AIoT 行動変容学会
第 8 回研究会論文集

（Proceedings of the Academy of Behavior Transformation by AIoT 8th Research Meeting）

2024 年 12 月 13日（金）～ 14（土）

岡山大学　津島キャンパス

共育共創コモンズ・工学部 5 号館

目　次

AIoT行動変容学会
第8回研究会（BTI-8）

Academy of Behavior Transformation by AIoT
The 8th Research Meeting (BTI-8)

❏ 日程：2024年12月13日（金）14:00〜17:40，12月14日（土）9:30〜12:30

❏ 会場：岡山大学 津島キャンパス（〒700-0082 岡山県岡山市北区津島中3丁目1-1）
・12月13日（金）：岡山大学 共育共創コモンズ 2F 講義室
・12月14日（土）：岡山大学 工学部 5号館 15講義室

❏ URL：http://www.sig-bti.jp/ ・X/Twitter：@ipsjbti

❏ アクセス

地図出典：https://www.engr.okayama-u.ac.jp/access/in_campus/map/

◆ プログラム

１日目： **12/13**（金）

- 13:30-　　　受付
- 14:00-14:10　　オープニング
- 14:10-15:50　　セッション１（100min）
  - **(G01)** 製造現場の認知構造に基づく**UI/UX**設計が製造プロセスの意思決定に与える影響
  - **(G02)** 行動介入シミュレータ：社会的ジレンマの解消支援ツールとして
  - **(G03)** 内製 **Web** アプリの導入における心理的障壁の分析と行動変容の促進
  - **(G04)** 非特定テレビ視聴履歴データを用いたテレビ視聴行動クラスタリング手法の構築と評価
- 15:50-16:05　　休憩
- 16:05-17:35　　デモ・ポスターセッション（90min）
  - **(P01) ChatGPT** を介した小規模なフロー型データベース管理システム
  - **(P02)** 農山村地域における地域住民意識変化プロセス
  - **(P03)** 新興国における交通渋滞とドライバー行動変容（第１報）
  - **(P04) AI** と **web3** を活用した行動変容支援システム「運動サプリ」の開発:
    行動科学に基づくインセンティブ設計と個別最適化による行動変容促進
  - **(P05)** スマートフォンのセンサデータに基づくユーザコンテキスト認識型音楽推薦システム
- 17:35-　　　クロージング

２日目： **12/14**（土）

- 9:00-　　　受付
- 9:30-9:40　　オープニング
- 9:40-10:55　　セッション２（75min）
  - **(G05)** ナレッジベース活用による知識伝承を促進するナッジ施策と集団特性の関係性
  - **(G06)** ノーコードアプリ開発によるゲーミフィケーションを用いたエシカル消費の行動変容
  - **(G07)** 書字動作の不均一性からの視覚運動協応能力の予測
- 10:55-11:10　　休憩
- 11:10-12:25　　セッション３（75min）
  - **(G08)** リアルタイム視覚的フィードバックによるバスケットボールシュートフォーム改善システム
  - **(G09)** 拡張現実とマルチセンサデバイスを用いた
    アームロボットリモートコントロールシステムの提案
  - **(G10)** 一時停止交差点における運転支援システムの個人適合に向けた基礎検討
- 12:25-　　　クロージング

一般講演発表一覧

ポスター・デモ・企業発表一覧

製造現場の認知構造に基づく UI/UX 設計が製造プロセスの意思決定に与える影響

鈴木萌々花[†1] 株式会社 UACJ
大町奈央子[†2] 株式会社 UACJ
磯田祐世[†3] 株式会社 UACJ
山本佑樹[†4] 株式会社 UACJ

1. はじめに

近年，製造業では生産性の向上や品質改善を目的とした内製アプリケーションの開発が進められている．しかし，こうしたアプリケーションの多くが現場で十分に活用されていないという課題が存在する．その主な原因として，開発されたアプリケーションが製造現場の具体的な業務ニーズや現場ユーザーの認知構造に適合していない点が挙げられる．この結果，現場での使用頻度が低下し，導入効果が限定的なものとなっている．

特に，ユーザーの業務特性や価値観，現場独自のプロセスを考慮せずに設計された UI(ユーザーインターフェース)や UX(ユーザーエクスペリエンス)は，利用意欲の低下を招くだけでなく，作業効率や意思決定の妨げにもなり得る．このような現状において，アプリケーション設計にユーザー中心設計(User-Centered Design, UCD)の視点を導入することは重要である．ユーザー中心設計とは，ユーザーのニーズや価値観を中心に据えた設計手法のことである[1]．しかしながら，この設計手法について製造現場に対し適用可能な具体的な方法論として十分に整理されていない．本研究の目的を以下に示す．

1. ユーザー中心設計の具体的手法の明確化

製造現場におけるアプリケーション設計に適用可能な UCD のプロセスを体系化し，その具体的な方法を提示する．

2. 工場ドメインの認知負荷に適合した UI/UX 設計の効果の検証

UCD を用いて設計されたアプリケーションが，現場ユーザーの作業効率や意思決定プロセスにどのような影響を及ぼすかを実証的に評価する．

これにより，製造現場の実情に即したアプリケーション設計の基盤を構築し，現場での内製アプリケーションの有効活用を促進するための知見を提供することを目指す．本研究の成果は，現場における DX(デジタルトランスフォーメーション)の進展を支える重要な一助となると考えられる．

Impact of UI/UX design based on the cognitive structure of the manufacturing site on manufacturing process decision making
†1 MOMOKA SUZUKI, UACJ Corporation
†2 NAOKO OMACHI, UACJ Corporation
†3 YUSEI ISODA, UACJ Corporation
†4 YUKI YAMAMOTO, UACJ Corporation

2. ユーザー中心設計の具体化方法

2.1 アクションリサーチサイクル

ユーザー中心設計の実現に向け，アクションリサーチ手法を取り入れた．アクションリサーチはユーザー/開発者が積極的に関与し，ニーズや価値観に則した課題解決を目指すアプローチである[2]．アクションリサーチは実践研究と訳されることがあるが，単なる「実践についての研究」ではなく，研究者が現場の人々に働きかけ，対象者への援助と研究(実践)を同時に進める「実践を通しての研究」を指す．そのため，現場の変革を含む実践がアクションリサーチの特徴である[3]．

図 1 に示すアクションリサーチサイクルを適用し，ユーザー(工場ドメインの従業員)および開発者が主体的に関与する形で，ニーズに基づく課題解決を目指した．

アクションリサーチは「コンテクストと目的」を明確にしたうえで「課題構築」「アクション計画」「アクション実行」「アクション評価」の **4** 段階で実施される．

以下に，アクションリサーチについて具体的な実施内容を述べる．

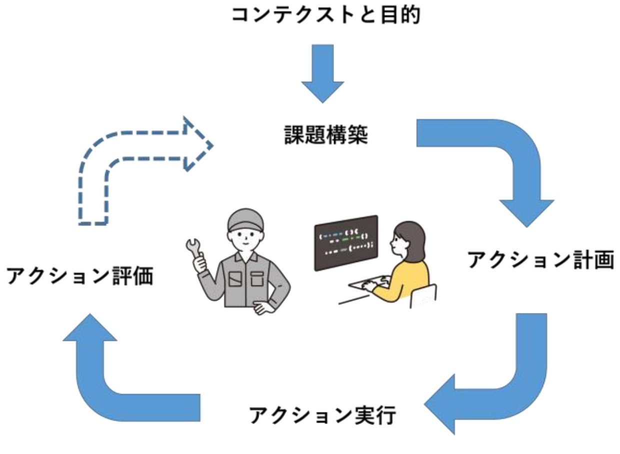


図 1 アクションリサーチのサイクル
Figure1 Action Research Cycle.

2.1.1 コンテクストと目的

研究の背景や必要性を具体化し，アクションリサーチを用いる妥当性を検証するフェーズである．

当社におけるアルミニウム加工工程では，生産効率の向上と高品質製品の製造を目指す上で，潤滑油の性状を安定

化させることが極めて重要である．しかし，潤滑油の性状は日々変動し，その変動に即応する迅速かつ適切な調整が求められるにもかかわらず，現行の意思決定プロセスには複数の課題が存在している．例えば，調整作業の遅延や不適切な対応が頻発しており，これが生産効率や製品品質の向上を阻む要因となっている．さらに，潤滑油管理のような専門性の高い領域では，既存の内製アプリケーションが現場で十分に活用されていない現状がある．この背景には，アプリケーションが現場特有の業務プロセスやユーザーの認知負荷に十分配慮されていない設計上の課題があると推察される．

そのため今回は，潤滑油調整業務の現場ユーザーを対象に，業務特性に即したアプリケーション設計を目指す．ユーザー中心設計を採用し，アクションリサーチ手法で問題を分析・改善する．これにより，UI/UX 設計の最適化と内製アプリケーションの有効活用を促進する基盤を提供することを目指す．

2.1.2 課題構築(抽出)

アクションリサーチの中で，ユーザーヒアリングや観察を通じて，ユーザーの抱える日常的な負担や非効率性の具体例を把握しつつ，現行の課題を以下のように洗い出した．

①手入力および手動グラフ作成の負担

潤滑油の性状データは Excel で管理されており，日々の分析値を手入力し，項目ごとに手動でグラフを作成している．この作業は属人化しやすく，ヒューマンエラーのリスクを伴うほか，作業負担が大きい．

②膨大なデータ量への対応の困難さ

性状データは多岐にわたり，過去データも膨大であるため，必要な情報を迅速に抽出できず，重要な情報を見落とすリスクが高い．

③データ可視性の課題

グラフが個別項目ごとに分散しているため，異常値や注目すべき項目を直感的に把握することが難しい．

2.1.3 アクション計画

2.1.2 で洗い出した課題は，認知負荷理論(Cognitive Load Theory)の概念を適用することで解消できると考えられる．認知負荷理論とは，人間の短期記憶が処理できる情報量には限界があるという認知心理学の知見に基づいており，情報の過剰な提示や不適切な形式は，理解を妨げ，意思決定の遅延や誤りを招く可能性を示唆する[4]．学習やタスク遂行時の認知負荷は外在的負荷，内在的負荷，関連的負荷の 3 つに分類される[5].

- 外在的負荷：非効率な情報提示や不要な作業によって生じる負荷を指し，削減が可能である．
- 内在的負荷：タスクそのものの複雑性に起因する負荷であり，削減が難しいが管理は可能である．
- 関連的負荷：学習やタスク遂行に必要な認知的努力を指し，適切な水準を保つことが求められる．

製造現場のデータ管理や可視化における課題に対し，外在的負荷を最小化することで，内在的負荷への対応力を高め，関連的負荷を適切に調整することが可能となる．この認知負荷理論をベースに，プロトタイプの UI/UX 設計を行った(Table1).

表 1 課題に対する外在的負荷とそれに対応可能な UI/UX 設計
Table 1 Extrinsic load on the issue and the ability to respond to it UI/UX design

課題	外在的負荷	対応可能なUI/UX
手入力・手動グラフ作成	単調作業による集中力の低下 確認の負担増加 個人差による扱いづらさ	・統一されたグラフデザインの自動生成 ・Plotlyでインタラクティブな操作性
膨大なデータ量への対応の困難さ	データ探索の煩雑さ 重要データの見落としのリスク	・項目数の絞り込み ・最新数値の提示
データ可視性の課題	異常の即時把握が困難 全体像の把握がしづらい	・カード形式の可視化 ・視認性の向上

2.1.4 アクション実行

Table1 をもとに，実際にアプリのプロトタイプを作成した結果，完成した UI デザインを以下に示す.

<u>視覚的アラート機能付きカード型 UI</u>

膨大なデータ量への対応の困難さ・データの可視性課題に対し，視覚的アラート機能付きカード型 UI の導入を考案した(Fig.2)．以下に，工夫点を示す.

- 直観性・視認性
  カード型 UI では，管理範囲が設定されている項目に対して，カード下部に色を付与することで正常・異常を識別可能にしている．管理範囲内であれば正常を表す緑色，管理範囲外であれば異常を表す赤色を使用することで各項目の状態を一目で把握できるようにした．色にはセマンティックカラーという定義があり，特にアラート関連ではセマンティックカラーを活用することが一般的である[6]．これにより，視覚的かつ直感的な現状把握が可能となる
- アクセス性・操作性
  アンカー機能を設置した．カード型 UI に配置されたアラートをクリックすることで，該当するグラフに自動的にスクロールされ，ユーザーがグラフの詳細を素早く確認できるようになる．また，グラフ付近に「トップページへ戻る」ボタンを配置し，ナビゲーションの手間を軽減した．このような操作の簡素化により，ユーザーは無駄な操作を減らし，効率的に情報を取得可能となる
- 柔軟性・カスタマイズ性
  ユーザーが必要とする管理項目だけを表示し，情報を絞り込むことで，過剰なデータに圧倒されることなく，最も重要な情報を効率よく取り扱うことができる．

● 全体的な情報の整理・一貫性
　カード型 UI はデータを分かりやすく集約する役割を果たす．この一貫したデザインにより，ユーザーは異常値や重要なデータを素早く認識できるだけでなく，必要な情報に集中しやすくなる．余白が均等になり，情報が整理されていることで，データ間の関係性が把握しやすくなり，ユーザーが行う意思決定の質も向上することが期待される．

<u>対話的なグラフ表示 UI</u>

手入力・手動グラフ作成の課題に対し，対話的なグラフ表示 UI の導入を考案した(Fig.3)．以下に工夫点を示す．

● 直観性・視認性
　自動生成グラフ内で管理範囲を示す上限・下限線や移動平均線を表示していることから，ユーザーは瞬時に異常値やトレンドを視覚的に確認可能である．
● 柔軟性・カスタマイズ性
　ユーザーは，グラフ内の表示範囲やトレンドラインを自由に調整できるため，データの解釈や解析を自分の作業フローに合わせて柔軟に行うことが可能である．
● 全体的な情報の整理・一貫性
　グラフのデザインが統一されていることで，ユーザーは複数の項目を比較する際にデザインの違和感を抱くことなく，直感的に理解できる．これにより，情報整理が効率化され，ユーザーは短時間でデータ間の関係性を把握できるようになる．
● インタラクティブ性
　対話的なグラフ表示は，ユーザーがデータを動的に操作することで，データの迅速な解釈を支援する．グラフを拡大したり縮小したり，表示範囲を調整することで，ユーザーは必要なデータを迅速に見つけ，効果的に活用することが可能である．

このように，視覚的アラート機能付きカード型 UI と対話的なグラフ表示 UI は，それぞれのカテゴリにおいて，ユーザーのニーズに応じた直感的で効率的なデザインを提供することが期待される．

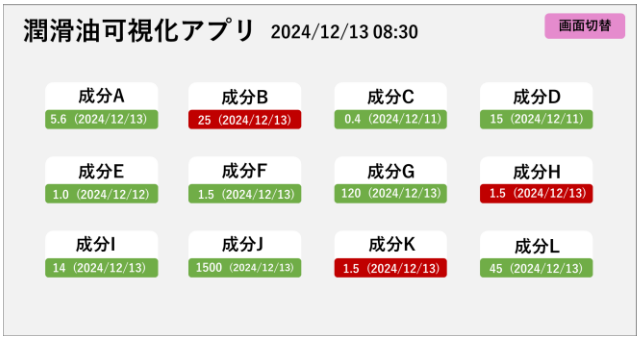


図 2　視覚的アラート機能付きカード型 UI
Figure2　Card-style UI with Visual Alert Features.

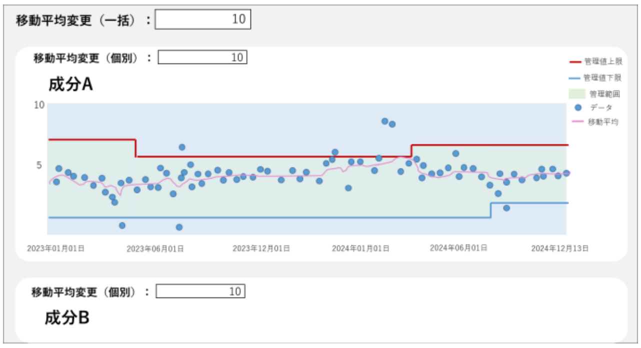


図 3　対話的なグラフ表示 UI
Figure3　Interactive UI of graph.

2.1.5 アクション評価

プロトタイプの評価に向けて，工場ドメインに対しプロトタイプに関するワークショップを開催し，ドメイン作業者からプロトタイプに関する以下フィードバックを得た．

● グラフ UI の操作性に関する改善点
● カード型 UI の情報量調整やカスタマイズ性に関する要望

フィードバックの収集から改善策の立案，実装，評価までの一連のサイクルを，ここでは「ユーザー中心のアクションリサーチサイクルの螺旋構造」と呼ぶ(Fig.4)．この螺旋構造は，初期のフィードバック収集から改善策の立案，実装，評価までを繰り返し実施することで，ユーザーのニーズに応じた継続的な改善が可能となる．各サイクルの終わりには新たなフィードバックが得られ，次のサイクルでさらに改善が重ねられ，最終的にはユーザーの生産性向上や作業効率化に貢献できるアプリ開発が達成されることが期待できる．

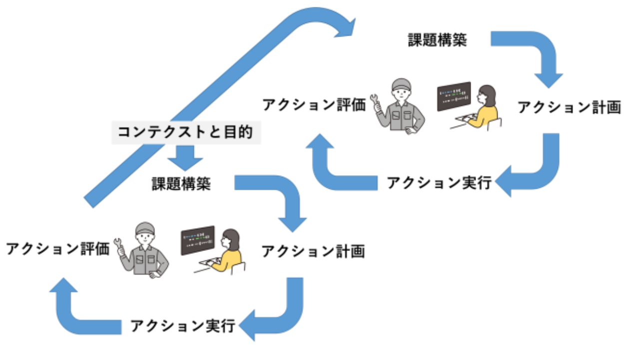


図 4　アクションリサーチサイクルの螺旋構造
Figure4　Spiral Structure of the Action Research Cycle.

3. 結果と考察

3.1 ユーザー中心設計の結果

アクションリサーチを繰り返し，実際に完成したアプリを工場ドメインに展開した．その結果，毎日アプリは活用されている．この結果の効果を検証するため，以下の 2 点について調査を行った．

1. ユーザー中心設計を満たすアプリ開発が実現したか(UI/UX 設計の評価)
2. 工場ドメインにおけるユーザー中心設計(ニーズや価値観)とは何か

3.2 認知負荷におけるアンケート調査

UI/UX 設計により認知負荷を改善したアプリを展開し，ユーザーおよび潤滑油に関するドメイン知識を持つ 4 名を対象にアンケート調査を実施した．調査では，アプリ導入前後の作業負荷の変化を，抽出課題「①手入力および手動グラフ作成の負担」，「②膨大なデータ量への対応の困難さ」，「③データ可視性の課題」に関してリッカート尺度(1: 全く感じない～5: 非常に感じる)を用いて評価し[7]，結果を図 5 に示した．グラフから，アプリ導入後の認知負荷が導入前に比べて大幅に軽減されていることが確認できた．本 UI 設計がタスクの複雑さやストレス軽減に寄与したと考えられる．特に「手入力・手動グラフ作成」の項目では，アプリの自動化機能が大きく寄与していると考えられる．

アンケート調査データを見ると，アプリ導入前から一部のユーザーはすでに特定の項目で認知負荷を問題としておらず，当該ユーザーにとってはアプリの改善効果が強く感じられていない可能性があるが，全体的な使い勝手の向上については評価している．以上の結果から，アプリによる認知負荷の軽減が工場ドメインにおける UI/UX 評価の向上につながり，ユーザー中心設計を満たすアプリ開発が実現したといえる．

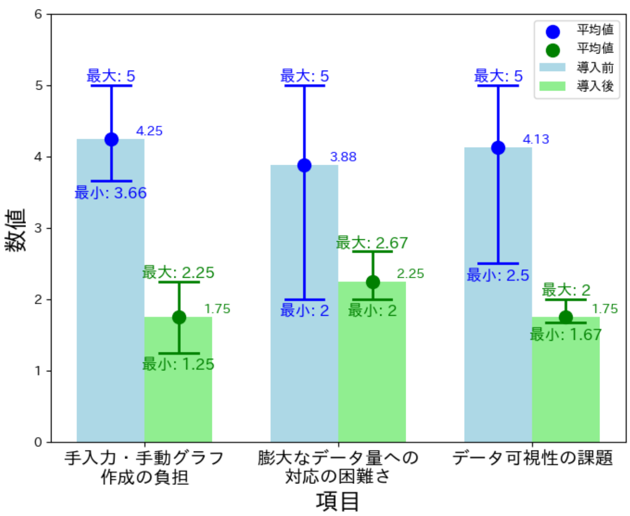


図 5 アプリ導入前後の作業負荷の変化

Figure5 Change in usability before and after application introduction.

3.3 インタビュー調査の解析結果

アンケートによる UI の認知負荷に関する評価に加え，ユーザーの UI/UX における主観的な意見や改善要望を把握するためにインタビューを実施し，その結果を定量的に処理すべく自然言語処理(Natural Language Processing, NLP)を行った．具体的には，各ユーザーのインタビュー内容を事前に定義したカテゴリに分類し，各カテゴリとの類似度を計算した．この分析には，SentenceTransformer を使用して各ユーザーのインタビュー内容とカテゴリの埋め込みを生成し，その埋め込みを基にコサイン類似度を算出した．Sentence Transformer とは，Reimers and Gurevych(2019)によって提案された深層学習モデルであり，文や文章の意味的特徴を高次元空間上に埋め込みとして表現する技術である．本モデルは，BERT(Bidirectional Encoder Representations from Transformers)などの Transformer アーキテクチャを基盤としており，文間の類似度計算，分類，クラスタリングなど多様なタスクにおいて高い性能を発揮することが知られている[8]．本研究では，事前学習済みの Sentence Transformer モデルを用いてインタビュー内容の埋め込みを生成し，それらとカテゴリの埋め込みとの間でコサイン類似度を計算することで，各コメントがどのカテゴリに関連するかを定量的に評価した．これにより，各コメントがどのカテゴリに最も関連しているかを定量的に評価し，どのテーマがユーザーにとって重要であるか，またどの改善要望が強く求められているかを明確に可視化することができる．UI/UX 設計における価値観のカテゴリを以下のように設定した．

- 直観性・視認性
- アクセス性・操作性
- 柔軟性・カスタマイズ性
- 全体的な情報の整理・一貫性
- インタラクティブ性

上記カテゴリは，UI/UX において，ユーザーが使いやすさや満足感を感じるための基本的な要素でありながら，今回の UI/UX 設計において特に重視したポイントである．ユーザー毎の価値観を分析した結果を Fig.6 に示す．分析結果から，製造業のユーザー全員が UI/UX 設計における価値観として「全体的な情報の整理・一貫性」を高く評価していることが明らかになった．この評価は，特にグラフ UI の一貫したデザインやカード型 UI における情報の集約と余白の均一性などによる，整理されたデザインが効果的に機能している点に起因すると考えられる．「全体的な情報の整理・一貫性」が重視される背景として，製造業の特性が挙げられる．製造業では標準化が重要視される傾向があり，このようなドメイン特性がユーザーの UI/UX に対する価値観に影響を与えていると推測される．たとえば，ISO 9001(会社や組織が提供する“商品やサービス”の品質向上を目的とした品質マネジメントシステムに関する国際規格)において

もプロセスの標準化が求められる．製造業の工場ドメインでは，全ユーザーが同一のインターフェースを使用することが標準化の大きなポイントとなり，一般的にはこの部分に寄与する価値観が強いと考えられる．これにより，異常検知や報告手順が一貫性を持ち，業務の効率化が図られるだけでなく，ミスや誤解の発生が抑制され，品質の安定性が向上する．このことから，製造業における UI/UX 設計において「全体的な情報の整理・一貫性」が特に重要なポイントであると言える．

「全体的な情報の整理・一貫性」に対する価値観は共通するもののユーザー毎に価値観の分布が異なる点も見逃せない．各ユーザーの認知負荷の軽減度の平均値および 5 項目の価値観における標準偏差の関係を Fig.7 に示す．認知負荷の軽減度が高いと感じるユーザーほど，UI/UX における複数の価値観(直観性・視認性，アクセス性・操作性，柔軟性・カスタマイズ性，インタラクティブ性)をバランスよく評価している傾向が見られる．このことから，アプリに対する UI/UX の要素の重要性が高いことが考えらえる．一方，認知負荷の軽減度が低いユーザーは，価値観のばらつきが大きく，特に「全体的な情報の整理・一貫性」に強く依存する傾向がある．このことから，他の価値観をあまり重要視せず，統一感のある情報整理を最優先に求めており，その部分に対してのみ認知負荷が軽減したため，UI/UX の効果が相対的に小さかったと考えられる．そのためこのユーザーはアプリに対する UI/UX の要素の重要性は限定的であり，UI/UX 以外の要素を重要視しているのではないかと考えられる．

UCD に基づく開発アプローチは，ユーザーの認知負荷を軽減するだけでなく，業務フローに即した柔軟なシステム設計を可能にする．しかしながら，ユーザーの価値観やニーズは時間とともに変化するため，アプリの設計・開発は一度で完結するものではない．今後もアクションリサーチを継続し，ユーザーのフィードバックを取り入れながら，システムの改善を繰り返す必要がある．これにより，長期的な視点でユーザーとの信頼関係を構築し，実際の業務環境に適応したシステムを維持することができると考えられる．

以上の結果より，工場ドメインにおける UCD は，「全体的な情報の整理・一貫性」の価値観を踏まえた設計である．しかし，ユーザー毎に多様な価値観があることも明確であり，継続的な改善による信頼性や使いやすさ向上の余地は多分にある．

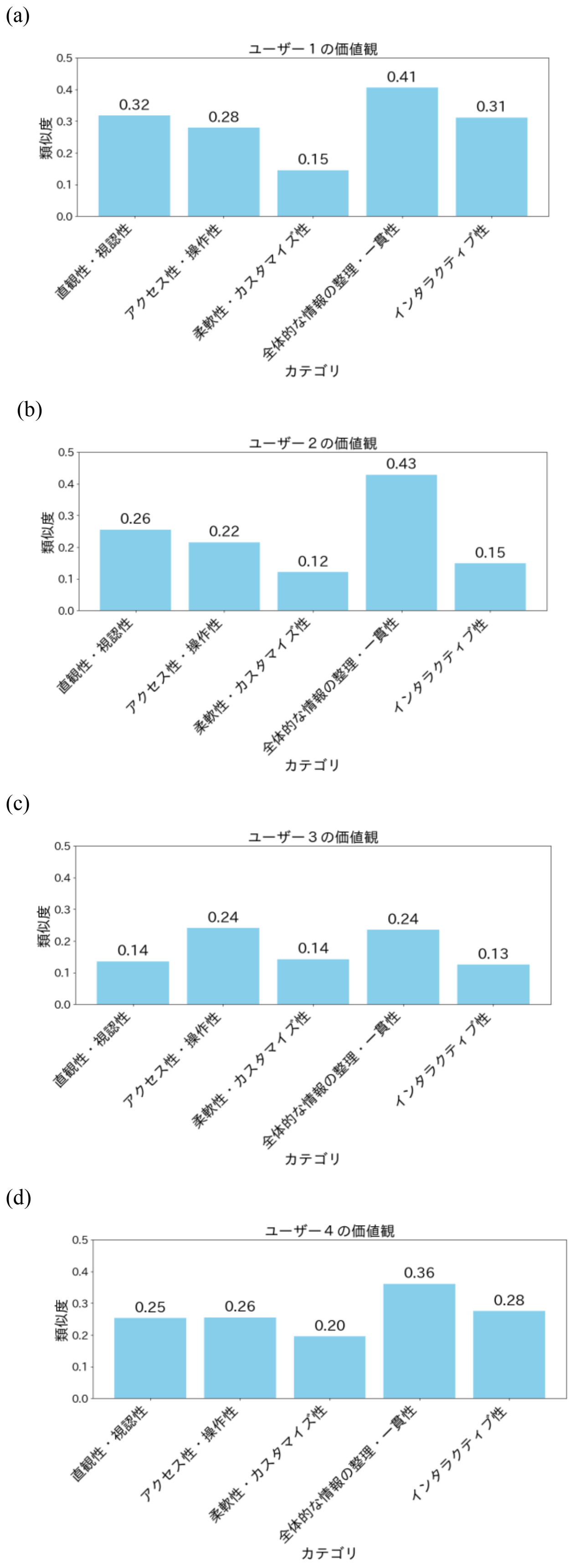


図 6　各ユーザーにおける UI/UX の価値観

(a) ユーザー1，(b) ユーザー2，(c) ユーザー3，(d) ユーザー4

Figure6 UI/UX values for each user

(a) User 1, (b) User 2, (c) User 3, (d) User 4

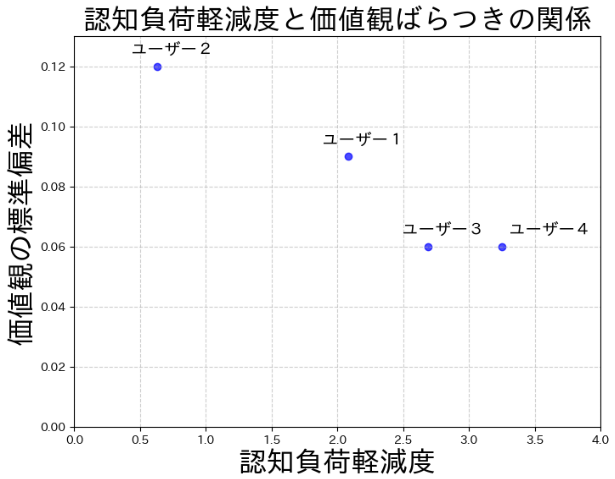


図 7　各ユーザーにおける認知負荷軽減度と
UI/UX に対する価値観のばらつきの関係性
Figure7　Relationship between the degree of cognitive load reduction and variation in values for UI/UX for each user.

4.　まとめ

本研究では，製造現場の認知構造に基づく UI/UX 設計が製造プロセスの意思決定に与える影響について検討した．ユーザー中心設計(UCD)を具体化するためにアクションリサーチ手法を導入し，以下の成果を得た．

- 工場ドメインにおいてアクションリサーチ手法を取り入れることで，継続的に活用されるアプリを開発できたことより，ユーザー中心設計を実現した．
- 認知負荷理論を適用した UI/UX 設計を行った結果，アプリ導入前より認知負荷を軽減することが可能となった．
- ユーザーが持つ価値観の定量的な把握が可能となり，工場ドメインに関しては「全体的な情報の整理・一貫性」が特に重視されることが明らかとなった．
- 全体としてのユーザー毎の価値観は異なり，また時間とともに変化する可能性があるため，今後もアクションリサーチサイクルの継続が重要である．

UCD のプロセスを通じて，製造業におけるドメイン固有の価値観を具体化することに一定の成功がみられた．本プロセスでは，ユーザーの業務特性や行動パターン，価値観に基づいた設計アプローチを採用し，単なる短期的な解決策に留まらず，長期的に活用されるシステムの開発方法を体系的に明確化した点が特色である．これにより，当該ドメインにおいてユーザーがシステムを積極的に利用し続ける基盤を築き上げ，ソリューションの展開事例数の増大を目指すことが可能となった．

今後の展望：データドリブンな意思決定

本研究で得られた成果は，製造業における DX(デジタルトランスフォーメーション)の加速を支える重要な基盤となることが期待されている．ユーザーがシステムを通じて日々の業務を改善し，データを活用した効果的な意思決定を実現することで，企業全体の競争力向上にも寄与する可能性がある．今後は，より高度なユーザー体験(UX)の向上を目指し，システム設計の改善を継続するとともに，ユーザーが成長し続けられる仕組みを整備することで，データドリブンな意思決定や製造プロセスの進化を促進していくことが求められる．

参考文献

[1] 黒須正明，三樹弘之，他．ISO13407 がわかる本．オーム社，2001 年．
[2] デイビッド・コフラン，テレサ・ブラニック，他．実践アクションリサーチ．碩学舎, 2021 年.
[3] 中村和彦(2008). アクションリサーチとは何か？- 人間関係研究(南山大学人間関係研究センター紀要), 7, 1-25
[4] Sweller, J. "Cognitive load during problem solving: Effects on learning," Cognitive Science, Vol. 12, No. 2, pp. 257–285, 1988.
[5] 三輪和久，寺井仁，松室美紀，前東晃礼：「学習支援の提供と保留のジレンマ解消問題」，教育心理学研究，Vol. 62, No. 2, pp. 156 -167, 2014.
[6] デジタル庁. (n.d.). セマンティックカラー. デジタル庁. https://design.digital.go.jp/foundations/color/, (参照 2024-11-26)
[7] Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. Archives of Psychology, (140), 44–53.
[8] Reimers, N., & Gurevych, I. (2019). Sentence-BERT: Sentence embeddings using Siamese BERT-networks. Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. arXiv:1908.10084.

行動介入シミュレータ：
社会的ジレンマの解消支援ツールとして

工藤泰幸
(株)日立製作所 研究開発グループ

1. はじめに

個々人の利己的な行動の結果が社会全体に不利益をもたらす現象は，古くは共有財の枯渇を招くコモンズの悲劇 [1] や，共有財を無対価で享受するフリーライダー問題 [2] として提起され，現在では社会的ジレンマとして概念化されている．社会的ジレンマは，協力と非協力が選べる状況下において，個人としては他人の行動によらず非協力を選ぶ方が高い利得が得られる一方，全員が非協力を選ぶと全員が協力を選ぶよりも利得が低くなる状況を指す [3]. 身近な例では，ごみのポイ捨てや放置自転車，広域的には気候変動やエネルギ不足，パンデミックの蔓延などが挙げられる．このように，社会的ジレンマは，多くの社会問題の発生メカニズムになり得ることが知られており，これを解消するためには，集団利益の獲得に向けた各人の協力促進，つまり行動変容が必要となる．

協力行動を促進するメカニズムの解明に向けた研究は，社会心理学や経済学を中心に発展してきた．その結果，協力行動を規定する要因として，インセンティブ構造，集団人数，コミュニケーション，サンクションなどの環境要因や，国籍，年齢，パーソナリティなどの個人・集団要因など，多くの変数が同定されている [4]. 近年では，これらの知見に基づくフィールド実証も進展している [5] [6]. さらには，認知バイアスを利用した行動変容手法であるナッジに着目し [7]，公共政策としてこれを活用する取り組みが各国で進められている [8].

一方，社会的ジレンマにおける協力行動の規定要因は，その種類の多さと共に，要因間の非線形な交互作用も報告されている [9] [10]. これは，ジレンマの発生現場ごとに協力行動の支配的な要因が異なることを意味し，効果的な介入が現場によって異なることを示唆している．このため，最適な介入施策を見極めるには，現場の特徴を踏まえた高度な分析が必要である．このことが，社会的ジレンマを解決したい介入実践者の意思決定を困難にしていると考えられる．したがって，分析の支援に対するニーズは極めて高いと予想され，例えば，現場で試してみたい施策の介入効果を事前に予測できるようなシミュレータの存在は有用であろう．本研究では，このような現場の意思決定を支援するツールの提供をゴールとしており，複雑な事象の予測に長ける機械学習モデルをツールの分析エンジンとすることで，その実現をめざす．

2. 方法

2.1 コンセプト

機械学習モデルを用いて高度な意思決定を支援する類似のアプローチとして，医療現場における治療支援が挙げられる [11]. このシステムにおいては，患者の情報を入力すると，その患者の病状や，適切な治療方針を出力することが可能である．出力結果は主に医師に提示され，この情報が医師の治療方針に関わる意思決定を支援する．本研究においても，これと同様のアプローチを実践したい．具体的には，患者を社会ジレンマの発生現場に置き換え，治療方針を介入施策に，医師を介入実践者と想定することで，介入実践者の意思決定を支援する仕組みである．

上記アプローチの実現にあたり，最も重要な要件は訓練データの確保である．医療分野では臨床データの十分な蓄積があり，これを機械学習モデルの訓練データとして活用することができる．言い換えれば，その環境がゆえに，機械学習モデルの実用化が進んだともいえる．一方，社会的ジレンマの現場においては，介入効果などの結果に対する蓄積が極めて少なく，共有化もされていない．それどころか，どのような変数を蓄積すべきか，その変数は測定可能か，他の現場でも使えるかなど，基礎的な事項から検討する必要がある．したがって，医療現場と同様のアプローチを試みることは容易ではなく，現場データの代替えとなるようなデータセットが必要である．

そこで本研究では，社会的ジレンマの状況をゲーム課題の形式で模擬し，その中で興味ある協力行動の要因を操作し，それによる行動の変化をアウトカムとして測定している数多くのラボ実験に着目した．ラボ実験に関する文献を網羅的に収集して符号化し，統一的なデータセットを構築できるのであれば，先に示した基礎的な検討課題を全て解決することができる．このことから，現場データの代替えとして，ラボ実験のデータを活用するコンセプトを策定し，以下の検討を進めた．

2.2 訓練データの作成

ある研究分野の文献を収集して符号化する作業は，メタアナリシスにおけるコーディングと呼ばれる工程に相当する．近年，この作業を集約的に行ってデータベースを構築し，その資産を利用してオンライン・メタアナリシスを実施するプラットフォームが台頭している [12] [13]. 社会的ジレンマについても，ラボ実験の論文のコーディング・データに

基づく，オンデマンド・メタアナリシス向けプラットフォームが公開されている [14]．このプラットフォームは，Cooperation Databank (CoDa) プロジェクトが主導しており，構築されたデータベースには，約 2,000 論文から抽出された 1 万件以上の実験結果 (効果量) が，独立変数や統制変数と共に収録されている．したがって，このデータベースを活用することにより，多大な労力を要するコーディング作業が不要となる．したがって，本研究のコンセプトの実現が大幅に加速することが期待できる．

予備検討の結果，機械学習用の訓練データとして適用するには，データフォーマットに関する幾つかの変換を実施すれば良いことが分かった．具体的には，各種変数の合成，複数の実験条件が混在している場合の重み付け，欠損値の補間などである．図 1 は，一連のデータ変換処理を示したフローチャートであり，これらの処理を実施することで訓練データの作成を可能にした．

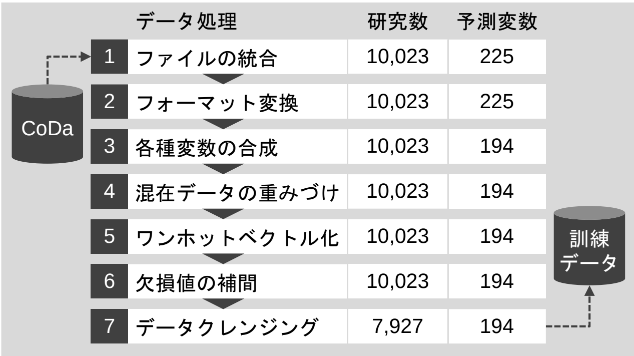


図 1　データ変換プロセス

生成された訓練データは，194 個の予測変数と 1 個のアウトカム (集団成員の協力率の平均値，以下，全体協力率と呼ぶ) を単位とする，7,984 個の実験結果によって構成された．訓練データに含まれる実験実施国は 48 カ国，1 実験あたりの平均サンプルサイズは 70.7 人 (延べ 56.4 万人) であった．また，アウトカムである全体協力率には，0%から 100%までの測定値が含まれており ($M = 49.5\%$，$SD = 19.0\%$)，実験のセッティングや介入内容に応じて，全体協力率が大きく変動していることが分かった．

2.3　機械学習モデリング

訓練データの機械学習においては，訓練データ全般に対し，高い予測精度を確保することが重要である．そこで，代表的な 3 種類の機械学習モデル (ニューラルネットワーク [15]，ランダムフォレスト [16]，勾配ブースティング [17]) を線形に組み合わせたアンサンブル学習を適用した [18]．また，機械学習モデルの特性により発生しやすい過学習については，各モデルのハイパーパラメータを決める際に，クロスバリデーション法を用いて未知データに対する予測精度を評価すると共に，パラメータ探索を早期に終了させるアーリ・ストッピング法 [19] の適用により抑制した．

なお，本研究における機械学習は，メタアナリシスの文脈においては，混合効果モデルを用いたメタ回帰分析に相当する [20]．そこで，メタアナリシスと同様に，観測された全体協力率の分散とサンプルサイズに基づいて重みを算出し，この重みを学習時に設定することで，各研究の信頼度を反映させた．予測精度の評価指標については，混合効果モデルであることを加味し，研究間と実験間の異質性分散[a]とモデルの予測残差との比によって示される疑似決定係数 R_*^2 とした．疑似決定係数R_*^2は，式 1 に示すに計算式を用いて算出した [21]．

$$R_*^2 = 1 - \frac{\tau_{\mathrm{unexplained}}^2}{\tau_{\mathrm{total}}^2} = 1 - \frac{\tau_{s\mathrm{M}}^2 + \tau_{t\mathrm{M}}^2}{\tau_{s\mathrm{R}}^2 + \tau_{t\mathrm{R}}^2} \quad (1)$$

ここで，$\tau_{s\mathrm{R}}^2$ と $\tau_{t\mathrm{R}}^2$ は，全体協力率の測定データが有する研究間と実験間の異質性分散であり，$\tau_{s\mathrm{M}}^2$ と $\tau_{t\mathrm{M}}^2$ は観測データと予測データの残差が有する研究間と実験間の異質性分散である．なお，上述の 4 つの分散値は，制限付き最尤推定法 (REML) を用いて算出した．

2.4　予測性能

次に，構築した機械学習モデルに対して，予測性能を評価した結果を図 2 に示す．左図は既に学習された訓練データに対して予測を行った場合のフィッティング性能，右図は未知データに対して予測を行った場合の汎化性能である．汎化性能の評価にあたっては，10 分割クロスバリデーション法を適用した．この方法は，全体の 90%の訓練データを機械学習し，残りの 10%の未知データに対しての予測値を観測値と比較する．この動作を，10%の未知データを入れ替えつつ 10 回繰り返すことで，実質的に全ての訓練データを未知データとして評価した．

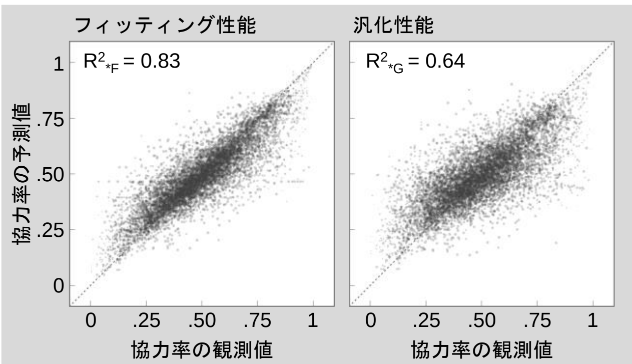


図 2　機械学習モデルの予測性能

a 1 つの研究に複数の実験条件 (統制群と介入群など) が含まれている，いわゆる入れ子構造を想定している．

双方の予測性能において，疑似決定係数の値はそれぞれ $R^2_{*F}=0.83$，$R^2_{*G}=0.64$ であった[b]．これは，研究間と実験間の異質性分散，つまり異なるセッティングや介入内容の違いに起因する全体協力率の分散の 83%および 64%が機械学習モデルによって説明できていることを意味する．この結果は，社会科学系のデータに基づく予測において実用的であると考えられる．さらに，既学習データと未知データに対する予測精度（疑似決定係数 R^2_*）の平均差は 0.19 であり，過学習も抑制されていることが示唆された．なお，図 2 から分かる通り，各プロットの分布において，系統誤差と思われるような偏りは確認されなかった．このことは，全体協力率を予測するにあたり，全体協力率に影響する重要な予測変数の見落としが無いことを示唆している．

3. 行動介入シミュレータの開発

次に，構築した機械学習モデルをより実用的な形態として普及させるため，本機械学習モデルを分析エンジンに持つ行動介入シミュレータを開発した．シミュレータの入力パラメータは，前述した 194 個の予測変数に相当する．現場の状況や介入内容，個人・集団特性に応じたパラメータの値を入力することで，シミュレータは現状の全体協力率を予測する．この結果をベースラインとし，任意のパラメータの設定値を変えることにより，介入効果（つまり，ベースラインとの全体協力率の差分）をシミュレートする．

3.1 エディタ機能

前述した通り，機械学習モデルの訓練データは，社会的ジレンマを模倣したラボ実験（ゲーム課題）の結果である．このため，環境パラメータの中には，ゲーム課題の「ルール」が多く含まれる．これらのルールを現実世界の状況に置き換えるためには，一定の予備知識を必要とする．そこで，パラメータの設定を容易化するためのエディタ機能を用意することで，この問題に対処した．図 3 は，開発した行動介入シミュレータのエディタ画面である．

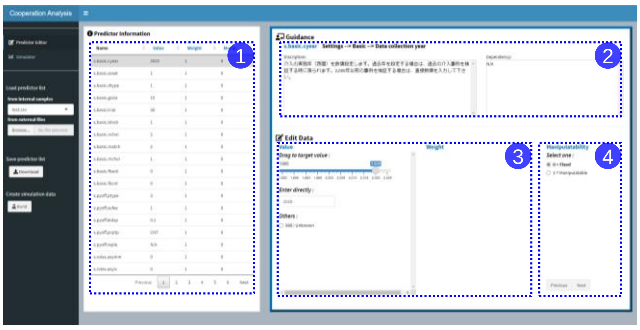


図 3　行動介入シミュレータのエディタ画面

エディタ画面では，パラメータリスト（図 3 の領域①）の中から設定したいパラメータを選択すると，これを現場のパラメータとして使用するための設定ガイドラインが提示される(領域②)．同時に，直観的な入力操作を支援するスライダやラジオボタンを設けることで（領域③），ユーザが容易に設定値を編集できるようにした．さらに，設定したパラメータの値を変更した時の介入効果を知りたい場合は，変更後の設定値，あるいはその範囲を指定するためのエリアを設けた（領域④）．なお，現場によっては，特定のパラメータが観測困難または非該当となる可能性がある．そこで，各パラータには「不明・非該当」の項目を設け，それらが選択できる仕組みとした．

3.2 ダッシュボード機能

上記したように，パラメータ設定値を「変更する」設定により，複数の介入候補が生成され，各候補のベースラインとの差分に基づく個々の介入効果が算出される．この結果を効率的に視覚化するためのダッシュボードを開発した．図 4 は，開発したダッシュボードの画面である．

図 4 に示すように，本ダッシュボードでは，各介入施策を一つのカードに見立てている（領域⑤）．まず，ベースライン（グレーのカード）が左端に配置され，その右側から介入効果の高い施策が順番にソートされている．任意のカードを選択すると，それに連動して，現場の特徴を 6 次元で表現したレーダチャート（領域⑥），全体協力率の経時変動予測(領域⑦)，パラメータの変更箇所（領域⑧）に関する情報が，カードと同じ色調で表示される．図 5 の例では，領域⑤において，最も介入効果の高い「58.3%」のブルーのカードが選択された状態を示している．比較対象として，ベースラインである「44.2%」のカードの情報が，グレーの色調で同時に表示されるようにした．

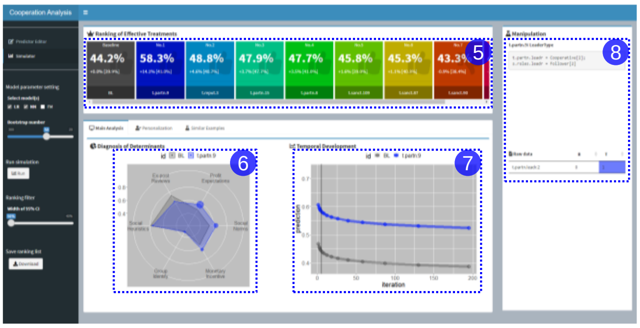


図 4　行動介入シミュレータのダッシュボード画面

次に，本シミュレータが複雑な予測機能を実装できているかを確認するため，2 種類のパーソナリティ（日和見タイプ，抜け駆けタイプ）を想定し，オフィスでの節電を想定したシミュレーションを実施した．その結果，用意した介入施

b R^2_*の後ろに記した F はフィッティング（Fitting）性能，G は汎化（Generalization）性能を意味する．

策において，日和見タイプのグループには「効果と感謝の伝達」が最も効果的であり(全体協力率 46.7% → 67.5%)，抜け駆けタイプには「ポイントの付与」が最も効果的 (全体協力率 22.5% → 39.7%) との予測結果が得られた．以上のことから，有効な介入施策の順位がパーソナリティに連動して変化し，リコメンドされた介入施策についても，主観的に納得度が高い内容であることが分かった．以上の結果から，構築された機械学習モデルが，序論で述べたパラメータ間の非線形な交互作用をモデリングできていることが示唆された．

領域⑥にレーダチャートを用いた理由は，社会的ジレンマの発生現場の状態を把握するために，協力の阻害要因を可視化することが有効と考えたためである．この際，可視化の観点から，阻害要因は数個レベルであることが望ましい．そこで，訓練データから機械的に阻害要因を求める方法として，194 パラメータの主成分を求めつつ，各主成分の線形結合とアウトカムである全体協力率との誤差を最小化する，部分的最小二乗回帰モデルを適用した．訓練データを用いて本モデルを構築した結果，図 5 に示すように，全体協力率の予測誤差は主成分の数の増加とともに減少し，10 個でほぼ収束することが分かった．この結果を踏まえ，レーダチャートの評価軸には，主成分の意味の解釈が比較的容易であった上位 6 個の主成分を採用した．解釈された各主成分の意味は，主成分負荷量の大きい順に，協力への期待度，社会的規範，協力へのインセンティブ，コスト便益，集団へのコミットメント，構造的な動機付けであった．

