

東京大学

次世代知能科学研究センター

「モビリティ知能社会デザイン」社会連携研究部門

研究結果報告書



Next Generation Artificial Intelligence Research Center

次世代知能科学研究センター

東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授
次世代知能科学研究センター センター長

國吉康夫



『モビリティ知能社会デザイン社会連携研究部門』はモビリティに関連する社会の価値観や人間の感情の理解が可能となる次世代知能の基盤技術の確立と、次世代を担う学術人材を育成することを目的に、2019年8月から2024年3月に設置された次世代知能科学研究センターの社会連携研究部門です。

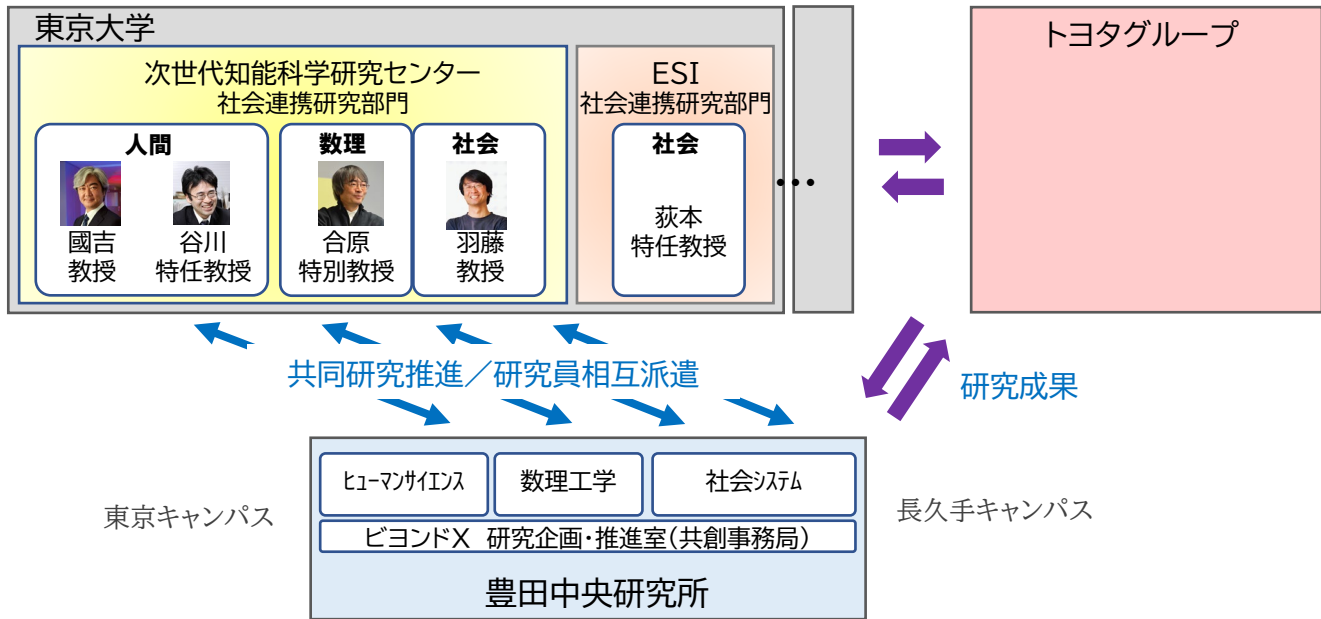
当研究部門は、産学協創の姿勢で、大学と企業が一体となって研究を進め、神経科学、人工知能学、都市工学、数理工学といった多様な領域から社会課題に対する解決策を見出してきました。その過程で、未来社会で求められることは、たとえば二酸化炭素排出量削減などの特定の目標に向けて、人々の活動を局所最適化するのではなく、適度な秩序の元で多様な価値観を維持しつつ、常に変化・進化を続ける能力であると考えました。そして、物質的な人と物の移動だけでなく、人の心や人同士の関係、さらには社会システムや人と自然との関わり方等、無形の物の変化・進化にも目を向け、あらゆることが変化する能力「可動性」を有していることが重要との考えに至り、これを「モビリティ」として再定義しました。

この定義のもと、人が幸せを感じるモビリティ社会を目指し、物質的な移動手段だけでなく、人の心や関係性、社会システム、自然との関わり方に至るまで、多様な価値観を維持し、常に進化する社会の実現に向けた研究を推進しました。具体的には、人間領域では情動の定義と情動を表現する脳-身体連成系モデリングと情動コミュニケーションシステムの構築、社会研究ではモビリティによる持続可能なまちづくりの設計および長期的な都市構造への影響分析手法、数理研究では複雑システムのマルチスケールなデータの分析・解析技術の開発と都市・環境に関する実データへの応用、などを行いました。

本報告書では、この5年間の成果をまとめています。多くの方々に、私たちの活動を知っていただけることを願っています。

東京大学 – 豊田中央研究所 産学共創プロジェクト

1. 全体スキーム



2. 研究内容

社会の価値観や人間の感情の理解が可能となる
次世代知能の基盤技術の確立

人

- ・情動の身体-脳神経メカニズムの解明とシミュレーションモデルの構築
- ・人と相互作用する機械が有するべき知性の様式の実証的な解明

社会

- ・人々の行動理解と住民共創に基づく持続可能な街づくりのための体系の構築

数理

- ・複雑適応系のダイナミクスのデータ駆動型解析によるシステムの理解と制御

地域社会

中津川市
街の賑わいを創出する
地域内・地域間交通

江東区
災害避難促進による
レジリエントなまちづくり

仮想社会

コミュニケーションや創造性を
促進させる仮想共同
作業空間

基礎研究

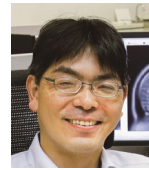
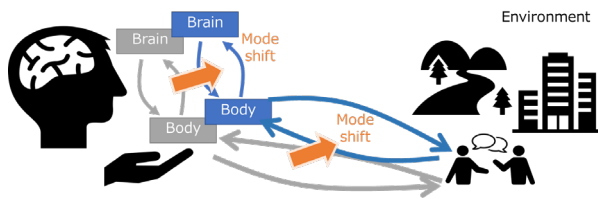
×

実証研究

目次

1. 取り組み	… P. 1
2. 研究者一覧	… P. 14
3. 研究成果	… P. 18

情動メカニズム



東京大学
國吉康夫(左)

豊田中央研究所
岩本正実(右)

概要

本研究では、情動の根幹をなすのは脳・身体活動のモードをシフトするシステムであると考えます。ヒトは問題に直面すると、脳・身体のモードを切り替えることで注意や行動戦略を切り替え、問題を解決しようとする。つまり、モードシフトシステムには問題解決という機能がある。モードシフトシステムが情動そのものを意味するとは限らないが、将来的にはモードシフトシステムがいかなる条件を満たすときに「情動」となるのかを切り分ける作業が必要である。しかしいずれにせよ、いわゆる「喜怒哀楽」をも含めた情動プロセスの根底にはモードシフトシステムがあると考えられる。

ヒトは環境の変化あるいは環境への働きかけの変化に対応して、脳と身体の状態が変化することにより注意・行動選択戦略が切替わること(本研究ではこれを「情動的モードシフト」と呼ぶ)で、様々な問題解決を行っている。この「情動的モードシフト」を具体的に言えば、例えば、落ち込んだ状態だったのが、ポジティブな情報に注意が向き、元気な状態を取り戻す、といったことである。本研究では、喜びや怒りといった、呼吸や心拍等の身体的変化を伴う情動の根幹に、このような「情動的モードシフト」があるという新しい情動の解釈を取り入れており、「情動的モードシフト」を予測可能な身体-脳神経連成モデルを構築することを目指している。

「情動的モードシフト」は、状況に応じて適応的に行動生成するための脳・身体・他者関係のモードとその自発的切り替えのことであり、本研究では、運動・環境・風景、他者行動などによる、脳・身体・他者の相互作用系におけるfunctional networkとそのflexibilityの動態についてモデル化しシミュレーション実験を行うとともに、生体実験計測を行う。特に、随意的な呼吸制御とペダル運動を利用した不随意的な呼吸変動におけるモードシフト条件をモデルと実験で明らかにすることを目指している。

モデル化においては、既存の呼吸心拍-青斑核-皮質モデルにおいて皮質ネットワークの柔軟性を表現する部分を改良し、身体運動や他者行動の入力によるflexibleなモードシフトについてシミュレーション実験を行う。生体実験計測においては、随意的な呼吸制御とペダル運動を利用した不随意的な呼吸変動を実現できる実験系を設計し、筋活動、脳活動、呼吸・循環・代謝の全身状態の実験計測を行い、低次モードシフトとしての脳・身体系のfunctional networkの遷移、高次モードシフトとしてそのflexibilityの変化、などの計測・解析を試みる。

「情動的モードシフト」の発生条件が明らかになれば、例えば、negative modeからpositive modeに情動を誘導できる可能性がある。眠気状態から覚醒状態に誘導できれば運転中や作業中の安全性を高めることができ、不快な状態から快状態に誘導できれば、より快適な車室内空間や作業環境を創出することが可能になる。情動のメカニズムを深く理解することで、ヒトの安全性や快適性を高めることができWell-beingの向上が期待できる。

最終目標

本研究の最終目標は、脳と身体の状態が変化することにより、注意・行動選択戦略が切替わる、といったヒトに見られる「情動的モードシフト」を予測可能な身体-脳神経連成モデルを構築することである。モデルを用いて随意的な呼吸制御とペダル運動を利用した不随意的な呼吸変動における脳と身体の状態のモードシフト(実験条件に対する脳活動や呼吸などの変化)を予測できることを確認する。

研究結果

(1)呼吸心拍-青斑核-皮質モデルの構築

「情動のモードシフト」を予測可能な身体-脳神経連成モデルを構築するため、身体は呼吸・心拍に、脳は青斑核-皮質に着目し、それらの相互作用を計算できるようにモデル化した。この際、情動に伴う内受容感覚の変化が意思決定を効率的に切り替えるというソマティックマーカー仮説に準拠してモデル化した。

まず、呼吸に関連した内受容情報のゲート機構を呼吸-青斑核-皮質モデルに導入した。その結果、恐怖表情と驚愕表情という一見区別がつかないが異なる情動的コンテキスト(異なる情動のモード)の入力に対して、青斑核-認知系がカップリングすべき内受容感覚が切り替わることを見出した[1]。

次に、車両振動などの揺動刺激における正弦波振動が青斑核の神経活動と同期するという生理学的知見に着目し、揺動刺激の振幅や振動数を様々に変化させたときに、青斑核の活動に伴うノルエピネフリン濃度変化(すなわち、覚醒度)と呼吸、心拍の関係を予測した。その結果、低周波振動では呼吸数を増やし覚醒度を高め、高周波振動では呼吸数を減らし覚醒度を下げることを見出した[2]。

さらに、このモデルに両眼視野闘争*1における左右目由来の視覚情報入力に対する知覚値出力をESN(Echo State Network)を用いて行う大脳皮質モデルを追加し、呼吸心拍-青斑核-皮質モデルを構築した(図1)。

[1] Yonekura et al. bioRxiv, 2022.

[2] Iwamoto et al. Scientific Reports, 2023.

