



Creativity and Technology  
Design for an Unknown Future

NTT コミュニケーション科学基礎研究所

# オープンハウス 2021

6 / 3<sup>thu</sup> 4<sup>fri</sup>

On the Web

3日12:00より公開

NTT京阪奈ビルでの現地開催は行わず、  
特設ウェブサイトにて最新の研究成果を公開いたします。  
<http://www.kecl.ntt.co.jp/openhouse/2021/>



こちらのQRコードからも  
ホームページへアクセスできます。

ごあいさつ

## 創立30周年 「オープンハウス2021」へようこそ

NTT コミュニケーション科学基礎研究所

所長 山田 武士



NTTコミュニケーション科学基礎研究所は1991年7月4日に、ここ、けいはんな学研都市に創立しました。

当初から、コミュニケーションの本質とは、単に情報を正確かつ効率良く伝達することにとどまらず、お互いの理解を深め、意図や感動を共有し、心のふれあいを実現すること、との理念のもと、時代を先取りすべく基礎研究に取り組んで参りました。

まもなく当研究所が創立30周年を迎えることができるのも、ひとえに皆様のご理解と温かいご支援によるものと、ここに厚く御礼申し上げます。

新型コロナウイルス感染症対策のため、昨年に引き続きオンラインでの開催となる「オープンハウス2021」では、人工知能（AI）やメディア処理から人間の錯覚や脳科学まで、最新の研究成果を、講演動画・ポスター・デモコンテンツ等を通じて、内容を身近に感じていただけるよう、わかりやすくご紹介いたします。

不確実な時代だからこそ、当研究所が提案する未来への手応えを、オンラインであっても間近に、オンラインだからこそどこからでも気軽に、実感していただければ幸いです。

ごあいさつ	1
スケジュール	
●創立30周年にあたって／●講演	3
所長講演	
離れていてもここは君のそばにある ～ここら豊かな社会を創るコミュニケーションの本質探求～	5
招待講演	
遠隔時代の身体	7
研究講演	
聞きたい人の声に耳を傾けるAI ～深層学習に基づく音声の選択的聴取技術SpeakerBeam～	9
まなざしに宿る運動の巧みさ ～運動スキルを支える視線と腕の結びつき～	11
機械が会話のパートナーになる日 ～大規模深層学習で拓く雑談対話システムの新境地～	13
研究展示	15

### データと学習の科学

01 いろんなデータから学習法自体を学習します 特徴量が異なるタスク群からのメタ学習	17
02 みんなにとって公平な決め方、教えます 因果関係に基づく一人一人にとって公平な分類器の学習	18
03 ネットワーク構造に関する様々な質問に答えます ゼロサプレス型項岐決定グラフを用いたグラフ構造索引	19
04 寄せ集めで不揃いなデータでも学習できます 未知ドメイン・未知クラスへの自己教師あり適応学習	20
05 つながり関係からグループを見つける 無限の柔軟度を持つ関係データモデル	21
06 データから高速かつ正確に特徴を見つけます グループ正則化付き特徴選択の高速化	22
07 データを漏洩させない機械学習 革新的な非同期分散型学習アルゴリズムと医療画像への応用	23
08 街における感染リスクを可視化します 匿名センサ情報に基づく人流推定手法	24

### コミュニケーションと計算の科学

09 欲張り提供する量子クラウドはちゃんと動く 経済合理性に従うクラウド量子計算サーバは信頼できる	25
10 文章の隠れた構造を見える化します 疑似正解データを活用したニューラル修辞構造解析	26
11 専門家が二人一役で話します 話者融合による専門性の統合と学び合い	27
12 人から人への信頼を橋渡しするチャットボット ユーザの悩みを専門家に届けるチャットボットの設計と評価	28
13 楽しくおしゃべりできる対話システムの作り方 大規模深層学習に基づく雑談対話システムの構築と課題分析	29

### メディアの科学

14 光の位相で微弱な音を捉えます 精密光干渉計による非接触音場計測	30
15 騒がしい生活環境で、音声だけ高品質に取り出す 音源分離・雑音抑圧・残響抑圧の全体最適化	31
16 TVを視聴するだけで賢くなるAI クロスモーダル学習による動作概念の獲得	32
17 顔の表情でリアルタイムに声の表情をつくる 顔表情認識による音声変換技術	33
18 コロナ禍で知りたい：みんなが触ったのはどこ？ サーマルカメラによるモノタッチ判定とその実環境投影	34
19 テレ聴診器：音で体の中を診る 生体の物理的性質を活用した生体音響解析	35

### 人間の科学

20 少子化が人口密度に関係するってホント!? 生活史戦略による予測と実証	36
21 磁場をうごかす・磁場がうごかす 磁性触覚技術マグネタクトの発展と応用	37
22 硬い物体も柔らかく、粗い物体もなめらかに 触錯覚を応用した簡便な実物体の触感変調手法	38
23 触れる感覚が距離を越えて心をつなげます 触覚伝送による共感的な遠隔コミュニケーションの実現	39
24 お母さんが赤ちゃんの泣き声に近寄るワケ 母親の無意識な接近を制御する神経基盤因子オキシトシン	40
25 眼にあらわれる音への注意 微小眼球運動と聴覚空間注意	41
26 レースドライバーのもつ瞬きのパターン 実車運転競技中の瞬目同調から示唆される視覚情報の重要性	42
27 「ボールをよく見て!!」の本当の意味 腕運動学習に寄与する目と腕の協調関係	43
28 スマートフォンで運動能力を計る？ 運動のばらつきで利き手かどうかを簡単判定	44
29 豪速球を見極めて打つ脳力 素早い状況判断と運動制御を支える脳情報処理の仕組み	45

## ● 創立30周年にあたって

6月3日 [木] (13:00~13:15)

ご挨拶

NTT 常務執行役員 研究企画部門長 **川添 雄彦**

祝 辞

理化学研究所 理事長 **松本 紘**

## ● 講 演

6月3日 [木]

所長講演

(13:20~13:50)

**離れていてもこころは君のそばにある**

～こころ豊かな社会を創るコミュニケーションの本質探求～

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 所長 **山田 武士**

招待講演

+ 対談 + 展示体験レビュー  
(14:00~15:30)

**遠隔時代の身体**

東京工業大学 リベラルアーツ研究教育院 教授 **伊藤 亜紗**

6月4日 [金]

研究講演

(11:00~11:40)

**機械が会話のパートナーになる日**

～大規模深層学習で拓く雑談対話システムの新境地～

協創情報研究部 **杉山 弘晃**

研究講演

(13:00~13:40)

**まなざしに宿る運動の巧みさ**

～運動スキルを支える視線と腕の結びつき～

人間情報研究部 **安部川 直稔**

研究講演

(13:50~14:30)

**聞きたい人の声に耳を傾けるAI**

～深層学習に基づく音声の選択的聴取技術 SpeakerBeam～

メディア情報研究部 **マーク デルクロア**

## 祝 辞



理化学研究所 理事長

**松本 紘**

Hiroshi Matsumoto

## ● 略歴

- 1967年 4月 京都大学 工学部 助手
- 1974年 4月 京都大学 工学部 助教授
- 1975年 9月 NASAエームズ研究所 客員研究員
- 1980年 7月 スタンフォード大学 客員研究員
- 1981年 4月 京都大学 超高層電波研究センター 助教授
- 1987年 7月 京都大学 超高層電波研究センター 教授
- 1992年 4月 京都大学 超高層電波研究センター長
- 2000年 4月 京都大学 宙空電波科学研究センター 教授
- 2002年 4月 京都大学 宙空電波科学研究センター長
- 京都大学 評議員
- 2004年 4月 京都大学 生存圏研究所長、教授
- 京都大学 教育研究評議員
- 2005年10月 京都大学 理事・副学長
- 2007年 京都大学 名誉教授
- 2008年10月 京都大学 総長（～2014年9月）
- 2015年 4月 理化学研究所 理事長
- [兼務]
- 2018年 公益財団法人 国際高等研究所 所長（現在に至る）

## ご挨拶

日本電信電話株式会社  
常務執行役員 研究企画部門長**川添 雄彦**

Katsuhiko Kawazoe

## ● 略歴

- 1985年 3月 早稲田大学理工学部卒
- 1987年 3月 同大学大学院理工学修士課程修了
- 1987年 4月 日本電信電話株式会社 入社
- 衛星通信システム、パーソナル通信システムの研究開発
- 2003年 7月 同 サイバーソリューション研究所 主幹研究員
- 放送と連携したブロードバンドサービスの研究開発
- 2008年 7月 同 研究企画部門 担当部長
- コンテンツ流通チーフプロデューサー
- 2009年 9月 京都大学大学院 情報学研究科 博士後期課程修了
- 2013年 7月 日本電信電話株式会社 研究企画部門 統括部長
- 2014年 7月 同 サービスエボリューション研究所長
- 2016年 7月 同 サービスイノベーション総合研究所長
- 2018年 6月 同 取締役 研究企画部門長
- 2018年 一般社団法人 映像情報メディア学会 会長
- 2020年 6月 日本電信電話株式会社 常務執行役員
- 研究企画部門長（現在に至る）
- 2021年 一般社団法人 電子情報通信学会 次期会長 [代表理事]
- [兼務]
- 2019年 4月 NTT Research, Inc. 取締役（現在に至る）
- 2020年 1月 IOWN GLOBAL FORUM President and Chairperson
- （現在に至る）



# 離れていてもこころは君のそばにある

## ～こころ豊かな社会を創るコミュニケーションの本質探求～

I may be far away, but my heart will always be with you - Exploring the essence of communication to create a spiritually rich society -

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 所長

山田 武士

Takeshi Yamada

### 概要

NTTコミュニケーション科学基礎研究所(CS研)は1991年7月4日に創立されてから、今年で30周年を迎えることとなりました。この30年間、コミュニケーションの本質を究め、こころまで伝わるコミュニケーションの実現をめざして、メディア処理や機械学習など、人間の能力に迫り凌駕するための革新技术の創出と、認知神経科学や脳科学など、人間への深い理解につながる基本原理の発見に取り組んできました。本講演では、このような取り組みのいくつかを紹介します。

### はじめに

コミュニケーションの語源はラテン語のcommunicareで、何かを共通(common)化する行為を意味します。このことが示すように、コミュニケーションの本質は、情報を正確かつ効率良く伝達するのみならず、お互いの理解を深め、意図や感動を共有し、心のふれあいを深めることまでを広く含むものです。

CS研ではかつて t-Room という遠隔コミュニケーションシステムを研究していました。t-Room は、地理的および時間的に離れた複数のユーザがあたかも同じ部屋にいる感覚「同室感」を共有するシステムでした[1]。CS研はこのような、たとえ物理的には離れていても送り手のこころが受け手のこころに届く、すなわち、こころまで伝わるコミュニケーションの実現をめざしてきました[2]。

### 新たなコミュニケーション形態の創出

そもそもCS研では、音声音響処理や自然言語処理などコミュニケーションの基本技術に、電電公社時代から継続的に取り組んできました。加えて最近では、伝えたい内容を望みの表現に自在に変換して送受信する音声変換技術などにも取り組んでおり、人間の発声・聴覚機能を拡張することによる、新たなコミュニケーション形態の創出をめざしています。また、音声・言語以外にも、ふれあう感覚を距離を越えて共有する公衆触覚伝話やリモートハイタッチなど、触覚情報の伝送

と共有にも取り組んでいます[3]。

### 乳児にとってのコミュニケーション

コミュニケーションの本質理解のため、乳児のコミュニケーションや言語獲得にも着目しています。乳児にとってコミュニケーションは、物体の認識や知識や概念、語彙の獲得を促進する重要な手段です。実際乳児は、環境から得られる情報からさまざまな知識を学んでいますが、決して膨大な情報を無差別に処理しているわけではありません。CS研の研究では、乳児は、乳児向け発話などの養育者からのコミュニケーションシグナルを学習の手がかりとして利用し、学習すべき対象へ注意を適切に向け、環境から何をどのように学習すべきかを取捨選択していることがわかりました[4]。

### カテゴリや概念の獲得

人間は似たものをなるべくカテゴリとしてまとめることで、学習を効率化しています。例えば、一匹の動物を見かけたとき、その姿かたちがすでに学習済みのカテゴリの一つ、例えば「猫」と十分類似していればそのカテゴリの要素、猫、として認識します。これまで見たすべての物体を個別に記憶することは困難ですが、カテゴリとしてまとめるとコンパクトに記憶できます。すなわち、大量のデータに対して、必要に応じて柔軟にカテゴリを増やしたり、場合によっては減らしたりしながら、効率的に学習しています。

CS研ではこのような人間の柔軟なカテゴリ学習の計算機上での実現に取り組んでいます。例えば、顧客が購入した商品を行列形式で記録した購買データを用いて、顧客と商品の両方をカテゴリ分けすることを考えると、これは購買データ行列表を長方形分割することに相当します。この長方形分割のあらゆる組み合わせパターンの中から、最適な分割をデータに合わせて調整し効率的に学習する手法を考案しました[5]。

ここでカテゴリとしての「猫」は、ある特定の「猫」ではなく「猫」一般を抽象化したものです。更に、その姿かたちだけでなく、鳴き声や動作、さわり心地、それらの言語による表現な

ど、猫を表す様々な側面(異種のメディア情報)を統合して抽象化したものが「猫」の概念です。CS研では、異種のメディア情報の共起、すなわち同じものに端を発する異種のメディア情報は特定の関係性を持って現れることを利用し、陽に正解を教えられなくても自律的に概念獲得する人工知能の研究に取り組んでいます。

### 目はこころの窓

ここまで伝わると言っても、果たして人間がこころで思っていることを外側から読み取ることは可能でしょうか? CS研では、人間は魅力的な顔を見ると、無意識のうちに瞳孔が収縮することを発見しました。すなわち、リアルタイムで瞳孔の大きさを観測することができれば、その人のこころの中にある程度は読み取ることができます。一方で、輝度コントラストの変化などによって瞳孔を収縮させると、顔の魅力度の評価が高くなることも分かりました。すなわち、瞳孔の大きさを制御することによって人々の好みがある程度変えることができちゃうのです[6]。

### 多様な価値観の調和

現代社会は分断が進んでいると言われる。氾濫する情報の中で異なる意見に耳を傾けることもなく、グローバルズムかナショナルリズムか、集中か分散か、アナログかデジタルか、など、一見すると二律背反し、一方を取ると他方が犠牲になる問題によって人々の対立はますます深まります。しかしだからこそ、矛盾を許容し多様な価値観を認め合い、プライバシーは守りつつも、コミュニケーションを通じてお互いの理解を深め共感を広げることで、こころ豊かな社会を築くことが求められています。

機械学習においても、データ量の増大やプライバシー保護のため、学習データはローカルにあるサーバー群に分散して蓄積される必要が生じます。その状況で各サーバーがローカルに学習すると、それぞれ異なる、互いに矛盾したモデルが

学習されてしまいます。そこで、分散配置されたサーバー群とデータに対して、サーバー同士がコミュニケーションしコンセンサスを取りながらあたかも1か所にデータを集約したかのようなグローバルモデルを学習できる、非同期分散型の深層学習アルゴリズムを考案しました[7]。

また、CS研ではHiddenStereoという、裸眼で2D映像がクリアに見える3D映像生成技術を考案しました。すなわち、メガネを掛けて視聴する3D映像を楽しみたい人も、3D映像が苦手な2Dのほうを好む人も、どちらも互いを犠牲にすることなく、一緒に一つの映像を楽しむことができる技術です[8]。

### おわりに

人間のコミュニケーションにおいて、こころに思っていることをそのまま相手に伝える人はいません。もし皆がそうしたら、人間関係は崩壊し、社会の分断はむしろ進みます。そもそも自分のこころの中は自分自身ですらわかっていません。何をどう伝えるかはもちろん、何を伝えないかも含めてコミュニケーションの本質といえます。CS研は今後も、コミュニケーションの本質を探求することで、こころ豊かな社会を築くことをめざした基礎研究に取り組んでいきます。

