

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

ANNUAL REPORT 2023



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。

当社会連携研究部門の特徴の一つが、産学協創の研究機関として大学と企業が全力でがっぷり四つに組み、研究に取り組んでいることにあります。すなわち企業側として将来を託す生命線となるような最重要技術に対して、大学側としても極めて学術的意義が高く最先端のフロンティアを目指す研究課題群が設定され、それらに対して学術、社会実装両面で協働して取り組んでいる点です。

もう一つは設定されている研究課題に対して神経科学、人工知能学、都市工学、数理工学と、次世代の知能科学を切り拓く広範な重要研究領域の視点から接近を試みていることです。一つのアプローチでは正解にたどり着くのが困難な複雑な実社会の課題に対して、多面的な研究アプローチが協働することで本質を見極め、共通の問題を見出して取り組む研究体制がとられている点にあります。

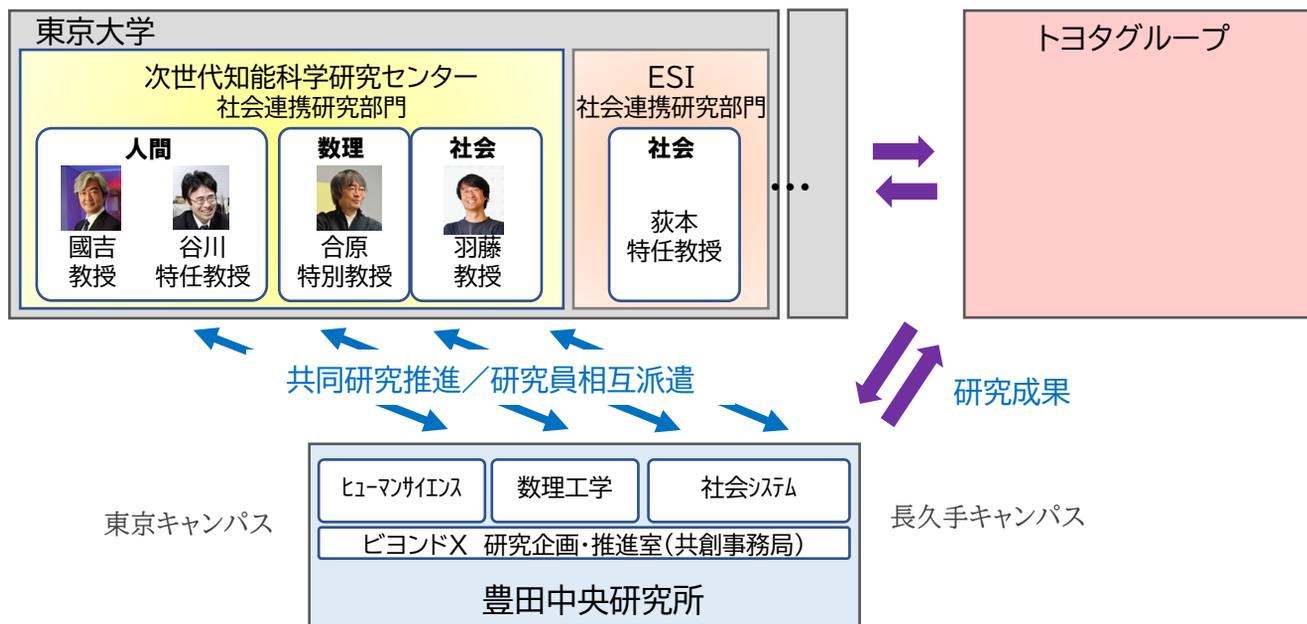
最終年度である当年度は、人間領域では情動の定義と情動を表現する脳-身体連成系モデリングと情動コミュニケーションシステムの構築、社会研究ではモビリティによる持続可能なまちづくりの設計および長期的な都市構造への影響分析手法、数理研究では複雑システムのマルチスケールなデータの分析・解析技術の開発と都市・環境に関する実データへの応用、を精力的に推進いたしました。

