

情報処理学会
IoT 行動変容学研究グループ
第 6 回研究会論文集

(Proceedings of IPSJ Behavior Transformation by IoT Research Group 6th Research Meeting)

2023 年 12 月 22 日

東京大学（本郷キャンパス）
ダイワユビキタス学術研究館

目次

- プログラム ……P1
- 一般講演一覧 ……P2
- ポスター・デモ発表一覧 ……P3
- 一般講演予稿集 ……P4～79
- ポスター・デモ発表予稿集 ……P80～105

情報処理学会 IoT行動変容学研究グループ

第6回研究会（BTI6）



■URL : <http://www.sig-bti.jp/> / Twitter : [@ipsjbtj](https://twitter.com/ipsjbtj)

■日程 : 2023年12月22日(金) 10:45～17:30
(10:00～ 受付・開場)

■開催場所 : 東京大学大学院情報学環
ダイワユビキタス学術研究館
〒113-8655 東京都文京区本郷7-3-1
地下本郷三丁目駅徒歩5分
アクセス: https://webpark5033.sakura.ne.jp/wp8/?page_id=52

◆ プログラム

□10:00～ 受付

□10:45～11:00 オープニング / 主催者ご挨拶

□11:00～12:30 一般発表 1（発表 12分、質疑 5分、交代 1分）

1. 11:00-11:17 従業員の主体的な業務行動を促進するアプリ開発
2. 11:18-11:35 プレゼンティーズム改善に向けたスクリーンセーバを用いた体調可視化システムの検討と基礎評価
3. 11:36-11:53 妊産婦を対象にIoTを活用した歩行行動の変容—Be-TWINKLE studyより—
4. 11:54-12:11 Assessing changes in stress levels through competitive gamification of a time management focus technique
5. 12:12-12:29 歩行習慣の動機づけのための行動変容を促すアプリケーション StepUpSyncの設計 / Design of a behavior change application to motivate walking habits application: StepUpSync

12:30～13:30 お昼休憩

13:30～15:00 一般発表 2（発表 12分、質疑 5分、交代 1分）

6. 13:30-13:47 向社会的なネットワーク利用を説得的に促す公衆Wi-Fiの設計と実装
7. 13:48-14:05 ScaleCity : 透明な3次元都市モデルを用いた都市データのVisualization
8. 14:06-14:23 ウォーカブルシティの歩行空間設計に向けた市民の合意形成のための歩行者シミュレーション
9. 14:24-14:41 製造業におけるDX対象の特定と推進のためのDXロードマッピングフレームワークの開発
10. 14:42-14:59 分散型多人数教育におけるコミュニケーションの困難さに対する非言語情報獲得技術の適用

15:00～15:15 休憩・移動

15:15～16:35 Poster/demoセッション（90分）

- DP1. 視線・運動機能からみた英語書字のぎこちなさ
- DP2. スマートフォン内蔵センサによるWBGTラベル推定
- DP3. 環境センシングとバイタルデータ分析による熱中症リスク推定
- DP4. Stable diffusionを用いた休憩促進システムの提案
- DP5. 行動変容システムの誤動作による不信感に対する寛容性醸成ための擬人化に関する研究
- DP6. 衝動買いを抑止するシステムの検証
- DP7. 要介護者と複数介護者をつなぐIoT型サブパットのセンサ実験及び評価
- DP8. 水平方向の変動性からみた書き困難の定量的評価

16:35～16:50 休憩・移動

16:50～17:20 企業セッション

- 16:50- 17:05 日立製作所（ご講演：佐々木真美様）
- 17:05- 17:20 ZOZO Research（ご講演：斎藤侑輝様）

17:20～17:30 クロージング / 主査ご挨拶

一般講演発表一覧

(P4~9) 従業員の主体的な業務行動を促進するアプリ開発

安村 透, 牧 秀行, 永井 知沙, 佐々木 真美 (日立製作所 デザインセンタ)

(P10~17) プレゼンティーズ改善に向けたスクリーンセーバを用いた体調可視化システムの検討と基礎評価

大園 咲奈, 中村 優吾, 荒川 豊 (九州大学)

(P18~25) 妊産婦を対象にIoTを活用した歩行行動の変容—Be-TWINKLE studyより—

曹 蓮, 多屋 優人, 坂本 優子 (株式会社KDDI 総合研究所), 本田 由佳 (應義塾大学大学院政策・メディア研究科), 野尻 宗子 (順天堂大学医学部附属練馬病院), 中澤 仁 (應義塾大学大学院政策・メディア研究科)

(P26~36) Assessing changes in stress levels through competitive gamification of a time management focus technique

Riya Singh (慶應義塾大学環境情報学部), Gao Zexiong (東京大学大学院学際情報学府), 乾 雄貴, 柄澤 匠, 大越 匡, 中澤 仁 (慶應義塾大学環境情報学部)

(P37~42) 歩行習慣の動機づけのための行動変容を促すアプリケーション StepUpSyncの設計 / Design of a behavior change application to motivate walking habits application: StepUpSync

野口 諒介, 武本 充治 (東京国際工科専門職大学)

(P43~49) 向社会的なネットワーク利用を説得的に促す公衆Wi-Fiの設計と実装

江口 直輝, 崔赫 秦, 中村 優吾, 福嶋 政期, 荒川 豊 (九州大学)

(P50~57) ScaleCity : 透明な3次元都市模型を用いた都市データのVisualization

坂本 凜, 横窪 安奈, 道方 孝志, 越塚 登 (東京大学大学院学際情報学府)

(P58~64) ウォークブルシティの歩行空間設計に向けた市民の合意形成のための歩行者シミュレーション

堀 千咲, 濱田 健夫, 横窪 安奈, 道方 孝志, 越塚 登 (東京大学大学院学際情報学府)

(P65~71) 製造業におけるDX対象の特定と推進のためのDXロードマッピングフレームワークの開発

磯田 祐世, 野々村 真誉, 山本 佑樹 (株式会社 UACJ)

(P72~79) 分散型多人数教育におけるコミュニケーションの困難さに対する非言語情報獲得技術の適用

野々村 真誉, 磯田 祐世, 山本 佑樹 (株式会社 UACJ)

ポスター・デモ発表一覧

(P80) 視線・運動機能からみた英語書字のぎこちなさ

大森 幹真（早稲田大学人間科学学術院）

(P81~85) スマートフォン内蔵センサによるWBGT ラベル推定

張 嘉宝, 黄 文浩, 黄 文浩, 柄澤 匠, 近藤 綾香, 丸井 朱里, 柘植 晃, 大越 匡（慶應義塾大学）

(P86~89) 環境センシングとバイタルデータ分析による熱中症リスク推定

近藤 綾香, 柄澤 匠, 張 嘉宝, 丸井 朱里, 柘植 晃, 大越 匡（慶應義塾大学）

(P90~92) Stable diffusionを用いた休憩促進システムの提案

浜口 翔伍, 柄澤 匠, 浜中 智己, 佐々木 航, 中澤 仁, 大越 匡（慶應義塾大学）

(P93~96) 行動変容システムの誤動作による不信感に対する寛容性醸成のための擬人化に関する研究

胡 伊端（東京農工大学大学院生物システム応用科学府生物機能システム科学専攻）, 辻 愛里, 藤波香織（京農工大学大学院工学研究院先端情報科学部門）

(P97~100) 衝動買いを抑止するシステムの検証

樋口 朋香, 柄澤 匠, 浜中 智己, 佐々木 航, 中澤 仁, 大越 匡（慶應義塾大学）

(P101~104) 要介護者と複数介護者をつなぐIoT型サブパットのセンサ実験及び評価

中谷 結香, 岩井 将行（東京電機大学）

(P105) 水平方向の変動性からみた書き困難の定量的評価

林 珠里, 林 欣誼（早稲田大学大学院人間科学研究科）, 大森 幹真（早稲田大学人間科学学術院）

従業員の主体的な業務行動を促進するアプリ開発

安村透^{†1} 牧秀行^{†2} 永井知沙^{†3} 佐々木真美^{†4}

日立製作所 デザインセンタ^{†1,2,3,4}

1. はじめに

企業の業務の中には、利益を生み出すコア業務以外にも、日々の業務報告など毎日実施することを期待されているものがある。ワークスタイルの多様化が進む昨今においては、職場マネジメントという観点でこのような業務を着実に実施することがますます重要である。特に COVID-19 流行と共に普及した在宅ワークやハイブリッドワークにおいては、出社勤務では当たり前だった、対面打ち合わせや立ち話を通じた指示や意思疎通の機会創出が難しくなっており、各従業員の働き方に合わせた職場マネジメントが求められる状況となった[1][2][3][4]。

一方、従業員はコア業務以外の業務を軽視し、優先度を低くしがちである。社内教育や情報発信により、これらの業務のメリットや意義の周知を進める方法もあるが、従業員への一律的かつ全方位的なフォローアップだけでは、自分の重要ミッションと捉えてもらうことが難しく、主体的な実施の徹底に繋がりにくい。さらに、一方的な情報発信だけでは、どの程度効果があったのか実態把握することが難しい。効果的な介入施策と効果測定方法の開発が課題である。

本論文では、従業員の業務報告の提出にフォーカスし、主体的な業務報告を促進する介入施策を明らかにする。従業員が業務報告を行う際に達成したいと思っていることを、多様な行動特性ごとに細分化し、行動特性に基づいた最適な施策を提示することで、業務報告に関する行動の変容が促進できると仮定した。

本研究では、行動を促進する施策を明らかにするために、以下を行った。

- (1) 各従業員の行動特性を踏まえたリマインダーを提示するポップアップアプリの開発
- (2) 業務報告に関わる行動特性の変化の検証

具体的には、行動科学の理論活用が自発的な行動変容の促進に有用であること[5][6]を踏まえ、ユーザの行動変容ステージを5つ(無関心期, 関心期, 準備期, 実行期, 維持期)に分け各ステージから上位ステージに段階的に移行させる行動変容ステージモデル(The transtheoretical model)[7][8]と、認知バイアス[9]を利用した行動変容デザイン手法の知見を下敷きに、業務報告を促進する施策アプリの開発および検証を実施した。

その施策の開発と検証を通し、従業員の行動特性を踏まえたリマインダーにおいて、その内容や頻度を変化させて提示することが、従業員の主体的な業務報告実施意識向上に寄与し、行動が変容するという結果を得た。

2. 予備検証

2.1 業務報告に関する行動特性の抽出

はじめに、従業員の業務報告の実施状況に関するインタビュー調査とアンケート調査を実施し、従業員が業務報告を実施するうえで達成したいと思っていること、およびその実現を阻害している要因を特定した。併せて、PC 起動時にブラウザ上に業務報告実施を促す文章と内容に関連するイラストを用いたリマインダー用の Web ページを自動的に表示する施策を用いて、予備検証を実施した。(表 1)

表 1 予備検証実施内容

検証期間	2021 年 7 月 1 日～2021 年 10 月 31 日 - 施策適用前のデータ取得: 2021 年 7 月 1 日～2021 年 8 月 31 日 - 施策適用後のデータ取得: 2021 年 9 月 1 日～2021 年 10 月 31 日
施策内容	PC 起動時に業務報告実施をリマインドするコンテンツの自動表示
対象者	508 人 (4 部署: 部署 A 114 人, 部署 B 100 人, 部署 C 126 人, 部署 D 168 人)
調査項目	・業務報告実施率の変化に関する定量調査: 全対象者 ・事前インタビュー調査: 10 人 ・事後インタビュー調査: 4 人 ・事後アンケート調査: 全対象者

予備検証の結果、日々の業務報告の行動特性にはいくつかのパターンが存在し、施策の効果に差異があることが分かった。

なお、ここで取り扱う日々の業務報告は Web 上のシステムを通してなされる。また、毎月末に日々の業務報告の実施状況を一斉に確認フォローするタイミングが設けられており、実証においては一ヶ月間における各従業員の業務報告の日々提出実施率として、「日々業務報告提出度指数」を次のように定義する。

(日々業務報告提出度指数)

$$= (\text{提出実施日数}) / (\text{提出すべき日数}) \times 100 \quad (\text{式 1})$$

次に、従業員の業務報告の提出実施日時データを分析し、従業員が報告を実施する頻度やタイミングに関する行動特

性を 4 パターン抽出した。(図 2)

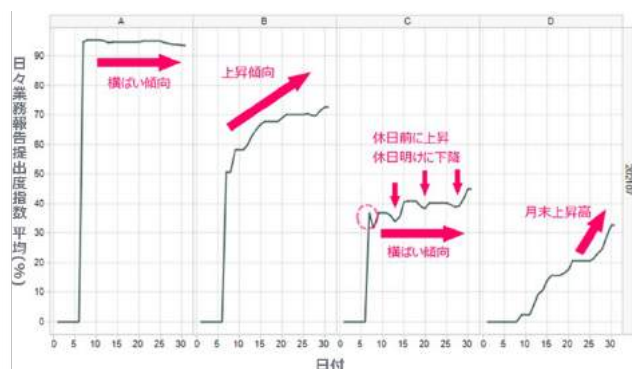


図 2 業務報告 4 パターンの行動特性

パターン A. 日々こまめに実施

- ・ 月初から提出している率が高い。
- ・ 基本的に日々報告を実施している。
- ・ 予備検証時は、全体の 4 割。

パターン B. 月初の実施は遅れるがその後はこまめに実施

- ・ 月初から比較的すぐに提出している。
- ・ 月初に提出を始めて以降は比較的小まめな実施を続けている。
- ・ 平均的に週 3～4 日程度は報告を実施している。
- ・ 予備検証時は、全体の 2 割。

パターン C. 週末にまとめて実施し休日後は未実施がち

- ・ 月の前半には提出を開始。
- ・ 休日前に提出する傾向がある。休日明けの提出率は低めである。
- ・ 平均的には週 2 日程度は報告を実施している。
- ・ 予備検証時は、全体の 1 割。

パターン D. 月中旬から月末にかけてまとめて実施

- ・ 月中旬あたりから提出を開始。
- ・ 提出し始めれば比較的提出を続けている。最終週は比較的小まめに提出している。
- ・ 予備検証時は、全体の 2 割。

2.2 行動ゴール設定と行動変容ステージモデルの検討

行動特性に属する従業員の業務報告の提出率の傾向分布から、各従業員の業務報告の日々提出実施率として定義した「日々業務報告提出度指数」を用いてパターンを再定義した。

パターン	指数レンジ
A (実行期と維持期)	80 - 100
B (準備期)	50 - 79
C (関心期)	30 - 49
D (無関心期)	00 - 29

次に、インタビュー調査とアンケート調査で得た、業務報

告の提出率の各傾向ごとの実施態度に関する意見をもとに、行動変容ステージモデルにおける行動のゴール（従業員の状態）として、最終的にめざすステージを「日々業務報告を提出し続ける」状態と仮定した。抽出した行動特性のパターン D を無関心期「こまめに報告する必要性が分からない」状態の従業員、パターン C を関心期「こまめな報告の必要性には気づいている」状態の従業員、パターン B を準備期「きっかけがあればこまめに業務報告を提出する」状態の従業員、パターン A を実行期「こまめに業務報告を提出している」状態の従業員と仮定し、マッピングした(図 3)。



図 3 行動変容ステージモデル

さらに、インタビュー調査を通じて得た、業務報告が実施できない主な理由に関する意見をもとに、一段上の状態にステージアップするための阻害要因を特定した。無関心期から関心期へのステージアップにおいては「業務報告のきっかけや機会を自分で作っておらず、最終的なフォローがあるまでやらない」ため、関心期から準備期へのステージアップにおいては「優先度の高いコア業務を優先し、業務報告を後回しにするうちに忘れてしまう」ため、準備期から実行期へのステージアップにおいては「月締めの実施完了で気が緩み月初の報告が遅れ、ルーティンが崩れる」ため、実行期から維持期へのステージアップにおいては「報告頻度は高いが毎日報告のルーティン確立に至っておらず、出張や飛び込みの打合せがあると忘れる」ためと仮定した。

3. 業務報告を促進する介入施策

3.1 介入施策の設計

予備検証の結果に基づき、行動変容ステージモデルのステージごとに阻害要因を解決するための提示コンテンツを検討した。コンテンツの設計には認知バイアスを応用する。(表 4)

大方針として実行期、準備期、関心期にあたるパターン A, B, C の従業員には、適切な場所やタイミングでキューを出す「利用可能性」や行動直後に次なる適切なフィードバックを与える「即時フィードバック」といった認知バイアスを利用し、報告のうっかり忘れ防止のフォローや報告のきっかけを与えるための施策を打つこととした。例えば、実行期のパターン A の従業員には、うっかり忘れた際のフォローが必要であると仮定し、意識づけ強化をはかるための週 1 回程度の定期フォローを行うこととした。また、準備期のパタ

ーン B の従業員には、月締め後の気の緩みを持たせないことが必要であると仮定し、月初めのタイミングに連続して重点フォローを行うこととした。さらに、関心期のパターン C の従業員には、業務報告の優先度向上が必要であると仮定し、コア業務に比較的余裕が生まれやすい週始まりのタイミングに重点フォローを行うこととした。

業務報告の実施意識が低いパターン D の従業員には、損することを避けようとする「損失回避性」や何度も接触することで好感度が増す「単純接触効果」といった認知バイアスを利用し、「まとめて提出すると思い出しに時間がかかり 20 分損しちゃうよ!」といった具体的な情報提示により、自分の後回しにしていた行動が損につながっていたことに気づきを与えることとした。さらに、ポップアップ回数を増やし、業務報告の実施に関する意識を持たせることを期待した。

表 4 行動変容ステージに応じた提示コンテンツの方針

行動変容 ステージ	無関心期 →関心期	関心期 →準備期	準備期 →実行期	実行期 →維持期
行動の 阻害要因	業務報告のきっかけや機会を自分で作っておらず、最終的なフォローがあるまでやらない	優先度の高いコア業務を優先し、業務報告を後回しにするうちに忘れてしまう	月締めの実施完了で気が緩み月初の報告が遅れ、ルーティンが崩れてしまう	毎日報告のルーティン確立に至っておらず、出張や飛び込みの打合せがあると忘れてしまう
方針	多めにフォローし接触回数を増やす	週初めのフォローと Tips 情報提供による行動を後押し	月初の起動遅れに対し重点フォローする	基本的なタイミングのみ最小限のフォローをする
主な認知 バイアス	単純接触効果	即時フィードバック	利用可能性	利用可能性

ポップアップでの提示コンテンツは、業務報告実施のリマインダー、業務報告実施に関する Tips 情報の 2 種類 19 個である。業務報告の提出導線短縮を図るため、どのポップアップを表示する際にも、一律に業務報告システムの Web ページへのショートカット「今すぐ報告する」ボタンを配置した。また、リマインダー表示には業務報告の未提出日数、Tips 情報表示には各従業員の日々業務報告提出度指数を右上に表示した。(図 5)



図 5 提示コンテンツの例

3.2 ポップアップアプリの開発

従業員に提示するリマインダーコンテンツや頻度を、行動特性に応じて自動的に変化させる介入施策（ポップアップアプリ）を開発した。

各従業員の業務報告の日々提出実施率として定義した、「日々業務報告提出度指数」を行動特性のパターンごとに

設定したポップアップの頻度とタイミング例を図 6 に示す。

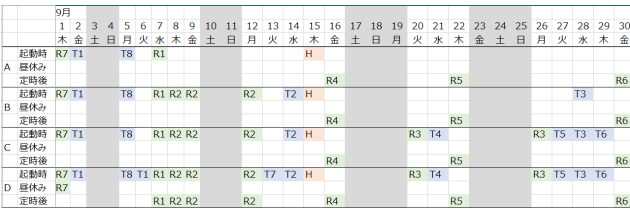


図 6 ポップアップスケジュールの例

4. 施策の検証

4.1 業務報告の実施率・提出行動特性の変化検証

2 度の検証を実施した。検証 (1) は、予備検証と同じ部署の 423 人を対象に 1 カ月間施策を適用した (表 7)。検証 (2) では、検証 (1) とは働き方の異なる 518 人を対象に、Lally ら[10]により習慣化の期間として示されている 66 日を基準に、2 カ月間を施策適用期間とした (表 8)。

表 7 検証 (1) 実施内容

検証期間	2022 年 5 月 1 日～2022 年 11 月 30 日 - 施策適用前のデータ取得: 2022 年 5 月 1 日～2022 年 6 月 30 日 - 施策適用後のデータ取得: 2022 年 11 月 1 日～2022 年 11 月 30 日
施策内容	(1) 行動特性に応じた PC 起動時・昼休み・定時前のポップアップ表示 (2) 「今すぐ報告ボタン」による提出導線短縮
対象者	423 人 (4 部署: 部署 A 73 人, 部署 B 97 人, 部署 C 106 人, 部署 D 147 人) ※予備検証と同じ 4 部署だが、年度を跨いだことで多少の人数変化が生じている
調査項目	・業務報告の提出実施率の変化、行動特性の人数変化に対する定量調査: 全対象者 ・事後インタビュー調査: 6 人 ・事後アンケート調査: 480 人
施策前の 行動特性傾向	・対象者の業務報告の提出率平均は 67.5%であり、施策前から業務報告の実施意識が高い ・行動特性は、日々こまめに登録するパターン A の割合が一番多い[パターン A: 40.9%, パターン B: 22.7%, パターン C: 13.7%, パターン D: 22.7%]

表 8 検証 (2) 実施内容

検証期間	2022 年 11 月 1 日～2023 年 3 月 31 日 - 施策適用前のデータ取得: 2022 年 11 月 1 日～2022 年 12 月 31 日 - 施策適用後のデータ取得: 2023 年 2 月 7 日～2023 年 3 月 31 日
施策内容	(1) 行動特性に応じた PC 起動時・昼休みのポップアップ表示 (2) 「今すぐ報告ボタン」による提出導線短縮 (3) 個人ごとの業務報告の提出実績数値の表示
対象者	739 人 (5 部署: 部署 E 114 人, 部署 F 100 人, 部署 G 126 人, 部署 H 168 人, 部署 I 194 人)
調査項目	・業務報告の提出実施率の変化、行動特性の人数変化に対する定量調査: 全対象者 ・事後アンケート調査: 260 人
施策前の 行動特性傾向	・対象者の業務報告の提出率平均は 54.0%であり、検証 (1) 対象者より業務報告の実施意識が低い ・行動特性は、月末にまとめて実施するパターン D の割合が一番多い[パターン A: 19.6%, パターン B: 18.4%, パターン C: 22.0%, パターン D: 40.0%]

なお、検証 (2) では、検証 (1) の事後インタビューで得た「今すぐ実施ボタン」に気付かなかったという意見を反映し、ビジュアル面でのアップデートを行った。また、従業員ごとの業務報告の提出実績数値情報 (未提出日数、日々業務報告提出度指数) の表示もポップアップ画面に追加してい

る。さらに、定時前のポップアップはコア業務が中断されるの意見を反映し、ポップアップタイミングをP C 起動時と昼休みのみとした。

5. 結果

5.1 業務報告の実施率の変化

全対象者の「日々業務報告提出度指数」の平均値として算出した従業員の業務報告の提出率平均が、検証 (1) では 67.4 から 73.8 と 6.3pt 上昇、検証 (2) では 54.0 から 1 ヶ月後に 58.1 と 4.1pt、2 ヶ月後で 56.3 と 2.3pt 上昇した(表 9)。

表 9 日々業務報告提出度指数 (全対象者平均) の変化

	施策適用前	施策適用 1 ヶ月後	施策適用 2 ヶ月後
検証 (1)	67.4	73.8	-
検証 (2)	54.0	58.1	56.3

所属部署別の変化としては、大半の部署において施策適用後には日々業務報告の平均実施率の上昇がみられるが、一部部署 (F) のみ低下がみられた。(表 10, 11)

表 10 日々業務報告提出度指数の各部署変化 (検証 (1))

部署	A	B	C	D
施策適用前	79.5	80.5	77.4	45.8
施策適用後	84.5	83.6	79.2	58.5
増分(pt)	5.0	3.1	1.8	12.7

表 11 日々業務報告提出度指数の各部署変化 (検証 (2))

部署	E	F	G	H	I
施策適用前	49.0	59.7	58.3	41.3	66.9
施策適用後	51.8	59.4	61.5	49.8	68.4
増分(pt)	2.8	-0.3	3.2	8.5	1.5

5.2 業務報告の行動特性の変化

4 パターンに属する従業員の割合に関しては、以下の変化がみられた。

パターン D (月中旬から月末にかけてまとめて業務報告を実施する特性を持つ無関心期) の従業員の割合が検証 (1) は 22.7%から 14.9%と 7.8pt 減少し、検証 (2) は 40.0%から 30.8%と 9.2pt 減少した

また、パターン A (日々こまめに業務報告を実施する特性をもつ実行期) の従業員の割合が検証 (1) は 40.9%から 47.1%と 6.2pt 増加し、検証 (2) は 19.6%から 23.7%と 4.1pt 増加した。併せて、パターン B (月初の実施は遅れるがその後はこまめに業務報告を実施する準備期) の従業員の割合検証 (1) は 22.7%から 24.3%と 1.6pt 増加し、検証 (2) は 18.4%から 23.2%と 4.8pt 増加した。こまめに報告を実施す

る特性をもつパターン A、パターン B のいずれの割合も増加した点と、全従業員の業務報告の提出実施率平均が上昇している点を加味すると、実証対象者全体として、よりこまめに業務報告実施する行動特性ヘシフトしたと考えられる(表 12, 13)。

表 12 パターンの割合の変化 (検証 (1))

	A	B	C	D	計
施策適用前(%)	40.9	22.7	13.7	22.7	100
施策適用後(%)	47.1	24.3	13.7	14.9	100
増分(pt)	6.2	1.6	0	-7.8	0

表 13 パターンの割合の変化 (検証 (2))

	A	B	C	D	計
施策適用前(%)	19.6	18.4	22.0	40.0	100
施策適用後(%)	23.7	23.2	22.3	30.8	100
増分(pt)	4.1	4.8	0.3	-9.2	0

さらに、施策適用前と施策適用後のデータ取得期間の初日と終了日時点で属している従業員のパターンの変遷割合に関しては、検証 (1) にて以下の変化が見られた。(図 14)

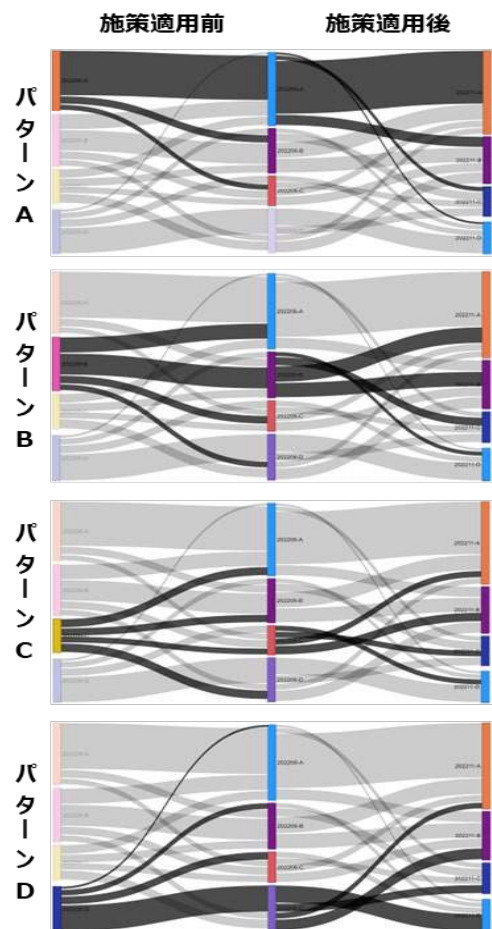


図 14 属するパターンの変遷

パターン A (日々こまめに業務報告を実施する特性をもつ実行期) の維持観点では、施策適用前 81.1%、施策適用後 79.1%と変化がみられない。

同様に、パターン B の従業員がパターン A に変遷した観点と、パターン C の従業員がパターン A、B のいずれかに変遷した観点では、施策適用前と施策適用後で微増はしたが、特出した変化はみられない。

一方で、パターン D (月末にまとめて業務報告を実施) の従業員が、パターン A、B、C のいずれかに変遷した観点では、施策適用前 33.3%、施策適用後 57.3%と大幅な変化がみられた。

5.3 施策対象者からの評価

施策対象者に対して検証 (1) と検証 (2) 終了後にアンケート調査を実施した。表示コンテンツの内容、実施導線短縮ボタン、ポップアップ機能、実績数値情報表示に関して質問を行い、対象者の 42%から回答を得た。なおそれぞれの質問に対する回答は、基本的にとてもそう思う、そう思う、少しそう思う、あまりそう思わない、そう思わない、全くそう思わないの 6 択での選択方式としていて、少しそう思う以上の回答を以下の割合として算出している。

<表示施策コンテンツの内容に関して>

・施策内容を読んだ頻度：1 度でも読んだ

⇒ 検証 (1) 87% 検証 (2) 93%

検証 (1) では、多くの人に表示内容を一度は読んでもらえていたが、あまり読まない人も一定数いた。過去に類似施策の実証を行っていたためしっかり読まなくなったり、慣れてしまった可能性があり、飽きさせない工夫の検討が望ましい。一方、今回初めて施策コンテンツを提示した検証 (2) のアンケート回答者のうち 7 割は、施策内容を複数回 (ときどき以上) 読んでいた。

・行動特性に応じた施策内容の打ち分けの適切性：適切

⇒ 検証 (1) 84% 検証 (2) 87%

行動特性に応じた施策打ち分けは、業務の邪魔にならない観点やモチベーション向上の観点から多くの人の支持を得ており、打ち分けが有効に働いたといえる。

・施策内容の打ち分けの認知：気づいた

⇒ 検証 (1) 31% 検証 (2) 41%

打ち分けは適切と回答した人が多数だった一方、行動特性に応じて打ち分けしている事に気づいた人は少なかった。

・施策内容による意識変化：意識が変化

⇒ 検証 (1) 44% 検証 (2) 61%

・施策内容による行動変化：行動が変化

⇒ 検証 (1) 28% 検証 (2) 52%

検証 (1) では意識・行動が変化した人は一定程度にとどまった。元々、実施意識が高い部署であることと過去実証で行動変化した人が多かったことなどが背景にあると推

測される。一方検証 (2) では、半数以上の人意識・行動を変化させた。施策の目新しさがあったものと推測。言い換えれば、施策内容に慣れた後、行動を維持・継続する施策が今後重要になるものと考えられる。具体コメントでは、毎日提出していると褒めてくれるので嬉しいという意見があり、義務化された業務報告作業を褒められること自体がインセンティブとなり、継続のモチベーション維持につながっていると考えられる。

<報告導線短縮ボタンに関して>

・今すぐ報告ボタンの利用：一度でも利用した

⇒ 検証 (1) 45% (2) 73%

検証 (1) では「今すぐ報告ボタン」を全く利用しない人が半数以上いた。検証 (2) ではボタン形状の変更や施策コンテンツ内での紹介により利用が増え、半数程度の人「今すぐ報告ボタン」を利用したと考えられる。具体コメントには、このボタンがあることで素早く業務報告に必要な画面を開くことができ報告が促進したとの意見があり、ルーティンが確立していない人にとって有意義に活用されたことが推察される。また、ボタンを押してもシステムの混雑により反応が遅い状況が、業務報告の報告モチベーション低下につながるといった意見もあった。

<ポップアップ機能に関して>

・ポップアップは役立つ：役に立つ

⇒ 検証 (1) 72% 検証 (2) 79%

・ポップアップの継続要望：継続してほしい

⇒ 検証 (1) 65% 検証 (2) 72%

ポップアップが役に立つ、継続してほしいという声は多く、施策に意義を感じてもらうことに成功したといえる。具体コメントには、ポップアップがあると「あっ！まだやってなかった」と思い出しに有効であるという意見があり、行動特性の変化を支えていたと考えられる。また、実施フォロー業務の担当者から、ポップアップによって部署内の「いつも報告していない人」の報告頻度が上がった実感があるとの意見があり、フォロー業務の負荷低減につながっていると考えられる。一方で、独自のポップアップ施策が導入されている部署においてはポップアップが埋もれてしまい効果が下がる点や、検証期間が終わり施策がなくなると報告意識が薄れてしまう点など、競合性や継続性の課題に対する意見がでた。

<実績数値情報表示に関して>

・実績数値情報表示による意識・行動変化：変化した

⇒ 未実施日数表示 55% 実施率表示 51%

どちらの項目も約半数の意識・行動を変えるきっかけになっている。

・実績数値情報表示は役立つ：役に立つ

⇒ 未実施日数表示 75% 実施率表示 65%

実績数値情報表示の継続要望：継続してほしい

⇒ 未実施日数表示 75% 実施率表示 68%

どちらの項目も6割以上の人が、情報表示が「役に立つ」「継続してほしい」と回答があり、情報表示が役立っていたといえる。

6. まとめ

2回の検証とも、全体として日々業務報告の実施が増え、「月中旬から月末にかけてまとめて実施」する従業員は減少し、「日々こまめに実施」および「月初の実施が遅れるがその後はこまめに実施」する従業員の増加がみられた。また、「月中旬から月末にかけてまとめて実施」する従業員が、よりこまめに業務報告する傾向も確認できた。

これらの結果から、従業員の行動特性を踏まえたリマインダーにおいて、その内容や頻度を変化させて提示することが、従業員の主体的な業務報告実施意識の向上に寄与し、行動が変容したと考える。

ただし、施策の打ち分けの効果の厳密な検証のためには、施策導入有無の比較実験などの追加検証が必要である。また、行動特性パターンの遷移に関しては、いわゆる「平均への回帰」による効果も含まれることも考えられるため、より精緻な比較実験が必要である。

各検証の事後アンケートによれば、施策自体に対しては多くの人から支持を得たと言える。ポップアップの表示内容が自身の行動特性によって打ち分けられている仕掛けに気付いた人は少なかったが、言い換えれば、必要な情報内容が違和感なく提供されていたとも考えられる。また、介入施策により、意識や行動が変化した従業員は、検証(1)よりも(2)の方に多く見られた。この差異が生じたのは、検証(1)の対象者は、予備検証ですでに介入施策の一部内容を知っていたためであると考えられる。施策継続における行動の維持継続に関しては今後の課題である。

参考文献

- [1] 総務省, “令和三年版情報通信白書 | テレワークの実施状況”, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/html/nd123410.html>, (参照 2023-10-06).
- [2] 厚生労働省, “在宅ワークの適正な実施のためのガイドライン”, <https://www.mhlw.go.jp/www2/topics/seido/josei/zaitaku/aramashi.htm>, (参照 2023-10-06).
- [3] 独立行政法人 労働政策研究・研修機構(2022), “働く人の仕事と健康, 管理職の職場マネジメントに関する調査結果”, <https://www.jil.go.jp/institute/research/2022/documents/0222.pdf>, (参照 2023-10-06).
- [4] 内閣府, “仕事と生活の調和推進のための 職場マネジメントのあり方に関する調査研究”, https://www.wa.cao.go.jp/wlb/research/wlb_h2703/chapter1-3.pdf, (参照 2023-10-06).
- [5] Richard H. Thaler(2009), “実践 行動経済学”, 日経 BP 社.
- [6] Stephen Wendel, 武山 政直(2020), “行動を変えるデザイン-心理

学と行動経済学をプロダクトデザインに活用する”, オライリージャパン.

- [7] James O. Prochaska, Wayne F. Velicer (1997), “The transtheoretical model of health behavior change”, *American journal of health promotion*, 12(1), 38-48.
- [8] Patricia M. Burbank and Deborah Riebe(2001), “Promoting Exercise and Behavior Change in Older Adults”, Springer.
- [9] behavioraleconomics.com, “The Behavioral Economics Guide 2023”, <https://www.behavioraleconomics.com/be-guide/the-behavioral-economics-guide-2023/>, (参照 2023-10-06)
- [10] Phillippa Lally, Cornelia H. M. Van Jaarsveld, Henry W. W. Potts and Jane Wardle (2009), “How are habits formed: Modeling habit formation in the real world”, *European Journal of Social Psychology* Eur. J. Soc. Psychol. 40, 998-1009.

プレゼンティーイズム改善に向けた スクリーンセーバーを用いた体調可視化システムの検討と基礎評価

大園咲奈^{†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

昨今、健康経営が重要なテーマとして注目を集めており、体調不良が原因で業務に十分な成果を出せない状況を指すプレゼンティーイズムに関心が寄せられている。世界保健機関 (WHO) が用いるプレゼンティーイズムという概念は、健康上の問題が原因で職場にいながらも生産性が落ちる状態、すなわち体調不良が原因で十分な成果を出せない状況を指す。一方、アブセンティーイズムは健康上の理由で仕事を休むこと、つまり病気による欠勤を意味する。プレゼンティーイズムを引き超す要因は様々であり、プレゼンティーイズムを助長する社内文化や休暇を取ると自分のキャリアに支障があるといった個人的な理由、また仕事の属人化により責任感から休みにくいという場合などがある [1, 2]。プレゼンティーイズムによる悪影響として、業務効率の低下、従業員の健康状態の悪化、伝染病の蔓延が挙げられる。先行研究ではプレゼンティーイズムによる経済損失額は、病気による欠勤を意味するアブセンティーイズムの損失額を上回ることが知られている [3]。またプレゼンティーイズムが続くことで、その後従業員の中長期に渡る病気休暇や疲労増大に繋がることが明らかになっている [4]。インフルエンザといった感染力の高い伝染病が流行している場合、プレゼンティーイズムは感染拡大の大きな原因となり、業務状況に悪影響をもたらす。2017 年のアメリカでの調査によると、インフルエンザのような症状がありつつ出勤していると被験者の 40% 以上が回答しており [5]、プレゼンティーイズムの改善策が必要である。これまで職場のプレゼンティーイズムを解決するための情報可視化を用いた施策がいくつか提案されている [6, 7, 8, 9]。これらの手法は職場内のモニターや個人の携帯画面にユーザのストレス値や活動量を絵やアニメーションで表現することで、自身の活動量や体調に関して個人の意識を向上させることを目的としているが、プレゼンティーイズムの原因となる休みにくい、体調不

良を言い出しにくいといった職場内文化を改善するために、ユーザ同士の体調情報を開示した研究例は我々の知る限り未だにない。

そこで我々は、個人の体調をコミュニティの中で可視化する方法を模索する。我々の先行研究では、体調情報を可視化する場所の違いと認識率の関係を調査した [10]。その結果、ユーザが装着するデバイスやコミュニティで利用するメッセージツールのアイコンよりも、パソコン画面のスクリーンセーバーを用いた情報提示が同じ空間を利用する他者に高く認識されやすいことを明らかにした。しかし、スクリーンセーバー上での可視化には、周りの人々に周知しやすいという利点がある一方、体調を周知したくない外部の人にも知られてしまうという課題があることが明らかとなった。そのため、プライバシーを配慮しながら、同じコミュニティ内の人々に対して体調を可視化できるようにするための仕組みが求められる。

本研究では、この課題を解決するべく、デザインの解釈ルールを知っている人には理解できるが、それを知らない外部の人には理解しにくいデザインを採用し、プライバシーを配慮しつつ、体調を可視化できるシステムの実現を目指す。我々は、プライバシーに配慮しながらユーザの体調を可視化するためのスクリーンセーバーのデザインを検討し、これらの難易度に差のあるデザインの評価実験を行った。被験者を解釈ルールを伝えた群と伝えなかった群に分け、回答時間と正答率で評価し、事前評価が高かったデザインを用いた提案システムの有用性と被験者の性格特性の関連について報告する。

本稿では、2 章にてプレゼンティーイズムの改善を目指した先行研究について述べ、先行研究と比較した本研究の立ち位置について説明する。3 章では、プライバシー保護の観点で評価の高いデザインの評価を行なった予備実験について述べる。4 章で本研究での提案手法となるスクリーンセーバーを用いた可視化システムの構成について紹介し、5 章にて本実験の説明を行う。6 章では結果の紹介と各リサーチクエスチョンに応じた考察を行う。7 章にて今後の展望について述べ、8 章にて本論文をまとめる。

Exploration and Preliminary Evaluation of a Health Visualization System Using Screen Savers Aimed at Improving Presenteeism

^{†1} SANA OZONO, Kyushu University

^{†2} YUGO NAKAMURA, Kyushu University

^{†3} YUTAKA ARAKAWA, Kyushu University

2. 関連研究

2.1. 制度によるプレゼンティーイズムへのアプローチ

プレゼンティーイズムを改善するためのアプローチとして、企業に導入されているシステムがいくつか挙げられる。フレックスタイム制度やリモートワークのオプションは従業員が自身の体調や生活状況に合わせて勤務時間を調整できるようにすることで、プレゼンティーイズムを減らすことが可能となる [11]。従業員のメンタルヘルスへのサポートや健康促進プログラムは、従業員への定期的な健康診断やカウンセリングサポート、運動プログラム、健康的な食事オプションの提供など、従業員の健康を促進するプログラムを導入することでプレゼンティーイズムを防ぐことを目的としている [12]。労働基準法第 68 条では月経による症状が重い場合、女性社員は生理休暇を取得することができるとしており、一部の企業や組織では、生理痛や PMS（月経前症候群）に苦しむ女性従業員のために、特別な生理休暇を設けている。身体的不調による出勤強行を避け、従業員の健康と生産性を保つことを可能とすることを目的としている。

しかしこれらの制度の導入状況や効果は企業の規模や業種、文化によって異なり、心身の健康状態の悪化や月経関連症状による業務への悪影響がある状況でも、従業員が責任感や罪悪感、プライバシーの観点から言い出しにくく制度の効果が発揮されていないケースが多い。^{*1} プレゼンティーイズム改善を目指す社内システムの効果を発揮するためには、社内にプライバシー保護を考慮しつつ体調不良を言い出しやすい社内文化を醸成することが必要である。

2.2. 活動関連データの集団的可視化によるプレゼンティーイズムの改善策

UbiFit [8] は携帯電話の壁紙に活動関連データを花畑の様子を表すアニメーションで表示することでユーザに身体活動に対する意識を向上させ、日常生活を健康的に送れるよう支援するシステムである。また Affective Health [9] はユーザの活動データ・生体情報をリアルタイムでらせん状のイメージで可視化し、ユーザーが自らのストレスを認識、対処しやすくすることを目的としている。Nkem らはコルチゾールレベルからストレス値を測ることができるガルバニック皮膚反応センサーを従業員の指先に装着しストレス値を測定し、得られたストレス値をボールがバウンドする様子で表現する可視化手法を提案している [6]。共有モニターにボールがバウンドするアニメーションを表示することで被験者全員のストレス値を匿名で表示し、集団における自身のストレス値の客観的評価を行えるようにすることを目的としている。

的としている。

2.3. 本研究の位置付け

プレゼンティーイズムの改善を目指した先行研究の多くは、職場内のモニターや個人の携帯画面にユーザのストレス値や活動データを絵やアニメーションで表現することで、自身の活動量や体調に関して個人の意識を向上させることを目的としている。しかしプレゼンティーイズムの原因となる休みにくい、体調不良を言い出しにくいといった職場内文化を改善するために、ユーザ同士の体調情報を開示した研究例は我々の知る限り未だにない。本研究は、プライバシーを考慮しつつ個人の体調をコミュニティの中で可視化することでプレゼンティーイズム改善を目指す新しい提案手法となる。

3. 予備実験

プレゼンティーイズム改善のために、ユーザが自身の体調を意識するだけでなく、同一コミュニティ内で各ユーザの体調を知り気遣い合える文化の醸成が重要である。そこで、我々は可視化場所として認識率の高いスクリーンセーバーに着目する。しかし、スクリーンセーバー上での可視化には、体調というセンシティブな情報を周知したくない外部の人にも知られてしまうという課題がある。そのため、予備実験にてプライバシーに配慮しながらユーザの体調を可視化するためのスクリーンセーバーのデザインとして花、天気、アバター等を用いた全 16 種類の表現を検討し、これらの難易度に差のあるデザインの評価実験を行った。表す体調には「体調がいい」、「体調がまあまあいい」、「体調がまあまあ悪い」、「体調が悪い」の 4 種類がある。被験者を解釈ルールを伝えた群と伝えなかった群に分け、アンケート調査により各デザインが表す体調が何かを回答してもらい、回答時間と正答率で評価した。

3.1. 検証項目

本研究では、提案システムの有効性を検証するために以下の 2 つの検証項目を設定した。

- 解釈ルールを知っている被験者群と知らない被験者群でデザインが表す体調情報の正答率に有意差は見られるのか
- どちらの被験者群でも回答時間が短く、解釈ルールを知っている被験者群と知らない被験者群の正答率の差が大きいデザインはどれか

^{*1} https://www.jri.co.jp/MediaLibrary/file/column/opinion/detail/20210630_tagawa.pdf

3.2. 実験概要

本予備実験では、花、天気、アバター、パソコン画面をモチーフにした 16 種類のデザインが表す体調情報を答える問題と各問題の解答時間を答えるアンケート調査を行った。アンケートは 2023 年 10 月 11 日から 2023 年 10 月 19 日の期間に行い、被験者は学生と職員の 37 名を対象として、解釈ルールを伝えてアンケートに回答してもらう 18 名の被験者群 A とルールを伝えずに回答してもらう 19 名の被験者群 B に分けて行った。被験者の内訳は被験者群 A は男性 17 名、女性 1 名で年齢は 21 歳から 49 歳、平均年齢は 24.89 歳 (SD=6.46) であり、被験者群 B は男性 17 名、女性 2 名で年齢は 21 歳から 55 歳、平均年齢は 26.42 歳 (SD=9.15) であった。回答時間がどちらの被験者群でも短く、正答率の差が群によって大きいデザインをプライバシー保護に優れたデザインとして評価した。

3.3. 体調可視化デザイン

プライバシーに配慮しながらユーザの体調を可視化するデザインは全 16 種類で、花、天気、アバター、パソコン画面の 4 種類のモチーフがあり、それぞれに 4 つの可視化ルールのデザインがある。表 1 にデザインと体調可視化ルールを示す。1 つ目の可視化ルールは、モチーフのイメージと体調が対応しているというルールで、花のケースでは最も花が開いており花瓶の水に量が多いデザインが「体調がいい」、また花が閉じており花瓶の水が少ないデザインが「体調が悪い」を表し、解釈ルールの複雑度は最も低い。2 つ目の可視化ルールは、1 つ目の可視化ルールにおける「体調がいい」、「体調がまあまあいい」、「体調がまあまあ悪い」、「体調が悪い」を 4 種類横並びに並べたもので、一番右側のデザインが正しい可視化デザインを示す。1 つ目の可視化ルールに対し、どれがその時のユーザの体調であるか予測できないため、解釈ルールの複雑度は上がる。3 つ目と 4 つ目の可視化ルールは赤、オレンジ、黄色、緑の 4 色を用いたデザインとなっており、3 つ目の可視化ルールでは信号機などの色のイメージを用いて体調を可視化する。花のケースでは、緑、黄色、オレンジ、赤の花のデザインの順番で「体調がいい」、「体調がまあまあいい」、「体調がまあまあ悪い」、「体調が悪い」と対応関係となっている。共通認識である色のイメージから体調を予測できるため、解釈ルールの複雑度は低いと言える。一方 4 つ目の可視化ルールでは色と体調情報の対応関係がランダムになっており、黄色＝「体調がいい」、赤＝「体調がまあまあいい」、緑＝「体調がまあまあ悪い」、オレンジ＝「体調が悪い」とした。この可視化ルールでは色の対応関係を知らなければ体調を知ることができないため、解釈ルールの複雑度は高いと言える。これらの 4 種類の解釈ルールを、天気のデザインでは

前半の 2 つのイメージを用いたルールにおいては晴天、雲のある晴れ、曇り、雨のイメージを用いて表現し、後半 2 つの色をルールにおいては空の色で表現した。アバターのデザインにおいては前半 2 つのルールにおいて、女の子のアバターが喜んでいるデザイン、親指を上にしたポーズをしているデザイン、落ち込んでいるデザイン、泣いているデザインで表現し、後半 2 つのルールにおいては各色の髪の毛と服を身につけたキャラクターで表現した。最後のパソコン画面のデザインにおいては、前半 2 つのルールにおいてパソコン画面が綺麗なデザイン、少しヒビが入っているデザイン、より広い範囲でヒビが入っているデザイン、画面の広い範囲でヒビが入っているデザインを用いた。後半 2 つの色を用いたルールでは、各色を用いたデスクトップ画面のデザインを用いた。花を用いたデザインを A、天気を用いたデザインを B、アバターを用いたデザインを C、パソコン画面を用いたデザインを D とし、また解釈ルールがイメージを用いたものを 1、4 つのイメージデザインを並べ一番右のデザインが正しい体調情報を表すルールのものを 2、色のイメージを利用したものを 3、色をランダムに体調情報に対応させたルールのものを 4 とし、各デザインを A から D のアルファベットと 1 から 4 の数字で表す。

3.4. 実験結果と考察

回答 37 件全て有効な回答であると判断した。アンケートの回答結果から得られる正答率による定量的データと、アンケート最後に設置した被験者による感想による定性的データをもとに評価と考察を行った。

3.4.1 解釈ルールを知っている被験者群と知らない被験者群でデザインが表す体調情報の正答率に有意差は見られるのか

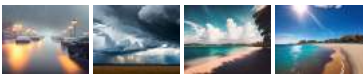
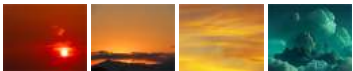
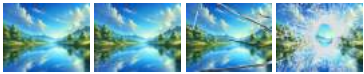
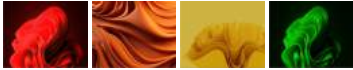
解釈ルールを知っている被験者群 A と知らない被験者群 B のデザインに関するアンケート結果を図 1 に示す。2 組の標本に対応があり、非正規分布であるデータの有意差検定に適したマン・ホイットニーの U 検定を使用し、デザインが表す体調情報に関する前提知識の有無による点数差を定量的に比較した。p 値は約 5.50×10^{-5} であり非常に小さく、被験者群 A と被験者群 B の点数には統計的に十分な有意差が確認された。

3.4.2 どちらの被験者群でも回答時間が短く、解釈ルールを知っている被験者群と知らない被験者群の正答率の差が大きいデザインはどれか

回答時間は被験者群 A の方が被験者群 B と比較して 1 問当たりにかかる回答時間が長くなっていた。これは解釈ルールを知っている被験者群の方が、各デザインが表す体調が何であるかルールを基に考えて回答する必要があったからであると考察できる。どちらの被験者群でも回答時間

表 1 体調を表すデザイン例

Table 1 Designs that represent physical condition

体調のデザイン	デザインの説明
A-1,2) 	花のイメージを用いて体調情報を示す。
A-3,4) 	花の色を用いて体調情報を示す。
B-1,2) 	天気イメージを用いて体調情報を示す。
B-3,4) 	空の色を用いて体調情報を示す。
C-1,2) 	アバターの表情を用いて体調情報を示す。
C-3,4) 	アバターの髪と服の色を用いて体調情報を示す。
D-1,2) 	スクリーンの割れ具合を用いて体調情報を示す。
D-3,4) 	スクリーンデザインの色を用いて体調情報を示す。

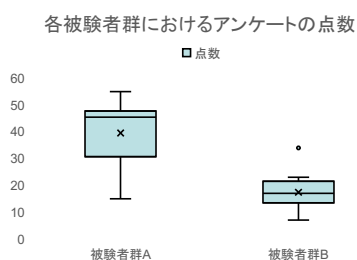


図 1 被験者群 A と被験者群 B によるアンケート結果の点数差

が短く、被験者群によって正答率の差が大きいデザインを評価するために、図 2 に被験者群 A の回答時間と 2 つの被験者群の得点率の差を示す。4 つのデザインを並べる可視化ルールである A-2,B-2,C-2,D-2 に関しては、表す体調情報により回答率にばらつきが見られたため、同じルールの 2 つの異なる問題を使って評価を行った。これは「体調がいい」または「体調が悪い」の項目の場合は、4 つ並んでいるデザインのうち一番右に表示されたデザインがどの体調なのかのわかりやすいが、「体調がまあまあいい」、「体調がまあ

まあ悪い」の中間項目は相対的に判断する必要があるからであると考察できる。例えば天気項目の場合、晴れのイメージが「体調がいい」を表すことがすぐにわかるが、中間項目を表す場合曇りと雲のある晴れの違いが一瞬で判断しにくいケースがある。被験者の感想に「4 画面の表示方法は、アバター以外の 3 つのモチーフにおいて、中間項目の場合わかりにくい」というものが見られており、解答率の結果と一致している。他に見られた感想として、「アバターは一目見て表情から情報が読めるためわかりやすい」、「花と天気のデザインは情報を読み取る際に他の体調を表すデザインと相対評価しなければわかりにくい」などがあった。図 2 から、オレンジ色のプロットで示した C-2 であるアバター 4 画面の可視化手法が最も回答時間が短く、被験者群による解答率の差が大きいということがわかった。

