

# 骨格推定を用いたバドミントンの スマッシュフォーム改善アプリの実装

大原黎明<sup>†1</sup>

慶應義塾大学環境情報学部

中嶋桃香<sup>†2</sup>

慶應義塾大学環境情報学部

浜中智己, 佐々木航<sup>†3</sup>

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

大越匡<sup>†4</sup>

慶應義塾大学環境情報学部

中澤仁<sup>†5</sup>

慶應義塾大学環境情報学部

## 概要

部活動においてスポーツの習熟度を向上させるためには顧問やコーチなどの指導者の指導力が大きく関係する。一方で、膨大な仕事量による教員のリソース不足や学校に在籍する教員の中で顧問を決定するため経験のないスポーツの部活動を担当してしまい、十分に指導することができない問題がある。本研究ではバドミントンのスマッシュの動作に焦点を当て、スマートフォンを用いて国際大会に出場するレベルの選手のスマッシュ動作と比較する。そして、四肢の類似度スコアを算出して問題のある部位とともにフィードバックを行うシステムを開発、効果の検証を行なった。

## 1. はじめに

中学校、高校の部活動の顧問は基本的にその学校に在籍している教員が担当するため経験のないスポーツの顧問になってしまう教員が一定数存在することに加えて経験がある教員も習熟度や指導力が高いとは限らない。また、部活動以外の仕事で忙しいため指導を行う時間を割くことができない場合もある。一方で優秀な指導者が指導しないと習熟度を向上させることは難しいという問題がある。

また、バドミントンのコーチングをサポートするためのシステムに関する既存研究として、Myo という慣性と筋電図を

計測することが可能なウェアラブル端末を使用する研究 [1] と Kinect を用いて骨格情報を取得してそれを利用する研究 [2] がある。ただ、どちらも一般の人が所持しない特殊な機材を用意する必要があるため一般のユーザが利用しにくいという問題がある。よって本研究では広く普及しているスマートフォンをシステムとのインターフェースとして利用することで一般のユーザも利用しやすくする。

スマートフォンを持った状態で動くスポーツをする上で動きの邪魔になってしまう問題が発生するため本研究ではスマートフォンはカメラとして利用する。また、動画から不要な情報を削除するための前処理として OpenPose を利用して骨格情報の取得を行う。さらに、国際大会に出場した選手の動画から右腕・左腕・右脚・左脚の骨格情報を取得し、DTW\*1を用いて類似度を算出するライブラリを作成した。そして作成したライブラリを用いて各部位の類似度スコアを算出し問題のある部位とともにフィードバックを行う。

本研究の貢献は以下の通りである。

- 特殊な機材を必要とせずに広く普及しているスマートフォンを利用してバドミントンのコーチングをサポートするためのシステムを開発した。
- 実験にてシステムを利用したグループにスコアの向上が見られた。

本論文では以下のように構成される。2章では、類似度スコアの算出手法の詳細について述べる。3章では構成したシステムをもとに行う実験手順を述べる。4章では実験結果について述べる。5章では結果をもとにした考察を行い今後の課題を明らかにする。5.2章では今後の課題をもとにした今後の展望を述べる。

Using Skeletal Estimation Implementation of an application to improve badminton smash form

<sup>†1</sup> REIMEI OHARA, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

<sup>†2</sup> MOMOKA NAKAJIMA, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

<sup>†3</sup> SATOKI HAMANAKA, Graduate School of Media and Governance, Keio University

<sup>†4</sup> TADASHI OKOSHI, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

<sup>†5</sup> JIN NAKAZAWA, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

\*1 Dynamic Time Warping, 時系列データ間の類似性を計測するアルゴリズム

## 2. 本研究の手法

まず類似度スコアを算出するにあたり基準となるデータを収集するために YouTube からバドミントンの国際大会の動画をダウンロードする。そしてダウンロードした動画から選手がスマッシュを打っているシーンかつその選手のみが映るように切り出す。次に切り出した動画 (n=120) を OpenPose\*2を用いて骨格情報の時系列データに変換し、それを一つのリストとしてまとめて npy ファイルに保存する。

システムを利用する際はスマートフォンを用いてユーザーが類似度を算出したいショットの動画を撮影する。そして撮影した動画を実験用に開発した Web アプリケーションのフォームからアップロードする。次にアップロードされた動画を OpenPose を用いて骨格情報の時系列データに変換する。また前述した npy ファイルの骨格情報を四肢ごとに分割しそれぞれに対して DBA\*3を用いて類似度スコアを算出するための基準となる軸を作成する。そして基準となる軸とアップロードされた動画から変換された骨格情報の時系列データから DTW を用いて距離を算出する。次に図 1, 図 2, 図 3, 図 4 をもとにプロデータと素人データの境界値が 50 点になる sigmoid 関数を作成し、先ほど算出した距離を入力して類似度スコアを算出する。最後に各部位の類似度スコアに対して 40 点だと赤, 40 点 60 点だと黄色, 60 点だと緑色で類似度スコアをユーザーにフィードバックする (図 5)。

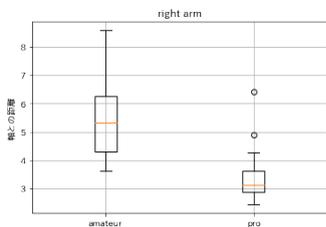


図 1 DTW を用いて算出した軸と入力値の距離の箱ひげ図 (右腕)

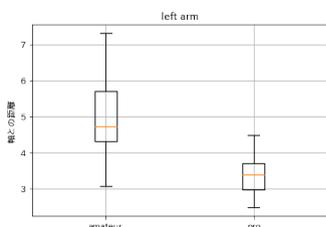


図 2 DTW を用いて算出した軸と入力値の距離の箱ひげ図 (左腕)

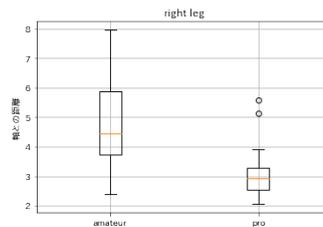


図 3 DTW を用いて算出した軸と入力値の距離の箱ひげ図 (右脚)

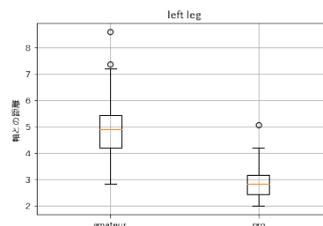


図 4 DTW を用いて算出した軸と入力値の距離の箱ひげ図 (左脚)

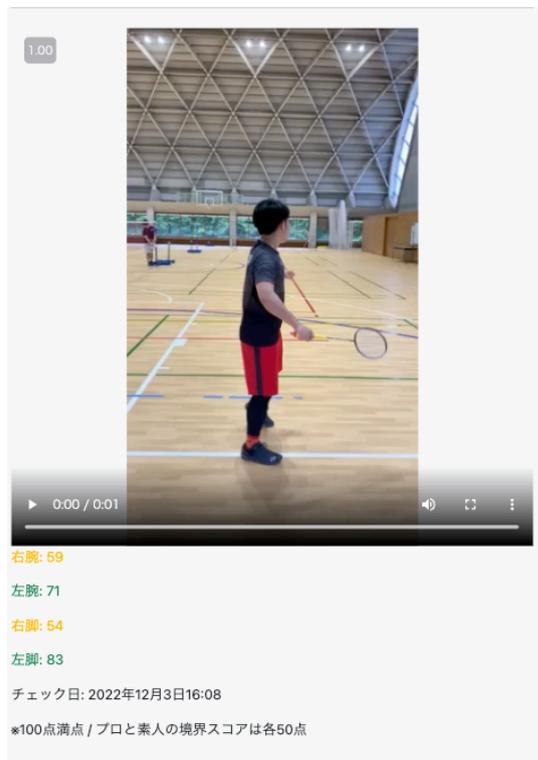


図 5 スコアのフィードバック

\*2 画像から人の体や手などのキーポイントを検出するライブラリ  
 \*3 DTW Barycenter Averaging, 時系列データの平均を求めるアルゴリズム

本研究で実装するアプリケーションのシステム構成図を 図 6 に示す。

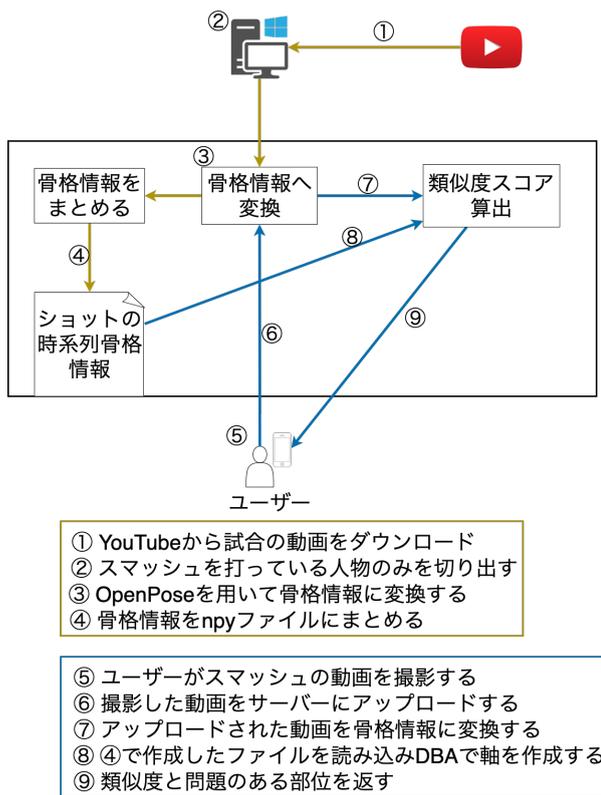


図6 システム構成図

### 3. 実験手順

#### 3.1. 実験概要

バドミントンサークルのメンバーをシステムを使用するグループ (n=6), 使用しないグループ (n=5) にかけて3週間実験を行った。内容としては検証を行うために実験期間の最初と最後に両方のグループの被験者に対してシステムを使用してフォームのスコアを算出した。さらにシステムを使用したグループに対しては実験期間中サークル活動参加時に最低一回はシステムを利用して、システムからのフィードバックをもとにフォーム改善に努めた。また被験者に対してシステム利用時には試合の時と同じスマッシュのフォームで体全体がカメラに映るように後ろから撮影するように指示をした。

#### 3.2. 実験参加者情報

バドミントンサークルに所属し過去にバドミントン部に所属していなかった未経験の学生を対象にした。システムを使用したグループの被験者の属性は20歳で3年生の男性,20歳で2年生の男性,19歳で2年生の男性,20歳で1年生の男性,21歳で2年生の女性,19歳で1年生の女性の計6人だった。また、システムを使用しなかったグループの被験

者の属性は20歳で2年生の男性,20歳で2年生の男性,18歳で1年生の男性,18歳で1年生の女性,18歳で1年生の女性の計5人だった。

### 4. 結果

システムを使用したグループと使用しなかったグループとでは使用したグループの方がプロ選手とのフォームの類似度スコアは高くなった。

各グループの実験開始時と終了時の各部位のスコアの遷移は以下の通りとなった(図7, 8, 9, 10)。青色の線がシステムを使用したグループで赤色の線がシステムを使用しなかったグループのスコアの遷移を表している。

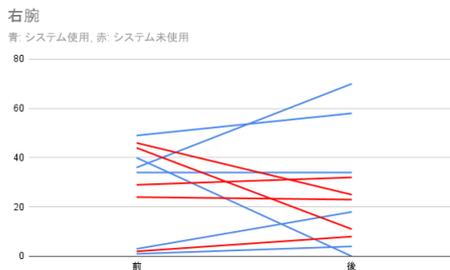


図7 実験結果(右腕)

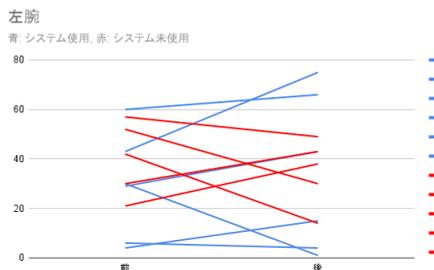


図8 実験結果(左腕)

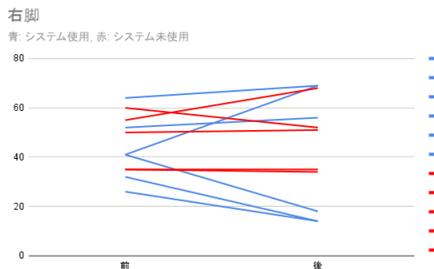


図9 実験結果(右脚)

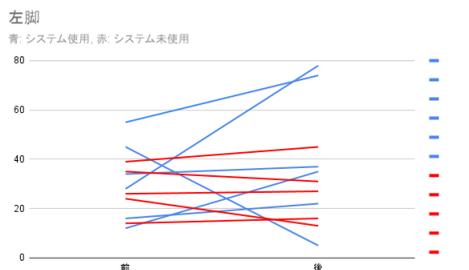


図 10 実験結果 (左脚)

また、各グループ・各部位の実験前後の差分の中央値 (表 1) は以下の通りになった。外れ値の存在が影響を与えないように中央値を使用した。

特に左脚に関しては他の部位と比較してシステムを利用したグループのスコアの向上がより顕著に見られた。

システム	右腕	左腕	右脚	左脚
使用群	+6	+8.5	-4	+12.5
使用しない群	-1	-8	0	1

表 1 各グループ・各部位の実験前後の差分の中央値

システムの評価として元山口県の代表選手で全国大会にも出場した経験のある人に各被験者の実験前後でのフォームの上達度を評価してもらった (表 2)。結果としてはシステムの評価と合致した評価もあるものの反対の評価をされた被験者も存在した。

システム	体全体の平均値	評価
使用	+9.75	変わらない
使用	+5.25	ややフォームが良くなった
使用	+36	とてもフォームが良くなった
使用	+6.5	ややフォームが良くなった
使用	-1.25	ややフォームが悪くなった
使用	-31.75	ややフォームが良くなった
使用しない	-7.25	変わらない
使用しない	-4.25	ややフォームが良くなった
使用しない	-14.75	変わらない
使用しない	3.25	ややフォームが良くなった
使用しない	4.25	変わらない

表 2 各被験者の上達度の評価

## 5. 考察と今後の展望

### 5.1. 考察

システムを使用したグループの中で体全体の平均で +36 と大きくスコアを向上させた被験者が存在するが、その人は実験中意欲的に何度もスコアの計測をするとともにフォー

ムの改善を行っていたことが大きく影響していると考えられる。一方で、システムを使用したグループの中で体全体の平均で -31.75 と大きくスコアを低下させた被験者についてはサークルの練習日に毎回ノルマである 1 度しかスコアの計測をしていたことが影響していると考えられる。このことからただフォームの類似度スコアをフィードバックするだけでなく利用者のモチベーションを向上させるフィードバックを行うことができるかが重要である。さらに被験者からのフィードバックの中でフォームが悪いことはわかるがどう改善すれば良いのかわからないという意見が多くあったので具体的な改善策がフィードバックされることが利用者のモチベーションを向上させることができなかった一因であった。

### 5.2. 今後の展望

今回は 3 週間とバドミントンが上手くなるには短い実験期間だったため次回の実験では 1~2 ヶ月と今回の実験よりも長い期間で実験を行いシステムの効果を検証したい。さらに、ただ部位ごとの類似度スコアをフィードバックするだけでは利用者は具体的にどのように動作を改善していけば良いのかわからずモチベーションも向上しないため、具体的なアドバイスを返す機能も実装する。またこの機能を実装するにあたり特定の部位に対して指摘を行うのか特定の時間軸に対して指摘を行うのかさまざまな方法が考えられるため各方法に対して検証を行い効果がある方法を見つきたい。システムの評価については今回は評価者が 1 人のみだったので複数の評価者を用意して再度システムの評価を行うとともに評価者は選手ではなく選手を育てる立場である指導者を中心に依頼したい。

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

### 参考文献

- [1] Kuo-Chin Lin, Chun-Wang Wei, C.-L. L. I.-L. C. N.-S. C.: Development of a badminton teaching system with wearable technology for improving students' badminton doubles skills, *Educational Technology Research and Development*, Vol. 69, pp. 945-969 (2021).
- [2] Kuo-Chin Lin, Duan-Shin Lee, S.-A. C. Y.-H. V. C.-N.-S. C.: The effect of a badminton teaching system using Kinect on badminton skill performance, *體育學報*, Vol. 53, pp. 161-178 (2020).

# CoreMoni- $\alpha$ : 効果的な体幹トレーニングのための リアルタイムフィードバックシステム

佐藤 圭翼<sup>†1</sup>    ロペズ ギヨーム<sup>†2</sup>  
青山学院大学    青山学院大学

## 1. はじめに

2019 年末に流行し始めた新型コロナウイルスの影響は 3 年たった今でも爪痕を残している [1]. スポーツ庁は「感染症対策による活動制限・運動不足の長期化による影響」として「体力の低下」「腰痛・肩こり」「生活習慣病の発症・悪化」を事例に挙げている [2]. また, 明治安田生命保険相互会社が 2021 年に 5640 人の男女を対象に実施した健康に関するアンケート調査 [3] の結果, 3 人に 2 人が covid-19 の影響でストレスを感じていると回答し, 4 人に 1 人の体重が増加していることが分かった. さらに, コロナ禍による健康意識の変化についてのアンケートの結果, 40% 以上の人々が「健康意識が高まった」と回答した. 以上のことから, COVID-19 の流行を機に人々は健康に意識を持ち始めたと推測できる.

健康な身体を維持するためには, ランニングや筋力トレーニングといった日常的な運動が有効であると考えられている [4]. フィットネスクラブの動向報告 [5] によると, 2022 年 4 月の利用者数合計は 1700 万人を超えており, 多くの人々が定期的に運動をしていることが分かる.

自宅で過ごす時間が増えたことから, 屋内で一人で簡単に始められる体幹トレーニングに注目が集まっている [6]. 体幹トレーニングはスポーツ動作に求められる能力 [7] 向上だけでなく, 日常生活においても重要な役割を果たしている. 体幹とは身体の四股と頭部を除いた部分で, 身体重量の約 48% を占めており, 体幹に含まれる筋肉群は体幹筋と総称されている [8]. 体幹は運動における四股間の運動連結やバランスに関して重要な役割を果たしている. そのため, 動作の要であり, 筋力が低下すれば起き上がることが困難になるなど, 体幹強度は身体の健康にとっても重要である. 体幹トレーニングはスポーツ選手を筆頭に一般の人々にも浸透し始め, 注目されている [9].

本研究の目的は, 体幹トレーニングを支援するシステムを構築し, トレーニングを通して人々の健康維持に貢献す

ることである. 一人で行うトレーニングは自分の姿勢を客観的に俯瞰し, 正しい姿勢で行うことは難しく, 監視の目がないことから継続性に欠けると考えられる. このような課題を解決するため, リアルタイムフィードバック機能を搭載した, 体幹トレーニング支援システム「CoreMoni- $\alpha$ 」を提案し, その有効性を検証する.

## 2. 関連研究

### 2.1. カメラ画像を用いたトレーニング支援手法

綿谷らはカメラの画像を用いた体幹トレーニングの姿勢支援手法を提案した [10]. 彼らは画像から姿勢推定を行い, トレーニングの目標姿勢と現在の姿勢の 3 次元モデルを生成し, 重畳表示した. さらに, 目標姿勢と現在の姿勢の違いを把握しやすくするために, 身体の一部 10 箇所をマーカを表示し, 誤差に応じて 4 段階に色変化させた. これらの情報を 2 視点でユーザへ視覚的フィードバックをすることで, 姿勢補正の支援を行った.

有効性評価の結果, 姿勢の把握しやすさを向上させるうえで有効な手法であると考えられた. しかし, 視覚的フィードバックの更新速度が遅く, 目標姿勢に対して現在の姿勢がどのくらい異なっているかを認識するのは困難であった. また, トレーニング中に視線を変えて画面を見なければならぬという問題点もあった.

### 2.2. 深度センサを用いたトレーニング支援手法

村田らは安価な装置を開発することを目的とし, 深度カメラを有する Kinect を利用し, 運動を支援するシステムを構築した [11]. 彼らは Kinect を用いて前屈, 身体の傾き, 身体のねじれ具合を計測する 3 種類のアプリケーションを開発した.

結果として, 数度の誤差範囲で計測することができ, 身体のゆがみを比較的安価で, 高度なノウハウを必要としない装置を開発することができた. しかし, 性能と利用勝手を向上させていく必要がある.

CoreMoni- $\alpha$   
Real-Time Feedback System for Efficient Core Training

<sup>†1</sup> Keisuke Sato, Aoyama Gakuin University

<sup>†2</sup> Guillaume Lopez, Aoyama Gakuin University

### 2.3. ウェアラブルデバイスを用いた種目認識手法

高田らは、体幹トレーニング支援に向けたウェアラブルデバイスによる種目認識手法を提案した [12].