当年度の成果を年次報告としてまとめました。本報告によって、より多くの方々に、ご理解を深めていただければ幸いです。

なお、5年間の取り組みをまとめた報告書を今夏に公開予定です。こちらをあわせてご覧いただけますと幸いです。

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

基礎研究
×
実証研究

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へ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
ゾリেন্ট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

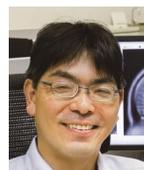
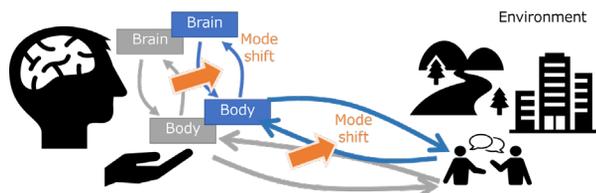
目次

- | | |
|----------|---------|
| 1. 取り組み | … P. 1 |
| 2. 研究者一覧 | … P. 9 |
| 3. 研究成果 | … P. 11 |

情動メカニズム

(目標)「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

(アプローチの特徴) AIを用いるブラックボックス的な手法ではなく、機能的特徴を表現した複数のモデルを組合せる構成論的なアプローチにより身体－脳神経連成モデルを開発する。また、筋活動、脳活動、呼吸・循環・代謝活動を同時計測し、そのデータに基づき情報伝達ネットワーク構造を抽出することによりモードシフトを実験的にとらえる。



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、ヒトは問題に直面すると、脳・身体の状態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、positive/negativeコンテキスト間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、positive/negativeコンテキストと解釈可能なタスクを設計し、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のその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。

最終目標と今年度目標

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。そのため、今年度は、これまでに開発した身体－脳神経連成モデルに、昨年度開発した両眼視野闘争における知覚交替を計算可能な大脳皮質モデルを追加した。また、生体計測実験において、被験者数を増やし、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種類の実験を実施した。モデルを用いて、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。

今年度成果

(1)呼吸・運動による知覚交替変化の予測モデル

これまでに、運動や環境(車両振動や空気中のCO₂濃度変化など)による脳・身体の相互作用と、それに伴う呼吸、心拍、覚醒度の変化を予測可能な呼吸心拍-青斑核モデルを開発した[1]。今年度は、このモデルに昨年度開発した両眼視野闘争*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-皮質モデルを開発した(図1)。このモデルを用いて、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、随意呼吸の呼吸数は橋(PONS)からの呼吸関連入力値により12, 15, 22[/min]とし、ペダル運動は孤束核(NTS)化学受容器への末梢CO₂濃度変化入力により表現し呼吸数は30[/min]とした。その結果、モデルは呼吸数や運動に対する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)。

*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

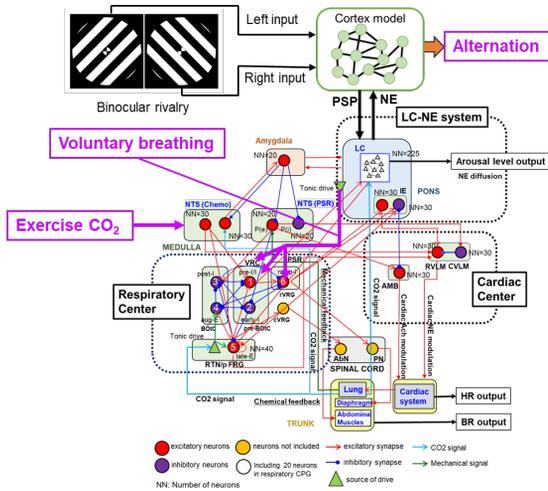
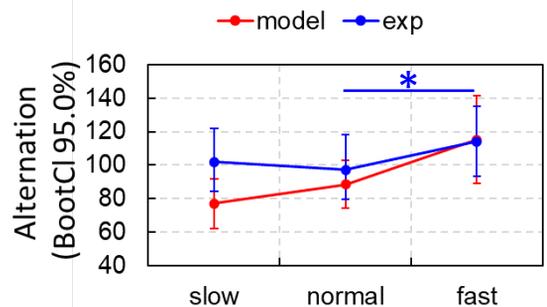


