.25	ややフォームが良くなった
使用	+36	とてもフォームが良くなった
使用	+6.5	ややフォームが良くなった
使用	-1.25	ややフォームが悪くなった
使用	-31.75	ややフォームが良くなった
使用しない	-7.25	変わらない
使用しない	-4.25	ややフォームが良くなった
使用しない	-14.75	変わらない
使用しない	3.25	ややフォームが良くなった
使用しない	4.25	変わらない

表 2 各被験者の上達度の評価

5. 考察と今後の展望

5.1. 考察

システムを使用したグループの中で体全体の平均で +36 と大きくスコアを向上させた被験者が存在するが、その人は実験中意欲的に何度もスコアの計測をするとともにフォー

ムの改善を行っていたことが大きく影響していると考えられる。一方で、システムを使用したグループの中で体全体の平均で -31.75 と大きくスコアを低下させた被験者についてはサークルの練習日に毎回ノルマである 1 度しかスコアの計測をしていたことが影響していると考えられる。このことからただフォームの類似度スコアをフィードバックするだけでなく利用者のモチベーションを向上させるフィードバックを行うことができるかが重要である。さらに被験者からのフィードバックの中でフォームが悪いことはわかるがどう改善すれば良いのかわからないという意見が多くあったので具体的な改善策がフィードバックされないことが利用者のモチベーションを向上させることができなかつた一因であった。

5.2. 今後の展望

今回は 3 週間とバドミントンが上手くなるには短い実験期間だったため次回の実験では 1~2 ヶ月と今回の実験よりも長い期間で実験を行いシステムの効果を検証したい。さらに、ただ部位ごとの類似度スコアをフィードバックするだけでは利用者は具体的にどのように動作を改善していけば良いのかわからずモチベーションも向上しないため、具体的なアドバイスを返す機能も実装する。またこの機能を実装するにあたり特定の部位に対して指摘を行うのか特定の時間軸に対して指摘を行うのかさまざまな方法が考えられるため各方法に対して検証を行い効果がある方法を見つきたい。システムの評価については今回は評価者が 1 人のみだったので複数の評価者を用意して再度システムの評価を行うとともに評価者は選手ではなく選手を育てる立場である指導者を中心に依頼したい。

謝辞 本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究 (05401)、JSPS 科研費 JP21K11853、JST RISTEX (JPMJRX21J1) の支援を受けたものである。

参考文献

[1] Kuo-Chin Lin, Chun-Wang Wei, C.-L. L. I.-L. C. N.-S. C.: Development of a badminton teaching system with wearable technology for improving students' badminton doubles skills, *Educational Technology Research and Development*, Vol. 69, pp. 945-969 (2021).

[2] Kuo-Chin Lin, Duan-Shin Lee, S.-A. C. Y.-H. V. C.-N.-S. C.: The effect of a badminton teaching system using Kinect on badminton skill performance, *體育學報*, Vol. 53, pp. 161-178 (2020).

CoreMoni- α : 効果的な体幹トレーニングのための リアルタイムフィードバックシステム

佐藤 圭翼^{†1} ロペズ ギヨーム^{†2}
青山学院大学 青山学院大学

1. はじめに

2019 年末に流行し始めた新型コロナウイルスの影響は 3 年たった今でも爪痕を残している [1]. スポーツ庁は「感染症対策による活動制限・運動不足の長期化による影響」として「体力の低下」「腰痛・肩こり」「生活習慣病の発症・悪化」を事例に挙げている [2]. また, 明治安田生命保険相互会社が 2021 年に 5640 人の男女を対象に実施した健康に関するアンケート調査 [3] の結果, 3 人に 2 人が covid-19 の影響でストレスを感じていると回答し, 4 人に 1 人の体重が増加していることが分かった. さらに, コロナ禍による健康意識の変化についてのアンケートの結果, 40% 以上の人々が「健康意識が高まった」と回答した. 以上のことから, COVID-19 の流行を機に人々は健康に意識を持ち始めたと推測できる.

健康な身体を維持するためには, ランニングや筋力トレーニングといった日常的な運動が有効であると考えられている [4]. フィットネスクラブの動向報告 [5] によると, 2022 年 4 月の利用者数合計は 1700 万人を超えており, 多くの人が定期的に運動をしていることが分かる.

自宅で過ごす時間が増えたことから, 屋内で一人で簡単に始められる体幹トレーニングに注目が集まっている [6]. 体幹トレーニングはスポーツ動作に求められる能力 [7] 向上だけでなく, 日常生活においても重要な役割を果たしている. 体幹とは身体の四股と頭部を除いた部分で, 身体重量の約 48% を占めており, 体幹に含まれる筋肉群は体幹筋と総称されている [8]. 体幹は運動における四股間の運動連結やバランスに関して重要な役割を果たしている. そのため, 動作の要であり, 筋力が低下すれば起き上がることが困難になるなど, 体幹強度は身体の健康にとっても重要である. 体幹トレーニングはスポーツ選手を筆頭に一般の人々にも浸透し始め, 注目されている [9].

本研究の目的は, 体幹トレーニングを支援するシステムを構築し, トレーニングを通して人々の健康維持に貢献す

ることである. 一人で行うトレーニングは自分の姿勢を客観的に俯瞰し, 正しい姿勢で行うことは難しく, 監視の目がないことから継続性に欠けると考えられる. このような課題を解決するため, リアルタイムフィードバック機能を搭載した, 体幹トレーニング支援システム「CoreMoni- α 」を提案し, その有効性を検証する.

2. 関連研究

2.1. カメラ画像を用いたトレーニング支援手法

綿谷らはカメラの画像を用いた体幹トレーニングの姿勢支援手法を提案した [10]. 彼らは画像から姿勢推定を行い, トレーニングの目標姿勢と現在の姿勢の 3 次元モデルを生成し, 重畳表示した. さらに, 目標姿勢と現在の姿勢の違いを把握しやすくするために, 身体の一部 10 箇所にマーカを表示し, 誤差に応じて 4 段階に色変化させた. これらの情報を 2 視点でユーザへ視覚的フィードバックをすることで, 姿勢補正の支援を行った.

有効性評価の結果, 姿勢の把握しやすさを向上させるうえで有効な手法であると考えられた. しかし, 視覚的フィードバックの更新速度が遅く, 目標姿勢に対して現在の姿勢がどのくらい異なっているかを認識するのは困難であった. また, トレーニング中に視線を変えて画面を見なければならぬという問題点もあった.

2.2. 深度センサを用いたトレーニング支援手法

村田らは安価な装置を開発することを目的とし, 深度カメラを有する Kinect を利用し, 運動を支援するシステムを構築した [11]. 彼らは Kinect を用いて前屈, 身体の傾き, 身体のねじれ具合を計測する 3 種類のアプリケーションを開発した.

結果として, 数度の誤差範囲で計測することができ, 身体のゆがみを比較的安価で, 高度なノウハウを必要としない装置を開発することができた. しかし, 性能と利用勝手を向上させていく必要がある.

CoreMoni- α
Real-Time Feedback System for Efficient Core Training

^{†1} Keisuke Sato, Aoyama Gakuin University

^{†2} Guillaume Lopez, Aoyama Gakuin University

2.3. ウェアラブルデバイスを用いた種目認識手法

高田らは、体幹トレーニング支援に向けたウェアラブルデバイスによる種目認識手法を提案した [12].

彼らは、身体にウェアラブルデバイスを装着し、ウェアラブルデバイス内に搭載された慣性センサを用いてトレーニング中の姿勢情報を取得し、得られる加速度やジャイロデータをもとに、機械学習によって体幹トレーニング種目を自動認識できるようにした。

結果として、機械学習手法として Random Forest を用いた場合で、F 値：99.7% と高精度に認識することに成功した。さらに、片方の手首およびベルト位置にデバイスを装着するだけでも F 値：94.1% の精度で認識できることを確認した。認識精度の向上、トレーニング中か否かのセグメンテーション化の検討などが今後の課題としてあげられる。

2.4. 音楽によるフィードバックを用いたトレーニング支援手法

神野らは、森田らの研究 [13] に基づきシステムのフィードバック方法を改善した。彼らは体幹トレーニングにおける効果的な姿勢促進システム「CoreMoni」を提案した [14]. 「CoreMoni」は森田らが開発したシステムに改良を加えたものになっている。森田らのフィードバックが画像の切り替えのみであったのに対し、神野らは音楽の周波数の変化によってフィードバックを与えている。

実験の結果、画像のみによるフィードバックに比べて音楽と画像を組み合わせたフィードバック方法は有効であることがわかった。しかしながら、音楽がトレーニングの妨げになっていることや姿勢の判定結果に違和感を感じる部分がある。

3. CoreMoni-αの概要

3.1. CoreMoni-αの構成

今回私は、効果的な体幹トレーニングのリアルタイムフィードバックシステム「CoreMoni-α」を提案する。CoreMoni-αは体幹トレーニングを自主的に行うための指導者としての役割を担い、ユーザーの体幹トレーニングを支援するものである。本システムは500円玉くらいの大きさのウェアラブルデバイス(図1)とスマートフォンを使用している。ウェアラブルデバイスには「movesense (SUUNTO 社製) [15]」というデバイスを用いている。ユーザーごとのキャリブレーションとして、movesense から1秒間に13個の加速度データを取得し、その一つ一つをあらかじめ定義した閾値と比較し、姿勢の良し悪しを判断している。ウェアラブルデバイスとスマートフォンはBluetooth通信で接続している。



図1 ウェアラブル IMU Movesense ([15] より引用)
Figure 1 Wearable IMU Movesense (Quoted from [15])

また、CoreMoni αでは体幹トレーニング中の「姿勢」を支援対象とし、より効果的な支援につながるよう搭載する機能に留意した。メインメニューを作成し、そこからトレーニング種目を選べるようにした。デザインや使いやすさにも工夫を施し、従来型システム「CoreMoni」との差別化を図った。姿勢判定においては、より精度の高い判定ができるアルゴリズムを実装し、フィードバックにおいては、骨格画像による姿勢の画像切り替えによるものとその画像と連動して「HIGH」「GOOD」「LOW」の3種類のテキストをリアルタイムに表示するという2種類のフィードバックを用意した。トレーニングを行う画面においては、トレーニング種目ごとにトレーニング方法と本システムの使い方、アドバイス等を明記した。

図2にCoreMoni-αの構成図を示す。ユーザーは腰に加速度センサを装着する。ユーザーはスマートフォンの画面に表示された自分の現在の姿勢を俯瞰して見ることで、姿勢を正すことができるだろう(図3)。



図2 CoreMoni-αの構成
Figure 2 Configuration of CoreMoni-α

3.2. 装着位置と閾値の検討

加速度センサの装着位置に関してだが、森田らの実験 [16] を参考にし、腰に選定した。

閾値に関してだが、「Azure Kinect DK (Microsoft 社製) [17]」を用いて、インストラクター指導の下、腰の位置が高い時・良い時・低い時の姿勢を保ち、その時の骨格画

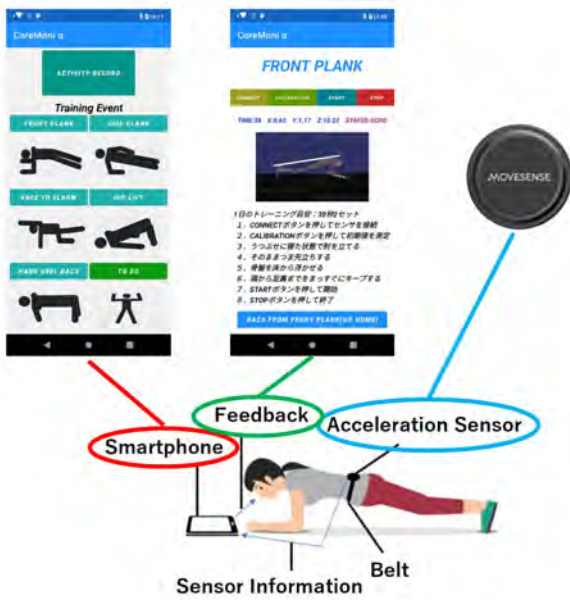


図3 CoreMoni-αの使い方
Figure 3 How to use CoreMoni-α

像と床と腰のなす角をもとに閾値を決定した。調査の結果、 13.5° 以上 20° 以下を良い姿勢と定義した。

本システムでは、床に対して垂直方向に直立した状態でキャリブレーションを行うことを前提としている。そのため、キャリブレーション時の角度を a° 、トレーニング中の角度を b° としたとき、閾値は次のようになる。

< HIGH >

$$b^\circ - a^\circ < 13.5^\circ - 90^\circ \text{ i.e. } b^\circ - a^\circ < -76.5^\circ \quad (1)$$

< GOOD >

$$13.5^\circ - 90^\circ \leq b^\circ - a^\circ \leq 20^\circ - 90^\circ \text{ i.e. } -76.5^\circ \leq b^\circ - a^\circ \leq -70^\circ \quad (2)$$

< LOW >

$$20^\circ - 90^\circ < b^\circ - a^\circ \text{ i.e. } -70^\circ < b^\circ - a^\circ \quad (3)$$

3.3. 姿勢判定手法

姿勢判定手法は3段階に分かれており、第1段階目は「キャリブレーション」である。キャリブレーションを行うことにより、各ユーザに応じた初期値を生成することが可能であるため、ユーザに依存する可能性を低減させることができるだろう。絶対的な基準を設けず相対的な基準を設けることは、ユーザを限定することなく、汎用性の観点から有効となるだろう。加速度センサのサンプリング数を 13Hz に設定しているため、1秒間に13個のデータが取得可能である。また、キャリブレーションの実行時間を5秒に設定し

ている。そのため、キャリブレーションを行うことで65個のサンプリングデータを取得することが可能である。初期値の選定においては外れ値が存在することを考慮して、中央値を用いている。すなわち、昇順に並べ変えたデータの33個目の値を用いている。その加速度を角度に変換し、初期値に設定している。

$$\text{median in calibration} = (65 \text{ sampled data sorted} \div 2) + 1 \quad (4)$$

第2段階目は「トレーニング中の角度の取得」である。Y軸方向の加速度とZ軸方向の加速度の値のアーктンジェントを求め、求めたラジアンを度に変換し、角度を算出している。0.077秒に1回の更新が行われるため、トレーニング中の角度をほぼリアルタイムに算出することが可能である。

$$\text{angle} = \arctan(\text{Y axis accvalue} \div \text{Z axis accvalue}) \quad (5)$$

第3段階目は「ずれの算出」である。姿勢判定を行う際は式5と式4の差を求めることで実現可能である。トレーニング中の角度がキャリブレーション時の角度に対して 13.5° 以上 20° 以下の範囲(相対的な角度)に収まるとき、正しい姿勢と判定する。しかし、キャリブレーションは床に対して垂直方向に直立して行うことを前提としているため、 $\pi/2$ ラジアンを考慮しなければならない。

以上のようなアルゴリズムを用いて、体幹トレーニング中の姿勢の良し悪しを判定している。

4. 有効性検証とユーザビリティ評価の実験

「CoreMoni-α」の有効性検証とユーザビリティ評価を行うために実験を行った。被験者は20代の男女20名で構成されており、システム無し・従来型システム有り・新型システム有りの3種類の実験を行った。トレーニング時間はそれぞれ30秒で、トレーニングの合間には十分な休憩をとっている。分析手法としては、正しい姿勢を保持できた割合と System Usability Scale Facts (SUS), フィードバックに関するアンケート、従来型と新型の比較に関するアンケートの計4つである。

5. 実験結果と考察

実験の結果、システムの有無による正しい姿勢を保持できた時間の割合に関して18名の数値が向上した。従来型システムとの比較実験においては14名の数値が向上した。また、従来型と新型システムのSUSスコアを比較すると、18名の数値が向上した。スコアごとのSUSの比較結果を表1に示す。さらに、フィードバックに関するアンケートの結果、新型システムに対しては肯定的な意見が多く見られた。

表1 スコア別に見た SUS の評価結果
Table1 SUS values aggregated by score

Score	Grade	Adjective Rating	Conventional System	New system
>80.3	A	Excellent	0	8
68-80.3	B	Good	1	5
68	C	Okay	0	0
51-68	D	Poor	6	6
<51	E	Awful	13	1

最後に、システムを総合して従来型と新型システムのどちらが有効であるか問いた結果、被験者の 95% が新型システムと回答した。

6. おわりに

本研究の結果から、有効性の検証、従来型システムに対する優位性を確認することができた。姿勢判定精度の向上に関しては、アルゴリズムの改善や正しい姿勢の再定義、閾値の再検討が要因となった。アプリケーションにおける UX の改良においては、シンプルなデザインやトレーニング方法の明記、ボタンを押した際のユーザに対するアクションが要因であると考えられる。また、フィードバック方法の改善においては、3次元骨格画像の画像切り替えとテキストによるフィードバックが要因であると考えられる。

今後の展望として、ユーザのトレーニングの妨げにならない範囲でのフィードバック方法の追加、ウェアラブルデバイス装着位置の明示化、トレーニングの長期的な支援につなげるコンテンツの実装があげられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP22K11998 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] : 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の対応について | 内閣官房新型コロナウイルス等感染症対策推進室, <https://corona.go.jp/dashboard/>. (Accessed on 06/28/2022).
- [2] : 新型コロナウイルス感染対策 スポーツ・運動の留意点と、運動事例について:スポーツ庁, https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/sports/mcatetop05/jsa_00010.html. (Accessed on 06/28/2022).
- [3] : 20210906_01.pdf, https://www.meijiyasuda.co.jp/profile/news/release/2021/pdf/20210906_01.pdf. (Accessed on 06/28/2022).
- [4] : CP-BL_user, https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkounippon21_02.pdf. (Accessed on 06/28/2022).
- [5] : hv58_02j.pdf, https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/tokusabido/sanko/pdf/hv58_02j.pdf. (Accessed on 06/28/2022).
- [6] 谷本道哉体幹トレーニングの流行の背景と効果に関する考察, 理学療法-臨床・研究・教育, Vol. 27, No. 1, pp. 3-9 (2020).
- [7] 鈴木雄貴, 桜井伸二体幹トレーニングが体幹の安定性とジャンプパフォーマンスに与える影響の検討, 中京大学体育研究所紀要= Bulletin of Research Institute of Health and Sport Sciences, Chukyo University, No. 32, pp. 31-36 (2018).
- [8] 藤本鎮也, 吉田一也, 佐藤慎一郎, 秋山純和体幹と理学療法, 理学療法-臨床・研究・教育, Vol. 20, No. 1, pp. 7-14 (2013).
- [9] 高田将志, 中村優吾, 藤本まなど, 荒川豊, 安本慶一ほか体幹トレーニング支援に向けたウェアラブルデバイスによる種目認識手法の提案, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2018, No. 20, pp. 1-8 (2018).
- [10] 綿谷惇史カメラ画像を用いた体幹トレーニングの姿勢支援手法の提案 (2019).
- [11] 村田嘉利, 永澤修平, 鈴木彰真ほか KINECT を用いた体幹のリハビリテーション支援システム, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol. 2014, pp. 553-559 (2014).
- [12] 高田将志, 中村優吾, 藤本まなど, 荒川豊, 安本慶一ほか体幹トレーニング支援に向けたウェアラブルデバイスによる種目認識手法の提案, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2018, No. 20, pp. 1-8 (2018).
- [13] 森田大喜, 元川錦, 横窪安奈, ロベズギョーム加速度センサを用いた体幹トレーニング支援システム, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2021 論文集, Vol. 2021, No. 1, pp. 1326-1331 (2021).
- [14] : ウェアラブル環境情報システム研究室 — 青山学院大学理工学部 情報テクノロジー学科, <http://www.wil.it.aoyama.ac.jp/thesis.html>. (Accessed on 07/20/2022).
- [15] : Wearable sensor — Movesense, <https://www.movesense.com/>. (Accessed on 09/29/2022).
- [16] 森田大喜, 元川錦, 横窪安奈, ロベズギョーム加速度センサを用いた体幹トレーニング支援システム, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2021 論文集, Vol. 2021, No. 1, pp. 1326-1331 (2021).
- [17] : Azure Kinect DK - AI モデルの開発 — Microsoft Azure, <https://azure.microsoft.com/ja-jp/products/kinect-dk/>. (Accessed on 10/01/2022).

