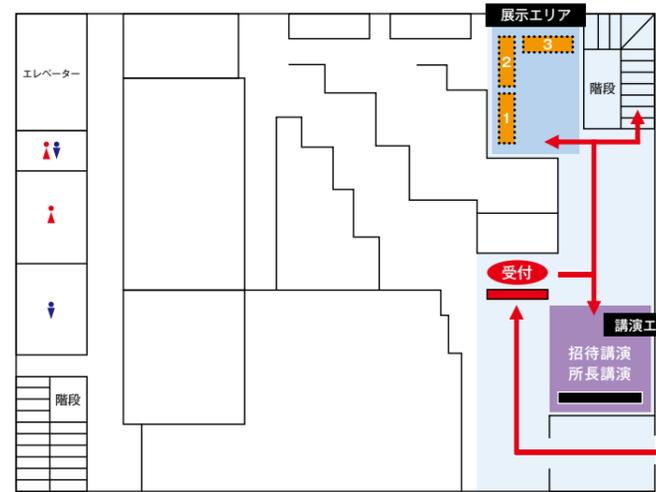


## 会場案内図

### QUINTBRIDGE 1階



### QUINTBRIDGE 2階



- |   |   |
|---|---|
| <span style="background-color: #FFD700; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> データと学習の科学       | <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> デモ展示   |
| <span style="background-color: #00AEEF; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> コミュニケーションと計算の科学 | <span style="border: 1px dashed black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> パネル展示 |
| <span style="background-color: #008000; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> メディアの科学         | <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> トイレ    |
| <span style="background-color: #FF69B4; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> 人間の科学           |   |

## 研究展示

### データと学習の科学

- 01 光と物質の相互作用におけるゼータ関数 量子ラビモデルの数理的発見
- 02 その量子コンピュータ、ちゃんと動いていますか 量子回路分割を用いた量子計算の検証技術
- 03 物理現象を再現する機械学習技術 エネルギー保存則を組み込んだガウス過程モデル
- 04 千客万来でも柔軟かつ快適に送客します 来場者の利便性と運行コストを考慮したシャトルバス運行

### コミュニケーションと計算の科学

- 05 会話の状況を正しく読み解きます マルチモーダル情報を用いた日常会話の状況認識
- 06 生徒それぞれに適切なレベルの問題を出題します Monotonic VAEに基づいた個別最適な問題推薦手法
- 07 多様な翻訳候補から適切な翻訳文を選べます 振動を加えたkNN機械翻訳による様々な翻訳候補の生成

### メディアの科学

- 08 マグネシェイプ:磁気作動式ピンディスプレイ 磁性ピンの非電氣的制御による多様な形状表現
- 09 聞きたい音に耳を傾けるAI 深層学習に基づく任意の音の選択的聴取
- 10 興味のある話題に聞き耳を立てる 意味で音声を分離抽出する新しい信号処理技術ConceptBeam

### 人間の科学

- 11 マインドフルネス瞑想の注意制御の仕組み 瞑想による注意対象外の視覚刺激に対する抑制の低下
- 12 離れていても柔らかく触れる? 遠隔操作ロボットにおける高追従低剛性制御の実現
- 13 細かな目の動きから心の動きを読み取る 瞳孔・眼球運動に基づくマインドリーディング
- 14 絵画を見て抱く印象の違いはどこから? 視覚芸術に対して抱く印象の言語や属性による違いの解明
- 15 試技前の生理状態が勝敗を分ける 実戦中のスノーボーダーの生理状態・身体運動・競技成績
- 16 自閉スペクトラム症者の聞こえ方を探る 独特な知覚をもたらす聴覚情報処理メカニズム



NTT コミュニケーション科学基礎研究所

# オープンハウス2023

多様な知と技術が彩る  
だれもがどこでも  
輝ける未来



入場料無料  
[事前登録制]



開催ページはコチラ



NTT コミュニケーション科学基礎研究所

〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台2-4 (けいはんな学研都市)  
TEL : 0774-93-5020

日時

6.1 THU ▶ 6.2 FRI  
12:00 - 17:00 9:30 - 17:00

会場

NTT西日本  
QUINTBRIDGE  
大阪府大阪市都島区東野田町4丁目15番82号

## 「オープンハウス2023へようこそ」

NTT コミュニケーション科学基礎研究所

所長 納谷 太



新型コロナウイルスと共存するwithコロナ時代に入り、ICT環境の整備も伴ってテレワークやオンライン会議、遠隔授業が当たり前になりました。また、昨今報道が絶えない対話型AIをはじめとするICT技術の急速な発展や社会情勢の劇的な変化は、多様な人々の価値観や社会活動の在り方を大きく転換すると同時に、ますますこの先の未来が読みにくいVUCA(Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity)の状況をもたらしています。

私どもNTTコミュニケーション科学基礎研究所は、設立当初から、人と人、人と機械との間の「ここまで伝わるコミュニケーション」の実現をめざし、人を深く理解する科学の追求と、人の能力に迫り凌駕する技術の創出を両輪として研究を進めて参りました。人同士のコミュニケーションや、人と機械とのコミュニケーションの形態が大きく変化する中で、お互いの理解を深め、感動や意図を共有し、心のふれあいを実現するという理念に基づき、時代を先取りした基礎研究に取り組んでおります。

新型コロナウイルス感染症対策のため、当研究所のオープンハウスは2020年以降オンラインで開催してきましたが、今年の「オープンハウス2023」は、大阪京橋にあるNTT西日本が運営するオープンイノベーション施設「QUINTBRIDGE」にて、4年ぶりにオンサイトにて開催いたします。メディア処理、データと機械学習(AI)、人間科学、脳科学および、基礎数学に関する最新の研究成果について、研究講演、展示、体験型デモ等を通じてわかりやすくご紹介いたします。

時代とともに変化する生活様式を見据え、誰もが輝ける世界をデザインするために、みなさまと直接ふれあい、活発な議論と交流の場となることを祈念しております。所員一同、多数のみなさまのご来場を心よりお待ちしております。



ごあいさつ ..... 02

● 所長講演  
人と社会と地球の未来を読み解き、誰もが輝ける世界をデザインする ~多様な知と技術で過去・現在・未来をつなぐコミュニケーション科学~ .. 05

● 招待講演  
内耳の電気刺激(人工内耳)による音声言語獲得 ..... 07

● 研究講演  
観測データから物理現象を再現する機械学習技術 ~データ駆動型アプローチに基づく物理シミュレーション~ ..... 09  
量子コンピュータにおける計算高速性と信頼性のジレンマ ~計算結果の正しさの効率的な検証技術による量子エラーの克服~ .. 11  
機械の脳で読み解くヒトの脳 ~AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解~ ..... 13  
マインドフルネス瞑想における「ありのままの気づき」とは何か? ~マインドフルネス瞑想の生理・心理・神経メカニズムの解明~ .. 15

● 研究展示 ..... 17

**データと学習の科学**

01 光と物質の相互作用におけるゼータ関数 量子ラビモデルの数理の発見 ..... 19  
02 その量子コンピュータ、ちゃんと動いていますか 量子回路分割を用いた量子計算の検証技術 ..... 20  
03 物理現象を再現する機械学習技術 エネルギー保存則を組み込んだガウス過程モデル ..... 21  
04 千客万来でも柔軟かつ快適に送客します 来場者の利便性と運行コストを考慮したシャトルバス運行 ..... 22

**コミュニケーションと計算の科学**

05 会話の状況を正しく読み解きます マルチモーダル情報を用いた日常会話の状況認識 ..... 23  
06 生徒それぞれに最適なレベルの問題を出題します Monotonic VAEに基づいた個別最適な問題推薦手法 ..... 24  
07 多様な翻訳候補から適切な翻訳文を選べます 振動を加えたkNN機械翻訳による様々な翻訳候補の生成 ..... 25

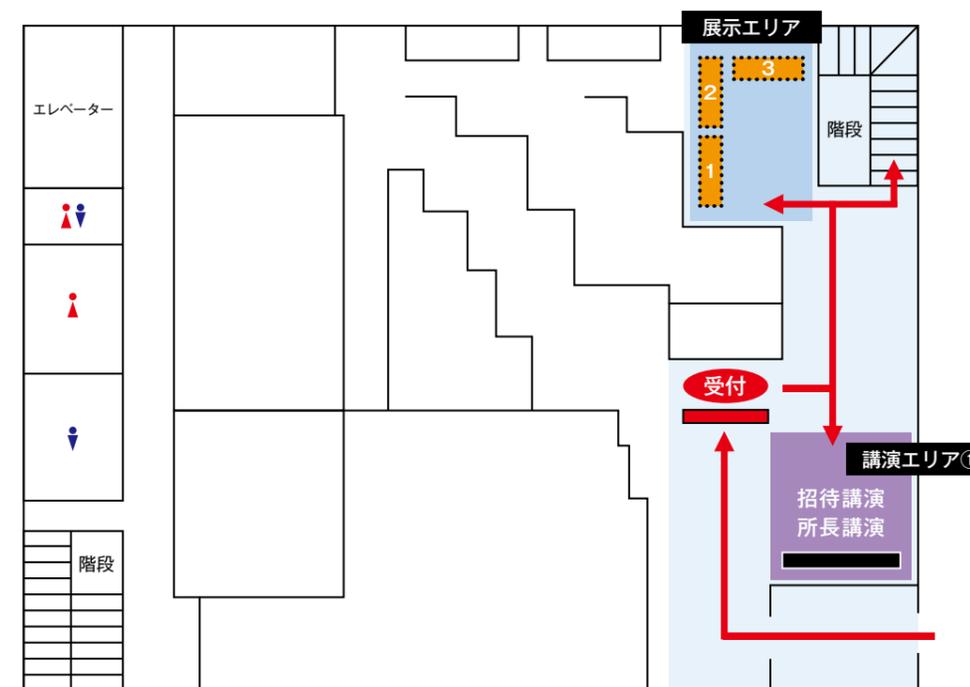
**メディアの科学**

08 マグネシェイプ:磁気作動式ピンディスプレイ 磁性ピンの非電氣的制御による多様な形状表現 ..... 26  
09 聞きたい音に耳を傾けるAI 深層学習に基づく任意の音の選択的聴取 ..... 27  
10 興味のある話題に聞き耳を立てる 意味で音声を分離抽出する新しい信号処理技術ConceptBeam ..... 28

**人間の科学**

11 マインドフルネス瞑想の注意制御の仕組み 瞑想による注意対象外の視覚刺激に対する抑制の低下 ..... 29  
12 離れていても柔らかく触れる? 遠隔操作ロボットにおける高追従低剛性制御の実現 ..... 30  
13 細かな目の動きから心の動きを読み取る 瞳孔・眼球運動に基づくマインドリーディング ..... 31  
14 絵画を見て抱く印象の違いはどこから? 視覚芸術に対して抱く印象の言語や属性による違いの解明 ..... 32  
15 試技前の生理状態が勝敗を分ける 実戦中のスノーボードの生理状態・身体運動・競技成績 ..... 33  
16 自閉スペクトラム症者の聞こえ方を探る 独特な知覚をもたらす聴覚情報処理メカニズム ..... 34

### QUINTBRIDGE 1階



### QUINTBRIDGE 2階



- データと学習の科学
- コミュニケーションと計算の科学
- メディアの科学
- 人間の科学
- デモ展示
- パネル展示
- ↑↓ トイレ



# 人と社会と地球の未来を読み解き、誰もが輝ける世界をデザインする

～多様な知と技術で過去・現在・未来をつなぐコミュニケーション科学～

Design a world where everyone can flourish by deciphering the future of people, society, and the Earth  
- Communication science that connects the past, present, and future through diverse knowledge and technologies -

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 所長

**納谷 太**

Futoshi Naya

NTTコミュニケーション科学基礎研究所(CS研)では、設立以来、人と人および、人とコンピュータとの間の「ここまで伝わるコミュニケーション」の実現に向けて、人間と情報の本質に迫る基礎理論の構築と社会に変革をもたらす革新技術の創出に取り組んでいます。本講演では、CS研がこれまで培ってきた「人を深く理解する」人間科学や脳科学を中心とした研究および、「人の能力に迫り凌駕する」メディア処理や機械学習に関する研究などについて、「人と社会と地球を読み解く」という切り口から、最近の取り組みの一部をご紹介します。

## 人を読み解く

人は言葉や表情などから、相手の状況や感じ方や意図をある程度察することができます。このような心の状態は、実は当人でも言語化したり自覚したりすることが困難です。CS研では、このような潜在的な心の状態を、無自覚な身体動作や自動的な生理反応から読み解く「マインドリーディング技術」について研究してきました[1]。現在のスマホを代表とするICT機器の大半は明示的なコマンドやジェスチャなどを必要としますが、もし人間のように相手の心の状態を「マインドリーディング」できるようになれば、よりナチュラルで円滑なコミュニケーションの実現が期待できます。

今回のオープンハウスでは、マインドリーディング技術の最新成果として、「細かな目の動きから心の動きを読み取る」研究を展示しています。人が意識せずに無自覚に行っている瞳孔反応や微細な眼球運動を計測することにより、その人の注意や好みなどの認知状態をある程度推定できることがわかりました。このような様々な目の動き

が人の様々な認知状態を反映していることは、それぞれが異なる脳内メカニズムによって生じていることから、より深い脳内情報処理の解明や多様性の理解と介入方法などの提案につながります。また、関連する取り組みとして、「自閉スペクトラム症者の聞こえ方を探る」、「試合前の生理状態が勝敗を分ける」など、自閉症患者の聴覚知覚特性の解明や、スノーボード・トップアスリートの生理状態からパフォーマンスの良し悪しを予測する研究についても紹介しています。

## 社会を読み解く

新型コロナウイルス感染症拡大防止のため、テレワークや遠隔授業が常態化したwithコロナ時代の新たな生活様式が広がる一方で、孤独感・疎外感を感じたり、帰属意識の低下に伴う不安を訴える人が増加しています。Withコロナ時代およびこの先の人と社会のウェルビーイング(身体的・精神的・社会的にいきいきとした状態)を追求するうえで、どのような人がどのような状況や要因で上記のような孤独感・疎外感や帰属意識の低下を感じるのか、また、逆にどのようなときにウェルビーイングを感じるのかを明らかにすることは喫緊の課題です。この課題を個人とチーム・社会との関係性の観点から解明すべく、京都大学大学院文学研究科 出口康夫教授が提唱する「われわれとしての自己観」とCS研の個人特性計測技術に基づき、チームや社会に対する人の性格特性を測定する「Self-as-We尺度」を開発し、2020年に公開しました[2]。昨年のオープンハウスでは、関連する研究内容について「ウェルビーイングをいろいろな側面から測ります」と題して展示いたしました。この研究の一貫で作成した「わたしたちのウェルビーイングカード」を活用したワー

クショップをNTTインターコミュニケーションセンター(NTT ICC)をはじめとする展示会で実施しており、今後も職場や学校教育の場で実証実験を進める予定です。

また、人々の社会行動を読み解くAIを活用した最新研究成果として、人々の日常会話の状況を対話の目的や対話中の話し方に関する7つの要素で説明し、これを音声・画像・言語情報を用いて認識する研究「会話の状況を正しく読み解きます」や、2025年に行われる大阪万博などの大規模イベント開催時における来場者数予測と運行会社の運用コストの最適化に基づいた運行計画の設計に関する研究「千客万来でも柔軟かつ快適に送客します」についても展示しています。