彼らは、身体にウェアラブルデバイスを装着し、ウェアラブルデバイス内に搭載された慣性センサを用いてトレーニング中の姿勢情報を取得し、得られる加速度やジャイロデータをもとに、機械学習によって体幹トレーニング種目を自動認識できるようにした。

結果として、機械学習手法として Random Forest を用いた場合で、F 値：99.7% と高精度に認識することに成功した。さらに、片方の手首およびベルト位置にデバイスを装着するだけでも F 値：94.1% の精度で認識できることを確認した。認識精度の向上、トレーニング中か否かのセグメンテーション化の検討などが今後の課題としてあげられる。

### 2.4. 音楽によるフィードバックを用いたトレーニング支援手法

神野らは、森田らの研究 [13] に基づきシステムのフィードバック方法を改善した。彼らは体幹トレーニングにおける効果的な姿勢促進システム「CoreMoni」を提案した [14]. 「CoreMoni」は森田らが開発したシステムに改良を加えたものになっている。森田らのフィードバックが画像の切り替えのみであったのに対し、神野らは音楽の周波数の変化によってフィードバックを与えている。

実験の結果、画像のみによるフィードバックに比べて音楽と画像を組み合わせたフィードバック方法は有効であることがわかった。しかしながら、音楽がトレーニングの妨げになっていることや姿勢の判定結果に違和感を感じる部分がある。

## 3. CoreMoni-αの概要

### 3.1. CoreMoni-αの構成

今回私は、効果的な体幹トレーニングのリアルタイムフィードバックシステム「CoreMoni-α」を提案する。CoreMoni-αは体幹トレーニングを自主的に行うための指導者としての役割を担い、ユーザの体幹トレーニングを支援するものである。本システムは500円玉くらいの大きさのウェアラブルデバイス(図1)とスマートフォンを使用している。ウェアラブルデバイスには「movesense (SUUNTO 社製) [15]」というデバイスを用いている。ユーザごとのキャリブレーションとして、movesense から1秒間に13個の加速度データを取得し、その一つ一つをあらかじめ定義した閾値と比較し、姿勢の良し悪しを判断している。ウェアラブルデバイスとスマートフォンはBluetooth通信で接続している。



図1 ウェアラブル IMU Movesense ([15] より引用)  
Figure 1 Wearable IMU Movesense (Quoted from [15])

また、CoreMoni αでは体幹トレーニング中の「姿勢」を支援対象とし、より効果的な支援につながるよう搭載する機能に留意した。メインメニューを作成し、そこからトレーニング種目を選べるようにした。デザインや使いやすさにも工夫を施し、従来型システム「CoreMoni」との差別化を図った。姿勢判定においては、より精度の高い判定ができるアルゴリズムを実装し、フィードバックにおいては、骨格画像による姿勢の画像切り替えによるものとその画像と連動して「HIGH」「GOOD」「LOW」の3種類のテキストをリアルタイムに表示するという2種類のフィードバックを用意した。トレーニングを行う画面においては、トレーニング種目ごとにトレーニング方法と本システムの使い方、アドバイス等を明記した。

図2にCoreMoni-αの構成図を示す。ユーザは腰に加速度センサを装着する。ユーザはスマートフォンの画面に表示された自分の現在の姿勢を俯瞰して見ることで、姿勢を正すことができるだろう(図3)。

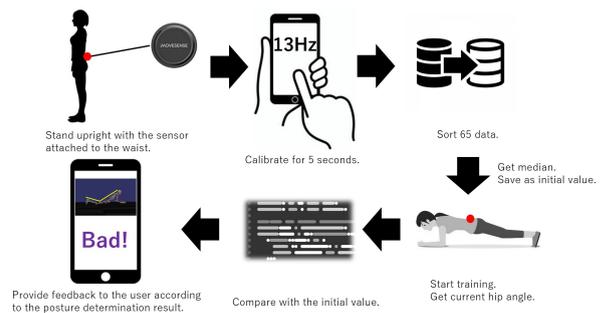


図2 CoreMoni-αの構成  
Figure 2 Configuration of CoreMoni-α

### 3.2. 装着位置と閾値の検討

加速度センサの装着位置に関してだが、森田らの実験 [16] を参考にし、腰に選定した。

閾値に関してだが、「Azure Kinect DK (Microsoft 社製) [17]」を用いて、インストラクター指導の下、腰の位置が高い時・良い時・低い時の姿勢を保ち、その時の骨格画

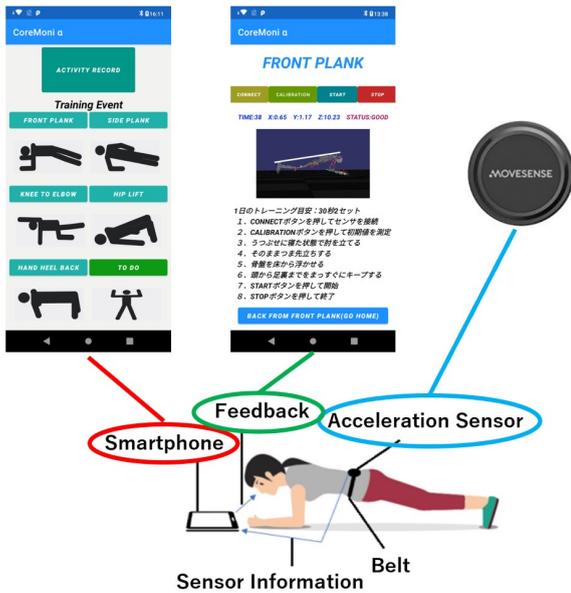


図3 CoreMoni-αの使い方  
Figure 3 How to use CoreMoni-α

像と床と腰のなす角をもとに閾値を決定した。調査の結果、 $13.5^\circ$  以上  $20^\circ$  以下を良い姿勢と定義した。

本システムでは、床に対して垂直方向に直立した状態でキャリブレーションを行うことを前提としている。そのため、キャリブレーション時の角度を  $a^\circ$ 、トレーニング中の角度を  $b^\circ$  としたとき、閾値は次のようになる。

< HIGH >

$$b^\circ - a^\circ < 13.5^\circ - 90^\circ \text{ i.e. } b^\circ - a^\circ < -76.5^\circ \quad (1)$$

< GOOD >

$$13.5^\circ - 90^\circ \leq b^\circ - a^\circ \leq 20^\circ - 90^\circ \text{ i.e. } -76.5^\circ \leq b^\circ - a^\circ \leq -70^\circ \quad (2)$$

< LOW >

$$20^\circ - 90^\circ < b^\circ - a^\circ \text{ i.e. } -70^\circ < b^\circ - a^\circ \quad (3)$$

### 3.3. 姿勢判定手法

姿勢判定手法は3段階に分かれており、第1段階目は「キャリブレーション」である。キャリブレーションを行うことにより、各ユーザに応じた初期値を生成することが可能であるため、ユーザに依存する可能性を低減させることができるだろう。絶対的な基準を設けず相対的な基準を設けることは、ユーザを限定することなく、汎用性の観点から有効となるだろう。加速度センサのサンプリング数を 13Hz に設定しているため、1秒間に13個のデータが取得可能である。また、キャリブレーションの実行時間を5秒に設定し

ている。そのため、キャリブレーションを行うことで65個のサンプリングデータを取得することが可能である。初期値の選定においては外れ値が存在することを考慮して、中央値を用いている。すなわち、昇順に並べ変えたデータの33個目の値を用いている。その加速度を角度に変換し、初期値に設定している。

$$\text{median in calibration} = (65 \text{ sampled data sorted} \div 2) + 1 \quad (4)$$

第2段階目は「トレーニング中の角度の取得」である。Y軸方向の加速度とZ軸方向の加速度の値のアーктンジェントを求め、求めたラジアンを度に変換し、角度を算出している。0.077秒に1回の更新が行われるため、トレーニング中の角度をほぼリアルタイムに算出することが可能である。

$$\text{angle} = \arctan(Y \text{ axis accvalue} \div Z \text{ axis accvalue}) \quad (5)$$

第3段階目は「ずれの算出」である。姿勢判定を行う際は式5と式4の差を求めることで実現可能である。トレーニング中の角度がキャリブレーション時の角度に対して  $13.5^\circ$  以上  $20^\circ$  以下の範囲(相対的な角度)に収まるとき、正しい姿勢と判定する。しかし、キャリブレーションは床に対して垂直方向に直立して行うことを前提としているため、 $\pi/2$ ラジアンを考慮しなければならない。

以上のようなアルゴリズムを用いて、体幹トレーニング中の姿勢の良し悪しを判定している。

## 4. 有効性検証とユーザビリティ評価の実験

「CoreMoni-α」の有効性検証とユーザビリティ評価を行うために実験を行った。被験者は20代の男女20名で構成されており、システム無し・従来型システム有り・新型システム有りの3種類の実験を行った。トレーニング時間はそれぞれ30秒で、トレーニングの合間には十分な休憩をとっている。分析手法としては、正しい姿勢を保持できた割合と System Usability Scale Facts (SUS)、フィードバックに関するアンケート、従来型と新型の比較に関するアンケートの計4つである。

## 5. 実験結果と考察

実験の結果、システムの有無による正しい姿勢を保持できた時間の割合に関して18名の数値が向上した。従来型システムとの比較実験においては14名の数値が向上した。また、従来型と新型システムのSUSスコアを比較すると、18名の数値が向上した。スコアごとのSUSの比較結果を表1に示す。さらに、フィードバックに関するアンケートの結果、新型システムに対しては肯定的な意見が多く見られた。

表1 スコア別に見た SUS の評価結果  
Table1 SUS values aggregated by score

Score	Grade	Adjective Rating	Conventional System	New system
>80.3	A	Excellent	0	8
68-80.3	B	Good	1	5
68	C	Okay	0	0
51-68	D	Poor	6	6
<51	E	Awful	13	1

最後に、システムを総合して従来型と新型システムのどちらが有効であるか問いた結果、被験者の 95% が新型システムと回答した。

## 6. おわりに

本研究の結果から、有効性の検証、従来型システムに対する優位性を確認することができた。姿勢判定精度の向上に関しては、アルゴリズムの改善や正しい姿勢の再定義、閾値の再検討が要因となった。アプリケーションにおける UX の改良においては、シンプルなデザインやトレーニング方法の明記、ボタンを押した際のユーザに対するアクションが要因であると考えられる。また、フィードバック方法の改善においては、3次元骨格画像の画像切り替えとテキストによるフィードバックが要因であると考えられる。

今後の展望として、ユーザのトレーニングの妨げにならない範囲でのフィードバック方法の追加、ウェアラブルデバイス装着位置の明示化、トレーニングの長期的な支援につなげるコンテンツの実装があげられる。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 JP22K11998 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] : 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の対応について | 内閣官房新型コロナウイルス等感染症対策推進室, <https://corona.go.jp/dashboard/>. (Accessed on 06/28/2022).
- [2] : 新型コロナウイルス感染対策 スポーツ・運動の留意点と、運動事例について:スポーツ庁, [https://www.mext.go.jp/sports/b\\_menu/sports/mcatetop05/jsa\\_00010.html](https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/sports/mcatetop05/jsa_00010.html). (Accessed on 06/28/2022).
- [3] : 20210906\_01.pdf, [https://www.meijiyasuda.co.jp/profile/news/release/2021/pdf/20210906\\_01.pdf](https://www.meijiyasuda.co.jp/profile/news/release/2021/pdf/20210906_01.pdf). (Accessed on 06/28/2022).
- [4] : CP-BL\_user, [https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkouinippon21\\_02.pdf](https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkouinippon21_02.pdf). (Accessed on 06/28/2022).
- [5] : hv58\_02j.pdf, [https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/tokusabido/sanko/pdf/hv58\\_02j.pdf](https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/tokusabido/sanko/pdf/hv58_02j.pdf). (Accessed on 06/28/2022).
- [6] 谷本道哉体幹トレーニングの流行の背景と効果に関する考察, 理学療法-臨床・研究・教育, Vol. 27, No. 1, pp. 3-9 (2020).
- [7] 鈴木雄貴, 桜井伸二体幹トレーニングが体幹の安定性とジャンプパフォーマンスに与える影響の検討, 中京大学体育研究所紀要= Bulletin of Research Institute of Health and Sport Sciences, Chukyo University, No. 32, pp. 31-36 (2018).
- [8] 藤本鎮也, 吉田一也, 佐藤慎一郎, 秋山純和体幹と理学療法, 理学療法-臨床・研究・教育, Vol. 20, No. 1, pp. 7-14 (2013).
- [9] 高田将志, 中村優吾, 藤本まなど, 荒川豊, 安本慶一ほか体幹トレーニング支援に向けたウェアラブルデバイスによる種目認識手法の提案, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2018, No. 20, pp. 1-8 (2018).
- [10] 綿谷惇史カメラ画像を用いた体幹トレーニングの姿勢支援手法の提案 (2019).
- [11] 村田嘉利, 永澤修平, 鈴木彰真ほか KINECT を用いた体幹のリハビリテーション支援システム, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol. 2014, pp. 553-559 (2014).
- [12] 高田将志, 中村優吾, 藤本まなど, 荒川豊, 安本慶一ほか体幹トレーニング支援に向けたウェアラブルデバイスによる種目認識手法の提案, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2018, No. 20, pp. 1-8 (2018).
- [13] 森田大喜, 元川錦, 横窪安奈, ロベズギョーム加速度センサを用いた体幹トレーニング支援システム, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2021 論文集, Vol. 2021, No. 1, pp. 1326-1331 (2021).
- [14] : ウェアラブル環境情報システム研究室 — 青山学院大学理工学部 情報テクノロジー学科, <http://www.wil.it.aoyama.ac.jp/thesis.html>. (Accessed on 07/20/2022).
- [15] : Wearable sensor — Movesense, <https://www.movesense.com/>. (Accessed on 09/29/2022).
- [16] 森田大喜, 元川錦, 横窪安奈, ロベズギョーム加速度センサを用いた体幹トレーニング支援システム, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2021 論文集, Vol. 2021, No. 1, pp. 1326-1331 (2021).
- [17] : Azure Kinect DK - AI モデルの開発 — Microsoft Azure, <https://azure.microsoft.com/ja-jp/products/kinect-dk/>. (Accessed on 10/01/2022).

# ウェアラブルエアコンによるフィードバックの生理効果

川崎 勇佑,<sup>†1</sup> 本多 一騎,<sup>†2</sup> ホサイン タヘラ<sup>†3</sup> ロペズ ギヨーム<sup>†4</sup>  
 青山学院大学 青山学院大学 青山学院大学 青山学院大学

## 1. はじめに

厚生労働省によると、熱中症による死者数は年々増加傾向にあり、2020 年は 1500 人を超える人が熱中症で命を落としている。図 1 より、熱中症の死者数の中でも特に高齢者の割合が大きく、2010 年以降熱中症による死者数の約 80% が高齢者であった [1]。

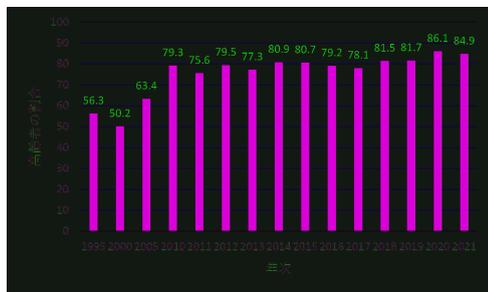


図 1 熱中症死者のうち高齢者の割合 ([1] より作成)  
 Figure 1 Percentage of elderly among heat stroke fatalities (created based on data from[1])

## 2. 関連研究

千葉らの研究によると、頸動脈を直接冷やすことにより体全体に冷えた血液が回り、頸動脈を冷やしていない人と比べ、発汗量が少ない傾向にあることが分かった [2]。

## 3. 暑熱環境下における実験

実験中、被験者に Empatica E4 リストバンドを装着し、心拍の指標を取得した。また、周囲の空気温度、平均放射温度、気流速度、相対湿度、代謝率、衣服の断熱性の 6 つの要素から求められ、「寒い」から「暑い」まで 7 段階に分けられる PMV を用い、実験環境を設定した。

## 3.1. ウェアラブルエアコンを使用しない実験

この実験では、実験中、「寒い」、「涼しい」、「快適」、「少し暖かい」、「暖かい」、「暑い」、「非常に暑い」の 7 ラベルに対して主観評価のアンケートをとった。また、実験環境は「快適」、「少し暖かい」、「暖かい」、「暑い」の 4 つの環境に設定した。被験者は 20 代から 60 代までの合計 44 名であった。より詳しい実験内容を表 1 に示す。

表 1 冷却の無い実験内容  
 Table 1 Experimental details without cooling

順序	課題	温度	湿度	期間 (分)
1	ラジオ体操	32°C	80%	10
2	ラジオ体操	25°C	60%	10
3	読書	25°C	60%	15
4	読書	32°C	80%	15
5	読書	27°C	60%	15
6	読書	32°C	80%	15
7	転写	32°C	80%	15
8	転写	27°C	60%	15

## 3.2. ウェアラブルエアコンを使用した実験

この実験では頸動脈を直接冷やすことのできるウェアラブルエアコンの Cómodo gear<sup>\*1</sup>を使用した。また、「快適」、「暖かい」、「暑い」、「非常に暑い」の 4 ラベルに対して主観評価のアンケートを取った。また、実験環境は「暖かい」、「暑い」の 2 つの環境に設定した。被験者は 20 代から 60 代までの合計 27 名であった。より詳しい実験内容を表 2 に示す。

表 2 冷却時実験内容  
 Table 2 Experimental details with cooling

順序	課題	温度	湿度	期間 (分)
1	待機	32°C	80%	10
2	読書 (Cómodo gear 起動)	32°C	80%	15
3	待機	32°C	80%	10
4	ラジオ体操 (Cómodo gear 起動)	32°C	80%	10

<sup>†1</sup> YUSUKE KAWASAKI, Aoyama Gakuin University  
<sup>†2</sup> KAZUKI HONDA, Aoyama Gakuin University  
<sup>†3</sup> TAHERA HOSSAIN, Aoyama Gakuin University  
<sup>†4</sup> GUILLAUME LOPEZ, Aoyama Gakuin University

<sup>\*1</sup> <https://www.fujitsu-general.com/jp/products/neck-gear/index.html>



図2 ウェアラブルエアコンを使用している様子  
Figure 2 The use of a wearable air conditioner

#### 4. ウェアラブルエアコンの有無による結果

ウェアラブルエアコンの有無による結果は図3, 図4, 図5, 図6である. 読書における主観評価アンケートでは, ウェアラブルエアコン無しに比べ, ウェアラブルエアコン有りの場合, 「非常に暑い」または「暑い」と感じている割合は20.2%減っていた. ラジオ体操における主観評価アンケートでは, ウェアラブルエアコン無しに比べ, ウェアラブルエアコン有りの場合, 「非常に暑い」または「暑い」と感じている割合は13.3%減っていた. しかし, 「非常に暑い」に限ってみると, どちらもウェアラブルエアコン無しに比べ, ウェアラブルエアコン有りの方が「非常に暑い」と感じている割合は高かった.

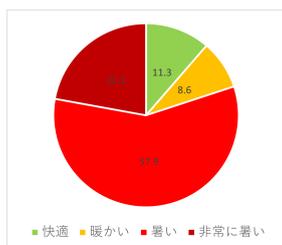


図3 ウェアラブルエアコン無しの場合の読書における主観評価

Figure 3 Subjective evaluation in reading without wearable air conditioner

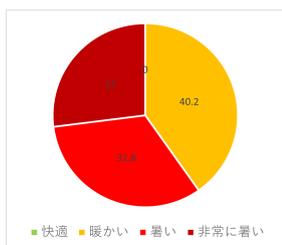


図4 ウェアラブルエアコン有りの場合の読書における主観評価

Figure 4 Subjective evaluation in reading with wearable air conditioner

また, Empatica E4 リストバンドから得られる心拍変動指標を特徴量とし, ウェアラブルエアコンを使用しない場合の生体情報で Random Forest を用いて PMV を予測するモデルを作成しウェアラブルエアコンの有無について, 予

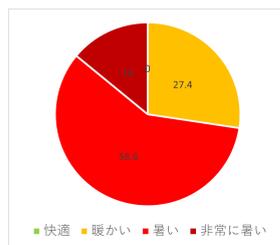


図5 ウェアラブルエアコン無しの場合のラジオ体操における主観評価

Figure 5 Subjective evaluation in Radio gymnastics without wearable air conditioner

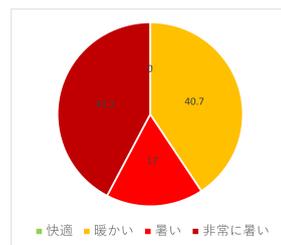


図6 ウェアラブルエアコン有りの場合のラジオ体操における主観評価

Figure 6 Subjective evaluation in Radio gymnastics with wearable air conditioner

測を行った. その結果, ウェアラブルエアコンを使用しない場合と比べ, ウェアラブルエアコンを使用した場合, PMV が「暖かい」環境において, 「快適」環境であると予測した割合が20%上がった. 一方, PMV が「暑い」環境において「暑い」環境であると予測した割合が12%上がっていた. これは, ウェアラブルエアコンを使用しない実験ではなかった温度 32°C, 湿度 80% での待機時間があつただめだと考えられる.

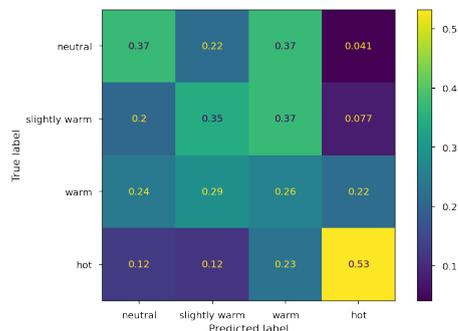


図7 ウェアラブルエアコンを使用しない場合における温熱感覚の混同行列

Figure 7 Confusion Matrix of thermal sensation without wearable air conditioners

## 5. 結論

### 5.1. まとめ

読書における主観評価アンケートでは, ウェアラブルエアコン無しに比べ, ウェアラブルエアコン有りの場合, 「非常に暑い」または「暑い」と感じている割合が減っていた. また, ラジオ体操における主観評価アンケートでは, ウェア

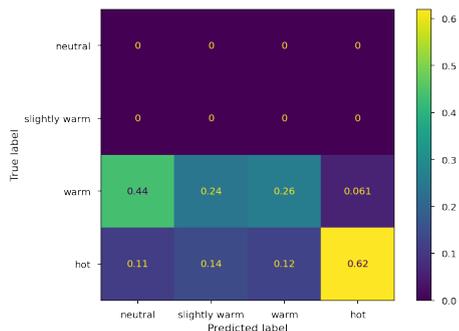


図8 ウェアラブルエアコンを使用した場合における温熱感覚の混同行列

Figure8 Confusion Matrix of thermal sensation with wearable air conditioners

ラブルエアコン無しに比べ、ウェアラブルエアコン有りの場合、「非常に暑い」または「暑い」と感じている割合が減っていた。機械学習の結果では、「暖かい」環境において、「快適」環境であると予測した割合が上がり、PMVが「暑い」環境において「暑い」環境であると予測した割合が上がっていた。したがって、ウェアラブルエアコンで頸部を冷やすことで、快適に感じるだけでなく、生体情報も快適な環境にいるような状態になる可能性が示唆された。しかし、「非常に暑い」に関しては、どちらもウェアラブルエアコン無しに比べ、ウェアラブルエアコン有りの方が「非常に暑い」と感じている割合は高かった。これらが起こった原因は実験開始時の違いによる差であると考えられる。ウェアラブルエアコンを使用しない実験では比較的涼しい部屋から暑い実験室に入ったのに対し、ウェアラブルエアコンを使用した実験では暑い実験室に入り10分間待機したのちに実験を行った。この差によって、主観評価での「非常に暑い」の割合の変化などが起こったと考えられる。

## 5.2. 今後の展望

本研究では生体信号のみを用いて温熱快適性を予測している。Empatica E4 リストバンドで得られる加速度情報や表面体温情報などを追加して精度が上がるか検証していきたい。さらに、生体信号に影響を与えているのが熱ストレスだけではなく作業による精神ストレスの影響があるのか検証していく必要がある。また、今後はより正確な比較ができるように、実験の前後での温湿度状況を同じものにし実験数を増やしていきたい。

## 6. 謝辞

本研究は、セコム科学技術振興財団研究助成金の支援を受けて実施した。実験は、株式会社富士通ゼネラルの協力

のもとに実施された。実験プロトコルは、青山学院大学倫理委員会の承認を得た (H21-009)。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省年齢（5歳階級）別にみた熱中症による死亡数の年次推移（平成7年～令和3年）～ 人口動態統計（確定数）より、<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/tokusyu/necchusho21/d1/nenrei.pdf> (2021). (参照日 2023/1/1).
- [2] 千葉友樹, 高橋幹雄, 黒木友裕, 和田一樹, 天野健太郎, 桑山絹子局所冷却行為による暑熱ストレス軽減効果の予測手法に関する研究(その1) 警部冷却時の生理反応の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, Vol. 6, pp. 37-40 (2019).