*1: 左右の目で異なる一定の視覚情報が提示された際に、いずれかの情報が優位に認識される現象であり、時間とともに優位に知覚される側が自発的に切り替わる事象を「知覚交替」という

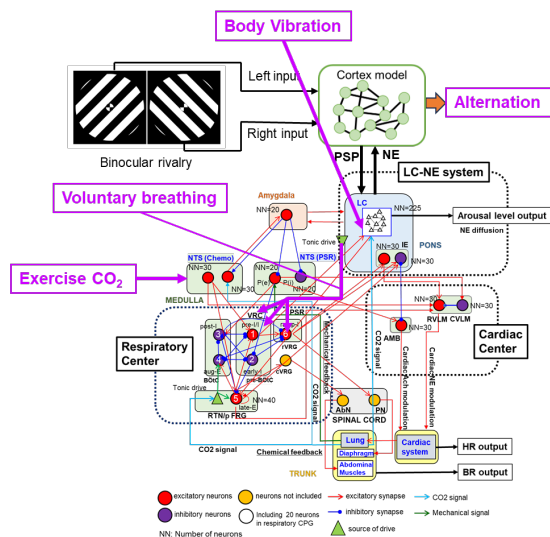
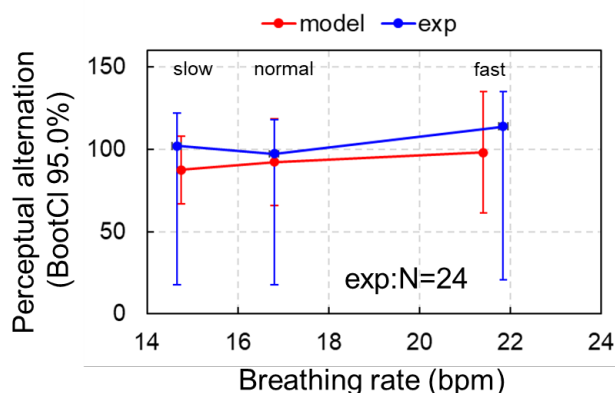


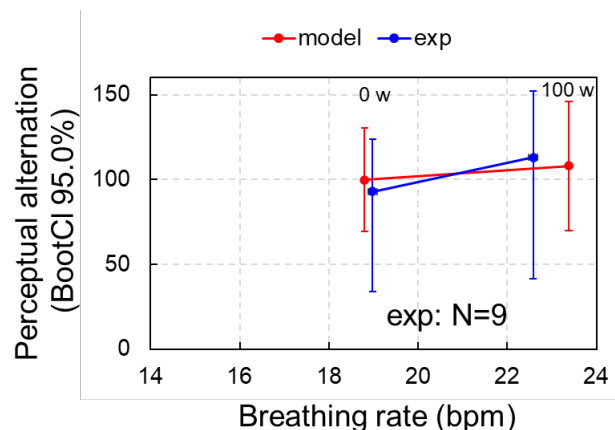
図1. 随意呼吸や運動に伴う知覚交替変化を予測可能な呼吸心拍-青斑核-皮質モデル

(2)呼吸-運動-脳活動の生体実験計測とモデルの検証

随意的な呼吸制御とペダル運動を利用した不随意的な呼吸変動を行う2種類の被験者実験を実施し、知覚交替回数、心拍数、呼吸、視線、瞳孔径、脳波などを計測した。その結果、呼吸状態や呼吸位相によって知覚交替の発生率が変動すること、その背景に様々な生理的要因が複雑に影響すること、さらにその効果が随意的な呼吸制御と不随意的な呼吸制御によって異なることがわかった。図1に示すモデルを用いて、両眼視野闘争における知覚交替を対象として、随意呼吸やペダル運動に伴う知覚交替回数を算出し、生体実験計測結果と比較検証した。この際、呼吸数は計測結果と合うように、橋(PONS)からの呼吸関連入力値や孤束核(NTS)化学受容器への末梢CO₂濃度変化入力値を調整した。その結果、モデルは随意的な呼吸制御とペダル運動を利用した不随意的な呼吸変動に関して、呼吸数や知覚交替回数を実験の傾向と同程度に予測できることを確認した(図2)。



(a) 随意呼吸(遅い, 通常, 早い)に伴う知覚交替回数



(b) 運動に伴う知覚交替回数(実験はペダル運動負荷0wと100wの結果を示す)

図2. 随意呼吸やペダル運動に伴う知覚交替変化のモデル予測値と実験結果の比較

研究結果

(3) 揺動刺激が認知パフォーマンスに及ぼす影響

呼吸心拍－青斑核－皮質モデルを用いて、揺動刺激が認知パフォーマンスに及ぼす影響を調査した。この際、揺動刺激における正弦波振動が青斑核の神経活動と同期するという生理学的知見に着目し、揺動刺激として、0.02～20Hzまでの20ケースの振動数、ベースラインの振幅とそれに対する倍率を設定した4ケースの振幅の計80ケースの正弦波振動を青斑核の活動として与え計算を実施した。その結果、知覚交替回数は1Hz前後で大きく、0.1Hz以下および10Hzで小さくなった(図3a)。大脳皮質のフレキシビリティは、リザーブでモデル化した皮質モデルのニューロン(400個)の活動の時間変化データから活動の極大値と極小値の平均二乗誤差により算出した。脳のフレキシビリティは0.1～0.25Hzで最も大きくなり、0.02Hzや1Hz以上で小さくなった(図3b)。心拍変動のトータルパワーは0.1Hzで最も大きくなり、1Hz以上で小さくなった(図3c)。知覚交替回数や覚醒度は呼吸数の増加に伴って大きくなる傾向にある。0.1Hz以下では覚醒度は大きくなるが、知覚交替回数は小さくなった。一方、脳のフレキシビリティと心拍変動のトータルパワーは0.1Hzで最も大きくなった。脳のフレキシビリティや心拍変動のトータルパワーは認知パフォーマンスの指標と考えられていることから、0.1Hzの揺動刺激は認知パフォーマンスを向上させる可能性があることが示唆された。瞑想やヨガにも取り入れられている6bpmの深呼吸は心拍変動を増加させ認知パフォーマンスを向上させることが知られている。モデルを用いて6bpmの深呼吸を再現した結果を図3の★印で示す。6bpmの深呼吸は心拍変動のトータルパワーは大きくなったが、脳のフレキシビリティや知覚交替回数は小さかった。この結果の妥当性について今後検証を行う必要があるが、心拍計や脳波計を用いて計測することが難しい揺動刺激において条件の違いが認知パフォーマンスに及ぼす影響をモデルを用いて予測できる可能性がある。

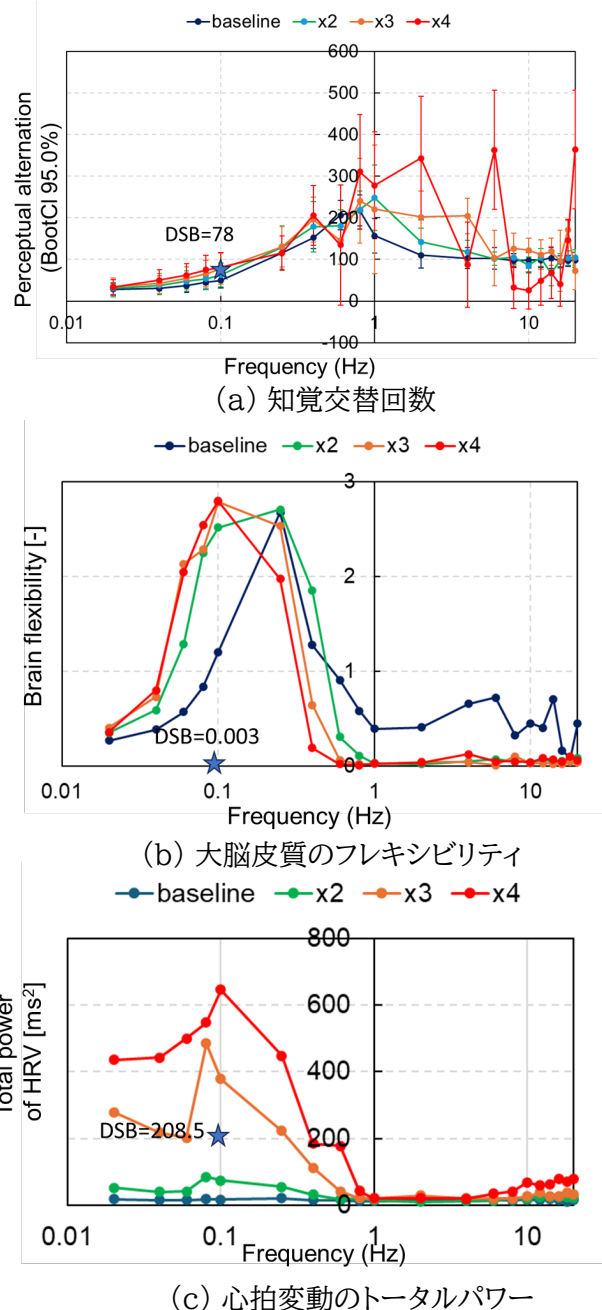
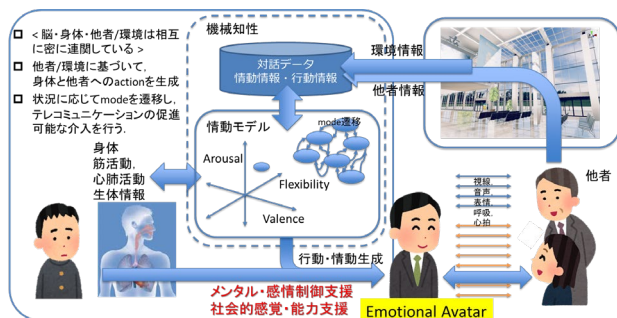


図3. 揺動刺激に対する知覚交替回数、大脳皮質のフレキシビリティ、心拍変動のトータルパワー

結果

本研究では、「情動的モードシフト」を予測可能な身体－脳神経連成モデルを構築した。運動、環境・風景、他者行動などによる外部刺激は呼吸や心拍などを変化させ、それに伴う内受容感覚の変化から脳内の青斑核や皮質の活動が変化し情動が切り替わる。随意的な呼吸制御とペダル運動を利用した不随意的な呼吸変動に伴う知覚交替回数や、揺動刺激が認知パフォーマンスに及ぼす影響を計算により求めることができることを踏まえると、本研究で構築したモデルを用いて、このような情動的モードシフトを予測できると考えられる。

機械知性



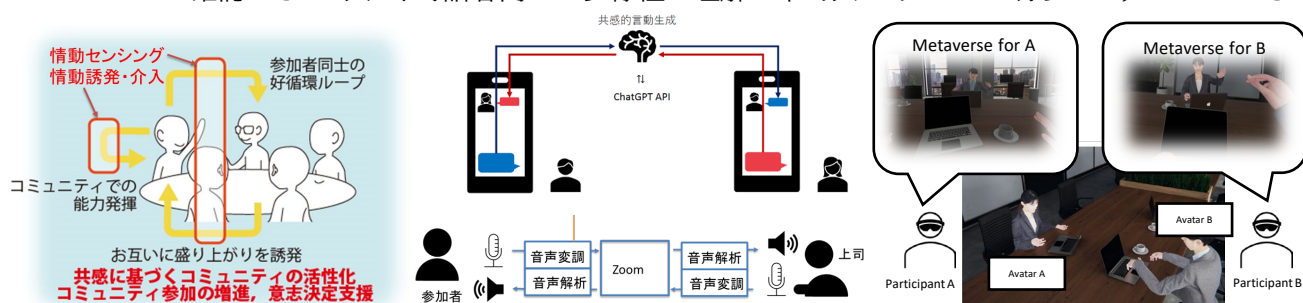
東京大学
谷川智洋(左)

豊田中央研究所
堺浩之(右)

概要

機械知性では、人と相互作用する知能機械において情動メカニズムが果たすべき役割を構成論的研究により調査し、情動メカニズム研究にフィードバックすることを目指した。具体的には社会的行動を誘発する情動に注目し、コミュニケーションにおける相互の身体反応と内部状態の計測とモデル化を行い、VR技術やAI技術を応用した感情と情動に介入する手法の開発と評価を行った。その知見を生かし個人や社会全体にとって理想的な行動や判断の誘発しWell-beingを実現する機械知性の構築を行った。