## 地球を読み解く

地球、あるいは宇宙を含むあらゆる自然現象について、その構造や背後にある法則を明らかにし、これを再現することは、科学における究極の目標といえます。人類は、ニュートンによる万有引力やアインシュタインの相対性理論など、物理現象を観測したデータからその背後にある法則を発見してきましたが、このような物理法則の発見を現代のAIによって実現することは可能でしょうか？ 研究講演「観測データから物理現象を再現する機械学習技術」は、近年のデータ駆動型アプローチに基づき、膨大な観測データを援用した新たな機械学習技術を考案し、複雑な物理現象を正確に再現しシミュレーションする事例について紹介しています。

一方、昨今では量子コンピュータの実用化に関する報道も多数発表され、従来のコンピュータよりも膨大な規模の計算を高速に実現できるとの期待がありますが、そこで重要な課題になっているのが量子エラーの克服です。量子コンピュータは、量子ビットという量子力学的な「重ね合わせ」という状態を表すことのできる情報を単

位とすることで並列に高速計算できる一方で、ノイズによるエラーが発生しやすいため、量子コンピュータの計算結果が正しいか否かを検証する技術が極めて重要になります。研究講演「量子コンピュータにおける計算高速性と信頼性のジレンマ」は、量子計算結果の正しさを効率的に検証する技術についてわかりやすく解説します。

また、2021年10月に新たに発足した基礎数学研究センターにおける研究成果として、今年のオープンハウスでは、光と物質の物理的相互作用を数学的に記述する「量子ラビモデル」において、従来困難であった時間発展を表す熱核の計算のために、表現論という代数学の理論を用いた全く新しい計算方法を提案しています。

## 未来をデザインする

近年、「ダイバーシティ(多様性)&インクルージョン(包摂性)」という言葉がビジネスシーンにおいてもよく耳にするようになりました。多様性を持ち、かつ、時代と共に多様に変化しつつある人や社会や地球の本質を読み解き、これを受け入れていく新たな技術を創出していくことのみならず、これらの技術を、実世界において適切な場面で適切に活用するリテラシーを兼ね備えることも同時に極めて重要であると考えています。今後、わたしたち誰もがいつでも輝ける、より良い未来世界をデザインすべく、研究に取り組んで参ります。

納谷 太:1992年慶応義塾大学理工学部電気工学科卒、1994年同大学院理工学研究科計算機科学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社入社。2003年より2009年までATRメディア情報科学研究所、同知識科学研究所出向。コミュニケーションロボット、センサネットワークによる実世界センシング、人流の時空間予測・最適誘導技術、テラーメイド学習支援技術等の研究に従事。博士(工学)。2022年4月より現職。

## ●参考文献

- [1] 柏野牧夫, 米家惇, H. Liao, 古川茂人, “身体から潜在的な心を解読するマインドリーディング技術,” *NTT 技術ジャーナル*, 2014.9.
- [2] “Withコロナ時代の個人と社会の在り方を捉える性格特性尺度を京大・NTTの文理融合型共創により創出～東洋的の自己の哲学「われわれとしての自己観」を社会へつなぐためのICT化に向けた尺度の開発とコロナ禍での「わたし」と「われわれ」の関係性の探究～” <https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/10/13/201013a.html>
- [3] 納谷太, “変化する現在(いま)に適応し、持続する未来(あす)を切り拓くコミュニケーション科学一人・社会・環境との調和と共生をもたらす技術の創出,” *NTT 技術ジャーナル*, 2022.8.



# 内耳の電気刺激(人工内耳)による 音声言語獲得

Spoken language acquisition through electrical stimulation



静岡県立総合病院きこえとことばのセンター長

**高木 明**

Akira Takagi

## ●プロフィール

- 1978年 京都大学医学部医学科 卒業
- 1979年 兵庫県立尼崎病院耳鼻咽喉科
- 1984年 京都大学医学部附属病院耳鼻咽喉科助手
- 1985年 米国ピッツバーグ大学耳鼻咽喉科Research fellow
- 1990年 京都大学医学部講師
- 1992年 静岡県立総合病院耳鼻咽喉科医長
- 2003年 京都大学医学部臨床教授
- 2009年 静岡県立総合病院副院長
- 2018年 静岡県立総合病院きこえとことばのセンター長(現在に至る)
- 2021年 静岡社会健康医学大学院大学教授(聴覚・言語領域)

## ●受賞歴

- 2013年 第41回医療功労賞(都道府県)
- 2022年 瑞宝小綬章(保健衛生功労)

## ●専門の内容

中耳病変の伝音再検による聴力改善手術、さらに重度感音難聴に対する人工内耳を通して、ヒトの聴覚生理・心理、さらに脳認知科学へ研究を進めている

## ●著書

- 「21世紀耳鼻咽喉科領域の臨床 No.5 内耳・内耳道」(中山書店、2000) 共著
- 「標準言語聴覚障害学『聴覚の医学』」(医学書院、2010) 共著
- 「耳科手術のための中耳・側頭骨 3D 解剖マニュアル」(医学書院、2014) 共著
- 「今日の耳鼻咽喉科・頭頸部外科治療指針『聴能訓練、聴覚学習』」(医学書院、2018) 共著

ヒトのコミュニケーション手段には音声言語、手話言語、サイン、ジェスチャーなど様々な手段があるが、身体構造、生理学的には音声言語がもつとも効率が良い手段である。音声言語を獲得するためにはいうまでもなく、聴覚が必要である。

ウグイスのような鳴鳥類の仔がきれいにさえざることのできるためには手本となる親鳥の存在が必要である。孵化後60日までの感覚学習期、90日頃までが感覚運動学習期という限られた期間の学習を経て、上手に鳴くことができるようになる。つまり、生まれてすぐに親鳥の声を聞き、その後、親鳥にまねて、自ら鳴くという運動が加わり、自分の声と親鳥の声を比較聴取して試行錯誤学習によってきれいなさえざりを獲得する。

ヒトの感覚器にも同様に感受期が存在する。例えば視覚の感受期は1才頃までといわれ、先天性白内障の手術は生後3ヶ月位までに手術をすれば、健常な視力を得ることができるが、1才では弱視が残る。聴覚の臨界期は大凡3才ごろまでであり、聾で生まれても1才ぐらいまでに聴覚刺激を与えることができれば、健聴者と同様の音声言語発達が見られる。3才で初めて音を与えると、一定の音声言語獲得が可能であるが、歌は難しい。さらに学童期となれば、同様な手段で音を与えても、音の認知はできるが音声としての認識はできない。

ヒトの聴覚においては、内耳のコルチ器という微小器官で音の振動が電気信号に変換されて、はじめて神経の興奮が中枢に伝わる。先天的重度難聴者ではこの電気変換器であるコルチ器が消失あるいは高度に障害されているため、いくら高性能な補聴器で音を与えても振動という媒体を使う限り、聴神経を興奮させることができない。そのため聴覚の脳への入力がなく、即ち、声は出せても発語は困難となる。いわゆる、古いことばで聾啞となる。

コルチ器が機能しないのであれば、直接に内耳聴神経を電気刺激すれば音感が得られるであろうと開発されたのがCochlear implant(人工内耳)であり、1985年には音声言語修得後の中途失聴の成人に対しての人工内耳埋め込み手術がFDAによって認可された。人工内耳とは、22個の電極を蝸牛の回転にそって挿入して、各電極に音の強さ、高さに応じて通電を行う機器である。刺激頻度は一定であり、音の強さは電流量で、ピッチ感覚は電極の蝸牛内の位置(tonotopicity)によって、伝えられる。しかしながら、健常な内耳ではおよそ3500個のコルチ器が並んでいるのに対して人工内耳では

22個の電極しかないで、その音はかなり粗雑なものであろうことが想像される。初期の手術適応が音声言語獲得後の成人に限定されたのは、人工内耳の音に対して言語中枢の語音のtop-down処理が期待されたためである。

その後、1990年に2才以上の小児の先天聾に対する人工内耳がFDAの認可となった。いうまでもなく、2才の難聴小児の言語中枢は未完成であるが、人工内耳の刺激を聴覚刺激として受け入れ、その電気刺激音に呼応する音声言語中枢が新たに形成され、さらに構音へのfeedback学習が成立し、話すことも可能となる。このbottom-up処理は脳の可塑性に依存するので、最近では適応の低年齢化が進み、今では6ヶ月、さらには3ヶ月の人工内耳手術が推奨されるようになった。

ヒトの末梢感覚器障害に対して、その支配求心神経への人工的な電気刺激がその機能を十分代償できるという事実は驚くべきことであり、脳の感受期の感覚統合がどのような機序で形成されるのかを研究することは今後の脳認知科学、AI研究に寄与すること大であろうと思われる。

# 観測データから物理現象を再現する機械学習技術

## ～データ駆動型アプローチに基づく物理シミュレーション～

Machine learning that reproduces physical phenomena from data  
 - Physics simulation based on a data-driven approach -



NTT コミュニケーション科学基礎研究所 上田特別研究室 (現在、協創情報研究部)

**田中 佑典**

Yusuke Tanaka

### ●プロフィール

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 協創情報研究部 研究主任。2010年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2013年京都大学大学院情報学研究科修士課程修了。同年、NTT入社。2020年京都大学大学院情報学研究科博士課程修了。博士(情報学)。機械学習、データマイニングの研究に従事。電子情報通信学会、人工知能学会の各会員。

機械学習技術の進展はめざましく、今や様々な場面で使われ、成功を収めつつあります。では、機械学習を用いて物理現象のシミュレーションをすることも可能でしょうか。本講演では、この課題に対して、物理法則を事前知識として活用することで、観測データから物理現象を正確に再現するための機械学習技術を紹介いたします。これまでの歴史で培われてきた物理学の知識が、どのようにして機械学習に融合されるのかに焦点を当てます。また、このような研究の今後の展望、および生み出されるであろう価値についてお話しします。

### 機械学習×物理シミュレーション

自然科学分野において、多くの物理現象のダイナミクスは、ニュートンの運動方程式のような「微分方程式」を用いて記述されます。これまでの歴史では、各分野の専門家たちが現象の観察や理論的検討を通じて、現象を再現するために適切な方程式を導き出してきました。これらの方程式を解くことで現象のシミュレーションが可能となり、現象の理解や予測につなげることができます。

一方、昨今の情報通信技術の進展により、データ駆動型アプローチが注目を集めています。特に、機械学習技術の発展により、実世界における様々な問題が、大規模なデータを活用することによって非常に高い精度で解けることが明らかになっています。では、機械学習技術を用いて物理現象のシミュレーションをすることも可能でしょうか。このような課題に対して、私たちは、観測データから物理現象を正確に再現するための機械学習技術について研究を進めています。上述した従来のアプローチと異なり、私たちの研究では、現象に合わせて方程式を設計することなく、データから高精度なシミュレータを自動構築できるようになります(図1)。

### 学習の難しさ

機械学習モデルは非常に高い表現力を持つことが知られ、大規模かつ複雑な物理現象を適切にモデル化できる可能性があります。しかし、高い表現力を持つがゆえに、「機械学習モデルが持つ広大な探索空間」(図2)から物理現象を正確に再現するモデルを推定するのは簡単なことではありません。特に、少量のデータしか与えられない場合や、データにノイズや

欠損が多く含まれるような場合には、学習はより一層難しくなります。

### 物理学の知識の導入

データが少なく、かつ、データにノイズや欠損が多く含まれる場合には、適切な学習を導くための「事前知識」の導入が有効です。物理学に由来する事前知識を学習のためのバイアスとして活用することを目的とした研究分野は、physics-informed machine learning [1]と呼ばれており、近年研究が活発になり始めています。これにより、探索空間を絞り込み、物理現象を正確に再現するようなモデルを効果的に推定できることが期待されます(図2)。

事前知識を導入するための最も素朴な方法は、図1の従来のアプローチに記載したような方程式を仮定し、方程式に含まれる物理パラメータ(図1の $\alpha$ や $\beta$ )をデータから学習することが考えられます。しかし、この方法では、探索空間を絞り込みすぎてしまい、機械学習モデルの持つ高い表現力を活かせず、既知の方程式では表しきれないような複雑な現象には適用することが困難です。そこで、私たちは、物理現象であれば満たすべき「物理法則」を事前知識として組み込むという方法に着目しました。これにより、機械学習モデルの表現力を維持しつつ、探索空間を適切に絞り込んだ上で学習を行うことができます。より具体的には、解析力学の一形式である「ハミ

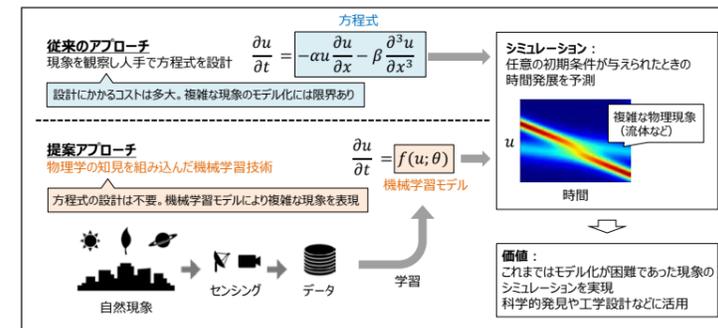


図1：アプローチの違い

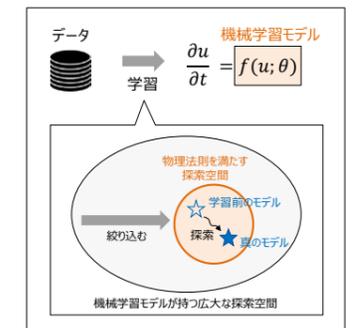


図2：事前知識による探索空間の絞り込み

### ●参考文献

- [1] G. E. Karniadakis, I. G. Kevrekidis, L. Lu, P. Perdikaris, S. Wang, L. Yang, "Physics-informed machine learning," *Nature Reviews Physics*, Vol. 3, No. 6, pp. 422-440, 2021.
- [2] Y. Tanaka, T. Iwata, N. Ueda, "Symplectic spectrum Gaussian processes: Learning Hamiltonians from noisy and sparse data," in *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 2022.
- [3] 田中佑典, 岩田具治, 上田修功, "エネルギーの保存・散逸則を満たすガウス過程モデル," 第25回情報論的学習理論ワークショップ, 2022.
- [4] 田中佑典, "ガウス過程と物理現象のモデル化(特集「AIとシミュレーション」)," *人工知能学会誌*, Vol. 38, No. 3, 2023 (印刷中).