# 英語の読み能力向上に付随した授業内問題行動の変容

高橋裕子<sup>†1</sup>大森幹真<sup>†2</sup>早稲田大学人間科学研究科<sup>†1</sup>早稲田大学人間科学学術院<sup>†2</sup>

## 1. 問題と目的

現在、通常学級に通う小・中学生の 8.8%に学習面・行動面の困難さがあるとされており、学校現場における授業中の児童の問題行動は年々増加傾向にある。先行研究から、児童の言語能力の低さが問題行動の生起に関連がある事が示されているが、英語を第二言語として学ぶ子ども英語能力と問題行動の関連については未解明である。さらには、音素・音韻の系統的指導による英語能力向上に伴い、行動変容につながるかについても解明されていない。そこで本研究では英語を学ぶ児童を対象に、日本語・英語の読み・音韻能力と、クラス内での離席等の問題行動の生起頻度の関連を検討した。その後、英語の読み書き支援による英語能力向上により問題行動の生起頻度が減少するかどうかを明らかにすることとした。

## 2. 方法

### 2.1 参加者

本研究では、通常学級に通っており、日本語を母国語とし、第二言語として英語を習っている 6~11 歳の児童 9 名を対象とした。また、その中で継続参加が可能であった 5 名に対して英語の読み書き支援を実施した。

### 2.2 刺激と装置

子どもの日本語の読み書き能力を計測するために読み書きスクリーニング改訂版 (STRAW-R) を使用し、英語の音韻能力を測定するために TOPA-2+<sup>[1]</sup> を用いた。また英語授業中の問題行動を計測するためにビデオカメラを使用し、教員が子どもの問題行動を評価するために日本語版 SESBI-R を使用した。さらには英語の読み書き支援として、参加者が読み書きできない英単語を 40 個程度用意した。

### 2.3 手続き

- (1) 日本語・英語の読み書き評価として STRAW-R と TOPA-2+ を行った。それぞれ、提示された文字・単語を読むことや、音声刺激に対応した文字・絵を選ぶことを求めた。
- (2) 問題行動の評定として撮影動画をを用いて各参加者の問題行動の生起回数を求め、クラスの担当教員に各参加者に対して SESBI-R に回答してもらった。
- (3) 英語の読み書きのベースライン評価として 6 つの英単語とそれを構成する音韻を分解したもの、それらを再構成した新規単語を合計 36 個提示し、読むことを求めた。またこれらの音韻・単語の聞き取り書きを行うことを求めた。

- (4) 英語の読み書き支援として、標的 3 単語の音素を分解し、時間的・空間的な位置情報を保持したまま時系列的に提示する、継次刺激ペアリング (SSP<sup>[2]</sup>) 手続きを行った。例えば、SSP 手続きにおいて“jet”を学習させる際に、“j”を画面の左側に音声と同時に提示し、その後“et”を画面の右側に提示した後に単語全体と対応する絵刺激を提示した。参加者には画面を見て、提示された音声を模倣することを求めた。そして、提示後に学習した英単語の読み書きをすることを求めた。すべての標的単語の学習終了後に般化テストを行い、残り 3 つの標的単語の支援を同様に実施した。

- (5) (1), (2) と同様の評価を行った。

## 3. 結果

まず、TOPA-2+ 得点の高低に分けて SESBI-R の問題スコアを比較したところ低群の得点が有意に高いことが明らかになった [ $t(6) = 2.85, p < .05$ ]。また図 1 に英語読み書き支援前後での SESBI-R 得点の推移を示したところ、訓練前後で問題スコアに有意な減少が見られた [ $t(4) = 2.91, p < .05$ ]。

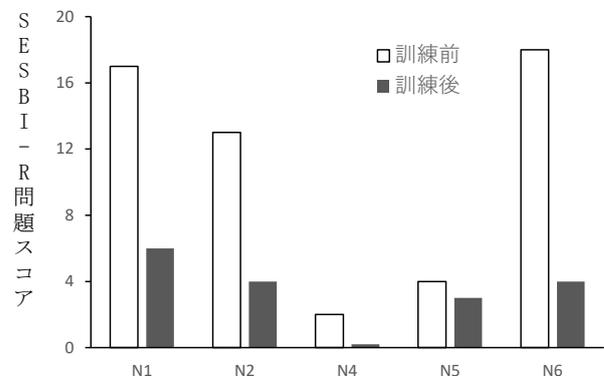


図 1. 訓練前後での SESBI-R 得点の推移

## 4. 考察

本研究の結果から、英語の授業中の問題行動の生起要因として、参加者の英語の読み能力や音韻理解の低さが関係していることが明らかになった。また英語読み訓練を行うことで、未訓練であった英単語書字獲得や、授業中の問題行動の質的・量的な減少につながることも判明した。

## 参考文献

- [1] Torgensen, J. K., & Bryant, B.R. (2004). Test of Phonological Awareness-Second Edition: PLUS. Pro-ed.
- [2] Omori, M., & Yamamoto, J. (2013). *Psychology*, 4, 238-245

<sup>†1</sup> YUKO TAKAHASHI, Graduate School of Human Sciences, Waseda University  
<sup>†2</sup> MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University

# 刺激の実観察割合による外国語の書き獲得支援： 見せ方の違いによる行動変容の可能性

大森幹真<sup>†1</sup>早稲田大学人間科学学術院<sup>†1</sup>

## 1. 問題と目的

これまでの刺激等価性を基盤にした言語学習支援において、刺激への観察反応の有無は、それらへの選択反応により計測していた。一方で Dube ら[1]によると、見本合わせ課題での誤答の増加には、刺激に対する観察反応の不十分さが関連しているという報告がある。そのため、近年では刺激への観察反応を量的に計測する試みも広がりつつある。その中で、刺激の時間的・空間的な位置関係を保持したまま時系列的に刺激提示する刺激ペアリング(SP)手続きや系列刺激ペアリング(SSP)手続きが開発されたことで、刺激を適切に観察することで発達障害児の言語獲得につながるということが明らかにされてきている。特に発達障害児の読み書き獲得においては SSP 手続きの方が SP 手続きよりも少ない訓練回数で学習することも報告されている[2]。しかしなぜ両者の学習効果に差が見られたかについては検討されていない。そこで、本研究では参加者に対して SP 手続きおよび SSP 手続きを用いて外国語の読み書き支援を行った。その際に訓練中の視線機能を計測することで、学習中の視線機能に違いがあるかを検討することとした。

## 2. 方法

### 2.1 参加者

スペイン語学習経験のない発達障害児 3 名が参加した。

### 2.2 刺激と装置

4 文字のスペイン語(Esp)刺激を 30 語、それに対応する英語(Eng)刺激と日本語(Jap)刺激を各 30 語、両者の意味に対応する絵(pic)刺激を 30 個用意した。訓練中の視線機能を計測するために Tobii X3-120 を使用した。

### 2.3 手続き

- (1) 実験デザインとして、2つの訓練手続きごとに非同期型の参加者間多層ベースライン手続きを使用した。
- (2) 事前評価として、コンピュータ(PC)上に提示された絵刺激に対応するスペイン語単語・英単語の書き評価を行った。
- (3) ベースライン評価として PC 上に 2 度ずつ提示された 3 つの英語刺激と絵刺激に対応する Esp 書字と Esp 刺激に対応する英語書字を行うことを求めた。
- (4) 訓練と学習中の視線機能測定：SP 手続き、もしくは SSP 手続きを用いて訓練を行った。一方の手続きでの学習終了後に、他方の手続きを用いて訓練を行った。SP 手続きでは

Esp 刺激が 4 文字のまま 4 秒間提示され、SSP 手続きでは、Esp 刺激の 2 文字が左側に 1 秒、残りの 2 文字が右側に 1 秒提示され、その後 4 文字の Esp 刺激が 2 秒間提示された。両手続き共に、Esp 刺激の提示後に対応する Eng 刺激が 2 秒提示された。各刺激は 3 度ずつ提示し、参加者には提示された文字列を見ることを教示した。視線機能の計測は、刺激提示中に継続して行った。訓練は 2 試行連続で Esp 書字の正答率が 100%であった際に終了した。

## 3. 結果

すべての参加者が SP 手続きおよび SSP 手続きを通じて外国語書字を獲得した。学習獲得までの訓練回数を比較すると、SP 手続きでは平均 3.00 回、SSP 手続きでは平均 2.67 回の訓練が必要であった。図 1 に訓練中の刺激の実観察割合を示した。その結果 SSP 手続きの方が、実観察割合が有意に高いことを示した [ $t(2) = 33.71, p < .05^{***}$ ].

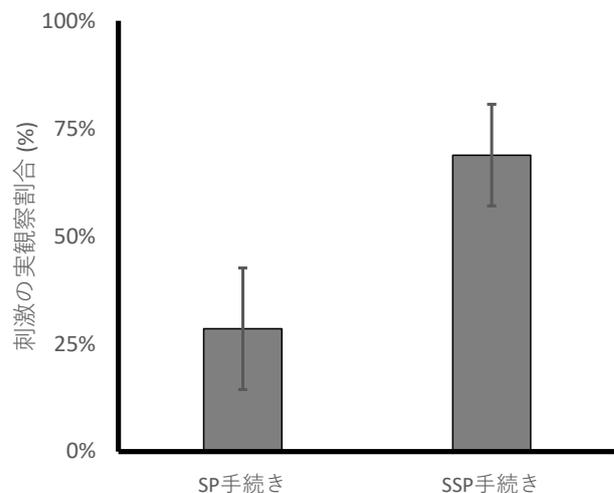


図 1. 睡眠時間の達成差得点-睡眠の質の達成差得点

## 4. 考察

本研究の結果から、SSP 手続きの訓練効果の高さは、刺激の実観察割合の長さが影響を与えていることが示唆できることとなった。今後はより長く複雑な単語や文章を用いて検討をすることが必要となる。

## 参考文献

- [1] Dube et al., (2010) Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 94, 297-313.
- [2] Omori & Yamamoto (2018). Psychological Record, 68, 189-200.

<sup>†1</sup> MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University

# 拡張現実を用いたマルチプレイ掃除活性化システム

阿部悠貴<sup>†1</sup>      ロペズ・ギヨーム<sup>†2</sup>  
 青山学院大学      青山学院大学

2023年2月17日

## 1. はじめに

掃除とは掃くことや拭くことでゴミや汚れを無くしきれいにすることである。掃除には様々な利点があり、清潔な生活を送るために必要不可欠である。しかし、掃除に対して面倒や手間に思っている人は多い。サンケイリビング新聞社による掃除に対する意識調査に関するアンケート [1] によると、「掃除が面倒だと思ふことがある」という問いに対して 87.2% もの人が「あてはまる」・「どちらかといえばあてはまる」と回答している。「掃除をするのが好きな方だ」という問いに対しても「あてはまらない」・「どちらかといえばあてはまらない」と回答した人が 55.5% と過半数を占めている。また、リビングくらし HOW 研究所が行った掃除についてのアンケート [2] によると、「掃除が好きですか?」という問いに対して 71.1% の人がいいえと回答している。株式会社アスマークが行った住環境と掃除に関するアンケート調査 [3] においては「[A] 掃除が好きである / [B] 掃除が嫌いである」に対して「Aに近い」～「Bに近い」の5段階での回答を求める質問を行っており、全体の半数の人が「どちらかといえば B に近い」・「B に近い」と回答している。

このような課題を解決するため、本研究では拡張現実を用いて現実の掃除に対して仮想的にフィードバックを行い、掃除に対してゲーム要素を付与する拡張現実を用いたマルチプレイ掃除活性化システムを提案する。

## 2. 先行研究

市村 [4] は掃除機に 3 軸加速度を計測可能なデバイスを取り付け往復運動を計測し、その結果に基づいてゲーム要素を加えることで掃除を楽しく行えるシステムを提案した。図 1 に市村が提案したシステムの利用風景を示す。掃除機に取り付けたデバイスで計測した往復運動を PC に送信し、その値をゲームスコアとして得点化している。また、掃除開始時に Twitter にツイートを行うことでほかのユーザーと SNS を通して共有できる機能を実装している。

小坂 [5] は、現実世界の掃除がけをゲームコンテンツに設



図 1 市村が提案したシステムの利用風景 ([4] より引用)

Figure 1

定することで楽しく掃除を行うことを目的とするシリアスゲーム「妖怪クリーナーズ」を提案している。図 2 に「妖怪クリーナーズ」のシステム構成図を示す。床に NFC タグを埋め込み、それを利用することで掃除機の位置を推定している。また、掃除機にセンサデバイスを取り付けている。これには、吸引したごみの量を計測するホコリセンサと吸引場所を計測する NFC アンテナが搭載されている。これらのデータから 2D ゲームに落としこみ、妖怪を倒すようなゲームを作成した。また、リビングなどにボスが出現するように設定すると体験者はボスを探しながらボスの出現個所を集中して掃除しやすくなる。

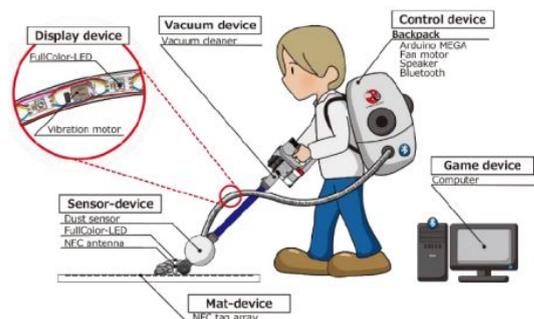


図 2 妖怪クリーナーズシステム構成図 ([5] より引用)

Figure 2 Youkai Cleaners System Configuration Diagram (cite from [5])

[1mm]

<sup>†1</sup> Harutaka Abe, Aoyamagakuin University.

<sup>†2</sup> Guillaume LOPEZ, Aoyamagakuin University.

### 3. 拡張現実を用いたマルチプレイ掃除活性化システム

本節では本研究で提案する拡張現実を用いたマルチプレイ掃除活性化システムの概要について述べる。これは透過型ヘッドマウントディスプレイを用いた拡張現実技術により、通常の掃除では見ることのできない掃除箇所の着色による可視化を行うと同時にゲーミフィケーション手法によりゲーム要素を付与することで掃除への意欲の維持・向上を目的としたシステムである。図3に提案システムの全体図を示す。掃除を行う人は掃除状況やゲーム進行度を確認するデバイスとして透過型ヘッドマウントディスプレイを装着し、掃除道具に位置推定のためのマークを取り付ける。マークが取り付けられた掃除道具を用いて掃除を行う事で掃除箇所を拡張現実を用いて仮想的に着色し、掃除箇所の重複を防ぎながらまだ掃除されていない場所の確認が可能となる。また、掃除状況の提示と同時にゲーミフィケーション手法を用いたゲーム要素の付与により掃除に対するモチベーションの維持・向上を促す。ゲーム要素は別々の部屋にしながら通信可能な協力モードと競争モードが存在する。図4にシステム利用時の透過型ヘッドマウントディスプレイから見える画面を示す。協力モードは互いの掃除面積の合計で共通の敵を倒すモードであり、競争モードは互いの掃除面積を競うモードである。ゲーム進行度の確認のため追従型のUIを配置している。これにより現在自分が有利か不利かが一目で確認可能である。また、掃除中にアイテムやエネとして各所に仮想オブジェクトを配置する。ユーザは仮想オブジェクトに掃除道具で触れることでボーナスポイントを獲得可能とし、広範囲の掃除を促す。

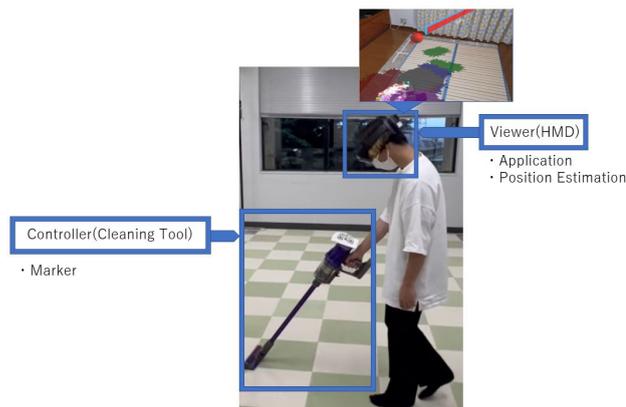


図3 提案システムの全体図

Figure 3 Overall view of the proposed system

本システム通信機能を実装するため、オンライン機能を組み込むためのサービスである「Photon Unity Networking 2 (以下「PUN」とする) [6]」を利用した。本システムを起

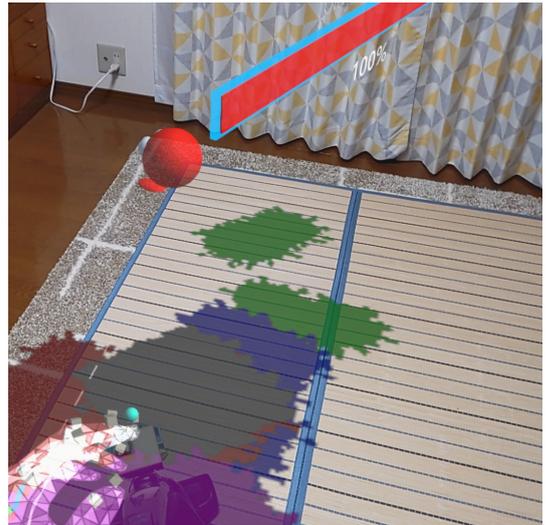


図4 透過型ヘッドマウントディスプレイから見える画面  
Figure 4 View through a transparent head-mounted display

動し、各ルーム1人目にオンラインへ接続したユーザはマスタークライアントとなり、一意となる個別のルームIDを用いてルームの作成を行う。2人目に接続したユーザはルームを検索し、ルームに参加する。各ユーザのシステム上ではルームを作成した場合はplayer1、ルームに参加した場合はplayer2として扱う。ルームの最大人数は2人となっており、3人目以降も同様にマッチングを行う。

### 4. 掃除効果およびモチベーションへの影響の評価実験

本システムを利用するうえで、システムの有用性や実際に使用する人がどのように感じるか、掃除体験がどのように変化するかを検証する。また、掃除箇所の着色のみを行うシングルプレイモードと本研究で提案するマルチプレイモードの違いや協力と競争での違いについても検証する。

被験者10名にコードレス掃除機およびシステムなし、シングルプレイ、協力モード、競争モードの内ランダムに3つを用いて掃除を行ってもらった。掃除する範囲は4.8m四方の内側でありテープを張ることで枠を示している。実際に掃除する部屋に近づけるためにモニターやテーブル、椅子を配置した。

評価指標として定量評価とアンケート評価を行った。定量評価においては掃除面積、重複度(式1)を用いた。掃除面積は仮想オブジェクトに着色されたピクセル数を合算した値を用いた。アンケート評価は各掃除後、独自に作成したアンケートに回答してもらった。

$$\text{重複度} = \frac{\text{移動距離 (m)} \times \text{ヘッド横幅 (m)}}{\text{掃除した面積 (px)}} \quad (1)$$

## 5. 実験結果と考察

本節では評価実験の結果と考察を述べる。

### 5.1. 定量評価の結果と考察

図5に各モードの掃除面積の比較結果を示す。シングルプレイ、競争モード、競争モードはシステム無しと比べて掃除面積が優位に大きいことから掃除箇所を着色するフィードバックが広範囲の掃除に有効であると考えられる。また、競争モード、競争モードはシングルプレイと比べて優位に掃除面積が大きいことから仮想オブジェクトの配置がより広範囲の掃除を促したと考えられる。

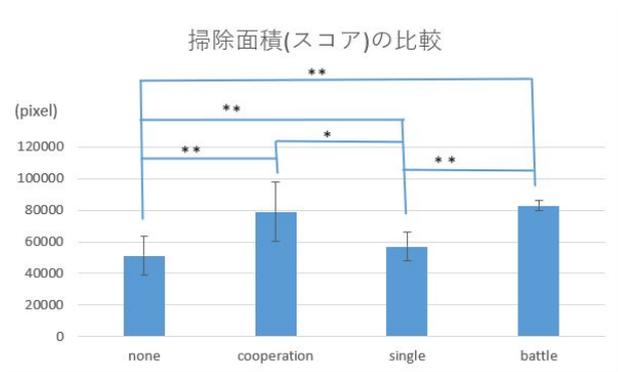


図5 各モードの掃除面積の比較結果

Figure5 Comparison results of cleaning area for each mode

\*:p<0.05, \*\*:p<0.01  
他の項目については有意差なし

図6に各モードの重複度の比較結果を示す。シングルプレイ、競争モード、競争モードはシステム無しと比べて優位に重複度が小さいことから掃除箇所を着色するフィードバックが掃除箇所の重複を防ぎ効率的な掃除を促したと考えられる。

