

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「人間と情報環境の共生インタラクション  
基盤技術の創出と展開」  
研究課題「限定合理性を超越する共生インタラクシ  
ョン基盤」

## 研究終了報告書

研究期間 2019年10月～2025年03月

研究代表者：中澤 仁  
(慶應義塾大学 環境情報学部 教授)

## § 1 研究実施の概要

### (1) 実施概要

街とそこにいる人を対象として、情報の力で人を幸せにするということを街のスマート化と位置付け、人が情報を獲得し、理解し、行動する一連の過程における、人の限定合理性を超越する技術の確立を目的とした。こうした情報は、実空間から獲得され、AI で処理され、人にフィードバックされる。フィードバックの結果、人は自分がより安全に行動する方法や、より健康に生きる方法、より楽しく生きる方法に至る。このことが、本研究でいう限定合理性の超越である。フィードバックの方法として、デジタルデバイスを介して情報が文字等の記号として与えられる場合に加えて、ロボットが空間に作用することで生じるアフォーダンス変化として与えられる場合を考える。前者においては、人が新たに得た情報を考察して意思決定し、行動に移す。ここでは、人の情報獲得行動がたとえばソーシャルメディアの閲覧など、限られた定型行動に閉じてしまうことと、人の手元まで情報が来ていながらなんらかのボトルネックによってそれを逃してしまうことの 2 点が問題となる。後者においては、空間のアフォーダンスが人から行動を引き出す。ここでは、空間の構成が変化しない限り、空間から人へ伝わる情報(アフォーダンス)も変化せず、従って人の行動が定型的になりがちであることが問題となる。これらの前提において、本研究では以下に示す 3 つの問題を解く技術の構築を目指した。

- (1) 街に大量に存在する情報を、どうしたらより多く人に伝えられるか？
- (2) 高頻度に伝わってくる情報を、どうしたら人はよりよく消費できるか？
- (3) 非言語的な情報を、どうしたら街から人へ直接伝えられるのか？

これらの問題に対して、豊田(東大)、中澤(慶大)、および中西(同)の各グループが、それぞれ人の合理性を限定づける心理、情報視野、および空間制約の観点から、人とデバイスのインタラクション、人と大規模情報空間のインタラクション、および人と街のインタラクションの研究を進めた。**豊田グループ**は、主に課題(1)にフォーカスして、巨大な情報を可視化する技術を研究し、大規模情報空間における人々の意見の俯瞰や実空間の人間行動の俯瞰を可能とした。**中澤グループ**は、主に課題(2)にフォーカスして、個人の内面状態を推定する技術を研究し、継時変化する人の内面状態に情報の表現を適応させて情報の円滑な獲得を可能とした。**中西グループ**は、主に課題(3)にフォーカスして、空間のアフォーダンスを変更して行動を引き出すロボット技術を研究し、ロボットが空間に介入することで人を自分の思考や定型行動の外に出す新規行動獲得を可能とした。また、3 グループでのこれらの研究を主軸とした上で、**街の人と AI の共生へ向けた理解の深化を目的とした研究をグループ横断的に推進した**。

その結果、2024 年 8 月までに、55 報の論文、88 件の発表、23 件の受賞をはじめとする大きな成果を得たのに加えて、実用化に向けて民間企業や地方自治体との共同研究等が複数件進んでおり、さらには 2024 年 9 月に中西グループが書籍を出版するなど、社会への研究成果還元も順調に進めた。

### (2) 顕著な成果

#### <優れた基礎研究としての成果>

1. 斎藤文人, 中西泰人, 垂直方向の加速度の知覚強度を増幅する錯視技法, 情報処理学会論文誌, 63(2), 437-445 (2022-02-15), 1882-7764.

中西泰人, 斎藤文人, 水平に運動する視覚刺激を用いた VR モーションライドにおける垂直ベクトルの増幅: 物理刺激と視覚刺激の強度の調査, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 2024 年 29 卷 1 号, p.13-21.

概要: VR における垂直方向のリニアベクトル: 視覚誘導性自己運動感覚を発生させる手法として、数センチ程度の垂直方向の移動に合わせて、HMD 内の仮想空間の床面に錯視を提示する手法を提案した。錯視を用いることで運動感覚が 3 倍程度に増幅される。錯視を提示するのは映像の一部だけで良いため現実空間と映像を重畳する MR においてもその有効性が期待できる。

2. Sasaki W, Hamanaka S, Miyahara S, Tsubouchi K, Nakazawa J, Okoshi T. Large-Scale Estimation and Analysis of Web Users' Mood from Web Search Query and Mobile Sensor Data. *Big Data*. 2024;12(3):191-209. doi: 10.1089/big.2022.0211. Epub 2023 Jun 2. PMID: 37267209; PMCID: PMC11304759.