# 量子コンピュータにおける計算高速性と信頼性のジレンマ

## ～計算結果の正しさの効率的な検証技術による量子エラーの克服～

Dilemma between quantum speedup and computational reliability  
- Overcoming errors by efficient verification methods for quantum computing -



NTT コミュニケーション科学基礎研究所 メディア情報研究部

### 竹内 勇貴

Yuki Takeuchi

#### ●プロフィール

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 メディア情報研究部 准特別研究員。2014年大阪大学基礎工学部卒業。2018年同大学基礎工学研究科博士課程早期修了。博士(理学)。同年日本電信電話株式会社入社。リサーチアソシエイトを経て、2023年より現職。量子情報処理の研究に従事。日本物理学会、情報処理学会各会員。

量子コンピュータは、現在のコンピュータよりも高速な計算を可能にすると期待されており、世界中で研究されています。一方で、量子コンピュータは周波数揺らぎなどのノイズによるエラーが発生しやすく、エラーにより正しい答えを出力できなくなる場合があります。そのため、信頼性の高い量子コンピュータを実現するためには、量子コンピュータの計算結果が正しいかを検証する技術が重要です。本講演では、量子計算の高速性の起源である量子重ね合わせが計算結果の検証を困難にするというジレンマに触れつつ、私たちがどのような方法でそのジレンマを回避しているのかをご紹介します。

量子コンピュータは、スーパーコンピュータ(スパコン)を含めた現在のコンピュータよりも高速な計算を可能にすると期待されており、世界中で研究・開発が進んでいます。この高速計算を可能にしているのが、量子コンピュータ特有の現象である量子重ね合わせ(量子並列性)です。現在のコンピュータは、全ての情報を、0または1の値を取るビットを使って表現します。一方で、量子コンピュータは、量子ビットによって情報を表現します。量子ビットは、通常のビットと違い、0と1が50%

ずつというような不思議な状態を取ることが出来ます(図1)。これが量子重ね合わせという現象であり、量子コンピュータはこの現象を用いて、現在のコンピュータには困難な並列処理を行っています。

このように高速計算に有用な量子重ね合わせですが、エラーに弱いという性質もあります。例えば、0と1が50%ずつという状態が、0が49%、1が51%という状態に変化するような小さなエラーが複数回発生することで、最終的な量子コンピュータの計算結果が全く正しくないものになってしまいます。そのため、高速に正しく動作する量子コンピュータの実現には、量子コンピュータのエラーに対処する技術が重要です。代表的な技術の一つとして、“量子コンピュータの検証[1]”(図2)があります。これは、量子コンピュータが出力した答えが正しいかどうかをチェックする技術です。小学生の時に筆算の答えを確かめるために検算をしたり、会社の資料に間違いが無いダブルチェックをしたりしたことがある方も多いのではないのでしょうか。まさに、量子コンピュータが出力した答えに同様のことを行うのが、本技術の目的です。本技術は、

どのようなエラーに対しても適用できるため、エラーの詳細を把握するのが困難な状況で特に威力を発揮します。例えば、遠隔地にある量子コンピュータのエラーを把握するのは困難ですが、本技術によりエラーの影響を受けることなく量子コンピュータをクラウド化しネットワーク経由で世界中から広く活用できる可能性が拓けます。また、本技術は、他のエラー対策技術である量子エラー訂正が適用できないような、エラー発生確率が高い状況でも適用可能なため、他技術と併用する取り組みも進んでいます。

このように、量子コンピュータの計算結果の検証は、エラー対策およびクラウド化に必須の技術ですが、実はとても難しい作業です。特に、量子コンピュータの高速計算の起源となっている量子重ね合わせによって、検証が難しいというジレンマがあります。例えば、小学生の時に行った筆算の検算のように、量子コンピュータの計算結果を、精度の高いスパコンで再計算するという方法が考えられます。しかし、量子重ね合わせは量子ビット特有の現象であり、スパコンであっても効率良く再現することが出来ません。つまり、この方法では量子コンピュータが短時間で行った計算を検算するために、数年かかるということが起きてしまいます。また、現在のコンピュータではビットを扱うため、起こるエラーはビットの反転(0が1に、1が0に反転するエラー)のみです。しかし、量子コンピュータでは、重ね合わせ具合が変化するようなビット反転以外のエラーも発生します。つまり、量子コンピュータの計算結果の検証を行うためには、現在のコンピュータよりも多くの種類のエラーが起こっていないかをチェックする必要があります。このように、量子重ね合わせは、量子コンピュータに高い計算能力を与える一方で、正しい答えを出力しているかの信頼性の面でネガティブな影響を及ぼしています。



図1：ビットと量子ビットの違い

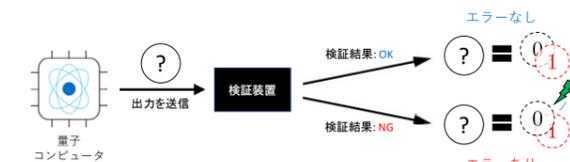


図2：量子コンピュータの出力の正しさの検証

#### ●参考文献

- [1] J. Eisert, D. Hangleiter, N. Walk, I. Roth, D. Markham, R. Parekh, U. Chabaud, E. Kashefi, "Quantum certification and benchmarking," *Nat. Rev. Phys.* Vol. 2, pp. 382-390, 2020.
- [2] Y. Takeuchi, Y. Takahashi, T. Morimae, S. Tani, "Divide-and-conquer verification method for noisy intermediate-scale quantum computation," *Quantum*, Vol. 6, p. 758, 2022.

# 機械の脳で読み解くヒトの脳

## ～ AI と脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解～

Decoding the human brain through machine brains

- Unraveling brain mechanisms through integration of AI and neural information analysis techniques -



NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部

**堀川 友慈**

Tomoyasu Horikawa

### ●プロフィール

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 感覚表現研究グループ 特別研究員。2013年奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・博士課程単位取得退学。同年博士取得(理学)。2013年より株式会社国際電気通信基礎技術研究所にてfMRIを用いたヒトの心的イメージのデコーディング研究に従事。2021年にNTTに入社以来、深層学習などのAI技術を用いた脳情報解析技術の開発と応用研究に従事。

脳活動から情報を解読するブレイン・デコーディングの技術の進歩により、ヒトの心の状態を脳から読み取るマインドリーディングが高い精度で実現可能になりつつあります。講演者はこれまで、深層学習などのAI技術を利用して、脳活動から夢や想像、注意に関わる心的イメージの情報を解読する研究を進めてきました。本講演では、これらの研究を概観するとともに、画像・音声・テキスト情報処理など、実社会の多様な情報処理課題でその有効性を発揮しつつあるAIの技術が、私たちの心を生み出す脳の仕組みの理解にどのように活用できるかについて、今後の課題や展望を交えて議論します。

### 脳情報を解読するブレイン・デコーディング技術

脳は私たちの心や身体の状態に応じてさまざまな活動を示します。観測される脳活動パターンの違いを機械に学習させることで、脳に表現されている知覚内容や認知・運動状態、心的内容の情報を解読する技術は「ブレイン・デコーディング」(以下、デコーディングと略記)と呼ばれています。この技術は、解析対象とする脳部位に解読対象の情報が表現されているかを検証するツールとして、fMRI (functional magnetic

resonance imaging) などを用いた脳イメージング研究において広く利用されるようになってきました。また、脳とコンピュータを直接つなぎ、身体運動を介さずに機械の操作や意思伝達を可能とするブレイン・マシン・インターフェイスの基盤技術ともなっており、身体の制約を受けないコミュニケーションを実現とする未来の情報通信技術として期待が持たれています。

### AIの技術を用いた心的イメージのデコーディング研究

講演者はこれまで、さまざまな視覚体験に伴う心的イメージの情報を脳から解読するデコーディング技術の研究開発を進めてきました(図1, [1-5])。特に、深層ニューラルネットワーク(deep neural network, DNN)をはじめとするAIの技術とデコーディング技術を組み合わせる解析アプローチの開発を進め、夢や想像、注意に関わる心的イメージの情報が、私たちの脳内でどのように表現されているのかを研究してきました。具体的には、ヒトが画像を見ているときの脳活動から、同じ画像を入力として与えたときのDNNモデルの出力を予測(デコード)することで、fMRI脳計測信号パターンをDNNの信号パターンに変換可能であることを発見し、人工的な脳モデルで

あるDNNが、ヒト脳の視覚野と類似した階層的視覚情報表現を有することを明らかにしました[3]。また、脳活動からDNN信号への信号変換を介して脳活動から任意の物体情報の解読が可能であることを示しました。これにより、想像や夢の心的イメージが脳内で知覚と同様の階層的視覚特徴によって表現されていることを明らかにしました(図1左、[3,4])。さらに、脳活動から変換したDNN信号を画像再構成アルゴリズムで処理することで、ヒトが見ている画像や想像している画像、重ね合わせた2枚の画像のうち注意を向けている方の画像を脳活動から再構成(可視化)できることを示しました(図1中央と右、[1,2])。

このように、夢や想像、注意に関わる情報など、元来本人にしかアクセスできないと考えられていた心の情報を脳から読み出す「マインドリーディング」の技術は、私たちの主観的意識体験に関わる心の情報をデジタル化し、定量的に調べることを可能にします。この技術を活用すれば、心的イメージを生成することに困難を持つ「アファンタジア」という特質を持つ人々の脳の特性の解明など、新たな応用研究にも役立てることができるともありません。

### AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解のための今後の展望と課題

視覚を中心に大きな発展を遂げてきたデコーディング研究ですが、今後さらに多様な感覚・認知情報処理に関わる脳データ解析への展開が可能になると考えられます。特に、近年のAI技術の発展に伴い、視覚以外の感覚モダリティや高次の認知情報処理課題に対しても高い性能を発揮し、脳の情報表現とも高い類似性を持つAIモデルの開発が進んでいるため、AI技術と脳情報解析技術のさらなる協調的発展が期待さ

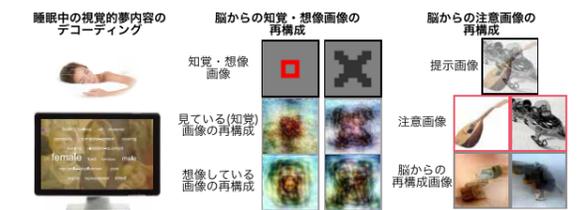


図1：脳からの心的イメージのデコーディング研究

れます(図2)。例えば、聴覚や触覚の信号を扱うDNNモデルがヒトの行動や脳の特性と高い類似性を示すことが報告されているため、これらのモデルの内部表現を活用することで、聴覚や触覚の知覚体験に関わるより詳細な情報を脳から解読できるようになるかもしれません。また、自然言語処理分野で高い性能を発揮している深層言語モデルは、ヒトの言語課題中の脳活動をよく説明できることが示されており、これらのモデルを利用してヒトが聞いている音声スピーチの内容を脳活動から再構成する試みもすでに進められつつあります。

一方で、AI技術を用いたデコーディング研究においては、脳から解読した情報を修飾することで、脳が実際に有している情報の忠実さや正確さをよそに過度に華美な出力を生成できてしまう、という側面に注意をする必要があります。例えば、脳からの視覚像再構成研究では、敵対的生成ネットワークや拡散モデルなどの画像生成モデルを用いることで、写真のようにリアルな画像を脳から生成できることが最近の研究で示されています。しかし、生成モデルがもつバイアスによって、脳に表現されていないような情報も生成されてしまうことがあり得ます。応用を目的として脳の情報を解釈しやすい形で取り出すことには重要な意義がある一方で、生成結果に基づいて脳に表現される情報を探るためには、生成結果のどこまでが脳の情報に基づいていて、どこからがAI技術により付加されたものなのか慎重に吟味する態度が重要であるといえます。

本講演では、デコーディング技術を用いて脳のもつ可能性を最大限に引き出しつつ、同時に私たちの心を生み出す脳の仕組みについて正しく理解するために、どのように技術と向き合っていくべきか、講演者自身の経験を交えてお話しする予定です。

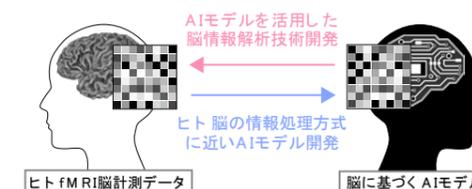


図2：AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解

### ●参考文献

- [1] T. Horikawa, Y. Kamitani, "Attention modulates neural representation to render reconstructions according to subjective appearance," *Commun. Biol.* Vol. 5, No. 34, 2022.
- [2] G. Shen, T. Horikawa, K. Majima, Y. Kamitani, "Deep image reconstruction from human brain activity," *PLoS Comput. Biol.* Vol. 15, e1006633. 2019.
- [3] T. Horikawa, Y. Kamitani, "Generic decoding of seen and imagined objects using hierarchical visual features," *Nat. Commun.* Vol. 8, No. 15037, 2017.
- [4] T. Horikawa, Y. Kamitani, "Hierarchical neural representation of dreamed objects revealed by brain decoding with deep neural network features," *Front. Comput. Neurosci.* Vol. 11, No. 4, 2017.
- [5] T. Horikawa, M. Tamaki, Y. Miyawaki, Y. Kamitani, "Neural decoding of visual imagery during sleep," *Science*, Vol. 340, pp. 639-642, 2013.

# マインドフルネス瞑想における「ありのままの気づき」とは何か？

## ～マインドフルネス瞑想の生理・心理・神経メカニズムの解明～

What is the lucid awareness in the mindfulness meditation?  
 - Investigation of the physiological, psychological, and neural mechanisms of mindfulness meditation -



NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部

**藤野 正寛**

Masahiro Fujino

### ●プロフィール

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 感覚共鳴研究グループ リサーチスペシャリスト。2004年神戸大学 経営学部卒業。2004年シスメックス株式会社入社、2011年同社退社。2019年京都大学大学院 教育学研究科 博士課程修了。博士(教育学)。その後、2019年京都大学大学院 教育学研究科 助教、2020年京都大学 オープンイノベーション機構 特定助教を経て、2021年にNTTに入社。マインドフルネス瞑想の生理・心理・神経メカニズムの解明研究に従事。

近年、今この瞬間の経験にありのままに気づいている状態を実現するためのマインドフルネス瞑想が、ウェルビーイングを高めることに貢献することがわかってきています。本講演では、この「ありのままの気づき」とは何かということを、生理・心理・神経メカニズムの観点から考えてみます。特に、マインドフルネス瞑想を構成する集中瞑想と洞察瞑想のうち、「ありのままの気づき」に関わっていると考えられている洞察瞑想が、自律神経活動およびホルモン分泌、注意制御プロセスや、脳活動へ与える影響を検討する研究を紹介します。

マインドフルネスとは、今この瞬間の経験にありのままに気づいている状態を意味します。経験とは、次々と生じてくる感覚や感情や思考のことです。ありのままとは、反応や判断や抑制をしない受容的な態度のことです。気づきとは、注意を広げてそれまで無自覚だった様々な経験を意識化することです。近年、この状態を実現するためのマインドフルネス瞑想がウェルビーイングを高める介入方法として注目されています。この瞑想によって、ネガティブな経験にありのままに気づいている状態を増やすことで、うつや不安などの症状が改善することが示されています[1]。一方、ネガティブな経験にあり

のままに気づいているつもりで無自覚的に反応や抑制をしてしまい、かえって不安や緊張が高まるなどの有害事象が生じることも報告されています[2]。有害事象を減らしながら効果を高めるためには、瞑想の実践者も指導者も、「ありのままの気づき」とは何かを理解することが大切です。その理解のために、ありのままの気づきをもたらす生理・心理・神経メカニズムの解明が求められています。

マインドフルネス瞑想は、「集中瞑想」と「洞察瞑想」という2つの瞑想技法から構成されています(図1)。集中瞑想は、特定の対象に意図的に注意を集中する技法です[3]。洞察瞑想は、次々と生じている経験から特定の対象を選び出すことなく、それらの流れにありのままに気づいている状態を維持する技法です[3]。一般的に、集中瞑想の実践で基礎的な注意制御力を高めてから、洞察瞑想の実践でその注意を広げながらありのままに気づいている状態、すなわちマインドフルネスの実現をめざします。そのため、ありのままの気づきをもたらす生理・心理・神経メカニズムを解明するためには、マインドフルネス瞑想を集中瞑想と洞察瞑想に分けて、洞察瞑想が生理活動や認知機能や脳活動に与える影響を検討する必要があります。