ウェアラブルエアコンによるフィードバックの生理効果

川崎 勇佑,^{†1} 本多 一騎,^{†2} ホサイン タヘラ^{†3} ロペズ ギヨーム^{†4}
 青山学院大学 青山学院大学 青山学院大学 青山学院大学

1. はじめに

厚生労働省によると、熱中症による死者数は年々増加傾向にあり、2020 年は 1500 人を超える人が熱中症で命を落としている。図 1 より、熱中症の死者数の中でも特に高齢者の割合が大きく、2010 年以降熱中症による死者数の約 80% が高齢者であった [1]。

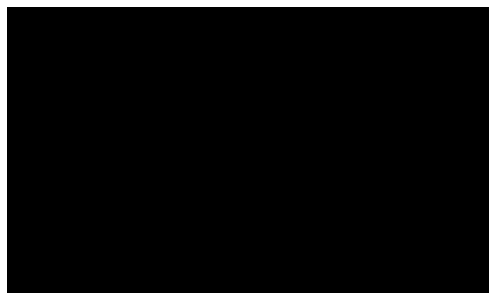


図 1 熱中症死者のうち高齢者の割合 ([1] より作成)
 Figure 1 Percentage of elderly among heat stroke fatalities (created based on data from[1])

2. 関連研究

千葉らの研究によると、頸動脈を直接冷やすことにより体全体に冷えた血液が回り、頸動脈を冷やしていない人と比べ、発汗量が少ない傾向にあることが分かった [2]。

3. 暑熱環境下における実験

実験中、被験者に Empatica E4 リストバンドを装着し、心拍の指標を取得した。また、周囲の空気温度、平均放射温度、気流速度、相対湿度、代謝率、衣服の断熱性の 6 つの要素から求められ、「寒い」から「暑い」まで 7 段階に分けられる PMV を用い、実験環境を設定した。

3.1. ウェアラブルエアコンを使用しない実験

この実験では、実験中、「寒い」、「涼しい」、「快適」、「少し暖かい」、「暖かい」、「暑い」、「非常に暑い」の 7 ラベルに対して主観評価のアンケートをとった。また、実験環境は「快適」、「少し暖かい」、「暖かい」、「暑い」の 4 つの環境に設定した。被験者は 20 代から 60 代までの合計 44 名であった。より詳しい実験内容を表 1 に示す。

表 1 冷却の無い実験内容

Table 1 Experimental details without cooling

順序	課題	温度	湿度	期間 (分)
1	ラジオ体操	32°C	80%	10
2	ラジオ体操	25°C	60%	10
3	読書	25°C	60%	15
4	読書	32°C	80%	15
5	読書	27°C	60%	15
6	読書	32°C	80%	15
7	転写	32°C	80%	15
8	転写	27°C	60%	15

3.2. ウェアラブルエアコンを使用した実験

この実験では頸動脈を直接冷やすことのできるウェアラブルエアコンの Cómodo gear^{*1}を使用した。また、「快適」、「暖かい」、「暑い」、「非常に暑い」の 4 ラベルに対して主観評価のアンケートを取った。また、実験環境は「暖かい」、「暑い」の 2 つの環境に設定した。被験者は 20 代から 60 代までの合計 27 名であった。より詳しい実験内容を表 2 に示す。

表 2 冷却時実験内容

Table 2 Experimental details with cooling

順序	課題	温度	湿度	期間 (分)
1	待機	32°C	80%	10
2	読書 (Cómodo gear 起動)	32°C	80%	15
3	待機	32°C	80%	10
4	ラジオ体操 (Cómodo gear 起動)	32°C	80%	10

^{†1} YUSUKE KAWASAKI, Aoyama Gakuin University

^{†2} KAZUKI HONDA, Aoyama Gakuin University

^{†3} TAHERA HOSSAIN, Aoyama Gakuin University

^{†4} GUILLAUME LOPEZ, Aoyama Gakuin University

^{*1} <https://www.fujitsu-general.com/jp/products/neck-gear/index.html>



図2 ウェアラブルエアコンを使用している様子
Figure 2 The use of a wearable air conditioner

4. ウェアラブルエアコンの有無による結果

ウェアラブルエアコンの有無による結果は図3, 図4, 図5, 図6である. 読書における主観評価アンケートでは, ウェアラブルエアコン無しに比べ, ウェアラブルエアコン有りの場合, 「非常に暑い」または「暑い」と感じている割合は20.2%減っていた. ラジオ体操における主観評価アンケートでは, ウェアラブルエアコン無しに比べ, ウェアラブルエアコン有りの場合, 「非常に暑い」または「暑い」と感じている割合は13.3%減っていた. しかし, 「非常に暑い」に限ってみると, どちらもウェアラブルエアコン無しに比べ, ウェアラブルエアコン有りの方が「非常に暑い」と感じている割合は高かった.

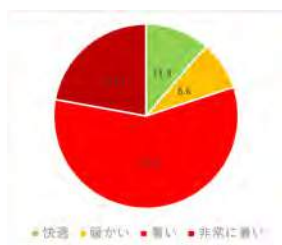


図3 ウェアラブルエアコン無しの場合の読書における主観評価

Figure 3 Subjective evaluation in reading without wearable air conditioner

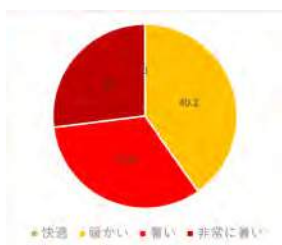


図4 ウェアラブルエアコン有の場合の読書における主観評価

Figure 4 Subjective evaluation in reading with wearable air conditioner

また, Empatica E4 リストバンドから得られる心拍変動指標を特徴量とし, ウェアラブルエアコンを使用しない場合の生体情報で Random Forest を用いて PMV を予測するモデルを作成しウェアラブルエアコンの有無について, 予

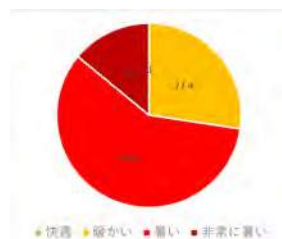


図5 ウェアラブルエアコン無しの場合のラジオ体操における主観評価

Figure 5 Subjective evaluation in Radio gymnastics without wearable air conditioner

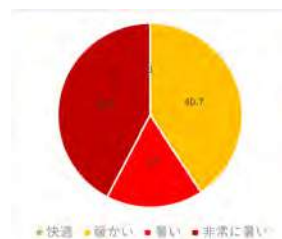


図6 ウェアラブルエアコン有の場合のラジオ体操における主観評価

Figure 6 Subjective evaluation in Radio gymnastics with wearable air conditioner

測を行った. その結果, ウェアラブルエアコンを使用しない場合と比べ, ウェアラブルエアコンを使用した場合, PMV が「暖かい」環境において, 「快適」環境であると予測した割合が20%上がった. 一方, PMV が「暑い」環境において「暑い」環境であると予測した割合が12%上がっていた. これは, ウェアラブルエアコンを使用しない実験ではなかった温度 32°C, 湿度 80% での待機時間があつただめだと考えられる.

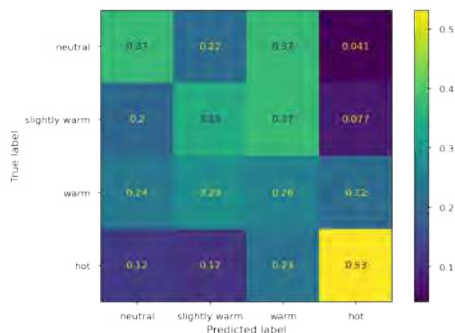


図7 ウェアラブルエアコンを使用しない場合における温熱感覚の混同行列

Figure 7 Confusion Matrix of thermal sensation without wearable air conditioners

5. 結論

5.1. まとめ

読書における主観評価アンケートでは, ウェアラブルエアコン無しに比べ, ウェアラブルエアコン有りの場合, 「非常に暑い」または「暑い」と感じている割合が減っていた. また, ラジオ体操における主観評価アンケートでは, ウェア

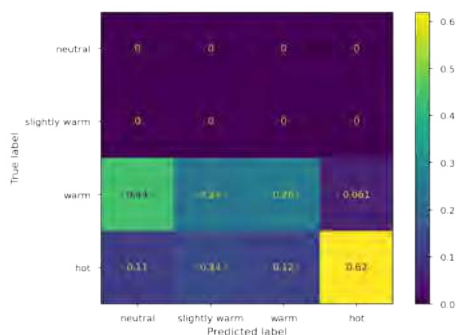


図8 ウェアラブルエアコンを使用した場合における温熱感覚の混同行列

Figure8 Confusion Matrix of thermal sensation with wearable air conditioners

ラブルエアコン無しに比べ、ウェアラブルエアコン有りの場合、「非常に暑い」または「暑い」と感じている割合が減っていた。機械学習の結果では、「暖かい」環境において、「快適」環境であると予測した割合が上がり、PMVが「暑い」環境において「暑い」環境であると予測した割合が上がっていた。したがって、ウェアラブルエアコンで頸部を冷やすことで、快適に感じるだけでなく、生体情報も快適な環境にいるような状態になる可能性が示唆された。しかし、「非常に暑い」に関しては、どちらもウェアラブルエアコン無しに比べ、ウェアラブルエアコン有りの方が「非常に暑い」と感じている割合は高かった。これらが起こった原因は実験開始時の違いによる差であると考えられる。ウェアラブルエアコンを使用しない実験では比較的涼しい部屋から暑い実験室に入ったのに対し、ウェアラブルエアコンを使用した実験では暑い実験室に入り10分間待機したのちに実験を行った。この差によって、主観評価での「非常に暑い」の割合の変化などが起こったと考えられる。

5.2. 今後の展望

本研究では生体信号のみを用いて温熱快適性を予測している。Empatica E4 リストバンドで得られる加速度情報や表面体温情報などを追加して精度が上がるか検証していきたい。さらに、生体信号に影響を与えているのが熱ストレスだけではなく作業による精神ストレスの影響があるのか検証していく必要がある。また、今後はより正確な比較ができるように、実験の前後での温湿度状況を同じものにし実験数を増やしていきたい。

6. 謝辞

本研究は、セコム科学技術振興財団研究助成金の支援を受けて実施した。実験は、株式会社富士通ゼネラルの協力

のもとに実施された。実験プロトコルは、青山学院大学倫理委員会の承認を得た (H21-009)。

参考文献

- [1] 厚生労働省年齢（5歳階級）別にみた熱中症による死亡数の年次推移（平成7年～令和3年）～ 人口動態統計（確定数）より、<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/tokusyu/necchusho21/d1/nenrei.pdf> (2021). (参照日 2023/1/1).
- [2] 千葉友樹, 高橋幹雄, 黒木友裕, 和田一樹, 天野健太郎, 桑山絹子局所冷却行為による暑熱ストレス軽減効果の予測手法に関する研究(その1) 警部冷却時の生理反応の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, Vol. 6, pp. 37-40 (2019).

英語の読み能力向上に付随した授業内問題行動の変容

高橋裕子^{†1}

早稲田大学人間科学研究科^{†1}

大森幹真^{‡2}

早稲田大学人間科学学術院^{‡2}

1. 問題と目的

現在、通常学級に通う小・中学生の 8.8%に学習面・行動面の困難さがあるとされており、学校現場における授業中の児童の問題行動は年々増加傾向にある。先行研究から、児童の言語能力の低さが問題行動の生起に関連がある事が示されているが、英語を第二言語として学ぶ子ども英語能力と問題行動の関連については未解明である。さらには、音素・音韻の系統的指導による英語能力向上に伴い、行動変容につながるかについても解明されていない。そこで本研究ではまず英語を学ぶ児童を対象に、日本語・英語の読み・音韻能力と、クラス内での離席等の問題行動の生起頻度の関連を検討した。その後、英語の読み書き支援による英語能力向上により問題行動の生起頻度が減少するかどうかを明らかにすることとした。

2. 方法

2.1 参加者

本研究では、通常学級に通っており、日本語を母国語とし、第二言語として英語を習っている 6～11 歳の児童 9 名を対象とした。また、その中で継続参加が可能であった 5 名に対して英語の読み書き支援を実施した。

2.2 刺激と装置

子どもの日本語の読み書き能力を計測するために読み書きスクリーニング改訂版 (STRAW-R) を使用し、英語の音韻能力を測定するために TOPA-2+¹⁾ を用いた。また英語授業中の問題行動を計測するためにビデオカメラを使用し、教員が子どもの問題行動を評価するために日本語版 SESBI-R を使用した。さらには英語の読み書き支援として、参加者が読み書きできない英単語を 40 個程度用意した。

2.3 手続き

- (1) 日本語・英語の読み書き評価として STRAW-R と TOPA-2+ を行った。それぞれ、提示された文字・単語を読むことや、音声刺激に対応した文字・絵を選ぶことを求めた。
- (2) 問題行動の評定として撮影動画を用いて各参加者の問題行動の生起回数を求め、クラスの担当教員に各参加者に対して SESBI-R に回答してもらった。
- (3) 英語の読み書きのベースライン評価として 6 つの英単語とそれを構成する音韻を分解したもの、それらを再構成した新規単語を合計 36 個提示し、読むことを求めた。またそれらの音韻・単語の聞き取り書字を行うことを求めた。

(4) 英語の読み書き支援として、標的 3 単語の音素を分解し、時間的・空間的な位置情報を保持したまま時系列的に提示する、継次刺激ペアリング (SSP²⁾) 手続きを行った。例えば、SSP 手続きにおいて“jet”を学習させる際に、“j”を画面の左側に音声と同時提示し、その後“et”を画面の右側に提示した後に単語全体と対応する絵刺激を提示した。参加者には画面を見て、提示された音声を模倣することを求めた。そして、提示後に学習した英単語の読み書きをすることを求めた。すべての標的単語の学習終了後に般化テストを行い、残り 3 つの標的単語の支援を同様に実施した。

(5) (1), (2) と同様の評価を行った。

3. 結果

まず、TOPA-2+ 得点の高低に分けて SESBI-R の問題スコアを比較したところ低群の得点が有意に高いことが明らかになった [$t(6)=2.85, p<.05$]。また図 1 に英語読み書き支援前後での SESBI-R 得点の推移を示したところ、訓練前後で問題スコアに有意な減少が見られた [$t(4)=2.91, p<.05$]。

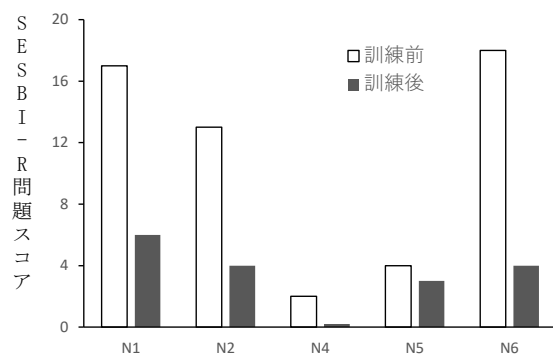


図 1. 訓練前後での SESBI-R 得点の推移

4. 考察

本研究の結果から、英語の授業中の問題行動の生起要因として、参加者の英語の読み能力や音韻理解の低さが関係していることが明らかになった。また英語読み訓練を行うことで、未訓練であった英単語書字獲得や、授業中の問題行動の質的・量的な減少につながることも判明した。

参考文献

- [1] Torgensen, J. K., & Bryant, B.R. (2004). Test of Phonological Awareness-Second Edition: PLUS. Pro-ed.
- [2] Omori, M., & Yamamoto, J. (2013). *Psychology*, 4, 238-245

^{†1} YUKO TAKAHASHI, Graduate School of Human Sciences, Waseda University
^{‡2} MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University

刺激の実観察割合による外国語の書き獲得支援： 見せ方の違いによる行動変容の可能性

大森幹真^{†1}

早稲田大学人間科学学術院^{†1}

1. 問題と目的

これまでの刺激等価性を基盤にした言語学習支援において、刺激への観察反応の有無は、それらへの選択反応により計測していた。一方で Dube ら[1]によると、見本合わせ課題での誤答の増加には、刺激に対する観察反応の不十分さが関連しているという報告がある。そのため、近年では刺激への観察反応を量的に計測する試みも広がりつつある。その中で、刺激の時間的・空間的な位置関係を保持したまま時系列的に刺激提示する刺激ペアリング(SP)手続きや系列刺激ペアリング(SSP)手続きが開発されたことで、刺激を適切に観察することで発達障害児の言語獲得につながるということが明らかにされてきている。特に発達障害児の読み書き獲得においては SSP 手続きの方が SP 手続きよりも少ない訓練回数で学習することも報告されている[2]。しかしなぜ両者の学習効果に差が見られたかについては検討されていない。そこで、本研究では参加者に対して SP 手続きおよび SSP 手続きを用いて外国語の読み書き支援を行った。その際に訓練中の視線機能を計測することで、学習中の視線機能に違いがあるかを検討することとした。

2. 方法

2.1 参加者

スペイン語学習経験のない発達障害児 3 名が参加した。

2.2 刺激と装置

4 文字のスペイン語(Esp)刺激を 30 語、それに対応する英語(Eng)刺激と日本語(Jap)刺激を各 30 語、両者の意味に対応する絵(pic)刺激を 30 個用意した。訓練中の視線機能を計測するために Tobii X3-120 を使用した。

2.3 手続き

- (1) 実験デザインとして、2つの訓練手続きごとに非同期型の参加者間多層ベースライン手続きを使用した。
- (2) 事前評価として、コンピュータ(PC)上に提示された絵刺激に対応するスペイン語単語・英単語の書き評価を行った。
- (3) ベースライン評価として PC 上に 2 度ずつ提示された 3 つの英語刺激と絵刺激に対応する Esp 書字と Esp 刺激に対応する英語書字を行うことを求めた。
- (4) 訓練と学習中の視線機能測定：SP 手続き、もしくは SSP 手続きを用いて訓練を行った。一方の手続きでの学習終了後に、他方の手続きを用いて訓練を行った。SP 手続きでは

Esp 刺激が 4 文字のまま 4 秒間提示され、SSP 手続きでは、Esp 刺激の 2 文字が左側に 1 秒、残りの 2 文字が右側に 1 秒提示され、その後 4 文字の Esp 刺激が 2 秒間提示された。両手続き共に、Esp 刺激の提示後に対応する Eng 刺激が 2 秒提示された。各刺激は 3 度ずつ提示し、参加者には提示された文字列を見ることを教示した。視線機能の計測は、刺激提示中に継続して行った。訓練は 2 試行連続で Esp 書字の正答率が 100%であった際に終了した。

3. 結果

すべての参加者が SP 手続きおよび SSP 手続きを通じて外国語書字を獲得した。学習獲得までの訓練回数を比較すると、SP 手続きでは平均 3.00 回、SSP 手続きでは平均 2.67 回の訓練が必要であった。図 1 に訓練中の刺激の実観察割合を示した。その結果 SSP 手続きの方が、実観察割合が有意に高いことを示した [$t(2) = 33.71, p < .05^{***}$].