表1にアンケート結果を示す。システム無し以外の全てのモードにおいて楽しいと感じていることから掃除箇所を着色するフィードバックの新鮮さから楽しさを増幅させたと考えられる。またこのシステムを使用したいかや継続的に使用したいかの質問項目では協力モードと競争モードが高い値となっている。これは、毎回異なる相手と通信するため、新鮮さが損なわれにくいためであると考えられる。また、どのくらい掃除に満足しているかという質問に対しても協力モードと競争モードが高い値となっている。これは、明確な目的が存在するため満足度が増幅したと考えられる。

重複度の比較

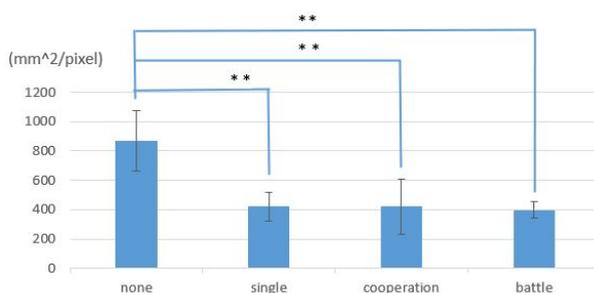


図6 各モードの重複度の比較結果

Figure6 Comparison results of the degree of overlap for each mode

\*:p<0.05, \*\*:p<0.01  
他の項目については有意差なし

表1 Caption

質問内容	シングルプレイ	協力	競争	無し
どのくらい楽しいと感じましたか	4.5	4.5	4.8	1.7
またこのシステムを使用したいですか	4.0	4.3	4.8	
このシステムを継続的に使用したいですか	3.8	4.1	4.8	
どのくらい掃除に満足していますか	3.7	4.4	4.7	

## 6. まとめと今後の展望

本研究では掃除に対して面倒や手間に感じている課題に着目し、掃除に拡張現実を用いたゲーミフィケーション手法を用いることで掃除のモチベーションの維持・向上させることを目的としたシステムを作成し評価実験を行った。ゲーム要素として従来までの掃除箇所を着色することに加えてマルチプレイモードとして別々の離れた部屋で掃除を行っている人と協力や競争を可能とするシステムを実装した。また、より広範囲の掃除を促すために掃除する部屋の各所に仮想オブジェクトを配置し、それを獲得する用促すゲームシステムとした。

協力や競争を行うことで1人で掃除を行っているときに比べて楽しさや掃除に対する満足度が増加し、より掃除に対するモチベーションの維持・向上に効果的であることが明らかとなった。また、定量評価の結果から掃除の効率を保ちながらより広範囲を掃除しているため、仮想オブジェクトの配置が広範囲の掃除に寄与したと考えられる。

本システムの使用により、現実世界の掃除が従来よりもゲーム性に特化した仮想空間内でのゲームに置き換えることができた。また、掃除箇所の重複を防ぎながら広範囲の掃除を促す事が可能なシステムであることが明らかとなっ

た。アンケート評価の結果からも 1 人でプレイするモードに比べてモチベーションを維持・向上可能であることが明らかとなった。

システムの改善点として毎回の掃除記録を保存できないことがあげられる。日常的に使用するために、毎回の掃除記録を保存し、部屋のどの場所が掃除漏れが多いかなどを提示することでさらなる掃除支援が可能であると考えられる。また、スコアなどのマルチプレイの結果を保存しランキング化することでより長期的な支援を行える可能性がある。マーカの認識については掃除をする人が常にカメラの画角内にマーカを捉える必要があるため煩わしさを感じることもあるため、利用者が意識しなくても追跡可能なマーカ設計とすることやマーカレスとすることで掃除体験が向上すると考えられる。以上にあげられる課題を解決することでより実用的かつ長期的な支援が可能なシステムを目的とし、本システムを発展させていきたい。

**謝辞** 本研究を行うにあたり被験者の方々、協力してくださった全ての方に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] : サンケイリビング新聞社. お掃除に関するアンケート, <http://ad.sankeiliving.co.jp/wp/wp-content/uploads/2018/08/97d6acb0f4e0849e820b250f2fca5ab2.pdf>. (Accessed on 9/21/2022).
- [2] : リビングくらし HOW 研究所. 掃除についてのアンケート, <https://www.kurashihow.co.jp/wp-content/uploads/2014/03/b34b148e50a3439a23ef15e5d7e892a1.pdf> (2014). (Accessed on 9/21/2022).
- [3] : 株式会社アスマーク. 住環境と掃除に関するアンケート調査, <https://www.asmarq.co.jp/data/mr201807clean/> (2018). (Accessed on 9/20/2022).
- [4] 市村哲, 矢澤崇史, 戸丸慎也, 渡邊宏優家事をゲーミフィケーション化する試み「掃除への適用」(2014).
- [5] 小坂崇之妖怪クリーナーズ: 現実世界の掃除をゲームコンテンツにしたシリアスゲームの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集, pp. 148-151 (2016).
- [6] : Photon Unity Networking 2. Exit Games., <https://doc-api.photonengine.com/ja-jp/pun/v2/index.html>. (Accessed on 1/14/2022).

# 心理特性に基づいたメッセージ配信によるクーポン開封率向上の検討

三村 知洋<sup>†1</sup>

株式会社 NTT ドコモ

酒井 亮勢<sup>†2</sup>

株式会社 NTT ドコモ

石黒 慎<sup>†3</sup>

株式会社 NTT ドコモ

鈴木 喬<sup>†4</sup>

株式会社 NTT ドコモ

山田 暁<sup>†5</sup>

株式会社 NTT ドコモ

## 1. はじめに

小売業では、顧客の購買意欲を高め売り上げを拡大するために、クーポン配布が行われる。特に近年ではスマートフォン上のアプリケーションにクーポンを配布するオンラインクーポンを用いた販促が行われている。オンラインクーポンを用いることで特定のユーザを対象にクーポン配信するターゲティングや同じ内容のクーポンでも異なるメッセージを配信するなどのパーソナライズが可能となる。

オンラインクーポンの利用を促進するためには、顧客に配信内容への関心を持たせることで、広告クリックなどの行動を促す行動変容手段が必要である。オンラインクーポンの効果を高める手段として Push 通知がある。Push 通知とは、スマートフォンのアプリケーションを介し情報を受動的に取得し、受信された情報をユーザーに通知するための機能である。スマートフォンの着信音やステータスバーの表示などの例があり、モバイルマーケティングにおいて盛んに活用されている。Push 通知を利用することは、スマートフォンユーザに関与する最も有効な戦略の一つであり [1]、様々なアプリケーションに採用されている。

筆者らは、Push 通知によるオンラインクーポンの更なる開封率向上を実現するための手段として行動経済学に基づくナッジに着目した。ナッジとは、人の価値観や心理的な傾向に基づき、個人や社会にとって望ましい意思決定を促す行動変容手法である [2, 3]。特にナッジを応用することで、ユーザに合わせたメッセージを配信する研究は様々な分野で実施されている。例えば、濱谷らによる健康促進のためにナッジを利用したメッセージ配信が挙げられる [4]。同研究では、性格因子とメッセージ受容性の関係が示唆されている。彼らの先行研究からも心理特性に基づいてメッセージ内容をパーソナライズすることが重要であると考えられる。

本稿では、人の心理特性に基づくメッセージ配信について述べる。事前実施したアンケート結果から顧客の心理特性を推定する機械学習手法を構築した。

本論文の貢献は下記の 2 点である。

- 心理特性に関するアンケートの取得
- スマートフォンの決済履歴、デモグラフィック情報、アプリケーションの利用履歴データを用いた心理特性の推定モデルの構築

## 2. 行動変容技術

### 2.1. モバイル端末を活用した行動変容

近年ではスマートフォンなどのモバイル端末の普及により、時間、場所を問わずユーザに通知を送信することが可能になった。このためモバイル端末を介してユーザーに働きかけることで行動を変化させるための技術の研究は盛んに行われるようになった [5, 6]。大橋らは、モバイル端末への通知のタイミングに関する研究を実施した [6]。彼らは、3 週間にわたり 68 万人以上のユーザーを対象とした調査を実施した。その結果、割り込み可能な瞬間を検知するまで通知を遅らせることにより、すぐに通知する場合と比較して、多くの場合において、ユーザーの反応時間が大幅に短縮されることが示されている。

### 2.2. メッセージによる行動変容

メール型広告において、メールのタイトルが開封（クリック、コンバージョン）に影響することが知られている。吉井らは、メールの配信対象ユーザのデモグラフィック情報とメールのタイトル情報を説明変数とした機械学習によりユーザーによる広告開封の有無を予測する回帰モデルを作成し、フレーズごとの重みからタイトルのスコアを定義した [7]。新しく定義されたスコアと開封率の実測値との相関から、メールタイトルの開封率への影響を定量的に評価した。結果からメールタイトルが開封に影響を与えることが明らかにされた。我々は、同研究から示唆された結果より、Push 通知においても同様に、メッセージ内容とクリック、

Consideration of improving coupon open rates by delivering messages based on psychographic characteristics

<sup>†1</sup> Tomohiro Mimura, NTT DOCOMO, inc.

<sup>†2</sup> Akinari Sakai, NTT DOCOMO, inc.

<sup>†3</sup> Shin Ishiguro, NTT DOCOMO, inc.

<sup>†4</sup> Takashi Suzuki, NTT DOCOMO, inc.

<sup>†5</sup> Akira Yamada, NTT DOCOMO, inc.

コンバージョンには互いに関係があると考えた。

### 2.3. データによるユーザの心理特性の推定

心理特性を表す有名な指標の1つとしてビッグ5がある[8]。ビッグ5とは開放性、誠実性、外向性、協調性、神経症傾向の5つと定義される。製菓会社の従業員に対してビッグ5を用いて性格と職務遂行能力との関係の分析を行なった。実験の結果、開放性、誠実性、外向性、神経症傾向が課題遂行能力と創造性に関連することが示された。また、誠実性、開放性、協調性の3つの性格特性によって、参加者の管理パフォーマンスの分散の28%が説明された。

また、声のデータからビッグ5を推定した研究事例が報告されている[9]。同研究では、人の音声には心理に関連した様々な現象が表現されるという仮説に基づき、音声情報を用いた機械学習による心理特性の推定が行なわれた。同研究により、人の心理特性は直接、心理状態に関する情報を保有しているとは見られない多種多様なデータからも推定できる可能性が示唆されている。

濱谷らは、スマートフォンのデータから認知能力を推定する機械学習モデルを提案した[10]。彼らは、Go-NoGoタスクを使用した認知能力の測定結果に対して、スマートフォンの各種センサー等から計測される情報を用いた機械学習手法を提案した。実験結果は、推定精度が最大74%向上することを示しており、スマートフォンのデータを用いることで人の認知能力を推定できることが示唆された。

これらの先行研究から示唆された情報に基づき、我々は、スマートフォンを用いたユーザの行動変容は効果的であり、ユーザのスマートフォンに配信されるメッセージの内容がオンラインクーポンの認知に影響を与えると考えた。また、ユーザの心理特性はスマートフォンから計測されるデータを用いることで推定できると考えた。

本研究では、スマートフォンより得られるデータである決済ログ、デモグラフィック情報、アプリケーションの利用履歴を用いて人の心理特性を推定する機械学習モデルの構築を実施する。

## 3. 心理特性推定モデル

### 3.1. 心理特性に関するアンケート収集

ユーザの心理特性を推定する機械学習モデルを構築するために、心理特性に関するアンケートを実施した。アンケートは、NTTドコモが提供するdポイントクラブアンケート

\*1を通じて、利用同意を得たユーザ3136人に対してデータ収集が実施された。今回取得したアンケートを表1に示す。ここで、各心理特性について説明する。

表1 心理特性に基づくアンケート内容

Table1 Questionnaire content based on psychometric characteristics

心理特性	アンケート内容
限定選好	A. 先着10名の限定メニュー B. -
割引選好	A. 20%クーポンのある料理点 B. -
同調志向	A. 周りに同調してA案に挙手 B. 自分が良いと思うB案に挙手
時間選好	A. 今日30,000円もらえる B. 1週間後に33,000万円もらえる
リスク選好	A. 100人に1人、3,000円が当たる B. 1000人に1人、30,000円が当たる

- 利得選好とは得をすることを好む傾向があることを示す。
- 限定選好とは限定感のあるものを好む傾向があることを示す。
- 同調選好とは人と同じ行動を取りやすい傾向があることを示す。
- 時間選好とは現在に近い時間(利益)を好む傾向があることを示す。
- リスク選好とはハイリスク・ハイリターンな行動を好む傾向があることを示す。

アンケート参加者は表1のアンケートに対して段階的に評価した。限定選好、割引選好に対してアンケートのA選択肢を1.魅力を感じる、2.やや魅力を感じる、3.あまり魅力に感じない、4.魅力に感じないの4段階で評価した。同調志向に対して1.周りに同調して、皆と一緒にA案で挙手してしまう、2.自分が良いと思うB案で挙手するが、気まずさを感じる、3.自分が良いと思うB案で挙手し、気まずさは感じないの3段階で評価した。時間選好、リスク選好に対してアンケートのA選択肢、B選択肢を1.Aの方が魅力的、2.どちらかといえばAの方が魅力的、3.どちらともいえない、4.どちらかといえばBの方が魅力的、5.Bの方が魅力的の5段階で評価した。

アンケート結果を図1に示す。図1の各グラフは各心理特性に関するものであり、横軸に段階、縦軸に各段階のアンケート回答数、青色の軸が男性・オレンジ色の軸が女性を意味している。アンケート結果が示す通り、男女間に心理特性に関する大きな差がないことが分かる。図2に各心理特性ごとの相互情報量を示す。図2より情報量として大きな値がないことから各心理特性に対して大きな相関がないことが分かった。

\*1 <https://dpoint.docomo.ne.jp/enq/guide/about.html>

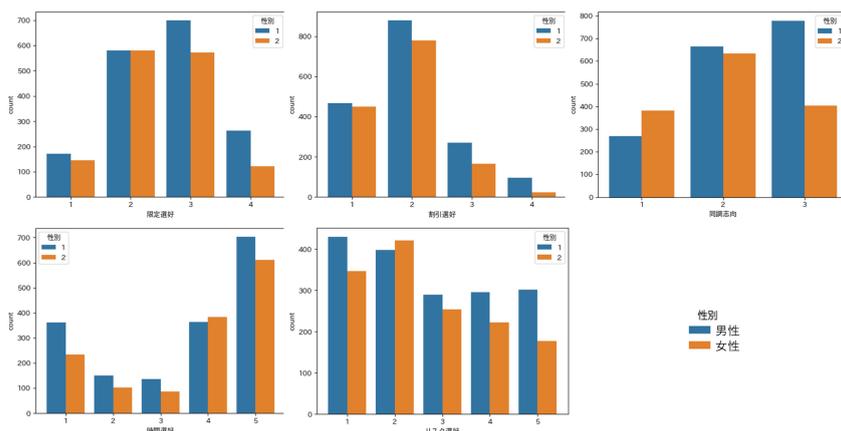


図1 各心理特性に関するアンケート結果

Figure 1 Questionnaire results on each psychological characteristic

表2 推定精度

Table 2 accuracy

心理特性	推定精度 (AUC)
限定選好	0.53
割引選好	0.78
同調志向	0.76
時間選好	0.66
リスク選好	0.64

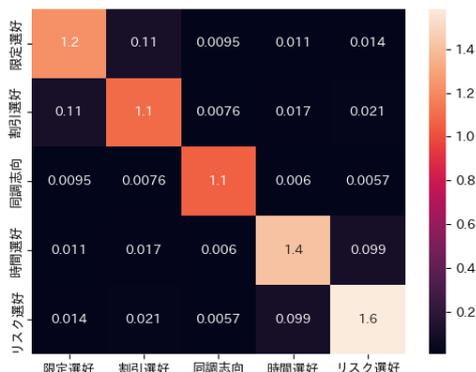


図2 各心理特性ごとの相互情報量

Figure 2 Mutual information for each psychological characteristic

### 3.2. 心理特性を推定する機械学習手法

本研究ではスマートフォンの決済ログ、デモグラフィック情報、アプリケーションの利用履歴を用いて人の心理特性を推定する機械学習モデルの構築を実施する。

今回は心理特性の強度ではなく有無を推定するために目的変数を2値化する。2値化するにあたってユーザー群が同等になるように閾値を設定する。限定選好・割引選好は閾値を1.5, 同調志向は閾値を2.5, 5択である時間選好・リスク選好に対しては閾値を3.5とする。

スマートフォンの決済、アプリケーションの利用履歴を機械学習の説明変数として利用する場合、目的変数の次元数が大きくなりすぎることが問題となる。落合らはスマートフォンのアプリケーションの利用履歴の重要度をTF-IDFを用いて計算することで精度向上を行なった[11]。そこで

本研究では、決済およびアプリケーションの利用履歴に対して、TF-IDFを算出することで説明変数の重要度を計算し、重要度の高い説明変数を選定した。

### 3.3. 実験

アンケートから収集されたデータの8割を学習データ、2割をテストデータとしてランダムに分割した。推定精度の計算においてクロスバリデーションを用いた。心理特性の推定モデルの学習にはLightGBMを用いた[12]。LightGBMとは勾配ブースティングの手法の一つであり、様々な機械学習問題において高い精度を示すことが知られている。表2に推定精度を示す。

実験結果より割引選好、同調志向において他と比較して高い推定精度が示された。一方、限定選好においては、他と比べて低い推定精度が示されている。これは、過去のキャンペーンに関する説明変数を入れなかったことが原因と考えられる。

表 3 配信メッセージ

Table 3 Message

心理特性	配信メッセージ
プレーン	メッセージ BOX にクーポンが届いています
限定選好	おトクなクーポンが届いています
割引選好	あなただけに限定クーポンが届いています
同調志向	みんな使ってる！？ おトクなクーポン届いています
時間選好	今だけ！おトクなクーポンが届いています
リスク選好	おトクなクーポンが届いているかも！？

#### 4. 今後の展望

我々は将来、本研究の成果を用いることでスマートフォンから推定された個々のユーザの 5 つの心理特性に合わせて、オンラインクーポンの Push 通知の際に表示されるメッセージの内容を変化させ、メッセージのクリック、コンバージョンの割合を向上させる研究を行うことを検討している。本実験で配信するメッセージを表 3 に示す。

#### 5. まとめ

本研究ではオンラインクーポンの開封率と心理特性の関係に着目した。Push 配信のコンバージョンを増加させるためには、心理特性に応じたメッセージ配信をすることが重要と仮定し、ユーザの心理特性を推定する機械学習モデルの構築を実施した。

アンケートを用いて収集したユーザの心理特性の教師データに対して、スマートフォンの決済履歴、デモグラフィック情報、アプリケーションの利用履歴から心理特性を推定する機械学習モデルを構築した。

今後の展望として、推定された心理特性を用いてユーザに合わせて Push 配信のメッセージを変化させることで、ユーザのクリック、コンバージョンの割合が変化するか検証することを検討している。

#### 参考文献

[1] Gavilan, D. and Avello, M.: Enabling smartphone push notifications: the effect of a framed opt-in request, *International Journal of Mobile Communications*, Vol. 21, No. 1, pp. 1–18 (2023).

[2] Leonard, T. C.: Richard H. Thaler, Cass R. Sunstein, *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*: Yale University Press, New Haven, CT, 2008, 293 pp, \$26.00 (2008).

[3] Sugden, R.: On nudging: A review of nudge: Improving decisions about health, wealth and happiness by Richard

H. Thaler and Cass R. Sunstein (2009).

[4] 濱谷尚志, 山田渉, 落合桂一, 山本直樹, 檜山聡ほか健康に関する行動変容のための社会的メッセージ提示方法の検討, 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), Vol. 2021, No. 5, pp. 1–6 (2021).

[5] Choi, W., Park, S., Kim, D., Lim, Y.-k. and Lee, U.: Multi-stage receptivity model for mobile just-in-time health intervention, *Proceedings of the ACM on interactive, mobile, wearable and ubiquitous technologies*, Vol. 3, No. 2, pp. 1–26 (2019).

[6] Okoshi, T., Tsubouchi, K., Taji, M., Ichikawa, T. and Tokuda, H.: Attention and engagement-awareness in the wild: A large-scale study with adaptive notifications, *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, IEEE, pp. 100–110 (2017).

[7] 吉井健敏, 城田晃希, 市川匠, 佐野雄一, 持橋大地ほかメール型広告におけるタイトルが開封に与える影響, 研究報告情報基礎とアクセス技術 (IFAT), Vol. 2022, No. 44, pp. 1–11 (2022).

[8] Barrick, M. R. and Mount, M. K.: The big five personality dimensions and job performance: a meta-analysis, *Personnel psychology*, Vol. 44, No. 1, pp. 1–26 (1991).

[9] Nguyen, B. M., Tran, T., Nguyen, T. and Nguyen, G.: An Improved Sea Lion Optimization for Workload Elasticity Prediction with Neural Networks, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 15, No. 1, p. 90 (2022).

[10] Hamatani, T., Ochiai, K., Inagaki, A., Yamamoto, N., Fukazawa, Y., Kimoto, M., Kiriu, K., Kaminishi, K., Ota, J., Terasawa, Y. et al.: Automated inference of cognitive performance by fusing multimodal information acquired by smartphone, *Adjunct Proceedings of the 2019 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2019 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 921–928 (2019).

[11] Ochiai, K., Senkawa, K., Yamamoto, N., Tanaka, Y. and Fukazawa, Y.: Real-time on-device troubleshooting recommendation for smartphones, *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, pp. 2783–2791 (2019).

[12] Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q. and Liu, T.-Y.: Lightgbm: A highly efficient gradient boosting decision tree, *Advances in neural information processing systems*, Vol. 30 (2017).