本講演ではそのような研究を紹介しながら、ありのままの気づきについて考えます。1つ目の生理関連研究では、瞑想未経験者を対象に、瞑想介入[4]と心電図計測や唾液中コルチゾール濃度計測を行ない、洞察瞑想が活力に関わる交感神経活動やリラックスに関わる副交感神経活動、ストレス指標と言われるコルチゾール濃度に与える影響を検討しました[6]。その結果、洞察瞑想が交感神経活動を高める一方で、コルチゾール濃度を低下させることが示されました。この結果は、ありのままの気づきが単純なリラックス状態ではなく、むしろ様々な経験に気づけるような活力の高い状態でありながらも、ストレスは低い状態であるという考えを支持しています。

2つ目の心理関連研究では、瞑想未経験者を対象に、瞑想介入と認知課題を用いて、洞察瞑想が視覚的な妨害刺激に対する抑制に与える影響を検討しました[5]。その結果、洞察瞑想が妨害刺激に対する抑制を低下させることが示されました。この結果は、ありのままの気づきには受容的な態度が関わっているという考えを支持しています。

3つ目の神経関連研究では、瞑想熟練者を対象に、fMRIを用いて、洞察瞑想が脳の機能的結合性に与える影響を検討しました[7]。その結果、洞察瞑想時に、報酬や動機づけに関わ

る脳領域である腹側線条体と記憶を感情的に思い出すことに関わる脳領域である脳梁膨大後部皮質との協調的な活動が低下することが明らかになりました(図2)。この結果は、ありのままの気づきを実現する背後では、自分の過去の経験に関する記憶に囚われる程度が低下している可能性があることを示唆しています。

これらの研究によって、ネガティブな経験にありのままに気づいていることでうつや不安などの症状が改善する仕組みを従来よりも深く理解できるようになりました。すなわち、マインドフルネス瞑想は、ネガティブな経験が生じて、それに対して抑制することなく気づいている方法であると考えられます。それにもかかわらず、その経験をきっかけに自分の過去の記憶に囚われることがなく、経験をただの経験として見守れている可能性があります。そして、そのような状態であるためにストレスが減少し、ウェルビーイングが高まるのではないかと考えられます。このように、ありのままの気づきをもたらす生理・心理・神経メカニズムに関する理解を深めることで、より適切な介入方法を開発し、有害事象を減らしながら効果を高めることに貢献することが期待されます。

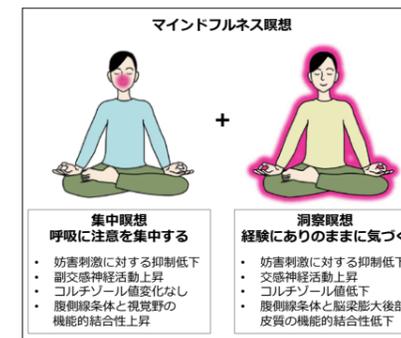


図1：マインドフルネス瞑想を構成する2つの瞑想技法

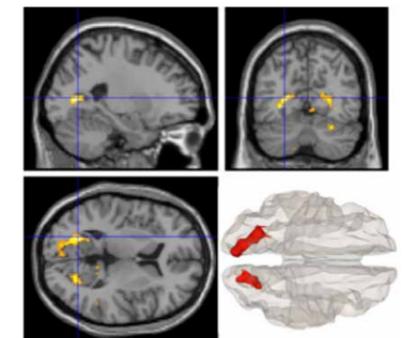


図2：洞察瞑想時に左腹側線条体との結合性が低下した脳梁膨大後部皮質を中心とした脳領域 (Fujino et al., 2018 改変)

### ●参考文献

[1] M. Goyal, S. Singh, E. M. S. Sibinga, N. F. Gould, A. Rowland-Seymour, R. Sharma, Z. Berger, D. Sleicher, D. D. Maron, H. M. Shihab, P. D. Ranasinghe, S. Linn, S. Saha, E. B. Bass, J. A. Haythornthwaite, "Meditation programs for psychological stress and well-being: A systematic review and meta-analysis," *JAMA Internal Medicine*, Vol. 174, No. 3, pp. 357-368, 2014.

[2] N. T. Van Dam, M. K. van Vugt, D. R. Vago, L. Schmalzl, C. D. Saron, A. Olendzki, T. Meissner, S. W. Lazar, C. E. Kerr, J. Gorchov, K. C. R. Fox, B. A. Field, W. B. Britton, J. A. Brefczynski-Lewis, D. E. Meyer, "Mind the Hype: A Critical Evaluation and Prescriptive Agenda for Research on Mindfulness and Meditation," *Perspectives on Psychological Science*, Vol. 13, No. 1, pp. 36-61, 2018.

[3] A. Lutz, H. A. Slagter, J. D. Dunne, R. J. Davidson, "Attention regulation and monitoring in meditation," *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 12, No. 4, pp. 163-169, 2008.

[4] 藤野正寛, 上田祥行, 井上ウイマラ, イエットGサンダース, スティーブンマーフィ重松, 野村理明, "心理学実験のための集中・洞察・慈悲瞑想の短期介入インストラクションの開発," *マインドフルネス研究*, Vol. 4, pp. 10-33, 2019.

[5] M. Fujino, Y. Ooishi, Y. Ueda, N. Kitagawa, M. Nomura, "Focused Attention and Open Monitoring Meditations Reduce Inhibition Processes During Cognitive Interference," under review.

[6] Y. Ooishi, M. Fujino, V. Inoue, M. Nomura, N. Kitagawa, "Differential effects of focused attention and open monitoring meditation on autonomic cardiac modulation and cortisol secretion," *Frontiers in Physiology*, Vol. 12, 675899, 2021.

[7] M. Fujino, Y. Ueda, H. Mizuhara, J. Saiki, M. Nomura, "Open monitoring meditation reduces the involvement of brain regions related to memory function," *Scientific Reports*, Vol. 8, 9968, 2018.

# 研究展示のカテゴリ

NTTコミュニケーション科学基礎研究所は、人と人、あるいは人とコンピュータの間の「ここまで伝わる」コミュニケーションの実現をめざして、人間と情報の本質に迫る基礎理論の構築と社会に変革をもたらす革新技术の創出に取り組んでいます。オープンハウス2023では、「データと学習の科学」、「コミュニケーションと計算の科学」、「メディアの科学」、「人間の科学」に関する合計16展示をご紹介します。

## データと学習の科学

機械学習や量子計算の数理に着目し、高精度なデータ解析や計算効率化をめざす基礎的な研究を紹介します。

- 来場者の人数に合わせて柔軟に交通ネットワークの運行計画を最適化したい
- 観測データから、物理現象の高精度なシミュレーションを実現したい
- 新たな量子計算モデルやエラー検証を用いて量子コンピュータを効率化したい

## コミュニケーションと計算の科学

人と人、人とコンピュータのやりとりを円滑にする計算原理を構築し、社会への活用をめざす研究を紹介します。

- 問題の正解率を予測し、1人1人にとって最適な学びの提供に貢献したい
- 文脈やTPOに合わせて人が編集しやすい機械翻訳技術を設計したい
- 多様なリソースを活用して、会話の状況を予測したい

## メディアの科学

音声・画像・テキストなどのメディア情報を個別に、または組み合わせて高度に処理する研究を紹介します。

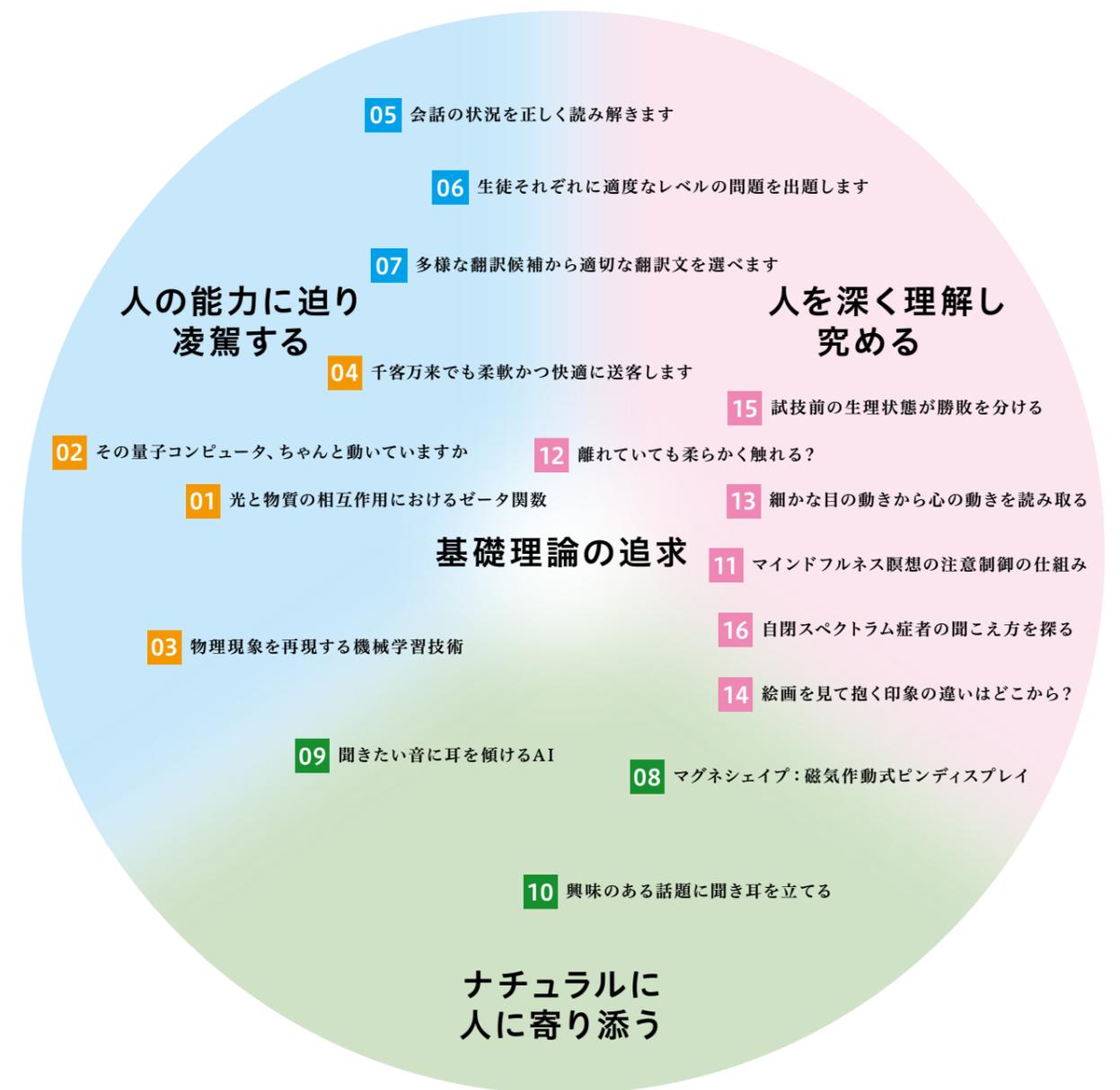
- 低環境負荷なインターフェースにより、新たな情報提示の形を実現したい
- 各種メディアの本質をとらえ、重要な情報を選択的に獲得・提示したい
- メディア情報の持つ意味を計算機上で表現し、活用したい

## 人間の科学

人の情報処理メカニズムを科学的に解明し、豊かなライフスタイルを提案・実現する研究を紹介します。

- 人の多様な知覚・運動特性を理解し、心理の解明や新たなインターフェース開発に活かしたい
- 人の意図に寄り添うロボットを設計し、豊かで安全な社会の実現に役立てたい
- トップアスリートたちが持つ秀でた能力の秘密を解明したい

# トピックマップ



# 01

## 量子ラビモデルの数理の発見

### 光と物質の相互作用におけるゼータ関数

どんな研究	光と物質の物理的相互作用を数学的に記述する量子ラビモデルは、量子コンピュータなど、社会に大きな影響を与える応用が期待される重要な研究対象です。本研究では、モデルのスペクトルゼータ関数を理解するために、モデルの時間発展を表す熱核の明示的な計算方法を考案しました。
どこが凄い	量子ラビモデルの熱核や分配関数は、経路積分等を用いた従来の手法では計算困難でした。これを克服するため、本研究では、表現論という代数学の理論を用いて全く新しい計算手法を開発しました。また、計算結果から、熱核の新たな物理的・数学的な解釈を得ることに成功しました。
めざす未来	本研究の目標は量子ラビモデルから定まるスペクトルゼータ関数の整数論的な性質を明らかにすることでしたが、そのために開発した上記の手法は物理学的にも重要な価値を持っています。今後も整数論的な興味を出発点とする全く新しい視点から、物理的な性質を明らかにしていきます。

### 量子ラビモデル (QRM)

量子計算機や量子通信で利用される光と物質 (原子など) の間の微細なスケールでの相互作用を記述する数学的モデル。

QRMを用いた計算結果は実験結果と一致 (Braak, 2011)。しかしQRMから状態を数学的に厳密に求めることは極めて困難なため、従来研究は近似計算にとどまる。

光と物質 (原子) の相互作用  
光子のエネルギー 原子のエネルギー 相互作用 (結合) のエネルギー

$$H_R = \omega a^\dagger a + \Delta \sigma_x + g(a + a^\dagger) \sigma_x$$

QRMを定義する式 (ハミルトニアン)

### 熱核と時間発展

本研究の成果①  
光と物質の相互作用の時間発展を数学的に厳密に求める方法である「熱核」の計算に成功。

従来法  
「無限個の連続経路に沿った積分」を用いる経路積分  
→ 厳密な取り扱いが極めて困難

提案法  
離散的な経路での積分により計算  
→ 従来困難だった計算を可能に

応用  
熱核  $K_R$  を具体的な形で記述 → 物理系の解析も可能に [1][2]

$$K_R(x, y, t) = K(x, y, t; g) \sum_{\lambda=0}^{\infty} (t\Delta)^\lambda \Phi_\lambda(x, y, t; g)$$

幾何学 関数解析  
量子調和振動子 積分により計算される行列

提案法において、数学のさまざまな分野の技術を組み合わせる全く新しい手法を開発 → QRMだけでなく、より広い種類の物理モデルの熱核の計算にも利用可能

表現論 組み合わせ論

### ゼータ関数との関係

熱核とゼータ関数の関係  
熱核に関する研究は、次のような不思議な式と関係する  
★:  $1+1+1+1 \dots = \dots = -\frac{1}{2}$  ☆:  $1+2+3+4 \dots = \dots = -\frac{1}{12}$

無限大に発散する式と有限な値を結びつける (厳密でない) 式、18世紀の数学者が発見

これは、有名な「リーマン予想」に現れるリーマンゼータ関数の「解析接続」と呼ばれる性質の一部。この関数は素数の性質に関する重要な情報を持ち、これを調べることで数学が大きく発展。

$$\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}, \Re(s) > 1 \quad \star: \zeta(0) = -\frac{1}{2} \quad \circlearrowleft: \zeta(-1) = -\frac{1}{12}$$

リーマンゼータ関数 解析接続によって得られた発散級数の値

驚くべきことに、QRMのエネルギーレベル  $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots)$  を用いてリーマンゼータ関数に似た「スペクトルゼータ関数」を定義可能。

$$\zeta_R(s; \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(\lambda_n + \tau)^s}, \Re(s) > 1$$

スペクトルゼータ関数

実は、この関数の性質を調べることが、本研究の主な動機であり、特に解析接続をもつことの証明が目標。

本研究の成果②  
スペクトルゼータ関数は熱核がわかれば次のように積分表示でき、解析接続を持つことを証明可能 [2] (Sugiyama, 2018)。本研究によりQRMの熱核を書き下すことで、解析接続の証明を完成した。

$$\zeta_R(s; \tau) = -\frac{\Gamma(1-s)}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} (-\omega)^{s-1} e^{-\tau\omega} \text{Tr} \left( \int_{-\infty}^{\infty} K_R(\omega, \omega, t) dt \right) d\omega \quad s \in \mathbb{C}$$

QRMのスペクトルゼータ関数の積分表示

今後の展開  
本研究はリーマンゼータ関数の特別な値 ( $\zeta(3)$  など) とスペクトルゼータ関数の値との間の驚くべき共通構造の一端を見出した。今後はその背後のメカニズムの解明をめざす。

光と物質の相互作用の理解  
・ エネルギー  
・ 時間発展

量子ラビモデル (QRM)

ゼータ関数を通じた深いつながり (算術構造)

リーマンゼータ関数

基礎数学の重要な対象への理解  
・ 保型形式  
・ 楕円曲線

ゼータ関数の謎の解明に挑むことで、基礎数学の発展と応用をめざす

### 関連文献

[1] C. Reyes-Bustos, M. Wakayama, "The heat kernel for the quantum Rabi model", *Adv. Theor. Math. Phys.*, Vol. 26, No. 5, pp. 1347-1447, 2022.