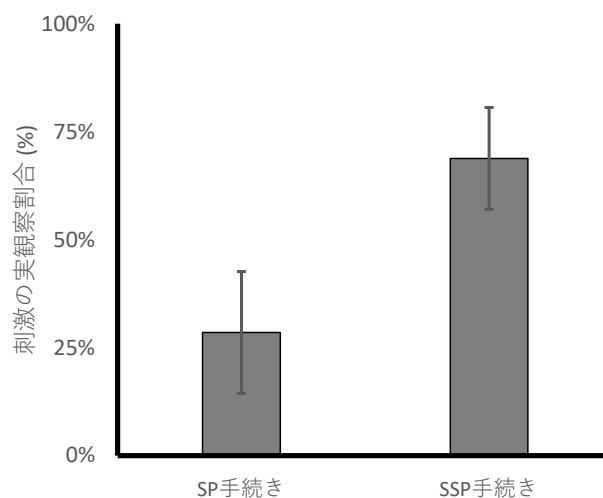


図 1. 睡眠時間の達成差得点-睡眠の質の達成差得点

4. 考察

本研究の結果から、SSP 手続きの訓練効果の高さは、刺激の実観察割合の長さが影響を与えていることが示唆できることとなった。今後はより長く複雑な単語や文章を用いて検討をすることが必要となる。

参考文献

- [1] Dube et al., (2010) Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 94, 297-313.
- [2] Omori & Yamamoto (2018). Psychological Record, 68, 189-200.

^{†1} MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University

拡張現実を用いたマルチプレイ掃除活性化システム

阿部悠貴^{†1} ロペズ・ギヨーム^{†2}
 青山学院大学 青山学院大学

2023年2月17日

1. はじめに

掃除とは掃くことや拭くことでゴミや汚れを無くしきれいにすることである。掃除には様々な利点があり、清潔な生活を送るために必要不可欠である。しかし、掃除に対して面倒や手間に思っている人は多い。サンケイリビング新聞社による掃除に対する意識調査に関するアンケート [1] によると、「掃除が面倒だと思ふことがある」という問いに対して 87.2% もの人が「あてはまる」・「どちらかといえばあてはまる」と回答している。「掃除をするのが好きな方だ」という問いに対しても「あてはまらない」・「どちらかといえばあてはまらない」と回答した人が 55.5% と過半数を占めている。また、リビングくらし HOW 研究所が行った掃除についてのアンケート [2] によると、「掃除が好きですか?」という問いに対して 71.1% の人がいいえと回答している。株式会社アスマークが行った住環境と掃除に関するアンケート調査 [3] においては「[A] 掃除が好きである / [B] 掃除が嫌いである」に対して「Aに近い」～「Bに近い」の5段階での回答を求める質問を行っており、全体の半数の人が「どちらかといえば B に近い」・「B に近い」と回答している。

このような課題を解決するため、本研究では拡張現実を用いて現実の掃除に対して仮想的にフィードバックを行い、掃除に対してゲーム要素を付与する拡張現実を用いたマルチプレイ掃除活性化システムを提案する。

2. 先行研究

市村 [4] は掃除機に 3 軸加速度を計測可能なデバイスを取り付け往復運動を計測し、その結果に基づいてゲーム要素を加えることで掃除を楽しく行えるシステムを提案した。図 1 に市村が提案したシステムの利用風景を示す。掃除機に取り付けたデバイスで計測した往復運動を PC に送信し、その値をゲームスコアとして得点化している。また、掃除開始時に Twitter にツイートを行うことでほかのユーザーと SNS を通して共有できる機能を実装している。

小坂 [5] は、現実世界の掃除がけをゲームコンテンツに設



図 1 市村が提案したシステムの利用風景 ([4] より引用)

Figure 1

定することで楽しく掃除を行うことを目的とするシリアスゲーム「妖怪クリーナーズ」を提案している。図 2 に「妖怪クリーナーズ」のシステム構成図を示す。床に NFC タグを埋め込み、それを利用することで掃除機の位置を推定している。また、掃除機にセンサデバイスを取り付けている。これには、吸引したごみの量を計測するホコリセンサと吸引場所を計測する NFC アンテナが搭載されている。これらのデータから 2D ゲームに落としこみ、妖怪を倒すようなゲームを作成した。また、リビングなどにボスが出現するように設定すると体験者はボスを探しながらボスの出現個所を集中して掃除しやすくなる。

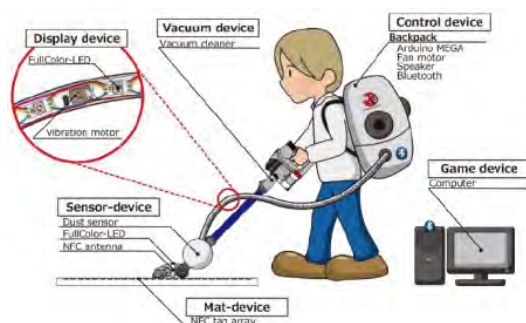


図 2 妖怪クリーナーズシステム構成図 ([5] より引用)

Figure 2 Youkai Cleaners System Configuration Diagram (cite from [5])

[1mm]

^{†1} Harutaka Abe, Aoyamagakuin University.

^{†2} Guillaume LOPEZ, Aoyamagakuin University.

3. 拡張現実を用いたマルチプレイ掃除活性化システム

本節では本研究で提案する拡張現実を用いたマルチプレイ掃除活性化システムの概要について述べる。これは透過型ヘッドマウントディスプレイを用いた拡張現実技術により、通常の掃除では見ることのできない掃除箇所の着色による可視化を行うと同時にゲーミフィケーション手法によりゲーム要素を付与することで掃除への意欲の維持・向上を目的としたシステムである。図 3 に提案システムの全体図を示す。掃除を行う人は掃除状況やゲーム進行度を確認するデバイスとして透過型ヘッドマウントディスプレイを装着し、掃除道具に位置推定のためのマークを取り付ける。マークが取り付けられた掃除道具を用いて掃除を行う事で掃除箇所を拡張現実を用いて仮想的に着色し、掃除箇所の重複を防ぎながらまだ掃除されていない場所の確認が可能となる。また、掃除状況の提示と同時にゲーミフィケーション手法を用いたゲーム要素の付与により掃除に対するモチベーションの維持・向上を促す。ゲーム要素は別々の部屋にしながら通信可能な協力モードと競争モードが存在する。図 4 にシステム利用時の透過型ヘッドマウントディスプレイから見える画面を示す。協力モードは互いの掃除面積の合計で共通の敵を倒すモードであり、競争モードは互いの掃除面積を競うモードである。ゲーム進行度の確認のため追従型の UI を配置している。これにより現在自分が有利か不利かが一目で確認可能である。また、掃除中にアイテムやエネとして各所に仮想オブジェクトを配置する。ユーザは仮想オブジェクトに掃除道具で触れることでボーナスポイントを獲得可能とし、広範囲の掃除を促す。

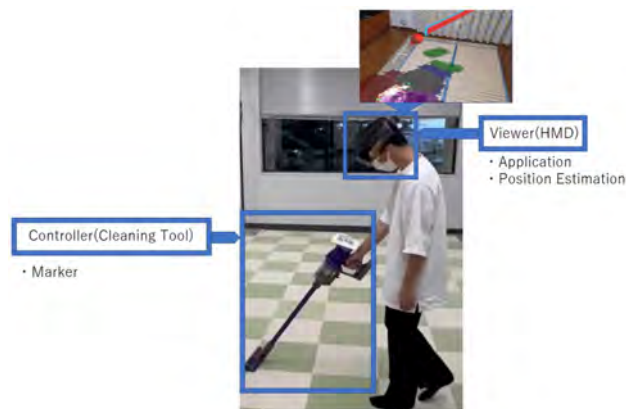


図 3 提案システムの全体図

Figure 3 Overall view of the proposed system

本システム通信機能を実装するため、オンライン機能を組み込むためのサービスである「Photon Unity Networking 2 (以下「PUN」とする) [6]」を利用した。本システムを起

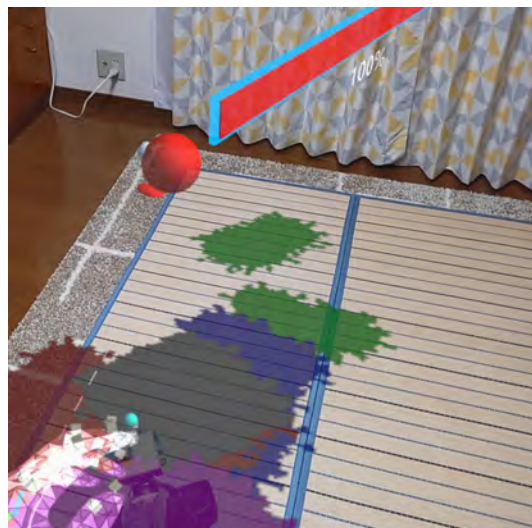


図 4 透過型ヘッドマウントディスプレイから見える画面

Figure 4 View through a transparent head-mounted display

動し、各ルーム 1 人目にオンラインへ接続したユーザはマスタークライアントとなり、一意となる個別のルーム ID を用いてルームの作成を行う。2 人目に接続したユーザはルームを検索し、ルームに参加する。各ユーザのシステム上ではルームを作成した場合は player1、ルームに参加した場合は player2 として扱う。ルームの最大人数は 2 人となっており、3 人目以降も同様にマッチングを行う。

4. 掃除効果およびモチベーションへの影響の評価実験

本システムを利用するうえで、システムの有用性や実際に使用する人がどのように感じるか、掃除体験がどのように変化するかを検証する。また、掃除箇所の着色のみを行うシングルプレイモードと本研究で提案するマルチプレイモードの違いや協力と競争での違いについても検証する。

被験者 10 名にコードレス掃除機およびシステムなし、シングルプレイ、協力モード、競争モードの内ランダムに 3 つを用いて掃除を行ってもらった。掃除する範囲は 4.8m 四方の内側でありテープを張ることで枠を示している。実際に掃除する部屋に近づけるためにモニターやテーブル、椅子を配置した。

評価指標として定量評価とアンケート評価を行った。定量評価においては掃除面積、重複度 (式 1) を用いた。掃除面積は仮想オブジェクトに着色されたピクセル数を合算した値を用いた。アンケート評価は各掃除後、独自に作成したアンケートに回答してもらった。

$$\text{重複度} = \frac{\text{移動距離 (m)} \times \text{ヘッド横幅 (m)}}{\text{掃除した面積 (px)}} \quad (1)$$

5. 実験結果と考察

本節では評価実験の結果と考察を述べる。

5.1. 定量評価の結果と考察

図5に各モードの掃除面積の比較結果を示す。シングルプレイ、競争モード、競争モードはシステム無しと比べて掃除面積が優位に大きいことから掃除箇所を着色するフィードバックが広範囲の掃除に有効であると考えられる。また、競争モード、競争モードはシングルプレイと比べて優位に掃除面積が大きいことから仮想オブジェクトの配置がより広範囲の掃除を促したと考えられる。

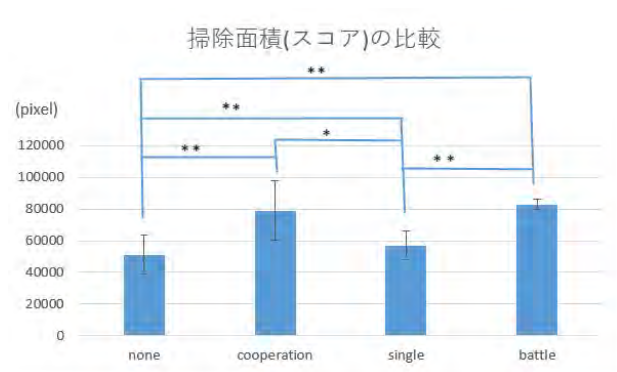


図5 各モードの掃除面積の比較結果

Figure5 Comparison results of cleaning area for each mode

*:p<0.05, **:p<0.01
他の項目については有意差なし

図6に各モードの重複度の比較結果を示す。シングルプレイ、競争モード、競争モードはシステム無しと比べて優位に重複度が小さいことから掃除箇所を着色するフィードバックが掃除箇所の重複を防ぎ効率的な掃除を促したと考えられる。

表1にアンケート結果を示す。システム無し以外の全てのモードにおいて楽しいと感じていることから掃除箇所を着色するフィードバックの新鮮さから楽しさを増幅させたと考えられる。またこのシステムを使用したいかや継続的に使用したいかの質問項目では協力モードと競争モードが高い値となっている。これは、毎回異なる相手と通信するため、新鮮さが損なわれにくいためであると考えられる。また、どのくらい掃除に満足しているかという質問に対しても協力モードと競争モードが高い値となっている。これは、明確な目的が存在するため満足度が増幅したと考えられる。

重複度の比較

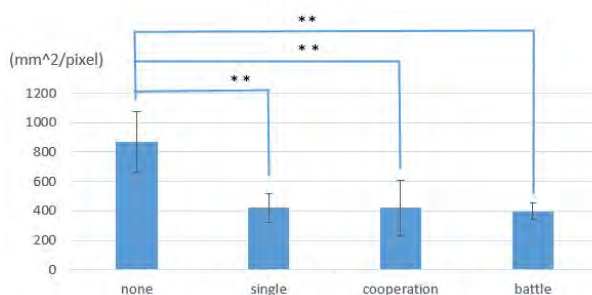


図6 各モードの重複度の比較結果

Figure6 Comparison results of the degree of overlap for each mode

*:p<0.05, **:p<0.01
他の項目については有意差なし

表1 Caption

質問内容	シングルプレイ	協力	競争	無し
どのくらい楽しいと感じましたか	4.5	4.5	4.8	1.7
またこのシステムを使用したいですか	4.0	4.3	4.8	
このシステムを継続的に使用したいですか	3.8	4.1	4.8	
どのくらい掃除に満足していますか	3.7	4.4	4.7	

6. まとめと今後の展望

本研究では掃除に対して面倒や手間に感じている課題に着目し、掃除に拡張現実を用いたゲーミフィケーション手法を用いることで掃除のモチベーションの維持・向上させることを目的としたシステムを作成し評価実験を行った。ゲーム要素として従来までの掃除箇所を着色することに加えてマルチプレイモードとして別々の離れた部屋で掃除を行っている人と協力や競争を可能とするシステムを実装した。また、より広範囲の掃除を促すために掃除する部屋の各所に仮想オブジェクトを配置し、それを獲得する用促すゲームシステムとした。

協力や競争を行うことで1人で掃除を行っているときに比べて楽しさや掃除に対する満足度が増加し、より掃除に対するモチベーションの維持・向上に効果的であることが明らかとなった。また、定量評価の結果から掃除の効率を保ちながらより広範囲を掃除しているため、仮想オブジェクトの配置が広範囲の掃除に寄与したと考えられる。

本システムの使用により、現実世界の掃除が従来よりもゲーム性に特化した仮想空間内でのゲームに置き換えることができた。また、掃除箇所の重複を防ぎながら広範囲の掃除を促す事が可能なシステムであることが明らかとなっ

た。アンケート評価の結果からも 1 人でプレイするモードに比べてモチベーションを維持・向上可能であることが明らかとなった。

システムの改善点として毎回の掃除記録を保存できないことがあげられる。日常的に使用するために、毎回の掃除記録を保存し、部屋のどの場所が掃除漏れが多いかなどを提示することでさらなる掃除支援が可能であると考えられる。また、スコアなどのマルチプレイの結果を保存しランキング化することでより長期的な支援を行える可能性がある。マーカの認識については掃除をする人が常にカメラの画角内にマーカを捉える必要があるため煩わしさを感じることもあるため、利用者が意識しなくても追跡可能なマーカ設計とすることやマーカレスとすることで掃除体験が向上すると考えられる。以上にあげられる課題を解決することでより実用的かつ長期的な支援が可能なシステムを目的とし、本システムを発展させていきたい。

謝辞 本研究を行うにあたり被験者の方々、協力してくださった全ての方に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] : サンケイリビング新聞社. お掃除に関するアンケート, <http://ad.sankeiliving.co.jp/wp/wp-content/uploads/2018/08/97d6acb0f4e0849e820b250f2fca5ab2.pdf>. (Accessed on 9/21/2022).
- [2] : リビングくらし HOW 研究所. 掃除についてのアンケート, <https://www.kurashihow.co.jp/wp-content/uploads/2014/03/b34b148e50a3439a23ef15e5d7e892a1.pdf> (2014). (Accessed on 9/21/2022).
- [3] : 株式会社アスマーク. 住環境と掃除に関するアンケート調査, <https://www.asmarq.co.jp/data/mr201807clean/> (2018). (Accessed on 9/20/2022).
- [4] 市村哲, 矢澤崇史, 戸丸慎也, 渡邊宏優家事をゲーミフィケーション化する試み「掃除への適用」(2014).
- [5] 小坂崇之妖怪クリーナーズ: 現実世界の掃除をゲームコンテンツにしたシリアスゲームの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集, pp. 148-151 (2016).
- [6] : Photon Unity Networking 2. Exit Games., <https://doc-api.photonengine.com/ja-jp/pun/v2/index.html>. (Accessed on 1/14/2022).

心理特性に基づいたメッセージ配信によるクーポン開封率向上の検討

三村 知洋^{†1}
株式会社 NTT ドコモ

酒井 亮勢^{†2}
株式会社 NTT ドコモ

石黒 慎^{†3}
株式会社 NTT ドコモ

鈴木 喬^{†4}
株式会社 NTT ドコモ

山田 暁^{†5}
株式会社 NTT ドコモ

1. はじめに

小売業では、顧客の購買意欲を高め売り上げを拡大するために、クーポン配布が行われる。特に近年ではスマートフォン上のアプリケーションにクーポンを配布するオンラインクーポンを用いた販促が行われている。オンラインクーポンを用いることで特定のユーザを対象にクーポン配信するターゲティングや同じ内容のクーポンでも異なるメッセージを配信するなどのパーソナライズが可能となる。

オンラインクーポンの利用を促進するためには、顧客に配信内容への関心を持たせることで、広告クリックなどの行動を促す行動変容手段が必要である。オンラインクーポンの効果を高める手段として Push 通知がある。Push 通知とは、スマートフォンのアプリケーションを介し情報を受動的に取得し、受信された情報をユーザーに通知するための機能である。スマートフォンの着信音やステータスバーの表示などの例があり、モバイルマーケティングにおいて盛んに活用されている。Push 通知を利用することは、スマートフォンユーザに関与する最も有効な戦略の一つであり [1]、様々なアプリケーションに採用されている。

筆者らは、Push 通知によるオンラインクーポンの更なる開封率向上を実現するための手段として行動経済学に基づくナッジに着目した。ナッジとは、人の価値観や心理的な傾向に基づき、個人や社会にとって望ましい意思決定を促す行動変容手法である [2, 3]。特にナッジを応用することで、ユーザに合わせたメッセージを配信する研究は様々な分野で実施されている。例えば、濱谷らによる健康促進のためにナッジを利用したメッセージ配信が挙げられる [4]。同研究では、性格因子とメッセージ受容性の関係が示唆されている。彼らの先行研究からも心理特性に基づいてメッセージ内容をパーソナライズすることが重要であると考えられる。

本稿では、人の心理特性に基づくメッセージ配信について述べる。事前実施したアンケート結果から顧客の心理特性を推定する機械学習手法を構築した。

本論文の貢献は下記の 2 点である。

- 心理特性に関するアンケートの取得
- スマートフォンの決済履歴、デモグラフィック情報、アプリケーションの利用履歴データを用いた心理特性の推定モデルの構築

2. 行動変容技術

2.1. モバイル端末を活用した行動変容

近年ではスマートフォンなどのモバイル端末の普及により、時間、場所を問わずユーザに通知を送信することが可能になった。このためモバイル端末を介してユーザーに働きかけることで行動を変化させるための技術の研究は盛んに行われるようになった [5, 6]。大橋らは、モバイル端末への通知のタイミングに関する研究を実施した [6]。彼らは、3 週間にわたり 68 万人以上のユーザーを対象とした調査を実施した。その結果、割り込み可能な瞬間を検知するまで通知を遅らせることにより、すぐに通知する場合と比較して、多くの場合において、ユーザーの反応時間が大幅に短縮されることが示されている。

2.2. メッセージによる行動変容

メール型広告において、メールのタイトルが開封（クリック、コンバージョン）に影響することが知られている。吉井らは、メールの配信対象ユーザのデモグラフィック情報とメールのタイトル情報を説明変数とした機械学習によりユーザーによる広告開封の有無を予測する回帰モデルを作成し、フレーズごとの重みからタイトルのスコアを定義した [7]。新しく定義されたスコアと開封率の実測値との相関から、メールタイトルの開封率への影響を定量的に評価した。結果からメールタイトルが開封に影響を与えることが明らかにされた。我々は、同研究から示唆された結果より、Push 通知においても同様に、メッセージ内容とクリック、

Consideration of improving coupon open rates by delivering messages based on psychographic characteristics

^{†1} Tomohiro Mimura, NTT DOCOMO, inc.