# 睡眠の質と量の主観的・客観的評価の乖離について

今野祥太<sup>†1</sup> 大森幹真<sup>†2</sup>

早稲田大学人間科学部<sup>†1</sup> 早稲田大学人間科学学術院<sup>†2</sup>

## 1. 問題と目的

令和元年の国民健康・栄養調査によると、20歳以上の平均睡眠時間は6～7時間程度であり、睡眠の質について、「日中眠気を感じた」と回答した者の中で20歳代が最も多かった(厚生労働省,2019)。また新沼・平松・田村(2020)の、大学生を対象とした調査の中で全体の63%が睡眠時間に対する充足度を「足りていない」と回答した。これらのことから睡眠の時間や質が生活にどのように影響を及ぼすか、調査することが必要であると考え。睡眠に関する海外の研究で、睡眠状態の主観的評価と客観的評価の比較を行い、この2つの乖離が自己申告による睡眠状態と関連があると報告した[1]。そこで本研究では、睡眠の時間と質について、主観的評価と客観的評価の乖離に関する調査を行い、自身の睡眠時間、睡眠状態に関する自己申告(以下要求水準とする)が客観的な睡眠状態に及ぼす影響についても検討した。

## 2. 方法

### 2.1 参加者

過去に発達障害・精神障害の診断歴のない定型発達の大学生11名を研究参加者の対象とした。

### 2.2 刺激と装置

睡眠記録の客観的な測定に腕時計型ウェアラブルデバイス(HUAWEI Band6)を使用し、参加者には実験期間中の睡眠の状態を記録する用紙を配布した。また睡眠状態の主観的な測定のために、過去1ヶ月間の睡眠状態をPSQI-J[2]により評価してもらった。得点の範囲は0~21点であり、5.5点以上をカットオフ値とした。

### 2.3 手続き

- まずPSQI-Jに回答してもらい、Band 6のキャリブレーションを行った。その後、計測方法の説明を行った。
- 計測方法として1週間睡眠時にBand6を装着して睡眠することを教示した。次に、実測値評価として起床後に睡眠の質の主観的満足度評価を4段階で評定してもらい、Band 6に記録された睡眠時間を記録用紙に転記してもらった。
- 期待値評価として前日の睡眠の質・量における自身の実測値を参考にしながら、当日の睡眠時間と満足度の期待値を宣言し、記録してもらった。

### 2.4 結果の処理法

まず前日の睡眠時間・質における結果の差を達成差得点、結果から前日に決めた期待値の差を目標差得点とした。解

析方法はそれぞれの達成差得点間や目標差得点間についてカイ二乗検定および残差分析を行った。

## 3. 結果

本研究参加者のPSQI-J総合得点における平均値は点であり、カットオフ値5.5点を超えた参加者は10名だった。各組み合わせにおいて有意差が見られたのは「睡眠の質の達成差得点-目標差得点」( $F(4) = 9.451, p < .05$ )と「睡眠時間の達成差得点-睡眠の質の達成差得点」( $F(4) = 17.801, p < .005$ )であった(図1参照)。次に、残差分析の結果、特に顕著なものとして「睡眠時間の達成差得点が平均値よりも低く、睡眠の質の達成差得点が平均値と同じ」群と「睡眠時間の達成差得点が平均値よりも低く、睡眠の質の達成差得点が平均値よりも高い」群で理論値を上回る数値が見られた。さらには「睡眠時間の達成差得点が平均値よりも高く、睡眠の質の達成差得点が平均値と同じ」群や「睡眠時間の達成差得点が平均値よりも高く、睡眠の質の達成差得点が平均値よりも高い」群で理論値を上回る実測値が得られた。

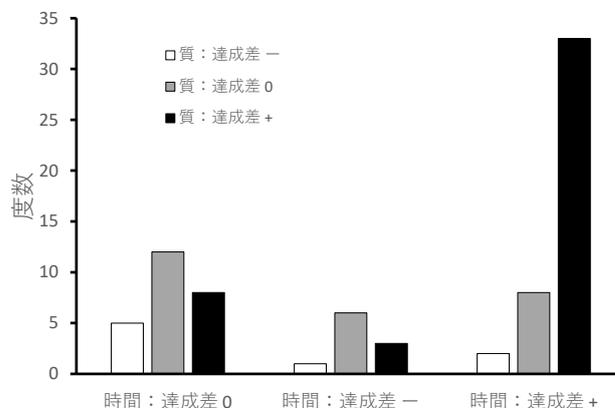


図1.睡眠時間の達成差得点-睡眠の質の達成差得点

## 4. 考察

本研究の結果から、前日より長く睡眠時間を確保できた場合に睡眠の質が向上していると判断する参加者が多いことが明らかになった。一方で15分未満の差異であれば睡眠の満足度評定は低くなることも示した。

## 参考文献

- [1] Siobhan et al., (2021) *Sleep Health*, 7, 83-92.
- [2] Doi et al. (2000). *Psychiatry Research*, 97, 165-172.

<sup>†1</sup> SHOTA KONNO, School of Human Sciences, Waseda University

<sup>†2</sup> MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University

# 主体・客体の相違における言語行動の変容：ASD 傾向との関連

林珠里<sup>†1</sup> 大森幹真<sup>†2</sup>

早稲田大学人間科学部<sup>†1</sup> 早稲田大学人間科学学術院<sup>†2</sup>

## 1. 問題と目的

自閉スペクトラム症 (ASD) は、社会的コミュニケーションに障害があり、間接的要求のような語用論を含んだ言語表現の理解に困難がある。海外では、定型発達児の間接的要求理解はある程度解明されている (Bucciarelli et al., 2003) が、ASD 児に対する研究は少なく、さまざまな結果が出ている (Kinssine et al., 2012; MacKay & Shaw, 2004)。国内では、定型発達児を含めて発達段階を明らかにした研究は少ない。本研究では、発達障害児を対象に、言語場面と非言語場面での間接的要求の理解と課題遂行中の視線機能を明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法

### 2.1 参加者

発達障害診断のある、もしくは発達障害傾向の子ども 29 名 (男児 21 名, 女児 8 名, 平均年齢 8.9 歳,  $SD = 2.5$  歳) を研究参加者とした。

### 2.2 刺激と装置

視線機能を計測するために Tobii X3-120 を使用した。ASD 傾向を計測する質問紙として、対人応答性尺度 (SRS-2) と広汎性発達障害日本自閉症協会評定尺度 (PARS) 短縮版児童期を使用した。また言語能力を測定するために PVT-R 絵画語い検査も実施した。実験刺激には、非言語場面では 1 枚の図版に「自分」、「相手」、「もの」の 3 つのイラストを配置し、間接的要求を行なっている場面を作成した。言語場面には非言語場面の図版に「文字」を追加し、各 6 種類で合計 12 枚の図版を提示した。

### 2.3 手続き

参加者に間接的要求課題の 1 枚の図版を 5 秒間提示し、参加者にはその図版を見ることを求めた。黒い背景に切り替わったら、間接的要求の理解を問う質問に対して自由に回答を求めた。実験では質問の異なる 2 種類の課題を実施した。非言語場面と言語場面の図版が交互に提示されるようにし、同じ場面が連続で提示されないように順番はランダムになるようにした。こうした手順を 12 回繰り返した。

### 2.4 結果の処理法

障害傾向の高低による群わけをしたうえで、言語場面と非言語場面での図版を見終わってから回答を終えるまでの平均反応時間、そして注視領域ごとの注視回数・総停留時間等を求めた。そのうえで、障害傾向・課題・領域間で

の 3 要因の分散分析を行った。自由回答データはカテゴリ一分類を行った。

## 3. 結果

群わけの結果、本研究参加者の障害傾向高群は 20 名、障害傾向低群は 9 名であった。課題間、障害傾向ごとの平均反応時間を比較した。分散分析の結果、課題の主効果 ( $F(1, 24) = 140.8, p < .001$ ) は有意であったが、障害傾向の主効果と交互作用は有意でなかった。Bonferroni 法による多重比較を行った結果、すべての課題の組み合わせに有意差があった。課題 1 より課題 2 の方が平均反応時間は長く、非言語場面より言語場面の方が平均反応時間は長かった。自由回答データを分類した結果、課題 1 では、「状況理解」が 9.9%、「要求」が 58.2%、「同意」が 0%、「その他」が 31.9% であった。課題 2 では、「提案」が 58.8%、「質問」が 8.8%、「同意」が 1.9%、「説明」が 15.3%、「その他」が 16.7% であった。

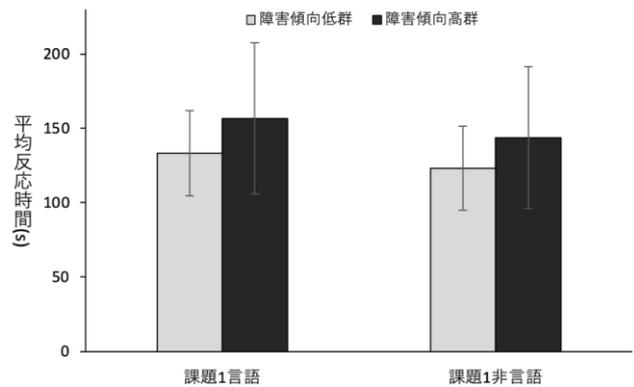


図 1. 課題間、障害傾向ごとの平均反応時間

## 4. 考察

平均反応時間の結果から、言語場面での間接的要求の理解が困難だった可能性がある。自由回答では、「要求」と回答できた子どもはいたが、「状況理解」や「その他」の回答も多数あり、間接的要求の理解・表出の困難さを示している。自由回答が難しい子どもがいたが、回答方法や実験条件によって、間接的要求の理解ができる可能性がある。

## 参考文献

- [1] Bucciarelli et al. (2003). *Journal of Pragmatics*, 35, 207-241.
- [2] MacKay & Shaw. (2004). *Child Language Teaching and Therapy*, 20, 13-32.
- [3] Kissine et al. (2012). *Autism*, 16, 523-531.

<sup>†1</sup> JURI HAYASHI, School of Human Sciences, Waseda University  
<sup>†2</sup> MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University

# 室内環境測定に基づく居住者の行動推定システム

鈴木臣<sup>†1</sup> 深沢圭一郎<sup>†2</sup> 村井孝子<sup>†3</sup>  
 愛知大学<sup>†1</sup> 京都大学<sup>†2</sup> 純真学園大学<sup>†3</sup>

## 1. はじめに

2007年に人口の21%以上が65歳以上という超高齢化社会となった日本において、高齢者の介護は大きな社会問題になっている。介護者の不足や家族の介護負担は国内人口の減少下においてはさらに深刻になっていくであろう。特に認知症の人には、症状の進行に伴う様々な問題行動を把握し適切にケアする必要があるため、介護の負担は特に大きくなる。現在、認知症は介護が必要となる原因の中で大きな割合を占めている [1]。

一方で、近年急速に実用化が進んでいるIoTによるデータ収集は、産業用途のみならず介護や育児、医療分野においても利用されつつある。IoTを活用することで、ネットワークを介して様々なセンサやカメラから大量のデータが得られるため「見守り」の手段として注目されている [2]。ただし、膨大なデータを効率よく処理して、必要な人に知りたい情報を的確に伝える仕組みも同時に考えていかなければいけない。

本研究では、環境センサとIoTを用いて室内環境変化をモニタすることで居住者（特に認知症高齢者を対象）の行動をリアルタイムに推定するシステムの開発をおこなった。このシステムは非接触かつ自律的に機能するため、介護する側と介護される側の双方の身体的・精神的負担を軽減することが見込まれる。環境データからは様々な情報を得ることができるため多様な見守りに活用できるものの、その情報量の多さからかえって情報を受け取る側の負担が増加することが危惧される。本研究では情報を受け取る側のニーズに合わせて、必要な情報のみを伝える「オーダーメイド型の行動推定」の確立を目的とした。

## 2. システム概要

本研究で開発したシステムの概要を図1に示す。システムは小型の環境センサ（オムロン 2JCIE）、通信モジュールおよびデータ送受信用エッジコンピュータ（Raspberry Pi 3）で構成され、すべて比較的入手性の良い安価な商品

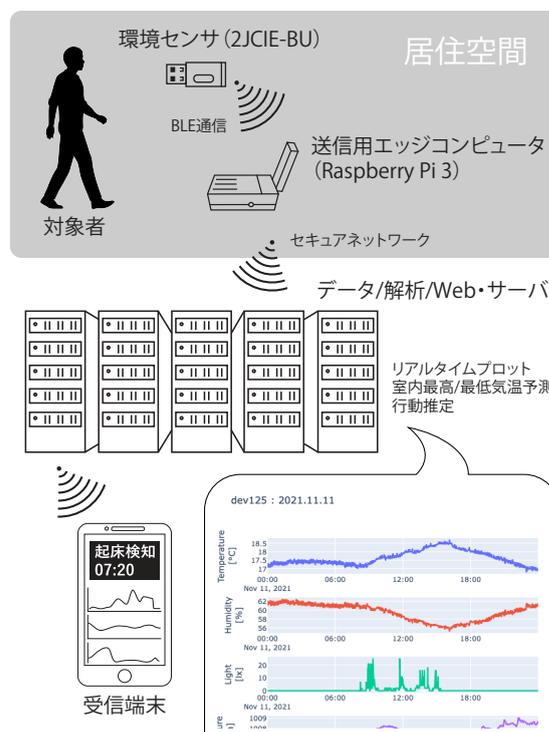


図1 システムの概要図

Figure 1 Schematic illustration of the system.

である [3, 4]。これにより装置が故障した際も復帰が早く、データの連続性が保たれる。使用する環境センサは非常に小型であり USB 電源で独立して動作するため設置場所の自由度が高く、装置を設置した居住空間（多くの場合寝室）で生活する対象者の心理的負担も極めて限定的であるといえる（図2）。環境センサは居室の気温、湿度、気圧、照度、騒音、TVOC濃度、CO<sub>2</sub>濃度を測定し、得られたデータは Bluetooth LE 経由でエッジコンピュータに5分間隔で送信される。エッジコンピュータにおいて、データは即座に整形と暗号化がなされ接続された送信モジュールによって外部サーバに転送される。さらにサーバでは毎日の CSV ファイルとして格納され、同時に対象者の行動認識が自動で実行される。データから指定された行動が検知された場合は、事前に設定された家族や介護事業者の受信端末に結

Activity Recognition System Based on the Indoor Environment Sensing

<sup>†1</sup> SHIN SUZUKI, Aichi University

<sup>†2</sup> KEIICHIRO FUKAZAWA, Kyoto University

<sup>†3</sup> TAKAKO MURAI, Junshin Gakuen University



図2 環境センサの外観とサイズ (オムロン 2JCIE)  
 Figure2 Picture of the environment sensor (OMRON 2JCIE).

果が通知される。またサーバでは、Python の web フレームワークのひとつである Bottle を使用して、描画ライブラリの Plotly でプロットを作成することで、ユーザ側が任意の装置、日付・時間のデータをインタラクティブに確認する環境が整っており、動作確認や研究者間の情報共有がしやすくなっている。またデータを基に、RNN (再帰型ニューラルネットワーク) を利用した最高・最低気温の予測を通知する機能も実装済みである [3]。

### 3. 結果

#### 3.1. 行動推定：基本行動

室内環境は居住者の行動によって変化することが確認されている。例えばエアコンの作動は騒音や気温 (あるいは相対湿度) の変化として現れるため対象者の動作や安否を確認することができる。本研究では、照度と騒音の変化に注目して、対象者の起床 (照明の点灯により照度が上がり、生活音が騒音レベルの上昇として認識される)、就寝 (消灯により照度が減少し騒音レベルも下がる)、外出 (一定期間騒音レベルが低い状態が続く) を基本として推定している。

図3に測定結果の例を示す。この日は06:00に照度 (図3c) と騒音レベル (図3e) が上がっており、このタイミングで起床したと推定できる。逆に21:45には照度と騒音レベルが下がり就寝した時刻といえる。また、09:00付近から17:00までは騒音レベルが40-50 dB程度で安定しているためこの時間に対象者は外出しているという推定がなされる。実際に介護福祉施設の協力により、これらの検知した行動は正しいことが確認されている。さらにこの日の測定では、06:00から温度5°C程度増加しており (図3a) その後も規則的な気温変化 (エアコンの自動温度調整) が見られるため、起床と同時に対象者がエアコンを動作させたことがわ

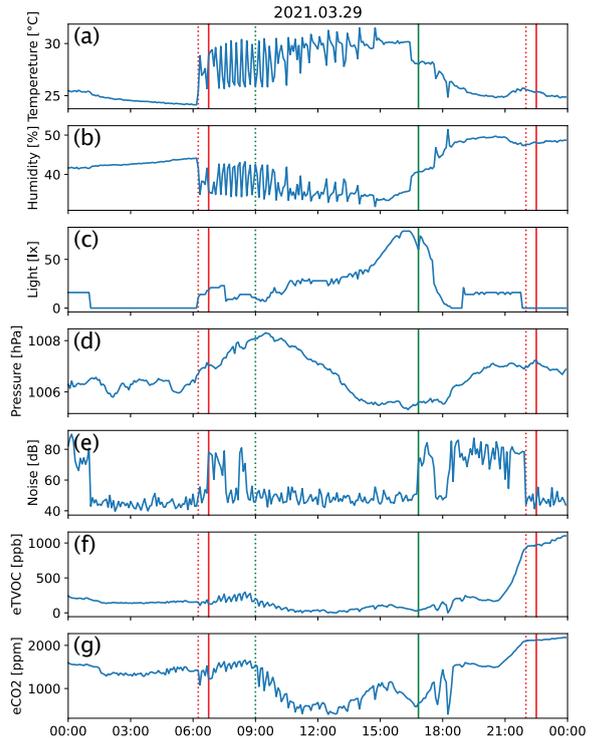


図3 測定結果の例. 2021年3月29日における (a) 気温, (b) 湿度, (c) 照度, (d) 気圧, (e) 騒音, (f) TVOC 濃度, (g) CO<sub>2</sub> 濃度. 赤および緑の破線と実線で囲まれた区間はそれぞれ自動判定された起床・就寝および外出の時間を示す.

Figure3 Example of measurements on 29 March 2021: (a) temperature, (b) humidity, (c) illuminance, (d) atmospheric pressure, (e) noise level, (f) TVOC, and (g) CO<sub>2</sub>. The time ranges indicated by the red and green lines show the detections of one getting up/going to sleep and out of the room, respectively.

かる。また19:00付近の照度の上昇 (およびその後一定の明るさが保たれていること) から、日没で部屋が暗くなったため照明をつけたことを知ることができる。なお測定する湿度 (図3b) は相対湿度であるため、気圧 (図3d) の変化に伴わないものは気温変化によるものであるといえる [5]。

対象者の住環境によって閾値の調整は必要であるものの、ある対象者の20日間の測定データからの自動判定の精度は、起床で90%、就寝で45%、外出で80%であった [3]。また、およそ2週間程度で対象者の行動パターンを把握することが可能であることがわかった。一人暮らしの高齢者の場合は特に環境変化から読み取ることができる行動が曜日パターン化される傾向にあるため、このパターンと異なる行動

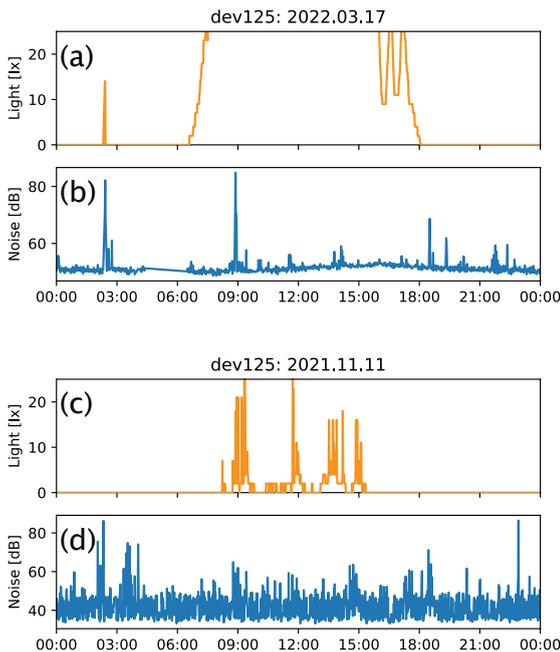


図4 トイレに設置したセンサによる 2022 年 3 月 17 日の (a) 照度と (b) 騒音レベル, 2021 年 11 月 11 日の (c) 照度と (d) 騒音レベル

Figure 4 (a) Illuminance and (b) noise level measured by the sensor in the bathroom on 17 March 2022. (c) and (d) are the same as (a) and (b), respectively, but for the data on 11 November 2021.

が検知された（あるいは検知されなかった）場合は、対象者がなんらかの異常状態にあると推定することもできる。この場合は介護者に通知を出すことで速やかに対象者の安否確認が可能である。

### 3.2. 行動推定：オーダーメイド型

推定したい行動は対象者によって異なる。ある対象者 A は認知症であり、その家族からは夜中のトイレの使用を検知する要望があった。対象者 A は通常の排泄行動からの逸脱があり、排泄後速やかに家族である介護者が対応することが介護の負担減につながる事例であった。生活行動を撮影することに対してプライバシーの問題も指摘される中 [6], 排泄は極めてプライバシー性の高い行動であるものの、排泄行動を検知する需要は高い。カメラなどに比べると本研究で用いる環境センサでの測定は、プライバシー侵害の程度ははるかに低いといえる。当然、第三者にデータが漏洩しないように配慮しなければならないが、設置した家庭に

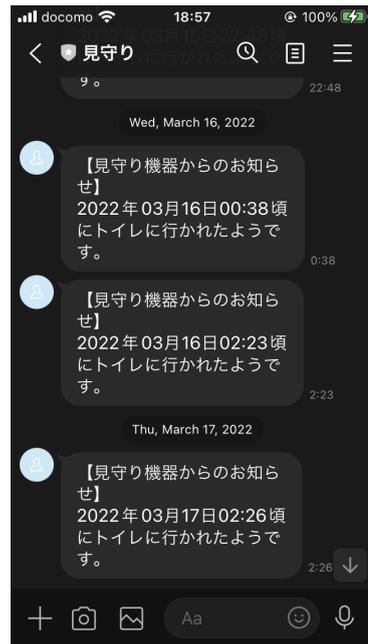


図5 トイレ使用が検知されたことを知らせる LINE 通知  
Figure 5 Example of LINE messages notifying the detection of use of the bathroom.