[2] C. Reyes-Bustos, M. Wakayama, "Heat kernel for the quantum Rabi model: II. Propagators and spectral determinants", *J. Phys. A: Math. Theor.*, Vol. 54, 115202, 2021.

### 連絡先

シッド レジェス ブストス (Sid Reyes Bustos) メディア情報研究部 情報基礎理論研究グループ (NTT基礎数学研究センタ)

# 02

## 量子回路分割を用いた量子計算の検証技術

### その量子コンピュータ、ちゃんと動いていますか

どんな研究	より多くの量子ビットを持つ量子コンピュータの実現が進む一方で、量子ビットが増えると、ある量子ビットへの操作が他の量子ビットにエラーを引き起こし計算結果が正しくなくなる可能性が増します。本研究は、量子コンピュータの計算結果の正しさを検証する技術を提案します。
どこが凄い	従来の検証手法は、エラー訂正が可能なフルスケールの量子コンピュータを想定していました。しかし、エラー訂正技術は高コストなため、近未来に実現する量子コンピュータはエラー訂正ができません。我々の手法は、そのようなフルスケールではない量子コンピュータに適用可能な検証技術です。
めざす未来	近未来の量子コンピュータは維持に高度な技術が必要なため、個人での所有は困難です。そのため、クラウド化とエラー検知の両立が重要であり、計算結果の検証は特にこの両立に必須です。われわれの手法を発展させ、世界中どこでも量子コンピュータの恩恵を受けられる社会の実現をめざします。

### 背景と成果の概要

量子コンピュータは、高い計算能力を有している一方で、エラーが発生しやすいという性質がある。

例) 物性・化学のシミュレーション

現在の (古典) コンピュータ → 解けない ⊗

エラーの影響がない理想的な量子コンピュータ → 解ける ⊕

エラーの影響を受けた場合の量子コンピュータ → 間違った答えを出力

### 提案する検証手法の詳細

アプローチ 検証対象のNISQコンピュータに、計算結果を表す量子状態を出力させ、小規模量子測定器で検証する。

NISQコンピュータ (検証対象) 小規模量子測定器 検証用古典コンピュータ (測定結果から検証結果判定)

出力 測定結果

問題点 出力を2分割し個別に測定すると、(赤と青の間の) 量子状態の関係性 (量子相関) の情報が得られず、検証ができない

解決策 量子相関を相関がない量子状態の和・積\*で表現し、上記の測定を繰り返すことで和・積の必要部分だけチェック (※正確には、テンソル積)

量子相関の情報を失わず、正しい検証が可能に!!

着眼点 一般には「状態」の数が多く検証精度が悪化 → NISQの場合は実は多くならない

着眼点 掛け算を全て検証すると検証時間が長くなる → ランダムに  $O(S^{2/3})$  個 (紫のボタン) だけ検証すれば十分

### NISQコンピュータ

近未来に実現すると期待されている量子コンピュータは、

- 計算途中に発生したエラーを訂正する機能がない
- 疎結合のため、2量子ビット操作が限定的

→ 長時間の複雑な計算を行うことが困難

IBMのNISQコンピュータチップ (模式図)

課題 フルスケール量子コンピュータ用の既存の検証手法は、複雑な量子計算が実行できているかをチェックするので、NISQコンピュータへの適用が困難 ⊗

### 既存手法 [FL11] との比較

既存手法よりも、少ないサンプル数 (NISQコンピュータの動作回数)  $S$  で検証を行うことができる。

$\epsilon$ : 検証精度 (誤差の値)

$\delta$ : 誤差が  $\epsilon$  以上になる確率

$D$ : 2分割した出力にまたがる量子操作の数

NISQコンピュータの場合、 $D = O(\log n)$

サンプル数 ( $\times 10^{44}$ )

既存手法

われわれの手法

130量子ビットを扱えるNISQコンピュータにおいて、従来手法よりも800万倍以上少ないサンプル数で検証が可能

$S = O\left(\frac{2^{12D}}{\epsilon^6} \left(D + \log \frac{1}{\delta}\right)^3\right)$

### 関連文献

[1] Y. Takeuchi, Y. Takahashi, T. Morimae, S. Tani, "Divide-and-conquer verification method for noisy intermediate-scale quantum computation," *Quantum*, Vol. 6, p. 758, 2022.

### 連絡先

竹内 勇貴 (Yuki Takeuchi) メディア情報研究部 情報基礎理論研究グループ

データと学習の科学

コミュニケーションと計算の科学

メディアの科学

人間の科学

データと学習の科学

コミュニケーションと計算の科学

メディアの科学

人間の科学

# 03

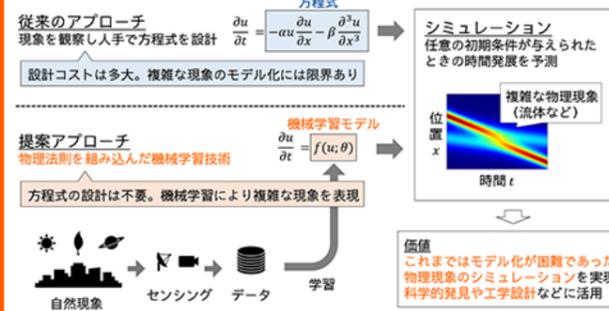
エネルギー保存則を組み込んだガウス過程モデル

## 物理現象を再現する機械学習技術

どんな研究	物理現象を観測したデータから、機械学習を用いて、その背後にある物理法則に従う振る舞いを再現することは可能でしょうか。この展示では、 <b>ハミルトン力学の理論をガウス過程モデルに組み込み</b> 、物理現象を正確に再現し、高精度にシミュレーションできる機械学習技術を考案しました。
どこが凄い	物理現象を表す <b>方程式を人手で設計することなく</b> 物理シミュレーションを行うことができます。観測データが少なく、かつ、ノイズを含む場合でも、 <b>エネルギーの保存・散逸則に従う物理現象を高精度にシミュレーション</b> できることを示しました。
めざす未来	本研究により、 <b>複雑な物理現象に対する高精度なシミュレータを観測データから自動構築</b> できるようになります。気象現象の高精度な予測や航空機設計の効率化および品質向上など、科学や産業の発展への貢献が期待できます。

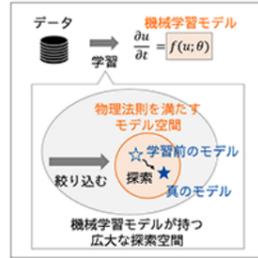
### データ駆動型物理シミュレータ

物理現象を観測したデータから、機械学習を用いて、その背後にある物理法則に従う振る舞いを再現します。物理現象を表す**方程式を人手で設計することなく物理シミュレーションを行う**ことができます。



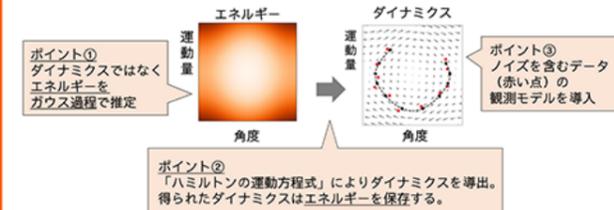
### 物理法則の導入

難しさ  
機械学習モデルは非常に高い表現力を持ち、大規模で複雑な物理現象を適切にモデル化できる可能性があります。しかし、高い表現力を持つがゆえに、**広大な探索空間から物理現象を正確に再現するモデルを推定するのは簡単なことではありません。**

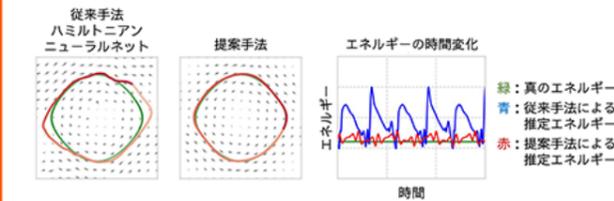


核となるアイデア  
物理法則を事前知識として導入することで、探索空間を絞り込み、物理現象を正確に再現するようなモデルを効果的に推定します。

提案手法 [1-3]  
任意の連続関数を近似可能な機械学習モデルである「ガウス過程」に「ハミルトン力学」の理論を組み込んだ新技術を考案しました。

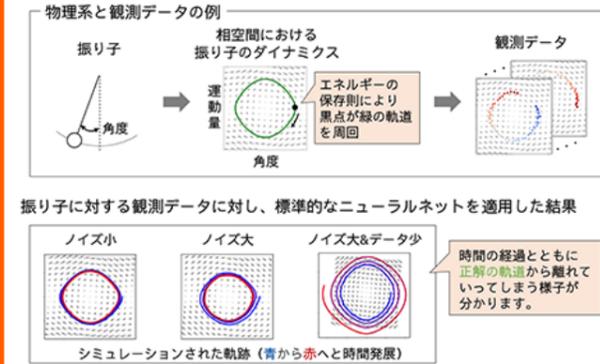


実験結果  
データが少なく、かつ、ノイズが大きい場合でも、**エネルギーの保存則に従う物理現象を高精度にシミュレーション**できることを示しました。



### 既存の機械学習モデルの限界

実験により、標準的な機械学習モデルでは物理現象を正確に再現することが難しい場合があることが分かりました。特に、データが少なく、ノイズが大きい場合には**顕著な性能劣化**が見られました。



### 関連文献

- [1] Y. Tanaka, T. Iwata, N. Ueda, "Symplectic spectrum Gaussian processes: Learning Hamiltonians from noisy and sparse data," in *Proc. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 2022.
- [2] 田中佑典, 岩田具治, 上田修功, "エネルギーの保存・散逸則を満たすガウス過程モデル," 第25回情報論的学習理論ワークショップ, 2022.
- [3] 田中佑典, "ガウス過程と物理現象のモデル化 (特集「AIとシミュレーション」)," 人工知能学会誌, Vol. 38, No. 3, 2023 (印刷中).

### 連絡先

田中 佑典 (Yusuke Tanaka) 協創情報研究部 知能創発環境研究グループ

# 04

来場者の利便性と運行コストを考慮したシャトルバス運行

## 千客万来でも柔軟かつ快適に送客します

どんな研究	シャトルバスの運行計画は路線網と時刻表で決まりますが、運行会社のコストと乗客の利便性とを適切なバランスにすることは重要な課題です。本研究では、運行会社側と乗客側を合算した総コストが最小になるように、 <b>来場者の人数に合わせて路線網と時刻表を最適化</b> する手法を開発しました。
どこが凄い	バス停の待ち行列の人数を、整数線形計画問題の定式化に取り入れしました。このことで待ち人数から計算した <b>待ち時間を最適化対象</b> に容易に含めることが可能になり、さらに <b>最適な路線網やバス車両の台数</b> も自動的に決定できます。大規模イベントを想定した計算機実験で効果を確かめました。
めざす未来	大規模イベントが開催されると公共交通の需要が大きく変化しますが、本研究の技術によって需要予測に応じた <b>最適な運行計画</b> を決定できます。今後、利用状況の変化にも対応可能な技術へと発展させることで、 <b>柔軟で利便性の高い公共交通ネットワーク</b> を設計できる未来をめざします。

### 研究の目的

来場者数の予測が困難な状況で、**大規模イベント**のために適切な**シャトルバス運行計画**を作成したい



課題: 来場者数を想定してバス路線網を固定すると、想定が外れたときに**運行コスト・乗車時間・待ち時間が増大**

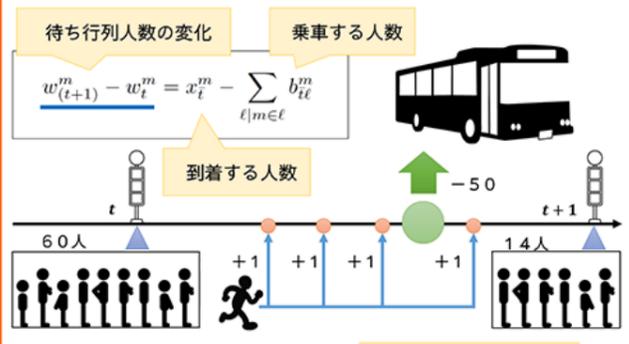
### 提案手法の概要[1]

来場者の負担と運行会社のコストの両方を**目的関数**に含め、**整数線形計画問題**として定式化



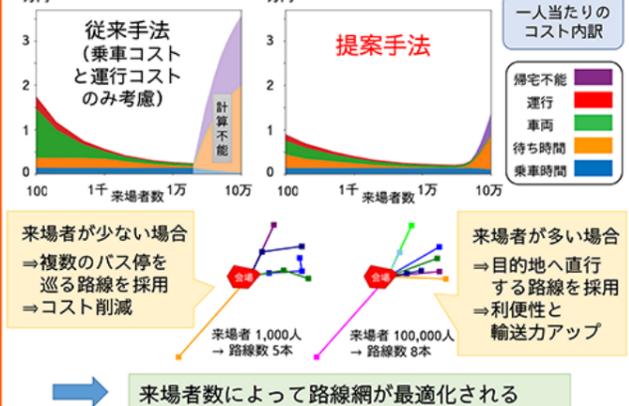
### 提案手法のポイント[2]

待ち時間コストや車両コストを目的関数に含めるために、**待ち時間待ち行列の人数保存則**を制約として導入する



### 評価実験

提案手法は来場者の負担と運行会社のコストを**バランスよく低減**したシャトルバス運行計画を作成できる



### 関連文献

- [1] 清水仁, 藤野昭典, 澤田宏, 上田修功. "大阪・関西万博2025のシャトルバス交通シミュレーション," 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2023年春季研究発表会 & シンポジウム, 2023.
- [2] 清水仁, 藤野昭典, 澤田宏, 上田修功. "大規模イベントのためのシャトルバス路線網と時刻表の最適化," 情報学会TOM論文誌 (投稿中), 情報学会 第142回数理モデル化と問題解決研究会(MPS), 2023.