^{†2} Akinari Sakai, NTT DOCOMO, inc.

^{†3} Shin Ishiguro, NTT DOCOMO, inc.

^{†4} Takashi Suzuki, NTT DOCOMO, inc.

^{†5} Akira Yamada, NTT DOCOMO, inc.

コンバージョンには互いに関係があると考えた。

2.3. データによるユーザの心理特性の推定

心理特性を表す有名な指標の1つとしてビッグ5がある[8]。ビッグ5とは開放性、誠実性、外向性、協調性、神経症傾向の5つと定義される。製菓会社の従業員に対してビッグ5を用いて性格と職務遂行能力との関係の分析を行なった。実験の結果、開放性、誠実性、外向性、神経症傾向が課題遂行能力と創造性に関連することが示された。また、誠実性、開放性、協調性の3つの性格特性によって、参加者の管理パフォーマンスの分散の28%が説明された。

また、声のデータからビッグ5を推定した研究事例が報告されている[9]。同研究では、人の音声には心理に関連した様々な現象が表現されるという仮説に基づき、音声情報を用いた機械学習による心理特性の推定が行なわれた。同研究により、人の心理特性は直接、心理状態に関する情報を保有しているとは見られない多種多様なデータからも推定できる可能性が示唆されている。

濱谷らは、スマートフォンのデータから認知能力を推定する機械学習モデルを提案した[10]。彼らは、Go-NoGoタスクを使用した認知能力の測定結果に対して、スマートフォンの各種センサー等から計測される情報を用いた機械学習手法を提案した。実験結果は、推定精度が最大74%向上することを示しており、スマートフォンのデータを用いることで人の認知能力を推定できることが示唆された。

これらの先行研究から示唆された情報に基づき、我々は、スマートフォンを用いたユーザの行動変容は効果的であり、ユーザのスマートフォンに配信されるメッセージの内容がオンラインクーポンの認知に影響を与えると考えた。また、ユーザの心理特性はスマートフォンから計測されるデータを用いることで推定できると考えた。

本研究では、スマートフォンより得られるデータである決済ログ、デモグラフィック情報、アプリケーションの利用履歴を用いて人の心理特性を推定する機械学習モデルの構築を実施する。

3. 心理特性推定モデル

3.1. 心理特性に関するアンケート収集

ユーザの心理特性を推定する機械学習モデルを構築するために、心理特性に関するアンケートを実施した。アンケートは、NTTドコモが提供するdポイントクラブアンケート

*1を通じて、利用同意を得たユーザ3136人に対してデータ収集が実施された。今回取得したアンケートを表1に示す。ここで、各心理特性について説明する。

表1 心理特性に基づくアンケート内容

Table1 Questionnaire content based on psychometric characteristics

心理特性	アンケート内容
限定選好	A. 先着10名の限定メニュー B. -
割引選好	A. 20%クーポンのある料理点 B. -
同調志向	A. 周りに同調してA案に挙手 B. 自分が良いと思うB案に挙手
時間選好	A. 今日30,000円もらえる B. 1週間後に33,000万円もらえる
リスク選好	A. 100人に1人、3,000円が当たる B. 1000人に1人、30,000円が当たる

- 利得選好とは得をすることを好む傾向があることを示す。
- 限定選好とは限定感のあるものを好む傾向があることを示す。
- 同調選好とは人と同じ行動を取りやすい傾向があることを示す。
- 時間選好とは現在に近い時間(利益)を好む傾向があることを示す。
- リスク選好とはハイリスク・ハイリターンな行動を好む傾向があることを示す。

アンケート参加者は表1のアンケートに対して段階的に評価した。限定選好、割引選好に対してアンケートのA選択肢を1.魅力を感じる、2.やや魅力を感じる、3.あまり魅力に感じない、4.魅力に感じないの4段階で評価した。同調志向に対して1.周りに同調して、皆と一緒にA案で挙手してしまう、2.自分が良いと思うB案で挙手するが、気まずさを感じる、3.自分が良いと思うB案で挙手し、気まずさは感じないの3段階で評価した。時間選好、リスク選好に対してアンケートのA選択肢、B選択肢を1.Aの方が魅力的、2.どちらかといえばAの方が魅力的、3.どちらともいえない、4.どちらかといえばBの方が魅力的、5.Bの方が魅力的の5段階で評価した。

アンケート結果を図1に示す。図1の各グラフは各心理特性に関するものであり、横軸に段階、縦軸に各段階のアンケート回答数、青色の軸が男性・オレンジ色の軸が女性を意味している。アンケート結果が示す通り、男女間に心理特性に関する大きな差がないことが分かる。図2に各心理特性ごとの相互情報量を示す。図2より情報量として大きな値がないことから各心理特性に対して大きな相関がないことが分かった。

*1 <https://dpoint.docomo.ne.jp/enq/guide/about.html>

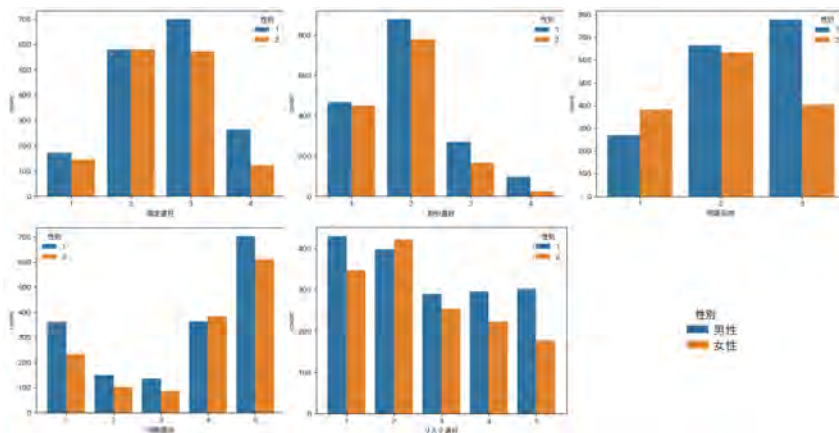


図1 各心理特性に関するアンケート結果

Figure 1 Questionnaire results on each psychological characteristic

表2 推定精度

Table 2 accuracy

心理特性	推定精度 (AUC)
限定選好	0.53
割引選好	0.78
同調志向	0.76
時間選好	0.66
リスク選好	0.64

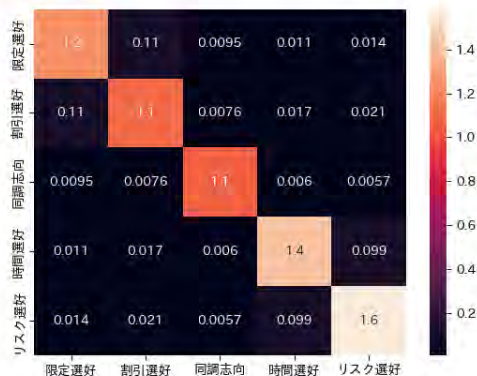


図2 各心理特性ごとの相互情報量

Figure2 Mutual information for each psychological characteristic

3.2. 心理特性を推定する機械学習手法

本研究ではスマートフォンの決済ログ、デモグラフィック情報、アプリケーションの利用履歴を用いて人の心理特性を推定する機械学習モデルの構築を実施する。

今回は心理特性の強度ではなく有無を推定するために目的変数を2値化する。2値化するにあたってユーザー群が同等になるように閾値を設定する。限定選好・割引選好は閾値を1.5, 同調志向は閾値を2.5, 5択である時間選好・リスク選好に対しては閾値を3.5とする。

スマートフォンの決済、アプリケーションの利用履歴を機械学習の説明変数として利用する場合、目的変数の次元数が大きくなりすぎることが問題となる。落合らはスマートフォンのアプリケーションの利用履歴の重要度をTF-IDFを用いて計算することで精度向上を行なった[11]。そこで

本研究では、決済およびアプリケーションの利用履歴に対して、TF-IDFを算出することで説明変数の重要度を計算し、重要度の高い説明変数を選定した。

3.3. 実験

アンケートから収集されたデータの8割を学習データ、2割をテストデータとしてランダムに分割した。推定精度の計算においてクロスバリデーションを用いた。心理特性の推定モデルの学習にはLightGBMを用いた[12]。LightGBMとは勾配ブースティングの手法の一つであり、様々な機械学習問題において高い精度を示すことが知られている。表2に推定精度を示す。

実験結果より割引選好、同調志向において他と比較して高い推定精度が示された。一方、限定選好においては、他と比べて低い推定精度が示されている。これは、過去のキャンペーンに関する説明変数を入れなかったことが原因と考えられる。

表 3 配信メッセージ

Table 3 Message

心理特性	配信メッセージ
プレーン	メッセージ BOX にクーポンが届いています
限定選好	おトクなクーポンが届いています
割引選好	あなただけに限定クーポンが届いています
同調志向	みんな使ってる！？ おトクなクーポン届いています
時間選好	今だけ！おトクなクーポンが届いています
リスク選好	おトクなクーポンが届いているかも！？

4. 今後の展望

我々は将来、本研究の成果を用いることでスマートフォンから推定された個々のユーザの 5 つの心理特性に合わせて、オンラインクーポンの Push 通知の際に表示されるメッセージの内容を変化させ、メッセージのクリック、コンバージョンの割合を向上させる研究を行うことを検討している。本実験で配信するメッセージを表 3 に示す。

5. まとめ

本研究ではオンラインクーポンの開封率と心理特性の関係に着目した。Push 配信のコンバージョンを増加させるためには、心理特性に応じたメッセージ配信をすることが重要と仮定し、ユーザの心理特性を推定する機械学習モデルの構築を実施した。

アンケートを用いて収集したユーザの心理特性の教師データに対して、スマートフォンの決済履歴、デモグラフィック情報、アプリケーションの利用履歴から心理特性を推定する機械学習モデルを構築した。

今後の展望として、推定された心理特性を用いてユーザに合わせて Push 配信のメッセージを変化させることで、ユーザのクリック、コンバージョンの割合が変化するか検証することを検討している。

参考文献

[1] Gavilan, D. and Avello, M.: Enabling smartphone push notifications: the effect of a framed opt-in request, *International Journal of Mobile Communications*, Vol. 21, No. 1, pp. 1–18 (2023).

[2] Leonard, T. C.: Richard H. Thaler, Cass R. Sunstein, *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*: Yale University Press, New Haven, CT, 2008, 293 pp, \$26.00 (2008).

[3] Sugden, R.: On nudging: A review of nudge: Improving decisions about health, wealth and happiness by Richard

H. Thaler and Cass R. Sunstein (2009).

[4] 濱谷尚志, 山田渉, 落合桂一, 山本直樹, 檜山聡ほか健康に関する行動変容のための社会的メッセージ提示方法の検討, 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), Vol. 2021, No. 5, pp. 1–6 (2021).

[5] Choi, W., Park, S., Kim, D., Lim, Y.-k. and Lee, U.: Multi-stage receptivity model for mobile just-in-time health intervention, *Proceedings of the ACM on interactive, mobile, wearable and ubiquitous technologies*, Vol. 3, No. 2, pp. 1–26 (2019).

[6] Okoshi, T., Tsubouchi, K., Taji, M., Ichikawa, T. and Tokuda, H.: Attention and engagement-awareness in the wild: A large-scale study with adaptive notifications, *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, IEEE, pp. 100–110 (2017).

[7] 吉井健敏, 城田晃希, 市川匠, 佐野雄一, 持橋大地ほかメール型広告におけるタイトルが開封に与える影響, 研究報告情報基礎とアクセス技術 (IFAT), Vol. 2022, No. 44, pp. 1–11 (2022).

[8] Barrick, M. R. and Mount, M. K.: The big five personality dimensions and job performance: a meta-analysis, *Personnel psychology*, Vol. 44, No. 1, pp. 1–26 (1991).

[9] Nguyen, B. M., Tran, T., Nguyen, T. and Nguyen, G.: An Improved Sea Lion Optimization for Workload Elasticity Prediction with Neural Networks, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 15, No. 1, p. 90 (2022).

[10] Hamatani, T., Ochiai, K., Inagaki, A., Yamamoto, N., Fukazawa, Y., Kimoto, M., Kiriu, K., Kaminishi, K., Ota, J., Terasawa, Y. et al.: Automated inference of cognitive performance by fusing multimodal information acquired by smartphone, *Adjunct Proceedings of the 2019 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2019 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 921–928 (2019).

[11] Ochiai, K., Senkawa, K., Yamamoto, N., Tanaka, Y. and Fukazawa, Y.: Real-time on-device troubleshooting recommendation for smartphones, *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, pp. 2783–2791 (2019).

[12] Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q. and Liu, T.-Y.: Lightgbm: A highly efficient gradient boosting decision tree, *Advances in neural information processing systems*, Vol. 30 (2017).

睡眠の質と量の主観的・客観的評価の乖離について

今野祥太^{†1} 大森幹真^{†2}

早稲田大学人間科学部^{†1} 早稲田大学人間科学学術院^{†2}

1. 問題と目的

令和元年の国民健康・栄養調査によると、20歳以上の平均睡眠時間は6～7時間程度であり、睡眠の質について、「日中眠気を感じた」と回答した者の中で20歳代が最も多かった(厚生労働省,2019)。また新沼・平松・田村(2020)の、大学生を対象とした調査の中で全体の63%が睡眠時間に対する充足度を「足りていない」と回答した。これらのことから睡眠の時間や質が生活にどのように影響を及ぼすか、調査することが必要であると考え、睡眠に関する海外の研究で、睡眠状態の主観的評価と客観的評価の比較を行い、この2つの乖離が自己申告による睡眠状態と関連があると報告した[1]。そこで本研究では、睡眠の時間と質について、主観的評価と客観的評価の乖離に関する調査を行い、自身の睡眠時間、睡眠状態に関する自己申告(以下要求水準とする)が客観的な睡眠状態に及ぼす影響についても検討した。

2. 方法

2.1 参加者

過去に発達障害・精神障害の診断歴のない定型発達の大学生11名を研究参加者の対象とした。

2.2 刺激と装置

睡眠記録の客観的な測定に腕時計型ウェアラブルデバイス(HUAWEI Band6)を使用し、参加者には実験期間中の睡眠の状態を記録する用紙を配布した。また睡眠状態の主観的な測定のために、過去1ヶ月間の睡眠状態をPSQI-J[2]により評価してもらった。得点の範囲は0~21点であり、5.5点以上をカットオフ値とした。

2.3 手続き

- (1) まずPSQI-Jに回答してもらい、Band 6のキャリブレーションを行った。その後、計測方法の説明を行った。
- (2) 計測方法として1週間睡眠時にBand6を装着して睡眠することを教示した。次に、実測値評価として起床後に睡眠の質の主観的満足度評価を4段階で評定してもらい、Band6に記録された睡眠時間を記録用紙に転記してもらった。
- (3) 期待値評価として前日の睡眠の質・量における自身の実測値を参考にしながら、当日の睡眠時間と満足度の期待値を宣言し、記録してもらった。

2.4 結果の処理法

まず前日の睡眠時間・質における結果の差を達成差得点、結果から前日に決めた期待値の差を目標差得点とした。解

析方法はそれぞれの達成差得点間や目標差得点間についてカイ二乗検定および残差分析を行った。

3. 結果

本研究参加者のPSQI-J総合得点における平均値は点であり、カットオフ値5.5点を超えた参加者は10名だった。各組み合わせにおいて有意差が見られたのは「睡眠の質の達成差得点-目標差得点」($F(4) = 9.451, p < .05$)と「睡眠時間の達成差得点-睡眠の質の達成差得点」($F(4) = 17.801, p < .005$)であった(図1参照)。次に、残差分析の結果、特に顕著なものとして「睡眠時間の達成差得点が平均値よりも低く、睡眠の質の達成差得点が平均値と同じ」群と「睡眠時間の達成差得点が平均値よりも低く、睡眠の質の達成差得点が平均値よりも高い」群で理論値を上回る数値が見られた。さらには「睡眠時間の達成差得点が平均値よりも高く、睡眠の質の達成差得点が平均値と同じ」群や「睡眠時間の達成差得点が平均値よりも高く、睡眠の質の達成差得点が平均値よりも高い」群で理論値を上回る実測値が得られた。

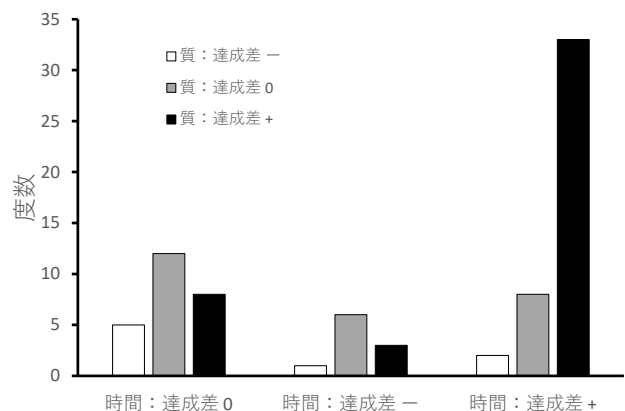


図1.睡眠時間の達成差得点-睡眠の質の達成差得点

4. 考察

本研究の結果から、前日より長く睡眠時間を確保できた場合に睡眠の質が向上していると判断する参加者が多いことが明らかになった。一方で15分未満の差異であれば睡眠の満足度評定は低くなることも示した。

参考文献

- [1] Siobhan et al., (2021) *Sleep Health*, 7, 83-92.
- [2] Doi et al. (2000). *Psychiatry Research*, 97, 165-172.