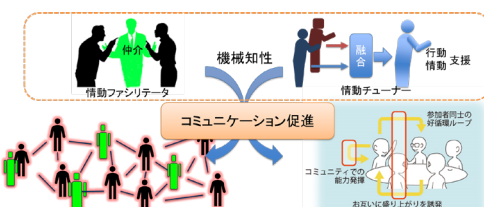
本研究ではまず情動メカニズム研究に基づいて、人と人のコミュニケーションに介入し、好循環ループを誘導する(1)機械知性を実現するためのプラットフォームの提案と構築を行った。つぎに、コミュニケーションにおいて活用される共感に注目し、(2)情感的共感を誘発する非言語情報や身体反応への介入手法、(3)認知的共感を誘発する言語情報への介入手法の開発とコミュニケーション支援の評価を行った。さらに社会展開を想定し、すでに実用・普及している様々なテレコミュニケーションサービスに装着可能な形で機械知性の実装を行い、人同士のコミュニケーションにおいて、参加者同士の好循環ループを誘うことで、理解や共感の向上、さらには創造性の向上につながるかを検証した。それぞれチャットシステムに対しては生成AI技術により会話内容を共感的な内容に変調するチャットベース機械知性、オンライン会議に対しては既存のシステムに接続可能な声のトーンの変調する機械知性、メタバースに対してはメタバースに応用可能なミラーリング効果を用いたアバターベース機械知性の構築を行うことができた。開発した機械知性を用いて対話コミュニケーション実験を行い、アイディア評価や対話相手への印象評価、会話内容の評価を行い、想定した機能が実現できていることが確認できたと共に、対話者同士の多様性の理解が不可欠であることを明らかにすることができた。



最終目標

本研究の最終目標は、コミュニケーションを通した認知行動機能・意欲・創造性・やりがい等の向上につながる人への働きかけ手法の社会実装と、情動アルゴリズムに基づく人と相互作用する機械知性の様式解明と要素機能構築である。

機械知性は、コミュニケーションにおける参加者の内面状態や共感情報をセンシング・推定し、情動モデルを更新しながら最適なタイミングや手法で人の感情や情動介入することで、コミュニティの全体のポジティブスパイラルを実現できる可能性をもつ。今後多様なコミュニティ内の情動・共感を取り扱うことで、様々なコミュニティの機能不全を解消・寛解し、ポジティブスパイラルへの誘導し、持続的な発展を可能にする。



研究結果

(1) 情動・共感を扱うプラットフォームの構築

情動メカニズム研究に基づいて、人と人のコミュニケーションに介入し、好循環ループを誘導する機械知性を実現するためのプラットフォームの提案と構築を行った。プラットフォームはコミュニケーション中の言語・非言語情報の収集と蓄積を行うセンシング機能と、状況に応じて情動情報の介入をする機能からなる。共感や情動を取り扱う重要な要素として、視線や表情、所作、声の質といった非言語情報、心拍や呼吸といった各種生体情報をリアルタイムに収集・反映できるプラットフォームとなった(図1)。

(2) 情動的共感を促進する動作介入による創造性向上手法の提案と検証

アバターを介したコミュニケーションでは共感性を向上させる身体動作介入を行うことが可能になる。共感性を高める身体動作としてミラーリング効果に注目し、アバタ動作に反映させる手法を開発し創造性へどう影響するのか評価を行った。開発したプラットフォームを用い、対話相手のアバタの身体動作を自己の行動をミラーリングさせる(図2上)ことで、生成されたアイデアの質(流動性、柔軟性、精巧さ、独創性)、および参加者のアバターに対する印象を評価した。提案手法による情動介入のあるなしにおけるアイデア評価をしたところ、異性同士(MF)の組み合わせにおいて同性同士(MM, FF)の組み合わせ条件より創造性を高める効果が高くなった(図2中)。逆に情動介入のない条件では、男女の組み合わせによらず創造性評価は大きく変わらなかった。また、アンケートによる印象評価結果では、男女間、特に男性から女性へのポジティブな印象変化が起こる結果となった(図2下)。これら結果は、提案手法が多様性の高い集団のパフォーマンス低下を緩和し、多様な視点を持つことによる創造性の高さを生かせる可能性を示唆している。

(3) 共感的言語生成AIの介入による対立緩和手法の提案と検証

テキストチャットベースシステムを用い、言語情報においても共感的な言語生成により創造性が向上するかの評価を行った。LINE上でchatbotの仕組みを使い、入力されたテキストをchatbot経由でChatGPT APIによる言い換え処理を行った上で、別のユーザーに言い換えたテキストを送信する(図3)。ディベートにおいて、参加者のメッセージがChatGPTによってフィルタリングされ、攻撃性を排除し共感的な内容に書き換えることで、敵対する双方間の意見交換において、共感的表現の付与による心理的負担の軽減を目指した。実験後に得たアンケート結果から、システムの介入により、対話相手に対して肯定的な印象を与え、参加者の心理的負担が低い傾向が示された。これにより、AIが対人関係を向上させる可能性が示唆され、人間関係の構築においてAIの応用が有効であることが示された。

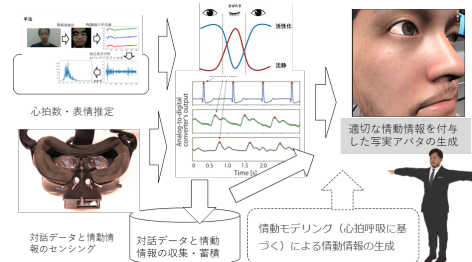
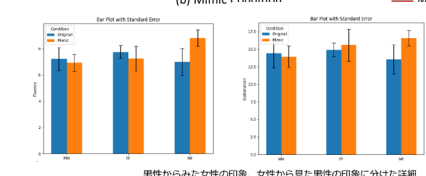
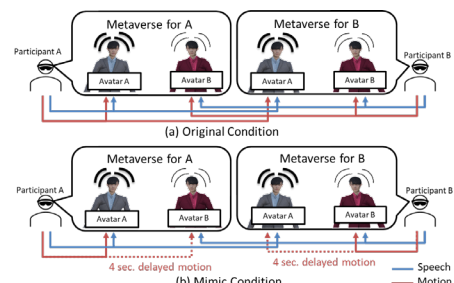


図1 Emotional Well-beingテレコミュニケーション実験基盤



男性から男性の印象、女性から男性の印象にだけ分けた詳細

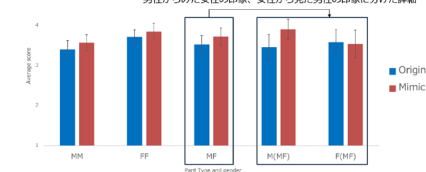


図2 共感性向上アバターによるアイデア評価と印象評価の結果

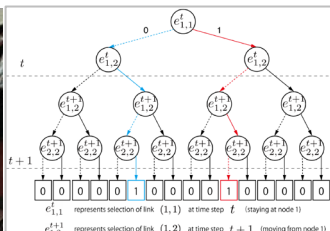
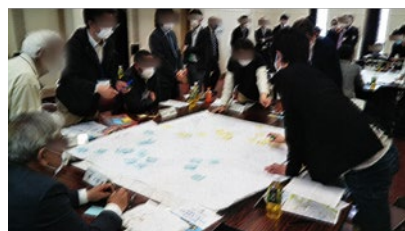


図3 テキストチャットベースシステムにおける共感介入

結果

コミュニケーションにおける情動のメカニズムの解明と応用をめざし、言語情報、非言語情報の双方に介入可能な手法とプラットフォームの構築を行った。さらに男女、性格、価値観による立場の違いによる検証実験を通し、統一的なメカニズムの単純な適応ではなく、個々人の価値観や性格などの深層的多様性を踏まえることの重要性が明らかになった。また、コミュニケーションは相互のインタラクションの中で成立し、共感のメカニズムの解明の必要性を改めて実感することとなった。本取り組みにおいて開発した利用した構成論的研究により、情動メカニズムの理解のさらなる深化が可能である。情動メカニズムの理解は、人と人同士のコミュニケーションをより豊かにしてWell-being実現につながり、さらには創造性の向上にも貢献できると期待している。

モビリティまちづくりの実証的研究と都市のダイナミクス分析



東京大学
羽藤英二(左)

豊田中央研究所
志賀孝広(右)

概要

本研究領域では、ネットワーク上の行動モデルを下敷きにした新たな都市設計理論の構築とその社会実装の研究に取り組んだ。リニア中央新幹線の開通により社会モビリティの環境が激変することが予想されている岐阜県中津川市と、気候変動により、高潮や洪水氾濫リスクが高まっている東京都江東区を対象敷地として、自動走行やシェアリングサービスなどの新たなモビリティサービスによって実現可能な新たな社会像を、地域と共有し、社会実験の実現に成功した。

社会実験の実施に際しては、新たな技術の社会的受容性を高めていくための方法論が求められる。地域ワークショップの定量的な解析やその可視化、地域社会の歴史的経緯を踏まえながらサービス評価を行い、受容可能な未来の社会像を共有していくことに取り組むことで、確度の高い導入プロセスの構築を図っている。

新たなモビリティサービスとして、需要がスパースな中津川には貨客混載型のモビリティサービスを、首都圏避難が困難であることが2019年の台風によって明らかとなった江東区には自動走行避難サービスの導入を想定している。これらのサービスを支えるのは、ニューモビリティの時空間ネットワーク上の正確な需要予測技術と、需要の重ね合わせによる最適化の実現である。

貨客混載のようなサービスの最適化は、NP-Hardの問題であると同時に再計算性の性能確保が必須となることから、貨客混載経路の組み合わせ問題を構造化処理したデータベース構造とすることで、モノとヒトの輸送のより高速な最適化計算が可能なアルゴリズムの開発に成功した。

また、このようなサービスを導入することによって、地域社会の人々の活動分布は大きく変容することになる。自動走行やシェアリングの浸透による人々の活動分布と土地取引のダイナミクスは互いに相互依存関係にあることを踏まえて、モビリティサービスが投入されることで変化する都市の回遊パターンと土地取引や土地利用を都市シミュレーションによって再現・予測する研究にも取り組んだ。すなわち、本研究は、単なるニューモビリティサービスの評価を超えて、カーボンニュートラルや地域社会の持続可能性、災害時のリダンダンシーという観点から多面的な評価を行うことを目指した。

最終目標

本研究の最終的な目標は、以下の2つのシステムの開発である。1つ目は、貨客の輸送の同時最適化を可能にする不動産と可動産の最適オペレーション技術である。2つ目は、ニューモビリティサービスが新たな都市社会に与える影響の評価が可能な数値計算シミュレータの開発である。

研究結果

(1) 中津川 次世代モビリティ社会実装

① 中津川市付知町における貨客混載社会実験

2021年12月に実施した貨客混載車両の社会実験では、道の駅を起点とする片道10分圏の範囲を対象に、20分を1スロットとして出発地・目的地を選択してもらうデマンド型で実施した。リクエストの実行可能性を担保するために、同じスロット内に複数のリクエストを受け付けないように設定した(図1)。モノの輸送として、道の駅への農産物出荷や広告チラシの配送の予約がみられた。ヒトの移動による予約は、昼の時間帯に多く見られた。全108件のスロットに対して32件の予約があった。

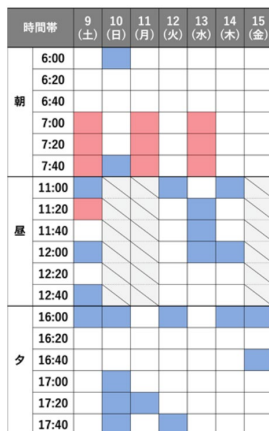


図1 貨客混載車両の予約状況

逐次的な最適経路選択問題

貨客混載におけるマッチングは組合せ最適化問題であるが、求解アルゴリズムとしてZDDを用いた手法で、6ノード・15タイムステップからなるネットワーク上での5エージェントのマッチングを数値実験として実施した(図2、図3)。1ステップ10分と仮定した場合、列挙・索引処理を工夫することで、急な経路の変更やキャンセル・追加に1ステップ以内で対応可能であることを示した。