山田武士:1988年東京大学理学部数学科卒、2003年京都大学にて博士号(情報学)を取得。1988年NTT入社、横須賀の情報通信処理研究所にて、当時のAI研究を担っていた知能処理研究部に配属。以来、組合せ最適化・データマイニング・機械学習などの研究に従事。1991年に京阪奈に創立された、コミュニケーション科学基礎研究所の創立当初のメンバ。同研究所にて、機械学習グループのリーダー、研究部長などを経て、2017年9月より現職。

1996-1997年、英国コベントリー大学客員研究員。

電子情報通信学会フェロー。

### ●関連文献

- [1] 未来の電話を考える一遠隔コミュニケーションシステムt-Room, 平田圭二, NTT技術ジャーナル 2007.6  
<https://www.ntt.co.jp/journal/0706/files/jn200706010.pdf>
- [2] あなたを・もっと・知りたくて——AIで人に迫り脳科学で人を究める, 山田武士, NTT技術ジャーナル 2020.9  
<https://journal.ntt.co.jp/wp-content/uploads/2020/08/JN202009012.pdf>
- [3] “近くにいる”を伝送できる公衆端末「公衆触覚伝話」を体験、隔月刊行 ふるえ, Vol.26, 2019 DEC.  
<http://furue.ilab.ntt.co.jp/book/201912/contents3.html>
- [4] 乳児期における社会的学習: 誰からどのように学ぶのか, 奥村 優子, 東京大学出版会 2020
- [5] 世界で初めて複雑なデータを無限の柔軟度で分類できる機械学習技術を実現  
～ヒトの脳のように自律的に適応する柔軟なAIの実現に向けて前進～  
<https://www.ntt.co.jp/news2020/2012/201207a.html>
- [6] Attractiveness in the Eyes: A Possibility of Positive Loop between Transient Pupil Constriction and Facial Attraction, Liao, H.-I., Kashino, M., & Shimojo, S., *Journal of Cognitive Neuroscience*, 33 (2), pp. 315-340. (2021).
- [7] エッジコンピューティング環境を想定した非同期分散型深層学習の実現  
～大量のデータを多サーバーに分散蓄積したままでも、モデル学習を可能にする技術～  
<https://www.ntt.co.jp/news2020/2008/200824a.html>
- [8] 裸眼では2D映像がクリアに見える3D映像生成技術を開発  
<https://www.ntt.co.jp/news2017/1705/170529a.html>



# 遠隔時代の身体

Bodies in the remote era



東京工業大学  
リベラルアーツ研究教育院 教授  
科学技術創成研究院  
未来の人類研究センター センター長  
環境・社会理工学院  
社会・人間科学コース 教授

**伊藤 亜紗**

Asa Ito

## ●プロフィール

2010年 東京大学大学院 人文社会系研究科  
基礎文化研究専攻 美学芸術学専門分野を単位取得退学  
同年 東京大学大学院にて博士号(文学)を取得  
2013年 東京工業大学リベラルアーツ研究センター 准教授  
2016年 東京工業大学リベラルアーツ研究教育院 准教授  
2019年 (3月ー8月)マサチューセッツ工科大学 客員研究員  
2021年 東京工業大学リベラルアーツ研究教育院 教授(現職に至る)  
受賞歴  
2017年 WIRED Audi INNOVATION AWARD 2017  
2020年 第13回「池田晶子記念わたくし、つまりNobody賞」  
2020年 サントリー学芸賞(社会・風俗部門)

## ●専門の内容

美学を専門としながら、身体性、哲学、アートに関連する  
横断的な研究をおこなう

## ●著書

『ヴァレリーの芸術哲学、あるいは身体の解剖』(水声社、2013)  
『目の見えない人は世界をどう見ているのか』(光文社、2015)  
『目の見えないアスリートの身体論』(潮出版、2016)  
『どもる体』(医学書院、2018)  
『記憶する体』(春秋社、2019)  
『情報環世界』(NTT出版、2019)(共著)  
『見えないスポーツ図鑑』(晶文社、2020)(共著)  
『手の倫理』(講談社、2020)  
『ヴァレリー 芸術と身体の哲学』(講談社、2021)ほか

新型コロナウイルスの感染拡大によって、私たちの生活は大きく様変わりしました。レジや受付などには透明の衝立が置かれ、親しい人とも距離をおいて座らなければならず、授業や会議はリモートで行われるようになりました。新しい生活の大原則は、言うまでもなく「距離をとること」です。

距離は断絶をもたらしますが、別の見方をすれば、新しいコミュニケーションが生まれるきっかけにもなります。離れていることで、私たちは何を失ったのか。離れていることは、逆にどんな可能性に開かれているのか。身体的なコミュニケーションの観点から考察します。

まず注目したいのは、触覚を介したコミュニケーションです。確かに、私たちの社会において重視されているのは「視覚」です。「目は口程にものを言う」の例のように、人間関係においても、視覚的な情報をもたらすニュアンスが大きな意味を持ちます。しかしながら、子育て、ケア、性愛、看取りなど、人生のさまざまな局面において、私たちは触覚を介したコミュニケーションも行なっています。そこには、視覚とは違う、触覚ならではの人間関係や倫理があります。

本講演では、この触覚ならではの人間関係や倫理のあり方を、視覚障害者など、日常的に触覚的コミュニケーションを多用している人たちの感覚をたよりに探ります。そこで大きな意

味を持つのは「信頼」です。信頼は、安心とは異なります。安心は、不確実な要素をなくそうとするあまり、相手を支配してしまふことになりがちですが、信頼は、相手に任せ、その自発性にゆだねることです。信頼は、人と人がお互いの潜在的な可能性を引き出しあう共創的なコミュニケーションにとっても不可欠なものです。

NTTと共同で開発させていただいている、視覚障害者とスポーツを観戦する方法「見えないスポーツ図鑑」についてもご紹介したいと思います。このプロジェクトでは、一〇種類の競技について、選手が感じているその競技の本質を、身近な道具を使って「翻訳」することを試みています。視覚障害者の視点を借りることで、振動やリズム、力のせめぎ合いといった触覚的な観点から、スポーツを再発見することができます。

離れていることで生まれるコミュニケーションの例としては、分身ロボットを介した関係の事例をとりあげます。分身ロボットを前にしている人は、それを操作しているパイロットと物理的に対面したり、お互いの体に接触したりすることはできません。しかしながら、そこにはかえってお互いの存在を強く感じるようなコミュニケーションが生まれています。距離をとることを強いられた時代に、「出会う」とは何なのか、考えてみたいと思います。



# 聞きたい人の声に耳を傾けるAI

## ～深層学習に基づく音声の選択的聴取技術SpeakerBeam～

Developing AI that pays attention to who you want to listen to - Deep learning based selective hearing with SpeakerBeam -



メディア情報研究部 信号処理研究グループ

**マーク デルクロア**

Marc Delcroix

### ●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 特別研究員。  
2008年 北海道大学 大学院情報科学 情報科学研究科 博士課程修了。  
博士(情報科学)。2010年にNTTに入社以来、音声強調、音声認識、目的話者抽出等の音声・音響信号処理の研究に従事。IEEE、日本音響学会の各会員。

人は、パーティ会場などの騒がしい環境の中でも、聞きたい人(目的話者)の手がかり(声の特徴、話している内容など)に注目してその人の声を聞き取ることができる、選択的聴取の能力を持っています。我々は、この選択的聴取をコンピュータ上で実現するため、長年にわたって研究を進めてきました。しかし例えば、複数人が同時に話す状況では、互いに似た特徴を持つ音声同士が混ざるため、その中から聞きたい話者の声を取り出すことは難しい課題です。これに対する従来技術として、混ざった音声を各話者の音声へ分離する音源分離技術(Blind Source Separation: BSS)があり、近年、高品質な分離が実現できるようになってきました。しかしBSSは(1)混合音声に含まれる話者数に関する事前知識もしくはその推定が必要(2)各分離音声と各話者との対応関係が不定なため、どの分離音声か目的話者の音声かが不明、といった制約があり、様々な応用先で利用する際の課題となっていました。

### 目的話者抽出

BSSに代わる新たな枠組みとして、混合音声から聞きたい話者の音声のみを抽出する、目的話者抽出技術が最近注目を

浴びています。目的話者抽出は、聞きたい話者の手がかりを補助情報として活用し、混合音声の中からその話者の音声のみを抽出します[1,2]。話者の手がかりとしては、例えば目的話者の声の特徴や唇の映像データなどが考えられます。目的話者抽出は混合音声の中の話者数に依らず目的話者音声のみを抽出できますし、抽出音声と話者の対応関係も明らかなたため、BSSが持つ課題を回避できます。

### ニューラルネットワーク(NN)による目的話者抽出 SpeakerBeam

我々は、目的話者抽出技術として、(Neural network:NN)を用いた新技術 SpeakerBeam[1,2]を提案しました(図1)。SpeakerBeamの特徴は、NNの挙動を制御するために、目的話者に関する何らかの手がかりを与える仕組みを導入したことにあります。SpeakerBeamは、図1にあるように、10秒程度の事前録音された目的話者音声からその特徴量を抽出するNN(①話者特徴抽出NN)と、抽出した特徴量を補助入力として混合音声から目的話者の音声を抽出するNN(②目的話者抽出NN)、の二つのNNによって構成されて

います。SpeakerBeamは、目的話者の手がかり（声の特徴）に基づく目的話者抽出、すなわち選択的聴取を、世界で初めて実現した手法です。ここで目的話者の手がかりとしては声の特徴以外にも様々なものが考えられるため、我々はさらにSpeakerBeamを複数の手がかりを選択的に利用可能なマルチモーダル(Multi-modal:MM)-SpeakerBeamも提案しました[3]。MM-SpeakerBeamでは、例えば音声と映像による複数モダリティの手がかりを活用することで、互いに似た声の話者の混合音声からの目的話者抽出性能を大きく向上することに成功しました。

SpeakerBeamの枠組みは、目的話者抽出の問題以外にも、様々な場面でもその応用が研究されています。実際、SpeakerBeamの登場を受けて、(1) 目的話者の手がかりに基づいてその人の発話区間を推定する(目的話者発話区間推定)問題[4]や、(2) 信号の抽出を経ずに目的話者の手がかりに基づいてその人の発話内容を直接的に推定する(目的話者音声認識)問題[5]などの新たな試みがなされています。

## 今後の展開

SpeakerBeamの応用先としては例えば、目的話者の声を聞き取りやすくする補聴器やボイスレコーダ、特定の人のみに

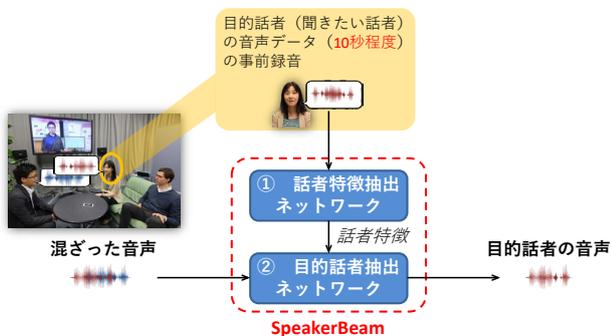


図1：目的話者抽出技術 SpeakerBeam の仕組み

反応するスマートデバイス、会議音声の議事録システムなど、様々なものが考えられます。さらに最近の進展として、音声だけでなく任意の音を抽出できる、ユニバーサル音抽出の研究にも取り組んでいます[6] (図2)。これは、音声や映像に基づく話者情報ではなく、聞きたい音の種類に関する手がかりを用いることで、該当する種類の音のみを抽出する枠組みです。この技術により、例えば、消防車の音と女性の声に注意し、犬の声や他の音を無視できるような未来の音声デバイスを実現できるようになると期待されます。また、人間は音や映像といった手がかりの他にも、話している内容(概念)といったより抽象度の高い手がかりに基づいて、自身の聞きたい会話に注目してその人の声を聞き取る能力を持っています。音や映像のような具体性のある手がかりを超えて、そうしたより抽象度の高い手がかりをも扱えるように拡張することができれば、我々の長年の研究目標である人間の選択的聴取の能力の実現により近づいていけるものと考えています。



図2：音声以外の音も扱えるユニバーサルサウンド抽出

## ● 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.
- [2] K. Zmolikova, M. Delcroix, K. Kinoshita, T. Ochiai, T. Nakatani, L. Burget, and J. Cernocky, “SpeakerBeam: Speaker aware neural network for target speaker extraction in speech mixtures,” *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 800-814, 2019.
- [3] T. Ochiai, M. Delcroix, K. Kinoshita, A. Ogawa, and T. Nakatani, “Multimodal SpeakerBeam: Single channel target speech extraction with audio-visual speaker clues,” *in Proc. Interspeech*, 2019.
- [4] I. Medennikov, M. Korenevsky, T. Prisyach, Y. Khokhlov, M. Korenevskaya, I. Sorokin, T. Timofeeva, A. Mitrofanov, A. Andrusenko, I. Podluzhny, A. Laptev, and A. Romanenko, “Target-Speaker Voice Activity Detection: A Novel Approach for Multi-Speaker Diarization in a Dinner Party Scenario,” *in Proc. Interspeech*, 2020.
- [5] M. Delcroix, S. Watanabe, T. Ochiai, K. Kinoshita, S. Karita, A. Ogawa, and T. Nakatani, “End-to-end speakerbeam for single channel target speech recognition,” *in Proc. Interspeech*, 2019.
- [6] T. Ochiai, M. Delcroix, Y. Koizumi, H. Ito, K. Kinoshita, and S. Araki, “Listen to what you want: Neural network-based universal sound selector,” *in Proc. Interspeech*, pp. 2718-2722, 2020.
- [7] Y. Ohishi, A. Kimura, T. Kawanishi, K. Kashino, D. Harwath, and J. Glass, “Pair Expansion for Learning Multilingual Semantic Embeddings Using Disjoint Visually-Grounded Speech Audio Datasets,” *in Proc. Interspeech*, 2020.