概要: ウェブユーザーの気分状態を推定する能力は、ユーザー中心のサービスに役立つが、データの種類や気分の正確な把握が難しい。検索クエリデータとモバイルセンサーを用いた2段階のモデルを構築し、その推定精度を向上させた。11万人以上のデータを分析し、全国的な気分スコアを提案。COVID-19の影響を受けた気分の変動や、広告のクリックとの関係性も明らかにした。

3. Xin Zhao, Naoki Yoshinaga, and Daisuke Oba. Tracing the Roots of Facts in Multilingual Language Models: Independent, Shared, and Transferred Knowledge. The 18th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics (EACL 2024), pp. 2088-2102, 2024.

概要: 言語理解のための標準的な多言語事前学習済みモデル multilingual BERT (mBERT) に注目し、各言語に関係知識をモデルがどのように保持しているかを詳細に分析した。具体的に、知識源のテキストにおける知識の有無に注目した新規の分析手法と既存のニューラル分析手法を組み合わせて分析した結果、モデルが有する関係知識には 1) 言語ごとに独立に保持する知識、2) 複数言語で学習されて共有する知識、3) ある言語のみで学習されて他の言語でも共有される知識の 3 種類があることが明らかとなった。

#### <科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

##### 1. 人の内面状態の継時変化推定技術

概要: 89.3%という高精度な感情推定を、10 分という既存手法と比べて極めて短い時間窓(データ処理と推定の時間的粒度)で実現した。この短時間高精度推定により、ほぼリアルタイムの感情状態把握が可能となり、応用範囲の広がりが期待される。現在、論文化を進めているとともに、民間企業との共同研究を推進している。

##### 2. 人の知覚の理解・増幅技術

概要: HMD と安全な乗り物である電動車椅子を VR ライドとして用い、さらに電動車椅子を改造した移動型スロープを組み合わせることで、ジェットコースターに乗る疑似体験を提示する。本物のジェットコースターに比べ、必要な空間が立体から平面になり、またその底面積を大幅に減少することができる。そのため遊戯施設に必要な設備と敷地を大幅に減少させながら、周囲の人々にもその体験の楽しさを伝達できる新たなサービスの創出が期待できる。

- 伊藤駿汰, 中西泰人, AmplifiedCoaster: 移動型スロープを統合した VR ライドにおける上昇・降下体験の接続手法の検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 2023 年 28 卷 2 号 p.81-89.

- 伊藤駿汰, 斎藤文人, 中西泰人, AmplifiedCoaster: 移動型スロープによる HMD と電動車椅子で構成した VR ライドの上昇・降下感覚の増幅における知覚閾値調査, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 2023 年 28 卷 1 号 p.55-64.

##### 3. 人々の意見や行動の俯瞰技術

概要: Microblog (X) の大量データから社会分断の過程を可視化し、分断緩和への示唆を得たほか、携帯電話の人口統計を利用して、COVID-19 感染リスクの高いエリアをスクリーニングする事例によって、人々の意見や行動を俯瞰的に可視化する技術を構築した。さまざまな俯瞰情報を生成して人にフィードバックするサービスが、多様な応用ドメインで期待できる。

#### <代表的な論文>

1. Sho Cho, Shohei Hisamitsu, Hongshan Jin, Masashi Toyoda, and Naoki Yoshinaga. Analyzing information sharing behaviors during stance formation on COVID-19 vaccination among

概要:SNS 上で意見が極化した話題に対するユーザのスタンス変容およびその際に参照された情報を分析する手法を提案し、X(前 Twitter) データを用いて日本における新型コロナワクチン接種が成功した要因を分析した。国内ではワクチンに反対するユーザの数は非常に少なく、中立のユーザが肯定的になる際には、個人医師の発信する情報が良く参照されていることを明らかにした。今後のワクチン施策に向けて重要な結果が得られ、マスメディアにおいても紹介された。