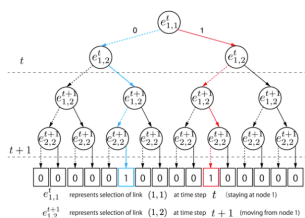


図2 二分決定木を用いた経路表現

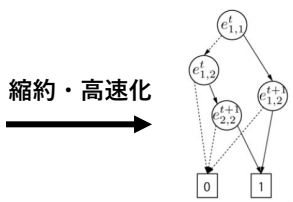


図3 ZDDを用いた経路表現

③ 需要が疎な中山間地域におけるDRTの公正・効率的な予約調整アルゴリズム

2021年と2022年の社会実験を踏まえ、需要が疎な中山間地域におけるDRTの公正で効率的な運行を可能にする予約調整アルゴリズムを開発した(図6)。従来型の先着型の予約システムを改善し、移動目的に対する個人のニーズに応じて予約順序の入れ替えを行う需要調整型の予約システムを提案した。移動ニーズの定量化には、過去の活動-移動データから推定された、交通行動の需要モデルの効用値により活動のニーズを表現する。例えば、最後に私事や買い物が行われた日からの経過日数が多いほど、活動場所間の距離が長いほど、活動時間が長いほど、活動ニーズが大きくなることが明らかになった。これにより、よりニーズの高い乗客を優先し、全体の社会厚生を改善することが可能になる。

②中津川付知町におけるクーポン付きモビリティサービス実験

2022年10月に実施した社会実験(図4、表1)では、自動運転車両での公共交通の社会実装を念頭に、3種類のモビリティ実験が行われた。「①無料の完全予約制タクシー型車両」(デマンド型)では、町内を新しい地域拠点である地域デザインミュージアムまでの所要時間に応じて2エリアにわけ、エリア毎に予約時に選択してもらうスロットを変えることでリクエストの実行可能性を担保した。「②無料シャトルバス」では、イベントが行われている道の駅とミュージアムという拠点間輸送を試みた。「③北恵那バス木簡切符販売」では、フリー区間をもつ特別切符を販売した(図5)。



図4 実験会場・ルート概要図



図5 北恵那交通木簡切符

表1 3種類のモビリティ実験毎における利用者人数

利用者人数	総数	10/15(土)	10/16(日)
①デマンド	157人	88人	69人
②シャトル	28人	17人	11人
③北恵那	18人	13人	4人

アンケート結果

②シャトルバス利用については、付知町外在住の参加者の6割が「シャトルバスがなければミュージアム周辺を訪問していなかった」と回答し、観光客を地域内部へと取り込む効果が示された。また、付知町在住者へデマンド交通が実装された場合の利用意向を訪ねたところ、免許非保有者は過半数が利用の意向を示したものの、免許保有者は大半が自家用車利用を継続すると回答し、実装に向けた課題が示された。

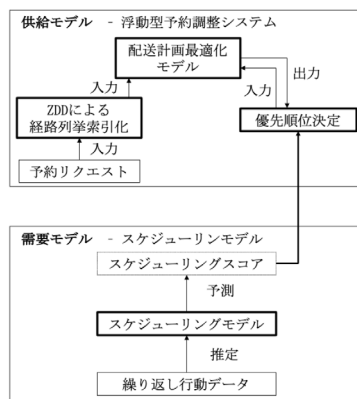


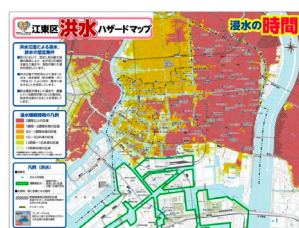
図6 予約システムの構成

研究結果

(2)江東区 避難訓練実験

2022年3月から4月にかけて東京都江東区で避難行動調査と避難訓練の繰り返し調査を実施した。

浸水地域から非浸水地域への広域避難体験や、地域の災害リスク情報の提供の前後で、巨大台風接近時の避難行動が変化するかを調査した(図7、図8)。267名が参加し、災害意識の向上や安全な避難場所の認知につながったという感想が寄せられた。



・浸水継続時間の長い地域では、自宅の上層階や浸水地域内の避難所に避難して難を逃れたとしても、浸水した地域では電気・水道・ガスの供給が停止する可能性があり、台風通過後の酷暑の中、劣悪な環境で何日も過ごす必要があります。特に都市部

図7 災害リスク情報の提供



図8 広域避難体験の様子

自動走行避難の需要予測や、情報による膨大な避難需要の適切な制御を行うため、災害情報の学習による行動変化を表現する避難行動モデルを構築した。

提案モデルは、将来効用を考慮した意思決定を表現できるRecursive Logitモデルを時系列に適用し、避難情報の学習が意思決定に与える影響をパラメータとして推定した。

表2 避難行動モデルの推定結果

	①事前大規模災害・避難		②事前大規模災害・避難		③事前大規模災害・避難		④事前大規模災害・避難	
	estimates	t-stat	estimates	t-stat	estimates	t-stat	estimates	t-stat
目的避難先の効用の重み								
1. 目的避難先が浸水地域内 (0/1)	0.876	0.73	56.842	0.09	-0.672	-0.94	-2.458	-1.78*
2. 避難訓練 (自宅避難時, 0/1)	-1.370	-1.83+	-282.893	-0.34	-2.940	-2.90*	-1.529	0.94
3. 目的避難先の避難情報 (非自宅避難時, 0/1)	-1.922	-2.41+	-1.081	-1.50	-4.166	-0.19	-1.454	-1.29
記憶率 for 1	1.000	1.39	0.023	0.09	1.000	3.34**	0.769	3.55**
記憶率 for 2	1.000	7.04**	0.006	0.14	1.000	7.50**	0.863	2.98**
記憶率 for 3	0.850	7.80**	1.000	5.97**	0.193	0.19	0.950	5.93**
慣性項 (現在の行動を繰り返す時, 1)	0.664	9.59**	0.795	6.41**	0.790	11.25**	0.694	5.22**
number of samples	48		84		52		60	
initial log-likelihood	-361.9		-148.8		-360.9		-141.8	
final log-likelihood	-297.3		84.0		-284.5		-85.5	
likelihood ratio	0.179		0.436		0.212		0.937	
adjusted likelihood ratio	0.159		0.389		0.192		0.948	

推定の結果、居住地の災害リスクとともとの避難意向によって避難体験や災害情報に対する反応が異なることが明らかになった(表2)。特に、浸水域に居住しているが元から避難する意向がない人には、ハザードマップの提示により浸水域にとどまる選好を低下させられる可能性がある。本モデルを活用して、個人に焦点を当てた避難情報の提供の最適化や、モビリティによる避難支援へ展開していく。

災害時の時空間ネットワーク上の相互動的交通行動モデルの構築

2022年に東京都江東区で実施した、避難行動と避難訓練の繰り返し調査をもとに、リスクコミュニケーションと非常時の移動行動の関係について、以下の3つの観点から分析を行った。

1. 災害リスク情報と避難体験の効果検証
2. 主観確率の変化と調査バイアスの軽減
3. 情報の学習と忘却を考慮した、稀少事象時の意思決定予測モデルの構築

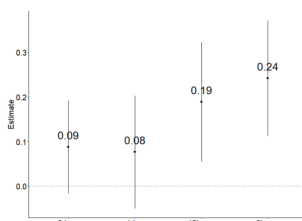


図9 避難体験による行動変容 (正が非避難→避難)

観点1に関して、避難体験により災害発生直前の避難率が19-24%向上する(図9)。これはオンラインの一方向の情報提供による避難率向上より顕著であり、擬似体験は非常時の行動変容に有効である。

主観被災確率を避難行動予測に取り込む際、災害を想定できないことを50%と回答する現象が見られた(図10)。分析により、このような不正確な回答が知識の少ない人に多いこと、情報提供により軽減することを明らかにした。

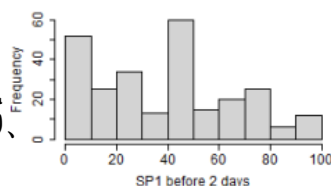


図10 主観被災確率の分布

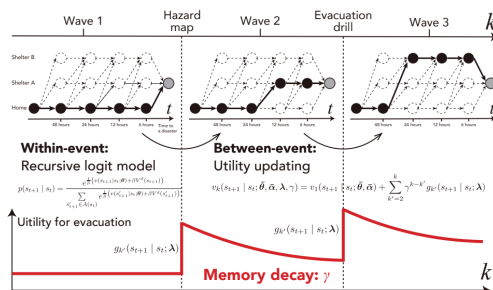


図11 災害時の動的交通行動モデル

災害情報の学習により避難行動は変化するが、時間と共に忘却される。このことを取り込んだ新たな非常時の行動予測モデルを構築した(図11)。

研究結果

(3)土地所有-交通モデル

(1)(2)のような新たなモビリティサービスにより、人々の活動は変化し、都市内の土地取引や土地利用もそれに伴い変化する。そのような相互作用をデータから明らかにし、将来予測を行うため、土地所有-交通モデルを構築した(図12)。

具体的には、①地主間の取引、②土地取引と来訪者の行動の相互作用を考慮した多主体の同時推定モデルを提案した。モデル実証のため、交通行動調査に加え、不動産登記全部事項を用いて、土地取引及び地主の土地所有状況をクロスセクショナルデータ化する方法についても提案した(図13)。

提案モデルは道後温泉周辺エリアで実証した。2017年の交通行動データを用いたモデル推定の結果、土地の購入量が増加するほど土地の売却量が減少するという取引の状況、購入が卓越しているエリアほど来訪者が多く訪れるという形で、土地取引と訪問量との間に相互作用があることを明らかにした(表3)。

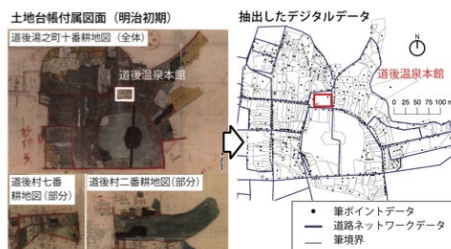


図13 土地台帳のデジタルデータ化

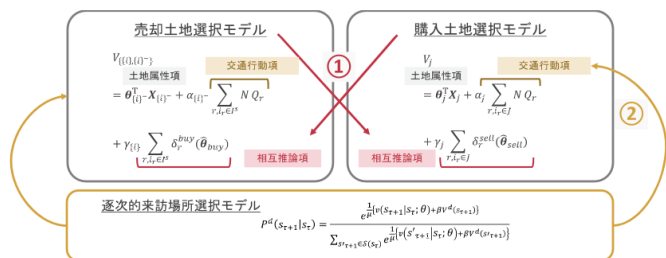


図12 売却及び購入土地選択モデル、来訪者の逐次的な来訪場所選択モデルの相互作用

表3 2017年の推定結果

Integrated				
Param.	Selling Buying	Param.	Visit	
CC dist.	-2.47	-1.25	S	1.58
t-value	-5.60	-3.29	t-value	4.49
FL	1.59	0.51	R1	1.42
t-value	11.49	1.12	t-value	5.27
Est visit vol.	1.11	-2.11	R2	1.88
t-value	3.91	-0.89	t-value	7.49
Est land vol.	-6.32	-0.53	Trans. land	0.17
t-value	-12.66	-0.80	t-value	1.68
		Dist.	-0.02	
		t-value	-0.34	
		PJ1	1.07	
		t-value	3.26	
		PJ2	1.45	
		t-value	6.16	
	-1541.35	-79.02	-399.14	
	-727.53	-37.14	-315.78	
	0.53	0.52	0.19	
	1485.33	90.46	662.88	
	1938	57	88	
			7398.94	

結果

本研究では、以下の研究に取り組んだ。

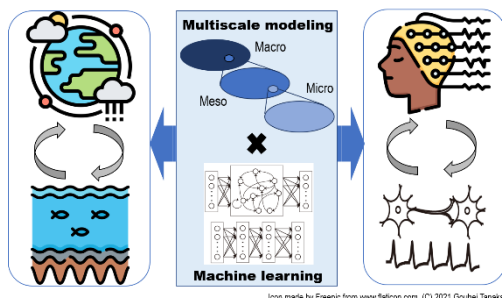
- ・ 貨客の輸送の同時最適化を可能にする不動産と可動産の最適オペレーション技術の開発
- ・ ニューモビリティサービスが都市社会に与える影響の評価が可能な数値計算シミュレータの開発