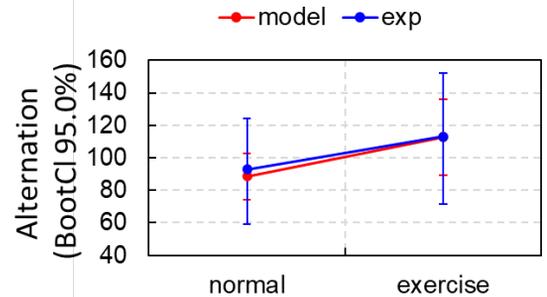
図1. 随意呼吸や運動に伴う知覚交替変化を予測可能な呼吸心拍-青斑核-皮質モデル

(2)知覚交替と呼吸-運動-脳活動の生体実験計測

本年度は、昨年度までに構築した生体実験環境を用い、被験者数を増やして(30名)、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種類の実験を実施し、知覚交替回数、心拍数、呼吸、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(図2)、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。このことは、ヒトが視覚情報を受け取る際、刺激内容が同一であるにもかかわらず認知する内容が変化する可能性があること、その変化は呼吸循環系の状態や運動によって異なる可能性があることを示唆している。



(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100Wの結果を示す)

図2. 随意呼吸や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

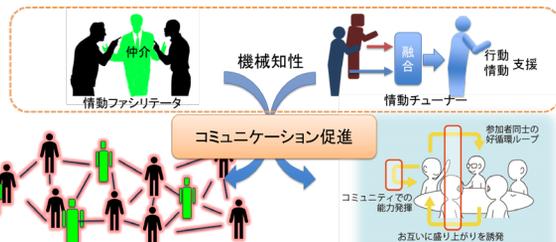
今後の展開

本研究により、両眼視野闘争をはじめとした、知覚意思決定における競合的な神経活動が呼吸によって切り替わりが促進されるという新しい知見が得られた。また、本研究において開発した呼吸心拍-青斑核-皮質モデルは随意呼吸やに伴う知覚交替変化を実験の傾向と同程度に予測できることを確認した。本研究の結果を考慮すれば、随意呼吸や運動によって呼吸スピードが早くなると知覚交替回数が増え、様々な環境変化にヒトが対応する際の注意・行動選択戦略に対する柔軟性(flexibility)が高くなることが期待できる。このような呼吸などの内臓運動が関与することによる脳の競合的な神経活動の切り替えメカニズムは情動的モードシフトの根幹に関与している可能性があり、それを再現できる呼吸心拍-青斑核-皮質モデルを、今後、情動が様々な場面において活用していくことで、メカニズムの解明がさらに進むことが期待できる。

機械知性

(目標) 人の情動に働きかけるポジティブフィードバックによる人対人のコミュニケーション促進と創造性向上

(アプローチの特徴) VR技術やAI技術を応用して、グループコミュニケーションにおける、ポジティブなフィードバックのボトルネックを解消し、適切に情動に働きかけることにより、コミュニケーションの促進と創造性の向上を実現する。



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ている。最終年度である今年度は、グループコミュニケーションにおいて、VR技術やAI技術を応用して感情と情動に介入し、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。

認知的共感への介入については、自己や他者の身体的な情動反応や発言に含まれる感情を、ChatGPTのようなAI技術を用いて変調し、伝送するオンラインコミュニケーションシステムの構築を行った(図1)。情動的共感への介入については、メタバースを想定したグループコミュニケーションにおいて、参加者のアバターのジェスチャー(頭や手の動き)に介入することができるメタバースシステムの構築を行った。これら2システムを用いて、グループコミュニケーション実験を行い、データ収集・分析を行った。アイデア評価や対話相手への印象評価、会話内容の評価から、機械知性として想定した機能が実現できていることが確認できた。