横軸は被験者群 A の回答時間を、縦軸は 2 つの被験者群の得点率の差を示す。

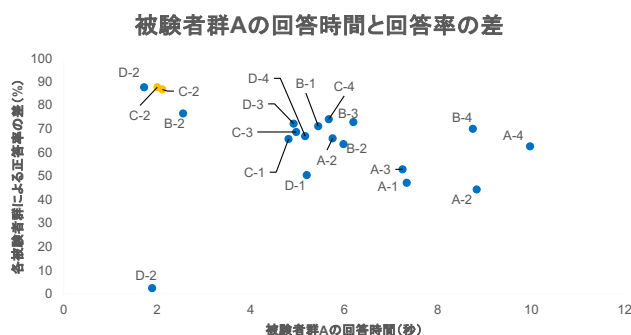


図2 被験者群Aの回答時間と各被験者群によるアンケート結果の得点率の差

4. スクリーンセーバーを用いた体調可視化システムの設計と実装

4.1. アプローチ

プレゼンティイズムの改善のためには、個人が自分の体調を自覚すること、コミュニティ内で体調不良の人がいる場合はそれが認知されていることが重要である。しかし、個人の体調というセンシティブな情報を可視化する場合、プライバシー保護を考慮した仕組みが必要となる。そこで、周りの人々に周知しやすいという利点があるスクリーンセーバー上に、同じコミュニティ内の人々に対してのみ体調を可視化できるようにするシステムを提案する。

4.2. システムの設計

提案システムのシステム構成図を図3に示す。コミュニティで利用するメッセージツールであるSlackのBotが、決まった時刻にユーザーに質問を行い、体調情報の「体調が悪い」、「体調がまあまあ悪い」、「体調がまあまあいい」、「体調がいい」の4つの体調項目から体調情報を取得する。図中Aにおいて、取得した体調情報は、Google App Script^{*2}と呼ばれるGoogleが提供しているアプリケーション開発プラットフォームを用いて、Google スプレッドシートに保存する仕組みを構築し、管理した。図中CにてGoogleが提供するクラウドコンピューティングサービスのスイートであるGoogle Cloud PlatformがGASからのHTTPリクエストを受け、図中Dにて可視化ユーザーのコンピュータ上にあるスクリーンセーバを得られた体調情報に応じて変更するプログラムを実行する。ユーザーのコンピュータ上では取得した体調情報に対応するアバター4画面のデザインのイメージ画像が可視化ユーザーのパソコンのスクリーンセーバとして設定される。さらに研究室内のその時刻における被験者の人数を把握するために、被験者は3.7cm × 3.7cm

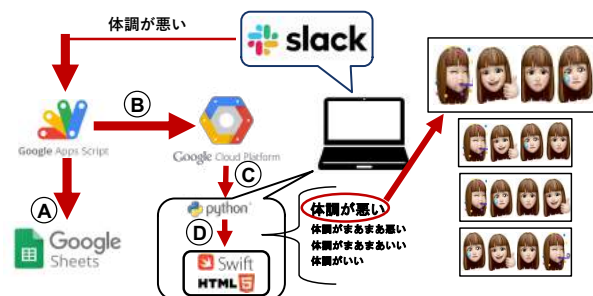


図3 スクリーンセーバーを用いた体調可視化システムのシステム構成図

規格のHibeacon^{*3}と呼ばれるビーコンを靴や鍵などに装着し、携帯した。ビーコンとは、端末固有のID情報などを、一定時間の間隔で発信している端末で、受信機の電波受信範囲内に入ると、その電波をキャッチし、ユーザがその場に来訪したことを認知することができる。本実験では、受信機としてオブナイズ (obniz)^{*4}と呼ばれるシステムを利用した。

5. スクリーンセーバーによる体調可視化システムを用いた調査実験

本実験では、スクリーンセーバーを用いた体調可視化システムにプライバシー保護の観点で評価の高かったアバター4画面のデザインを、1名の可視化ユーザが、35名の他の実験協力者が生活する研究室内で一週間可視化した。これによりスクリーンセーバーシステムの有用性と体調の認識率、認識率と性格特性の関連についてを調査した。

5.1. 検証項目

本研究では、提案システムの有効性を検証するために以下の3つの検証項目を設定した。

- 提案システムの有用性を可視化デザインの認識率から評価
- 提案システムの有用性を体調情報の認識率から評価
- 提案システムによる体調の認識率とユーザの性格特性に相関はあるか

5.2. 実験概要

図4に実験の様子を示す。実験開始前に事前アンケートを行い、並川 (2012) [13] のBig Five尺度を用いて性格特性を測定した。その後実験は2023年11月13日から2023年11月17日の期間で実施した。可視化ユーザを含まない

^{*2} <https://www.google.com/script/start/>

^{*3} <https://www.hibeacon.jp/#link01>

^{*4} <https://obniz.com/ja/jobs>

表3 スクリーンセーバーによる体調可視化実験中の各人数及び割合

a) 実験日	b) 体調 ^{*1}	c) 滞在人数 (人) ^{*2}	d) スクリーンを見た人数 (人) ^{*3}	e) 体調の認識人数 (人) ^{*4}	f) スクリーン認識率 (%) ^{*5}	g) 体調取得率 (%) ^{*6}
11/13	体調が悪い	19	6	5	31.6	83.3
11/14	体調が悪い	24	8	4	33.3	50.0
11/15	体調がまあまあ悪い	27	7	5	25.9	71.4
11/16	体調がまあまあいい	31	15	11	48.4	73.3
11/17	体調がいい	20	14	10	70.0	71.4

^{*1} 可視化体調

^{*2} 研究室滞在人数 (人)

^{*3} スクリーンセーバーの認識人数 (人)

^{*4} 正しくスクリーンセーバーから体調を認識した人数 (人)

^{*5} 研究室滞在人数に対してスクリーンセーバーを認識した人の割合 (%) ^{*6} スクリーンセーバーを認識した人のうち正しく体調を認識した人の割合 (%)



図4 実験の様子

実験被験者は学生と職員の 35 名を対象とし、被験者の内訳は男性 32 名、女性 3 名で年齢は 21 歳から 55 歳、平均年齢は 25.5 歳 (SD=7.93) であった。被験者にはあらかじめ実験開始前に実験概要、及びスクリーンセーバーに表示するアバター 4 画面を用いたデザインの解釈ルールについて説明し、実験期間中は毎日帰宅時、その日の可視化ユーザのスクリーンセーバーを見たかどうか、デザインが示す体調情報は何であったか、感想を含むアンケートに回答してもらった。

体調を可視化するユーザは毎朝 10 時 00 分に Slack Bot から送られてくる体調を尋ねる質問に 4 つの体調情報から選んで回答し、提案システムによりその日の体調を示すデザインをスクリーンセーバーに表示した。可視化ユーザのスクリーンセーバーは研究室の中心スペースから見やすい位置にあり、席が離れているユーザでも研究室の中心にあるゴミ箱やキッチンを使用する際に目に入りやすい場所に位置している。システムを導入したパソコンのスクリーンセーバーが起動するまでの時間を 5 分に設定し、一度表示されたスクリーンセーバー画面はスリープ状態にならない設定で実験を行った。また可視化ユーザは研究室滞在時間、パソコンを研究室から持ち出す、持ち出さずに離席する、と言った行動に関して普段通りに生活を行った。可視化した

表2 可視化ユーザの研究室滞在時間とスクリーンセーバーの稼働時間

実験日	研究室滞在総時間	スクリーンセーバーの可視化総時間
2023/11/13	13.2 時間	4.6 時間
2023/11/14	13.6 時間	4.8 時間
2023/11/15	9.2 時間	2.8 時間
2023/11/16	10.1 時間	3.4 時間
2023/11/17	10.7 時間	3.7 時間

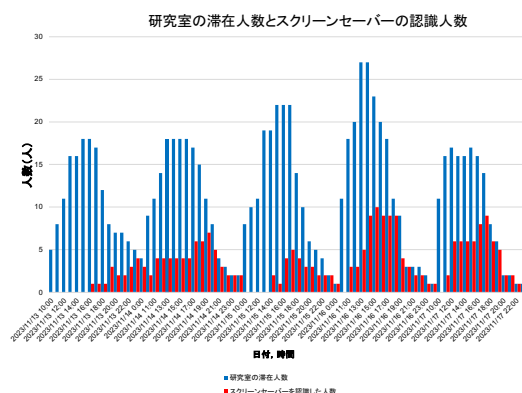


図5 研究室の被験者の滞在人数とスクリーンセーバーの認識人数

体調情報は、11/13 から 11/17 までそれぞれ「体調が悪い」、「体調が悪い」、「体調がまあまあ悪い」、「体調がまあまあいい」、「体調がいい」とした。

6. 実験結果と考察

回答 35 件全てが有効な回答であると判断した。アンケートの回答結果から得られるスクリーンセーバーの認識率によ

表 4 スクリーンセーバーを目にした被験者の体調情報認識率と性格特性の相関

Big5 の要素	体調情報の正しい認識率との相関係数	相関の有無
外交性	0.121011199	なし
誠実性	-0.065547886	なし
情緒不安定性	-0.152129035	なし
開放性	-0.206616447	弱い負の相関
調和性	0.057455967	なし

る定量的データと、アンケート最後に設置した被験者による感想による定性的データをもとに評価と考察を行った。可視化ユーザの研究室滞在総時間とスクリーンセーバーの可視化総時間をそれぞれ表 2 に示す。

6.1. 提案システムの有用性を可視化デザインの認識率から評価

研究室の滞在被験者数、スクリーンセーバーの可視化デザインを目にした被験者数を図 5 の棒グラフで示し、スクリーンセーバーを目にした人数を表 3 の d) 項目、研究室の滞人数に対してスクリーンセーバーを見た人の割合を f) 項目に示す。実験初日に比べ実験の終盤にかけスクリーンセーバーを目にする人が多くなっていることがわかる。これは実験環境の中でスクリーンセーバーを見る習慣がつき、スクリーンセーバーの内容が何か気にかけることが多くなったからであると考えられる。実際実験中のアンケートでは、後半になるにつれスクリーンセーバーを見るようになったという意見が見られたり、可視化ユーザのスクリーンセーバーについて言及する被験者が見られたりした。一方で、可視化ユーザは研究室の見えやすい場所でスクリーンセーバーの可視化を行っていたものの、あまり可視化ユーザの近くに行かないため見る機会がない、席による依存も大きいと思うという意見が見られた。また今回はスクリーンセーバーでの可視化内容は静止画であったためスクリーンセーバーであるという印象が持ちにくく、目に入らなかったという意見が見られた。今後は可視化デザインにアニメーションを用いた上で、可視化ユーザを複数にしたときの認識率の向上を図る。

6.2. 提案システムの有用性を体調情報の認識率から評価

スクリーンセーバーの画面を目にしたユーザのうち、正しく体調情報を取得できていた被験者の人数を表 3 の e)、同割合を g) 項目に示す。実験初日にスクリーンセーバーの内容を見た被験者は、実験が行われることを強く気にかけていた被験者であり、可視化ルールの理解度が高かったため体調情報の認識率が高くなったと考えられる。実験 2 日目はスクリーンセーバーの内容を気にかけるユーザが増えた一方、アンケートでは可視化ルールの理解が甘くすぐに

体調情報を認識できなかったという意見が見られた。「体調がまあまあ悪い」を可視化した実験 3 日目と「体調がまあまあいい」を可視化した実験 4 日目は、認識された項目が「体調がまあまあいい」と「体調がまあまあ悪い」のどちらかで間違って認識をするユーザが多く見られた。今回の実験は可視化ユーザが一人であったため、認識するのみを行うユーザが解釈ルールを深く理解したり、関心を持つことが難しかったと考察できる。今後は複数のユーザがシステムを導入することで可視化と認識の両方を行ってもらうことで、他ユーザの可視化デザインにも関心を促せる可能性が期待できる。

6.3. 提案システムによる体調の認識率とユーザの性格特性に相関はあるか

実験期間中スクリーンセーバーを目にしたユーザの体調情報の正しい認識率と Big5 の相関係数を表 4 に示す。可視化デザインの正しい認識率と、Big5 の開放性の間に非常に弱い負の相関を確認することができた。開放性が低い人々は、しばしば細部に注意を払い慎重な観察を行うことが知られており [14]、これにより実験で使われるデザインの理解度が高くなった可能性が示唆される。また開放性が低い人々は変化に対して抵抗感を持つ傾向にあるが、この抵抗感から新しく研究室に導入したシステムを用いた実験に対し注意を向けることにつながった可能性も考えられる。

7. 今後の方針

今後は、スクリーンセーバーにアニメーション機能を追加することでスクリーンセーバーらしいデザインとそれによる認識率の向上を目指す。またスクリーンセーバーを用いた体調可視化システムによる体調可視化を複数人の被験者が行い、集団的に体調可視化システムを導入することで、ユーザにどのような行動変容を促すのかについて調査する。さらにシステムによる影響の受けやすさと性格特性を調査し、システムが影響を与えやすい性格特性を明らかにすることを今後の展望とする。

8. おわりに

本実験により、可視化ユーザが一人で提案システムを導入した場合の体調の認識率について確認することができた。また Big5 の開放性に関して、体調認識率との負の相関関係が見られることがわかった。異なる性格特性を持つ人々が情報をどのように解釈し処理するかを理解することは、効果的なコミュニケーション戦略の設計において非常に重要となる。今後は複数のユーザで可視化実験を行うことで、それによる行動変容の効果検証も含めて提案システムの有効性を示していく。

また可視化デザインは静止画であることが、スクリーンセーバーの可視化内容に注意を向けないユーザがいることの大きな原因である可能性が示唆された。今後は、工夫したアニメーションを可視化デザインとして用いることで、可視化内容の認識率を上げる手法を模索する必要がある。

謝辞 本研究開発は、国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）JPMJRS22K1 による研究成果の一部である。

参考文献

- [1] Webster, R., Liu, R., Karimullina, K., Hall, I., Amlôt, R. and Rubin, G.: A systematic review of infectious illness Presenteeism: prevalence, reasons and risk factors, *BMC Public Health*, Vol. 19 (2019).
- [2] Johns, G.: Presenteeism in the Workplace: A review and research agenda, *Journal of Organizational Behavior*, Vol. 31, pp. 519–542 (2010).
- [3] Hemp, P.: Presenteeism: At work – But out of it, *Harvard Business Review*, Vol. 82, pp. 49–58 (2004).
- [4] Bergström, G., Bodin, L., Hagberg, J., Aronsson, G. and Josephson, M.: Sickness presenteeism today, sickness absenteeism tomorrow? A prospective study on sickness presenteeism and future sickness absenteeism, *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 51, pp. 629–638 (2009).
- [5] Chiu, S., Black, C. L., Yue, X., Greby, S. M., Laney, A. S., Campbell, A. P. and de Perio, M. A.: Working with influenza-like illness: Presenteeism among US health care personnel during the 2014–2015 influenza season, *American Journal of Infection Control*, Vol. 45, No. 11, pp. 1254–1258 (online), <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2017.04.008> (2017).
- [6] Nkem, D. and Xue, M.: BallBounce: Designing Collective Stress-Related Visualizations for Office Workers Using Galvanic Skin Response Sensor, *Proceedings of the 2023 ACM Symposium on Spatial User Interaction, SUI '23*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), 10.1145/3607822.3616417 (2023).
- [7] Xue, M., Liang, R.-H., Yu, B., Funk, M., Hu, J. and Feijs, L.: AffectiveWall: Designing Collective Stress-Related Physiological Data Visualization for Reflection, *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 131289–131303 (online), 10.1109/ACCESS.2019.2940866 (2019).
- [8] Consolvo, S., McDonald, D. W., Toscos, T., Chen, M. Y., Froehlich, J., Harrison, B., Klasnja, P., LaMarca, A., LeGrand, L., Libby, R., Smith, I. and Landay, J. A.: Activity Sensing in the Wild: A Field Trial of UbiFit Garden, *CHI '08*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1797–1806 (online), 10.1145/1357054.1357335 (2008).
- [9] Sanches, P., Höök, K., Vaara, E., Weymann, C., Bylund, M., Ferreira, P., Peira, N. and Sjölander, M.: Mind the Body! Designing a Mobile Stress Management Application Encouraging Personal Reflection, *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems, DIS '10*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 47–56 (online), 10.1145/1858171.1858182 (2010).
- [10] 大園咲奈, 中村優吾, 荒川豊, フェムテックによる本人及び周辺の人の行動変容支援に関する調査, 2022 年度情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループ第 2 回研究会, pp. 82–85 (2022).
- [11] Cooper, C. and Lu, L.: *Presenteeism at Work*, Cambridge Companions to Management, Cambridge University Press (2018).
- [12] Cancelliere, C., C. J. A. C. e. a.: Are Workplace Health Promotion Programs Effective at Improving Presenteeism in Workers? a Systematic Review and Best Evidence Synthesis of the Literature, *BMC Public Health*, Vol. 11 (2011).
- [13] 並川努, 谷伊織, 脇田貴文, 熊谷龍一, 中根愛, 野口裕之 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 (オンライン), 10.4992/jjpsy.83.91 (2012).
- [14] Roccas, S., Sagiv, L., Schwartz, S. H. and Knafo, A.: The Big Five Personality Factors and Personal Values, *Personality and Social Psychology Bulletin*, Vol. 28, No. 6, pp. 789–801 (online), 10.1177/0146167202289008 (2002).

妊産婦を対象に IoHT を活用した健康行動の変容 － Be-TWINKLE study より－

曹蓮 ^{†1}

株式会社 KDDI 総合研究所

多屋優人 ^{†2}

株式会社 KDDI 総合研究所

坂本優子 ^{†3}

順天堂大学医学部附属練馬病院

本田由佳 ^{†4}

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

福田小百合 ^{†5}

産科婦人科館出張 佐藤病院

佐藤雄一 ^{†6}

産科婦人科館出張 佐藤病院

中澤仁 ^{†7}

慶應義塾大学環境情報学部

概要

妊娠中の健康管理は女性自身の健康のみならず、胎児の正常な発育や安全な出産など、生まれてくる子どもへの影響も大きい。そして、産婦の健康状態は赤ちゃんへの愛着や順調な育児生活を保障する基盤でもある。しかし、妊産婦の健康維持・増進のためのヘルスケアサービスが足りず、妊産婦の生活に適したもの（随時利用できるもの、負担が低いもの、信頼性があるもの）が求められている。そこで、本研究では妊産婦の健康増進に特化したスマートフォンアプリ（TEKUTECH）を開発し、妊産婦の健康維持・増進のための態度・行動に変容が生じるのかを検証した。具体的には、65名の妊産婦を対象に妊娠中期ごろから産後1ヵ月まで約20～23週間にかけて、スマートフォンアプリを用いて健康増進のための生活習慣アドバイスを与え、妊産婦の屋内外の歩行行動、日光浴、栄養摂取などの変容について検証した。本稿では開発したアプリの機能、およびそれを用いた実験全体の設計、収集したデータ種類について紹介し、最後に、アプリを使った参加者の感想評価について述べる。

1. はじめに

本研究は、妊産婦の健康増進のための Internet of Health Things (IoHT) を活用した行動変容モデルの有効性を検討する研究である。本プロジェクトは慶應義塾大学（以下、「慶応大」とする）を研究代表とし、順天堂大学医学部附属練

馬病院（以下、「順天堂練馬病院」とする）、株式会社 KDDI 総合研究所（以下、「KDDI 総合研究所」とする）、国立研究開発法人国立環境研究所地球環境研究センター（以下、「環境研」とする）、産科婦人科館出張佐藤病院（以下、「佐藤病院」とする）の多機関共同研究で実施されている。プロジェクト名称は「Be-TWINKLE study」(BEhavior change by TrustWorthy informatino using INternet of health things from Keio sfc for Ladies Expecting babies) である。

1.1. 妊産婦の健康問題

妊娠中の健康管理は女性自身の健康のみならず、胎児の正常な発育や安全な出産など、生まれてくる子どもへの影響も大きい。近年、妊娠に伴う妊娠糖尿病や妊娠高血圧の発症率、また出生時の体重が2500g未満の低出生体重児の割合などが増え、その要因として、妊娠前や妊娠時の肥満ややせ、栄養の偏り、運動不足など健康管理問題との関連が指摘されている。

まず、妊婦の健康と胎児の発育を守るため、妊娠前や妊娠時の栄養管理が重要である。例えば、妊娠前のやせや妊娠時の体重増加不良は、低出生体重児のリスクを高めることが指摘され [1][2]、健康な食生活や胎児の発育に影響する栄養素（例えば、葉酸、ビタミン A、D）などについての適切な情報提供や栄養教育が必要とされている。

次に、健全で合併症を伴わない妊婦の場合、運動が母体および胎児にとって安全であることを明らかにした研究結果が増え、妊娠中にも運動を続けることへの関心が高まっている。妊娠中の運動の効果として、理想な体重の保持（糖尿病の発症予防、血圧のコントロール）、妊娠中の微症状の軽減（腰痛、頭痛、倦怠感、しびれ、むくみ、静脈瘤など）、安産傾向（骨盤底筋のリラックス体得、呼吸法の体得、分娩時間の短縮）、精神面での自信と安定（ストレス発散、爽快感、マタニティーブルー予防）などが挙げられ [3]、妊婦の適切な運動は心身ともに大きな効果が期待できる。

さらに、近年、新生児や乳児のビタミン D 欠乏によるく

Changing walking behavior using IoHT for primigravida: From the Be-TWINKLE study

^{†1} LIAN CAO, KDDI Research, Inc

^{†2} MASATO TAYA, KDDI Research, Inc

^{†3} YUKO SAKAMOTO, Juntendo University Hospital

^{†4} YUKA HONDA, Keio University Graduate School of Media Design

^{†5} SAYURI HUKUDA, Sato Hospital

^{†6} YUICHI SATO, Sato Hospital

^{†7} JIN NAKAZAWA, Keio University Faculty of Environment of Information Studies

る病の危険性が指摘され、妊婦や赤ちゃんへの日光浴効果が検討されている [4]。ビタミン D の欠乏の原因として、妊娠中のビタミン D 摂取量の不足や日々の日焼け対策が原因であると指摘されている [5][6]。その予防としては、妊娠中や授乳中のビタミン D 摂取量の確保や適度な日光浴、また、乳児にも日光浴させることが勧められている [4][6]。一方、過剰摂取や日焼けなどを予防するために、妊産婦の生活状況や環境にあった適切な介入やセルフケアが必要である。

1.2. 妊産婦のセルフケア

上述の妊産婦の健康問題の改善を巡り、近年、スマートフォンアプリの開発とそれを用いた研究が増えている。例えば、やせ型妊婦や肥満型妊産婦の健康管理を目的とした AI 健康アドバイスアプリ「カロママプラス」を用いた介入研究が行われている [7]。また、妊娠中の肥満女性を対象に、アプリを通してアドバイスを行う介入研究では、栄養素の摂取量が減少している [8]。特に、低出生体重児の増加や妊産婦のうつ傾向の増加などを背景に、妊産婦の心身へのサポートが益々重要視されている。そこで、本研究では妊婦の健康行動（歩行、栄養摂取、日光浴）の変容や促進に特化したアプリを開発し、その効果を検証する。

本研究では妊産婦の健康増進のために IoHT を活用し、生活習慣アドバイスをする中で、妊産婦の健康行動に変容が生じるのかを検討する。その際に背景の心理的理論モデルとして IMB モデル (Information-Motivation-Behavioral skills model) を活用する (図 1 を参照)。IMB モデルは HIV 関連の行動変容を説明するために提唱されたものであり、現在も多様な行動変容領域で基礎的な理論として用いられている [9][10]。具体的に、IMB モデルは「情報」「動機付け」「行動スキル」の 3 つの要因から行動の変容を説明しようとするものである。要因間の関連性として、「情報」と「動機付け」は「行動」の変容に直接影響を与えるだけでなく、「行動スキル」の要因を媒介して「行動」の変容をもたらすと考えられている [11]。要するに、妊産婦の健康行動（歩行、栄養摂取、日光浴）を高めるのに、妊産婦に与える「情報」、健康を維持しようとする「動機」、健康行動を実行することができる「行動スキル」を高めることが有効であると考えられる。

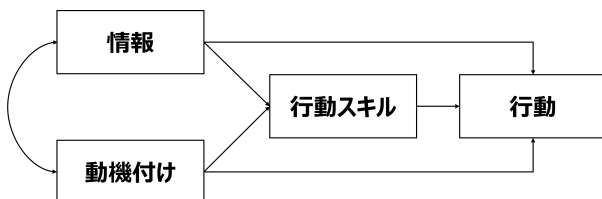


図 1 IMB モデル [11]

そこで、本研究ではこれらの要因を活性化し、健康行動の変容を促すことを目的に、ヘルスケア研究で説得戦略 [12] としてよく活用している「セルフモニタリング」「報酬」「情

報提供」「情報の権威性」などの手法を用いることにした [13][14]。以下、これらの説得戦略によって生じる心理的効果について簡潔に記する。

まず、行動変容の戦略として用いた「セルフモニタリング」は、社会的認知理論の中の重要な構成要素であるセルフコントロールに含まれる技法であり、自分の行動を把握・管理することで、自分自身の心身、行動に意識が向き、現在の自身の状態を観察し、敏感に感じ取ることである。自分をモニタリングすることによって、自分自身の行動変化の把握、改善点の発見ができ、自己管理や目標設定が容易になることがメリットとして挙げられる [15]。

次に、行動変容を目的とした「報酬」の効果は従来の「アメとムチ」で行動や動機をコントロールする基本的な手法である。人は楽を求め、罰を回避しようとする動機を生まれつき持っており、好ましい刺激が与えられると行動が自発的増加し、悪い刺激が与えられると行動が自発的減少する。報酬は行動の習慣化を目指すのに有効な戦略として多くのヘルスケアアプリに搭載されている [12][16]。

また、ユーザーの行動スキルを高めることを目的とした「情報提供」の介入戦略は、関連情報を提供・提案されることによって行動スキルが向上し、それに伴い行為者自身の自己効力感の増加も期待できる。自己効力感とは、ある行動を遂行することができる、と自分の可能性を認識していることであり、自己効力感が強いほど実際にその行動を遂行できる傾向にあると述べられている [17]。健康教育や健康行動の習慣化を目指した行動変容の研究領域においても、自己効力感を応用した研究が多くみられ、行動スキルの向上とともに、行動変容への効果が期待できる重要な要素である。

最後に、情報への信頼性が行動変容を予測する重要な要因であることを考慮し、「情報の権威性」（権威のある情報を提供する）戦略を用いた。「情報の権威性」は認知バイアスの一つである権威バイアスを活用した戦略手法である。つまり、情報の発信源に「権威性」を持たせる（たとえば、専門家による意見や上司の言葉など）ことによって、情報への信頼性や妥当性が認知され、行動変容に影響をもたらす心理的現象である。

本研究ではアプリに上記の心理的効果をもたらす機能を搭載することによって、妊産婦の健康行動の促進に寄与するのかを検証する。主に、「情報」を「権威性のある情報」と「権威性のない情報」に分け、アプリによる介入効果を検証する。

1.3. 本研究の目的

本研究では、正常な過程の健康な妊産婦を対象に IoHT を活用し、妊産婦の健康行動が促進されるのかを検証することを目的とし、（１）妊産婦向けに特化したアプリを開発し、（２）それを用いた介入実験（20 週～産後一か月の間に実際に使ってもらうこと）を行った。特に、権威性のある情報は妊産婦の健康行動変容に有効であるという仮説のもと、

参加者に与える情報を、「専門家による情報源を明示した健康情報」と「情報源を明示していない健康情報」に分け、健康行動の変容を検証する。

しかし、本稿の紙面上の都合より、本研究では上述の(1)妊婦向けのアプリ開発について紹介し、(2)それを用いた介入実験および参加者のアプリ使用後の感想や意見をまとめる、ことにとどめる。介入実験による健康行動の変容効果に関しては割愛する。

研究倫理審査 本研究は、順天堂大学医学系研究等倫理委員会(承認番号: E22-0265-N01)の承認に基づき実施した。

臨床実験登録 本研究は、臨床試験登録をし、実施した(UMIN 試験 ID: UMIN000051235)。

2. IoHT モバイルアプリケーションの開発

本研究では、妊産婦の健康行動の促進のための iOS アプリとして、妊産婦用健康管理アプリケーション^{*1}(以下、「TEKUTECH アプリ」とする)を株式会社 KDDI 総合研究所が開発し、妊産婦を対象に介入研究に利用した。

以下、まず、TEKUTECH アプリの全体構造について説明し、次に、アプリより収集可能なデータ種類について記載する。

2.1. TEKUTECH アプリの全体構造

本アプリは主にホーム画面、体重・アドバイス画面、ミッション画面、称号画面、お知らせ画面から構成されている。

ホーム画面 「ホーム画面」では、アプリの使い方ガイドを閲覧できたり、ミッション画面や称号画面で取得した歩数レベルや称号が表示されたりする。また、完了したアンケートに対応した週数のバッジが画面の下部に表示される。例えば、20 週目のアンケート回答が終わると、その回答が完了していることを意味するバッジが表示され、アンケートの進捗状況が視覚的に把握できる。さらに、アンケート回答やお知らせの通知がある場合、ホーム画面上にポップアップのバナーとして表示され、クリックするとアンケート回答画面に遷移する。

体重・アドバイス画面 「体重・アドバイス画面」では、まず、画面の上部に現在の妊娠週日、出産予定日までの残り日数が表示される。次に、現在の体重を入力すると、妊娠初期の体重を基準にした場合の体重変動が折れ線グラフとして体重画面上に表示される。これによって妊娠中の体重変動を視覚的に捉え、体重の自己管理の促しや生活習慣の見直しなど、セルフモニタリングによる行動変容が期待できる。また、介入のアドバイス情報が画面の下部に表示され、かつ当日の服装(半袖・長袖)状態を選ぶ機能がある。これによって、ユーザーの服装状態に合わせた介入アドバイスを提示することが可能である。

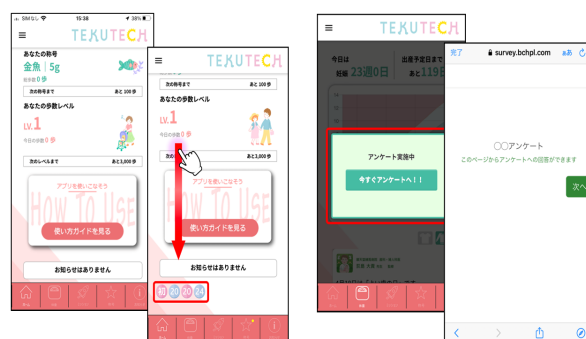


図2 TEKUTECH アプリのホーム画面

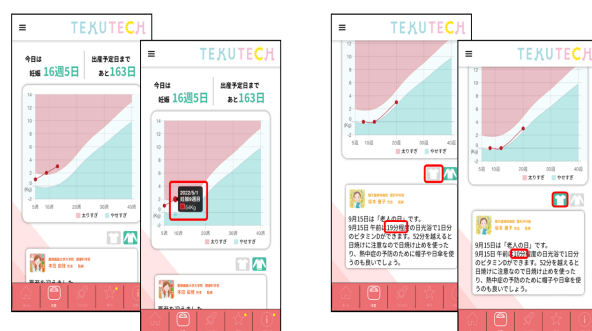


図3 TEKUTECH アプリの体重・アドバイス画面

ミッション画面 「ミッション画面」では、当日に実際に歩いた歩数が表示され、対応した歩数レベルが表示される。また、当日の歩数のみならず、過去の歩数履歴と達成レベルも棒グラフで表示される。これらの機能によって毎日の目標管理ができることに加え、過去の自分と比較することを通じて、長期的な自己管理やモチベーション向上に繋がるという心理的効果が期待できる。

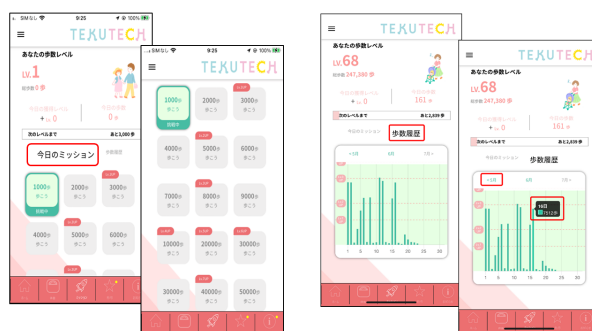


図4 TEKUTECH アプリのミッション画面

称号画面 「称号画面」では、歩数によって特定の称号が与えられる。称号は可愛い動物で表現されたイラスト絵であり、赤ちゃんの口調で表現された文字情報(例:「ねこさんはどう鳴くの? ~♪教えて~♪」)が表示され、お腹の赤ちゃんが母親と対話しているような感覚を与える。画面上

^{*1} 本アプリは研究用途のみで利用するアプリであり、今後患者向けにサービスを提供するアプリではない。

には過去の称号が閲覧できるのみならず、次に獲得できる称号が1つ表示される。そして、次の称号まで何歩達成すると取得できるのかの目標も表示されている。このような称号が歩数取得レベルによって獲得され、対象者に対する報酬効果が期待される。さらに、次の称号取得まで達成しないと後にどのような称号があるのかは画面上に表示されないため、参加者の好奇心の活性化につながり、歩行行動の促進に寄与する心理的効果が期待できる。ここで取得された最新の称号が、上述の「ホーム画面」と「ミッション画面」にも同様に表示される。



図5 TEKUTECH アプリの称号画面

お知らせ画面 「お知らせ画面」では、大きく「お知らせ画面」と「アンケート画面」で構成され、ボタンをクリックすることで画面の切り替えができる。まず、「お知らせ画面」にはアプリの利用方法（例：「体重の入力方法」や「出産予定日/通院予定日の入力方法」など）の情報が記載されている。次に、「アンケート画面」では指定された番号を入力すると、該当画面が表示され、アンケート回答ができる。

2.2. アプリより収集可能なデータ種類

本アプリではユーザーの行動データとして、位置情報、Wi-Fi 接続先情報、歩数、アプリ操作履歴を、ユーザーが許可した範囲内で収集する。位置情報の記録がされる際にサーバーにデータを送信し、送信に失敗した場合は次の記録タイミングで再送信を行う。以下に収集データの詳細について記す。

位置情報 位置に関連する情報として、GPS と Wi-Fi 接続先のアクセスポイント情報を記録する*2。記録するタイミングは OS がスマートフォンの移動を検知したときであり、GPS には 100 メートル程度の誤差が含まれている。

歩数 位置情報が記録される際に、その日の 0 時から現在時刻までの歩数を API を利用して取得し*3、ファイルに保存する。

*2 本研究では、取得した位置情報を個人の特定ができないように加工したうえ、効果検証に活用する。

*3 本アプリでは iPhone の CMPedmeter という歩数を取得するための API を利用して歩数を取得する。

アプリの操作履歴 参加者がアプリを操作するたびに、その履歴が記録される。

3. 研究方法

3.1. 参加者

本研究は、共同研究施設の順天堂大練馬病院を受診した妊婦を対象に 2022 年 12 月～2023 年 8 月の間に研究参加の募集を実施したところ、69 名の方が研究参加に同意した。そのうち下記の中止基準により 4 名の方が参加中止をしたため、最終的には計 65 名（平均年齢 33.32 歳、標準偏差 4.63）の妊婦を研究対象とした。これらの参加者は以下の適格基準を満たし、且つ除外基準のいずれにも該当しない正常妊婦であった。

適格基準 本研究では、同意取得の時点で妊娠 20 週未満（妊娠 15～19 週）であること、妊娠前 BMI (Body Mass Index) が $18.5 \sim 24.9 \text{ kg/m}^2$ であること、単胎妊娠であること、iPhone を日常的に使っていること、産後 1 カ月健診までの全ての健診を研究実施施設で受ける予定があること、を適格基準とした。

除外基準 本研究では、年齢が 20 歳未満である場合、多胎妊娠である場合、iOS14.1 以降の iPhone を使用していない場合、妊娠前に糖尿病、もしくは妊娠中の明らかな糖尿病、妊娠合併症と診断される場合、何らかの疾患・合併症があり栄養指導を受けている場合、妊娠前 BMI $< 18.5 \text{ kg/m}^2$ もしくは BMI $\geq 25 \text{ kg/m}^2$ の場合、日本語でのコミュニケーションが可能でない場合、担当医師が本研究の対象として不適当であると判断した場合、を除外基準とした。

中止基準 本研究では、研究対象者から研究参加の辞退の申し出や同意の撤回がある場合、本研究全体が中止される場合、その他の理由により、研究責任者および研究分担者が研究の中止が適当と判断する場合、を中止基準とした。

3.2. 研究対象期間

本プロジェクトの研究期間は各共同研究機関の研究実施許可日から 2025 年 9 月 30 日までとなっており、そのうち、研究対象者の登録期間と観察期間は以下の通りである。

- 登録期間：2022 年 12 月 17 日～2023 年 10 月 31 日
- 観察期間：2022 年 12 月 17 日～2024 年 9 月 30 日

研究対象者は、研究参加同意を取得した日から産後 1 カ月までの約 8 カ月間に TEKUTECH アプリによる介入を受けた。産後 1 カ月健診の際に、研究参加終了である説明および謝礼を受け渡し、研究終了となる。

3.3. 研究デザイン

本研究は研究実施計画に基づいて実施し、全体的に「介入前」と「介入中」、「介入終了後」の 3 つの期間に分けられる（図 6 を参照）。まず、介入前の期間は、妊娠 16～19 週まで

の期間を指し、主に対象者の適格基準の確認、研究全体の説明および同意取得、介入アプリの説明やインストール、アプリによるデータ収集（例：歩数やアンケート回答）などを実施した。具体的には、まず、共同研究施設の順天堂練馬病院に外来受診をした妊婦のうち、研究参加の適格基準に満たす16週～19週の妊婦を対象に募集した。次に、研究案内のチラシおよび同意説明文章を医師から手渡しし、研究参加の同意を得た。その際には、同意説明文章の内容をまとめた動画を見てもらい、研究内容の理解を補助した。そして、参加同意を得た対象者のみを対象に、アプリケーション利用規約を確認し、アプリ利用の同意を得たうえ、参加者向けの簡易マニュアルを用いて、アプリの使用方法や諸機能について説明をし、アプリのインストールを実行してもらった。その際に、アプリでは研究のためにアプリの利用履歴（登録情報、入力情報、操作履歴など）、GPS 位置情報、歩数、アンケートへの回答情報などが取得されること、取得した位置情報は個人が特定できないように加工した上で研究に活用することについて説明をした。

次に、介入中の期間は妊娠20週から出産までの期間を指し、主に参加者の介入グループ分け、生体、行動、心理、健康などの各種のデータ測定、対象者による問い合わせへの対応などを実施した。具体的には、妊娠20週の直前まで対象者の適格基準を満たすことを確認したうえ、妊娠20週から研究対象者を権威情報あり・なしの2群に無作為に割当を実施した。2群の割付法は「置換ブロック法」を用いた。具体的には、4つを一つのブロックにし、6つの羅列パターンを作成し、ランダムに割付をした。割付は共同研究機関のKDDI 総合研究所が担当し、順天堂練馬病院には参加者番号のみが通知された。要するに、順天堂練馬病院では盲検化された状態ですべてのリクルートおよび対応を実施した。

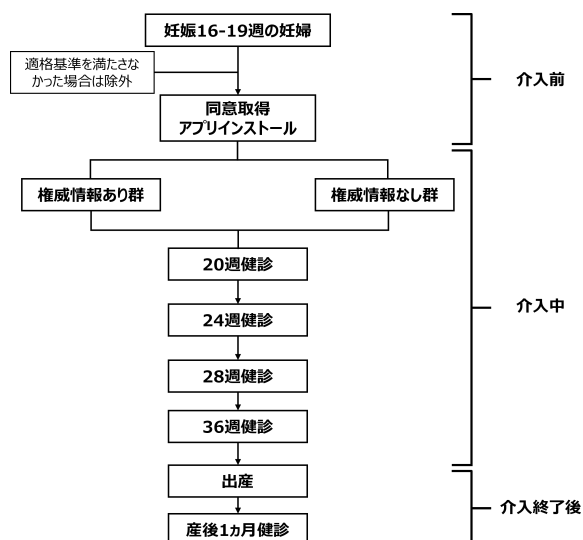


図6 研究の流れ

アドバイスによる介入は妊娠20週から開始し、出産まで

の約5カ月間継続する。権威情報あり群となし群は同様の介入アドバイスメッセージを受けるが、権威あり群はなし群に比べ、情報発信源を表すイラスト絵がメッセージと同時に提示されるようになっていた（図7を参照）。つまり、権威情報あり群は情報発信源が分かるが、なし群は分からない状況で介入を受けることになる。

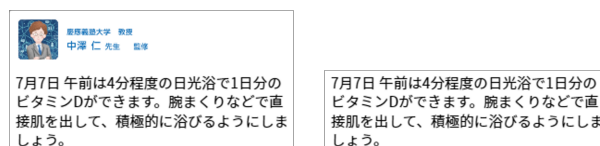


図7 権威のある情報（左）とない情報（右）の例

介入アドバイスはIMBモデルを基に、体重管理、食生活、日光浴のそれぞれに関する「情報」「動機付け」「行動スキル」の要素から構成されている（図1を参照）。「情報」関連のアドバイスには、例えば、妊娠中の適正体重（BMI）やビタミンDを含む食べ物、日光浴効果などの知識が含まれていた。「動機付け」関連のアドバイスには、例えば、適切な体重管理、健康な食生活、日光浴を行うモチベーションを高めるメッセージが含まれていた。「行動スキル」関連のアドバイスには、適切な体重管理、健康な食生活、日光浴を行うための効果的な方法が含まれていた。

アドバイスによる介入は妊娠20～41週までの22週間分、計99個を作成した。その詳細の内訳は、体重管理66個（体重3種類（少ない/標準/多い）×妊娠22週）、食生活22個（妊娠週22週）、日光浴9個（時間帯3種類（0:00～12:29/12:30～17:29/17:30～23:59）×天気3種類（晴れ/くもり/雨））であった。健康管理と食生活アドバイスは慶應義塾大学大学院の健康情報学者（本稿の第4著者）、日光浴アドバイスは順天堂大学医学部附属練馬病院整形外科医（本稿の第3著者）が作成し、全体について産科婦人科館出張佐藤病院が監修を実施した。

日光浴は季節や服装、天気によって効果が異なるため、5月～9月（紫外線が強い月）、4月と10月（紫外線が中程度の月）、11月～3月（紫外線が弱い月）のように季節を3種に分け、服装（半袖、長袖）、天気（晴れ/曇り/雨）などの要因を踏まえ、介入メッセージ中の日光浴推奨時間^{*4}を変更した。例えば、図3（右）に示しているアドバイスでは、紫外線が強い9月の晴れた日に、半袖の服装をしている場合は、日光浴の推奨時間が10分程度であるが、同じ日に長袖の服装をしている場合は19分程度の比較的長い時間の日光浴を推奨した。

介入終了後の期間は、出産から産後1か月の期間を指し、

^{*4} 長袖の日光浴時間は、環境研から算出された過去の推奨紫外線暴露時間（つくば市の2013年11月21日から2019年12月31日までの1分ごとデータ）を、月（12ヵ月）、時間（午前、午後）、天気情報（晴れ、曇り、雨）などの条件で分類し、中央値を算出した。そして、月と天気、時間の条件に該当する際、該当中央値を日光浴時間として提示した。半袖の場合は、該当中央値の1/2時間を日光浴時間として提示した。

アプリによる行動データおよびアンケート回答は継続して収集したが、アプリによる介入アドバイスの提示は停止した。具体的には、順天堂練馬病院から参加者の出産情報が KDDI 総合研究所に通知されると、システムより出産情報の登録を行う。それにより、参加者のアプリより、「出産、おめでとうございます」というメッセージが表示され、妊娠中に提示されたアドバイスは非表示になる。

3.4. 収集データ

研究参加同意を得た日（妊娠 16 週～19 週の健診）から産後 1 カ月健診までの間に、以下の様々なデータを収集した。データは順天堂練馬病院で直接取得したものと、アプリを経由して取得したデータに分けられる。

病院で収集したデータ

まず、順天堂練馬病院では生体データ（例：血液検査、骨密度、体重、体組成、血圧などの計測）、食事・栄養データ、用紙記入式アンケート、妊娠に関する基礎データ（カルテ記録）などが収集された。

(A) 生体データ

血液検査 通常の妊婦健診で採血し、測定する検査項目の中で、糖代謝（血糖）、脂質代謝（総コレステロール、HDL コレステロール、中性脂肪、LDL コレステロール）、鉄代謝（ヘモグロビン）、タンパク代謝（総アルブミン）データを電子カルテからピックアップした。ビタミン D 濃度、PTH インタクト、亜鉛、アルカリフォスファターゼについては、妊婦健診の採血時に追加採取した 10ml の血液を用いて行った。ビタミン D は、さらに、出産時の臍帯血から追加採取した 3ml の血液も用いて検査した。

骨密度計測 妊婦健診時の待ち時間で、超音波法の骨密度計を用いて、踵骨の骨密度を測定する。GE ヘルスケア・ジャパン製超音波踵骨測定装置 [A-1000EXP] を用いて約 3 分間測定した。

体組成計測 妊婦健診時の待ち時間で、生体電気インピーダンス (bioelectrical impedance analysis: BIA) 法体組成計を用いて、全身と部位別の体脂肪率・体脂肪量・体脂肪率を測定する。タニタ社製業務用体組成計 [MC190EM] を用いて、約 30 秒計測した。

体重と血圧 妊婦健診時の待ち時間に、病院内の体重計と血圧計を用いて計測した。

(B) 用紙記入式アンケート調査

食事・栄養データ 妊婦健診時の待ち時間に、用紙記述式の簡易型自記式食事歴法質問票 (Brief-type self-administered diet history questionnaire: BDHQ)[18]) への回答を依頼した。産後 1 カ月健診時のみ、病院での滞在時間を短縮するために、健診時の用紙を持ち帰り、自宅にて回答し、返信用封筒にて投函する形式で実施した。アン

ケート回答には約 20 分必要であった。

日本版エンジンバラ産後うつ病自己評価表 (EPDS) 産後 1 カ月健診時に実施したエンジンバラ産後うつ病自己評価票 [19] (10 問) の得点を、電子カルテよりピックアップして用いた。

赤ちゃんへの気持ち質問票 (Mother-to-Infant Bonding Scale: MIBS) 妊婦健診時に助産師の支援のもとで実施した。具体的には「赤ちゃんをいとしと感じる」「赤ちゃんのことが腹立たしくいやになる」など、計 10 項目を 4 件法（ほとんどいつも強くそう感じる～全然そう感じない）で測定し、得点が高いほど赤ちゃんへの否定的な感情が強いことを示す [20]。特に、否定的な感情が高い場合は、助産師より精神的ケアを行った。

(C) 妊娠に関する基礎データ

カルテの記録データ（出産日、分娩直前体重、分娩方法、出血量、出生児の身長・体重、性別、児の生死、妊娠糖尿病の有無、妊娠高血圧症候群の有無（「有」の場合、降圧薬内服の有無））を取得した。

アプリより収集したデータ

次に、アプリを通して行動データ（例：歩数やアプリの操作履歴）、アンケート回答データ（外出・日光浴時間、骨リテラシー、心理、研究参加の感想など）を取得した。

(D) 行動データ

アプリのログ計測から位置情報（GPS と Wi-Fi 接続情報）、歩数、TEKUTECH アプリの利用履歴が取得される。これらのデータを活用し、以下の行動データの算出が可能である。

位置情報 (GPS と Wi-Fi の接続情報) GPS と端末の Wi-Fi 接続情報を活用し、対象者の位置情報が取得され、屋内外（在宅・外出）の判定が可能になる。この判定データを用いて、外出時間や頻度の算出ができる。さらに、歩数記録データと合わせると、屋内外での歩数に分けたデータ算出も可能である。また、位置情報と屋外での時間データを併用し、その日の紫外線暴露量^{*5}の算出も可能であり、参加者の日光浴効果の検証に寄与する。

歩数記録 妊産婦の歩行行動の変動や介入効果の検証に活用できる。

アプリの閲覧頻度 TEKUTECH アプリの閲覧履歴のデータは、アプリの各画面の閲覧頻度の算出が可能であり、介入効果の検証に活用できる。

(E) アプリ上のアンケート調査

紫外線アンケート 普段の外出時間・日焼け止めクリームの使用状況について振り返り式アンケートを約 1 分間実

^{*5} 紫外線暴露量とは、紫外線に晒された度合を表す指標のこと。

施した。本データはアプリのログデータから算出した外出有無や外出時間のデータと合わせ、参加者の日光浴の介入効果が検証できる。

骨リテラシーアンケート 骨に関する知識や行動を測定する項目を独自作成し、約1分間の回答を実施した。

セルフケアの動機付け尺度 セルフケアへの動機付け尺度 [21] を用い、健康全般に関する動機付けを約1分間測定した。例えば、「健康であるためには努力を惜しまない」「健康であるためには我慢することも大切である」など、計4項目を6件法（まったく当てはまらない～非常に当てはまる）で測定し、得点が高いほど動機付けが高いことを示す。

自己管理スキル尺度 自己管理スキル尺度 [22] を用い、健康に関する自己管理を測定した。例えば、「何かをしようとするときには、十分に情報を収集する」「何かを実行するときには、自分なりの計画を立てる」など、計10項目を4件法（当てはまらない～当てはまる）で測定し、得点が高いほど自己管理スキルが高いことを示す。

研究参加終了後の評定や感想 産後1ヵ月の最後のアンケート調査では、アプリを使っている間にどのように感じたのかを感じたままに評定する項目を追加した。具体的には、アドバイスは役立ったのか、信頼できるものだったのか、専門家からのものであると感じたのか、内容は理解しやすかったのか、次の妊娠でもこのアプリを利用したいと思うのか、について5件法で測定した。評定値が高いほどポジティブな評定を意味する。その結果を図9に、役立つ、信頼できる、専門家による、理解しやすい、今後も使いたい順に示す。そして、アドバイスを読んで、何かに取り組んだのか（4件法）も測定した。最後に、本研究に参加して良かったこと、困ったことを自由に記入してもらった。

3.5. データの取得時期

各種のデータ取得時期を図8に示す。

データ種類	実施項目	介入前	介入後					介入終了
		16-19週	20週	24週	28週	36週	出産	産後1ヵ月
生体データ	ビタミンD	-	-	●	-	●	● (調剤品)	-
	PTHインタクト	-	-	●	-	●	-	-
	アルカリフォスファターゼ	-	●	-	●	●	-	●
	亜鉛	-	-	●	-	●	-	-
	骨密度計測	-	●	●	●	●	-	●
行動データ	体組成計測	-	●	●	●	●	-	●
	アプリログ計測	●	●	●	●	●	●	●
アンケートデータ	食生活アンケート(BDHIQ)	-	●	●	●	●	-	●
	紫外線アンケート	-	●	●	●	●	-	●
	骨リテラシーアンケート	●	●	-	-	● (34週)	-	●
	セルフケアの動機付け尺度	●	●	-	●	● (34週)	-	●
	自己管理スキル尺度	●	●	-	●	● (34週)	-	●
	エンジンバラ産後うつ病自己評価票	-	-	-	-	-	-	●
	赤ちゃんの気持ちの質問票	-	-	●	-	-	-	●

図8 各種データの測定時期

4. 結果と考察

本研究では妊産婦の健康行動を促すために、妊娠中のユーザーに特化した TEKUTECH アプリを開発し、妊産婦を対象に妊娠中期から産後1ヵ月までの約20週～23週間にわたって介入を実施した。介入による妊産婦の健康行動の変容効果に関しては紙面の都合上割愛し、本稿ではアプリを使用した参加者の評定や感想について記述する。詳細には2023年10月31日まで産後1ヵ月アンケート回答が完了した36名の参加者の回答を集計した。その結果、図9に示しているように、アプリを使った参加者評定の平均値が中間値3（どちらとも言えない）を超えており、どちらもポジティブな評定が比較的に多い傾向であった。

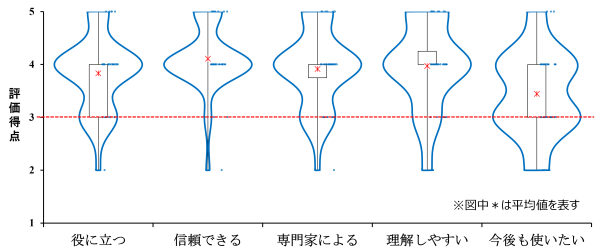


図9 アプリ使用後の参加者評価

次に、使用後の感想について、良かったことと困ったことに分けて整理した。まず、良かったことについては、「知識や情報の獲得」（例えば、「必要な情報を得られた」「知らない知識を得ることができた」などの回答、計9個）、「健康管理の意識化」（例えば、「意識的に体重管理や歩数を気にするようになった」、「健康について意識が高まった」などの回答、計7個）「体重管理の良さ」（例えば、「体重管理がしやすかった」、「毎日の体重管理はとても役に立った」などの回答、計6個）、「健康生活や運動への動機付け」（例えば、「健康に過ごすためのモチベーションになっていた」「歩数を管理し、称号が得られることで、歩くモチベーションにはなった」などの回答、計6個）の4つの側面が示された。これより、アプリ開発時に意図した自己モニタリングや報酬、提案などの介入設計により、健康行動遂行への動機付けや興味・関心、自己効力感の向上などの心理的効果の達成が確認できた。一方、困ったことについては、「歩数記録の不具合」（例えば、「たまに歩数がおかしいことがあったため、歩数計として毎日利用していたが参考できない日があった」などの回答、計2個）、「アプリの常時起動による大変さ」（例えば、「常に立ち上げないといけないプレッシャーはあった」などの回答、計2個）、その他、負担や入力の不便さ、研究のフィードバックへの要求などが挙げられた。

アプリ自体を常時起動しないと、データ送信に不具合が生じる場合がある。例えば、電池切れ後の端末再起動の際には、アプリ自体も再起動しないと、歩数記録に影響が生じる場合があった。このような手間が大変な時期を過ごす妊産婦にとっては負担やストレスになった可能性があるため、

今後のアプリの改善点とする。

謝辞 本研究では、研究対象者の募集や研究実施について順天堂大学医学部附属練馬病院の荻島大貴教授、丸山洋二郎准教授、紫外線暴露量（日光浴の度合）の観測について国立研究開発法人国立環境研究所地球環境センターの中島英彰主席研究員に多大なご協力をいただきました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 邱冬梅, 坂本なほ子, 荒田尚子. 低出生体重児の母体要因に関する疫学研究, *Journal of health and welfare statistics/厚生労働統計協会 編*, Vol. 61, No. 1, pp. 1–8 (2014).
- [2] 木戸久美子, 林隆. 正期産低出生体重児の出生に影響を及ぼす母体背景要因に関する研究, *山口県立大学看護学部紀要*, Vol. 11, pp. 7–14 (2007).
- [3] 伊藤博之. 女性の栄養と運動: 妊婦のスポーツ, *日本産科婦人科学会雑誌*, Vol. 51, pp. 289–292 (1999).
- [4] Nakajima, H., Sakamoto, Y., Honda, Y., Sasaki, T., Igeta, Y., Ogishima, D., Matsuoka, S., Kim, S.-G., Ishijima, M. and Miyagawa, K.: Estimation of the vitamin D (VD) status of pregnant Japanese women based on food intake and VD synthesis by solar UV-B radiation using a questionnaire and UV-B observations, *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, Vol. 229, No. 106272 (2023).
- [5] 杉本昌也, 矢野公一, 片野俊英, 佐々木彰, 境野環樹, 鈴木豊, 瀧本昌俊, 藤枝憲二. 母乳栄養の乳児にみられる日光浴不足によるビタミン D 欠乏性くる病, *日本小児科学会雑誌*, Vol. 107, No. 11, pp. 1497–1501 (2003).
- [6] 大関知子, 大黒啓一, 今井佐恵子, 末原紀美代, 宮谷秀一. 日本人妊婦と乳児のビタミン D 栄養に関する研究, *Journal of Rehabilitation and Health Sciences*, Vol. 5, pp. 13–18 (2007).
- [7] Kawasaki, M., Mito, A., Waguri, M., Sato, Y., Abe, E., Shimada, M., Fukuda, S., Sasaki, Y., Fujikawa, K., Sugiyama, T. et al.: Protocol for an interventional study to reduce postpartum weight retention in obese mothers using the internet of things and a mobile application: a randomized controlled trial (SpringMom), Vol. 21, Springer, pp. 1–14 (2021).
- [8] Ainscough, K. M., O'Brien, E. C., Lindsay, K. L., Kennelly, M. A., O'Sullivan, E. J., O'Brien, O. A., McCarthy, M., De Vito, G. and McAuliffe, F. M.: Nutrition, behavior change and physical activity outcomes from the PEARS RCT—An mHealth-supported, lifestyle intervention among pregnant women with overweight and obesity, *Frontiers in endocrinology*, Vol. 10, No. 938 (2020).
- [9] Fisher, J. D., Fisher, W. A., Shuper, P. A. et al.: The information-motivation-behavioral skills model of HIV preventive behavior, *Emerging theories in health promotion practice and research*, Vol. 2, pp. 21–64 (2009).
- [10] Chang, S. J., Choi, S., Kim, S.-A. and Song, M.: Intervention strategies based on information-motivation-behavioral skills model for health behavior change: a systematic review, *Asian Nursing Research*, Vol. 8, No. 3, pp. 172–181 (2014).
- [11] Fisher, J. D. and Fisher, W. A.: Changing AIDS-risk behavior., *Psychological bulletin*, Vol. 111, No. 3, p. 455 (1992).
- [12] Oyeboode, O., Ndulue, C., Alhasani, M. and Orji, R.: Persuasive mobile apps for health and wellness: a comparative systematic review, *Persuasive Technology. Designing for Future Change: 15th International Conference on Persuasive Technology, PERSUASIVE 2020, Aalborg, Denmark, April 20–23, 2020, Proceedings 15*, Springer, pp. 163–181 (2020).
- [13] Wais-Zechmann, B., Gattol, V., Neureiter, K., Orji, R. and Tscheligi, M.: Persuasive technology to support chronic health conditions: investigating the optimal persuasive strategies for persons with COPD, *Persuasive Technology: 13th International Conference, PERSUASIVE 2018, Waterloo, ON, Canada, April 18–19, 2018, Proceedings 13*, Springer, pp. 255–266 (2018).
- [14] Alkış, N. and Findik-Coşkunçay, D.: Use of persuasion strategies in mobile health applications, *Current and Emerging mHealth Technologies: Adoption, Implementation, and Use*, pp. 9–21 (2018).
- [15] 角井都美子, 美羽理一郎. 自己モニタリングと呼吸法, p. 22 (2006).
- [16] 柏本幸俊, 山崎悠大, 曹蓮, 上坂太輔. 向社会的行動の促進に向けた社会的意義付けにおける金銭的報酬効果の検証, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2023 論文集, Vol. 2023, pp. 670–676 (2023).
- [17] Bandura, A., Freeman, W. H. and Lightsey, R.: Self-efficacy: The exercise of control (1999).
- [18] Okubo, H., Sasaki, S., Rafamantanantsoa, H., Ishikawa-Takata, K., Okazaki, H. and Tabata, I.: Validation of self-reported energy intake by a self-administered diet history questionnaire using the doubly labeled water method in 140 Japanese adults, *European journal of clinical nutrition*, Vol. 62, No. 11, pp. 1343–1350 (2008).
- [19] 岡野禎治. 日本版エジンバラ産後うつ病自己評価表 (EPDS) の信頼性と妥当性, *精神科診断学*, Vol. 7, No. 4, pp. 525–533 (1996).
- [20] 鈴宮寛子. 出産後の母親にみられる抑うつ感情とボンディング障害-自己質問紙を活用した周産期精神保健における支援方法の検討, *精神科診断学*, Vol. 14, pp. 49–57 (2003).
- [21] 大山真貴子, 岩永誠. 2 型糖尿病患者の糖尿病セルフケアに影響する心理的要因の検討, *日本健康医学会雑誌*, Vol. 28, No. 3, pp. 355–362 (2019).
- [22] 高橋浩之, 中村正和, 木下朋子, 増居志津子. 自己管理スキル尺度の開発と信頼性・妥当性の検討, *日本公衆衛生雑誌*, Vol. 47, No. 11, pp. 907–914 (2000).