1点目に関して、ZDDを用いた配送経路最適化と、繰り返し行動データを用いた移動-活動選択モデルの先端的な数理モデルに基づく、実用的な貨客の予約システムを構築した。これらのモデリングは、中津川市付知町における社会実験を通じて判明した地域の課題とニーズに対応する形で構築・改良され、さらにそれを社会実装するという研究と社会実装のサイクルを産んだ。今後も引き続き、地域の社会課題から生まれる、新モビリティの研究と実践に取り組んでいく。

また、災害時の自動運転モビリティサービス構築の基礎となる、避難交通行動モデルの構築と、行動変容施策の検討に取り組んだ。平時の乗り合い交通や貨客混載と同様に、移動需要の予測とその制御を通じて、効率的な不動産と可動産のサービス提供の検討を進めることができた。

2点目に関しては、土地所有と回遊行動の歴史的なデータの分析から、その相互作用を明らかにし、モビリティ導入による人々の活動変化が都市形態への変化に与える影響を定量的に予測・評価することを可能にした。モビリティの短期的な生活や交通への影響にとどまらず、超長期的な都市への影響を予測するシステムを開発したことは、本研究の大きな成果と言っていいだろう。

マルチスケール複雑適応系解析



東京大学
合原一幸(左)
田中剛平(中)
豊田中央研究所
吉田広顕(右)

概要

自動車、IT通信各産業が目指している高度モビリティ社会は、同時に地球環境負荷が小さくサステナブルである必要がある。その実現のためのアプローチに共通するキーワードが、「繋がり」と「循環」である。人やまち、地域や自然が互いに繋がり、物質やモノ、情報の円滑な移動と循環を可能にすることがカギとなる。たとえば、トヨタ環境チャレンジ2050は6つの課題にブレークダウンされているが、CO2や水、モノのチャンネルをつなぎ、循環する未来が描かれている。個々のアプローチに共通する課題として繋がりの大規模化、構成要素の複雑化がある。

系が大規模でネットワークが広範にわたることに加え、個々の構成要素である人(脳・体)や社会、まちそれぞれの振舞いが「単体でも」極めて複雑なことが、数理工学がこれまで威力を発揮してきた物理、化学や工学の諸分野と異なる点である。たとえばこれは、分子を構成要素とした繋がりからなる物質を調べるケースでは、個々の分子が決められた法則に則って運動することと対照的である。物質の振舞いにも十分難しい問題が含まれるが、人やまち、社会を考えるとときには、その構成要素が従う統一的な法則はまだ見いだせていない。構成要素がせいぜい数個程度からなるシステムはどうか扱えても、それが何千・何万と連結した大規模系は、きわめてマルチスケール性が高く、その振舞いの解明と制御がとても難しい。たとえば、以下のような現象には、複数の異なるスケールのダイナミックな現象が関わっている。

- 気候変動：海洋と大気の循環を主として異なる空間スケールでのダイナミクスの相互作用が関係し、季節性や氷期—間氷期サイクルのような異なるスケールの時間的周期性を有する
- 脳活動：個々のミクロな神経細胞が集団として神経ネットワークレベルでのマクロな神経活動や情報処理機能を生み、脳状態を特徴づけるさまざまな周波数の脳波が知られている
- 交通系：交通規則の制約の下で個々の車(運転手)の自由意思による走行が集団としてのマクロな交通流を生み、交通情報がフィードバックされて個々のローカルな走行パターンを変えるという循環性をもつ

本研究領域では、このような人・社会・環境などの動的な複雑適応系を対象として、さまざまな時空間スケールを考慮した数理工学的手法を開発し、実現象の解析、予測、制御、最適化に応用する研究活動を行った。

こうした数理工学的手法を支えるのは、複雑適応系の数理モデリングである。支配法則が明らかな対象には、物理法則等に基づいて数理／物理モデルを構築することができるが、上記のような複雑適応系では必ずしもそれが可能ではない。そこで、そのような対象には、現象論的モデルやデータ駆動型モデルの活用が有望となる。マルチスケール系に対応する、これらのモデリングの枠組みはまだ発展途上なので、個別研究を進めながら知見を蓄え、より汎用的なモデリング技術を体系化することを目指した。

最終目標

本研究の最終目標は、複雑適応系のダイナミクスをデータ駆動型解析により理解、制御することを通して、高度モビリティ社会実現の先回り課題に資する数理基盤技術を構築することである。人・社会・環境などの動的な複雑適応系を対象として、さまざまな時空間スケールを考慮した数理工学的手法を開発し、実現象の解析、予測、制御、最適化を通して手法を検証する。

研究結果

(1) マルチ時間スケールデータに対する
リザーバーコンピューティング

複数の時空間スケールをもつシステムは、物理学や生物学、医療など様々な分野で見られるが、全てのスケールの現象について支配法則が分かっているケースは少なく、解析や予測が難しい。このような場合に有効な、データに基づいてモデルを構築することのできる機械学習法はまだ確立されていない。本研究の目的は、リザーバー計算の枠組みに基づいて、マルチスケールダイナミクスの予測に有効な手法を開発することである。

従来手法ではリザーバー内のニューロンは均一で時定数の範囲が限られていたが、本手法では応答特性の異なるニューロンをランダムに混在させたりザーバーを考案することで、時定数分布の範囲を可変とする仕組みを実現した。複数の時間スケールをもつ多変量時系列データの予測タスクにおいて、提案手法によりリザーバーの時定数分布を十分広くしておけば、予測精度が従来手法より向上することを示した(図1)。

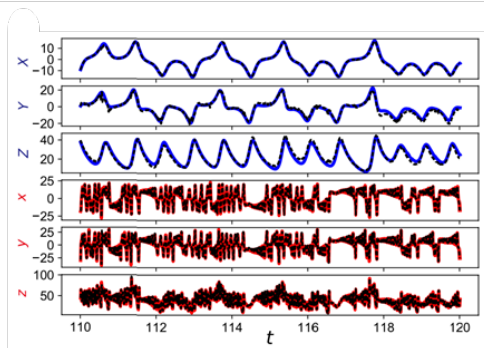
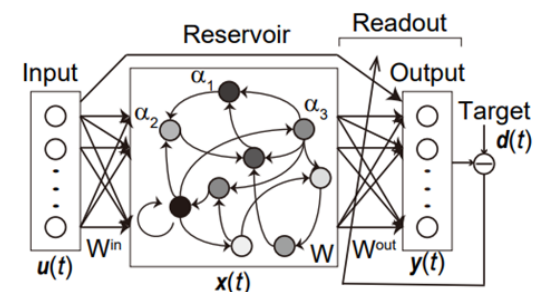


図1. リザーバーコンピューティングの基本構造(上)、マルチ時間スケールデータの予測結果(下)。

(2) 量子コンピュータによる大規模信号機群の制御

大都市の渋滞を緩和するために、交通状態に応じて適応的に信号機を制御することは重要な課題である。従来の適応的な信号機の制御は、各交差点の周辺の局所情報のみを考慮したもので、都市全体の交通状況を同時に最適化することはできない。そこで本研究では、次世代計算機として期待されている量子コンピュータの一種である量子アニーリングマシンを用いて、大都市の信号機群を協調制御する手法を開発した。

ここでは、道路網は縦横に直交する格子状であるとし、道路網上の交通は一定の確率で右左折する車両群によりモデル化した。問題を定式化して解析した結果、交通流の偏りを最小化する信号の色の組合せを決める最適化問題が、イジングモデルのエネルギー最小化問題に帰着されることが示された。これにより、量子アニーリングマシンにより信号制御問題を解くことが可能になった(図2)。

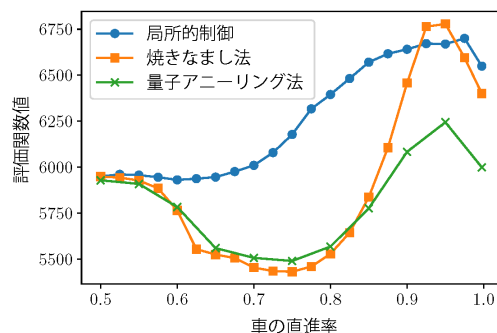
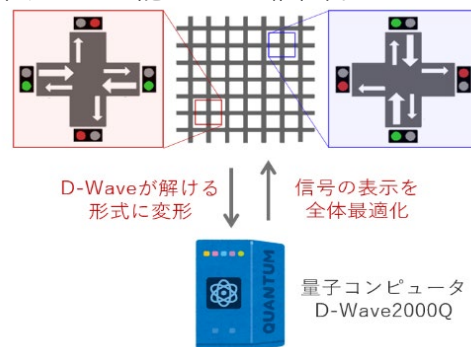


図2. 交通流制御手法の概念図(上)、交通流の偏りの大きさを表す評価関数値の比較結果(下)

研究結果

(3) マルチ時間スケールデータに対するリザーブコンピューティングの発展と応用

前述のように、複数の時空間スケールをもつシステムは、物理学や生物学、医療など様々な分野で見られるが、全てのスケールの現象について支配法則が分かっているケースは少なく、解析や予測が難しい。このような場合に有効な、データに基づいてモデルを構築することのできる機械学習法はまだ確立されていない。本研究の目的は、リザーブ計算の枠組みに基づいて、マルチスケールダイナミクスの予測に有効な手法を開発することである。

本年度は、昨年度に提案した発展的リザーブ計算手法を用いて、実世界の複雑データである脳波(EEG)のパターン認識に取り組んだ。睡眠時無呼吸症候群の研究用に測定されたEEGのベンチマークデータを利用し、覚醒状態と浅睡眠状態を分類する機械学習タスクを行なった。ある被験者のEEGデータに対し、適切な前処理を施してからリザーブ計算を行なったところ、他の最先端の分類手法に匹敵する高い認識率が得られる可能性が示唆された(図3)。

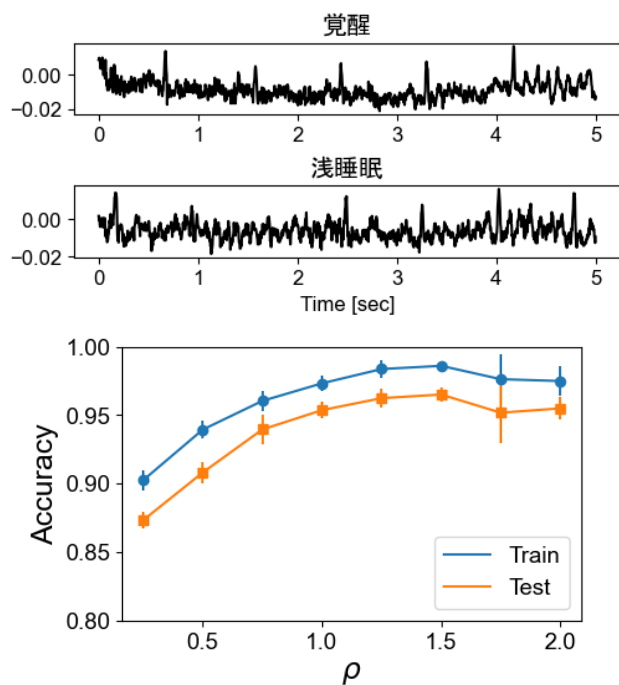


図3. 脳波EEGデータの例(上)、覚醒状態と浅睡眠状態の2値分類タスクの正解率(下)

(4) スタジアム周辺の人流に関する数理モデリング

大規模イベントの内容やイベント会場の特徴が周辺地域に与える影響を明らかにするために、実データを用いた解析を行なった。2018-19年に実施されたJリーグの公式試合について、モバイル空間統計データから得られるスタジアム周辺の滞在人数の変化(図4a)に与える影響を、回帰分析により解析した。