^{†1} SHOTA KONNO, School of Human Sciences, Waseda University

^{†2} MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University

主体・客体の相違における言語行動の変容：ASD 傾向との関連

林珠里^{†1} 大森幹真^{†2}

早稲田大学人間科学部^{†1} 早稲田大学人間科学学術院^{†2}

1. 問題と目的

自閉スペクトラム症 (ASD) は、社会的コミュニケーションに障害があり、間接的要求のような語用論を含んだ言語表現の理解に困難がある。海外では、定型発達児の間接的 requirement 理解はある程度解明されている (Bucciarelli et al., 2003) が、ASD 児に対する研究は少なく、さまざまな結果が出ている (Kinssine et al., 2012; MacKay & Shaw, 2004)。国内では、定型発達児を含めて発達段階を明らかにした研究は少ない。本研究では、発達障害児を対象に、言語場面と非言語場面での間接的 requirement の理解と課題遂行中の視線機能を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 参加者

発達障害診断のある、もしくは発達障害傾向の子ども 29 名 (男児 21 名, 女児 8 名, 平均年齢 8.9 歳, $SD = 2.5$ 歳) を研究参加者とした。

2.2 刺激と装置

視線機能を計測するために Tobii X3-120 を使用した。ASD 傾向を計測する質問紙として、対人応答性尺度 (SRS-2) と広汎性発達障害日本自閉症協会評定尺度 (PARS) 短縮版児童期を使用した。また言語能力を測定するために PVT-R 絵画語い検査も実施した。実験刺激には、非言語場面では 1 枚の図版に「自分」、「相手」、「もの」の 3 つのイラストを配置し、間接的 requirement を行なっている場面を作成した。言語場面には非言語場面の図版に「文字」を追加し、各 6 種類で合計 12 枚の図版を提示した。

2.3 手続き

参加者に間接的 requirement 課題の 1 枚の図版を 5 秒間提示し、参加者にはその図版を見ることを求めた。黒い背景に切り替わったら、間接的 requirement の理解を問う質問に対して自由に回答を求めた。実験では質問の異なる 2 種類の課題を実施した。非言語場面と言語場面の図版が交互に提示されるようにし、同じ場面が連続で提示されないように順番はランダムになるようにした。こうした手順を 12 回繰り返した。

2.4 結果の処理法

障害傾向の高低による群分けをしたうえで、言語場面と非言語場面での図版を見終わってから回答を終えるまでの平均反応時間、そして注視領域ごとの注視回数・総停留時間等を求めた。そのうえで、障害傾向・課題・領域間で

の 3 要因の分散分析を行った。自由回答データはカテゴリ一分類を行った。

3. 結果

群わけの結果、本研究参加者の障害傾向高群は 20 名、障害傾向低群は 9 名であった。課題間、障害傾向ごとの平均反応時間を比較した。分散分析の結果、課題の主効果 ($F(1, 24) = 140.8, p < .001$) は有意であったが、障害傾向の主効果と交互作用は有意でなかった。Bonferroni 法による多重比較を行った結果、すべての課題の組み合わせに有意差があった。課題 1 より課題 2 の方が平均反応時間は長く、非言語場面より言語場面の方が平均反応時間は長かった。自由回答データを分類した結果、課題 1 では、「状況理解」が 9.9%、「要求」が 58.2%、「同意」が 0%、「その他」が 31.9% であった。課題 2 では、「提案」が 58.8%、「質問」が 8.8%、「同意」が 1.9%、「説明」が 15.3%、「その他」が 16.7% であった。

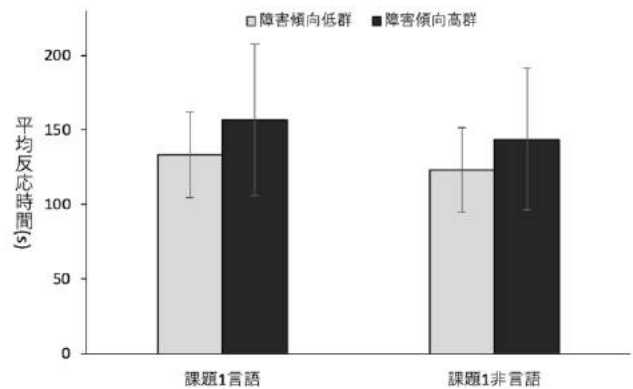


図 1. 課題間、障害傾向ごとの平均反応時間

4. 考察

平均反応時間の結果から、言語場面での間接的 requirement の理解が困難だった可能性がある。自由回答では、「要求」と回答できた子どもはいたが、「状況理解」や「その他」の回答も多数あり、間接的 requirement の理解・表出の困難さを示している。自由回答が難しい子どもがいたが、回答方法や実験条件によって、間接的 requirement の理解ができる可能性がある。

参考文献

- [1] Bucciarelli et al. (2003). *Journal of Pragmatics*, 35, 207-241.
- [2] MacKay & Shaw. (2004). *Child Language Teaching and Therapy*, 20, 13-32.
- [3] Kissine et al. (2012). *Autism*, 16, 523-531.

^{†1} JURI HAYASHI, School of Human Sciences, Waseda University
^{†2} MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University

室内環境測定に基づく居住者の行動推定システム

鈴木臣^{†1} 深沢圭一郎^{†2} 村井孝子^{†3}
 愛知大学^{†1} 京都大学^{†2} 純真学園大学^{†3}

1. はじめに

2007年に人口の21%以上が65歳以上という超高齢化社会となった日本において、高齢者の介護は大きな社会問題になっている。介護者の不足や家族の介護負担は国内人口の減少下においてはさらに深刻になっていくであろう。特に認知症の人には、症状の進行に伴う様々な問題行動を把握し適切にケアする必要があるため、介護の負担は特に大きくなる。現在、認知症は介護が必要となる原因の中で大きな割合を占めている [1]。

一方で、近年急速に実用化が進んでいるIoTによるデータ収集は、産業用途のみならず介護や育児、医療分野においても利用されつつある。IoTを活用することで、ネットワークを介して様々なセンサやカメラから大量のデータが得られるため「見守り」の手段として注目されている [2]。ただし、膨大なデータを効率よく処理して、必要な人に知りたい情報を的確に伝える仕組みも同時に考えていかなければいけない。

本研究では、環境センサとIoTを用いて室内環境変化をモニタすることで居住者（特に認知症高齢者を対象）の行動をリアルタイムに推定するシステムの開発をおこなった。このシステムは非接触かつ自律的に機能するため、介護する側と介護される側の双方の身体的・精神的負担を軽減することが見込まれる。環境データからは様々な情報を得ることができるため多様な見守りに活用できるものの、その情報量の多さからかえって情報を受け取る側の負担が増加することが危惧される。本研究では情報を受け取る側のニーズに合わせて、必要な情報のみを伝える「オーダーメイド型の行動推定」の確立を目的とした。

2. システム概要

本研究で開発したシステムの概要を図1に示す。システムは小型の環境センサ（オムロン 2JCIE）、通信モジュールおよびデータ送受信用エッジコンピュータ（Raspberry Pi 3）で構成され、すべて比較的入手性の良い安価な商品

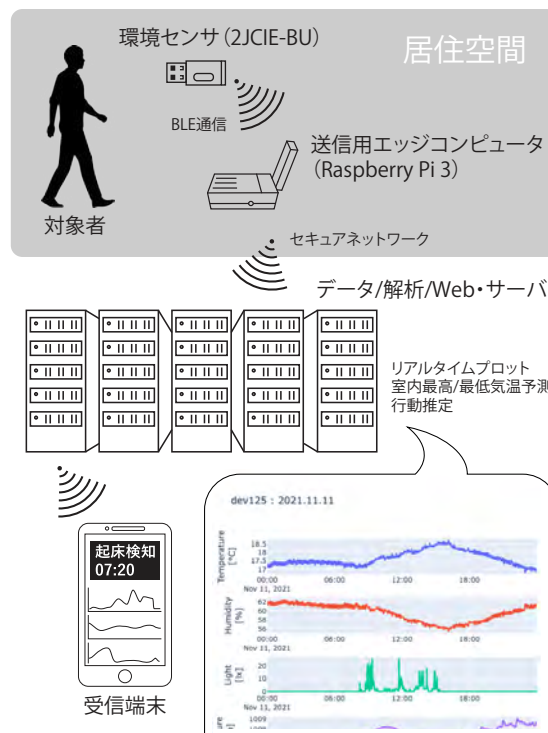


図1 システムの概要図

Figure 1 Schematic illustration of the system.

である [3, 4]。これにより装置が故障した際も復帰が早く、データの連続性が保たれる。使用する環境センサは非常に小型であり USB 電源で独立して動作するため設置場所の自由度が高く、装置を設置した居住空間（多くの場合寝室）で生活する対象者の心理的負担も極めて限定的であるといえる（図2）。環境センサは居室の気温、湿度、気圧、照度、騒音、TVOC濃度、CO₂濃度を測定し、得られたデータは Bluetooth LE 経由でエッジコンピュータに5分間隔で送信される。エッジコンピュータにおいて、データは即座に整形と暗号化がなされ接続された送信モジュールによって外部サーバに転送される。さらにサーバでは毎日の CSV ファイルとして格納され、同時に対象者の行動認識が自動で実行される。データから指定された行動が検知された場合は、事前に設定された家族や介護事業者の受信端末に結

Activity Recognition System Based on the Indoor Environment Sensing

^{†1} SHIN SUZUKI, Aichi University

^{†2} KEIICHIRO FUKAZAWA, Kyoto University

^{†3} TAKAKO MURAI, Junshin Gakuen University



図2 環境センサの外観とサイズ (オムロン 2JCIE)
Figure2 Picture of the environment sensor (OMRON 2JCIE).

果が通知される。またサーバでは、Python の web フレームワークのひとつである Bottle を使用して、描画ライブラリの Plotly でプロットを作成することで、ユーザ側が任意の装置、日付・時間のデータをインタラクティブに確認する環境が整っており、動作確認や研究者間の情報共有がしやすくなっている。またデータを基に、RNN (再帰型ニューラルネットワーク) を利用した最高・最低気温の予測を通知する機能も実装済みである [3]。

3. 結果

3.1. 行動推定：基本行動

室内環境は居住者の行動によって変化することが確認されている。例えばエアコンの作動は騒音や気温 (あるいは相対湿度) の変化として現れるため対象者の動作や安否を確認することができる。本研究では、照度と騒音の変化に注目して、対象者の起床 (照明の点灯により照度が上がり、生活音が騒音レベルの上昇として認識される)、就寝 (消灯により照度が減少し騒音レベルも下がる)、外出 (一定期間騒音レベルが低い状態が続く) を基本として推定している。

図3に測定結果の例を示す。この日は06:00に照度 (図3c) と騒音レベル (図3e) が上がっており、このタイミングで起床したと推定できる。逆に21:45には照度と騒音レベルが下がり就寝した時刻といえる。また、09:00付近から17:00までは騒音レベルが40-50 dB程度で安定しているためこの時間に対象者は外出しているという推定がなされる。実際に介護福祉施設の協力により、これらの検知した行動は正しいことが確認されている。さらにこの日の測定では、06:00から温度5°C程度増加しており (図3a) その後も規則的な気温変化 (エアコンの自動温度調整) が見られるため、起床と同時に対象者がエアコンを動作させたことがわ

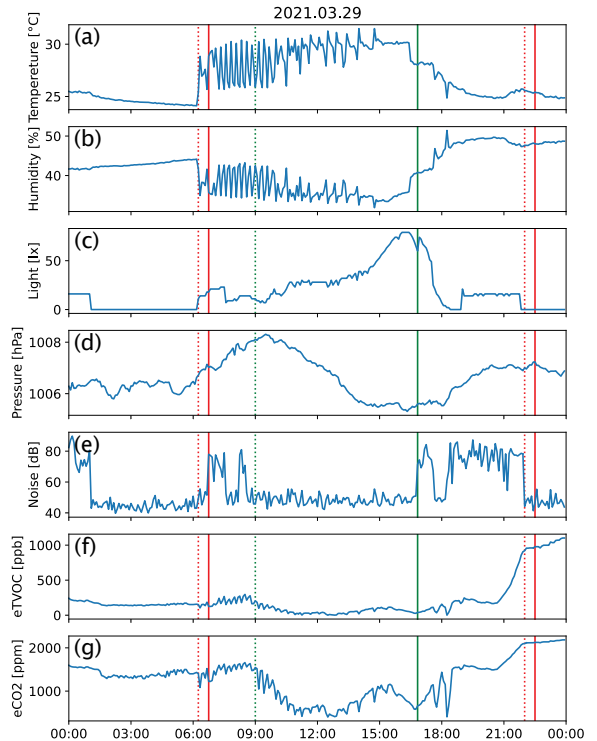


図3 測定結果の例. 2021年3月29日における (a) 気温, (b) 湿度, (c) 照度, (d) 気圧, (e) 騒音, (f) TVOC 濃度, (g) CO₂ 濃度. 赤および緑の破線と実線で囲まれた区間はそれぞれ自動判定された起床・就寝および外出の時間を示す.

Figure3 Example of measurements on 29 March 2021: (a) temperature, (b) humidity, (c) illuminance, (d) atmospheric pressure, (e) noise level, (f) TVOC, and (g) CO₂. The time ranges indicated by the red and green lines show the detections of one getting up/going to sleep and out of the room, respectively.

かる。また19:00付近の照度の上昇 (およびその後一定の明るさが保たれていること) から、日没で部屋が暗くなったため照明をつけたことを知ることができる。なお測定する湿度 (図3b) は相対湿度であるため、気圧 (図3d) の変化に伴わないものは気温変化によるものであるといえる [5]。

対象者の住環境によって閾値の調整は必要であるものの、ある対象者の20日間の測定データからの自動判定の精度は、起床で90%、就寝で45%、外出で80%であった [3]。また、およそ2週間程度で対象者の行動パターンを把握することが可能であることがわかった。一人暮らしの高齢者の場合は特に環境変化から読み取ることができる行動が曜日パターン化される傾向にあるため、このパターンと異なる行動

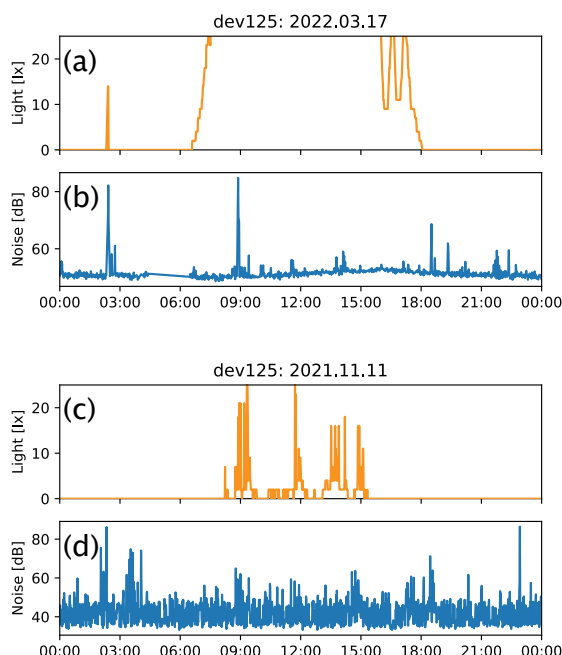


図4 トイレに設置したセンサによる 2022 年 3 月 17 日の (a) 照度と (b) 騒音レベル, 2021 年 11 月 11 日の (c) 照度と (d) 騒音レベル

Figure 4 (a) Illuminance and (b) noise level measured by the sensor in the bathroom on 17 March 2022. (c) and (d) are the same as (a) and (b), respectively, but for the data on 11 November 2021.

が検知された（あるいは検知されなかった）場合は、対象者がなんらかの異常状態にあると推定することもできる。この場合は介護者に通知を出すことで速やかに対象者の安否確認が可能である。

3.2. 行動推定：オーダーメイド型

推定したい行動は対象者によって異なる。ある対象者 A は認知症であり、その家族からは夜中のトイレの使用を検知する要望があった。対象者 A は通常の排泄行動からの逸脱があり、排泄後速やかに家族である介護者に対応することが介護の負担減につながる事例であった。生活行動を撮影することに対してプライバシーの問題も指摘される中 [6], 排泄は極めてプライバシー性の高い行動であるものの、排泄行動を検知する需要は高い。カメラなどに比べると本研究で用いる環境センサでの測定は、プライバシー侵害の程度ははるかに低いといえる。当然、第三者にデータが漏洩しないように配慮しなければならないが、設置した家庭に



図5 トイレ使用が検知されたことを知らせる LINE 通知
Figure 5 Example of LINE messages notifying the detection of use of the bathroom.

においても同様のコメントを受けている。我々は寝室に近いトイレに環境センサを設置して照度と騒音レベルをモニタすることで夜間（21:00 から翌日 05:00 まで）のトイレ使用の検知をおこなった。トイレを使用していない夜間の照度と騒音レベルを測定し、使用時の閾値をそれぞれ 10 lx と 65 dB に設定し、両方の閾値を超えた場合にトイレを使用した（トイレに入り照明をつけた場合に照度が上がり、トイレの水を流した際に騒音レベルが上がる）と推定した。

図 4 にトイレ使用を検知した結果の例を示す。2022 年 3 月 17 日の例では、02:05 付近に照度が 0 lx から 14 lx へ急激な変化が見られ（図 4a）、ほぼ同時刻に騒音レベルも 82 dB に達している（図 4b）ためこの時間にトイレを使用したことがわかる。一方で、2021 年 11 月 11 日の例では 02:10 付近と 03:30 付近に騒音レベルが 65 dB を超える変化が見られるが（図 4d）、照度には変化がない（図 4c）。家族へのヒアリングの結果、対象者 A は照明をつけずに排泄する可能性があり、この晩は消灯したままトイレを使用したことがわかった。そのため検知の条件である騒音レベルの増加に重みを加えることで、一般に用いられる照明スイッチからの検知に比べても精度の高い行動推定・行動検知が可能となった。またトイレの使用が検知された場合は、LINE

のメッセージで家族に通知している (図 5)。ただし通知を受ける介護者への負担を考慮して、トイレ行動を検知しても、前の通知から 60 分が経過していない場合には再通知はおこなわないことを取り決めている。実際の使用を確かめてもらい後日ヒアリングすることで、検知精度向上 (特に誤検知の抑制) のフィードバックを得る体制になっている。このように測定値の閾値や条件を対象者に合わせて調整することで、オーダーメイド型の行動推定が可能となった。

4. 改良の検討

現状のシステム (居住空間に設置する測定系) の価格はおよそ 30,000 円程度であり、別途 LTE 通信のための SIM カードが必要となる。本研究で開発した装置を多地点に展開するためには、さらに単価を下げることも重要である。エッジコンピュータとして使用している Raspberry Pi は近年需給がひっ迫しており、価格も上昇している。本システムでエッジコンピュータが担う処理は比較的単純で負荷も小さいため、Raspberry Pi の代わりにデータの受信と送信を逐次におこなうことに特化したマイコンボードを使うことも想定できる。また、LPWA 通信 (特に LoRa) によるデータ通信についても検討している。エッジコンピュータからサーバへの送信データは、5 分ごとに時刻を含む測定値が ASCII 形式で通信モジュールの LTE で送信されている。1 回の送信に対する通信量は約 100 バイトであるため、LoRa (通信速度は 50 kbps 程度) であっても十分に実用に耐える。さらに、1 台のエッジコンピュータから複数のセンサデータを送信することや、高い時間分解能の測定を目指すことも可能である。複数センサや高い時間分解能での観測は、推定できる行動を増やしたり推定精度の向上につながる。例えば、複数の部屋ごとにセンサを設置することで、対象者がどのように部屋を移動したのか、どの部屋に居ることが多いのかが分かり、部屋の移動がない場合は動けない状態になっている可能性があるため介護者にアラートを出すことも可能である。

5. おわりに

本研究では、IoT センサによる環境測定によって居住者の行動を推定するシステムを開発した。非接触で自律的であり小型かつ安価なシステムとすることで、導入コストを抑えたとともに介護者と対象者の身体的・精神的な負担の軽減を実現する。居住空間の照度と騒音レベルの測定から起床・就寝、外出 (不在) の基本的な行動の推定の精度は十分実用的な段階にあるといえる。また、夜間のトイレの使用を知りたいという設置家庭の要望を受け、対象者のトイレ行動を推定する環境を構築した。検知はリアルタイムの

データから自動でおこなわれ、結果は即座に LINE のメッセージで家族に通知している。対象家庭へのヒアリングを重ねフィードバックを受けることで、検知の精度はユーザの満足のいくレベルに到達していることを確認できた。このように室内環境測定に基づく本システムは、ユーザのニーズや状況に合わせたオーダーメイド型の行動推定も可能である。

今後は数カ所の介護福祉施設や家庭において継続している実証実験の結果をシステムにフィードバックすることでさらなる精度向上を目指す。またハードウェアの価格や通信にかかる費用を抑えることで複数センサの利用や高い時間分解能での測定につなげ、多様なニーズに対応できるシステムの開発を進めていく。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (JP20K21739)、純真学園大学共同研究、および AMED (JP22ym0126814) の支援を受けた。データの取得に協力いただいた福岡市役所保健福祉局、社会福祉法人敬愛園アットホーム福岡、社会福祉法人福岡市民生事業連盟ケアタウン茶山、株式会社ライフケアひかりに感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 内閣府: "令和 4 年版高齢社会白書", <https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2022/html/zenbun/index.html> (参照 2022-11-15).
- [2] 村田健史, 深沢圭一郎, 徳永旭将, 水原隆道, 野見山陸, Somnuk Phon-Amnuaisuk: 映像 IoT 技術による赤ちゃん見守りシステム, 情報システムと社会環境研究報告, Vol.2020-IS-151 No.3, pp.1-6 (2020).
- [3] 深沢圭一郎, 鈴木臣, 村井孝子: 非接触センサと IoT を用いた自律的遠隔見守りシステムの研究開発, 情報処理学会研究報告, 2022-IS-159, Vol. 7, pp. 1-6 (2022).
- [4] Murai T., K. Fukazawa, S. Suzuki: A Study on Predictive Detection of Excretion in Elderly Requiring Care Using Video Internet of Things, the 25th East Asia Forum of Nursing Scholars (EAFONS) Conference (2022).
- [5] 鈴木臣, 深沢圭一郎, 村井孝子: IoT による室内環境変化のリモートセンシング, 愛知大学情報メディアセンター紀要 COM, Vol. 32, No. 1 (2023), in press.
- [6] Hjelm K., and L. Hedlund: Internet-of-Things (IoT) in healthcare and social services – experiences of a sensor system for notifications of deviant behaviours in the home from the users' perspective, Health Informatics Journal, Vol. 28(1), doi: 10.1177/14604582221075562 (2022).