2. Daisuke Oba, Shoetsu Sato, Satoshi Akasaki, Naoki Yoshinaga, Masashi Toyoda, Personal Semantic Variations in Word Meanings: Induction, Application, and Analysis, Journal of Natural Language Processing, 2020, Volume 27, Issue 2, Pages 467-490, Released on J-STAGE September 15, 2020, Online ISSN 2185-8314, Print ISSN 1340-7619, <https://doi.org/10.5715/jnlp.27.467>

概要:人々の相互理解や自然言語処理の個人適応を目的として、個人が用いる言葉の意味の揺らぎを分析し数理的なモデル化を行った。個人が書いた文書から深層学習により個人毎の意味表現を学習する際、妨げとなる様々なバイアスを抑止し、意味の揺らぎのみをモデル化することに初めて成功し、評判分析等の応用タスクを高精度化可能であることを示した。現在主流の大規模事前訓練済みモデルへの展開も実施中であり、個人適応の基盤技術としての発展を期待している。

3. Sasaki W, Hamanaka S, Miyahara S, Tsubouchi K, Nakazawa J, Okoshi T. Large-Scale Estimation and Analysis of Web Users' Mood from Web Search Query and Mobile Sensor Data. Big Data. 2024;12(3):191-209. doi: 10.1089/big.2022.0211. Epub 2023 Jun 2. PMID: 37267209; PMCID: PMC11304759.

概要:ウェブユーザーの気分状態を推定する能力は、ユーザー中心のサービスに役立つが、データの種類や気分の正確な把握が難しい。検索クエリデータとモバイルセンサーを用いた2段階のモデルを構築し、その推定精度を向上させた。11万人以上のデータを分析し、全国的な気分スコアを提案。COVID-19 の影響を受けた気分の変動や、広告のクリックとの関係性も明らかにした。

## § 2 研究実施体制

### (1)研究チームの体制について

豊田(東大)、中澤(慶大)、および中西(同)の各グループが、それぞれ人の合理性を限定づける心理、情報視野、および空間制約の観点から、人とデバイスのインタラクション、人と大規模情報空間のインタラクション、および人と街のインタラクションの研究を進めた。**豊田グループ**は、主に課題(1)にフォーカスして、巨大な情報を可視化する技術を研究し、大規模情報空間における人々の意見の俯瞰や実空間の人間行動の俯瞰を可能とした。**中澤グループ**は、主に課題(2)にフォーカスして、個人の内面状態を推定する技術を研究し、継時変化する人の内面状態に情報の表現を適応させて情報の円滑な獲得を可能とした。**中西グループ**は、主に課題(3)にフォーカスして、空間のアフォーダンスを変更して行動を引き出すロボット技術を研究し、ロボットが空間に介入することで人を自分の思考や定型行動の外に出す新規行動獲得を可能とした。各グループの研究項目と主な狙いを以下に示す。これに加えて、3 グループでのこれらの研究を主軸とした上で、**街の人とAIの共生へ向けた理解の深化を目的とした研究をグループ横断的に推進した**。

### 中澤グループ

- ① 研究代表者: 中澤 仁 (慶應義塾大学環境情報学部 教授)
- ② 研究項目

限定合理性を超越する共生インタラクション基盤

### ③研究の狙い

気分や体調など、人の心理に影響を及ぼす内面状態を読み取り、それに基づいてユーザーへの情報提示を制御することで、ユーザーにその情報を痛感させる「痛感インターフェース基盤技術」を、ウェアラブル/モバイルデバイス上に確立することを目標とした。ウェアラブル/モバイルデバイス上のセンシング基盤(Sensing Platform)で、センサ値や当該デバイスの利用状況などを取得し、内面状態推定機構(Personal-state Detection)により心身状態や行動を推定する。個人適応型情報通知機構(Personalized Notification)は、心身状態や行動に合わせて、情報提示手法を制御する。これらを通じて、情報をユーザーへより確実に届け、その情報の力で、ユーザーのミクロ/マクロな行動変容を促進する。

### 豊田グループ

① 主たる共同研究者: 豊田 正史 (東京大学 生産技術研究所 教授)

② 研究項目

解析情報の解釈可能性と人の属性を考慮した情報視野拡大インターフェース

③研究の狙い

街における大規模かつ包括的な情報空間の出現を想定し、情報の解析結果に基づく意思決定を促進するためのインターフェースを構築する。また、個人の属性を考慮した言語情報提示のための基盤技術の研究開発を行い、人々の視野の限界を拡大することを目指している。街・SNS の巨大なデータを用いた人の行動・意識の理解に向けた解析タスクを通して、解析結果の理解・解釈を支援するための俯瞰的可視化技術を開発し、データ解析に基づく意思決定を促進する情報提示基盤技術を確立することを目標とした。