解析の結果から、試合後に観客が会場周辺に留まる時間は、ホームチームが勝利した場合長くなり、逆に敗北した場合は短くなることが分かった。さらに、「逆転勝ち」や「大差負け」といった試合の内容も人流に影響を及ぼすことが分かった。

また、回帰モデルから得られる会場ごとの滞在時間の違い(図4b)を会場付近の商業地の分布を用いて再現する数理モデルを構築し、MCMCを用いたパラメータのベイズ推定を行なった。このモデルは、試合後の観客の行動を推定するもので、イベント会場の設計の指針となりうる。

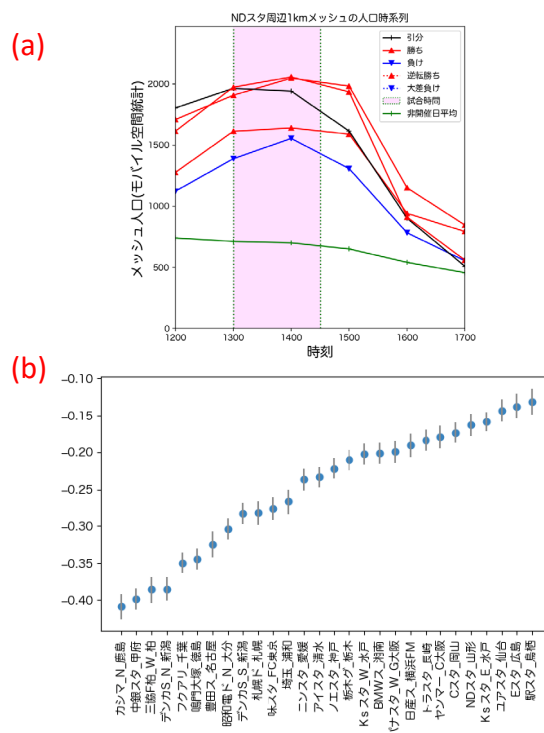


図4. (a) 会場周辺滞在人口の時間変化の例 (b) 会場ごとの滞在時間の傾向の違い

研究結果

(5) リザーバーコンピューティングを使った気候データ予測

気候変動対策の検討には観測データに基づく高精度な時空間的に均質なデータセットが不可欠だが、実際に観測できるデータには制限があるため、未観測データの補間技術が重要である。機械学習を使った手法は一度モデルの学習ができると高速な予測ができるため、オンデマンドでの活用にも有効である。しかしながら、取り扱うデータに対して手法がどの程度うまく機能するかという議論はこれまで十分にはされてこなかった。そこで本研究では、選択した手法に対して高精度な予測が達成される条件の解明に取り組んだ。

リザーバーコンピューティングを使って、観測データから離れた別の地点の未観測データを予測するタスクを考え、予測値と正解値の誤差を評価した。得られた誤差を観測データと正解データとの間の相関係数と比較した結果、両者は概ね線形の関係にあることがわかった。このことから、データ間の相関が時系列データ予測の精度に対して支配的な要素になっており、データの選択に有効な指標になることが示唆された(図5)。

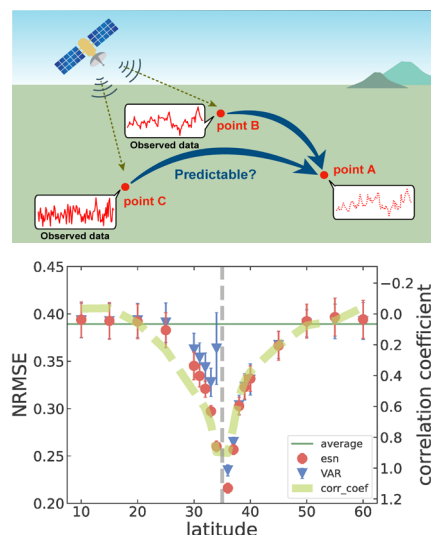


図5. 時系列データ予測のイメージ(上)、予測精度(マーカー)と相関係数(黄色破線)の関係(下)。

(6) 大規模都市の信号制御手法の開発と性能検証

カーボンニュートラル達成に向けた、円滑な交通流を実現するための交通信号制御手法として、AMPIC (Adaptive Model Predictive Ising Controller) と呼ばれる制御手法を開発した。提案手法では、数理モデルを用いて将来の車両の流れを予測しつつ、望ましい交通状態に近づけるための、モデル予測制御が用いられる。通常この制御手法は、都市の規模が大きくなるにつれて計算量が大きくなる課題があった。提案手法では、解くべき最適制御問題を、イジング問題と呼ばれる種類の問題へ変換し、近年開発が著しく進むイジングソルバーと呼ばれるソルバーの使用を可能にすることで、高速な求解を可能にした(図6a)。

開発した手法の性能検証のために、交通シミュレータSUMOを用いて、札幌の都市部の道路網とその上を往来する車両モデルの制御シミュレーションを実施した。提案手法が円滑な車両の走行を促進した結果、都市全体の単位時間当たりのCO2排出量が、単純なスケジュール制御と比べておよそ1/3に削減されることがわかった(図6b)。また、都市の規模が大きくなると、提案手法が既存手法に比べてより良好な制御結果をもたらすことがわかった。

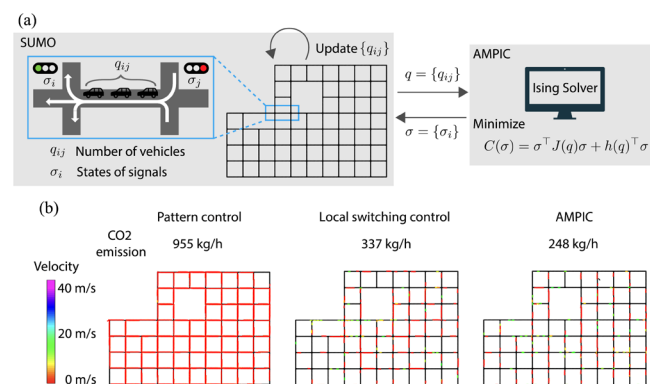


図6. (a) 提案手法の模式図

(b) 札幌の都市部の数値シミュレーションの結果。色が車両の運行速度を表す

結果

人工データや理想化されたデータを用いて実証してきた数理解析技術を、気象や交通の実データに適用した。データの複雑性・不完全性により生じる新たな課題を解決しながら手法を高度化し、その有効性を確認した。今後とも、人・街・環境に係るデータに確立した数理解析技術を応用し、カーボンニュートラル実現に向けた技術開発に貢献してゆく。

情動メカニズム

(※:所属・職位は研究参画時点にて記載)

東京大学	情報理工学系研究科	教授	國吉 康夫	
	情報理工学系研究科	准教授	中嶋 浩平	
	情報理工学系研究科	助教	井上 克馬	
	情報理工学系研究科	助教	西川 鋭	※
	情報理工学系研究科	講師	新山 龍馬	※
	情報理工学系研究科	特任助教	金沢 星慶	
	情報理工学系研究科	特任助教	中川 聡	
	情報理工学系研究科	特任講師	大黒 達也	
	情報理工学系研究科	特任研究員	小倉 有紀子	※
	情報理工学系研究科	特任研究員	米倉 将吾	
	情報理工学系研究科	博士課程	阿部 由吾	
	情報理工学系研究科	博士課程	Wei Yu	
	情報理工学系研究科	博士課程	Elena Skoullou	
	情報理工学系研究科	博士課程	Dongmin Kim	
	情報理工学系研究科	博士課程	Pan PenCheng	
	情報理工学系研究科	博士課程	吉田 尚人	
	情報理工学系研究科	修士課程	Julius Cueto	※
	情報理工学系研究科	修士課程	成田 淳志	
	情報理工学系研究科	修士課程	ファヴィエ 要	※
	情報理工学系研究科	修士課程	鷺津 翔也	
豊田中央研究所	情報理工学系研究科	学部過程	平野 聖剛	
	ニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCIN)	特任教授, 協力研究者	長井 志江	※
	イノベーティブ研究企画・推進室	室長	山田 大介	
	ヒューマンサイエンス研究領域	研究領域リーダー	杉浦 豪軌	
	ヒューマンサイエンス研究領域	リーディングリサーチ	岩本 正実	
	ヒューマンサイエンス研究領域		渥美 範俊	
	ヒューマンサイエンス研究領域		駒野目 ゆう子	
	ヒューマンサイエンス研究領域		齋藤 美和	
	ヒューマンサイエンス研究領域		平林 智子	※

機械知性

(※:所属・職位は研究参画時点にて記載)

東京大学	情報理工学系研究科	特任教授	谷川 智洋	
	情報理工学系研究科	講師	新山 龍馬	※
	情報理工学系研究科	特任研究員	大村 吉幸	
	情報理工学系研究科	特任研究員	Magrans de Abril, Ildefons	※
	情報理工学系研究科	学術専門職員	安藤 真	
	情報理工学系研究科	博士課程	金 希哲	
	情報理工学系研究科	博士課程	阿部 由吾	
	情報理工学系研究科	博士課程	濱野 将伍	
	情報理工学系研究科	博士課程	宮ノ原 優斗	
	次世代知能科学研究センター	特任助教	中川 聡	
	次世代知能科学研究センター	特任講師	大黒 達也	
	先端科学技術研究センター	特任講師	吉田 成朗	※
豊田中央研究所	協働知性研究領域	研究領域リーダー	堺 浩之	
	協働知性研究領域	リーディングリサーチャー	吉村 貴克	
	協働知性研究領域		仲田 愛	
	バイオインスパイアードシステム研究領域	研究領域リーダー	村本 伸彦	
	バイオインスパイアードシステム研究領域		岩井 幸一郎	※
	バイオインスパイアードシステム研究領域		前田 智祐	※
	バイオインスパイアードシステム研究領域		原田 匠	※

広域・長期的な都市形成過程の分析・モデリング・制御

(※所属・職位は研究参画の最終年度時点にて記載)

東京大学	工学系研究科	教授	羽藤 英二	
	工学系研究科	助教	小林 里瑳	
	工学系研究科	特任助教	中尾 俊介	
	工学系研究科	学術専門職員	永山 悟	
	工学系研究科	特任研究員	北原 麻理奈	※
	工学系研究科	特任研究員	柴田 純花	※
	工学系研究科	博士課程	増田 慧樹	
	工学系研究科	博士課程	黛 風雅	
	工学系研究科	修士課程	小川 大智	
	工学系研究科	修士課程	小川 瑞貴	※
	次世代知能科学研究センター	特任研究員	原 祐輔	
豊田中央研究所	社会システム研究領域	研究領域リーダー	志賀 孝広	
	社会システム研究領域	リーディングリサーチャー	西 智樹	
	社会システム研究領域	リーディングリサーチャー	日高 健	
	社会システム研究領域	リーディングリサーチャー	吉村 貴克	
	社会システム研究領域		池貝 未来	※
	社会システム研究領域		大社 綾乃	※
	社会システム研究領域		大滝 啓介	※
	社会システム研究領域		清水 麻里子	※
	社会システム研究領域		寺嶋 立太	※
	社会システム研究領域		早川 敬一郎	
	社会システム研究領域		牧野 玲子	
	協働知性研究領域		大脇 崇史	
	数理工学研究領域		小出 智士	※
	数理工学研究領域		宮野 竜也	
	クラウドインフォマティクス研究領域		石井 良尚	※