# まなざしに宿る運動の巧みさ

～運動スキルを支える視線と腕の結びつき～

Looking more, acting better –New concept of eye-hand coordination for skilled action–



人間情報研究部 感覚運動研究グループ

**安部川 直稔**

Naotoshi Abekawa

## ●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 特別研究員。2005年 東京工業大学大学院修士課程修了。同年、NTTに入社。2014年 京都大学大学院博士課程修了。2015年 University College London客員研究員。博士(情報学)。入社以来、人の視覚運動制御に係る研究に従事し、特に近年は運動学習メカニズムに興味を持つ。日本神経回路学会奨励賞、IEEE Computational Intelligence Society Japan Chapter Young Research Awards、次世代脳冬のWS優秀賞など受賞。電子情報通信学会、日本神経科学会、日本神経回路学会、北米神経科学会、各会員。

歩行や車の運転といった日常生活から、テニスや野球などのスポーツに至るまで、私たちの動きは巧みで滑らかです。昨今のAIは、囲碁や将棋で人を打ち負かし、画像認識も人と同等か、それ以上の精度を誇るようになりました。しかし、実環境で人と同等の運動機能を実現するロボットは存在しません\*。そのようなロボットの実現には、ロボットを構成・制御する技術の向上に加えて、人が巧みな運動を実現するメカニズム自体の解明が大きく貢献すると考えられます。さらに、実環境では状況に応じて、適応的に運動を修正していく必要がありますが、人がスポーツなどで新しいスキルを獲得する能力、つまり運動学習の仕組みの解明も待たれるところです。

人の運動機能を考える際、腕や足に加えて、目の動かし方が重要な要素になります。例えばテニスのレッスン時、「ボールを良く見て」と言われた経験はないでしょうか？また、一流のアスリートが、自身の目に関わる話をしていることを耳にしたことはないでしょうか？これらの例に代表されるように、脳は目と腕を協調させて動かす仕組みを持っています。本講演では、これらの仕組みについて従来の考え方を概説した後、私達の最近の取り組みによって明らかになってきた「目・

腕協調関係」の新たな重要性について紹介します。

\*自律移動型ロボットの発展を目指すロボカップ (RoboCup) では、サッカー競技において、人型ロボットが人の世界チャンピオンチームに勝つことを、2050年の目標として設定している。

<https://www.robocup.or.jp/>

## 目と腕が協調して動く仕組み

運動の一例として、「コップに手を伸ばす」ことを考えてみます。まず、位置を確認するためにコップに目を向けますが、同時に、コップの大きさ、水の量、掴みやすさなど、必要な情報を視覚的に取得します。人を含めた霊長類の視解像度は、目の中心で最も高く、周辺に向かうほど低くなることが知られています。脳は、これから行う腕運動にとって必要な情報をより正確に得るために目を先行的に動かし、適切な腕運動出力へとつなげています(図1A)。

このような目と腕の協調機構を探る研究が、人やサルの実験、脳活動計測など様々な手法を通じて数多く行われて

きました。例えば、腕に先行して目が動くことは上述の通りですが、その時間関係は常に一定の範囲内で保たれることが知られています。また、腕と目(視線)の最終到達地点も、相互に関連します。このような関係から、脳内の目と腕の運動生成システムは相互に情報をやり取りし、時空間的に協調した運動出力を行うメカニズムが存在すると考えられています。また、そのような協調関係は固定的なものでなく、達成すべき運動課題の種類によって柔軟に調節されます。協調機構を実現する脳メカニズムの全容はまだ明らかになっていませんが、大脳、小脳、脳幹を含む様々なネットワークの関与が示唆されています。

### 「目と腕の協調関係」に関する新たな考え方

先行研究では主に「静止目標への腕運動」が実験課題として用いられてきましたが、実環境では、目標物は複雑かつ予測できない動きをする可能性があります。テニスや野球を例にとれば、数百ミリ秒以内の厳しい時間制約の中で、即座に判断し、複雑な運動(運動スキル)を生成する必要があります。これらの環境においても、「目標物を常に目の中心で捉え、その目の動きに協調して腕運動が生成される」という従来研究の考え方は成り立つのでしょうか?さらには、新規の運動スキルを獲得・発揮する過程では、目と腕の協調関係はどのような重要性があるのでしょうか?これらの疑問点が、我々が研究を始めた出発点となっています。

NTTコミュニケーション科学基礎研究所では、突然動く目標物を追いかける腕運動課題[1]や、プロ野球選手のバッティング計測[2]など一連の研究を推し進め、その結果、複雑な運動スキルが求められる課題下でも、目・腕の間に一定の協調関係が成り立つことが分かってきました。一方、その時間関係や、目の向かう先など詳細な解析結果は、「目標を目の中心で捉える」という従来考え方とは必ずしも一致しません。

そこで私たちは、目と腕の協調関係は運動実行時に視覚情報を得る際に重要であるのみならず、腕運動のスキルを獲得する過程においても、その位置関係自体が重要な要素になっていると考えました(図1)。実際、腕運動学習のパラダイムを用いた実験から、目と腕の位置関係は、それらが一致している

状態であっても(図1A)、離れた状態であっても(図1B)、学習によって獲得される腕運動スキルと密接に関連していることが明らかになりました。具体的には、学習時とは異なる目と腕の位置関係で腕運動を行おうとすると、学習効果が発揮できなくなります[3]。このことは、運動スキルの獲得と生成には、「運動目標を常に見ること」以上に、「目と腕の位置関係を一定に保つ」ことが重要であることを示しています。

我々のこれまでの知見は、目の重要性に着目した新たなトレーニング法やリハビリテーションプログラムに応用できる可能性を示しています。また、目と腕の関係性は、脳が常に計算・処理・制御していることから、腕運動学習のみならず、人の様々な動き・ふるまいと関連していると考えられます。私達は今後も、目と腕の関係性を足掛かりとして、人の運動メカニズムを本質的に理解し、人の自然なふるまいを引き出すインタフェースの設計や、人とロボットの効果的なコミュニケーション設計など、ICTに新しい価値を幅広く提案していきます。

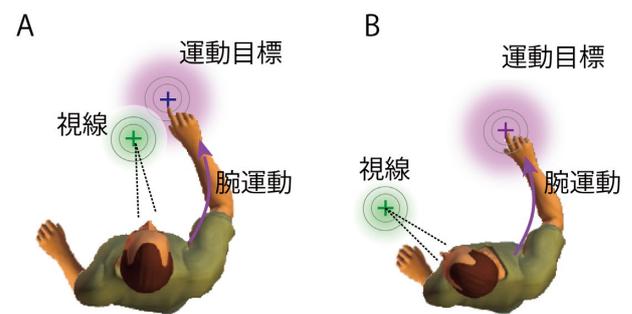


図1 目と腕の協調関係 A. 感度の高い視野中心で運動目標を捉え、腕運動を行う例。目・腕協調関係に関する従来考え方は、正確な視覚情報を得て腕運動を行うという機能面に着眼点が置かれ、視線を運動目標に向けることの優位性が主に議論されてきた。B. 視線と運動目標が離れた状態で腕運動を行う例。私達の研究成果により、視線と運動目標が「一致している・離れている」という位置関係自体が、腕運動・腕運動学習で利用される重要な要素になっていることが明らかになってきた。例えば、視線が運動目標とは異なる場所に向けられた状況(図B)であっても、その状況で獲得した新たな運動スキルを効果的に発揮するためには、目と腕運動が離れた状態を保つ必要がある。

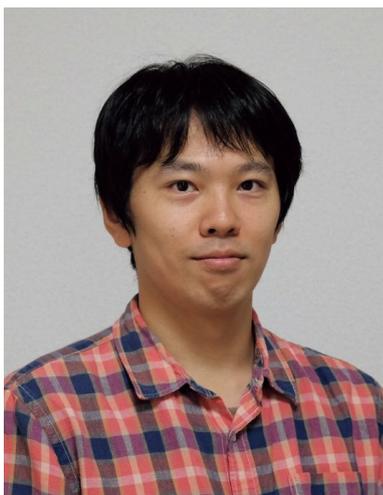
### ● 関連文献

- [1] N. Abekawa, T. Inui, and H. Gomi, "Eye-hand coordination in on-line visuomotor adjustments," *Neuroreport*, vol. 25, no. 7, pp. 441-445, May 2014
- [2] Y. Kishita, H. Ueda, and M. Kashino, "Eye and head movements of elite baseball players in real batting," *Front. Sports Act. Living*, vol. 2, p. 3, 2020.
- [3] N. Abekawa, S. Ito, and H. Gomi, "Different learning and generalization for reaching movements in foveal and peripheral vision," in *Proc. Adv. Mot. Learn. Mot. Control*, 2019.

# 機械が会話のパートナーになる日

## ～大規模深層学習で拓く雑談対話システムの新境地～

The coming ages when AI becomes our conversation partners - Cutting edge of conversational systems with large-scale neural network models -



協創情報研究部 知能創発環境研究グループ

杉山 弘晃

Hiroaki Sugiyama

### ●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 主任研究員。  
2009年東京大学情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻修了。同年、  
NTT入社。博士(工学)。対話システムの研究に従事。IEEE、人工知能学会、言  
語処理学会、情報処理学会各会員。対話破綻検出チャレンジ、対話システムライ  
ブコンペティション等、雑談対話システム関連のコンペティションの優勝多数。

私たちは日々、周りの人々との雑談を楽しみながら生活しています。このような人の対話欲求を充足させることを目的とするシステムを雑談対話システムと呼びます。システムとの対話は、場所や時間に制約されません。そのため、独居の人々や、高齢者施設・病院等で生活している人のコミュニケーション機会の増加に有用であると考えられています。

### ■雑談対話システムの一般的な作り方

では、雑談対話システムは、どのように作られているのでしょうか。最もシンプルかつ広く使われている方法に、ルールベースと呼ばれる、人手で応答ルールを作成するやり方があります。ユーザが「こんにちは」と言ったら「こんにちは」と返す、「眠い」と言ったら「おやすみ」と返す、というような、想定されるユーザ発話に対して、設計者が定めたシステム発話を返す方法です。人手で応答文を作るため、制御性が高く不適切な発話をする危険性が低い、時事ネタのようなユーザを楽しませる発話を用意しやすい、といった利点があります。こうした利点から、SiriやAlexa等、現在の商用システムのほとんどは、ルールベースで実現されています。

### ■複数ロボットの利用による破綻感の軽減

ところが、実際にこれらの対話システムと話してみると、どうにもうまく話が噛み合わず、対話が破綻してしまうことがあります。調べてみると、発話単体への応答としては妥当だけでも、対話の文脈にそぐわない応答、というものが多く観察されたのです。しかし、文脈を考慮して応答発話を出力したくとも、発話履歴の組み合わせが膨大となるため、ルールでは考慮できません。

そこでNTTでは、複数のロボットを連携させて対話を進め、2体目のロボットが適宜割り込んで発話し文脈をリセットすることで、比較的小さな数のルールデータを使う場合でも、文脈との齟齬に対するユーザの違和感を軽減する方法を考案しました [1]。また、ロボット同士の自然な対話をあらかじめ作りこんでおくことで、対話が破綻しかけたときでもロボット間対話を挟み込んで対話を自然に継続させたり、ユーザ発話を起点として展開される話の流れを作り出せたりすることもわかりました。この機能を応用し、京都市動物園で「物知りAIロボット」の実証実験を行い、来場者と動物について知識を深める対話を実現しています [2] (図1)。

## ■大規模深層学習による急速な性能向上

ここまでご紹介したルールベースのシステムは、人が作った発話を選択させるか、単語を組み合わせてテンプレートに当てはめるといった方法で作られていました。一方で近年、深層学習と呼ばれる技術が急速に進展しており、自然言語処理研究全体に非常に大きな影響をもたらしています。特に、大量のテキストデータで文の自然さをあらかじめ学習する、という方法を用いることで、文の生成能力が飛躍的に向上しています。雑談対話システムも例外ではなく、2020年に相次いで、深層学習を利用した高性能な雑談対話システムが英語圏で提案されました。

NTTでも、これまでの研究で蓄積してきた大規模テキスト対話データに基づく深層学習により、非常に自然な雑談を行うシステムを実現しています [3]。このシステムは、雑談対話システムの性能を競う「対話システムライブコンペティション3 (ライブコンペ3)」で圧倒的な性能で最優秀賞を獲得しました。ライブコンペ3では、システムが対応できる話題の幅広さを評価するため、ユーザは2つの固有名詞を話題として選択し、それらに触れるよう対話する、というレギュレーションがありました。図2にライブコンペ3でのユーザとの対話(左がシステム)を示します。このユーザは、「水曜どうでしょう」というバラエティ番組と、「渡辺麻友」というタレントを話題として選んでいました。従来のシステムではここまで細かい話題に適切に応答することは困難だったのですが、私たちの構築したシステムは、渡辺麻友についてはよく知らない、としつつも、見事に応答し続けることに成功しています。

## ■今後の展望

深層学習によって、非常に自然な発話文を生成できるよう

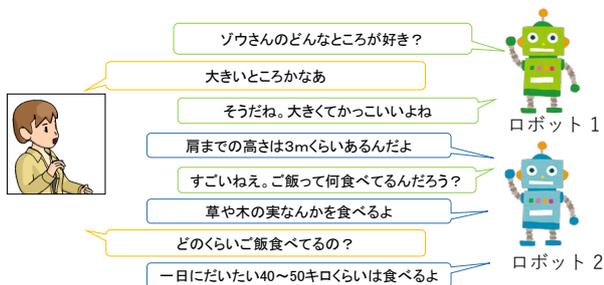


図1：物知り AI ロボットの対話例

になった現在でも、課題は山積しています。例えば現在のシステムは、発話の一貫性や事実性について考慮せず、文の自然さ(生成確率)のみを用いて学習されているため、過去の発話と矛盾したことや、事実と異なる「嘘」をよく発話します。さらに、対話の内容や相手のことを記憶していないため、数か月に渡って繰り返し対話し続けることは困難です。人の対話欲求を継続的に満たす雑談対話システム実現に向けて、これらの課題に取り組んでいく予定です。

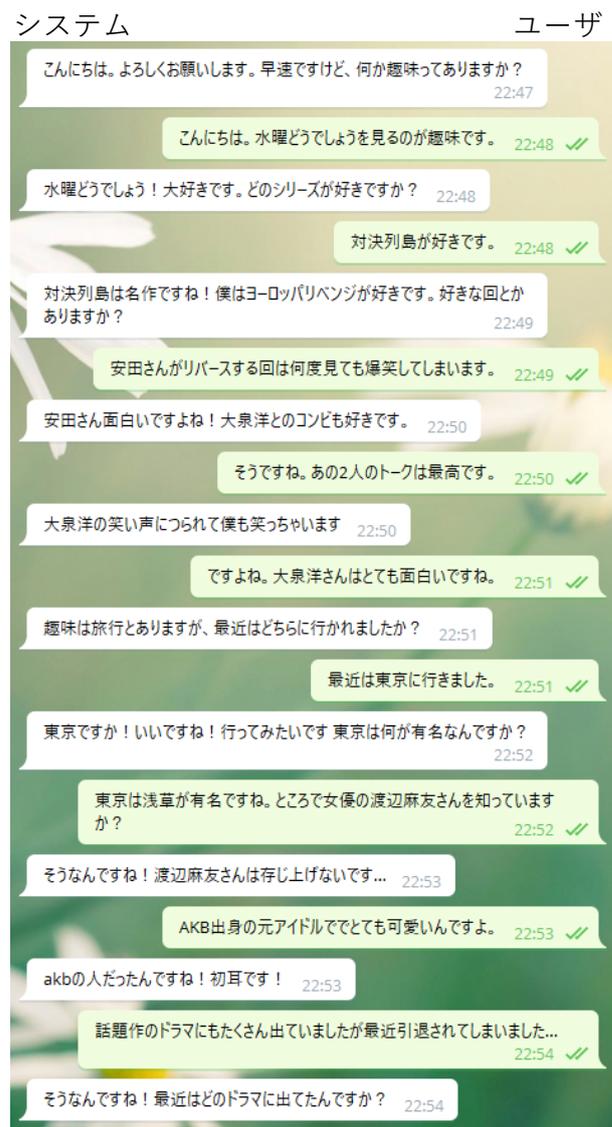


図2 対話システムライブコンペティション3での対話例

## ●関連文献

- [1] H. Sugiyama, T. Meguro, Y. Yoshikawa, J. Yamato, "Improving dialogue continuity using inter-robot interaction," in *Proc. 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 105-112, 2018.
- [2] 杉山弘晃, 水上雅博, 成松宏美, "複数ロボット協調による一問一答型雑談対話からの脱却," 第32回人工知能学会全国大会, 2018.
- [3] 杉山弘晃, 成松宏美, 水上雅博, 有本庸浩, 千葉祐弥, 目黒豊美, 中嶋秀治, "Transformer encoder-decoder モデルによる趣味雑談システムの構築," *言語・音声理解と対話処理研究会 (SIG-SLUD)*, Vol. B5, No. 02, pp. 104-109, 2020.