### 連絡先

清水 仁 (Hitoshi Shimizu) 協創情報研究部 知能創発環境研究グループ

05

マルチモーダル情報を用いた日常会話の状況認識  
会話の状況を正しく読み解きます

Table with 2 columns: どのような研究 (Research), どこが凄い (What's amazing), めぐさす未来 (Future). Content describes multimodal conversation recognition technology.

日常会話に参加する対話システム

Text and diagrams explaining the system's ability to understand conversation context and respond appropriately. Includes examples of dialogue and a flowchart of the recognition process.

マルチモーダル情報を用いた対話状況の認識

Diagram and text detailing the recognition model. It shows how audio, video, and text inputs are processed through Uni-GRU, ResNet50, VGGish, and BERT to identify conversation elements like style, place, activity, and relation.

日常会話の構成要素の抽出と解析

Diagram showing the extraction and analysis of conversation components. It lists 7 factors: form, location, activity, relationship, and others, and shows how they are used to understand the dialogue's structure.

提案技術による対話処理 (デモ)

Visual demonstration of the proposed technology. It shows a dialogue scene, the system's analysis results (e.g., 'meeting', 'office'), and the system's response to the dialogue.

関連文献

List of references: [1] Y. Chiba and R. Higashinaka, "Dialogue situation recognition for everyday conversation using multimodal information," in Proc. INTERSPEECH, pp. 241-245, 2021. [2] Y. Chiba and R. Higashinaka, "Analyzing variations of everyday Japanese conversations based on semantic labels of functional expressions," ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing, Vol. 22, No. 2, pp. 1-26, 2022.

連絡先

千葉 祐弥 (Yuya Chiba) 協創情報研究部 実世界インタラクティブ研究グループ

06

Monotonic VAEに基づいた個別最適な問題推薦手法  
生徒それぞれに最適なレベルの問題を出題します

Table with 2 columns: どのような研究 (Research), どこが凄い (What's amazing), めぐさす未来 (Future). Content describes a VAE-based problem recommendation system for individualized learning.

研究目的

Text and diagrams explaining the research goals. The aim is to recommend the most suitable materials and problems for each student based on their learning progress. Includes a diagram of the MVAE architecture.

提案手法

Text and diagrams explaining the proposed method. It details how student problem-solving data is used to recommend problems of an appropriate difficulty level. Includes a diagram of the recommendation process.

関連文献

List of references: [1] T. Hattori, H. Sawada, S. Fujita, T. Kobayashi, K. Kamei, F. Naya, "Monotonic variational autoencoder based individually optimized problem recommender system," in Comp. Proc. 13th International Learning Analytics and Knowledge Conference (LAK23), 2023. [2] 服部正嗣, 澤田宏, 藤田早苗, 小林哲生, 亀井剛次, 納谷太, "Monotonic VAEに基づいた個別最適な問題推薦システム," 第37回人工知能学会全国大会, 2023.

連絡先

服部 正嗣 (Takashi Hattori) 協創情報研究部 コミュニケーション発達研究グループ

Point 2 初めて見る問題を解いたときに正答できる確率を予測可能

Diagram and text explaining Point 2. It shows how the MVAE model can predict the probability of a student solving a new problem correctly based on their learning data. Includes a table of input and output data.

実験検証

Text and a line graph showing experimental verification. The graph plots the predicted accuracy of recommended problems against the number of days of learning. It shows that the predicted accuracy is very close to the actual accuracy.

データと学習の科学

コミュニケーションと計算の科学

メディアの科学

人間の科学

どんな研究	機械翻訳が幅広い翻訳候補を出力できれば、その中から文脈やTPOに合わせた適切な文を人が選ぶことでより品質の高い翻訳を容易に実現できます。しかし、従来の技術では似通った翻訳候補しか出力されないという問題がありました。この展示では、より多様な翻訳候補を生成する技術を紹介します。
どこが凄い	大量の対訳データから入力に近い様々な文を自動で検索し、それらを参考に多様な翻訳候補を生成する手法を考案しました。従来手法は翻訳精度が低下する問題がありましたが、本手法では検索で得られた文を活用することで翻訳精度を保ったまま、大幅に多様性を向上することが可能になります。
めざす未来	本技術が進展すれば、TPOに合わせた翻訳や単語の誤りなどを人が簡単に修正できるようになり、編集の負担が大幅に軽減できます。また検索に使うデータを変えるだけで多くの状況に合わせた翻訳候補を出力できるようになり、様々なニーズに適した高精度な機械翻訳の実現が期待できます。

翻訳候補の多様性

このカメは主に何を食べますか？

What does this turtle mainly eat? (ウミガメ)

What does this tortoise mainly eat? (リクガメ)

動物園での質問だから tortoise が適切だな

文脈や状況によって適切な翻訳文は異なる  
→ 機械翻訳で複数の翻訳候補が提示できると、より正確な翻訳を人間が選択でき、翻訳精度が高められる！

翻訳候補を出力する難しさ

従来手法では

- 1 似たような翻訳候補が多くなってしまふ
- 2 各候補の翻訳精度が下がってしまう

本研究のポイント  
検索に基づく機械翻訳を応用することで、多様かつ高精度な翻訳候補を生成可能に！

検索に基づく多様な翻訳候補の生成

従来の検索に基づく翻訳手法

検索クエリ: turtle, turtles, tortoise

検索により得られた候補単語: terrapin, slider, turtle, turtles, tortoise

入力文と類似する事例をデータベースから検索し、機械翻訳時に活用 → 翻訳精度が向上することが知られている

従来手法では検索で得られる候補単語が類似してしまうため、似通った翻訳候補ばかりが生成されてしまう

U. Khandelwa et al., "Nearest Neighbor Machine Translation," in Proc. International Conference on Learning Representations (ICLR), 2021.

多様な翻訳候補生成のための提案手法 [1]

より広範囲を検索対象に

ランダムにデータを選択

検索範囲を広げ、多くのデータの中から翻訳に活用するデータをランダムに選択 → 様々なデータを活用し多様かつ高精度な翻訳候補を出力

幅広い検索結果を使用することで多様かつ高精度な翻訳候補を生成可能に

提案手法の効果

	多様性 (DP) ↑	翻訳候補の精度 (BLEU) ↑
① 通常の機械翻訳器	31.4	42.6
② 従来の多様性を考慮する手法	35.9	40.0
③ 従来の検索に基づく手法	32.3	51.8
提案法A. ②と③の組み合わせ	42.0	48.6
提案法B. ② + ③ + ランダム選択	54.4	48.4

ランダム選択時には、検索範囲を通常の1.1~4倍に広げ適切な検索範囲を決定  
DP: 出力された候補文にどれくらい異なる単語/フレーズが含まれているかを示す指標

実験結果

・③の検索に基づく従来手法は、翻訳時にデータベースを活用することで高い翻訳精度を達成

・しかし、これらの従来法①、②、③では、翻訳候補が似通ってしまい多様性の評価値が低い

・提案法AとBでは、翻訳精度を一定程度維持しつつ、高い多様性評価値を達成

→ 特に、検索時にランダムにデータを選択する提案法Bでは、検索に基づく手法による高い翻訳精度とランダム選択に基づく多様性向上の両方のメリットが得られる

関連文献

[1] 西田悠人, 森下睦, 上垣外英剛, 渡辺太郎, "摂動を加えたkNN機械翻訳による多様な翻訳候補の生成," 言語処理学会第29回年次大会, 2023.

連絡先

森下 睦 (Makoto Morishita) 協創情報研究部 言語知能研究グループ

どんな研究	動きのある立体形状の提示に用いられる形状変化ピンディスプレイは、ピンの作動にモータを使用すると配線や機械的構造が複雑化しやすく、構築は決して容易ではありません。そこで、磁性材料上に磁場パターンを書き込む技術に応用し、非電氣的に動作する新しいピンディスプレイを実現しました。
どこが凄い	個々のピンはマグネットシート上に書き込まれた磁場パターンの磁力によって上下するため、非常に簡素な構成ながら、文字や記号など多様な立体形状提示が可能です。また構築コストも低いので、家庭や小規模オフィス、教育現場などにおける新たな情報提示技術として期待されます。
めざす未来	我々の日常生活は電子機器によって支えられていますが、発電による温室効果ガスの排出は無視できず、カーボンニュートラルの実現は人類にとって喫緊の課題です。これに対し、非電氣的な情報インタフェースを探索することで多様かつ低環境負荷な情報環境の実現をめざします。

ピン駆動への非電氣的アプローチ

通常のピンディスプレイでは形状の動的変化を電気制御により実現します

しかし数百のモータを組み込み、配線し、ディスプレイを構築するには十分な知識、予算、環境が必要です

→ 低コストかつ簡易に構築できるピンディスプレイがインタラクションを考えていく上では重要

磁性材料を利用したアプローチを考案  
磁気作動式のシンプルなピンディスプレイを開発 [1]

シンプルな構造、多様な表現

磁性ピン

ハウジング

マグネットシート

シンプルな構造  
MagneShapeはマグネットシート、ピンを取りめるハウジング、および磁性ピンのみで構成できます

簡易に構築でき、ピンの数が増えても構造が複雑化しません

多様な表現  
マグネットシートを動かす向き、速さによって様々なピンの動きを提示できます

ピンの動きをシミュレートするツール、磁場パターンをデザインするツールを実装  
文字や図形も表現可能に

1. デザイン 2. パターン生成 3. 着磁 4. 表示

磁力によるピン制御

課題①：ピンの高密度化と高さ制御

ピンを高く上下させるには強い磁石が必要ですが、強い磁石は隣接する磁石と磁場干渉しやすく、独立した動きを阻害してしまいます

ポット磁石の使用により磁性ピンの高密度化に成功

ポット磁石：鉄などのポットに磁石を収め、磁場分布を局所に集中させたもの

磁場干渉回避に必要な距離が通常の磁石で23.4mmであるのに対し、ポット磁石では約6mm

幅や位置の異なる磁性パターンを着磁したマグネットシートをピン下方に配置することでピンの高さ制御が実現

ポット磁石の磁場は下方に集中

磁場パターンによるピンの高さ制御

多様なピンの構成手法を確立

課題②：入手コストと汎用性

市販の小型ポット磁石はサイズ、形状、入手数が非常に限られます

汎用素材を用い、ポット磁石と同様の磁場分布となる磁性ピンの構築手法を考案

多様なサイズ・形状のピンが作成可能に  
材料費は1/10~1/5000に

ピンが軽量化され、より長いピンストロークが提示可能に

パンチシート式  
穴あけパンチとマグネットシートを使う手法

ポットライク式  
汎用金属部材でポット様の構造を組み立てる手法

動的最大ピン浮上高さが向上

関連文献

[1] K. Yasu, "MagneShape: a non-electrical pin-based shape-changing display," in Proc. The 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '22), 2022.

連絡先

安 謙太郎 (Kentaro Yasu) 人間情報研究部 感覚インターフェース研究グループ

データと学習の科学

コミュニケーションと計算の科学

メディアの科学

人間の科学

データと学習の科学

コミュニケーションと計算の科学

メディアの科学

人間の科学

Table with 3 rows: 1. どんな研究 (Research), 2. どころが凄い (Cool points), 3. めぐす未来 (Future prospects).

人間の選択的聴取

日常生活の中では、様々な音が鳴っています。同じ音でも、状況により、迷惑な雑音の場合もあれば、情報や危険などを知らせる重要な音である場合もあります。

本研究の目標

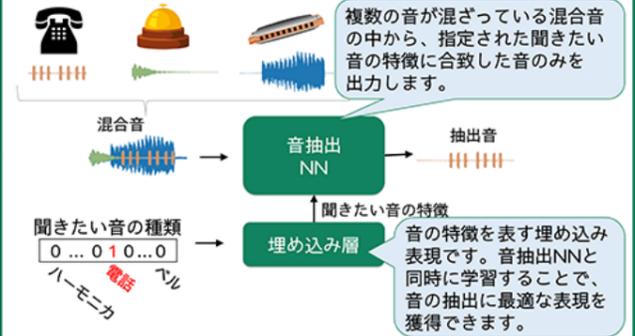
様々な音が鳴っている混合音から、聞きたい音の種類を指定することで、それらの音のみを抽出できる技術を目指します。

Diagram showing sound selection process with a table of sound types (電話, サイレン, 犬, 女性) and a bar chart of signal-to-noise ratio improvement.

応用先: 動画のオーディオの編集や、環境や人の好みに合わせて周囲の音の中から所望の聴取音を制御できるヒアリングデバイスなど。

任意の音の選択的聴取SoundBeam

オープンハウス2018年で紹介した深層学習による声の特徴に基づく音声の選択的技術SpeakerBeam [1] を任意の音に拡張



指定した聞きたい音の種類を変えることで、同じモデルで、様々な音の種類を抽出可能!

抽出実験 (Extraction experiment) results: 10音の種類に対する抽出実験. Includes a bar chart showing SNR improvement for various sound classes.

関連文献

[1] M. Delcroix, K. Zmolikova, 木下慶介, 荒木章子, 小川厚徳, 中谷智広, "SpeakerBeam: 聞きたい人の声に耳を傾けるコンピュータ—深層学習に基づく音声の選択的聴取," NTT技術ジャーナル, Vol. 30, No. 9, pp. 12-15, 2018.

連絡先

デルクロア マーク (Marc Delcroix) メディア情報研究部 信号処理研究グループ

Table with 3 rows: 1. どんな研究 (Research), 2. どころが凄い (Cool points), 3. めぐす未来 (Future prospects).

意味に基づいて音声を分離抽出する“概念フィルタ”

複数の話者・話題が混ざった混合音声から興味のある音声を分離抽出します。興味の対象は画像や音声などで指定します。

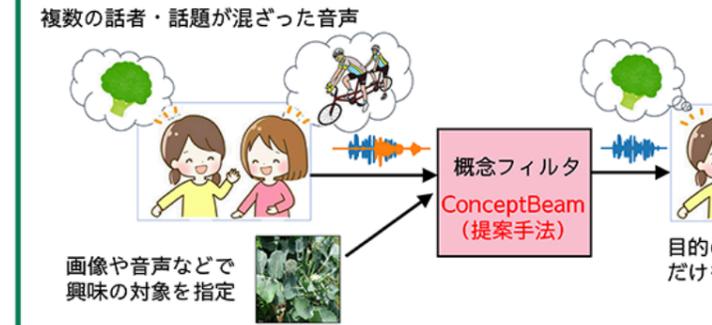
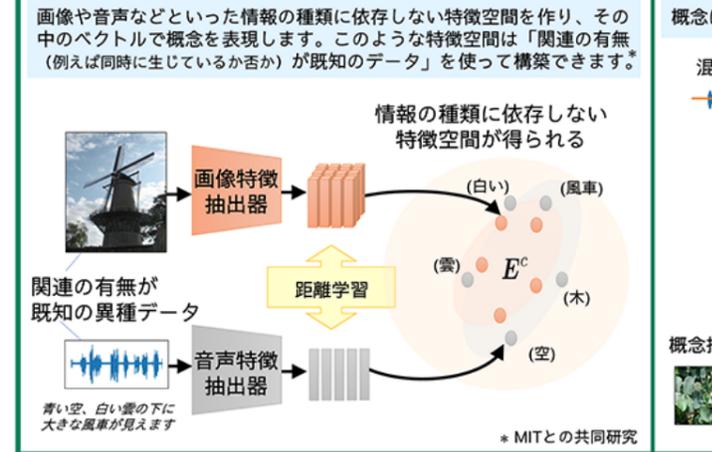
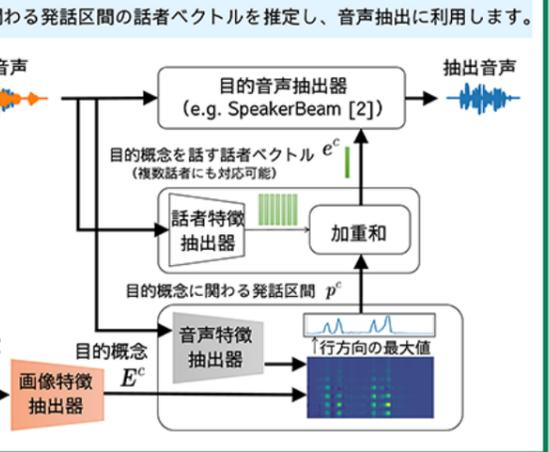


Table of experimental results: 実験結果の例. Compares ConceptBeam with other methods (手法1, 手法2) across different concept specification methods (画像, 音声).