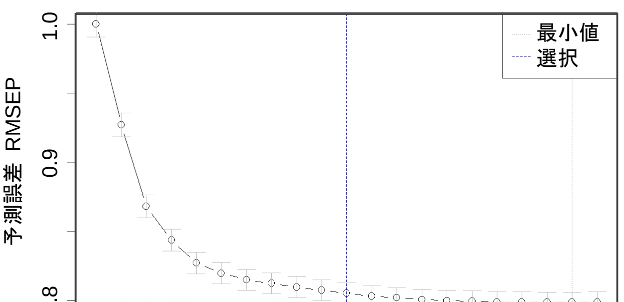


図 5　主成分の数と予測誤差との関係

領域⑦の経時変化の予測機能については，同じ状況または介入を繰り返し実施した時の，各回次の全体協力率を測定したラボ実験が多数報告されていることに着想を得た．これらの結果が訓練データに含まれており，回次を設定するパラメータも存在することを利用し，本研究では，回次の設定値を変更することで経時変化の予測機能を実現した．したがって，領域⑦の折れ線グラフの横軸については，時間の絶対値ではないことに注意する必要がある．

3.3 シミュレ―タの活用方法

行動介入シミュレータを活用するための条件として，まず，対象とする現場とその現場での協力行動が予め定まっている必要がある．例えば，「オフィスから退席する際に，こまめに消灯することを協力行動と定める」などである．その理由は，シミュレータのパラメータ値を設定するための前提として，現場と目標行動の明瞭さが必要となるためである．

次に，シミュレータを最も効果的に活用できるシーンとして，どのような介入施策が有効であるかの「方針決め」の段階を想定している．つまり，介入検討における早期フェーズである．その理由は，本シミュレ―タのパラメータには，介入内容そのものというよりも，アプローチに近いものが多く含まれるためである．また，パラメータに含まれない現場固有の制約等には対応できないことも理由の一つである．したがって，ユーザは，シミュレーション結果に基づき介入方針を決定した後，現場において実現可能な，具体的な介入施策の実装形態を検討する必要がある．

なお，人が行動を変える場合，「無関心期」「関心期」「準備期」「実行期」「維持期」の 5 つのステージを通過すると考えられている [22]．この中で，本シミュレータが出力する介入施策は，準備期以降のステージの該当者に適合すると考えられる．なぜなら，訓練データとなったラボ実験では，参加者がゲームのルール (すなわち，協力と非協力具体的な行動や，それによる利得構造) を理解していることが前提になっているからである．中でも「その行動をすることが良いと分かっているが，つい短絡的な利益を追ってしまう」という行動が現れがちな「実行期」や「維持時」の該当者に対し，より効果的であることが期待できる．

また，個人の意思の種類として，例えば「態度」「価値観」「信条」があるとし，この順番に意思が強固であると仮定するならば，介入施策によって変容が許容されるのは，態度レベルの範囲までと考えられる．特に，信条を操作する行為である洗脳については，介入の計画段階でそのリスクを慎重に検討すべきである．本開発のシミュレータは，ラボ実験で行われた比較的「ソフトな」介入施策を出力する．よって，介入によって意思が変容されるとしても，それは態度レベルの範囲に収まると考えるが，実際の介入の実施にあたっては，現場ごとの最終判断が必要である．以上の議論を踏まえ，行動介入シミュレータの適用範囲について整理したものを，図 6 に示す．

このように，行動介入シミュレータの活用においては，いくつかの条件や制約を伴う．しかし，介入施策の方針を決める工程を省力化できるため，そのインパクトは大きいものと期待している．先に述べた通り，この工程は介入方針の決定に高度な分析を必要とし，その分析精度が行動変容の成否を大きく左右すると予想されるためである．

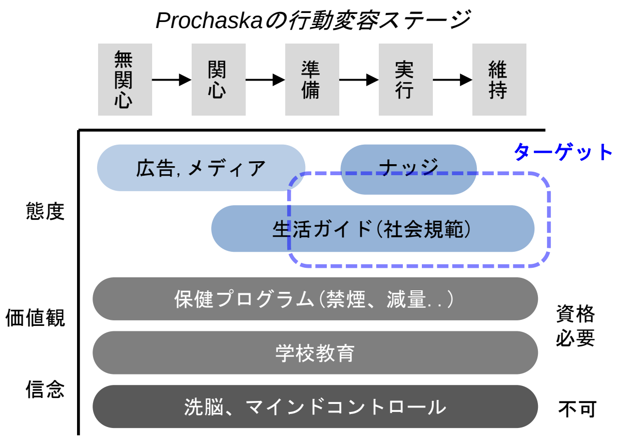


図 6　行動介入の実施ターゲット

3.4　今後の課題

以下，本シミュレータの今後の課題について述べる．機械学習に用いた訓練データは，ラボ実験データが主体である．ラボ実験は，参加人数が小規模であり，また参加者がゲーム課題の結果として被る損益も微小である．したがって，集団サイズが数千人規模以上となる問題，全員の非協力により深刻な脅威が生じる問題，集団利益の獲得に大きなタイムラグがある問題などの予測については，いわゆる外挿となる．そのため，予測自体は可能なものの信頼性が低下する可能性が高い．これらの問題をカバーするためには，参加者にその状況を想像してもらうようなラボ実験を実施するか，フィールド実証の結果を学習する必要がある．

同様に，協力行動が明確に定義できない問題，集団と個人の利害関係の方向性が同じ (つまり，非ジレンマ的な) 問題などについては学習サンプルが無いため予測困難である．このような問題については，この状況を模擬したラボ実験やフィールド実証のデータを別途収集し，学習することが必要となる．

4.　おわりに

本研究では，社会的ジレンマにおける協力行動の「予測」を目的に，ラボ実験の膨大なデータを利活用して訓練データとする機械学習モデルについて検討した．その結果，構築された機械学習モデルのフィッティング性能は非常に高く ($R^2{}_{*F}=0.83$)，未知データに対する汎化性能も良好であった ($R^2{}_{*G}=0.64$)．このことから，予測モデルを構築する手法としての有効性が確認された．

さらに，機械学習モデルを解析エンジンとするシミュレータの開発を通じ，ユーザの意思決定を支援するための各種機能が実現可能であることが分かった．これらの結果は，蓄積された社会的ジレンマに関する数々の知見を，シミュレータの形態で社会に還元可能であることを示唆している．本ツールの活用により，様々な社会的ジレンマの状況下において，適切な介入施策が実施され，協力行動が促進されることを期待したい．

今後の課題として，以下の 2 点を挙げる．1 つ目は，ラボ実験のデータで構築された機械学習モデルが，どこまでフィールドに適用できるかについての評価である．評価にあたっては，今回用意したパラメータを用いて様々な現場や介入内容が表現できるかの観点と，予測精度に対する観点からの検証が必要である．開発したシミュレータの試用を通じ，それらの実力を検証したい．2 つ目の課題は，シミュレータの提供に対する価値の評価である．想定するユーザは，現場の社会的ジレンマを解決したい介入実践者であり，この中には政策立案者，自治体の職員，企業の管理職などが含まれる．想定ユーザのニーズ評価と共に，シミュレータの支援によって自己効力感が向上するかなどの心理的効果についても明らかにしたい．

参考文献

[1] Hardin, G.: The tragedy of the commons: The population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality, *Science*, vol. 162, no. 3859, pp. 1243–1248, 1968.

[2] Olson, M.: The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups, Cambridge: Harvard University Press, 1965.

[3] Dawes R. M.: Social Dilemmas, *Annual Review of Psychology,* vol. 31, no. 1, pp. 169-193, 1980.

[4] Van Lange, P. A., Joireman, J., Parks, C. D. and Van Dijk, E.: The psychology of social dilemmas: A review, *Organizational Behavior and Human Decision Processes,* vol. 120, no. 2, pp. 125-141, 2013.

[5] Komatsu, S. and Nishio, K.: Applicability of 'Nudge' as information provision for energy and electricity conservation - Energy reports for the US households as a case example-, *CRIEPI Socio-economic Research Center Report,* vol. Y12035, 2013.

[6] Bruce, J.: TravelSmart: large-scale cost-effective mobility management. Experiences from Perth, Western Australia, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer,* vol. 151, no. 1, pp. 39-48, 2001.

[7] Thaler, R. H. and Sunstein, C. R.: Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness, New Haven: Yale University Press, 2008.

[8] DellaVigna, S. and Linos, E.: RCTs to Scale: Comprehensive Evidence From Two Nudge Units,

Econometrica, vol. 90, no. 1, pp. 81-116, 2022.

[9] Brewer , M. B. and Kramer, R. M.: Choice behavior in social dilemmas: Effects of social identity, group size, and decision framing, *Journal of Personality and Social Psychology,* vol. 50, no. 3, p. 543–549, 1986.

[10] Van Vugt, M., De Cremer, D. and Janssen, D. P.: Gender Differences in Cooperation and Competition: The Male-Warrior Hypothesis, *Psychological Science,* vol. 18, no. 1, pp. 19-23, 2007.

[11] Somashekhar, S. P., Sepúlveda, M. J., Puglielli, S., Norden, A. D., Shortliffe, E. H., Kumar, C. R., Rauthan, A. N., Kuma A. and Ramya, Y.: Watson for Oncology and breast cancer treatment recommendations: agreement with an expert multidisciplinary tumor board, *Annals of Oncology,* vol. 29, no. 2, pp. 418-423, 2018.

[12] Bosco, F. A., Steel, P., Oswald, F. L., Uggerslev, K. and Field, J. G.: Cloud-based Meta-analysis to Bridge Science and Practice: Welcome to metaBUS, *Personnel Assessment and Decisions,* vol. 1, no. 1, pp. 3-17, 2015.

[13] Bosco, F. A.: Accumulating Knowledge in the Organizational Sciences, *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior,* vol. 9, pp. 441-464, 2022.

[14] Spadaro, G., Tiddi, I., Columbus, S., Jin, S., Ten Teije, A. and Balliet, D.: The Cooperation Databank: Machine-Readable Science Accelerates Research Synthesis., *Perspectives on Psychological Science,* vol. 17, no. 5, pp. 1472-1489, 2022.

[15] Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R. J.: Learning representations by back-propagating errors, *Nature,* vol. 323, no. 6088, p. 533–536, 1986.

[16] Breiman, L.: Random forests, *Machine learning,* vol. 45, no. 1, pp. 5-32, 2001.

[17] Chen, T. and Guestrin, C.: XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining, USA,* pp. 785-794, 2016.

[18] Breiman, L.: Stacked regressions, *Machine Learning,* vol. 24, no. 1, pp. 49-64, 1996.

[19] Prechelt, L.: Early stopping-but when?, in *Neural Networks: Tricks of the trade*, Springer, Berlin, Heidelberg, 1998, pp. 55-69.

[20] Van Lissa, C. J.: MetaForest: Exploring heterogeneity in meta-analysis using random forests, p. PsyArXiv, 2017.

[21] Harrer, M., Cuijpers, P. T., Furukawa. A. and Ebert, D. D.: Doing Meta-Analysis with R: A Hands-On Guide., ISBN 978-0-367-61007-4 ed., Boca Raton, FL and London: Chapman & Hall/CRC Press, 2021.

[22] Prochaska, J. O. and DiClemente, C. C.: Stages and processes of self-change of smoking: Toward an integrative model of change, *Journal of Consulting and Clinical Psychology,* vol. 51, no. 3, pp. 390-395, 1983.

内製 Web アプリの導入における
心理的障壁の分析と行動変容の促進

宇田航貴†1　野々村真誉†2　吹田駿介†3　山本佑樹†4
株式会社 UACJ†1　株式会社 UACJ†2　株式会社 UACJ†3　株式会社 UACJ†4

1. はじめに

近年，先進デジタル技術の導入が製造業において重要な課題となっている．UACJ においても内製 Web アプリの導入を積極的に推進しており，これにより生産性の向上や効率化を図ろうとしている．しかしながら，導入したはいいが利用されない状況が頻繁に起きている[1,2]. これを解決すべく介入施策を講じてデジタル技術の使用を促す必要がある．しかし，各個人の仕事環境などの違いにより，介入施策の効果は一部の人だけに限定される．そこで各個人に対する介入施策が必要とされるのだが，その一方で，各個人に介入施策を用意するのは現実的ではない．有効なアプローチとしてアプリに対する認知パターンが近いグループに対して介入施策を行うことが考えられる．この場合，各グループの認知傾向を明確にし，その傾向に適した介入施策を設計することが求められる．

本論文では，この課題を分析し具体的な対策を模索するために実施した半構造化インタビューとそこから得られた知見について述べる．

2. 実験方法と解析方法

2.1 インタビュー技法の選定

大量のデータを短時間に集めることができるアンケートは有用だが，回答者の自由な発言や深い思考に関する情報を引き出すことは一般に難しい．一方で，インタビューは回答者の声や表情も含めて全体の雰囲気を把握することが可能である． そこで本研究では対面で実施できるインタビュー形式を採用した．特にここでは，ユーザの潜在的なニーズや感情を明らかにすることを目的としているため，深い思考と自由な発言が得られるインタビュー形式を採用することとした．

また，インタビュー技法は表 1 のように大きく 4 つある[3]. 本研究では，実際に内製で開発，展開したアプリが「なぜ使われないのか」ということにフォーカスし，質的研究の方法として半構造化インタビューを実施した．本手法を用いた理由は，前述の通り人の経験や認識をより深く理解するなどのユーザの潜在的なニーズや感情を明らかにすることを目的としているため，事前質問を避けて，人の経験や認識をより深く理解することが必要であるためである．

表 1　インタビュー技法の分類
Table 1 Classification of interview techniques.

インタビュー技法	特徴
構造化インタビュー	一問一答形式の質問形式でヒアリングする方法
半構造化インタビュー	事前におおまかな質問内容を複数考えて, 回答者の回答内容に沿って深掘っていく方法
非構造インタビュー	事前にテーマだけを決めておき, 質問内容を特に決めず回答者の話す内容に沿って深掘っていく方法
フォーカス・グループ・インタービュー	ある共通した属性をもつ生活者・ユーザで小規模のグループ(フォーカスグループ)を作り, グループ単位でインタビューを実施する調査

2.2 インタビューの設計

今回の半構造化インタビューの軸となるテーマとして「新しい内製アプリが展開されたら使用したいか？」を設定した．初めにインタビュー被験者に対して新規アプリを使いたいと思う要因について「アプリ外の要因(以後アプリ外と記載する)」「アプリ機能の要因(以後アプリ機能と記載する)」「アプリ UI の要因(以後アプリ UI と記載する)」(以後 3 つの項目の括りを各項目と記載する)の 3 項目設定し，使いたい理由を各項目の割合で回答してもらう(主観的な利用動機構成比率調査/主観価値観調査と呼ぶ)．各項目が合計 100%になるように回答してもらった．ユーザの回答の仕方の例を表 2 に示した．各項目の定義は以下の通り:

- アプリ機能: 新しいアプリの性能や操作性
- アプリ UI: 直感な使用感と美しい見た目など，ユーザーインターフェース全般
- アプリ外: ユーザの取り巻く環境に起因する要因(例:

In implementing an in-house web app nalysis of psychological barriers and promotion of behavior change
† 1, KOKI UDA, UACJ Corporation
† 2, MINORI NONOMURA, UACJ Corporation
† 3, SYUNSUKE SUITA , UACJ Corporation
† 4, YUKI YAMAMOTO, UACJ Corporation

業務量，マインド，etc…)

表 2 インタビュー回答例

Table 2 Example of interview answer.

インタビュー被験者	アプリ機能	アプリ外	アプリ UI
A さん	60%	30%	10%

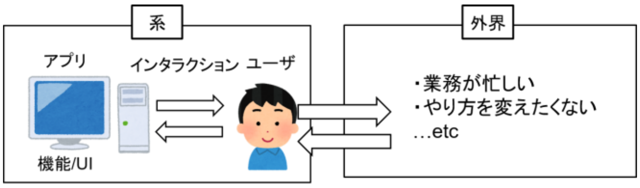


図 1 アプリ使用可否の要因類

Figure 1 Factors affecting application usability.

この 3 つの項目を設定した理由としては，図 1 に示すように，アプリを使用するユーザを 1 つの系と考えた際，系内においてアプリとユーザの間のインタラクションは機能と UI が考えられる．一方で，ユーザはユーザ自身を取り巻く環境(外界)との間にも影響を受ける．つまり，アプリの使用に関してユーザは「アプリ機能」，「アプリ UI」，「アプリ外」の 3 つの要因とインタラクションを行うこととなる．そこで，インタビューにおける 3 項目についても当該の各要因に設定した．インタビュー被験者にアプリ使用可否の項目の数値を回答してもらったのち，なぜその項目の数値が高かったかを含め，深堀を行うため，被験者に対し半構造化インタビューを設計した．

2.3 半構造化インタビュー実践

今回設計した半構造化インタビューは 14 名に対して 20～30 分行った．インタビュー被験者の内訳は以下である．

- 製造部門(7 名)
- 研究部門(3 名)
- 管理職(4 名)

2.4 解析方法

半構造化インタビューを行うことで，被験者が主観的に優先している項目を表す数値データと，インタビューの中で自由に話をした内容の文章データを獲得した． この 2 つのデータが各項目の優先度に関してどのような傾向があるのかをクラスタリングと自然言語処理(NLP)を用いて以下①～③の順番で解析を行った．それぞれについて詳細に述べる．

① インタビュー被験者のクラスタリング

インタビュー各項目に対しインタビュー被験者が設定した数値データに関する解析手法について述べる．数値データはアプリ機能，アプリ UI，アプリ外に対して各項目が合計 100%になるような 3 つの数値で構成されている．解析する際は，割合を整数に変換した(例:60%→60 とする)．クラスタリングには k-means 法を使用した[4]． また今回使用した数値データは 3 次元のベクトルデータであるため 2 次元可視化手法として PCA(主成分分析)を使用した[5,6]. 被験者がどのようなクラスタに分かれるかの結果について後ほど述べる.

②Sentence Transformer を利用した優先される価値観の分析(価値観分析)

インタビュー被験者との会話をもとに,ユーザが潜在的に優先する項目の傾向を自然言語処理(Natural Language Processing, NLP)を用いて定量化した．本解析では Sentence Transformer を使用することで会話から被験者が潜在的にアプリに求める項目(価値観)について明らかにした．Sentence Transformer は Hugging Face の提供するライブラリであり，事前学習済みの文脈埋め込みモデルを使用することで文章の意味や文脈を考慮したベクトル変換が可能である[7]．今回は会話文章の埋め込み表現と,①で得られたクラスタを表す文章の埋め込み表現のコサイン類似度を計算することで被験者が潜在的に求める機能の優先順位を可視化した．比較文章は①で得られたクラスタを表す以下の 3 つの文章とした.

・アプリケーションは機能を優先すべき
・アプリケーションはユーザーインターフェースが最重要
・アプリじゃなく,会社や雰囲気など職場環境

上述の解析の結果から，各クラスタにおける会話内容の傾向を把握することで，①での各クラスタ傾向とインタビューの傾向が同じであるかが確認できる．また各傾向を確認することで，各クラスタに対しアプリの使用可否の各要因のどの観点から介入施策が適切かなど把握可能である．

③各価値観項目におけるトピック具体化方法

①②の解析を通じ，どのような認知構造を有する被験者に対して「アプリ機能」，「アプリ UI」，「アプリ外」のどの観点に対して介入を行えばよいかが明らかとなる．一方で，各観点につき，どのような介入施策を行えばよいかは明らかではない．この介入施策を検討するに当たり，まずはインタビュー結果の文章データから各観点に対する具体的な内容を明確にする方法を検討した．半構造化インタビュー内容を文章毎にそれぞれの各項目について整理(振り分け)を行い各項目の具体的なトピックを明確にする．振り分けられた文章群の傾向を見る手法としてトピックモデリングの一つである LDA(Latent Dirichlet Allocation)を適用した．ト

ピックモデリングとは自然言語処理の一分野で，大規模な文書コーパスからトピック(テーマや話題)を抽出するための手法である[8]．単語の抽出の際名詞のみを取り出すと連続してつながっている形容詞と名詞がわかれる可能性がある．そのため，形容詞の次に名詞がある場合それらを名詞句として扱った．

3. 解析結果と考察

3.1 k-means 法の適用結果

2.3 項の①の手法に則り， 3 次元の数値データに対し k-means 法を使用して, インタビュー被験者を 4 つのクラスタにクラスタリングした．また，PCA を使用しクラスタリング結果を 2 次元に落とし込み可視化した(図 3).

色付けした丸で囲まれている各クラスタにつき，その人数の内訳を以下に示す.

- 青:クラスタ 1(3 名)
- 橙:クラスタ 2(3 名),
- 緑:クラスタ 3(2 名)
- 赤:クラスタ 4(6 名)

各クラスタの被験者ごとに回答された「アプリ機能」「アプリ UI」「アプリ外」の数値を図表にまとめた(図 4，表 3). 図 4，表 3 に依れば以下のことが言える.

- クラスタ 1: アプリ機能が一番高く，二番目にアプリ外が高い傾向
- クラスタ 2: アプリ機能が高い傾向
- クラスタ 3: アプリ UI が高い傾向
- クラスタ 4: アプリ外が高い傾向

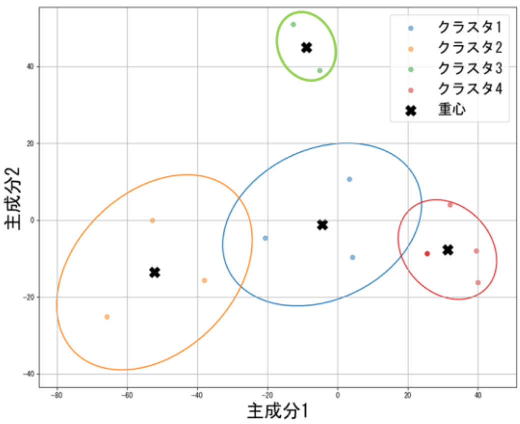


図 3 k-means 法によるクラスタリング結果
Figure 3 Clustering results using k-means method.

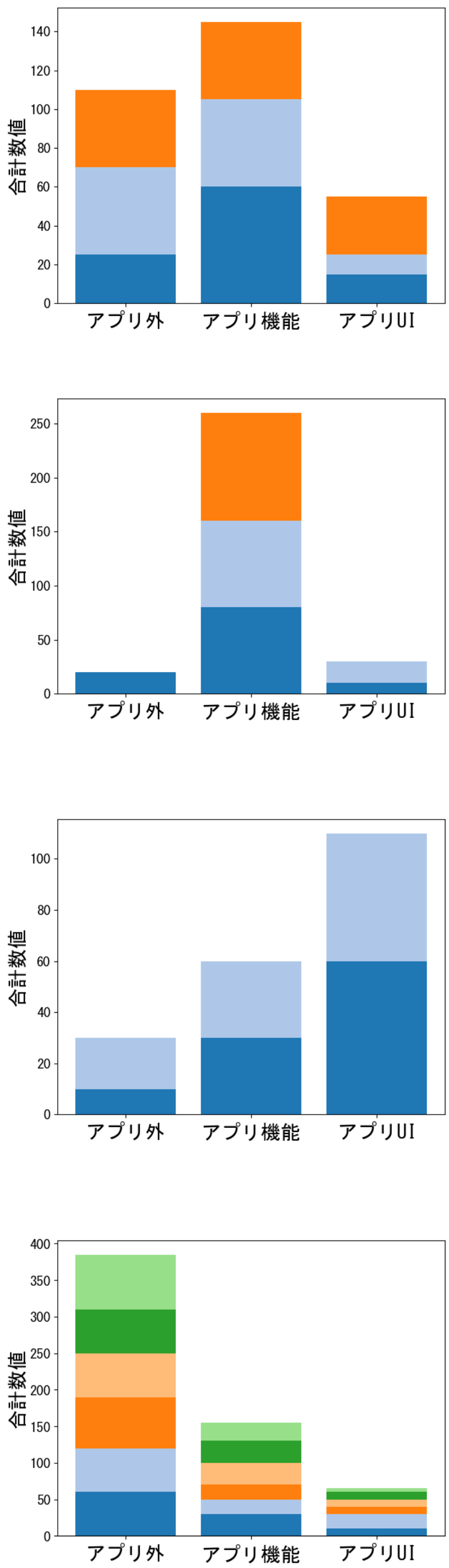


図 4 各クラスタの縦積みグラフ
(a)クラスタ 1, (b)クラスタ 2,
(c)クラスタ 3, (d)クラスタ 4

Figure 4 Vertical stacked graph for each cluster.
(a) cluster 1, (b) cluster 2, (c) cluster 3, (d) cluster 4

表 3　各クラスタの主観価値観

Table 3 Subjective trends for each cluster.

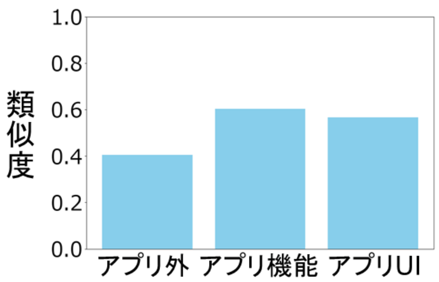
クラスタ	1	2	3	4
主観価値観	アプリ機能, アプリ外	アプリ機能	アプリ UI	アプリ外

インタビュー被験者がアプリを 使う/使わない の判断をする際に設定した各項目の内，主観的にはどの項目を重要視しているのかということを基準にクラスタが分かれていることが明らかとなった．言い換えれば，被験者が自覚的に重要視する項目ということを基軸に，つまりアプリに対してどのような認知を行うかに関する自覚的な認知構造を基軸に，被験者を 4 つに分類できたと言える．

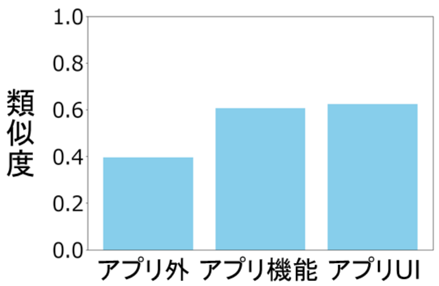
3.2　推定価値観

各クラスタのインタビュー内容に対し価値観構成を推定した．各クラスタが「アプリ外」「アプリ機能」「アプリ UI」それぞれをどの程度重要視しているかを棒グラフで示した(図 5).

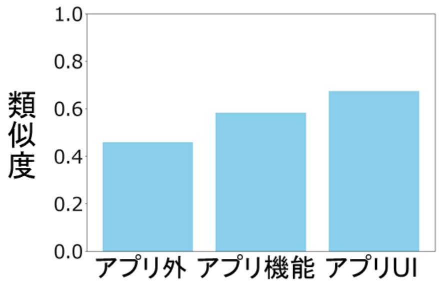
(a)



(b)



(c)



(d)

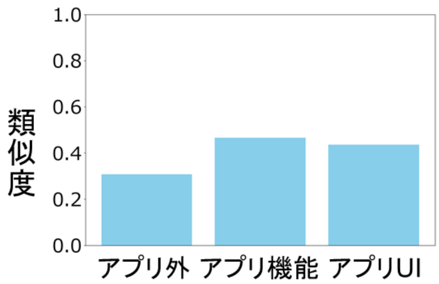


図 5 各クラスタの価値観分布(推定価値観)
(a)クラスタ 1 , (b)クラスタ 2,
(c)クラスタ 3, (d)クラスタ 4

Figure 5 Value composition in each cluster.
(a) cluster 1, (b) cluster 2, (c) cluster 3, (d) cluster 4

図 5 を見ると，各クラスタの被検者が 3 項目をどのような度合いで捉えているか，特にその優先度は以下のようにまとめられる．

- クラスタ 1 : アプリ機能 > アプリ UI > アプリ外
- クラスタ 2 : アプリ UI > アプリ機能 > アプリ外
- クラスタ 3 : アプリ UI > アプリ機能 > アプリ外
- クラスタ 4 : アプリ機能 > アプリ UI > アプリ外

次にこの結果と主観価値観との間の関係について検討するために，表 4 に結果を整理した．

表 4　各クラスタの主観価値観と推定価値観との比較

Table 4 Subjective and objective trends for each cluster.

クラスタ	1	2	3	4
主観価値観	アプリ機能，アプリ外	アプリ機能	アプリ UI	アプリ外
推定価値観	アプリ機能> アプリ UI>アプリ外	アプリ UI>アプリ機能>アプリ外	アプリ UI>アプリ機能>アプリ外	アプリ機能>アプリ UI>アプリ外

表 4 より，クラスタ 3 ではアプリの使用/不使用に関してイ

ンタビュー被検者の主観価値観と推定価値観は一致している．一方で，クラスタ 1， 2， 4 ではインタビュー被検者の主観価値観と推定価値観は必ずしも一致していない．このことはインタビュー被験者が重要視していると自覚している項目は確かに存在するが，それだけでなく被験者本人が無自覚的に重要視している項目がそれ以外に存在することが分かる．つまり各人がアプリに対して重要視する項目，あるいはその優先度には認知のギャップが存在することが定量的に明らかになったと言える．このような認知ギャップがあるクラスタに対しては，アプリを使ってもらうための介入施策を検討するに当たり，アプリのユーザ本人が自覚的に重要視している項目のみに介入施策を実施するだけでは不十分であり，本人が無自覚的に重要視している項目の優先度も参照して介入施策を検討する必要がある可能性が示唆される．以降はこの認知ギャップに基づいて各クラスタに対する介入施策の在り方を検討する．

まず，クラスタ 3 のように，主観価値観と推定価値観が一致するような認知傾向を有するユーザの場合には当該の項目(今回であればアプリ UI)に対して重点的に介入施策を検討すれば十分であると考えられる．

次にクラスタ 1 のように，主観価値観と推定価値観とが一致する(今回で言えばアプリ機能)が，その他の項目の優先度に差がある場合である．この認知傾向を有するクラスタに対しては，本人が自覚的に重要視する項目については，介入施策を実施しなければそのアプリに対する抵抗感が高まるため，優先的に介入施策を検討する必要がある．つまり今回で言えばアプリ機能，アプリ外に対する介入施策は優先的に検討の必要があると考えられる．しかしそれだけでは不十分であり，被検者本人はアプリ外が優先度は高いと自覚しているが，無自覚的にはアプリ UI の方がアプリ外に比べて優先度が高いため，アプリ UI に対する介入施策も機能やアプリ外と同程度に検討する必要があると考えられる．

最後にクラスタ 2， 4 のように主観価値観と推定価値観とが一致しない場合であるが，このような認知傾向を有するクラスタに対しては，本人が自覚的に重要視している項目への介入施策は勿論必要であるが，無自覚的にはその項目以上に重要視している項目があるため(今回はクラスタ 2 ならアプリ UI，クラスタ 4 ならアプリ機能)，その項目に対する介入施策も同程度に検討する必要があると考えられる．また，主観価値観でも推定価値観でも重要視されていない項目(今回はクラスタ 2 ならアプリ外，クラスタ 4 ならアプリ UI)については，図 5 の棒グラフでも他の項目に比べて縦軸(コサイン類似度)の値が小さいことも鑑みると，介入施策検討の優先度は低いと考えられる．

以上のように，割合に関する定量データと文章データそれぞれから，インタビュー被験者が「アプリ機能」「アプリ UI」「アプリ外」のどの項目を重要視しているかを定量解析したことで，インタビュー被験者において主観価値観と推定価値観とは一貫しない場合があり，認知ギャップの存在を考慮して介入施策をどのような優先度で設計する必要があるといえる．次項では，ここまで明らかにされていない，どのような介入施策を講じる必要があるかを検討するため，「アプリ機能」「アプリ UI」「アプリ外」各項目の具体的な内容を分析した．

3.3 各価値観項目におけるトピック

本項では全センテンスを 3 項目の各項目いずれかに振り分け，LDA により項目ごとのトピックスを抽出した．その後，出力された単語の内,「アプリ機能」「アプリ UI」「アプリ外」に関する単語の上位 5 つを抽出した(表 5).

表 5 各項目におけるトピック構成単語
Table 5 Cognitive bias inference words for each factor.

項目	出現単語上位 5 単語
アプリ機能	メリット，Excel，業務効率 ，手軽 ，連携
アプリ UI	難しい， 直感， 興味，簡単，アプリシンプル
アプリ外	業務，活気，強制，抵抗，新しい覚え

表 5 の結果を基に,「アプリ機能」「アプリ UI」「アプリ外」の各項目についてトピック解釈を行った．

まず「アプリ機能」に関して，表 5 を見ると「Excel」が出現している．インタビューにおいて被験者から Excel という単語が登場したのは,「Excel の業務が慣れているのでアプリに変えたくない」という文脈であった．これは現状の慣れている習慣を変えたくないという認知バイアスである「現状維持バイアス」に由来していると考えられる[9]．また「業務効率」「手軽」というアプリの効果について求めている単語については「業務効率が良くなるアプリで，手軽なものであれば使う」というインタビューの文脈から抽出された単語である．「業務効率が上がっているかが実感できなかったから使用しない」あるいは「手軽じゃなかったから使用しない」と感じてしまうとアプリは以降使用されないということである．これは，一度でも負の印象を持つとその行動を行いたくなくなるという「ネガティビティバイアス」に由来すると考えられる[10]．つまり,「アプリ機能」面に関しては現状維持バイアスとネガティビティバイアスが認知バイアスとして支配的であるため，この 2 点にアプローチするような介入施策が求められると言える．

次に「アプリ UI」に関して抽出された単語を検討する．「難しい，直感，簡単，アプリシンプル」という単語に着目すると，アプリの UI は直感的でシンプルなものが好まれる傾

向にあるということが分かる．これは，アプリの UI を見た際に選択肢や情報が多すぎるものよりも，シンプルで直感的なものを選びやすいという「認知負荷理論」に由来すると考えられる[11]．また「興味」という単語に着目すると，アプリの UI にはそれを見た際に興味を惹くようなデザインが求められていると言える．これは新しい体験や視覚的にユニークな要素は，人の注意を引きつけやすく，興味を生むという「新奇性効果」という認知バイアスに由来していると考えられる[12]．以上のことから「アプリ UI」面に関しては「認知負荷理論」と「新奇性効果」が認知バイアスとして支配的であるため，この 2 点にアプローチするような介入施策が求められると言える．

最後に「アプリ外」に関する単語の結果について検討する．「業務，抵抗，新しい覚え」に着目する．この単語は「新しいもの覚えるのに対し抵抗感がある」という文脈にてインタビューで登場した単語である．これは機能面でも議論した新しいものに対して抵抗感があるという「現状維持バイアス」に由来すると考えられる．次に「強制」という単語に関しては「上司などの強制力の下でなら使う」という文脈で登場した単語である．これは自発的には使用しないがトップダウンがあれば使用するということであり，当社がピラミッド型の命令系統を持つ企業であることに由来すると考えられる[13,14]. また認知バイアスの観点では，このような強制力がないと使用しないという状態は，自らの意思ではなく権威に判断を依存するという「権威バイアス」に由来すると考えられる[15]．最後に，「活気」という職場の雰囲気に関連する単語も出現している．この単語は「新しいものを歓迎するような活気のある職場ではない」という文脈にて登場した単語である．これは一個人ではなく，その部署全体，あるいは組織全体の抱える「現状維持バイアス」に起因していると考えられる．先述の権威バイアスの議論でも組織の在り方の問題であったが，ここでも同様に個人への介入ということだけでなく，その個人を取り巻く環境(部署や組織)全体に対してその風土，意識を変容するような介入施策が必要である可能性を示している．つまり「アプリ外」に関しては，ユーザ個人だけではなくその個人を取り巻く部署，組織全体の「現状維持バイアス」「権威バイアス」に対する介入施策が必要であると考えられる．

表 6 各クラスタの主観価値観と推定価値観，介入施策の優先度
Table 6 Subjective and objective trends for each cluster, Priority of intervention measures.

クラスタ	1	2	3	4
主観価値観	アプリ機能，アプリ外	アプリ機能	アプリ UI	アプリ外
推定価値観	アプリ機能，アプリ外，アプリ UI	アプリ機能	アプリ機能，アプリ外	アプリ機能，アプリ外，アプリ UI
介入施策優先順位	アプリ機能>アプリ UI>アプリ外	アプリ UI>アプリ機能>アプリ外	アプリ UI>アプリ機 アプリ能>外	アプリ機能>アプリ UI>アプリ外

表 7 各項目のトピック関連単語及び
Table 7 Topic-Related Words and Topic Interpretation for Each Factor.

項目	トピック (出現単語上位 5 単語)	トピックの解釈
アプリ機能	メリット，Excel，業務効率，手軽，連携	現状維持バイアス，ネガティビティバイアス
アプリ UI	難しい，直感，興味，簡単，アプリシンプル	認知負荷理論，新奇性効果
アプリ外	業務，活気，強制，抵抗，新しい覚え	現状維持バイアス，権威バイアス

4. まとめ

本研究の結果，主観的な価値観と推定価値観とは必ずしも一致しない．つまり認知ギャップが存在することが明らかになった．この認知ギャップを理解することで，より効果的な介入策を設計することができる．

今後の課題としては，各認知バイアスに対するマインド変換施策を検討し，その効果を検証していくことが求められる．

以上

参考文献

[1] 野々村真誉.“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”．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,72-79,2023.

[2] 野々村真誉. “社内セミナーにおける講師-受講者間相互作用分析-Hawkes 過程を用いたリアクション時系列のモデリング”. FIT2024(第 23 回情報科学技術フォーラム). 第 1 分冊. 103-104. 2024.
[3] 大谷尚. “質的研究とは何か”. 薬学雑誌 137(6):653- 658, 2017.
[4] Douglas Steinley, Michael J. Brusco, ”Initializing k-means Batch Clustering: A Critical Evaluation of Several Techniques”, Journal of Classification, Vol.24, No.1, 99-121, 2007.
[5] Pearson, K.: On lines and planes of closest fit to systems of points in place, Philosophical Magazine, Vol.2, 559-572, 1901.
[6] Hotelling, H.: Analysis of a complex of statistical variables into principal components, Journal of Educational Psychology, Vol.24, 417-441, 1933
[7] Reimers, N., & Gurevych, I. (2019). Sentence-BERT: Sentence embeddings using Siamese BERT-networks. Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. arXiv:1908.10084.
[8] Blei D.M., Ng A.Y., Jordan M.I.: Journal of Machine Learning Research, 3, 993-1022 (2003).
[9]biases. Journal of Risk & Uncertainty, 5, 49-61.Samuelson, W., & Zeckhauser, R. 1988 Status quobias in decision making. Journal of Risk & Uncertainty, 1, 7-59.
[10]Baumeister, R. F., Finkenauer, C. V., Kathleen D. (2001). Bad is stronger than good. Review of General Psychology. 5, 323–370.
[11] Sweller, J.:Cognitive load during problem solving: Effects on learning, Cognitive Science, Vol.12, No.2, 257-285 (1988)
[12] Loewy, R. (1951). Never leave well enough alone: The personal record of an industrial designer from lipsticks to locomotives: Simon &Schuster.
[13] 浅田勝義. “製造業における技術革新と行動変容～アルミ圧延加工事業を例に～”. 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,81-84,2023.
[14] 吹田駿介. “超個体を超えて: 集団意思と個々の自主性を両立させた組織システムの提案”. 人工知能学会全国大会論文集/第 38 回 (2024) 103-GS-11-04.
[15]Milgram, S. (1963). Behavioral study of obedience. TheJournal of abnormal and social psychology, 67(4),371-378.

非特定テレビ視聴履歴データを用いた テレビ視聴行動クラスタリング手法の構築と評価

真弓 大輝 †1 奈良先端科学技術大学院大学
松田 裕貴 †2 岡山大学
松田 裕貴 †3 讀賣テレビ放送株式会社
横田 哲弥 †4 讀賣テレビ放送株式会社
榊原 太一 †5 讀賣テレビ放送株式会社
安本慶一 †6 奈良先端科学技術大学院大学

概要

本研究では，テレビ視聴履歴データを用いた最初のデジタルツインの構築を目指す．近年，メディア環境の変化に伴い，視聴者の行動理解の重要性が増している．テレビの視聴行動に関するデジタルツインを構築することで，視聴データから得られるリアルタイムの情報をもとに視聴行動のシミュレーションが可能となり，視聴者の嗜好や行動パターンを仮想的に再現し，広告やコンテンツ制作，マーケティング戦略の最適化に利用することができる．本研究では，個人を特定しない形式で大規模に収集された非特定テレビ視聴履歴データから，ユーザの視聴行動分類手法を確立し，視聴傾向に基づいた視聴行動シミュレータを構築する．本稿では視聴履歴データを詳細に分析し，テレビ視聴に特化した独自の特徴量を生成することで，視聴傾向を分類するモデルを作成し，モデルの妥当性を評価した．その結果，視聴傾向分類では各クラスで生活様式やユーザ層が説明可能となり，さらに平日と休日の視聴傾向分類モデルは，ともに F 値 0.95 程度を記録しており，高精度に予測可能であることが示された．この新しいアプローチは，テレビ視聴のデジタルツイン構築に向けた新たな知見を提供し，データ駆動型のメディア戦略における新たなアプローチへの道を開くものである．

1. はじめに

近年ネット配信番組に代表されるサブスクリプションサービスの需要が高まっている．一方で，テレビの視聴者数は減少傾向にあるもののテレビは依然として多くの家庭における主要な情報源や娯楽として利用されており，その影響力は大きい．最近ではインターネットに接続されたテレビ（Connected TV，CTV）の普及が進み，各放送局はテレビの視聴履歴データを収集・蓄積し放送サービスの向上を目指している．CTV によって取得される視聴履歴データは，本人の許諾や個人情報の有無により， 表 1 に示すように，3 つに分類されている（オプトイン型特定視聴履歴データ，オプトイン型非特定視聴履歴データ，オプトアウト型非特定視聴履歴データ）．このデータの取り扱いは，一般社団法人放送セキュリティセンターが公表した「オプトアウト方式で取得する非特定視聴履歴の取扱いに関するプラクティス [1]」に基づき，放送局により収集・活用が進んでいる．プラクティスによって放送局間でのデータ交換が認められたことにより，これまで在阪 4 局の放送局間では 2 回のデータ交換が行なわれており，個別の放送局が収集したデータ単体では難しかった新たな価値を生み出すことが期待されている．これまでに，オプトイン型非特定視聴履歴データは視聴傾向の研究や視聴パターンの分類手法の提案など様々な研究が行われてきたが，収集規模が小さくデータの利活用は難しいことが知られている．一方で，オプトアウト型非特定視聴履歴データは，個人を特定しない形式で自動的に収集されるため，収集規模が非常に大きく，放送局のみならずスポンサーや広告代理店からもビッグデータとしての活用が期待されている．

また現実空間の情報を取得し，仮想空間内に物理的な対象や挙動をモデル化し，再現することでシミュレーションや分析に利用されるデジタルツインが様々な分野で活用されている [2, 3, 4]．テレビの視聴行動に関するデジタルツインを構築することで，視聴データから得られるリアルタイムの情報をもとに視聴行動のシミュレーションが可能となり，視聴者の嗜好や行動パターンを仮想的に再現し，広告やコンテンツ制作，マーケティング戦略の最適化に利用することができる．しかし，このようなテレビ視聴行動に関するデジタルツインの構築は，視聴行動のモデル化や視聴

Conference Manuscript Format for Academy of Behavior Transformation by AIoT (BTI)

†1 DAIKI MAYUMI, Nara Institute of Science and Technology
†2 YUKI MATSUDA, Okayama University
†3 HIROKI MATSUDA, Yomiuri Telecasting Corporation
†4 TETSUYA YOKOTA, Yomiuri Telecasting Corporation
†5 TAICHI SAKAKIBARA, Yomiuri Telecasting Corporation
†6 KEIICHI YASUMOTO, Nara Institute of Science and Technology

表 1　視聴履歴データの分類

種類	データの特徴				本論文で扱うデータセット
	本人許諾	個人情報	データの多様性	データの数	
オプトイン型特定視聴履歴データ	有り	有り	低い	少ない	-
オプトイン型非特定視聴履歴データ	有り	無し	低い	少ない	-
オプトアウト型非特定視聴履歴データ	無し	無し	高い	多い	○

傾向の分析に留まっており，具体的な実現には至っていない．従来の研究は個々の視聴者に焦点を当てている一方で，ビッグデータ解析を通じて全体的なトレンドやパターンを把握するデータ駆動型のアプローチは，データに基づいた意思決定を可能にし，効果的なマーケティング戦略の構築に寄与する可能性があるが，視聴傾向の分類やデジタルツインの構築に関する研究はまだ初期段階である．

そこで本研究では，個人を特定しない形式で大規模に収集された非特定テレビ視聴履歴データから，テレビ視聴行動のデジタルツインを実現することを目的として，ユーザの視聴行動分類手法を確立し，視聴傾向に基づいた視聴行動シミュレータを構築する．ユーザの視聴傾向を分類するため，視聴履歴データからテレビの視聴に関する独自の特徴量を生成し，視聴傾向の分類を行った．また分類されたクラスの妥当性を評価するために専門家の意見をもとに，各クラスを説明可能な形で定義した．さらに視聴傾向分類モデルを構築し評価した結果，平日と休日の両モデルで F 値 0.95 以上の高い予測を可能とし分類モデルの有効性を示した．本研究の成果は，テレビ視聴行動のデジタルツイン実現への重要な一歩となる．

2.　関連研究

デジタルツイン技術は，様々な分野での応用が進んでおり，リアルタイムデータを活用したシミュレーションや分析が新たな価値を創出している．またテレビ視聴履歴データの活用においても視聴行動の分析が行われている．

2.1.　デジタルツイン技術の動向

デジタルツイン技術は，製造業 [5, 6, 7] やデータセンター [8, 9, 10] などの産業分野だけでなく，医療 [11, 12, 13]，都市計画 [14, 15, 16] など様々な領域で活用されている．この技術は，物理的な物体やシステムをデジタル空間に再現し，シミュレーションや分析に利用されている [2, 3, 4]．特に，IoT（Internet of Things）技術と組み合わせることで，センサーデータをリアルタイムで収集し，迅速な意思決定を可能にしている．

スマートシティ [14] では，急速に増加する経済活動や人口，気候変動への対応が求められる中，資源管理の困難さが顕著となっている．デジタルツインは，物理世界の仮想モデルとして機能し，都市管理における効率化と最適化を実現するソリューションを提供している．例えば，デジタルツインの高度道路交通システムへの応用である．Rudskoy ら [15] は，デジタルツインと機械学習を活用した予測分析のシミュレーションを行うためのモデルを提案している．また Kumar ら [16] は，ドライバーの意思予測を通じて，交通渋滞を削減するデジタルツインのアプローチを提案している．ヘルスケア分野では，患者の健康状態を基にデジタルツインを生成し，リハビリテーション計画や進捗管理を行ったり [12]，パーソナライズされた臨床試験のために，サンプル効率の高いデジタルツイン生成手法を提案している [13]．さらに，デジタルツインは物理空間とデジタル空間の同時マッピングを可能にし，ロボティクスやデータセンシング分野においてもその有効性が確認されている [17, 18]．

このように，デジタルツイン技術は多様な分野での応用が進み，今後もこの技術は進歩することが予想される．またテレビ視聴データの解析においても，デジタルツインの導入が視聴行動理解に新たな視点を提供する可能性がある．

2.2.　テレビ視聴データの活用方法

テレビ視聴データは，視聴者の行動パターンや好みを理解するための重要な情報源となっている．しかし，これまで十分なテレビ視聴データがなかったため，グループの嗜好は個人嗜好の単純な集計でモデル化されることが多かった [19, 20, 21, 22, 23]．これらの手法によって一定の成功を収めているものの，グループ内の力学や相互作用を十分に把握できていない．また従来の視聴行動研究の多くは，数百人規模の自己報告データに依存しているため，データ数が少なく詳細な分析ができなかった [21]．

一方でテレビ視聴データ以外のアプローチとして，約 17 万人のユーザ，24,000 本の映画，440 万件の評価を含む Moviepilot のデータセットを使用し，多くのグループ推薦手法が提案されている [24, 25, 26]．また Senot らの研究 [20] では，テレビ視聴の実際の大規模データセット（約 15,000 人のユーザと 3,000 万回のテレビ番組視聴記録）も活用されているが，グループ活動が不十分であるため実際に分析に利用された世帯はわずか 136 世帯に限られている．

米国の大規模な視聴者パネルを用いた研究とグループの視聴パターンが調査されてい定への一般化にはまだ課題が残っている．テレビ視聴データを用いた研究 [28] では，ネル選択が提供される番組内容に影響されれ，さらに社会経済的グループによる嗜好動に大きく影響することが示された．このアの予測や新しいチャンネルの導入時の視に応用されている．このようなデータ駆動は，視聴者の満足度を向上させる重要な要