SNSやオンラインミーティング、メタバースとオンラインコミュニケーションの活用は、単なる情報のやりとりだけではなく、やりとりに知的に介入することで、社会やコミュニティにおける全体最適化が実現する可能性がある。これまでの情動メカニズム研究を踏まえて介入することで、構成者の人格や認知特性の多様性を生かしつつ、グループコミュニケーション促進や創造性の向上が実現できる可能性がある。さらには、個人や社会全体を好循環ループに誘導し、持続可能に成長させるEmotional-wellbeingの実現が可能になると期待している。



東京大学
谷川智洋(左)

豊田中央研究所
堺浩之(右)

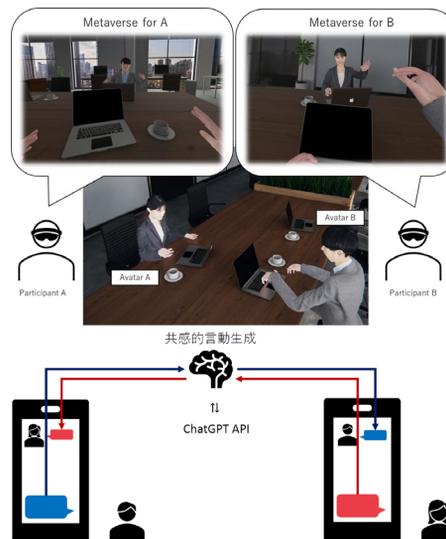


図1.情動・共感に介入・調整する
オンラインコミュニケーションシステム

今年度目標(最終目標)

コミュニケーションを通じた認知行動機能・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。具体的には、人と人のコミュニケーションにおいて、人の状態をセンシングしながら、感情や情動に介入できるコミュニケーションシステムの開発すること、さらには、一般被験者実験を通して、本システムがコミュニケーションの好循環ループを誘導しうるかを明らかにすることである。

今年度成果

(1) Emotional Well-beingシステムの開発

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システムとして、VRアバターベースとテキストチャットベースの2システムを構築した。VRアバターベースシステム(図2)は、メタバース空間内で、情動情報を反映可能な写真的リアリティの高いアバタ(Emotional Avatar)を用いた遠隔コミュニケーションが可能である。各種の情動誘発技術やセンシング技術を組み込んでおり、それらは切り替え可能となっている。人の頭、腕、表情トラッキングに加え、心拍や呼吸といった各種情動情報をリアルタイムに収集し、得られた情報に基づいた介入も可能である。テキストチャットベースシステム(図3)は、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ことができる。本システムのメリットとしては、誰もが所有するスマートフォンで実験ができる点にある。