仕組み① 概念の表現方法



仕組み② 概念を用いたフィルタリングの方法



関連文献

[1] Y. Ohishi, M. Delcroix, T. Ochiai, S. Araki, D. Takeuchi, D. Niizumi, A. Kimura, N. Harada, K. Kashino, "ConceptBeam: Concept Driven Target Speech Extraction," in Proc. ACM Multimedia, pp.4252-4260, 2022.

連絡先

柏野 邦夫 (Kunio Kashino) メディア情報研究部 生体情報処理研究グループ

データと学習の科学

コミュニケーションと計算の科学

メディアの科学

人間の科学

データと学習の科学

コミュニケーションと計算の科学

メディアの科学

人間の科学

# 11

瞑想による注意対象外の視覚刺激に対する抑制の低下

## マインドフルネス瞑想の注意制御の仕組み

どんな研究	私たちは、集中してタスクを行う際、視覚などから入ってくる <b>タスクに無関係な感覚刺激を無意識的に抑制</b> しています。この抑制には疲労が伴います。一方、 <b>マインドフルネス瞑想を実施するとこの抑制が低下</b> すると考えられています。本研究では、この考えが正しいかを行動データで検証しました。
どこが凄い	<b>タスクと無関係な妨害刺激に対する抑制の程度を評価する方法を考案</b> しました。妨害刺激を抑制すると、その妨害刺激に対する <b>好意度が低下</b> するという <b>妨害刺激の価値低減効果</b> を活用した方法です。この方法を用いることで、 <b>30分の瞑想介入が妨害刺激に対する抑制を低下</b> させることを示しました。
めざす未来	近年、瞑想がウェルビーイングに貢献することがわかってきています。本研究を活用することで、瞑想において重要な、 <b>感覚や感情を抑制しないことの生理・心理・神経メカニズムの解明に迫</b> ることができます。そして、 <b>より効果的・効率的な瞑想実践法の開発に貢献</b> することができます。

### マインドフルネス瞑想研究の問題点

#### マインドフルネス瞑想

- 今この瞬間の経験に対して、**抑制することなく気づいている状態を実現する方法**



#### 従来の瞑想研究の問題点

- 瞑想が**感覚や感情に対する抑制を低下**させることを行動指標レベルで確認できていない
  - 従来の**注意妨害課題は、刺激に妨害されない程度は評価**できるが、**刺激に対する抑制の程度は評価できない**
- 評価方法を考案(実験1)→瞑想の影響を検証(実験2)

### 抑制の程度を評価する方法を考案(実験1)

#### ポイント：単純接触効果と妨害刺激価値低減効果に注目

- 無関係な刺激に繰り返し接触すると**慣れが生じてその刺激に対する好意度が高まる効果**
- 無関係で邪魔な刺激に繰り返し接触すると**抑制が生じてその刺激に対する好意度が高まらない効果**

#### 方法：注意課題と好意度判断課題を組み合わせる

- 表情顔が**注意対象刺激**となる注意課題(条件1)
- 表情顔が**注意妨害刺激**となる注意課題(条件2)

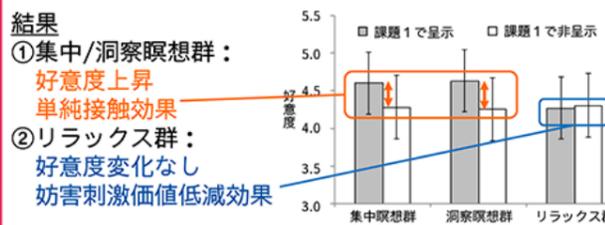
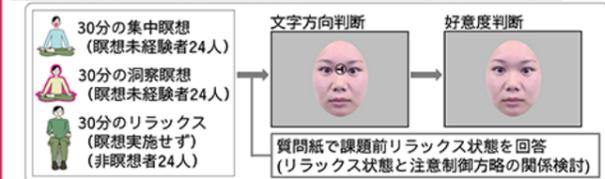


- 結果**
- ①条件1：**好意度上昇** → **単純接触効果**
  - ②条件2：**好意度変化なし** → **妨害刺激価値低減効果**
- 繰り返し接触すると好意度が高まる表情顔でも(条件1)、抑制すると好意度が下がる(条件2)  
→条件2の課題セットで、抑制の程度を評価できる

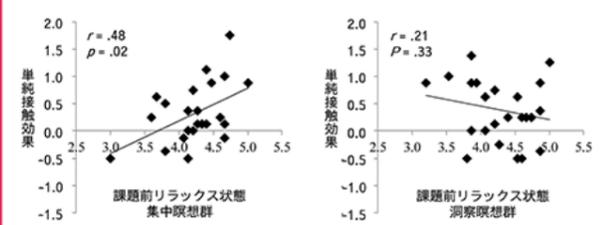
### 瞑想が抑制に与える影響の検証(実験2)<sup>[1]</sup>

**仮説** 瞑想によって妨害刺激に対する抑制が低下するならば、**表情顔が妨害刺激でも好意度は高まるはず**

#### 方法：実験1の条件2の課題セットに瞑想介入を導入



#### →集中瞑想と洞察瞑想で妨害刺激に対する抑制が低下



- ③**集中瞑想群**：リラックス状態と単純接触効果に相関あり → **リラックス状態の影響を受ける注意制御方略使用**
- ④**洞察瞑想群**：リラックス状態と単純接触効果に相関なし → **リラックス状態の影響を受けない注意制御方略使用**

**結論** 瞑想による妨害刺激に対する抑制の低下が確認できた  
集中瞑想と洞察瞑想では方略が異なる可能性がある

#### 関連文献

[1] M. Fujino, Y. Ueda, V. Inoue, Y. Ooishi, N. Kitagawa, M. Nomura, "Evidence of difference in emotion regulation between focused attention meditation and open monitoring meditation," in *Proc. Contemplative Science Symposium* (Poster sessions), 2019.

#### 連絡先

藤野 正寛 (Masahiro Fujino) 人間情報研究部 感覚共鳴研究グループ

# 12

遠隔操作ロボットにおける高追従低剛性制御の実現

## 離れていても柔らかく触れる？

どんな研究	ロボットを遠く離れたところから動かす技術は、遠隔医療や人が入れない危険環境の作業に役立ちます。このような遠隔ロボットは、 <b>正確に動くだけでなく、接触する物に柔らかく触れることが必要な場合</b> があります。私達は、通信遅延があってもロボットを柔らかく制御できる方法を開発しました。
どこが凄い	従来の、特に通信遅延がある遠隔操作ロボットでは、人の動きにうまく追従させながら対象物の形に合わせて柔らかく触れることが困難でした。本研究では、操作する人の動かし方から動作意図を推定することにより、 <b>操作側の動きに追従しながらも物に柔らかく触れる制御法</b> を実現しました。
めざす未来	人の意図を汲んで動きを自在に伝え、 <b>外界との優しいインタラクションを実現する遠隔操作法の開発</b> をめざします。さらに、人とロボットの安全な空間共有をめざし、人に寄り添う遠隔医療や介護ロボットの発展に貢献します。

### ロボットを遠くから動かす技術

- 遠隔ロボットは遠隔医療や人が入れない危険環境の作業に役立ちます。
- 効率的に作業するには、離れたロボットが**操作側の動きに正確に追従**することが必要です。
- 同時に、ロボットの動きに**柔らかさがなく**と、物と接触したとき危険です。

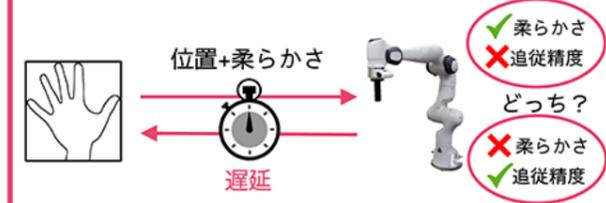


### 遠隔ロボットを柔らかく動かすには？

通信を介さないロボットは人の位置を正確に追跡しながら柔らかく動かすことができますが、遠隔ロボットは**遅延**により正帰還ループが発生するため、**追従精度と動きの柔らかさを両立**させることは困難です。

#### 従来法 (Tele-impedance法)

従来法では、操作者の位置や柔らかさを遠隔ロボットに送ることにより、ロボットの柔らかい動きをある程度実現できましたが、より柔らかくしようとすると、位置の追従精度が低下してしまいます。

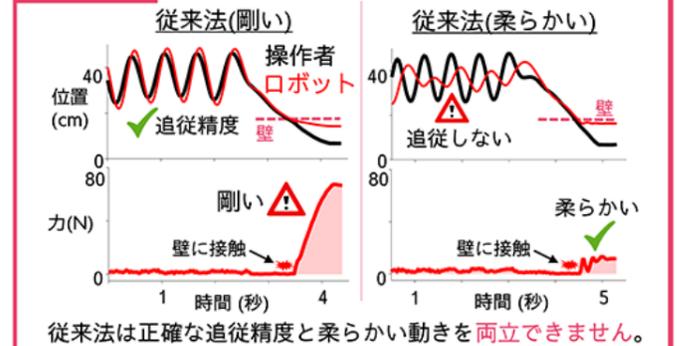


### 追従精度と動きの柔らかさを両立する技術

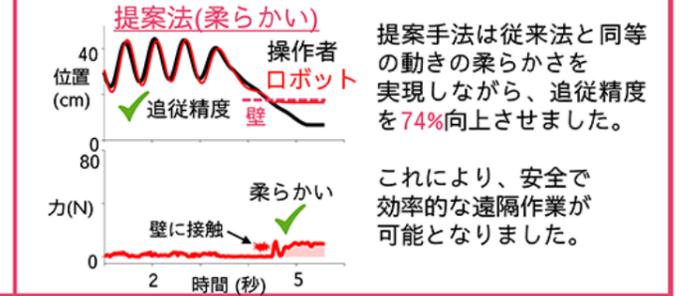
操作者の現在の動きから運動の**意図**(どう動こうとしているか)を推測し、通信遅延の影響を排除して遠隔ロボットを意図どおりに動かすという技術を開発しました。

- 操作者が手を動かす。
- 運動モデル[1]で**意図**を推測する。
- ロボットは操作者の**意図に従い**柔らかく追従する。

#### 実験結果



従来法は正確な追従精度と柔らかい動きを**両立**できません。



提案手法は従来法と同等の動きの柔らかさを**実現**しながら、追従精度を**74%向上**させました。

これにより、安全で効率的な遠隔作業が可能となりました。

#### 関連文献

[1] A. Takagi, Y. Li, E. Burdet, "Flexible assimilation of human's target for versatile human-robot physical interaction," *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 14, No. 2, pp. 421-431, 2020.

#### 連絡先

高木 敦士 (Atsushi Takagi) 人間情報研究部 感覚運動研究グループ

どんな研究	私たちの眼は、意識してなくても、無自覚な瞳孔反応や細かな眼球運動（マイクロサッカド）を起こしています。これらの瞳孔反応と眼球運動を測定することで得られるアイメトリクスを解析することで、人の注意や選好などの認知状態を推測します。
どこが凄い	私たちはアイメトリクスを測定・解析し、様々な測定データと様々な認知状態に一定の相関があることを発見しました。それぞれの関係性は、異なる脳内メカニズムを反映していると考えられ、脳の神経基盤のより深い理解につながります。
めざす未来	無自覚的な目の動きに基づいて、意識的なバイアスがかかっていない認知状態を読みだせる可能性が拓けます。将来、眼のデータが比較的簡便な装置で測定することが可能になれば、日常生活でパソコンやスマートフォンを使っている際の目の動きを観測した認知状態の計測や応用が期待されます。

アイメトリクスとは？

■アイメトリクスとは：目の特徴量の測定技術

瞳孔径の拡大縮小  
眼に入る光の強さ・交換神経系の活動  
瞳孔散大筋が収縮  
瞳孔括約筋が収縮

マイクロサッカド  
注視中の無意識な微小眼球運動  
注視中の無意識な微小眼球運動  
水平位置 (arc min)

対光反応：暗部に注目  
交感神経が活性化  
瞳孔散大筋が収縮

対光反応：明部に注目  
副交感神経が活性化  
瞳孔括約筋が収縮

■アイメトリクスの特徴・メリット

- 非侵襲＆簡便な計測
- 時系列の出力（リアルタイム性）
- 脳幹・自律神経系（「意識下」のプロセス）へのアクセス
- 視覚刺激による操作も可能

アイメトリクスを用いてマインドリーディングは可能か？

■マインドリーディングとは：ココロの状態（知覚・情動）の読み取り

■マインドリーディング達成のメリット

- 人それぞれ、その時々々の状態に合わせた最適な情報提示技術
- 心身の状態を自ら整える技術の確立に貢献できる

■アイメトリクスによるマインドリーディングは可能か？

- 瞳孔径変化・マイクロサッカドには広範囲にわたる脳（前頭葉、上丘、青斑核など）の活動が反映される
- これらの脳活動は、意識に上らないココロの状態と密接に関係する

本研究では、アイメトリクスを用いてココロの状態、すなわち

- 知覚認知（研究1）
- 情動（研究2）

を読み取れるか検証した

研究1：音への注意の読み取り [1]

【実験】 実験参加者の課題：明暗が左右に分かれた画面の中央を注視  
男性と女性の音声と同時に聞こえるなかで、事前に指示された音声に注意を向けて聞き取り、その内容を回答する

3秒 1秒 6秒 応答

注意対象の指示 例：“男性”または“女性”

画面の背景と音源の方向の関係：  
例：男性の音声に注意 → 左側に注意 → 暗い背景方向に注意

【結果】 あたかも注意を向けている音源の方向に視線を向けているかのような反応が観測された

暗い背景方向に注意  
明るい背景方向に注意  
有意差区間

瞳孔径 [Z]

マイクロサッカド方向の分布

左側に注意 右側に注意

複数音源が混在する状況下で、注意を向けている音源の方向を、瞳孔対光反応やマイクロサッカドが反映することを発見

研究2：魅力度評価の読み取りと介入 [2]

【実験】 顔の魅力度判断時の瞳孔径計測  
背景輝度の操作による縮瞳生起 → 顔の魅力度判断への影響は？

【結果】 魅力度が大きい顔に対してより大きな縮瞳

縮瞳は顔の魅力度評価を高める

全然魅力的でない  
最も魅力的

映像提示後の時刻 (s)

映像提示後の時刻 (s)

4.40  
4.63

縮瞳と顔の魅力度評価の間に相互作用があることを発見

関連文献

[1] H.-I. Liao, H. Fujihira, S. Yamagishi, Y.-H. Yang, S. Furukawa, "Seeing an auditory object: Pupillary light response reflects covert attention to auditory space and object," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 35, No. 2, pp. 276-290, 2023.