また我々の研究グループでは，放送局が特定テレビ視聴履歴データを用いた視聴行を行っている．松田らは，各放送局が収集ビ視聴履歴データを統合するための Non-マッチングアルゴリズム [29, 30] を考案しCM 視聴がその後のインターネット検索行動に与える影響について Google Trends から 1 時間ごとの検索クエリのトレンドを取得し CM のメタ情報と組み合わせることで CM ジャンルと検索寄与度の関係を調査している [31]．また吉村ら [32] は CM の完視聴率にどのような地域差が存在するのか分析している．このように視聴履歴データの活用が進められているが，非特定テレビ視聴履歴データを用いて視聴傾向を分類し，その分析結果を番組制作などに活かせていないのが現状である．

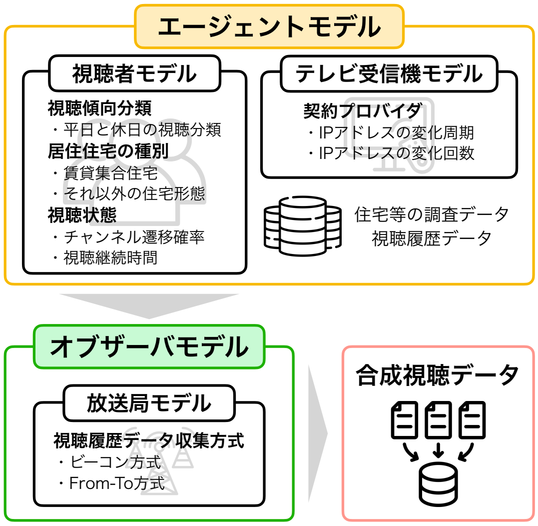


図 1　テレビ視聴行動シミュレータ処理の流れ

3. テレビ視聴に関するデジタルツイン構築のための合成視聴データの生成手法

本研究では，テレビ視聴行動をデジタルツインとして再現するため，「テレビ視聴行動シミュレータ」の設計と実装手法について詳細に述べる．提案する視聴行動シミュレータの全体構成を図 1 に示す．本シミュレータは，視聴者の視聴傾向をモデル化した「視聴者モデル」，IP アドレスの変化周期や回数を抽象化した「テレビ受像機モデル」，および視聴履歴データの収集プロセスを再現する「放送局モデル」の 3 つのモデルを基盤としている．これらのモデルを統合し，視聴行動を生成するエージェントモデルを構築することで，現実の視聴行動に近い合成視聴データを作成する．

3.1. エージェントモデル

エージェントモデルは，視聴行動を生成する中心的な役割を担う．視聴者モデルとテレビ受像機モデルを組み合わせることで，現実の視聴行動に基づく動的な視聴データ生成を可能にしている．

3.1.1 視聴者モデル

視聴者モデルは，視聴履歴データを基に視聴者の行動パターンを分類し，視聴傾向をモデル化する．視聴者の視聴傾向を理解することで，実際の視聴傾向に近い合成視聴データを生成可能としている．視聴傾向の分類については，後のセクションで具体的な手法と結果について詳しく説明する．

テレビ視聴履歴データは，インターネット結線されたテレビ受像機を対象に収集されている．このデータには，家庭内で共有されるグローバル IP アドレスが含まれ，集合住宅では 1 つのグローバル IP アドレスを複数の住居で共有している場合が多い．エージェント生成時には，集合住宅や戸建住宅，分譲集合住宅など視聴者の居住形態を考慮する．

また在阪 4 局のテレビ視聴履歴データを用いて，視聴者が次にどのチャンネルに遷移するかを示す「状態遷移確率」や，視聴を開始したチャンネルをどの程度の時間視聴し続けるかを示す「視聴継続時間」を分析した．これらの分析結果を基に，視聴チャンネルの選択や継続時間を確率的に決定するモデルを構築する．

3.1.2 テレビ受信機モデル

テレビ受像機モデルは，IP アドレスの変化に関する特性を再現することを目的とする．視聴履歴データの分析から，同一テレビ受信機の IP アドレスが定期的に変化していることが確認されており，この変化は契約プロバイダやネットワーク環境に依存する．本モデルでは，視聴履歴データから得られた IP アドレスの変化周期や回数を反映し，実際のテレビ受像機の挙動を模倣する仕組みを実装した．これにより，現実のネットワーク環境を考慮した視聴データの生成を可能にしている．

3.2. オブザーバモデル

オブザーバモデルは，生成された視聴行動から視聴履歴データを精緻に再現するために設計された．具体的には，放

表 2　各放送局の取得方式と時刻データ正確性

放送局	A 局	B 局	C 局	D 局
方式	ビーコン	ビーコン	From-To	From-To
ビーコン間隔	60 秒	15 秒	-	-
開始時刻の正確性	正確	正確	正確	正確
終了時刻の正確性	60 秒以内の誤差	15 秒以内の誤差	正確	正確

送局が使用するデータ収集方式をモデル化し，視聴履歴データの生成プロセスを再現する．表 2 に示すように，放送局の視聴履歴データ収集方式は，ビーコン方式と From-To 方式の 2 種類に分類される．ビーコン方式は，視聴開始からビーコン送信が開始されるまでの間にチャンネル遷移が発生した場合，その間の視聴履歴が記録されない場合がある．この方式はサーバ負荷を軽減するための設計であるが，視聴行動と履歴データの間に乖離が生じる要因となる．本研究では，放送局ごとの特徴を反映したオブザーバモデルを構築することで，実際のデータ収集プロセスを模倣し，精緻な視聴履歴データを生成することを可能にする．

4.　非特定テレビ視聴行動データを用いた視聴傾向分類

非特定テレビ視聴履歴データを用いて，視聴傾向別に視聴者をクラス分類する手法を提案する．はじめに利用するデータと特徴量および視聴傾向の分析方法について説明する．また本分析において，クラスタリング結果に対するラベル付や考察は讀賣テレビ放送株式会社[*1]の専門家の意見を参考にしている．

4.1.　視聴傾向分析の特徴量設計とクラスタリング手法

本分析では，在阪 4 局の非特定テレビ視聴履歴データおよび番組データ，総個人視聴率（Persons Using Television, PUT）データを用いる．本分析に利用するデータ期間は，視聴習慣などが大きく変化するような大型イベントがない通常の放送期間である 2023 年 1 月 17 日〜2023 年 3 月 31 日の 2.5 ヶ月間を用いた．対象期間の視聴台数は，約 144 万台であったため，本分析では連続視聴 6 時間を超えるテレビを除き，平日と休日に共通するテレビ台からランダムに 12,000 台を抽出し，視聴傾向分析を行った．

視聴傾向分析のためのクラス分類手法として，k-means クラスタリングを採用し，平日と休日でそれぞれ 6 クラスに分類した．クラス分類に用いた特徴量を表 3 に示す．これらの特徴量は，量的データと質的データが混在するため，前処理を行いスケールを合わせた．視聴時間に関する量的データは，標準化を行い，視聴チャンネルや視聴ジャンル等の質的データは，One-Hot エンコーディングを適用し，クラス分類に適したデータに変換した．

次に特徴量間の多重共線性を避けるために，相関関係を分析した．特徴量間の相関関係を視覚化し，相関係数の絶対値が 0.8 以上の組み合わせを列挙した結果，冗長性があると判断された特徴量を削除した．さらにクラス分類における寄与度が低い特徴量を調べるために，各特徴量のクラス間での標準偏差を計算し，特徴量の寄与度を降順に並べた．本分析では寄与度が 5% 以下の特徴量を削除し，最終的に残った特徴量を用いて，再度視聴傾向の分類を行った．

4.2.　視聴傾向分類の結果

図 2 に平日における視聴傾向クラスの分類結果を示す．各時間帯における平均視聴時間を棒グラフで示し，テレビの視聴台数は折れ線で示している．以降では各クラスについて，グラフの傾向に基づいてどのような視聴者層であるかについて考察する．

クラス 1 は，「一人暮らしの若年層」と名付けられるクラスである．視聴時間は全体的に短めで，夜間に視聴が増加する傾向はあるが，大きなピークは見られない．テレビ視聴に対する依存度が低く．ニュースや情報番組を中心に，短時間で必要な情報を収集する傾向がある．若年層や働き盛りの世代は，仕事や学業，外出などで忙しく，長時間テレビを見る時間が取れない傾向がある．

クラス 2 は，「テレビファン層」と名付けられるクラスである．1 日を通して視聴時間が長く，特に朝 5 時から 10 時，また夜 19 時以降に視聴時間が増加する傾向がある．視聴する番組ジャンルも分散しており，多様な番組を満遍なく視聴している特徴がある．これはその時間帯に放送している番組ジャンルの割合に近い傾向を示している．また，朝 7 時台の落ち込みは，NHK を視聴している可能性が示唆される．

クラス 3 は，「情報番組・報道番組の多視聴層」と名付けられるクラスである．主に朝 5 時から夕方 18 時までの時間帯で視聴が集中し，情報番組やワイドショーの視聴時間が特に長いことが確認されている．7 時台や 19 時〜22 時台は民放を見ていないが，23 時台は戻ってきているため，NHK の視聴を行なっている可能性が示唆される．

クラス 4 は，「中高年や子育て世帯層」と名付けられるクラスである．1 日を通して継続的に視聴されている．早朝から日中にかけてはニュースや情報番組を視聴し，夜間はバラエティの視聴割合が多くなっている．また視聴台数は早朝から夜間にかけて一貫して高く，家庭のリビングなどの共有スペースでテレビを視聴する世帯が多く，特に中高年や子育て世帯が該当すると考えられる．

クラス 5 は，「一般的に近い視聴層」と名付けられるクラスである．ここでの「一般的」とは，朝の視聴傾向が高く，

[*1] https://www.ytv.co.jp/

表 3　視聴傾向分類で使用する特徴量

特徴量名	説明	単位/形式	利用特徴量
総視聴時間	指定期間内の総視聴時間の合計	分（minutes）	✓
1 日の平均視聴時間	1 日あたりの平均視聴時間	分（minutes）	-
視聴日数	指定期間内にテレビを視聴した日数	日数（days）	✓
全日の視聴時間	全日の平均視聴時間（6 時～0 時の範囲）	分（minutes）	-
ゴールデンタイム	ゴールデンタイム（19 時～22 時）の平均視聴時間	分（minutes）	✓
プライムタイム	プライムタイム（19 時～23 時）の平均視聴時間	分（minutes）	-
主要視聴ジャンル	最も多く視聴された番組ジャンル	カテゴリ（ジャンル名）	✓
主要視聴チャンネル	最も多く視聴されたチャンネル	チャンネル ID	-
チャンネルの占拠率	各チャンネルの視聴割合	比率（%）	✓
ジャンル毎の視聴時間	各ジャンルの視聴時間	分（minutes）	✓
視聴ジャンル数	指定期間内に視聴したジャンルの数	数値（integer）	-
主要視聴時間帯	最も多く視聴された時間帯（時間単位で計算）	時間（hour）	✓
活動的視聴時間	早朝や深夜の視聴時間（5 時～9 時，22 時～2 時）	分（minutes）	-
平均 PUT 値	視聴頻度が高い時の平均 PUT 値	PUT 値（float）	✓
高 PUT 時の視聴比率	PUT 値が平均以上の時間帯における視聴時間の割合	比率（%）	-
低 PUT 時の視聴比率	PUT 値が平均未満の時間帯における視聴時間の割合	比率（%）	-
PUT の平均値	期間内の PUT の平均値	PUT 値（float）	✓
PUT の標準偏差	期間内の PUT の標準偏差	PUT 値（float）	✓
PUT の最大値	期間内の PUT の最大値	PUT 値（float）	✓
PUT の最小値	期間内の PUT の最小値	PUT 値（float）	✓
PUT の中央値	期間内の PUT の中央値	PUT 値（float）	-
PUT の最頻値	期間内の PUT の最頻値	PUT 値（float）	✓

昼間の視聴が減少し，夜のゴールデンタイムに再び視聴時間が長くなるといった，一般的な視聴率に近い波形を表している．クラス 2 同様に視聴する番組のジャンルには偏りが少なく，ゴールデンタイムに音楽番組も視聴するなど多様な番組を満遍なく視聴している傾向を示しているが，クラス 2 ほど視聴時間は長くない．朝 10，11 時台はスポーツの視聴割合が高いが，ゴールデンタイムのスポーツ割合は高くない．

クラス 6 は，「デジタルネイティブ層」と名付けられるクラスである．テレビ視聴に対する依存度が極めて低い傾向が見られる．主に夜間のみ短時間だけ視聴し，ニュースや情報番組を通じて必要最低限の情報収集を行なっている．テレビを主な娯楽手段とせず，スマートフォンや他のデジタルデバイスを主流にした生活スタイルが特徴として現れていると考えられる．

以上のように，提案する特徴量に基づいた視聴傾向分類により，各クラスに対して説明可能な傾向が認められ，適切なクラスタリング手法の確立に寄与することが示された．この手法を平日および休日においてそれぞれ適用し，それぞれ 6 クラスのラベルを生成した．

5.　視聴傾向分類の結果に基づく分類モデルの構築と評価

本章では，前章の視聴傾向分類の結果をラベルとして利用し，LightGBM を用いて視聴傾向を分類するモデルの構築と評価を行う．

5.1.　利用データと評価手法

本分析では，視聴テレビ台数 12,000 台の視聴データを用いて，視聴傾向を平日と休日それぞれ 6 クラスに分類するモデルと平日と休日のクラスを掛け合わせた 36 クラス分類モデルを構築した．データ全体の 8 割を訓練データ，2 割をテストデータとしてランダムに分割し，これを 10 回繰り返して各評価指標の平均値を算出した．これにより，データの分割によるばらつきを抑え，モデルの分類精度をより安定して評価できるようにした．

分類モデルには LightGBM を採用し，各試行の評価指標には正解率，適合率，再現率，F 値を使用した．ハイパーパラメータの最適化には，RandomizedSearchCV を用い，学習率，葉の最大数，最大深度などを調整し，精度向上を図った．ハイパーパラメータの最適化により，平日と休日の視聴傾向の違いをより正確に捉えられるようにし，視聴行動の特徴をより精緻に分類するモデルを構築した．

平日データ

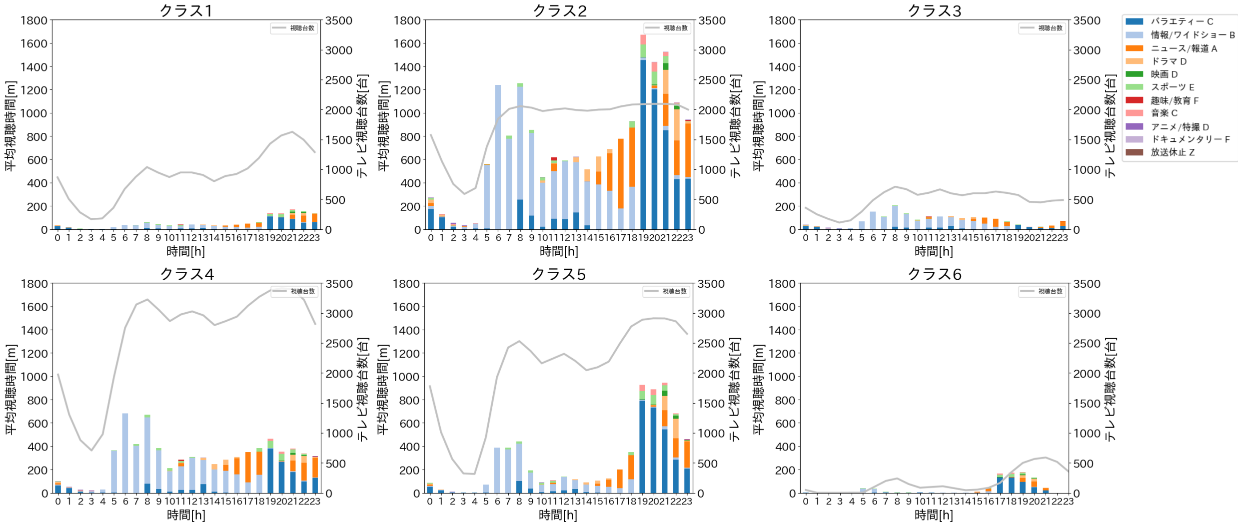


図 2　平日のテレビ一台あたりの平均視聴時間と視聴ジャンル

5.2.　視聴傾向分類モデルの評価結果

表 4 に平日と休日のそれぞれの視聴傾向分類モデルおよび平日と休日を合わせたモデルにおける平均の分類結果を示す．平日モデルと休日モデルは 6 クラス分類で，平日と休日を合わせたモデルは 36 クラス分類を行った．平日モデルの評価結果では，正解率や適合率，再現率，F 値の全ての指標で約 0.95 を達成し，安定した分類性能を示した．この結果は，平日の視聴傾向分類が高い精度で行われたことを示しており，モデルが平日特有の視聴パターンを効果的に捉えていることがわかる．

また休日モデルでは，さらに優れた結果が得られすべての評価指標で 0.95 を超える高いスコアが確認された．これにより，提案したモデルが平日および休日の視聴傾向に基づく分類タスクにおいて一貫して高い性能を発揮し，視聴行動のパターンを的確に捉えていることが示された．特に休日モデルが平日モデルを上回る性能を示した点は，視聴傾向における曜日別の特徴が存在する可能性を示唆している．

一方で，平日と休日を組み合わせた分類モデルでは，指標ごとに顕著な変動が見られ，F 値は 0.656 となり低い結果となった．これは，平日および休日で異なる視聴傾向が一つのモデル内で統合されたことが影響していると示唆される．また，36 クラスの各クラスに属するサンプル数に大きなばらつきがあるため，サンプル数の少ないクラスで分類が困難となり，全体の指標の低下に繋がった可能性がある．

これらの結果から，平日と休日の視聴傾向を分離したモデルの方が分類精度において優れており，視聴行動の複雑さや変動を反映する上でより有効であることが示唆された．

表 4　視聴傾向分類モデルの評価結果

評価モデル	正解率	適合率	再現率	F 値
平日モデル	0.954	0.954	0.947	0.950
休日モデル	0.956	0.956	0.952	0.954
平日＆休日モデル	0.828	0.712	0.627	0.656

6.　ディスカッション

6.1.　視聴傾向の分類

最適な視聴傾向分類ができた要因として，視聴行動に特化した多面的な特徴量を生成した点が挙げられる．これにより，視聴時間帯や視聴番組のカテゴリなどの視聴パターンを詳細に反映することができ，各クラス間の視聴行動の違いを効果的に表現したと考えられる．特にテレビ視聴に特化した独自の特徴量を取り入れることで，視聴者が持つ多様な行動傾向を捉えることができ，精緻な分類を実現することができた．また平日と休日で視聴行動が異なることを前提に，それぞれ独立した分類を行った点も重要である．平日と休日の視聴行動に顕著な違いがあるため，曜日別にクラス分類を行うことで，視聴者の特定の時間帯や番組嗜好を反映した特徴が識別され，異なる視聴行動パターンをより明確に区別することが可能になった．さらに，PUT 値を基に視聴傾向を補正することで，視聴時間が短いクラスと長いクラスの明確な区分が生まれ，視聴行動の多様性がさらに細分化された．最後に放送局の専門家による評価を取り入れたことで，各クラスが実際の生活習慣や視聴者属性に基づいた意味のある分類であることを確認した．専門家の知見を反映することで，データ駆動型の分類結果が実務的に有用であることが証明され，研究成果の信頼性が高

まった．これにより，データ駆動のクラスタリングと実務的な有効性の両面で信頼性の高い分類が実現されたと考えられる．以上により，本研究では視聴傾向を精緻に分類するための手法を確立したと結論づけられる．

6.2. 分類モデルの評価

本研究の平日・休日モデルの結果により，曜日によって視聴行動の違いが生じることが示唆された．休日モデルのスコアが平日モデルを上回った要因として，休日には視聴者の行動パターンがより明確に分類できる点が考えられる．例えば，休日には特定の番組カテゴリ（映画やドラマなど）に人気が集中し，視聴時間帯の傾向が偏ることが予想されるため，モデルが特徴を捉えやすくなる可能性がある．このような休日特有の視聴傾向が，モデルの高い評価につながったと考えられる．また平日モデルも高い精度を示しており，平日には視聴者が通勤時間帯や夜間のニュースなど視聴傾向が一定のパターンに従う可能性を示唆している．この安定した視聴行動が，モデルの分類性能を向上させたと考えられる．また正解率，適合率，再現率，F 値がほぼ同等であることから，予測結果に偏りがなく，全体的にバランスのとれた分類が行われていることが確認できた．

一方で，平日と休日を組み合わせた分類モデルでは，指標ごとに顕著な変動が見られ，F 値は 0.656 となり低い結果となった．この変動の要因の一つとして，各クラスに属するサンプル数の不均衡が挙げられる．特に 36 分類モデルでは，各クラスのサンプル数に大きなばらつきがあり，該当者がわずか 2 名のクラスも存在した．このような不均衡は，適合率や再現率に悪影響を及ぼし，サンプル数の少ないクラスにおいて，クラス特有の特徴を十分に学習できず正確な分類が難しくなったことが指標の低下に影響したと考えられる．また平日の視聴行動が休日と異なる傾向があるため，モデルがこれらの違いを一貫して分類することが困難となり，再現率および F 値が低下したと考えられる．

今後は，関西以外の地域や他の期間のデータセットを用いた評価を通じて，テレビの視聴分類モデルの汎用性を検証する．さらに，LightGBM 以外のアルゴリズムとの比較により最適なモデル構築を目指す．最終的には，視聴傾向に基づく番組編成や広告配信の最適化への応用を視野に入れ，実用的なアプローチの確立を目指す．

7. まとめ

本研究では，テレビ視聴行動に特化した特徴量を新たに設計し，これを用いてテレビの視聴傾向分類を行うことで，各クラスにおいて説明可能な分類を可能とした．またこれら結果を元に平日および休日のそれぞれに対して高精度な視聴傾向分類モデルを作成した．作成した分類モデルの妥当性を検証した結果，平日および休日の個別モデルにおいては全ての指標で高い値を示し，モデルの有効性が確認された．一方で，平日と休日を統合した 36 クラス分類モデルでは，視聴傾向の複雑さや各クラスのデータの不均衡さが影響を与え，平日および休日の個別モデルと比較して精度が低下した．これらの結果より，視聴傾向の分類に基づくモデル構築手法によって，視聴者の多様な行動パターンを再現可能であることが示された．今後はこの視聴傾向分類結果に基づいた合成視聴データを生成し，実際の視聴データとの統計的な比較を行い，合成テレビ視聴データの有効性を示す．これにより，テレビ視聴行動のデジタルツイン実現に向けた有効なアプローチを提供し，今後の応用可能性とさらなる発展の可能性が期待される．

参考文献

[1] 一般財団法人放送セキュリティセンター視聴関連情報の取扱いに関する協議会：オプトアウト方式で取得する非特定視聴履歴の取扱いに関するプラクティス（ver2.3），`https://www.sarc.or.jp/documents/www/NEWS/hogo/2024/optout_practice_ver2.3.pdf` (2024).

[2] Hughes, A.: Forging the digital twin in discrete manufacturing, a vision for unity in the virtual and real worlds, *LNS Research e-book* (2018).

[3] Zhou, X., Liang, W., Yan, K., Li, W., Kevin, I., Wang, K., Ma, J. and Jin, Q.: Edge-enabled two-stage scheduling based on deep reinforcement learning for internet of everything, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 10, No. 4, pp. 3295–3304 (2022).

[4] Zhou, X., Xu, X., Liang, W., Zeng, Z., Shimizu, S., Yang, L. T. and Jin, Q.: Intelligent small object detection for digital twin in smart manufacturing with industrial cyber-physical systems, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 18, No. 2, pp. 1377–1386 (2021).

[5] Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J. and Sihn, W.: Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification, *Ifac-PapersOnline*, Vol. 51, No. 11, pp. 1016–1022 (2018).

[6] Liao, S., Wu, J., Bashir, A. K., Yang, W., Li, J. and Tariq, U.: Digital twin consensus for blockchain-enabled intelligent transportation systems in smart cities, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 23, No. 11, pp. 22619–22629 (2021).

[7] JamieO’Sullivan, DominicO’Sullivan, Bruton, K.：A case-study in the introduction of a digital twin in a large-scale smart manufacturing facility, *Procedia Manufacturing*, Vol. 51, pp. 1523–1530 (2020).

[8] Wang, R., Zhou, X., Dong, L., Wen, Y., Tan, R., Chen, L., Wang, G. and Zeng, F.: Kalibre: Knowledge-based neural surrogate model calibration for data center digital twins, *Proceedings of the 7th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities,*

and Transportation, pp. 200–209 (2020).

[9] Li, M., Wang, R., Zhou, X., Zhu, Z., Wen, Y. and Tan, R.: ChatTwin: Toward Automated Digital Twin Generation for Data Center via Large Language Models, *Proceedings of the 10th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation*, BuildSys '23, pp. 208–211 (online), 10.1145/3600100.3623719 (2023).

[10] Min, Q., Lu, Y., Liu, Z., Su, C. and Wang, B.: Machine learning based digital twin framework for production optimization in petrochemical industry, *International Journal of Information Management*, Vol. 49, pp. 502–519 (2019).

[11] Elayan, H., Aloqaily, M. and Guizani, M.: Digital twin for intelligent context-aware IoT healthcare systems, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 8, No. 23, pp. 16749–16757 (2021).

[12] Chen, Y., Wang, W., Diao, J., Wang, D., Jian, Z., Wang, Y. and Jiang, Z.: Digital-Twin-Based Patient Evaluation during Stroke Rehabilitation, *Proceedings of the ACM/IEEE 14th International Conference on Cyber-Physical Systems (with CPS-IoT Week 2023)*, ICCPS '23, pp. 22–33 (online), 10.1145/3576841.3585923 (2023).

[13] Das, T., Wang, Z. and Sun, J.: TWIN: Personalized Clinical Trial Digital Twin Generation, *Proceedings of the 29th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '23, pp. 402–413 (online), 10.1145/3580305.3599534 (2023).

[14] Fortino, G. and Savaglio, C.: Integration of digital twins & internet of things, *The Digital Twin*, pp. 205–225 (2023).

[15] Rudskoy, A., Ilin, I. and Prokhorov, A.: Digital twins in the intelligent transport systems, *Transportation Research Procedia*, Vol. 54, pp. 927–935 (2021).

[16] Kumar, S. A., Madhumathi, R., Chelliah, P. R., Tao, L. and Wang, S.: A novel digital twin-centric approach for driver intention prediction and traffic congestion avoidance, *Journal of Reliable Intelligent Environments*, Vol. 4, No. 4, pp. 199–209 (2018).

[17] Kaigom, E. G. and Roßmann, J.: Value-driven robotic digital twins in cyber–physical applications, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 17, No. 5, pp. 3609–3619 (2020).

[18] Saracco, R.: Digital twins: Bridging physical space and cyberspace, *Computer*, Vol. 52, No. 12, pp. 58–64 (2019).

[19] Said, A., Berkovsky, S. and De Luca, E. W.: Group recommendation in context, *Proceedings of the 2nd challenge on context-aware movie recommendation*, pp. 2–4 (2011).

[20] Senot, C., Kostadinov, D., Bouzid, M., Picault, J., Aghasaryan, A. and Bernier, C.: Analysis of strategies for building group profiles, *International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization*, pp. 40–51 (2010).

[21] Webster, J. G. and Wakshlag, J. J.: The impact of group viewing on patterns of television program choice, *Journal of Broadcasting & Electronic Media*, Vol. 26, No. 1, pp. 445–455 (1982).

[22] Bjur, J.: *Transforming audiences. Patterns of individualization in television viewing*, No. 1101-4652, Department of Journalism and Mass Communication; Institutionen för journalistik och masskommunikation (2009).

[23] Rust, R. T., Kamakura, W. A. and Alpert, M. I.: Viewer preference segmentation and viewing choice models for network television, *Journal of advertising*, Vol. 21, No. 1, pp. 1–18 (1992).

[24] Gim, G., Jeong, H., Lee, H. and Yun, D.: Group-aware prediction with exponential smoothing for collaborative filtering, *Proceedings of the 2nd Challenge on Context-Aware Movie Recommendation*, pp. 11–14 (2011).

[25] Gorla, J., Lathia, N., Robertson, S. and Wang, J.: Probabilistic group recommendation via information matching, *Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web*, pp. 495–504 (2013).

[26] Hu, X., Meng, X. and Wang, L.: Svd-based group recommendation approaches: an experimental study of moviepilot, *Proceedings of the 2nd challenge on context-aware movie recommendation*, pp. 23–28 (2011).

[27] Chaney, A. J., Gartrell, M., Hofman, J. M., Guiver, J., Koenigstein, N., Kohli, P. and Paquet, U.: A large-scale exploration of group viewing patterns, *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX '14, pp. 31–38 (online), 10.1145/2602299.2602309 (2014).

[28] Tavakoli, M. and Cave, M.: Modelling Television Viewing Patterns, *Journal of Advertising*, Vol. 25, No. 4, pp. 71–86 (online), 10.1080/00913367.1996.10673513 (1996).

[29] 松田裕貴，榊原太一，水本旭洋，安本慶一ほか：放送局を横断する大規模テレビ視聴履歴データの統合手法の提案と実践，情報処理学会論文誌デジタルプラクティス (TDP)， Vol. 4, No. 1, pp. 34–44 (2023).

[30] 松田裕貴，榊原太一，真弓大輝，松田裕貴，水本旭洋，安本慶一：非特定テレビ視聴履歴データの放送局間統合手法，情報処理学会論文誌， Vol. 65, No. 10, pp. 1488–1500（オンライン），10.20729/00239892 (2024).

[31] 松田裕貴，榊原太一，木俣雄太，鳥羽望海，真弓大輝，松田裕貴，安本慶一：テレビ視聴における非特定視聴履歴データとインターネット検索データの関係性分析，第 14 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（DEIM '22），pp. 1–6 (2022).

[32] 吉村啓，水本旭洋，榊原太一，松田裕貴：テレビ視聴時の CM 離脱と地域傾向分析，人工知能と知識処理研究会，Vol. 121, pp. 43–48 (2022).

ナレッジベース活用による知識伝承を促進するナッジ施策と集団特性の関係性

徳永秀真[†1] 株式会社 UACJ
村瀬颯登[†2] 株式会社 UACJ
野々村真誉[†3] 株式会社 UACJ
山本佑樹[†4] 株式会社 UACJ

1. はじめに

デジタル技術革新を特徴とする第四次産業革命が進む昨今、製造業ではモノづくりの現場を支えてきた技能人材などの人手不足や後継者不足が顕在化している[1]。UACJ における大きな問題の 1 つとして、現場における知識が属人的・暗黙的になっていることが挙げられる。属人的・暗黙的になる主な要因は、現場作業にあたる従業員は一般にパソコン等デジタルツールを使わず体で覚える作業が多いことである。このような状況では、知識の保存や共有が困難であり、結果、属人化してしまう。この状態が続くと、熟練者の退職とともに重要な技術や知識が失われ、企業全体の技術力が低下するリスクが増大する。UACJ ではそのようなリスクへの対応として技術と知識の共有及び形式知化を促進する環境整備としてナレッジベース[a]を導入したが、ナレッジベースの活用は進んでいないのが現状である。

ナレッジベースの活用が進まない要因を明らかにし、技術と知識の共有及び形式知化を促進するためのアプローチに関して報告する。

2. 方法、施策

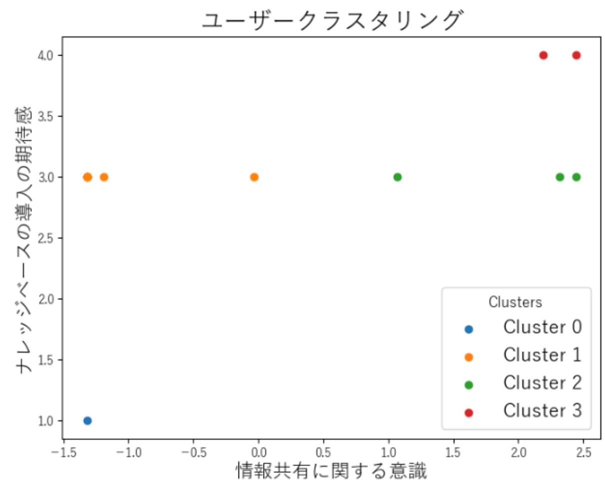
2.1 情報共有に対する意識調査アンケート

まず、現場作業者 14 名に対して、ナレッジベース活用のモチベーションを調査するためのアンケートを行った。アンケートでは情報共有に対する意識や、ナレッジベース導入に対しての期待感を調査する設問を 4 問用意した。アンケートの結果を表 1 へ示す。回答には「そう思わない」、「あまりそう思わない」、「まあ、そう思う」、「そう思う」の 4 段階を設けており、各設問を 1~4 点に置き換えている。1 点が「そう思わない」4 点が「そう思う」に対応する。なお、問 1~3 は情報共有の意識についての質問であり、問 4 はナレッジベースの導入についての質問である。次に、これらの設問に対する回答より、作業者が情報共有とナレッジベースに対してどのように考えているか、*k*-means 法[2]によりクラスタリングを行った(図 1)。

表 1 情報共有の意識とナレッジベースに関するアンケートの回答結果

Table 1 Response results of questionnaire on awareness and knowledge base for information sharing

作業者	問 1. 情報共有は重要である	問 2. 職場の同僚に情報共有してほしい	問 3. 職場の同僚情報共有したい	問 4. ナレッジベースを使用することが楽しみだ
A	3	3	3	3
B	3	3	3	3
D	3	3	3	3
E	3	3	3	3
F	3	3	3	3
G	3	3	3	3
H	3	3	3	1
I	4	3	3	3
J	4	4	3	3
K	4	4	4	3
L	4	4	4	3
M	4	4	4	4
N	4	4	4	4



Relationship between nudging measures and collective propertys to promote knowledge transfer by Using knowledge base
†1 TOKUNAGA SHUMA, UACJ Corporation
†2 MURASE HAYATO, UACJ Corporation
†3NONOMURA MINORI , UACJ Corporation
†4 YAMAMOTO YUKI, UACJ Corporation

a knowledge(https://github.com/support-project/knowledge). オープンソースの情報共有プラットフォームで、情報を記事にし、投稿することで、職場内で knowledge のアカウントを持つユーザーに共有することができる。また、投稿された記事に対して他のユーザーが「いいね」やコメントをすることができるインタラクティブな機能も持つ。Knowledge には記事の投稿、記事の閲覧、記事への「いいね」など、活動を行うと情報共有の貢献に相応するポイント(contribution point 以下 CP と呼ぶ)が与えられる仕組みがある。

図 1 情報共有とナレッジベース導入に対する
アンケート結果を用いたクラスタリング
(主成分分析による次元圧縮)

Figure 1　Clustering using questionnaire results for information sharing and knowledge base introduction
(dimensional compression by principal component analysis)

図 1 の横軸は情報共有の意識ついての設問(問 1~3)に対する回答を主成分分析[3]により 1 次元に圧縮した値であり、縦軸は問 4 の回答のままのナレッジベース導入への期待感の尺度である。右に行くほど情報共有への意識が高く、上に行くほどナレッジベースへの期待感が高い。以下にクラスタごとの特徴を示す。

- Cluster0 は 1 名属しており、情報共有への意識、ナレッジベースへの期待感共に低い。
- Cluster1 は 8 名属しており、情報共有への意識が比較的低く、ナレッジベース導入への期待感は中程度であると分かる。
- Cluster2 は 3 名属しており、情報共有に対しての意識は比較的高いが、ナレッジベース導入への期待感は cluster2 と同等で、中程度である。
- Cluster3 は 2 名属しており、情報共有への意識が高く、ナレッジベース導入への期待感も高い。

2.2 ナレッジベース活用を促進する施策

行動変容モデルである、フォグ式消費者行動モデル[4]は、人に行動を起こしてもらうために必要な「動機」、「行動障壁」、「きっかけ」の 3 要素の相関関係をまとめたものである。このモデルでは「Behavior(行動)＝Motivation(動機)×Ability(行動障壁)×Trigger(きっかけ)」という式が成り立つ。つまり、モチベーションは高く、行動障壁は低い状態で、きっかけがあると人は行動に移せるというものである。本件での「動機」、「行動障壁」、「きっかけ」の考え方を以下に示す。

① 動機

ここでの動機とは、具体的に「作業者がナレッジベースの記事を投稿、閲覧したい」と思うことである。2.1 項の「情報共有についての意識」や「ナレッジベースへの期待感」も動機につながる重要な要素である。このようなモチベーションの向上により、ナレッジベースが活用される可能性が高くなると考えられる。

② 行動障壁

ここでの行動障壁とは、例えばナレッジベースの使いやすさやアクセスの容易さ等が挙げられる。1 項で述べた通り、ナレッジベース導入後 2 週間ナレッジベース活用が低調であった。また、ナレッジベースへのアクセス解析を行ったところ、アクセス自体が少なかったことが確認できた。このことより、ナレッジベース活用における目下の障壁はアクセスであることが分かった。その障壁を下げることでナレッジベースでの記事の閲覧や投稿が行われやすくなると考えられる。

③ きっかけ

ナレッジベース活用のきっかけとは、作業間の余暇や、記事に書く内容の発見など、日々のナレッジベースの記事を閲覧、投稿しようと思うタイミングの事であると考える。

上記より、記事の閲覧や投稿に対するモチベーションを高め、ナレッジベースへのアクセスに伴う行動障壁が低い状態において、隙間時間の発生や記事のネタを発見することによりナレッジベースの活用が行われると考えた。そこで、ナレッジベース活用の動機向上と行動障壁の低減へのアプローチとして、種々のナッジ施策を考案した。

A) ナレッジベース説明会

ナレッジベースの基本的な使い方やナレッジベースへ知識をためることのメリットの説明を行った。説明会で用いた資料の一部を図 2、3 へ示す。

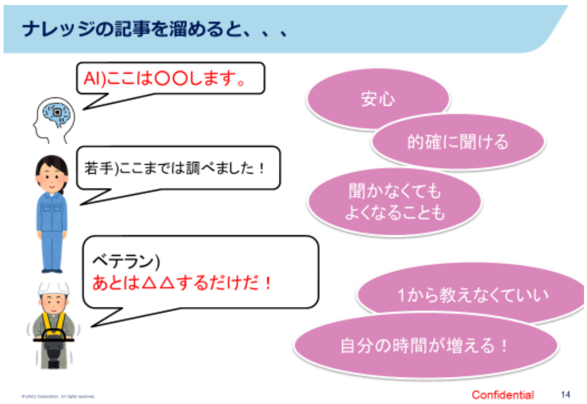


図 2 ナレッジベースへ情報をためるメリット

Figure 2　Benefits of Storing Information in the Knowledge Base

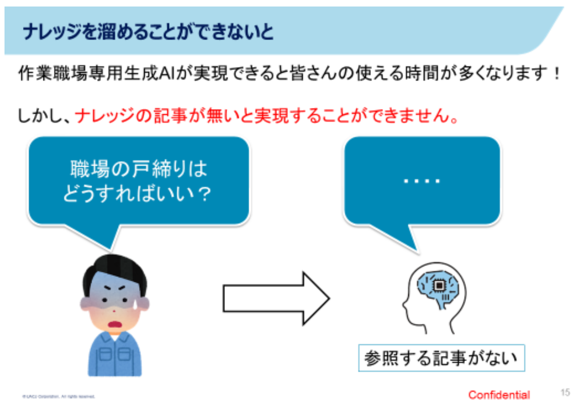


図 3 知識ベースに情報を保存しないことによる不利益

Figure 3　Inability to Enjoy Benefits Without Storing Information in the Knowledge Base

ナレッジベースへ情報をため込むと、その情報から職場専用の生成 AI を作ることができる。図 2 は生成 AI が作れた時のメリットを提示しているスライドである。対照的に図 3 はナレッジベースへ知識を共有しないことにより、図 2 のようなメリットを享受できないと伝えるスライドである。この 2 枚のスライドを用いて説明することで、人間の利益を得る喜びよりも、損失を避ける傾向である、損失回避バイアス[5]を利用しナレッジベースを使おうと思わせることが可能であると考えられる。

B)　獲得 CP ランキングアプリ

ナレッジベースでの貢献に応じてユーザーはポイント(CP)を獲得することができる。この獲得したポイントをランキング化し表示する Web アプリケーションを作成した。この Web アプリケーションを作業職場にあるサイネージへ表示した(図 4)。

図 4 獲得 CP ランキング Web アプリケーション UI

Figure 4　Application UI of acquired CP ranking Web

Web アプリケーションには以下の機能、表示を取り入れた。

- CP と記事投稿数の上位 3 人ずつを赤文字表示機能
- CP と記事投稿数のランキンググラフの表示機能
- CP と記事投稿数の上位 3 人のグラフでの色を変更
- 行動ごとに獲得できる CP を表示

この施策は、自分より上の立場の人を見て、その人のようになりたいと思うことや、自分より下の人と比較して、自信を持とうとする心理である社会比較理論[6]に基づくものである。このような心理を利用し、ナレッジベースでの記事の投稿や閲覧によるポイント獲得したい、ランキング上位に行きたいという欲を掻き立て、ナレッジベースでの活動を促進することが狙いである。

C)　新着記事通知

Web アプリケーションには新着記事通知を表示する機能も備わっている。ナレッジベースへ記事の投稿がされると、画面上部に新着記事通知が 2 時間表示される仕組みとなっている(図 5)。

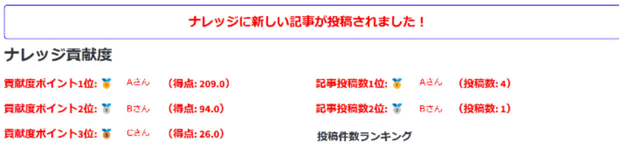


図 5 新着記事通知画面

Figure 5　New article notification screen

通知は赤い大きな文字で表示し、枠で囲むことで誰の目にも入るようデザインした。なお、この画面を表示しているデジタルサイネージは、作業者の PC が設置されている場所と離れた、量産材の施策等作業をメインに実施する場所に設置されている。この通知機能は完了したタスクよりも、挫折や中断したタスクの方が記憶に残る心理現象である、ツァイガルニク効果[7]を利用し、作業中に見た新着記事通知を印象に残し、後で記事を見ようと思わせることが狙いである。

D)　ナレッジベースのスタートアップ設定

ナレッジベース導入後 2 週間、活用が低調で合った理由として、現状維持バイアス[8]により、ナレッジベースを開かないことや、現在志向バイアス[9]による、ナレッジベースの活用を後回しにし、目の前の作業に集中してしまったことが原因であると考えられる。さらに、単に開くのが面倒であるという原因も大きいと考えられる。そこで、利便性の向上(手続きの簡略化)、および行動を変えるメリットが魅力的でない限り、提示されたデフォルトの値にとどまる効果(デフォルト効果[10])を利用し、各作業者の PC のスタートアップへナレッジベースを登録した。これによりナレッジベースへアクセスするという行動障壁を取り除くことができると考えられる。

2.3　アクセスのカウント法

ナレッジベースを導入してからのアクセスログを解析した。アクセスログから作業職場長によるものと開発者によるものを除き、作業者によるもののみを抽出した。また、記事へのアクセスを閲覧と定義し、スタートアップにより表示されるナレッジベースのトップページへのアクセスはカウントから除外した 。

2.4　施策実施後のアンケート

2.2 項で述べた施策を実施後、再度作業者 14 名に対してアンケートを行った。アンケートの設問は、ナレッジベース活用に関する質問と、各施策後の行動と施策についての設問を用意した。

3. 結果

3.1 アクセスログ解析

実験期間は 2024 年 10 月 8 日から 2024 年 11 月 8 日までの 1 か月とした。10 月 8 日に、作業職場長より、ナレッジベースを導入した目的について簡単な説明を行ってもらった。また、施策を行ったタイミングは以下の通りである。

- 10 月 22 日：ナレッジベース説明会
- 10 月 25 日：獲得 CP ランキングアプリ、新着記事通知の導入
- 10 月 30 日：ナレッジベースのスタートアップ設定

なお、記事がなければ閲覧はされないと考え、導入者から 10 月 22 日から 11 月 6 日にかけて 7 件、ナレッジベースへ記事を投稿した。ナレッジベースへの記事閲覧回数と記事投稿回数をグラフにしたものを図 6 に示す。記事閲覧回数を青色、記事投稿数を赤色でグラフにプロットしている。また、現場作業者が働いていない土日、祝日はデータ点から除去している。このグラフより明らかになったことを以下に示す。

- 職場長からの説明直後、3 日間で合計 6 回の記事閲覧があったが、その後低迷している。記事投稿は見られなかった。
- ナレッジベース説明会実施日後、記事閲覧回数が 8 回と比較的増えているが、その次の日には 0 回に落ち込んでいる。
- 獲得 CP ランキング、新着通知機能実装後、記事閲覧が 3 回あったが、すぐに落ち込んでいる。
- スタートアップ設定後、アクセス回数は 10 回以上へ向上した。
- スタートアップ設定後、初めて記事の投稿が見られた。その後アクセス回数が 0 になることはなかった。

図 6 ナレッジベースの記事閲覧数と記事投稿数

Figure 6 Number of articles viewed and posted on knowledge base

3.2 施策実施後アンケート結果

アンケートの回答率は 14 人中 13 人回答の 92%であった。施策ごとにアンケート結果を示す。

A) ナレッジベース説明会

ナレッジベース説明会後に取った行動をクラスタごとに集計し(表 2)、「職場専用の生成 AI が使えないことに対してどう思いましたか」という設問の回答をクラスタごとにまとめ、積み上げグラフにした(図 7)。

表 2、図 7 より以下のように整理できる。

- 説明会を受け、8 名がナレッジベースの記事を閲覧している。
- 職場専用の生成 AI が使えないことに対するリアクションは、7 名が「使いたいが、面倒なことはしたくない、役に立つツールを使えないことは残念である」と期待通りの反応が得られた一方、「現状困っていない、何も思わないと」いった、期待通りの反応ではない意見が 6 名から得られた。
- すべてのクラスタにおいて、「現状困っていない」といった反応が得られた一方、クラスタ 0 以外からは「使いたい、役に立つツールを使えないことは残念である」といった反応が得られた。

表 2 クラスタごとのナレッジベース説明会後の行動

Table 2 Behavior after knowledge base briefings for each cluster

クラスタ	何もしていない	記事を投稿した	記事を見た
0	100%(1)	0%	0%
1	25%(2)	0%	75%(6)
2	50%(1)	0%	50%(1)
3	0%	0%	100%(2)

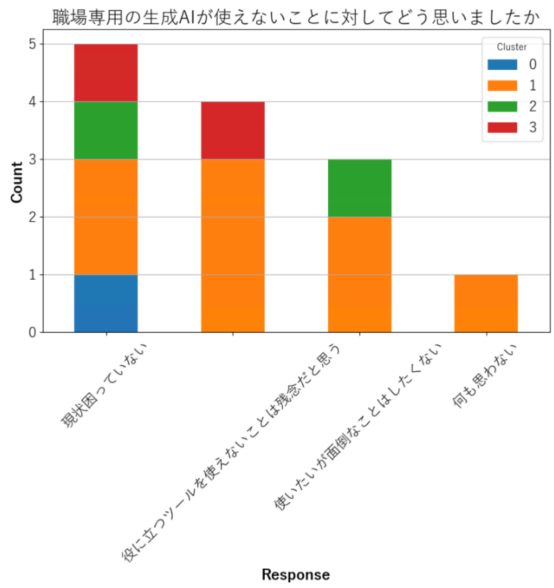


図 7 クラスタごとの「職場専用の生成 AI が使えないことに対してどう思いましたか」という設問に対する回答

Figure 7 Response to the question "How did I think about what I could not use the generation AI dedicated to work" for each cluster

B)　獲得 CP ランキングアプリ
ランキング表示アプリ実装後に行った行動をクラスタごとにまとめ(表 3)、「ランキングが実装されてどう思いましたか」という設問に対する回答をクラスタごとに積み上げグラフにした(図 8)。

表 3 クラスタごとの
獲得 CP ランキングアプリ実装後の行動
Table3　Behavior after implementing the acquisition CP ranking app for each cluster

クラスタ	何もしていない	記事を投稿した	記事を見た
0	100%(1)	0%	0%
1	62.5%(5)	0%	37.5%(3)
2	100%(2)	0%	0%
3	0%	50%(1)	50%(1)

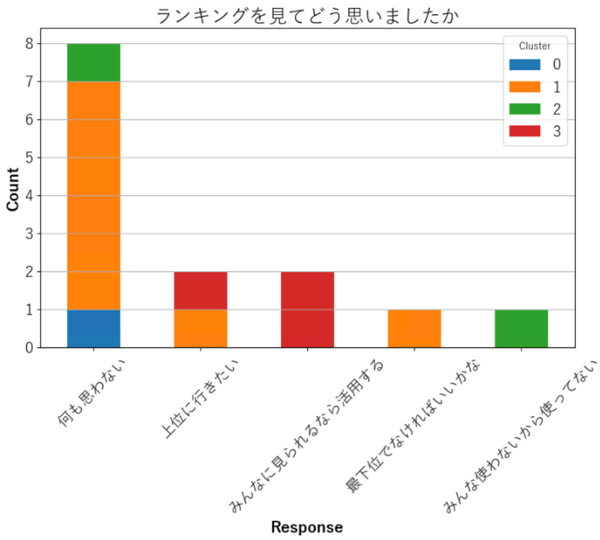


図 8 クラスタごとの「ランキングを見てどう思いましたか」という設問に対する回答
Figure 8　Response to the question "What did you think about after looking at the ranking" for each cluster