Assessing changes in stress levels through competitive gamification of a time management focus technique

Riya Singh^{†1}

慶應義塾大学環境情報学部

Gao Zexiong^{†2}

東京大学大学院学際情報学府

乾 雄貴^{†3}

慶應義塾大学環境情報学部

柄澤 匠^{†4}

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

大越 匡^{†5}

慶應義塾大学環境情報学部

中澤仁^{†6}

慶應義塾大学環境情報学部

1. Abstract

University students lead a hectic lifestyle juggling academic commitments, part-time work, and internships, often encountering stress that impacts their well-being. While external factors contribute to stress, such as part-time jobs, societal pressures, etc., university-specific stressors like assignments and tests also play a role.

This paper introduces a gamified app based on the Pomodoro focus technique, allowing students to challenge each other in studying or task completion. Analyzing two weeks of data from participants using both the normal and Challenge Pomodoro Timers revealed that, on average, participants utilized the Challenge Timer more frequently, resulting in increased motivation, improved time management, and reduced stress levels. Moreover, participants reported higher self-satisfaction with their motivation and time management skills, indicating an intrinsic boost influenced by extrinsic factors.

2. Introduction

Students face the challenge of balancing their academic and personal lives, with academic stress often leading to prioritization of success over health and sleep[1].

The Pomodoro focus technique proves effective in managing time by utilizing specified work intervals followed by designated break periods, fostering a sense of urgency for task completion. This technique is recognized for enhancing time management skills[2].

In this study, we developed a gamified iOS application for the Pomodoro focus technique using Flutter Dart, Xcode, and Firebase for real-time data storage. Our research involved implementing ethical procedures, including research methods and survey designs, to conduct a 2-week study with 10 participants. The collected data was thoroughly analyzed and presented to contribute valuable insights into the effectiveness of the Pomodoro technique in the context of student stress management.

3. Background

As mentioned before, a lot of students struggle to deal with stress in which some are directly or indirectly caused through time management. If time is managed properly, students will find a successful way and strategy to organize schedules, test, exams, etc.

Competition promotes students towards a "need-to-be-first" mentality which, in a way, forces students to work a lot to achieve the first spot. Through the Pomodoro focus technique - that utilizes time management, and through competition - that utilizes motivation inducement, our hypothesis is that students could experience a boost in

Assessing changes in stress levels through competitive gamification of a time management focus technique

^{†1} RIYA SINGH, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

^{†2} GAO ZEXIONG, Graduate School of Interdisciplinary Information Studies, University of Tokyo

^{†3} INUI YUKI, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

^{†4} TAKUMI KARASAWA, Graduate School of Media and Governance, Keio University

^{†5} TADASHI OKOSHI, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

^{†6} JIN NAKAZAWA, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

motivation to follow a time management routine to get things done to reduce their stress levels.

4. Previous Studies

As for choosing the Pomodoro focus technique and not another focus technique, a learning assessment conducted among students showed that there is a huge significant difference in students' score from when they did not utilize the Pomodoro focus technique to when they did[3] and has been highly appreciated for its effectiveness in reducing procrastination[4].

There has also been quite a few attempts on gamification for the purpose of improving education or academic areas. For example, a specially developed calendar was presented that aims to help the student to manage stress through taking control over the main stressors and shifting their mindset about stress[5]. They used logical and smart methods like showing the deadline of an assignment a week before it was due to reduce stress towards the deadline date.

It has also been seen that gamification, especially in leaderboard, leads to competitive students being energetic and determined to learn and increases their motivation in online courses[6].

5. System Overview

The app has 4 main pages - the home screen, the users page, the leaderboard page, and the challenge page.

5.1. Home Page

After being prompted to sign in for the first time, the home page displays the user's name, the points that they have accumulated so far, a focus time option, and a sign out option (see Fig1). The focus time page sets 25 minutes as the focus time and 5 minutes as the break time by default with a set count as 4 as well (as seen in Fig2). However, users have the options to customize it based on however they wish and can change the value of the minutes and set count themselves.

Users will get points based on how many minutes they focus for. The timer page also has a "Strict Mode" which enabled, freezes the pause button and the only way a user can stop the timer is through pressing the "Reset" button.



Fig1 Home Page

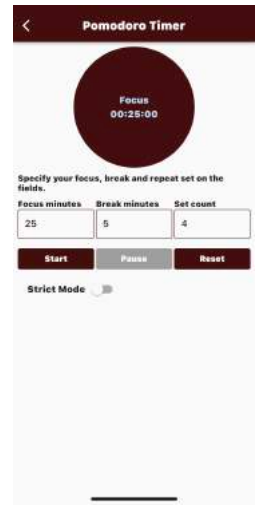


Fig2 Focus Page

5.2. Users Page

In this page, the user can see all online users available to be able to challenge. If the user wants to request a

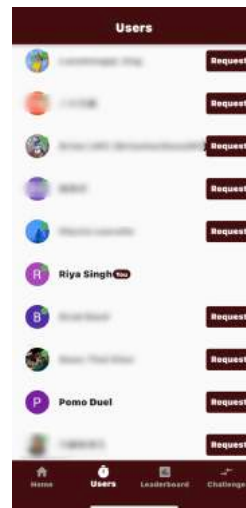


Fig3 Users Page

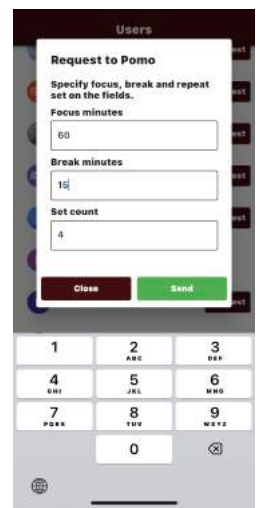


Fig4 Prompt for challenging

challenge, they will be prompted to input how long they would like to challenge the other user for.

5.3. Leaderboard Page

The leaderboard page shows all the users in a ranking system that are ranked in the order of the scores that they have accumulated throughout using either the normal Pomodoro timer or the Challenge timer (mentioned in detail later).



Fig5 Leaderboard Page

5.4. Challenge Page

This is where all the challenges related to the user i.e. challenges they have sent and challenges that they have received appear.

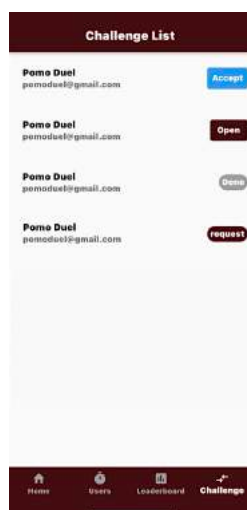


Fig6 Challenge Page

If a challenge has just been sent, it shows "request" until the challenge receiver accepts on their end. If a challenge has been sent to the user, an "accept" status shows on the button.

Once the challenge is accepted, both users will be able to access the "challenge in motion" page (see Fig7). In this page, users can see the timer functioning in real-time. The users can start the timers at their own convenient availability to participate in such a challenge environment.

Once the challenge is completed, the status button ap-



Fig7 Challenge in motion

pears as "done".

The challenge resets to the original number of sets that was requested by the challenging user to the accepting user if either one of them leave the challenge page. If the user leaves the challenge page a couple sets in, they will still get points for the respective focus minutes they focused for.

6. Preparation of study

To properly approach the ethical and appropriate way to conduct the study, this was the flow of the steps that were taken to ensure a smooth flow to the study.

6.1. Research Methodologies

There are 3 main types of research methods: quantitative, qualitative, and mixed[7].

A mixed research method - which adopts features of both quantitative and qualitative methods - was decided to be the approach of this study for the following two reasons:

- to collect numerical data (quantitative data) through close-ended questions for a proper process for data analysis and conclusion
- to collect narrative data (qualitative data) through open-ended questions for understanding participant insight that makes room for improvement for the system

6.2. Questionnaire Design

Questionnaire design is one of the most crucial aspects of a study as it is what determines how the user responds. It should be ensured that there is no room for biased response by forming the questions on the questionnaire appropriately.

All the forms below were formed by the initiative of making questions simple to read, making it brief, properly ordering questions, and forming questions by using subjective statements and applying the 5 scale likert system to convert these statements to quantitative data for data analysis[8].

For this study, 6 Google Forms were prepared:

6.2.1 Recruitment Form

This was to be distributed to as many students as possible to find potential participants through questions regarding their current stress levels, motivation levels to get tasks done, struggles with time management skills,

the device they own, and mentioning the procedure of the study and their duties as a participant for the study.

6.2.2 Consent Form

This was to inform the selected participants about the data that would be collected, their acknowledgment of the study procedure, and their oath in answering the questions with honesty.

6.2.3 Pre-Study Assessment Form

This was to collect initial data regarding the participant's current motivational levels, current effectiveness in time management, current stress levels, and their satisfaction with their motivation levels and time management ability.

6.2.4 Timer Form

This was to gather data regarding the participant's current motivational levels, current effectiveness in time management, current stress levels, and the effectiveness of the Pomodoro timer on their time management ability.

6.2.5 Challenge Timer Form

This was to gather data regarding the participant's current motivational levels, current effectiveness in time management, current stress levels, and the effectiveness of the Challenge Pomodoro timer on their motivational levels.

6.2.6 Post-Study Assessment Form

This was to gather data regarding their current stress levels and satisfaction with their motivation levels and time management ability along with their reflection on improvement on these factors and their overall impressions of the app through questions asking if they had any issues with the app, if they would recommend the app to their friends, if they would continue using the app, and if they had any feedback or suggestion for the app.

6.3. Data Visualization

After gathering data, the next step is to properly analyze and present it.

To analyze the data, Excel was used to create color-coded tables for the different timelines, groups of participant, and the flow of the study respective to those groups that appropriately have the required reported data necessary to draw conclusions from.

The first stage of this phase is to visualize the data gathered and collected. The decided approach to visualizing the data was to use graphical methods as they help in identifying patterns or relationships between vari-

ables and serve as a powerful diagnostic tool to confirm assumptions[9].

Through looking into types of charts and their purposes, it was appropriately decided to use bar charts as they allow comparison of data among various categories and line charts as they are useful in comparing data and seeing changes or trends in data over a period of time.

6.4. Statistical Analysis

Statistical analysis was performed on the common variables throughout different time periods of the study to look into the distribution and correlations using Python and Excel database manipulation.

6.5. Distribution of the system

All the participants that were selected were asked to submit their email address for system distribution. The system was then distributed through TestFlight by sending an invitation to these email addresses.

7. Study Procedure

The study was decided to be conducted for 2 weeks. Through the Recruitment Form that was given out, 10 participants who reported to struggle with stress management, had difficulty in raising their motivation to get tasks done, and struggled to effectively manage time were selected.

These 10 participants were given the Consent Form along with the invitation to install the app using TestFlight on their iOS devices.

The participants were then given the Pre-Study Assessment Form and based on their responses, were divided into 2 groups of 5 and were given specific instructions on how and what features of the app they are expected to use.

- Group A: participants who struggled mostly with their time management ability were told to use the Pomodoro Timer for Week 1 and use the Challenge Pomodoro Timer for Week 2

- Group B: participants who struggled mostly with their motivation levels were told to use the Challenge Pomodoro Timer for Week 1, use the Pomodoro Timer for Week 2

Group A was given the Timer Form while Group B was given the Challenge Timer Form after Week 1 and vice

versa for Week 2.

After completion of the 2 weeks, the groups were given the Post-Study Assessment Form.

The quantitative data from these forms were then put into the Excel table that was mentioned earlier and further analysis was performed.

8. Results I - Data Visualization

8.1. Group-wise comparison

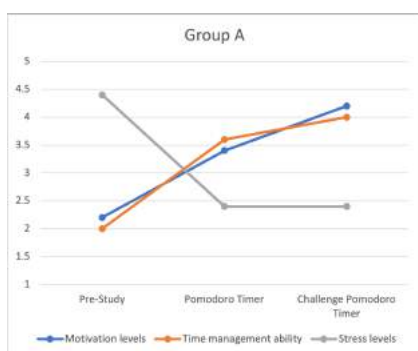


Fig8 Group A line chart

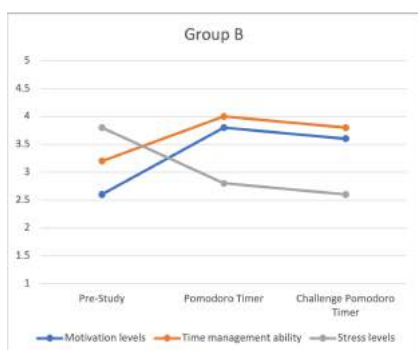


Fig9 Group B line chart

Both the graphs show each groups motivation levels, time management ability, and stress levels during the 3 main phases of this study - before the study began ("Pre-Study"), while using the normal Pomodoro Timer ("Timer"), and while using the Challenge Pomodoro Timer ("Challenge") in the respective order mentioned.

As seen, both Group A and Group B have similar graphs with upward slopes for motivation level and time management ability and downward slope for stress levels.

Looking deeper into Group A's result, we can see that the stress levels drastically decrease after they start using the timers. Their motivation levels and time management

ability increase throughout the study significantly.

As for Group B, they seemed to overall perform better using the Challenge Pomodoro Timer since their stress levels increase by a value when they use the normal Pomodoro timer after the Challenge Pomodoro Timer. Although this group relatively struggled with motivation more, their time management ability along with motivation level is shown to be improved significantly as well.

8.2. Timer-wise comparison

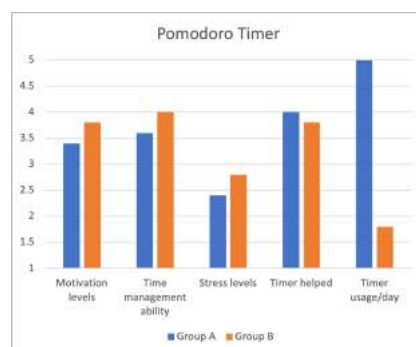


Fig10 Pomodoro Timer

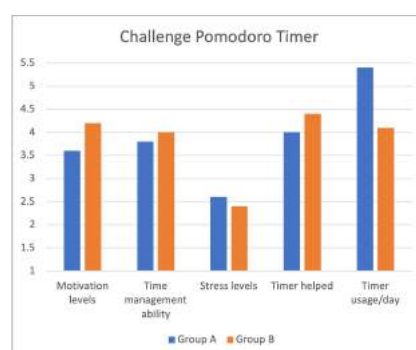


Fig11 Challenge Pomodoro Timer

Each graph above shows how both the groups performed in terms of 5 factors - their motivation levels, time management ability, stress levels, how much the timer helped them, and how often (on average) they used the timer in a day.

As for the Pomodoro Timer, Group B seems to have experienced a slightly higher increase in their motivation levels and time management ability compared to Group A. It can also be seen that Group B did not use the timer as much as Group A as their daily average of timer use was around 2 times a day compared to Group A's 5 times a day. Group A's stress levels are seen to be lower than

Group B's stress levels as well.

As for the Challenge Pomodoro Timer, Group B seems to have a higher increase in their motivation levels and time management ability as well. It also seems that the degree at which Group B agreed that the timer helped them is slightly more than Group A as well. It can also be seen that Group A used the timer more at a daily average of around 5 times a day compared to Group B's 4 times a day. Group B's stress levels seem to be lower than Group A.

8.3. Pre-study vs Post-study

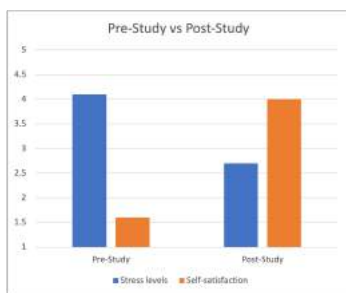


Fig12 Comparing the stress levels and self satisfaction values before and after the study

It can be seen in Fig12 that the average stress levels of the participants decreased from before the study to after the study with a value of 1.4 while the average self-satisfaction value, which is a variable to quantify how satisfied the participants felt regarding their motivation levels and time management ability, shows an increase after the study by a value of 2.4.

9. Result II - Statistical Analysis

As mentioned previously, Python was used to perform statistical analysis by extracting the data from Excel. An important point to be noted is that due to the size of participants and the data gathered from them, the options of statistical analysis that is appropriate to perform is limited. With respect to this study, only correlation analysis was performed to see the strength and direction of relationships between variables and correlation heatmaps were accordingly made to visualize some correlation matrices.

To pursue analysis, the various time periods from the data frame of the Excel data were stored as panda series within the time period lists.

The lists were as follows:

- prestudy = [motivation1, time1, stress1, satisfaction1]
- timer = [motivation2, time2, stress2, help1, usage1]
- challenge = [motivation3, time3, stress3, help2, usage2]
- poststudy = [stress4, satisfaction2]

The following categories of statistical analysis were then performed and looked into:

9.1. Descriptive Statistics

To continue with analysis, it is important to know how the data is distributed. If the data is normally distributed, not only is it rare, but it indicates to a data that has its mean equal to median and a standard deviation of 1.

As seen in the descriptive statistics for the pre-study phase (refer to Appendix A Table1), none of the variables have a normal distribution for the pre-study phase. Although stress1 has only a 0.1 difference in its mean and median values, the standard deviation is half of what its supposed to be for a normal distribution.

As seen in the descriptive statistics for the timer phase (refer to Appendix A Table2), none of the variables have a normal distribution for the Pomodoro Timer phase either. The variable stress2 has a distribution closest to a normal distribution. Variables like motivation2 and help1 also have close to normal distribution.

As seen again in the descriptive statistics for the challenge phase (refer to Appendix A Table3), none of the variables have a normal distribution for the Challenge Pomodoro Timer phase. The variable motivation3 has a distribution closest to a normal distribution while the variable usage2 has the highest standard deviation.

It can be seen in the descriptive statistics for the post-study phase (refer to Appendix A Table4) how satisfaction2 has almost a normal distribution with its mean and median values being the same. However, with its standard deviation of 0.77, it is again, not a normal distribution just like the other variable stress4.

These descriptions give us an insight of how the data is distributed for the variables during the pre-study phase, timer phase, challenge phase, and post-study phase.

9.2. Group-wise statistical analysis

The analysis for both groups was done by finding the average motivation, time, and stress variables throughout

the pre-study phase, timer phase, and challenge timer phase. We used the spearman correlation instead of the pearson correlation since the pearson correlation assumes linearity in the variables and is more suited to normally distributed data.

Table1 Correlation Matrix for Group A

	Motivation	Time	Stress
Motivation	1.00	1.00	-0.87
Time	1.00	1.00	-0.87
Stress	-0.87	-0.87	1.00

Table2 Correlation Matrix for Group B

	Motivation	Time	Stress
Motivation	1.00	1.00	-0.50
Time	1.00	1.00	-0.50
Stress	-0.50	-0.50	1.00

As shown, the perfect positive correlation of 1.0 between Motivation and Time for both groups suggests a perfect positive monotonic relationship between motivation levels and time management ability. As motivation levels increase, time management ability tends to increase monotonically, and vice versa.

For Group A, the strong negative correlation of -0.87 for between Motivation and Stress and between Time and Stress implies a strong negative monotonic relationship between them. This indicates that higher motivation levels are associated with lower stress levels, and vice versa and the same can be interpreted about time management ability and stress levels.

For Group B, the negative correlation of -0.50 for between Motivation and Stress and between Time and Stress indicates a moderate negative monotonic relationship between them. Higher motivation levels are associated with lower stress levels, and vice versa and the same can be interpreted about time management ability and stress levels.

It can be safely interpreted that for people that use the Pomodoro Timer first and then the Challenge Pomodoro Timer have a stronger negative correlation between [motivation levels and stress levels] and [time management and stress levels].

9.3. Timer-wise statistical analysis

Correlation heatmaps were made accordingly for the different timer phases and since correlations between

Stress, Motivation, and Time have already been discussed previously, this section will focus more on the correlation between all the variables and Usage (how often the timer was used).

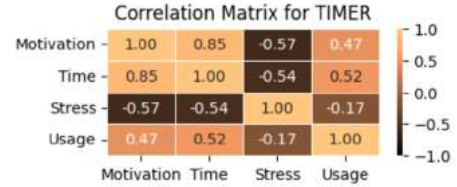


Fig13 Heatmap for Pomodoro Timer

- Moderate positive correlation of 0.47 between Motivation and Timer Usage suggests that more the timer is used, the more motivated the user gets.
- Moderate positive correlation of 0.52 between Time and Timer Usage suggests that with more timer usage, time management ability increases.
- Weak negative correlation of -0.17 between Stress and Timer Usage suggests that with more timer usage, stress levels might decrease.

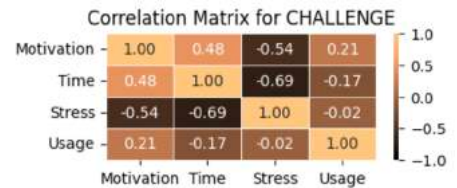


Fig14 Heatmap for Challenge Pomodoro Timer

- Moderate positive correlation of 0.21 between Motivation and Timer Usage suggests that more the timer is used, the more motivated the user gets.
- Weak negative correlation of -0.17 between Time and Timer Usage suggests that with more timer usage, time management ability might decrease.
- Very weak (almost no) negative correlation of -0.02 between Stress and Timer Usage suggests that with more timer usage, stress levels might decrease.

The correlation between timer usage and time management is contradictory for the two timers. This could be due to difference in user experience and/or user preference.

9.4. Pre-study vs Post-study statistical analysis

Upon correlating Stress and Self-satisfaction from pre-study and post-study, we found that the correlation be-

tween the two increased from -0.22 to -0.30. Although the magnitude of this increase is less, it can still be safely interpreted that through using the different timers, when stress levels decrease, self-satisfaction levels might increase.

10. Result III - Notable Participant Data

10.1. Pre-study

All of the participants reported that they get distracted easily either due to conditions like ADHD or due to not being able to focus for long without going on their phones which affects their motivation to do tasks. Most of the participants also reported saying they procrastinate and have a lot of tasks piled up which leads to their poor time management abilities.

10.2. Post-study

All participants reported that they felt their motivation levels, their time management ability, and their stress levels improve after the study period.

They all also reported that they seeing their names and position on the leaderboard helped them improve their motivation levels and time management ability that lead to reduced stress levels. However, specifically, 88.9% of the users reported that the study improved their motivational level much more than their time management ability with a user even saying "The game aspect motivated me".

All participants reported that they felt a sense of community through the challenge - looking at all the other users on the active users page and leaderboard. A user elaborated on this topic by saying "It was nice to see that other people were also studying at the same time as I was."

All users reported that they would recommend the app to their other friends that they know who struggle with stress management and that they would continue using the app.

11. Conclusion

For participants that struggled with time management much more than motivation levels, after using the Pomodoro timer first, an increase can be seen in their time management ability to a value higher than their increase in their motivation levels. For participants that struggled

mostly with motivation levels, it can be seen that they had a major increase in their motivation levels than time management skills after using the Challenge Pomodoro Timer first.

All participants, on a daily average, used the Challenge Pomodoro Timer more than the normal Pomodoro timer.

Through correlation analysis, it was also found that stress levels have a generally negative association with motivation levels and time management ability. Motivation levels and time management ability was shown to generally have a positive association.

It was also seen that there is a positive association between how often the timer was used with motivation levels and time management ability (except for the weak negative correlation between time management ability and timer usage for the Challenge Pomodoro Timer). A negative association, although weak, was found between timer usage and stress as well that increased by a small value from before to after the study.

Overall, all participants experienced a rise in their motivation levels and time management ability that helped lead to reduced stress levels. The participants also showed higher self-satisfaction levels of their motivation skills and time management skills which indicates to intrinsic boost in motivation through extrinsic motivation as well.

12. Future Work/Limitations

This study only included 10 participants due to time constraints. We could expand the participant sample to gather more data which could give us a better insight on the relationship between stress, motivation, competition, and self satisfaction in a general aspect.

Furthermore, more gamification methods could be added to the app to evaluate more concretely how different gamifications have different effects on stress levels.

Acknowledgement This work was partly supported by National Institute of Information and Communications Technology (NICT), Japan. (Grant Number: JPJ012368C05401). This work was supported by JST CREST Grant Number JPMJCR19A4 Japan. This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP21K11853.

References

- [1] Shannon Rodgers Queensland University of Technology, et al. “Managing Stress, Sleep and Technologies: Proceedings of the 28th Australian Conference on Computer-Human Interaction.” ACM Other Conferences, 1 Nov. 2016
- [2] Wang, Xiaofeng, et al. “Turning Time from Enemy into an Ally Using the Pomodoro Technique.” SpringerLink, 1 Jan. 1970
- [3] Education, Jefferson Costales Information Technology, et al. “A Learning Assessment Applying Pomodoro Technique as a Productivity Tool for Online Learning: 2021 13th International Conference on Education Technology and Computers.” ACM Other Conferences, 1 Oct. 2021
- [4] R.J. Dizon, et al. ”The Effects of Pomodoro Technique on academic-related tasks, procrastination behavior, and academic motivation among college students in a mixed online learning environment” Globusedujournal.In, 28 Aug. 2021
- [5] University, M. Berehil Mohammed First, et al. “Gamified Stress Management Calendar for Higher Education Students: Proceedings of the 2nd International Conference on Big Data, Cloud and Applications.” ACM Other Conferences, 1 Mar. 2017
- [6] Anh Thi Van Pham, et al. “How Gamification Enhances Student Motivation in Online Courses: Proceedings of the 6th International Conference on Digital Technology in Education.” ACM Other Conferences, 1 Sept. 2022
- [7] Williams, Carrie. “Research Methods.” View of Research Methods, Mar. 2007
- [8] Kelley-Quon, Lorraine I. “Surveys: Merging Qualitative and Quantitative Research Methods.” Seminars in Pediatric Surgery, 30 Oct. 2018
- [9] Chambers, John M., et al. “Graphical Methods for Data Analysis, 22 Dec. 2017

AppendixA.

Table1 Descriptive statistics for Pre-study period

Pre-Study	Descriptive Statistics
Motivation1	Mean: 2.4 Median: 2.0 Standard Deviation: 0.80 Minimum: 1 Maximum: 4 Skewness: 0.33 Kurtosis: -0.34
Time1	Mean: 2.6 Median: 2.0 Standard Deviation: 0.92 Minimum: 2 Maximum: 5 Skewness: 1.65 Kurtosis: 1.82
Stress1	Mean: 4.1 Median: 4.0 Standard Deviation: 0.54 Minimum: 3 Maximum: 5 Skewness: 0.08 Kurtosis: 0.30
Satisfaction1	Mean: 1.6 Median: 2.0 Standard Deviation: 0.49 Minimum: 1 Maximum: 2 Skewness: -0.41 Kurtosis: -1.83

Table2 Descriptive statistics for Pomodoro timer usage period

Timer	Descriptive Statistics
Motivation2	Mean: 3.6 Median: 3.5 Standard Deviation: 0.66 Minimum: 3 Maximum: 5 Skewness: 0.66 Kurtosis: -0.63
Time2	Mean: 3.8 Median: 4.0 Standard Deviation: 0.75 Minimum: 3 Maximum: 5 Skewness: 0.34 Kurtosis: -1.15
Stress2	Mean: 2.6 Median: 2.5 Standard Deviation: 0.92 Minimum: 1 Maximum: 4 Skewness: 0.09 Kurtosis: -0.90
Help1	Mean: 3.9 Median: 4.0 Standard Deviation: 0.70 Minimum: 3 Maximum: 5 Skewness: 0.14 Kurtosis: -0.96
Usage1	Mean: 3.4 Median: 2.0 Standard Deviation: 3.41 Minimum: 1 Maximum: 10 Skewness: 1.27 Kurtosis: -0.08

Table3 Descriptive statistics for Challenge Pomodoro timer usage period

Challenge	Descriptive Statistics
Motivation3	Mean: 3.9 Median: 4.0 Standard Deviation: 0.83 Minimum: 2 Maximum: 5 Skewness: -0.86 Kurtosis: 0.49
Time3	Mean: 3.9 Median: 4.0 Standard Deviation: 0.70 Minimum: 3 Maximum: 5 Skewness: 0.14 Kurtosis: -0.96
Stress3	Mean: 2.5 Median: 2.0 Standard Deviation: 0.92 Minimum: 1 Maximum: 4 Skewness: 0.38 Kurtosis: -0.84
Help2	Mean: 4.2 Median: 4.0 Standard Deviation: 0.60 Minimum: 3 Maximum: 5 Skewness: -0.11 Kurtosis: -0.44
Usage2	Mean: 4.75 Median: 3.0 Standard Deviation: 3.91 Minimum: 1 Maximum: 10 Skewness: 0.39 Kurtosis: -1.65

Table4 Descriptive statistics for Post-study period

Post-study	Descriptive Statistics
Stress4	Mean: 2.7 Median: 3.0 Standard Deviation: 1.19 Minimum: 1 Maximum: 5 Skewness: 0.24 Kurtosis: -0.58
Satisfaction2	Mean: 4.0 Median: 4.0 Standard Deviation: 0.77 Minimum: 3 Maximum: 5 Skewness: 0.00 Kurtosis: -1.33

歩行習慣の動機づけのための行動変容を促す アプリケーション StepUpSync の設計

野口 諒介^{†1} 武本 充治^{†2}
東京国際工科専門職大学^{†1†2}

概要

高齢化や生活習慣病の増加に伴い、健康増進や生活習慣の改善の必要性が叫ばれている。日頃から運動習慣のある者は少なく、現在の運動頻度に満足しない者のその阻害要因として、余暇時間が限られることや運動に対して消極的であること、加齢などの理由が挙げられる。歩行は、あらゆるジェンダーと年齢層にとって健康維持に重要であるとされており、年齢や性別といった属性を問わず、身近な生活環境で気軽に実施可能な運動習慣であることから、歩行習慣の動機づけのための行動変容を促す手法の実現が望まれる。運動学習およびモチベーションの維持において、他者との関わりを意識させた結果比較が、外発的動機づけである金銭報酬と比較して効果的であると報告されているが、企業や自治体によるアプリケーションを活用した既存の歩行習慣促進の取り組みにおいて、家族や知人を除いた身近な生活環境の他者との結果比較を用いた歩行習慣の動機づけが可能なアプリケーションは普及していない。これは、プライバシーのリスクの懸念によるものであると考えられる。そのため、我々は身近な生活環境において気軽に行える歩行習慣動機づけの行動変容を促す手法として、他者とのすれ違い通信をトリガーとした歩行運動データの交換および他者の歩行運動データとの比較に基づく日常的な歩行習慣の行動変容を促すアプリケーションである StepUpSync の設計を提案する。

1. はじめに

わが国では、高齢化や生活習慣病の増加に伴い、健康増進や生活習慣の改善の必要性が叫ばれている。厚生労働省が令和元年度に行った「国民健康・栄養調査」では、1日30分以上の運動を週2回以上行い、1年以上継続している運動習慣者は、男性で33.4%、女性で25.1%となっており[1]、日頃から運動習慣のある者は少ないと言える。また、スポーツ庁が令和4年度に行った「スポーツの実施状況等に関する世論調査」では、現在の運動頻度に満足しない者の運動・スポーツ阻害の主な要因として、仕事や家事が忙しい、面倒くさい、年を取ったから、といった理由が挙げられて

いる[2]。運動・スポーツの継続・促進においては、Deci & Ryan が提唱した自己決定理論を背景に、内発的動機づけが重要であるとされている。また、効果的な運動学習およびモチベーション維持の動機づけの手法として、内発的動機づけである他者との関わりを意識させた結果比較が、外発的動機づけである金銭報酬と比較して運動学習およびモチベーションの維持に効果的であると報告されている[3]。

運動の一種である歩行は、あらゆるジェンダーと年齢層にとって健康維持に重要であるとされており[4]、特別な器具や施設を利用することなく身近な生活環境において気軽に行える運動である。国土交通省は、平成26年8月に「健康・医療・福祉のまちづくりの推進ガイドライン」を策定し、運動習慣と歩行を重視した歩きやすいまちづくりを目指すといった健康増進や健康維持のための歩行促進を行っており[5]、歩行習慣の重要性は高まっている。

以上のことから、余暇時間が限られる中で、年齢や性別といった属性を問わず、身近な生活環境で実施可能な歩行習慣動機づけのための行動変容を促す手法の実現が望まれる。

現在、スマートフォンやウェアラブル端末に搭載されるGPS、加速度センサによって歩数、移動距離、消費カロリーの推定といった歩行運動データの記録が可能であり、Bluetooth を介した端末間の通信やキャリア網やWi-Fi を介したインターネットサーバおよび端末間でのデータの送受信が可能となっている。そうした背景から、アプリケーションを活用した歩行習慣の促進を目的とした取り組みが企業や自治体によって行われている。例えば、アプリケーションを活用した健康づくりの支援サービスとして自社で働く社員を対象に実施されているタニタ健康プログラム（TANITA corporation., Tokyo, Japan）*1では、歩行習慣の動機づけを目的とした歩行運動のセルフモニタリング機能を搭載し、歩数、歩行距離、推定消費カロリーを計測および可視化することで利用者の行動変容を促している。また、ユーザ間での歩数ランキング機能を搭載しており、目標づくりや競争によってモチベーション維持の支援を行っている。東京都や新潟県など、複数の自治体で導入されている健康管理アプリケーションであるグッピーヘルスケア（GUPPY's Inc., Tokyo, Japan）*2では、歩行運動のセルフモ

Design of a behavior change application to motivate walking habits application: StepUpSync

^{†1} RYOSUKE NOGUCHI, International Professional University of Technology in Tokyo

^{†2} MICHIHARU TAKEMOTO, International Professional University of Technology in Tokyo

*1 https://www.tanita-thl.co.jp/health_program

*2 <https://www.guppy.co.jp/>

ニタリング機能、歩数ランキング機能に加えて、自治体ごとの機能カスタマイズが可能となっており、景品と交換することのできるポイント付与によるインセンティブ機能を付加することができる。これにより、行動変容への意識を持っていない健康無関心層も対象に行動変容のアプローチを行っている。Nike Run Club (Nike, Inc., Oregon, USA) *3では、ウォーキング、ジョギング、ランニングを行うユーザーを対象に、移動距離の計測、移動速度の計測、1キロメートルあたりの移動ペースの計測、移動経路の記録、ひと月あたりの累計移動距離、ウェアラブル端末と連携した心拍数の記録といったセルフモニタリング機能やソーシャルメディアへの情報共有機能を搭載している。また、知人や家族といった他者と指定した日数内での移動距離の目標設定を行ったり、移動距離をランキング機能で比較・競争したりすることによって、ユーザーの運動行動を促進している。

このように、アプリケーションを活用した様々な歩行習慣動機づけのための取り組みが現在行われているが、他者との関わりを意識させた結果比較という観点では、アプリケーションを利用している家族や知人、あるいはインターネットを介した不特定多数との歩数や歩行距離の数値による目標設定やランキングでの結果比較に留まっていることが多い。また、インターネットを介した他者との比較であることから、歩行運動を行う地域や環境の差も存在する。特に不特定多数との歩行運動の結果比較では、アプリケーションに登録しているユーザー名やアイコン画像といった比較の際に表示される情報も限られているため、自身と同様に歩行運動を行っているユーザーであると推察や想像することによる比較とならざるを得ないことから、他者との関わりは意識しづらいと考えられる。タニタ健康プログラムのランキング機能では、ユーザーである社員間を対象に、名前、歩数、現在の順位が表示される。グッピーヘルスケアのランキング機能では、自治体に住む不特定多数のユーザーを対象に、ユーザー名、住んでいる地域名、歩数、現在の順位が情報として表示される。Nike Run Clubのランキング機能では、友人間を対象に、アイコン画像、ユーザー名、移動距離と現在の順位が表示される。このように、歩行習慣の促進を行うアプリケーション上で、他者との結果比較を行う際に表示される情報は限られており、家族や知人を除いた身近な生活環境の他者と結果比較を用いた歩行習慣の動機づけが可能なアプリケーションは普及していない。その要因として、個人情報漏洩、個人の生活圏の特定リスクといったトラブルの未然防止やプライバシーの観点からアプリケーションの提供者が自主的な規制を行っているものと考えられる。また、上述の例のようなアプリケーションは、比較対象としやすい普段生活しているローカル地域の他者との関わりを意識した結果比較による歩行習慣の動機

づけを行うことができないという課題がある。

そこで、我々は身近な生活環境において気軽に行える歩行習慣動機づけの行動変容を促す手法として、他者とのすれ違い通信をトリガーとした歩行運動データの交換および他者の歩行運動データとの結果比較に基づく日常的な歩行習慣の行動変容を促すアプリケーションである StepUpSyncを提案する。本稿では、その設計について述べる。

2. 関連研究

歩行習慣の動機づけを促すアプリケーションまたはシステムの関連研究は以下のようなものがある。山村ら[6]は、SNSの仕組みを用いたウォーキング継続支援システム Web システムを開発した。インターネット経由で毎日の歩数や体重をシステムに入力・記録・可視化し、自身の記録の推移や目標を確認し、他の参加者と歩数によるランキング機能や仮想ウォーキングと呼ばれる機能や独自のライバルと呼ばれる機能によって、競争を通して歩行運動継続の動機づけを行うシステムである。歩数のセルフモニタリングによる自己の認知による動機づけ、家族や友人と歩数の比較を行う競争意識による動機づけに加え、参加者の中から歩行ペースの近い者をライバルと呼び、設定・登録を行い、仮想的なライバル関係によって競争意識による動機づけを行っている。なお、ライバルに双方向性はなく、一方的に指定を行うシステムとなっている。スマートフォンが現在ほど普及していない時期の研究のため、Web ブラウザでの利用を前提としたもので、ユーザーは歩数計や体重計を使用し、手入力でシステムにデータを記録する仕様となっている。仮想ウォーキング機能は、歩数に応じて地図上での仮想的なウォーキングを行うことで他者と比較することができる機能である。全体として競争による動機づけを中心としたシステムの設計となっており、独自の機能であるライバルと呼ばれる概念により、顔見知りでない他者とも競争意識を持つことができることが特徴である。山村ら[6]の研究において、学生 17 名を対象としたシステムを 1 カ月間利用した評価実験の結果では、可視化機能である視覚化総合評価、家族や友人との比較機能である友達総合評価、ライバル総合評価のいずれの機能も 5 段階評価中 3.5 点を上回り、システムの総合評価で 5 段階中 4.09 点と本システムの歩行習慣動機づけの有効性を示唆する結果となっている。本システムは開発時期が古く、現在のスマートフォンのセンサ類による自動での歩行運動の記録や通信機能を活用することによって、正確な計測データをタイムラグなく比較できることから現在では、より他者との関わりを強く意識させた競争を通じた動機づけが可能であると考えられる。

荒川ら[7]は、Walkus と呼ばれるフレキシブルなソーシャルサポート機能とライフログ機能を有するグループウォーキング支援プラットフォームを開発した。こうした歩行習慣の行動変容支援システムのインターネット連携の最大の

*3 <https://www.nike.com/jp/nrc-app>

メリットとして、同一アプリケーションのユーザが競い合いや励まし合いができるソーシャルサポートと呼ばれる効果的なモチベーションの維持の手法に着目しており、ソーシャルサポート機能として不特定多数のユーザや家族、職場の知人といった人々が同時に利用することを想定したランキングによる一定の活動量の比較機能とライフログ機能を搭載するシステムとなっている。ソーシャルサポート機能では、不特定多数を含む全ユーザ間のランキングでは、職場など、実環境での知人同士だけのランキングよりも、励まし合いの効果は薄いと考えられると指摘しており、誰もが自由にランキング形式のイベントを設計・開催できるよう仕様となっている。また、複数のランキングイベントの同時開催も可能となっていることやイベント後も上司や部下と常に情報を共有し続けることによるソーシャルハラスメントの可能性といった観点から情報の共有期間を限定できるなど柔軟性の高い設計となっている。

3. 歩行習慣の行動変容を促すアプリケーション StepUpSync

3.1 アプローチ

本アプリケーションは、すれ違い通信をトリガーに、識別子を交換した身近な生活環境のユーザと互いにプライバシーを考慮したプロフィールデータと歩行運動データの共有および比較結果表示を行う。他者と比較して歩行運動データの数値が低く、推定消費カロリーを基準に適切な運動量と認められない場合、アプリケーション画面に文章で他者との数値の差を表示させる。それによって、他者との関わりを意識させることで、歩行運動習慣を促す行動変容とモチベーションの維持の支援を行う。長期に渡り、同一の他者と歩行運動データを交換する場合、飽きを感じてしまう懸念があるため、歩行運動データの交換期間はすれ違いによるトリガーから3日間とし、その後は、新たな他者とすれ違いを行うことで再度、新たなユーザとのデータの共有および結果比較をスタートする。

3.1.1 すれ違い通信

スマートフォン端末や携帯ゲーム機同士が近づいた際に自動で無線通信を行う機能は一般的にすれ違い通信と呼ばれる。本稿では、キャリア網やWi-Fiを用いず、端末間での局所通信が可能な規格であるBluetoothを利用し、アプリケーションより周辺デバイスの検索を行うことですれ違い通信を実現する。

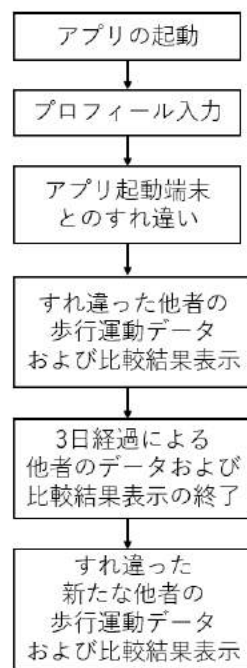


図1 アプリケーション利用フロー図

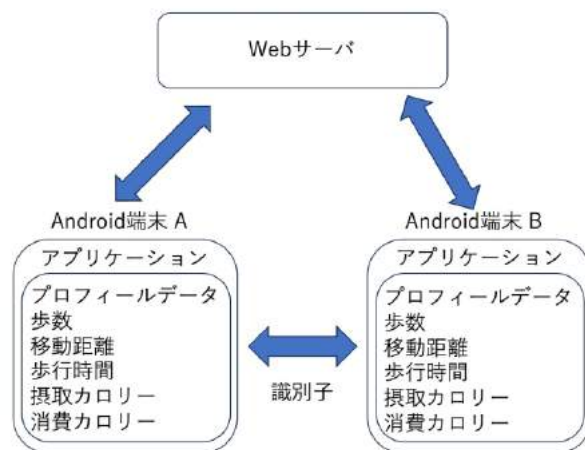


図2 システム構成概略図

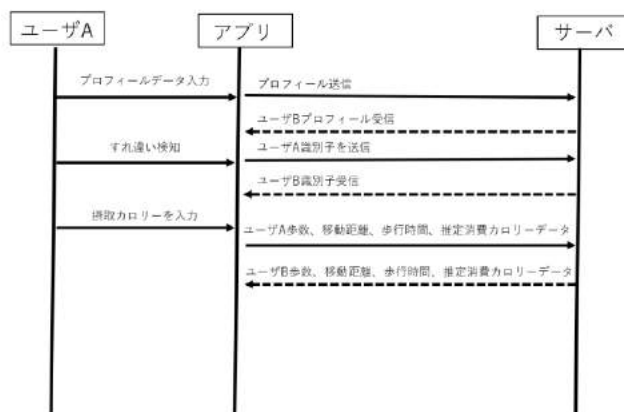


図3 データ送受信設計図

3.2 アプリケーションの利用フロー

図 1 にアプリケーションの利用フロー図を示す。ユーザはアプリケーションの起動後、プロフィールの入力を行う。入力後の 2 回目以降のアプリの起動ではプロフィールの入力は不要となる。その後、同様の状態のアプリ起動とのすれ違い通信を行われることですれ違った他者の歩行運動データおよび比較結果表示が行われる。3 日経過後は、新たにすれ違い通信が行われるまで待機状態となる。新たなユーザとすれ違った場合、その他者の歩行運動データおよび比較結果表示を行う。体重、摂取カロリーの入力は任意のタイミングでその都度行う。

3.3 システム概要

本アプリケーションは、GPS、加速度センサ、Bluetooth、キャリア網、Wi-Fi の通信機能を有した Android スマートフォン端末 2 台で動作する。GPS によって移動距離を計測し、加速度センサで歩数の計測を行う。Bluetooth 通信の周辺デバイス検索機能を使用し、すれ違い通信を行い、キャリア網、Wi-Fi の通信機能でサーバとデータの送受信を行う。実装と有効性の検証を予定していることから、すれ違い通信の実装が比較的容易な Android スマートフォンを用いることとした。

図 2 にシステム構成の概略図を示す。Android A 端末および Android B 端末はアプリケーション上でプロフィールデータ、歩行運動データ（歩数、移動距離、歩行時間）、摂取カロリー、推定消費カロリー、識別子のデータを取り扱う。なお、サーバと送受信を行うデータはプロフィールデータ、歩行運動データ、推定消費カロリーデータ、識別子の 4 つである。

図 3 にデータ送受信設計図を示す。ユーザ A より、アプリケーションへとプロフィールデータおよび摂取カロリーが入力される。また、ユーザ A の行動によって本アプリケーションが動作している端末とすれ違った場合、アプリケーションが検知を行う。アプリケーションより、プロフィール情報はユーザの入力に応じた内容がサーバへと送信される。また、端末がセンシングを行う歩数、移動距離、歩行時間、推定消費カロリーデータはサーバへと一定間隔で送信される。ユーザ A がすれ違いによってユーザ B の端末とすれ違った場合、アプリケーションよりユーザ A の端末の識別子をサーバに送信する。この時、端末のローカル上にユーザ B の識別子を保存する。その後、ユーザ B の識別子をサーバより受信し、互いの端末のペアリングが行われることでサーバよりユーザ B の運動歩行データをアプリケーションが受信する。ユーザ B の端末も同様である。

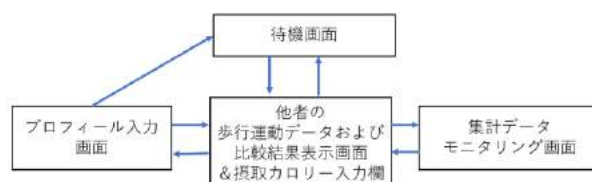


図 4 アプリケーションの画面遷移図

3.4 アプリケーションの画面遷移

図 4 にアプリケーションの画面遷移図を示す。一度目のアプリ起動時は、プロフィール入力画面が表示されるが、プロフィール入力後、待機画面へと遷移し、他者とすれ違いを行うことで、他者の歩行運動データおよび比較結果表示画面へと遷移する。すれ違いを行った後は本画面がメイン画面となり、プロフィール入力画面や集計データモニタリング画面へと遷移することができる。3 日経過し、他者の歩行運動データおよび比較結果表示が終了した場合、待機画面へと遷移し、新たにすれ違いが行われるまで他者の歩行運動データおよび比較結果表示画面には遷移しない。

3.5 プロフィール機能

自身とは別の他者と比較を行っているという感覚や印象をユーザに持たせるため、ユーザ同士で互いのプロフィールデータの表示を行う。プロフィールデータはアプリケーション開始時にニックネーム、年齢、性別、職業等の属性、体重、身長登録を行う。身長、体重は推定消費カロリーの計算のために使用され、体重は集計データモニタリング機能により自身で確認することができるが、ユーザ間では公開されない。プライバシーへの配慮の観点から、年齢、性別、職業等の属性欄は空欄とすることができる。その場合、年齢、性別、職業等の属性は他者の歩行データおよび結果比較表示を行う際に他者の端末のアプリケーション上に表示されない。

3.6 すれ違い通信機能

プロフィールを設定した本アプリケーションが動作している Android 端末が一定範囲内ですれ違った際に、互いの端末の識別子をサーバへ送信し、サーバからのアプリケーションへの識別子の受け取りをトリガーに歩行運動データおよび運動量データの比較結果表示を行う端末を決定する。機能の実装は Bluetooth で行う。Android 端末は 2 台で 1 つのペアとなる必要があるため、識別子をサーバ上に送り、互いの端末の確認を行う。その後、インターネットを介して互いのプロフィールデータ、歩行運動データの送受信を開始する。すれ違い通信の範囲内に 3 台以上の Android 端末が存在する場合、サーバからの識別子データの受け取りが最も早かった端末が優先してペアとなる実装を行う。

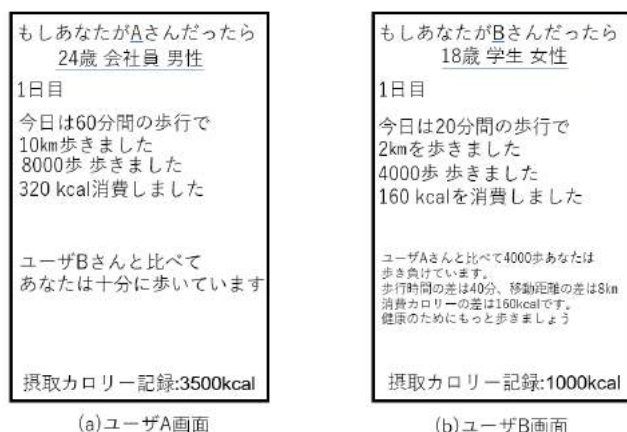


図5 データ表示・比較機能画面イメージ図

3.7 データ表示・結果比較機能

識別子を受信した他者の運動データ（歩数、距離、推定消費カロリー）を図5に示すように自身のアプリケーション画面に視覚的に表示する。図5(a)はユーザAのアプリケーション画面に表示されるユーザBのプロフィールデータおよび歩行運動データである。図5(b)はユーザBのアプリケーション画面に表示されるユーザAのプロフィールデータおよび歩行運動データである。自身の歩行運動データは集計データモニタリング画面でのみ確認することができる。加えて、自身の運動量データをもとに摂取カロリーと比較したカロリー消費量に改善の余地がある場合、図5(b)のように歩行運動を促す文章を表示させる。計算処理は、サーバから受信したデータを基に、アプリ内部で行う仕様としている。本機能により、他者との関わりを意識した歩行運動の結果比較を実現する。

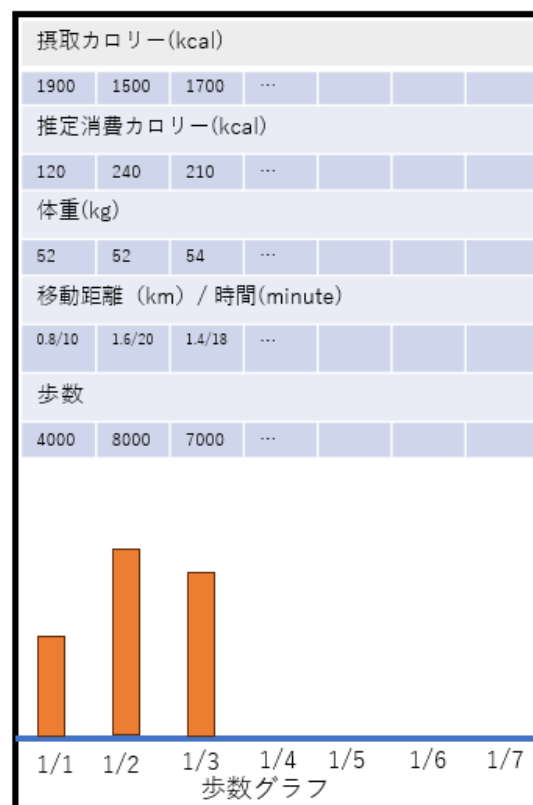


図6 集計データモニタリング画面イメージ図

3.8 集計データモニタリング機能

図6に集計データモニタリング機能画面のイメージ図を示す。集計データモニタリング機能は、ユーザが任意のタイミングで自身の歩行運動データを過去1週間分閲覧することができる。摂取カロリー、推定消費カロリー、体重、歩数、移動距離が一覧として表示することができ、歩数はグラフとして可視化表示を行う。

4. 実装と有効性検証

今後、プロトタイプアプリケーションの実装および有効性の検証を予定している。まずは、研究室内の学生数名から数十名を対象に、本アプリケーションを2週間使用してもらい、アンケートを用いて歩行習慣の動機づけの効果の評価を行う。

5. まとめ

本稿では、歩行習慣の動機づけのための行動変容を促すアプリケーションであるStepUpSyncの設計について述べた。余暇時間が限られており、年齢や属性を問わず、身近な生活環境で実施可能な歩行習慣動機づけのための行動変容を促す手法の実現が望まれる中、内発的動機づけである他者との関わりを意識させた結果比較が外発的動機づけである金銭報酬と比較して、運動学習およびモチベーションの維持に効果的であると報告されている点に着目し、身近な生活環境において気軽に行える歩行習慣動機づけの行動変容

を促す手法として、他者とのすれ違い通信をトリガーとした歩行運動データの交換および他者の歩行運動データとの結果比較に基づく日常的な歩行習慣の行動変容を促すアプリケーションの設計の提案を行った。今後の展望として、さらなるアプリケーションの使用を促す工夫としてゲーミフィケーションの活用を検討を行う。

また、本アプリケーションでは、すれ違い通信を活用していることから、使用時に、利用者同士ですれ違うことがなければ、他者との関わりを意識させた結果比較が行えないという課題がある。そのため、本アプリケーションを利用する他者とすれ違う可能性のある地域へ行動を促す実現手法の検討や他者とすれ違うまでに飽きさせない仕組みの手法の検討を今後行う。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP23H03391 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 厚生労働省. “令和元年 国民健康・栄養調査結果の概要”.
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000687163.pdf>, (参照 2023-12-08).
- [2] スポーツ庁. “令和 4 年度 スポーツの実施状況等に関する世論調査”.
https://www.mext.go.jp/sports/content/20230323-spt_kensport01-000028572_5.pdf, (参照 2023-12-08).
- [3] 冷水誠, 岡田洋平, 前岡浩, 松尾篤, 森岡周. “他者との比較が運動学習およびモチベーションに与える影響”. 第 50 回日本理学療法学会大会 抄録集, Vol.42 Suppl, No.2.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/cjpt/2014/0/2014_0726/_pdf/-char/ja, (参照 2023-12-08).
- [4] Maciej Banach et. al., “The association between daily step count and all-cause and cardiovascular mortality: a meta-analysis”. *European Journal of Preventive*, (2023).
<https://academic.oup.com/eurjpc/advance-article/doi/10.1093/eurjpc/zwad229/7226309>, (参照 2023-12-08).
- [5] 国土交通省. “健康・医療・福祉のまちづくりの推進ガイドライン”.
<https://www.mlit.go.jp/common/001049464.pdf>, (参照 2023-12-08).
- [6] 山村 豊, 井上 悦, 吉廣 卓哉, 中川 優, “生活習慣病予防のための SNS の仕組みを用いた ウォーキング継続支援システム”. DEWS2008 A8-6, pp. 1-8(2008).
- [7] 荒川 豊, 河中 祥吾, 澤田 典宏, 四本松和悠. “Walkus: フレキシブルなソーシャルサポート機能とライフログ機能を有するグループウォーキング支援プラットフォーム”. ヒューマンプロロボ研究会, pp. 2-4(2019).