# 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「こころまで伝わる」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術の創出に取り組んでいます。オープンハウス2021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29展示をご紹介します。

## データと学習の科学

機械学習技術に基づくデータ解析を基礎から活用事例まで包括的に紹介します。

- 膨大なデータを高速・正確かつ詳細に分析したい
- 多様なリソースを活用して、データの解像度を高めたい
- 柔軟・高速・正確な学習と推論を機械にさせたい

## 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研究・計算の限界に挑戦する研究を紹介します。

- 効率のよいネットワークやノイズに強い量子計算機を設計したい
- コンピュータとのやりとりを、楽しくかつ信頼できるものにしたい
- 対話システムや機械翻訳を状況に合わせて柔軟に対応させたい

## 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。

- 多様な環境で所望の音を利用可能にしたい
- 各種メディアの本質をとらえ、概念を自動で獲得したり、相互に変換したい
- メディア情報処理をもとに医療・公衆衛生への応用をしたい

## 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。

- 人の知覚・運動特性を理解し、感情表現や運動評価・学習をサポートしたい
- お母さんの行動メカニズムを理解し、少子化対策・子育て支援につなげたい
- アスリート達がつもつ秀でた能力の秘密を解明したい

# トピックマップ

展示内容に頻出する単語の重要度を文字の大きさと、その周辺に関連展示を配置しました

## 量子コンピューティング

9 欲張りが提供する量子クラウドはちゃんと動く

18 コロナ禍で知りたい：みんなが触ったのはどこ？

1 いろんなデータから学習法自体を学習します

6 データから高速かつ正確に特徴を見つけます

8 街における感染リスクを可視化します

## 感染症対策

14 光の位相で微弱な音を捉えます

## 計測

15 騒がしい生活環境で、音声だけ高品質に取り出す

## 機械学習

## ネットワーク

17 顔の表情でリアルタイムに声の表情をつくる

## 音声

4 寄せ集めで不揃いなデータでも学習できます

## アルゴリズム

3 ネットワーク構造に関する様々な質問に答えます

## システム

19 テレ聴診器：音で体の中を診る

7 データを漏洩させない機械学習

16 TVを視聴するだけで賢くなるAI

13 楽しくおしゃべりできる対話システムの作り方

## 雑談

11 専門家が二人一役で話します

5 つながり関係からグループを見つける

## データ

## エージェント

## コミュニケーション

## 関係

2 みんなにとって公平な決め方、教えます

10 文章の隠れた構造を見える化します

## 対話

12 人から人への信頼を橋渡すチャットボット

## 聴覚

25 眼にあらわれる音への注意

## 無意識

29 豪速球を見極めて打つ脳力

## 運動

20 少子化が人口密度に関係するってホント!?

## 社会

24 お母さんが赤ちゃんの泣き声に近寄るワケ

## 錯覚

## スポーツ

26 レースドライバーのもつ瞬きのパターン

## 注意

28 スマートフォンで運動能力を計る?

23 触れる感覚が距離を越えて心をつなげます

## 触覚

22 硬い物体も柔らかく、粗い物体もなめらかに

27 「ボールをよく見て!!」の本当の意味

## 磁場

21 磁場をうごかす・磁場がうごかす

# 01

## 特徴量が異なるタスク群からのメタ学習

### いろいろなデータから学習法自体を学習します

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

深層学習で高性能を達成するためには膨大な学習データが必要です。本研究では、**複数の異なるタスクのデータを活用**することで、目的のタスクにおいては**少量のデータでも高性能**を達成する手法を考案しました。これにより例えば異なる工場でのデータからの学習が可能となります。

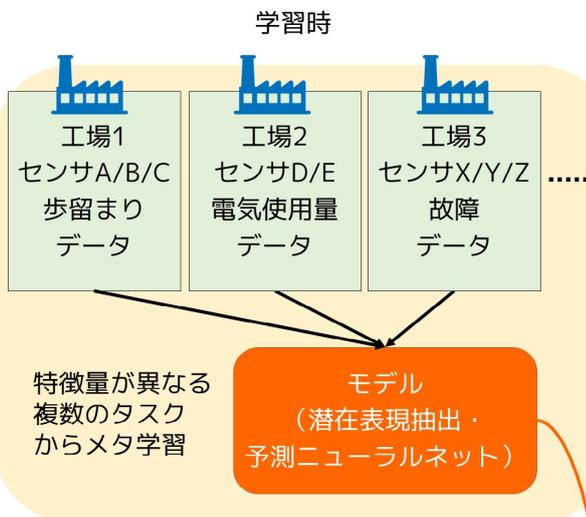
#### どこが凄い

ニューラルネットを用いた従来のメタ学習では、特徴量やラベルが異なるタスクのデータを同時に扱えませんでした。本研究では、**特徴量やラベルが異なるタスクのデータを扱うことができるニューラルネット**を設計し、それを活用したより柔軟なメタ学習を実現しました。

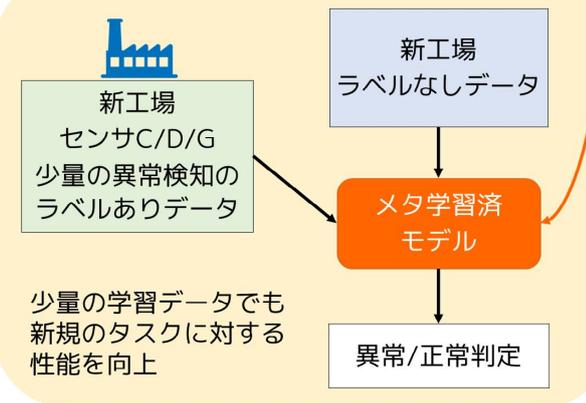
#### めざす未来

機械学習の適用を考える際、少量の学習データしか入手できない適用分野の場合は、機械学習技術を有効に活用することができません。本技術を発展させることで、**機械学習技術の適用範囲を広げ**、様々な分野で価値を生み出していくことをめざします。

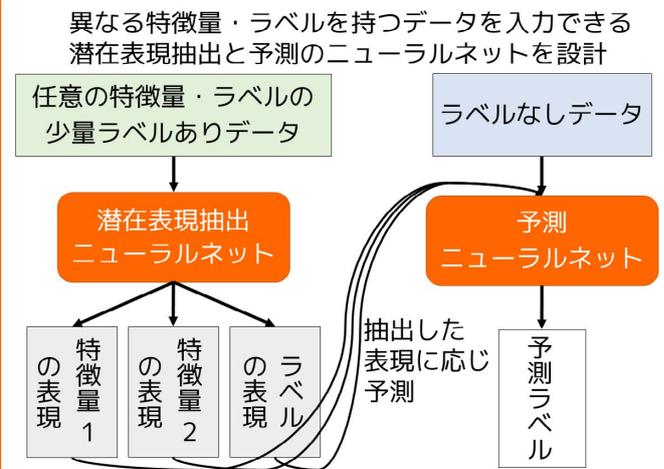
#### 例：異なる工場でのタスクからのメタ学習



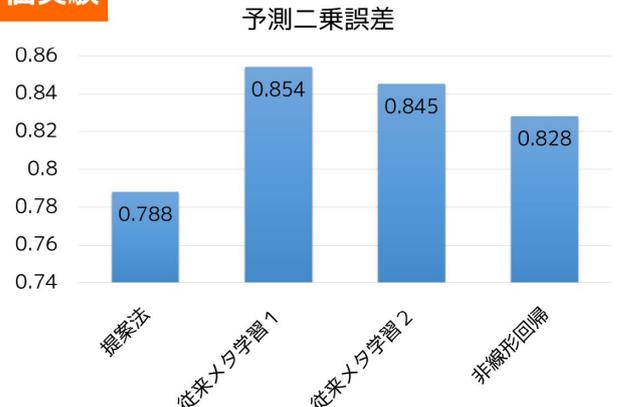
#### テスト時



#### 提案モデル



#### 評価実験



データ：機械学習データ共有サービスOpenMLに登録されている事例数10-300、特徴量数2-30の特徴が異なる59の帰帰問題に関するタスク

#### 関連文献

[1] T. Iwata, A. Kumagai, "Meta-learning from Tasks with Heterogeneous Attribute Spaces," in *Proc. Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 2020.

#### 連絡先

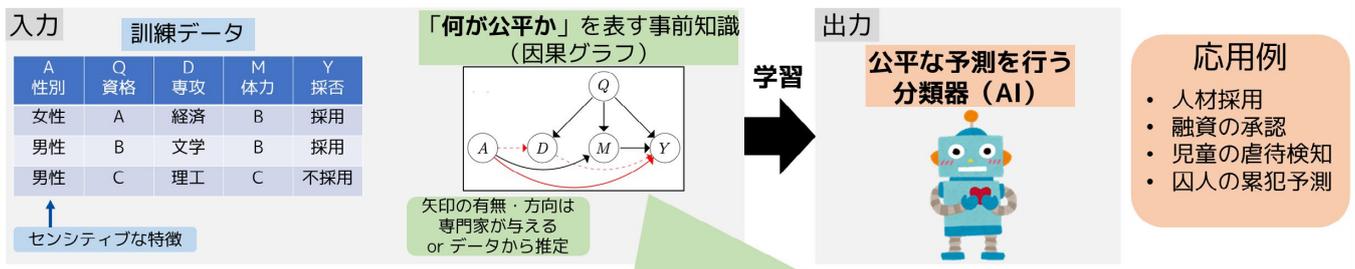
岩田 具治 (Tomoharu Iwata) 上田特別研究室  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 02

## 因果関係に基づく一人一人にとって公平な分類器の学習 みんなにとって公平な決め方、教えます

<b>どんな研究</b>	融資承認や人材採用、囚人の累犯予測など、人間に対する重大な意思決定を機械学習予測によって行うための研究です。この実現に向け、性別・人種・宗教・性的指向など、人間が持つセンシティブな特徴に関して公平で、かつ高精度な予測を行うための技術を考案しました。
<b>どこが凄い</b>	例えば「体力を要する職種なので体力が理由の不採用は差別的でない」といった要請に基づき、不要な制約なしに学習することで予測精度を高めます。従来法ではデータが特定のモデルから生じている場合のみ公平性を保証可能でしたが、提案法では様々なデータで公平性を保証できます。
<b>めざす未来</b>	「何が公平か」は人や社会の価値観とともに移り変わるものです。社会的な要請と技術的な限界に向き合いながら、より柔軟に社会的要請に応じられる機械学習技術を実現し、一人一人が不利益を被ることなく、同時に、効率的な意思決定を行える社会に貢献できればと考えています。

### 問題：人間に対して公平な予測（意思決定）を行うAIを学習



### ポイント1：高精度な予測を実現

個々の意思決定に求められる要請を事前知識として活用することで不要な制約を課すことなく学習し高精度な予測を実現

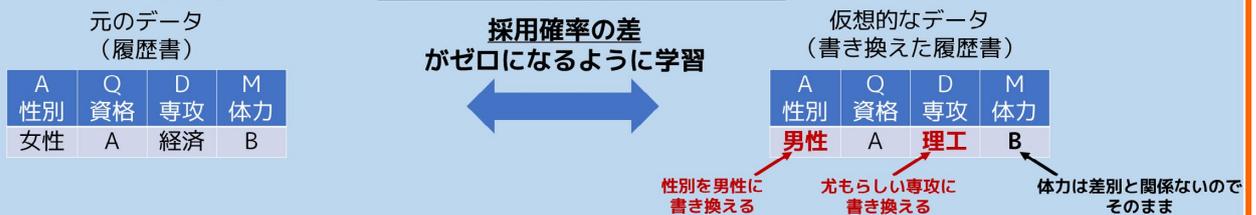
### 例：体力を要する職種における人材採用の場合

- 性別Aによって採否Yを決定するのは**差別的** ( $A \rightarrow Y$ )
- 専攻Dによって採否Yを決定して採用率に性差が生じるのは**差別的** ( $A \rightarrow D \rightarrow Y$ )
- (体力は必要なので) 体力Mによって採否Yを決定するのは**差別的でない** ( $A \rightarrow M \rightarrow Y$ )  
1., 2.によって生じる採用率の性差には制約を課す必要があるが  
3.によって生じる採用率の性差に制約を課すのは**不要** (予測精度を下げてしまうだけ)

### ポイント2：様々なデータに対し個人公平性を保証可能

どのような関数形（モデル）から生じたデータでも各個人一人一人に対し**予測が公平**になるように学習できる

### 各個人ごとに、差別による決定結果のちがいをゼロにする



### 難しさ

履歴書を適切に書き換えるためにはデータの生成式を正しく表す必要があり、扱いやすい関数形（モデル）から生じたデータでなければ近似不可能<sup>②</sup>

### 提案法

- データの生成式によらず推定できる差別度を新たに提案
- この差別度をゼロにすれば**差別による決定結果のちがいをゼロ**にできる

### 関連文献

[1] Y. Chikahara, S. Sakaue, A. Fujino, H. Kashima, "Learning Individually Fair Classifier with Path-Specific Causal-Effect Constraint," in *Proc. the 24-th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*, 2021.

### 連絡先

近原 鷹一 (Yoichi Chikahara) 協創情報研究部 知能創発環境研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

## 03

## ゼロサプレス型項分岐決定グラフを用いたグラフ構造索引

## ネットワーク構造に関する様々な質問に答えます

## どんな研究

ネットワーク構造に関する情報を小さく表現する**部分構造索引**を用いて、効率的に特定の構造を発見したり、数を数えたりする方法を研究しています。部分構造索引を用いると、通信網や道路網などの、**ネットワーク構造**をもつ多様な問題を効率的に解くことができます。

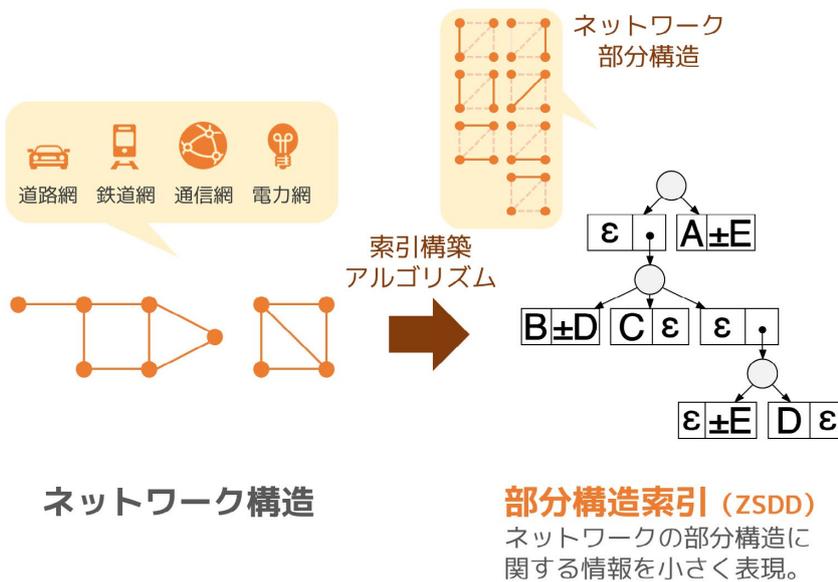
## どこが凄い

新しい部分構造索引である**ゼロサプレス型項分岐決定グラフ (ZSDD)**、およびZSDDを**効率的に構築するアルゴリズム**を考案しました。考案した技術を用いるとこれまでよりも小さな索引を構築できます。索引を小さくしたぶんだけ多様な問題をより**高速に解決**できます。

## めざす未来

アルゴリズムの改良は、コンピュータの性能向上だけでは容易に達成できない、計算の劇的な高速化をもたらします。考案したアルゴリズムを利用しやすい形で整備することにより、応用問題でより良い解を発見できるようになるなど、**効率的な社会の実現**に貢献します。

## ネットワークに関する質問に答えるための部分構造索引



## 部分構造索引のメリット

ネットワークの部分構造の**発見**や**数え上げ**が**高速**に実行可能に。

## 応用

- 効率のよい移動経路の発見
- 配送経路候補の提示
- 通信網の故障耐性の評価
- 移動経路のシミュレーションなど。

本技術は京都大学との共同研究成果です。

## 部分構造索引実現のためのポイント

## 1. ZSDD (ゼロサプレス型項分岐決定グラフ) [1]

既存の索引と同等の機能を持ちつつ  
**より小さな表現が可能。**

## 2. ZSDD構築アルゴリズム [2,3]

既存の索引構築アルゴリズムよりも  
**最大で数百倍の高速化**を達成。

ネットワーク	索引の大きさ		構築時間 (ミリ秒)	
	ZSDD (提案法)	ZDD (既存法)	ZSDD (提案法)	ZDD (既存法)
att48	279,613	387,715	3,494	3,005
berlin52	937,746	3,194,017	11,826	62,706
eil51	838,254	7,178,190	25,828	94,272
ulysses22	3,036	16,762	39	65
grafo10106	1,756	4,057	28	53
grafo10183	224,373	16,414,697	2,866	538,878
grafo10223	1,009,299	7,313,087	48,563	128,097
grafo10248	16,524	47,605	301	672

## 関連文献

- [1] M. Nishino, N. Yasuda, S. Minato, M. Nagata, "Zero-suppressed Sentential Decision Diagrams," in *Proc. 30th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 16)*, 2016.
- [2] M. Nishino, N. Yasuda, S. Minato, M. Nagata, "Compiling Graph Substructures into Sentential Decision Diagrams," in *Proc. 31st AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 17)*, 2017.
- [3] Y. Nakahata, M. Nishino, J. Kawahara, S. Minato, "Enumerating All Subgraphs Under Given Constraints using Zero-suppressed Sentential Decision Diagrams," in *Proc. 18th Symposium on Experimental Algorithms (SEA 2020)*, 2020.