表 3、図 8 より、
- ランキング導入後何もしていない人はクラスタ 0,1,2 に集中しており、クラスタ 0,1 は無反応であったことがわかる。
- クラスタ 3 の人は記事の投稿、記事の閲覧をしていることがわかる。
- 「ランキングを見てどう思いましたか」に対する回答を見ると、「何も思わない」や「みんな使わないから、使っていない」にクラスタ 0,1,2 が固まっており、クラスタ 3 やクラスタ 1,2 の一部がランキングへ参加する意欲を見せていた。

C)　新着記事通知
新着記事通知実装後に行った行動をクラスタごとにまとめ(表 4)、「存在を知らなかった」と回答した 4 名を除き、「新着記事の通知を見てどう思いましたか」という設問に回答してもらい、それをクラスタごとに積み上げグラフにした(図 9)。

表 4 クラスタごとの新着記事通知実装後の行動
Table 4 Actions after implementation of notification of new arrangements for each cluster

クラスタ	何もしていない	記事を見た	存在を知らなかった
0	100%(1)	0%	0%
1	50%(4)	25%(2)	25%(2)
2	50%(1)	0%	50%(1)
3	0%	50%(1)	50%(1)

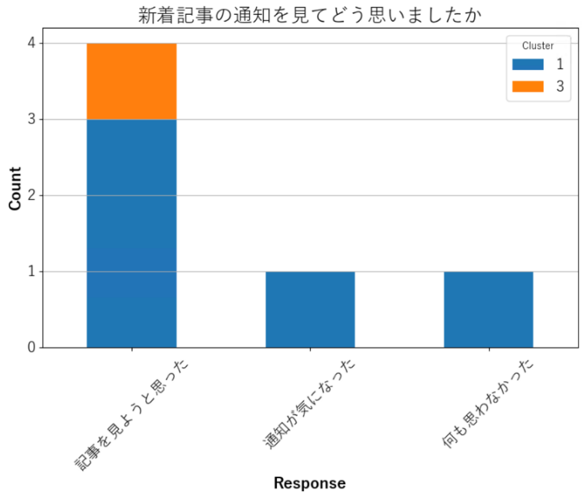


図 9 クラスタごとの「新着記事の通知を見てどう思いましたか」という設問に対する回答
Figure 9 Response to the question "What you think after seeing the notification of the new article" for each cluster

結果よりわかったことを示す。
- 新着通知機能は投稿されてから 2 時間しか表示されないため、人によっては一度も見ることができないことがあり、存在を知らない人もいた。
- 設問の回答より、新着記事を見た人は 6 人中 5 人が「記事を見ようと思った」や、「通知が気になった」と回答している。

D)　ナレッジベースのスタートアップ設定
ナレッジベースのスタートアップ設定後に行った行動をクラスタごとにまとめ(表 5)、「ナレッジベースが自動起動されることをどう思いますか」という設問に対する回答をクラスタごとに積み上げグラフにした(図 10)。
結果よりわかったことを示す。
- スタートアップ設定後、8 人が自らの意思で記事を見

ている。

- 設問の回答より、ナレッジベースへアクセスする手間が無いことにより、「記事を閲覧しよう思った」という回答が 6 名、「投稿しようと思った」という回答が 1 名から得られた。

表 5　クラスタごとのスタートアップ設定後の行動

Table 5 Behavior after setting up startup per cluster

クラスタ	何もしていない	記事を投稿した	記事を見た
0	100%(1)	0%	0%
1	37.5%(3)	0%	62.5%(5)
2	50%(1)	0%	50%(1)
3	0%	0%	100%(2)

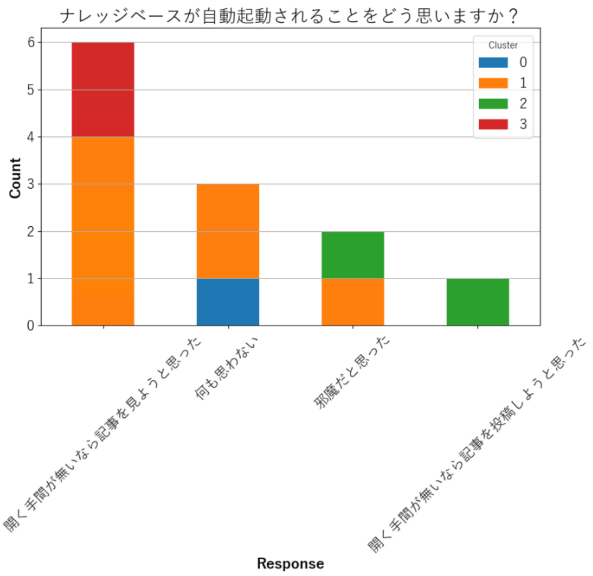


図 10 クラスタごとの「ナレッジベースが自動起動されることをどう思いますか」という設問に対する回答

Figure 10 Answer to the question "How do I think the knowledge base will be automatically activated" for each cluster

4. 考察

まず、作業者にとってのナレッジベースの位置付けを考察する。ナレッジベースというツールは、「集団としての重要性、将来性はあるが、個人へ即時還元されるメリットが少ないツール」である。ツールへ記事を投稿することにより、すぐさま自分たちの作業が楽になるわけではないからである。本件で行った施策に対する作業者の反応はそのようなツールに対する反応であると解釈できる。

集団のクラスタリング結果と施策後のアンケート結果より考察する。表 2,3,4,5 よりクラスタごとの施策後の行動傾向は 3 つに分かれると考えられる。クラスタ 0 はすべての施策において無反応であった。クラスタ 1,2 は施策に対しての反応が似ており、ナレッジベースを活用する人としない人が分かれている。クラスタ 3 はすべての施策に反応し、ナレッジベースを活用している。2.1 項で述べたように、クラスタ 0 とクラスタ 1,2 とクラスタ 3 の違いは、ナレッジベースに対する期待感であり、施策への反応に大きく影響することがわかった。一方、クラスタ 1 と 2 の違いは情報共有に関する意識であるが、施策に対しての反応が似ていることから、情報共有に関する意識の差は施策への反応に大きな影響はないことが分かった。このことから、ナレッジベースを活用してもらうためには、情報共有への意識の向上よりも、ナレッジベースに対する期待感の向上が重要であることが分かり、ナレッジベースへの期待感のほうが 2.2 項で述べたフォグ式消費者行動モデルの動機へ及ぼす影響が大きいと言える。

次に、各施策の効果について、考察する。ナレッジベース説明会実施後、アクセスログの解析では、記事閲覧が 7 回あったが、次の日には 0 回に落ち込んだ。また、ナレッジベース説明会の目的は、将来の強力なメリットを伝え、それを得る機会を失いたくないと思わせることであった。そのため、アンケートの回答は「役に立つツールを使えないことは残念である」が多く得られることを期待した。しかしながら図 7 より、「役に立つツールを使えないことは残念である」と回答したのは 4 名であり、作業職場の半数以上が、目的とは異なる回答であった。以上の事から、説明会を実施することで、損失回避バイアスを作業者 4 名から引き出すことはできたが、記事の閲覧は一時的に行われたものであり、説明会による作業者のナレッジベース活用の「動機」への作用は小さかったと考えられる。

獲得 CP ランキングアプリ実装後、アクセスログでは 4 回の記事閲覧が行われた。また、説明会と同じく、ランキングアプリを実装した次の日から記事の閲覧、投稿は 0 回であった。ランキングアプリ実装の目的は、他人に負けたくない、あの人に追いつきたいという心理を利用し、ナレッジベースでの記事の投稿や閲覧によるポイントを獲得したいと思わせることであるため、他者との比較について述べている回答を選ぶことを期待した。図 8 より、他者比較について述べている選択肢である「上位に行きたい」、「みんなに見られているから活用する」、「最下位でなければいい」を選択しているのはクラスタ 1 の一部とクラスタ 3 の計 5 名であった。また、クラスタ 0,1,2 にランキングアプリについて「何も思わない」といった回答が集中しており、効果の有無が分かれる施策であった。つまり、ナレッジ活用の意識が高く、ツールへの期待が高いクラスタ 3 に対しては有効であったが、それ以外の層には効果が小さかった。

新着記事通知はランキングアプリ実装と同時に行われた施策である。表 4 より、実際に通知を見た人は 6 名で、そのうちの 3 名が記事を閲覧している。「新着記事の通知を見てどう思いましたか」という設問の回答を見ても、回答者 6 人

中 4 人が「記事を見ようと思った」と回答しており、記事を見たいという気持ちにさせることの有効性は示唆されている。しかし、新着通知機能が全員に知られていないことにより効果が半減している可能性があり、こちらの施策は改善の余地があると考えられる。

ナレッジベースのスタートアップ登録設定後、記事の投稿が 4 回、記事の閲覧は 47 回あったことがアクセスログ解析により確認できた。スタートアップの目的はナレッジベースへのアクセスが行動障壁となっており、その障壁を下げることで活用を促進することであった。図 10 より、「開く手間が無いなら記事の投稿、閲覧をしようと思った」と回答したのはクラスタ 1,2,3 の 8 名であり、作業職場の半数以上を意図した変容へと誘導した。この設定はデフォルト効果と簡易化ナッジの組み合わせにより、ユーザーの行動変容を効果的に促進することができたと言える。続いて、ランキングアプリとの関係について考察する。表 3 より、ランキングアプリを実装したことによりクラスタ 3 の人物から記事が投稿されたことが判明しているが、図 6 を見ると実際に記事が投稿されたのはナレッジベースへスタートアップ設定をした後である。また、図 10 より、「新着記事の通知を見てどう思いましたか」という設問に対して、クラスタ 3 から「開く手間が無いなら記事を見ようと思った」と投稿について言及していないが、自動起動へ前向きな意見が得られている。このことから、ランキングアプリが実装され、記事を投稿したい(CP を獲得したい)というモチベーションが高まったが、ナレッジベースへ投稿または閲覧するという行動障壁により中々行動へ移せない状態であったことが分かる。しかしその後、パソコン起動時にナレッジベースが自動的に開かれるようになること(利便性向上、手続き簡略化)で行動障壁が下がり投稿及び閲覧まで踏み出せた可能性がある。さらに、スタートアップ設定以外の施策は実施後日数経過に伴いアクセス数は 0 になったが、スタートアップ設定後は日数経過しても 0 にならなかった。このことからも、行動障壁を下げることの重要性が明らかになった。

以上より、ナレッジベースの記事閲覧、投稿を促進するためのアプローチを行い 2 つの知見が得られた。1 つ目は、情報共有に対する意識の高さよりも、ナレッジベースの期待感が高い人ほど率先して活用する傾向が強いというものである。2 つ目は、動機に訴える施策よりも障壁を取り除く施策のほうが有効であるというものである。ナレッジベースのような、集団としての重要性はあるが、個人へ還元されるメリットが少ないツール導入に対して、事前アンケートより歓迎する意見と歓迎しない意見は少なく、集団の半数以上がツール導入に対して、期待も反対もしていないこともないが示された。そのような集団に対し、何もない状態からツール活用促進という成果を生み出すためには、フォグ式消費者行動モデルで定義される、「行動障壁」を明らかにしたうえでの低減が必要不可欠であり、そのような状況のもとで「動機」、特にナレッジベースへの期待感へ作用するアプローチが活きるというものである。特に、現場作業者の PC 使用頻度が少ない環境および業務特性等により障壁が高い状態であることが一般的であるため、そのような背景から考えても行動障壁の低減が効果あるということも理解できる。

5. まとめ

フォグ式消費者行動モデルに基づく「動機」と「行動障壁」へアプローチする施策を行い、以下の知見を得た。

- ナレッジベース活用促進において、情報共有への意識の高さより、ナレッジベースに期待度が高いクラスタの方が、より活用が見られた
- 動機にアプローチする施策と比較して、行動障壁へアプローチする施策の方がナレッジベースの記事閲覧、投稿が促進できた

よってナレッジベースに期待を寄せられるような施策や、行動障壁を低下させるような施策を導入することにより、さらなるナレッジベースの活用促進が可能であると考えられる。

今回の施策に限らず、同じ刺激が繰り返されると、その刺激に対する反応が低くなる現象である馴化[11]により施策の効果は経時的に低下する。よって現場作業者の持つ技術を知識として残していくことにコミットするため、上記以外にも、逐次ナレッジベースへの記事投稿・閲覧数を監視し、施策を常に模索し、ナレッジベースにある情報の閲覧及び情報共有を促進させる。

以上

参考文献

[1] “2018 年版ものづくり白書”（経済産業省）. https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2018/honbun_pdf/pdf/honbun01_01_02.pdf, (参照 2024-11-11)
[2] Likas, A.; Vlassis, N.; Verbeek, J.J. The global k-means clustering Algorithm. Pattern Recognit. 2003, 36,451–461.
[3] Svante Wold, Kim Esbensen, and Paul Geladi. Principal component analysis. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 2(1-3):37–52, 1987.
[4] “A behavior model for persuasive design.” Fogg, B. J. (2009). Persuasive '09: Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology, Article 40, 1–7.
[5] A. Tversky and D. Kahneman,(1992).“Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty,” J. Risk Uncertain., vol. 5, no. 4, pp. 297–323.
[6] Festinger L. “A theory of social comparison processes”. Hum Relations.(1954) 7:117–40.
[7] Zeigarnik, B. (1938). On finished and unfinished tasks. In W. D. Ellis (Ed.), A source book of Gestalt psychology (pp. 300–314). New York: Harcourt, Brace, & World.
[8]Samuelson, W., & Zeckhauser, R. (1988). Status quo bias in decision making. Journal of risk and uncertainty, 1(1), 7-59.
[9] O’Donoghue, T., & Rabin, M. (1999). Doing it now or later. American Economic Review, 89(1), 103–124.
[10] Steffel, M., Williams, E. F., & Pogacar, R. (2016) Ethically deployed defaults: Transparency and consumer protection through disclosure and preference articulation. Journal of Marketing Research, 53(5), 865–880.
[11] Thompson, R.F.; Spencer, W.A. Habituation: A model phenomenon for the study of neuronal substrates of behavior. Psychol. Rev. 1966, 73, 16–43.

ノーコードアプリ開発によるゲーミフィケーションを用いたエシカル消費の行動変容

西山瑠夏、谷口尚子、小木哲朗
慶應義塾大学

1. はじめに

1-1. エシカル消費について

昨今世界中でエシカル消費が重要視されるようになってきた。その理由は、環境問題や社会課題が多様化、複雑化し、国際機関や政府、行政だけでは手に負えなくなり、消費者自らも環境や人権に配慮した消費行動を行うことにより、これらの課題解決に繋げたいという考え方が広まったためである［1］［2］。したがって、わたしたち消費者の行動は社会を変える可能性があり、日々の行動が将来に繋がっているという責任を持ちながら生活していくことが大切である。そうした中で近年注目されているのが、地域の活性化や雇用などを含む、人・社会・地域・環境に配慮した消費行動［3］を指す「エシカル消費」である。

「エシカル」(ethical) とは、多くの人が正しいと思うこと、また人間が持っている良心から発生した社会的規範を意味している［4］。エシカル消費の定義について、河口は、自分のためになるかどうかだけを考えて、より安くより良いモノが沢山欲しい、という「利己的な消費」ではなく、資源枯渇や気候変動、人権侵害などの社会的課題に消費を通じて加担したくない、あるいは消費を通じて解決につなげたい、という「利他的な消費」のことと述べている［5］。一方で、消費者庁はエシカル消費を「地域の活性化や雇用などを含む、人・社会・地域・環境に配慮した消費行動のこと」と定義している［3］。また、玉置は、消費者の倫理的意識に関わるすべての消費をさす概念であり、様々な問題を包含に関わるために、今日でも厳密に一致している定義はない［6］と述べている。このようにエシカル消費には、まだ一定の定義はないと考えられるが、本論文では、比較的明確でまとまっている消費者庁の定義をベースに議論を進めていく。

エシカル消費の代表的な商品であるフェアトレード商品の日本国内の市場規模は、2023 年時点で過去最大の 211 億円で、初めて 200 億円を突破し、かなり増加している［7］。また、国民一人当たりの購入額は 169 円となり、10 年間で 2 倍にも増えている［8］。しかし、国際比較をみると、市場規模の上位には欧州諸国が入っており、1 位のドイツのフェアトレード認証製品の市場規模は 3,250 億円（2023 年）と、日本の約 17 倍となっている。またフェアトレード認証製品の一人当たりの年間購入額も、1 位のスイスは 14,400 円（2023 年）であり、日本の 92 倍となっている［7］。このように、日本のエシカル消費は拡大してきているが、国際的に比較してみるとまだまだ市場規模は小さく、発展途上にある。

消費者庁 (2024) がまとめた全国の 15 歳以上の男女 5,000 人を対象とした調査によると、エシカル消費の認知度は 27.4％で、実践度は 36.1％となっている。また、年代別でみると、エシカル消費の認知度と実践度が共に低い層は 20 代、30 代となっている［9］。

また、PwC ジャパン（2022）の調査によると、日本人がエシカル商品を購入しない理由としては、「価格が高すぎる」が最も多く、次に「身近に売っていない」が挙げられていた［10］。最近、エシカル商品はコンビニエンスストアやチェーンのスーパーマーケットなど、日常生活の中でも見る機会が増えているにも関わらず、「身近に売っていない」という回答が多いことは、消費者がエシカル商品に気付けていないということを意味している可能性が高い。つまり、消費者がエシカル消費に関心があっても、何がエシカル消費に繋がるか分からないために、実践が困難である可能性も考えられる。

エシカル消費を推進するための方策に関しては、豊田（2016）は、エシカル消費の一つであるフェアトレード製品の消費行動を促進するには、ポジティブな情報提供を行うことが望ましいものの、論理的な説得や否定的情報もバランスよく組み合わせた上で情報提供をすることによって、より効果的な影響を消費者に与えることができるとしている［11］。また、広瀬（1994）は、環境問題に貢献したいという態度を持っていたとしても、実践がない人が多い理由として、環境配慮的な行動に移す主要な要因に、実行可能性の評価、個人的便益・費用の行動評価、社会規範評価、があると指摘している［12］。そのため、環境配慮行動を促すには、実行可能性の評価という面では行動に移す方法などの情報提供が重要であり、個人的便益・費用の行動評価という面では自分にどんなメリットがあるのかを提示することが重要であり、社会規範評価という面では自分が良いことをしているという優越感を感じられるようにすることが重要だと述べている。以上から、継続的な啓発や消費者が信頼できる正しいエシカルの情報提供を行っていく必要がある。その際に情報提供の一つの方法として、認証制度というエシカル商品に付いているラベルが一定の有効性を持つ可能性があると考えられる。

1-2.　認証ラベル

認証ラベルは、消費者が自分の目で、原料や生産者、生産方法などを確かめることが難しいために、社会的配慮された商品を見つけやすく、買いやすく、売りやすくするために生まれた制度である［13］。

認証ラベルの企業にとってのメリットとしては、自社の製品に認証ラベルが添付されるため、企業の取り組みを消費者にアピールする格好のツールに繋がることが挙げられる。また、消費者にとっては、その商品を一つ一つ調べずとも、認証ラベルがあることでエシカル商品であると判断しやすくなること、またその認証ラベルが第三者によって監査、認証されているという中立性と信頼性が高いため安心して購入できることなどが挙げられる［5］［14］。

一方で、認証ラベルのデメリットは、認証ラベルの種類が非常に多いためラベルの意味が消費者に浸透していないことや、自ら自社の製品はエシカルであると主張するためのラベルが存在していることも多いため信憑性に疑問が生じているという点が挙げられる［15］。さらに、全てのエシカル商品に認証ラベルが付いているわけではなく、認証ラベル取得までの道のりが複雑で時間がかかることや、取得費用が高いことなどから、認証ラベル審査に十分合格できるものづくりを行っているにも関わらず、ラベルを取得していない商品が多くあるという問題もある［16］。このように認証ラベルには課題もあるが、その中でも「国際認証」と呼ばれる認証制度は、国際的な商取引の中で共通の基準や理解がある程度認められており、各業界の認証に対するベンチマークとして、専門家・NGO 等から信頼性、透明性が高いと判断されている。また、このようなラベルの中で、持続可能な原材料調達や環境・社会的配慮につながるラベルをまとめて「サステナブル・ラベル」と呼び、一般社団法人日本サステナブル・ラベル協会が、持続可能でエシカルな生産・消費が実現できるように、これらのラベルを世の中に広める活動を行っている［13］。

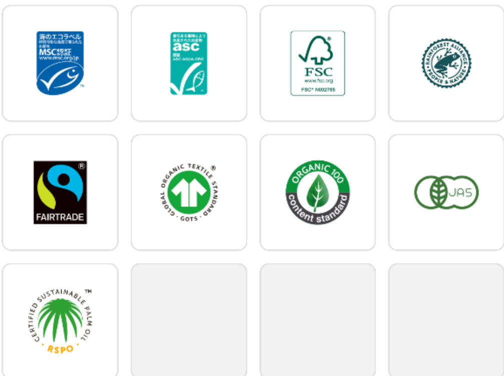


図 1　サステナブル・ラベル一覧［13］

認証ラベルに関する先行研究では、太田、坂田（2017）は、消費者がフェアトレード商品を購入する際に、フェアトレードのロゴマークの提示のみでは購買意欲を喚起させるまでには至らず、フェアトレード商品を購入することで自分はどのような人を救うことができるのか、ということを理解させるような情報提供が重要であると述べている［17］。大石（2012）は、商品に認証ラベルを付ける際は、商品そのものや店頭などの場で認証ラベルの持つ意味を消費者に説明することが重要だと述べ、小売店舗は消費者が商品と直接向き合うことができ、消費者と店員とでコミュニケーションを取ることもできるため、情報提供を行うべき場所といえると述べている［18］。以上の先行研究から、まだ課題の多い認証ラベルではあるが、商品に認証ラベルを付けるのであれば企業側はその説明などの情報提供を行うべきであり、また認証ラベルの付いた商品を置いている店舗も消費者とコミュニケーションを取りながら、認証ラベルの説明をするべきであると考えられる。

2.　本研究の目的・提案

2-1. エシカル消費促進アプリ

これまで述べてきたように、日本におけるエシカル消費の市場規模は他国と比較すると小さく、日本人は自身の消費行動が世の中と繋がっているという感覚が足りていないという課題がある。また、年代別で見ると、特に 20 代、30 代のエシカル消費の認知度及び実践度が低く、この世代にどのように働きかけることができるかという課題もある。さらに、エシカル商品であることを示す認証ラベルが付いていたとしても、情報提供が不足しているため、消費者はエシカル商品に気付けず、実践が困難であるという課題もある。

これらの課題を考える中で、消費者に自身の消費行動が環境問題や社会問題と繋がっていることを知らせるにはどうしたらよいか、20 代、30 代に情報提供をどのようなアプローチで行ったらよいか、認証ラベルの存在に気付かせその意味や背景にある問題について学ばせるにはどのようにすればよいか、という問いが生まれた。さらに、先行研究にあった、エシカル消費を行うことにポジティブな印象を与えるにはどうしたらよいか、という問いも生まれた。

これらを踏まえて、認証ラベルがどのような店舗のどのような商品に付いているのかに関して、実際に店舗内で見た上で学んでいくことが重要だと考えられる。また、エシカル消費に対してポジティブな印象を持たせるためには、楽しく学ぶことが重要だと考え、ゲーミフィケーションを取り入れたアプリを開発することを考えた。さらに、その効果検証を、人が集まるイベントの時などに実施することで、20 代、30 代にもアプローチをすることができるのではないかと考えた。

その結果、ゲーミフィケーションを利用し、エシカル商品

を販売している店舗を周りながら、店内でサステナブル・ラベルを探し、楽しみながらエシカル商品やその背景を学ぶことができるアプリを開発することとした。また、そのアプリの効果検証を、街でイベントが行われている時に実施し、実際にアプリを不特定多数の方に使用してもらうことで、エシカル消費への認知や関心、実践状況への効果などを検証することとした。

2-2. ゲーミフィケーションの効果

ケビン・ワーバック, ダン・ハンター（2013）は、ゲーミフィケーションを、非ゲーム的文脈でゲーム要素やゲームデザイン技術を用いること、と定義している［19］。本研究では、ゲーミフィケーションを、エシカル消費という社会課題解決のためにゲーム要素やゲームデザイン技術を活用する方法としてゲーミフィケーションを用いる。

ゲーミフィケーションがエシカル消費行動を推進できる可能性があることは以下の点から考えられる。

一つ目は、ゲーミフィケーションは退屈な行動も楽しくさせることができる点である。社会心理学では、人間が何か活動をするときの動機付けを、金銭や名誉といった外的報酬からなる「外発的動機付け」と、行為それ自体の面白さや達成感などといった活動者の心理内から生まれてくる報酬である「内発的動機付け」に分類する。ゲーミフィケーションには、さまざまな活動の動機を外発的なものから内発的なものへと転換する機能があり、どんなに退屈な行動であっても、その行動自体を楽しませることができる可能性を秘めている。つまり、現実社会において必要な活動はそのままに、その活動が楽しい出来事であるかのように、その現実の表象を改変することができるのである［20］。

二つ目は、行動変容にゲーミフィケーションが有効だという点である。ゲーミフィケーションは、人々に新しい有益な習慣を身につけさせることができるため、ＮＰＯや政府が実施したり後援することが多く、個人的な便益も生み出すことができるという。さらに、継続的な行動変容にはモチベーションが核心であるが、ゲームは最強のモチベーション促進ツールの一つであるため、ゲーミフィケーションは行動変容と関連性が高いとされる［19］。

以上から、消費者の行動変容を促し、エシカル消費を楽しみながら行うためには、エシカル消費推進にゲーミフィケーションは最適だと考えられる。

3. 実証実験方法

本研究では、ゲーミフィケーションを利用した「認証ラベルを探しに行くアプリ」を開発し、楽しみながらエシカル商品やその背景を知ってもらうことで、エシカル商品や消費への認知や関心の促進効果を検証した。

3-1. 実験地の選定

まず、アプリを開発する前に、サステナブル・ラベルの付いている商品が売られている店舗が徒歩圏内に何店舗もあり、落ち着いて店内でアプリを操作できるような環境がある街として、目黒区自由が丘を選定した。

理由は以下の二点である。一点目は、自由が丘にはエシカル商品が売られている店舗が多くあることである。また、どの店舗も徒歩で移動することが可能であり、今回のエシカル商品を探す実験地として最適である。二点目は、自由が丘が筆者の一人にとってゆかりの地であることである。筆者は幼少期から自由が丘に住んでおり、家族が自由が丘の街づくりを担っている自由が丘商店街振興組合と接点があった関係で、本研究について協力を得られることになったためである。

その結果、目黒区自由が丘の 1 年の中での最大イベントである「女神まつり」が開催される 2024 年 10 月 13 日（日）、10 月 14 日（月）に実証実験を実施した。

アプリに掲載する店舗を選定するにあっては、自由が丘商店街振興組合と相談し、実際に筆者が店舗に訪れ、サステナブル・ラベルを見つけることができるかどうかを確認しながら、アプリ掲載許可が下りた以下の四店舗に協力してもらった。

・フランスのオーガニックスーパー「店舗 A」
・純オーガニックコットン製品を中心としたものづくりに取り組む「店舗 B」
・天然素材の雑貨や家具を取り扱う「店舗 C」
・フェアトレード専門ブランドである「店舗 D」

こちらの四店舗には、エシカル商品の情報を提供してもらうと同時に、事前にアプリのチェックも行ってもらい、アプリをより良くするためのアドバイスもいただいた。

3-2. ノーコード開発

今回のアプリ開発では、プログラミングの知識が全くない筆者が中心となり、利用者目線でアプリを作成する必要があり、ノーコード開発プラットフォーム「Click」を使用することとした。ノーコード開発は近年注目されているが、これはソフトフェア開発のプロセスを簡素化し、プログラミングの専門知識が少ない、あるいは全くない人でもアプリケーションを開発できるようになってきた［21］［22］。そのため、非技術的なユーザであっても、複雑なコーディングなしにアプリケーションを開発することが可能である［21］。また、開発にあたっては、市民によるエンジニアスキルを使った社会課題解決活動を行う「Code for Kohoku」の協力を得た。

アプリの設計・開発は、自由が丘の住民である著者が中心

となり、商店街振興組合の掲載店舗の方々から意見をもらいながら行った。また、細かい仕様の決定や開発にあたっては、店舗やユーザの行動を考えつつ、仕様の修正、試作を繰り返しながら、最終的な開発期間は 28 日間であり、比較的短期間でアプリの開発を行うことができた。

3-3. アプリの内容

アプリのゲーミフィケーション部分は、認証ラベルを一つ見つけるごとに絵のパーツを 1 つずつ選択することができ、最終的に図 2 に示すように一人ひとり違った絵を完成させせることができるゲームとした。この形をとった理由は、予めアウトプットが決められているよりも、利用者がそれぞれカスタマイズできる方が、オリジナル性があり、利用者同士でも絵を見せ合うことでより楽しめ、またモチベーションが上がる、という意見があったためである。

アプリの具体的な内容は、ホーム画面からスタートボタンを押し、図 3 で示したエシカル商品がある店舗に印のついたマップを見る。店舗をタップして、その店舗にある商品の認証ラベルを確認し、その店舗で各ラベルの付いた商品を見つけ、アプリ内で撮影し画像をアップロードする。それによって、図 4 が示すようにサステナブル・ラベルの解説が表示され、それを読んだ後でクイズに正解すると、ゲーミフィケーション部分である絵のパーツを一つ選択することができる。

さらに、アプリ内で紹介しているサステナブル・ラベルは合計 8 個あり、徐々に絵が完成するとともに、認証ラベルを 5 個集めると景品 1 つ、8 個で景品 2 つもらえることとした。

図 2　アプリのゲーミフィケーション画面イメージ

図 3　アプリのマップ画面イメージ

図 4　アプリのクイズ画面イメージ

さらに、このアプリの使用前と使用後、また使用した 2 週間後にアプリ内でアンケートを実施し、認証ラベルの認知度や、エシカル消費への印象・興味・関心、実践状況、またその持続性や、エシカル消費に繋がる購買への影響について評価した。質問内容としては以下のような質問、選択肢を設けた。

エシカル消費の認知度、興味・関心度に関しては、事前アンケートでは、「エシカル消費を知っていますか」という質問に対して、「言葉も内容も知らない」「言葉は知っているが内容は知らない」「言葉と内容の両方を知っている」の回答選択肢を設け、事後アンケートでは、「エシカル消費に興味を持ちましたか」という質問に対して「興味を持った」「少し興味を持った」「どちらとも言えない」「あまり興味を持たなかった」「興味を持たなかった」の選択肢を設けた。

また、サステナブル・ラベルの認知度・理解度に関しては、事前アンケートでは「以下の認証ラベルを知っていますか」という質問の下に図 1 の画像を添付し、回答選択肢では「見たことがない」「幾つか見たことがある」「幾つか意味を知っている」「ほぼ全て意味を知っている」の選択肢を設け、事後アンケートでは「認証ラベルへの理解は深まりましたか」という質問に対して「理解が深まった」「少し理解が深まった」「どちらとも言えない」「あまり理解が深まらなかった」「理解が深まらなかった」という選択肢を設けた。

アプリ内で紹介している認証ラベル全 8 個のうち、5 個を集めると景品一つ、8 個全てを集めると景品二つを渡した。景品は、エシカル商品であることが望ましいと考え、アプリ掲載店舗の商品から用意した。

今回開発したアプリは web アプリであり、QR コードを読み込み、一人ひとり異なる ID でログインしてもらう必要があるため、QR コードと ID、パスワードを記載したチラシを用意し、そのチラシを配布し、それをもとにアプリに参加することができる仕様にした。

また、チラシを見てアプリに参加するか否かを決める人も多いと考え、アプリのゲーミフィケーション部分や、景品が貰えることをチラシに記載し、アプリ参加のモチベーションの向上を図った。

図 5　配布したチラシのイメージ（表面、裏面）

4.　実証実験結果

4-1. 実験当日の状況

実証実験は、イベント「女神まつり」の日に、アプリ掲載店舗の中でオープン時間が最も遅い店舗に合わせて、12 時から 17 時とした。

チラシの配布は、不特定多数の方に参加してもらうため、2 日間で 500 枚配布することを目標として、駅前、アプリ掲載店舗「店舗 A」前の二カ所で行った。チラシの配布の中では、特に小学生くらいの子供が興味を示す傾向が強く、子どもの要望からアプリに参加する親子が多いという傾向があった。

アプリ参加者は、前述した通り、親子で参加している方が多く、子どもがサステナブル・ラベルを店内で探し、大人がスマートフォンを操作しながら、サステナブル・ラベルの意味などの説明文を子どもに読み聞かせていた。また、ゲーミフィケーション部分も子供には好評そうで、他の店舗にも行き探してみたい、と積極的に楽しんでいる様子だった。

また、大人も真剣に取り組んでいる方が多く、時に見当たらないという助けを求める声もあったが、ヒントを出した際に、「こんなに大きくラベルが付いているのに気づかなかった」と、ゲーミフィケーションを楽しむというよりも、サステナブル・ラベルを見つけて学ぶことに楽しさを見出していたようだった。

4-2. アンケート結果

アプリ参加者は、図 2 にあるように、チラシの配布対象者が 492 名、そのうち初回ログイン実施者が 150 人（30%）、事前アンケート回答者 144 名（29%）、事後アンケート回答者 76 名（15%）と、一定の人数となった。また認証ラベルを集めて景品を 1 個受け取った人は 20 人（4%）、景品を 2 個受け取った人は 48 人（10%）であった。アプリの使用率がある程度高かったのは、ゲーミフィケーションの効果と考えることができる。

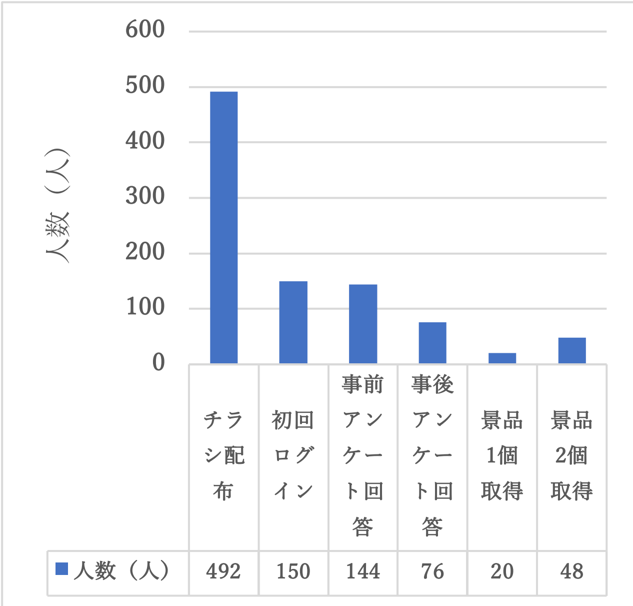


図 6 アプリ参加者数・回答者数・景品受取者数

エシカル消費の認知度、関心度については、事前アンケートではエシカル消費の内容まで知っている人の割合は 20%だったが、アプリ使用後のアンケートでは興味を持ったと回答した割合は 98%となった。

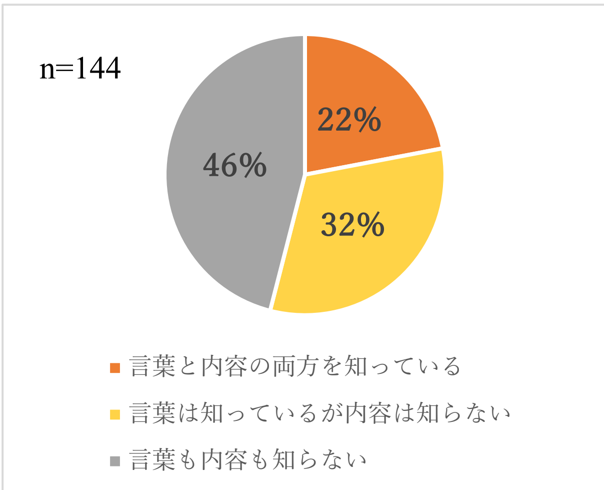


図 7　事前アンケート　エシカル消費認知度

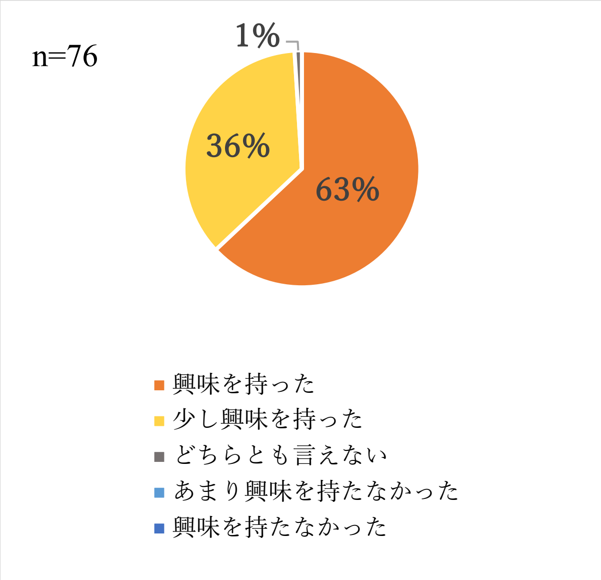


図 8 事後アンケート　エシカル消費への興味・関心度

サステナブル・ラベルの認知度については、事前アンケートでは提示した 8 個のラベルのうち「幾つか見たことがある」と回答した人が 46%、「見たことがない」と回答した人も 39%と、参加者の認知度は低い状況であった。しかし、アプリ使用後には「理解が深まった」と回答した人が 70%となり、アプリは学ぶという点で一定の効果があったと考えられる。

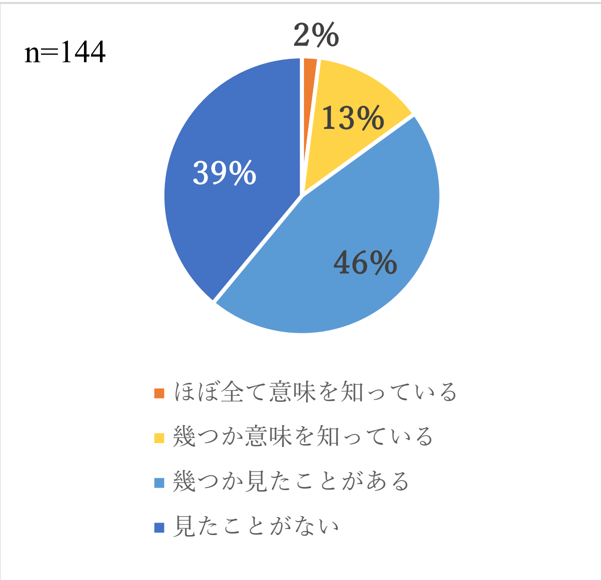


図 9 事前アンケート　サステナブル・ラベルの認知度

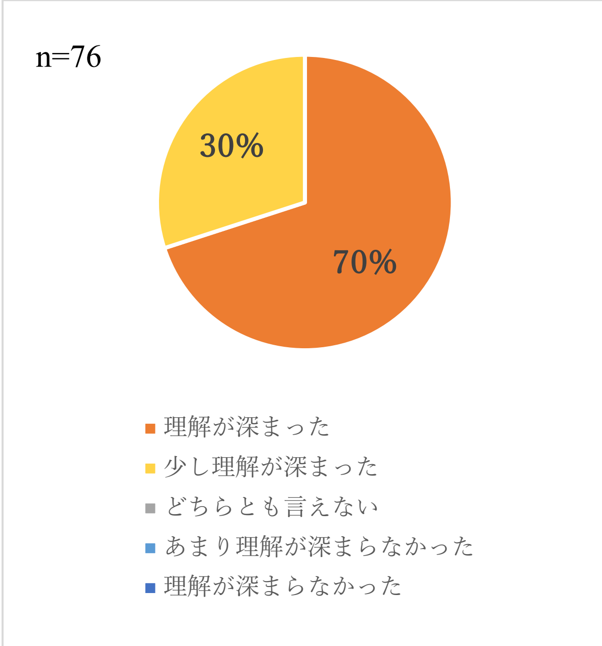


図 10 事後アンケート　サステナブル・ラベルの理解度

さらに、アプリ使用の 2 週間後でのアンケートでは、その後実験対象となった店舗でエシカル消費に繋がる商品を購入した人や、買い物のなかで認証ラベルを見かけるたびにアプリのことを思い出し、今後購買を検討しようとしていると回答した人などが一定数確認でき、アプリがエシカル消費に関する購買行動の促進に一定の効果があったと考えられる。

5. おわりに

本実験は、ノーコードアプリ開発ツールを利用することで、住民が使用者目線によるアプリの設計、開発を行い、その効果を測定したものである。この際にアプリにゲーミフィケーションの要素を加えることでユーザの利用率が高まり、アンケートの結果からは、アプリの使用によって、エシカル消費に関する認知、理解、また購買行動の促進に一定の効果があるという結果が得られた。

なお、実験対象者の数、実験の期間、アプリの完成度など、本実験の限界や課題がいくつかある。今後、そのような限界や課題を踏まえて、継続して研究を行っていきたい。

謝辞

本アプリ開発において多大なるご支援とご協力をいただいた「Code for Kohoku」の皆様に心より感謝申し上げます。また、本アプリの掲載店舗である「ビオセボン」「メイド・イン・アース」「timeless comfort」「people tree」の四つの店舗様からは、アプリの改善に向けた具体的なアドバイスをいただき、またチラシ配布の場をご提供いただくなど、様々な形でお力添えを賜りましたこと、感謝申し上げます。

参考文献

[1] 経済産業省（2008）ソーシャルビジネス研究会報告書（案）,平成 20 年 2 月 https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/chiiki_keizai/pdf/009_02_02.pdf
[2] 細川幸一（2017）『「倫理的消費（エシカル消費）」概念に関する考察』日本女子大学大学院家政学研究科 通信教育課程家政学専攻研究 『樹下道』
[3] 消費者庁 a『エシカル消費とは』https://www.ethical.caa.go.jp/ethical-consumption.html
[4] 末吉里香（2022）／一般社団法人エシカル協会代表理事 (pp174-201)青井浩（2022）『丸井グループ社長 青井浩が賢人と解く サステナビリティ経営の真髄』株式会社日経 BP
[5] 河口真理子（2017）「持続可能なサプライチェーンとエシカル消費～持続可能な社会づくりに向けて生産も消費も変わる～」『特集 家計からみる日本の課題』大和総研調査季報 2017 年春季号 Vol.26
[6] 玉置了（2014）『倫理的消費におけるアイデンティティ形成意識と節約意識の影響』日本商業学会『流通研究』第 16 巻第 3 号（2014 年）
[7] フェアトレードジャパン 2024「市場規模が過去最大 200 億円を突破。コーヒーやチョコレートを筆頭にフェアトレードが 10 年で倍増」『News Article』https://www.fairtrade-jp.org/news-detail.php?id=246
[8] フェアトレードジャパン 2022『Annual Report 2022』https://www.fairtrade-jp.org/about_us/file/2022%E4%BA%8B%E6%A5%AD%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8_WEB%E7%94%A8.pdf
[9] 消費者庁（2024）『「令和 6 年度消費生活意識調査(第 3 回)」の結果について』2024 年 11 月 07 日 https://www.caa.go.jp/notice/assets/consumer_research_cms201_241107_01.pdf
[10] PwC Japan グループ（2022）「サステナビリティに関する消費者調査 2022」https://www.pwc.com/jp/ja/knowledge/thoughtleadership/2022/assets/pdf/consumer-survey-on-sustainability2022.pdf
[11] 豊田尚吾（2016）「倫理的消費に対する意思決定と消費行動に関するモデル分析—多母集団の同時分析—」紀要 Vol. 40 No. 1（通巻第 61 号）13 ～ 27.
[12] 広瀬幸雄（1994）「環境配慮的行動の規定因について」社会心理学研究 第 10 巻第 1 号 1 9 9 4 年, 44- 55.
[13] 一般社団法人日本サステナブル・ラベル協会, https://jsl.life/about/faq/, (参照 2024-11-10).
[14] エクベリ聡子（2022）「スウェーデンのエシカルを起点としたライフスタイル・ビジネス変革」『エシカル白書 2022-2023』第 5 章エシカル先進事例の紹介, 一般社団法人エシカル協会 pp136-146
[15] 山口真奈美（2017）”エシカルの認証制度”【 特 集：エシカル消費 (倫理的消費) 】廃棄物資源循環学会誌, Vol. 28, No. 4, pp. 286 – 292.
[16] アレックス・ニコルズ／シャーロット・オパル（編著）, 北澤肯（訳）『フェアトレード—倫理的な消費が経済を変える—』
[17] 太田壮哉, 坂田裕輔（2017）「フェアトレード情報の具体性が購買態度に与える影響」『流通』No.40.
[18] 大石美奈子（2012）「エコラベル、エシカルラベルの何が問題か？」『エシカル購入』編著：山本良一, 中原秀樹; 株式会社環境新聞社
[19] ケビン・ワーバック (著), ダン・ハンター (著), 三ツ松 新 (監修), 渡部典子 (翻訳) (2013)『ウォートン・スクール ゲーミフィケーション集中講義』
[20] 寺野隆雄, 小山友介（2015）「ゲーミフィケーション：世界をゲームとしてデザインする」『計測と制御 第 54 巻 第 7 号 2015 年 7 月号』.
[21] 名倉真史（2021）「中小企業のリスキリングと DX」『中小企業支援研究』千葉商科大学, Vol.11, pp50-53.
[22] カーク・マスデン（2020）「高等教育におけるノーコード開発プラットフォームの有用性—AppSheet のプラットフォームで作成した単語学習アプリを中心に—」

書字動作の不均一性からの視覚運動協応能力の予測

大森幹真[†1]　唐亀健大[†2]　豊浦正広[†2]
早稲田大学人間科学学術院[†1]　　山梨大学[†2]

1.　はじめに

教育現場において，児童・生徒・学生が板書す，ことは授業内では一般的に行われている。McHale and Cermak [1]によると，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。これまでの研究によると，日本国内の小学校 1～4 年生の中に約 10％の書き困難児が存在するという報告もある[2, 3]。一方で，書きの支援ではいまだに，何度も繰り返し書くことを求める「反復書字」が多く行われているが，書き困難な子どもにとっては，効果的な学習につながらないことも多い。

書くことは複雑な運動・認知・知覚機能により構成されている。例えば，鉛筆の把持や，腕を動かして線を引くといった微細運動を含む書字運動スキルの発達 [4]や，書く対象を視覚的に捉える視知覚[5]，さらには視覚情報を運動反応に統合させる能力である視覚運動協応の発達が必要になる[6]。しかし，学習支援を行うためには，支援内容やそれを構成する行動に直接的な支援を行う direct teaching が必要となるが，視覚運動協応のスキルは一般的に質問紙や発達検査により評価されており，定量的な評価方法は確立されていない。

視覚運動協応能力の定量的評価方法の確立の一つに，デジタルペンを用いての書字動作解析がある。平林・河野・中邑[7]は，小学校 1 年生から 6 年生の 615 名を対象に，デジタルペンを用いて文章の視写を行ったときの，書字における停留時間を書字行動として分析した。その結果，学年が上がるほど 1 文字当たりの視写における停留時間が減少し，書字行動パターンとしても，1 文字ずつ刺激を見比べながら書く粒書きから，刺激を繰り返し見返さない単語の連続書字を獲得していく過程が明らかになった。また惠・鈴木・慎・安村[8]は書き困難が見られる自閉スペクトラム症(ASD)傾向もしくは注意欠陥多動性症(ADHD)傾向のある大人と子ども対象に，ペンタブレットを使用した書字場面における筆圧や握り方に特徴が見られるかを検討した。その結果，障害間の差異は見られなかったが，大人に比べて子どもの方がペン角度の水平成分が大きくなることを示した。また，大人においては筆圧の強さがコミュニケーション困難につながりやすいことも示唆するものとなったが，ADHD 傾向と書字行動との間に相関関係は見られなかった。

しかし，平林他[7]と惠他 [8]の結果では，書字パターンの変化により微細運動と，視覚運動協応の発達を類推しており，実際にどのように刺激を見ていたかについての言及はない。他の方法として，大森 [9])は大学生が文章を視写しているときの視線機能について，参加者の視覚運動協応能力の高低により分類して検討した。その結果，書字速度には両群の差異は見られなかったが，文章への注視回数や，手元の見返し回数の多さが，視覚運動協応の低さにつながることを示した。一方で，運動機能面での評価は限定的であった。

さらには映像を通した事後解析により書き困難児の方が定型発達児よりも腕部分の垂直方向の運動のバラつきが大きいという報告がある[10]。また，書き困難児は目を開けて書字を行う場合と閉じた場合とでは，閉眼時の方が身体動作に安定性が増すという報告もあり，視覚的フィードバックの困難さが視覚運動協応の困難さにつながるという考えもある[10]。一方で日本語の視写の場合には書き困難が起きる場合に視知覚としての形状を捉える能力の欠如がある可能性は低いとされている。加えて，教育現場での早期発見につなげるためには，発達検査や視線機能計測といった事後的な評価からのフィードバックでは支援提供までの時間遅延が発生する。さらにはそれらの評価方法から解釈をするためには，専門的な知識や解析を理解する必要があることが多く，現場での実装化が困難になる可能性も高い。そのため，より多くの現場支援者が気づきやすい運動面からの評価方法の確立や解析，支援アプローチの構築が必要となる。その際には，先行研究のような事後解析ではなく，より素早い支援の意思決定を行うためのリアルタイムでの書き困難評価方法の開発が必要となる。そのため，リアルタイム計測による運動の不均一性を測定し，direct teaching の観点から実際の書字行動場面での計測に適した 3 軸加速度計を使用した書き困難児の評価方法開発を着想した。