向社会的なネットワーク利用を説得的に促す公衆 Wi-Fi の設計と実装

江口直輝^{†1} 崔赫秦^{†2} 中村優吾^{†3} 福嶋政期^{†4} 荒川豊^{†5}
九州大学 九州大学 九州大学 九州大学 九州大学

1. はじめに

インターネット技術の高速化により、多様な ICT サービスの享受が可能となり、多くの人々がデジタルデバイスを日常的に利用している状況にある。それに伴い、インターネットを利用する環境も整備され、オフィスやコワーキングスペース、家庭などの共用スペースが提供する Wi-Fi の利用が増加しており、ユーザの利便性を向上させている。同時に、ストリーミングサービス、高解像度の動画、オンラインゲームといったデジタルコンテンツの多様化に伴い、これらのサービスはかつてないほどの高帯域幅を必要としている。結果として、個々のデバイスが消費するデータ量は飛躍的に増加しており、それに伴い必要とされる帯域幅も増大している。

しかし、そのような環境では限られたネットワーク資源を複数のユーザで共有するため、あるユーザが動画ストリーミングなどの高帯域幅を必要とするコンテンツを利用すると、他のユーザの Quality of Experience(QoE) が低下する可能性がある。さらに、SNS や動画ストリーミングなどのサービスプロバイダーなどはユーザの継続的な興味関心を得るために、中毒性のあるコンテンツを意図的に設計する側面があり、ユーザの意思・自制心でサービスの利用を止めることは困難である [1][2]。

近年、スクリーンタイムといったアプリケーションの利用時間を管理・制限するものや、アプリケーションの通知を一時的に制限するものなど、デジタルデバイスの使用に自制を促す機能を備えたシステムの研究が報告されている [3][4]。これらのツールは個々のデバイスにインストールすることで利用できるようになるが、PC やスマートフォンといったマルチデバイスに対して同時に制限することは困難である。つまり、一つのデバイスに制限を設定しても、ユーザが所有する他のデバイスには影響しないため、ユーザは制限していないデバイスでコンテンツを利用できる状態である。

そこで、マルチデバイスを制限する方法として、Wi-Fi を利用したアプローチを検討する。既存の Wi-Fi において特定のサイトを制限する URL フィルターや特定のアプリケーションの通信を優先する QoS 制御を備えているものが存在する。しかし、URL フィルターは特定のサイトの利用を完全に制限するか全く制限しないかといった選択肢しか存在しない。そのため、カフェのように自由にインターネットの利用をして良い場所においては、完全に制限するような強制的介入ではなく、ユーザの選択を尊重することを前提とした向社会行動を促進する段階的な説得介入が求められる。また、QoS 制御は静的な設定しかできないため、常にその環境に適している設定であるとは限らず、その環境のコンテキストに応じて動的に設定を変更できる必要がある。

そこで本研究では、デジタルコンテンツの過度な利用によりネットワーク全体の QoE を低下させているユーザに対して、他のユーザの QoE に配慮する向社会行動を促すために、段階的かつ動的に説得介入できる機能を有する Wi-Fi を設計・開発した。具体的には、3つのモード、1) システムが介入することなく通常の通信を提供するモード、2) キャプティブポータルを用いて個々のユーザに介入できるモード、3) QoS 制御により、帯域幅を制限するモードを提供し、これをユーザのコンテキストに応じて動的に切り替えるシステムを実現した。この説得介入による行動変容は、ユーザは自らの意思決定で行われるため、ユーザの行動規範を再構築でき、結果として持続的により良い選択ができるようになることが期待できると考える。

本稿では、2章において本研究における関連研究について記述し、3章では提案システムの想定環境やシステム要件について記述し、4章では提案するシステムの構成と動作検証について記述し、最後に5章でまとめる。

2. 関連研究

2.1. 適用型 QoS

QoS や QoE に関する研究は多数報告されている。Liu らは Mobile Edge Computing (MEC) において、ユーザやサービスに関連するコンテキストを考慮することで、より精度の高い QoS 予測スキームを提案しており、ユーザ満足度を向上させることを可能とした [5]。Rao らはビデオ会議

Design and Implementation of Persuasive Public Wi-Fi to Derive Prosocial Network Usage

^{†1} NAOKI EGUCHI, KYUSHU University

^{†2} HYUCKJIN CHOI, KYUSHU University

^{†3} YUGO NAKAMURA, KYUSHU University

^{†4} SHOGO FUKUSHIMA, KYUSHU University

^{†5} YUTAKA ARAKAWA, KYUSHU University

における QoS と QoE の関係性について、高帯域幅かつ安定した帯域幅がユーザに好まれることを明らかにした [6]. Xiaolan らは、マルチパス TCP を使用するライブストリーミングで多様な QoS の要求を満たすために、機械学習を応用した QoS 認識輻輳制御フレームワークを提案している [7]. Bo らは 5G ネットワークにおいて、QoS の高低を要求に応じて切り替えるようにすることで、消費エネルギーの削減とシステムの性能維持を実現した [8]. しかし、既存の研究は QoS の最適化や QoE を向上させることに焦点を当てており、デジタルコンテンツをより快適に利用できるようにするためのアプローチである。そのため、QoE を意図的に低下させることで不必要なデジタルコンテンツの利用の抑制するために効果があるかについては未だ明らかになっていない。

2.2. デジタルウェルビーイングの支援

近年、デジタルコンテンツの不必要な使用を制限する研究が多数報告されている。例えば、1 日で使用できるアプリの使用時間を超えるとアプリがロックされるアプリ [9] やアプリを利用するために起動時に 30 桁の入力を必要とするような利用障壁を設けるアプリ [10] が提案されている。さらに、スマートフォンをグレースケールにすることで視覚効果による魅力在意図的に損なわせて、コンテンツの利用体験を低下させる手法も存在する [11][12]。また、我々の研究グループは、視覚的魅力が高く中毒性のあるデジタルコンテンツを起動すると、画面がグレースケールになる Color-wall を開発した [13]。しかし、これらのデジタルディストラクション (情報機器による注意散漫) に関する先行研究は、デバイスに制限がかけられたとしても、アプリをインストールしていないデバイスでコンテンツを利用できるため、マルチデバイスに対応していないことが課題であった。また、既存の DSCTs (Digital Self-Control Tools) はマルチデバイスに適用できるものが少なく、今後の課題であると言及されている [14]。そのため、今後はマルチデバイスに対応した不必要なデジタルコンテンツの利用を抑制するシステムが求められる。

本研究では、先行研究において明らかになっていなかった、ユーザのコンテキストに応じた動的な QoS/QoE がデジタルコンテンツの利用抑制に対してどの程度効果があるのか明らかにすることが目的である。さらに Wi-Fi を用いた説得介入により、マルチデバイス環境における効率的な介入制御方法についても検証する。

3. 提案システム

本章では、本研究における向社会行動の定義や、提案システムのシナリオ及び要件について記述する。

3.1. 本研究における向社会行動

向社会行動とは、報酬を期待せず、自発的な意志で他人や集団に利益をもたらす行動のことである。この概念は、共用スペースにおける Wi-Fi の利用において適用できる。例えば、あるユーザが動画ストリーミングなどの高帯域幅を必要とするデジタルコンテンツを利用することで、ネットワーク全体の QoE が著しく低下することが懸念される。本研究では、このような状況において、他者の QoE 向上に配慮し、デジタルコンテンツの利用を自ら控える行動を向社会行動と定義する。その結果、ネットワーク資源が効率的に分配され、全てのネットワーク利用者の QoE 向上が実現できると考える。

3.2. シナリオ

本システムは、オフィスやコワーキングスペースなどの共用で Wi-Fi を利用する際に、運用することを想定している。そこで、共用スペースに設置された本システムがユーザに対してどのように向社会行動を促進するのか、シナリオの一例を説明する。

ある日、A くんはカフェに設置してある Wi-Fi に接続してプログラミングに励んでいた。しばらくすると集中力が切れてしまい、動画ストリーミングサービスを利用し始めた。しかし、動画ストリーミングは帯域幅を多く必要としているため、A くんは限られたネットワーク資源を一人で占有している。その結果、他のユーザのデバイスの通信速度が著しく低下し、QoE が低下している状態であった。この時、システムは A くんの利用コンテンツを検出して、それが帯域幅を多く占有するものであると判断したため、A くんデバイスにコンテンツの利用を控えるように促す警告画面を表示した。しかし、A くんは動画の閲覧に夢中であったため、それを無視してコンテンツの利用を継続した。そこで、システムは A くんが継続的にコンテンツを利用していることを検出したため、A くんに対する通信速度を意図的に低下させることで、動画ストリーミングの利用に適度な違和感を与えるようにする。その結果、A くんが閲覧している動画コンテンツの画質が低下したり遅延によるローディングが発生し、コンテンツの利用体験が低下したため、自らの判断でメイン作業であるプログラミングをするようにした。その結果、A くんは集中力低下による注意散漫が引き起こすデジタルコンテンツの利用を自ら抑制した上、他のユーザが享受できる QoE が改善された。

3.3. システム要件

本節では、シナリオで示したシステムの動作を実現するためのシステム要件について記述する。

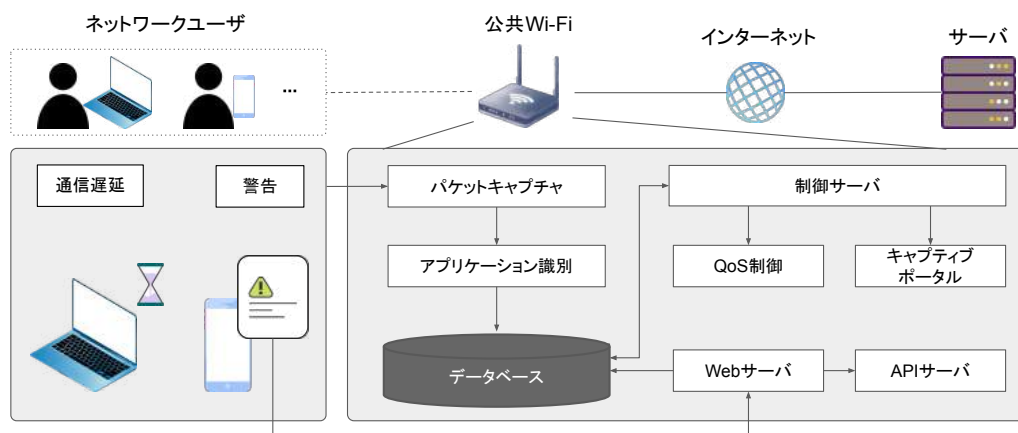


図1 提案システムの概要図

● Context-Awareness による段階的介入

本研究における Context Awareness とはユーザのデジタルコンテンツの使用状況をリアルタイムで認識し、その情報を基に説得介入することである。そのため、まずユーザがどのようなデジタルコンテンツを利用しているか正確に識別することが求められる。そして、識別した結果に基づいて、高い受容性でかつ向社会行動の促進に効果的な介入戦略を検討する必要がある。

● 警告画面を用いた介入

ユーザのデジタルコンテンツの利用を制限するためには、公衆ネットワーク利用時の向社会行動について提示することや自身が使用しているコンテンツを自己認識させることが向社会行動を促進できると考える。これは、公衆 Wi-Fi に接続する際に一般的に用いられているキャプティブポータルの Web 認証後の画面において実現できる。キャプティブポータルはセキュリティやアクセス制御の観点から認証セッションがあり、セッションのタイムアウト時間になると Wi-Fi が切断されるため、再度接続し直して認証を行う必要がある。その認証時に、ユーザのコンテキストに基づいて適切な介入する。しかし、一般的なキャプティブポータルはユーザ認証後に設置施設のサービス案内や広告といった情報をネットワークユーザ全体に提供する手段として設計されているため、個々のユーザに対してパーソナライズされたフィードバックを提供することは想定していない。そのため、ユーザのコンテキストとそのユーザのデバイス情報を紐づけることで、ユーザのコンテキストに基づいて介入できるようにする必要がある。

● 動的な帯域制御

ユーザがキャプティブポータルを用いた説得介入によって自主的に行動を改善できない場合、さらに強い介入を行う必要がある。本研究では高帯域幅を必要とするデ

ジタルコンテンツを利用しているユーザの通信速度を意図的に低下させ、適度な不快感を与えることで自主的にコンテンツの利用を控える行動を取るという仮説を立てた。具体的には、動画ストリーミングを利用しているときに、動画の画質が低下することやローディング時間が増加することで、コンテンツの利用体験が低下し、デジタルコンテンツの利用を自ら控える行動を取ると考えた。これにより、デジタルコンテンツの利用を自ら抑制させることができ、他のネットワークユーザの QoE 向上が期待できる。

3.4. システム設計

システム要件に基づいたシステム設計について記述する。提案システムの概要図を図1に示す。

3.4.1 デジタルコンテンツの識別

ユーザが利用しているデジタルコンテンツをリアルタイムかつ正確に識別するには、システムを通過するネットワークパケットをリアルタイムで取得し、そのパケット情報を分析することで実現できる。本システムにおいては、Deep Packet Inspection(DPI)を用いることでそれを可能とした。また、識別したデジタルコンテンツの情報はユーザに割り当てられたプライベート IP アドレス毎にデータベースに格納する。このデータベースから得られるユーザ毎の情報に基づいて、個々の介入を実現する。

3.4.2 キャプティブポータルによる個々のユーザに対する介入

キャプティブポータルの Web 認証後のリダイレクトページに介入画面を表示させるために、システムに Web サーバを構築する必要がある。また、個々のユーザに対して警告などの介入を行うためには、キャプティブポータルの認証後の画面で、そのデバイスのプライベート IP アドレスを取

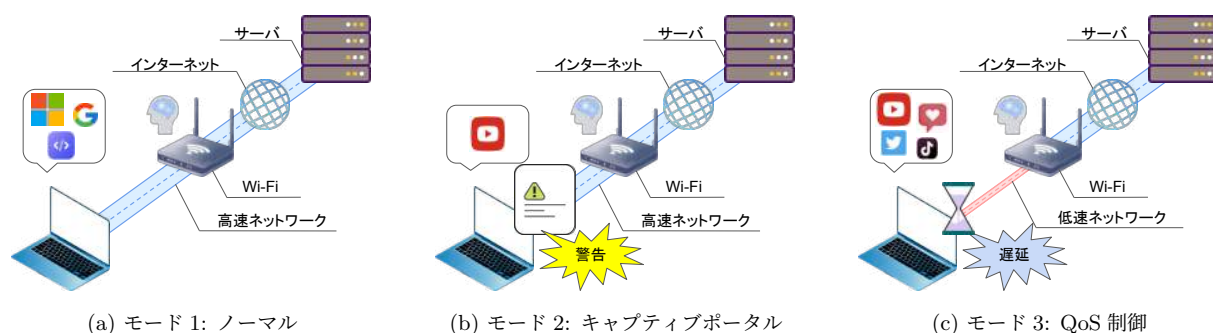


図2 提案システムの3つのモード

得ることができれば、システム内のデータベースに格納されているユーザ毎のコンテキスト情報に基づき説得介入ができる。しかし、同一ローカルネットワーク上のデバイス間での名前解決を容易にする Multicast Domain Name System(mDNS) により、ブラウザから直接そのデバイスのプライベート IP アドレスを取得できない。そのため、本システムに API サーバを実装し、特定のポートにアクセスすると、アクセス元の IP アドレスを返り値にするようにした。つまり、認証後の介入画面から、本システムのあるポートにアクセスすることでブラウザで IP アドレスが取得できる。このように、個々のユーザに対しての介入を可能とする。

3.4.3 QoS 制御による帯域制御

システムがユーザの帯域幅を設定するには QoS 制御を用いることで実現できる。また、帯域幅をユーザごとに任意のタイミングで動的に設定を変えることができるようにする必要がある。例えば、ユーザが高帯域幅を必要とするデジタルコンテンツを利用しているか否かで、帯域幅を動的に設定するようにする。このとき、データベースに格納されたユーザのコンテキスト情報をもとに、ユーザごとに帯域幅を設定できるようにすることで個々の介入が可能となる。

3.4.4 段階的な介入の制御

本システムは、キャプティブポータルの介入と QoS 制御を活用し、ルータが段階的な説得介入できる。キャプティブポータルにおいてはユーザのコンテキストに応じた介入画面を、QoS 制御においてはユーザごとに帯域幅を動的に変更する必要がある。それら2つの機能の動的な設定の変更は、設定の一貫性を保つため1つのサーバで集中管理をする。

以上のような各コンポーネントが協調動作することで、以下3つのモードを提供する。

● モード 1

システムがユーザに対して干渉することなく、ユーザが通常の通信速度でインターネットを利用できるモードである(図2a)。この際、システムはユーザに対して

高い QoE を提供し続けることができ、各々のメイン作業に集中できる環境を提供できる。

● モード 2

キャプティブポータルを用いて、デジタルコンテンツの利用を控える行動を促進させるような介入画面を表示できるモードである(図2b)。具体的には、キャプティブポータルの認証セッションが切断し、再度ネットワークに接続する際に表示される Web 画面を用いて介入する。このとき、ユーザが利用しているデジタルコンテンツやネットワーク全体の QoE の状態に応じて、介入画面のメッセージや介入の強弱を変えることができる。

● モード 3

QoS 制御により意図的に帯域幅を制限し、ユーザの QoE を低下させることができるモードである。具体的には、キャプティブポータルを用いた警告を行ってもデジタルコンテンツの利用を控えない場合に、そのユーザの帯域幅を制限することで、コンテンツの利用体験を低下させ、自ら利用を控えるように誘導する。さらに、高帯域幅を必要とするコンテンツを利用するユーザの帯域幅を制限することでネットワーク全体の QoE を向上させることができる。

以上のような3つのモードによる段階的な介入により、帯域幅を占有するデジタルコンテンツの利用を控えるように Wi-Fi が説得することできる。本システムはネットワーク管理者が望むコンテキストに応じて、最適な設定にカスタマイズすることができる。

3.5. 提案システムの動作例

3つのモードを用いて本システムはユーザに説得介入することができる。そこで、システムがネットワークユーザに対して具体的にどのように動作するのか具体例を3に示す。

前提として、提案システムは利用アプリケーションの取得 (Capture)、帯域幅を多く使用するアプリケーションの識別 (Analyze)、介入方法の策定 (Plan)、介入の実行 (Execute)

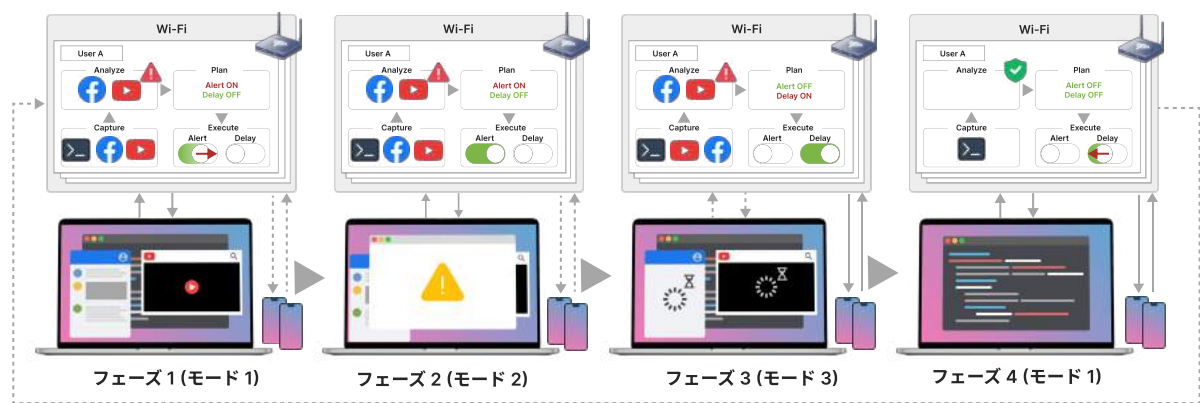


図3 提案システムの動作例

の4つで構成されている。

まず、Aくんは本システムに接続して高帯域幅を必要とするような動画ストリーミングやSNSを利用している（図3 フェーズ1）。この時、同じネットワークに接続している別のデバイスの通信速度は著しく低下し、QoEが低下している状態である。しばらくすると、キャプティブポータル認証セッションが切れたためWi-Fiに再接続することにした。このときシステムは帯域幅を多く占有するコンテンツの利用を検出していたため、警告画面を表示した（図3 フェーズ2）。しかし、その警告画面の内容に従わず、Aくんが継続してコンテンツを利用するとことをシステムが検出し、Aくんに対する帯域幅を制限した（図3 フェーズ3）。その結果、Aくんが利用していた動画コンテンツの画質の低下や遅延を感じるようになった。一方で、高帯域幅を使用していたAくんの帯域幅が制限されることで、他のネットワークユーザのQoEは向上した。また、Aくんは自身が享受するQoEが低下し、快適にコンテンツを利用できなくなったことで、自らデジタルコンテンツの利用を控え、元々のメイン作業であったプログラミングを行うようにした（図3 フェーズ4）。

4. システム実装と動作検証

本節ではシステムの設計及び実装について示す。本システムを実装するにあたり、Oracle社が提供する仮想マシンのVirtualBox^{*1}上に構築にシステムを構築した。キャプティブポータルの機能を提供するルータとして、オープンソースのソフトウェアファイアウォールであるPfsense^{*2}を用いた。また、QoS制御を行うルータとしてオープンソースのネットワークOSであるVyos^{*3}を用いた。これら2つ

表1 nDPIを用いた検出プロトコル

Protocol	Packets	Bytes	Flows
Yahoo	1383	914528	35
Facebook	148	103454	10
Twitter	5990	6613286	38
YouTube	32047	35533417	16
WhatsApp	30	3498	1
Apple iCloud	31	13579	1
Apple iTunes	1018	473104	31
Instagram	15253	17458995	24
Line	521	278154	19
Tver	34529	40891719	45

のOSををゲストOSとして仮想マシン内に配置している。PfsenseのキャプティブポータルにはDHCPサーバの動作が伴うため、キャプティブポータルを表示するデバイスにはPfsenseが配布するDHCPを使用する必要がある。仮想マシン内のWAN側にPfsenseを配置し、LAN側にVyosを配置した。またその際に、Vyosはブリッジモードで動作させることで下位ネットワークにPfsenseが配布するIPアドレスを使用できるようにした。

以上のようなネットワーク構成により、キャプティブポータルを用いた警告とQoS制御を用いた帯域幅の制限を実現した。

4.1. 利用サービスの検出

ホストOSとゲストOSは物理NIC(Network Interface Card)を共有している状態であるため、システムに接続したデバイスのパケットはすべてホストOSにて取得可能である。ルータを通過するパケットはパケットキャプチャツールのtcpdumpで監視し、生成されたPCAPファイルは

^{*1} <https://www.virtualbox.org/>
^{*2} <https://www.pfsense.org/>
^{*3} <https://vyos.io/>



図4 キャプティブポータルへの介入

ntop 社が提供する nDPI(ntop Deep Packet Inspection)^{*4}を使用してサービスの識別を行った。実際に、数分間の PCAP ファイルを nDPI で識別したプロトコルの表 1 に示す。さらに、nDPI の設定ファイルにドメインベースのルールを追加することで、デフォルトでは識別できないコンテンツ (Tver) が識別できるようになることを確認した。以上のような分析を IP アドレスごとに行い、その結果をデータベースに格納し、個々のユーザに対して介入する際に用いられる。

4.2. 利用状況に応じた警告表示

Pfsense にはネットワークに接続しようとするユーザが認証後に、管理者画面にて設定した Web サイトを表示させることができる。例えば本システムではキャプティブポータルにてデジタルコンテンツの利用を抑えるように促す警告画面 (図 4 パターン 1) だけではなく、ユーザに帯域幅を制御する能力を持つことを意識させた介入 (図 4 パターン 2) もできると考える。これにより帯域幅とデジタルコンテンツの継続的な利用を天秤にかけられる選択肢を与え、自らの意思でネットワーク全体の QoE を向上させるような向社会行動を実行することができると思われる。

4.3. QoS 制御の管理

QoS 制御を行う Vynos は IP アドレスごとにダウンリンクの最小帯域幅や最大帯域幅を設定することができ、これらは Vynos が提供するコマンドラインを用いて設定可能である。実際に 3 台のデバイスをシステムに接続し、1 台のデバイスに対して帯域幅の制限を行った結果を図 5 に示す。接続して 10 分経過したところで、Device 1 に対して最小帯域幅と最大帯域幅を実測値で共に 20Mbit/s になるように設定し

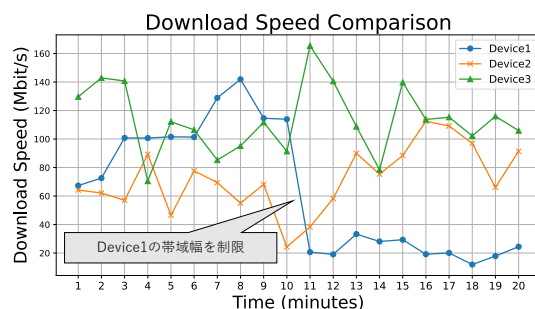


図5 デバイス別の通信速度

た。その結果、Device 1 のみのダウンロード速度が低下したことを確認した。さらに、Device 2 においては Device 1 に対して帯域制御を行う前は他の 2 台のデバイスと比較してダウンロード速度が低い値を示していたが、Device 1 に対して帯域制限を行った後は、ダウンロード速度が向上しているように見受けられる。つまり、帯域幅を多く使用するデバイスの帯域幅を制限することで他のデバイスの通信速度が改善し、他のネットワークユーザの QoE を向上できる可能性があることを示唆している。このように、マルチデバイス環境下においても単一デバイスに対して帯域幅を制限することができ、かつ設定する帯域幅の値に応じて提供する QoE も意図的に変化させることができる。

5. まとめ

本論文では、Wi-Fi を利用してネットワーク全体の QoE に配慮するような向社会行動を促進するために、ユーザーに段階的かつ動的に説得介入する機能を有するシステムを提案した。本システムは提供する QoE のレベルに基づいて 3 つのモードで動作し、キャプティブポータルを用いた警告内容や帯域幅の設定はネットワーク管理者がユーザに求めるコンテキストに応じて柔軟に変更することができる。また、システム設計に基づいて提案システムのプロトタイプを開発し、各機能の動作の検証を行った。その結果、使用した技術で各機能がシステム要件を満たすように動作することを確認した。今後は、本システムを用いた介入実験を行い、ユーザの受容性や介入効果について検証する予定である。

謝辞 本研究の一部は、JST さきがけ (JPMJPR21P7)、科研費 (JP21K11847) および、東北大学電気通信研究所の共同研究プロジェクトプログラムの支援を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] Kugler, L.: Getting Hooked on Tech, *Commun. ACM*, Vol. 61, No. 6, p. 18–19 (online), 10.1145/3204447 (2018).

^{*4} <https://www.ntop.org/products/deep-packet-inspection/ndpi/>

- [2] Longstreet, P. and Brooks, S.: Life satisfaction: A key to managing internet social media addiction, *Technology in Society*, Vol. 50, pp. 73–77 (online), <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2017.05.003> (2017).
- [3] Monge Roffarello, A. and De Russis, L.: The Race Towards Digital Wellbeing: Issues and Opportunities, *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–14 (online), 10.1145/3290605.3300616 (2019).
- [4] Wiederkehr, L., Pitt, J., Dannhauser, T. and Bruzda, K.: Attention Enhancing Technology: A New Dimension in the Design of Effective Wellbeing Apps, *IEEE Transactions on Technology and Society*, Vol. 2, No. 3, pp. 157–166 (online), 10.1109/TTS.2021.3070221 (2021).
- [5] Liu, Z., Sheng, Q. Z., Xu, X., Chu, D. and Zhang, W. E.: Context-Aware and Adaptive QoS Prediction for Mobile Edge Computing Services, *IEEE Transactions on Services Computing*, Vol. 15, No. 1, pp. 400–413 (online), 10.1109/TSC.2019.2944596 (2022).
- [6] Rao, N., Maleki, A., Chen, F., Chen, W., Zhang, C., Kaur, N. and Haque, A.: Analysis of the Effect of QoS on Video Conferencing QoE, *2019 15th International Wireless Communications Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pp. 1267–1272 (online), 10.1109/IWCMC.2019.8766591 (2019).
- [7] Ji, X., Han, B., Xu, C., Song, C. and Su, J.: Adaptive QoS-aware multipath congestion control for live streaming, *Computer Networks*, Vol. 220, p. 109470 (online), <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109470> (2023).
- [8] Chang, B., Zhao, G., Zhang, L., Imran, M. A., Chen, Z. and Li, L.: Dynamic Communication QoS Design for Real-Time Wireless Control Systems, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 20, No. 6, pp. 3005–3015 (online), 10.1109/JSEN.2019.2957569 (2020).
- [9] Kim, J., Jung, H., Ko, M. and Lee, U.: GoalKeeper: Exploring Interaction Lockout Mechanisms for Regulating Smartphone Use, *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 3, No. 1 (online), 10.1145/3314403 (2019).
- [10] Kim, J., Park, J., Lee, H., Ko, M. and Lee, U.: LocknType: Lockout Task Intervention for Discouraging Smartphone App Use, *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–12 (online), 10.1145/3290605.3300927 (2019).
- [11] Bowles, N.: Is the answer to phone addiction a worse phone, *The New York Times* (2018). Available: <https://www.nytimes.com/2018/05/16/technology/phone-addiction-essays.html>.
- [12] Elliott, I. K.: Devices of mass distraction: Can they be kept at bay by going grey? An investigation into greyscale as an effective strategy in reducing phone use (2019).
- [13] Nakamura, Y., Tanaka, H. and Arakawa, Y.: Color-wall: Adaptive Color Filter to Reduce Digital Distractions during PC Work, *Adjunct Proceedings of the 2022 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and the 2022 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 193–197 (2022).
- [14] Monge Roffarello, A. and De Russis, L.: Coping with Digital Wellbeing in a Multi-Device World, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), 10.1145/3411764.3445076 (2021).

ScaleCity：透明な 3 次元都市模型を用いた都市データの可視化

坂本凜^{†1}

東京大学大学院
学際情報学府

横窪安奈^{†2}

東京大学大学院
情報学環

道方孝志^{†3}

東京大学大学院
情報学環

越塚登^{†4}

東京大学大学院
情報学環

1. はじめに

市民の意向を反映させたまちづくりは、ライフスタイルが多様化した市民の要求に適合したサービス・居住環境の供給に繋がり、都市の持続可能性に寄与する。この目的を実現するための手段として、まちづくりのプロセスへの市民参加が注目されている。市民参加にも市民への情報伝達からエンパワーメントまで市民の関与の大きさが異なるが、その一つとしてアメリカのシアトル市の「近隣計画プログラム [1]」や国内でも小田原市の第五次総合計画の策定プロセス [2] や千葉県松戸市の「イマジンまつど [3]」のように市民が行政と協働して提案を行う形態がある。

「イマジンまつど」の例では二日間にわたる市民フォーラムで 50, 60 人程度の市民が 10 人ほどの市の職員とグループワークで松戸の現状認識から始まり、市のありたい将来のビジョンを描き「まつど未来づくり会議」という基本計画策定に向けた会議への提言を行なっている。このように実際に専門家に対し市民自らが対等に提案を行うためには、自分の街に対する深い見識が求められる。

市民それぞれが日常的に過ごす中で得る知見と、都市のデータを結びつけることで自身の街への理解が促進される。データを非専門家である市民が理解するためには、直感的に捉えやすい形での可視化が必要である。位置情報を持つ都市のデータを地図上にマーカーをプロットし可視化することは可能ではあるが、フラットなデジタル地図では、理解の手がかりとなる建物の高さや環境情報を十分に伝えることは難しい。

そこで本研究では、市民が効果的にまちづくりに参加するため、都市のデータを直感的に理解するために、都市の立体構造と組み合わせ可視化するシステム「ScaleCity (ス



図1 ScaleCity の設置の様子. ディスプレイに新宿駅周辺の透明な都市模型を貼付し、都営バスと都営地下鉄のデータをデジタル地図内に表示した。

ケールシティ)」を提案する。ScaleCity は、図 1 に示すように 3D プリントで作成した透明な都市模型とデジタルな地図を重ね合わせ、市民が容易に都市のデータを解釈できるよう設計した。

2. 関連研究

2.1. デジタル技術を活用した市民参加型のまちづくり

デジタル技術を活用した市民参加型のまちづくりの具体的な事例として、国内では、横浜市を対象とした「PLATEAU[4]」のデータを用いたタンジブルインターフェースや AR を用いた体感型の都市計画ツールを用いたワークショップが開催されている [5]。国外では、スペインのパルセロナやブルガリアのソフィアなど実在の都市を舞台にしてユーザーとの共同デザインが可能となるアプリケーション「SuperBarrio[6]」が展開されている。このアプリケーションでは、街灯や市場など街の要素となるコンポーネントを配置することができ、それらを集計することで街に必要なとされているものが何かを明らかにすることができる。「City Scope[7]」はデジタルプラットフォームとブロックを操作することで入力できるタンジブルなインターフェースであり、これを用いてハンブルグの難民の宿泊施設の割り当てについてなど実際に複数の都市でワークショップが開

Urban Data Visualization System Using Transparent City Models

^{†1} RIN SAKAMOTO, The University of Tokyo Graduate School of Interdisciplinary Information Studies

^{†2} ANNA YOKOKUBO, The University of Tokyo Interfaculty Initiative in Information Studies

^{†3} TAKASHI MICHIKATA, The University of Tokyo Interfaculty Initiative in Information Studies

^{†4} NOBORU KOSHIZUKA, The University of Tokyo Interfaculty Initiative in Information Studies

催されている [8].

2.2. 二次元地図を用いた都市データの可視化

都市データの可視化方法は多岐に渡るが、地理的な要素が重要なデータには、地図上に円グラフを配置したり、特定の場所を示すマーカーを用いたりする方法が採られることが多い。さらに、人の移動パターン [9] や交通 [10] などの動的な情報を表現する際にも、地図ベースの視覚化が用いられる。こうした地図ベースの可視化は個人用の小さなディスプレイに映すだけでなく、壁面のスクリーンにプロジェクターで投影することで、複数人で可視化したものを共有しながら利用することが可能である [11]。都市は人や交通など様々な要素から成り立っているため複数のデータを重畳することで地域の理解が深まる可能性がある。例えば人の移動と公共交通など複数のデータが組み合わさることで地域に多くの人が集まる時間帯やその理由、またその場所が公共交通によってどれだけサポートされているかなど特定のエリアへのアクセス方法やその地域の結びつきの強さを理解できる。ただし同時に複数のデータを二次元平面の地図上に表示すると情報過多から直感的な理解の妨げになりうる。

都市は、人々や交通、上下水道のインフラ、環境といった様々な要素で構成されている。例えば、都市の交通流と大気質のデータを組み合わせることにより、交通量が大气汚染にどのような影響を与えているかを理解することができる。しかし、これら多様なデータを一つの二次元地図上に表示すると、情報過多により直感的な理解が難しくなることがある。

可視化が人に与える影響に関する研究では、あるトピックについての賛成反対の立場が態度がまだ定まっていない人の意見を変えるのにデータの可視化が有効であるという実験が報告されており [12]、市民が現状を正しく理解する上で可視化が有効なサポート手段である可能性を示唆している。

2.3. 三次元地図を用いた都市データの可視化

ディスプレイ上に表示する 3 次元 CG を用いた可視化の手法が存在する。国土交通省が公開している PLATEAU では、2023 年 12 月時点で全国約 130 都市の三次元データが整備されている。PLATEAU は、総務省が定めた特定のエリアを識別可能な形で数字コードとして管理されており、各建築物モデルや地形モデルのデータが「統計に用いる標準地域メッシュおよび標準地域メッシュコード」の地域標準メッシュに基づいて区画分けされている。また、一つのファイルには各メッシュコードに対応した領域内のデータが CityGML 形式で格納されている。三次元 CG を用いた

手法は実際の都市の形状を再現することで、自分の日常の体験との結びつきがより強く、より理解につながりやすいというメリットが存在する。ただしその分二次元地図に比べて操作の自由度が上がり複雑になってしまう、データの準備が大変になるといった欠点も存在する。

三次元都市のデータ可視化には Augmented Reality [13] や Virtual Reality [14] を用いた方法もある。ハプティクス技術の進歩により、デジタル空間で物体に触れた際の触感をリアルタイムでフィードバックすることで本当に触っているかのような体験も可能である。デジタル空間内で移動することで都市模型を利用した時に比べて物理世界では大きなスペースを必要とせずに広い都市の領域を対象として表示する体験が可能となっている。ただし市民参加の文脈においては、Head-Mounted Display を装着する不快感だけでなく、不慣れな人を対象として同時に複数人に操作してもらう際のオペレーションの複雑さなどが欠点となる。

2.4. 立体模型を用いたデータの可視化

「Tangible Landscape [15]」は景観の模型にプロジェクターで映像を投影することで水の流れや地形、模型を変形させた際の影響など可視化するシステムで、大学院生を対象としたレッスン後のテストの結果一部の項目で正の効果があることを示唆している。で触れた「City Scope [7]」以外にもビルなどの立体物をタンジブルなインターフェースとして採用することで、表示データの変更だけでなく、都市の外観を変えることで、どのように都市が変わりうるかをシミュレーションを用いて提示することができるシステムが開発されている [16][17]。

しかしこれらのシステムは映像を投影するためにプロジェクターを用いているため、位置合わせの問題や手の影響による体験の阻害といった欠点がある。

3. ScaleCity

ScaleCity は都市のデータをマッピングするデジタル地図と、対応する領域の透明な都市模型の二つで構成した直感的な都市データ可視化システムである。ScaleCity では、複数のユーザーが同時に建築物のような周囲の環境と都市のデータを関連づけて解釈することが可能である。以下では ScaleCity を構成する透明な都市模型とデジタル地図について詳細に述べる。図 2 に ScaleCity のシステム構成図を示す。

3.1. 透明な 3 次元都市模型の作成

透明な都市模型を 3D プリントするためのデータは図 3 のような平らな土台の上に地形、建物が重畳している。これ

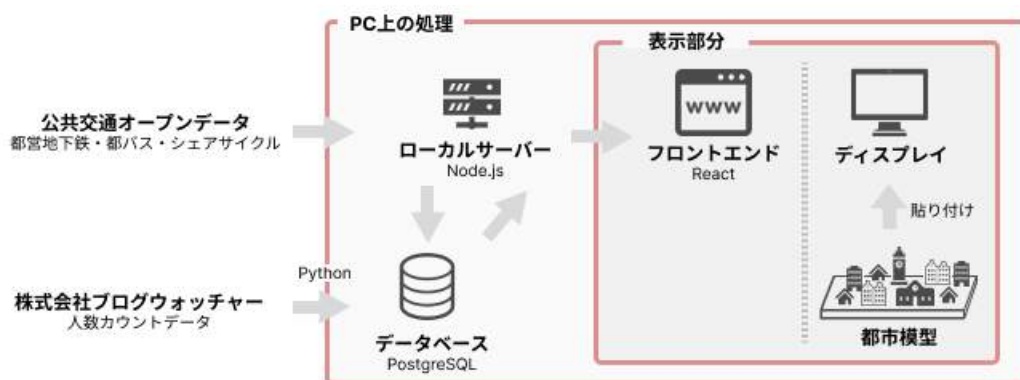


図2 ScaleCity のシステム構成図。

を3D プリントした後、現実世界の位置関係と同じになるように並べて使用した。

ScaleCity では PLATEAU のデータを利用しており、それらを3D プリント可能な形に処理を施した。PLATEAU の建築物モデルデータは、都市のランドマークを精巧に印刷し、建造物を用意に認識するために、建物の形状がより詳細に表現されている Level of Detail 2 (LOD2) を使用した。また、LOD2 が用意されていないエリアでは、建物の形状が簡略化された Level of Detail 1 (LOD1) を使用した。

ScaleCity では標準地域メッシュコードの1つの領域内の建築物モデルおよび地形モデルのデータを1辺約 136mm × 111mm になるように印刷している。サイズは3D プリンターの造形可能な大きさに従って決定した。

建築物が複数のメッシュにまたがって建っている場合、そのうちの1つのファイルにしかデータが格納されていないため、複数のメッシュ領域をタイル上にして利用する際にはデータの処理を適切に行わないと、データが欠けてしまう。特に大きなビルや商業施設がこれによって欠けると環境データと都市データの対応が崩れユーザーの理解に影響がでるため、処理を適切に行う必要がある。ScaleCity はその要件に合うように以下の流れでデータを作成したものを利用した。

3.1.1 都市データを印刷用データへ変換する処理の流れ

図4に示す PLATEAU のデータを3D プリント用のデータへ変換する処理の流れについて以下で述べる。

まず印刷したい領域とその周辺の領域の特定を行う。このプロセスでは、目的の範囲とその境界を跨いで建築物を共有する周辺エリアを国土交通省の PLATEAU の Unity SDK^{*1}を使用して読み込み、obj ファイル形式で出力する。

次に Blender^{*2}に対象エリアの建築物モデルと地形モデ

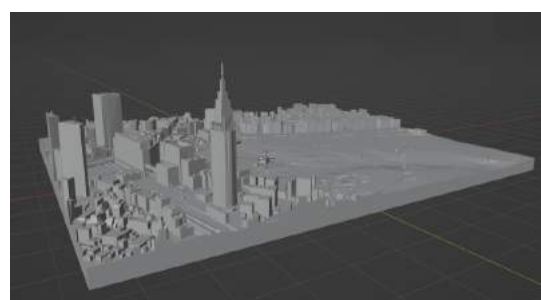


図3 PLATEAU データを用いて作成した1メッシュ分のデータの例。地形データと建物データが土台となる平面上にあり穴ができないように側面も作成している。

ルの obj ファイルを0.01 倍の倍率でインポートする。複数の建築物モデルを1つの建築物モデルとして統合し、地形モデルも同様に1つに統合する。この時地形モデルはこのままでは複雑なので Decimate モディファイアを用いて頂点を減らす。

地形モデルに対し、土台となる平面メッシュを作成して統合する。まず標準メッシュ1区画より少し大きい 11400mm × 9600mm のサイズの平面メッシュを作成する。地形モデルも同じ大きさになるようにカットする。平面メッシュと地形モデルを統合し側面をフィルする、その後 STL 形式で出力する。

Fusion360^{*3}に土台と統合した地形モデルをインポートし穴がないように修正後、標準メッシュ区画のサイズになるようにカットして出力する。

Blender 上で標準メッシュサイズになるように建物モデルをカットする。一度建物モデルを統合してからカットすることでエリア内の境界線上の建物を含むことが可能にな

^{*1} <https://github.com/Synesthesias/PLATEAU-SDK-for-Unity>

^{*2} <https://www.blender.org/>

^{*3} <https://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>



図4 都市データを印刷用データへ変換する処理の流れ。

る。その後穴が空いてしまった箇所を埋める。

地形モデルと建物モデルの統合では、Blender 上に地形モデルを再びインポートし、建物モデルと Boolean モディファイアを用いて統合する。

3.1.2 印刷と後処理

データを光造形式の3Dプリンターである Formlabs 3 で印刷するため、Preform というソフトウェアにインポートし、データのスケール調整後、印刷物が大きく歪まないようにするため水平な状態から 5° 斜めに傾けたのち補助材を設置しクリアレジンを素材として印刷する。

印刷物は紫外線による硬化をせず数日間の乾燥後、やすりがけをした後コーティング剤として紫外線防止保護塗料を塗装する。これによって印刷物の保護が可能になるだけでなく透明度も上がる。

実際に ScaleCity として使用する際には、複数のタイルをディスプレイの画面と同じサイズの透明なアクリル板に現実世界の位置関係に対応するように並べて透明な両面テー

プを用いて貼り付け、さらにそのアクリル板をディスプレイに貼り付け固定する。

3.2. デジタル地図と都市データのマッピング

表示するデジタル地図として Open Street Map (OSM)^{*4}に加えて、PLATEAU の道路データを用いたシンプルな地図も選択可能にし、バスや地下鉄などの公共交通機関のオープンデータを主に重畳するデータとして採用した。リアルタイムの API 呼び出しや、データベースに格納したデータの取得によって、フロントエンドでのデータ表示を実現している。以下ではデータの呼び出しというバックエンド処理について述べた後、表示部分について述べる。

3.2.1 都市データの取得と表示用への加工

本節ではデータのリアルタイム API の呼び出しとデータベースに格納、およびデータ取得部分について述べる。本研究では、都バスや都営地下鉄などの公共交通機関、シェアサイクル、エリア内の人数データを取り扱う。これらのデータの取得とフロントエンドへのデータ転送は、Node.js サーバー^{*5}を立ち上げそのサーバー上で行う。以下ではそれぞれについて述べる。

公共交通機関のデータは GTFS (General Transit Feed Specification) 形式でオープンデータとして提供されている^{*6}。リアルタイム GTFS 形式の REST API を呼び出すと、呼び出した時刻に運行している車両の情報を取得することができる。都バスのデータには、バスの現在位置 (緯度経度) が含まれている。都営地下鉄のデータには、遅延時間や次の駅への到着予定時刻、出発時刻が含まれている。

Node.js サーバーでは、バスデータの前回と現在のフェッチタイミングの時刻と位置情報を保持する。都営地下鉄のデータでは、出発時刻と到着時刻に遅延時間を加算し、駅情報を緯度経度に変換する。

東京メトロのデータでは、遅延が「15 分以上」という形でのみ提供され正確な遅延時間がわからない場合がある。このような場合、GTFS 形式のスケジュールデータを利用して、表示したい時刻のデータを検索し、配列に対象時刻の車両データの情報を格納して利用する。