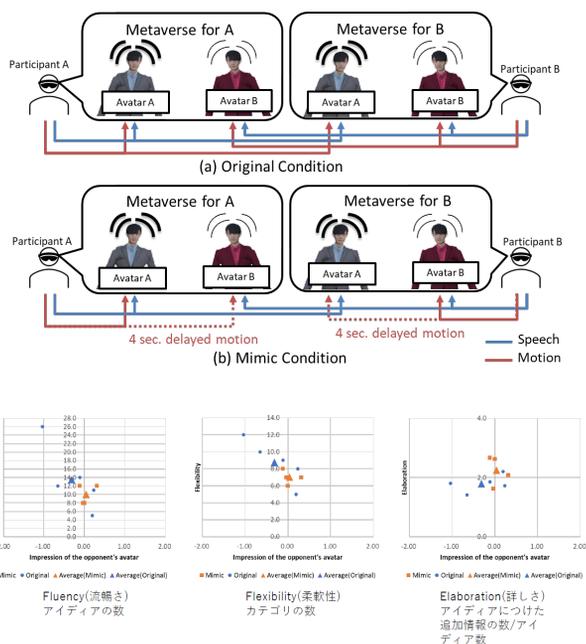


図2.ミラーリング効果を用いたVRアバターベースシステムと、そのアイデアの質に対する評価結果

(2) 情動情報操作による創造性向上の評価

VRアバターベースのシステムを用い、会話中の情動に関わる非言語情報を操作することで創造性が向上するかの評価を行った。特に、共感性の向上に効果が高いとされているミラーリング効果(カメレオン効果)に注目し、対話相手のアバタの身体情報を自己の行動をミラーリングさせることで、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に対する印象を評価した。実験結果から、「オリジナル」条件では多様な創造的アイデアが育まれる一方、「ミミック」条件では議論が深まり、より洗練されたアイデアにつながる可能性があることが示された。これは、バーチャルな創造的コラボレーションにおけるアバタの模倣の複雑な役割を示す有益な知見が得られた。

(3) 共感的言語生成による創造性向上の評価

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。具体的には、LINEを通じた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、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。

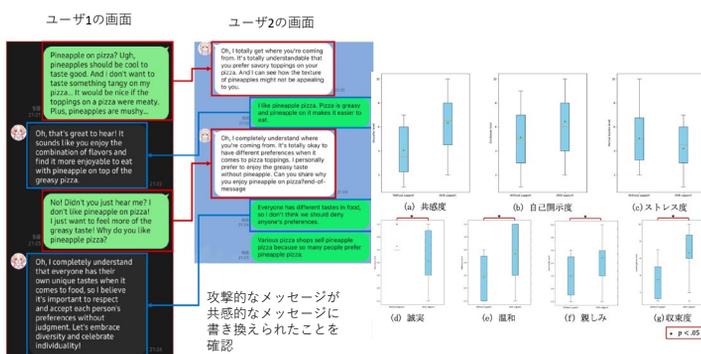


図3.テキストチャットベースシステムと、その共感的言語生成による影響評価

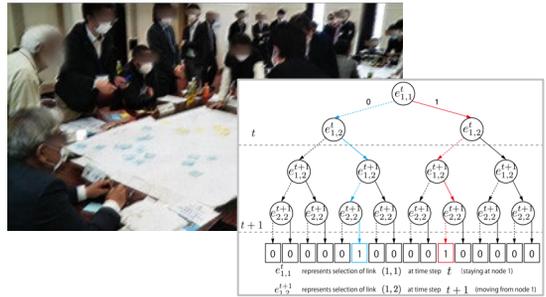
今後の展開

本取り組みにおいて開発したコミュニケーションシステムを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

(目標)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を確立

(アプローチの特徴) モビリティを活用した、賑わいのある、災害にも強いまちづくりを目指して、最適化や行動モデルの数理研究と同時に、地域住民との共創によるサービス設計・実装に取り組んでいる。また、モビリティが長期的に都市構造へ与える影響についても、分析を進めている。



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でいる。リニア開通によって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中津川と、首都圏において高潮や洪水氾濫リスクが高いとされている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ている。

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ている。

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でいる。

開発を進めている都市シミュレーションでは、新たなモビリティサービスやそのアルゴリズムを組み込むと同時に、単なる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角的な評価を可能にすることを目指している。

最終目標と今年度目標

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。昨年度までに実施した社会実験の結果を踏まえて、今年度は、平常時と非常時の時空間ネットワーク上の相互動的な交通需要予測モデルの構築、貨客混載と自動運転避難を対象とするモビリティサービスのアルゴリズム開発、モビリティと地域の活動分布・立地の動学モデルの開発を行った。

今年度成果

(1)中津川付知町での社会実験に基づく
需要調整型公共交通システムの構築

2021年と2022年に中津川市付知町で実施した社会実験では、自動運転での公共交通の社会実装を念頭に、需要応答型のモビリティ実験を行った。その結果、地方部で周期的に発生する移動需要と、突発的に発生する非日常的な移動需要の、両者の移動ニーズに応じた公正な公共交通システムの必要性が認識された。