そこで本研究では，子どもの書き手と着席している椅子に 3 軸加速度計をそれぞれ装着し，書字・運筆を行っている際の運動の不均一性を評価することを目的とした。さらには，子どもたちの視覚運動協応得点が，運動の不均一性から予測可能かを検討することも目的とした。また，子どもたちの運動の不均一性から ASD 傾向や ADHD 傾向を，それぞれ予測可能かを検討することも本研究の目的とした。本研究は早稲田大学研究倫理委員会(承認番号：2021-152)の承認を得た上で実施した。

†1 MIKIMASA OMORI, Waseda University
†2 KENTA KARAKAME, University of Yamanashi
†2 MASAHIRO TOYOURA, University of Yamanashi

2. 方法

2.1 参加者

発達障害児 9 名と定型発達児 19 名が研究に参加した。各群の平均年齢はそれぞれ 10.50 歳と 8.47 歳であった。参加者は研究の開始前に研究参加については，研究参加は自由意志であることや不参加によって何ら不利益を被らないことなどを中心としたインフォームドコンセントを，研究参加者本人に口頭と文面の両方で行い，同意の得られた上で研究を開始した。

2.2 刺激と装置

刺激：書字・運筆により視覚運動協応の発達を評価するために Beery-VMI6[11]を行った。Beery-VMI6 では同一図形を複数の選択肢の中から 1 つ選択することを求める視知覚(VP)課題と，線つなぎや図形のなぞり等で構成されている運動協応(MC)課題の 2 種類があった。また，参加者の言語発達能力を評価するために，絵画語彙検査(PVT-R)[12]を使用した。PVT-R は 1 つの図版に 4 つの絵刺激が提示され，実験者が音声提示した刺激に対応する絵を選択していただくものであった。さらには，保護者の方々から参加者の発達障害傾向を評価する質問紙として，SRS-2(日本語版社会応答性尺度第 2 版)[13]と，SNAP-IV[14]を用いた。SRS-2 は，子どもの自閉症特性の 65 項目の保護者による報告評価尺度であり，各項目について 4 件法で回答をしていただくものであった。65 項目は社会的認識，社会的認知，社会的コミュニケーション，社会的動機付け，興味の限局と反復行動，および総合スコアを含む 5 つの下位尺度を反映しており，各下位尺度の T 得点のいずれかが 60 点以上の場合は，自閉傾向アリと判断した。SNAP-IV については，子どもの ADHD 傾向を 26 項目で評価する質問紙であり，4 件法で回答を求めるものであった。そのうえで，不注意項目，多動・衝動性項目，反抗挑戦性項目の 3 つの下位項目に分類し，各項目で 9 点以上取った子どもは ADHD 傾向アリと判断した。**装置**：書字場面の運動機能を評価するために 3 軸加速度計(WT901BLECL, WitMorion)を 2 台使用し，書き手の手首付近と着席している椅子の座面下にそれぞれ装着し，その様子を図 1 に示した。

図 1. 書字場面における 3 軸加速度計の装着位置
註. 白抜きの四角形の部分が加速度計を表す

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 の課題を 2 種類行った。まず VP 課題から開始し，その後制限時間 5 分以内として MC 課題を行った。その後 PVT-R により言語得点を算出した。

(2) 運動機能計測 : 参加者は書き手にセンサーを装着したうえで，センサーが装着されている椅子に着席して，MC 課題を行った。書き始めの時点から合図で計測を開始し，最後の問題が終了した際に計測を停止した。今回の参加者はすべて右利きであった。

(3) 従属変数：①VP 課題，MC 課題の標準得点，②質問紙検査の評価得点，③書き手および椅子の xyz 軸方向への加速度の変動係数，④書き手および椅子の xyz 軸方向への角速度の変動係数，⑤書き手および椅子の xyz 軸方向への回転角度の変動係数を求めた。

(4) 結果の処理法 : まず記述統計として，①から⑤の従属変数について，対応のある t 検定，または 2 要因(参加者×下位項目), 3 要因(参加者×測定位置×方向)の分散分析を行うこととした。さらには，その後，①を目的変数として，ステップワイズ法による重回帰分析を行い，運動の不均一性から視覚運動協応能力が予測可能かを検討することとした。さらには診断の有無を問わず，ASD 傾向と ADHD 傾向を従属変数として，運動の不均一性が障害傾向に与える影響を検討するロジスティクス回帰分析実施することとした。

3. 結果

3.1 記述統計

表 1． 両群の各検査得点

参加者群	発達障害児群	定型発達児群	p値
N	9	19	
生活年齢	10.50 (1.99)	8.35 (2.50)	*0.01*
PVT-R 評価点	9.56 (5.77)	12.16 (2.69)	0.12
PVT-R 言語年齢	9.55 (2.64)	8.89 (2.98)	0.28
VMI_VP	103.33 (9.82)	109.58 (16.65)	0.12
VMI_MC	95.33 (13.43)	101.32 (18.45)	0.18
SRS-2 総合得点	66.11 (14.09)	49.00 (8.92)	*0.00*
不注意傾向	14.78 (5.83)	10.26 (5.28)	*0.03*
多動・衝動性傾向	7.78 (6.08)	4.05 (4.19)	0.06
ASD傾向アリ n=	7	8	
ADHD傾向アリ n=	9	14	

注. SRS-2 のカットオフ値は 60 点であり, 不注意傾向と多動・衝動性傾向のカットオフ値は 9 点である。

表 1 に発達障害児群と定型発達児群の各検査得点を示した。生活年齢は発達障害児群が有意に高くなっていたが，言語年齢については両群に差が見られなかったため，以下の解析は両群を言語年齢でマッチさせて実施することとした。また VMI の両得点には差が見られず，視覚運動協応能力に

表２．書字場面での書き手・椅子に対しての変動係数

		発達障害児群		定型発達児群	
従属変数	方向	書き手	椅子	書き手	椅子
加速度	水平(x)	*0.52* (0.32)	0.09 (0.05)	*0.75* (0.21)	0.05 (0.13)
	垂直(y)	0.06 (0.05)	*0.74* (0.38)	0.08 (0.11)	*0.01* (0.01)
	奥行(z)	*0.75* (0.26)	*0.50* (0.28)	*0.49* (0.25)	*0.97* (0.05)
角速度	水平(x)	0.21 (0.23)	0.03 (0.17)	0.28 (0.22)	0.09 (0.14)
	垂直(y)	0.46 (0.43)	0.03 (0.02)	0.49 (0.41)	0.12 (0.22)
	奥行(z)	0.60 (0.80)	0.03 (0.02)	0.56 (0.60)	0.09 (0.14)
回転角度	水平(x)	4.58 (5.16)	112.28 (4.12)	11.91 (13.79)	153.24 (55.80)
	垂直(y)	34.63 (23.97)	5.17 (2.74)	52.88 (19.36)	3.05 (7.94)
	奥行(z)	66.45 (32.50)	59.63 (11.89)	66.65 (20.15)	76.24 (55.94)

注. 斜字体かつ下線の部分は参加者間の有意な主効果もしくは交互作用があったことを表す。

両群間の差は見られなかった。さらには，定型発達児群においても，障害傾向を示す子どもが ASD 傾向では 8 名，ADHD 傾向では 14 名いたことも示した。

3.2 運動の不均一性

表２に書字場面での両群間の書字･椅子の動きに対する変動係数を示した。角速度や回転角度については，参加者要因に関連した主効果や交互作用は見られなかった。一方で，加速度については 3 要因の分散分析を行ったところ参加者×位置×方向要因間に有意な交互作用が見られた[$F(2, 52)=31.35$, $p<.001$, $\eta^2=.55$]。下位検定を行ったところ，参加者要因の書き手における水平方向[$F(1, 26)=5.40$, $p<.05$, $\eta^2=.17$]と奥行方向[$F(1, 26)=5.30$, $p<.05$, $\eta^2=.19$]および椅子における垂直方向[$F(1, 26)=70.77$, $p<.001$, $\eta^2=.73$]と奥行方向[$F(1, 26)=51.40$, $p<.001$, $\eta^2=.66$]の変動係数に有意な単純・単純主効果が見られた。つまり，書き手においては発達障害児群の方が水平方向における変動性が小さく，奥行方向での変動性が大きいことを示した。さらには，椅子においては発達障害児群の方が垂直方向における変動性が大きく，奥行方向での変動性が小さいことを示した。

3.3 視覚運動協応能力の予測

まずVP得点を目的変数として，ステップワイズ法による重回帰分析を行った。その結果，VP得点では[y = -4.86×生活年齢-27.49×書き手の水平方向の角速度＋0.98×PVT-Rの評価得点+ 0.22×書き手の奥行方向の回転角度+0.71×不注意得点+125.36]という式が得られ，図2に縦軸をVP得点の観測値，横軸に標準予測値を用いた散布図を示した。また回帰式における分散分析においても有意差が見られ，調整済み R^2は.73であり当てはまりの良い回帰式が得られた。さらには，回帰式内における説明変数において多重共線性を示すものはなかった。

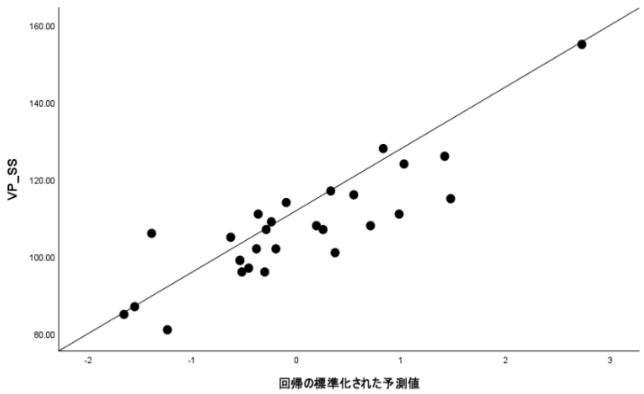


図 2. VP 得点と回帰の標準化された予測値による散布図

次に，MC 得点においても同様に重回帰分析を行った。その結果，[y = 30.757×書き手の水平加速度－29.35×書き手の水平角速度＋13.71×書き手の垂直角速度＋78.93] という式が得られ，図 3 に MC 得点の散布図を示した。また回帰式における分散分析においても有意差が見られ，調整済み R^2 は.40 であり当てはまりの良い回帰式が得られた。

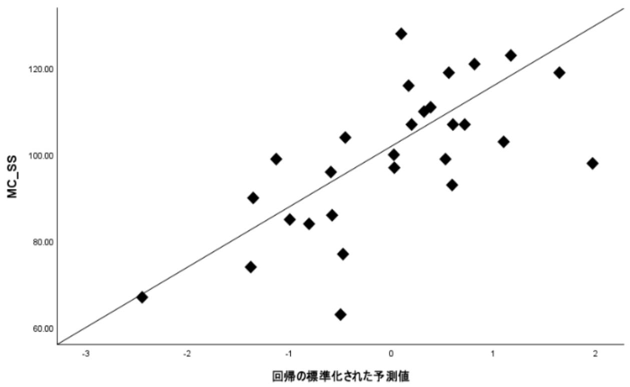


図 3. MC 得点と回帰の標準化された予測値による散布図

表 3．障害傾向に影響を及ぼすロジスティクス回帰分析

従属変数	独立変数	偏回帰係数	有意確率(p)	オッズ比	オッズ比の95%信頼区間
ASD傾向	書き手の奥行加速度	-3.94	*0.04*	0.02	0.01~0.76
	書き手の奥行回転角度	-0.05	0.09	0.95	0.90~1.01
	定数	5.52	*0.04*		
	モデルΧ ^{2} 検定: $p < .05$				
	判別的中率: 75%				
ADHD傾向	書き手の垂直角速度	4.04	*0.03*	56.75	1.55~2084.10
	定数	-4.26	*0.43*		
	モデルΧ ^{2} 検定: $p < .005$				
	判別的中率: 85.7%				

さらには, 回帰式内における説明変数において多重共線性を示すものはなかった。

3.4 障害傾向の予測

ASD 傾向および ADHD 傾向を従属変数として，それぞれでカットオフ値を超えている子どもを 1，その他を 2 とするダミー変数を使用した。その結果，ASD 傾向アリと判断された参加者は 28 名中 15 名，ADHD 傾向では 23 名であった。これらの結果をもとに①から⑤の各変数を投入し，尤度比における変数増加法を使用したロジスティクス回帰分析を行ったものを表 3 に示した。

表 3 から，ASD 傾向の判別においてモデルの χ^2 検定の結果は，p<.05 と有意差が見られた。各変数においては書き手の奥行回転角度のみ有意傾向であった(p=.086)が，奥行角速度には有意差(p <.05)が見られ，モデル式の適合度において，Hosmer & Lemeshow の検定結果は p =.10 であり良好であることが判明し，判別的中率も 75.0%であった。また実測値に対して予測値が±3SD を超えるような外れ値は存在しなかった。そして，ASD 傾向の有無については次のモデル式[ASD 傾向=－3.94×書き手の奥行加速度－0.05×書き手の奥行回転角度+5.52]から予測可能であることを示した。

ADHD 傾向の判別においても同様に分析を行ったところ，モデルの χ^2 検定の結果は，p <.005 と有意差が見られた。そして書き手の垂直角速度に有意差(p <.05)が見られ，モデル式の適合度において，Hosmer & Lemeshow の検定結果は p=.78 であり良好であることが判明し，判別的中率も 85.7%であった。また実測値に対して予測値が±3SD を超えるような外れ値は存在しなかった。そして，ADHD 傾向の有無については次のモデル式[ADHD 傾向=4.04×書き手の垂直角速度-4.26]から予測可能であることを示した。

4. 考察

本研究では, 子どもの書き手と着席している椅子に 3 軸加速度計をそれぞれ装着し，書字・運筆を行っている際の運動の不均一性を評価することを目的とした。まず，表２から定型発達児と発達障害児の双方で運動の不均一性の方向が異なることを明らかにした。先行研究では書字場面の垂直方向へのバラつきが目立っていたが, 本研究では水平方向と奥行方向にそれぞれ不均一性があることが見られた。惠ら[8]は大人に比べて子どもの方がペンの水平角度が大きくなり, ペンが奥に倒れた状態で書いていると報告した。つまり，本研究での成果と同様に奥行方向にペンが倒れていることで, 書き困難がある場合には奥行方向の操作に安定性が見られない可能性があることを示した。一方で椅子の動きの不均一性については, 垂直方向への変動が発達障害児群に多く見られており，大森[9]の研究と同様に刺激と手元を見返す動作を反映している可能性もあるだろう。一方で，定型発達児は奥行方向の変動性が大きくなっていたが, 椅子の位置を動かして刺激を見る位置を調整していたことが反映しているであろう。

本研究では, 子どもたちの視覚運動協応得点を運動の不均一性から予測可能かを検討することも目的としていた。図 2.3 から視知覚得点においても運動協応得点においても加速度や角速度の不均一性からモデル式を構築することが出来ており, 運動の不均一性から視覚運動協応能力を推測することにつながることを明らかにした。これまでの研究[4-10]では主に発達検査や視線機能, 映像の事後解析により各項目と書き困難の関連を報告してきた。しかし，本研究のように実際の書字場面で加速度計を用いるという簡便な方法を用いることで，リアルタイムでの書字困難評価が可能になる。さらには，加速度計を用いた評価を行うことで，個人に対する

アセスメントに留まらず,同時に複数の対象に対して即自的な評価が可能になる。つまり教育現場において direct teaching により近い場面での正確なアセスメントを可能にし,運用面についても効率的に実行可能になるであろう。

Lopez and Vaivre-Douret[10]によると，書き困難児は腕部分の垂直方向の運動のバラつきが大きくなるという報告があるが,本研究においては特に垂直方向の角速度のバラつきが運動協応の困難さにつながると解釈することが出来る。一方で，先行研究とは異なり，水平・垂直方向への加速度の様子からも書き困難の運動の不均一性を検討する重要性も示唆することとなった。また，本研究では加速度計を装着した書字課題は MC 課題のみであったが，VP 得点においても MC 課題時の運動の不均一性が一部反映することを示した。しかし,視知覚能力においては運動面よりも生活年齢や言語発達,不注意傾向もみられている。Prunty et al[6]は書字困難と視知覚能力の関連は障害傾向関係なく低いと示している。本研究結果からも視知覚は不注意傾向の高さに加えて,運動面以外の発達・言語特性も関連していることを明らかにした。

最後に本研究では，子どもたちの運動の不均一性から ASD 傾向や ADHD 傾向を，それぞれ予測可能かを検討することも目的としていた。惠ら[8]は，筆圧の強さが ASD 傾向を反映するコミュニケーション困難と正の相関があることを報告した。本研究ではロジスティクス回帰分析を用いることで，運動の不均一性から診断の有無でなく，障害傾向の有無を予測可能かについて検討することとした。その結果，ASD 傾向については書き手の奥行方向の変動性，ADHD 傾向については垂直方向の変動性から予測可能であることを明らかにした。特に惠らは ADHD 傾向と書字行動の関連は未解明であったが,本研究では書き手の垂直角速度が ADHD 傾向の判別において極めて重要な役割を果たしている可能性を示すこととなった。

一方で本研究にはいくつかの改善が必要な点もある。1 つ目は質問紙検査の信頼性の検討にある。今回の質問紙検査において未診断であった定型発達児群において，73.7%の対象者が ADHD 傾向のカットオフ値を超えていた。今回の計測において保護者の記入負担を考慮して自記式の簡便な質問紙を使用したが，通常学級に 8.8%の割合で在籍すると考えられる学習面・行動面に困難さを抱える児童・生徒[15]より潜在的に多い。そのため，今後の研究では自記式の質問紙に加えて,面接での聞き取りを交えた障害傾向の分類を行うことで,回答結果の妥当性を担保する必要がある。2 つ目は MC 課題のような図形のなぞりや運筆でなく,文字や文章を書く場面での運動評価を direct teaching の観点から実施すべきであるという点である。Lopez and Vaivre-Douret[10]においても,サイクロイド図形の視写を行っており，平林他[7]のように実際に使用する文章を用いた際のリアルタイム計測も今後の研究には必要になる。最後に，惠ら[8]とは異なり，ASD 傾向の下位項目を用いた視覚運動協応能力の予測をしていなかったことにある。特に SRS-2 には 4 つの下位項目があるが，今回は全体傾向の結果のみを使用していたため，今後の研究では下位項目も含めた分析を行うことにつなげていく。

小学校での書き困難の割合は 10%程度と推測されているが,書き困難や書字行動そのもの関しての評価や支援方法は国内外でほとんど開発されていない。本研究で使用した Beery-VMI6 においても海外で求められた標準値を日本人に適用しているに過ぎない。そのため,本研究の成果をもとに,運動の不均一性に関するリアルタイム計測を行うことで,書字困難児の早期発見や早期支援につなげ,国内外で適応可能な評価・支援システムの構築が今後の課題となる。

引用文献

[1] McHale, K., & Cermak, S. A. (1992). Fine motor activities in elementary school: Preliminary findings and provisional implications for children with fine motor problems. *American Journal of Occupational Therapy*, *46*, 898-903.

[2] 大庭重治 (2000). 通常の学級における低学年児童の書字学習状況とその支援課題 *上越教育大学研究紀要*, *29*, 151-157.

[3] 堂山亞希・橋本創一・林安紀子 (2014). 小学校通常学級における書字に関する困難がある児童の実態と支援:人力・出力・処理過程のつまずきに着目して *発達障害研究*, *36*, 369-379.

[4] Beery, K. E., Buktenica, N. A., & Beery, N. A. (1997). *The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration*. Parsippany, NJ: Modern Curriculum Press.

[5] Memisevic, H., & Djordjevic, M. (2018). Visual-motor integration in children with mild intellectual disability: A meta-analysis. *Perceptual and Motor Skills*, *125*, 696-717.

[6] Prunty, M., Barnett, A.L., Wilmut, K., & Plumb, M. S. (2013). Handwriting speed in children with Developmental Coordination Disorder: Are they really slower?. *Research in Developmental Disabilities*, *34*, 2927-2936.

[7] 平林ルミ・河野俊寛・中邑賢龍 (2013). デジタルペンを用いた小学生の書字パターンの発達的変化の検討 *発達心理学研究*, *24*, 13-21.

[8] 惠明子・鈴木暁子・愼重弼・安村明 (2021) ペンタブレットを用いた書字動態と ADHD および ASD 傾向に関する研究. *認知神経科学*, *22*, 151-157.

[9]] 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.

[10] Lopez, C., & Vaivre-Douret, L. (2023). Exploratory investigation of handwriting disorders in school-aged children from first to fifth grade. *Children*, *10*, 1512.

[11] Beery, K., & Beery, N. (2010). *The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration 6th edition*. San Antonio, TX: Pearson

[12] 上野一彦・名越斉子・小貫 悟 (2008). PVT-R 絵画語

い発達検査. 東京：日本文化科学社
[13] 神尾陽子，西山毅. (2017). 対人応答性尺度マニュアル, 日本版 SRS-2. 日本文化科学社
[14] Bussing, R., Fernandez, M., Harwood, M., Hou, W., Garvan, C. W., Eyberg, S. M., & Swanson, J. M. (2008). Parent and teacher SNAP-IV ratings of attention deficit hyperactivity disorder symptoms: Psychometric properties and normative ratings from a school district sample. *Assessment*, *15*, 317-328. doi:1073191107313888
[15] 文部科学省 (2022). 通常の学級に在籍する特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する 調査結果について. https://www.mext.go.jp/content/20230524-mext-tokubetu01-000026255_01.pdf (最終閲覧日: 2024 年 12 月 3 日)
本研究は JSPS 科研費 (No. 22K13739)の助成を受けて行った。

リアルタイム視覚的フィードバックによるバスケットボールシュートフォーム改善システム

宮澤 俊介 †1　青山学院大学
木村 正子 †2　青山学院大学
ロペズ ギヨーム †3　青山学院大学

1. はじめに

近年，行動認識の分野において，身体に装着したウェアラブルデバイスから加速度などの情報を取得し解析する手法と，カメラから得た映像を基に画像分析をする手法が注目されている．スポーツ分野では，トレーニングや試合中のパフォーマンスを評価するために，選手の情報を取得する技術が注目され，実際に利用されているものもある [1].

スポーツ動作を詳細に分析することで，パフォーマンスやスキルの評価を行うことができ，選手の技術向上を支援することができる [2]．バスケットボールにおいて，フリースロー（FT）シュートの得点はチーム全体の得点の 20〜25% を占めているため，試合の勝敗に大きな影響を及ぼす．さらに，NCAA（全米大学体育協会）ディビジョン 1 の男子バスケットボールの 490 試合において, 試合時間が残り 5 分以降の両チームの得点のうち 35% は FT によるものであるという報告もあり，FT はとても重要なゲーム要素であることが分かる [3]．得点を得るには，シュートの成功率を上げることが重要であり，正しいシュートフォームの習得がそれに大きく起因している．シュート動作においては，脚伸展力等の下肢による上昇力を上肢に上手く連動させることが重要である [4]．得点を得るため，ゴールまでの距離に応じた力と，選手とゴールを結ぶ直線（シューティングライン）に沿って真っすぐボールを飛ばす必要がある．下肢の動作は主にボールを飛ばす距離に影響する．一方，ボールを飛ばす角度のおよびシューティングラインを制御するのは上肢の動作である [5]．しかし，現在のシュート習得支援技術ではカメラと画像処理を組み合わせたシステムが多く，その利用は金銭面や設備環境に大きく左右されている．ウェアラブルデバイスを用いたシステムにおいても，評価できる指標が限られていることが，これまでの課題点として挙げられる．

本研究では，バスケットボールのシュートにおいて，ウェアラブルデバイスを利用した理想的なシュートフォームの習得支援を目的に，セット・フォームにおける前腕の左右の角度を理想的な角度に近づけるようなフィードバックシステムの開発を目標としている．

A Real-Time Visual Feedback System for Improving Basketball Shooting Form

†1 SHUNSUKE MIYAZAWA, Aoyama Gakuin University
†2 SHOKO KIMURA, Aoyama Gakuin University
†3 GUILLAUME LOPEZ, Aoyama Gakuin University

2. 関連研究

2.1. バスケットボールにおけるカメラを用いた動作認識

バスケットボールの動作に関する研究は，カメラの映像を用いた画像解析に関するものが多くある [6][7]．石垣らの研究では，Open Pose から得られる 2 次元情報を用いて，経験者と未経験者のバスケットボールにおけるシュートフォームの比較評価が行われている [8]．2 次元情報を解析することで，シュート時の肘，肩，膝関節における理想的な角度を算出した．結果として，セットとリリースの中間のタイミングである「動作の区切り」のとき，右脇の角度 $\theta 1$ が 90±5 度となること，リリース時の右肘角度 $\theta 3$ が 135 度から 140 度であることが経験者のデータから得られた．

小林らは，骨格検出ライブラリを用いて動作を解析することで，未経験者に対してバスケットボールのシュート動作を指導する際の効果的なインストラクションを明らかにした [9]．動作解析，先行研究および指導書からシュート成功率を向上させるためには，シュート動作において左右方向の調整力を優先的に指導することが有効である．さらに左右方向に曲がる要因を少なくするためには，シューティングハンド側の関節アライメントを一直線にし，シューティングラインに沿って各関節を動かすことが有効であることが示された．

2.2. バスケットボールにおけるウェアラブルデバイスを用いた動作認識

Guo らは，手の甲に装着した 3 軸慣性センサから選手のスキルレベルを分類する手法を提案した [10]．被験者は，10 名のアマチュア選手と 8 名のプロバスケットボール選手の計 18 名で計測を行い，畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いてスキルレベルの分類を行った．結果として，最も正確な個々の成分は，上向き加速度であり精度は

82% であった．さらに，いくつかの軸を CNN の入力として用いると，精度は最大で 88% と高い精度でプロの選手とアマチュアの選手のシュートを分類することができた．しかし，選手のシュート技術向上に関する支援は行われていないこと，またセンサをテーピングで手の甲に装着しているため，シュート時の不快感が課題点として挙げられる．

Lin らは，選手の実際のシュート軌道を目標のシュート軌道と比較して視覚化するシステムを開発した [11]．システム構成として，4 台の視覚カメラ（FLIR 画像処理処理システム）を用いてボールの動きを追跡し，これらの情報からモニターにボールの軌道を映し出す 2D システムとヘッドマウントディスプレイ（HMD）に軌道を映し出す AR システムを開発した．実験において，経験者 10 名を対象とし，それぞれに通常のシュート，2D システム，AR システムを使用してフリースローを実施した．結果としてシステムを使用した場合，ほとんどの被験者で投射角度の一貫性が向上した．さらに，被験者への実験後アンケートから，AR や 2D による視覚化はシュートを改善させるために役立つことが示唆された．しかし，多くのカメラを使用するため環境的制約が生まれてしまうことや HMD の重さによるシュートへの影響，着用による不快感が課題として挙げられる．

河田らは，セット・フォームにおける肩関節周りの角度に注目し，なかでも矢状面と前額面における角度のばらつきを減少させるデバイスを開発した [12]．3 軸の加速度センサと 2 軸の角速度センサから，肩関節の前額面の角度を Φ，矢状面の角度を θ として，角度を算出し，これらの角度がフリースローを打つたびに一定の範囲内に入るよう聴覚フィードバックを行った．基準となる角度は，熟練者 2 名のフリースロー成功時におけるセット・フォームを基に算出し，前額面の基準角度を 100 度，矢状面の基準角度を 130 度とし，許容範囲を ±5 度と設定した．結果として，ゴール率の向上は見られなかったものの，リングに当たるがゴールはしないリング率が，20% 有意に向上した．また，セット・フォームの安定性，再現性が確認され，各々が安定したフォームを習得することができ，シュート技能向上には，熟練者のフォームを模倣させることで各々のフォームを習得することが可能になることが示唆された．

このように，バスケットボールのシュート時において上肢の関節動作，特に肩や肘，手首の動作が大事とされている．シュート技術改善のためには，左右方向の調整力を優先的に指導することが有効であることが示されている．シュート技術支援については，経験者を対象に HMD を用いてシュート軌道を提示することでスキル向上が示唆されている．さらに，未経験者に対しセット時の肩や腕の角度をフィードバックすることでシュートフォームが向上する．しかし，使用しているデバイスの不快感や環境的制約が課題点としてあげられる．以上のことから，本研究ではスマートウォッチと軽量で装着しやすいスマートグラスを使用し，セット・フォームにおける前腕の左右の角度を理想的な角度に近づけるよう視覚的フィードバックを行い，理想的なシュートフォームを習得させることを目標とする．

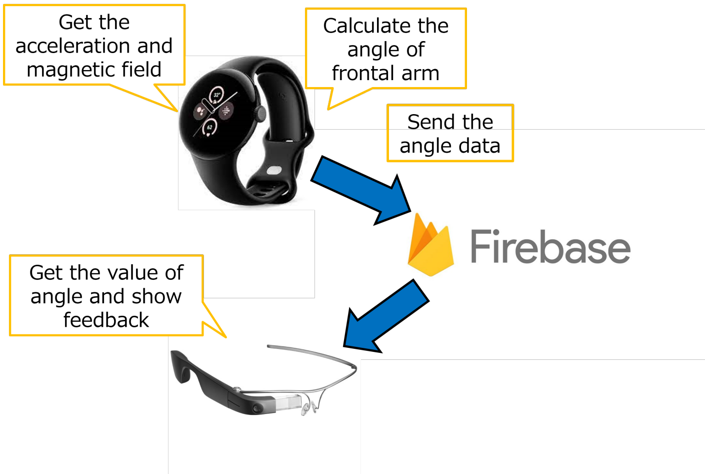


図 1　システムの全体像

3.　リアルタイムフィードバックシステム

3.1.　システム概要

本システムでは，セット・フォームにおける前腕の左右の角度を理想的な角度に近づけるよう視覚的フィードバックを行う．システムの全体像を図 1 に示す．腕の角度を取得するため，Google 社の Google Pixel Watch を用いた．また，視覚的フィードバックを行うため，Google Glass を使用した．

Pixel Watch 上で加速度および地磁気センサから値を取得し，角度を算出する．この値を Wi-Fi を用いてリアルタイムで Firebase へ送信する．Firebase への送信は，角度が更新されると随時行われる．Google Glass では，Firebase から角度を取得し，その値に応じてフィードバックを行う．

Google Glass 上では，理想的な角度であれば図 2，理想的な角度でなければ図 3 のような画面を表示する．シュート時のプレイヤーの視点はリングに向くため，リングを見ながらでも色を変化させることでフィードバックがわかりやすいようにした．

3.2.　角度算出手法

本研究では，スマートウォッチのデバイスの向きを取得することで，前腕の左右の角度を算出する．まず，スマートウォッチの加速度，地磁気センサにより値を取得する．生データには多くのノイズが含まれているため，ローパスフィルターを使用してノイズを除去した．この 2 つのセンサに

図 2　理想的な角度のときのスマートグラス上の画像

図 3　理想的な角度でないときのスマートグラス上の画像

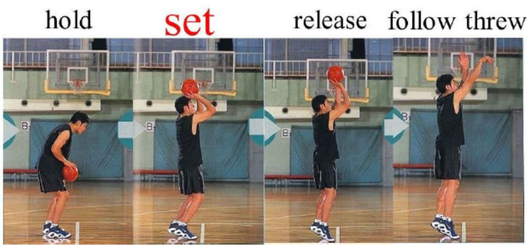


図 4　シュートを構成する動作

よる値から，Android OS のライブラリーが提供する，回転行列を算出する関数と，デバイスの向きを算出する関数を利用し，角度を算出した [13].

3.3.　シュート動作の定義

バスケットボールのシュートの段階には普遍的な特徴があり，それぞれの動作を定義づけた研究がある [12][14]．バスケットボールのシュートを構成する動作の定義を以下の項目と図 4 で説明する．

1. ホールド：シュートの準備段階で，両足は肩幅に開き，両手でボールを腰の高さで体に近づける．
2. セット：肩や肘を屈曲させ，ボールを上昇することでボールをリリースする位置を決める．
3. リリース：肘の伸展と手首の屈曲によりボールをリリースさせる．
4. フォロースルー：リリース動作で行った肘の伸展と手首の屈曲を最後まで十分に振り切る動作．

図 5　実験風景

本研究では，関連研究により重要性が示された，左右方向のずれを減少させることに焦点を当てている．左右方向に曲がる要因を少なくするためには，シューティングハンド側の関節アライメントを一直線にし，シューティングラインに沿って各関節を動かすことが有効であることが示されたため，セット時の前腕の左右の角度を対象とする．図 2, 図 3 のスマートグラス上に表示されている画像に前腕の左右の角度を示す．

3.4.　理想的な前腕の左右の角度検証

本研究の目標である，セット・フォームにおける前腕の左右の角度を理想的な角度に近づけるためのフィードバックに向け，前腕の理想的な角度を設定するために予備実験を行った．

被験者は，バスケットボール経験が 10 年以上の経験者 3 名で行った．スマートウォッチを利き腕の手首に装着してもらう．使用するデバイスは，Google Pixel Watch を用いる．対象のシュートフォームは，ワンハンドシュートとした．

次に，実験手順について説明する．まずはカメラの撮影を開始し，被験者がスマートウォッチの計測開始ボタンを押す．被験者にはフリースローラインからシュートを 1 本打ってもらい，その様子を被験者の横と正面から撮影する．シュート後に計測終了ボタン，データ保存ボタンを押してもらうと計測データが保存される．これを確認してカメラの撮影を終了する．この手順で，1 人の被験者に対して 10 セット行ってもらった．実験時の様子を図 5 に示す．

経験者 3 人によるシュート時の前腕の左右の角度の平均値は 33.3 度，中央値は 34.5 度，分散は 1.00，範囲は 27 度〜37 度となった．そのため，本研究では 27 度〜37 度を前腕の理想的な角度と設定した．被験者ごとの角度のばらつきは，平均で 3〜4 度であり，ばらつきを標準偏差で算出すると，平均は 1.0 であった．

4.　前腕角度フィードバックシステムの評価

実験担当者は，「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」のオンライン教育を履修し，修了している．また，本実験は，青山学院大学理工学部ライフサイエンス委員会の「人に係る研究」に関する審査・承認を受け実施され（承認番号 H20-S10-2），被験者は実験説明を受け，実験に対する同意書による同意をもって，実験に参加頂いている．

4.1.　実験方法

被験者は，バスケットボール未経験者 20 名で行った．まず，システムを使用せず利き腕の手首にスマートウォッチを装着してフリースローを 10 本打ち，30 分の休憩後，システムを使用してフリースロー 10 本を実施した．システムを使用しない場合は，スマートウォッチ上で角度を取得するのみで，被験者には何も助言せず自然な状態でシュートを打ってもらった．システムを使用する場合は，利き腕の手首にスマートウォッチ，スマートグラスを装着し，セット時の前腕の左右の角度が理想的な角度になったことをスマートグラス上で確認したとき，シュートを放つ．

4.2.　システムの有効性の評価方法

被験者には System Usability Scale（SUS）の 10 個の項目を 5 段階で評価する質問票に回答してもらった．今回は，10 Things to Know About the System Usability（SUS）をもとに，本システムに適した SUS を作成した [15]．SUS の平均点数は 68.0 で，馴染みがあるシステムは点数が高くなる．

また実験後，システムを使用した際にデバイスの不快感や着用によるパフォーマンスへの影響，フィードバックの適正に関する調査を実施した．さらに，システムの使用前と使用中で，前腕の左右の角度の改善とシュートフォームの一貫性について評価する．

4.3.　システムの有効性検証実験の結果

4.3.1　前腕の左右の角度改善に関わる結果

結果として，システムを使用した場合，すべての被験者で前腕の左右の角度が理想的な角度となった．被験者全体で，システム使用前と使用中の前腕の左右の角度について t 検定を用いて有意差検定を行った．その結果，$p<0.01$ となりシステムの使用前と使用中で前腕の左右の角度に有意な差が認められた．また，角度のばらつきを標準偏差により評価した．その結果，システムなしでは 7.08 とかなりばらつきが大きくなった．システムを使用していない場合でも，被験者によっては理想的な前腕の左右の角度でシュートを打てていることがあるため，ばらつきが大きくなっていると考えられる．次にそれぞれの被験者で，システム使用前

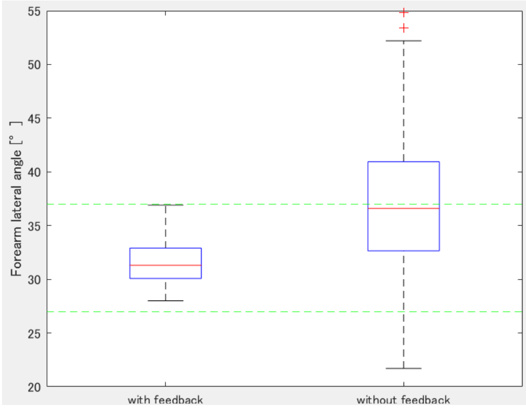


図 6　被験者全体の角度の分布

と使用中の前腕の左右の角度について t 検定を用いて有意差検定を行った．その結果，20 人中 15 人で $p<0.01$ となりシステムの使用前と使用中で前腕の左右の角度に有意な差が認められた．図 7 に有意差の認められた被験者 A の前腕の左右の角度の分布を，図 8 に有意差が認められなかった被験者 C の前腕の左右の角度の分布を示す．それぞれ箱ひげ図で分布を示しており，緑の点線は理想的な角度の範囲を示している．システムを使用することで，理想的な角度に改善されていることがわかる．有意差が認められなかった 5 人の被験者は，システムを使用する前のシュートでも前腕の左右の角度が理想的な角度であったため，有意差が認められなかった．

また，この被験者の実験後のアンケートで，シュートの強さに関するフィードバックが与えられていると良いという回答があった．先行研究においても，左右方向の調整力を身に着けた後，前後方向の調整力を身に着けさせることが有効的であると述べられている [9]．そのため，このような被験者に対しては，次のステップとしてシュートの強さに対するフィードバックを行うことでシュートの成功率を向上させることができると考えられる．

さらに，それぞれの被験者で 10 回のシュートでの前腕の左右の角度のばらつきを評価した．その結果を表 1 に示す．その結果，すべての被験者についてシステムを使用することで，セット時の前腕の左右の角度のばらつきを減少させることができた．システム使用前後で有意差が認められなかった被験者についても，ばらつきを減少させることができ，シュートフォームの一貫性を保つことに成功した（図 8）．経験者のばらつきと比較すると，経験者の標準偏差の平均は 1.00 であり，システムを使用することで多くの被験者がそれと同等，もしくは小さい値となっている．これより大きい値を示した被験者についても，それぞれに合った角度で理想的な角度の範囲を小さくすることで，さらにばらつきを減少させることができると考えられる．

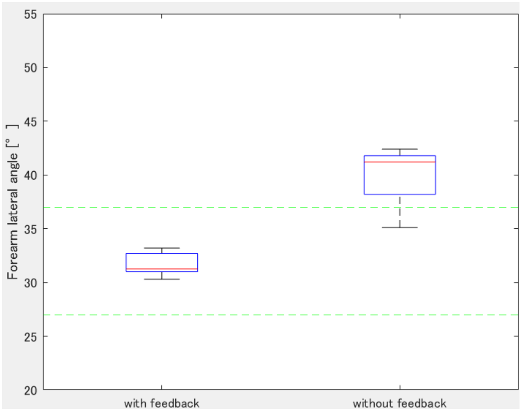


図 7　被験者 A の角度の分布

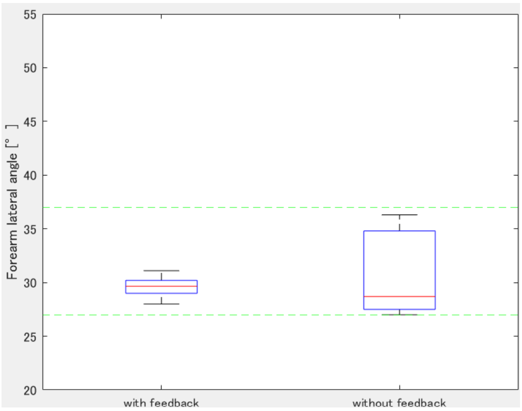


図 8　被験者 C の角度の分布

4.3.2　SUS による調査結果

SUS では全部で 10 問の質問があり，肯定的な質問と否定的な質問を交互に繰り返すように設定されている．回答者は，各質問を 1 点（非常に同意しない）から 5 点（非常に同意する）で評価する．SUS のスコアの計算方法は次のとおりである．

1. 肯定的な質問については回答点数から 1 を引く
2. 否定的な質問については 5 から回答点数を引く
3. 各質問の点数の合計点に 2.5 を掛ける

SUS のスコアの最高点は 100 点，平均点は 68 点とされている．また，各点数に応じてグレードが記載されている（表 2）．

結果として，SUS アンケートの平均点は 73.8 点であり，表 2 のガイドラインを見ると，Good という評価となった．中でも，「このシステムをもっと頻繁に使用したい」及び「システムはシンプルで使用しやすい」の項目で非常に高い評価をいただき，多くの人に受け入れてもらえるシステムであると考えられる．

表 1　フリースロー時の各被験者の前腕の左右の角度のばらつき

Subject	SD with feedback	SD without feedback	decrease rate[%]
A	0.973	2.26	57
B	0.985	1.76	44
C	0.902	3.51	75
D	0.921	2.00	54
E	0.421	1.56	73
F	0.347	3.70	91
G	0.798	3.59	78
H	0.526	1.75	70
I	0.759	0.810	6
J	1.01	1.96	49
K	0.620	1.37	55
L	0.953	1.53	38
M	1.24	1.97	37
N	1.30	4.15	69
O	1.07	2.70	60
P	0.699	2.22	69
Q	0.859	1.75	51
R	1.82	4.08	55
S	1.81	5.83	69
T	1.61	2.94	45
Average			57

表 2　SUS スコアにおけるガイドライン（[15] より引用）

SUS Score	Grade	Objective Rating
>80.3	A	Excellent
68-80.3	B	Good
68	C	Okay
51-68	D	Poor
<51	F	Awful

4.3.3　デバイスやフィードバックに関するアンケート結果

被験者に対する実験後アンケートの各質問についての回答を以下の項目で述べる．

Q1. スマートグラス上のフィードバック情報はわかりやすく，簡単に理解できた

この質問に対して，「はい」は 19 名，「いいえ」は 1 名であった．この結果から，スマートグラス上でのフィードバックイメージは有効で，利用者に適切な情報を与えることができた．「いいえ」と答えた被験者で，色覚異常のため色の判別がしにくかったという回答があっ

た．そのため，色のフィードバック以外にもわかりやすい手法を考慮する必要がある．

Q2. 腕の角度に関して，適切なフィードバックが与えられていた

この質問に対して，「はい」は 20 名と全員が適切なフィードバックが与えられていると回答した．この結果から，リアルタイムで適切な角度がフィードバックされ，システムのリアルタイム性が示された．

Q3. シュートフォームがよくなったと感じた

この質問に対して，「はい」は 17 名，「いいえ」は 3 名であった．シュートの成功率は本研究では評価していないが，アンケートによりシュートがまっすぐ飛ぶようになったという回答も得られ，左右方向のずれが減少したことを被験者自身も実感できている．これらから，システムを使用することでシュートフォームを上達させることができると内観評価からいうことができる．

Q4. スマートグラスを装着することで，違和感やシュートへの影響があった

この質問に対して，「はい」は 7 名，「いいえ」は 13 名であった．半数以上の被験者がスマートグラスによる影響はないと回答し，シュートへの影響は少ないと言える．スマートグラスを着用することでシュートに影響があったと回答した被験者で，セット時にボールを構えた時，グラスにボールが当たってしまう，当たってしまわないか気になる，という回答があった．スマートグラスの重さに対する違和感を感じた被験者はいなかった．

Q5. スマートウォッチを装着することで違和感やシュートへの影響があった

この質問に対して，「はい」は 3 名，「いいえ」は 17 名であった．この結果から，スマートウォッチ着用によるシュートへの影響はほとんどないといえる．「はい」と回答した被験者には，普段腕時計などのデバイスを手首に着用する習慣がないため，違和感を感じてしまったという回答があった．

5. まとめと今後の展望

5.1. まとめ

本研究では，セット・フォームにおける前腕の左右の角度を理想的な角度に近づけるようフィードバックを行うことで，理想的なシュートフォームを習得させることを目標とした．先行研究において，未経験者にシュート動作を指導する際，左右方向の調整力を優先的に身に着けさせることが有効であることが示された．シュート技術支援を目的とした研究で，デバイスの不快感や環境的制約が課題点として挙げられた．そのため，本研究ではシュートフォームに着目し，セット時の前腕の左右の角度について，スマートウォッチとスマートグラスを使用してリアルタイムでのフィードバックを行った．

システムを使用することで，前腕の左右の角度を理想的な角度にさせることができ，角度のばらつきも平均で 57.1% 減少したことから，システムによる有効性が高いと考えられる．前腕の左右の角度のばらつきをさらに減少させるためには，理想的な角度の範囲を小さくすることで，よりばらつきを減少させることができると考えられる．SUS アンケートの結果，平均点は 73.8 点となり，システムの使いやすさが示され，多くの人に受け入れてもらえるシステムであることが示された．デバイスやシステムに関するアンケートの結果では，スマートグラスやスマートウォッチを着用することによるシュートへの影響は小さく，デバイスの有用性が示された．システムに関するアンケートでは，フィードバック情報のわかりやすさで同意を得られ，シュートフォームの技術向上を感じた被験者が多かったことから，システムの有効性が内観評価においても認められた．一方で，シュート技術についての技術向上を感じた被験者は少なく，左右方向だけでなく，前後方向の調整力を身に着けさせることも必要であると考えられる．

5.2. 今後の展望

本研究では，セット時のシュートフォームに着目したが，被験者によっては頭上で構え続けることにつらさを感じる被験者もいた．そのため，セット時のほかにもホールド時にフィードバックをすることで理想的なシュートフォームを習得することができるか検討する必要がある．さらに，本研究では左右方向の調整力のみの支援を行ったが，力加減や体の連動についてフィードバックを行い，前後方向の調整力を身に着けさせることで，シュート技術の向上につながるのではないかと考えられる．また，本実験の評価では，実際に放ったボールの左右方向のずれが減少しているかの定量的な評価を行っていないため，リングの到達地点やシュート軌道も検証していきたい．

謝辞　本研究は JSPS 科研費 22K11998 の助成を受けたものです．

参考文献

[1] 大塚昭彦/TECH.ASCII.jp：W 杯ドイツチームもビッグデータで強化！ sap がスポーツ市場参入，`https://ascii.jp/elem/000/000/913/913008/#eid913000`. (Accessed on 1/21/2024).

[2] Taylor, J. B., Wright, A. A., Dischiavi, S. L., Townsend, M. A. and Marmon, A. R.: Activity demands dur-

ing multi-directional team sports: a systematic review, *Sports Medicine*, Vol. 47, pp. 2533–2551 (2017).

[3] Kozar, B., Vaughn, R. E., Whitfield, K. E., Lord, R. H. and Dye, B.: Importance of free-throws at various stages of basketball games, *Perceptual and Motor skills*, Vol. 78, No. 1, pp. 243–248 (1994).

[4] 三浦健，三浦修史，松岡俊恵ほか：バスケットボールにおけるジャンプシュートの動作分析: 2 ポイント・シュートと 3 ポイントシュートの比較，学術研究紀要/鹿屋体育大学，Vol. 25, pp. 1–8 (2001).

[5] 三浦健：バスケットボールのシュート距離を伸ばすためのスナップ動作の一例，スポーツパフォーマンス研究， Vol. 1, pp. 38–41 (2009).

[6] Zuo, K. and Su, X.: Three-dimensional action recognition for basketball teaching coupled with deep neural network, *Electronics*, Vol. 11, No. 22, p. 3797 (2022).

[7] Chen, C.-C., Chang, C., Lin, C.-S., Chen, C.-H. and Chen, I. C.: Video based basketball shooting prediction and pose suggestion system, *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 82, No. 18, pp. 27551–27570 (2023).

[8] 石垣翔汰，向井鉄人，安部惠一ほか：スローモーション映像と二次元骨格情報を用いたバスケットボールのフリースローラインからの未経験者と経験者のシュートフォームの比較評価，研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN)，Vol. 2023, No. 50, pp. 1–6 (2023).

[9] 小林大地，松藤貴秋，鈴木雄貴， 瀧剛志，種田行男，竹内優真：バスケットボールにおけるワンハンドシュートの動作指導に関するインストラクションの検討ービジュアルフィードバックシステムの構築を目指してー，中京大学体育研究所紀要， Vol. 36, No. 1, pp. 23–30 (2022).

[10] Guo, X., Brown, E., Chan, P. P., Chan, R. H. and Cheung, R. T.: Skill level classification in basketball free-throws using a single inertial sensor, *Applied Sciences*, Vol. 13, No. 9, p. 5401 (2023).

[11] Lin, T., Singh, R., Yang, Y., Nobre, C., Beyer, J., Smith, M. A. and Pfister, H.: Towards an understanding of situated ar visualization for basketball free-throw training, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13 (2021).