コラボレーションの定量・定性分析を接続する IoT システムの一検討

山口 隼平^{†1} 大島 律子^{†2} 大島 純^{†3} 木崎 一廣^{†4} 藤橋 卓也^{†5} 猿渡 俊介^{†6} 渡辺 尚^{†7}
大阪大学 静岡大学 静岡大学 大阪大学 大阪大学 大阪大学 大阪大学

概要

学習科学の分野では、協調学習と呼ばれる他者と協調 (コラボレーション) しながら創造的な問題解決に取り組む能力を育む学習形態が研究対象として注目されている。これまで学習科学の分野で実施されてきた協調学習の定性分析をサポートするための手法として、近年では協調学習の定量分析を実現する Internet of Things (IoT) システムが提案されている。しかしながら、定量分析で得られる情報と定性分析で得られる情報を正確に接続するうえでデバイス間の時刻同期誤差が課題となる。本稿では、協調学習の定量分析に向けてセンサデータを収集する名刺型センサ、協調学習の定性分析に向けて学習映像を記録するカメラデバイス、両デバイスの時刻同期を実現して定量・定性分析を正確に接続するセンサデバイスからなる IoT システムを提案する。実機を用いた同期精度の評価から、各デバイスのサンプリングレートやフレームレートに基づく許容誤差以内の時刻同期を満たすこと、デバイスを長時間稼働させた場合でも同期性能が安定することが推察された。

1. はじめに

協調学習とは、他者と協調 (コラボレーション) しながら創造的な問題解決に取り組む能力を育む学習である。他の学習者と協調しながら問題解決に取り組むことで、他の学習者から新たな知識を吸収したり学習者間の社会的関係を調整する能力を会得したりすることができる。協調学習におけるグループの知識進展や学習者個人の貢献の様相を明らかにするために、学習科学の分野では映像データに基づいた学習活動の定性分析がなされてきた [1, 2]。具体的には、学習現場にビデオカメラを設置して視線やボディランゲージ、表情、発話、筆記といった学習者のふるまいを記録・観

察することで正確かつ詳細な学習分析を実現している [3]。

近年、協調学習の定性分析における記録・観察の対象を高速かつ容易に抽出するための手法として協調学習の定量分析を実現する Internet of Things (IoT) システムが開発されている [4, 5, 6, 7, 8, 9]。たとえば文献 [7] では、小型カメラを用いて視線やボディランゲージといった学習者の視覚情報に加えて、生体信号センサを用いて心拍や呼吸数といった学習者の非視覚情報を抽出する IoT システムが開発されている。文献 [4, 5, 6, 8, 9] では、名刺型センサを用いて学習者の対面や学習フェーズ、発話者、学習者の活動量といったマルチモーダルな情報を抽出する IoT システムが開発されている。定性分析の利点である正確かつ詳細な学習分析に定量分析の利点である高速かつ容易な学習分析を融合することで新たな学習法則の理解に寄与することが期待される [10]。

しかしながら、定量分析で得られる情報を定性分析で得られる情報と正確に接続するにはデバイス間の時刻同期誤差が課題となる。具体的には、定量分析で用いられる IoT センサ群と定性分析で用いられるビデオカメラのクロックがずれることで得られる時系列データの整合性がとれず分析結果が意味をなさないものになってしまう。既存研究 [4, 5, 6, 7, 8, 9] においても、定量分析で用いられる IoT センサ群で時刻同期を実現する研究が一部なされている一方で、IoT センサ群を用いて得られたセンサデータと定性分析で用いられる映像データとの同期をとる仕組みは実現されていない。正確な定性分析を実現するうえで映像データに求められる時刻同期精度としてはフレームレートの 10 分の 1 以下が望ましい。たとえば、ビデオカメラのフレームレートが 1s である場合には 100 ms 以下の精度で他のデバイスと同期することが求められる。

2. 提案手法

デバイス間の時刻同期誤差に関する課題を解決する手法として、本稿では協調学習の定量分析と定性分析を正確に接続することを目的とした IoT システムを提案する。提案システムは、学習活動のセンサデータを記録する Sensor-based Regulation Profiler Badge (SRP Badge)、学習活動の映像を記録する Sensor-based Regulation Profiler Video

A Preliminary Study on an IoT System to Connect Quantitative and Qualitative Collaboration Analysis

^{†1} SHUNPEI YAMAGUCHI, Osaka University

^{†2} RITSUKO OSHIMA, Shizuoka University

^{†3} JUN OSHIMA, Shizuoka University

^{†4} KAZUHIRO KIZAKI, Osaka University

^{†5} TAKUYA FUJIHASHI, Osaka University

^{†6} SHUNSUKE SARUWATARI, Osaka University

^{†7} TAKASHI WATANABE, Osaka University

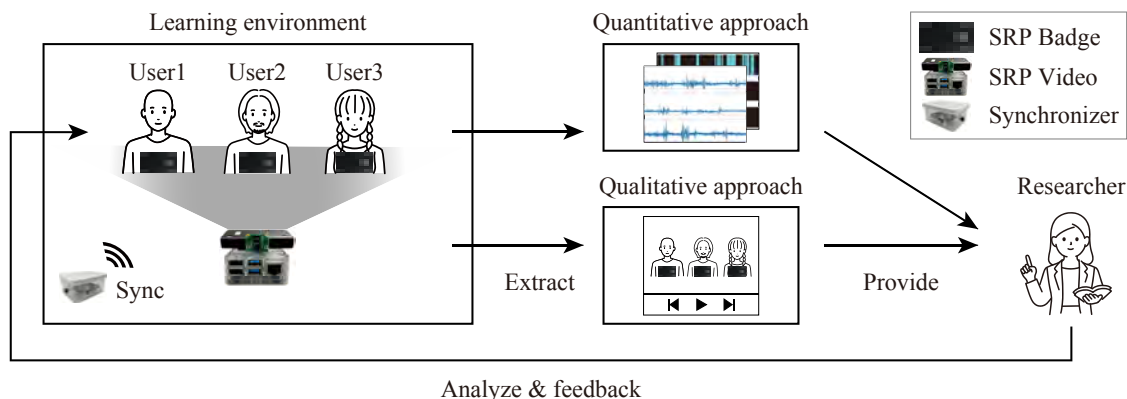


図1 提案IoTシステムを用いた協調学習分析の全体像

(SRP Video), 定期的に同期パケットを送信することで両デバイスの時刻同期を図る Sensor-based Regulation Profiler Synchronizer (SRP Synchronizer) からなる。SRP Badge は、学習者の胸元に装着することを想定した名刺型センサである。SRP Video は、学習環境に設置することを想定した小型のカメラデバイスである。SRP Synchronizer は、同期パケットを全デバイスに対して定期的に送信して各デバイスに受信・転送させることでデバイス間の時刻同期を実現する。図1に、提案システムを用いた協調学習分析の全体像を示す。提案システムを用いた協調学習分析は以下の順序で実施される。

1. 学習者に SRP Badge を装着
2. 学習環境に SRP Video および SRP Synchronizer を設置
3. 学習者による協調学習を実施
4. 学習者および学習環境から SRP Badge, SRP Video, SRP Synchronizer を回収
5. SRP Badge からセンサデータを抽出・可視化
6. SRP Video から映像データを抽出
7. 得られたデータを用いて学習科学の研究者が協調学習を定量的かつ定性的に分析
8. 分析結果を学習現場にフィードバック

2.1. Sensor-based Regulation Profiler Badge

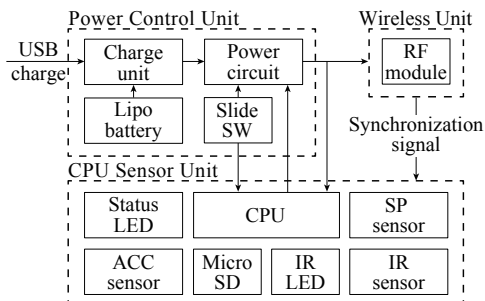
図2(a)および(b)にSRP Badgeの概観およびブロック図を示す。本バッジは、電源制御部・CPUセンサ部・無線部からなる。

電源制御部では、センサノードを動かすためにリチウムイオン電池が搭載されている。リチウムイオン電池から電源スイッチと Micro Controller Unit (MCU) に電源が供給されている。バッジの連続稼働時間は24時間である。

CPUセンサ部では、STMicroelectronics社の



(a) 概観



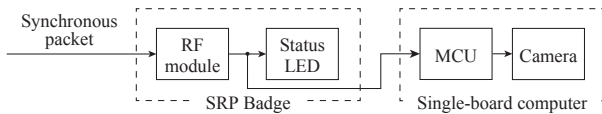
(b) ブロック図

図2 Sensor-based Regulation Profiler Badge

STM32L476RGT6 を MCU として、TDK 社の音圧センサである INMP510 (SP sensor), ANALOG DEVICES 社の加速度センサである ADXL362 (ACC sensor), OptoSupply 社の赤外線 LED である OSI5LAS1C1A (IR LED), KODENSHI CORP. の赤外線受光器である PIC79603 (IR sensor) が搭載されている。音圧センサは 100 Hz 12 bit, 加速度センサは 100 Hz 3 軸 12 bit, 赤外線センサは高々 30 Hz でサンプリングする。各センサデータは SRP Badge のスロットに差し込まれた microSD カードにバイナリで保存される。得られたセンサデータを学習分析プログラム [8] にかけること学習者の対面や学習フェー



(a) 概観



(b) ブロック図

図3 Sensor-based Regulation Profiler Video

ズ、発話者、学習者の活動量といった定量分析結果を得ることができる。

無線部では、Texas Instruments 社の無線モジュールである CC2650 が搭載されている。無線モジュール上では、SRP Badge 間の高精度時刻同期を実現する同時送信型フラッシングプラットフォーム UNISONet [11] が動作している。SRP Badge 間の時刻同期において親機に相当する SRP Synchronizer から 1s ごとに送信される同期信号を各バッジの無線モジュールが受信・転送することでバッジ間の時刻同期を実現する。

2.2. Sensor-based Regulation Profiler Video

図 3 (a) および (b) に SRP Video の概観およびブロック図を示す。SRP Video は、節で述べた SRP Badge とカメラ搭載のシングルボードコンピュータ (SBC) からなる。図 (a) に示す通り、SBC の上に有線接続した SRP Badge が搭載されている。本稿では、カメラを搭載した SBC として Raspberry Pi Camera V2 をフラットケーブルで接続した Raspberry Pi 4 Model B を用いている。Raspberry Pi の動作をソフトウェアで制御するにあたって Python 3.9 を用いている。SRP Synchronizer から 1s ごとに送信される同期信号を受信するためのデバイスとして SRP Badge を用いる。SRP Badge は、無線モジュールで同期信号を受信するとバッジ本体に搭載された LED を即座に点灯させる。SRP Badge の無線モジュールから LED に点灯を指示する電気信号を同期信号とみなして SBC 上の汎用入出力 (GPIO) に有線で引き込む。SBC は、GPIO で電気信号を受信した直後に MCU を介して接続されたカメラへ撮影を指示する。カメラは最終的に SRP Synchronizer から SRP Badge および SBC を介して転送された同期信号に基づいて 1s ごとに映像を記録する。各撮影処理後に 1ms のス



図4 Sensor-based Regulation Profiler Synchronizer

リープを実行することで Python の処理時間安定化を図っている。

2.3. Sensor-based Regulation Profiler Synchronizer

図 4 に SRP Synchronizer の概観を示す。SRP Synchronizer は、節および節で述べた SRP Badge および SRP Video 間の時刻同期を実現するための同期パケットを各デバイスに対して定期的を送信する。同期パケットは IEEE 802.15.4 の規格に基づいた信号で 1s ごとに無線送信される。SRP Synchronizer から SRP Badge および SRP Video への片方向通信を通じて、SRP Synchronizer から定期送信される同期パケットを各デバイスが受信・処理することで SRP Synchronizer とのクロックのずれを認識して各デバイスがセンサデータに付与するタイムスタンプを補正する。

3. デバイスの処理時間および安定性の評価

SRP Video を構成する SRP Badge の同期精度は、1 時間連続で稼働させた場合でも処理時間のばらつきが $\pm 30 \mu\text{s}$ で安定することが示されている [4]。本稿では、SRP Badge から同期信号を受信して撮影処理を終えるまでに Raspberry Pi が要する処理時間の安定性を評価した。より正確な時間計測を目的として、Raspberry Pi の GPIO に STMicroelectronics 社の SBC である STM32F446 を繋いで処理時間の計測を行った。具体的には、SRP Badge の同期信号を Raspberry Pi が受信した直後から Raspberry Pi のカメラが撮影処理を終了するまでの時間に Raspberry Pi の GPIO ピンから STM32F446 に電気信号を出力することで処理時間を計測した。STM32F446 は $100 \mu\text{s}$ ごとに電気信号の有無を検知することで高精度な処理時間計測を行った。2.3 節で述べたとおり、SRP Video による撮影頻度は同期信号の受信頻度に合わせて 1s とした。毎秒の撮影を 1 時間継続して得られる計測時間の最大・最小・平均・範囲を算出して処理時間の安定性を評価した。

図 5 に SRP Video の撮影処理に要する時間を示す。図 5

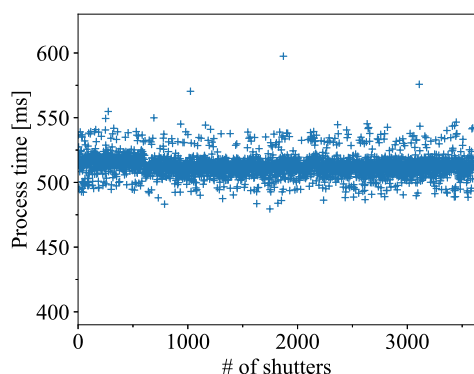


図5 SRP Video の撮影処理に要する時間

の横軸は撮影されたシャッタ数を、縦軸は各撮影の処理時間 (s) を表している。各撮影の処理時間の最大、最小、平均、範囲はそれぞれ 597.5 ms, 479.5 ms, 512.7 ms, 118.0 ms となった。現状の SRP Video におけるフレームレートが 1 fps であること、フレームレートの 10 分の 1 の同期精度が要求されることを考慮すると、撮影処理時間の誤差範囲である 118.0 ms は本稿の許容誤差である 100 ms を満たさない。一方で、撮影処理がイメージセンサによる記録および JPEG ファイルへの現像処理から構成されること、撮影処理時間の誤差として現像処理はデータ上影響を及ぼさないことを考慮すると、撮影処理時間の誤差範囲はより小さく許容誤差を下回る可能性が示唆される。

4. 結論

本稿では、協調学習の定量分析に向けてセンサデータを収集する SRP Badge, 協調学習の定性分析に向けて学習映像を記録する SRP Video, 両デバイスの時刻同期を実現して定量・定性分析を正確に接続する SRP Synchronizer から構成される IoT システムを提案した。実機を用いた同期精度の評価から、各デバイスのサンプリングレートやフレームレートに基づく許容誤差以内の時刻同期を満たすこと、デバイスを長時間稼働させた場合でも同期性能が安定することが推察された。

今後の取り組みとして、SRP Video で収集した映像データの時刻同期誤差を厳密に計測するために撮影処理に要する時間をより細かいスケールで観察することがあげられる。具体的には、撮影処理の構成プロセスであるイメージセンサによる記録および JPEG ファイルへの現像処理の時間計測をプロセスごとに行うことで撮影処理の同期誤差に影響するイメージセンサによる記録のぶれを明らかにする。また、映像を用いた定性分析で求められる SRP Video のフレーム

レートを明らかにすると同時にフレームレートを上げた場合に増大する同期誤差の評価と同期誤差を抑制する手法の提案があげられる。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (JP19H01714, JP22J20391) および JST さきがけ (JPMJPR2032) の支援の下で行った。

参考文献

- [1] Haller, C. R., Gallagher, V. J., Weldon, T. L. and Felder, R. M.: Dynamics of Peer Education in Cooperative Learning Workgroups, *Journal of Engineering Education*, Vol. 89, No. 3, pp. 286–293 (2000).
- [2] Barron, B.: When Smart Groups Fail, *Journal of the Learning Sciences*, Vol. 12, No. 3, pp. 307–359 (2003).
- [3] Ochoa, X.: Multimodal Learning Analytics, *The Handbook of Learning Analytics* (Lang, C., Siemens, G., Wise, A. and Gašević, D., eds.), Society for Learning Analytics Research, pp. 129–141 (2017).
- [4] 山口隼平, 大和多修介, 大島律子, 大島 純, 藤橋卓也, 猿渡俊介, 渡辺 尚: コラボレーションを抽出するためのセンサネットワーク実現に向けた時刻同期精度に関する検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, pp. 1–1 (2019).
- [5] Yamaguchi, S., Ohtawa, S., Oshima, R., Oshima, J., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: Collaborative Learning Analysis Using Business Card-Type Sensors, *International Conference on Quantitative Ethnography*, pp. 319–333 (2021).
- [6] Yamaguchi, S., Oshima, R., Oshima, J., Shiina, R., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: Speaker Identification for Business-Card-Type Sensors, *IEEE Open Journal of the Computer Society*, Vol. 2, pp. 216–226 (2021).
- [7] Ouhachi, H., Spikol, D. and Vogel, B.: MBOX: Designing a Flexible IoT Multimodal Learning Analytics System, *2021 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pp. 122–126 (2021).
- [8] Yamaguchi, S., Ohtawa, S., Oshima, R., Oshima, J., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: An IoT System with Business Card-Type Sensors for Collaborative Learning Analysis, *Journal of Information Processing*, Vol. 30, No. 3, pp. 13–24 (2022).
- [9] Yamaguchi, S., Nagano, M., Ohira, S., Oshima, R., Oshima, J., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: Web Services for Collaboration Analysis With IoT Badges, *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 121318–121328 (2022).
- [10] David Williamson Shaffer: *Quantitative Ethnography*, Cathcart Press (2017).
- [11] Suzuki, M., Liao, C.-H., Ohara, S., Jinno, K. and Morikawa, H.: Wireless-Transparent Sensing, *International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks*, pp. 66–77 (2017).