複雑適応系の時系列データに対する因果解析と予測

東京大学	ニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCN)	特別教授	合原 一幸	
	ニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCN)	特任准教授、 連携研究員	田中 剛平	
	ニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCN)	特任研究員	田村浩人	※
	ニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCN)	特任研究員	WeiHao Tey	※
	情報理工学系研究科	特任研究員、 協力研究員	山下 洋史	
豊田中央研究所	数理工学研究領域	研究領域リーダー	吉田 広顕	
	数理工学研究領域	研究領域リーダー	小島 祥子	※
	数理工学研究領域	リーディングリサーチ	松森 唯益	
	数理工学研究領域		生田 靖弘	
	数理工学研究領域		井上 大輔	
	数理工学研究領域		大山 倫弘	
	数理工学研究領域		岡田 明久	
	数理工学研究領域		川本 敦史	
	数理工学研究領域		小山 志穂里	
	協働知性研究領域		大滝 啓介	
	協働知性研究領域		原田 匠	
	データナリティクス研究領域	研究領域リーダー	城殿 清澄	※

情動メカニズム

- [1] A. Narita, H. Kanazawa, S. Yonekura, Y. Kuniyoshi; “Cognitive flexibility associated with respiratory cardiopulmonary dynamics”, Society for Neuroscience 2022, Nov. 12-16 (SfN2022)
- [2] S. Yonekura, J. Cueto, H. Kanazawa, N. Atsumi, S. Hirabayashi, M. Iwamoto, Y. Kuniyoshi; “A neuromodulatory model for determining the effect of emotion-respiration-cognition coupling on the time-to-respond”, bioRxiv, April 25, 2022. doi: <https://doi.org/10.1101/2022.03.30.486453>
- [3] M. Iwamoto, S. Yonekura, N. Atsumi, S. Hirabayashi, H. Kanazawa, Y. Kuniyoshi; “Respiratory entrainment of the locus coeruleus modulates arousal level to avoid physical risks from external vibration”, Scientific Reports, 01 May 2023, DOI:<https://doi.org/10.1038/s41598-023-32995-6>
- [4] M. Iwamoto, S. Yonekura, S. Hirabayashi, Y. Kuniyoshi; “Arousal level prediction in external stimulations using a computational model of interactions between locus coeruleus and cardiorespiratory system”, The 34th Annual Conference of the Japanese Neural Network Society, Sep.11-13, 2024.
- [5] S. Yonekura, J. Cueto, H. Kanazawa, N. Atsumi, S. Hirabayashi, M. Iwamoto, Y. Kuniyoshi; “A computational model of the coupling of emotion, respiration, and cognition: Analyzing how respiratory-entrained sensory signals and neuromodulation affect decision-making”, [will be submitted to Frontiers in Neuroscience]
- [6] A. Narita, H. Kanazawa et al.; “Respiratory Phase-Dependent Modulation of Binocular Rivalry”, [will be submitted to PNAS in 2024]
- [7] S. Yonekura, A. Narita, H. Kanazawa, Y. Kuniyoshi; “A core driver of somatic markers: Interoceptive signal facilitates transitions between stable neural states”, [will be submitted to Science in 2024]
- [8] M. Iwamoto, A. Narita, S. Yonekura, H. Kanazawa, Y. Kuniyoshi; “Body vibration of 0.1 Hz enhances performance by increasing brain flexibility and heart rate variability”, [will be submitted to Nature Communication in 2024]
- [9] H. Kanazawa, H. Narita et al. ; “Modulatory Effects of Respiration on Binocular Rivalry: A Comparative Analysis of Physical Activity Influence”, [will be submitted to Journal of Physiology in 2024]
- [10] N. Atsumi, H. Kanazawa, A. Narita, M. Iwamoto, Y. Kuniyoshi; “Investigation of the relationship between the dynamic changes in physiological measures and perceptual stability during binocular rivalry using a hidden Markov model”, [will be submitted to PNAS in 2024].

- [11] 塩崎敬祐, 小柳陽光, 青山一真, 鳴海拓志, 谷川智洋, 葛岡英明, 廣瀬通孝; "対面接客訓練 VR における交替潜時がアバタの印象に及ぼす影響", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 26巻, 3号, pp.169-176, Sept. 2021
DOI https://doi.org/10.18974/tvrsj.26.3_169
- [12] Y. Chang, K. Matsumoto, T. Narumi, T. Tanikawa, M. Hirose; "Redirection controller using reinforcement learning", IEEE Access, vol.9, pp.145083-145097, Oct. 2021. DOI:10.1109/ACCESS.2021.3118056
- [13] T. Tanikawa, K. Shiozaki, Y. Ban, K. Aoyama, M. Hirose; "Semi automatic reply avatar for VR training system with adapted scenario to trainee's status", HCI International 2021 - Late Breaking Papers: Multimodality, eXtended Reality, and Artificial Intelligence, pp.350-355, July 2021. DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-030-90963-5_26
- [14] S. Yoshida, T. Narumi, T. Tanikawa, H. Kuzuoka, M. Hirose; "Teardrop glasses: pseudo tears induce sadness in you and those around you", CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 12Pages, Yokohama, Japan, May 2021. DOI:<https://doi.org/10.1145/3411764.3445741>
- [15] H. Sakai, M. Shimizu, T. Yoshimura, E. Hato; "Psychological reactance to mobility restrictions due to the COVID 19 pandemic: a Japanese population study", Frontiers in Psychology, June 2021.
DOI:<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.655022>
- [16] Maeda T, Yoshida S, Murakami T, Matsuda K, Tanikawa T, Sakai H; "Fingeret: a wearable fingerpad-free haptic device for mixed reality", Proceedings of the ACM Symposium on Spatial User Interaction, December 2022,
DOI:<https://doi.org/10.1145/3565970.3567703>
- [17] Hamano S, Kim H, Ohmura Y, Kuniyoshi Y; "Using human gaze in few-shot imitation learning for robot manipulation", Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 2022, DOI:10.1109/IROS47612.2022.9981706
- [18] Wei Y, Ogura Y, Ohmura Y, Magrans de Abril I, Kanazawa H, Kuniyoshi Y; "Integrated altruistic and fairness preference induces advanced mutual cooperation in sequential social dilemmas", International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems
- [19] T.Horigome, S.Yoshida, T.Tanikawa, M.Mimura, T.Kishimoto; "Modification of the therapist's facial expressions using virtual reality technology during the treatment of social anxiety disorder: a case series", Frontiers in Psychology, Vol.14, 2023. DOI=10.3389/fpsyg.2023.1030050.
- [20] Nakada A, Yoshimura T, Sakai H, Nakagawa S, Tanikawa T, Kuniyoshi Y; "Exploring the Chameleon Effect in Metaverse Environments for Enabling Creative Communication", Proceedings of IEEE VR, 2024年3月, DOI:10.1109/VRW62533.2024.00292
- [21] 中川聡, 谷川智洋, 仲田愛, 吉村貴克, 堺浩之, 國吉康夫; "対立する立場間でのコミュニケーションにおける生成AIの介在による対立緩和", 2024年度人工知能学会全国大会, 4P3-OS-17c- 03, 2024年5月, [人工知能学会全国大会優秀賞], DOI:10.11517/pjsai.JSAI2024.0_4P3OS17c03
- [22] Hiroyuki Sakai, Shigeo Yoshida, Tomosuke Maeda, Tomohiro Tanikawa; "Affective voice tone and dyadic creativity: an interventional study", PsyArXiv preprint, 2024年6月, <https://doi.org/10.31234/osf.io/4vuym>

広域・長期的な都市形成過程の分析・モデリング・制御

- [23] 石井 健太、山野 亮成、羽藤 英二; “オイラー・ラグランジュ型観測に基づく経路選択モデルの情報量推定”、都市計画論文集、2019 年 54 巻 3 号 p. 726-733、DOI: <https://doi.org/10.11361/journalcpj.54.726>
- [24] 小林 里瑛、羽藤 英二; “EMアルゴリズムを用いた土地所有形態選択問題のモデル化”、都市計画論文集、2019 年 54 巻 3 号 p. 1245-1252、DOI <https://doi.org/10.11361/journalcpj.54.1245>
- [25] R. Koseki, E. Hato; “Modeling long-term recursive migration choices from superdisasters: a case study of the great east Japan earthquake”, 101st TRB Annual Meeting, no.TRBAM-22-04862, Washington, DC, USA, Jan. 2022.
- [26] M. Ogawa, E. Hato; “Manifold learning with OD matrix as latent variables for pedestrian network design with surrogate model”, 101st TRB Annual Meeting, no.TRBAM-22-04919, Washington, DC, USA, Jan. 2022.
- [27] K. Masuda, R. Koseki, E. Hato; “Evacuation network design with a dynamic scheduling model: pareto frontier analysis for historic tsunami recovery urban planning”, 101st TRB Annual Meeting, no.TRBAM-22-04894, Washington, DC, USA, Jan. 2022.
- [28] 小川瑞貴、羽藤英二、石井健太; “起終点交通量を潜在変数とする多様体学習とネットワークデザインのための代理モデルの構築” 都市計画論文集, 56巻, 3号, pp.1351-1358, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.11361/journalcpj.56.1351>
- [29] 小関玲奈、羽藤英二; “巨大災害後の広域人口移動予測に向けた動的居住地選択モデル”, 都市計画論文集, 56巻, 3号, pp.595-602, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.11361/journalcpj.56.595>
- [30] 小林里瑛、羽藤英二; “市整備に伴う回遊選択の変化に応答的な土地の両面市場モデル”, 都市計画論文集, 56巻, 3号, pp.524-531, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.11361/journalcpj.56.524>
- [31] K. Masuda, E. Hato; “Cliometric analysis with a pareto frontier of urban planning after the Chile tsunami”, The 11th International Conference of the International Society for the Integrated Disaster Risk Management, Online, Sep. 2021.
- [32] R. Koseki, S. Yamamoto, E. Hato; “Comparative History of Cities with Frequent Disasters: Morphological Transformation and Urban Planning after Catastrophic Tsunami and Flood Disasters”, The 11th International Conference of the International Society for the Integrated Disaster Risk Management, Online, Sep. 2021.
- [33] B. Shen, E. Hato; “Model pedestrian route choice in 3D space using discounted recursive logit model in time-structured network”, 第41回交通工学研究発表会論文集 (CD-ROM), Aug. 2021.
- [34] M. Shimizu, T. Yoshimura, E. Hato; “Can probability neglect bias promote social distancing during the COVID-19 pandemic?”, Transportation Research part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol.84, pp.363-374, Jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.11.007>
- [35] 西智樹、原祐輔、大社綾乃、吉田広頭; “活動文脈を考慮したSP調査に基づく移動販売店舗の選択要因分析”, 土木計画学研究発表会(春大会), 2022.6
- [36] 池貝未来、増田慧樹; “江東区を対象とした水害時避難促進のための実証実験による避難行動分析”, 日本モビリティマネジメント会議(JCOMM), 2022.8
- [37] F. Mayuzumi, K. Hayakawa, E. Hato; “A Dynamic Scheduling Algorithm based on Marginal Contribution in Mixed Passenger-and-Freight Delivery Networks”, IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2022.10, DOI: 10.1109/ITSC55140.2022.9922410