[12] 河田俊，安田和弘，岩田浩康：フリースロー初心者のための BF 型セット・フォーム習得支援 RT の開発，日本機械学会論文集， Vol. 83, No. 851, pp. 16–00515 (2017).

[13] for Developers, G.: Android Developers, `https://developer.android.com/reference/android/hardware/SensorManager#getOrientation(float[],%20float[])`. (Accessed on 11/28/2024).

[14] Okazaki, V. H., Rodacki, A. L. and Satern, M. N.: A review on the basketball jump shot, *Sports biomechanics*, Vol. 14, No. 2, pp. 190–205 (2015).

[15] measuringU: 10 things to know about the system usability scale (sus), `https://measuringu.com/10-things-sus/`. (Accessed on 11/28/2024).

拡張現実とマルチセンサデバイスを用いたアームロボットリモートコントロールシステムの提案

阿部 悠貴 †1　　木村 正子 †2　　ロペズ ギヨーム †3
青山学院大学　　青山学院大学　　青山学院大学

1. はじめに

近年のアームロボット技術は製造業など多くの産業の現場に導入され，作業者の安全性と作業の生産性を向上させるとともに，3K 職場の改善など働き方にも影響を及ぼしている．これらの利点からアームロボットの導入は先進工業国にとどまらず，新興国も含め世界的に大きな潮流となりつつあり，人口減少が進む我が国においても工場での働き手の減少を補うことが可能なロボット化への期待は大きい [1]．また，世界中の工場で稼働している産業用ロボットの総数は 2017 年から右肩上がりであり，2021 年には 340 万台を記録している [2]．これらのことから今後，産業などの現場でアームロボットのさらなる活用が期待される．実際の導入事例としてはオムロン株式会社のアームロボットが挙げられる [3]．オムロン株式会社が提供するアームロボットは様々な現場に導入され，省人化による人手不足の解消や作業時間の短縮による生産効率の向上などその有用性を示している．アームロボット導入の理想形は完全に自動化する事であるが，否定形的な作業など完全に自動化することが難しい作業も存在し，そのような作業にアームロボットを導入するには人が操作を行う必要がある．

これらの動きに加えて，2020 年世界的に流行した新型コロナウイルスの影響を受け，あらゆる作業がリモート化，無人化に関連したソリューションが登場し，新しい産業形態の変化が訪れている [4]．アームロボットの操作においても，タッチパネルやジョイスティックコントローラを用いてリモート化されつつあるが，これらの操作手法は対応するボタン操作を覚える必要があるなど直感的な操作が難しい．

また，近年アームロボットの操作を含む Human-Robot Interaction（HRI）の分野では MR が注目され，MR を用いた情報提示や MR 空間内での操作といった使用法が模索されており，その有効性も示されている [5]．

アームロボットの操作手法としてこれまで顔表情を用いて操作を行う手法 [6] や足首，足指の動作を用いて操作を行う手法 [7] などが提案されてきた．しかし，これらの手法はアームロボットの特定の動作に対するコマンドを覚える必要があるため直感的な操作が難しい点や意図しない動作が発生する可能性がある点など課題が残されている．また，現在一般的に用いられているコントローラなどを用いた操作手法においいても直感的な操作が難しく認知的負荷も大きい，以上のことから直感的な操作を可能にしながら意図しない動作の発生を防ぐ操作手法が必要である．

そこで，本論文では直感的な操作および意図しない動作の発生を防ぐことを可能にするアームロボットの操作手法を提案する．本論文で提案するシステムはロボットの状態などの情報提示手法として拡張現実を用い，拡張現実で仮想的に提示されたアームロボットを操作することでその動きに連動して実際のアームロボットも操作可能なシステムとなっている．拡張現実で仮想的に配置されたアームとボットはハンドトラッキングを用いて取得する手の位置及びマルチセンサデバイスを用いて取得する姿勢を用いてアームロボットのヘッドの位置姿勢を決定することで各関節角を決定し操作を行う．グリッパーの開閉はマルチセンサデバイスを用いて操作する．また，従来の一般的な手法を利用した場合とと本システム利用した場合にタスク完了までに要する時間や精度，主観的なアームロボットの操作のしやすさに差異が生じるかを検証するため評価実験を行った．

2. 関連研究

アームロボットの操作に関する研究は数多く行われており，手動操作の分野においてはジョイスティックやコントローラを用いて操作を行う手法が一般的に広く研究されている [8][9][10]．これらの手法では一般的にアームロボットの各関節を操作する手法と逆運動学を用いてアームロボットのヘッドの位置姿勢から各関節角を計算し操作する手法が存在するが，これらのインターフェースは操作方法を覚えることが難しくユーザの認知的，物理的負担が大きいという欠点がある [11]．また，製品化されているアームロボットの手動操作手法はタッチパネル上の複数の方向ボタンを用

Proposal for an Arm Robot Remote Control System Using Augmented Reality and Multi-Sensor Devices

†1 HARUTAKA ABE, Aoyama Gakkuin University
†2 SHOKO KIMURA, Aoyama Gakuin University
†3 GUILLAUME LOPEZ, Aoyama Gakuin University

いてヘッドの位置姿勢を制御することによりアームロボット操作する手法が多く用いられている [12][13] が，アームロボットの自由度の高さからボタンの数が多くなり直感的な操作が難しく認知的負荷が大きいという欠点がある．このような課題に着目し，アームロボットの操作手法を提案する研究は数多く行われている．福岡ら [6] は顔表情をアームロボットの動きにマッピングすることで操作を行う手法を提案している．顔表情を用いた操作では一般的に用いられている手法に比べてボタンの数が少ないため認知的負荷を低減しながらアームロボットを操作可能である点に利点がある．評価実験の結果から，顔表情を用いて操作を行う手法の有効性を示しているが，顔表情をコマンドとして用いているため各操作に対するコマンドを覚える必要があり直感的な操作が難しい点で課題が残されている．また，顔表情の誤認識による意図しない動作が発生する可能性がある点においても課題が残されている．sasaki ら [7] は靴下型のインターフェースを用いてユーザの足首，足指の動作をアームロボットの動作に対応づけることで操作を行う手法を提案している．足首，足指の動作を対応づける手法は身体動作などをコマンドとしてアームロボットの特定の動作に割り当てる手法と異なりユーザの意図した直感的な操作が可能になる点や必要なボタンなどの UI が少ない点から認知的負荷を低減可能な点に優れている．しかし，ユーザがアームロボットの操作とは異なる目的で行動を行う際にもその動作に基づいて動作してしまうため，実環境の利用には適していない．Penaloza ら [14] は脳波を用いてアームロボットを操作する手法を提案している．脳波を用いて操作を行う手法は特定のコマンドを覚える必要がなく，最も直感的な手法であるといえるが，実環境で利用する際に脳波を完全にコントロールすることは難しくユーザの意図しない脳波の発生に基づいた動作をする可能性がある点で課題が残されている．木村ら [15] は身体動作に基づいたアームロボットの操作手法を提案している．木村らの提案するシステムは頭部から脚部まの動作をアームロボットの動作に対応づけており，実験結果では制御に用いる特定の体の部位では意図しない動作を防ぐことができ操作しやすいことが示されている．しかし，ヘッドの位置姿勢を操作するのではなく各関節角を操作しているためアームロボットの操作経験がないなど知識がないユーザには操作が難しいという課題が残されている．

以上のことから先行研究で提案されている操作手法及び一般的に用いられている操作手法は主に以下の二点の内どちらかを可能にしているといえる．

1. 認知的負荷を低減しながら直感的な操作を可能にする
2. 意図しない動作の発生を防ぐ

しかし，同時に上記二点を可能にする操作手法の実現は難しく，著者らの知る限りではないため本論文で提案するシステムは認知的負荷を低減しながら直感的な操作を可能にし，意図しない動作を防ぐことを可能にするシステムの提案を目的とする．

3. 拡張現実とマルチセンサデバイスを用いたアームロボットリモートコントロールシステム

本研究で提案するシステムは拡張現実を用いて仮想的に提示されたアームロボットのモデルを操作することでその動きに連動した実際のアームロボットの操作も可能にするシステムとなっている．図 1 に提案システムの概要図を示す．マルチセンサデバイスを用いて姿勢情報及びグリッパーの開閉情報を AR アプリケーションへ送信し，AR アプリケーションでは受け取った情報及びアプリケーション内で取得する情報を用いてアームロボットの各関節角を計算する．その後，AR アプリケーションで計算された各関節角の情報を実際のアームロボットへ送信することで操作を行う．マルチセンサデバイス，AR アプリケーション間及び AR アプリケーション，アームロボット間の通信は MQTT プロトコルを用いる．MQTT プロトコルは http のようにプレーンテキストでの情報ではなく，ビット単位での情報によりオーバヘッドが少なく軽量であり，コネクション指向のプロトコルであるため，ハンドシェイクなどによるオーバヘッドが少なくリアルタイム性に優れている．また，要求-応答型モデルであり，Topic を用いることで双方向で 1 対多，多対多の通信が可能であるため柔軟に拡張可能である [16]．これらの利点を有する MQTT プロトコルは直感的な操作のため低遅延でリアルタイムに通信を行う必要がある本システムに適している．また，AR アプリケーションを実装するデバイスとして Microsoft 社の Hololens2 を用いる．Hololens2 は高精度なハンドトラッキング機能を有しており，ベットのコントローラを必要とせずに操作を行うことが可能である点や幅広い視野角でユーザが快適かつ正確にホログラムを操作可能である点に優れており [17] 本システムに適している．

3.1. 仮想的に配置されたアームロボットの操作手法

AR アプリケーション内で仮想的に配置されたアームロボットの各関節角は逆運動学を用いて決定する．そのためアームロボットのヘッドの位置姿勢を決定する必要がある．図 2 に仮想的に配置されタームロボット操作中の様子を示す．AR アプリケーション内で自身の手の位置がハンドトラッキングにより追跡され，白色の立方体で示されている．自身の手の位置とアームロボットのヘッドの位置を同期することでヘッドの位置を決定する．これにより，アームロ

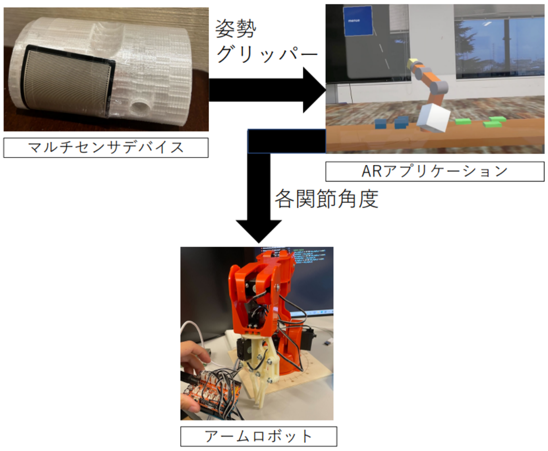


図 1　提案システムの概要図

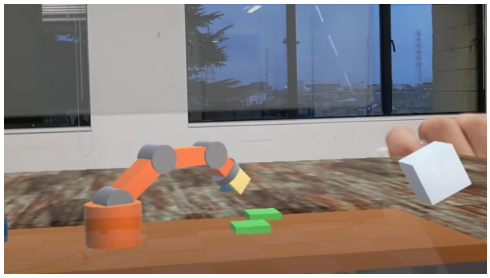


図 2　仮想的に配置されたアームロボット操作時の様子

図 3　マルチセンサデバイス使用時の様子

ボットのヘッドを動かしたい方向へ手を動かすことで操作可能になり，直感的な操作が可能になる．姿勢及びグリッパーの制御についてもハンドトラッキング及び手の握持認識で行うことが最も直感的であるが，手の姿勢の変化によりトラッキングが途切れてしまう事や指が手の陰になる際の握持認識が難しい点からハンドトラッキング及び握持認識のみで行うことは困難である．そのため，直感的な操作を可能にしたまま高い精度での操作を可能にするため，本研究ではマルチセンサデバイスを制作した．マルチセンサデバイスの構成については 3.2 節で述べ，本節ではその使用方法を述べる．図 3.2 にマルチセンサデバイス使用時の様子を示す．マルチセンサデバイスでは，その姿勢情報と握持情報を取得可能であり，それぞれアームロボットのヘッドの姿勢決定とグリッパーの制御に用いる．姿勢の決定方法は，アームロボットのヘッドを回転させたい方向にマルチセンサデバイスを持った状態で傾けることで行う．傾けている間，傾けている方向へアームロボットのヘッドが回転し，回転を止める際は元の水平な状態に戻すことでアームロボットのヘッドの姿勢を決定する．また，マルチセンサデバイスを強く握ることでグリッパーの開閉を制御する．

これらのようにハンドトラッキングを用いてアームロボットのヘッドの位置，マルチセンサデバイスを用いてアームロボットのヘッドの姿勢及びグリッパーを制御することで直感的な仮想的に配置されたアームロボットの操作を可能にする．

3.2.　マルチセンサデバイスの構成

3.1 節で述べた通り，本研究ではマルチセンサデバイスを制作し，用いている．図 4 にマルチセンサデバイスの全体図を示す．マルチセンサデバイスは複数のセンサから構成されており，それを格納するケースを 3D プリンタを用いて印刷した．図 5 にマルチセンサデバイスを構成する M5StickC 及び圧力センサを示す．M5StickC は ESP32 ベースであり，WI-FI 及び 6 軸 IMU センサが利用可能であり，姿勢推定やセンサ値及び計算値などが送信可能である．．また，小型でありながらバッテリーを搭載しており，マルチセンサデバイスが外部からの電源供給なしに動作することを可能にする．圧力センサには Interlink Electronics 社の圧力センサ FSR406 を用いる．これは，小型でフレキシブルな圧力センサであり，M5StickC に接続して利用することが可能である．本研究で用いるマルチセンサデバイスは片手で使用可能な程度小型であり，姿勢推定や握持推定，計算値やセンサ値の送信が可能である必要があるため，M5StickC 及びフレキシブルでマルチセンサデバイスに固定可能な圧力センサ FSR406 は本研究で提案するシステムに用いるマルチセンサデバイスに適している．マルチセンサデバイスの構造については 3D プリンタで印刷したケース内に M5StickC 及び圧力センサを使用するための配線を格納し，ケースに空いている穴から表面に固定されている圧力センサに接続する構造となっている．

3.3.　システム利用方法

これまでに述べた手法でアームロボットの操作を行うことが可能であるが，AR アプリケーション起動中に常時操作が可能な状態であると，操作とは別の意図で手を動かした際にもアームロボットが動作してしまい，意図しない動作が発生してしまう．そのため，本システムは操作時，非操作時に分けることで意図しない動作の発生を防ぐ．図 6 に AR

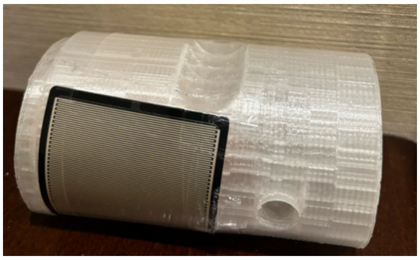
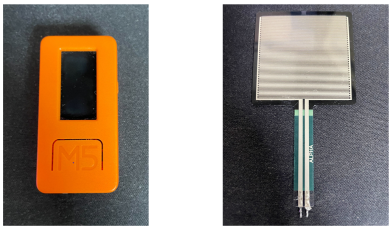


図 4　マルチセンサデバイスの全体図



M5StickC　　圧力センサ

図 5　マルチセンサデバイスを構成する M5SticC（左側）及び圧力センサ（右側）

アプリケーション起動時の様子，図 7 にスタートボタン押下後の様子を示す．これら二つの状態では手を動す，傾ける，マルチセンサデバイスを握るなどによる操作はできない状態である．AR アプリケーション起動後，操作開始のためにスタートボタンを押し，その後画面で初期位置としてのオレンジ色の立方体に手を重ね合わせることで指示テキスト及びオレンジ色の立方体が消え，操作可能となる．操作中は任意のタイミングで画面左上に常時表示されているメニューボタンを押すことで操作を中断でき，再度スタートまたは初期姿勢に戻すリセットボタンを押す操作を選択可能である．

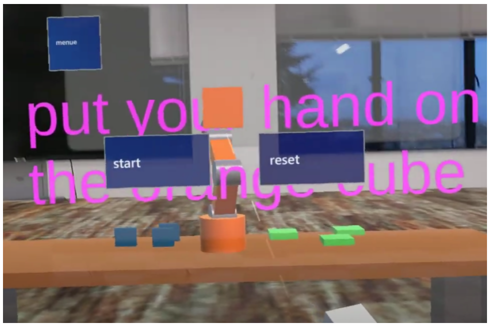


図 6　AR アプリケーション起動時の様子

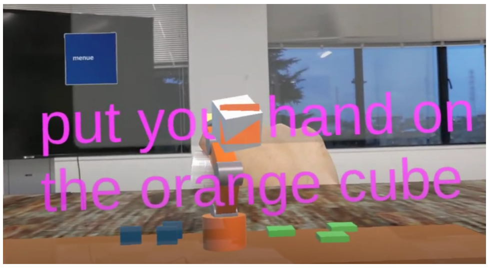


図 7　スタートボタン押下後の様子

4. 評価実験

本研究で提案するシステムの有効性を検証するために評価実験を行った．被験者は 20 代の男女 10 名であり，本実験では従来の手法と提案システムの操作性の差異の検証を目的とする．そのため操作及び評価は AR アプリケーション内で行った．比較対象である従来手法は現在一般的に広く用いられているアームロボットのヘッドの位置姿勢及びグリッパーの開閉をそれぞれ方向ボタン，グリッパー開閉ボタンを用いて決定し各関節角を逆運動を用いて決定することで操作する手法とした．

4.1. 実験方法

被験者は従来システム及び提案システムの両方でタスクを実行した．タスクは三つのブロックをそれぞれ異なる目標位置まで運ぶタスクとし，可能な限り目標位置の中心に置くことを依頼した．従来システムと提案システムの使用する順番はランダムとした．最初にそれぞれのシステムでのアームロボットの操作方法及び行うタスクの説明を行い，各ボタンの意味や操作方法について理解したかを確認した．実験についての説明後，被験者に Hololens2 を装着してもらい，視度や明るさ，頭のバンドの締め具合を調整してもらった．実験担当者の合図によりタスクを開始した．タスク完了後に利用したシステムに関するアンケートに回答してもらい，実験担当者はタスク完了時間，目標位置の中心からの差を記録した．

4.2. 評価指標

アームロボットの操作のしやすさに関する定量評価として，タスクの実行時間及び目標位置の中心からの差を用いた．タスクの実行時間はスタートボタンを押してから三つ目のブロックを目標位置に移動させるまでの時間とした．また，定量評価においては二つの手法に対してタスクの成績を評価するため，f 検定を用い等分散と仮定されるかを確認し，それに応じた t 検定を行うことで有意差の有無を確認した．この際，優位水準は 5% とした．主観的な操作のしやすさを System Usability Scale (SUS) アンケート [18]

及び独自に作成したアンケートを用いて評価した．

5.　実験結果と考察

5.1.　定量評価の結果と考察

図 8 にタスク完了時間平均の比較結果を示す．エラーバーは標準誤差を示す．従来手法と提案手法のタスク完了時間平均を比較した結果，提案手法を用いてタスクを行った際に従来手法に比べてタスク完了時間が短くなることが示され，二つの手法間のタスク完了時間平均には有意差が見られた．これは，提案手法の直感的な操作により，操作に迷わずタスクを実行できたためタスク完了までの時間が短くなったと考えられる．また，提案手法の操作性の高さから，目標位置に素早く移動させることが可能なこともタスク完了までの時間の短縮に寄与していると考えられる．

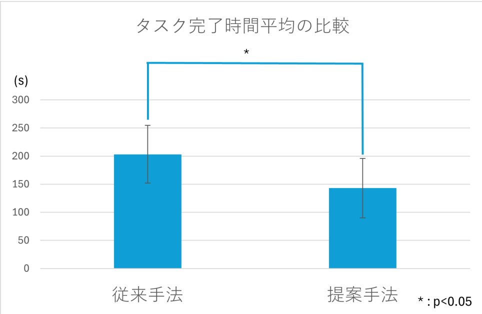


図 8　タスク完了時間平均の比較

図 9 に目標位置の中心からの差の比較結果を示す．エラーバーは標準誤差を示す．従来手法と提案手法でタスクを行った際の中心からの差を比較した結果，わずかに提案手法が小さい結果が得られたが，有意差は見られなかった．これは，従来手法と提案手法が同等程度の正確な操作が可能であることを示しており，操作性の向上により細かな操作が難しくなるなどの欠点が提案手法に見られないことを示している．しかし，提案手法では操作時に手の全ての動きを用いて操作を行っているため無意識的な手の揺れと意図的な動作を区別することはしていないく，操作精度が低下する可能性がある．これに対応することでより操作の精度が向上すると考えられる．

5.2.　主観的な操作のしやすさの評価の結果と考察

表 1 に従来手法及び提案手法の SUS スコアの平均を示す．一般的に SUS スコア 68 以上は良いシステムとされており，従来手法においては基準を大きく下回り，提案手法においては基準を満たした．従来手法はアームロボットのヘッドの位置姿勢及びグリッパーの開閉の操作を全てボタンで行うため認知的負荷が大きく SUS スコアが低下したと考えられる．これに対し，提案手法で用いるボタンは初めのスタートとリセット，常時表示されているメニューボタンのみであるため，認知的負荷が小さく使いやすいシステムであると評価され，基準を満たしたと考えられる．

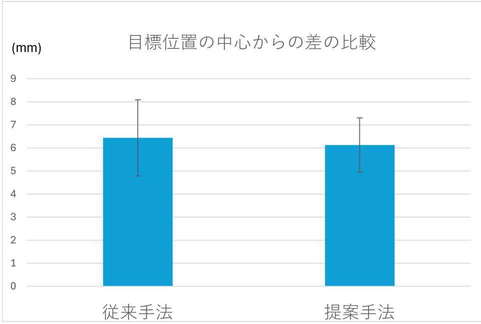


図 9　目標位置の中心からの差の比較

表 1　従来手法及び提案手法における平均 SUS スコア

手法	SUS スコア
従来手法	45.7
提案手法	72.2

表 2 に評価実験のアンケート結果を示す．各設問は 1（全くそう思わない）から 5（非常にそう思う）の 5 段階評価であり，アンケート結果については各項目の平均値をまとめた．設問 1，2，4，6 の結果から提案手法を用いた際，従来手法に比べて UI の理解しやすさや操作手法から操作が直感的であり，簡単であるということが明らかとなった．これは手を動かす傾ける握るといった実際のアームロボットの動作に近い操作手法を採用したことが簡単で直感的な操作に寄与したと考えられる．また，このような操作手法をとったことにより必要なボタン数が少なくなり，認知負荷を低減したため簡単に操作可能に感じたと考えられる．さらに，設問 7 の結果では同じタスクを行ったにもかかわらず，提案手法を用いた方が従来手法に比べてタスクが簡単に感じていることが明らかとなった．これは，提案手法が簡単で直感的に感じたため，タスク自体の主観的な難易度を低下させたと考えられる．設問 3，8 の結果から提案手法を用いた際に従来手法と比べてユーザは高精度で想定通り操作できていると感じていることが明らかとなった．これは，従来手法に比べて意図しない動作の発生を防ぐことができたためであると考えられる．意図しない動作の発生を防止したことも主観的な操作の難しさ低下に寄与したと考えられる．設問 5 の結果から従来手法と提案手法が同程度操作中に疲労を感じることが明らかとなった．これは，提案手法を用いた操作中は常に手を視界にとらえている必要があり，身体的な疲労が大きいためであると考えられる．

表 2　評価実験のアンケート結果

質問内容	従来手法	提案手法
Q1. 操作は直感的だと感じましたか	2.8	4.2
Q2. アームロボットの操作は難しいと感じましたか	4.3	2.9
Q3. 操作の精度に満足しましたか	2.5	4.0
Q4. この操作方法を習得するのに時間が必要だと思いますか	3.4	2.4
Q5. 操作中にどの程度疲労を感じましたか	3.8	3.5
Q6. 操作 UI は理解しやすかったですか	3.4	4.7
Q7. タスクは難しいと感じましたか	3.2	2.0
Q8. アームロボットは想定通りに動きましたか	2.5	4.0

6.　まとめと今後の展望

本研究では，産業などの現場に導入され，生産性や安全性などを向上させているアームロボットがその作業を完全に自動化することは難しく人が操作を行う必要がある場合があるが，先行研究や一般に用いられている操作手法には直感的かつ意図しない動作の発生を防止可能な操作手法がない点に着目し，アームロボットのリモート操作手法を提案した．本研究で提案した手法は，AR アプリケーション内に仮想的に配置されたアームロボットを操作することでそれに同期した実際のアームロボットも操作可能な手法となっている．また，仮想的に配置されたアームロボットについては手の位置及びマルチセンサデバイスより取得した姿勢，グリッパーの開閉を用いてロボットアームのヘッドの位置姿勢を決定し，各関節角を逆運動学を用いて決定することで操作を行う手法である．提案システムを用いて従来手法である一般的に広く用いられているボタンを使用して操作を行う手法と比較する評価実験を行った結果，操作精度は従来手法と同程度であるが，タスク完了までの時間が優位に短くなることが明らかとなった．また，アンケート結果から提案手法は従来手法に比べて簡単で直感的であり，意図しない動作の発生防止を促すことが可能であることが明らかとなった．

今後の展望として本研究の評価実験では各操作手法で一回のみタスクを行ったことから，操作手法の慣れによる操作のしやすさ，タスク実行時間の変化や差異については明らかになっていないため，長期的に複数回タスクを行うことでの変化を調査する実験を行う必要があると考える．また，操作面においては意図しない手の揺れによる動きと操作を意図した動きを区別することでより正確な操作を可能にする必要がある．

参考文献

[1] 榊原伸介：知能ロボットによる工場自動化と IoT, AI 活用について，システム/制御/情報， Vol. 61, No. 3, pp. 101–106 (2017).

[2] of Robotics, I. I. F.: World Robotics 2022, `https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf` (2022). [accessed 2024.09.24].

[3] : オムロン 制御機器 ソリューション 事例, https://www.fa.omron.co.jp/solution/case/.

[4] 三治信一朗：ロボット事例からみる, アプリケーション, ソリューション開発の方向性，システム/制御/情報， Vol. 64, No. 11, pp. 447–442 (2020).

[5] 山田亮介，秋月秀一，　橋本学：ロボット動作に対する反応時間の短縮に有効な複合現実による情報提示手法，日本ロボット学会誌， Vol. 42, No. 5, pp. 493–496 (2024).

[6] 福岡正彬，中村文彦，　滝澤瞭，正井克俊，北崎充晃，杉本麻樹：FaceDrive: 顔表情による装着型ロボットアーム操作手法の提案，日本バーチャルリアリティ学会論文誌， Vol. 25, No. 4, pp. 451–461 (2020).

[7] Sasaki, T., Saraiji, M. Y., Fernando, C. L., Minamizawa, K. and Inami, M.: MetaLimbs: Multiple arms interaction metamorphism, *ACM SIGGRAPH 2017 emerging technologies*, pp. 1–2 (2017).

[8] 永田寅臣，渡辺桂吾：研磨ロボットのためのジョイスティック支援による力制御教示システム，日本機械学会論文集 C 編， Vol. 67, No. 655, pp. 767–774 (2001).

[9] 西村和真，幸村貴臣，桐林星河，永谷圭司：ジョイスティックを用いた遠隔操作型移動マニピュレータの微操作の実現，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2016，一般社団法人 日本機械学会，pp. 2A1–17a1 (2016).

[10] 山下恭平，加藤由希子，倉部紘一，小池元輝，神野晃治，鬼頭一将，辰野恭市：配電作業用ロボットにおける HRI (Human Robot Interface) の改良―ジョイスティック, マスターアームを利用したカメラとアーム, ビークルの同時操作―，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2016，一般社団法人 日本機械学会，pp. 2P2–09a2 (2016).

[11] 松本大賢，　岡哲資ほか：Kinect とタブレットを用いたロボットアームによる物体拾得システム，第 77 回全国大会講演論文集， Vol. 2015, No. 1, pp. 285–286 (2015).

[12] MONOist: `https://monoist.itmedia.co.jp/mn/`

articles/2005/22/news048.html (2020). [accessed 2024.08.24].
[13] ユニバーサルロボット：https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/43932/UR5e_User_Manual_jp_Global.pdf (2022). [accessed 2024.08.24].
[14] Penaloza, C. I. and Nishio, S.: BMI control of a third arm for multitasking, *Science Robotics*, Vol. 3, No. 20, p. eaat1228 (2018).
[15] 木村拓己，土田修平， 寺田努，塚本昌彦ほか：協働ロボットアームのためのハンズフリー制御手法の提案，研究報告音楽情報科学 (MUS)， Vol. 2021, No. 43, pp. 1–8 (2021).
[16] 藤井彬，田中和明：低遅延かつ軽量なセンサネットワーク実現のための技術研究，情報処理学会研究報告， Vol. 2016 (2016).
[17] HoloLens2—概要， 機能， 仕様：https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens/hardware. [accessed 2024.08.24].
[18] Lewis, J. R.: The system usability scale: past, present, and future, *International Journal of Human–Computer Interaction*, Vol. 34, No. 7, pp. 577–590 (2018).

一時停止交差点における運転支援システムの個人適合に向けた基礎検討

基村竜晟 †1
北陸先端科学技術大学院大学

田中貴紘 †2
名古屋大学

岡田将吾 †3
北陸先端科学技術大学院大学

1. はじめに

近年，日本では高齢化が進むにつれて高齢の運転免許保有者数も増加し続けており [1]，高齢者の自動車事故防止は重要な問題となっている．運転は複雑な認知処理が必要となるため [2]，認知機能が低下したドライバにとって安全に運転をすることは難しくなる．運転を中止させることは事故防止のための有効な手段ではあるが，完全自動運転が実現されていない現状においては高齢者の移動が困難となる地域も多い．また，運転の中止はうつ病の発症リスク増加など健康状態に影響を与える可能性があり [3]，安全な運転をできるだけ長く続けることは高齢者が移動手段を確保するための重要な課題である．

安全運転の促進において運転支援システムは有効な手段の一つであり，現在も様々な運転支援システムが市販の車に搭載されている [4]．しかし，システムの多くは平均的なドライバーに合わせて作られており [5]，認知機能が低下した高齢者に合わせて作られているものは少ない．高齢者の事故要因の一つである認知機能の低下は若者にはあまり現れない要因の一つであり，高齢ドライバと若年ドライバの主な事故要因は異なる．例えば，若者はリスクをとる運転や技術不足，高齢者は知覚や判断に原因がある [6]．また首の柔軟さなど安全確認に必要な身体機能も異なることも報告されている [7] ことから，高齢者と若者の間で安全な運転に向けて変容させるべき運転行動は異なり，それに伴って必要な運転支援も異なると考えられる．そのため高齢ドライバの安全運転の実現のためには，認知機能の低下に合わせた運転支援システムの開発が必要である．このように高齢ドライバの安全運転を促進することは重要な課題であるにもかかわらず，どのような支援が高齢者に有効であるかを明らかにした研究は少なく，明らかになっていない．

本研究ではドライバ特性や認知機能と運転支援による運転行動変容の関係性の解明のために，ドライビングシミュレータを用いてデータ収集と分析を行う．特に，高齢者の事故リスクが高く，認知負荷がかかりやすい一時停止交差点での運転支援に着目し，ドライバの運転行動や視線・顔向きデータを収集する．これらのデータを用いて，運転セッションごとに安全運転の指標となる運転行動指標を算出し，運転支援はこの運転行動指標の改善，つまり運転行動の変容を目的とする．さらに，高齢ドライバの認知機能を把握するために Trail Making Test (TMT) [8] と有効視野検査 (UFOV) [9] をドライバに実施し，他にもドライバ特性を把握するためにいくつかの質問紙調査をドライバに実施した．一時停止交差点で行う運転支援は，支援の情報の多さ，支援の内容の観点から異なる複数の支援を行い，どの支援が運転行動改善につながったか，またドライバのドライバ特性・認知機能によって運転支援効果がどのように変化するかを分析する．本研究はデータ分析によって，運転行動の変容のための効果的な支援はドライバ特性・認知機能によって異なることを明らかにし，運転支援の個人適合の重要性を示す．

2. 関連研究

2.1. 一時停止交差点での高齢ドライバの運転行動

Yonekawa ら [10] は高齢ドライバが一時停止交差点に速い速度で侵入し，十分な左右確認を行わない傾向にあることを示した．また，公道での実験では認知機能が低下したドライバは左右の確認をあまり行わず，その確認時間も短い傾向にあることが示された [11]．Yoshihara ら [12] は一時停止交差点を通過する際，高齢ドライバは中高年ドライバに比べ，左右確認時の頭の動きの幅が狭くゆっくりとしており，車速も速くなる傾向があることを示した．さらに，短時間の注視も高齢ドライバの行動の特徴の一つであり，Dukic・Broberg [7] は視覚的探索行動を分析し，高齢ドライバは他の車などの動的対象物をあまり見ていないことを発見した．これらの先行研究でも示されているように，高齢ドライバは一時停止や左右確認が不十分な傾向にあるため，運転支援によって運転行動を変容させることが一時停止交差点での事故リスク低減につながる．

一時停止標識がある交差点では，一時停止線の前で停止し，左右を確認し車や歩行者が通過しないことを確認して

Basic Study for Personalization of Driver Assistance Systems at Intersections with Stop sign

†1 RYUSEI KIMURA, Japan Advanced Institute of Science and Technology
†2 TAKAHIRO TANAKA, Nagoya University
†3 SHOGO OKADA, Japan Advanced Institute of Science and Technology

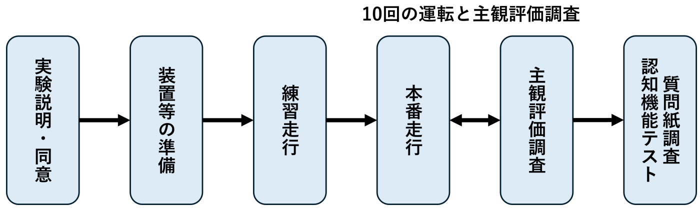


図 1　被験者実験の手順.

から発進する必要がある．もし，一時停止または左右確認のどちらか一方でも不足していれば，重大な事故につながる可能性がある．Yonekawa[10] らは単に一時停止交差点で停止を促すのではなく，横断物の存在を確認し回避行動の準備を促したり，車両があれば警告を発したりする支援システムの重要性を主張している．一方で，複数の運転行動を指示する運転支援は特に認知機能が低下した運転中のドライバにとって負担となる可能性がある．また，どのような運転行動を指示することで実際に運転行動が変容し，安全運転が促進されるかということも明らかになっていない．そこで，本研究ではオンライン運転支援において，支援の情報の多さ・支援の内容が異なる複数の支援を高齢ドライバに対して行い，どのような支援を行うことで運転行動が変容されるかを調べる．

2.2.　高齢ドライバのための運転支援

Ge ら [13] は，いくつかの運転シナリオにおいて有効な運転支援の内容を調査した．質問紙による調査を行い，”You are getting too close to the lead vehicle.”という状況を知らせる通知や，”Please increase the distance from the lead vehicle.”という行動を指示するフィードバックが，ドライバーの安全運転の意欲を高めることを示した．特に，状況通知と行動指示の両方が含まれる内容のフィードバックは，状況通知と行動指示のいずれかのみが含まれるフィードバックと同等かそれ以上にドライバの安全運転の意欲を高めた．一方で，支援の内容と実際の運転行動の変容の関係性については明らかになっていない．特に高齢ドライバにとって運転は認知的負荷がかかる行動であり，そのような状況で状況通知と行動指示の両方を含む支援を理解し，運転行動変化させられるかは明らかでない．運転支援に関して，支援の量と行動変容の関係性を調べた研究は見つからなかったが，道路標識が含む情報の量とドライバの認知負荷や反応の関係性は多くの論文で明らかにされている．Fu ら [14] は道路標識に含まれる情報の多さと標識への反応時間を分析し，情報が多いほど反応時間は遅くなることが分かった．また，同じ情報量の標識に反応するのにかかる時間は個人によって異なることも示された [15]．道路標識の情報の多さと同様に，運転中の音声支援の情報の多さとドライバの支援受容や支援に対する反応の関係性は運転支援を行う上で重要な要素であるにもかかわらず，明らかにはなっていない．本研究では，高齢ドライバの事故リスクが高い一時停止標識付きの交差点において，一時停止標識があるという状況通知としっかり速度を落とし左右確認を促す行動指示をドライバに提示し，支援内容・情報の多さと高齢ドライバの運転行動変容の関係性を明らかにする．

運転支援システムを高齢ドライバに適合する場合，支援の内容以外にも支援提示のモダリティ（音声，視覚，触覚など），タイミング，および支援頻度などのパラメータによって支援効果は変化すると考えられる．支援提示のモダリティに関して，Xu ら [16] は，高齢ドライバに危険警告を行う際の効果的なモダリティとタイミングの閾値を調査した．触覚（ハンドルの振動）による警告を使用した場合，音声による警告よりも飛び出してきた歩行者に対する視線の固定時間がわずかに長くなることを示した．また，Adell ら [17] では，アクセルペダルを通じた触覚支援が音声のビープ音警告よりも効果的であったものの，多くのドライバーはビープ音システムを好んでいた．これらの研究の結果とシステムの実装の容易さを考慮し，本研究で用いる運転支援システムでは音声による支援を採用する．

Xu ら [16] は，高齢ドライバーが危険警告を早いタイミングで受けることを好み，運転パフォーマンスも早いタイミングの警告の方が良かったことを示した．そのため，本研究のシステムの支援提示タイミングはドライバが支援を提示されてから運転行動を変えるのに十分な時間があるタイミングで行い，すべての支援は同じタイミングで行う．

3.　方法

3.1.　被験者

運転免許を保有し，日常的に運転を行う高齢者を中心に 40 人（女性 26 人，男性 14 人）のドライバーを募集し，被験者実験を行った．被験者の年齢の範囲は 19 歳から 83 歳で，平均年齢は 59.48，標準偏差は 14.93 であった．被験者の運転歴の平均（標準偏差）は 37.00（15.21），運転頻度の平均（標準偏差）は週に 5.87（1.88）日であった．2 名の被験者が乗り物酔いのため実験を中断したため，残りの 38 名のデータを用いて分析を行う．

3.2. 実験の手順

被験者実験の手順を図 1 に示す．被験者実験は実験の説明・同意，準備，ドライビングシミュレータでの練習走行，10 回の本番走行と支援システムへの主観評価アンケート，質問紙調査，認知機能テストで構成される．まず，被験者からインフォームドコンセントを得たうえで，生体信号取得のための装置の装着やシミュレータの椅子の調整を行った．練習走行はシミュレータでの運転操作に慣れてもらうことを目的としており，被験者が十分に操作に慣れたと感じるまで練習走行用のコースでの運転を実施した．本番走行では一時停止標識がある交差点を走行しながら数種類の支援を体験し，その後支援に対する主観評価の調査を行った．シミュレータでの運転終了後，被験者のドライバ特性を獲得するために質問紙調査と認知機能テストを実施した．本実験は，北陸先端科学技術大学院大学ライフサイエンス委員会の承認を得た上で実施された．

3.3. 運転コースと一時停止支援

本番走行で被験者は全 10 セッションの運転をドライビングシミュレータ上で行う．運転コースは全て住宅街に設置された制限速度が 40km/h の一方通行道路であり，一時停止標識がある交差点を直進することが求められる．また，交差点の周辺には建物を設置することで左右の見通しが悪く，左右から通過する自動車または自転車の確認が難しいコースを作成した．運転セッションが開始されると「次の交差点を直進してください.」という音声アナウンスが行われ，被験者に経路案内を行う．一時停止交差点の通過時には複数の自動車または自転車のいずれかが交差する道路を通過するイベントが発生する．自動車または自転車の通過タイミングは，被験者が減速せずに交差点に進入した場合に衝突し，さらに一時停止した後に左右確認を行わずに発進した場合に衝突するタイミングに設定した．そのため，被験者が自動車または自転車と衝突しないためには，交差点進入前に一時停止を行い，左右確認によって自動車または自転車が通過し安全に直進できることを確かめたうえで直進することが必要となる．1 回の運転セッションの平均走行時間は 71 秒であった．

被験者は交差点進入前に運転支援が行われるセッションと行われないセッションを体験する．運転支援が行われるセッションでは 4 種類の運転支援のうちいずれかの支援が行われる．支援はいずれも音声アナウンスで行われる．4 種類の運転支援のアナウンス内容は

支援 1:「一時停止です.」
支援 2:「一時停止です．しっかり停止しましょう.」
支援 3:「一時停止です．左右を確認しましょう.」
支援 4:「一時停止です．しっかり停止して，左右を確認しましょう.」

である．1 つ目の支援では交差点で一時停止が必要なことだけを伝える．2 つ目の支援では一時停止が必要なことに加えて,「しっかり停止しましょう.」といった具体的な運転行動を促す．3 つ目の支援では一時停止が必要なことに加えて,「左右を確認しましょう.」といった別の具体的な運転行動を促す．4 つ目の支援では一時停止が必要なことに加えて,「しっかり停止して，左右を確認しましょう.」といった 2 つの具体的な運転行動を促す．アナウンスの開始タイミングは全て同じであり，被験者がアナウンスを聞いてからブレーキを踏み，一時停止を行うのに十分な時間があるタイミングでアナウンスを行った.

3.4. データ収集

3.4.1 映像データ

運転中の視線・顔向き情報を取得するためにウェブカメラを前方スクリーン上部に設置し，運転セッション中の被験者の上半身の映像データを取得した.

3.4.2 生体データ

走行中の生体データを empatica 社のリストバンド型の EmbracePlus を用いて皮膚電気活動，体温，血圧を取得した．生体データ以外には加速度とジャイロスコープも EmbracePlus から取得した.

3.4.3 運転データ

運転中は速度や加速度などの車両情報，アクセル・ブレーキペダルの開閉度，操舵角に加えて，他の車両や自転車の位置，運転する車両との衝突が記録される．これらの運転ログ情報を用いて，交差点におけるドライバの運転行動や他の移動物体とのインタラクションの分析を行う.

3.4.4 質問紙調査

本研究では複数のドライバ特性を測定し運転行動や支援効果との関係性を分析を行う．以下では，本研究で使用した質問紙とドライバ特性について説明する.

運転スタイルチェックシート（Driving Style Questionnaire：以降 DSQ と記す）[18] は Ishibashi らによって開発されたドライバ個人特性の評価指標であり，18 問で構成される質問によってドライバの心理的な運転スタイルを測定する.

運転負担感受性チェックシート（Workload Sensitivity Questionnaire：以降 WSQ と記す）[18] はドライバの心理的な運転負担を測定する質問紙である．小嶋ら [19] は WSQ の短縮版を作成し，38 問から 10 問まで質問数を削減した．本研究ではこの短縮版 WSQ を使用する.

BigFive はパーソナリティを外向性, 協調性, 誠実性, 神経症傾向, 開放性の 5 つの枠組みでとらえようとするモデルである．本研究では Gosling らによって作成された BigFive

性格特性を 10 項目で測定する質問紙 [20] の日本語版である TIPI-J[21] を使用してドライバの性格特性を測定する．

自覚的高齢者運転特性アンケート [22] は Akamatsu らによって作成された質問紙で，運転場面での認知機能変化の自覚を測定する．18 項目で構成される質問紙で，視機能の変化（状況知覚），細かい操作能力の変化（タスク/システム要因），運転操作能力の変化（行為の実行），状況把握能力の変化（状況理解・予測），状況対応能力の変化（判断・意図形成），負担感受性の変化（運転者特性・状態），動作機能の変化（運転者特性・状態）の計 7 項目を測定する．

3.4.5 認知機能テスト

TMT: TMT は神経障害のスクリーニングテストバッテリーなど広く使用されている神経心理学的検査であり認知的な処理速度，順序付け，柔軟性，視覚運動能力といった認知領域を測定すると考えられている [23]．現在よく使用されている TMT[8] には Part A と Part B の二種類があり，Part A では用紙に配置されている 1 から 25 までの数字を順に線で結び，Part B では用紙に配置されている数字と文字を「1，あ，2，い」というように交互にかつ順番に線で結ぶ．本研究ではテストにかかる時間を計測し分析に用いる．

UFOV: UFOV テストは視覚感覚機能，視覚処理速度，視覚的注意など運転に関連する能力を測定するテストである．本研究で使用した UFOV テストは心理学的測定ソフトウェアの Inquisit 向けに配布されているものであり*1，コンピュータを用いて実施した．UFOV テストは 3 つの下位テストから構成される．一つ目のテストでは画面の中心に短い時間（16〜325 ミリ秒）提示される物体（車またはトラック）を正しく識別するタスクを遂行し，中心視の処理速度を測定する．二つ目のテストでは画面中央に提示される物体（車またはトラック）を正しく識別し，さらに周辺に提示される車の物体の位置（0，45，90，135，180，225，270，315 のいずれかの角度）を認識するタスクを遂行し，分割的注意能力を測定する．三つ目のテストは二つ目のテストに注意を散漫させるための三角の物体を配置したものであり，選択的注意能力を測定する．それぞれのテストでは刺激の提示時間が次第に短くなり，難易度が高くなっていく．被験者が 75% の精度で正解するのに必要な刺激提示時間がそれぞれのテストの得点となる．

4. 運転行動の分析

はじめに，運転支によるの行動変容効果を確かめるために運転セッションごとの運転行動指標を作成する．次に階層的重回帰分析を行い，支援種類ごとの支援効果の検証とドライバ特性・認知機能による支援効果の調整効果の分析を行う．ドライバ特性・認知機能による調整効果の存在は，ドライバ特性・認知機能よって支援効果が異なることを示し，運転支援システムの個人適合により効果的な支援を行うことの有効性が示唆される．階層的重回帰分析の概要を図 2 に示す．

4.1. 運転行動指標

支援効果を確かめるために，複数の安全な運転行動の指標を運転データ・映像データから計算する．用いる運転行動指標は Time To Collision (TTC)，停止フレーム数，左右確認回数，左右確認時の平均車速，左右確認時の平均注視秒数である．停止フレーム数以外の指標は [12] で使用されているものと同様である．これらの指標は 1 セッションごとに計算される．

4.1.1 TTC

TTC はある時点の速度を維持した場合の衝突までの時間であり，TTC の値が小さい運転セッションは衝突のリスクが高く危険な運転を行ったことを意味する．時系列フレームごとに被験者が運転する車と交差点において左右から通過する複数の自動車または自転車との TTC を計算し，セッションの中で最小の値をそのセッションの TTC とする．ただし，自動車または自転車と衝突したセッションについては TTC を 0 とする．

4.1.2 停止フレーム数

速度が 0.15km/h 未満となったフレーム数をブレーキにより停止しているフレームとみなし，セッション中の停止しているフレーム数を計算する．少ない停止フレーム数は一時停止が不十分であることを示す．

4.1.3 左右確認

左右確認行動を計測するために，映像データから運転中の被験者の顔向きを取得する．顔向きの取得にはオープンソースソフトウェアの Openface[24] を用いて，顔向きのピッチ，ヨー，ロール（radian）を 30Hz ごとに取得した．その後，窓幅を 15 とした移動平均によって，これらの顔向き時系列データの平滑化を行った．顔向きのヨー方向の角度の絶対値が $\theta = 0.17$ rad を超えたフレームを左右確認を行ったフレームとした．この閾値は [12] で使用されている値と同じであり，本研究でのデータセットにおいても左右確認を上手く検出することができた．左右確認を行っているフレームで連続しているものを左右確認フェーズとし，1 回の運転セッションごとの左右確認回数を左右確認フェーズの回数として算出した．少ない左右確認回数は不十分な安全確認を示す．

また，左右確認フェーズ中の平均車速をさらに 1 セッションの中で平均したものを左右確認時の平均車速とする．大

*1 https://www.millisecond.com/download/library/usefulfieldofviewtest

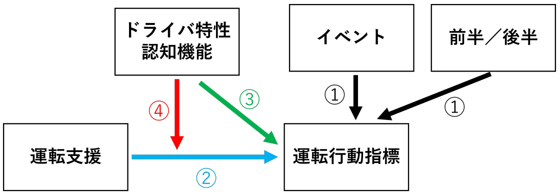


図 2　階層的重回帰分析の概要図．ステップごとに使用する変数を 1，2，3，4 と追加し，運転行動指標を説明する回帰モデルを構築する．

きい速度での左右確認は危険な運転行動であり，左右確認時の平均車速を算出することでこの危険な運転行動を評価する．

左右確認フェーズ秒数をセッション内で平均し，左右確認時の平均注視秒数を算出する．安全確認時の小さい注視秒数は不十分な安全確認につながる．

4.2. 階層的重回帰分析

4.2.1 ステップ 1：発生イベントの違い・慣れの影響の分析

運転行動に影響を与える要因として，支援内容とドライバ特性以外にも発生イベントの違い（自動車通過・自動車通過）や発生イベントへの慣れといった要因が考えられる．そのため支援内容とドライバ特性について分析を行う前に，これら二つの要因が運転行動にどのような影響を与えるかについて分析を行う．被説明変数は運転行動指標であり，各指標に対して以下の式で回帰分析を行う．

$$y = \beta_0 + \beta_{\mathrm{car\_event}} D_{\mathrm{car\_event}} \tag{1}$$
$$y = \beta_0 + \beta_{\mathrm{first\_half}} D_{\mathrm{first\_half}} \tag{2}$$

説明変数のダミー変数 $D_{\mathrm{car\_event}}$ は自動車通過イベントのセッションでは 1 の値をとり，自転車通過イベントのセッションでは 0 の値をとる．$D_{\mathrm{first\_half}}$ は全 10 回のセッションのうち前半 5 回のセッションでは 1 の値をとり，後半 5 回のセッションでは 0 の値をとる．

回帰分析の回帰係数 $\beta_{\mathrm{car\_event}}$，$\beta_{\mathrm{car\_event}}$，と回帰係数の p 値，決定係数 R^2 を表 1，2 に示す．有意水準を 5% に設定し，回帰係数の t 検定を行ったところ，発生イベントに関しては，TTC と左右確認回数において回帰係数が有意となった．自動車通過イベントが発生したセッションでは自転車通過イベントが発生したセッションに比べて TTC が小さくなり，左右確認回数が増加した．自動車は自転車よりも通過速度が速いので，自動車通過イベントでは TTC が短くなり，より多くの左右確認が行われたと考えられる．前半・後半セッションの変数に関しては左右確認時の平均注視秒数において回帰係数が有意となり，前半のほうが注視秒数が短かった．原因としては被験者が何度か自動車・自転車

表 1　発生イベント種類による運転行動指標の回帰分析．

運転行動指標	$\beta_{\mathrm{car\_event}}$	p	R^2
TTC	-0.703	<u>0.000</u>	0.124
停止フレーム	-0.021	0.839	0.000
左右確認回数	0.300	<u>0.003</u>	0.023
左右確認時の平均車速	0.039	0.712	0.000
左右確認時の平均注視秒数	-0.101	0.329	0.003

表 2　前半・後半セッションによる運転行動指標の回帰分析．

運転行動指標	$\beta_{\mathrm{first\_half}}$	p	R^2
TTC	-0.122	0.237	0.004
停止フレーム数	-0.057	0.583	0.001
左右確認回数	0.007	0.948	0.000
左右確認時の平均車速	-0.054	0.607	0.001
左右確認時の平均注視秒数	-0.270	<u>0.008</u>	0.018

イベントを経験するうちに，画面のどこに注目すれば効率よく交差点を直進することができるかを学び，視線の移動が少なくなったためと考えられる．これらの傾向は本来の目的である支援種類・ドライバ特性と運転行動指標の関係性の分析においてはノイズとなるため，各運転行動指標に対して有意となったダミー変数をこれからの分析では固定し，ノイズを抑制する．

4.2.2 ステップ 2：支援種類と運転行動の関係性の分析

次に支援の種類によって運転行動指標がどの程度変化するかを確認するため，支援種類の説明変数により運転行動指標の回帰分析を以下の式で行う．

$$y = \beta_0 + \beta_{s_0} D_{s_0} + \beta_{s_1} D_{s_1} + \beta_{s_2} D_{s_2} + \beta_{s_3} D_{s_3} + \beta_{s_4} D_{s_4} \tag{3}$$

ダミー変数 D_{s_0} は支援が行われなかったセッションで 1 の値をとり，D_{s_1}，D_{s_2} D_{s_3}，D_{s_4} はそれぞれ支援種類に関する変数であり，例えば D_{s_1} は 3.3 章で述べた支援 1 が行われたセッションで 1 の値をとる．

回帰分析の回帰係数と回帰係数の p 値，決定係数 R^2，回帰モデルの F 値を表 3 に示す．結果から，どの運転行動指標についても有意となった係数はなく，被験者全体をまとめて見ると支援の違いによる運転行動の変化は確かめられなかった．また，支援種類を考慮せずに支援あり/なしのダミー変数を用いた回帰分析も行ったが，その場合でも支援による運転行動の変化は確かめられなかった．

4.2.3 ステップ 3：ドライバ特性・認知機能と運転行動の関係性の分析

ステップ 2 で使用した支援種類のダミー変数に加えて，ドライバ特性・認知機能の変数を追加し回帰分析を行う．ド

表 3　支援種類よる運転行動指標の回帰分析.