すでに公共交通の一端を担っているシェアサイクルサービスのうち HELLO CYCLING^{*7}とドコモ・バイクシェア^{*8}の二つのサービスはオープンデータとしてアクセス可能となっている。GET リクエストを送ることで、最新のポートの利用可能な自転車の台数と駐車可能台数を取得できる。ポート番号からポートの緯度経度情報に変換し、これを配

^{*4} <https://www.openstreetmap.org/>

^{*5} <https://nodejs.org/en>

^{*6} <https://ckan.odpt.org/dataset>

^{*7} <https://www.hellocycling.jp/>

^{*8} <https://docomo-cycle.jp/>



図5 ScaleCity のデータ表示部分。地図上に都バスおよび都営地下鉄の表示時刻の位置を示す円マーカを表示している。またメッシュ内の人数を白から赤へのグラデーションによって示している。

列として格納する。

エリア内の人数データとして、株式会社プログウォッチャー^{*9}から有償で提供されるスマートフォンのGPSデータを活用している。このデータは、異なる時刻に各デバイスから緯度経度情報が送信され、Androidのスマートフォンでは10分ごとにデータを取得しているため、10分ごとに区切って特定のメッシュコード内の人数を推定し、GeoJSON形式に対応したPostgreSQL^{*10}データベースに格納して利用する。

人流データ以外のデータもPostgreSQLに格納することで、過去のデータをユーザーは現実の時間の流れとは独立に再生スピードを調整して表示することを可能にしている。このプロセスは以下のように構成されている。まず3分ごとにGETリクエストを送信し、公共交通機関やシェアサイクルなどのリアルタイムデータを定期的に取得する。取得したデータは、前述の方法（例えば、位置データの変換など）で処理し、変換後のデータはPostgreSQLデータベースに格納する。これにより、データの永続的な保存と効率的なクエリが可能になる。

3.2.2 都市のデータのデジタル地図上への表示

フロントエンドでは、図5に示すように地図の表示、地理データをマーカーやメッシュとして描画、表示しているデータの時刻やデータの判別を表示する3つの部分をReact^{*11}と地図用ライブラリであるLeaflet^{*12}を用いて作成した。

表示する地図は詳細な情報を表示することが可能なOSMのタイルデータおよび、PLATEAUの道路データを利用した。PLATEAUの道路データはGeojson形式になっているがそのままLeaflet上に読み込むと動作が重くなるた

め、QGIS^{*13}上に一度読み込み、QGISのライブラリであるQMetaTilesを用いてタイル画像にして、それを読み込んで表示した。

都営地下鉄と都バスの位置情報は、緯度経度データに基づき、Leafletを使用して地図上の円形マーカーに反映する。マーカーは定められたデータ取得間隔に従って、直線的なアニメーションで前の位置から現在位置へ移動する。具体的には、バスの場合、新たなデータを取得すると、それまでのアニメーションを停止し、新しいスタート地点をマーカーの初期位置として設定します。次に、目的地までの距離をアニメーションの各フレームで計算し、経過時間をデータ取得間隔で割った値によって進行度を決定し、その進んだ分だけマーカーの位置を更新する。営地下鉄の位置情報のアニメーションでは、一つ前のデータ取得時の時刻と最新のデータ取得時の時刻を基にしている。ここで計算される推測位置は、電車が出発駅と次の到着駅の間のどこにあるかを特定するものである。この位置の計算には、表示時刻が出発時刻と到着時刻の間のどの点にあるかを基に行う。リアルタイムの場合、この表示時刻は実際の現在時刻を意味し、データベースからの情報取得の場合はその元データが記録された時刻を指す。この方法により、電車が経路上でどの位置にあるかを推測し、スタート時刻から終了時刻までのアニメーションで視覚的に表現する。ただし、道路や線路に沿った移動ではなく都バスも都営地下鉄もスタート地点と終了地点を端にした線分上での移動を仮定している。

滞在人数のカウントは、時間に応じてメッシュごとに集計され、その人数に基づいてメッシュの色を変化させて表示する。人数が少ない場合はメッシュを白色にし、人数が多いエリアでは赤色へとグラデーションがかかるようにRGB値を調整し、人口密度の違いを視覚的に表現する。

シェアサイクルのデータは各時間ごとのポートの位置にそのポートでその時間に利用可能な自転車の台数、駐車可能な自転車の台数を半円の半径のサイズを台数に対応させて変更することで表示する。

4. 展示

2023年11月7～9日の3日間に渡り、スペインのバルセロナで開催された「Smart City Expo World Congress^{*14}」にて、ScaleCityの展示を実施した。展示の際に来場者から得られた反応や感想を列挙する。

- 参加者が行った過去の建築物を指差し、自分の経験と都市模型を結びつけながら著者との対話が生まれた。
- データが見えやすい視点から建物の立体感がわかりや

^{*9} <https://www.blogwatcher.co.jp/terms/>

^{*10} <https://www.postgresql.org/>

^{*11} <https://ja.react.dev/>

^{*12} <https://leafletjs.com/>

^{*13} <https://www.qgis.org/ja/site/>

^{*14} <https://www.smartcityexpo.com/>

すい視点へ移行するため、自然に体を移動させながら ScaleCity の写真の撮影をした。

- 著者ら出展者による展示の説明なしに、3 人のグループが ScaleCity を見ながら、ScaleCity の挙動についての会話をを行った。
- プランニングのシミュレーション結果を可視化してほしい。
- 壁面に吊るす形で展示していたため、構造物の側面がやや見にくかった。画面または模型を動かしてより立体的に見たい。
- 模型を触ったらデジタル地図に何かしらの反応が欲しい。

これらの反応や感想から、ScaleCity は市民が自分たちの街をより深く理解し、まちづくりに積極的に参加するための有効なツールとなる可能性がある。

5. 議論

5.1. 都市模型の大きさ

今回の 3D 都市模型は、新宿区の一部を 1.2/10000 の縮尺で印刷したものであった。展示の際には 32 インチのディスプレイを使用した。都市模型は 12 枚のタイルを使い、実際の世界での範囲はおおよそ 12 平方 km に相当する領域を表示した。これは新宿区 (18.23 平方 km) の約 2/3 ほどの大きさであり、さらに複数のディスプレイとタイルを用いることで市区町村の大きさの表示をすることが可能となる。建物や土地の隆起を立体的に把握することが可能であったため、新宿駅周辺の高層ビル街に人流が多く移動していることがより直感的に把握することが可能であった。建物の形状や密集度からベッドタウンなど場所の特徴がわかり、それが他のデータと結びつくことで直感的な理解につながるとより一般化して言える可能性がある。一方で、模型が小さすぎる欠点として、なだらかな坂などの構造が上から覗き込む視点ではわかりづらいことや、そこに自分が立っている一人称視点での体験とそのままでは結びつけづらいことが考えられる。また模型が小さいため、模型のビルなどを移動させることでシステムへの入力とするようなインタラクションには向いていない。

5.2. 提示する都市データ

建物の影、街のランドマークが見える位置、空がどれだけ見えるかといった視覚的情報は建物の高さを模型や 3DCG で表示することによって明確になるため ScaleCity との相性が良い。これは、ドローンの移動経路計画なども建物の高さ情報を活用できる。市民参加型の都市計画の文脈では、例えばハザードマップや避難経路などの災害関連データの

表示が重要である。再開発地域におけるリスクの可視化により、市民が過剰な開発に対して意見を述べやすくなります。また、店舗データや公共交通機関データを組み合わせることで、「15 分都市構想」の実現度を地元エリアで可視化することも可能である。これはコンパクトシティの実現に向けた現状理解の有効な手段となりうる。さらに、道路やエリアの開発による街の変化のシミュレーション結果を ScaleCity の縮尺で可視化することで、市区町村レベルでのマクロな影響も一目で理解できるため、適切な前提知識のもとでの議論に繋げやすい。

5.3. インタラクティブな要素

今回の 3D 都市模型はデジタル地図上に重畳することで、建造物の構造や土地の隆起等を触知可能な形にしていたものの、模型に触れることに対してフィードバックが不足していた。体験者の感想にもこの欠点は挙げられていたが、非専門家の多人数が体験する ScaleCity では、フィードバックによる理解の促進と関心の維持が重要である。ただし ScaleCity の都市模型の大きさの節でも述べたように模型の一部を動かす入力方法は適していない。

代わりに、これから検討する方法として金属繊維が埋め込まれた透明な曲げセンサー [18] や透明な接触覚センサー [19]、非可視光の塗料を用いたマーカー、ディスプレイ周囲のカメラによるユーザーの指の動きのセンシングなどがある。これらの方法は、模型を透明に保ちつつ、システムの入力インターフェースとして機能する可能性がある。今後の展開として、これらの技術を組み合わせて、より豊かなインタラクションを導入することが考えられる。

5.4. 市民参加型の都市計画に ScaleCity を導入する利点と欠点

ScaleCity はデータの専門家ではない市民が市民参画のまちづくりの場で都市に対する造詣を深めるための都市データ可視化システムである。ScaleCity のシステム構成が市民参画においてどのような利点と欠点があるかについて述べる。

ScaleCity は、ディスプレイサイズに応じて地図タイルの枚数を柔軟に調整し、表示領域の変更に対応できる設計となっている。重複エリアの再利用も可能であり、これにより資源の効率的な利用が促進される。まちづくりの場面では対象となるエリアから遠く離れた土地までカバーする必要がないため、この機能は、都市計画における予算の制約が大きい市民参加の初期段階において特に有益となる。用いられたデータは人数データを除けば PLATEAU からの都市模型データと公共交通機関の情報を含むオープンデータで、これらは無料でアクセス可能であることから、コスト

効率の高い計画立案が可能となる。

さらに、3D プリント技術を利用することで、伝統的な手作業に比べて時間と労力の削減が見込める。これは、印刷後の仕上げ作業にのみ時間を要するためである。このアプローチにより、初期投資を抑えつつ、都市計画のプロセスにおいて市民の積極的な参加を促すことができ、従って、ScaleCity のアプローチは、市民参加を促し、都市の特性を形作る決定を下す際のコストと時間の効率性を大幅に改善するものと考えられる。

しかし、ScaleCity は一度参加した人の継続率を高めたり、体験を通じて都市に対する理解を促進させるシステムを開発し、幼少期からの体験の機会を作ることで将来的に継続してまちづくりに参加する市民を増やす可能性はあるが、まちづくりのワークショップに体験したことがない市民への参加を誘発はできない。参加者を引きつけるためにはシステムの用途を拡張し、より幅広いアプリケーションへの応用を考える必要がある。例えば、位置情報を活用した Ingress のようなゲームの可視化に ScaleCity を利用することが考えられる。このようなゲームは市民にとって身近で楽しい体験を提供し、それを通じて自然と都市に関する理解や関心を高めることができる。

6. 今後の展望

今後の展望として、この展示の経験から ScaleCity の利用者が積極的に触るきっかけを作るためのインタラクションの設計や、重畳するデータの選定・表示方法の改善を行う。

7. 謝辞

本研究は日立東大ラボの支援を受けて実施した。

参考文献

- [1] 坂口陽子, 小泉秀樹, 伊藤史子, 渡辺俊一米国シアトル市「近隣計画プログラム」における地域の公共性と広域的公共性, 都市計画論文集, Vol. 36, pp. 31–36 (2001).
- [2] 小田原 TRY フォーラム - 小田原市, <https://www.city.odawara.kanagawa.jp/field/municipality/vision/odawaratryforum.html> (2011). (参照 2023-12-8).
- [3] 高中 誠, 山本紘史, 大橋あゆ美次世代型協働による総合計画の策定, https://www.esri.cao.go.jp/jp/esri/archive/e_rnote/e_rnote020/e_rnote013.pdf (2010). (参照 2023-12-8).
- [4] PLATEAU- 国土交通省, <https://milt.go.jp/plateau/> (2020). (参照 2023-12-4).
- [5] XR 技術を用いた体感型アーバンプランニングツール - 国土交通省, <https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-035/> (2023). (参照 2023-12-8).
- [6] IAAC projects named finalists in the New European Bauhaus Awards, <https://iaac.net/tova-superbarrio-new-european-bauhaus-prizes/> (2023). (参照 2023-12-8).
- [7] Alonso, L., Zhang, Y. R., Grignard, A., Noyman, A., Sakai, Y., ElKatsha, M., Doorley, R. and Larson, K.: CityScope: A Data-Driven Interactive Simulation Tool for Urban Design. Use Case Volpe, *Unifying Themes in Complex Systems IX*, pp. 253–261 (2018).
- [8] Noyman, A., Holtz, T., Kröger, J., Noennig, J. R. and Larson, K.: Finding Places: HCI Platform for Public Participation in Refugees' Accommodation Process, *Procedia Comput. Sci.*, Vol. 112, pp. 2463–2472 (2017).
- [9] Fan, Z., Yang, C., Zhang, Z., Song, X., Liu, Y., Jiang, R., Chen, Q. and Shibasaki, R.: Human Mobility-based Individual-level Epidemic Simulation Platform, *ACM Trans. Spatial Algorithms Syst.*, Vol. 8, No. 3, pp. 1–16 (2022).
- [10] Chen, W., Huang, Z., Wu, F., Zhu, M., Guan, H. and Maciejewski, R.: VAUD: A Visual Analysis Approach for Exploring Spatio-Temporal Urban Data, *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, Vol. 24, No. 9, pp. 2636–2648 (2018).
- [11] Florence, J., Hornsby, K. and Egenhofer, M. J.: The GIS wallboard: interactions with spatial information on large-scale displays, *International Symposium on Spatial Data Handling*, Vol. 7, Taylor and Francis: Delft, The Netherlands, pp. 449–463 (1996).
- [12] Pandey, A. V., Manivannan, A., Nov, O., Satterthwaite, M. and Bertini, E.: The Persuasive Power of Data Visualization, *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, Vol. 20, No. 12, pp. 2211–2220 (2014).
- [13] Zhang, L., Chen, S., Dong, H. and El Saddik, A.: Visualizing Toronto City Data with HoloLens: Using Augmented Reality for a City Model, *IEEE Consumer Electronics Magazine*, Vol. 7, No. 3, pp. 73–80 (2018).
- [14] Zhang, C., Zeng, W. and Liu, L.: UrbanVR: An immersive analytics system for context-aware urban design, *Comput. Graph.*, Vol. 99, pp. 128–138 (2021).
- [15] Millar, G. C., Tabrizian, P., Petrasova, A., Petras, V., Harmon, B., Mitsova, H. and Meentemeyer, R. K.: Tangible Landscape: A Hands-on Method for Teaching Terrain Analysis, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, Montreal QC Canada, ACM, pp. 1–12 (2018).
- [16] Mahyar, N., Burke, K. J., Xiang, J. e., Meng, S. c., Booth, K. S., Girling, C. L. and Kellett, R. W.: UD Co-Spaces: A Table-Centred Multi-Display Environment for Public Engagement in Urban Design Charrettes, *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, ISS '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 109–118 (2016).
- [17] Underkoffler, J. and Ishii, H.: Urp: a luminous-tangible workbench for urban planning and design, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing*

- Systems*, CHI '99, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 386–393 (1999).
- [18] Nag, A., Simorangkir, R. B. V., Valentin, E., Björninen, T., Ukkonen, L., Hashmi, R. M. and Mukhopadhyay, S. C.: A Transparent Strain Sensor Based on PDMS-Embedded Conductive Fabric for Wearable Sensing Applications, *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 71020–71027 (2018).
- [19] Sarwar, M. S., Dobashi, Y., Preston, C., Wyss, J. K. M., Mirabbasi, S. and Madden, J. D. W.: Bend, stretch, and touch: Locating a finger on an actively deformed transparent sensor array, *Sci Adv*, Vol. 3, No. 3, p. e1602200 (2017).

ウォーカブルシティの歩行空間設計に向けた市民の合意形成のための 歩行者シミュレーション

堀千咲^{†1}

東京大学大学院学際情報学府

濱田健夫^{†2}

東京大学大学院情報学環

横窪安奈^{†3}

東京大学大学院情報学環

道方孝志^{†4}

東京大学大学院情報学環

越塚登^{†5}

東京大学大学院情報学環

1. はじめに

現在の日本社会において、大都市では人口過密が原因で交通渋滞、交通事故、そして環境問題が発生している。一方で、社会全体が少子高齢化に向かっており、特に地方都市では高齢化率が約 40 パーセントにも達し [1], 深刻な問題となっている。こうした課題に対応する持続可能な都市が求められており、その実現には、テクノロジー先行ではない、人を主体に据えたアーバンプランニングが必要である。アーバンプランニングは都市設計に関するあらゆる事柄を含み、将来の都市を様々な観点から考慮し、持続可能性や安全性などを踏まえて設計していくプロセスである [2]。

近年では、人を主体に据えたアーバンプランニングの一環として、とりわけウォーカブルシティへの注目が高まっている。ウォーカブルシティとは、居心地が良く、歩きたくなる環境が整備された都市を指し [3], その実現には歩行者の居心地の良さの向上、まちの活気の創出、それに伴う経済の活性化、車の減少による環境負荷の削減、歩行者増加による健康増進などが求められる。

日本国内には、人口規模の大小等に関わらず、「居心地が良く歩きたくなるまちなか」づくりに、賛同する地方公共団体、ウォーカブル推進都市が 300 以上の存在する [4]。例えば愛媛県松山市花園町通りでは、賑わいと交流の場を創出するために、道路の総幅員はそのままで、6 車線あった車道を 2 車線に減らし、5 メートルだった歩道幅を最大 10 メートルに広げた [5]。ウォーカブルな空間へと道路空間を

再構築したことで、歩行者数が約 2 倍になり、地価も上昇傾向が見られている [6]。このように、目覚ましい効果を挙げた都市も多く、これに続くべく、ウォーカブルシティの実現に向けた様々な取り組みが行われている。

実世界でウォーカブルシティの実装に向けた空間再編を行うプロセスは複雑であり、障壁が多くある。ウォーカブルシティに向けたまちづくりを進める中で、当該自治体やデベロッパー、地域住民など多岐に渡るステークホルダーとの議論を通じて合意を得ることが必要となる [7] が、それは容易なことではない。議論を進める上で、社会実験を実施しその効果を実際に確認することは有効な手段ではあるが、構想計画の立案、適切な実施場所の検討から道路の許可、地元のまちづくり協議会や警察との調整、効果検証など大掛りになってしまう。また各ステークホルダーの立場によってその空間の持つ価値は異なり、自身とは別の立場を肌感覚として理解することは困難といえる。

そこで、本研究ではデジタルツインに着目する。デジタルツインとは現実空間の情報を取得し、サイバー空間内に現実の環境を再現するものである。デジタルツインによる、サイバー空間上での分析・シミュレーション、現実世界へのフィードバックが近年ますます進んでいる [8]。日本の大都市の 3D 都市モデル [9] や高性能なゲームエンジンが無料で簡単に扱える状況から、開発、工数、コストは大幅に減少している [10]。ステークホルダーとの調整を円滑に進め、将来の都市像を共有する上で、検討の対象となる空間をあらかじめサイバー空間上で再現し、物理空間での実現可能性を考えるプロセスは、様々な条件を再現・考慮し、空間再編の効果検証にかかるコストを下げるができるのものと考えられる。

本論文では、ウォーカブルシティに向けた快適性をサイバー空間上で事前に評価する、歩行者シミュレーションを提案する。

Pedestrian simulation for building consensus among citizens for pedestrian space design in walkable cities

^{†1} CHISAKI HORI, Graduate School of Interdisciplinary Information Studies The University of Tokyo, Japan

^{†2} TAKEO HAMADA, Interfaculty Initiative in Information Studies The University of Tokyo, Japan

^{†3} ANNA YOKOKUBO, Interfaculty Initiative in Information Studies The University of Tokyo, Japan

^{†4} TAKASHI MICHIKATA, Interfaculty Initiative in Information Studies The University of Tokyo, Japan

^{†5} NOBORU KOSHIZUKA, Interfaculty Initiative in Information Studies The University of Tokyo, Japan

2. 関連研究

2.1. ウォーカブルシティの評価手法

世界各国または都市で歩行空間の評価が数多く行われている。米国 [11] やロンドン [12], メルボルン [13] では、それぞれ道路空間を評価する指標が存在している。

日本では、国土交通省は空間の居心地の良さについて、4つの要素にグルーピングし、それぞれ8項目の指標を計測するための「まちなかの居心地の良さを測る指標」[14] を使用して、現状を分析し、課題を抽出しようと試みており、この分析項目の中には通行量や通行者、滞在人数、主観的項目といった、歩行者を含めた様々な視点が入り入れられている。

2.2. 歩行空間における快適性

諸外国では、歩行空間における快適性に関する研究が行われており、その中では、歩いて目的地に到達することができるのか、交通機関同士の連携はどうか、歩道のデザインはどうかという視点から歩行空間の快適性を評価している [15, 16, 17]。また、森本ら [18] が指摘するように、国や都市ごとに政策が違い、他国と比較し、居心地の良さを重視したウォーカブルな空間の推進がなされていることが特徴的である。

そして、日本では英国の Link and Place 理論を参考に歩行空間の機能を定義し、分類評価することが多い。Link and Place 理論は、Peter Jones が提唱した理論 [19] で、街路を Link と Place の2つの軸から街路を分類し、都市街路を計画、設計するアプローチをとっている。街路を通行機能を表す Link と滞在機能を表す Place の2つの側面から道路空間の再配分を検討する。通行機能とは、人や物が移動するための機能で、公共交通・乗用車・徒歩等で目的地までの移動が行われる機能を指す。滞在機能とは、多様な活動を繰り広げる場として機能し、食べる・座るパフォーマンスを行う等の活動が行われることを指す [20]。

2.3. 空間再編シミュレーション

国土交通省の提供する3D都市モデルの PLATEAU[9] を用いた、空間再編シミュレーションの事例が存在する。例えば、渋谷区道玄坂の空間再編のイメージをVRで構築し、空間再編後の訪問意向の変化を調査した事例 [21] や、西新宿エリアを対象に歩行者行動シミュレーションを実施し、街の賑わい創出のための施策の検討や検証を支援するツールを開発した事例 [22] がある。同様の事例は他にも存在するが、歩道幅の変化によって、快適性がどの程度変化するのか評価した研究は不足している。

3. 歩行者シミュレーション

本論文では、Link and Place 理論で言及されている歩行空間の機能のうち、通行機能に着目する。歩道幅を広げることで、快適性の変化を明らかにするために2Dと3Dの2つの歩行者シミュレーションを用いる。

まず、2Dの歩行者シミュレーションでは、歩道幅の変化が歩行の自由度に与える影響を評価する。ある1つのエージェントの近傍のエージェント数が多いほど、自由に歩きづらく、歩行の快適性が低くなり、近傍のエージェント数が少ないほど、自由に歩きやすく、歩行の快適性が高くなると考えられる。次に、3DでVRヘッドセット (Meta Quest 2) を使用して、歩道幅の広さや目線の違いによって通行機能における歩行者の感じる快適性を評価する。

3.1. 実装する道路空間

歩道幅は、国土交通省の道路の移動円滑化整備ガイドライン [23] によると、「歩道等の有効幅員は、道路構造令に準じ、歩道においては、3.5メートル (歩行者交通量の多い道路) 又は2メートル (その他の道路) 以上確保すること」としている。また、道路構造令 [24] では、車道の区分にもよるが、車線の幅員は、特例を除き、2.75メートルから3.5メートルと決められている。本実験では、歩道幅が3.5メートルで車道幅が3.5メートルのときを仮定し、車道を1車線減らし、歩道幅を広げるよう道路空間の再編が行われた時、どのようなかを考える。

3.2. 歩行者

歩行者の人数密度に対して、人々がどのように感じるかの評価基準としてフルーインのサービス水準 [25] (表1) がある。この水準に基づくと、例えば東京都の大規模エリアの歩行空間の一例である池袋のサンシャイン60通りは平成29年11月25日の測定では、サービス水準Cと評価されている [26]。本実験も同様にサービス水準Cを基準として設定し、東京都の大規模都市から地方都市における空間開発および再編を想定し、基準からの現状分析と空間再編後の予測を行う。なおサービス水準Cは、歩道幅3.5メートルで長さ100メートルの歩道の場合、140人から234人が存在する状態であるが、歩道幅7メートルの幅にすることで、サービス水準は、Aに改善し得る。

表 1 歩行路のサービス水準の評価基準 [25] より引用

Table 1 Evaluation criteria for walking path service level quoted from [25]

サービス 水準	密度 (人/m ²)	歩行状況
A	0.2857	遅い人を追い抜いたり, 好きな歩行速度を自由に選択できる
B	0.2857 ~ 0.4	衝突の可能性がわずかにあり, 歩行速度やがわずかに減少する
C	0.4 ~ 0.6666	歩行速度や追い抜きなど自由度がかなり制限される 交差流や対交流の存在するところでは衝突する確率が高い
D	0.6666 ~ 1	大部分の人の歩行速度が制限され, 低下する 流れが一瞬停止してしまうこともありうる
E	1 ~ 2	すべての歩行者が自分の通常で歩けない 流れが頻繁に停止したり, 中断したりする
F	2 ~	全ての歩行者が極度に制約を受け, 前進は足でしかできない 歩行者相互の接触は頻繁に起こり避けられず交通の麻痺状態と言える

4. 実験

4.1. マルチエージェントシステムを用いた空間再編歩行者シミュレーション

4.1.1 手法

歩道幅の変化により, 近傍のエージェント数の合計を計数することにより, 歩きやすさなどの程度変化するかを定量的に評価する.

複数のエージェントが各々に適用されるルールの下, 相互作用を及ぼしあう, マルチエージェントシステム [27] を用いた. 橋本ら [28] の歩行者シミュレーションを参考に, エージェントの歩行アルゴリズムを以下のように作成し, 各フレームにおける, 各エージェントの近傍における, 進行方向別のエージェント数の合計値を定量的に評価した.

- 左右に広がる 100 メートルの一本の通路があり, 多数のエージェントがそれぞれ右もしくは左へと移動する
- エージェント同士が 1.5 メートルの距離まで近づくと方向を変え, 衝突しないように移動する

実験は, 表 2 に示した条件の下で行い, それぞれの延べエージェント数を計数した. 本実験での追従行動とは, 同じ方向に進んでいる他のエージェントに寄るということである.

4.1.2 結果

シミュレーションをした結果を図 1 に示す. あるエージェントの, 同じ方向に進む近傍の延べエージェント数は追従行動を取ると少なくなる. 同じように, あるエージェントの反対方向に進む近傍の延べエージェント数は追従行動を取ると, 少なくなる. 追従することにより近傍の延べエージェント数は減少し, スムーズな歩行が可能であるこ

表 2 マルチエージェントシステムを用いた空間再編歩行者シミュレーションの条件

Table 2 Conditions for spatial reorganization walking simulation using multi-agent system

	歩道幅	追従行動	人数	サービス水準
実験 A	3.5m	なし	150	C
実験 B	3.5m	あり	150	C
実験 C	7m	なし	150	A
実験 D	7m	あり	150	A

とが示唆された.

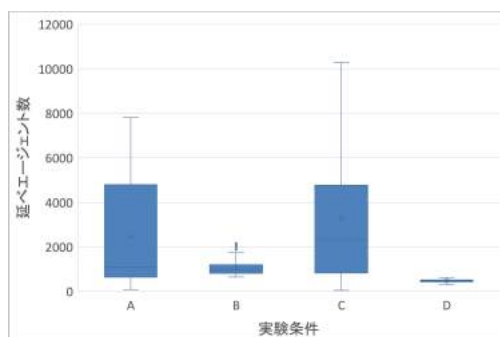
4.2. VR を用いた一人称視点での空間再編歩行者シミュレーション

4.2.1 手法

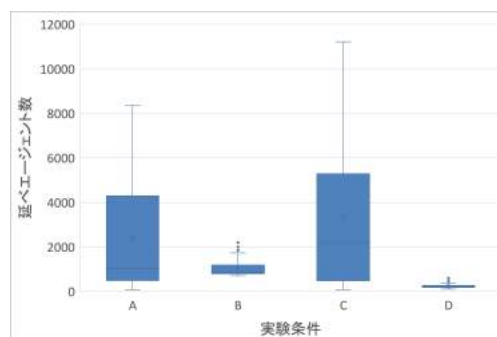
複数の条件の歩行環境を VR 上で再現し, 体験してもらうことによって, 複数の歩行環境での一人称視点での歩道空間における快適性を評価する. ゲームエンジンの Unity を用いて歩道環境を作成し, 以下のようにエージェントの歩行ルールを設定した.

- 左右に広がる 100 メートルの一本の通路があり, 多数のエージェントがそれぞれ右もしくは左へと移動する.
- Unity に搭載されているエージェントシステムである NavMeshAgent に基づき歩行する.
- 一定時間設定した範囲よりも進んでいないエージェントは, 壁と逆方向にランダムな時間移動する.

150 人のエージェントの属性の内訳は表 3 の通りである.



(a) 同じ方向に進むエージェント数の合計
(a) Total number of agents moving in the same direction



(b) 反対方向に進むエージェント数の合計
(b) Total number of agents going in the opposite direction

図1 各フレームにおける、各エージェントの近傍における、進行方向別のエージェント数の合計

Figure 1 Total number of agents in each moving direction in the vicinity of each agent in each frame

表3 VRを用いた一人称視点での空間再編歩行者の歩行者エージェントの属性

Table3 Attributes of pedestrian agents in spatial reorganization walking simulation from a first-person perspective using VR

属性	性別	割合	歩行速度 [m/s]
子供		0.064	1.21
10代	男性	0.114	1.47
	女性	0.104	1.28
20代	男性	0.114	1.5
	女性	0.104	1.35
30代	男性	0.104	1.48
	女性	0.082	1.34
40代	男性	0.095	1.46
	女性	0.058	1.33
50代	男性	0.054	1.39
	女性	0.033	1.33
60代	男性	0.032	1.28
	女性	0.017	1.20
70代以上	男性	0.009	1.28
	女性	0.014	1.2

これは、渋谷駅周辺の歩行者人口データ [29] と渋谷区の住民基本台帳人口 [30] を参考に作成した。体験の様子を図2に示す。

作成した歩道環境を表4の条件で被験者に体験してもらい、7段階評価の事後アンケートを実施した。質問項目は「気持ちよく過ごせると感じる」、「他の人との距離が不快ではないと感じる」、「自分のペースで歩ける場所だと感じる」、

表4 VRを用いた一人称視点での空間再編歩行者シミュレーションの条件

Table4 Conditions for spatial reorganization walking simulation from first-person perspective using VR

	歩道幅	目線	人数	サービス水準
実験A	3.5m	子供	150	C
実験B	3.5m	大人	150	C
実験C	7m	子供	150	A
実験D	7m	大人	150	A

「安全だと思うか」の4問であった。被験者は5人で、うち1人が30代女性、その他は20代男性である。

4.2.2 結果

アンケートの結果を図3に示す。グラフ内の色は、各項目ごとの各被験者の評価を表している。目線が大人であり、歩道幅が広くなるほどそれぞれの質問項目に対し、評価が高くなった。

共通していた感想、歩行の快適性を議論する上で特筆すべき感想を以下に示す。

- 人が周りに多い状況でも同じ方向に向かう人の列ができており、後ろについてスムーズに歩行できる場合、不快感は軽減した (5人/5人)
- 同じ歩道幅、目線の高さの違いで、歩道にいる人数の変化を感じた (4人/5人)
- 視覚的な混雑度よりも、目的地に向かってどの程度スムーズに歩行できるかが大切であると感じた (2人/5人)
- 視点が高いと、同じ距離を短く感じた
- 歩道幅が広い状況では、人々がさまざまな方向で対向

するので不快に感じるがあった

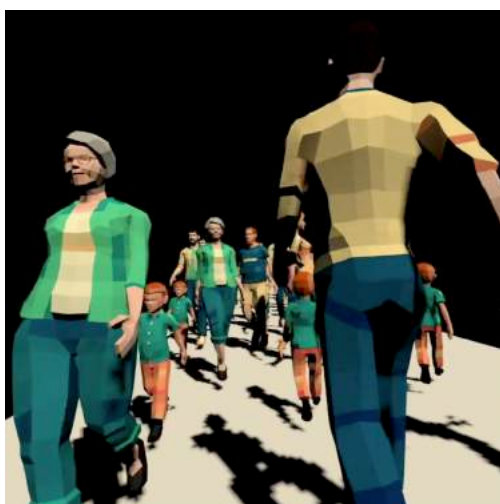
- 自分が次に歩くルート, 対抗する相手が次に歩くルートを予測しづらい時不快感を感じた

4 パターンの実験条件があり, 歩行するエージェントの数は全て同じにもかかわらず, 複数の被験者がインタビューで, 人数が変化しているように感じると答えた. これにより, 目線の違い, 歩道幅の違いにより, 同じ歩行者数でも, 視界に映る歩道の余白や人間が占める面積の違いから, このような結果となると考えられる. 体感の人数の違いは, 自由な歩行の選択や圧迫感の軽減につながると考えられるの

で, 同じ環境でも, 子供は大人よりも不快に感じる可能性があることが示唆された. インタビューの中では, そのほかに「考えずに歩きたい」という意見も見られ, エージェントの変化へ注意を配りながらの歩行にはストレスが伴うものであるということが示唆される.

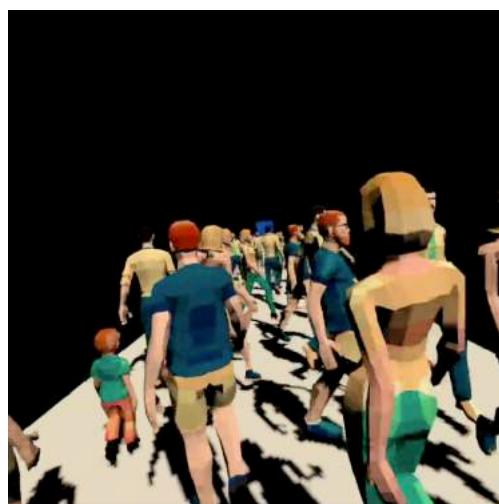
5. 考察

実験 1 より, 追従行動をとり歩道幅が広いと, 近傍するエージェントの延べ人数が実験条件の中では最も少なくなることがわかった. これにより, 歩道幅が拡張し, 追従行動



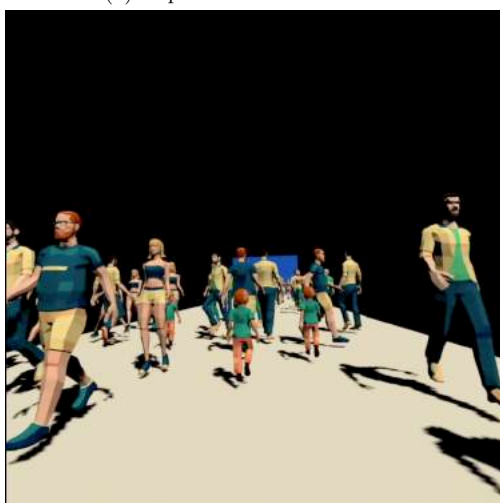
(a) 実験条件 A

(a) Experimental conditions A



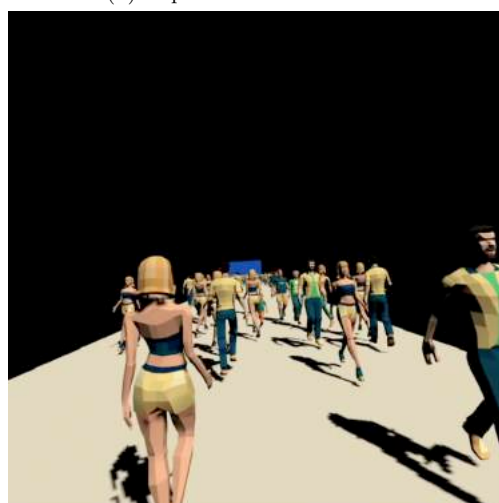
(b) 実験条件 B

(b) Experimental conditions B



(c) 実験条件 C

(c) Experimental conditions C



(d) 実験条件 D

(d) Experimental conditions D

図 2 体験の様子

Figure 2 The experience

をとるとより自由に歩行できる可能性が示唆された。また、実験 2 では、歩道幅が広い方が快適性に関する各質問項目に対する評価が高くなっていることから、一人称視点においても、歩道幅が広い方が歩行時の快適性が高いということが言える。これは、インタビューの結果を踏まえ、自分の歩行するルートが十分に確保されていること、他者と接触する機会が少なく、圧迫される感じが低減しているという、通行機能の向上と視覚効果によるものであると考えられる。

6. おわりに

本研究では、歩道での歩行者行動をマルチエージェントシステムを用いて、シミュレーションを作成し、VR を用いた一人称視点での空間再編歩行者シミュレーションを実施後被験者にアンケート調査を行い歩行環境を評価した。マ

ルチエージェントシステムを用いたシミュレーションでは、近傍の延べエージェント数は追従行動を取ると、少なくなり、快適性が向上することが示唆された。今後は追従行動や歩道幅の変化だけでなく、通行手段、個人のみならず集団、天候等を考慮した条件下での実験を実施したい。また、VR を用いた一人称視点での空間再編歩行者シミュレーションでは、歩道幅が広がるほど、目線が高くなるほど歩行の快適性が高く評価された。今後は、音や風景、都市モデル等を追加することにより、現実世界に近い状態を作成することを目指とする。これにより、持続可能な都市開発に向けて空間再編の際に、ステークホルダーを巻き込んだ、様々な観点からサイバー上での都市空間設計から合意形成を進め、都市の未来に対する可能性を検討できる。

謝辞 本研究の一部は日立東大ラボの支援を受けて実施

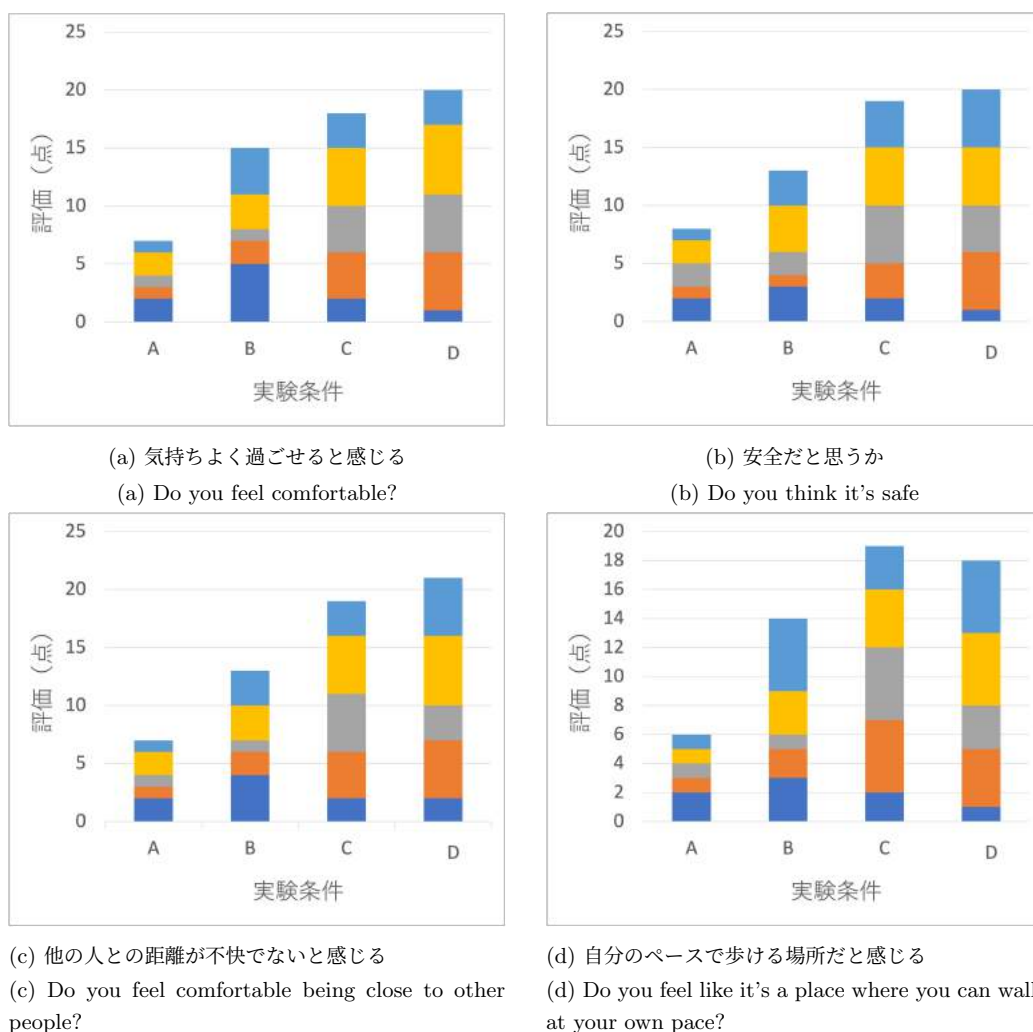


図3 アンケート結果
Figure3 Questionnaire results

した.

参考文献

- [1] 内閣府:令和 4 年版高齢社会白書(全体版)(2022). https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2022/zenbun/pdf/1s1s_04.pdf.
- [2] MAGAZINE, C. I. S.: あなたの街が好きですか?アーバンランニング(都市計画)の学士を取ろう!(2019). <https://www.mycism.jp/2019/10/11603/>.
- [3] 国土交通省都市局街路交通施設課:「居心地が良く歩きたくなるまちなか」からはじまる都市の再生~産学官の懇談会から石井大臣へ提言がなされました~(2019). https://www.mlit.go.jp/report/press/toshi05_hh_000249.html.
- [4] 国土交通省:WALKABLE POTAT ウォーカブルポータルサイト. <https://www.mlit.go.jp/toshi/walkable/>.
- [5] ソトノバ:車より人を主役に!地域のコモンスペースとして再生した道路「松山・花園町通り」(2019). <https://sotonoba.place/hanazonomachi-matsuyama>.
- [6] 国土交通省都市局街路交通施設課:ウォーカブルなまちづくり(2020). <https://www.mlit.go.jp/toshi/content/001326427.pdf>.
- [7] 国土交通省都市局街路交通施設課:官民連携による街路空間再構築・利活用の事例集~課題解決のプロセスを中心とした事例紹介~(2018). <https://www.mlit.go.jp/common/001230088.pdf>.
- [8] 総務省:デジタルツインって何? https://www.soumu.go.jp/hakusho-kids/use/economy/economy_11.html.
- [9] 国土交通省:PLATEAU, <https://www.mlit.go.jp/plateau/>(2020).
- [10] CGWORLD: なにからはじめる? デジタルツイン Powered by シリコンスタジオ 第1回: ゲームの技術が産業へもたらすインパクトと導入課題は?(2023). <https://cgworld.jp/regular/siliconstudio-1.html>.
- [11] for Transportation, I. and Policy, D.: Pedestrians First(2020). <https://pedestriansfirst.itdp.org/>.
- [12] the Roads Task Force: London's street family: Theory and case studies(2013). <https://content.tfl.gov.uk/londons-street-family-chapters-1-2.pdf>.
- [13] MELBOURNE, C. O.: WALKING PLAN 2014-2017(2014). <https://www.melbourne.vic.gov.au/SiteCollectionDocuments/walking-plan-2014-17.pdf>.
- [14] 国土交通省都市局まちづくり推進課: まちなかの居心地の良さを測る指標(案)・概要(2020). <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001336041.pdf>.
- [15] Lab, C. F.: URBAN DESIGN PERFORMANCE INDICATORS(2020). https://www.dropbox.com/s/tod4afhnfjykvsq/workshop_cityform_20sep.pdf.
- [16] Southworth, M.: Designing the Walkable City, *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 131, No. 4, pp. 246-257 (online), DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2005)131:4(246)(2005).
- [17] Isaacs, R.: The Urban Picturesque: An Aesthetic Experience of Urban Pedestrian Places, *Journal of Urban Design*, Vol. 5, No. 2, pp. 145-180 (online), DOI: 10.1080/713683961(2000).
- [18] 森本あんな, 薄井まどか, 泉山壘威, 宇崎崎勝也:ウォーカブル推進に向けた計画・事業及び指標に関する傾向, 都市計画論文集, Vol. 57, No. 3, pp. 606-613 (オンライン), DOI: 10.11361/journalcpj.57.606(2022).
- [19] Peter, J. and Boujenko, N.: 'Link' and 'Place': A new approach to street planning and design, *Road and Transport Research*, Vol. 18, pp. 38-48(2009).
- [20] 国土交通省:ストリートガイドライン 第2章 人中心のストリートを構成する要素(2020). <https://www.mlit.go.jp/toshi/content/001403589.pdf>.
- [21] パシフィックコンサルタンツ株式会社/株式会社フォーラムエイ:ウォーカブルな空間設計のためのスマート・プランニング(2022). <https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-040/>.
- [22] 株式会社構造計画研究所/大成建設株式会社:歩行者移動・回遊行動シミュレーション(2022). <https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-023/>.
- [23] 国土交通省:国土交通省の道路の移動円滑化整備ガイドライン. <https://www.mlit.go.jp/road/sign/data/chap2.pdf>.
- [24] GOV 法令検索:昭和四十五年政令第三百二十号道路構造令(2020). <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=345C00000000320>.
- [25] J.J. フルーン:歩行の空間=理論とデザイン=, 鹿島研究所出版会(1974).
- [26] 豊島区 都市整備部都市計画課:第5回交通検討部会資料【池袋副都心交通戦略の更新】(2020). <https://www.city.toshima.lg.jp/550/documents/senryakukoushin01.pdf>.
- [27] 構造計画研究所:MAS とは? <https://mas.kke.co.jp/about/>.
- [28] 橋本洋志, 牧野浩二, 佐々木智典:Python 意思決定の数理入門, オーム社(2022).
- [29] AMBL 株式会社:駅レポート-駅周辺「歩行者」レポート-. <https://lan1.jp/assets/img/sample.pdf>.
- [30] 渋谷区:年齢(5歳階級)別男女別人口(平成4年~令和5年). https://www.city.shibuya.tokyo.jp/kusei/tokei_shibuya/nemrei_danjyo_betsu_jimko/renrei_danjyo_betsu_jimko.html.

製造業における DX 対象の特定と推進のための DX ロードマッピングフレームワークの開発

磯田祐世^{†1}
株式会社 UACJ

野々村真誉^{†2}
株式会社 UACJ

山本佑樹^{†3}
株式会社 UACJ

1. はじめに

DX は行動変容の一つの形態と捉えることができるが、どのような変容を目指すべきかが大きな議題である。特に重要なのが、変容を想像・創造する力(=リテラシー)で、DX リテラシー向上に関する施策として、DX 教育を実践してきた(独自開発したデータ活用実習コンテンツを使用)。その効果として、一定の受講者に 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[1]。一方で、この変容を最大限に活かすには、製造プロセス・業務において適切な DX(=付加価値を生む)対象を特定し、DX 推進の道筋を示すリテラシーが必要であるが、DX 推進における課題がいくつかある。この DX 推進活動における課題を図 1 に示す。

1 つ目は、足元のデジタル化に終始し、DX の X に視点が向いていない課題である。国内製造業一般における DX の捉え方という意味で、DX は主に生産性向上に焦点を当てており、(株) UACJ もその例に漏れない。その主な要因は、(株) UACJ が設備産業であり、決められたものを効率良く製造することが求められてきたことにある。しかし、VUCA の時代において、生産性向上だけが収益向上や付加価値の創出に繋がるわけではない[2]。

2 つ目は、X が抽象的なもので自分事にならない課題である。X が自分事にならないことは、未来(DX の X)を見通せない/現実味を持っていないことである。これは、未来の自分を他人のように見てしまう脳科学的な現象によって説明できる。Hal Hershfield 氏は、現在と未来について考えている時の脳の活動を調査している[3]。調査の結果、未来について考えている時には、脳の内側前頭前皮質と前帯状皮質という領域が活発になり、これらの領域は他人について考える時にも働くことがわかった。つまり、人間は未来の自分を他人のように見ており、それが意志決定に影響を与えているということである。

3 つ目は、DX で目指すべきビジネス変革への道筋が見えない課題である。足元の興味に対して、将来の姿との関連性が見えなければ足元と将来とのつながりが見えない。

これらの現状を考慮すると、DX 推進には適切な DX 対象を特定し、さらにその X に共感し、X に向かう道筋を合理的に示すフレームワークを構築することがまずは必要であ

ると考え、DX ロードマップを作成するフレームワークを考案した。本報告では、フレームワークを用いて作成したロードマップと参加者が持つトピックスとの関係をネットワーク分析により定量評価し、DX ロードマップの作成に必要な条件を明らかにしたため、その結果について報告する。

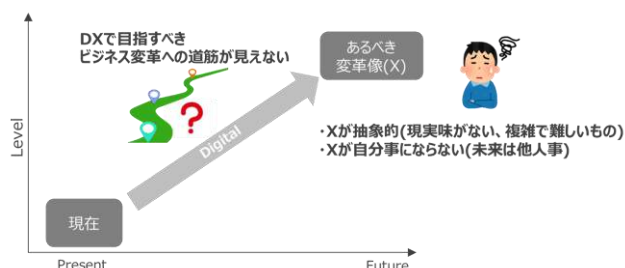


図 1 DX 推進における課題

Figure1 Issues in DX promotion.

2. DX 推進に向けたフレームワークの提案と定量評価方法

2.1 フレームワーク設計

DX ロードマップとは、現在から X までの変革のプロセスを時系列に沿って表現したものであり、各ステップには、デジタル技術の活用方法や変革の成果などをスローガンとして記述する。DX ロードマップを作成することで、X を具体的にイメージしやすくなり、X に対する興味やモチベーションが高まると期待される。DX ロードマップを作成するフレームワークは、図 2 に示すように、特定ドメイン(さまざまな現場)の足元の興味を具体的に引き出し、この足元の興味と技術シーズを掛け合わせ、DX 対象を明確にする手法であり、以下の 4 つのステップから構成される。

① web フォームを用いたドメイン情報の事前収集

ドメイン(さまざまな現場)に対して、web フォームを用いて事前アンケートを実施する。このアンケートでは、ドメインが感じている困りごとや将来目指したい姿について調査する。

② 本質的課題を抽出

事前アンケートで抽出した内容を抽象化し、カテゴリ別に分類する。この分類の目的は、ドメインの本質的な課題を明らかにし、DX の方向性を探ることである。

③ DX 対象アイテムの生成

抽象化された足元課題と技術シーズを掛け合わせ、DX

Measures to foster literacy for DX promotion in the manufacturing industry

^{†1} YUSEI ISODA, UACJ Corporation

^{†2} NONOMURA MINORI, UACJ Corporation

^{†3} YUKI YAMAMOTO, UACJ Corporation

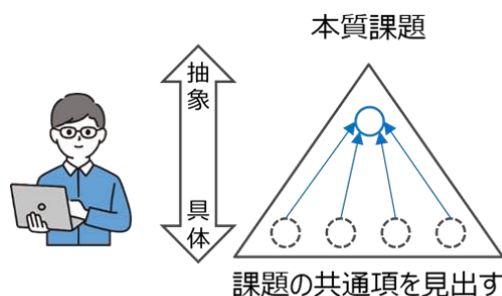
対象を明確にし、ChatGPT を用いて現状からあるべき変革像までの過程で達成したい状態や要素技術・アクションプランを作成する。ChatGPT を用いることで、DX 対象に対するスローガンを自動的に生成することができる。

④ DX 対象アイテム群をロードマッピング

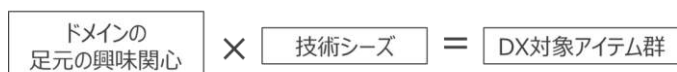
生成した DX 対象アイテム群をロードマップにまとめる。ロードマップでは、DX 対象アイテムの優先度や実現可能性をドメインとともに評価し、短期的・中期的・長期的な目標を設定する。

(a)

(b)



(c)



(d)

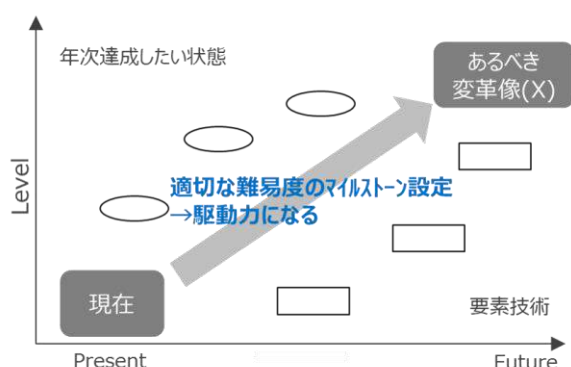


図 2 DX ロードマッピングフレームワークの流れ

(a)web フォーム(ドメイン情報の事前収集), (b)本質的課題を抽出, (c) DX 対象アイテムを生成(DX により目指す姿), (d) DX 対象アイテム群をロードマッピング

Figure2 Flow of the DX load mapping framework.