## 連絡先

西野 正彬 (Masaaki Nishino) 協創情報研究部 言語知能研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 04

## 未知ドメイン・未知クラスへの自己教師あり適応学習

### 寄せ集めで不揃いなデータでも学習できます

<b>どんな研究</b>	深層学習には、質・量ともに学習に適したデータセットが必要になりますが、それが入手可能となる場面は限られます。本研究では、 <b>様々な状況や条件で取得した寄せ集めのデータでも、事前に整理することなく、そのまま深層学習に利用できる手法を提案します。</b>
<b>どこが凄い</b>	寄せ集めのデータで学習する場合、「着目すべき情報」だけでなく「無視すべき情報」も捉えてしまい、モデルの認識性能が低下する問題が頻発します。提案手法では、「無視すべき情報」を推定し、この影響を受けないように学習することで、モデルの認識性能を飛躍的に改善しました。
<b>めざす未来</b>	様々な医療機関の診療データや、複数の工場設備のメンテナンスデータなど、現実には不揃いで寄せ集めのデータが多く存在します。本研究によって、これらのデータが活用が容易になり、 <b>従来の深層学習の枠組みを越えたデータ活用による、新たなサービスの創出に貢献します。</b>



性能	判断根拠のヒートマップ	特徴空間の可視化結果						
<p><b>提案手法は高精度に認識</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・従来手法は無視すべき情報に依存してしまい学習に失敗</li> </ul> <table border="1"> <tr> <th>比較手法</th> <th>精度 [%]</th> </tr> <tr> <td>従来手法</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>提案手法</td> <td>77.4</td> </tr> </table>	比較手法	精度 [%]	従来手法	3.6	提案手法	77.4	<p>提案手法は対象物体部分に注目</p>	<p>提案手法では同じ色（正解ラベル）のデータごとに分布</p> <p>異なる正解が混在して分布 → 誤認識をしやすい</p> <p>正解ごとに分布 → 正しく認識できる</p>
比較手法	精度 [%]							
従来手法	3.6							
提案手法	77.4							

#### 関連文献

[1] 三鼓悠, 入江豪, 伊神大貴, 柴田剛志, “教師なしドメイン適応の一般化とその解法,” 第23回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU), 2020.  
 [2] Y. Mitsuzumi, G. Irie, D. Ikami, T. Shibata, “Generalized Domain Adaptation,” in *Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2021.  
 [3] R. Tobias, R. Stiefelwagen, “Adaptiope: A Modern Benchmark for Unsupervised Domain Adaptation,” in *Proc. IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 2021.

#### 連絡先

三鼓 悠 (Yu Mitsuzumi) メディア情報研究部 メディア認識研究グループ  
 Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 05

## 無限の柔軟度を持つ関係データモデル

### つながり関係からグループを見つける

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

ソーシャルネットワーキングサービスにおける利用者の繋がり関係や、商品群に対するユーザの購買履歴など、ネットワーク・グラフを含む関係データは、我々の身近に現れます。本研究では、**関係データの中に隠れたグループを見つける**ことを目的としています。

#### どこが凄い

関係データからグループを見つける際、グループの数やサイズを人手で適切に設定するのは困難です。そこで、グループの数やサイズを入力データのサイズや性質に応じて**データ駆動的**に自動調整してくれる能力を持った関係データ解析手法を提案しました。

#### めざす未来

関係データの中に潜むグループを見つけ出すことによって、そのデータを特徴づける重要な性質を明らかにすることがあります。**より大規模な関係データから適切なグループを見つけ出す**ことで、より効率的に情報を保管・探索・検索するため技術の発展へ貢献していきます。

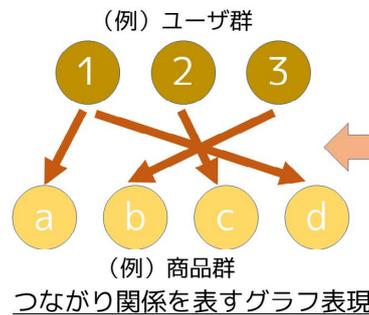
### つながり関係からグループを見つける

- つながり関係とは
  - ・ 人 x 人のネットワーク
  - ・ 人 x 商品の購買ログ
- つながり関係内のグループとは
  - ・ 結びつきの強い人のグループ
  - ・ 特定の人達が好んで買う特定の商品

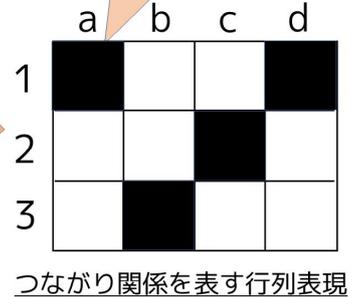
#### 応用先:

- ・ 感染症拡大防止のための地域の潜在的クラスタの発見
- ・ 購買確率の高い商品を提示するための商品推薦システム

#### つながり関係の2つの表し方

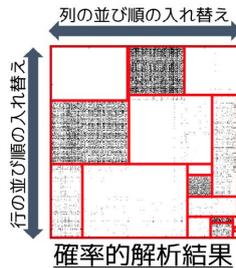
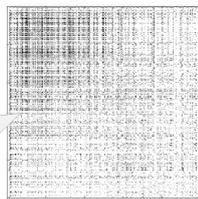


(例) ユーザ1が商品aを購入した場合「黒」で色分け



#### つながり行列データからの長方形クラスタ抽出

入力行列のサイズは一般には未知であり、潜在的には**無限の行と列**を持つ可能性がある。

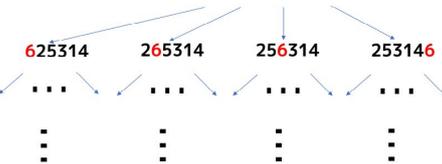


ありとあらゆる長方形分割（無限の場合の数）に対して入力データへの適応度合の高さを推論したい。

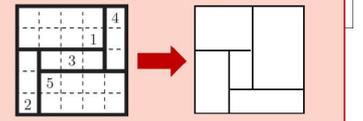
**貢献1: バクスター順列 [Baxter, 1964] と呼ばれる特別な制約を持つ順列の無限木の確率過程化**

#### バクスター順列の無限木

取り扱いの容易なバクスター順列の世界での解の探索

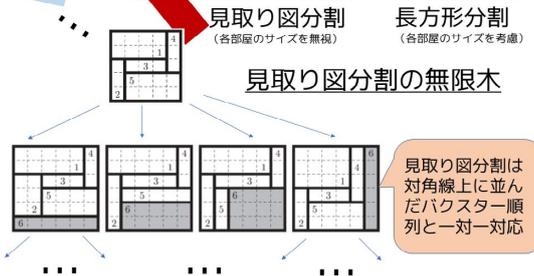


#### 貢献2: 見取り図分割から長方形分割への変換を確率モデル化



全射 [Reading, 2012]

見取り図分割の無限木



全単射 [Hong+, 2000]

#### 関連文献

[1] M. Nakano, A. Kimura, T. Yamada, N. Ueda, "Baxter Permutation Process," in *Proc. Advances in Neural Information Processing Systems 33 (NeurIPS)*, 2020.

#### 連絡先

中野 允裕 (Masahiro Nakano) メディア情報研究部 メディア認識研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

## どんな研究

データ分析において、データから重要な特徴のグループを見つけることは基本的なタスクの一つです。しかし、データの規模が大きいとその計算に時間がかかってしまいます。本研究では、**特徴グループの選択において精度を劣化させずに高速化を実現しました。**

## どこが凄い

本技術は不要な計算を安全にスキップし、重要そうなグループを重点的に最適化することで、標準的な手法と比較して**精度を維持したまま最大35倍の高速化**に成功しました。また、本技術は追加のハイパーパラメータがないため、**追加のチューニングコストも不要**です。

## めざす未来

グループをはじめとした複雑な構造を持つデータの分析を高速化することで、**複雑かつ大規模なデータから価値を創出**できるようになります。本研究を発展させることにより、**多種多様なデータから価値を創出し社会へ還元できる未来の実現**をめざします。

## 背景：データ分析と特徴グループの選択

□ データから重要な特徴グループを選択することは、データ分析では基本的なタスクの一つです。

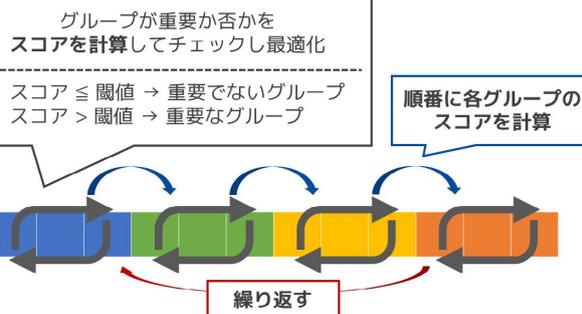
例：全国の都道府県の天候データから、東京の天気予報にとって重要な都道府県を見つけたい。



どの特徴グループが重要か？

## 課題：選択の計算に時間がかかります

□ ビッグデータではグループの選択に時間がかかります。



「スコア計算の回数」と「全体の繰り返しの回数」がボトルネックとなり時間がかかります。

## 提案手法：精度を劣化させずに高速化します

□ 2つのアイデアを利用し高速化します。

## 1. 不要なスコア計算を安全にスキップします。

重要でないグループのスコア計算を安全にスキップすることでスコア計算の回数を減らします。



スコアをより高速に計算できるスコアの上界で近似することで**重要でないグループ**を高速に特定します。

スコアの上界  $\leq$  閾値  $\rightarrow$  重要でないグループ

## 2. 重要なグループを重点的に最適化します。



目的関数を最小化するように**重要なグループ**を重点的に最適化することで**全体の繰り返し回数の削減を狙います。**

スコアをより高速に計算できるスコアの下界で近似することで**重要なグループ**を高速に特定します。

スコアの下界  $>$  閾値  $\rightarrow$  重要なグループ

実験では標準的な手法と比べて**精度を維持したまま最大で35倍の高速化**に成功しました。

## 関連文献

- [1] Y. Ida, Y. Fujiwara, H. Kashima, "Fast Sparse Group Lasso," in *Proc. Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 1700-1708, 2019.  
 [2] 井田安俊, 藤原靖宏, 鹿島久嗣, "Sparse Group Lassoのための高速なBlock Coordinate Descent," *人工知能学会論文誌*, 36(1), 2021.

## 連絡先

井田 安俊 (Yasutoshi Ida) ソフトウェアイノベーションセンタ  
 Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

どんな研究

1か所に集約したデータを使ってモデルを学習することが一般的です。しかし、データ量の激増やプライバシー保護の観点からデータ蓄積や学習/推論処理は分散化されるでしょう。データを各ノード(例: 基地局)から外に出すことなく、機械学習モデルを学習する手法を提案します。

どこが凄い

分散蓄積されたデータは、統計的に偏っていると仮定することが自然です(例: 一部クラスのデータが存在しない)。その状況で、ノード同士がモデル等の変数を非同期に交換(通信)しながら、全データを使って学習したかのようなグローバルモデルを得るアルゴリズムを開発しました。

めざす未来

地域/国/世界中のデータ全体を間接的に取り扱えるようにすることで、プライバシーを保護しながらも、高度な知を形成したり、高性能なサービス(例: 医療)を提供できるようにしたいです。

目的・アプリケーション

背景: データ量の増大、プライバシー保護、法的規制(e.g. GDPR)の観点で、データの処理(学習/推論)が分散化される時代になる。

目的: 分散蓄積されたデータを各ノード(e.g. 基地局)から外に出すことなく、深層学習モデルを学習したい。(ただし、モデルの更新差分等の補助情報をノード間で交換することを許容。)



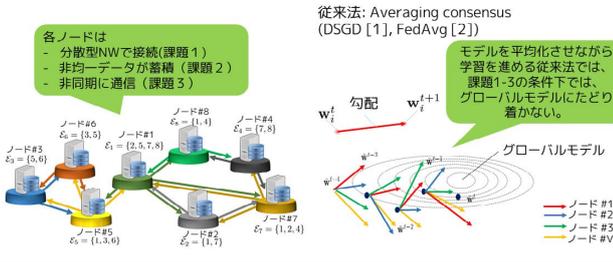
研究の課題 (難しいポイント)

目的: 全部のデータを一か所に集約し、一か所で学習したモデルと同等のもの(グローバルモデル)を得たい。

課題1 (分散、P2P型) サービス規模を任意のスケールで拡張するために、任意のネットワーク(NW)構造を利用できるようにしたい。

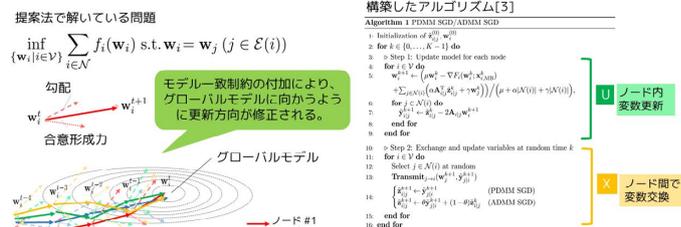
課題2 (非均一データ) 統計的に偏ったデータが各ノードに蓄積されても、安定して学習したい。

課題3 (非同期通信) NW全体が同期して通信しなくても、安定して学習したい。



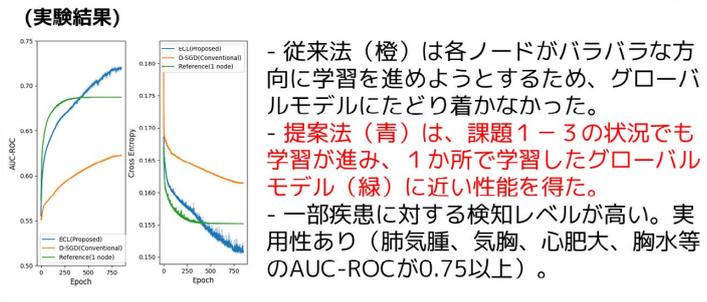
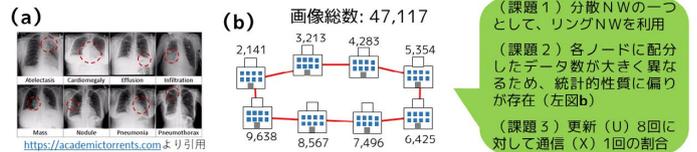
非同期分散型深層学習アルゴリズム

提案方式: 制約付最小化問題を変形して再帰的な学習則を導出。その学習則では、(U) ノード内で変数(モデルとその補助変数)を更新するステップと(X) ノード間で非同期に通信(補助変数を交換)を交換するステップを交互に繰り返す。(任意のネットワーク構造で非同期通信で動作)



医療画像解析応用

胸部X線画像[4]から14種類の疾患(下図a)を診断するモデルを生成。ただし、8箇所の病院(ノード)からデータを外に出さない。



関連文献

[1] J. Chen, A. H. Sayed, "Diffusion adaptation strategies for distributed optimization and learning over networks," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 60, No. 8, pp. 4289-4305, 2012.

[2] B. McMahan, E. Moore, D. Ramage, S. Hampson, B. A. y Arcas, "Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data," in *Proc. Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS 2017)*, pp. 1273-1282, 2017.