運転行動指標	β_{s_0} (p)	β_{s_1} (p)	β_{s_2} (p)	β_{s_3} (p)	β_{s_4} (p)	R^2	F (p)
TTC	0.06 (0.55)	0.05 (0.62)	0.11 (0.24)	0.11 (0.26)	-0.04 (0.69)	0.12	10.79 (0.00)
停止フレーム数	-0.12 (0.25)	0.17 (0.10)	-0.05 (0.61)	-0.03 (0.79)	0.03 (0.80)	-0.00	0.90 (0.46)
左右確認回数	-0.10 (0.35)	-0.08 (0.42)	0.01 (0.89)	0.10 (0.35)	-0.06 (0.58)	0.01	2.11 (0.06)
左右確認時の平均車速	0.08 (0.48)	-0.09 (0.41)	-0.11 (0.30)	0.10 (0.37)	0.02 (0.83)	-0.00	0.63 (0.64)
左右確認時の注視秒数	-0.04 (0.69)	0.05 (0.64)	0.08 (0.43)	-0.01 (0.95)	0.03 (0.77)	0.01	1.53 (0.18)

表 4　支援種類とドライバ特性・認知機能による運転行動指標の回帰分析.

運転行動指標	β_{s_0} (p)	β_{s_1} (p)	β_{s_2} (p)	β_{s_3} (p)	β_{s_4} (p)	R^2_{adj}	F (p)
TTC	0.07 (0.42)	0.07 (0.44)	0.14 (0.13)	0.12 (0.17)	-0.01 (0.88)	0.24	6.40 (0.00)
停止フレーム数	-0.12 (0.21)	0.17 (0.08)	-0.05 (0.60)	-0.03 (0.75)	0.03 (0.74)	0.09	3.72 (0.00)
左右確認回数	-0.10 (0.15)	-0.08 (0.26)	0.02 (0.79)	0.09 (0.20)	-0.06 (0.42)	0.54	16.50 (0.00)
左右確認時の平均車速	0.07 (0.28)	-0.08 (0.26)	-0.09 (0.18)	0.09 (0.21)	0.01 (0.86)	0.56	12.89 (0.00)
左右確認時の注視秒数	-0.03 (0.74)	0.06 (0.49)	0.09 (0.27)	0.00 (0.95)	0.05 (0.56)	0.38	6.80 (0.00)

ライバ特性の変数は質問紙調査によって得られた 31 個の変数であり，認知機能の変数は TMT と UFOV に関する 6 個であり，すべての変数に標準化を行った．ステップ 2 で用いた支援種類の変数に加えてこれらのドライバ特性・認知機能の変数を使用し，増加法の逐次変数選択により自由度修正済み決定係数が増加するまで変数を追加し回帰モデルを構築した．ただし，支援種類に関する全ての変数は最初に必ず追加し，その後ドライバ特性・認知機能の変数を追加する．表 4 に変数選択後の回帰分析における支援種類のダミー変数の回帰係数と回帰係数の p 値，自由度修正済み決定係数 R^2_{adj}，回帰モデルの F 値を示す．

有意となった支援種類のダミー変数はなかったが，ドライバ特性・認知機能変数を追加することですべての行動指標において，ステップ 2 の回帰モデルよりも自由度修正済み決定係数が上昇した．特に左右確認回数と左右確認時の平均車速の自由度修正済み決定係数はそれぞれ，0.54，0.56 と大幅に上昇し，ドライバ特性によってこれらの指標が大きく説明されることが示された．一方で停止フレーム数の自由度修正済み決定係数は 0.09 と他の行動指標に比べて低く，支援種類変数とドライバ特性変数では停止フレーム数を説明できないことを示している．

4.2.4　ステップ 4：ドライバ特性・認知機能と支援種類の交互作用の分析

最後に，支援種類とドライバ特性・認知機能の変数の交互作用項によってどの程度行動指標が説明されるかを明らかにする．この交互作用項はドライバ特性・認知機能に応じて異なる支援効果をとらえる役割を持つ．ステップ 3 で使用した支援種類変数，ドライバ特性・認知機能変数に加えて，支援種類 – ドライバ特性・認知機能のすべての組合せによる交互作用項を用いて増加法の逐次変数選択により回帰モデルを構築する．表 5 に変数選択後の回帰分析における支援種類のダミー変数の回帰係数と回帰係数の p 値，自由度修正済み決定係数 R^2_{adj}，回帰モデルの F 値を示す．

停止フレーム数の回帰モデルにおいて $\beta_{s_1} = 0.18$ の p 値が 0.02 で有意となった．つまり，音声支援の内容が「一時停止です.」であった場合，他の支援に比べて停止フレーム数が増加した．自由度修正済み決定係数に関しては全ての行動指標においてステップ 3 の回帰モデルよりも高い値となった．そのため，支援種類とドライバ特性・認知機能の変数の交互作用は運転行動を説明するのに有効な変数であり，ドライバ特性・認知機能によって効果的な支援種類が異なることが分かる．特に停止フレーム数の決定係数が大きく増加したことから，停止フレーム数は支援による行動変容効果がドライバに大きく依存していることが示された．

5.　考察

ステップ 3 とステップ 4 の回帰分析の結果（表 4，表 5）を比較し，交互作用項の追加による回帰モデルの決定係数が最も向上した停止フレーム数について，どのような交互作用項が精度向上をもたらしたかを分析する．表 6 に特徴量選択後の回帰モデルにおいて係数の p 値が 0.05 未満であった交互作用項を示す．16 個の交互作用項が有意となり，そのうち 15 個が一時停止を知らせるだけの支援 1 との交互作用項であった．このことから，支援 1 が行われたときにドライバ特性や認知機能に応じて停止フレーム数に変化が起きやすいことが分かる．TMT や UFOV に関する係数が負となっているため，認知機能が低いドライバは一時停止を知ら

表 5　支援種類とドライバ特性・認知機能，またそれらの交互作用による運転行動指標の回帰分析.

運転行動指標	β_{s_0} (p)	β_{s_1} (p)	β_{s_2} (p)	β_{s_3} (p)	β_{s_4} (p)	R^2_{adj}	F (p)
TTC	0.07 (0.36)	0.06 (0.45)	0.13 (0.09)	0.11 (0.13)	-0.01 (0.87)	0.49	4.73 (0.00)
停止フレーム数	-0.11 (0.16)	0.18 (0.02)	-0.05 (0.56)	-0.02 (0.81)	0.04 (0.63)	0.43	4.62 (0.00)
左右確認回数	-0.09 (0.10)	-0.08 (0.16)	0.02 (0.72)	0.10 (0.09)	-0.05 (0.37)	0.71	9.69 (0.00)
左右確認時の平均車速	0.08 (0.20)	-0.08 (0.19)	-0.10 (0.10)	0.07 (0.22)	0.00 (0.99)	0.68	9.31 (0.00)
左右確認時の注視秒数	-0.03 (0.61)	0.06 (0.40)	0.09 (0.18)	-0.01 (0.86)	0.05 (0.49)	0.58	6.07 (0.00)

表 6　停止フレーム数の特徴量選択済み回帰モデルにおいて有意であった交互作用項.

支援種類	ドライバ特性・認知機能項目	回帰係数
support1	TMT_B（認知機能）	-0.92
	UFOV_1（認知機能）	-1.10
	運転に対する消極性（DSQ）	0.85
	せっかちな運転（DSQ）	0.84
	几帳面な運転（DSQ）	0.82
	細かいハンドル操作や速度調整が必要な道で運転（WSQ）	-0.62
	細かいハンドル操作をひんぱんにする運転（WSQ）	0.73
	ルートや目的地を探しながら運転（WSQ）	-1.36
	動作機能の変化（運転者特性・状態）（自覚的）	0.50
	状況対応能力の変化（判断・意図形成）（自覚的）	1.37
	状況把握能力の変化（状況理解・予測）（自覚的）	0.74
	細かい操作能力の変化（タスク/システム要因）（自覚的）	-0.58
	勤勉性（TIPI）	0.76
	神経症傾向（TIPI）	-0.57
	開放性（TIPI）	-0.31
support3	状況把握能力の変化（状況理解・予測）（自覚的）	0.28

せる支援のみの場合は停止フレームが大きいことが分かる．また，几帳面な運転傾向にあるドライバや勤勉性が高いドライバは状況指示だけでもしっかり停止する傾向にあった．さらに，状況対応能力や状況把握能力の低下を自覚しているドライバも状況指示の支援でしっかり停止する傾向があり，運転能力の低下に気づき安全運転を心がけているため，少ない情報の支援でも安全運転を行った可能性がある．

しかし，多くの交互作用項が有意となっていることから，ドライバのある特性のみに着目して支援効果の変容を結論付けることは難しく，支援効果は多様なドライバ特性や認知機能に応じて変化することが考えられる．

6.　まとめ

本研究では，高齢ドライバに向けた一時停止交差点での運転支援において，効果的な支援内容や情報の多さ，また支援による運転行動変容とドライバ特性・認知機能との関係性を分析した．回帰分析の結果，全体的には支援内容や情報の多さによって運転行動に変化はなかった．しかし，支援種類とドライバ特性・認知機能の交互作用項を追加することで運転行動を大きく説明できることが分かり，ドライバ特性・認知機能によって効果的な支援の種類は異なることが明らかになった．特に停止フレーム数は本研究で用いた運転行動指標の中で最も支援効果がドライバ特性・認知機能に依存した指標であり，ドライバの多様な特性に応じて支援効果が異なることが示唆された．本研究では，ドライバ特性・認知機能によって支援効果が異なった理由や，今後どのように運転支援の個人適応を行えばよいかなどの分析は行われておらず，これらは今後の課題である．

参考文献

[1] 内閣府：令和６年版交通安全白書 全文 (2024).（2024 年 7 月 12 日取得）.

[2] Anderson, S. W., Rizzo, M., Shi, Q., Uc, E. Y. and Dawson, J. D.: Cognitive abilities related to driving performance in a simulator and crashing on the road, *Driving Assessment Conference*, Vol. 3, No. 2005, University of Iowa (2005).

[3] Ragland, D. R., Satariano, W. A. and MacLeod, K. E.: Driving cessation and increased depressive symptoms, *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, Vol. 60, No. 3, pp. 399–403 (2005).

[4] Bengler, K., Dietmayer, K., Farber, B., Maurer, M., Stiller, C. and Winner, H.: Three decades of driver assistance systems: Review and future perspectives, *IEEE Intelligent transportation systems magazine*, Vol. 6, No. 4, pp. 6–22 (2014).

[5] Martinez, C. M., Heucke, M., Wang, F.-Y., Gao, B. and Cao, D.: Driving style recognition for intelligent vehicle control and advanced driver assistance: A survey, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 19, No. 3, pp. 666–676 (2017).

[6] McGwin Jr, G. and Brown, D. B.: Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 31, No. 3, pp. 181–198 (1999).

[7] Dukic, T. and Broberg, T.: Older drivers’ visual search behaviour at intersections, *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 15, No. 4, pp. 462–470 (2012).

[8] Reitan, R. M. and Reitan, R. M.: Trail Making Test: Manual for Administration and Scoring (1992).

[9] Ball, K. and Owsley, C.: The useful field of view test: a new technique for evaluating age-related declines in visual function., *Journal of the American Optometric Association*, Vol. 64, No. 1, pp. 71–79 (1993).

[10] Yonekawa, T., Sasaki, K. and Iwazaki, K.: Driving Behavior Analysis of Elderly Drivers Passing Through Stop Sign Intersection Using Driving Simulator, *International journal of automotive engineering*, Vol. 5, pp. 137–144 (2014).

[11] Yonekawa, T., Tanaka, T., Aoki, H., Yamagishi, M., Yoshihara, Y., Takeuchi, E., Takahashi, I., Ninomiya, Y., Kanamori, H., Suzuki, T. and Inagami, M.: Relationship between Senior Drivers’ Cognitive and Physical Functions and Urban Driving Behaviors during Behind-the-Wheel Driving Education Sessions with Driving Instructors, *Journal of Transportation Technologies*, Vol. 7, pp. 148–166 (2017).

[12] Yoshihara, Y., Tanaka, T., Osuga, S., Fujikake, K., Karatas, N. and Kanamori, H.: Identifying High-Risk Older Drivers by Head-Movement Monitoring Using a Commercial Driver Monitoring Camera, *2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, pp. 1021–1028 (2020).

[13] Ge, Y., Luo, X. and Qu, W.: Impact of feedback content on dangerous driving behaviours based on the triangle model of responsibility, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* (2023).

[14] Fu, Q., Wu, C. and chao Lv, N.: Study on the Reaction Time for Road Traffic Signs Information Volume, *ICTIS 2013*, pp. 1533–1541 (2013).

[15] Chen, Y., Du, Z., Xu, J. and Luo, S.: Impact of traffic signs on driving speed at mountain highway tunnel entrances- The role of low-volume intermittent information, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 106, pp. 328–339 (2024).

[16] Xu, J. and Bowers, A. R.: Hazard warning modalities and timing thresholds for older drivers with impaired vision., *Accident; analysis and prevention*, Vol. 202, p. 107599 (2024).

[17] Adell, E., Várhelyi, A. and Hjälmdahl, M.: Auditory and haptic systems for in-car speed management–A comparative real life study, *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 11, No. 6, pp. 445–458 (2008).

[18] Ishibashi, M., Okuwa, M., Doi, S. and Akamatsu, M.: Indices for characterizing driving style and their relevance to car following behavior, *SICE Annual Conference 2007*, IEEE, pp. 1132–1137 (2007).

[19] 小嶋理江，青木宏文，山内さつき，島崎　敢，米川　隆：高齢ドライバのための短縮版「運転負担感受性チェックシート」作成の試み，自動車技術会論文集，Vol. 53, No. 3, pp. 560–566 (2022).

[20] Gosling, S. D., Rentfrow, P. J. and Swann Jr, W. B.: A very brief measure of the Big-Five personality domains, *Journal of Research in personality*, Vol. 37, No. 6, pp. 504–528 (2003).

[21] 小塩真司，阿部晋吾，Cutrone, P.：日本語版 Ten Item Personality Inventory（TIPI-J）作成の試み，パーソナリティ研究， Vol. 21, No. 1, pp. 40–52 (2012).

[22] Akamatsu, M., Hayama, K., Iwasaki, A., Takahashi, J. and Daigo, H.: Cognitive and Physical Factors in Changes to the Automobile Driving Ability of Elderly People and Their Mobility Life .Questionnaire Survey in Various Regions of Japan, *Iatss Research*, Vol. 30, pp. 38–51 (2006).

[23] Bowie, C. R. and Harvey, P. D.: Administration and interpretation of the Trail Making Test, *Nature Protocols*, Vol. 1, pp. 2277–2281 (2006).

[24] Baltrušaitis, T., Robinson, P. and Morency, L.-P.: Openface: an open source facial behavior analysis toolkit, *2016 IEEE winter conference on applications of computer vision (WACV)*, IEEE, pp. 1–10 (2016).

ChatGPT を介した
小規模なフロー型データベース管理システム

松本航太郎 †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 ChatGPT をはじめとした生成 AI が急速に発展しており、自然言語を用いたシステムインターフェースや Text-ToSQL タスクでの活躍が期待されている。TextToSQL とは、ユーザが自然言語で入力したクエリをもとに SQL 文を生成するタスクであり、この技術の発展により多くの人が容易にデータを活用することができるようになると考えられる。しかし生成 AI はハルシネーションと呼ばれる誤った情報の生成など、いくつかの課題を抱えている。それに付随して TextToSQL タスクにおいては意図しないテーブルの結合や文法の間違いなどの問題が発生してしまう。

そこで本研究では、SQL クエリを要するリレーショナルデータベースではなく NoSQL の一種である Google Cloud Firestore データベース (以下、Firestore という) に対して、ChatGPT を介したデータの追加・取得および削除が行えるシステムを提案する。Firestore はデータを「コレクション」と「ドキュメント」からなる階層構造で保管するドキュメント指向・フロー指向型データベースであり、本システムはユーザから受け取った自然言語の指示文をもとに Firestore の適切な位置へデータを挿入・取得および削除を実行し、その結果をユーザへ通知するというものである。この手法では SQL クエリを生成する必要がなく、データベース内の対象となる階層を選択することにのみ重点を置くため、誤った結果の生成が起こりにくいと考えられる。

2. 関連研究

TextToSQL のタスクには以前から、形態素解析や深層学習など様々な手法が用いられてきた。加来らによる研究では [1]、リレーショナルデータベースのスキーマ構造に加えデータの内容まで考慮した手法の検討がなされている。また、ChatGPT を利用した手法として Wenjun らによる研究 [2] を挙げる。この研究では、著者らの以前の研究に基づく独自のデータベース (COM-DB) に対する SQL クエリを ChatGPT に生成させている。また、それらを用いた複数テーブルの結合実験やその結果についての議論もなされている。

3. システム構成

本システムの構成を図 1 に示す。今回の研究では、システムインターフェースとして slack を、ChatGPT のモデルは 2024 年 11 月現在最新である ChatGPT-4o を使用した。slack 上でユーザが送信した文章はまず ChatGPT によって、データの追加・取得・削除あるいは Firestore の操作に関係ない会話のいずれであるか判断される。Firestore 操作に関係のない会話であると判断された場合には、通常の ChatGPT として振る舞いユーザと対話することができる。それ以外の場合には、ChatGPT は追加すべきデータの内容や削除すべきデータの名前、Firestore 内のどの部分を参照するかなどを決定し出力する。出力された内容をもとに、Python プログラムを用いて実際のデータ操作を行う。そののち、操作の成否や内容を再度 ChatGPT が参照してユーザに返答する。

また、ChatGPT にはあらかじめ、役割、Firestore の現在の構造図、モデルケースをプロンプトとして設定しておくことが必要である。本システムでは先述した操作の内容を判断する部分のプロンプト以外にも、操作の結果をもとに回答文を生成するプロンプト、削除処理の際に削除対象を決定するプロンプトの合計 3 種類を使用しているが、ここでは操作の内容を判断するプロンプトの一部を抜粋して図 2 に示す。

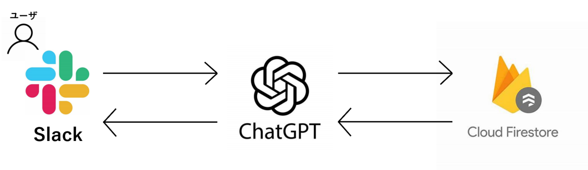


図 1　システム構成図

A small-scale flow-based database management system via ChatGPT

†1 KOTARO MATSUMOTO, Tokyo Denki University
†2 MASAYUKI IWAI, Tokyo Denki University


```
あなたは、質問をもとにデータベースから情報を取り出すエージェントです。
質問がきたら、回答に必要な情報を問い合わせてください。


使用するのはフロー型データベース「FireStore」です。
本日の日付は、{}です。

データベースの情報を読み取る問い合わせが与えられた場合は先頭に0を出力したのち、
参照するデータベースの情報をすべて、スペース区切りで出力してください。

データベースに情報を挿入する問い合わせが与えられた時は先頭に1を出力したのち、
挿入するタイトルと内容を出力し、最後にデータを挿入する位置をスペース区切りで出力してください。

データベースの情報を削除する問い合わせが与えられた時は先頭に2を出力したのち、
参照する場所をスペース区切りで出力してください。

データベースの問い合わせと関係ない入力が与えられた場合は先頭に3を出力したのち、
普通のChatGPTとして振る舞ってください。


データベースの基本構造は、以下のようになっています。'FirestoreDB'がルートコレクションです。

FirestoreDB
├── Mutable
|    ├── Schedule
|    ├── Notes
|    └── Tasks
└── Immutable
     └── Person


以下に回答例を示します。


【「松本さんの誕生日を知っていますか？」と質問された場合の回答】
0
FirestoreDB Immutable Person


【「BTI論文投稿締め切りを11/29  23:59って覚えといて」と要求され、日付が2024年10月25日の場合】
1
BTI論文投稿締め切り {{'date':'2024年11月29日','deadline':'23:59'}} FirestoreDB Mutable Schedule


【「研究室訪問の予定を削除して」と要求された場合の回答】
2
FirestoreDB Mutable Schedule


【「こんにちは！今日は良い天気ですね」と入力された場合】
3
こんにちは！そうですね。なにかお手伝いできることはありますか？
```

図 2　本システムで使用しているプロンプト (抜粋)

4.　実用例案およびアンケートの実施

本研究ではユーザの想定通りのデータベース操作ができているか、またユーザのデータベース操作に対する心理的抵抗を低減できているかが肝要である。そこで、ユーザのスケジュールやタスク管理を目的としたデータベースと、架空の小売店を想定したデータベースを用意し、データベース操作経験者・未経験者合計 20 名を対象にアンケートを実施した。アンケートに際し、実際に任意の質問文 (追加・取得・削除操作のいづれか) を送信し、操作を体験させた。設問および回答のグラフを図 3 に示す。操作の正確性を示す「システムは質問に対して正しく回答してくれましたか」という項目に対する「思った通りの情報を得ることができた」の回答率は 70 %であった。また、経験者・未経験者ともにこういったシステムを使える状況であれば積極的に使っていきたいという結果が得られた。

5.　課題

ChatGPT を使用する際には、一度に送信するプロンプトおよび文章が 30,000 トークンを超過することができない。ここで ChatGPT におけるトークンは OpenAI 社が計算方法を提供しており、およそ英単語 1 つにつき 1 トークン、ひらがな 1 文字につき 1 トークン、漢字一文字につき 1 から 3 トークンが目安である。また、本システムでは、先述の通りデータの内容を ChatGPT が参照してユーザへの応答を生成している。そのため、FireStore データベースにおいては単一のドキュメントが非常に大きい場合や単一のコレクションに多くのドキュメントが存在する場合に 30,000 トークンを超過してしまう場合が考えられる。解決策として、API 呼び出しを複数回に分ける方法が挙げられるが、応答速度の遅延や運用コストの増大などが懸念される。

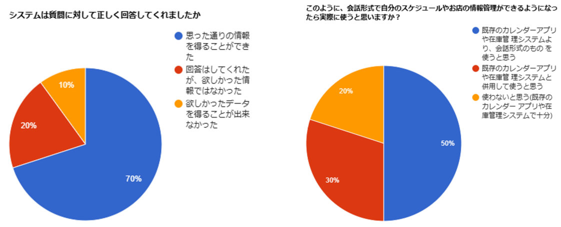


図 3　アンケート結果

6.　おわりに

本研究では従来盛んに研究されてきたリレーショナルデータベースではなく、NoSQL である FireStore データベースに対する ChatGPT を介したデータ操作の一例を挙げ、それらがユーザのデータベース操作に肯定的な影響をもたらすことを示した。今後は先述した課題の解決に加え、英語と日本語でプロンプト及び質問文を記述した際の比較実験等を行っていく。また、ChatGPT にとって操作しやすいデータベース構造や適切なプロンプトについては最適解が非常に見つけづらいため、運用実験を交えて検討していく。

参考文献

[1] 加来宗一郎，西田京介，富田準二：データ値を考慮した Text-to-SQL の検討，人工知能学会全国大会論文集，Vol. JSAI2020, pp. 4Rin109–4Rin109（オンライン），10.11517/pjsai.JSAI2020.$0_{4}Rin$109(2020).

[2] Lin, W., Babyn, P., yan, Y. and Zhang, W.: Context-based Ontology Modelling for Database: Enabling ChatGPT for Semantic Database Management (2023).

農山村地域における地域住民意識変化プロセス

長尾敦史†1
岡山大学

1. はじめに

農山村地域のような条件不利地域で地域住民が何らかのビジネスを創造する際には課題が山積しているところからビジネスを創造する必要がある．地域住民が地域でビジネスを始めようとするにあたり，いくつかの障壁があるが，特に地方の地域住民がビジネスを立ち上げ成長させるメカニズムを明らかにすることが重要である．さらに本研究では，地域住民がビジネスを行う上でどのように知識を獲得していくかに着目する．なぜならば農山村地域に住む住民は，ビジネスだけに専念した経験が浅く，経験則で培った知識でビジネスを行う．そのためほとんどの先行研究では，強力なリーダーによる成功事例やビジネスモデルの記述が中心である［1］．本研究では知識を獲得しながらいかに行動を変容していくか，そのモデルを提示する．

2. 研究のフレームワーク

2.1 Weick の生態学的変化

個人と個人の相互作用は，経済合理性と考えるならば，ゲーム理論で説明できるが，時に地域住民は，戦略的依存関係ではない行動をとる．企業の場合，金銭などの外因的な動機を使い関係を構築することができるが，地域においては，人々の思いなどを内因的な動機で関係性を構築する必要がある．

Weick［2］は，組織を静的な意味合いをもつ「組織（Organaization）」ではなく，動的な「組織化（Organizing）」と示した．組織化を，意識的な相互連結行動によって多義性を削除するために妥当だと皆が思う文法と定義し，進化モデルを定式化している．組織化進化プロセスとして，生態学的変化（Ecological Change），イナクトメント（enactment），淘汰（Selection），保持（Retention）の 4 つの要素を示している．イナクトメントは，環境に行動を持って働きかけることである．人は単に環境に反応するだけでなく，自分の行動を通して環境を形作る［2］．

2.2 組織的知識創造理論

地域ビジネスにおいては地域住民が知識を獲得しながら事業創造マインドを持つ必要がある．知識獲得の理論としては，個人，集団，組織，環境の相互作用の中で知識獲得が起こる知識創造理論がある．

イノベーションを起す組織は，新しい知識や情報を創出しながら，環境を作り変えていくがその知識創造プロセスについては，組織的知識創造理論［3］が，SECI モデルを提唱している．SECI モデルでは，知識は暗黙知と形式知が存在し，この二つの知が相互変換されることにより新しい知識が創造される．地域には住民の経験や生活習慣に基づいた形式知化されていない暗黙知が豊富に存在する．例えば，住民同士の交流やワークショップなどを開催し暗黙知を抽出，それらを形式知化し，共有することができる．

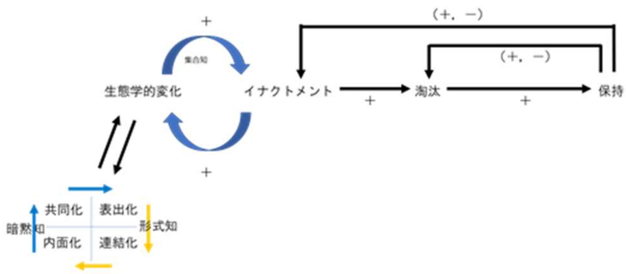
一方で地域では様々な利害関係者が場当たり的なつながりや関係性で成立し，企業のような組織は存在しづらい．また動機付けについても，企業では従業員は仕事に対する強い興味や探求心など，人の内面的な要因によって生まれる内発的動機付けや報酬や評価，罰則や懲罰といった外部からの働きかけによる外発的動機付けがあるが，組織と住民で雇用関係がないような地域では，ほとんどは内発的動機付けであり，内発的動機づけを促す仕掛けが必要である．

3. ビジネス創出のための関係者意識進化モデル

Weick［2］の組織化進化プロセスは，意識の変化を説明することはできるが，事業創造において，何を淘汰するか，保持するかまでは言及されていない．また SECI モデルは，知の創造プロセスであり，共通の認識をもつなど，意識の変化は説明できない．

そこで本研究では，地域住民の意識の変化を促す組織進化プロセスと SECI モデルを組み合わせた地域ビジネス創出のための住民意識進化モデル（図 1）を提案する．

図 1　ビジネス創出のための関係者意識進化モデル



参考文献

［1］村山元展,2009,「農村コミュニティビジネスの実態と展望」，地域政策研究（高崎大学地域政策学会）第 12 巻，第 1 号,pp161-176

［2］Weick, Karl E. ,1979, The social psychology of organizing. Reading, MA: Addison-Wesley. (2nd ed.)

［3］野中郁次郎，竹内弘高,1996,『知識創造企業』，東洋経済新報社

The process of changing the consciousness of local residents in rural areas

†1 ATSUSHI NAGAO, Okayama University

新興国における交通渋滞とドライバー行動変容
（第 1 報）

坪井務†1　　大島創†1　　水上美香†1
（一社）移動行動イノベーションフォーラム†1

1.　はじめに

交通渋滞は全世界的な課題であるが，特に新興国においては大きな課題の一つとなっており，地球温暖化の問題が叫ばれる中喫緊に解決しなければならない状況にある．しかしながら，新興国特にインドにおいて，急速な経済の発展に伴って，物資や人の移動も多くなる.一方で，交通アクセス改善等はそのための費用もかかることから追いついていかない難しい課題がある．本報告では，インドのカルナタカ州ベンガルール市にて, 2023 年 10 月から 2 ヶ月間にわたって，ベンチャー企業の協力のもとスマートホンを活用した車両情報を活用しドライバーの行動データを収集する青売りケーションを活用し，実際の交通渋滞の中でどのような交通情報がドライバーに対して，行動変容の効果があるかを検討した結果を報告する，

ドライバーの行動解析に関しては，これまでも様々な研究が行われてきたテーマである．神邊らの操舵反力特性の違いによるドライバーの感じ方の解析によりドライバーに与える心理の研究[1]や，水谷らの車両の特性の変動を考慮したドライバーモデルの構築による特性研究[2]などのドライブシミュレータを活用した運転挙動解析や，天野らの実車データから得られるプローブデータから，運転行動の予測の研究[3]による運転行動の予測など，これらはすべてドライバーの運転動作の予測をする研究であった．今回の研究では，新興国インドの実環境において，交通渋滞時の交差点において表示される交通情報の内容に基づき，ドライバーの個性（属性）による行動変容を観測するという点で，運転行動のモデル化を試みるというドライバー目線にたった新しいアプローチによる行動変容の解析を行った点でこれまでにはない取り組みを行った.

2.　交通渋滞とドライバーの行動

2.1　試験概要

今回実施した試験は，インドにおいても特に交通渋滞の激しいベンガルール市[4]を対象に，現地タクシー会社の協力を得て 2023 年 10 月から 11 月の 2 か月間の月曜から金曜までの午前，午後に渋滞時間帯に，主要交差点 11 ヶ所におけるデータを収集した．これらの対象道路と交差点を表 1 にまとめる．また，主要交差点の位置に交差点 ID 番号を付記して図 1 に示す. なかでも市中心部の Mahatma Gandhi Road（MG 道路）が最も交通渋滞が激しく，日本の ODA として交差点 28 ヶ所に日本式交通信号機と，交通情報表示版 3 基が設置され，2024 年 12 月より運用開始予定とされている[5]対象地域でもある.

表 1　試験条件

Table 1　Condition of Field Test.

項目	内容
被験者総数（延べ人数）	4，050 人 タクシー会社ドライバー（90%），残り一般ドライバーのボランティアによる
場所：主要道路の 11 ヶ所交差点（ID 番号）	Mahatma Gandhi Road（3, 5, 7, 9, 11） Swamy Vivekanada Road（1, 15） Varthur Road（13, 19, 21） Kundalahalli Main Road（17）
有効トリップ数	652 トリップ
観測時間帯	曜日：月曜から金曜まで 午前：7 時から 11 時まで 午後：17 時から 21 時まで

図 1　主要交差点位置

Figure 1 Major Junction location

試験にて利用した交通情報取集ツールは，インドのベンチャー企業開発のスマートホンを活用したアプリケーションを用いた．このアプリケーションの特徴は，ドライバーの運転挙動（急ブレーク，急ハンドル，急発進，不注意運転）の他，車両位置情報，車速などの運転情報の収集が可能となっており，主にドライバーの安全運転スコアの表示による安全運転向上を図ることに役立てている．この一例としてスマートホンの画像を図 2 に示す.

Traffic Congestion and Driver Behavior Change in Emerging Countries
†1 TSUTOMU TSUBOI, Mobility and Behavior Innovation Forum
HAJIME　OSHIMA
MIKA MIZUKAMI

図 2　交通情報スマートホンアプリケーション例

Figure 2 Example of Smartphone Application

試験への応用として，このスマートホンアプリケーションに，主要交差点に近づいた時点で，迂回路を選択した場合に目的地までの到達時間に有意差が生じた場合にのみ，迂回路への選択を示唆する情報をドライバーに提供する工夫を付加した．スマホに現れる交通表示内容を図 3 に示す．図にしめすように，注意喚起（ID=11），状況通知（ID＝12），迂回路への誘導示唆（ID=13）と総合表示（ID=14）を用いた，なお，表示内容は，トリップ毎にランダム表示されるように設定してあり，表示内容による行動変容への交通表示内容による偏りを極力排除する環境を構築した．

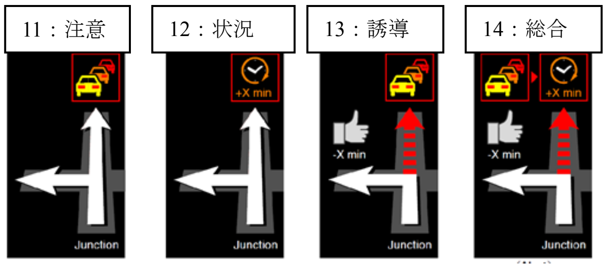


図 3　交通情報表示内容

Figure 3 Traffic Information Contents

試験手法としては，ドライバーが渋滞のある主要交差点にさしかかる手前で（交差点 400m 手前と 100m 手前の 2 ヶ所），表示される交通情報を確認することにより，迂回路の選択の可否を行動変容の傾向として把握することにある．この試験概要をまとめると，図 4 のようなフローにまとめることができる．実環境の対象交差点での位置（P）と個人属性の熟練度（E）とリスクテイキング傾向（R），対象交差点にて提供（F）される交通情報内容（C）を環境条件とし，運転行動として，車両の制御としてアクセル情報（A）とジャイロ情報（G）のプローブ情報を用い，最終的にドライバーが迂回路への行動変容が行われたか否かの結果（B）のデータを収集した．収集データから，これらのパラメータの関係性を求め，行動変容モデルを構築することを目指した．このモデル化により将来ドライバーの属性により，行動変容が促される交通情報の提供を工夫することで，一定の割合の車両の分散がはかれれば，交通渋滞の緩和につながる仕組みを見出すことが可能となる．実際，国内において交通分散の研究が行われており，太田らが熊本において交通量の 1 割を削減することで渋滞が半減するという研究成果の報告がある[6].

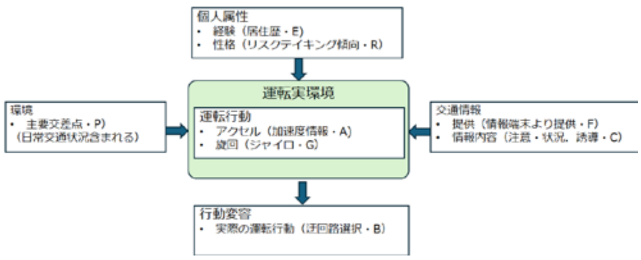


図 4　試験概要フロー

Figure 4 Field Test Flow

2.2　試験結果

2.2.1 パラメータとモデル化

今回の試験にて収集される情報（パラメータ）を表 2 にまとめる．

表 2　パラメータの種類

Table 2 Parameters set

シンボル	内容
C	交通情報表示内容
F	交通情報表示あり・なし
R	リスク対キング傾向
G	ジャイロ情報
E	熟練度（居住歴）
A	アクセル情報
P	交差点ID
B	行動変容あり・なし

収集されたパラメータから，行動変容あり・なし（B）の結果を導くための関係をベイジアンネットワークにより解析し，その結果を図 5 にしめす．各パラメータの組み合わせ試行から得られた最適化結果をしめした．この関係性は図 4 にしめした試験フローによく適合するといえる．すなわち，対象交差点（P）にて，交通渋滞が発生し，迂回路の選択による時間短縮が図れそうな場合に，交通情報が表示され（F）かつその表示される内容（11：注意，12：状況，13：誘導，

14：総合，10：表示無し）（C）がトリップ毎にランダムに発生する仕組みになっている．そして，熟練度（E）（ここでは居住歴）が高いドライバーはアクセル操作（A）が安定していることや，リスクテイキング傾向（R）が高いドライバーはハンドル操作をよく行うことから車両向き（G）が変化することも図 5 のベイジアンネットワークが実態をよく表していることがいえる．リスクテイキング傾向に関しては，滝沢らの既研究[7]にて報告済み．

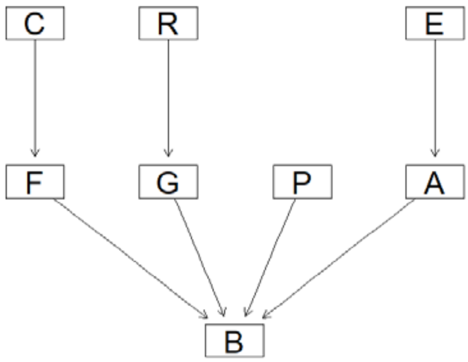


図 5　ベイジアンネットワーク

Figure 5 Bayesian Network

このベイジアンネットワークを基に，行動変容に至るまでのモデル式は，以下の式(1)のように表すことができる．

$$B \sim G^* + A^* + F + P \qquad \text{(logit)} \qquad (1)$$

$$G^* = \mathrm{lm}\,(G \sim R), \qquad A^* = \mathrm{lm}\,(A \sim E)$$

（但し、G と A はそれぞれ R と E の一般回帰推定値を意味する）

2.2.2 モデル解析（その１）

今回観測した有効 652 トリップから得られる式(1)の結果を表 3 に示した．解析には MCMC 法（モンテカルロマルコフチェーン）を用い，繰り返いし計算 2000 回，ウォームアップを 1000 回のセットを 4 回実施する手法を用いた．

表 3　MCMC 解析結果

Table 3 Result of MCMC analysis

Regression Coefficients:

	Estimate	Est.Error	l-95% CI	u-95% CI	Rhat	Bulk_ESS	Tail_ESS
Intercept	10.30	7.54	-4.42	25.11	1.00	1760	1901
A_pred	-1.41	13.08	-26.95	23.69	1.00	1959	2132
G_pred	-4.55	2.37	-9.28	0.10	1.00	1830	995

表 5 からは，アクセル（A），ジャイロ（G）ともに負の係数となり，特に（G）の値が大きいことから，移動が少ないドライバーが行動変容する傾向が低い結果となった．この意味することは，過渋滞下においては車線変更等も困難な状況に置かれていることも原因の一因と考えられる．

また，個人属性の観点から，交通情報内容と行動変容のし易さを図 6 に示した．図 6 からは交通情報表示がない（C＝10）場合に行動変容が起き．リスクテイキング傾向が低くかつ熟練度（居住歴）が低いドライバーが総合情報表示にて行動変容がし易い結果となり，ベテランドライバーは交通情報表示が無くても自ら行動変容を起こす一方，地域になじみが少なくリスクテイキング傾向が少ないドライバーは，交通情報提示を頼りに行動変容を起こす傾向にあることが想定できる．

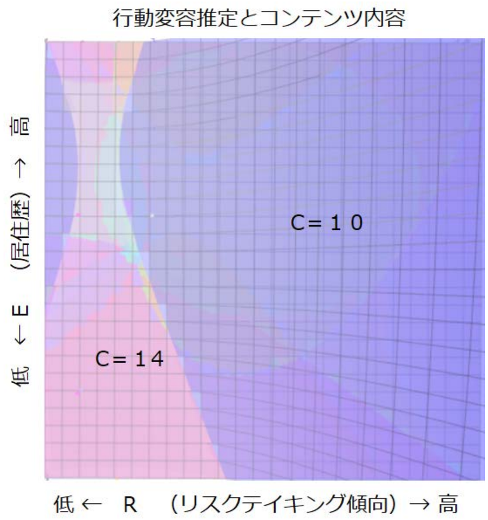


図 6　個人属性と行動変容

Figure 6 Personal characteristics and Behavior

図 7 に各交差点で観測された情報内容の表示回数を示した．特に交差点 ID＝3，5 にて 9 割以上情報内容が提示されていないことが分かり過渋滞となっている様子が見られる．そこで，交通情報提示がされていない交差点は解析としては特殊ケースになっている可能性があるため，そうでないケースと区別するべきと判断した．比較的安定して交通情報が提示できている交差点を Case2 としてまとめ，全交差点を対象とした場合の Case1 と分けて検討することにした．

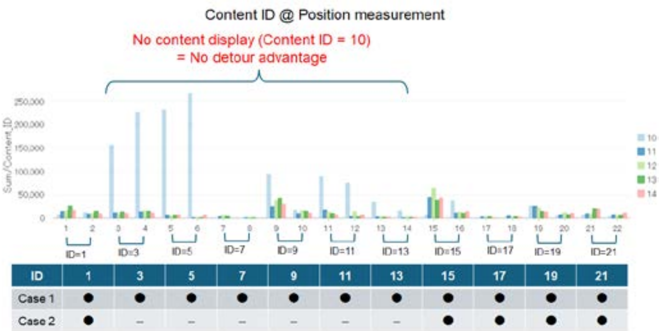


図 7　交差点における情報表示回数

Figure 7 Number of Contents display at Junctions

2.2.3 モデル解析（その 2）

Case2 とした交差点は，図 7 に示すように，交差点 ID＝1, 15, 17, 19, 21 の５交差点を対象としている．解析手法は Case1 と同様に， MCMC 法を用いた繰り返しし計算 2000 回，ウォームアップを 1000 回のセットを 4 回実施する方法を継承し，その結果を表 4 に示す．

表 4　MCMC 解析結果(Case2)

Table 4 Result of MCMC analysis (Case2)

Regression Coefficients:

	Estimate	Est.Error	l-95% CI	u-95% CI	Rhat	Bulk_ESS	Tail_ESS
Intercept	-15.03	10.34	-35.40	4.65	1.01	2242	2136
A_pred	-4.28	32.69	-66.81	59.54	1.01	1657	1864
G_pred	5.36	2.34	0.70	9.66	1.02	270	2180

表 4 からは，車両移動（G）が多く，速度安定（A）させる意ドライバーに行動変容を起こす傾向が見られることから，Case1 の結果と異なり想定される行動としては理解できる結果となっていることが分かる．

また，個人属性と行動変容の関係を図 8 に示す．

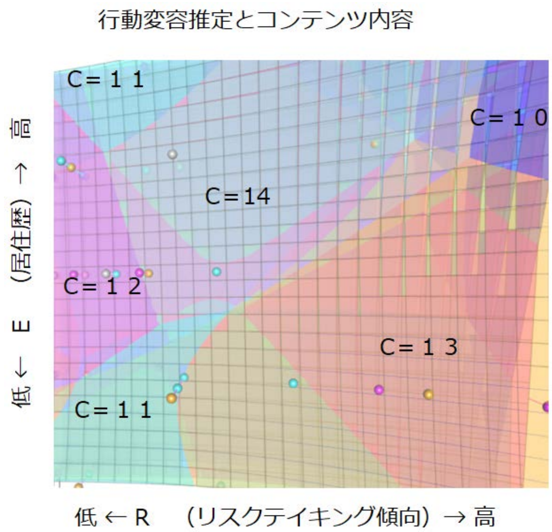


図 8　個人属性と行動変容(Case2)

Figure 8 Personal characteristics and Behavior (Case2)

図 8 の解析結果から，リスクテイキング傾向（R）が高く，居住歴（E）が低いドライバーは，誘導情報表示（13）で，また中間層（R，E 値が中間の層）では総合交通情報（14）の表示で行動変容を起こし易い傾向が得られた．一方で，リスクテイキング傾向（R）と居住歴(E)とも高いドライバーは，Case1 と同様交通表示がなくても自ら判断して行動変容し易いという傾向もみられることから，本モデルの適合の合理性として理解できる．以上個人属性，交通常時内容と行動変容の関係をみてきたが，次に環境について検証する．

2.2.4 環境要素と運転行動

ここまでで，図 4 に示す試験概要フローの交通情報の提示による運転行動の関係を見てきた．Case1 と Case2 に分けて解析から，環境要素により，その運転行動は明らかに影響を受けることから，交差点ごとにおける行動変容の状況に着目する．

最初に観測データから各公差点における 1 秒ごとに計測した車両速度の頻度の状況を図 9 に示す．

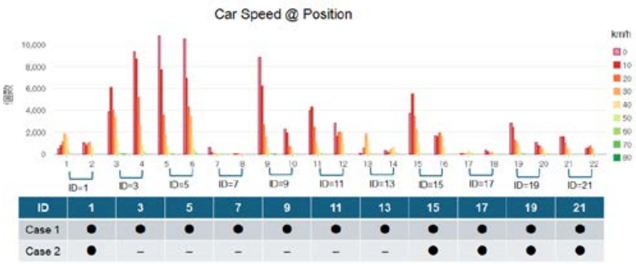


図 9　各交叉点における車速頻度

Figure 9 Vehicle speed count at each Junction

図 9 から明らかなように，交差点 ID＝3, 5, 9, 11, 15 にて明らかに時速 10 ㎞以下の状態が多発しており，渋滞の激しさを証明している（過渋滞）．これは，図 7 に示した通り，当該交差点では迂回路選択の優位性が少ないため，交通情報が提供されていないこと多いことからも明らかとなっている．また，図 10 に各交差点での迂回路を選択した行動変容の様子を示す．行動変容ありが True，なしが False としており，交差点 ID＝3, 5, 9, 11 にて行動変容傾向が見られた．