社会的意義付けを活用したハイブリッド介入の基礎検討

柏本 幸俊^{†1}

KDDI 総合研究所

山崎 悠大^{†2}

KDDI 総合研究所

曹 蓮^{†3}

KDDI 総合研究所

上坂 大輔^{†4}

KDDI 総合研究所

1. はじめに

近年、様々な行動を対象とした行動変容支援システムが登場している [1]。多くのシステムは健康増進意識が一定以上存在するユーザの日々の歩行行動の習慣化等の比較的行動変容が容易な行動に注目する。一方で、依存状態にある喫煙・飲酒患者の禁煙・禁酒や勉強が苦手な子供の学習の習慣化、向社会的行動（以降「誘発・習慣化の障壁が高い行動」とする）などの対象行動の誘発と習慣化が難しいという課題が存在する [2]。

本研究では、行動変容支援システムを用いた誘発・習慣化の障壁が高い行動を対象とした行動変容技術を検討する。教育・社会心理学では行動変容に必要な動機付けとして外発的動機付けと内発的動機付けを定義している [3][4]。一般的に外発的動機付けとは他者からの要求や報酬などが目的で行動する動機付けであり、内発的動機付けとは行動自体に楽しさや意義を感じ、自発的に取り組む動機付けである。また、動機付けを外発-内発という2分割ではなく、外発的動機付けを自己決定性の程度からさらに4つに区分し、内発動機付けとの連続性を想定した自己決定理論が存在する [3]。自己決定理論によると人間の動機付けは外発から内発に向けて行動の自己決定性（自発性）が徐々に高くなる。そして、自己決定の程度が高い動機付けであるほど、行動が促進、習慣化されやすい。しかし、対象行動を開始し習慣化する過程において、最初から行動が自発的に習慣化されるのは稀である。一般的には自発性が低い外発的動機付けから始まり、日常生活での成功経験を重ね、達成感や有能感などが高まることによって内発的動機付けに遷移し、自発性が高い対象行動が導かれ、行動の習慣化が行われる。特に、誘発・習慣化の障壁が高い行動は、このような過程を踏んで習慣化を目指すのが有効であると考えられる。

健康増進意識が一定以上存在するユーザの日々の健康歩行の促進等、行動変容が比較的容易な行動においては、多くの場合、内発的動機付けにある程度近づいた状態のユーザに対して行動変容支援システムの使用を開始すると考えられる。この場合はユーザの内発的動機付けの状態を維持し、高めることに行動変容技術を活用する。一方で、誘発・習慣

化の障壁が高い行動においては、外発的動機付けより行い、対象行動を誘発し、外発的動機付け状態を内発的動機付け状態に遷移する必要がある。従って、行動の誘発・習慣化を行動変容支援システムを用いて実現するには以下の課題を解決する必要がある。

課題 1 外発的動機付けによる行動の誘発→内発的動機付けによる習慣化を一貫して実現する行動変容技術の開発

課題 2 外発的動機付け状態より内発的動機付け状態に遷移可能な行動変容技術の開発

課題 3 課題 2 の行動変容技術と親和性の高いユーザの心理的特徴の解明

課題 1 の対処方針として、自己決定理論にもとづき、行動の誘発・習慣化までを一貫して実現する行動変容技術として Inducements と Persuasion を組み合わせたハイブリッド介入を提案する。Inducements とは、他者が意図する行動を誘発するために実施する介入であり、ナッジなどが含まれる。従って、外発的動機付けを行うための介入として活用することができ、これまでナッジを中心として多数の研究が行われている。Persuasion とは、本人が意図する行動変容を支援する介入である。従って、内発的動機づけを強化するための介入として活用することができる。これまで、内発的動機付けができていたユーザを対象にした介入として説得 (Persuasion) を用いた多数の研究が行われている。本研究では、まず対象行動を Inducements を用いて誘発し、次に Persuasion を用いて行動の習慣化を実現することで、対象行動の誘発・習慣化を実現する。

課題 2 においては、外発的動機付け状態から内発的動機付け状態に遷移するための介入手法は教育学における学校現場での指導事例等に留まっており [5]、行動変容システムに応用できる介入手法の確立が課題として存在する。本研究では誘発・習慣化の障壁が高い行動の1つである向社会的行動のうちパトロールランを対象として、外発的動機付けより内発的動機付けに遷移するための介入手法を検討する。向社会的行動とは相手のことを思いやって、または誰かのために行う行動のことである [6]。また、パトロールランとは日常の軽い運動のついでに街の見回りをを行い、街の安心安全にも貢献する活動のことである*1。課題 2 を解決するため、社会的意義付けを用いた外発的動機付けより内発的動機付けへの遷移を提案する。社会的意義付けとは対象行

The effectiveness of a combined inducement and persuasion approach.

^{†1} KASHIMOTO Yukitoshi, KDDI Research Inc.

^{†2} YAMAZAKI Yudai, KDDI Research Inc.

^{†3} CAO Lian, KDDI Research Inc.

^{†4} KAMISAKA Daisuke, KDDI Research Inc.

*1 パトロールラン: <http://patorun.com/>

動を行う意図がないものの既に誘発（外発的動機付け状態）している行動に対して、社会に役に立つ実施意義を認知させることで内発的動機付け状態に移行することと定義する。

課題3とは、本研究で用いる社会的意義付けを対象とし、有効に作用するユーザの心理的特徴を明らかにすることである。これまでパトロールランを含む向社会的行動と関係性が指摘されている心理的特徴として、社会的価値 [7][8]、共感性 [9]、Bigfive が存在する [10]。本研究では、社会的意義付けも同様にこれら心理的特徴との相関が高いと仮定し検証を行うことで、社会的意義付けが有効に作用する心理的特徴を明らかにする。社会的意義付けが有効に作用する心理的特徴を明らかにすることで、ユーザの心理的特徴にあわせた介入の選択が可能となる。

上記の課題の解決策を踏まえて、自己決定理論とハイブリッド介入を用いたパトロールランの誘発・習慣化は以下のステップで実施することを仮定する。

- Step1 Inducements を用いて健康増進を目的とした歩行行動を誘発（外発的動機付け状態）
- Step2 健康増進を目的とした歩行行動が実はパトロールランとなっていることを気づかせる（社会的意義付けを用いた外発的動機付けより内発的動機付けへの遷移）
- Step3 Persuasion を用いてパトロールランの習慣化（内発的動機づけ状態）

本研究では初期調査として、パトロールランの誘発・習慣化ステップにおける Step2、すなわち課題2の社会的意義付けの効果と課題3の社会的意義付けが有効に作用する心理的特徴を検証する。

2. アンケート設計

課題2と3を検証するため以下の方針でアンケートを設計した。

- 方針1 週1回以上の運動習慣のあるユーザを対象としたアンケートの実施
- 方針2 実験群と統制群の群間比較により社会的意義付けの効果検証を実施
- 方針3 パトロールランと日常の軽い運動でもパトロールランとなることの説明記事を社会的意義付けコンテンツとして作成
- 方針4 心理的特徴として価値志向的精神尺度、多次元共感測定尺度、Bigfiveの採用

方針1

本アンケートの目的は社会的意義付によって外発的動機付け状態より内発的動機付け状態に遷移することができるかを検証することである。従って、本アンケートの対象者は週1回以上の屋外での軽い運動（散歩・ジョギング）を行っている回答者（外発的動機付け状態となっている回答



図1 社会的意義付け記事

者)とする。スクリーニングで該当する回答者を抽出する。

方針2

社会的意義付けの効果を定量的に比較するために、アンケート回答者を実験群と統制群に割付を行い、介入の有無による効果検証を群間比較で行う。回答者は、本質問において以下2つの質問に5件法（1.まったく思わない～5.非常にそう思う）で回答する。

- Q1 あなたの普段の屋外での軽い運動（散歩・ジョギング）は誰かの役に立ちますか？
- Q2(実験群) 今後、パトロールランを意識した屋外での軽い運動を行おうと思いますか？
- Q2(統制群) 今後、誰かのためになることを意識した屋外での軽い運動を行おうと思いますか？

Q1では現在実施している屋外での軽い運動（散歩・ジョギング）が誰かの役に立つ行動（＝向社会的行動）となっていたか？を回答する。次にQ2は今後の屋外での軽い運動についてパトロールラン/誰かのためになることを意識することができるか？を回答する。社会的意義付けの効果はQ1とQ2の回答値の差分で測定する。すなわち、社会的意義付けが成功した場合は回答スコアがQ1に比べてQ2が高くなるため、その差分によって効果検証を行う。Q2において統制群はパトロールランの記事を閲覧しないため、向社会的行動の定義に従い、誰かのためになることを意識した屋外での軽い運動に対する意向を収集した。

方針 3

課題 2 の解決方策である社会的意義付けの介入を行うために、パトロールランに関する記事を作成し、アンケート回答者のうち実験群にのみ提示した。パトロールランに関する記事は 2 セクション構成となっており、第 1 セクションはパトロールランの概要を説明する。第 2 セクションは現在実施している屋外での軽い運動 (散歩・ジョギング) が実は既にパトロールランになっていることと、日々の軽い運動を行う中でパトロールランを意識するだけでもパトロールランができることを提示する (社会的意義付けを行う) 記事とした。記事内で用いたキャッチ画像を図 1 で示す。

方針 4

課題 3 の検証を行うため、向社会的行動と関係性が指摘されている心理的特徴として、社会的価値、共感性、Bigfive との相関を調査する。社会的価値は価値志向精神尺度のうち他者との協力意向を測定できる下位尺度の社会的精神作用を採用する [11]。この尺度では社会的精神作用に関する 8 項目に対して 5 件法で測定する。共感性については多元性共感測定尺度のうち他者への共感に関連する下位尺度である視点取得項目と共感的配慮項目を採用する [12]。これらの尺度では 14 項目に対して 4 件法 (1. 全く当てはまらない ~4. 非常に当てはまる) で測定する。Bigfive は 29 項目で回答者のパーソナリティを測定できる短縮版を採用する [13]。Bigfive では 7 件法 (1. 全く当てはまらない ~7. 非常に当てはまる) で回答する。

3. オンラインアンケート調査と結果

社会的意義付けの有効性の初期検証として、オンラインアンケートによる予備検証を実施した。調査会社のアンケートでは週に 1 回以上の屋外での散歩・ジョギングをする習慣のある回答者を実験群と統制群にランダムに割り付けた。スクリーニング質問において、方針 1 で述べた週 1 回以上の運動を行うアンケート回答者のみを抽出した。本調査において、実験群にのみ方針 2 で述べた社会的意義付けの記事を提示した。社会的意義付けの記事を提示した直後に、記事に関しての理解レベルを測定するために記事で述べられている項目を選択させる質問を挿入した。本設問では、記事に関して述べられている 4 項目と述べられていない 4 項目の計 8 項目の選択肢で構成されており、回答者は述べられている項目のみをチェックボックス形式で選択し、回答する。また、方針 2 で述べた本調査でパトロールランに対する意向 (Q1,2) と方針 4 で述べた心理的特徴 (Q3-5) を収集した。アンケートは 2022/12/9-2022/12/13 で実施し、週 1 回以上の屋外での散歩・ジョギングをする習慣のある回答者 206 名を対象とした。うち 103 名を実験群、103 名を統制群の割り付けた。アンケート回答者の年齢分布は 20 歳-69 歳であった ($M = 48.2, SD = 12.5$)。また 56.3% のアンケー

表 1 Q1,2 回答スコア差分の残差分析結果 (* $p < .05$)

増減	実験群	統制群	標準偏差	p 値
増加 (+)	37.21%	20.39%	+/-2.130	.033*
0	44.19%	58.25%	+/-1.555	.120
減少 (-)	18.60%	21.36%	+/-0.375	.707

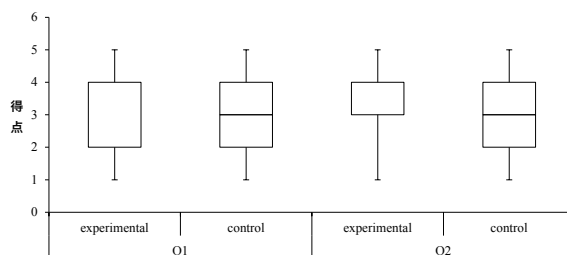


図 2 Q1 と Q2 の回答値の分布

ト回答者が男性で、43.7% の回答者が女性であった。また実験群のうち、記事の内容を正しく理解できている (記事に関して述べられている 4 項目のみを選択する) 回答者 43 名を分析対象とした。

図 2 に実験群と統制群の Q1 と Q2 の回答値の分布を示す。社会的意義付けの効果を検証するため、方針 2 で述べた回答者毎に算出した Q1 と Q2 の差分を求め、残差分析を行った (表 1)。分析の結果、実験群で 37.21% の回答者のスコアが増加し、統制群で 20.39% の回答者のスコアの増加にとどまり、実験群では回答スコアが有意に上昇した回答者が増えたことがわかった ($p < .033$)。以上の分析結果より社会的意義付けによって、効果的にパトロールラン実施意向を促進できることが分かった。

次に、Q2. パトロールラン意向と心理的特徴 (Q3-Q5) の相関分析結果を表 2 に示す。相関分析の結果、社会的価値、共感性の共感的配慮項目、Bigfive のうち開放性、外向性、協調性に有意な相関が確認できた。社会的価値について、今回の社会的意義付けによって促進されるパトロールランが向社会的行動であると回答者も捉えているため、文献 [7] と同様の有意な相関となったと考えられる。つまり、社会的価値傾向の高い回答者は他人とのつながりを大事にするため、社会的意義付けによってパトロールランを実施する意向が高くなったと考えられる。共感性の共感的配慮項目についても文献 [12] で指摘されていた通りの有意な相関が確認できた。自分以外の他人や他集団に対して共感できる回答者は他人に役立つと共感できる行動であれば積極的に行おうとするため、社会的意義付けによってパトロールランを実施する意向が高くなったと考えられる。一方で、共感性の視点取得項目については有意な相関は確認できなかった。視点取得項目については、相手の立場に立って考える意向の強さを表している。従って、向社会的行動との関係

表 2 The correlation between each parameter (** $p < .01$, * $p < .05$)

#	項目	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Q2: パトロールラン意向	.30**	.17	.18*	.28**	.11	.21**	.18*	-.05
2	Q3: 社会的価値	-	.31**	.40**	.36**	.32**	.58**	.48**	-.15*
3	Q4-3: 共感性-視点取得		-	.44**	.09	.22**	.12	.35**	-.10
4	Q4-3: 共感性-共感的配慮			-	.11	.31**	.13	.27**	.03
5	Q5-1: Bigfive-開放性				-	.22**	.52**	.27**	-.30**
6	Q5-1: Bigfive-誠実性					-	.16*	.44**	.29**
7	Q5-1: Bigfive-外向性						-	.32**	-.36**
8	Q5-1: Bigfive-協調性							-	-.43**
9	Q5-1: Bigfive-神経症傾向								-

性を考える場合、回答者が向社会的行動による具体的な受益者が想定できることが重要と考えられる。しかし、今回のパトロールランに関する記事では具体的な受益者を記載していないため、他者の立場に立って考えるような「視点取得」の活性化に繋がらなかったと考えられる。具体的な受益者を想定し、受益者からのフィードバック（感謝等）が発生すると、本項目についても有意な相関が得られる可能性がある。Bigfive については開放性、外向性、協調性が有意な相関が確認できた。開放性の高い回答者ほど、新たなことに挑戦する意向が高く、外向性の高い回答者ほど社交性が高いことから他者の役に立つ向社会的行動への意向が高いこと、協調性の高い回答者ほど他者に献身的であることが要因と考えられる。

4. まとめ

本研究では、向社会的行動の1つであるパトロールランを対象として、外発的動機づけ状態より内発的動機づけ状態に移るための介入手法として社会的意義付けを提案し、オンラインアンケート調査を用いて効果を検証した。オンラインアンケート調査の結果、社会的意義付けによってパトロールラン意向が有意に上昇したことを確認できた。また、社会的意義付けと親和性（相関）の高い心理的特徴として社会的価値、共感性-共感配慮項目、Bigfive-開放性、外向性、協調性が確認できた。今後は実フィールドで、オンラインアンケートで得られた知見を活用した社会的意義付けを活用したパトロールランの促進実験を行い、課題1の解決方法であるハイブリッド介入とともに検証予定である。

参考文献

[1] Harri Oinas-Kukkonen. A foundation for the study of behavior change support systems. *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 17, No. 6, pp. 1223–1235, 8 2013.

[2] 福井弘教. <研究ノート>日本におけるギャンブル依存症患者に関する一考察 — 依存症患者の脳機序に着目して —. *技術マネジメント研究*, Vol. 16, pp. 25–37, 3 2017.

[3] Edward L. Deci and Richard M. Ryan. Self-

determination theory. *Handbook of Theories of Social Psychology: Volume 1*, pp. 416–437, 1 2012.

[4] 曹蓮, 山崎悠大, 柏本幸俊, 上坂大輔. 向社会的行動の般化に及ぼす心理的要因 ～ 社会的意義づけされた軽い運動に焦点を当て ～. *電子情報通信学会技術研究報告; 信学技報*, Vol. 122, No. 349, pp. 54–59, 1 2023.

[5] Tsutomu Fujita and Takashi Sugihara. 大学生の運動参加を予測する高校体育授業における内発的動機づけ. *体育学研究*, Vol. 52, No. 1, pp. 19–28, 1 2007.

[6] 菊池章夫. 向社会的行動の発達. *教育心理学年報*, Vol. 23, No. 0, pp. 118–127, 3 1984.

[7] Adam M. Grant and Francesca Gino. A little thanks goes a long way: Explaining why gratitude expressions motivate prosocial behavior. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 98, No. 6, pp. 946–955, 6 2010.

[8] Kashimoto Yukitoshi, Sakai Tomohiro, and Minamikawa Atsunori. Preliminary study on the correlation between gratitude activity and prosocial behaviour. In *BCSS 2022 Adjunct Proceedings of the 17th International Conference on Persuasive Technology*, 2022.

[9] John F. Dovidio and Jillian C. Banfield. Prosocial Behavior and Empathy. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition*, pp. 216–220, 3 2015.

[10] Gustavo Carlo, Morris A. Okun, George P. Knight, and Maria Rosario T. de Guzman. The interplay of traits and motives on volunteering: agreeableness, extraversion and prosocial value motivation. *Personality and Individual Differences*, Vol. 38, No. 6, pp. 1293–1305, 4 2005.

[11] 酒井恵子, 久野雅樹. 価値志向的精神作用尺度の作成. *教育心理学研究*, Vol. 45, No. 4, pp. 388–395, 12 1997.

[12] TAKAKO SUZUKI. Some Factors Influencing Prosocial Behavior Empathy, social skill and extraversion. *THE JAPANESE JOURNAL OF EXPERIMENTAL SOCIAL PSYCHOLOGY*, Vol. 32, No. 1, pp. 71–84, 7 1992.

[13] Tsutomu Namikawa, Iori Tani, Takafumi Wakita, Ryuichi Kumagai, Ai Nakane, and Hiroyuki Noguchi. Big Five 尺度短縮版の開発と信頼性と妥当性の検討. *心理学研究*, Vol. 83, No. 2, pp. 91–99, 2012.