そこで、本研究では、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。システムの全体像を図1に示す。

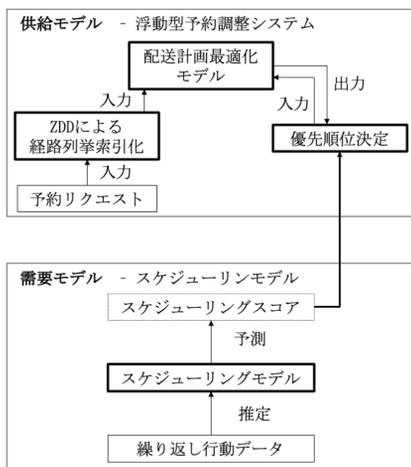


図1:全体のフレームワーク

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する。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を目指す。

移動ニーズの定量化には、モデルベースの手法を用いる。すなわち、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のが明らかになった。これにより、地方部の公共交通システムが抱える公正性と効率性の課題を改善できる。

(2)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

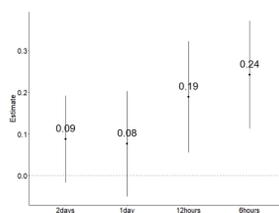


図2:避難体験による行動変容 (正が非避難→避難)

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2)。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3)。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。

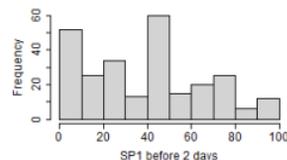


図3:主観被災確率の分布

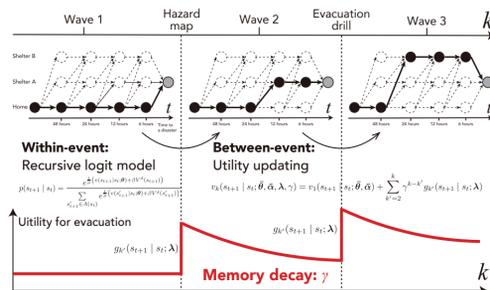


図4:災害時の動的交通行動モデル

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4)。

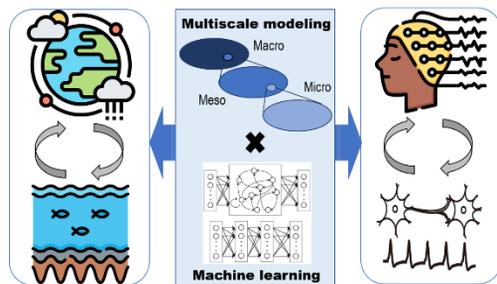
今後の展開

今後は、構築したモビリティシステムの社会実装・実証実験を進め、そこで得た知見をもとに、更なるアルゴリズムの改良に取り組み、本研究を通じた理論と社会実装のサイクルを推進していく。

マルチスケール複雑適応系解析

(目標) 複雑適応系の時空間データを高速・高精度に予測し、要素間の因果関係を解析する技術の確立

(アプローチの特徴) 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的手法を開発し、実現象の解析、予測、制御、最適化などを行っている。たとえば、機械学習(AI)に基づくマルチスケールモデリング手法の開発を行い、気候変動や脳活動に関わるデータ解析技術の発展を目指している。



Icon made by Freepic from www.flaticon.com. (C) 2021 Gouhei Tanaka



東京大学
合原一幸(左)
田中剛平(中)
豊田中央研究所
吉田広頭(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: 個々のマイ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ている。

こうした数理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、上記のような複雑的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ていく。

最終目標と今年度目標

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。今年度は、気候変動、および交通系の実データに対し、予測・解析技術を適用し、その有効性を検証した。

今年度成果

(1) リザ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が有効である。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1)。