においても同様のコメントを受けている。我々は寝室に近いトイレに環境センサを設置して照度と騒音レベルをモニタすることで夜間（21:00 から翌日 05:00 まで）のトイレ使用の検知をおこなった。トイレを使用していない夜間の照度と騒音レベルを測定し、使用時の閾値をそれぞれ 10 lx と 65 dB に設定し、両方の閾値を超えた場合にトイレを使用した（トイレに入り照明をつけた場合に照度が上がり、トイレの水を流した際に騒音レベルが上がる）と推定した。

図 4 にトイレ使用を検知した結果の例を示す。2022 年 3 月 17 日の例では、02:05 付近に照度が 0 lx から 14 lx へ急激な変化が見られ（図 4a）、ほぼ同時刻に騒音レベルも 82 dB に達している（図 4b）ためこの時間にトイレを使用することがわかる。一方で、2021 年 11 月 11 日の例では 02:10 付近と 03:30 付近に騒音レベルが 65 dB を超える変化が見られるが（図 4d）、照度には変化がない（図 4c）。家族へのヒアリングの結果、対象者 A は照明をつけずに排泄する可能性があり、この晩は消灯したままトイレを使用したことがわかった。そのため検知の条件である騒音レベルの増加に重みを加えることで、一般に用いられる照明スイッチからの検知に比べても精度の高い行動推定・行動検知が可能となった。またトイレの使用が検知された場合は、LINE

のメッセージで家族に通知している (図 5)。ただし通知を受ける介護者への負担を考慮して、トイレ行動を検知しても、前の通知から 60 分が経過していない場合には再通知はおこなわないことを取り決めている。実際の使用を確かめてもらい後日ヒアリングすることで、検知精度向上 (特に誤検知の抑制) のフィードバックを得る体制になっている。このように測定値の閾値や条件を対象者に合わせて調整することで、オーダーメイド型の行動推定が可能となった。

#### 4. 改良の検討

現状のシステム (居住空間に設置する測定系) の価格はおよそ 30,000 円程度であり、別途 LTE 通信のための SIM カードが必要となる。本研究で開発した装置を多地点に展開するためには、さらに単価を下げることも重要である。エッジコンピュータとして使用している Raspberry Pi は近年需給がひっ迫しており、価格も上昇している。本システムでエッジコンピュータが担う処理は比較的単純で負荷も小さいため、Raspberry Pi の代わりにデータの受信と送信を逐次におこなうことに特化したマイコンボードを使うことも想定できる。また、LPWA 通信 (特に LoRa) によるデータ通信についても検討している。エッジコンピュータからサーバへの送信データは、5 分ごとに時刻を含む測定値が ASCII 形式で通信モジュールの LTE で送信されている。1 回の送信に対する通信量は約 100 バイトであるため、LoRa (通信速度は 50 kbps 程度) であっても十分に実用に耐える。さらに、1 台のエッジコンピュータから複数のセンサデータを送信することや、高い時間分解能の測定を目指すことも可能である。複数センサや高い時間分解能での観測は、推定できる行動を増やしたり推定精度の向上につながる。例えば、複数の部屋ごとにセンサを設置することで、対象者がどのように部屋を移動したのか、どの部屋に居ることが多いのかが分かり、部屋の移動がない場合は動けない状態になっている可能性があるため介護者にアラートを出すことも可能である。

#### 5. おわりに

本研究では、IoT センサによる環境測定によって居住者の行動を推定するシステムを開発した。非接触で自律的であり小型かつ安価なシステムとすることで、導入コストを抑えるとともに介護者と対象者の身体的・精神的な負担の軽減を実現する。居住空間の照度と騒音レベルの測定から起床・就寝、外出 (不在) の基本的な行動の推定の精度は十分実用的な段階にあるといえる。また、夜間のトイレの使用を知りたいという設置家庭の要望を受け、対象者のトイレ行動を推定する環境を構築した。検知はリアルタイムの

データから自動でおこなわれ、結果は即座に LINE のメッセージで家族に通知している。対象家庭へのヒアリングを重ねフィードバックを受けることで、検知の精度はユーザの満足のいくレベルに到達していることを確認できた。このように室内環境測定に基づく本システムは、ユーザのニーズや状況に合わせたオーダーメイド型の行動推定も可能である。

今後は数カ所の介護福祉施設や家庭において継続している実証実験の結果をシステムにフィードバックすることでさらなる精度向上を目指す。またハードウェアの価格や通信にかかる費用を抑えることで複数センサの利用や高い時間分解能での測定につなげ、多様なニーズに対応できるシステムの開発を進めていく。

**謝辞** 本研究は、JSPS 科研費 (JP20K21739)、純真学園大学共同研究、および AMED (JP22ym0126814) の支援を受けた。データの取得に協力いただいた福岡市役所保健福祉局、社会福祉法人敬愛園アットホーム福岡、社会福祉法人福岡市民生事業連盟ケアタウン茶山、株式会社ライフケアひかりに感謝の意を表する。

#### 参考文献

- [1] 内閣府: "令和 4 年版高齢社会白書", <https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2022/html/zenbun/index.html> (参照 2022-11-15).
- [2] 村田健史, 深沢圭一郎, 徳永旭将, 水原隆道, 野見山陸, Somnuk Phon-Amnuaisuk: 映像 IoT 技術による赤ちゃん見守りシステム, 情報システムと社会環境研究報告, Vol.2020-IS-151 No.3, pp.1-6 (2020).
- [3] 深沢圭一郎, 鈴木臣, 村井孝子: 非接触センサと IoT を用いた自律的遠隔見守りシステムの研究開発, 情報処理学会研究報告, 2022-IS-159, Vol. 7, pp. 1-6 (2022).
- [4] Murai T., K. Fukazawa, S. Suzuki: A Study on Predictive Detection of Excretion in Elderly Requiring Care Using Video Internet of Things, the 25th East Asia Forum of Nursing Scholars (EAFONS) Conference (2022).
- [5] 鈴木臣, 深沢圭一郎, 村井孝子: IoT による室内環境変化のリモートセンシング, 愛知大学情報メディアセンター紀要 COM, Vol. 32, No. 1 (2023), in press.
- [6] Hjelm K., and L. Hedlund: Internet-of-Things (IoT) in healthcare and social services – experiences of a sensor system for notifications of deviant behaviours in the home from the users' perspective, Health Informatics Journal, Vol. 28(1), doi: 10.1177/14604582221075562 (2022).

# コラボレーションの定量・定性分析を接続する IoT システムの一検討

山口 隼平<sup>†1</sup> 大島 律子<sup>†2</sup> 大島 純<sup>†3</sup> 木崎 一廣<sup>†4</sup> 藤橋 卓也<sup>†5</sup> 猿渡 俊介<sup>†6</sup> 渡辺 尚<sup>†7</sup>  
大阪大学 静岡大学 静岡大学 大阪大学 大阪大学 大阪大学 大阪大学

## 概要

学習科学の分野では、協調学習と呼ばれる他者と協調 (コラボレーション) しながら創造的な問題解決に取り組む能力を育む学習形態が研究対象として注目されている。これまで学習科学の分野で実施されてきた協調学習の定性分析をサポートするための手法として、近年では協調学習の定量分析を実現する Internet of Things (IoT) システムが提案されている。しかしながら、定量分析で得られる情報と定性分析で得られる情報を正確に接続するうえでデバイス間の時刻同期誤差が課題となる。本稿では、協調学習の定量分析に向けてセンサデータを収集する名刺型センサ、協調学習の定性分析に向けて学習映像を記録するカメラデバイス、両デバイスの時刻同期を実現して定量・定性分析を正確に接続するセンサデバイスからなる IoT システムを提案する。実機を用いた同期精度の評価から、各デバイスのサンプリングレートやフレームレートに基づく許容誤差以内の時刻同期を満たすこと、デバイスを長時間稼働させた場合でも同期性能が安定することが推察された。

## 1. はじめに

協調学習とは、他者と協調 (コラボレーション) しながら創造的な問題解決に取り組む能力を育む学習である。他の学習者と協調しながら問題解決に取り組むことで、他の学習者から新たな知識を吸収したり学習者間の社会的関係を調整する能力を会得したりすることができる。協調学習におけるグループの知識進展や学習者個人の貢献の様相を明らかにするために、学習科学の分野では映像データに基づいた学習活動の定性分析がなされてきた [1, 2]。具体的には、学習現場にビデオカメラを設置して視線やボディランゲージ、表情、発話、筆記といった学習者のふるまいを記録・観

察することで正確かつ詳細な学習分析を実現している [3]。

近年、協調学習の定性分析における記録・観察の対象を高速かつ容易に抽出するための手法として協調学習の定量分析を実現する Internet of Things (IoT) システムが開発されている [4, 5, 6, 7, 8, 9]。たとえば文献 [7] では、小型カメラを用いて視線やボディランゲージといった学習者の視覚情報に加えて、生体信号センサを用いて心拍や呼吸数といった学習者の非視覚情報を抽出する IoT システムが開発されている。文献 [4, 5, 6, 8, 9] では、名刺型センサを用いて学習者の対面や学習フェーズ、発話者、学習者の活動量といったマルチモーダルな情報を抽出する IoT システムが開発されている。定性分析の利点である正確かつ詳細な学習分析に定量分析の利点である高速かつ容易な学習分析を融合することで新たな学習法則の理解に寄与することが期待される [10]。

しかしながら、定量分析で得られる情報を定性分析で得られる情報と正確に接続するにはデバイス間の時刻同期誤差が課題となる。具体的には、定量分析で用いられる IoT センサ群と定性分析で用いられるビデオカメラのクロックがずれることで得られる時系列データの整合性がとれず分析結果が意味をなさないものになってしまう。既存研究 [4, 5, 6, 7, 8, 9] においても、定量分析で用いられる IoT センサ群で時刻同期を実現する研究が一部なされている一方で、IoT センサ群を用いて得られたセンサデータと定性分析で用いられる映像データとの同期をとる仕組みは実現されていない。正確な定性分析を実現するうえで映像データに求められる時刻同期精度としてはフレームレートの 10 分の 1 以下が望ましい。たとえば、ビデオカメラのフレームレートが 1s である場合には 100 ms 以下の精度で他のデバイスと同期することが求められる。

## 2. 提案手法

デバイス間の時刻同期誤差に関する課題を解決する手法として、本稿では協調学習の定量分析と定性分析を正確に接続することを目的とした IoT システムを提案する。提案システムは、学習活動のセンサデータを記録する Sensor-based Regulation Profiler Badge (SRP Badge)、学習活動の映像を記録する Sensor-based Regulation Profiler Video

A Preliminary Study on an IoT System to Connect Quantitative and Qualitative Collaboration Analysis

<sup>†1</sup> SHUNPEI YAMAGUCHI, Osaka University

<sup>†2</sup> RITSUKO OSHIMA, Shizuoka University

<sup>†3</sup> JUN OSHIMA, Shizuoka University

<sup>†4</sup> KAZUHIRO KIZAKI, Osaka University

<sup>†5</sup> TAKUYA FUJIHASHI, Osaka University

<sup>†6</sup> SHUNSUKE SARUWATARI, Osaka University

<sup>†7</sup> TAKASHI WATANABE, Osaka University

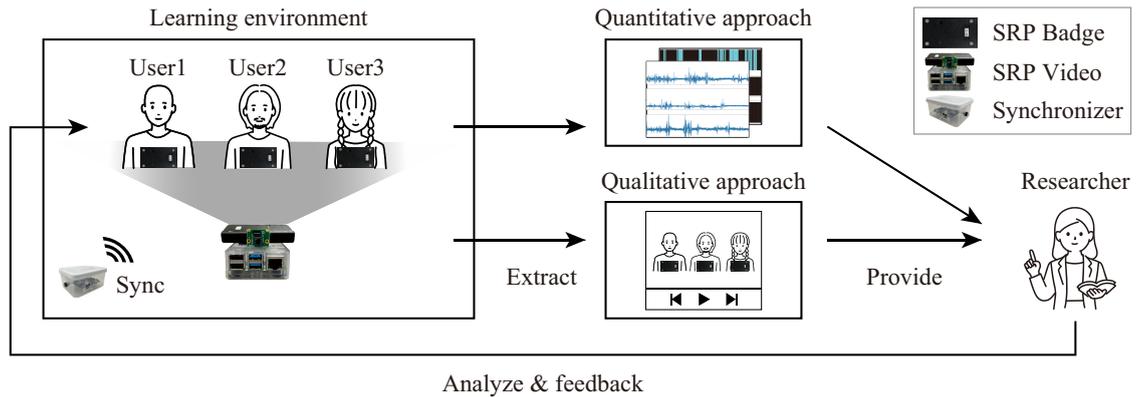


図1 提案 IoT システムを用いた協調学習分析の全体像

(SRP Video), 定期的に同期パケットを送信することで両デバイスの時刻同期を図る Sensor-based Regulation Profiler Synchronizer (SRP Synchronizer) からなる。SRP Badge は、学習者の胸元に装着することを想定した名刺型センサである。SRP Video は、学習環境に設置することを想定した小型のカメラデバイスである。SRP Synchronizer は、同期パケットを全デバイスに対して定期的に送信して各デバイスに受信・転送させることでデバイス間の時刻同期を実現する。図1に、提案システムを用いた協調学習分析の全体像を示す。提案システムを用いた協調学習分析は以下の順序で実施される。

1. 学習者に SRP Badge を装着
2. 学習環境に SRP Video および SRP Synchronizer を設置
3. 学習者による協調学習を実施
4. 学習者および学習環境から SRP Badge, SRP Video, SRP Synchronizer を回収
5. SRP Badge からセンサデータを抽出・可視化
6. SRP Video から映像データを抽出
7. 得られたデータを用いて学習科学の研究者が協調学習を定量的かつ定性的に分析
8. 分析結果を学習現場にフィードバック

### 2.1. Sensor-based Regulation Profiler Badge

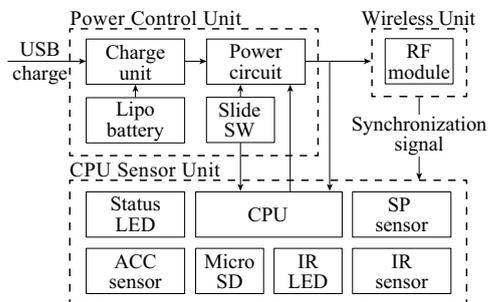
図2(a)および(b)にSRP Badgeの概観およびブロック図を示す。本バッジは、電源制御部・CPUセンサ部・無線部からなる。

電源制御部では、センサノードを動かすためにリチウムイオン電池が搭載されている。リチウムイオン電池から電源スイッチと Micro Controller Unit (MCU) に電源が供給されている。バッジの連続稼働時間は24時間である。

CPUセンサ部では、STMicroelectronics社の



(a) 概観



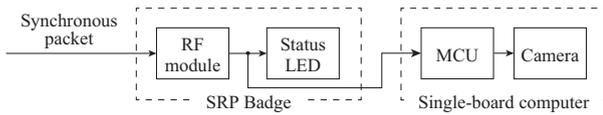
(b) ブロック図

図2 Sensor-based Regulation Profiler Badge

STM32L476RGT6 を MCU として、TDK 社の音圧センサである INMP510 (SP sensor), ANALOG DEVICES 社の加速度センサである ADXL362 (ACC sensor), OptoSupply 社の赤外線 LED である OSI5LAS1C1A (IR LED), KODENSHI CORP. の赤外線受光器である PIC79603 (IR sensor) が搭載されている。音圧センサは 100 Hz 12 bit, 加速度センサは 100 Hz 3 軸 12 bit, 赤外線センサは高々 30 Hz でサンプリングする。各センサデータは SRP Badge のスロットに差し込まれた microSD カードにバイナリで保存される。得られたセンサデータを学習分析プログラム [8] にかけること学習者の対面や学習フェー



(a) 概観



(b) ブロック図

図3 Sensor-based Regulation Profiler Video

ズ、発話者、学習者の活動量といった定量分析結果を得ることができる。

無線部では、Texas Instruments 社の無線モジュールである CC2650 が搭載されている。無線モジュール上では、SRP Badge 間の高精度時刻同期を実現する同時送信型フラッシングプラットフォーム UNISONet [11] が動作している。SRP Badge 間の時刻同期において親機に相当する SRP Synchronizer から 1s ごとに送信される同期信号を各バッジの無線モジュールが受信・転送することでバッジ間の時刻同期を実現する。

## 2.2. Sensor-based Regulation Profiler Video

図 3 (a) および (b) に SRP Video の概観およびブロック図を示す。SRP Video は、節で述べた SRP Badge とカメラ搭載のシングルボードコンピュータ (SBC) からなる。図 (a) に示す通り、SBC の上に有線接続した SRP Badge が搭載されている。本稿では、カメラを搭載した SBC として Raspberry Pi Camera V2 をフラットケーブルで接続した Raspberry Pi 4 Model B を用いている。Raspberry Pi の動作をソフトウェアで制御するにあたって Python 3.9 を用いている。SRP Synchronizer から 1s ごとに送信される同期信号を受信するためのデバイスとして SRP Badge を用いる。SRP Badge は、無線モジュールで同期信号を受信するとバッジ本体に搭載された LED を即座に点灯させる。SRP Badge の無線モジュールから LED に点灯を指示する電気信号を同期信号とみなして SBC 上の汎用入出力 (GPIO) に有線で引き込む。SBC は、GPIO で電気信号を受信した直後に MCU を介して接続されたカメラへ撮影を指示する。カメラは最終的に SRP Synchronizer から SRP Badge および SBC を介して転送された同期信号に基づいて 1s ごとに映像を記録する。各撮影処理後に 1ms のス



図4 Sensor-based Regulation Profiler Synchronizer

リープを実行することで Python の処理時間安定化を図っている。

## 2.3. Sensor-based Regulation Profiler Synchronizer

図 4 に SRP Synchronizer の概観を示す。SRP Synchronizer は、節および節で述べた SRP Badge および SRP Video 間の時刻同期を実現するための同期パケットを各デバイスに対して定期的に送信する。同期パケットは IEEE 802.15.4 の規格に基づいた信号で 1s ごとに無線送信される。SRP Synchronizer から SRP Badge および SRP Video への片方向通信を通じて、SRP Synchronizer から定期送信される同期パケットを各デバイスが受信・処理することで SRP Synchronizer とのクロックのずれを認識して各デバイスがセンサデータに付与するタイムスタンプを補正する。

## 3. デバイスの処理時間および安定性の評価

SRP Video を構成する SRP Badge の同期精度は、1 時間連続で稼働させた場合でも処理時間のばらつきが  $\pm 30 \mu\text{s}$  で安定することが示されている [4]。本稿では、SRP Badge から同期信号を受信して撮影処理を終えるまでに Raspberry Pi が要する処理時間の安定性を評価した。より正確な時間計測を目的として、Raspberry Pi の GPIO に STMicroelectronics 社の SBC である STM32F446 を繋いで処理時間の計測を行った。具体的には、SRP Badge の同期信号を Raspberry Pi が受信した直後から Raspberry Pi のカメラが撮影処理を終了するまでの時間に Raspberry Pi の GPIO ピンから STM32F446 に電気信号を出力することで処理時間を計測した。STM32F446 は  $100 \mu\text{s}$  ごとに電気信号の有無を検知することで高精度な処理時間計測を行った。2.3 節で述べたとおり、SRP Video による撮影頻度は同期信号の受信頻度に合わせて 1s とした。毎秒の撮影を 1 時間継続して得られる計測時間の最大・最小・平均・範囲を算出して処理時間の安定性を評価した。

図 5 に SRP Video の撮影処理に要する時間を示す。図 5

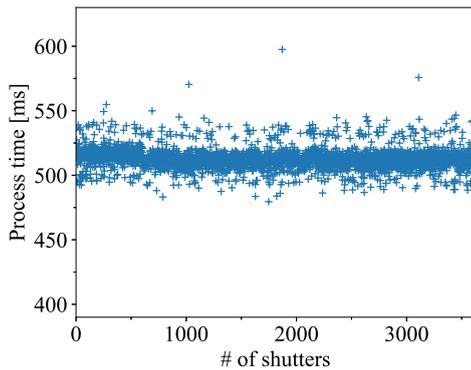


図5 SRP Video の撮影処理に要する時間

の横軸は撮影されたシャッタ数を、縦軸は各撮影の処理時間 (s) を表している。各撮影の処理時間の最大、最小、平均、範囲はそれぞれ 597.5 ms, 479.5 ms, 512.7 ms, 118.0 ms となった。現状の SRP Video におけるフレームレートが 1 fps であること、フレームレートの 10 分の 1 の同期精度が要求されることを考慮すると、撮影処理時間の誤差範囲である 118.0 ms は本稿の許容誤差である 100 ms を満たさない。一方で、撮影処理がイメージセンサによる記録および JPEG ファイルへの現像処理から構成されること、撮影処理時間の誤差として現像処理はデータ上影響を及ぼさないことを考慮すると、撮影処理時間の誤差範囲はより小さく許容誤差を下回る可能性が示唆される。

#### 4. 結論

本稿では、協調学習の定量分析に向けてセンサデータを収集する SRP Badge, 協調学習の定性分析に向けて学習映像を記録する SRP Video, 両デバイスの時刻同期を実現して定量・定性分析を正確に接続する SRP Synchronizer から構成される IoT システムを提案した。実機を用いた同期精度の評価から、各デバイスのサンプリングレートやフレームレートに基づく許容誤差以内の時刻同期を満たすこと、デバイスを長時間稼働させた場合でも同期性能が安定することが推察された。

今後の取り組みとして、SRP Video で収集した映像データの時刻同期誤差を厳密に計測するために撮影処理に要する時間をより細かいスケールで観察することがあげられる。具体的には、撮影処理の構成プロセスであるイメージセンサによる記録および JPEG ファイルへの現像処理の時間計測をプロセスごとに行うことで撮影処理の同期誤差に影響するイメージセンサによる記録のぶれを明らかにする。また、映像を用いた定性分析で求められる SRP Video のフレーム

レートを明らかにすると同時にフレームレートを上げた場合に増大する同期誤差の評価と同期誤差を抑制する手法の提案があげられる。

**謝辞** 本研究は、JSPS 科研費 (JP19H01714, JP22J20391) および JST さきがけ (JPMJPR2032) の支援の下で行った。

#### 参考文献

- [1] Haller, C. R., Gallagher, V. J., Weldon, T. L. and Felder, R. M.: Dynamics of Peer Education in Cooperative Learning Workgroups, *Journal of Engineering Education*, Vol. 89, No. 3, pp. 286–293 (2000).
- [2] Barron, B.: When Smart Groups Fail, *Journal of the Learning Sciences*, Vol. 12, No. 3, pp. 307–359 (2003).
- [3] Ochoa, X.: Multimodal Learning Analytics, *The Handbook of Learning Analytics* (Lang, C., Siemens, G., Wise, A. and Gašević, D., eds.), Society for Learning Analytics Research, pp. 129–141 (2017).
- [4] 山口隼平, 大和多修介, 大島律子, 大島 純, 藤橋卓也, 猿渡俊介, 渡辺 尚: コラボレーションを抽出するためのセンサネットワーク実現に向けた時刻同期精度に関する検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, pp. 1–1 (2019).
- [5] Yamaguchi, S., Ohtawa, S., Oshima, R., Oshima, J., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: Collaborative Learning Analysis Using Business Card-Type Sensors, *International Conference on Quantitative Ethnography*, pp. 319–333 (2021).
- [6] Yamaguchi, S., Oshima, R., Oshima, J., Shiina, R., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: Speaker Identification for Business-Card-Type Sensors, *IEEE Open Journal of the Computer Society*, Vol. 2, pp. 216–226 (2021).
- [7] Ouhachi, H., Spikol, D. and Vogel, B.: MBOX: Designing a Flexible IoT Multimodal Learning Analytics System, *2021 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pp. 122–126 (2021).
- [8] Yamaguchi, S., Ohtawa, S., Oshima, R., Oshima, J., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: An IoT System with Business Card-Type Sensors for Collaborative Learning Analysis, *Journal of Information Processing*, Vol. 30, No. 3, pp. 13–24 (2022).
- [9] Yamaguchi, S., Nagano, M., Ohira, S., Oshima, R., Oshima, J., Fujihashi, T., Saruwatari, S. and Watanabe, T.: Web Services for Collaboration Analysis With IoT Badges, *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 121318–121328 (2022).
- [10] David Williamson Shaffer: *Quantitative Ethnography*, Cathcart Press (2017).
- [11] Suzuki, M., Liao, C.-H., Ohara, S., Jinno, K. and Morikawa, H.: Wireless-Transparent Sensing, *International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks*, pp. 66–77 (2017).