[3] K. Niwa, N. Harada, G. Zhang, W. B. W Kleijn, "Edge-consensus learning: deep learning on P2P networks with nonhomogeneous data," in *Proc. the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining (KDD 2020)*, pp. 668-678, 2020.

[4] National Institutes of Health (NIH) clinical center, ChestXray14 data set.

連絡先

丹羽 健太 (Kenta Niwa) 協創情報研究部 知能創発環境研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 08

## 匿名センサ情報に基づく人流推定手法 街における感染リスクを可視化します

<p><b>どんな研究</b></p>	<p>感染者の移動経路を知ることで街における感染リスクを把握できますが、個人の移動情報の収集にはプライバシーの問題があります。本研究では、プライバシーに配慮しながら感染リスクを把握するために、<b>街における匿名化された通過情報から感染者の移動経路集合を推定する手法</b>を考案しました。</p>
<p><b>どこが凄い</b></p>	<p>移動経路をより良く推定するためには、匿名化された通過情報を正しく説明する人々の経路パターンからより適切なものを選ぶ必要があります。本技術では、<b>人の移動の背景にあるモデル</b>を考慮し、<b>通過情報間の相関関係</b>を調べることで、推定精度を高めることができました。</p>
<p><b>めざす未来</b></p>	<p>これから実現されるスマートシティにおいて、<b>感染症対策</b>は街が担う機能の1つとして考えられています。本技術によって、個人の移動経路という個人情報収集することなく、<b>匿名化して収集した情報</b>から街にいる人々の<b>感染リスクを推定</b>することができます。</p>

### 研究の概要

**目的：**  
感染症対策のために感染リスクを把握したい。  
感染者の移動経路がわかれば良いが、  
移動情報の収集にはプライバシーの問題がある。  
**本技術：**  
街における**匿名化された通過情報**から  
**複数の感染者の移動経路**を推定する。

### 技術のフレームワーク

- 交差点にセンサを配置し、人の持つ端末と通信することで、匿名化された通過情報（通過時刻、通過位置、匿名ID）を得る。（匿名IDは短時間で変更され、人の移動は追跡できない。）
- 匿名IDを基に各通過情報が感染者によるものかを判定し、感染者の通過情報のリストを得る。（各通過情報がどの感染者に対応するかはわからない。）
- 感染者の通過情報のリスト**から**提案技術**を用いて、**複数の感染者の移動経路**を推定する。

### 技術のポイント

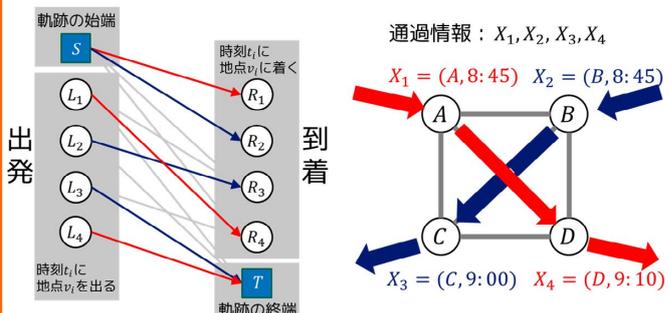
**人の移動モデル**  
(移動傾向、移動時間)  
を考慮し、**通過情報間の遷移確率**を推定する。



技術課題：同じ時間帯に同じエリアに人数が多くいる場合、通過情報を説明する移動経路の集合の候補は**膨大**になる。  
全ての候補を列挙して調べることは難しい。

↓

解決策：**最も可能性の高い移動経路の集合**を見つける問題を**最小費用流問題**に帰着することで、効率的に最適解が得られる。  
「地点Aを通過」＝「地点Aに到着」＋「地点Aを出発」とみなすことで、「出発」と「到着」を対応させる問題として表現できる。  
「出発」と「到着」を対応させる費用を  $-\log(\text{通過情報間の遷移確率})$  とすると、費用の総和を最小化する最小費用流問題が定式化できる。  
費用の総和を最小化する対応が**最も可能性の高い移動経路の集合**となる。



**関連文献**  
[1] 松田康太郎, 池内光希, 高橋洋介, 豊野剛, “感染経路を推定可能なスマートシティ基盤の実現に向けた匿名センサ情報に基づく人流推定手法,” ネットワークシステム研究会, 2020.

**連絡先**  
松田 康太郎 (Kotaro Matsuda) ネットワーク基盤技術研究所  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

どんな研究

量子コンピュータをクラウド方式で運用する際、ユーザがサーバから受け取る計算結果の正しさを保証する手法についての研究です。量子コンピュータにはノイズの影響を受けやすいという性質があるため、実用的なクラウド量子計算の実現には、そのような保証機能の実現が不可欠です。

どこが凄い

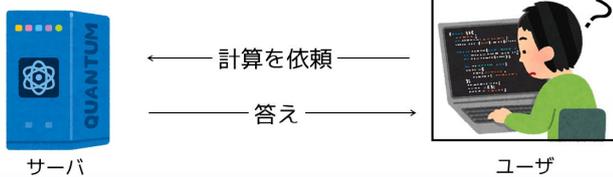
保証機能を既存の通信技術で実現する場合、従来手法では、量子コンピュータの動作を短時間に制限する必要があります。今回、我々は、**経済合理性の概念を導入し、短時間制限を取り除くことに成功しました**。本成果は**従来よりも幅広い量子コンピュータアーキテクチャに適用可能**です。

めざす未来

我々の手法を発展させることで、既存の（古典）ネットワークに大規模量子コンピュータを組み込むことをめざします。これにより、大規模量子コンピュータが実現した際、**世界中誰でもどこからでも量子コンピュータの恩恵を受けられるようなネットワークの構築が可能**になります。

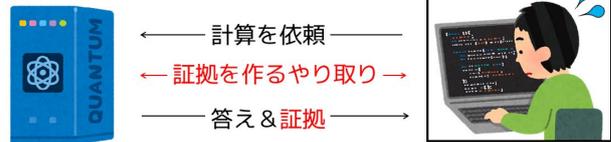
クラウド量子計算の実現に向けた課題

- 量子コンピュータは高い計算能力を持つが、ノイズの影響を受けやすく、**メンテナンスに専門知識が必要**なため、これをクラウドサービスとして提供する**クラウド量子計算**が現実的
- 量子コンピュータは現在のコンピュータでは解けない問題に利用するため、得られた結果の正しさ確認することはユーザには困難であり、**サーバが実は量子コンピュータを使っていなかったとしても、それを見破れない**



既存のアプローチの限界

依頼通りに量子コンピュータで計算した**証拠をサーバに作らせて、それをユーザが確認**



量子コンピュータをもってしても**証拠の偽造ができないようにするため、強い仮定や余分なやり取りが必要**

- 既存手法①：量子コンピュータでも破れない複雑な暗号を仮定
- 既存手法②：ユーザに特殊な量子通信デバイスが必要

⇒ユーザへの負担が大きく、この方法での実現は課題が多い

証拠の生成が不要なクラウド量子計算

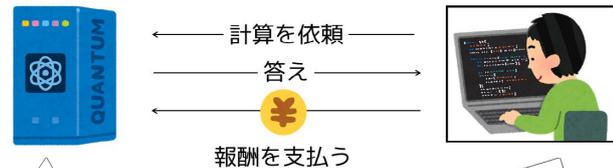
我々の結果：経済合理性を用いて、量子コンピュータの動作を保証する手法の提案と数理証明

ポイント

- 証拠を生成・確認する代わりに、サーバからの答えに応じて**報酬を支払う仕組みを導入**
- サーバが依頼通りに量子コンピュータを使っている場合のみ、サーバが得られる報酬額が最大になるような**報酬額の計算アルゴリズムを考案**
- 従来手法よりも幅広い量子コンピュータアーキテクチャに適用可能

正しい答えを送った時だけサーバの報酬が最大化されるため、合理的なサーバは必ず正しい答えを送ってくれる！！

(※報酬の最大値は問題サイズに依存せず、状況に応じて調整可能)

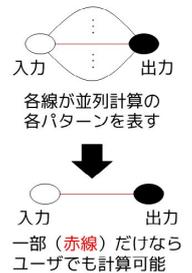


貰う報酬を最大にしたい = 経済合理性

報酬を払うだけで良いから簡単だ～  
 ・正しい答えが得られる  
 ・証拠を作るための余分なやり取りが不要

数理証明の概要

- 量子コンピュータの並列計算を、容易に計算できる複数の（ただし膨大な数の）計算に分解
- ユーザは分解した計算のごく一部をランダムに実行し、サーバからの答えと照合して正しさの度合いに応じて報酬額を決める
- ランダムに実行し報酬額を決めるため、不適切な報酬額になる場合もあるが、その平均値は正しい答えを送った時にしか最大化されないことを証明



関連文献

[1] Y. Takeuchi, T. Morimae, S. Tani, "Sumcheck-Based Delegation of Quantum Computing to Rational Server," in *Proc. the 16th International Conference on Theory and Applications of Models of Computation (TAMC)*, 2020.

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  
 Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 10

## 疑似正解データを活用したニューラル修辞構造解析 文章の隠れた構造を見える化します

<b>どんな研究</b>	文書において、文書内のそれぞれの文どうしは意味を構成するために関わりがあります。こうした文と文の間の意味関係を明らかにする <b>修辞構造理論</b> は、文書をラベル付き木としてあらわします。本展示ではそれを自動で解析する <b>修辞構造解析技術</b> についてご説明します。
<b>どこが凄い</b>	修辞構造解析技術は教師あり学習を用いているため、性能の向上には人手で作成した正解データが大量に必要でした。提案法では既存の自動解析結果を組み合わせ <b>疑似的な学習データ</b> を作ります。これにより、人手コストをかけることなく解析性能を向上できます。
<b>めざす未来</b>	文脈を解釈することでより自然な要約や翻訳を実現することができます。修辞構造解析技術はこうした <b>文脈を解釈する処理の基盤</b> となります。本技術をさらに発展させ実用に耐える解析器を実現することで、要約や翻訳の性能向上をめざします。

### 文章の修辞構造

修辞構造理論: 文章中の隣接する単文間の修辞関係をラベル付き二分木として表現

木の葉ノード: 単文  
木の内部ノード: 単文のまとまり  
木の内部ノードラベル: 単文のまとまりの役割  
→2種(中心/周辺)  
※周辺→中心に修辞関係  
木のエッジラベル: 単文のまとまりの間の**修辞関係**  
→18種(詳細化、根拠、背景など)

要約、翻訳、質問応答など文章を対象とした自然言語アプリケーションで利用される

### 修辞構造解析の難しさ

修辞関係ラベルの推定  
18値分類  
ラベル分布に大きな偏り  
最大規模のデータですら385文書しかない

データが足りない

### 提案法: 疑似正解データの活用

ラベルなしデータ (9万文書)

正解データ (385文書) 人手作成

学習 → 解析器先生1, 先生2, ..., 先生K

先生は修辞関係ラベル推定が特に優秀

自動解析結果 先生1 先生2 ..... 先生K

**提案法**

疑似正解データ 約17万個

正解データ (385文書)

1. 事前学習  
生徒は修辞関係ラベル推定が苦手だけどそれ以外は優秀

2. 追加学習  
大量の疑似正解データで事前学習、少量の正解データで追加学習することで解析器生徒を改善

共通する部分木

### 提案法の効果

人間が作成した木に対する正答率

手法 \ 評価指標	全ラベル	内訳		
		木の形	+中心/周辺	+修辞関係
解析器先生 [Wang+17]	58.8	86.0	72.4	59.7
解析器生徒 [Kobayashi+20]	59.6	<b>87.1</b>	74.6	60.0
提案法	<b>62.6</b> UP!	<b>87.1</b>	<b>75.0</b>	<b>63.4</b> UP!

修辞関係ラベリングの性能が向上し、全体の性能が向上

翻訳や要約の文章としての首尾一貫性が向上

本研究は東京工業大学、奥村研究室との共同研究の成果です。

### 関連文献

[1] N. Kobayashi, T. Hirao, H. Kamigaito, M. Okumura, M. Nagata, "Improving Neural RST Parsing Model with Silver Agreement Subtrees," in Proc. 2021 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics, 2021.

### 連絡先

平尾 努 (Tsutomu Hirao) 協創情報研究部 言語知能研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

どんな研究

観光ガイドが観光地と外国語に詳しいなど、対話サービスでは複数分野に秀でたオペレータが必要な場合がありますが、そのような人は希少です。本展示では、秀でた分野の違うオペレータと一緒に話すことで高度な問題を解決したり、実践を通して成長できる協働スタイルを提案します。

どこが凄い

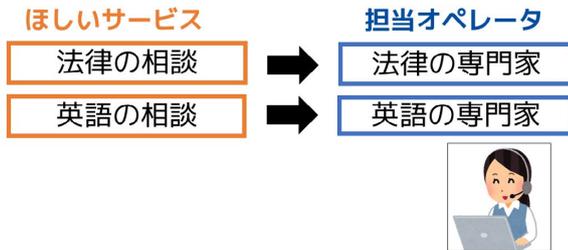
精通分野の異なる二人のオペレータが二人一役で話す協働スタイルを提案しました。このスタイルにより、オペレータは複数の分野に跨る高度なサービスを提供できるようになり、また他者との協働をスムーズに進めたり、他者からの学びを感じられるようになることがわかりました。

めざす未来

少子高齢化や人口減少のため、主婦や高齢者など多様な人材の就労機会の促進が課題となっています。多様な人材が協働できる対話サービスを構築することで、より専門的なサービスを実現するとともに、多くの人の就労と成長を支援する社会をめざします。

背景：専門家との対話サービス

- 専門家との対話は問題解決に有効 (例. 旅行案内、カスタマーセンター)
- 個々のニーズに応じた多様な専門家が対応



問題：複数の専門に精通したオペレータの不足

- 複数分野に跨る高度な対話サービスを担える人材が必要



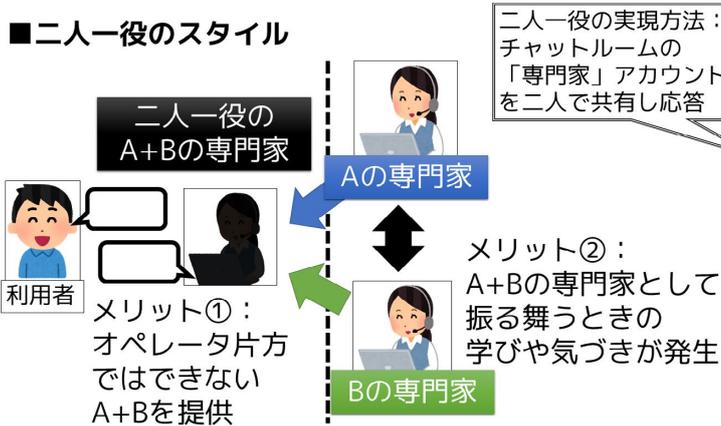
- 単一の専門をもつ人材の協働・成長が重要

部分的にはわかるけど全部は無理・・・  
 専門性を身につける機会を増やしたい

提案：二人一役による協働スタイル

専門家の二人一役で①複数分野に跨る高度な対話サービスの提供と②オペレータの育成を両立

■二人一役のスタイル



①旅行案内サービスで検証&達成  
 大阪と奈良の専門家 = 大阪の専門家 + 奈良の専門家

利用者：大阪と奈良のおすすめはどこですか？  
 専門家（二人一役）：大阪は大阪城公園がおすすめです。桜がきれいですよ（大阪の専門家が裏で応答）奈良は奈良公園がおすすめです。動物のシカとふれあえます。（奈良の専門家が裏で応答）  
 利用者：ありがとうございます。

②オペレータの学びやすさを向上：  
 アンケートで従来の協働（二人一役をせずに利用者と話す）より、学びの満足度が高いことを確認。

謝辞：本研究は、JST未来社会創造事業、JPMJMI18C6の支援を受けたものです。

関連文献

[1] T. Arimoto, R. Higashinaka, K. Tanaka, T. Kawanishi, H. Sugiyama, H. Sawada, H. Ishiguro, "Collection and analysis of dialogues provided by two speakers acting as one," in Proc. the 21th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue (SIGDIAL), pp. 323-328, 2020.  
 [2] 有本庸浩, 東中竜一郎, 田中宏, 川西隆仁, 杉山弘晃, 澤田宏, 石黒浩, "二人の話者が一人の話者として対話することによる対話内容・満足度への影響," 第88回 言語・音声理解と対話処理研究会, pp.16-21, 2020.