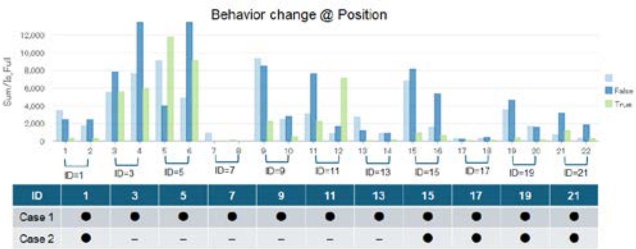


図 10　各交差点における行動変容傾向

Figure 10 Moving Behavior at each Junction

図 10 にしめした観測結果に対して，今回構築したモデルによるシミュレーション結果を図 11 にしめす．実際の観測データからみた行動変容が多い交差点 ID=3, 5, 9, 11, 15 において，シミュレーションにおいてもその様子が見られる結果が得られた．但し，交差点 ID＝5 においては，他の交差点と比較して，行動変容が極めて高い状態を示している．しかしながら，図 7 の交通情報提示の状態との比較をする限りでは，交差点 ID＝5 では交通情報が提供されていない事実と比較して，実際のドライバーの行動は，渋滞が激しい

か渋滞の状態が続いているために，何とか渋滞を避けようする行動に出ており，独自の判断で迂回路選択を余儀なくされている結果であることが想定でき，そのシミュレーション結果である図 6 においてもその様子が読み取れる．これが意味することは，今回のモデル化はある程度行動変容モデルとして機能しているものの，交通情報提供によって，ドライバーが行動変容を起こしていることには結論付けが難しいことを意味している．

では，交通渋滞過密化の交差点を外した Case2 における各交差点での行動変容シミュレーション結果を図 12 に示す．

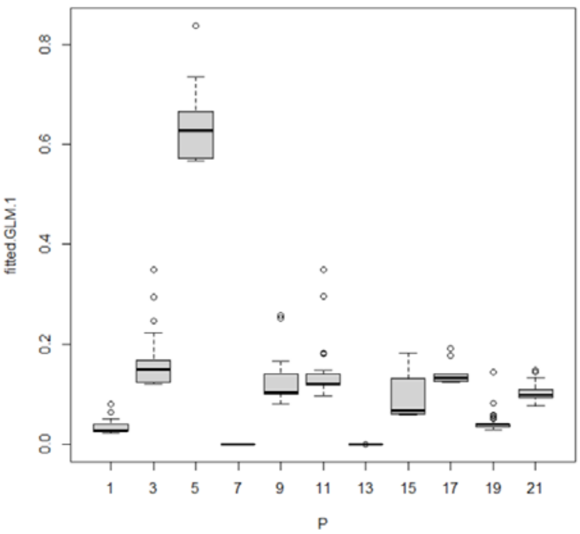


図 11　交差点ごとの行動変容シミュレーション結果
Figure 11 Moving Behavior Simulation at each Junction

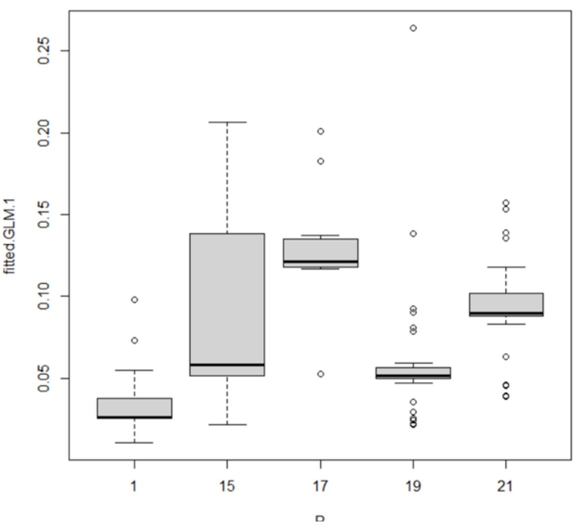


図 12　Case2 の交差点ごとの行動変容シミュレーション
Figure 12 Moving Behavior Simulation at each Junction Case2

図 12 からは，交差点 ID＝15, 17, 21 において行動変容が起きているシミュレーション結果となっているものの，変容の確率（グラフ縦軸）としての優位性は高くない．これは Case1 と違って，環境要素における大きな差異は見られないことを意味する．すなわち，行動変容は提供される交通情報内容により，よりその傾向が現れるため，交通情報内容と個人属性の解析に関しては，より Case2 がふさわしいと判断できる．

2.2.5 試験結果まとめ

今回インドのベンガルール市にて実環境のもと，交通渋滞が頻繁に発生する時間帯の午前 7 時から 11 時に，午後 17 時から 21 時までを，着目する 11 交差点において，ドライバーに交通情報を提供することで，迂回路を選択する行動変容がどのように起こるかを 2 ヶ月にわたる観測データをもとに，モデル化を行った．その結果として，個人属性と運転行動に関しての関係性を把握できた一方で，環境要素である交差点の状況により，かなり行動変容の傾向は影響を受けることが判明した．すなわち場所依存による交通渋滞の度合や，その交差点前後における迂回路の存在などが影響しているといえる．

全交差点での解析 Case1 と選択した交差点での解析 Case2 において，ベイジアンネットワークによる解析結果を観測データと解析結果との比較を，正解率，適合率，再現率の 3 要素に分けた結果を表 5 に示した．評価手法としてクロスバリデーションを用いた．

表 5　Case 1 と Casde2 のベイジアンネットワーク解析結果
Table 5 Result of Bayesian Network for Case 1 and Case 2

%	Case 1	Case 2
正解率	89.1	92.9
適合率	94.4	94.4
再現率	98.8	100

この結果からは，行動変容のモデル化への試みとして，観測データとの正解率（モデルと観測データとの比較）および適合率では 9 割近くの高い数値を得ることができた．さらに，Case1 の再現率も 98.8 とかなり高い数値をしめしている．一方 Case2 では 100%となっており再現率が十分に行われているといえる．これは，今回観測した 652 トリップの観測データのばらつきがあるものの，ＭＣＭＣ法とクロスバリデーションの評価により，十分今回のもモデル化の意味があるという結論といえる．今後のさらなるデータの積み上げげは必要ではあるが，今回取得したモデル化を活用することで，個人属性と運転行動から，交通情報提供との関係性の傾向をとらえたといえる．

3. 考察

3.1 ベイズ統計事後確率

3.1.1 環境パラメータ（Case2）

スパース性のあるデータ解析に用いられるMCMC法より，今回の提供される交通情報の種類により行動変容が起きるであろう事前確率に対して，MCMC 法により事後確率を求める．

最初に環境パラメータ（対象交差点）による事後確率における式（1）の状態を可視化する．図 13 に，環境パラメータをもとにしたアクセル情報（A_pred）と，ジャイロ情報（G_pred）と環境パラメータ（P）の分散情報を示した．図 13 よりアクセル情報（A_pred）とジャイロ情報（G_pred）においては正規分布になっていることが分かる．一方で環境パラメータ（P）ではデータの偏りがあることが判明した．これによる本モデルの再現性に課題があることがデータの性質からも判断できる．

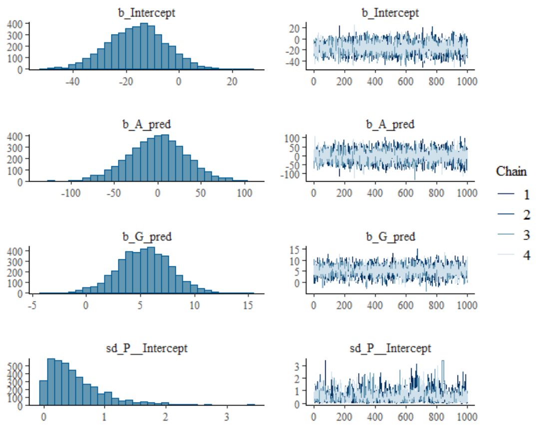


図 13　環境パラメータの事後分布

Figure 13 post-hoc distribution of Position

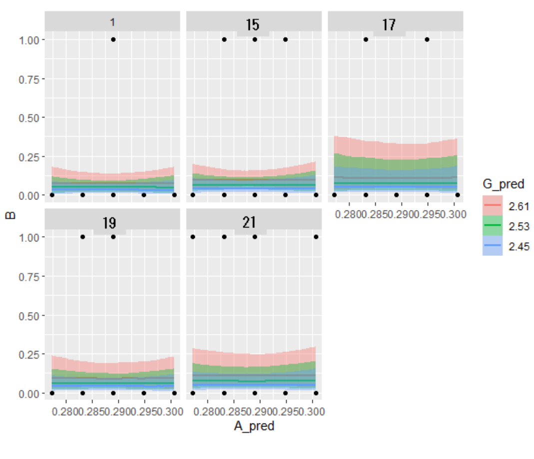


図 14　正規線形モデルの回帰分布

Figure 14 Normal Linear Model Regression Distribution

また，この正規線形型モデルから得られる回帰分布を図 14 にしめした．これから行動変容の起こし易い交差点はＩＤ＝17 と 21 であることが理解でき，図 21 と一致している．

3.1.2 交通情報パラメータ（Case2）

続いて，交通情報内容による事後確率における式（1）の状態を環境パラメータの場合と同様に可視化する．（図 15，16）こちらもアクセル情報（A_pred）とジャイロ情報（G_pred）においては正規分布になっていることがわかり，交通情報パラメータ（C）ではデータの偏りがあることが判明した．

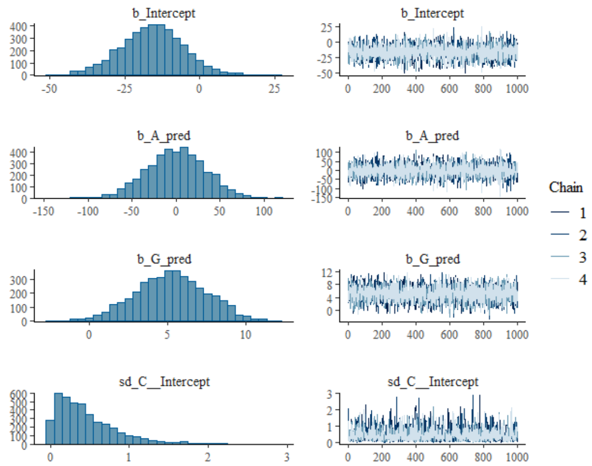


図 15　交通情報パラメータの事後分布

Figure 15 post-hoc distribution of Content

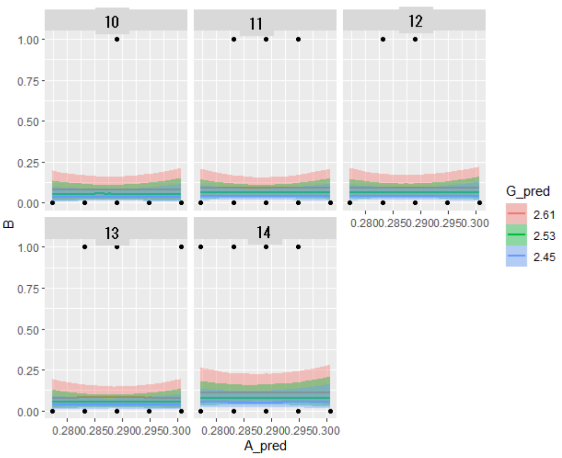


図 16 正規線形モデルの回帰分布

Figure 16 Normal Linear Model Regression Distribution

図 16 より交通情報 ID=14 が多少優位であることが分かり，図 8 からもその様子がうかがえる．

4. おわりに

今回の研究は，これまでのドライバーの運転行動の解析から，個人属性を加味することで，交通渋滞になった時点でのスマートホンに表示される内容により行動変容（ここでは迂回路を選択）する行動をとるモデル構築の一定の解を，ベイジアンネットワーク解析によるパラメータの関係性を把握し，ベイズ統計処理（ここでは MCMC 法とクロスバリデーションの 2 種類）によって，観測データのスパース性をカバーすることで，ある程度の傾向をつかめることができた．

また，実験結果からあまりにも渋滞が激しい場合(Case1)においては，モデル化には環境の依存が大きく，交通情報提示による行動変容傾向をつかむのは難しいことが分かる．これは，このような渋滞は既に解消が難しいことを意味し，後続車に対して，渋滞地帯には入らないような情報をあらかじめ提供するか，日常の交通情報の蓄積により渋滞予報を提供するなどの手法が必要となることを意味すると考える．

さらに，交通渋滞環境下においては，交差点の状況により大きく左右さえることは，常識からも想定できるとともに，今回の解析においても理解できることが分かった．

一方で，交通情報の提供に関しては，今回のデータ数からは，交通内容によって行動変容への影響があるか否かに関しては，一定の傾向はつかむことはできたものの，再現性のあるモデル化には，さらなるデータの積み上げが必要と判断される．被験者も 9 割が現地タクシードライバーというプロドライバーを対象とした試験であったため，一般ドライバーに関してのさらなる試験計画等は今後の課題としたい．

合わせて，今後の課題としては，他のインドの都市における実証など地域差（環境差）によるデータ解析が必要と判断するとともに，環境パラメータ（主要交差点）の運転行動は一律には判断できないため，今後は一定交差での定点解析が必要となると考える．交通情報の提供に関しては，トリップ毎にランダムに発生される工夫が施すことで，一定のバイアスを避けることを行った．しかし，被験者であるドライバーが必ず交通情報を確認しているか否かに関しては保証の限りではない．今回は，地域のタクシー会社の援助を頂き，事前に様々な交通情報が提供されることだけは伝えてあるものの，確実にその情報を見たかに関しては，保証はない．但し，今回参加いただいた被験者への事後インタビューにおいては，ある程度参考としているコメントも頂けているので，試験としは貴重な解析結果が得られたと判断する．

今回の試験結果を踏まえ，データ自体は環境条件により大きく左右されることは容易に想定されるため，地域ごとにより地道なデータの積み上げや，地域交通管理者（道路警察，道路管理者等）との連携が重要になることもあらかじめ念頭に置いて研究の継続をする必要性があると考える．

さらに．インドでの交通渋滞は日常茶飯事であるため，交通渋滞への意識は高いため，スマートホンを活用した試験は成り立つ可能性は十分あると判断するものの，こうした試験を国内に展開する場合には交通情報の見せ方や，見るためのインセンティブ等での工夫が必要とも考える．あるいは，提供する交通情報に何らかの付加価値的要素が存在していることが重要な鍵となると考えられる．

謝辞

今回の実証試験において，機会を提供いただいた名古屋電機工業株式会社，および交通情報の提供と車両行動情報を収集するスマートホンでのアプリケーションとデータの収集作業において SenSight Technology 社から大きな支援を頂き，ここに謝辞を送りたい．

また，データの解析においては日本大学理工学部交通システム工学科石坂哲弘教授ならびに千葉工業大学創造工学部環境工学科薄井宏行教授には，データの解析手法およびその解釈において度重なるご指導を頂き，感謝する．

参考文献

[1] 神邊，宮武，鈴木「自動車の操舵反力特性の違いによる操舵感の変化の生理・心理学的測定」，日本感性工学会論文誌 Vol.19. No.1, PP73-79,2020

[2] 水谷，松井，矢野，高橋「車両特性の変動を考慮した内部モデル制御を用いたドライブロボットによる車速追従制御」，日本ロボット学会誌 Vol.33, No.10, pp818-825, 2015

[3] 天野，菅原，名切，土居

[4] “Bengaluru world’s second most congested city; took average 29 minutes to cover 10km in city last year (2022)　: Times of India”. http://timesofindia.indiatimes.com/articleshow/97957587.cms?utm_source=contentofinterest&utm_medium=text&utm_campaign=cppst, (参照　2024-10-18).

[5] “ベンガルール中心地区高度交通情報及び管理システム導入計画：JICA” https://www.jica.go.jp/oda/project/1660840/index.html (参照　2024-11-17).

[6] “データで診て考える合志市の渋滞と公共交通”，合志市の移動を移動を考える勉強会資料，2024, https://speakerdeck.com/trafficbrain/20240113-koshi-seminar (参照　2024-11-17).

[7] 滝沢，大島，坪井，” 第 21 回 ITS シンポジウム「インドと日本におけるドライバーの個人属性と渋滞回避行動の動機との関係”，2023

AI と web3 を活用した行動変容支援システム「運動サプリ」の開発：行動科学に基づくインセンティブ設計と個別最適化による行動変容促進

谷本広志[†1]
株式会社センス・イット・スマート[†1]
種市摂子[†2]
Dr.Ridente 株式会社[†2]

1. はじめに

人々の行動習慣を望ましい方向へと導く「行動変容」には、個人特性を深く理解し、個別最適化された支援を行うデジタルパートナー（AI エージェント）によるきめ細かな介入が有効である。

株式会社センス・イット・スマートが開発した行動変容支援プラットフォーム「運動サプリ」は、スマートフォン（iOS/Android）向けアプリとしてリリース済みであり、スポンサーとチャレンジャーという 2 つの役割を設定している。スポンサーは「30 日間、1 日 8,000 歩」などのウォーキング目標を提示し、その結果が判明する前に報酬を供託する。一方、チャレンジャーは提示された目標に取り組み、その達成・未達成に応じて供託された報酬が配分される。ただし、報酬配分設定次第では、達成時にチャレンジャーが報酬を得ない場合もあり、配分先や配分比率は柔軟に設計可能である。これにより、株式会社センス・イット・スマートが保有する特許技術 IDOM（Incentive Driven Outcome Management）を活用し、多様な行動変容パターンを継続的に支援できる。

さらに、利用者個々の状況や特性に適応した個別最適化支援を実現するため、IoT デバイスから取得した歩数データなど多面的な情報を活用する AI エージェント「BeNavi」を開発中である。本稿では、運動サプリの理論的基盤と技術的構成を整理し、BeNavi による個別最適化支援や web3 技術を用いた分散型インセンティブ配分設計の応用可能性について論じる。これにより、行動科学に基づくインセンティブ設計と個別最適化支援を統合するアプローチが、自己決定理論に基づく内発的動機づけ強化や行動経済学的知見の活用を通じて、いかに行動変容促進に寄与し得るかを示す。

2. 理論的基盤

2.1 自己決定理論に基づく内発的動機づけ

運動サプリは、自己決定理論に基づく内発的動機づけの促進を重要な特徴の一つとしている。この理論では、「自律性」「有能感」「関係性」の基本的心理欲求を充足することで内発的動機づけが高まるとされるが、従来の報酬付健康増進策では、報酬が単純な外発的動機づけとして機能してしまい、報酬がなくなれば行動も停止しやすいという課題があった。また、外発的報酬の導入により元々の内発的動機づけが損なわれるアンダーマイニング現象も問題視されている。

運動サプリは、独自のインセンティブ配分設計を通じてこれらの課題を解決する。従来型の報酬は個人に直接付与されるため、報酬を得ることだけを目的とした行動になりやすい。一方、運動サプリでは、報酬を家族や友人など身近な他者に配分することで、健康増進活動が「自分のため」だけでなく「大切な人のため」という意味も持つようになる。これにより、報酬を得ることだけを目的とした行動を避けつつ、社会的関係性を通じた内発的動機づけの強化が可能となる。

さらに、ユーザー自身や家族、友人、企業、自治体など、多様な主体が供託金として報酬原資を提供できるため、中央集権的な一方向の支援にとどまらず、個人対個人やコミュニティ内での相互扶助的な関係性が構築できる。こうした分散型アプローチは、web3 の思想にも合致した自律的かつ持続可能な行動変容支援の基盤を形成する。

このような報酬配分設計によって、3 つの基本的心理欲求は段階的に満たされていく。まず、「自律性」の欲求は、ユーザーが行動目標や報酬配分先を自ら決定するプロセスによって高まる。従来の健康増進施策では、目標や報酬が一方的に与えられることが多いが、運動サプリではユーザーが自分で「誰に」「どの程度」報酬を渡すかを設計できる。この意思決定の主体性が、「自分が行動をコントロールしている」という感覚をもたらし、自律性の満足につながる。

次に、「有能感」は、達成可能で適切な目標を自ら設定し、それを達成する中で醸成される。ユーザーは、自分に合った難易度や報酬配分を考え、自らの努力で目標をクリアすることで、「自分にはできる」という確信が生まれる。この成功体験の積み重ねによって有能感が強化され、さらなる行動継続の意欲が高まる。

最後に「関係性」は、報酬を他者へ配分する仕組みによって満たされる。ユーザーは自身の行動（たとえば目標歩数の達成）が家族や友人、地域コミュニティへの貢献につながることを実感できる。これにより「誰かのためになる行動」を実行しているという社会的意義が生まれ、他者との絆や帰属感が強化される。

こうして自律性・有能感・関係性が満たされていく過程で、

Development of the Behavior Change Support System "Exercise Supplement" Utilizing AI and Web3: Promoting Behavior Change through Incentive Design and Personal Optimization Based on Behavioral Science
† 1 HIROSHI TANIMOTO, Sense It Smart Corporation
†2 SETSUKO TANEICHI, Dr.Ridente Co., Ltd.

初期には外発的報酬が行動の動機だった場合でも、徐々に内発的動機へと転換されていく。当初は金銭的報酬への興味から始まった行動も、最終的には自分の健康維持・向上や大切な人やコミュニティへの貢献といった内発的な関心へと移行し、より持続的な行動変容が実現可能となる。

2.2 行動経済学的アプローチ

運動サプリは、プロスペクト理論で示される損失回避性をはじめとする行動経済学の知見を複合的に活用している。従来の健康増進施策におけるインセンティブ設計は、目標達成時に報酬が得られるものが一般的であった。これに対し運動サプリでは、あらかじめ約束された報酬を、目標未達成の場合に失うというリスク型の設計も可能にしている。人は得をすることよりも損をすることを回避しようとする心理傾向があるため、このリスク型の設計はより強い動機づけとなる。特に、個人間やコミュニティ内での相互支援において、報酬の配分先として身近な他者を設定することで、自分の失敗によって友人や家族が報酬を得られなくなることへの心理的な抵抗感を活用することもできる。

運動サプリは、コミットメントデバイスとしての機能を実装している。特に自身で報酬の原資を供託金として拠出する場合、この事前のコミットメント（供託金の拠出や配分先の決定）が強い動機づけとなり、先延ばし行動を抑制し、計画的な行動の実行を支援している。

さらに、web3 の分散型思想に基づき、運動サプリではブロックチェーン技術を実装して信頼性を担保している。例えば、親が子に対して「30 日間、1 日 8,000 歩歩けたら 2,000 円を渡す」と宣言した場合、従来なら親が途中で約束を反故にしたり、成功後に支払いを拒むモラルハザードが懸念された。しかし、スマートコントラクトを用いて約束内容や資金を不可逆的に記録し、歩数データの改ざんを防ぎ、目標達成時には自動的に報酬を支払う仕組みが整えば、この不確実性は解消できる。誰でも約束を確認でき（透明性）、データの真正性が保証され（データの真正性）、報酬支払いが自動的に実行される（自動実行）ことで、取引の確実性が高まる。その結果、子供は親の行動を自信を持って応援でき、親は約束履行の責任を強く感じるようになる。これにより、単なる金銭のやり取りを超え、親の行動変容と子供との信頼関係強化という二つの価値を同時に実現する仕組みとして機能する。

3. インセンティブ最適化基盤「IDOM」

運動サプリの中核をなす IDOM（Incentive Driven Outcome Management）は、「チャレンジ支援システム」（特許第 6696672 号）および「プログラム、チャレンジ支援システム、チャレンジ支援方法、端末」（特許第 6762647 号）に基づく基盤技術であり、報酬の受取人や配分比率を柔軟に設計することで効果的な行動変容を実現する。従来、健康増進施策では目標達成時に特定の報酬を得る設計が主流だったが、IDOM を用いることで、達成・未達成時それぞれに異なる報酬配分を設定することが可能となる。たとえば、目標達成時にはユーザーが 30%、応援者である家族が 70%の報酬を獲得し、未達成時にはユーザーが 100%を回収するような非対称的な設計も容易に行える。未達成の場合にユーザー自身の経済的損失を回避できても、支援してくれた家族からの信頼を失う可能性があり、金銭以外の価値を動機づけ要因として組み込むことができる。

これらの報酬配分設定は、前述のブロックチェーン上のスマートコントラクトによって実行が保証され、透明性や改ざん耐性が担保される。現在、運動サプリではウォーキングによる健康増進に IDOM を適用しているが、この技術は多様な行動変容へと応用可能である。たとえば、安全運転を達成した際には自宅で待つ子供へ報酬を与えたり、学習目標の達成や環境配慮行動の促進、地域参加活動など、目的達成を伴うさまざまな場面で、最適なインセンティブ設計を通じた行動変容支援が期待できる。こうした汎用性により、IDOM は幅広い領域で持続的かつ内発的な動機づけを強化する有効な仕組みとして機能する。

4. AI エージェント「BeNavi」の機能と展望

開発中の AI エージェントの BeNavi は、運動サプリにおいて、スマートフォンやウェアラブルデバイス等の IoT デバイスから取得する歩数データに加えユーザーが入力するプロフィール情報や、アプリケーション利用時の行動パターンから推測される心理状態やモチベーションのデータを統合的に処理することを目指している。これらのデータを活用して、個々のユーザーの特性に応じた適切な目標設定や、その時々の状況に合わせたパーソナライズされた応援メッセージの生成を行う。

将来的には、IoT デバイスの発展と普及に伴い、より包括的なユーザー理解と効果的な行動変容支援の実現を目指している。人間の行動は、生体状態、環境要因、社会経済的背景、生活習慣など、多様な要因が複雑に絡み合って形成される。BeNavi は、これらの要因を総合的に理解し、より適切な支援を提供するため、以下のようなデータの活用を検討している。

- 生体情報：睡眠状態、心拍変動、体温変化、活動量、運動強度など
- 環境要因：室内環境（温度、湿度、照度）、地域特性、勤務形態など
- 社会経済的要因：家族構成、友人関係、消費行動、ソーシャルネットワークなど
- 生活習慣：食事記録、余暇活動、仕事とプライベートのバランスなど

これらの多様なデータを AI が統合的に分析することで、例えば「今日は睡眠が十分取れていないため、運動強度を抑える」「リモートワークが続いているため、外に散歩に出て

歩数を増やすことを提案する」といった、よりきめ細やかな支援が可能となる。このように、ユーザーの状況をより深く理解し、その人の生活リズムや体調に合わせた最適なタイミングで、最適な形での行動変容支援の実現を目指している。

5. 既存システムとの比較

運動サプリは、従来の行動変容支援システムに対し、以下の点で明確な差異を有している。

第一に、インセンティブ設計の柔軟性と多様性である。一般的な施策では、目標達成時に一律の報酬を与える設計が多かったが、運動サプリでは、達成・未達成時それぞれの報酬配分先や比率を自由に設定できる。この柔軟さにより、単なる報酬獲得目的の行動から、家族や友人への貢献意識を伴う内発的動機づけへと転換しやすくなる。

第二に、ユーザーの主体性と社会的関係性を重視している点である。ユーザー自らが目標や報酬の配分を決定でき、応援してくれる他者を巻き込むことで、行動が「自分のため」だけでなく「大切な人やコミュニティのため」にもなる。これにより、単なる一方向的な指導に比べ、継続しやすい行動変容が期待できる。

第三に、AI を活用した個別最適化支援である。従来のシステムは画一的な指導が中心だったが、運動サプリでは多様なデータを活用してユーザー個々の特性や環境を考慮した目標設定やアドバイスを提供できる。

第四に、web3 技術を用いた透明性・信頼性の確保が挙げられる。ブロックチェーン上のスマートコントラクトによるインセンティブの管理や実行プロセスの透明化は、ユーザー間の信頼関係構築に有益である。

これらの特徴により、運動サプリは従来のシステムを超えて、より柔軟かつ効果的な行動変容支援を実現し、ユーザーの多様なニーズや動機に応じた持続的な行動促進が可能となる。

6. まとめと展望

本稿では、行動変容支援プラットフォーム「運動サプリ」の理論的基盤と実装について概観した。運動サプリは、すでにリリース済みのシステムとして、自己決定理論に基づく内発的動機づけの促進と、行動経済学的インセンティブ設計を組み合わせ、分散的かつ持続的な行動変容支援を実現し得る可能性を示している。IDOM による柔軟な報酬配分設計は、ユーザー自らが行動目標や報酬配分先を決定し、達成時・未達成時それぞれに異なる意味づけを与えることで、単なる外発的報酬を超えた内発的動機づけの醸成に寄与する。

たとえば、環境保護分野では、エネルギー関連企業等がユーザーに報酬付の「1 週間の省エネチャレンジ」を提示し、達成時には報酬の 50%をユーザーに、残り 50%を環境団体へ寄付し、未達成時には 100%をユーザーへ配分するという非対称的な設計が可能である。達成できなかった場合、ユーザーは一見得をしたように感じるかもしれないが、実際には社会貢献の機会を逸したという後悔や責任感が生じやすく、これが次回の行動をより真剣に取り組もうとする内発的動機づけを高める。

さらに、開発中の AI エージェント BeNavi が加われば、こうしたインセンティブ設計にユーザー個々の特性や状況を反映させた最適化が期待できる。たとえば、先の省エネチャレンジの例において、BeNavi はユーザーの生活習慣、気象条件、行動履歴などを総合的に分析し、「今週は天候が安定している火曜日に洗濯を行い、外干しすることで乾燥機の使用を避け、省エネ目標達成に近づく」といった具体的かつ実行可能な戦略を提示できるようになる。このように、行動変容を支援する仕組みに個別最適化が加われば、ユーザーは社会価値創出と自己利益のバランスを意識しながら持続的な行動をより自然な形で取り入れやすくなる。

今後、BeNavi の開発や運用ノウハウの蓄積を通じて適用可能な領域が拡大すれば、運動サプリはユーザーが自律的な行動変容を通じて自己実現と社会的価値創出を両立させる次世代モデルとして、持続可能で包摂的な社会の実現に向けた有力な方向性を示すことが期待される。

7. プライバシーとセキュリティへの配慮

運動サプリおよび開発中の AI エージェント BeNavi は、現段階では、歩数、身長、体重、その日の気分、自由記述テキストなど、必要最低限のデータに収集範囲を限定している。しかし、機能拡張に伴い、より多様かつ大容量のデータを扱う可能性が高く、プライバシーとセキュリティの確保は今後ますます重要な課題となる。

まず、個人情報を含むデータの扱いについては、匿名化や暗号化などの技術的対策を講じることで、安全性を確保する。また、利用者が自身のデータに容易にアクセス・管理できる仕組みを整えることは、データ主権の尊重と信頼関係構築のために不可欠である。さらに、国内外の法規制への遵守や、データ管理プロセスの透明化を通じて、利用者が安心してサービスを利用できる環境を整備することが求められる。

これらの取り組みは現時点では計画段階にとどまるが、専門家や関連機関と連携しつつ、開発進展に合わせて段階的に強化していく方針である。技術的、倫理的、法的な観点を総合的に考慮し、利用者が安心して行動変容支援を受けられるプラットフォームを目指す。

8. 謝辞

AI エージェントである BeNavi の設計において、理化学研究所 革新知能統合研究センターの橋田浩一先生から貴重なご助言を賜りました。ここに深く感謝申し上げます。

また、ブロックチェーンおよび AI プロダクト開発におい

て、株式会社 BAP の Dao Ngoc Thanh 様、Nguyen Trung Quan 様をはじめとする同社の皆様から多大なるご支援をいただきました。皆様の専門的知識と献身的なご尽力により、本プラットフォームを大きく前進させることができました。心より感謝申し上げます。

スマートフォンのセンサデータに基づく
ユーザコンテキスト認識型音楽推薦システム

山中翔太 [†1] 慶應義塾大学
浜中智己 [†2] 慶應義塾大学
佐々木航 [†3] 奈良先端科学技術大学院大学
大越匡 [†4] 慶應義塾大学
中澤仁 [†5] 慶應義塾大学

概要

現代のオンライン音楽視聴サービスは膨大な曲へのアクセスを提供しているが，逐次的なユーザの感情状態や行動に基づいた推薦は限定的である．本研究では，スマートフォンセンサデータから推定されるユーザの感情や行動に適応した音楽推薦システムを構築する．ユーザの行動情報は iOS が提供する Activity Recognition API を利用することで収集し，感情情報はスマートフォンセンサデータと主観的感情ラベルから学習されたモデルを構築・推定する．本論文では，システム構築に向けたデータ収集実験の実施と収集されたデータの分析，及び感情状態推定モデルの構築・評価について述べる．データは計 32 名の被験者より収集し，感情推定モデルの精度評価の結果は個人ごとに構築したモデル性能で平均して 86.3% の精度を達成した．

1. 背景

近年，AppleMusic[1] や Spotify[2] などの音楽配信サービスは一般的なものとなっている．その多くは，ユーザの視聴履歴から嗜好に合った音楽を推薦するレコメンド機能を有しているが，主にユーザの長期的な嗜好に焦点を当てているため，短期的な変動や即時の状況に基づく推薦は行われていない．既存手法としてよく用いられる再生履歴に基づく推薦手法や協調フィルタリング手法は，いずれも長期的なユーザの嗜好に応えるものである．逐次的に推薦するシステムの研究も存在するが，その多くは位置情報や時間，天気，SNS の投稿文といった外部環境に依存しており，ユーザの感情状態や日々の行動といった内部コンテキストを活用していないのが一般的である [3][4][5]．感情状態を把握するために，特定の生体情報（例えば皮膚電気活動）を取得する研究も進んでいるが，専用の高額な装置が必要とされ，実用性に課題がある．そこで本研究では，ユーザの感情状態と行動をスマートフォンで推定し，逐次的に音楽が推薦されるシステムを提案する．本システムは，既存手法の内面状態把握特性，実用性，汎用性の課題を解決する．実装は大きく分けて 3 つのステップに分けられる．ステップ 1 ではスマートフォンに内蔵されたセンサデータの収集と自己申告による主観的感情データの収集．及びユーザの音楽視聴ログを Last.fm API[6] を利用して収集する．ステップ 2 では選択されたセンサデータの特徴量を使用して機械学習モデルを訓練し，ユーザの感情状態（ポジティブまたはネガティブ）を推定する [7]．ステップ 3 では，ユーザの行動データ，推定感情状態データ，及び音楽視聴ログを組み合わせてレコメンドモデルを構築する．本研究のモデル構築フローを図 1 に示す．

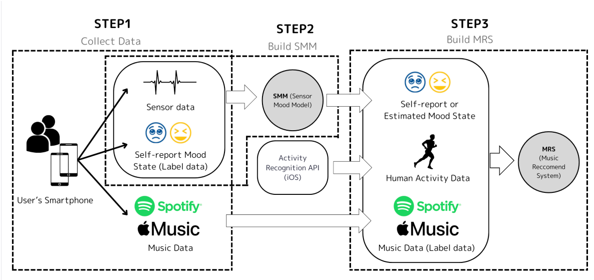


図 1　ユーザコンテキスト認識型音楽推薦システムを構成する 3 つのフェーズ

Figure 1　Three Phases that Make up a User Context-aware Music Recommendation System

本論文では，ステップ 1 とステップ 2 について述べる．

2. 関連研究

Wei-Po Lee らの研究 [8] では，行動認識のみに基づく逐次的な音楽推薦システムを提案している．本研究の課題は同じ行動データの場合においても，異なる感情状態を認識

Smartphone-based activity and emotion-aware music streaming recommendation system

†1 SHOTA YAMANAKA, Keio University
†2 SATOKI HAMANAKA, Keio University
†3 WATARU SASAKI, Nara Institute of Science and Technology
†4 TADASHI OKOSHI, Keio University
†5 JIN NAKAZAWA, Keio University

できないことである．例えば，個人が家に滞在している具体的な理由 (気分の落ち込みによるものか，あるいは単なる休養のためか) を識別できない．同様に，Jae Sik Lee らの研究 [5] では，季節，月，曜日，天気，温度などの外部環境のコンテキストデータを基に推薦を行なっているが，ユーザ内部のコンテキストデータを考慮していないという課題がある．Web テキストを読む状況に絞った音楽推薦の手法 [9] や，観光スポットに基づいた手法 [4] なども提案されているが，いずれもユーザが特定の状況下にある場合のみ機能するため，汎用性に課題が残る．本研究では，スマートフォンのセンサデータを利用してユーザの日常的な感情や行動を推定し，逐次的に音楽を推薦するシステムを構築する．

3. データ収集実験

感情推定モデル，及びユーザコンテキストに基づく音楽レコメンドモデルの構築のためのデータ収集実験を実施した．実験期間は 39 日間，被験者は 40 人である．被験者は 20 代が 8 割その他 2 割となっている．3.3 章で後述する API の特性により Spotify，もしくは AppleMusic を利用しているユーザに限定した．収集に必要な初期設定はスライド形式のマニュアルによって被験者各自で行ってもらった．収集するデータはスマートフォンセンサデータと主観的感情データと音楽視聴ログの 3 種類である．

3.1. センサデータの収集

．収集したセンサデータは 11 種類 (accelerometer, activity, barometer, battery, Bluetooth, gravity, gyroscope, location, rotation, screen, weather) である．これらのセンサデータは，センサデータ収集プラットフォームである AWARE Client V2[10, 11](以下 AWARE) を用いて収集した．AWARE によってクライアントデバイスのバックグラウンドで収集されたセンサデータは，デバイスの WiFi 接続時，及び電源接続時にデータベースサーバに送られ，保存される．センサデータのサーバへの未送信を防止するため，被験者マニュアルに AWARE アプリケーションのタスク終了を避けるよう指示を記載した．これにより，データの未送信を防ぐ．

3.2. 自己報告による主観的感情データの収集

感情推定モデルを構築する上で必要な正解ラベルデータとなる主観的感情データを収集した．感情データは ESM (Experience Sampling Method) 手法 [12] を用いたアンケートを 1 日に 6 回，3 時間おきにユーザのスマートフォンに通知する．ESM による主観的感情ラベルを収集する手法として PAM(Photograph Affect Meter)[13] を採用し，直感的にユーザの気分に合う画像を選択することで主観的感情情報を収集した．ESM のスクリーンショットを図 2 に示

図 2　センサ収集画面 (左) と感情値収集画面 (右)
Figure 2　Sensor collection screen(left) and emotion value collection screen(right)

す．アンケートは回答数確保のため定期的にユーザにリマインドをした．

3.3. 音楽視聴ログの収集

レコメンドモデル作成にあたり音楽視聴ログも収集した．ログは Last.fm[6] という音楽解析アプリの API を用いて，タイムスタンプ，曲名，アーティスト名の情報を収集した．各楽曲のメタ情報を収集するため，Spotify の API によって各楽曲に割り当てられた複数の音楽メタ情報 (length, popularity, danceability,acousticness, energy, instrumentalness, mode, liveness, loudness, speechiness, tempo, timesignature) を収集した．

2 つの異なる API を用いた理由は API の特性にある．レコメンドモデルを作成する際，ユーザのコンテキストデータと音楽視聴ログを同じ時間軸で同期させる必要があるため，音楽のタイムスタンプの取得が必須となる．Spotify の API は，他の音楽配信サービスと比較して多様なパラメータを提供しているが，タイムスタンプの情報は提供していない．そのため Last.fm の API を利用し，タイムスタンプ，取得した後に Spotify の API から楽曲の数値情報を検索するという手法をとった．本データ収集実験では，Last.fm の API は Spotify と AppleMusic のみ対応しているため被験者は 2 つのサービスユーザに制限した．

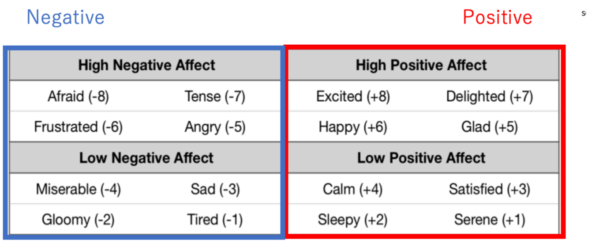


図 3　ラベル定義の仕方

Figure 3　Label Definition Method

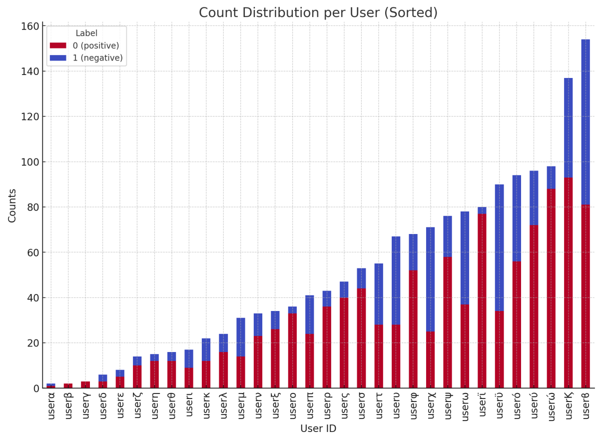


図 4　ユーザごとの感情値の収集数と感情ラベルの割合

Figure 4　Number of Emotional Values Collected per User and Percentage of Negative or Positive

4.　収集したデータの分析

4.1.　感情データの分析

被験者 40 名の感情値のアンケートは，最大回答数 9360 のところ 1741 回答, 回答率は 18.6% となった．また，一回以上アンケートに回答した人数は 32 名であった．被験者の 2 値感情値（ネガティブ or ポジティブ) の回答割合はネガティブ 34.57%，ポジティブ 65.43% となった．図 4 にユーザごとの 2 値感情値の回答割合と量を示す．2 値分類は PAM[13] によって取得された感情値 16 種を，valence 値の正負でラベル定義を行った．図 3 は, 感情値の分類表である．横軸が valence 値 (Negative or Positive)，縦軸が arosal 値 (High or Low) である．本モデルでは横軸の正負でラベル定義を行った．

4.2.　音楽視聴ログの分析

音楽視聴ログの取得ができたのは 40 名中 25 名であった．ユーザごとに取得できた楽曲数の平均曲数は 554.72 曲，標準偏差は 512.71 曲, 最小値は 10 曲, 最大値は 2381 曲となった．全ユーザの合計は 16851 曲となった．図 5 にユーザごとの収集曲数と楽曲の valence 値の割合を示す．valence 値

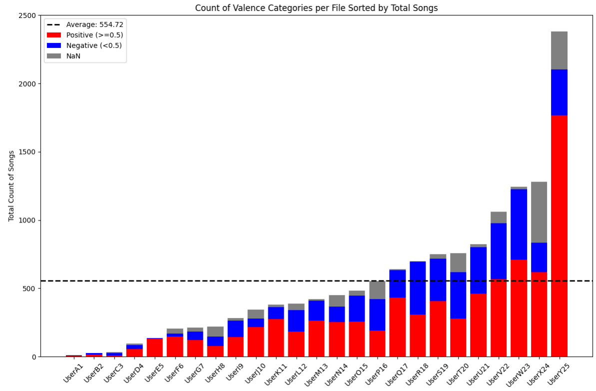


図 5　ユーザごとの曲数とラベル定義した valence 値の割合

Figure 5　Number of Songs per User and Percentage of label-defined valence values

は Spotify[2] の API が提供する値であり，0.0 1.0 の範囲である．図 5 では 0.5 未満を negative，0.5 以上を positive として色分けして表現した．

5.　感情推定モデルの構築と評価

本研究では，スマートフォンから収集したセンサデータを用いて，ユーザの感情状態（ポジティブ/ネガティブ）を推定するモデルを構築した．モデルのアーキテクチャとして XGBoost を採用し，2 値分類問題として扱った．

データセットの構築にあたって，ESM による感情状態の回答時刻を中心に，前後 1 時間のセンサデータを抽出した．この 2 時間の時間枠に対して，10 分間の窓を 5 分ずつスライドさせながら特徴量を算出することで，一つの ESM 回答に対して複数の特徴量セットを生成した．これにより，感情状態の推定に適した時間的な粒度を確保しつつ，十分な学習データ数を確保することが可能となった．感情推定の基盤となる特徴量一つの 10 分の時間窓に対して，加速度計・ジャイロスコープから得られる 3 軸データ（x, y, z）と気圧計データを用いて多角的に抽出した．

モデルの構築にあたっては，個人差を考慮するためにデバイス ID ごとに独立したパーソナルモデルを訓練する方式を採用した．図 6 で示す通り，個人ごとに構築したモデル性能は平均して 86.3% の精度を達成し，中央値は 86.1% であった．デバイス間での精度にはある程度のばらつきが見られ，最も低いケースで約 75%，最も高いケースで約 97% の精度を示した．これは個人の行動パターンや感情表現の違いを反映していると考えられる．

6.　考察

本研究の課題は，センサデータ収集実験の際に被験者がバックグラウンドで起動している AWARE をタスクキルす

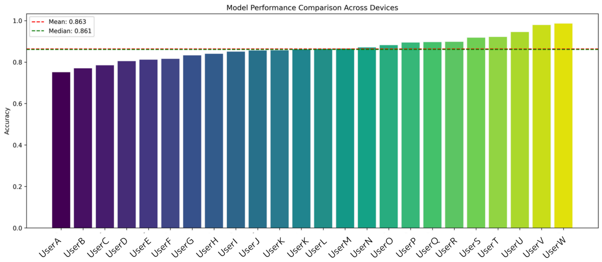


図 6　ユーザごとの性能評価結果

Figure 6　Performance Evaluation Results by User

ることで，ユーザ単位でセンサデータの欠損値が多いことである．3.1 章で取得したセンサデータの多くが，アンケート回答のためスマートフォンを取り出すタイミングに限られている．現状の感情推定モデルは以上の特定のコンテキストに絞った学習データによる推定のため，ユーザの日常的な生活を反映していない．今後は学習に必要なデータペア数に達していないユーザに対して，再実験を実施し，十分なセンサデータの量を確保する予定である．

7. 結論と今後の展望

本論文では，ステップ 1 のデータ収集実験，及びステップ 2 の感情推定モデルの作成まで実施した．ステップ 1 ではスマートフォンに内蔵されたセンサデータの収集，自己申告による主観的感情データの収集．及びユーザの音楽の視聴ログを Last.fm API[6] を利用し収集した．ステップ 2 では選択されたセンサデータの特徴量を使用して機械学習モデルを訓練し，ユーザの感情状態を推定 [7] した．今後はステップ 3 として，ユーザの行動データ，推定感情状態データと音楽視聴ログを組み合わせてレコメンドモデルを構築する予定である．レコメンドモデルは，感情推定モデルより出力された感情値，及び iOS の Activity Recognition API による行動認識データを入力に推薦音楽情報が出力されるモデルである．データ収集実験にて収集した音楽視聴ログの値をラベルデータに，機械学習モデルを作成する．利用する音楽の値は Spotify の API の提供する valence 値を採用する予定である．

謝辞

本研究は，JST CREST JPMJCR19A4，JST RISTEX JPMJRX21J1 の支援を受けたものである．本研究は，JSPS 科研費 JP24K02935 の助成を受けたものである．

参考文献

[1] Inc., A.: Apple Music, `https://www.apple.com/jp/apple-music/`. Accessed: 2024-12-06.

[2] AB, S.: Spotify, `https://www.spotify.com`. Accessed: 2024-12-06.

[3] Kaminskas, M. and Ricci, F.: Location-adapted music recommendation using tags, *User Modeling, Adaption and Personalization: 19th International Conference, UMAP 2011, Girona, Spain, July 11-15, 2011. Proceedings 19*, Springer, pp. 183–194 (2011).

[4] Ankolekar, A. and Sandholm, T.: Foxtrot: a soundtrack for where you are, *Proceedings of Interacting with Sound Workshop: Exploring Context-Aware, Local and Social Audio Applications*, pp. 26–31 (2011).

[5] Lee, J. S. and Lee, J. C.: Music for my mood: A music recommendation system based on context reasoning, *Smart Sensing and Context: First European Conference, EuroSSC 2006 Enschede, Netherlands, October 25-27, 2006 Proceedings 1*, Springer, pp. 190–203 (2006).

[6] Ltd., L.: Last.fm, `https://www.last.fm`. Accessed: 2024-12-06.

[7] Sasaki, W., Hamanaka, S., Miyahara, S., Tsubouchi, K., Nakazawa, J. and Okoshi, T.: Large-Scale Estimation and Analysis of Web Users' Mood from Web Search Query and Mobile Sensor Data, *Big Data*, Vol. 12, No. 3, pp. 191–209 (2024).

[8] Lee, W.-P., Chen, C.-T., Huang, J.-Y. and Liang, J.-Y.: A smartphone-based activity-aware system for music streaming recommendation, *Knowledge-Based Systems*, Vol. 131, pp. 70–82 (2017).

[9] Cai, R., Zhang, C., Wang, C., Zhang, L. and Ma, W.-Y.: Musicsense: contextual music recommendation using emotional allocation modeling, *Proceedings of the 15th ACM international conference on Multimedia*, pp. 553–556 (2007).

[10] 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).

[11] Nishiyama, Y., Ferreira, D., Sasaki, W., Okoshi, T., Nakazawa, J., Dey, A. K. and Sezaki, K.: Using iOS for inconspicuous data collection: a real-world assessment, *Adjunct Proceedings of the 2020 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2020 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 261–266 (2020).

[12] Hektner, J. M., Schmidt, J. A. and Csikszentmihalyi, M.: *Experience sampling method: Measuring the quality of everyday life*, Sage (2007).

[13] Pollak, J. P., Adams, P. and Gay, G.: PAM: a photographic affect meter for frequent, in situ measurement of affect, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 725–734 (2011).