多様な情報への接触促進を目的とする 行動を考慮したコンテキスト適応情報提示システム

小川展夢^{†1} 松村欣司^{†2} 藤沢寛^{†3}
日本放送協会^{†1,2,3}



図1 スマート環境におけるコンテキスト適応情報提示のイメージ[4]
Figure 1 Image of context-adaptive content presentation in the smart home environment

1. はじめに

インターネットメディアの普及により、人々は膨大な量の情報の中から自身の関心に沿うものを選び出して接触することが簡単に出来るようになった。しかし、個人が日常生活の中で情報接触に使える時間は限られるため、関心の高い情報へのアクセスが増えれば、相対的に関心の低い情報へのアクセスは減少する。その結果、一部のユーザは、社会的に重要な公共や政治の話題など、多くの人の間で共有されることが望ましい情報への接触量が減少し、そうではないユーザと知識に差が生じる可能性がある[1]。このことは、世論の分断を生む要因となり得る[2]。放送事業者はこれまで、主に放送を通じて多様な情報を発信してきたが、人々の情報接触スタイルの変化に伴い、放送単独でそれらの情報を十分に広めることが難しくなっている。そこで我々は、放送サービスプラットフォームを拡張して放送関連サービスの利便性を高めることで、ユーザへの情報提示機会を増やす手段を検討している。

手段の1つとして、Internet-of-Things (IoT) /スマートデバイスを用いた、生活環境のスマート化技術の活用を検討している[3]。この技術を用いれば、スマート環境（スマートホームやスマートシティ等）において、IoTセンサ等のセンシング値を基に、各ユーザの時々刻々の行動などのコンテキストを推定出来る。そして、コンテキストに応じたサービスを選択し、環境に設置されたデバイス群から適切な出力デバイスを選択し、サービスを提供出来る。その結果、ユーザは少ない操作負担でサービスを利用出来る。我々は、この技術を用いて、個々のコンテキストに応じた方法で情報を提示（コンテキスト適応情報提示）することで、ユーザが手軽に情報に接触出来るようになり、その結果、情報

接触機会を増やせると考えている（図1）[4]。

コンテキスト適応情報提示の実現に向け、これまでに、ユーザ体験（UX）面とシステム面での検討を行ってきた。UX面においては、情報提示可能なコンテキストの1つとして生活行動中の「ながら」行動に着目したフィールド実験を行った[5]。実験参加者宅内の洗面所や台所など4箇所にスマートディスプレイを設置して疑似的なスマート環境を構築し、参加者が様々な生活行動中にながら視聴しやすいレイアウトでニュースを提示し、どのようなコンテキストでながら視聴が実行されやすいか調査した。結果、洗面や料理など特定の行動中に、ユーザが普段接触頻度の低いジャンルのニュースを視聴する傾向が確認された。一方、システム面においては、放送を他の様々なデバイスやサービスと連携する仕組みについて検討してきた。具体的には、放送コンテンツに応じて多様なIoTデバイスを制御するフレームワーク[6,7]を提案した。また山上らは、放送と他の様々なサービスの利用ログを横断的に利用してパーソナライズされた情報提示を行うためのデータ管理モデルを提案した[8]。しかし、行動の様な刻々変化するコンテキストを情報提示に活用する仕組みは未検討である。

そこで本稿では、放送事業者等のサービス提供者がユーザの行動を考慮したコンテキスト適応情報提示を行うためのシステムアーキテクチャを提案する。

2. 課題整理と要件抽出

放送等のサービス提供者がスマート環境において行動に応じた情報提示を行うために解決すべき課題と、システムの機能要件を整理する。本稿では2つの課題に着目する。

（課題1）サービス提供者による行動推定の困難さ：スマート環境において行動に応じたサービスを実行するまでの一般的な処理は、以下である；複数のIoT/スマートセンサによるセンシング結果を基に行動を推定し、推定された行動を基にサービス（コンテキスト適応情報提示においては

Context-adaptive Content Presentation in Smart Environment for Incidental Exposure to Diverse Information
†1 HIROMU OGAWA, NHK
†2 KINJI MATSUMURA, NHK
†3 HIROSHI FUJISAWA, NHK

提示する情報や提示方法)を決定し、IoT/スマートデバイスを制御して何らかのアクションを実行する。ここで、IoT/スマートセンサの設置については、サービス提供者が各ユーザーの環境に自サービス専用のセンサ群を設置するより、自サービスと独立して設置されたセンサ群から情報を得て行動推定する形態が現実的と考えられる。しかし行動推定には、センサのセンシング値に加え、センサの種類や設置状況等、ユーザー毎のセンサ設置状況の情報が必要であり、かつユーザーの環境毎に行動推定器を学習する必要がある。この様に複雑・煩雑な行動推定機の実装の全てをサービス提供者が実施することは、現実的に困難である。そこで、以下を機能要件①とする：サービス提供者自身が行動推定せずに、行動の推定値を取得できること。

(課題2) 他サービスとの連携：ユーザーが放送や他サービスで接触していない情報をコンテキスト適応提示で届けるなど、サービス間の連携を行うことで、コンテキスト適応提示のUX向上が期待できる。そのような連携を実現するには、ユーザーの行動ログと他サービスの利用ログを、同時に参照する必要がある。そこで、以下を機能要件②とする：行動ログと他サービスの利用ログを一様に取り扱えること。

3. システムアーキテクチャ

前節までの検討を踏まえ、行動に応じたコンテキスト適応情報提示システムのアーキテクチャを提案する(図2)。

3.1 概要

システムを構成する装置は、各種IoT/スマートセンサ群と、情報提示デバイスである。またクラウド等に実装された各種機能群と、Personal Data Store (PDS)を利用する。PDSとは、個人が利用する様々なサービスのデータを自身で保持・管理する仕組みである。様々なサービスの利用ログを、ユーザー自身の意思に基づき組み合わせることで利用可能になる。

システムの大まかな機能は、センサのセンシング値を基にユーザーの行動を推定し、推定した行動のログと他サービスの利用ログを参照して、提示する情報や提示方法を決定し、提示することである。この過程は、以下の3つのステップに大別される；(1) 低次行動(「歩く」「コーヒーマカのスイッチをONにする」などセンサ値から直接推定可能な行動。)の検出、(2) 高次行動(「休憩を取る」など複数の低次行動の系列からなる行動。)の推定、(3) 情報提示の決定・実行。

3.2 システム構成

- センサ：環境をセンシングする。
- 低次行動検出部：センサがセンシングした値を基に、対応する低次行動を検出する。低次行動オントロジに含まれる語彙に該当する低次行動を検出する。
- PDSログ登録部：低次行動検出部が検出した低次行動を低次行動オントロジに従って構造化し、PDSに登録する。

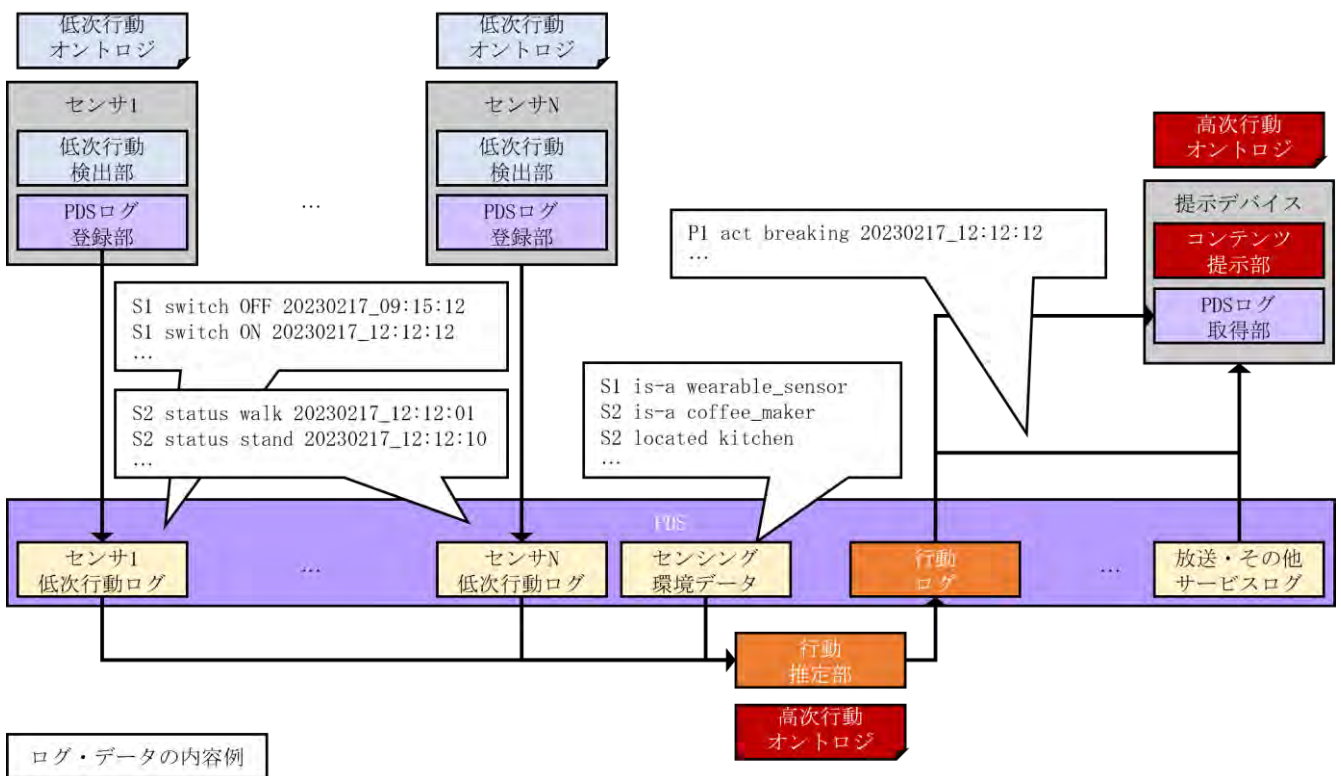


図2 提案システムアーキテクチャ
Figure 2 Proposed system architecture

- PDS：センサが検出した低次行動のログを保持する。また、行動推定部が推定した高次行動のログを保持する。また、他サービスの利用ログを保持する。なお前提として、各ユーザは自身のPDSを保有し、保有する様々なセンサや、利用する様々なサービスのログを集約しているものとする。
- 高次行動推定部：各センサが検出した低次行動のログとセンシング環境データを集約する。センシング環境データとは、センサ種や設置場所等についての構造化データである。また、低次行動の系列と高次行動オントロジを参照し、現在実行中の高次行動を推定する。また検出した高次行動を構造化し、PDSに登録する。
- 提示デバイス：情報を提示するデバイス。Webブラウザを持ち、Webアプリを実行可能なものとする。
- PDSログ取得部：行動ログの更新を監視し、更新があった場合、行動ログや予め指定した他サービスの利用ログをPDSから取得する。なお、行動ログや他サービス利用ログは、それぞれ構造化されているものとする。
- 情報提示部：PDSログ取得部が取得した行動・その他サービス利用ログを基に、提示する情報や提示方法を決定する。また、提示を行う。行動ログの解釈のために、高次行動オントロジを参照する。

3.3 機能要件への対応

(要件①への対応) 先述の通り、行動を低次行動と高次行動の2段階に分類し[9]、これらの関係性を外部オントロジとして記述する。また、センシングから情報提示方法決定までの処理を3段階に分割し、センサのセンシング値を基に低次行動を検出する役割を低次行動検出部に、低次行動から高次行動を推定する役割を高次行動推定部に、高次行動や他サービスの利用ログを基に情報提示方法を決定する役割を情報提示部が担い、各部の入出力は低次/高次行動オントロジに従って設定する。こうして各機能部を疎結合にすることで、情報提示部は行動推定部の詳細な処理を知らなくても、推定された行動に応じた情報提示が可能となる。なお、情報提示部の開発はサービス提供者が、高次行動推定部の開発はIoTクラウド事業者や住宅事業者等が行うことを想定している。

(要件②への対応) 先述の通り、PDSに行動ログや、他サービスの利用ログを、構造化データとして一元的に集約する構成とする。また、PDSログ取得部がPDS上の行動データの更新を監視し、更新があった場合に、行動ログと、ユーザが自身で予め指定・許可したサービスの利用ログを取得し、情報提示の方法を決定する。また、行動ログの構造は高次行動オントロジに従う。こうすることで、ユーザの行動と多様なサービスの利用ログを考慮した情報提示判断が可能となる。

4. 試作と動作検証

設計の妥当性を検証するため、提案システムアーキテクチャの一部機能を試作し、動作を検証した。具体的には、典型的なサービスシナリオを想定し、システムが実現に必要な処理を実行出来るかを確認した。

4.1 検証シナリオ

図3に検証シナリオを示す。前提として、ユーザAと、その友人であるユーザBが、それぞれの自宅にいる状況を想定する。ユーザA宅には、リビングにテレビが、台所にIoTコーヒーマーカーとスマートディスプレイとが設置されているとする。テレビは視聴行動と視聴内容のログを、IoTコーヒーマーカーはスイッチ操作ログを各々のPDSに登録する機能を持つとする。スマートディスプレイは、ブラウザ上でwebアプリを実行可能とする。また、ユーザAはIoTセンサを身に付けており、このセンサは立つ・歩くなどの低次行動を識別可能とする。ユーザB宅のリビングにもテレビがあり、ユーザBはユーザAに対し、自身のテレビ視聴ログの閲覧許可を与えているものとする。具体的なシナリオの流れと、実現に必要なシステムの処理は、図3中に記載のコメント通りとし、詳細説明はここでは割愛する。

4.2 試作構成

本稿では、提案システムアーキテクチャの内、PDSを介して各機能部がデータをやり取りする処理を実装した。情報提示部をWebアプリとして実装し、PCのブラウザ上で動作させた。IoTセンサ、コーヒーマーカーは、PDSに構造化データを登録するWebアプリを作成し、代替とした。PDSの機能はW3C Solid [10]仕様に基づき、PDSサーバは[11]を、PDSログ登録/取得部は[12]を利用して実装した。

4.3 結果

図3中に記載したシナリオの通りにシステムが動作することを確認できた。

5. まとめ

ユーザへの情報提示機会を増やし多様な情報への接触を促すための手段の一つとして、スマート環境において、ユーザの行動等コンテキストに応じて情報を提示するシステムのアーキテクチャを設計し、一部機能を試作し、動作を確認した。

今後、行動推定部や情報提示部の高度化、低次/高次行動オントロジの詳細設計、[6,7,8]との結合等に取り組む。

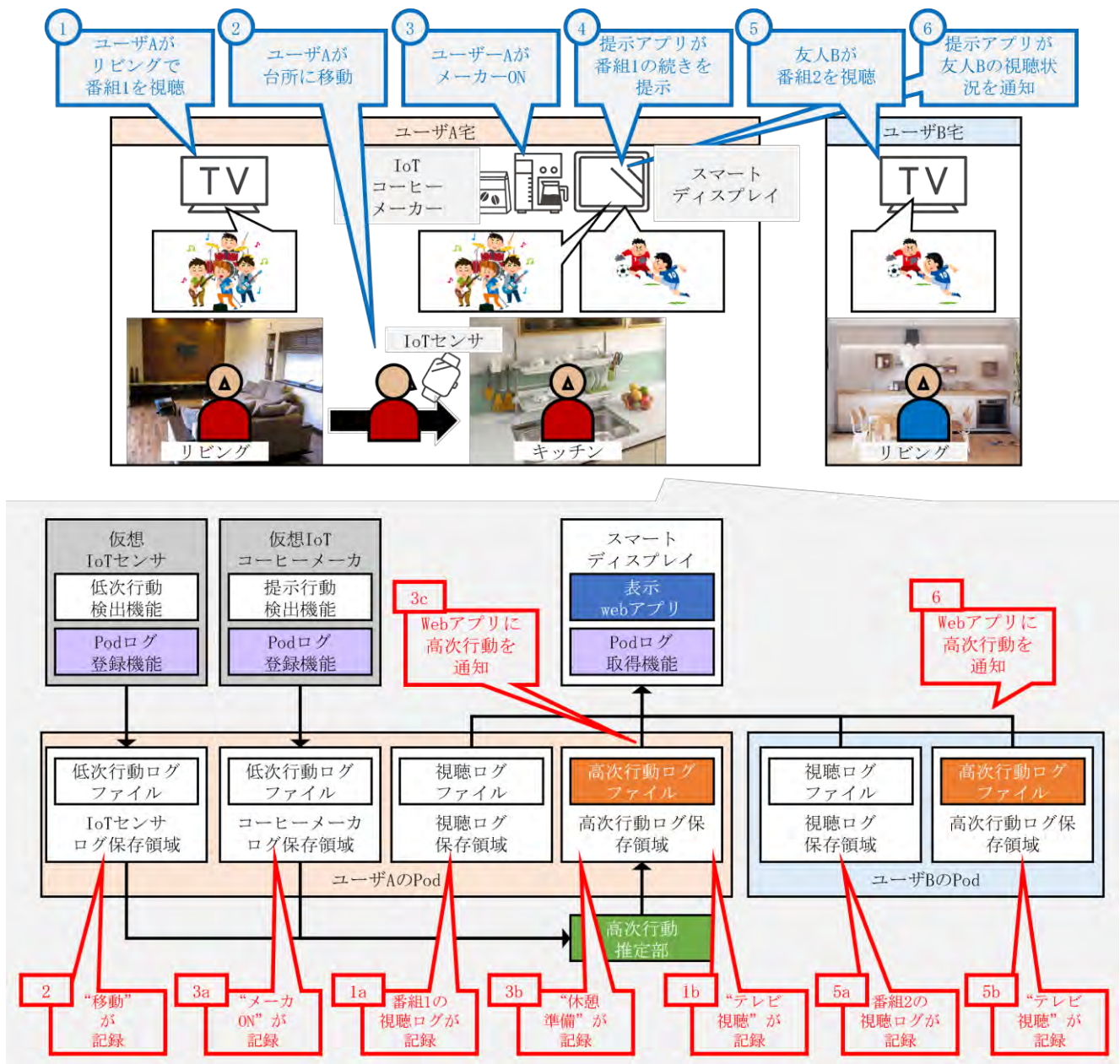


図3 検証シナリオと処理シーケンス

Figure 3 Test Scenario

参考文献

[1] 安野智子, 今日の世論形成過程の検証, 放送メディア研究, 2016, no. 13, pp. 130-156.

[2] 辻大介, ネット社会における世論形成の「分断」, 2021, マス・コミュニケーション研究, no. 99, pp. 3-13.

[3] L. Chen, C. D. Nugent, and H. Wang, A Knowledge-Driven Approach to Activity Recognition in Smart Homes, 2012, IEEE Trans. Knowl. Data Eng., vol. 24, no. 6, pp. 961-974

[4] “技研公開 2022,” <https://www.nhk.or.jp/strl/open2022/tenji/2/index.html>, (参照 2023-02-17).

[5] 小川展夢, 松村欣司, 生活行動中ながら視聴によるニュース接触への影響, 情処 HCI, 2022, vol. 2022-HCI-198, pp. 1-8.

[6] H. Endo, T. Sato, H. Ogawa, S. Abe, S. Fujitsu, K. Matsumura, and H. Fujisawa, IOT-BASED MEDIA FRAMEWORK FOR PUBLIC SERVICE MEDIA: EXPANSION OF CURRENT DIGITAL BROADCASTING SYSTEMS, IBC technical paper, 2021, pp. 1-12.

[7] 佐藤辰哉, 小川展夢, 遠藤大礎, 大亦寿之, 松村欣司, 藤澤寛, ユーザ状況に適した放送コンテンツ提示のためのユーザ情報の処理モデルの一検討, 情処 MBL, 2022, vol. 5, pp. 1-6.

[8] Y. Yamakami, M. Ueno, and K. Matsumura, User-Centered Broadcasting Service Utilizing Personal Data Store, in ACM International Conference on Interactive Media Experiences, Aveiro JB Portugal, 2022, pp. 337-342.

[9] N. D. Rodríguez, M. P. Cuéllar, J. Lilius, and M. D. Calvo-Flores, A survey on ontologies for human behavior recognition, ACM Comput. Surv., 2014, vol. 46, no. 4, pp. 1-33.

[10] “Solid Technical Reports,” <https://solidproject.org/TR/>, (参照 2023-02-17).

[11] “Community Solid Server,” <https://github.com/CommunitySolidServer/CommunitySolidServer>, (参照 2023-02-17).

[12] “Inrupt JavaScript Client Libraries,” <https://docs.inrupt.com/developer-tools/javascript/client-libraries/>, (参照 2023-02-17).