連絡先

有本 庸浩 (Tsunehiro Arimoto) 協創情報研究部 インタラクション対話研究グループ  
 Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 12

## ユーザの悩みを専門家に届けるチャットボットの設計と評価

### 人から人への信頼を橋渡しするチャットボット

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

<p><b>どんな研究</b></p>	<p>大きな悩みを抱える人は専門家の見解を仰ぐことが重要であるにも関わらず、社会との関わりに疎く専門家に助けを求めない傾向があります。そこで、<b>他者に直接相談しづらい悩み</b>を、対話エージェントを用いて打ち明けやすくし、その内容を<b>専門家へ伝えることを支援する対話エージェント</b>を開発しました。</p>
<p><b>どこが凄い</b></p>	<p>対話エージェントに関する従来研究は、人とエージェントの関係に焦点を当てたものが大半で、人同士をつなげることをめざした研究は世界的にも例を見ません。トラスト・トランスファー理論を活用することで、<b>信頼関係を媒介する対話エージェント</b>を開発し、その有効性を確認しました。</p>
<p><b>めざす未来</b></p>	<p>情報技術の普及によって誰とも簡単につながることができる半面、人間関係の希薄化や分断、孤立化が問題になっています。そこで、人と人の信頼関係を橋渡しする対話エージェントを用いて人間関係を再構築することによって、<b>孤立化を防ぐインクルーシブな社会の実現</b>に貢献します。</p>

#### 人間関係の希薄化と孤独の問題

情報技術の普及による副作用 → **人間関係の希薄化** や分断、孤立化



ユーザと実在する専門家をつなげることによって、**助けを求めやすい環境**の構築を目指します。



#### ユーザ実験による評価結果

**ユーザ実験**



47名、4週間  
毎日15分程度のチャット  
最後に1時間  
オンライン・インタビュー

実験条件①： **ステップ1**のみ実施  
実験条件②： **ステップ1**と**ステップ2**の双方を実施

チャットボットへの信頼：  
機能なし ≒ 機能あり

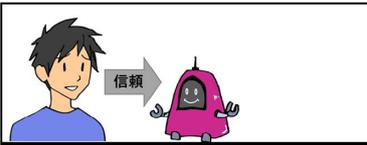
**専門家への信頼：  
機能なし < 機能あり**

チャットボットに開示した内容（過去の体験談など）を**専門家**に共有し、**アドバイスを受けることに意欲的**

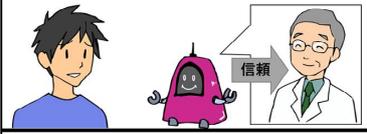
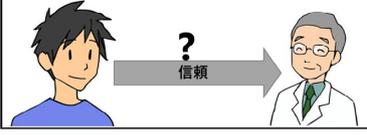
**チャットボットが人と人の信頼関係を橋渡しできる可能性**

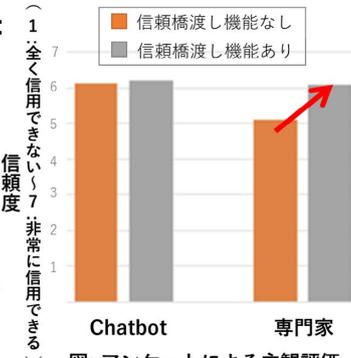
#### 人と人の信頼を橋渡しする機能

**ステップ1**  
チャットボットとの信頼構築  
ユーザとチャットボット**双方による自己開示**



**ステップ2**  
専門家へ信頼の橋渡し  
チャットボットによる**専門家に関する経験談**



信頼度 (1: 全く信用できない, 7: 非常に信用できる)

対象	信頼橋渡し機能なし	信頼橋渡し機能あり
Chatbot	6.0	6.0
専門家	5.0	6.0

図: アンケートによる主観評価

#### 関連文献

[1] Y. Lee, N. Yamashita, Y. Huang, "Designing a Chatbot as a Mediator for Promoting Deep Self-Disclosure to a Real Mental Health Professional," in *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.* 4, CSCW1, Article 031, (CSCW'20), ACM, pp.1-27, 2020.

[2] Y. Lee, N. Yamashita, W. Fu, Y. Huang, "'I Hear You, I Feel You': Encouraging Deep Self-disclosure through a Chatbot," in *Proc. the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20)*, ACM, pp.1-12, 2020.

#### 連絡先

山下 直美 (Naomi Yamashita) 協創情報研究部 インタラクション対話研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

どんな研究

自然な雑談を通して人の対話欲求を充足させる、雑談システムの研究に取り組んでいます。本展示では、**事前学習**と呼ばれる**大規模データ**を利用する技術と、長年に渡る**NTTの雑談システム**研究で培った**大規模対話データ**に基づく高性能な日本語大規模雑談システムについて、到達点と課題をご紹介します。

どこが凄い

日本語最大規模の対話データを用いた**学習**により、最新の英語システム相当の日本語雑談システムを開発し、**雑談システムのコンペで最優秀賞**を獲得しました。また、構築したシステムの発話について定量的分析を行い、矛盾や不連続な話題の飛びなど、今後の改善に向けた指針を明らかにしました。

めざす未来

他者と言葉を交わしてつながりたい、という対話への欲求は、私たち人間の根源的な欲求の一つだと考えています。私たちが望むときに、いつでも、気楽に、どんな話題についても話せる相手。そんな**対話欲求を継続的に満たし続ける、パートナーとなりうる雑談システムの実現**をめざしています。

人の雑談相手となる対話システム

対話システムが単なるタスク解決のツールではなく、雑談を楽しむ相手として期待され始めている



- いつでも話せる  
(時間や場所の制約を受けない)
- 気楽に話せる  
(遠慮がいらぬ・相手からの評価を気にしなくてよい)
- 深い話題も話せる  
(細分化した趣味にも対応できる・プライベートな話も相談できる)

従来の雑談システムの問題点

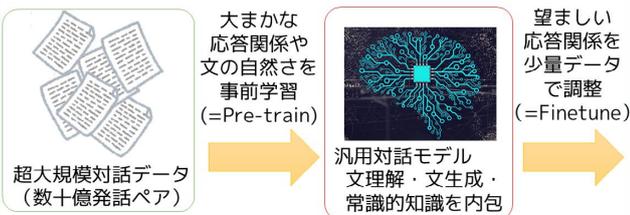
- 一問一答としては適切な発話でも、**文脈を考慮すると不自然**になる場合がある
- 文脈の組み合わせは膨大なため、**言葉の意味を適切に抽象化**して扱わないと、文脈を考慮しきれない

事前学習を利用した対話システム

大規模な事前学習※に基づく手法の雑談システムへの適用が英語圏で急速に進展

※事前学習：文の自然さや大まかな応答パターンなどを、あらかじめ大規模データを用いてシステムに学習させる方法。機械翻訳や質問応答でも高い実績がある。

→ **自然性の高い文生成**や、**言葉の意味の高精度な抽象化**を実現し、対話性能を大幅に改善 [1,2]



NTTの取り組み

- 日本語最大規模の事前学習に基づく雑談システムを構築
  - モデルサイズ：16億パラメータ (既存日本語モデルに対し3倍以上)
  - 事前学習用データ：21億ペア・512GBのTwitterリブライペア
  - Finetune用データ：20万ペア以上の高品質対話データ (NTTが過去の研究で蓄積)
- さらなる改善に向けた不自然発話の誤り要因の分析
  - 多くの発話は自然な一方、強い違和感を感じる発話が7%ほど存在
  - 矛盾・話題の飛び・事実と異なる発話が含まれる場合に主観評価が大きく低下

プロフィールについての対話で Finetune

趣味についての対話で Finetune

雑談システムの性能を競う対話システムライブコンペティション3にて**最優秀賞獲得**

本研究は科研費「人と社会的に共生する対話システムのための行動決定モデル基盤技術の確立」(課題番号19H05693)の支援を受けた "Artificial Neural Network with Chip" by Ch'enMeng is licensed under CC BY 2.0

関連文献

[1] 杉山弘晃, 成松宏美, 水上雅博, 有本庸浩, 千葉祐弥, 目黒豊美, 中嶋秀治, "Transformer encoder-decoder モデルによる趣味雑談システムの構築," 言語・音声理解と対話処理研究会 (SIG-SLUD), Vol. B5, No. 02, pp. 104-109, 2020.  
 [2] 杉山弘晃, 水上雅博, 成松宏美, "複数ロボット協調による一問一答型雑談対話からの脱却," 第32回人工知能学会全国大会, 2018.

連絡先

杉山 弘晃 (Hiroaki Sugiyama) 協創情報研究部 インタラクション対話研究グループ  
 Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 14

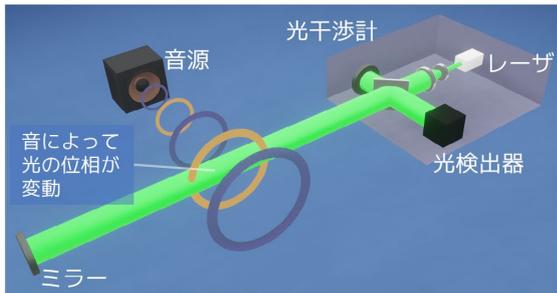
## 精密光干渉計による非接触音場計測

### 光の位相で微弱な音を捉えます

<b>どんな研究</b>	マイクロホンでは実現困難な多様な音計測を実現する手段として光を用いた方法が注目されています。本研究では、NTT物性科学基礎研究所量子光デバイス研究グループと共同で、 <b>精密光計測技術を用いた従来よりも遥かに低雑音な音場計測技術を実現</b> しました。
<b>どこが凄い</b>	音と雑音成分の物理的な特徴の違いに着目して、音に対する感度を最大化しつつ雑音を低減する差動型ミッドフリンジロック干渉計による音計測技術を提案しました。本技術を高安定レーザ技術と組み合わせることで、従来の方法に比べて <b>計測雑音の振幅を1/30に低減</b> しました。
<b>めざす未来</b>	従来の音計測ではセンサとして用いるマイクロホン自身の大きさ・不安定さに起因する空間分解能・計測精度の限界が存在します。光学分野で培われた精密計測技術を応用することで、音空間の3次元計測、リモートセンシング、超高精度計測など <b>音計測の飛躍的な進歩を実現</b> させます。

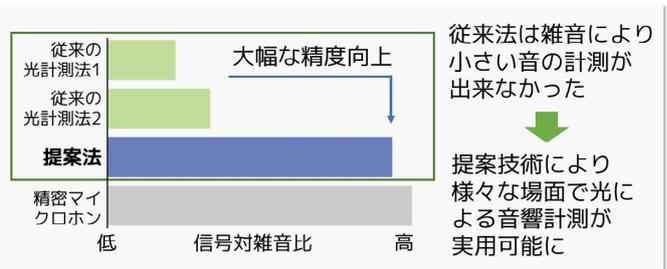
#### 音×光で何が起ころ？

光学技術により遠隔から非接触に音を観測することが可能です。これは設置した位置の音を検出するマイクロホンにはない特徴であり高空間分解能計測やリモートセンシングへの応用が期待されています。



#### 何ができるようになった？

計測雑音を従来の光計測法の**1/30**に低減



#### 研究のポイント

音による光の変動はごく僅かであり、小さい音を光で検出することは非常に困難でした。本研究では、**差動型ミッドフリンジロック干渉計と超高安定レーザ技術**を組み合わせることによって、**世界最小レベルの雑音量を実現**しました。

#### 何の役に立つの？

### 光計測の特徴を活かして次世代の音響計測を実現します



例：音源からの微弱な放射音を非接触に計測

音が空間を伝搬する様子を直接捉えることが可能

#### 光計測の持つ特徴

非接触性	精密性	高安定性
高速性	可制御性	並列性

#### [様々な応用可能性]

超精密計測	音響現象解明	音のVR
音場可視化	リモートセンシング	空力音響計測
マルチモーダルセンシング		高解像度騒音探知

#### 関連文献

- [1] 石川憲治, 白木善史, 守谷健弘, 石澤淳, 日達研一, 小栗克弥, “光差動検出によるミッドフリンジロック干渉計の低雑音化,” 日本音響学会講演論文集, 2021.  
 [2] 石川憲治, 白木善史, 守谷健弘, 石澤淳, 日達研一, 小栗克弥, “ミッドフリンジロック干渉計によるシンプルかつ低雑音な光音響計測法,” 日本音響学会講演論文集, 2020.

#### 連絡先

石川 憲治 (Kenji Ishikawa) メディア情報研究部 情報基礎理論研究グループ  
 Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 15

## 音源分離・雑音抑圧・残響抑圧の全体最適化

### 騒がしい生活環境で、音声だけ高品質に取り出す

データと学習の科学

#### どんな研究

がやがやとした生活環境において、音声端末が人間の声を高精度に音声認識するには、マイクに混入する雑音や残響を取り除き(雑音抑圧・残響抑圧)、複数の人の声を聞き分ける必要があります(音源分離)。この展示ではこれら3つの問題を統合的に解決する新技術を紹介します。

#### どこが凄い

現在の最先端技術は、音源分離・雑音抑圧・残響抑圧の3技術を別々に最適化するため、雑音や残響が大きい環境において、音声を高品質に取り出すことができませんでした。これら3技術を統合し全体最適化することで、音声を高品質に取り出し、音声認識性能を大きく改善しました。

#### めざす未来

マイクで収録した音から各話者の音声を高品質に取り出す技術は、スマートスピーカや対話ロボットといった音声端末(コンピュータ)の基盤をなす技術です。駅・街頭・ショッピングモールなどの生活環境において、人とコンピュータが円滑に対話できる世界の実現に寄与します。

コミュニケーションと計算の科学

### 目的：マイクで収録した音声をきれいにする

生活環境において遠隔マイクで収録した音は、音声認識が難しい

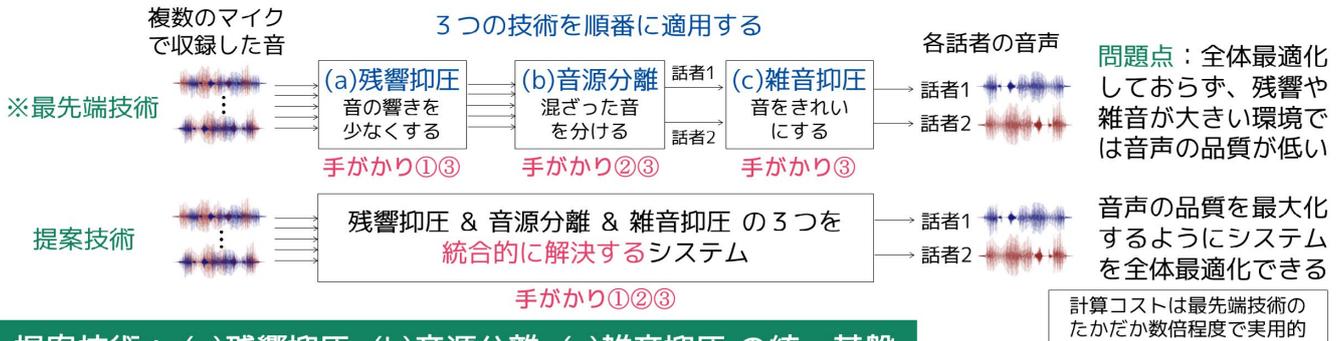
難しさの要因	必要な技術
残響(壁に反射して届く響いた音)が大きい	(a)残響抑圧
複数の人の声が混ざっている	(b)音源分離
背景雑音のレベルが大きい	(c)雑音抑圧