# 社会的意義付けを活用したハイブリッド介入の基礎検討

柏本 幸俊<sup>†1</sup>

KDDI 総合研究所

山崎 悠大<sup>†2</sup>

KDDI 総合研究所

曹 蓮<sup>†3</sup>

KDDI 総合研究所

上坂 大輔<sup>†4</sup>

KDDI 総合研究所

## 1. はじめに

近年、様々な行動を対象とした行動変容支援システムが登場している [1]。多くのシステムは健康増進意識が一定以上存在するユーザの日々の歩行行動の習慣化等の比較的行動変容が容易な行動に注目する。一方で、依存状態にある喫煙・飲酒患者の禁煙・禁酒や勉強が苦手な子供の学習の習慣化、向社会的行動（以降「誘発・習慣化の障壁が高い行動」とする）などの対象行動の誘発と習慣化が難しいという課題が存在する [2]。

本研究では、行動変容支援システムを用いた誘発・習慣化の障壁が高い行動を対象とした行動変容技術を検討する。教育・社会心理学では行動変容に必要な動機付けとして外発的動機付けと内発的動機付けを定義している [3][4]。一般的に外発的動機付けとは他者からの要求や報酬などが目的で行動する動機付けであり、内発的動機付けとは行動自体に楽しさや意義を感じ、自発的に取り組む動機付けである。また、動機付けを外発-内発という2分割ではなく、外発的動機付けを自己決定性の程度からさらに4つに区分し、内発動機付けとの連続性を想定した自己決定理論が存在する [3]。自己決定理論によると人間の動機付けは外発から内発に向けて行動の自己決定性（自発性）が徐々に高くなる。そして、自己決定の程度が高い動機付けであるほど、行動が促進、習慣化されやすい。しかし、対象行動を開始し習慣化する過程において、最初から行動が自発的に習慣化されるのは稀である。一般的には自発性が低い外発的動機付けから始まり、日常生活での成功経験を重ね、達成感や有能感などが高まることによって内発的動機付けに遷移し、自発性が高い対象行動が導かれ、行動の習慣化が行われる。特に、誘発・習慣化の障壁が高い行動は、このような過程を踏んで習慣化を目指すのが有効であると考えられる。

健康増進意識が一定以上存在するユーザの日々の健康歩行の促進等、行動変容が比較的容易な行動においては、多くの場合、内発的動機付けにある程度近づいた状態のユーザに対して行動変容支援システムの使用を開始すると考えられる。この場合はユーザの内発的動機付けの状態を維持し、高めることに行動変容技術を活用する。一方で、誘発・習慣

化の障壁が高い行動においては、外発的動機付けより行い、対象行動を誘発し、外発的動機付け状態を内発的動機付け状態に遷移する必要がある。従って、行動の誘発・習慣化を行動変容支援システムを用いて実現するには以下の課題を解決する必要がある。

**課題 1** 外発的動機付けによる行動の誘発→内発的動機付けによる習慣化を一貫して実現する行動変容技術の開発

**課題 2** 外発的動機付け状態より内発的動機付け状態に遷移可能な行動変容技術の開発

**課題 3** 課題 2 の行動変容技術と親和性の高いユーザの心理的特徴の解明

課題 1 の対処方針として、自己決定理論にもとづき、行動の誘発・習慣化までを一貫して実現する行動変容技術として Inducements と Persuasion を組み合わせたハイブリッド介入を提案する。Inducements とは、他者が意図する行動を誘発するために実施する介入であり、ナッジなどが含まれる。従って、外発的動機付けを行うための介入として活用することができ、これまでナッジを中心として多数の研究が行われている。Persuasion とは、本人が意図する行動変容を支援する介入である。従って、内発的動機づけを強化するための介入として活用することができる。これまで、内発的動機付けができていたユーザを対象にした介入として説得 (Persuasion) を用いた多数の研究が行われている。本研究では、まず対象行動を Inducements を用いて誘発し、次に Persuasion を用いて行動の習慣化を実現することで、対象行動の誘発・習慣化を実現する。

課題 2 においては、外発的動機付け状態から内発的動機付け状態に遷移するための介入手法は教育学における学校現場での指導事例等に留まっており [5]、行動変容システムに応用できる介入手法の確立が課題として存在する。本研究では誘発・習慣化の障壁が高い行動の1つである向社会的行動のうちパトロールランを対象として、外発的動機付けより内発的動機付けに遷移するための介入手法を検討する。向社会的行動とは相手のことを思いやったり、または誰かのために行う行動のことである [6]。また、パトロールランとは日常の軽い運動のついでに街の見回りをを行い、街の安心安全にも貢献する活動のことである\*1。課題 2 を解決するため、社会的意義付けを用いた外発的動機付けより内発的動機付けへの遷移を提案する。社会的意義付けとは対象行

The effectiveness of a combined inducement and persuasion approach.

<sup>†1</sup> KASHIMOTO Yukitoshi, KDDI Research Inc.

<sup>†2</sup> YAMAZAKI Yudai, KDDI Research Inc.

<sup>†3</sup> CAO Lian, KDDI Research Inc.

<sup>†4</sup> KAMISAKA Daisuke, KDDI Research Inc.

\*1 パトロールラン: <http://patorun.com/>

動を行う意図がないものの既に誘発（外発的動機付け状態）している行動に対して、社会に役に立つ実施意義を認知させることで内発的動機付け状態に移行することと定義する。

課題3とは、本研究で用いる社会的意義付けを対象とし、有効に作用するユーザの心理的特徴を明らかにすることである。これまでパトロールランを含む向社会的行動と関係性が指摘されている心理的特徴として、社会的価値 [7][8]、共感性 [9]、Bigfive が存在する [10]。本研究では、社会的意義付けも同様にこれら心理的特徴との相関が高いと仮定し検証を行うことで、社会的意義付けが有効に作用する心理的特徴を明らかにする。社会的意義付けが有効に作用する心理的特徴を明らかにすることで、ユーザの心理的特徴にあわせた介入の選択が可能となる。

上記の課題の解決策を踏まえて、自己決定理論とハイブリッド介入を用いたパトロールランの誘発・習慣化は以下のステップで実施することを仮定する。

- Step1 Inducements を用いて健康増進を目的とした歩行行動を誘発（外発的動機付け状態）
- Step2 健康増進を目的とした歩行行動が実はパトロールランとなっていることを気づかせる（社会的意義付けを用いた外発的動機付けより内発的動機付けへの遷移）
- Step3 Persuasion を用いてパトロールランの習慣化（内発的動機づけ状態）

本研究では初期調査として、パトロールランの誘発・習慣化ステップにおける Step2、すなわち課題2の社会的意義付けの効果と課題3の社会的意義付けが有効に作用する心理的特徴を検証する。

## 2. アンケート設計

課題2と3を検証するため以下の方針でアンケートを設計した。

- 方針1 週1回以上の運動習慣のあるユーザを対象としたアンケートの実施
- 方針2 実験群と統制群の群間比較により社会的意義付けの効果検証を実施
- 方針3 パトロールランと日常の軽い運動でもパトロールランとなることの説明記事を社会的意義付けコンテンツとして作成
- 方針4 心理的特徴として価値志向的精神尺度、多次元共感測定尺度、Bigfiveの採用

### 方針1

本アンケートの目的は社会的意義付によって外発的動機付け状態より内発的動機付け状態に遷移することができるかを検証することである。従って、本アンケートの対象者は週1回以上の屋外での軽い運動（散歩・ジョギング）を行っている回答者（外発的動機付け状態となっている回答



図1 社会的意義付け記事

者)とする。スクリーニングで該当する回答者を抽出する。

### 方針2

社会的意義付けの効果を定量的に比較するために、アンケート回答者を実験群と統制群に割付を行い、介入の有無による効果検証を群間比較で行う。回答者は、本質問において以下2つの質問に5件法（1.まったく思わない～5.非常にそう思う）で回答する。

- Q1 あなたの普段の屋外での軽い運動（散歩・ジョギング）は誰かの役に立ちますか？
- Q2(実験群) 今後、パトロールランを意識した屋外での軽い運動を行おうと思いますか？
- Q2(統制群) 今後、誰かのためになることを意識した屋外での軽い運動を行おうと思いますか？

Q1では現在実施している屋外での軽い運動（散歩・ジョギング）が誰かの役に立つ行動（＝向社会的行動）となっていたか？を回答する。次にQ2は今後の屋外での軽い運動についてパトロールラン/誰かのためになることを意識することができるか？を回答する。社会的意義付けの効果はQ1とQ2の回答値の差分で測定する。すなわち、社会的意義付けが成功した場合は回答スコアがQ1に比べてQ2が高くなるため、その差分によって効果検証を行う。Q2において統制群はパトロールランの記事を閲覧しないため、向社会的行動の定義に従い、誰かのためになることを意識した屋外での軽い運動に対する意向を収集した。

方針 3

課題 2 の解決方策である社会的意義付けの介入を行うために、パトロールランに関する記事を作成し、アンケート回答者のうち実験群にのみ提示した。パトロールランに関する記事は 2 セクション構成となっており、第 1 セクションはパトロールランの概要を説明する。第 2 セクションは現在実施している屋外での軽い運動 (散歩・ジョギング) が実は既にパトロールランになっていることと、日々の軽い運動を行う中でパトロールランを意識するだけでもパトロールランができることを提示する (社会的意義付けを行う) 記事とした。記事内で用いたキャッチ画像を図 1 で示す。

方針 4

課題 3 の検証を行うため、向社会的行動と関係性が指摘されている心理的特徴として、社会的価値、共感性、Bigfive との相関を調査する。社会的価値は価値志向精神尺度のうち他者との協力意向を測定できる下位尺度の社会的精神作用を採用する [11]。この尺度では社会的精神作用に関する 8 項目に対して 5 件法で測定する。共感性については多元性共感測定尺度のうち他者への共感に関連する下位尺度である視点取得項目と共感的配慮項目を採用する [12]。これらの尺度では 14 項目に対して 4 件法 (1. 全く当てはまらない ~4. 非常に当てはまる) で測定する。Bigfive は 29 項目で回答者のパーソナリティを測定できる短縮版を採用する [13]。Bigfive では 7 件法 (1. 全く当てはまらない ~7. 非常に当てはまる) で回答する。

3. オンラインアンケート調査と結果

社会的意義付けの有効性の初期検証として、オンラインアンケートによる予備検証を実施した。調査会社のアンケートでは週に 1 回以上の屋外での散歩・ジョギングをする習慣のある回答者を実験群と統制群にランダムに割り付けた。スクリーニング質問において、方針 1 で述べた週 1 回以上の運動を行うアンケート回答者のみを抽出した。本調査において、実験群にのみ方針 2 で述べた社会的意義付けの記事を提示した。社会的意義付けの記事を提示した直後に、記事に関しての理解レベルを測定するために記事で述べられている項目を選択させる質問を挿入した。本設問では、記事に関して述べられている 4 項目と述べられていない 4 項目の計 8 項目の選択肢で構成されており、回答者は述べられている項目のみをチェックボックス形式で選択し、回答する。また、方針 2 で述べた本調査でパトロールランに対する意向 (Q1,2) と方針 4 で述べた心理的特徴 (Q3-5) を収集した。アンケートは 2022/12/9-2022/12/13 で実施し、週 1 回以上の屋外での散歩・ジョギングをする習慣のある回答者 206 名を対象とした。うち 103 名を実験群、103 名を統制群の割り付けた。アンケート回答者の年齢分布は 20 歳-69 歳であった ( $M = 48.2, SD = 12.5$ )。また 56.3% のアンケー

表 1 Q1,2 回答スコア差分の残差分析結果 (\* $p < .05$ )

増減	実験群	統制群	標準偏差	p 値
増加 (+)	37.21%	20.39%	+/-2.130	.033*
0	44.19%	58.25%	+/-1.555	.120
減少 (-)	18.60%	21.36%	+/-0.375	.707

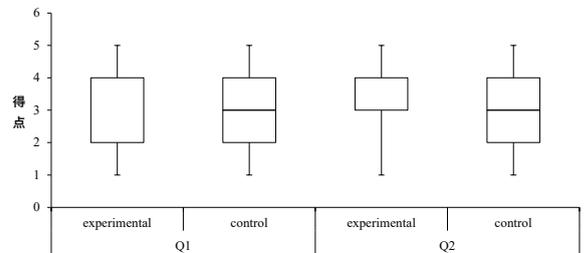


図 2 Q1 と Q2 の回答値の分布

ト回答者が男性で、43.7% の回答者が女性であった。また実験群のうち、記事の内容を正しく理解できている (記事に関して述べられている 4 項目のみを選択する) 回答者 43 名を分析対象とした。

図 2 に実験群と統制群の Q1 と Q2 の回答値の分布を示す。社会的意義付けの効果を検証するため、方針 2 で述べた回答者毎に算出した Q1 と Q2 の差分を求め、残差分析を行った (表 1)。分析の結果、実験群で 37.21% の回答者のスコアが増加し、統制群で 20.39% の回答者のスコアの増加にとどまり、実験群では回答スコアが有意に上昇した回答者が増えたことがわかった ( $p < .033$ )。以上の分析結果より社会的意義付けによって、効果的にパトロールラン実施意向を促進できることが分かった。

次に、Q2. パトロールラン意向と心理的特徴 (Q3-Q5) の相関分析結果を表 2 に示す。相関分析の結果、社会的価値、共感性の共感的配慮項目、Bigfive のうち開放性、外向性、協調性に有意な相関が確認できた。社会的価値について、今回の社会的意義付けによって促進されるパトロールランが向社会的行動であると回答者も捉えているため、文献 [7] と同様の有意な相関となったと考えられる。つまり、社会的価値傾向の高い回答者は他人とのつながりを大事にするため、社会的意義付けによってパトロールランを実施する意向が高くなったと考えられる。共感性の共感的配慮項目についても文献 [12] で指摘されていた通りの有意な相関が確認できた。自分以外の他人や他集団に対して共感できる回答者は他人に役立つと共感できる行動であれば積極的に行おうとするため、社会的意義付けによってパトロールランを実施する意向が高くなったと考えられる。一方で、共感性の視点取得項目については有意な相関は確認できなかった。視点取得項目については、相手の立場に立って考える意向の強さを表している。従って、向社会的行動との関係

表 2 The correlation between each parameter (\*\* $p < .01$ , \* $p < .05$ )

#	項目	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Q2: パトロールラン意向	.30**	.17	.18*	.28**	.11	.21**	.18*	-.05
2	Q3: 社会的価値	-	.31**	.40**	.36**	.32**	.58**	.48**	-.15*
3	Q4-3: 共感性-視点取得		-	.44**	.09	.22**	.12	.35**	-.10
4	Q4-3: 共感性-共感的配慮			-	.11	.31**	.13	.27**	.03
5	Q5-1: Bigfive-開放性				-	.22**	.52**	.27**	-.30**
6	Q5-1: Bigfive-誠実性					-	.16*	.44**	.29**
7	Q5-1: Bigfive-外向性						-	.32**	-.36**
8	Q5-1: Bigfive-協調性							-	-.43**
9	Q5-1: Bigfive-神経症傾向								-

性を考える場合、回答者が向社会的行動による具体的な受益者が想定できることが重要と考えられる。しかし、今回のパトロールランに関する記事では具体的な受益者を記載していないため、他者の立場に立って考えるような「視点取得」の活性化に繋がらなかったと考えられる。具体的な受益者を想定し、受益者からのフィードバック（感謝等）が発生すると、本項目についても有意な相関が得られる可能性がある。Bigfive については開放性、外向性、協調性が有意な相関が確認できた。開放性の高い回答者ほど、新たなことに挑戦する意向が高く、外向性の高い回答者ほど社交性が高いことから他者の役に立つ向社会的行動への意向が高いこと、協調性の高い回答者ほど他者に献身的であることが要因と考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、向社会的行動の1つであるパトロールランを対象として、外発的動機づけ状態より内発的動機づけ状態に移るための介入手法として社会的意義付けを提案し、オンラインアンケート調査を用いて効果を検証した。オンラインアンケート調査の結果、社会的意義付けによってパトロールラン意向が有意に上昇したことを確認できた。また、社会的意義付けと親和性（相関）の高い心理的特徴として社会的価値、共感性-共感配慮項目、Bigfive-開放性、外向性、協調性が確認できた。今後は実フィールドで、オンラインアンケートで得られた知見を活用した社会的意義付けを活用したパトロールランの促進実験を行い、課題1の解決方法であるハイブリッド介入とともに検証予定である。

#### 参考文献

[1] Harri Oinas-Kukkonen. A foundation for the study of behavior change support systems. *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 17, No. 6, pp. 1223–1235, 8 2013.

[2] 福井弘教. <研究ノート>日本におけるギャンブル依存症患者に関する一考察 — 依存症患者の脳機序に着目して —. *技術マネジメント研究*, Vol. 16, pp. 25–37, 3 2017.

[3] Edward L. Deci and Richard M. Ryan. Self-

determination theory. *Handbook of Theories of Social Psychology: Volume 1*, pp. 416–437, 1 2012.

[4] 曹蓮, 山崎悠大, 柏本幸俊, 上坂大輔. 向社会的行動の般化に及ぼす心理的要因 ～ 社会的意義づけされた軽い運動に焦点を当て ～. *電子情報通信学会技術研究報告; 信学技報*, Vol. 122, No. 349, pp. 54–59, 1 2023.

[5] Tsutomu Fujita and Takashi Sugihara. 大学生の運動参加を予測する高校体育授業における内発的動機づけ. *体育学研究*, Vol. 52, No. 1, pp. 19–28, 1 2007.

[6] 菊池章夫. 向社会的行動の発達. *教育心理学年報*, Vol. 23, No. 0, pp. 118–127, 3 1984.

[7] Adam M. Grant and Francesca Gino. A little thanks goes a long way: Explaining why gratitude expressions motivate prosocial behavior. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 98, No. 6, pp. 946–955, 6 2010.

[8] Kashimoto Yukitoshi, Sakai Tomohiro, and Minamikawa Atsunori. Preliminary study on the correlation between gratitude activity and prosocial behaviour. In *BCSS 2022 Adjunct Proceedings of the 17th International Conference on Persuasive Technology*, 2022.

[9] John F. Dovidio and Jillian C. Banfield. Prosocial Behavior and Empathy. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition*, pp. 216–220, 3 2015.

[10] Gustavo Carlo, Morris A. Okun, George P. Knight, and Maria Rosario T. de Guzman. The interplay of traits and motives on volunteering: agreeableness, extraversion and prosocial value motivation. *Personality and Individual Differences*, Vol. 38, No. 6, pp. 1293–1305, 4 2005.

[11] 酒井恵子, 久野雅樹. 価値志向的精神作用尺度の作成. *教育心理学研究*, Vol. 45, No. 4, pp. 388–395, 12 1997.

[12] TAKAKO SUZUKI. Some Factors Influencing Prosocial Behavior Empathy, social skill and extraversion. *THE JAPANESE JOURNAL OF EXPERIMENTAL SOCIAL PSYCHOLOGY*, Vol. 32, No. 1, pp. 71–84, 7 1992.

[13] Tsutomu Namikawa, Iori Tani, Takafumi Wakita, Ryuichi Kumagai, Ai Nakane, and Hiroyuki Noguchi. Big Five 尺度短縮版の開発と信頼性と妥当性の検討. *心理学研究*, Vol. 83, No. 2, pp. 91–99, 2012.