広域・長期的な都市形成過程の分析・モデリング・制御

- [38] 池貝未来, 日高健, 増田慧樹, 羽藤英二; “リスク認知が避難行動に与える影響の分析-繰り返しSP調査を用いた河川氾濫に対する主観確率の回帰モデリング”, 土木計画学研究発表会(秋大会), 2022.11
- [39] 増田慧樹, 池貝未来, 羽藤英二; “異質性に着目した強化学習に基づく動的避難目的地選択モデル”, 土木計画学研究発表会(秋大会), 2022.11
- [40] S. Masuda, E. Hato; “Evacuation choice modeling using reinforcement learning based on the multi-armed bandit problem”, The 12th International Conference of the International Society for the INTEGRATED DISASTER RISK MANAGEMENT, 2022.9
- [41] 黛風雅, 羽藤英二; 貨客提携ネットワーク上の動的システム最適配分とそのシャープレイ評価, 第65回土木計画学研究発表会, 2022.6
- [42] 小林里瑳, 羽藤英二; Gale-Shapleyアルゴリズムによる微視的土地取引メカニズムのモデル化と実証, 第66回土木計画学研究発表会, 2022.11
- [43] R. Kobayashi, E. Hato; “Microscopic interaction model between land ownership-pedestrian trip chains with integrated structure estimation algorithm”, the 16th IATBR conference, 2022.12
- [44] 牧野玲子, 志賀孝広, 羽藤英二; “自動運転を見据えた社会実験アンケートにおける自由記述データのテキスト分析”, 第67回土木計画学研究発表会(春大会), 2023.6.3
- [45] 増田慧樹, 羽藤英二; “MFD-RL配分モデルを用いた豪雨災害における垂直・水平避難の予測制御”, 第67回土木計画学研究発表会(春大会), 2023.6.3
- [46] 原祐輔, 西智樹; “不誠実な回答と選好の異質性を識別するための拡張ベジアン自白剤を用いたSP調査”, 第67回土木計画学研究発表会(春大会), 2023.6.4
- [47] 西智樹, 原祐輔; “交互作用を考慮した一般化加法ニューラルネットワークに基づく離散選択モデル”, 第67回土木計画学研究発表会(春大会), 2023.6.4
- [48] S. Masuda, E. Hato; “An empirical analysis of the forgetting mechanism in repeated evacuations with the recursive logit model”, the 16th World Conference on Transport Research, 2023.7.20
- [49] 大脇崇史, 吉村貴克, 小林里瑳, 羽藤英二; “観光地における歩行経路選択のプリズム制約付RLモデルを用いた分析”, 第43回交通工学研究発表会, 2023.8.9
DOI: https://doi.org/10.14954/jsteproceeding.43.0_397
- [50] T. Owaki, R. Kobayashi, T. Yoshimura, and E. Hato; “Modeling Pedestrian Route Choice in Touristic Area Using Prism-Constrained RL Models”, A Case Study of Dogo District, the 103rd Transportation Research Board Annual Meeting, TRBAM-24-06068, 2024.1.9
- [51] T. Nishi, Hato, E.; “Transit Signal Priority Based on Deep Reinforcement Learning for Multiple Intersections”, the 103rd Transportation Research Board Annual Meeting, TRBAM-24-01998, 2024.1.10
- [52] K. Hidaka, M. Ikegai, S. Masuda, “Regression modeling of subjective probability of river inundation with epistemic uncertainty: a short-term panel data analysis”, Natural Hazards, Volume 120, pp. 6343–6375, Feb. 2024.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06446-y>
- [53] 西智樹, 吉田 広顕, 大社 綾乃, 原 祐輔; “活動文脈を考慮した SP 調査に基づく移動店舗の選択要因分析”, 土木学会論文集, 79巻, 20号, May. 2023
DOI: <https://doi.org/10.2208/jscej.23-20010>
- [54] M. Ikegai, K. Hidaka, S. Masuda; “Short-term panel data analysis of the effect of flood risk communication on individual evacuation decisions”, International Journal of Disaster Risk Reduction, 106, 104433, May. 2024.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104433>

複雑適応系の時系列データに対する因果解析と予測

- [55] Inoue, Okada, Matsumori, Aihara, Yoshida; “Traffic signal optimization on a square lattice with quantum annealing”, SCIENTIFIC REPORTS, 10 February 2021, DOI:<https://doi.org/10.1038/s41598-021-82740-0>
- [56] Yamashita Hiroshi, Suzuki Hideyuki, Aihara Kazuyuki; “Representation and Destabilization of Local Minima in Continuous-Time Boolean Satisfiability Solver”, IEICE Proceeding Series, 74 258-261, 2020-11-09, DOI:[10.34385/proc.74.B4L-B-1](https://doi.org/10.34385/proc.74.B4L-B-1)
- [57] G. Tanaka, T. Matsumori, H. Yoshida, K Aihara; “Reservoir computing with diverse timescales for prediction of multiscale dynamics”, Physical Review Research, Vol.4, Iss. 3,no. L032014, July 2022 DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.4.L032014>
- [58] S. Koyama, D. Inoue, A. Okada, H. Yoshida; “Electro-osmotic diode based on colloidal nano-valves between double membranes”, Physical Review Research, vol.3, Iss.3, no.033289, Sep. 2021. DOI:[10.1103/physrevresearch.3.033289](https://doi.org/10.1103/physrevresearch.3.033289)
- [59] H. Yamashita, K. Aihara, H. Suzuki; “Accelerating numerical simulation of continuous-time Boolean satisfiability solver using discrete gradient”, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, vol.102, no.105908, Nov. 2021. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2021.105908>
- [60] Z. Li, G. Tanaka; “Multi-reservoir echo state networks with sequence resampling for nonlinear time-series prediction”, Neurocomputing, vol.467, pp.115-129, Jan. 2022. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.08.122>
- [61] R. Nakane, A. Hirose, G. Tanaka; “Spin waves propagating through a stripe magnetic domain structure and their applications to reservoir computing”, Physical Review Research, vol.3, Iss.3, no.033243, Sep. 2021. <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.3.033243>
- [62] H. Tamura, G. Tanaka; “Transfer-RLS method and transfer-FORCE learning for simple and fast training of reservoir computing models”, Neural Networks, vol.143, pp.550-563, Nov. 2021. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.neunet.2021.06.031>
- [63] T. Ichimura, R. Nakane, G. Tanaka, A. Hirose, “A numerical exploration of signal detector arrangement in a spin-wave reservoir computing device,” IEEE Access, vol.9, no.20986654, pp.72637-72646, May 2021. DOI: [10.1109/ACCESS.2021.3079583](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3079583)
- [64] G. Tanaka, T. Matsumori, H. Yoshida, K Aihara, “Reservoir Computing with Diverse Timescales for Prediction of Multiscale Dynamics,” Physical Review Research 4 (3), L032014 (2022)
- [65] 山下洋史, 吉田広顕, 西智樹, 原祐輔; “Jリーグ試合終了後の会場周辺人流に影響を及ぼす要因の統計解析:メッシュ人口時系列データを用いた分析”, 土木学会論文集, vol65, 2022
- [66] A Okada, D Inoue, S Koyama, T Matsumori, H Yoshida; “Dynamical cooperation model for mitigating the segregation phase in Schelling’s model”, The European Physical Journal B 95 (10), 1-10 (2022) DOI:<https://doi.org/10.1140/epjb/s10051-022-00436-4>
- [67] T. Akiyama and G. Tanaka; “Computational efficiency of multi-step learning echo state networks for nonlinear time series prediction”, IEEE Access, 10, pp. 28535-28544 (2022). DOI: [10.1109/ACCESS.2022.3158755](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3158755)

複雑適応系の時系列データに対する因果解析と予測

- [68] Z. Li and G. Tanaka; “Multi-Reservoir Echo State Networks with Sequence Resampling for Nonlinear Time-Series Prediction”, *Neurocomputing*, 467, pp. 115-129 (2022). DOI:<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.08.122>
- [69] Z. Li, Y. Liu, G. Tanaka; “Multi-Reservoir Echo State Networks with Hodrick-Prescott Filter for Nonlinear Time-Series Prediction”, *Applied Soft Computing*, 135, 110021 (2023). DOI:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110021>
- [70] 合原一幸; “高次元データ解析手法の開発と脳科学への応用可能性”, 玉川大学脳科学研究所特別講演会, 招待講演, オンライン, 4月18日(2022).
- [71] 合原一幸; “ニューロモルフィック人工知能研究はどこまで進んだか:人と社会を幸せにするテクノロジーとは?”, KISTEC先端科学技術セミナー2022, 招待講演, オンライン, 4月22日(2022).
- [72] 合原一幸; “複雑系数理モデル学とニューロインテリジェンス”, 2022年度応用脳科学アカデミー, 招待講演, オンライン, 7月13日(2022).
- [73] 合原一幸; “先端数理による複雑社会現象の解明とその実装”, 第87回WIN定例講演会・第42回人間情報学会講演会『人間と人工物の関係をスムーズにつなぐ社会技術』, 招待講演, オンライン, 9月6日(2022).
- [74] 合原一幸; “複雑系数理モデル学とその未病科学研究などへの応用”, 第62回日本臨床化学会年次学術集会, 特別講演, 富山市, 9月30日-10月2日(2022).
- [75] 合原一幸; “複雑系数理モデル学とその高次元データ解析への応用”, 東京理科大学研究推進機構総合研究院第7回総合研究院アカデミー, 招待講演, 東京, 10月11日(2022).
- [76] 合原一幸; “複雑系数理モデル学とICT”, IEICE ICT PIONEERS WEBINARシリーズ ~第31弾~, 招待講演, オンライン, 11月25日(2022).
- [77] 合原一幸; “未病の数理:複雑系数理モデル学からのアプローチ”, 日本人類遺伝学会第67回大会, 特別講演, 横浜, 12月16日(2022).
- [78] 田中 剛平; “リザーバーコンピューティングとマルチスケールモデリング”, 電子情報通信学会総合大会, チュートリアルセッション「NBT-1. 次世代ネットワークを支える数理モデルの展開」, 招待講演, 3月8日(2023).
- [79] 田中 剛平; “AIによる複雑ダイナミクスのパターン認識”, 日本生理学会第100回記念大会, 100周年記念事業委員会企画シンポジウム「AIが切り開く医学・生理学・生命科学の新展開」, 招待講演, 3月15日(2023).
- [80] Chihao Zhang, Kangning Dong, Kazuyuki Aihara, Luonan Chen, and Shihua Zhang; “STAMarker: Determining Spatial Domain-Specific Variable Genes with Saliency Maps in Deep Learning”, *Nucleic Acids Research*, gkad801, pp.1-13 (2023), DOI:<https://doi.org/10.1093/nar/gkad801>
- [81] D. Inoue, H. Yamashita, K. Aihara, H. Yoshida; “AMPIC: Adaptive Model Predictive Ising Controller for large-scale urban traffic signals”, *Scientific Reports* (Submitted)
- [82] S. Koyama, D. Inoue, H. Yoshida, K. Aihara, G. Tanaka; “Predicting unobserved climate time series data at distant areas via spatial correlation using reservoir computing” (Submitted)
- [83] 山下洋史, 吉田広顕, 西智樹, 原祐輔; “Jリーグ試合終了後の会場周辺人流に影響を及ぼす要因の統計解析:メッシュ人口時系列データを用いた分析”, 土木学会論文集(査読中)

シンポジウム

- 2022/4/5 “次世代知能はモビリティ社会を変えるか”、東京大学次世代知能科学研究センター連続シンポジウム第8回 <https://www.ai.u-tokyo.ac.jp/ja/activities/1463>
- 2023/6/21 “「モビリティ知能社会」とWell-being”、東京大学AIセンター連続シンポジウム 第14回、<https://www.ai.u-tokyo.ac.jp/ja/activities/2308>
- 2024/6/19 “次世代知能が拓く人が幸せを感じるモビリティ社会”、東京大学AIセンター連続シンポジウム第17回、<https://www.ai.u-tokyo.ac.jp/ja/activities/2751>

その他アクティビティ

- [1] 豊田中央研究所, 東京大学交通・都市・国土学研究室. 発話解析結果掲載, 地域広報誌つけちレター, Dec. 2022.
- [2] 田中剛平, 中根了昌, 廣瀬明; リザーバーコンピューティング: 時系列パターン認識のための高速機械学習の理論とハードウェア, 森北出版, 東京, 2021. ISBN: 978-4-627-85531-1
- [3] ”こんなことにもイジングマシン: 事例6 豊田中央研究所, 交差点2500ヵ所の信号を模擬 スムーズ移動の解はQAに軍配,” 日経エレクトロニクス, 第1231号, pp.58-60, Sep. 2021.
- [4] 吉田広顕; ”渋滞のないモビリティ社会に向けて ~量子アニーリングによる信号制御~”, 東京大学次世代知能科学研究センター連続シンポジウム第3回, Sep. 2021.
- [5] 羽藤英二; ”モビリティ研究の理論と進展”, 東京大学次世代知能科学研究センター連続シンポジウム第3回, Sep. 2021.