(a) Pre-collection of domain information using web forms,

(b) Identifying essential issues,(c) Set a goal as a result of DX,(d)

Load mapping of a group of DX target items

2.2 フレームワークを用いた実践

DX ロードマッピングフレームワークを用いたワークショップを製造オペレーター14 名を対象に実施した。ロードマップ作成対象は、ニーズの最も高い帳票電子化とした。ワークショップ実施後、事後アンケートで DX に対する意識の変化を調査した。

2.3 ネットワーク分析を用いたロードマップの定量評価方法

DX ロードマッピングフレームワークによって作成したロードマップは、ドメインへのヒアリングによって得られた足元の興味関心に技術シーズを掛け合わせて作成している。このとき、ドメインである製造オペレーターの興味関心とロードマップの内容がどのような関係性を持つか把握するため、ネットワーク分析を行った。ネットワーク分析とは、あるトピックスに関する文章の類似度や単語の出現率などを計算し、文章間の関係性や重要性を可視化する手法である。

① 分析対象

表 1 に分析対象を示す。今回作成したロードマップに加えて、比較対象として従来の足元課題の積み上げであるべき姿を描く Forwardcasting ロードマップとあるべき姿から逆算して現在に向かって道筋を描く Backwardcasting ロードマップをそれぞれ用意した。DX ロードマッピングフレームワークによって作成したロードマップは、足元課題を推進しながら将来のあるべき姿をイメージし、両者を接続する Hybrid 型のロードマップである。Backwardcasting ロードマップは、IT インフラ企業が掲げているデジタル倫理の普及に関するものである。一方で、Forwardcasting ロードマップは、(株) UACJ が作成したロードマップを Forwardcasting で作成したものである。

表 1 分析対象となるロードマップ概要

Table1 Overview of the roadmap to be analyzed.

ロードマップの種類	概要
Hybrid(UACJ)	DXロードマッピングフレームワークを元に作成した帳票電子化に関するロードマップである。ドメインの足元の興味を引き出し、これらと先進技術シーズを掛け合わせることで将来に向けたDX対象を明確にしている。
Backwardcasting	ITインフラ会社が掲げているデジタル倫理の普及に関するロードマップである。
Forwardcasting	帳票電子化のロードマップをForwardcastingで作成したものである。

② エンティティの定義とデータ収集

- 各 DX 対象アイテムとドメインの興味関心を構成する単語をそれぞれエンティティとした。エンティティは、ドメインが持つ既知のトピックスである基準語と、ドメインにとって未知のトピックスである非基準語

に分類した。基準語は、ドメインの興味関心に含まれる単語であり、非基準語は、DX 対象アイテムに含まれる単語である。

- 各エンティティに対応する Wikipedia の記事を取得してテキストデータとした。Wikipedia の記事は、エンティティの一般的な知識や背景を提供する信頼できる情報源と考えた。次に、MeCab を用いて、テキストデータを単語に分割し単語のリストを作成した
- 単語のリストから word2vec モデルを作成した。word2vec モデルは、単語の意味や文脈を考慮して、単語を数値のベクトルに変換することができるモデルである[4]。このモデルを用いて、各エンティティをベクトルに変換した。

③ ネットワーク可視化方法

各エンティティの関係性を可視化するために、networkx というライブラリを用いた。networkx は、ノードとエッジで構成されるグラフを作成し、分析や描画を行うことができるライブラリである。まず、各エンティティをノード、エンティティ間の関連度をエッジの重みとしてノード間を結びつける。関連度は、エンティティの出現回数をカウントする方法を採用しており、あるエンティティの記事に別のエンティティが含まれる回数のことである。例えば、日本の記事に中国が含まれる回数や、中国の記事に日本が含まれる回数をカウントし、これらのカウントの平均を関連度として定義した。このような方法で関連度を計算した。また、エッジの重みに逆比例するように、エッジの長さを設定した。これにより、関連度が高いエンティティは近くに、関連度が低いエンティティは遠くに配置されるようになった。さらに、閾値を設定して、関連度が低すぎるエンティティ間のエッジを削除した。これにより、ネットワークの見やすさを向上させた。

④ 評価方法

● 中心性

ネットワークにおける重要なノードを測る指標として、次数中心性評価を用いた。次数中心性評価は、ネットワークの構造やノードの特徴を表す指標の一つであり、ノードが持つエッジの数に基づいて、ノードの中心性を計算する方法である。エッジの数が多いほど、ノードはネットワークの中で中心的な役割を果たしていると考えられる。

● 基準語の含有率

ドメインである製造オペレーターの興味関心とロードマップの内容との関係性を把握するため、ロードマップの各スローガン(施策)内に含まれる基準語の含有率を算出した。具体的には、スローガンを構成する全単語数に対するロードマップスローガン内の基準語数の割合を含有率とした。

● 類似度

ネットワークにおけるエンティティ間の類似性を測る指標として、コサイン類似度を用いた。コサイン類似度とは、ベクトルのなす角の余弦をとることで、ベクトルの方向の近さを測ることができる指標である。コサイン類似度は-1 から 1 の値をとり、1 に近いほど類似度が高いことを示す。今回は、ロードマップの各スローガンに基準語と類似度の高い(コサイン類似度 0.7 以上)非基準語がどれくらい含有しているか算出した。

3. 結果と考察

3.1 フレームワークの実践結果

① DX ロードマッピングフレームワーク結果

フレームワークによってできた DX ロードマップは表 2 の通りである。これは、足元課題である帳票の電子化について、電子化によって情報へのアクセシビリティ向上・ストレスフリーな職場を目指すためのロードマップであり、時系列ごとに達成したい状態と要素技術を設定している。

表 2 フレームワークにて作成した DX ロードマップ
Table2 Roadmap on DX created using the framework.

No	ロードマップフレーズ(施策)
1	帳票形式の依頼表の多さに対処するため、日常点検と点検票の印刷、依頼情報を電子化する
2	機械のトリセツをデジタル化し、パーツの図面と設備の資料を電子形式で整備する
3	設備の保守を強化し、劣化アラートと更新履歴の確認を自動化する
4	点検票・依頼表のデジタル化を進め、入力していない項目のアラートや誤入力の修正にフォーカスする
5	タスク割り当ての自動化とタスクの優先順位設定の自動化を実現する
6	集合知の形成を目指し、経験知を蓄積しやすい環境を整備する
7	パーソナライゼーションされた情報閲覧システムの構築する
8	帳票をデジタル化し、情報にどこでも誰でもアクセスできる効率的でストレスフリーな職場を確立する

② ワークショップに対する受講者アンケート

事後アンケートを実施し、DX に対する意識の変化などを評価した(図 3)。以下の通り、ワークショップは、参加者のデジタル技術への興味関心を高めた。また、ワークショップ実施前に比べ、DX 後の姿を想像するのに一定の効果があったことから、DX による未来の姿への共感を引きだせたことが示唆される。

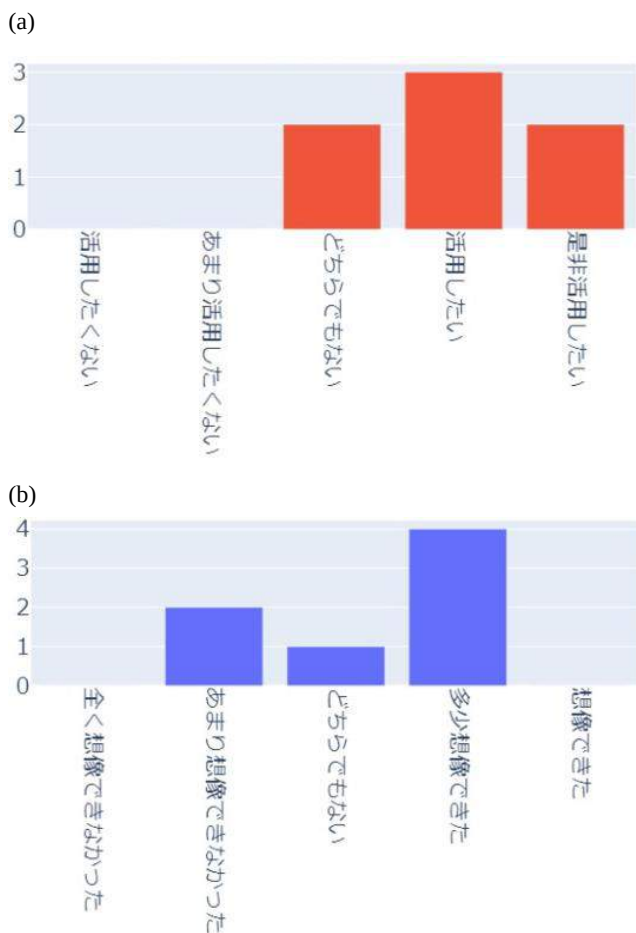


図3 ワークショップに対する参加者の事後アンケート
(a)デジタル技術を活用してみたくなったか、(b)DX後の姿を想像できたか

Figure 3 Results of participants' post-workshop questionnaire on DX.

(a) whether they are interested in using digital technology,

(b) whether or not they could imagine what they would look like after achieving DX

3.2 ネットワーク分析による考察

ドメインの足元の興味関心／課題に対応する技術シーズを、ドメインが理解しやすい言葉でロードマップスローガンとして提示することで、ドメインの興味や共感を引き出せると考えた。そこで、ドメインの興味関心と表1に示す3種類のロードマップ内容との関係を定量評価し比較した。

① ネットワークの可視化と中心性

ロードマップスローガンを構成する基準語と非基準語との関係を示すネットワークを可視化した。具体例として Hybrid ロードマップのネットワークを図 4 に示す。また、次数中心性の高いノード上位 10 を図 5、各ロードマップにおける次数中心性の高いノードにおいて基準語／非基準語が占める割合を表 3 に示す。

図 5, 表 3 より, 次数中心性の高いノードの 60%が基

準語に関連している。これらの基準語は非基準語とエッジで結ばれており、ネットワーク内での情報の伝播やつながりが基準語に集中していることを示唆する。例えば、帳票電子化が基準語として位置づけられており、これがデジタル化や情報など非基準語と関連してネットワークが発展している可能性がある。これは、パーコレーションモデルにおけるクラスターの形成に類似しており、基準語がネットワーク内で情報や概念の拡散を促進していることを示唆している[5]。

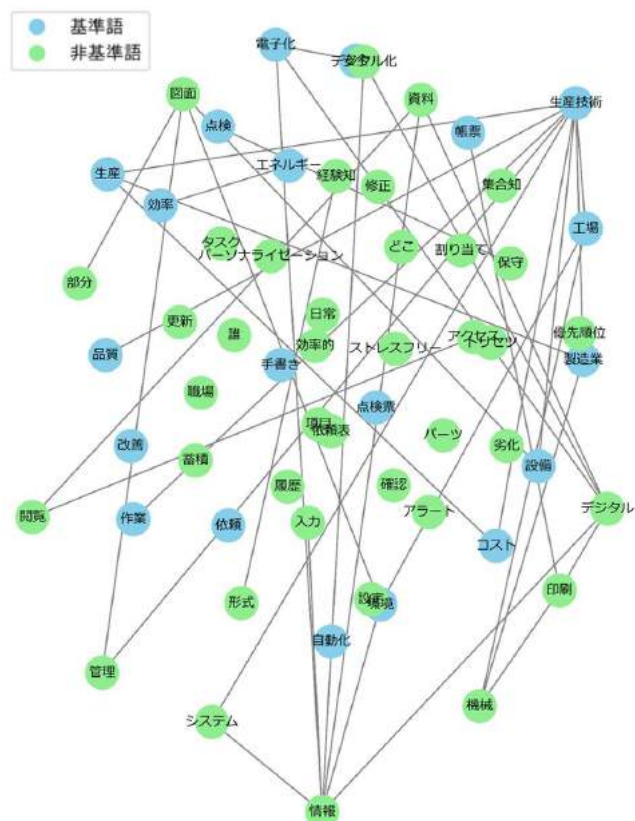


図 4 Hybrid ロードマップのネットワーク

Figure 4 Network diagram for Hybrid type roadmap.

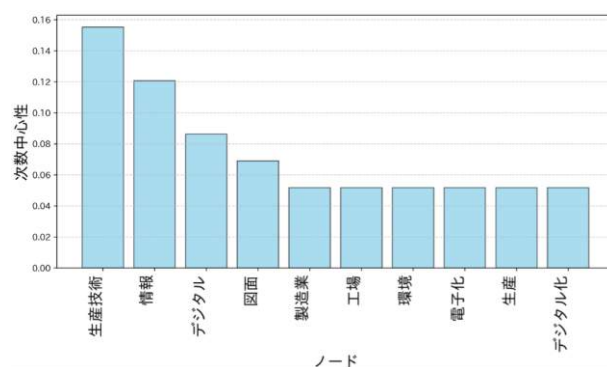


図5 UACJのロードマップにおける次数中心性の高いノード

Figure 5 Highly order-centric nodes in the UACJ roadmap.

表3 各ロードマップにおける回数中心性の
基準語／非基準語の比率

Table 3 Ratio of familiar to unfamiliar words in each
roadmap.

ロードマップの種類	基準語	非基準語
Hybrid(UACJ)	60%	40%
Backwardcasting	30%	70%
Forwardcasting	50%	50%

② ロードマップスローガンにおける基準語の含有率

図6にロードマップスローガンにおける基準語の含有率を示す。

- Hybrid型(UACJ)およびForwardcastingロードマップいずれもスローガン内に基準語を含有している。Hybrid型については、ロードマップ時系列が現状に近いところでは基準語を含有しているものの時系列が進むにつれて含有率が減少している。これに対し、Forwardcasting型は高い含有率である。
- Backwardcastingロードマップは、いずれのスローガンにおいても基準語の含有率は0%である。

③ ロードマップスローガンにおける類似度の高い非基準語の含有率

図7にロードマップスローガンにおける基準語と類似度の高い非基準語の含有率を示す。

各ロードマップいずれにおいても、ロードマップスローガンは基準語と類似性のある非基準語を含んでおり、これらがロードマップのスローガンとして時系列ごとに配置されている。

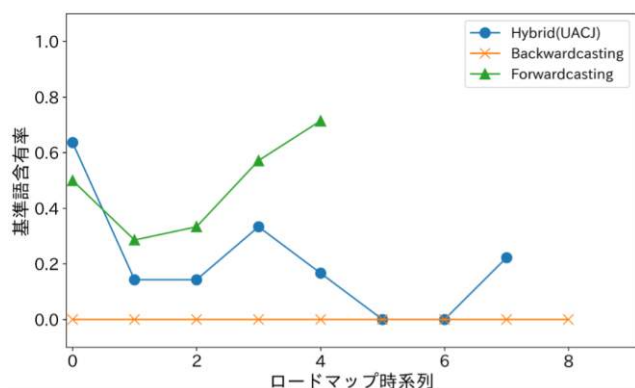


図6 ロードマップスローガンにおける基準語の含有率
Figure 6 Change in inclusion of familiar words within roadmap slogans.

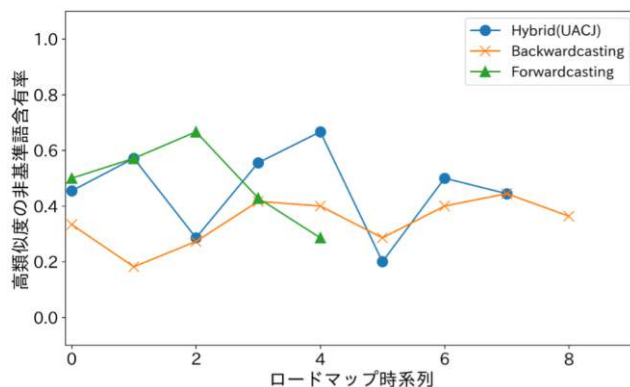


図7 ロードマップスローガンにおける類似度の高い
非基準語の含有率

Figure 7 Percentage of words with high similarity to familiar words within the roadmap slogan.

ドメインからデジタル技術に対する興味とDXによる未来の姿への共感を引き出したのはフレームワークによって作成したHybrid型のロードマップである。①～③の結果を整理したものを表4に示す。これより、以下の条件を満たしたロードマップが必要と考えられる。

- 基準語がロードマップの各スローガンに入っている。
- 各スローガンのワードは基準語と類似性がある。
- ロードマップのスローガン(各施策)は、自分の知識や能力を拡張しようというモチベーションが生まれるように段階的にレベル感を上げるよう設定すること。

表4 各ロードマップに対する分析結果

Table 4 Analysis results for each roadmap.

ロードマップの種類	ロードマップに対するドメインの印象	重要ノード(中心性)	基準語含有率	類似度の高い非基準語含有率
Hybrid(UACJ)	興味向上 未来へ共感	基準語	約60%から徐々に減少	ロードマップ内に基準語に対して類似度の高い非基準語を一定量含む
Backwardcasting	未来を想像できない	非基準語	なし	
Forwardcasting	興味はあるが未来への期待感は低い	基準語 非基準語	約50%から増加、高いところを推移	

上記の条件を満たすロードマップであれば、デジタル技術に対する興味とDXによる未来の姿への共感を引き出すことができると一般的に共感／腹落ちする・モチベーションがあがる内容だと感じる可能性が高いと考えられる。その理由は、以下のように説明できる。

- ロードマップスローガンの中に基準語を含むと、基準語はドメインが持つ既知のトピックスのため、スローガンに対するドメインの興味をひくことができると考えられる。
- ロードマップスローガンが基準語と類似性があるということは、基準語とロードマップスローガンの間に一定の共通点や特徴が存在することを示唆している。このような違う事柄のなかから双方の類似点を見いだす思考法をアナロジー思考と呼ぶ[6]。これによって、ドメインは基準語をもとにして、ロードマップスローガンを連想しやすくなると考えられる。
- ロードマップのスローガン(各施策)を時系列で追って

いくと、そこに含まれる基準語が段階的に減少していく(図 8)。これはロードマップの各施策を時系列で見えていくと、そのレベル感が段階的に向上していることに起因する。これにより、足元に近いロードマップはイメージできるが、遠い未来のロードマップのイメージが難しくなってくる。しかし、段階的にレベルの向上するロードマップ施策を達成することに対するモチベーションや未来の姿への期待感が生まれると考えられる。この基準語含有率とロードマップ達成に必要な成長レベルの関係を図 9 に示す。これは、自己能力の向上や困難な課題への挑戦、そして成功の達成を求める欲求、具体的にはマクレランドの欲求理論における達成欲求に該当すると考えられる[7]。Hybrid 型のロードマップは適度な難易度を備えた課題に向かうことで積極的な姿勢が発揮されるロードマップである。ロードマップ各施策のレベルを時系列的に進むにつれて段階的に向上させることで、ロードマップに対する共感や意欲を喚起する効果が期待される。

- **Forwardcasting** ロードマップは Hybrid ロードマップと同様に基準語がスローガンに含まれ、かつスローガン内のワードが基準語と類似性があるにも関わらず、ロードマップに対する共感や意欲が得られないことが明らかとなった。これは、ロードマップ各施策のレベル感が変わっていないことを示唆し、同じレベル感の事柄に取り組むことでマンネリが生じる可能性を示している。
- **Backwardcasting** ロードマップは、スローガン内に基準語が一切含まれていないことが分かる。スローガン内の単語は基準語との類似性があるものの、基準語そのものが含まれないため、ドメインからスローガンに対する興味を引き出すのが難しいと考えられる。

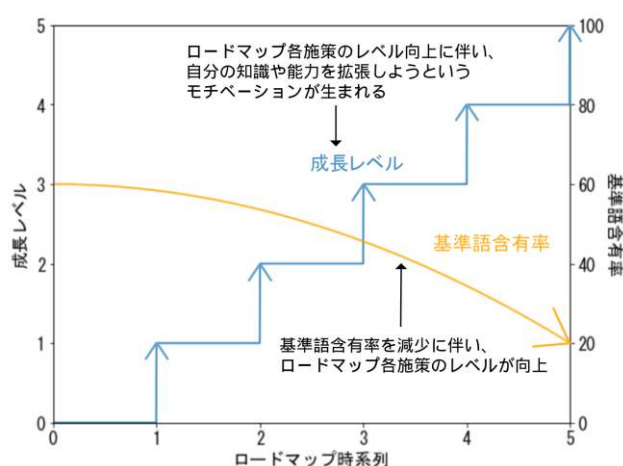


図 9 基準語含有率とロードマップ達成に必要な成長レベルの関係

Figure 9 Relationship between the inclusion of familiar terms in the roadmap and the level of growth required to achieve the roadmap.

4. まとめ

DX ロードマップを作成するフレームワークを考案し、このフレームワークを用いたワークショップを実施したところ、参加者である製造オペレーターからデジタル技術に対する興味と DX による未来の姿への共感を引き出すことができた。このようなロードマップとなる条件をネットワーク分析したところ、以下の結果を得られた。

- ロードマップ時系列が現状に近いところの各スローガンには、ドメインの持つ基準語を含めること。基準語はドメインが既に知っているトピックスであり、ロードマップに対する興味をひく効果があると考えられる。
- ロードマップの各スローガンのワードは、基準語と類似性があること。アナロジー思考が働くことによって、ドメインは基準語をもとにして、ロードマップスローガンを連想しやすくなると考えられる。
- ロードマップの各スローガンは、時系列に沿って段階的にレベル感を上げるように設定すること。レベル感が上がると、ドメインが自分の知識や能力を拡張しようというモチベーションや未来の姿への期待感が生まれると考えられる。これは、達成欲求という欲求理論に基づくと考えられる。

以上の条件を満たすロードマップは、Hybrid 型のロードマップと呼んでいる。Hybrid 型のロードマップは、Forwardcasting 型と Backwardcasting 型のロードマップと比較して、ドメインからの共感や意欲を喚起する効果が高いことがフレームワークの活用によって示された。

今後の課題としては、考案した方法の汎用性や応用性を検証すること、ロードマップの作成における基準語の選択方法やスローガンの生成方法をさらに改善すること、ロードマップの実行や評価に関する支援方法を検討していく。

参考文献

- [1] 磯田祐世,浅田勝義,山本佑樹. 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: 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.2023,94-97
- [2] 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 2023-12-4)
- [3] Opar, A. (2014, January 10). Why we procrastinate. Nautilus.
- [4] Tomas Mikolov, Kai Chen, G. Corrado, and J. Dean. 2013. Efficient estimation of word representations in vector space. In Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR'13).
- [5] 久貝壽之,加藤孝明,小出治,バーコレーション理論に基づいた地区レベル道路網の防災性能評価に関する基礎研究:日本建築学会計画系論文集.2001,No549,231-237.
- [6] 細谷功.アナロジー思考 「構造」 と 「関係性」 を見抜く一. 東洋経済新報社,2011.
- [7] David McClelland, John Atkinson, Russell Clark, Edgar Lowell: The achievement motive, Appleton-Century-Crofts(1953)

分散型多人数教育におけるコミュニケーションの 困難さに対する非言語情報獲得技術の適用

野々村真誉^{†1} 磯田祐世^{†2} 山本佑樹^{†3}
株式会社 UACJ^{†1} 株式会社 UACJ^{†2} 株式会社 UACJ^{†3}

1. はじめに

情報技術の発展が目覚ましい第四次産業革命 (forth industrial revolution, 4IR) の時代を背景に, (株)UACJ でも産業 IoT の活用を含む DX(Digital Transformation)を推進している. DX の推進にあたっては従業員が自身の業務内容に基づいた DX リテラシーを身に付け, "digital-ready"で業務を行う力が求められるが, 実際には当社はまだそのような状態に至っていない. そこで従業員の DX リテラシー向上施策の 1 つとして, データ活用を主眼においた教育(以下この教育を研修と呼称する)の実施を昨年度より開始した.

昨年度は当該教育の第一歩として DX リテラシーに対する思考がニュートラルと考えられる当社総合職 1 年目社員 9 名を対象に研修が実施された. 昨年度の研修は受講者と講師 (1 名)・チューター (3 名) が 1 つの会議室に一堂に会する形式で実施した. 一方で今年度は当社総合職 1 年目社員 44 名 (一部 2 年目以上の社員含む) を対象とし, 東京・名古屋・福井の 3 拠点に分けて研修を実施した. 講師は名古屋で講義を行い, 東京・福井の拠点はチューターを各 1 名配置したものの講義は Zoom を介しての遠隔受講とした.

オンラインプラットフォームなどを通じて提供されるオンデマンド教育とは異なり, 講師・チューターと受講者がコミュニケーション可能な形式の教育では, 受講者の表情や反応に応じて講師・チューターが話し方や話す内容を変えるなど, 受講者の反応をリアルタイムに教育にフィードバックすることで教育効果を高めることが可能である. しかし当該の教育における教育効果の向上には, 言語情報のやり取り (verbal communication) と非言語情報のやり取り (non-verbal communication) が会話者間で双方向に行えるというコミュニケーションが成立する環境 [1, 2] が整っていることが前提とされることが考えられる (図 1). 昨年度の研修では受講者人数が少なく, Zoom などの遠隔講義を含まない研修であったことにより, 上記の環境を整えることが可能であった. 一方で今年度の研修では, 受講者人数の増加や Zoom を介した遠隔での研修の実施により, とりわけ表情やリアクションといった非言語情報をリアルタイムに講師・チューターが把握することが困難である可能性があった (図 2).

メラビアンの法則のよると, 人間のコミュニケーションでは, 言語情報が 7%, 聴覚情報が 38%, 視覚情報が 55% の割合で印象に影響を与えている [3]. そのため非言語情報の把握が困難であるままでは, 研修の教育効果が低減する可能性があった. そこで今年度の研修では非言語情報の中でも視覚情報の 1 つである表情やリアクションをリアルタイムに取得し, 取得したリアクションに対して講師・チューターが研修内でフィードバックを行うことで双方向にコミュニケーションを行い, コミュニケーションを活性化することを試みた. この取り組みの一部を紹介する.



図 1 整ったコミュニケーション環境
Figure1 Well-organized communication environment.

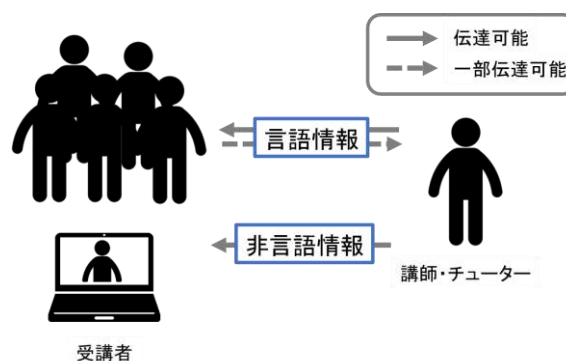


図 2 遠隔講義を含む多人数教育における
コミュニケーションの課題

Figure2 Communication issues in education for a large number
of students, including remote lectures.

2. 非言語情報獲得技術の構築

2.1 非言語情報獲得手法の選定

表情やリアクションをリアルタイムに収集する方法としては, Web アプリを介しての収集手法や IoT の一種である生体センシングを用いた感情の推定手法などが考えられる. 生体センシングでは例えば心拍数を介して集中度合いなど

Application of non-verbal information acquisition technology to communication
difficulties in multi-location, multi-person education
^{†1} NONOMURA MINORI, UACJ Corporation
^{†2} YUSEI ISODA, UACJ Corporation
^{†3} YUKI YAMAMOTO, UACJ Corporation

を推定できるが、常にセンシングされているという監視意識によって心理的安全性が低下する可能性が考えられる。また、センシングは受講者に合意を得た上で行う必要があるなど実装においても障壁がある。以上のことを勘案し、Web アプリを介して表情やリアクションを収集することとした。Web アプリを介して表情やリアクションを収集する方法としては今の感情を一言で回答してもらう形式(記述式)や、今の感情に近いボタンを押してもらう手法(ボタン式)が考えられる。この2つの手法のメリットとデメリットを表1にまとめた。

表1 Web アプリを介した非言語情報獲得手法の比較
Table1 Comparison of non-verbal information acquisition methods via web apps.

手法	メリット	デメリット
記述式	自分の感情を自由に表現可能	文章を書く必要がありインタラクションコストが高い
ボタン式	押すだけのためインタラクションコストが低い	感情の種類がボタンの数に制限される

1項で述べたように本アプリの目的は「表情やリアクションをリアルタイムに取得し、取得したリアクションに応じて講師・チューターが研修内でフィードバックを行うこと」であり、リアクションへのフィードバックのためにはまず受講者にリアクションを表現してもらうことが必要である。そこで、受講者側からのアクションを引き出しやすくなるため、インタラクションコスト[4, 5]の低いボタン式を選択した。

2.2 非言語情報獲得のためのボタン式の Web アプリ

表情・リアクションを収集するための Web アプリ(以下、リアクション収集アプリと呼称する)のシステムの概要を図3に示した。

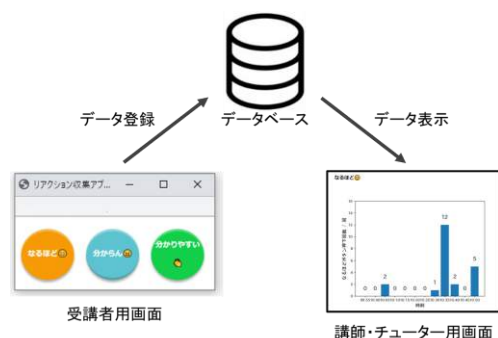


図3 リアクション収集アプリのシステムの概要

Figure3 Schematic diagram of reaction collection application.

リアクション収集アプリは図3のように受講者用のページと講師・チューター用のページに分かれており、それらがデータベースを介して接続されている。まず受講者用画面は、「なるほど」、「分かん」、「分かりやすい」の3種類のボタンで構成されており、ボタンが押される度にボタンの押された日時と押されたボタンの種類がデータベースに保存される仕様になっている。リアクション収集アプリはリアクションから受講者の理解度に応じて講師・チューターが研修にフィードバックを行うことが目的であるため、受講者が「分かった」と感じているか、「分からない」と感じているかを研修内で即座に把握できる必要がある。そのため、分かっているのか否かを判別しづらい「どちらかと言えば分かる(分からない)」や「どちらとも言えない」といった曖昧な選択肢は用意せず、理解度を即座に確実に把握できる「なるほど」「分かん」の2つのボタンを用意した。また、副次的な効果としてリアクション収集アプリが講師・チューター側のモチベーション向上にも寄与できるように「分かりやすい」ボタンも用意した。その他、各ボタンを実装するにあたって計画時点で狙った効果を表2にまとめた。表2においては期待される効果のうち研修内でフィードバックとして期待される効果を「期待される効果①」に、当日の研修以降(例えば次年度の研修)に期待される効果を「期待される効果②」に整理している。

表2 ボタンの種類と期待される効果

Table2 Types of buttons and expected effects of each button.

ボタンの種類	期待される効果①	期待される効果②
なるほど	- 理解度を測る指標にできる - ボタンクリックにより講師・チューターのモチベーション向上が期待される	- よく押された分野は以降の研修でのフォローの必要性が低いと分かる - よく押された分野は次年度の研修で同様の教示内容でよいと分かる
分かん	- 理解度を測る指標にできる - 研修時に補足説明を入れられる - 研修時にリアルタイムに質問を募る対応が取れる	- よく押された分野は以降の研修で復習などの形でフォローを行う必要があると分かる - 次年度以降の研修時の難易度設計の参考にできる - よく押された分野は次年度の研修で教示内容の改善が必要と分かる
分かりやすい	- 講師・チューターの研修時のモチベーションを向上させられる - 研修時に適切なフォローが行えたかの指標にできる	どのような教え方だと受講者に伝わりやすいかの参考にできる

次に講師・チューター用画面では、各ボタンが押された回数を棒グラフで閲覧できるようになっている。棒グラフはデータベースに保存されたデータを基に出力され、ページ内では過去 60 分のデータが 5 分間隔の棒グラフとして閲覧できる。この棒グラフは 3 分ごとに自動で最新の情報に更新されるため、3 分粒度のリアルタイムで受講者のリアクションを講師・チューターが把握できるようになっている。このことから、3 分粒度ではあるが講師・チューターがリアルタイムに受講者のリアクションを把握することが可能になった。

3. Web アプリの利用率向上に向けた施策

3.1 原因の検討と改善手法

研修は全 12 回に分けて行われたが、その第 1 回からリアクション収集アプリの運用を開始した。しかし、ただ講師・チューターがボタンクリックを促すだけでは、促した際の少数のボタンクリック以外の自発的なボタンクリックが生じないという課題が第 1～4 回の研修での運用を経て明らかとなった。ボタンクリックによりリアクションが収集でき、そのリアクションに応じて講師・チューターが研修にフィードバックを行って初めて受講者と講師・チューターのコミュニケーションが成立し、リアクション収集アプリが目的の効果を果たすことができるため、まずはボタンを押してもらうための工夫を行うことが必要であった。そこで第 5 回の研修時に施策を講じ、ボタンクリック回数の増加を図った。施策を講じるに当たり、まずはボタンクリック回数が少ない理由として考えられるものを下記のように洗い出した。

- Web ページとして提供していた研修用のテキストとアプリの URL が分かれていたためテキストに集中するとアプリの存在を忘れてしまう
- 研修のテキストとアプリ間の URL の遷移が面倒なためアプリを利用しない
- ボタンを押すことへのメリットを感じていない

上記が原因であるという仮説に基づき、まず「研修用のテキストとアプリの URL が分かれていたためテキストに集中するとアプリの存在を忘れてしまう」という点についてはナッジの活用で解決を図った。具体的には図 4 に示すように研修のテキスト内にアプリの UI を適宜差し込み、アプリの UI を受講者の目に入れることでアプリの存在を想起させた。また、アプリの UI をリアクション収集アプリへのリンクとすることで、アプリへの遷移を簡便にし、「研修のテキストとアプリ間の遷移が面倒なためアプリを利用しない」という点についてもまとめて解決を図った。



図 4 アプリ利用률向上のためのナッジの活用

Figure4 Use of nudges to improve app utilization.

また、「ボタンを押すことへのメリットを感じていない」点については、例えばボタンクリックに応じて講師・チューターが研修内容に補足を行うという受講者側のボタンクリックに関するメリット、あるいはリアクション収集アプリ導入の目的を受講者に対し、研修内でリアクション収集アプリを使用してほしい場面で、適宜受講者に伝えることで解決を図った。更に、上記の原因を解決する施策に加え、人間には他人の行動を見て自分の行動を決めるという社会的証明と呼ばれる心理効果がある[6]ことに基づき、受講者のボタンクリック回数が増えたタイミングでボタンクリック回数のグラフを受講者にも見せ、「皆が押しているなら私も押そう」という心理を誘発するという施策も行った。

3.2 利用率向上施策の結果①：単位時間クリック回数および累積クリック回数の時間変化

図 5 に 3.1 項の各施策を講じる前(研修第 4 回、図 5 青線のグラフ)と講じた後(研修第 5 回、図 5 橙線のグラフ)のボタンクリック回数の時間変化のグラフを示した。グラフの横軸は研修開始時点である 10:00 を 0 分とした 10:00 からの経過時間である。ボタンは「分かった」、「分からん」、「分かりやすい」の 3 種類あるが、アプリの利用率が向上したか否かを検討することが目的であるため、図 5 ではボタンの種類は区別せずにボタンクリック回数を集計している。

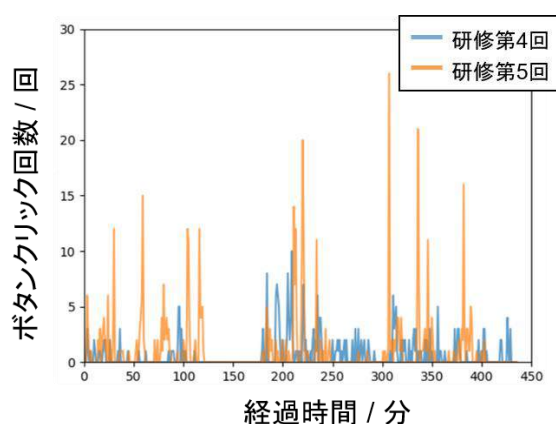


図 5 ボタンクリック回数増加施策前後のボタンクリック回数の時間変化

Figure5 Before and after measures to increase the number of button clicks change in button clicks over time.

図 5 において研修第 5 回では研修第 4 回に比べてピークが高くなっている箇所が複数見られ、定性的には研修第 5 回において各施策の効果が現れていることが分かる。研修第 4 回と第 5 回の結果をより明確にするため、図 5 の各時間でのクリック回数を逐次加算し、各時間におけるボタンクリックの累積回数を算出した。算出したボタンクリック回数の累積回数の時間変化のグラフを図 6 に示した。

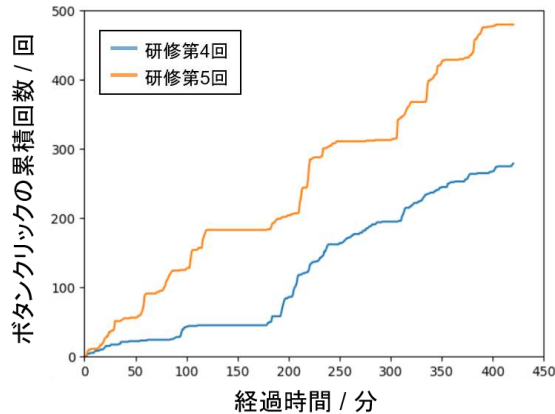


図 6 ボタンクリック回数増加施策前後の
ボタンクリックの累積回数の時間変化

Figure6 Before and after measures to increase button clicks
Changes over time in the cumulative number of button clicks.

図 6 を見ると確かに研修第 5 回は研修第 4 回に比べてボタンクリックの集中による不連続な上昇の上昇幅や上昇の頻度が多く、ボタンクリック回数が増加していることが分かる。このように研修第 4 回に比べて第 5 回ではボタンクリック回数が定性的には増加していることが分かる。クリック回数の増加に関する振舞いをより定量的に理解するために Hawkes 過程を用いた解析を行った。Hawkes 過程は複数のプロセスが互いに励起しあうような振舞いを表現する確率過程であり、近年 SNS におけるユーザーの行動解析によく用いられている[7, 8]。解析の手法と結果の詳細を次項にて述べる。

3.3 利用率向上施策の結果②：Hawkes 過程による解析

本項では Hawkes 過程を用いたボタンクリックの時系列データの解析手法について述べる。Hawkes 過程は、過去のイベントに依存して未来のイベントの起きやすさが変動するような確率過程である。例えば地震は一度起こるとその後余震が起りやすくなるが、このような過去のイベントが未来のイベントに影響を及ぼすような過程が Hawkes 過程である。Hawkes 過程は時間に依存する強度関数($\lambda(t)$)により次のように表現することができる。

$$\lambda(t) = \mu + \alpha \sum_{t_k < t} \exp[-\beta(t - t_k)] \quad (1)$$

式(1)内の μ は正の定数であり平常時にイベントが起こる確率を表している。また、 α は過去のイベントが未来のイベントに対してどの程度の影響を及ぼしているかを表す指標であり、 β は過去のイベントの影響が減衰する度合いを表す指標である。式(1)の右辺第二項の和をとっている部分は、時刻 t 以前に起こった全てのイベントの影響の総和になっており、この和によって過去のイベントの未来への影響を表現している。また、Hawkes 過程では過去のイベントの未来への影響は指数的に減少するという仮定をしているため、和をとっている対象は負の指数部を有している。図 7 に Hawkes 過程の概略図を示す。

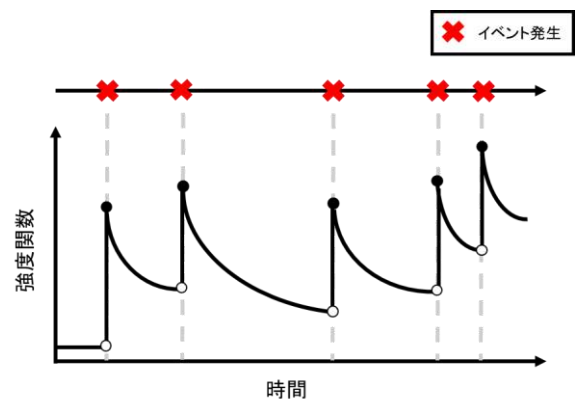


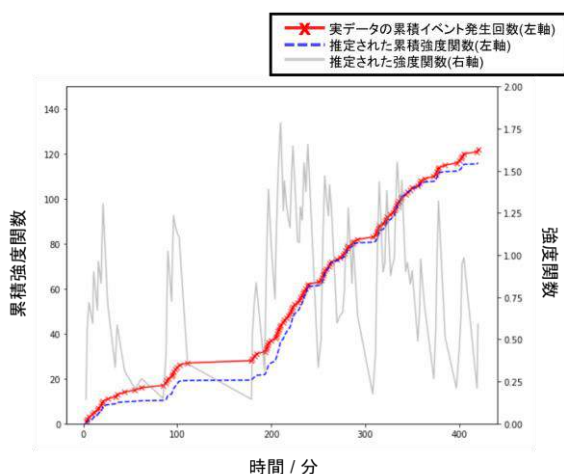
図 7 Hawkes 過程の概略図

Figure7 Schematic diagram of Hawkes process.

イベントが発生する度に強度関数が立ち上がり、時間の経過と共に強度関数が減衰している様子が分かる

以下、Hawkes 過程を用いたボタンクリックの時系列データの解析結果を示す。Hawkes 過程は点過程であり、イベントの発生タイミングのみを解析の対象とするため、本解析では図 5 に使用したデータと同様のデータに対しボタンクリック回数そのものは無視し、1 分単位で各時間にボタンクリックが発生したか否かのみをデータ(以下、ボタンクリックタイミングのデータと呼称する)として用いた。まずボタンクリックタイミングのデータに対し、Hawkes 過程を仮定した上で、最尤推定法を用いて式(1)内の各種パラメータの推定を行った[9]。推定されたパラメータの値は表 4 に示した。推定されたパラメータを用いて式(1)の強度関数の時間変化を計算した後、逐次和をとることで累積強度関数を計算した。この結果を図 8 に示した。本来強度関数が減衰する様子は指数形であるが、今回の解析では減衰の振舞いに着目していないので図 8 では直線的に示した。

(a)



(b)

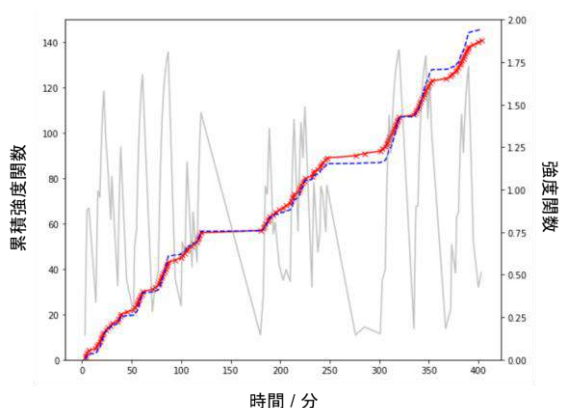


図8 ボタンクリックタイミングのデータから計算された強度関数と累積強度関数

(a) 研修第4回, (b) 研修第5回

Figure8 Intensity function and cumulative intensity function computed from data on button click timing.

(a) 4th training, (b) 5th training

表3 ボタンクリックタイミングのデータから推定されたHawkes 過程の各種パラメータ

Table3 Various parameters of the Hawkes process estimated from data on timing of button clicks.

パラメータ	研修第4回	研修第5回
μ	0.14	0.14
α	0.48	0.54
β	0.21	0.27

図8を見ると灰色線で示した強度関数が赤線で示した実データにおけるイベント発生タイミング毎に上昇し、次のイベントまでに減衰していることが分かる。このことは青

線の累積強度関数が赤線の実データの累積のイベント発生回数のグラフに増加の傾向が類似していることから分かる。強度関数の上昇とボタンクリックタイミングが適切にリンクしていることからボタンクリックタイミングのデータに対して、Hawkes 過程のパラメータを適切に推定できていることが分かる。そこでここからは表3の推定されたパラメータについて検討を進める。表3において μ は研修第4,5回で変化はなく、 α と β は値が増加している。まずは α に着目して考察を進める。 α が増加するということは、過去のクリックイベントが未来のクリックイベントに及ぼす影響の度合いが大きくなっていることを意味している。言い換えれば、ボタンを押すことへの何かしらの過去の影響の蓄積によりボタンクリックが誘発される度合いが高くなっていると言える。ここで受講者のボタンクリックに影響する要因を考えると、受講生自身の押そうという意思、他の受講生との相互作用、講師・チューターとの相互作用が挙げられる。研修第4回と第5回で他の受講生との相互作用については研修の設計として変更点はなく、相互作用の在り方自体も大きく変化していないと考えられる。一方で、3.1項で述べたようにボタンクリックにおける受講生自身の押そうという意思を促すようなナッジや、講師からの促しという講師・チューターとの相互作用については研修の設計として変更を加えているため、ボタンクリックに関する α の変化に対しては受講者自身の押そうという意思の作用と講師・チューターとの相互作用の2点が影響している可能性が高い。典型的にはナッジは受講者自身の押そうという意思に、講師からの促しや受講者に講師がグラフを見せることは講師・チューターとの相互作用に影響すると考えられるため、ナッジや講師からの促し、受講者に講師がグラフを見せるという3.1項で述べた各施策が受講者のボタンクリックアクションに影響を及ぼし、それが α の変化として観測されたとと言える。以上のことから、 α の変化から定量的にも各施策がボタンクリックに寄与したことが明らかになったと言える。

また β についても考察する。 β は値が大きくなるほど過去のイベントの未来への影響が薄れる度合いが大きくなる。 β についても α のときと同様に3.1項で述べた各施策が受講者のボタンクリックに影響し、その結果 β の値の増加につながったと考えると、 β の値の増加は今回講じた各施策が長時間持続的な効果を持つものではなく、効果が瞬時的であるということを示していると言える。これは例えば今回の施策のうちナッジについて、リアクション収集アプリのUIが目に入ったときにのみボタンクリックを誘発する外的な駆動力としてナッジが効果を発揮し、UIが目に入らなくなるとナッジの効果はすぐに薄れてしまうということを表していると言える。このことから β はアプリの改善を実施した際にその効果がどの程度持続するかを測る指標として活用できる可能性があることが明らかとなった。

ボタンクリック回数が増加したことにより受講者のリアクションを講師・チューターがリアルタイムに把握することが可能になった。これは1項で述べたリアクション収集アプリ導入の目的の1つである「非言語情報の1つである表情やリアクションをリアルタイムに取得する」が達成されたということに他ならない。4項ではリアクション収集アプリ導入のもう1つの目的である「取得したリアクションに対して講師・チューターが研修内でフィードバックを行うことで双方向のコミュニケーションを行う」に対する結果について述べる。

4. Web アプリの活用結果

本項ではリアクション収集アプリ導入の目的の1つである「取得したリアクションに対して講師・チューターが研修内でフィードバックを行うことで双方向のコミュニケーションを行う」に対する結果について述べる。

まず「なるほど」、「分かりやすい」ボタンについてである。これらのボタンクリック回数が「分からん」ボタンのクリック回数に比べて多い場合には受講者全体の平均的な理解度は当該分野について高いと考えられる。この場合には講師・チューター側で特に内容の補足は行わず、理解したものとみなして練習問題あるいは次の単元に進む判断を行った。受講生への直接的なフィードバックではないが、「なるほど」、「分かりやすい」ボタンがあることで、講師・チューターが受講者の大まかな理解度を定量的に把握することができ、次の内容に進む決断の判断材料とすることができた。これは明示的ではないが、研修の進行という観点で暗に受講者と講師・チューター間の双方向のコミュニケーションを実現したと言える。また副次的な効果ではあるが、特に「分かりやすい」ボタンのクリック回数が増えたと「教えることへのモチベーションが向上した」という声が講師・チューターから挙がった。これも「分かりやすい」ボタンの上げた効果の1つであると言える。

次に「分からん」ボタンのクリック回数が増加した場合には受講者全体の平均的な理解度が低いと判断される。そのように講師が判断した場合には当該分野の内容について、別の視点あるいは別の言い回しで説明を加える、例示や喩え話を用いて内容をかみ砕くなど説明の補足・補填を行った。このように、「分からん」ボタンに関してはそのクリック回数によって研修にリアルタイムにフィードバックを行うことができ、把握したリアクションへの応答という形での双方向のコミュニケーションを実現した。一方で、フィードバック後に受講者の疑問が適切に解消され、「なるほど」や「分かりやすい」ボタンのクリック回数が増加した場合にはフィードバックは成功したと言えるが、中にはフィードバック後にも「分からん」ボタンがクリックされ続け、講師がこれ以上何をフォローすればよいか分からず、

対応をチューターに投げるという場面も研修の中で見られた。これは、リアクション収集アプリによって分からないというマクロな感情表現については把握できるが、具体的に何が分からないのかというミクロな感情まで把握できる機能がないことが原因である。適切なフィードバックを行うために、何が分からないのか具体的な内容まで把握する機能の開発が望まれる。

5. まとめ

当社総合職1年目社員を対象としたDXリテラシー向上のための教育を複数拠点(Zoomによる遠隔受講含む)かつ多人数に対して実施するに当たり、教育におけるコミュニケーションの活性化のために非言語情報の一種であるリアクションを収集できるアプリの開発・導入を行った。アプリ導入初期には利用率が低くアプリを導入した目的を果たせないという課題が生じたため、アプリの利用率向上のために複数の施策も行った。利用率が向上した後にはアプリをコミュニケーション活性化に向けて研修内で活用した。利用率向上施策の実施も含めたアプリの活用過程において下記の知見を得た。

- ナッジや講師からの利用の促しなどのアプリの利用率向上のための施策は受講者のボタンクリックを誘発する効果があり、その効果はHawkes過程におけるパラメータ α の変化として検出することが可能である。
- Hawkes過程のパラメータ β はアプリの改善を実施した際にその効果がどの程度持続するかを測る指標として活用できる可能性がある。
- 「なるほど」、「分かりやすい」ボタンを研修進行の判断材料として活用し、「分からん」ボタンを受講者へのフィードバックのために活用することで、リアクション収集アプリを介してのコミュニケーションの活性化が可能である。
- 受講者の「分からん」ボタンのクリックに対し、具体的に何が分からないのかまでアプリを介して把握できないなどリアクション収集アプリにはまだ改善の余地がある。
- リアクション収集アプリをDXリテラシー向上のための教育以外にも活用することで、様々な世代の情報の受け止め方を分析でき、各世代が受け入れやすい行動変容技術を開発に利用できる可能性がある。

6. 残課題と展望

6.1 リアクション収集アプリにおける残課題

4項で述べた、講師・チューターが受講者の「分からん」ボタンのクリックに対し、具体的に何が分かっているのかをアプリを通じて把握できず受講者の求めるフィードバックを提供しきれないという課題を始め、リアクション収集アプリには幾つかの課題が残されている。そこで全12回の研修終了後にどのような残課題があるかについてチーム内で洗い出しを行った。洗い出し後、リアクション収集アプリの今後の改良を見据え、洗い出した課題を図9のように緊急度と重要度の観点で2次元にマッピングを行った(以下、緊急度・重要度マップと呼称する)。マッピングでは、改善を施す際の実現難易度が高いか否かの観点での評価も行い、図9ではその観点での整理結果を青・緑・橙の枠線で示している。また、マッピングした各項目の具体的な内容については表4に示している。

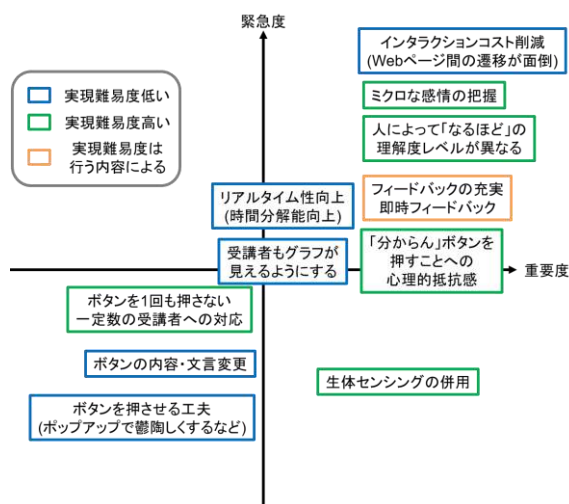


図9 リアクション収集アプリの残課題に関する
緊急度・重要度マップ

Figure9 Result of organizing the remaining issues of the reaction collection application in terms of urgency and importance.

表4 リアクション収集アプリの残課題とその概要

Table4 Remaining issues of reaction collection applications and their overview.