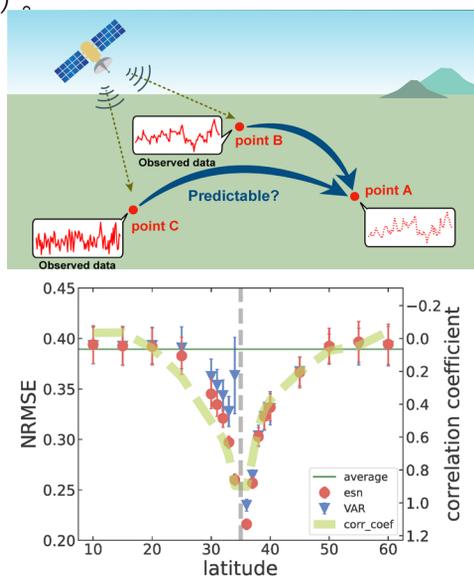


図1. 時系列データ予測のイメージ(上)、予測精度(マーカー)と相関係数(黄色破線)の関係(下)。

(2) 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2a)。

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2b)。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。

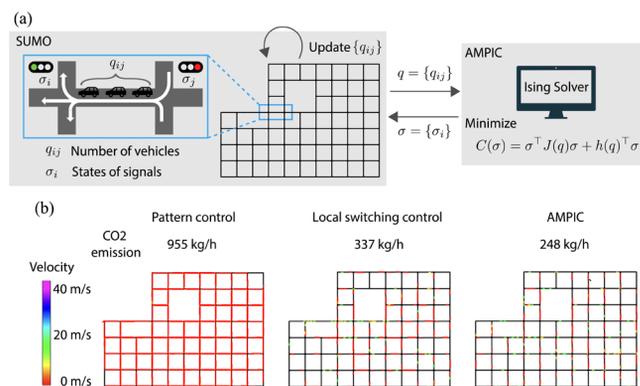


図2. (a) 提案手法の模式図 (b) 札幌の都市部の数値シミュレーションの結果。色が車両の運行速度を表す

今後の展開

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、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。

情動モデリング

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	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	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	成田 淳志
	情報理工学系研究科	修士課程	鷺津 翔也
	情報理工学系研究科	学部課程	平野 聖剛
豊田中央研究所	イノベティブ研究企画・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ャー	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

機械知性

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	特任研究員	大村 吉幸
	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
豊田中央研究所	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
	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

広域・長期的な都市形成過程の分析・モデリング・制御

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 里瑛
	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	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
	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	西 智樹
	社会システム研究領域	リーディングリサーチ	日高 健
	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	リーディングリサーチ	吉村 貴克
	協働知性研究領域		大脇 崇史
	数理工学研究領域		宮野 竜也

マルチスケール複雑適応系解析

東京大学	ニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCIN)	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(IRCIN)	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(IRCIN)	特任研究員	WeiHao Tey
	ニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCIN)	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(IRCIN)	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 広頭
	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		井上 大輔
	数理工学研究領域		小山 志穂里
	数理工学研究領域		岡田 明久
	数理工学研究領域		大山 倫弘
	数理工学研究領域		川本 敦史
	数理工学研究領域		生田 靖弘
	数理工学研究領域		大滝 啓介
	バイオインスパイアードシステム研究領域		原田 匠

情動モデリング

- [1] 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>
- [2] 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.
- [3] 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]
- [4] A. Narita, H. Kanazawa et al. : “Respiratory Phase-Dependent Modulation of Binocular Rivalry”, [will be submitted to PNAS in 2024]
- [5] 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]
- [6] 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]
- [7] 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]
- [8] 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.

機械知性

- [9] 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.
- [10] 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
- [11] 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
- [12] Hiroyuki Sakai, Shigeo Yoshida, Tomosuke Maeda, and 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

- [13] 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
- [14] 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
- [15] 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イ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
- [16] 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
- [17] 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
- [18] 大脇崇史, 吉村貴克, 小林里瑛, 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
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 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>
- [22] 西智樹, 吉田広頭, 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>
- [23] 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.ijdr.2024.104433>

マルチスケール複雑適応系解析

- [24] 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>
- [25] D. Inoue, H. Yamashita, K Aihara, H. Yoshida, "AMPIC: Adaptive Model Predictive Ising Controller for large-scale urban traffic signals," Scientific Reports (Submitted)
- [26] 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)
- [27] 山下洋史, 吉田広頭, 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)