[2] H.-I. Liao, M. Kashino, S. Shimojo, "Attractiveness in the eyes: A possibility of positive loop between transient pupil constriction and facial attraction," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 33, No. 2, pp. 315-340, 2021.

連絡先

リャオ シンイ (Hsin-I Liao) 人間情報研究部 感覚表現研究グループ

どんな研究	ある視覚芸術作品を見た時に抱く感情や印象は人それぞれです。この印象の違いはどこからくるのか？本研究では、絵画を対象に、人が相応しいと捉えた感情カテゴリおよび自由に表現した記述テキストを解析することで、描写の捉え方や表現方法が絵画経験と言語圏によることを明らかにしました。
どこが凄い	従来は、少数の感情カテゴリから人が選んだ感情の分析が主流でした。本研究では、感情カテゴリ選択と自由記述で収集した大人数の印象データを、自然言語解析技術と統計解析を駆使して客観的かつ定量的に解析することで、各属性で選ばれやすいカテゴリや使われやすい語彙を明らかにしました。
めざす未来	人がモノに対して抱く感情や印象を詳細に推定することで、人と関わるコンピュータを個人に合わせてカスタマイズする技術の実現に貢献します。今後は、「その人だったらどんなことを言うか/言いたい」を模倣する対話技術に取り組み、コミュニケーション支援や効率化にも貢献します。

研究概要

視覚芸術に対して抱く印象の個人差理解に向けた属性間比較

従来、感情や印象に関する研究は、主に少数の基本感情カテゴリを対象としてきました。本研究では、人による違いを調べるために、複雑な感情カテゴリと自由記述を対象にします。

抱いた印象  
感情：畏怖  
理由：女性の表情に威厳を感じる  
Aさん 美術に馴染みあり

人の印象に関する研究対象  
幸福、怒り、驚き、悲しみなどの基本感情カテゴリ  
畏怖、満足、などを含む複雑な感情カテゴリ  
自由記述  
本研究で扱う印象

本研究では、特に人の感情を誘発することを目的に制作される絵画を対象に、抱く印象とその個人の属性との関係を調べました[1][2]。

個人属性を含めた印象データの収集

英語圏で行われた絵画に対する印象の先行研究(以降、ArtEmis-EN)を参考に、8つの感情カテゴリの選択と自由記述を日本人を対象に収集しました(ArtEmis-JP)。属性として、美術経験と語彙力を取得しました。

入力：絵画  
出力：言語で表現されたカテゴリ・文 (ArtEmis-EN同様)  
感情カテゴリ  
楽しい 畏敬の念、満足、興奮、怒り、嫌悪、恐怖、悲しみ、その他  
印象表現文 (自由記述テキスト)  
可愛らしく煌びやかで生き生きとした花

絵画の選択 1絵画あたりの人数を確保し効率的に収集するために、ArtEmis-ENの統計量を使い代表的な絵画216枚を偏りなく選択しました。

ArtEmis-ENで使用された絵画81,446枚  
本データの収集に使用した絵画216枚

選定基準：4つの尺度の全組み合わせ  
印象カテゴリの最頻カテゴリ(「その他」を除く) x カテゴリ分布のSD (3水準：大/中/小) x 印象表現文の類似度 (総当たり) の平均 (3水準) x 印象表現文の類似度のSD (3水準) = 216種類

参加者とデータ 1枚あたり50名以上(美術経験有無半数ずつ)収集することで、詳細な属性間比較を実現。(全539名)

	美術経験者	非美術経験者	
人数	263	276	539名 × 30枚 = 16,170の感情・自由記述文のペアを収集
年齢(歳)	32.4±4.6	32.9±4.7	1名あたり30枚
性別	78M-185F	100M-176F	画像あたり 74.86±9.41名

\*Panos Achlioptas, Maks Ovsjanikov, Kilichbek Haydarov, Mohamed Elhoseiny, Leonidas Guibas. Artemis: Affective language for visual art. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 11569-11579, 2021.

関連文献

[1] H. Narimatsu, R. Ueda, S. Kumano, "Cross-Linguistic Study on Affective Impression and Language for Visual Art Using Neural Speaker." in *Proc. 10th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*, 2022.

[2] 成松宏美, 熊野史朗, "絵画に対する個人の印象言語表現データの収集と分析," *人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会95回*, pp. 71-74, 2022.

連絡先

成松 宏美 (Hiromi Narimatsu) 人間情報研究部 感覚共鳴研究グループ

言語圏で異なる選ばれやすい感情カテゴリ

英語圏と日本語圏(日本人)の違いを、各カテゴリの選択頻度や同一絵画に対する最頻カテゴリの属性間比較を用いて明らかにしました。

選択された感情カテゴリの割合  
日本語圏では「満足」「興奮」「嫌悪」より「その他」

選択された感情カテゴリの割合  
日本語圏では英語圏と比較して、「その他」が選ばれやすい。  
一方、「畏敬の念」「満足」「興奮」「嫌悪」は選ばれにくい。

同一の絵画に対する最頻カテゴリの属性間比較の結果  
日本人は「怒り」より「恐怖」  
美術経験で英語圏の感情に近づく？  
英語圏 vs. 日本語圏  
日本人は「興奮」「楽しい」に分類  
日本人は「嫌悪」「怒り」を「恐怖」に分類

美術経験有 vs. 無  
日本語圏の選択傾向は、美術経験の有無によらず、比較的近い。  
「満足」「興奮」「怒り」は、美術経験者に選ばれやすい。

美術経験により変化する表現語彙

印象表現文の形態素解析と絵画から文を生成するモデルの精度・生成例の比較により、美術経験の有無による描写の違いを定量化しました。

形態素解析 品詞の中で印象が表れる形容詞の頻度をカテゴリ間で比較。

使用された形容詞の種類数  
楽しい 畏敬の念 満足 興奮 怒り 嫌悪 恐怖 悲しみ その他

美術経験の有無で使用する形容詞が異なる傾向あり。

文生成精度と生成例 各属性のモデルで推定の容易さ・生成特徴を分析。  
BLEU-3は、3単語の連なりで、文生成の精度を評価する指標。

学習データ	テストデータ	BLEU-3	和訳モデル
美術経験者	美術経験者	0.604	美術経験者モデル
非美術経験者	美術経験者	0.556	美術経験者モデル
非美術経験者	非美術経験者	0.627	非美術経験者モデル
美術経験者	非美術経験者	0.500	非美術経験者モデル

男性は深刻な表情に見える  
男性の表情が悲しそうに見える  
表情が怖い  
表情や仕草などの描写の捉え方に違いが見られる。  
非美術経験者の方が推定が容易  
類似した表現を用いやすい。

絵画引用元情報: https://www.wikiart.org/en/eduard-munch/self-portrait-1886

試技前の生理状態が勝敗を分ける

Table with 2 columns: どのような研究 (Research), どこが凄い (What's amazing), めぐす未来 (Future). Content discusses physiological states and performance in snowboarding competitions.

試技前の生理状態と競技パフォーマンスの関係 [1]

トップアスリートは適切な心身の状態で試合に臨んでいるのではないかと。アスリートは強いプレッシャー環境下で試合に臨んでいます...

リアルな大会でトップアスリートを計測 [2]

大きな生理状態変化が見込まれるスノーボードのビッグエア競技に着目【実験目的】トップアスリートが本気で勝負に臨める環境(実戦環境)で計測すること...

【計測対象】本番: 決勝, 非本番: 公開練習, 決勝後の余興。【計測場面】生理状態, 試技動作, 競技成績。

【解析】異なる場面間において、生理状態および試技動作をそれぞれ比較。生理状態・試技動作・競技成績の関係性(繋がり)を調査。

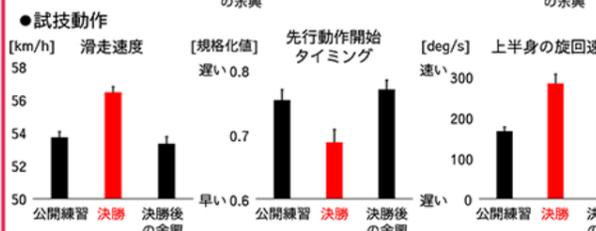
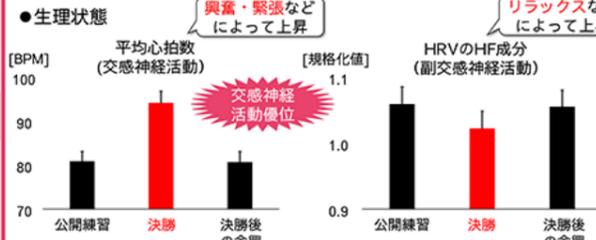
生理状態: 試技開始10分前にスタートエリア付近のテント内で、心電図などを座位安静で3分間計測。自律神経系(交感神経・副交感神経)の活動状態を推定...

競技成績: ジャンプ台付近に設置されたテントから3人のジャッジが採点したスコアの合計点。

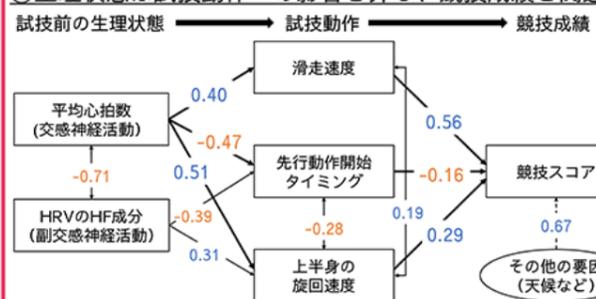


交感神経活動優位なほどパフォーマンスを發揮

①本番時は非本番時と異なる心身の状態に遷移



②生理状態は試技動作への影響を介し、競技成績と関連



■ トップスノーボーダーは試技前に交感神経活動が優位な状態に遷移し、滑走速度やスピン動作を速め、スピン開始タイミングを早めることにより、高いパフォーマンスを發揮していることがわかりました。

関連文献

[1] S. Matsumura, K. Watanabe, N. Saijo, Y. Oishi, T. Kimura, M. Kashino, "Positive Relationship Between Precompetitive Sympathetic Predominance and Competitive Performance in Elite Extreme Sports Athletes," Frontiers in Sports and Active Living, Vol. 3, 712439, 2021. [2] 松村聖司, 渡辺謙, 西條直樹, 柏野牧夫, "熟練フリースタイルスノーボーダーの試技前心理生理状態と試技中動作, 競技成績の関係," 日本スポーツ心理学第49回大会, 2022.

連絡先

松村 聖司 (Seiji Matsumura) 柏野多様脳特別研究室

自閉スペクトラム症者の聞こえ方を探る

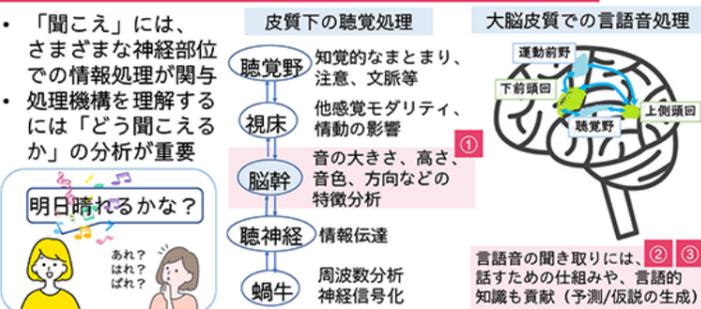
Table with 2 columns: どのような研究 (Research), どこが凄い (What's amazing), めぐす未来 (Future). Content discusses auditory processing in ASD and the 'hearing' experience.

ASD者の聴覚機能

ASDの診断基準: 社会的なコミュニケーションの障害、限定的・制限された行動 (American Psychiatric Association, 2013)

聴覚的特徴: 純音聴力に問題がなくても、妨害音がある時に、聞きたい音の聞き取りが難しい。人の声の聞き取りが難しい。

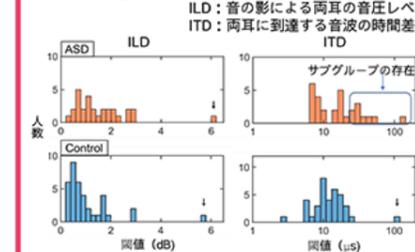
「聞こえ」の内容を深掘りし、原因に迫る



①両耳処理の特性 [1]

両耳間レベル差(ILD)・両耳間時間差(ITD)

方向定位、音源分離、雑音下の信号検出の重要な手がかり。ILD, ITDは脳幹にある上オリブ核で最初に処理。

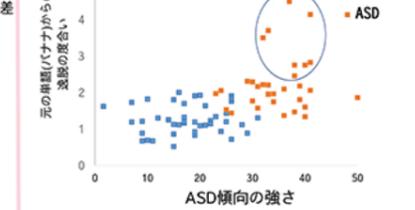


ASD群はILD, ITDの閾値が高い(感度が低い)特にITDでは感度の低いサブグループが存在。ASD者の中には音の方向定位・音源分離・雑音下の信号検出が難しい人がいる。

②知覚の変動性 [2]

反復単語変形効果(錯聴)

同一単語を反復再生したものを聞き続けると、音響的には変化していないにも関わらず、異なった内容に聞こえる錯覚が生じることがある。

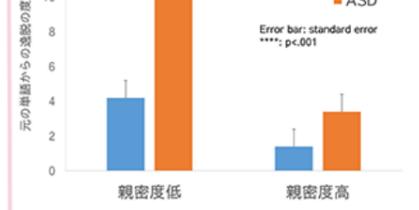


ASD群は定型発達群より多様な逸脱語を報告。例 ASD者: ペンダント、ハイランドなど。定型発達者: パナン、ナンバなど。

③言語的知識の影響

雑音下での単語聴取課題

親密度(低・高)語をノイズ下でそれぞれ提示、聞こえた内容を書き取る。親密度低: タカドノ、ソマヤマなど。親密度高: ドラヤキ、ルスパンなど。



ASD群は親密度が低い単語でより離れた語を報告。ASD者は雑音下で単語自体が「聞こえない」のではない。知覚内容が元の単語から大きく逸脱(知覚内容の違いが存在)。

聞こえの中身を検討することで、お互いの中にあるコミュニケーションの障壁の理解が深まる可能性

関連文献

[1] H. Fujihira, C. Itoi, S. Furukawa, N. Kato, M. Kashino, "Sensitivity to interaural level and time differences in individuals with autism spectrum disorder," Scientific Reports, Vol. 12(1), pp. 19142, 2022. [2] C. Itoi, N. Kato, M. Kashino, "People with autism perceive drastic illusory changes for repeated verbal stimuli," Scientific Reports, Vol. 9(1), pp.15866, 2019.

連絡先

糸井 千尋 (Chihiro Itoi) 柏野多様脳特別研究室

データと学習の科学

コミュニケーションと計算の科学

メディアの科学

人間の科学

データと学習の科学

コミュニケーションと計算の科学

メディアの科学

人間の科学