残課題	内容
インタラクションコスト削減 (Web ページ間の遷移が面倒)	研修用のテキストとアプリが分かれており遷移が面倒なことでボタンクリック回数が増えている可能性があるため、テキスト上でアプリの操作を可能にする
ミクロな感情の把握	「分からん」ボタンのクリック数が増えた時に何が分からないのかもトレースできるなど感情の具体的な内容を把握できるようにする

人によって「なるほど」の理解度レベルが異なる	人により「なるほど」の基準が異なるため「なるほど」ボタンをクリックした受講者の中にも理解度のバラつきが生じ、一定数理解できていない受講者が生じる可能性がある
「分からん」ボタンを押すことへの心理的抵抗感	「分からん」ボタンのクリックが少ない原因には「ネガティブな内容を主張しにくい」などの心理的抵抗感がある可能性がある
フィードバックの充実 即時フィードバック	取得したリアクション状況に対しどのようなフィードバックを行う必要があるかの明確化とその実践
リアルタイム性向上 (時間分解能向上)	3分粒度のリアルタイム性ではなくボタンがクリックされる度のグラフ更新などリアルタイム性の向上を行う
受講者もグラフが見えるようにする	受講者のボタンクリック回数増加のためグラフを受講者にも見えるようにする(社会的証明効果の活用)
生体センシングの併用	ボタンクリックを介した主観的な感情と生体センシングによる客観的な感情をどちらも取得することで感情の把握の精度向上を行う
ボタンを1回も押さない一定数の受講者への対応	ボタンクリック回数増加のための施策など行っても一度もボタンクリックを行わない少数の受講者にボタンクリックをさせる工夫
ボタンの内容・文言変更	より感情を表現できるボタンに内容や文言を変更する
ボタンを押させる工夫 (ポップアップで鬱陶しくするなど)	行動変容技術の活用で更に自発的なボタンクリックを促す

今後、緊急度・重要度マップの緊急度・重要度・実現難易度の3観点を指標として優先度を整理し、表4の具体的な内容に基づいて次年度の研修に向けてリアクション収集アプリの改良を進める予定である。このような改善により、リアクション収集アプリの更なる利用率向上、受講者の教育効果の更なる向上が達成されることが考えられる。

6.2 リアクション収集アプリの今後の展望

4.2項では今年度の研修を通じて浮上したリアクション収集アプリの課題について述べた。課題の解決でリアクション収集アプリを介した教育効果を更に高めることができると考えられる。一方でリアクション収集アプリをDXリテラシー向上のための教育以外の場面に適用することで、教育効果のみではなくそれ以外の効果も上げることがある。その点について本項で指摘する。

ナッジを始めとした行動変容技術は企業における安全や環境、生産性などに応用できる可能性があり、特に安全の

分野では既にいくつかの適応事例がある[10, 11]. 応用の可能性としてまず安全では, 従来のように危険な箇所に危険への対策を施すだけでなく, 行動変容技術の活用で従業員が自然と危険を回避するような設計を行うことが可能である. 従業員が自然と危険を回避できる設計が成されれば, 機械を必要以上に安全な設計にする必要がなくなり, 機械の能力を最大限発揮することができ, 生産性にも寄与できる. また環境では, 例えば CO₂ などの排出を抑えようという意識醸成に繋がる行動変容技術の適用が可能である. このように行動変容技術は企業の様々な課題に適用可能であると考えられる. しかし, ある行動変容技術を適用したとしてもその行動変容技術への受け取り方は従業員ごとに異なり, 全従業員に効果があるとは考えづらい. この効果の差は行動変容技術への各従業員の受け取り方の差であり, 粗い見方をすれば, 世代間による情報の受け取り方の差であると言える. そのため, どの世代にもある程度の効果を上げられる行動変容技術を見出すためには, 例えば若い世代はネガティブな情報には抵抗感を示すといったような, それぞれの世代ごとの情報の受け取り方を明らかにし, その世代に合った行動変容技術をそれぞれ取り入れることが求められる.

そういった世代ごとの情報の受け取り方を把握する際に, リアクション収集アプリが応用できる可能性がある. DX リテラシー向上のための教育では当社総合職 1 年目社員に限定しているが, 社内には幅広い世代の層が出席する教育や研修あるいは報告会・討論会が存在する. そういった場でリアクション収集アプリを活用すれば, 勿論, リアクション収集アプリの本来の使い方通りにそういった場でのリアクションの収集とフィードバックという活用もできるが, それだけでなく, 例えばどの世代の層がネガティブな意思表示である「分かん」ボタンを押すことに抵抗感がない(ネガティブな情報への抵抗感が弱い)といった情報や, どの世代の層がポジティブな意思表示である「なるほど」ボタンをよく活用する(ポジティブな情報への受容性が強い)といった情報をリアクション収集アプリのボタンクリック結果から分析することが可能である. これはポジティブやネガティブな情報への受け取り方という切り口で世代ごとの情報の受け取り方を分析することができるということである. また, ボタンの内容を工夫することでポジティブ/ネガティブ以外の切り口での分析も可能であり, どのような切り口で分析したいかによってボタンの設計は工夫する必要がある. このように世代ごとの情報への受け取り方の分析が可能になれば, 各世代に応じて, その世代が受け入れやすい行動変容技術を設計でき, 幅広い世代に効果を発揮できる行動変容技術を産み出すことができる可能性がある.

参考文献

- [1] 高木幸子. “コミュニケーションにおける表情および身体動作の役割”. 早稲田大学大学院文学研究科紀要, Vol.51, pp.25-36(2006).
- [2] 小川一美. “対人コミュニケーションに関する実験的研究の動向と課題”. 教育心理学年報, Vol.50, pp. 187-198(2011).
- [3] Mehrabian, A. “Silent Messages: Implicit Communication of Emotions and Attitude”. Belmont, CA:Wadsworth(1981).
- [4] Lam H. “A framework of interaction costs in information visualization”. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.14, pp. 1149–1156(2008).
- [5] Narducci F, de Gemmis M, Lops P, Semeraro G. “Improving the user experience with a conversational recommender system”. AI*IA, Vol.18. pp. 528–538(2018).
- [6] Cialdini, R. B. “Influence: The Psychology Of Persuasion”. Robert B. Cialdini. Collins(2007).
- [7] Palmowski, Z., Puchalska, D. “Modeling social media contagion using Hawkes processes”. J. Pol. Math. Soc, Vol.49, pp. 65–83(2021).
- [8] 吉田憲之助, 伏見卓恭. “点過程モデルを用いた SNS 上の投稿のトピックと感情の傾向分析”. 人工知能学会研究会資料 知識ベースシステム研究会, 126 回, pp. 46-52(2022).
- [9] Ozaki, T. “Maximum likelihood estimation of Hawkes' self-exciting point processes”. Annals of the Institute of Statistical Mathematics, Vol.31, pp. 145-155(1979).
- [10] 井口琢朗, 鄒亮星, 小野田弘士. “清掃工場の労働安全におけるナッジの活用に関する検討”. 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集 第 30 回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp. 111-112(2019).
- [11] Yashodara B.L.D.G, Sivashankar P. “Improving worker safety in agro-processing: A behavioral economics approach through nudging”. Sri Lanka Economic Research Conference 2020, pp. 242-246(2020).

視線・運動機能からみた英語書字のぎこちなさ

大森幹真^{†1}

早稲田大学人間科学学術院^{†1}

1. はじめに

学校生活において1日の約50%の時間が書き課題が費やされている。我が国においては、小学校1,2年生の4.9% (大庭, 2000), 3年生の10.0%と4年生の9.1% (堂山・橋本・林, 2014) に書き困難があるという報告がある。その中で低学年児は書字の発達段階において粒書きという文字ごとの書字を行う段階に相当し、学年があがるにつれて刺激の見返しが減る連続書字へと発達していく (平林他, 2013)。大森 [1] によると日本語の書字場面において、視覚運動協応得点が高い成人の方が、低い学生に比べて刺激の見返し回数が少ないことを報告した。一方で、それらの書字課題における言語刺激の相違については報告していない。また、視線機能での見返し回数の多さが、書字場面中の運動機能にどのように影響しているかも検討されていない。さらには、近年の研究により、書字場面の動作解析を通じて、かきの困難さを検出する研究も増加している (Lopez & Vaivre-Douret, 2023) そこで本研究の目的は、大学生を対象に利き手での日本語および英語の文章視写課題における視線機能と運動機能の差異を検討することとした。

2. 方法

2.1 参加者

発達障害の診断履歴の無い大学生20名が参加した。

2.2 刺激と装置

文章刺激の提示用にノートパソコン(PC)と視線機能を計測するためのアイトラッカー(X3-120, Tobii technology Japan)を、運動機能を解析するために運動解析ソフト

(VisionPose Single3D, ネクストシステム)を使用した。

本研究では、自作した有意味の英語文章と日本語文章を各2文章、合計4文章を用意した。

2.3 手続き

(1) 標準化検査：視覚運動協応の発達を評価するためにBeery-VMI6 (Beery & Beery, 2010)を行った。そしてBMI得点に応じて参加者をVMI Low群とVMI High群に振り分けた。(2) 視線機能計測：参加者はアイトラッカーの画面から60cmの位置に着席し、キャリブレーションを行った。視写課題では、コンピュータ画面上に文章が1つずつ提示され、それをなるべく早く、正確に、手元の記録用紙に視写することを求めた。文章刺激の提示は参加者間でカウンターバランスを取っており、課題内においても英語文章と日本語

文章の提示が連続しないように提示した。各参加者が4つの文章刺激の視写を行うことをもって終了とした。

(3) 運動機能計測：視線機能計測時に、利き手側から撮影した視写課題場面の動画を用いて、運動機能計測を行った。

(4) 従属変数：①1つの文章刺激に対する視写所要時間、②視線停留回数、③平均注視時間、④刺激の見返し回数、⑤身体の変動性を用意し、2要因の分散分析を行った。

3. 結果

書字所要時間を比較したところすべての参加者において、英語文章の書字所要時間が長くなったことを示した [$F(1, 18) = 23.91, p < .01^{***}, \eta^2 = .57$]。そして刺激の見返し回数においてグループ要因と刺激要因の間に有意な交互作用 [$F(1, 18) = 4.67, p < .05^*, \eta^2 = .21$]が見られ、単純主効果の検定の結果、英語の書字場面においてVMI Low群の方がHigh群に比べて見返し回数が多く、VMI Low群においては英語での見返し回数が日本語より多くなったことを示した。

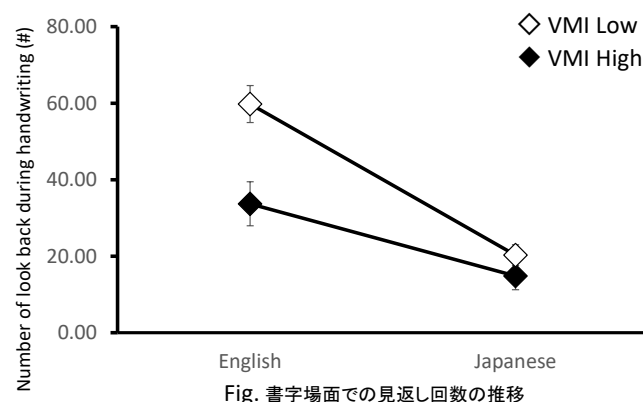


Fig. 書字場面での見返し回数の推移

4. 考察

先行研究 (大森, [1]) では VMI の高低により日本語の有意味・無意味文章間で見返し回数に違いは見られなかった。一方で本研究の結果から、VMI の困難さは第二言語書字の際により強く見返し回数に反映されることを示唆するものとなった。また上肢の変動性も強く見られていることから、顔上げや腕の動きから潜在的な英語書字困難を検出できる可能性があることもしめした。

参考文献

[1] 大森幹真 (2019) 女子大学生・大学院生における書字運動と視線パターンの関連. 学苑, 940, 12-21.

本研究は JSPS 科研費 (No. 22K13739) の助成を受けて行った。

^{†1} MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University

スマートフォン内蔵センサによる WBGT ラベル推定

張嘉宝^{†1} 黄文浩^{†2} 浜中智己^{†3} 柄澤匠^{†4} 近藤綾香^{†5}
 慶應義塾大学 慶應義塾大学 慶應義塾大学 慶應義塾大学 慶應義塾大学
 丸井朱里^{†6} 柘植晃^{†7} 大越匡^{†8}
 慶應義塾大学 慶應義塾大学 慶應義塾大学

概要

近年、熱中症による救急搬送者が多く、熱中症対策が求められている。熱中症の環境要因のリスク指標として暑さ指数 (WBGT) があるが、正確な情報の提供粒度と利便性において課題がある。本研究は人々に細粒度な暑さ指数を提示する手法について検討する。手法としてスマートフォン内蔵センサから得られる気圧情報、位置情報、地磁気情報などを活用して暑さ指数を推定する手法を提案し、手法の推定結果の精度を評価する。評価の結果、LightGBM を用いたモデルで AUC の値が 0.634 となった。今回の実験において、データ量に課題があることが考えられた。今後の実験ではデータ量を増やしてモデルを構築し、手軽な熱中症対策システムの確立に貢献したい。

1. はじめに

熱中症とは、暑熱環境に長時間いることによって体温が上がり、体内の水分や塩分のバランスが崩れたり、体温の調節機能が働かなくなることで、体温の上昇やめまい、けいれん、頭痛などのさまざまな症状を起こす病気のことであり [1]。日本では気温の高い 5 月から 9 月において、熱中症患者が増加する。平成 28 年から令和 4 年にかけての 7 年間で熱中症による救急搬送者数 (5 月 9 月) は年間平均 6 万人を超えた。連日の猛暑となった 2018 年の搬送者数は約 10 万人であった [2]。地球温暖化による気候変動によって、世界の平均気温は上昇する見通しであり [3]、気温の高い時期における熱中症リスクはさらに上昇すると考えられるため、熱中症への効果的な対策が必要である。

熱中症の発生要因は環境要因と人的要因の 2 つに分類できる。環境要因の例として、「高温、多湿、日差しが強い、風が弱い」といったことが挙げられ、人的要因の例として、「脱水状態、健康状態、年齢」といったことが挙げられる [4]。環境要因と人的要因について適切なリスク指標をユーザーへ提供することで、熱中症の予防行動を促進することにつながると思われる。

本研究では環境要因のリスク指標である暑さ指数 (WetBulb Globe Temperature)(以下、WBGT) を扱う WBGT は、熱中症を予防することを目的として 1954 年にアメリカで提案された指標である。単位は気温と同じ摂氏度 (°C) で示す。WBGT は人体と外気との熱収支に着目した指標で、人体の熱収支に与える影響の大きい湿度、日射・輻射など周辺の熱環境、気温の 3 つを取り入れた指標である。WBGT は労働環境や運動環境の指針として有効であると認められ、ISO で国際的に規格化されている [5][6]。

環境省によって WBGT が公表されている地点は全国約 840 地点と少なく、粒度が粗いという問題点がある。人々の生活実空間は多様であるため、各場所に応じた適切な WBGT の算出と提示をすることが熱中症対策には重要である。また、正確な WBGT の値を測定するためには専門的な測定器が必要であり、コストや利便性の観点で課題となっている。

本研究の貢献は以下の通りである。

- スマートフォンのセンサ情報を使用し、WBGT 警戒度ラベルを推定する手法の提案、データ収集、モデル構築と評価を行った。
- 収集されたデータセットへのラベル付け、加工、整形を行った。これにより他の機械学習モデルを用いた推定と評価が可能になる。
- より大規模な実験を行った際のスマートフォンセンサデータ加工方法の参考となる。

本論文は以下のように構成される。2 章では、WBGT 推定に関する先行研究を述べる。3 章では、本研究における WBGT 推定手法について述べる。4 章で実際に行ったスマートフォンセンサ情報の収集と分析手法を述べる。5 章で構築した推定モデルの結果を述べる。6 章で結果の考察

WBGT estimation using smartphone built-in sensors

^{†1} KAHU CHO, Keio University

^{†2} WENHAO HUANG, Keio University

^{†3} SATOKI HAMANAKA, Keio University

^{†4} TAKUMI KARASAWA, Keio University

^{†5} AYAKA KONDO, Keio University

^{†6} SHURI MARUI, Keio University

^{†7} AKIRA TSUGE, Keio University

^{†8} TADASHI OKOSHI, Keio University

と今後の展望を述べる。

2. 関連研究

2.1. スマートフォンへの小型モジュール取り付けによる WBGT 推定

スマートフォンに外部機器として小型モジュールを取り付けることで、ユーザの生活実空間の WBGT を推定する研究がある。温湿度センサを持たないスマートフォンに機器を取り付けることで WBGT の算出が可能になる。しかし、専用のデバイスを作成する必要があること、スマートフォン本体のバッテリー消費が著しくなることから利便性の面で課題がある [7]。

2.2. スマートフォンを用いた WBGT 推定アプリ

WBGT の推定を行うスマートフォンアプリとして、Antikytherus による WeatherFX が挙げられる [8]。当アプリはスマートフォンの位置情報を用いて、近くの気象台の温度、相対湿度を取得することで WBGT を推定する。このアプリケーションで出される推定値と実測値との値を比較した研究がある [9]。この研究の結果として推定された WBGT 値は実際の値よりも大きくなった。このことから、当アプリケーションではユーザーのその場の周辺環境を十分に活用できていないといえる。

3. アプローチ

3.1. 目的

本研究の目的は、スマートフォン内蔵のセンサ情報から WBGT の警戒度ラベルを推定することである。WBGT 推定に気圧計や地磁気計といったスマートフォンで取得できるセンサ情報を使用する。気圧計や地磁気計を使用することで、ユーザーの周辺環境の情報が反映した推定を行うことができる。また、本研究の推定手法を [8] での推定手法と精度を比較する。

3.2. システムの設計

スマートフォンのセンサ情報を用いて WBGT 警戒度ラベルを推定するシステムの概観を図 1 に示す。スマートフォンアプリ「AWARE client v2」[10, 11] を使用し、スマートフォンの内蔵センサ情報を取得する。取得したセンサ情報をもとに機械学習モデルを構築し、WBGT 警戒度ラベルの推定を行う。WBGT28°C を閾値にラベル付けし、同じ箇所に設置したスマートフォンの内蔵センサ情報および関連情報から、WBGT ラベルの 2 値分類を機械学習手法を用いて行う。



図 1 本研究のアプローチの概観図

3.3. WBGT 警戒度ラベルについて

3.3.1 WBGT 算出の定義

環境省は WBGT の算出を以下のように定義している。算出は実際に観測された気象要素を用いて行われる。全国 11 の観測地点においてこの算出式を用いて WBGT が算出されている。

$$WBGT = 0.7 \times T_w + 0.2 \times T_g + 0.1 \times T_a \quad (1)$$

ここで、 T_w =自然通風湿球温度、 T_g =黒球温度、 T_a =自然通風乾球温度

3.3.2 WBGT の警戒ラベル

WBGT はその値に応じて 5 段階の警戒ラベルが設けられている [4]。図 2 に WBGT 値に応じた 5 段階の警戒ラベルを示す。

運動に関する指針		
気温 (参考)	暑さ指数 (WBGT)	
35°C 以上	31 以上	運動は原則中止
31~35°C	28~31	厳重警戒 (激しい運動は中止)
28~31°C	25~28	警戒 (積極的に休憩)
24~28°C	21~25	注意 (積極的に水分補給)
24°C 未満	21 未満	ほぼ安全 (適宜水分補給)

図 2 WBGT 値に応じた 5 段階の警戒ラベル

3.3.3 本研究における WBGT の警戒ラベルの取り扱い

本研究では、WBGT28°C を閾値として 2 値分類タスクを行う。WBGT28°C を閾値に、警戒ラベルは 28°C 以下が「注意」、28°C 以上が「警戒」となる。WBGT28°C を閾値とした理由として、28°C を超えた日は熱中症患者発生率が倍増するからである [5]。

表 1 収集したデータと各センサの周波数

収集情報	周波数 (Hz)
気圧	1
地磁気	10
位置情報	60
バッテリー残量	10

3.4. 学習アルゴリズムの選定

モデルは LightGBM [12] とランダムフォレスト [13] を使用した。両手法はどちらも決定木モデルをベースとした機械学習手法であること、特徴量重要度の解釈が容易であることが共通している。両手法の差異は学習手法で LightGBM はブースティング、ランダムフォレストはバギングを用いることである。これら手法の違いによる精度の比較を行う。

モデルの評価には AUC (Area Under the ROC Curve) を用いる。AUC は不均衡なクラス分類問題において有用な評価指標である。今回作成したデータセットは不均衡で、ラベルに偏りがあるため、AUC を用いる。

実装には Python3.10, 学習アルゴリズムと評価には scikit-learn, lightgbm 3.3.5, sklearn.ensemble を使用した。

4. 推定モデルの作成

4.1. センサデータの収集

機械学習モデルの構築にあたってデータ収集を行なった。データの収集は 2023 年 7 月 10 日の 12 時 58 分から 14 時 45 分に慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスのデルタ館 2 階のベランダ、14 時 48 分から 16 時 17 分にデルタ館周辺の木陰において実施した。ベランダ地点は測定時間中は常に日が当たる地点である。

正解データとなる WBGT の測定では TANITA 社の無線黒球式熱中症指数計 TC-310 を使用した [14]。スマートフォンでのセンサ情報収集には iPhone 13 Pro Max(256GB, iOS16.5.1) を使用した。センサ情報の取得には、スマートフォンのセンサ情報が取得できるアプリケーション AWARE client v2 [10, 11] を使用した。

4.2. 収集したデータの詳細設定

収集したデータについて、表 1 にスマートフォンで取得した内蔵センサの種類とデータ取得粒度を示す。スマートフォンで取得したセンサ情報は気圧、地磁気、位置情報、バッテリー残量である。

表 2 ラベル付けした各データの件数

ラベル	件数
1	10320
0	481
計	10801

表 3 各モデルの AUC の値

ラベル	AUC
LightGBM	0.634
Random Forests	0.516

4.3. 前処理

スマートフォンで収集したデータについてデータのダウンサンプリングを行なった。この処理を行なった理由は、毎秒のデータ点の数を揃えるためである。データ点の数を揃えるにあたって、最も周波数の低い 1Hz の気圧に粒度を揃えた。この処理によって、毎秒の各センサデータの件数は 1 つとなった。WBGT28°C の閾値を超えるものに、ラベル 1 を付け、WBGT28°C を下回るものには、ラベル 0 を付けた。表 2 にラベル付けされた各データの件数を示す。学習データとテストデータは 5:5 の割合で分けた。学習データは 9:1 に分けて検証用データを作成し、モデルの構築を行なった。

5. 推定モデルの評価結果

5.1. テストデータに対する評価結果

テストデータに対する AUC(Area Under the Curve) の結果を表 3 に示す。LightGBM, ランダムフォレストを用いたモデルの特徴量重要度をそれぞれ図 3, 図 4 に示す。ランダムフォレストの特徴量重要度の表示にあたって、閾値を越えたセンサの値のみを表示している。閾値は 0.02 に設定した。

6. 考察

AUC は 0.5 でランダムな分類と判断できる指標である。今回の結果の値から、どちらのモデルもランダムに近い分類が行われていると判断できるため、より精度の高いモデルを構築する余地があるといえる。特徴量重要度に関しては、LightGBM では気圧、ランダムフォレストでは地磁気 が最も重要な特徴であった。気圧が WBGT に影響を与えていることは、WBGT に関わりのある温度と湿度との相関

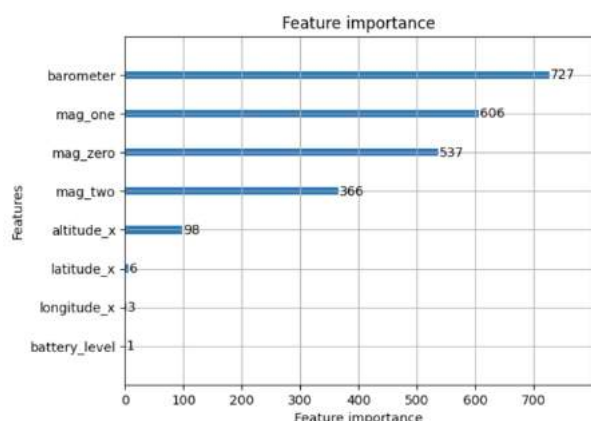


図3 LightGBMを使用したモデルの特徴量重要度

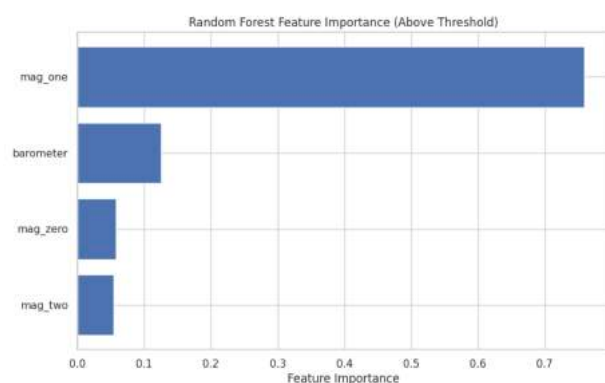


図4 ランダムフォレストを使用したモデルの特徴量重要度

があるのではないかと考えられる。これらの値がどのように推定に影響を与えているかについては今後の研究課題としたい。

6.1. 本研究の課題

今回の結果になった理由として、収集したデータについて、量と偏りが原因にあると考えられる。データの量について、今回の実験では同一日程で3時間のデータを用いた。WBGTは日時、天気や場所によって20から35のレンジを持って変動する値である。しかし、今回使用したデータは閾値28℃を超えるデータが全件10801件中10320件を占めることになった。収集した時刻においても昼の時間帯のみであった。

6.2. 今後のアプローチ

今後の研究では本研究を通して得られた課題をもとに、検証、評価方法の改変を行っていく。データ量の課題においては、今夏8月から9月に約20日分のデータ収集を実施済み

である。今後これらのデータを整形し、学習を行うことで推定モデルの精度向上に努めたい。モデルの種類について、本研究ではLightGBMとランダムフォレストの2種類を用いた。今後より多くの種類のアンサンブル学習モデルを用いて精度比較を行う。また、深層学習手法であるLSTMやTransformerを用いた推定も行いたい。今後も、日本の夏における熱中症患者を減らすために、ユーザの周辺環境に応じた細粒度なWBGT推定できるシステムの確立に貢献したい。

7. 結論

本研究では手軽で細粒度なWBGT推定の実現のために、スマートフォンのセンサ情報を用いたWBGTの推定手法について検討した。アプローチとして実際にセンサ情報を収集し、機械学習モデルを用いてWBGT推定を行なった。推定にあたって、2つの機械学習モデルを用いて両モデルの精度を比較した。精度においてLightGBMを用いたモデルが優れているという結果になった。しかし、今回用いた両モデルでは十分な精度でのラベル推定ができなかった。その理由はデータの量と偏りにあると考えるため、今後より多くのデータで機械学習モデルを構築し、WBGT推定の精度向上を目指す。

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(JPJ012368C05401)により得られたものです。

参考文献

- [1] 公益社団法人全日本病院協会熱中症について. <https://www.ajha.or.jp/guide/23.html> (accessed 2023-11-24).
- [2] 総務省報道資料「令和4年(5月から9月)の熱中症による救急搬送状況」. https://www.soumu.go.jp/main_content/000842440.pdf (accessed 2023-11-24).
- [3] IPCC: IPCC Six Assessment Report, Summary for Policymakers.
- [4] 環境省「熱中症環境保健マニュアル2022」. https://www.wbgt.env.go.jp/pdf/manual/heatillness_manual_full.pdf (accessed 2023-11-24).
- [5] 環境省熱中症予防サイト「暑さ指数(WBGT)について」. <https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php> (accessed 2023-11-24).
- [6] ISO: ISO 7243:2017 Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index. <https://www.iso.org/standard/67188.html> (accessed 2023-11-24).
- [7] 村田哲史, 細川茂樹, 薛媛, 河内智志, 藤波香織ほかセンサの帯同場所を考慮した個人参加型センシングのための環境センサモジュールと基盤ソフトウェア, 組込みシステムシンポジウム2012論文集, Vol. 2012, pp. 73-78 (2012).

- [8] Antikytherus: WeatherFX - Apps on Google Play . https://play.google.com/store/apps/details?id=com.antikytherus.weatherfx&hl=en_US&pli=1 (accessed 2023-11-24) .
- [9] Tripp, B. L., Winkelmann, Z. K., Eberman, L. E. and Smith, M. S.: Factors affecting incidence rate of exertional heat illnesses: analysis of 6 years of high school football practices in North Central Florida, *Orthopaedic journal of sports medicine*, Vol. 9, No. 9, p. 23259671211026627 (2021).
- [10] Ferreira, D., Kostakos, V. and Dey, A. K.: AWARE: mobile context instrumentation framework, *Frontiers in ICT*, Vol. 2, p. 6 (2015).
- [11] Nishiyama, Y., Ferreira, D., Eigen, Y., Sasaki, W., Okoshi, T., Nakazawa, J., Dey, A. K. and Sezaki, K.: IOS crowd-sensing won't hurt a bit!: AWARE framework and sustainable study guideline for iOS platform, *Distributed, Ambient and Pervasive Interactions: 8th International Conference, DAPI 2020, Held as Part of the 22nd HCI International Conference, HCII 2020, Copenhagen, Denmark, July 19–24, 2020, Proceedings 22*, Springer, pp. 223–243 (2020).
- [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).
- [13] Breiman, L.: Random Forests, *Machine Learning Vol. 45, No. 1*, pp. 5–32 (2001).
- [14] TANITA: 無線黒球式熱中症指数計 TC-310 . <https://www.tanita.co.jp/product/business/hygrometer/4098/> (accessed 2023-12-08) .

環境センシングとバイタルデータ分析による熱中症リスク推定

近藤綾香^{†1}
慶應義塾大学

柄澤匠^{†2}
慶應義塾大学

張嘉宝^{†3}
慶應義塾大学

丸井朱里^{†4}
慶應義塾大学

栢植晃^{†5}
慶應義塾大学

大越匡^{†6}
慶應義塾大学

概要

国内の熱中症による死亡者数は増加傾向にあり、熱中症を回避するためのアラートシステムの開発は多く取り組まれている。一方で、現行の熱中症警戒アラートは、環境情報に基づく外的要因のみを反映しており、個々人の内的要因は考慮に含まれていないという課題が挙げられる。本研究の目的は、環境センシングおよびバイタルデータ分析を組み合わせ、分析を行うことにより、双方の要因を組み合わせた熱中症リスク推定システムを構築することである。しかし、WBGT センサや気温、湿度といった環境センサデータと体温や活動量といったバイタルデータを網羅的に収集する取り組みはいまだに行われていない。そこで、本研究においては、2023 年 8 月 15 日から 9 月 17 日の計 28 日間、屋外労働者 26 名を対象に、環境情報及びバイタルデータを網羅的に計測する実験を行い、データ分析および熱中症リスク推定に関する調査及び分析を行った。分析として、労働者の主観的感覚の全アンケートデータと就業日の WBGT センサ値の相関性を分析した結果、「温冷感」「蒸れ感」「快適感」にわずかながら正の相関が存在することが明らかになった。また、特定の被験者の鼓膜温データと WBGT 値の関連にも、わずかながら正の相関が認められ、外的要因と内的要因を組み合わせた熱中症リスク推定の可能性が示唆された。

1. はじめに

1.1. 熱中症の現状

近年、世界的な気温上昇に伴い、夏場の熱中症が重大な社会問題となっている。消防庁が行った全国の熱中症搬送状

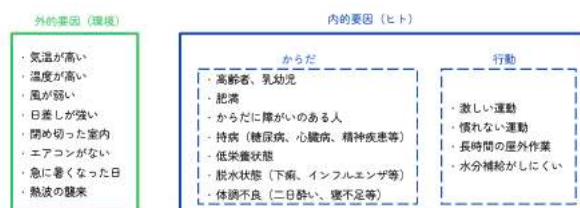


図1 熱中症を引き起こす条件である外的要因と内的要因の各要素 [2]

況の調査によると、今年の5月から9月にかけて、累計で9万人を超える人々が熱中症により救急搬送された [1]。これは調査開始以降、過去2番目に多い搬送人数 [1] となり、社会全体で熱中症を予防する対策の必要性が高まっている。

1.2. 熱中症の発生要因

熱中症の発生要因は、図1に示されるように、環境に依る外的要因とヒトに依る内的要因に大別される。このうち、内的要因は年齢や体型、既往症などの身体的な情報である静的要因と、スポーツや労働などにおける運動量、水分摂取量などの1日の活動状況である動的要因にさらに分類される。また一般的に、熱中症の発生リスクは、これら複数の要因が組み合わせられることで増大すると考えられている。

1.3. 熱中症警戒アラート

熱中症の危険度を表す指標として、WBGT 値（暑さ指数）がある。WBGT 値とは、気温、湿度、太陽放射、風の影響を総合的に考慮した熱中症リスクの指標であり、WBGT 値に基づく熱中症の危険度は以下の通りである [2]。

- 31° C 以上は「危険」とされ、外出を避け涼しい屋内への移動が推奨される。
- 28-31° C は「厳重警戒」であり、外出時に炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する必要がある。
- 25-28° C は「警戒」レベルで、運動や激しい作業時には定期的な休息が求められる。
- 21-25° C は「注意」が必要で、一般的には危険性は少

ないが、激しい運動や重労働時にはリスクが存在する。

政府や自治体は、熱中症の危険性が高くなると予想された際に、この WBGT 値に基づいた「熱中症警戒アラート」を行い、熱中症予防行動の実施を促している [3]。しかし、WBGT 値は気温や湿度といった外的要因の一部に基づく指標であるため、個々の内的要因、すなわち個人差は全く考慮されていない。暑熱環境下において、どのような人がどの程度活動しているのかという内的要因によって、個人の熱中症リスクは異なると考えられ、WBGT 値自体も、日陰や日向などの環境要因に依る。そのため、現状の WBGT 値のみに基づく取り組みは、熱中症予防の観点で改善の余地があると考えられる。

1.4. 先行研究

情報技術を用いた熱中症予防に関する研究は、これまでも多数行われてきている。たとえば、Yatsuda らによる、室内環境の温度や湿度などからリアルタイムに WBGT 値を計算し、危険な状態を検知すると警告を行う高齢者向けのアラートシステムに関する研究 [4] や、Mimi らによる、心拍数や体温などのバイタルデータから個人の熱的快適性を推定する機械学習モデルの研究 [5] が挙げられる。一方で、外的要因および内的要因をそれぞれ推定する取り組みは多数行われているものの、それぞれを網羅的に用いた熱中症リスク推定の取り組みは散見されない。

そこで、本研究では、熱中症の危険性の高い屋外労働者を対象に、WBGT センサや気温、湿度といった環境センサデータと体温や活動量といったバイタルデータを網羅的に計測し、分析を行うことにより、双方の要因を組み合わせた熱中症リスク推定システムを構築することを目指す。

2. データ収集実験

1.4 に示す通り、熱中症推定に対する取り組みは多く行われている一方で、環境情報および生体情報を網羅的に収集した取り組みは、今までに行われていない。そこで、網羅的な熱中症リスク推定の分析および推定システムを作成するために、データ収集実験を行い、データセットを作成した。実験は、2023 年 8 月 15 日から 9 月 17 日の計 28 日間、神奈川県横須賀市にある長井海の手公園ソレイユの丘 [6] にて、屋外で就業する成人男女 26 名を対象に行った。

2.1. 実験設定

本実験は実験期間を 3 クールに分けて行われた。第 1 クールは 8 月 15 日から 8 月 24 日までの 10 日間、第 2 クールは 8 月 28 日から 9 月 5 日までの 9 日間、そして第 3 クールは 9 月 9 日から 9 月 17 日までの 9 日間である。各ク

ールにおける被験者の数は、順に 6 名、10 名、10 名であり、各被験者は 1 クール内で最低 5 日間、最長で 7 日間実験に参加した。

本実験で収集した、環境データおよびバイタルデータのデータ項目を図 2 に示す。

データ収集実験期間において就業中の被験者が装着していた機器は以下の通りである。

- 耳内温度を計測するセンサデバイス「Vitarate」[7]
- スマートフォン (iPhone) 用センサ情報取得アプリケーション「AWARE client v2」[8]
- 温湿度測定デバイス「ハイグロクロン」[9]
- 心拍数や睡眠状況などの測定機能を備えたスマートウォッチ「Fitbit Sense2」[10]

加えて、始業前には、被験者がこれらの実験機材を装着した状態の写真撮影を行い、就業中の服装に関するデータを収集した。

被験者には、実験参加前に一度、年齢、性別、既往症などの背景情報に関する事前アンケートを行い、さらに参加日ごとに始業前、休憩時間中、終業後の各時点で、主観的感覚や脱水状況などに関するアンケートに回答した。

また、環境センサとして、園内に 1 台の気象センサと 5 台の WBGT センサを設置し、気温や湿度、天気情報や WBGT 値の収集を行った。

2.2. 収集したデータ

計 28 日間のデータ収集実験を通し、環境情報およびバイタルデータ併せて約 2 億 6537 万 6962 レコードを収集した。

これらのデータは、iPhone 搭載センサのデータが約 2 億 6215 万 6919 レコード、Fitbit のデータが約 276 万 6470 レコード、気象センサのデータが約 2 万 8094 レコード、WBGT センサのデータが約 24 万 5572 レコード、アンケートの回答データが約 746 レコード、耳道温度計のデータが約 14 万 3573 レコード、温湿度ロガーのデータが約 3 万 5588 レコードに分類される。

3. アプローチ

本研究は、熱中症の危険性の高い屋外労働者を対象として、外的要因と内的要因の双方を組み合わせた熱中症リスク推定システムの構築を目指す。具体的には、WBGT センサ、気温、湿度などの環境センサデータと、鼓膜温、心拍数、活動量などのバイタルデータを網羅的に計測し、これらのデータを分析する。このアプローチにより、双方の要因の相互作用を考慮した、より精度の高い熱中症リスク評価が可能となることが期待される。

データの種類	データを取得する手段	データを取得するタイミング	評価項目の内容
生体データ	耳道温度計	始業15分前～終業5分後まで、1分毎に連続計測	耳内温度（鼓膜温）
	Fitbit, iPhone搭載センサ	Fitbit：実験期間中、可能な範囲で装着いただき測定（睡眠中含む）	加速度、歩数、行動認識（活動量、活動の種類）
		iPhone搭載センサ：始業15分前～終業5分後まで連続計測	
	Fitbit	実験期間中、可能な範囲で装着いただき測定（睡眠中含む）	心拍数、皮膚コンダクタンス（無自覚的なストレスレベル）
主観的感覚	アンケート	始業前、毎休憩時、終業後	温冷感、蒸れ感、快適感、疲労感、口渇感、感情、その他感覚
脱水状態		始業前、毎休憩時、終業後	水分量、水分摂取内容、脱水状態
ストレス状態		始業前のみ	自覚的なストレスレベル
背景情報		事前のみ	年齢、性別、身長、職種、治療・服薬の有無、飲酒・喫煙状況、カフェイン摂取状況、睡眠状況、過去1ヶ月の歩数、運動習慣、性格、就業年数、暑さへの耐性、健康関心度
毎日の行動情報		始業前のみ	前日の飲酒・喫煙・カフェイン摂取状況、服薬状況、前日～当日朝までの体調不良（例：下痢）、朝食の有無
服装	就業中の服装の撮影	始業前のみ	服装、帽子の有無
環境情報	Fitbit, iPhone搭載センサ, 温度湿度ロガー, WBGTセンサ	始業15分前～終業5分後まで連続計測	周辺の温度湿度、屋外滞在時間・時刻、気圧、WBGT値
		WBGT計は測定期間中、連続計測	

図2 ソレイユの丘従業員を対象としたデータ収集実験における収集データ項目

3.1. 今回取り組んだ分析

熱中症に関連する要因の分析に向け、収集したデータの傾向を調査した。はじめに、全実験期間における WBGT 値と、それに対する主観的感覚の変化を調査した。次に、数日間における WBGT 値と、それに対する同一被験者の鼓膜温度および主観的感覚の変化の調査を行った。ここでの主観的感覚とは、被験者に参加日の始業前、休憩時間中、終業後に回答された「温冷感（Thermal Sensation）」「蒸れ感（Humid Sensation）」「快適感（Comfort Sensation）」「疲労感（Fatigue Sensation）」の4つの調査項目であり、各回答項目を数値化して分析を行った。数値化にはリッカート尺度を採用し、温冷感は「非常に寒い」を0として「非常に暑い」を6とする7点スケール、蒸れ感は「非常に乾いている」を0として「非常に蒸れている」を6とする7点スケール、快適感は「非常に不快」を0とし、「非常に快適」を6とする7点スケール、疲労感は「全く疲れていない」を0とし、「非常に疲れている」を4とする5点スケールでそれぞれ評価した。

また、これらの分析で用いた WBGT 値は、園内に設置された5箇所の WBGT センサの中で、従業員の待機場所に最も近いセンサの値を用いた。実験期間中、最も高い WBGT 値は2023年8月22日14時51分から14時55分に観測された33.3℃であったが、1クール目の被験者の鼓膜温データが欠損していた、そのため、2番目に高い32.6℃の WBGT 値が観測されたのが、2023年9月15日13時19分から13時21分であったことから、当該日から9月17日

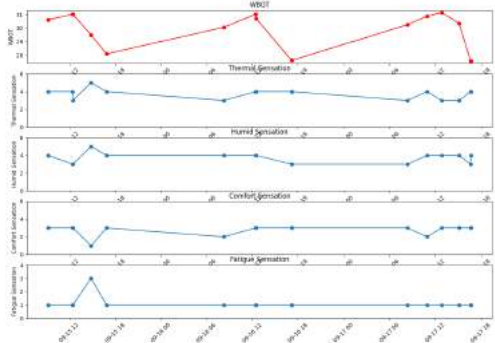


図3 被験者1名の WBGT 値と主観的感覚の時系列分析

にかけて、3日間連続で実験に参加した被験者のデータ分析を行った。なお、日毎の平均値は、9月15日が28.4℃、9月16日が28.2℃、9月17日が28.2℃であった。1.3に示したとおり、WBGT 値が31℃を超える場合は「危険」とされ、28-31℃は「厳重警戒」とされる[2]ため、当該期間は熱中症の発生リスクが非常に高い状況であったといえる。

3.2. 結果

まず、実験全期間における、WBGT 値と主観的感覚の相関係数では、「温冷感」は約0.274、「蒸れ感」は約0.171と、WBGT 値とわずかに正の相関を示し、「快適感」も約-0.194とわずかに負の相関を示した。一方、「疲労感」は約-0.031

と、WBGT 値との相関が極めて低かった。ピアソン相関検定の結果、p 値は「温冷感」は約 3.15×10^{-10} 、「蒸れ感」は約 0.000104 、「快適感」は約 1.11×10^{-5} を示し、統計的に有意な相関が確認され、「疲労感」については約 0.491 と有意な相関が認められなかった。

また、WBGT 値の高かった 9 月 15 日から 9 月 17 日にかけての、同一被験者における WBGT 値と主観的感覚の時系列分析は、図 3 に示すとおり、WBGT 値によって、主観的感覚の 4 つの指標が大きく変化することはなかった。相関分析では、「蒸れ感」は約 0.413 、「疲労感」は約 0.2778 と、WBGT 値と正の相関を示し、「温冷感」は約 -0.1156 、「快適感」は約 -0.2016 と、わずかに負の相関を示した。一方、ピアソン相関検定の結果によれば、p 値は「温冷感」は約 0.67 、「蒸れ感」は約 0.11 、「快適感」は約 0.45 、「疲労感」は約 0.3 と、この関係が統計的に有意でないことが確認された。

さらに、当該期間における、同一被験者の鼓膜温と WBGT 値の相関分析の結果、鼓膜温と暑さ指数の間の相関係数は約 0.119 であり、わずかに有意な正の相関が存在した。また、この相関関係の p 値は約 8.53×10^{-12} であり、統計的に有意な正の相関が確認された。

このことより、実験全期間での WBGT 値と主観的感覚と、個人間の鼓膜温と WBGT 値の 2 変数間にはわずかな正の相関がある一方で、相関係数が比較的低いことから、関連性は弱いことが示された。

4. 今後の展望

今回の分析の結果として、全実験期間における WBGT 値と主観的感覚の相関分析を行ったところ、全実験期間における WBGT 値と主観的感覚の値には、わずかながら「温冷感」「蒸れ感」「快適感」には、WBGT 値との有意な正の相関が認められ、「疲労感」には相関がないことがわかった。また、WBGT 値が特に高かった期間における、同一被験者の鼓膜温と WBGT 値にも、わずかな正の相関が認められた。この結果は、WBGT 値が屋外労働者の主観的感覚や鼓膜温に及ぼす影響を明らかにしている。しかし、これらの結果は熱中症リスクと直接因果関係を示すものではなく、今後の研究では更なる詳細な分析が必要となる。

特に、屋外労働者の主観的感覚や鼓膜温と、WBGT 値との相関係数が低いということから、熱中症のリスクを推定するためには、WBGT 値という単一の環境指標よりも、個人のバイタルデータや主観的感覚を含む複合的なアプローチが必要であることを示唆しているものと考えられる。

また、今回の分析は収集した環境情報およびバイタルデータのうち、鼓膜温と WBGT 値や、主観的感覚のアンケート結果と WBGT 値の関連性を調査したに留まっている。今

後の取り組みとして、収集した心拍数や睡眠時間などの他センサデータを活用し、WBGT 値や鼓膜温、労働場所や服装など、さまざまな変数との相関を分析することで、熱中症リスクに関連の強いデータ項目を明らかにする。さらに、上記の分析を通して有効なデータを確認した上で、それらのデータを複合的に用いて熱中症リスクを推定する機械学習モデルを構築し、熱中症リスクを推定するシステムの構築を目指す。

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 (JPJ012368C05401) により得られたものです。

参考文献

- [1] 総務省令和 5 年 (5 月から 9 月) の熱中症による緊急搬送状況. https://www.fdma.go.jp/disaster/heatstroke/items/r5/heatstroke_nenpou_r5.pdf (最終閲覧日: 2023/12/8).
- [2] 環境省熱中症環境保健マニュアル 2022. https://www.wbgt.env.go.jp/heatillness_manual.php (最終閲覧日: 2023/12/8).
- [3] 気象庁令和 4 年度第 1 回「熱中症予防対策に資する効果的な情報発信に関する検討会」. https://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/kentoukai/nettyusyou/r4part1/r4part1_shiryoi-3.pdf (最終閲覧日: 2023/12/8).
- [4] Yatsuda, A., Haramaki, T. and Nishino, H.: An unsolicited heat stroke alert system for the elderly, *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW)*, pp. 345–346 (online), 10.1109/ICCE-China.2017.7991137 (2017).
- [5] Afsana Mimi, Md. Golam Rasul, T. A. S. L. N. L.: Personal Thermal Assessment using Feature Reduction and Machine Learning Techniques. https://drive.google.com/file/d/1I9jIBcd_j0e84wJnzjMDtMuYrULXmVsL/view (最終閲覧日: 2023/12/8).
- [6] 長井海の手公園ソレイユの丘 [公式] 長井海の手公園 ソレイユの丘. <https://soleil-park.jp/> (最終閲覧日: 2023/12/8).
- [7] バイタレート株式会社耳内温度連続計測サービス. <https://vitarate.co.jp/temperature/> (最終閲覧日: 2023/12/8).
- [8] AWARE: Open-source context instrumentation framework for everyone. . <https://awareframework.com/> (最終閲覧日: 2023/12/8).
- [9] KNラボラトリーズボタン型温湿度データロガー (ハイグロクロン). <https://www.kn-labs.com/hygrochron.htm> (最終閲覧日: 2023/12/8).
- [10] Fitbit: 先進の健康管理スマートウォッチ — Fitbit Sense 2 を購入. <https://www.fitbit.com/global/jp/products/smartwatches/sense2> (最終閲覧日: 2023/12/8).

Stable diffusion を用いた休憩促進システムの提案

浜口翔伍 ^{†1}
慶應義塾大学

柄澤匠 ^{†2}
慶應義塾大学

浜中智己 ^{†3}
慶應義塾大学

佐々木航 ^{†4}
慶應義塾大学

中澤仁 ^{†5}
慶應義塾大学

大越匡 ^{†6}
慶應義塾大学

概要

近年、多くの企業がテレワークの導入を進めており、在宅で仕事をすることが多くなった。一方で、休憩のタイミングが明示されないことにより、必要な休憩を取ることができていない人が散見され、結果として生産性が下がってしまうという課題が挙げられる。本研究では、メガネ型ウェアラブルデバイスを用いて被験者の集中度や眠気を測定し、休憩が必要だと判断された場合、大規模生成 AI である Stable diffusion が作成した「休憩を促進させる画像」を被験者に提示し、被験者の休憩行動にどのような変容が起きるのかを明らかにする。

1. はじめに

近年、新型コロナウイルスの影響等により、多くの企業がフレックスでの勤務形態やテレワークの導入を進めている。フレックスやテレワークで PC を用いたデスクワークを行っている就業者は、作業効率上、適切なタイミングで休憩を取ることが必要であるが、休憩時間が定められておらず、自分自身で判断して休憩をとる必要がある場合が多い。休憩の判断は就業者に委ねられるが、蓄積された疲れを自認せず、作業効率の悪いまま仕事を続けてしまう就業者が散見される。そこで、デスクワークをする人の集中度や眠気を、メガネ型ウェアラブルデバイスを用いて測定し、休憩が必要だと判断されたタイミングで休憩を促す画像を提示する。これにより、デスクワークをする人にとって自主的に適切なタイミングでの休憩を取ることが可能とさせる。既存研究として、デスクワークをしている人が、内容に関係ない動画サイトや SNS などを一定時間開いていた場合に、タスクを先延ばしにしていると判断し、中断した作業の続きを自

動で生成し、作業に戻ることを促す研究もある。[1] この研究では、ChatGPT や Stable Diffusion を用いて、これまでの作業を元に AI システムが生成した作業の続きを見せることで、クオリティが完璧ではなくとも作業を再開するきっかけには有用になるかもしれないという仮説に基づき、検証を行った。結果として、従来の定型文で介入する方法と比較した場合にこのシステムが有用であることが確認された。他にも、デスクワーク時の瞬目の回数に基づく休憩タイミングの推定を行い、嗅覚と聴覚により休憩を促す研究 [2] がある。この研究では、聴覚と嗅覚を用いて休憩を促しているが、そのためには大掛かりな用意が必要となる。そのため、本研究では比較的用意が簡単な、大規模生成 AI である Stable diffusion が作成した「休憩を促進させる画像」を被験者に提示することで、休憩を促す手法を提案する。

2. 本研究の手法

まず、デスクワーカーの集中度と眠気を測定するために JINS MEME を使用する。JINS MEME とは、メガネ型ウェアラブルデバイスで、瞬きの回数や加速度などを取得することができる。その JINS MEME が算出するデータの中に、集中度を表す focus score と、眠気を表す sleep score があり、今回はその値を使用し、休憩タイミングの判断を行う。focus score は 0 から 100 までのスケールで表され、0 が集中できていない状態を表し、100 が集中できている状態を表す。sleep score は、0 が眠気のない状態を表し、100 がとても眠たい状態を表す。これらのスコアに閾値を設け、一定時間集中ができていない場合や、眠気を感じている場合に休憩を促す。休憩を促すための触媒として、大規模生成 AI である Stable diffusion が作成した「休憩を促進させる画像」であり、AI が作成した画像を見ることで、被験者がどのような行動変容をするかを確かめる。また、Stable Diffusion に与えるプロンプトを変化させ、様々なパターンの画像を生成・比較することで、被験者の休憩行動にどのような行動変容が発生するかの検証を行う。

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

^{†1} SHOGO HAMAGUCHI, Keio University

^{†2} TAKUMI KARASAWA, Keio University

^{†3} HAMANAKA SATOKI, Keio University

^{†4} WATARU SASAKI, Keio University

^{†5} JIN NAKAZAWA, Keio University

^{†6} TADASHI OKOSHI, Keio University



図1 JINS MEME を正面から撮影した画像

3. システム動作イメージ

本研究で実装するアプリケーションのシステム動作イメージを図3に示す

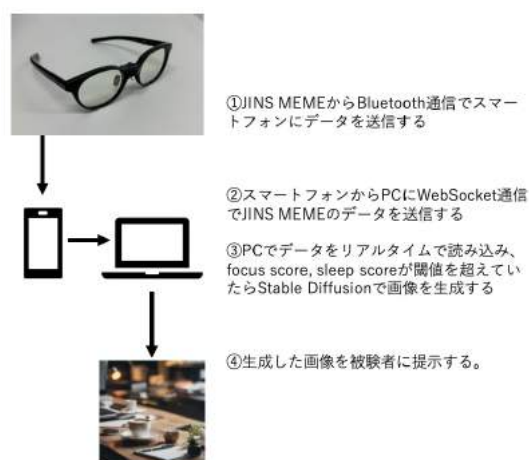


図2 システム動作イメージ

まず,JINS MEME で取得した 15 秒データを Bluetooth でスマートフォンに送信する。そして、スマートフォンから WebSocket 通信を用いて JINS MEME で取得したデータを、リアルタイムで PC に送信する。データを受け取った PC は,focus score と sleep score が閾値を超えていないかを確認する。ここで、閾値を一定時間超えていた場合、ローカル環境において,Stable Diffusion を使用して画像の生成を行う。この際のプロンプトは、デスクワーカーに休憩を促すことを表す「Encourage desk workers to take breaks」を必ず入れる。また、プロンプトの違いによつての行動変容も比較する。その際、被験者が休憩時にやりたいことなどをプロンプトに入れる。例えば、「コーヒー」や、「たばこ」などが挙げられる。

4. 予備評価

4.1. 評価の目的

JINS MEME の focus score と sleep score の計算式は公表されていない。そのため、被験者が感じている主観的感覚の影響が、どの程度 JINS MEME が提供するスコアの数値に反映されるかを確かめるために,focus score と sleep score と、被験者へのアンケートの結果を比較する。

4.2. 実験設定

今回の実験の被験者は、筆者の所属している企業の就業者 12 名である。被験者は PC を用いたデスクワークを行う。実験期間は,11/15 から 12/7 の約 3 週間である。被験者が出勤するタイミングで測定をしているため、実験セッションは期間が開いた複数日間を通して行われた。

4.3. 実験手法

JINS MEME の focus score, sleep score の値に対して、被験者の主観での集中度、眠気、疲労度の比較を行う。1 名あたりの実験時間の決まりはなく、出勤したら実験に参加してもらった。主観の計測は、アンケートで 10 段階評価を行ってもらった。この比較結果をもとに,focus score の閾値と sleep score の閾値を算出する。

4.4. 実験進捗

実験全体を通して 79 件の回答が集まった。focus score や sleep score は 15 秒ごとのデータであるため、アンケート回答時の前 3 分、後ろ 1 分のデータの平均値とアンケートの 10 段階の主観的感覚を比較分析している。

5. 今後の展望

現在、予備評価のデータ分析を行っている最中であり,12 月中旬には分析を終わらせる。そして、集中度が下がっていたり、眠気を感じていると判断された場合に,Stable Diffusion が生成した画像を提示し、被験者がどのような行動変容を行うかを検証する本実験は,12 月下旬から 1 月中旬まで行い、評価を 1 月中に完了させる予定である。

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 (JPJ012368C05401) により得られたものです。本研究は、JST、CREST、JPMJCR19A4 の支援を受けたものです。本研究は JSPS 科研費 JP21K11853 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Riku Arakawa, Hiromu Yakura, and Masataka Goto. Catalyst: Domain-extensible intervention for preventing task procrastination using large generative models. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–19, 2023.
- [2] 東川知生, 山本景子, 倉本到, 辻野嘉宏, et al. デスクワーク時における瞬目に基づく疲労蓄積の検出と適切な休憩タイミングの提示. **研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI)**, 2012(1):1–6, 2012.