### 中西グループ

① 主たる共同研究者: 中西 泰人 (慶應義塾大学 環境情報学部 教授)

② 研究項目

偏在非人間型ロボットによる街全体のインターフェース化と介入的インターフェース

③研究の狙い

自動運転車やロボットなどの移動能力を備えた機械知能が私たちの身の回りに存在する物理空間を想定し、人々の合理的な問題解決能力における行動の限界を超越して、人々の行動を促す多義的・動的な物理空間を創出する。その要素として、移動能力および変形能力を備えた非人間型ロボットとしての家具型・遊具型ロボットを構築し、それらの配置や形状、提示する情報を動的に変更することで人々の行動の誘引や変容を実現する。そうした知的なモノとしての非人間型ロボットを偏在させた街全体・物理空間を人と情報空間とのインターフェースと捉え、日常に織り込むためのデザイン理論・指針の創出を目標とした。

## (2)国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

国際共同研究、国内共同研究、産業界との共同研究を通じて、研究者のネットワークを広く構築し、本研究テーマの拡大と発展を進めた。また、国際ワークショップの開催、国内学会研究会の設立を通じて、本研究テーマに関する国内外の研究者コミュニティを創出した。さらに、ウェルビーイングとスマートシティをそれぞれテーマとする研究コンソーシアムを通じて、本研究テーマに関する産官学連携を加速した。

### [1] JSPS A3Foresight Project(国際共同研究)

<https://a3foresight.sfc.keio.ac.jp>

“Empowering the Lifestyle and Well-being of Eastern Asian Elders with Intelligent IoT”と題し、本研究のテーマを特に東アジアの高齢者に適用した際の課題に基づいて、日中韓の13研究機関から43名の研究者が参加し、国際研究拠点を構築している。

### [2] International Workshop on Computing for Well-being(国際ワークショップ)

<https://wellcomp-workshop.github.io/2022/>

毎年 ACM Ubicomp に併設して開催する国際研究ワークショップであり、本研究のテーマを中心として、国際的な研究コミュニティを形成している。今年度は、26件の投稿があり、コ

ミニティの規模が年々拡大しつつある。

- [3] JST 戦略的創造研究推進事業 科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題(ELSI)への包括的実践(共同研究)

宇佐美誠教授(京都大学)を中心に、12名の研究者(中澤グループ大越准教授を含む)と海外からの5名を含む7名の協力者とで、本研究のテーマに深く関係する ELSI 課題に関して、人工知能の開発・利用をめぐる自律性および関係性の理論分析と社会実装を行なっている。

- [4] 産業界との共同研究の推進(産業界との共同研究)

豊田グループでは、株式会社サイバーエージェントと、XAIを用いた広告デザイン支援システムに関する共同研究を実施した。プロデザイナーによるユーザスタディにより作成される広告デザインの多様性を損なうことなく作業を効率化可能であることが示された。

中澤グループでは、LINE ヤフー株式会社、株式会社 Wellmira と共同研究を推進し、人の内面状態をマクロ、ミクロで捉える技術の実用化を推進している。また神奈川中央交通と、ようどう研究を実施し、バス車内 CO<sub>2</sub> 濃度を詳細に獲得して乗客にフィードバックする技術を検討した。

- [5] 情報処理学会 IoT 行動変容学(BTI)研究グループ(学術コミュニティ)

<http://www.sig-bti.jp>

中澤グループの大越准教授を発起人の一人として 2022 年に新設された研究グループであり、本研究のテーマを中心として、23 名の運営委員による研究コミュニティを形成した。

- [6] 慶應義塾大学 SFC 研究所 健康情報コンソーシアム(産学官連携)

<https://hip.sfc.keio.ac.jp>

民間企業 10 社、医療機関 5 機関、学術機関 5 機関と、医師や看護師、栄養士等の個人による研究コミュニティであり、本研究の実証課題(健康・医療)を支援、推進している。

- [7] 慶應義塾大学 SFC 研究所 地域 IoT と情報力研究コンソーシアム(産学官連携)

<https://www.jn.sfc.keio.ac.jp/sfcity/>

民間企業 7 社、地方自治体 6 市町、学術機関 3 機関で構成する研究コミュニティであり、本研究の実証課題(安全・防災、環境、観光)を支援、推進している。