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

小川展夢<sup>†1</sup> 松村欣司<sup>†2</sup> 藤沢寛<sup>†3</sup>  
日本放送協会<sup>†1,2,3</sup>



図1 スマート環境におけるコンテキスト適応情報提示のイメージ[4]  
Figure 1 Image of context-adaptive content presentation in the smart home environment

## 1. はじめに

インターネットメディアの普及により、人々は膨大な量の情報の中から自身の関心に沿うものを選び出して接触することが簡単に出来るようになった。しかし、個人が日常生活の中で情報接触に使える時間は限られるため、関心の高い情報へのアクセスが増えれば、相対的に関心の低い情報へのアクセスは減少する。その結果、一部のユーザは、社会的に重要な公共や政治の話題など、多くの人の間で共有されることが望ましい情報への接触量が減少し、そうではないユーザと知識に差が生じる可能性がある[1]。このことは、世論の分断を生む要因となり得る[2]。放送事業者はこれまで、主に放送を通じて多様な情報を発信してきたが、人々の情報接触スタイルの変化に伴い、放送単独でそれらの情報を十分に広めることが難しくなっている。そこで我々は、放送サービスプラットフォームを拡張して放送関連サービスの利便性を高めることで、ユーザへの情報提示機会を増やす手段を検討している。

手段の1つとして、Internet-of-Things (IoT) /スマートデバイスを用いた、生活環境のスマート化技術の活用を検討している[3]。この技術を用いれば、スマート環境（スマートホームやスマートシティ等）において、IoT センサ等のセンシング値を基に、各ユーザの時々刻々の行動などのコンテキストを推定出来る。そして、コンテキストに応じたサービスを選択し、環境に設置されたデバイス群から適切な出力デバイスを選択し、サービスを提供出来る。その結果、ユーザは少ない操作負担でサービスを利用出来る。我々は、この技術を用いて、個々のコンテキストに応じた方法で情報を提示（コンテキスト適応情報提示）することで、ユーザが手軽に情報に接触出来るようになり、その結果、情報

接触機会を増やせると考えている（図1）[4]。

コンテキスト適応情報提示の実現に向け、これまでに、ユーザ体験（UX）面とシステム面での検討を行ってきた。UX 面においては、情報提示可能なコンテキストの1つとして生活行動中の「ながら」行動に着目したフィールド実験を行った[5]。実験参加者宅内の洗面所や台所など4箇所にスマートディスプレイを設置して疑似的なスマート環境を構築し、参加者が様々な生活行動中にながら視聴しやすいレイアウトでニュースを提示し、どのようなコンテキストでながら視聴が実行されやすいか調査した。結果、洗面や料理など特定の行動中に、ユーザが普段接触頻度の低いジャンルのニュースを視聴する傾向が確認された。一方、システム面においては、放送を他の様々なデバイスやサービスと連携する仕組みについて検討してきた。具体的には、放送コンテンツに応じて多様なIoT デバイスを制御するフレームワーク[6,7]を提案した。また山上らは、放送と他の様々なサービスの利用ログを横断的に利用してパーソナライズされた情報提示を行うためのデータ管理モデルを提案した[8]。しかし、行動の様な刻々変化するコンテキストを情報提示に活用する仕組みは未検討である。

そこで本稿では、放送事業者等のサービス提供者がユーザの行動を考慮したコンテキスト適応情報提示を行うためのシステムアーキテクチャを提案する。

## 2. 課題整理と要件抽出

放送等のサービス提供者がスマート環境において行動に応じた情報提示を行うために解決すべき課題と、システムの機能要件を整理する。本稿では2つの課題に着目する。

（課題1）サービス提供者による行動推定の困難さ：スマート環境において行動に応じたサービスを実行するまでの一般的な処理は、以下である；複数のIoT/スマートセンサによるセンシング結果を基に行動を推定し、推定された行動を基にサービス（コンテキスト適応情報提示においては

Context-adaptive Content Presentation in Smart Environment for Incidental Exposure to Diverse Information

†1 HIROMU OGAWA, NHK  
†2 KINJI MATSUMURA, NHK  
†3 HIROSHI FUJISAWA, NHK

提示する情報や提示方法)を決定し、IoT/スマートデバイスを制御して何らかのアクションを実行する。ここで、IoT/スマートセンサの設置については、サービス提供者が各ユーザの環境に自サービス専用のセンサ群を設置するより、自サービスと独立して設置されたセンサ群から情報を得て行動推定する形態が現実的と考えられる。しかし行動推定には、センサのセンシング値に加え、センサの種類や設置状況等、ユーザ毎のセンサ設置状況の情報が必要であり、かつユーザの環境毎に行動推定器を学習する必要がある。この様に複雑・煩雑な行動推定機の実装の全てをサービス提供者が実施することは、現実的に困難である。そこで、以下を機能要件①とする：サービス提供者自身が行動推定せずに、行動の推定値を取得できること。

(課題2) 他サービスとの連携：ユーザが放送や他サービスで接触していない情報をコンテキスト適応提示で届けるなど、サービス間の連携を行うことで、コンテキスト適応提示のUX向上が期待できる。そのような連携を実現するには、ユーザの行動ログと他サービスの利用ログを、同時に参照する必要がある。そこで、以下を機能要件②とする：行動ログと他サービスの利用ログを一様に取り扱えること。

### 3. システムアーキテクチャ

前節までの検討を踏まえ、行動に応じたコンテキスト適応情報提示システムのアーキテクチャを提案する(図2)。

### 3.1 概要

システムを構成する装置は、各種IoT/スマートセンサ群と、情報提示デバイスである。またクラウド等に実装された各種機能群と、Personal Data Store (PDS)を利用する。PDSとは、個人が利用する様々なサービスのデータを自身で保持・管理する仕組みである。様々なサービスの利用ログを、ユーザ自身の意思に基づき組み合わせることで利用可能になる。

システムの大まかな機能は、センサのセンシング値を基にユーザの行動を推定し、推定した行動のログと他サービスの利用ログを参照して、提示する情報や提示方法を決定し、提示することである。この過程は、以下の3つのステップに大別される；(1) 低次行動(「歩く」「コーヒーマカのスイッチをONにする」などセンサ値から直接推定可能な行動。)の検出、(2) 高次行動(「休憩を取る」など複数の低次行動の系列からなる行動。)の推定、(3) 情報提示の決定・実行。

### 3.2 システム構成

- センサ：環境をセンシングする。
- 低次行動検出部：センサがセンシングした値を基に、対応する低次行動を検出する。低次行動オントロジに含まれる語彙に該当する低次行動を検出する。
- PDS ログ登録部：低次行動検出部が検出した低次行動を低次行動オントロジに従って構造化し、PDSに登録する。

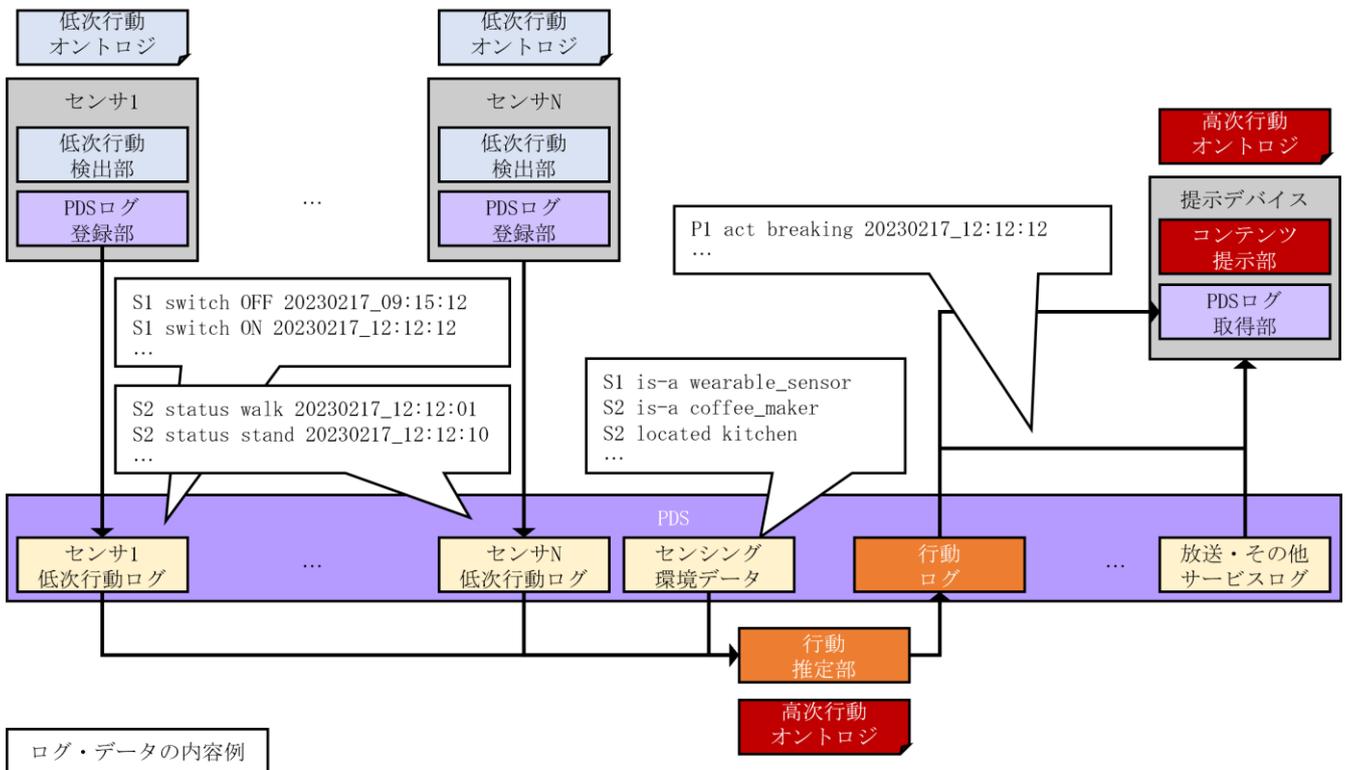


図2 提案システムアーキテクチャ  
Figure 2 Proposed system architecture

- **PDS** : センサが検出した低次行動のログを保持する。また、行動推定部が推定した高次行動のログを保持する。また、他サービスの利用ログを保持する。なお前提として、各ユーザは自身の **PDS** を保有し、保有する様々なセンサや、利用する様々なサービスのログを集約しているものとする。
- **高次行動推定部** : 各センサが検出した低次行動のログとセンシング環境データを集約する。センシング環境データとは、センサ種や設置場所等についての構造化データである。また、低次行動の系列と高次行動オントロジを参照し、現在実行中の高次行動を推定する。また検出した高次行動を構造化し、**PDS** に登録する。
- **提示デバイス** : 情報を提示するデバイス。Web ブラウザを持ち、Web アプリを実行可能なものとする。
- **PDS ログ取得部** : 行動ログの更新を監視し、更新があった場合、行動ログや予め指定した他サービスの利用ログを **PDS** から取得する。なお、行動ログや他サービス利用ログは、それぞれ構造化されているものとする。
- **情報提示部** : **PDS** ログ取得部が取得した行動・その他サービス利用ログを基に、提示する情報や提示方法を決定する。また、提示を行う。行動ログの解釈のために、高次行動オントロジを参照する。

### 3.3 機能要件への対応

(要件①への対応) 先述の通り、行動を低次行動と高次行動の2段階に分類し[9]、これらの関係性を外部オントロジとして記述する。また、センシングから情報提示方法決定までの処理を3段階に分割し、センサのセンシング値を基に低次行動を検出する役割を低次行動検出部に、低次行動から高次行動を推定する役割を高次行動推定部に、高次行動や他サービスの利用ログを基に情報提示方法を決定する役割を情報提示部が担い、各部の入出力は低次/高次行動オントロジに従って設定する。こうして各機能部を疎結合にすることで、情報提示部は行動推定部の詳細な処理を知らなくても、推定された行動に応じた情報提示が可能となる。なお、情報提示部の開発はサービス提供者が、高次行動推定部の開発はIoTクラウド事業者や住宅事業者等が行うことを想定している。

(要件②への対応) 先述の通り、**PDS** に行動ログや、他サービスの利用ログを、構造化データとして一元的に集約する構成とする。また、**PDS** ログ取得部が**PDS** 上の行動データの更新を監視し、更新があった場合に、行動ログと、ユーザが自身で予め指定・許可したサービスの利用ログを取得し、情報提示の方法を決定する。また、行動ログの構造は高次行動オントロジに従う。こうすることで、ユーザの行動と多様なサービスの利用ログを考慮した情報提示判断が可能となる。

## 4. 試作と動作検証

設計の妥当性を検証するため、提案システムアーキテクチャの一部機能を試作し、動作を検証した。具体的には、典型的なサービスシナリオを想定し、システムが実現に必要な処理を実行出来るかを確認した。

### 4.1 検証シナリオ

図3に検証シナリオを示す。前提として、ユーザAと、その友人であるユーザBが、それぞれの自宅にいる状況を想定する。ユーザA宅には、リビングにテレビが、台所にIoT コーヒーメーカーとスマートディスプレイとが設置されているとする。テレビは視聴行動と視聴内容のログを、IoT コーヒーメーカーはスイッチ操作ログを各々の**PDS** に登録する機能を持つとする。スマートディスプレイは、ブラウザ上でweb アプリを実行可能とする。また、ユーザAはIoT センサを身に付けており、このセンサは立つ・歩くなどの低次行動を識別可能とする。ユーザB宅のリビングにもテレビがあり、ユーザBはユーザAに対し、自身のテレビ視聴ログの閲覧許可を与えているものとする。具体的なシナリオの流れと、実現に必要なシステムの処理は、図3中に記載のコメント通りとし、詳細説明はここでは割愛する。

### 4.2 試作構成

本稿では、提案システムアーキテクチャの内、**PDS** を介して各機能部がデータをやり取りする処理を実装した。情報提示部をWeb アプリとして実装し、PCのブラウザ上で動作させた。IoT センサ、コーヒーメーカーは、**PDS** に構造化データを登録するWeb アプリを作成し、代替とした。**PDS** の機能はW3C Solid [10]仕様に基づき、**PDS** サーバは[11]を、**PDS** ログ登録/取得部は[12]を利用して実装した。

### 4.3 結果

図3中に記載したシナリオの通りにシステムが動作することを確認できた。

## 5. まとめ

ユーザへの情報提示機会を増やし多様な情報への接触を促すための手段の一つとして、スマート環境において、ユーザの行動等コンテキストに応じて情報を提示するシステムのアーキテクチャを設計し、一部機能を試作し、動作を確認した。

今後、行動推定部や情報提示部の高度化、低次/高次行動オントロジの詳細設計、[6,7,8]との結合等に取り組む。

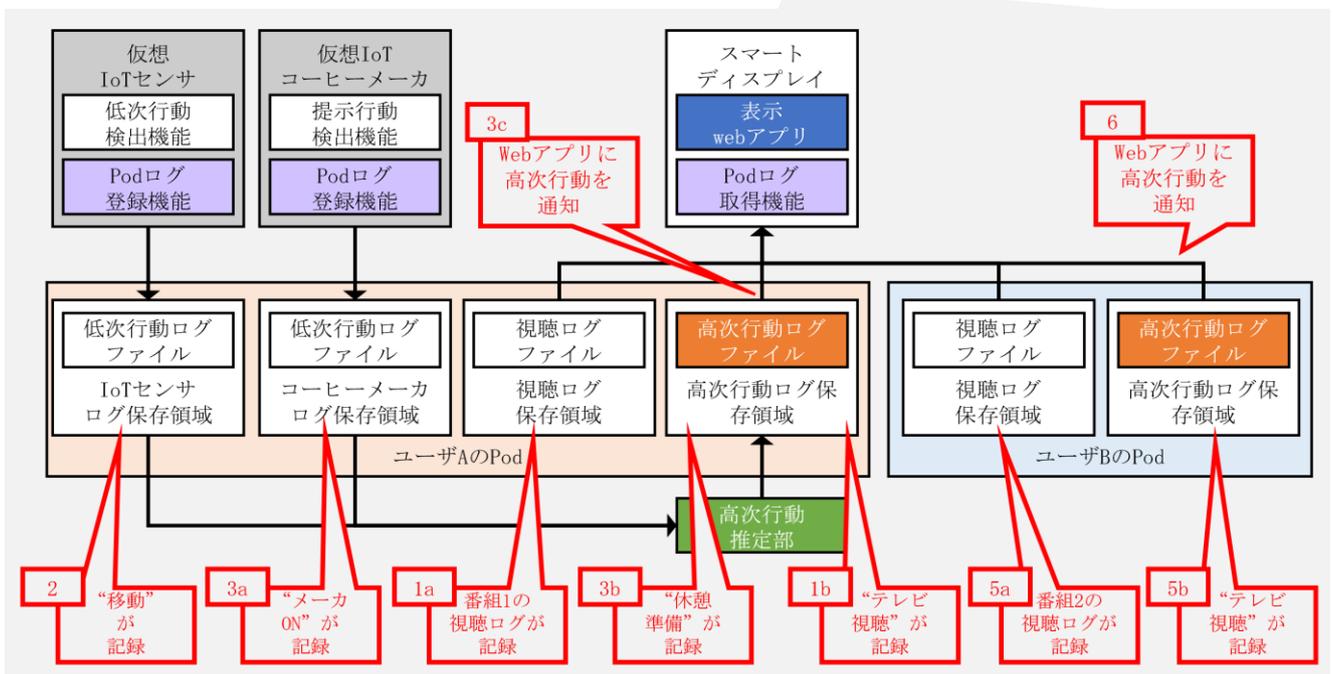
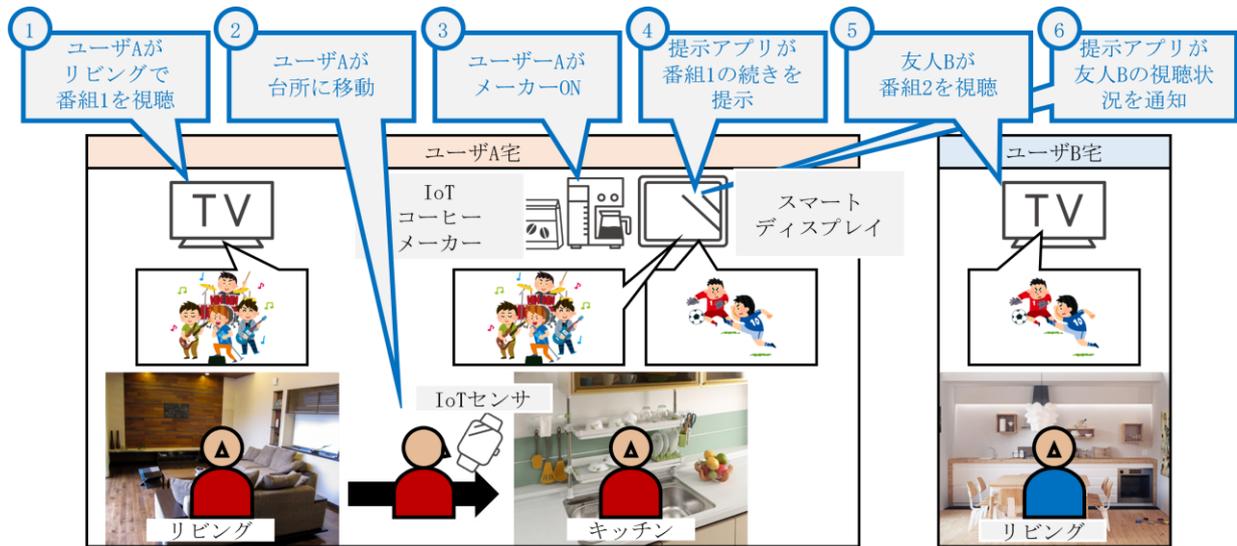


図3 検証シナリオと処理シーケンス

Figure 3 Test Scenario

参考文献

[1] 安野智子, 今日の世論形成過程の検証, 放送メディア研究, 2016, no. 13, pp. 130-156.

[2] 辻大介, ネット社会における世論形成の「分断」, 2021, マス・コミュニケーション研究, no. 99, pp. 3-13.

[3] L. Chen, C. D. Nugent, and H. Wang, A Knowledge-Driven Approach to Activity Recognition in Smart Homes, 2012, IEEE Trans. Knowl. Data Eng., vol. 24, no. 6, pp. 961-974

[4] “技研公開 2022,” <https://www.nhk.or.jp/strl/open2022/tenji/2/index.html>, (参照 2023-02-17).

[5] 小川展夢, 松村欣司, 生活行動中ながら視聴によるニュース接触への影響, 情処 HCI, 2022, vol. 2022-HCI-198, pp. 1-8.

[6] H. Endo, T. Sato, H. Ogawa, S. Abe, S. Fujitsu, K. Matsumura, and H. Fujisawa, IOT-BASED MEDIA FRAMEWORK FOR PUBLIC SERVICE MEDIA: EXPANSION OF CURRENT DIGITAL BROADCASTING SYSTEMS, IBC technical paper, 2021, pp. 1-12.

[7] 佐藤辰哉, 小川展夢, 遠藤大礎, 大亦寿之, 松村欣司, 藤澤寛, ユーザ状況に適した放送コンテンツ提示のためのユーザ情報の処理モデルの一検討, 情処 MBL, 2022, vol. 5, pp. 1-6.

[8] Y. Yamakami, M. Ueno, and K. Matsumura, User-Centered Broadcasting Service Utilizing Personal Data Store, in ACM International Conference on Interactive Media Experiences, Aveiro JB Portugal, 2022, pp. 337-342.

[9] N. D. Rodríguez, M. P. Cuéllar, J. Lilius, and M. D. Calvo-Flores, A survey on ontologies for human behavior recognition, ACM Comput. Surv., 2014, vol. 46, no. 4, pp. 1-33.

[10] “Solid Technical Reports,” <https://solidproject.org/TR/>, (参照 2023-02-17).

[11] “Community Solid Server,” <https://github.com/CommunitySolidServer/CommunitySolidServer>, (参照 2023-02-17).

[12] “Inrupt JavaScript Client Libraries,” <https://docs.inrupt.com/developer-tools/javascript/client-libraries/>, (参照 2023-02-17).