行動変容システムの誤動作による不信感に対する 寛容性醸成のための擬人化に関する研究

胡 伊端†, 辻 愛里‡, 藤波 香織‡

† 東京農工大学大学院 生物システム応用科学府 生物機能システム科学専攻

‡ 東京農工大学大学院 工学研究院 先端情報科学部門

1. はじめに

近年のテクノロジーの進歩が、行動変容技術の発展と普及を促進している。人々は自分の生活習慣や健康を管理するため、個々の行動パターンや目標に合わせたパーソナライズされたサポートを利用する。しかし計測や判定にエラーがあると、システムに不信感を抱き、やがて使用されなくなってしまうことから、行動改善の目的を達成できないことが懸念される。

システムに対するユーザの信頼性を高めることを目的とした様々な研究手法において、システムの擬人化 [1] は、一般的なコンピュータよりもユーザから信頼されることが確認された。しかし、表現力だけでは信頼性を得るのに十分ではないことを報告した研究 [2] によって、機械に十分な信頼度を得るためには、脆弱性などロボットの他の特性と組み合わせる必要があることが示されている。「弱いロボット」 [3] は、人間と不完全なロボットやシステムとの間に調和的な共生関係を作り出すことを目的として導入された。脆弱表現を模倣することで自己の状態をユーザに示し、それによって共感を呼び起こす。さらに、その脆弱表現が、ユーザの信頼性にプラスの影響を与えるという報告もある [4]。

これらの知見を元に、本研究ではシステムのエラーは避けられないという前提のもとで、利用者がエラーに寛容になるようにすることで途中の離脱を回避する手法の開発に取り組んでいる。本稿では 2 章で提案する擬人化と脆弱性の表現方法について説明し、3 章で行動変容向けの提案表現方法を導入した実験システムについて説明する。4 章で不具合があるシステムにおける提案手法を評価し、5 章ではそれを踏まえて考察する。そして 6 章では、提案手法の問題点を元に、システムの計測や判定に対する「システムの確信度」を定量化し、システムに対する信頼性の低下を防止する

ための改善策を議論する。

2. 提案方法

本研究では、システムの擬人化と脆弱性表現を組み合わせたシステムエラー対応手法を提案する。ユーザの信頼を高める擬人化アプローチに加え、エラー発生時のシステムの脆弱表現を加えることで、システムへの寛容感を醸成するための共感を喚起し、システムエラーにおけるユーザの信頼低下を回避することを目指す。擬人化とその脆弱性の組み合わせが、長期的な条件下で利用者の信頼や共感に与える影響を検証するために、本研究ではバーチャルエージェントの感情表現を用いて表現した。物理的なロボットの方が説得力が高いという研究結果もあるが、そのパフォーマンスを長期間にわたってコントロールすることは難しい [5]。そこで、実際の状況におけるユーザの日常的な活動を励ますために、仮想的なエージェントを検討した。

エージェントの外見については、デフォルメキャラクターの特徴である表情や体の動きの可愛らしさを活かした。また、システムがエラーを起こしていないと推測される場合、Wong-Baker FACES Pain Rating Scale [6] を用いて、図 1 に示したエージェントの基本表現を提示した。



図 1 擬人化エージェントの基本表現

擬人化エージェントは、エラーがあると推定されるとき、ユーザの共感を呼び起こすために脆弱な感情を用いる。システムのエラーの大きさに対応するために Marartelaro によって提案された 2 段階の脆弱表現 [4] を採用し、図 2 のように弱い脆弱表現と強い脆弱表現を使い分ける。



図 2 擬人化エージェントの脆弱表現

A study on anthropomorphism to foster tolerance for distrust due to error in behavior change systems

Yiduan HU†, Airi TSUJII‡, Kaori FUJINAMI†‡

†Department of Bio-Functions and Systems Science, Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

‡Division of Advanced Information Technology and Computer Science, Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

3. 実験システム

3.1. システム概要

プラスチックごみの過剰投棄による環境破壊という社会的課題を行動変容によって解決することを目的とし、本実験はゴミ捨て行動を対象としている。システムは、行動変容コンテンツと、システムの誤動作に対する寛容性醸成コンテンツで構成される。ゴミ検出部で検出されたゴミの量を、木とエージェントの状態に関連付けてユーザにフィードバックすることで、ゴミ削減行動を長期的に動機づける。図3のシステムフローに従い、以下で各部を説明する。

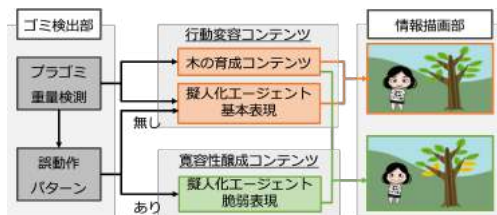


図3 実験システムフロー

3.2. ゴミ検出部

ゴミ検出部として、捨てられたプラゴミから重量検出を行い行動変容コンテンツとエージェントの振る舞いに反映する。ここで高精度な計測が可能な重量に着目し、計測結果に意図的に誤差を埋め込むことで誤動作パターンを生成し、エージェントに対する寛容性醸成評価に使用する。誤動作パターンをゴミの量における増加エラー（ゴミの量を多く誤る）と減少エラー（ゴミの量を少なく誤る）に分け、それぞれをさらに重大なエラーと軽微なエラーに分けた。詳細な設定については、表1に示す。

表1 誤動作パターン

	軽微なエラー	重大なエラー
増加エラー	重さの 200%	重さの 500%
減少エラー	重さの 50%	重さの 20%

3.3. 行動変容コンテンツ

行動変容コンテンツは、木の成長状態の変化として設計されたものと、エラーがない時に擬人化エージェントの表情を変化させることで、より効果的な行動変容を促すように設計されたものの2種類で構成されている。日中のゴミの重さによって図4に示すように木の成長状態が変化し、1日経つと前日の状況として図5に示す木の状態に反映される。システムは、その日のゴミの量に対して、最大限に茂っている状態から完全に枯れている状態まで5段階で表示する。



図4 当日の木の状態



図5 前日の木の状態

基本表現では、行動変容の追加コンテンツとして擬人化エージェントを採用している。表情は図1で例示するように、その日の廃棄ゴミ量が目標値以下であることを「とても嬉しい」「嬉しい」「無表情」の3段階と、目標を超えてしまったことを悲しむ様子を表す3段階がある。このため、ユーザはゴミの量をより具体的に認識することができる。

3.4. 寛容性醸成コンテンツ

ユーザのシステムの誤動作に対する寛容性を醸成するため、ゴミ検出に対するエラーがある場合に、基本表現に代わり図2に示す脆弱表現を用いる。3.2節で述べたように意図的に埋め込み誤動作を発生させ、それを弱い脆弱表現と強い脆弱表現で提示する。

4. 評価実験と結果

4.1. 実験概要

行動変容システムにエージェントとその脆弱表現が及ぼす影響を明らかにするための印象評価実験を実施した。日常空間内における行動を対象とするため、20代の大学生および大学院生9名を被験者として研究室内のゴミ箱の代わりに設置した実験システムを利用させる。実験システムを用いて、条件1) エージェント無し・誤動作無し、条件2) エージェント無し・誤動作有り、条件3) エージェント有り・誤動作無し、条件4) エージェント有り・誤動作有りの4条件を10日づつ合計40日間実施した。各実験条件で使用するコンテンツと実験システムを図6に示す。システムの誤動作パターンについては、実験条件2と4の誤動作有り条件では、各時間内にエラーなし、軽微なエラー、重大なエラーの順に誤動作が起きるよう設計した。この場合、エラーなし、増加エラーと減少エラーパターンが異なる実験日に実行された。

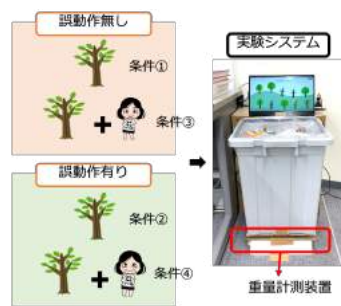


図6 実験条件のコンテンツと実験シナリオ

評価項目は、システムの利用評価とエージェント追加前後の信頼性の変化を検証すること、エージェントの表情状態に対してユーザが抱く印象と共感性を明らかにすることで構成される。異なるシステムにおけるユーザの利用体験を比較するため、システムユーザビリティスケール (SUS) を評価に用いた。信頼性評価には信頼性スケール [7] を利用した。さらに、システムユーザビリティの結果を合わせて、ユーザの信頼度とシステムに対する満足度の関係も評価した。実験条件 3 と 4 において、エージェントに抱く印象評価に GodSpeed[8] を用い、多次元共感性尺度 (MES)[9] から他者志向の反応に関するものを共感性の調査として、アンケートを実施した。さらに、各実験条件の終わりに、参加者にインタビューを行い、実験中の使用感や意見を調査した。

4.2. 実験結果

4 つの実験条件において、10 日間に 1 日の目標通りに行動した期間は、それぞれ条件 1 が 7 日、2 が 4 日、3 が 8 日、4 が 8 日であった。これは、参加者がエラーのないシステムを使用した場合、多くの日数、適切な廃棄処理を行ったことを示している。誤動作ありの実験条件 2 と 4 の比較結果から、擬人化とその脆弱な表現が行動改善を促す可能性があることが示された。図 7 に示す SUS スコアの結果から、システムの使いやすさに対する被験者の評価はエラーのないの方がエラーのあるシステムよりも高い。しかし、提案手法を用いることで、システムの使いやすさが向上するという結果は得られなかった。また、図 8 に示す信頼スコアの多重比較の結果、エージェントを用いない条件 1 と 2 の比較では、エラーがユーザのシステムに対する信頼度を低下させることが確認された。条件 1 と 3 に有意差が存在することから、本デザインの擬人化エージェントは、エラーのないシステムに対するユーザの信頼度を向上させるものではなかったが、条件 2 と 4 にわずかな差が存在することから、擬人化エージェントとその脆弱な表現は、システムエラーによる信頼度低下を改善する可能性があると考えられる。

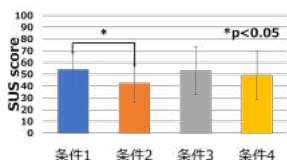


図 7 SUS スコア

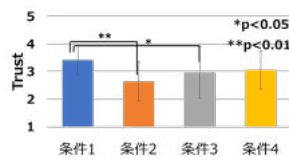


図 8 信頼スコア

GodSpeed アンケートの評価結果から脆弱表現の有無はユーザが擬人化エージェントに抱く印象に影響しないことが確認された。しかし、擬人化エージェントを対象とした MES の結果、脆弱表現を持つエージェントがより高い共感性を獲得した結果が確認された。インタビュー調査において、情報の提示に関して「エラーがあった時とゴミが多かった時の表情を区別するのが少し難しかったから、エージェ

ントがない時より少し使いにくかった」というコメントを確認した。また、エージェントの表現に関する「エージェントは少量のゴミには反応しない」、「もう少しエージェントの表情が変われば、関心を引くことができるかもしれないと思った」というようなコメントを得られた。

5. 考察

検証実験で得られた知見については、提案手法の不足について 2 つの観点からまとめる。

5.1. 情報提示の認知負荷

擬人化されたエージェントはより高いレベルの信頼を得られなかったという実験結果に対してインタビュー結果から参加者は、エージェントが重さをフィードバックすることで、情報を理解する難易度が上がると感じていたことが明らかとなった。この理由として、木の状態でエージェントの状態が同じ情報を伝えるのに用いられ、冗長であったことが考えられる。また、他の研究でも複数の情報フィードバックの対象が重なることは、ユーザの認知負荷につながる可能性があることが示唆されている [10]。このように、異なる要素に対して異なる種類の情報を提示し、擬人化されたエージェントが情報のフィードバックのメディアとしてではなく、社会的な役割としてのみユーザと相互作用することは、ユーザが情報を理解するのに役立つ可能性がある。

5.2. エージェントの表現力

エージェントの感情表現は、先行研究で提案された感情尺度 [4, 6] に沿って設計した。しかし、インタビューの調査結果によると、参加者は、エージェントがより豊かな表情を持つことで、ユーザの現在の行動に合わせて適切に反応し、自然なインタラクションが生まれることを期待していた。豊かな表情を持たせて行動に応じた反応が行われることで、ユーザはエージェントとのコミュニケーションがより深化し、よりリアルで満足度の高い体験を得ることができると考えられる。これらの知見に基づいて、今後は、特に擬人化されたキャラクターの表情をより豊かにし、表情やボディランゲージを充実させ、ユーザの現在の行動とのインタラクションを増やす必要があることが示唆された。

6. 今後の方針

検証実験は、意図的に制御条件下で行った。実用に即したルールでのシステム運用ではエラーが発生し、実際のシステムとは異なる。また、WoZ(Wizard-of-Oz) 法を用いることで、特定のシナリオを模倣する際、本物と異なる場合があるため、ユーザーのリアクションや知見は、実際のシステムでは発生しない問題や状況に基づいている可能性がある

[11]. そのため、実際にゴミの種類を検知するシステムを開発し、その結果を擬人化されたシステムに反映させることで、実利用での評価につなげる必要がある。実際のシステムでユーザの信頼度の変化をリアルタイムに観察し、エージェントの表現力を向上させる取り組みにより、擬人化表現技術と脆弱性表現技術の組み合わせによって、ユーザの信頼度が維持され、長期的に利用されるシステムになる可能性がある。今回の検討結果を踏まえ、実際に利用可能なゴミ種別認識システムを開発し、ユーザの信頼度を観測する機能を追加することで、既存の問題点を解決する。詳細は以下で述べる。

6.1. ゴミ種別認識システムの実装

提案手法の実使用における有効性を検証するために、まず現実の行動変容システムを開発する必要がある。そこで、図9に示すような画像認識に確信度推定を追加したゴミ種別認識システムを開発する。軽量かつ効率的な MobileNetV2 モデルと TensorFlow などのフレームワークを使用して、ゴミの分類に適した TrashNet データセットで事前学習させ、Raspberry Pi 上でゴミの種類をリアルタイムな検知を行う。このシステムを用いた検証実験としては、ユーザのゴミ分別行動を行動改善目標とし、捨てたゴミの種類を判定する。実験システムと同様に、木の成長状態をフィードバック内容として利用し、利用者のゴミ分別行動変容への動機付けを行う。

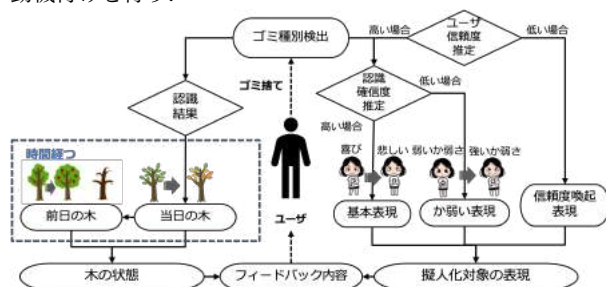


図9 システム概要

5.1 節で述べた情報提示の認知負荷の問題に対して、今後はユーザの分類行動の正誤は木の状態を用いてフィードバックし、ゴミ認識の確信度はエージェントの感情状態を用いてシステム自身の「確信度」として表現する。システムの確信度が低い場合、すなわちゴミ種別の認識精度が高くない場合、エージェントはユーザから寛容さを得るために脆弱表現を提示する。しかし、システムが高い確信を持ったときに、エージェントの基本表現をどのようにフィードバックすべきかは、検討中である。

6.2. ユーザの信頼度観測

システムに対するユーザの信頼度をリアルタイムに把握するため、信頼度測定機能を追加する。また、5.2 節で示し

たエージェントの表現力不足に対処するため、ユーザの信頼度が低下すると、エージェントは脆弱性とは異なる感情状態を表現し、ユーザの信頼度を回復させるために、ユーザとのインタラクションや親近感を増加させる。図9に示すように、信頼度判定の結果が低下した場合、エージェントは元の基本的な表情や脆弱な表情の代わりに、追加の動作や感情表現を表示する。なお本システムの利用シナリオは公共空間であるため、利用者の個人情報の侵害を低減する必要がある。従って、利用者の信頼度の観測手法としては、利用者の位置情報、すなわち、本システム周辺における利用者の滞在時間を判定内容とする予定である。

7. おわりに

本研究では、擬人化機能に対するアプローチを組み合わせた不具合のある行動変容システムとの長期的なインタラクションを通じて、擬人化システムの脆弱な表現がユーザの信頼や共感性に与える影響を調査した。誤動作を組み込んだゴミ箱システムとの長期的なインタラクションにより、擬人化システムの脆弱表現がユーザの信頼や共感性に与える影響を調査し、検証実験の結果により、提案アプローチが有効であることが示された。情報の冗長な提示やエージェントの表現力不足などの課題も明らかになった。

今後の研究では、擬人化手法の改良によって、検証実験で生じた問題点を解決し、提案手法の実利用における有効性を検証することに取り組む。さらに、ゴミ問題に限らず汎用的な場面での有効性についても検討する。日常空間におけるオブジェクトの擬人化が果たす役割を実験的に調べることで、長期的な条件下で信頼関係の構築に与える影響や効果を検証することが期待される。

参考文献

- [1] Kulms, P. et al.: More human-likeness, more trust? The effect of anthropomorphism on self-reported and behavioral trust in continued and interdependent human-agent cooperation, *Proc. of MUC'19*, pp. 31–42 (2019).
- [2] Dehn, D. et al.: The impact of animated interface agents: a review of empirical research, *J. Hum. Comput. Stud.*, pp. 1–22 (2000).
- [3] Okada, M.: Weak robots, *Proc. of JSAP*, p. 220409 (2022).
- [4] Martelaro, N. et al.: Tell me more designing HRI to encourage more trust, disclosure, and companionship, *Proc. of HRI '16*, pp. 181–188 (2016).
- [5] Li, J.: The benefit of being physically present: A survey of experimental works comparing copresent robots, telepresent robots and virtual agents, *Proc. of IJHCS*, Vol. 77, pp. 23–37 (2015).
- [6] Wong, D. et al.: Pain in children: comparison of assessment scales, *Pediatr Nurs*, Vol. 14, No. 1, pp. 9–17 (1988).
- [7] Madsen, M. et al.: Measuring human-computer trust, *Proc. of ACIS*, Vol. 53, pp. 6–8 (2000).
- [8] Nomura, T.: Humans' Subjective Evaluation in Human-Agent Interaction (HAI)(<Special Issue> Benchmarks in AI Research: Standard Problems, Data Sets, Evaluation Methods), *Proc. of JSAI, 31(2)*, pp. 224–229 (2016).
- [9] Suzuki, Y. et al.: Development of the Multidimensional Empathy Scale, *Proc. of Japanese J. Educ. Psychol.*, pp. 487–497 (2008).
- [10] Osawa, H. et al.: Using attachable humanoid parts for realizing imaginary intention and body image, *Proc. of Int. J. Soc. Robot.*, Vol. 1, No. 1, pp. 109–123 (2009).
- [11] Syrdal, D. et al.: Views from within a narrative: Evaluating long-term human-robot interaction in a naturalistic environment using open-ended scenarios, *Cognitive computation*, pp. 741–759 (2014).

衝動買いを抑止するシステムの検討

樋口朋香^{†1}
慶應義塾大学

柄澤匠^{†1}
慶應義塾大学

浜中智己^{†1}
慶應義塾大学

佐々木航^{†1}
慶應義塾大学

中澤仁^{†1}
慶應義塾大学

大越匡^{†1}
慶應義塾大学

1. 概要

衝動買いは、買い物において事前の計画をせず、その場の衝動で商品を購入してしまう行動であり、購入後に公開するケースが多いことから、消費者の間で衝動買いの抑制に関する意向があることが多い。一方で、その中には衝動買いを抑止することに難航する人々や、買い物依存症の患者も見られる。この課題を解決するため、Google が提唱する「パルス消費」理論の 6 つの衝動買いセンサーを基に、オンラインショッピング環境での独自の衝動買い抑止アプローチを提案する。本研究では、オンラインショッピングサイトにおける衝動買いの抑止に焦点を当て、Amazon.com, Inc. が提供するオンライン販売プラットフォームを実験の対象とし、6 つの衝動買いセンサー毎のアプローチが、どの程度効果的かを評価する。この過程で得られたデータをもとに、機械学習モデルを構築し、衝動買いを引き起こす可能性のあるタイミングや環境条件を推定する。本研究の最終目的は、最も有効なアプローチを特定し、機械学習を用いて衝動買い抑止に有益な環境条件やタイミングを推定する予測モデルを実装する事である。これにより、オンラインショッピングの利用者がより賢明な意思決定を行えるようなフレームワークを提供することが期待出来る。

2. 背景

2.1. 現代におけるオンライン購買

Google の調査 [1] によると、近年のオンライン購買傾向として、買う瞬間まで知らなかった商品を買う・暇つぶしにスマホを眺めている時に、偶然知った商品をその場で買うことに躊躇しない・ショッピングサイトを訪れた時点で、具

体的にどの商品を買うかまだ決まっていない、という購買行動を行う人が増加しているという結果がある。また、オンラインで商品が購入可能であるということは、どのような環境・タイミングでも衝動買いが出来てしまう。

2.2. 繰り返す衝動買い

消費者はしばしば衝動買いの経験を「不合理」であり、「やってはいけないことをしているような気がする」と後悔する [2] にも拘らず、朝日大学マーケティング研究所によると、10 代 60 代の女性 665 人に対して行われたアンケート調査で、「衝動買いした物で、使わない物が多くあるか」という問いに対して、約 50% がであると回答している。さらに、あると回答した人の中で、後悔しても衝動買いを繰り返してしまう人は約 60% いる事が明らかになっている [3]。

2.3. 買い物依存症

近年では、衝動買いが社会問題であるという見方 [4] もあり、さらにはストレス解消の為に購買行動を行い、この購買行動がエスカレートしてしまう買い物依存症という依存症が存在する。この買い物依存症には「異常」や「病的」とみなせる程度にまで過剰に買い物という行動にはまる症状が見られ、借金をしてまで買いたいという衝動を抑えられないという事例が多発し、精神科での治療が必要になるケースもある [5]。

3. 先行研究

3.1. 何が衝動買いを催促させるのか

Huang Xiang らによる、オンラインの衝動買いの決定要因を調査した研究 [6] では、EC サイトの使いやすさと衝動買い傾向に正の相関があり、さらに EC サイト上の情報量が多いと相関の媒介になるということがわかっている。また、Salman Kimiagari らによる、オンライン衝動買いにおける内的刺激と外的刺激の関係における認知的反応と感情的反応の役割について調査した研究 [7] では、操作性・価格属性・信頼傾向・自信がオンライン衝動買いの直接的な予測

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

^{†1} TOMOKA HIGUCHI, Keio University

^{†1} TAKUMI KARASAWA, Keio University

^{†1} HAMANAKA SATOKI, Keio University

^{†1} WATARU SASAKI, Keio University

^{†1} JIN NAKAZAWA, Keio University

^{†1} TADASHI OKOSHI, Keio University

因子になり、ポジティブな影響よりもネガティブな影響が衝動買いをより誘発させるということがわかっている。

3.2. 衝動買いの特徴傾向

増田理来らによる、EC サイトでの非計画購買と消費価値観との関連性に関する考察を行った論文 [8] では、衝動買いにおける特徴として、以下を挙げている。

- 値段よりも品質や持続可能性を重視する人
- 機能性よりもデザインや個性を重視する人
- 女性
- トレンドに敏感な人
- 実店舗とオンラインショップでの衝動買い傾向の差はない

このことから、衝動買いは、品質・持続可能性・デザインなどを重視した購買行動によくみられ、実店舗かオンラインショップかという選択は、衝動買いに直接影響しないことがわかる、

3.3. 6つの衝動買いセンサー

Googleが行った衝動買いの分析 [9] では、衝動買いのきっかけとなる要因を以下の6つにカテゴリ化した。

- Safety - 販売元が信用できる・信頼性の高いレビューが多い
- For me - 自分に最適化された物・自分にパーソナライズされたもの
- Cost save - セール中・最安値
- Follow - SNS で話題・評判が良い
- Adventure - 興味をそそられる・チャレンジ
- Power save - 手軽に買える・買う手間を省ける

これらの6つのセンサーは、買い物という行動に反応する根源的なセンサーであり、誰しもが持っているもので、ヒューリスティックな感覚であるため、一貫性がない。また、もっとも反応しやすいセンサーは、「Safety」と「For me」で、その次に「Cost save」であると分析した。

4. 課題

衝動買いの原因は、購買行動と本来の目標が一致していないのが原因であるが、この、問題の本質的課題は、衝動買いが出来てしまう環境をどのように抑止するかである。さらに、衝動買いを催促する先行研究は溢れているものの、抑止を検証した研究はない。これらのことから、衝動買いを抑止することは買い物依存症や消費者の Well-being の観点から有用である。

5. 提案手法

Amazon.com Inc. が提供するオンライン販売プラットフォームである Amazon ショッピングサイトにて、購入ボタンを押した際、Google が提唱する 6 つの購入センサーのうち、どれに当てはまる購入なのかを選択させる。選択された購入センサーに応じて、購入を阻害させる問いかけを行う。センサー毎に問いかける質問を以下に示す。

- Safety - 「販売元の評価は把握できていますか?」
- For me - 「この商品は今のあなたにピッタリのものでしょうか?」
- Cost save - 「この商品は本当にいつもよりもお得ですか?」
- Follow - 「この商品は本当にあなたに必要なものですか?」
- Adventure - 「この商品を買って後悔しないですか?」
- Power save - 「この商品はここで買う必要がありますか?」

これらの問いかけによって、購入センサーを阻害し、衝動買いを阻止する。

図 1 購入センサーの選択

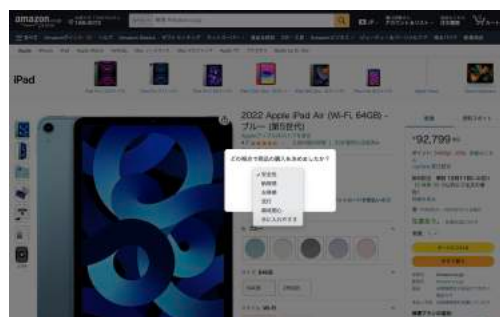


図 2 「安全性」選択時の問いかけ

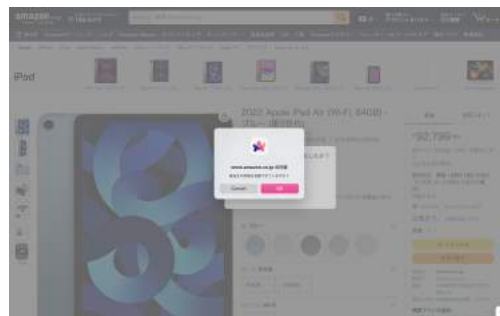
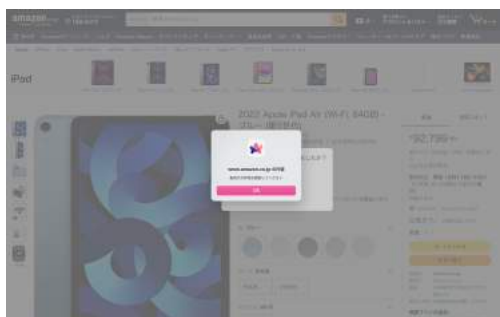


図3 問いかけで cancel を選択した場合



6. 評価

先述した提案手法で実験を行い、購入直前の衝動買い阻止の問いかけにより、どの購入センサーが一番衝動買いを阻止しやすいのかを検証する。また本実験では、購入と同時に、販売元の取引数、販売元の評価の星数、さくらチェッカーによるレビューのさくら割合、商品詳細ページ滞在時間、商品詳細ページの Webview の高さ、Keepa[10] による購入商品の常時価格からの価格差、購入商品の平均相場からの価格差、Google Trend の数値、購入商品の評価の星数、購入商品のレビュー数、発売日、送料の内、可能な限りのデータを取得し、機械学習モデルを構築することで、衝動買いを引き起こす可能性のあるタイミングや環境条件を推定する。

7. 今後の展望

今後の展望としては、12 月中旬から 1 ヶ月間実験を行い、収集したデータから分析を行う。具体的には、購入時に選択された購入センサーに基づいて、最終的に購入に至ったか否かと、以下の項目で対応しているデータの相関を調査する。

- Safety
 - － 販売元の取引数
 - － 販売元の星数
 - － サクラチェッカーのデータ
- For me
 - － 商品詳細ページ滞在時間
 - － 商品詳細ページの Webview の高さ
 - － サクラチェッカーのデータ
- Cost save
 - － Keepa による購入商品の常時価格からの価格差
 - － 平均相場からの価格差
- Follow
 - － Google Trend の数値
 - － 購入商品の評価の星数
 - － 購入商品のレビュー数

- Adventure
 - － 購入商品のレビュー数
 - － 発売日
- Power save
 - － 送料

分析から得られた結果・考察から、最も衝動買い抑止につながるアプローチを用いて、実用的なシステムの実装を行う。

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 (JPJ012368C05401) により得られたものです。

参考文献

- [1] 小林 伸一郎. データから見えた「パルス型」消費行動——瞬間的な購買行動が増えている：買いたくなるを引き出すために：パルス消費を捉えるヒント (2). <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/ja-jp/marketing-strategies/slapp-and-mobile/slshoppersurvey2019-2/> (参照 2022/11/9).
- [2] Jamie L Grigsby, Robert D Jewell, and Colin Campbell. Have your cake and eat it too: how invoking post-purchase hyperopia mitigates impulse purchase regret. *Marketing Letters*, 32(1):75–89, 2021.
- [3] 朝日大学 マーケティング研究所. 衝動買いに関するマーケティングデータ. <http://marketing.asahi-u.ac.jp/wp-content/uploads/2020/02/0307.pdf> (参照 2021/11/19).
- [4] Taku Togawa, Hiroaki Ishii, Naoto Onzo, and Rajat Roy. Effects of consumers' construal levels on post-impulse purchase emotions. *Marketing Intelligence & Planning*, 2019.
- [5] 碓朋子 et al. 「買い物依存症」における要因とその本質に関する一考察. *明星大学経済学研究紀要*, 50(1):38–44, 2018.
- [6] Huang Xiang, Ka Yin Chau, Wasim Iqbal, Muhammad Irfan, and Vishal Dagar. Determinants of social commerce usage and online impulse purchase: implications for business and digital revolution. *Frontiers in Psychology*, 13, 2022.
- [7] Salman Kimiagari and Neda Sharifi Asadi Malafe. The role of cognitive and affective responses in the relationship between internal and external stimuli on online impulse buying behavior. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 61:102567, 2021.

- [8] 増田理来 and 白井康之. Ec サイトでの非計画購買と消費価値観との関連性に関する考察. In **経営情報学会全国研究発表大会要旨集 2019 年春季全国研究発表大会**, pages 97–100. 一般社団法人 経営情報学会, 2019.
- [9] 小林 伸一郎. 消費者が「ピンとくる」6 つの直感センサー：買いたくなるを引き出すために：パルス消費を捉えるヒント (3) . <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/ja-jp/marketing-strategies/app-and-mobile/shoppersurvey2019-3/> (参照 2022/11/9).
- [10] keepa 公式 サイト. <https://keepa.com> (参照 2023/11/20).

要介護者と複数介護者をつなぐ IoT 型サブパットのセンサ実験及び評価

中谷結香^{†1}
東京電機大学

岩井将行^{†2}
東京電機大学

1. はじめに

近年、日本では急速に高齢化が進み、高齢者介護における介護者の負担が問題となってきた。また、高齢者における尿失禁の頻度は極めて高く、高齢者尿失禁ガイドライン [1] によると、在宅高齢者の 10 %、介護施設などに入居している高齢者の 50 % 以上に尿失禁が見られている。尿失禁は直接生命に関わることはないが、生活の質 (QoL) を脅かす疾患であり、精神的な苦痛や日常生活での活動性低下をもたらすとされている。IoT を使用した介護サポートは、センサやデバイスを介して介護者と要介護者を結びつけ、役立つ情報を提供することや、要介護者の情報のモニタリングや介護の負担軽減が可能となる。そこで、我々は「各センサを用いた要介護者にとって意図せず起こる尿失禁の検知及び複数介護者への通知システム」を提案する。本研究では熱電対センサ、湿度センサ、気体センサの比較を行い、センサを組み込んだ装置を装着させ、そのデータを Node-RED を介して収集することで失禁時のデータを記録するとともに、複数の介護者への通知を可能とすることで負担の軽減を図る。本稿では各センサの比較実験の詳細を記載するとともに、介護者への通知システムの提案及び有用性や手法についての検討を行う。

2. 関連研究

自宅介護者の負担

自宅での高齢者介護において、介護する家族の現状における課題は多くある。森らの文献検討によると [2]、介護において家族関係の悪化につながることや、精神的な辛さやきつさのような自覚を持つことが明らかとなっている。また、介護においての問題には日本特有のものが存在するとされており、長男に介護の負担が集中することや、日本における主介護者の 7 割が女性であるなど、介護負担の偏りも問題となっている。これらの問題から、要介護者や介護者

単体へのサポートだけではなく、家族全体や介護者全体で協力し合う意識を生むことができるようなアプローチが必要である。特に、様々な介護に関する通知を個人に対してのみ送信するのではなく、複数間でリアルタイムに状況共有を行うことが肝要である。

失禁検知

高齢者介護における IoT の活用例に関して、尿失禁を検知することのできる製品はいくつか存在する。トリプル・ダブリュー・ジャパン株式会社の DFree [3] は下腹部に直接装着し、超音波によって事前に膀胱の尿の溜まり具合を検知して排尿のタイミングを通知することが可能である。松永ら [4] は、専用の尿取りパットを作成し、内蔵された導電性繊維束を用いて尿失禁を検知するシステムを開発している。また、朝日産業株式会社の介護用おむつセンサー [5] は、おむつ内の温湿度の変化によって尿失禁を検知することが可能である。本研究では上記研究を参考に、皮膚に直接装着することによる違和感を軽減し、より付け替えが簡単になるよう、熱電対センサ、湿度センサ、気体センサの 3 つのセンサの比較を行い、最適なセンサの検討を行う。

自宅介護における介護者のサポート

山下ら [6] は、在宅介護における家族介護者のストレス軽減のためにみまもメイトというシステムを開発した。このシステムを活用し、介護状況を介護者が記入し共有することによって、他の介護者の記録を見ることができるようになり精神的サポートを得るとの結果が示された。また、共有機能が家族間のコミュニケーションを促進する役割も持つことが報告されている。しかし、これらは介護後の記録を共有するため、即時に負担を軽減するサポートをすることは不可能である。そこで、本稿では状況の共有を Node-RED を介して 1 対多の通信を実装することによって、リアルタイムでの負担軽減や意識付けを可能とすることを目指す。

Sensor Experimentation and Evaluation of IoT-Based Support System Connecting Care Recipients and Multiple Caregivers

^{†1} YUIKA NAKATANI, Denki University

^{†2} MASAYUKI IWAI, Denki University

表 1 使用センサ

Table 1 Utilized Sensors

使用センサ	詳細
ENV Pro Unit(BME688)	湿度センサ 気体センサ
Kmeter Unit(MAX31855)	熱電対センサ

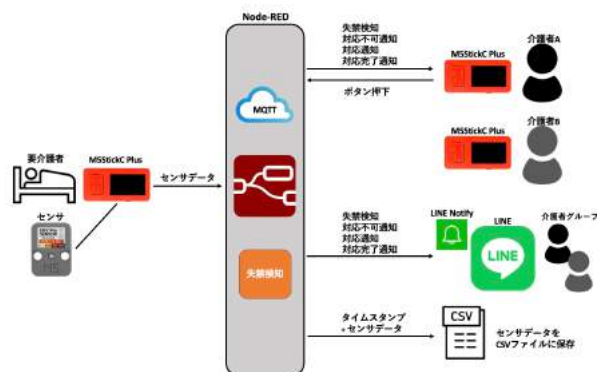


図 1 システム構成図

Figure 1 System Configuration Diagram

3. 提案システム

3.1. システム構成

開発するシステムの構成図を図 1 に示す。本システムは、尿失禁を検知するセンサ部分と介護者へと通知する通知デバイス部分とで構成されている。センサ部分で得られたデータを Node-RED へと MQTT を使用して送信し、Node-RED 上でデータの処理を行う。センサデータの変化を検知した場合に、M5StickCPlus で作成した通知デバイスの介護者端末 A と介護者端末 B に対してデータを送信することに加えて、LINE Notify を利用して、複数介護者の参加する LINE グループに対してもデータの送信を行う。また、各デバイスのボタンの押下情報も Node-RED 上で処理され、必要に応じた通知が各デバイスと LINE グループ上に反映される。センサデータは time stamp とともに常時 CSV ファイルに保存され、第三者が要介護者の状態をデータを分析することも可能とする。

3.2. 介護者への通知部分の実装

介護者端末部分は図 2 のようになっている。通知デバイスにバンドを装着することによって、腕部分に装着することを可能にしている。また、vibrationHAT を装着することにより、振動によって介護者への通知を行うことを可能とする。通知デバイスのボタンは、尿失禁検知時・紙おむつ交換対応時・紙おむつ交換完了時の 3 つの状況に対応して



図 2 通知端末

Figure 2 Notification Device

いる。

4. 各センサの検知実験

初めに、熱電対センサ・湿度センサ・気体センサそれぞれの尿失禁検知の精度を調べ、実装するセンサについての検討を行う。本研究では表 1 のセンサそれぞれに対して、尿失禁時の検知精度の実験を行った。実験には、紙おむつ*1・湯たんぽ・温度計・灯油ホース・タオル・バンドを使用した。尿失禁の状況を擬似的に再現するために、湯たんぽに 38 度のお湯を入れて紙おむつを履かせ、内部に灯油ホースを挟み込み、(図 3) 紙おむつの外部にそれぞれのセンサを設置した後にタオルを被せバンドで固定した。(図 4) 灯油ホースから流し込む擬似尿は、一般的な 1 回の排尿を再現するために 37 度の 100ml のお湯を用意し、食紅で色をつけることで量を視覚的にも確認できるようにした。

4.1. K-meter の熱電対センサ検知実験

K-meter の検知実験において、先端部分に防水加工を施し、紙おむつの下部に固定して実験を行った。(図 5) 擬似尿を流し込んだ際のセンサの温度変化の様子を記録し、同じ環境下で 3 回行った際のグラフを図 7 に示す。

擬似尿を流し込んだ瞬間から温度が約 4 度上昇していることから、尿失禁を検知することは可能であると考えられる。しかし、尿がかかる位置や、少しずつ排尿された場合に紙おむつの外側の温度が下がってしまうことにより、うまく温度の上昇を検知できないことが懸念される。

4.2. ENV-Pro の湿度センサ検知実験

ENV-Pro の検知実験において、センサの装着部分を市販のブラケースを加工してカバーを作成し、紙おむつの下部

*1 <https://kao-direct.kao.co.jp/shopdetail/000000001707/b603200/page1/recommend/>



図 3 実験装置の内側
Figure 3 Inside



図 4 実験装置の外側
Figure 4 Outside



図 5 K-meter の装着
Figure 5 Attach the K-meter



図 6 ENV-Pro の装着
Figure 6 Attach the ENV-Pro

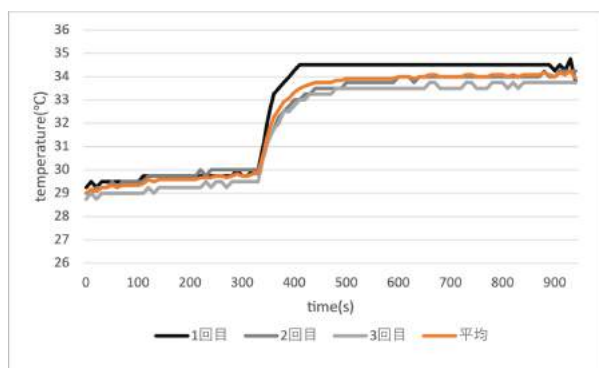


図 7 K-meter の熱電対センサグラフ
Figure 7 Temperature Graph of K-meter

に固定して実験を行った。(図 6) 灯油ホースから擬似尿を流し込んだ際のセンサの値の外部部分・内部部分・2つの値の差の変化の様子を記録し、同じ環境下で3回行った際の値の差のグラフを図8に示す。

擬似尿を流し込んだ瞬間から湿度が約35%上昇していることから、尿失禁を検知することは可能であると考えられる。加えて、湿度は温度に比べてなかなか下がりがづらく、尿失禁の検知には向いていると考えられる。

4.3. ENV-Pro の気体センサ検知実験

ENV-Pro の気体センサ部分の検知実験において、市販のアンモニア水^{*2}を用いて実験を行った。アンモニア水は200倍に希釈したものを用意し、水溶液の上部に気体センサを配置した際の値の変化を記録した。同じ環境下で3回行っ

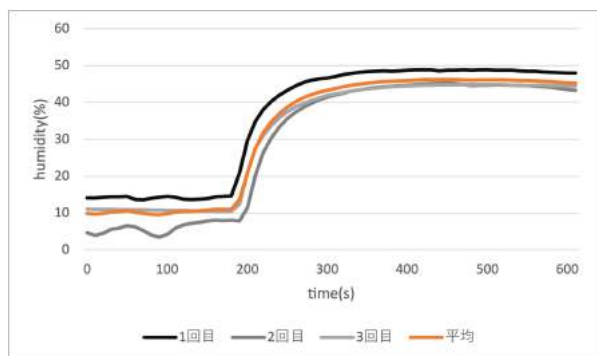


図 8 ENV-Pro の湿度センサグラフ
Figure 8 Humidity Sensor Graph of ENV-Pro

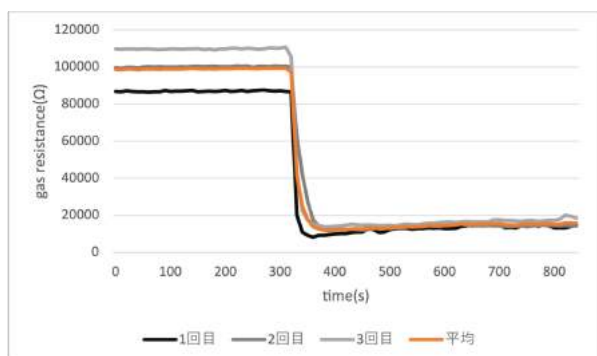


図 9 ENV-Pro の気体センサグラフ
Figure 9 Gas Sensor Graph of ENV-Pro

た結果のグラフを図9に示す。

希釈したアンモニア水の入った容器の上部にセンサ部分を固定した瞬間に気体センサの値が大きく下がっていることから、アンモニア臭の検知は可能であると考えられる。しかし、実際の匂いが紙おむつの外側まで到達するまでの時間や紙おむつの消臭機能による臭いの軽減などにより、現在の装着方法では正確に検知することができないことが懸念される。

上記の実験により、本稿での通知実験に使用するセンサは湿度センサを優先する。

5. 通知部分の評価実験

実験方法

通知部分を評価するために、それぞれのシナリオの完了までの時間を比較した。シナリオAは介護者Aのみが通知デバイスを装着して介護を行い、シナリオBでは介護者Aと介護者Bがそれぞれ通知デバイスを装着して介護を行った。また、各シナリオは次の条件で実行された。

^{*2} <http://www.taiyo-pharm.co.jp/anmonia.html>

表 2 各シナリオの実行結果

Table 2 Execution Results for Each Scenario

回数	シナリオ A	シナリオ B
1	7:00(A)	1:59(A)
2	7:59(A)	3:53(A)
3	5:01(A)	3:55(A)
4	5:00(A)	8:53(B)
5	2:01(A)	1:32(B)
6	4:59(A)	4:47(B)
平均値	5:20	4:10
中央値	5:01	3:54

- 介護者は今回の通知システムを使用する
- 介護者はそれぞれ (2 分/3 分/5 分/10 分) と書かれたくじを引いて順番に並べその時間介護に向かえない
- 介護に向かえない場合、ボタンを押下してもう片方の介護者に向かって欲しい旨を伝える
- くじとくじの間は 1 分あけ、自由時間とする
- 1d23 分後に尿失禁するものとしてランダムに時間を決定し、決定時刻になったら尿失禁を検知させる
- 尿失禁してから介護者が向かうまでの時間を計測する

実験結果

各シナリオを 6 回ずつ実行した結果を表 2 に示す。シナリオ B のかかった時間の平均値がシナリオ A に比べて 1 分 10 秒短く、中央値も同様にシナリオ B の方が 1 分 7 秒短い結果となっていることから、1 対 1 で検知部分を活用した場合よりも 1 対多の通知を活用した場合の方が、検知から介護に向かうまでが短くなると考えられる。また、シナリオ B においてそれぞれが介護に向かった回数は、介護者 A と介護者 B のどちらも 3 回となっていることから、1 人にかかる負担をうまく分散することができているといえる。また、各シナリオを実行した際の LINE グループのトーク画面を図 10 に示す。検知時の時間や状況がリアルタイムで記録されていくため、介護者だけでなくグループに参加している人物全員に自動的に状況を共有することが可能である。



(a) シナリオ A

(b) シナリオ B

図 10 各シナリオにおける LINE のトーク画面

Figure 10 LINE Chat Screens in Each Scenario

6. 今後の展望とまとめ

本稿では、尿失禁がもたらす QoL の低下と介護者 1 人に負担が偏ることによる精神的な辛さや重荷の問題があるという背景から、リアルタイムでの尿失禁検知及び複数への情報共有を目的としてシステムの検討を行った。M5StickCPlus を活用し、センサの値を Node-RED を介して MQTT で通信して送ることにより、複数の通知デバイスや LINE へのメッセージを送信を可能とした。このシステムを活用し、介護の場面を想定して比較実験を行ったところ、介護者のリアルタイムでの意思疎通や負担の分担が可能であることが示された。

今後の展望として、本稿では尿失禁検知部分に一番数値の変化が大きかった ENV-Pro の湿度センサを使用したのが、この検知方法では尿失禁は検知することができても便失禁の検知が難しいと考えられる。4.3 章において使用した気体センサの値を、BME AI-Studio^{*3}を使用して機械学習を活用することにより、より複雑な排泄状態を分類可能とすることが期待できる。また、評価実験において単純な時間の短縮と介護の分担における肉体的な負担の軽減は可能であることを示すことができたが、精神的なサポートに関する働きかけが少なかったため、通知送信部分のアルゴリズムやデバイス部分の改善によって対応していく。

参考文献

- [1] 平成 12 年度厚生科学研究費補助金 (長寿科学総合研究事業) 事業高齢者尿失禁ガイドライン (2000).
- [2] 森英里奈, 上杉裕子: 在宅における家族介護者の現状と課題, 日本保健医療行動科学会雑誌 = Journal of the Japan Academy for Health Behavioral Science, Vol. 31, No. 1, pp. 57–63 (オンライン), <https://cir.nii.ac.jp/crid/1520009407540470528> (2016).
- [3] トリプル・ダブリュー・ジャパン株式会社 DFree - 排泄予測デバイス. Accessed on 2023-12-01.
- [4] 松永美輝恵, 井関智美, 田内雅規: 感度の異なる排尿検知装置の試作と高齢者介護施設における臨床評価, 岡山県立大学保健福祉学部紀要 = Bulletin of Faculty of Health and Welfare Science, Okayama Prefectural University, Vol. 20, pp. 53–62 (オンライン), 10.15009/00000534 (2014).
- [5] 朝日産業株式会社介護用おむつセンサー. Accessed on 2023-12-01.
- [6] 山下直美, 葛岡英明, 平田圭二, 荒牧英治, 工藤 喬, 服部一樹: 家族介護者間の情報共有が家庭内コミュニケーションに及ぼす影響, 情報処理学会インタラクショナル 2018 = IPSJ interaction 2018, (オンライン), <https://www.interaction-ipsj.org/proceedings/2018/data/pdf/INT18006.pdf> (2018).

^{*3} <https://www.bosch-sensortec.com/software-tools/software/bme688-software/>

水平方向の変動性からみた書き困難の定量的評価

林珠里^{†1}・林欣誼^{†1}・大森幹真^{†2}

早稲田大学大学院人間科学研究科^{†1}・早稲田大学人間科学学術院^{†2}

1. はじめに

発達障がい児の多くは書字場面での困難さがあり、近年は発達性協調運動障害(DCD)としても取り上げられている(平田, 2018)。しかし書き困難の評価については読みの副次的な障害とみなされることが多く、定量的な評価が国内ではあまり行われていない。恵他 (2021)は、大人と子どもの運筆時の筆圧やペンの傾きを計測することで、子どもの方が大人よりも水平方向への傾きが大きく、垂直方向への傾きが小さいことを報告した。また近年では運筆場面における動作解析から書き困難を評価する研究も開始されている(e.g., Lopez & Vaivre-Douret, [1])。Lopez and Vaivre-Douret, [1]は、定型発達(TD)児と書き困難(HD)児を対象に、サイクロイド図形の連続模写課題を行い、その場面での知覚・運動評価を行った。その結果、TD児に比べてHD児の方が書字速度の安定性が低いこと、書いている手の手首や肘、肩の上下動が多かったことを報告した。一方で、教育現場においては教場から児童・生徒を観察する場合、書き手の上下動よりも、水平方向への動きの方が書き困難を同定しやすい可能性がある。そこで本研究では、DCD児とTD児を対象に、運動の不器用さについて標準化検査および運動解析から分析することにより、運筆場面での水平方向への変動性について比較・検討することとした。

2. 方法

2.1 参加者

発達障がい児5名と定型発達児5名が参加した。

2.2 刺激と装置

運動機能を測定する標準化検査として、Movement Assessment Battery for Children-second edition (MABC-2, Henderson et al., 2007)を使用し、そのときの運筆課題の様子をビデオカメラで撮影した。MABC-2は手先の器用さ、ボールを使った運動技能、バランス能力の3項目を8課題から測定する検査であった。また運動機能を解析するために運動解析ソフト(VisionPose Single3D, ネクストシステム, 30Hz)を使用した。

2.3 手続き

(1) 標準化検査：運動機能を測定する標準化検査としてMABC-2(Henderson et al., 2007)を行い、運筆場面課題の動画を撮影した。

(2) 運動機能計測：撮影した動画を解析ソフトに同期させて、数値データを求めた。その際に、先行研究[1]に準じて、書き手の手首および肘の水平方向への動きを標的とした。

(3) 従属変数：①運筆課題の課題従事時間 ②運筆課題におけるエラー数 ③標的部位の変動係数(Coefficient of Variation, 標準偏差÷平均値で算出)を用意した。

3. 結果

MABC-2の結果において、3項目ともにDCD児群よりもTD児群の方が有意に高い標準得点を示していた。運動解析において、課題従事時間を比較したところ、DCD群の方で課題従事時間が短くなっていたことを示した。一方で、DCD児群はTD児群に比べてエラー数も著しく多くなっていたことも示した。また運動解析において手首および肘の水平方向への変動性はTD児に比べてDCD児の方がそれぞれ2.2倍、3.5倍程度安定していないことが明らかになった。一方で垂直方向の変動性は両群間での変動の差異は見られなかった。

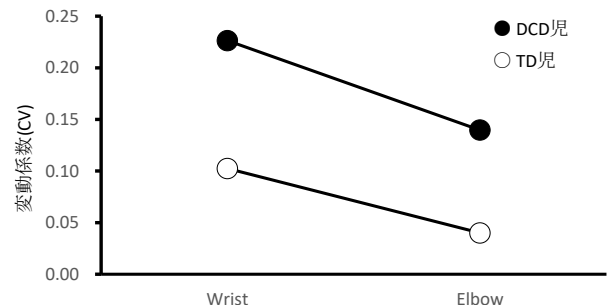


Fig. 運筆場面における水平方向の変動係数

4. 考察

先行研究(Lopez & Vaivre-Douret, [1])では標的部位の上下動におけるTD児とHD児の差異を検討していたが、本研究の結果から、水平方向の変動性からも書き困難を検出できる可能性を示した。運動の不器用さに関する定量的評価を行うことで、判読性の面からの支援やペアレントトレーニングによる行動変容につながる有効性を示していく。

参考文献

[1] Lopez, C., & Vaivre-Douret, L. (2021). Influence of visual control on the quality of graphic gesture in children with handwriting disorders. Scientific Reports, 11(1), 23537.

本研究はJSPS 科研費 (No. 22K13739)の助成を受けて行った。

^{†1} JURI HAYASHI, Graduate School of Human Sciences, Waseda University

^{†1} LIN HSIN I, Graduate School of Human Sciences, Waseda University

^{†2} MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University