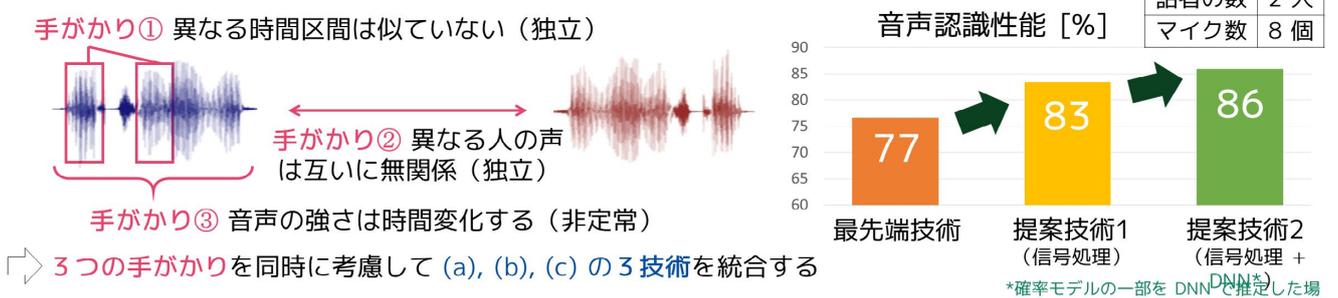
複数マイクを用いた信号処理で、それぞれの人の声を高品質に取り出したい  
音声認識には DNN よりはるかに高性能

### 従来技術の問題点 と 本研究の成果

※ 音声認識の国際コンペ CHIME3 における NTT の技術 現在もトップ技術として広く利用されている



### 提案技術：(a)残響抑圧, (b)音源分離, (c)雑音抑圧 の統一基盤



メディアの科学

### 関連文献

- [1] T. Nakatani, C. Bøddeker, K. Kinoshita, R. Ikeshita, M. Delcroix, R. Haeb-Umbach, "Jointly optimal denoising, dereverberation, and source separation," in *Proc. IEEE/ACM Trans. Audio, Speech, Language Process.*, vol. 28, pp. 2267-2282, 2020.
- [2] R. Ikeshita, T. Nakatani, S. Araki, "Block coordinate descent algorithms for auxiliary-function-based independent vector extraction," in *Proc. IEEE Trans. Signal Process.*, 2021, to appear.
- [3] R. Ikeshita, T. Nakatani, "Independent vector extraction for fast joint blind source separation and dereverberation," in *Proc. IEEE Signal Process. Lett.*, 2021, to appear.

### 連絡先

池下 林太郎 (Rintaro Ikeshita) メディア情報研究部 信号処理研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

人間の科学

# 16

## クロスモーダル学習による動作概念の獲得 TVを視聴するだけで賢くなるAI

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

<p><b>どんな研究</b></p>	<p>大量データの準備には、手間がかかったり、データの入手自体が難しかったり、クラスラベルの付け方を事前に設計することが難しかったりします。この展示では、TV放送のようなメディアデータだけから、<b>モノやコトの概念を自動獲得するAI</b>を、より高度な認識や検索に活用する研究を紹介します。</p>
<p><b>どこが凄い</b></p>	<p>教師ラベルなしで映像における動作とそれを説明する話し言葉を時空間で対応付け、概念に相当する特徴表現を獲得する技術を考案しました。スポーツ実況の映像と音声データから、<b>競技者の動作と実況の話し言葉の対応付けによる概念検索</b>を実現しました。</p>
<p><b>めざす未来</b></p>	<p>TVを視聴するだけで、AIが音と映像を対応付けながら、知らないモノやコトを自ら学び、賢くなる未来をめざしています。<b>音や映像、言語といったメディアの種類を横断する</b>超大規模アーカイブ検索や自動アノテーションなどへの応用を検討しています。</p>

### クロスモーダル概念獲得

異種のメディア情報の共起から、教師ラベルなしで相互の対応関係を発見し、メディア情報の種類に依存しない**“概念”**を獲得する

**“概念”**を表す特徴表現

認識や情報検索、情報変換に活用

#### TVを視聴するだけで自ら賢くなるAIの実現

画像と話し言葉から、物体等に関する概念獲得・翻訳の実現可能性を示した[1][2]

### 動作概念の学習法と結果

**学習法：**ペアの特徴の**類似度**が、他サンプルとの類似度よりも大きくなるよう特徴抽出器のパラメータを学習する

**ポイント：**類似度行列の対角成分周辺の重み付け (Guided Attention) により、動作と解説の時間的なズレを吸収する

**実験結果：**動作と話し言葉の対応関係が抽出できること、“決まり手”に相当する概念検索が可能なることを確認した

※実験条件：  
・NHKの大相撲中継から高頻度の9つの決まり手で勝敗が決まった1,128クリップ（各10秒）で学習  
・決まり手毎に各10（計90）の未知クリップでテスト、評価尺度はRecall@1を利用

### 関連文献

[1] Y. Ohishi, A. Kimura, T. Kawanishi, K. Kashino, D. Harwath, J. Glass, “Trilingual Semantic Embeddings of Visually Grounded Speech with Self-attention Mechanisms,” in *Proc. International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) 2020*.  
 [2] Y. Ohishi, A. Kimura, T. Kawanishi, K. Kashino, D. Harwath, J. Glass, “Pair Expansion for Learning Multilingual Semantic Embeddings using Disjoint Visually-grounded Speech Audio Datasets,” in *Proc. Interspeech 2020*.  
 [3] Y. Ohishi, Y. Tanaka, K. Kashino, “Unsupervised Co-Segmentation for Athlete Movements and Live Commentaries Using Crossmodal Temporal Proximity,” in *Proc. International Conference on Pattern Recognition (ICPR) 2020*.

### 連絡先

大石 康智 (Yasunori Ohishi) メディア情報研究部 メディア認識研究グループ  
 Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 17

## 顔表情認識による音声変換技術

### 顔の表情でリアルタイムに声の表情をつくる

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

対話や講演において、心理的な緊張状態や能力的な限界などにより思うような話し方で話せない場合があります。本研究では、入力音声の話し方の雰囲気（表情）を、**顔の表情や体の動作により制御**することを目的としたクロスモーダル音声表情変換の問題に初めて取り組みました。

#### どこが凄い

話し方の表情は声質・抑揚・リズムによって決まります。従来技術の多くは声質のみの変換を行います。われわれの音声変換技術は、**声質とともに抑揚やリズムの変換も可能**にします。この技術と顔表情認識技術を組み合わせ、顔画像を用いて声の表情を変換する技術を実現しました。

#### めざす未来

人と人とのコミュニケーションには、物理的・能力的・心理的な状態に起因する様々な形の制約が存在します。本研究では、このような制約を取り除き、**あらゆる人が自由に快適にコミュニケーションを行える環境**を実現することをめざしています。

### 音声変換によるコミュニケーション機能拡張

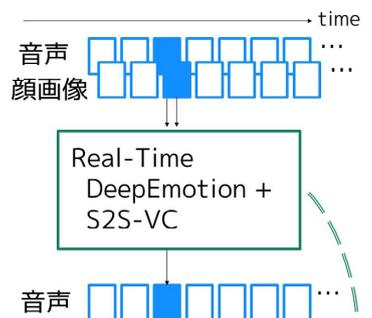
音声変換技術を通じて多様なシーンにおいて人が自由にコミュニケーションできる手段を創出



### 顔画像による音声表情のリアルタイム制御

顔表情認識技術と音声変換技術を組み合わせたクロスモーダル音声変換

(例: 顔画像の表情の時間的な変化に追従するようにリアルタイムに音声の表情を変換)



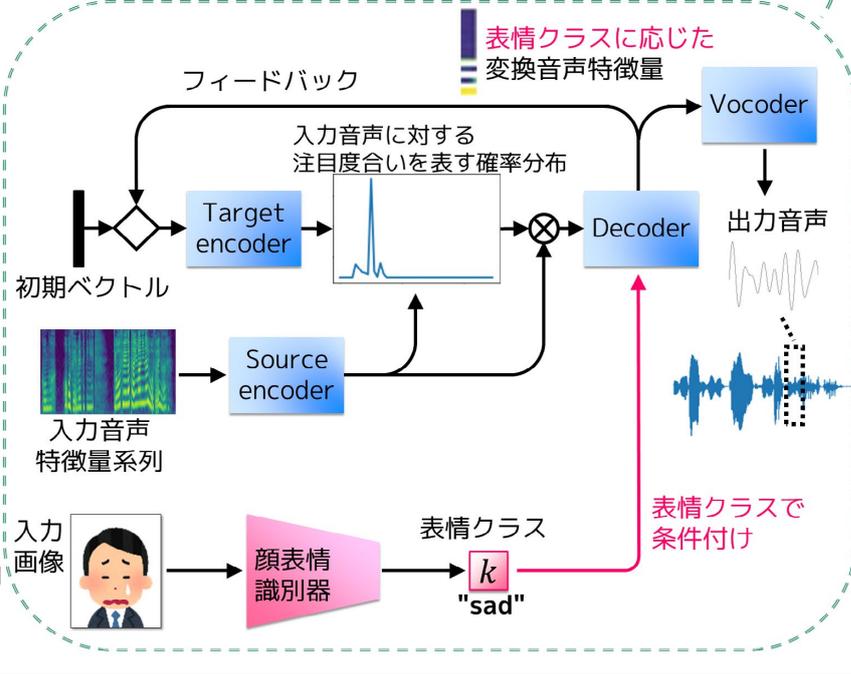
#### 要素技術

##### 系列変換モデルを用いた音声変換

- 系列変換(S2S)モデル
  - ・系列から系列への変換則を学習する **深層学習**の枠組（機械翻訳や音声認識などで有効性が知られる）
  - ・エンコーダ/デコーダ構造と注意機構で **長期依存関係を捉えた系列変換**を扱える
  - ・変換元と変換先の系列の要素間の **対応づけ規則**を学習できる
  - ・通常は大規模な学習データが必要
- S2Sモデルを用いた音声変換
  - ・話し方の雰囲気や感情表現は、特に **抑揚やリズム**に色濃く現れる
  - ・S2Sモデルにより **声質だけでなく抑揚、リズム、話速の変換**を扱える
  - ・少ない学習データでも **学習可能な**方式を考案

##### 顔表情認識

- 全層畳み込みネットワークを用いたクラス識別
  - ・顔表情識別結果を音声変換器に



#### 関連文献

[1] H. Kameoka, K. Tanaka, T. Kaneko, N. Hojo, "ConvS2S-VC: Fully convolutional sequence-to-sequence voice conversion," *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, pp. 1849-1863, June 2020.

[2] K. Tanaka, H. Kameoka, T. Kaneko, N. Hojo, "AttS2S-VC: Sequence-to-sequence voice conversion with attention and context preservation mechanisms," in *Proc. 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2019)*, pp. 6805-6809, May 2019.

[3] M. Shervin, M. Minaei, and A. Abdolrashidi, "Deep-emotion: Facial expression recognition using attentional convolutional network." *Sensors* 21.9:3046, 2021.

#### 連絡先

田中 宏 (Kou Tanaka) メディア情報研究部 メディア認識研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

## どんな研究

コロナウイルス対策の一つとして環境表面（公共の場所の扉や棚など）の定期的な消毒があります。しかし、扉や棚のどこが触られているのか、消毒した後どれぐらい触られているのか、知る方法はありません。この展示では、**人が触った場所を投影して可視化**するシステムを紹介します。

## どこが凄

人がモノに触れると、人の体温がモノの表面に熱痕跡として残ります。本展示はその残った熱をサーモグラフィカメラで撮影することで、人が触れた場所を検出しています。近赤外カメラとサーモグラフィカメラを組み合わせることで、**軽量なアルゴリズムで検出**を可能にしています。

## めざす未来

本技術で検出した人が触れた場所を実際のモノの上に投影して表示すると、その場所を**一目で理解**できます。ウイルスの可視化はできませんが、他人が触れた場所を避けたり、消毒し、少しでも安心できないかと考えています。感染者が触れた場所の追跡、消毒の効率化にも有効でしょう。

## コロナ禍：モノに触る不安

## コロナウイルス対策

- 手指 → 手洗い、アルコール消毒
- 空気 → 換気
- 環境表面（公共の扉、共有の棚など）
  - 定期的に消毒
  - 他の人は本当はどこを触っている？

**人が触れた場所を可視化**

## 熱痕跡による触れた場所検出

- 熱痕跡：人の手が触れたモノの表面に残った手の熱
- サーモグラフィカメラで熱痕跡を取得し、触れた場所を検出可能

可視光画像



サーモ画像

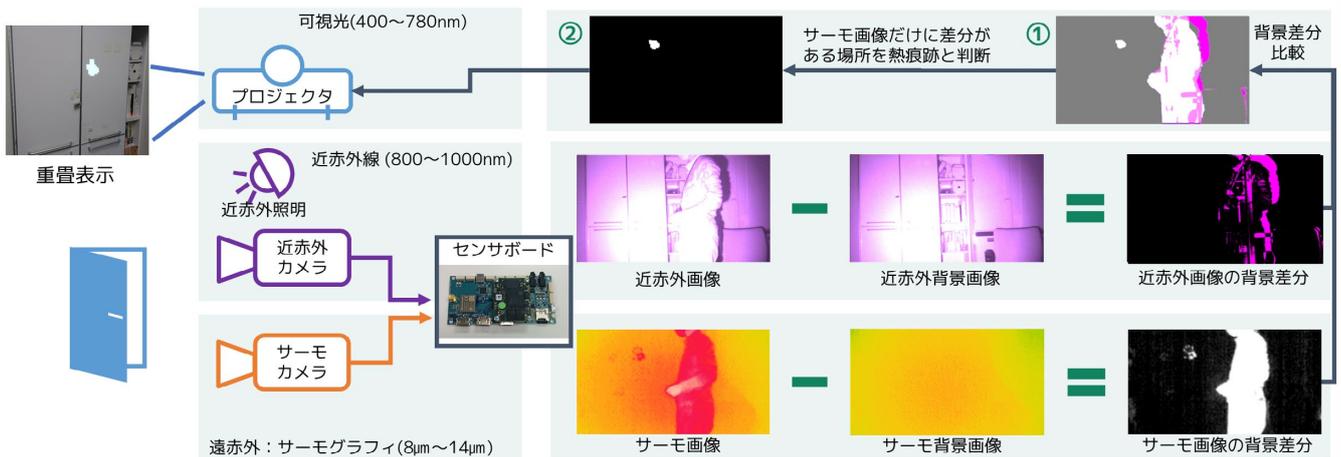


熱痕跡

## システム構成

- 波長を切り分け、干渉を防止
  - 可視光：表示（プロジェクション）
  - 近赤外：人の動きを撮影（プロジェクタの影響無）
  - 遠赤外：熱痕跡を取得

- サーモグラフィと近赤外の2種類のカメラを組み合わせ、**軽量なアルゴリズムで熱痕跡を検出**
  - ① 近赤外画像とサーモ画像の背景差分を比較
  - ② サーモ画像だけに現れる熱痕跡を検出
- 実際のモノの上に投影して可視化することで、**人が触れた場所を直感的に理解**できる



## 関連文献

- [1] Y. Kishino, Y. Shirai, Y. Yanagisawa, K. Ohara, S. Mizutani, T. Suyama, "Identifying Human Contact Points on Environmental Surfaces using Heat Traces to Support Disinfect Activities," *SenSys2020 COVID-19 Pandemic Response*, 2020.
- [2] 白井良成, 岸野泰恵, 柳沢豊, 尾原和也, 水谷伸, 須山敬之, "Alertable Surfaces: ウイルスの付着を警告可能な実環境," 第28回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2020), 2020.

## 連絡先

岸野 泰恵 (Yasue Kishino) 協創情報研究部 知能創発環境研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 19

## 生体の物理的性質を活用した生体音響解析

### テレ聴診器：音で体の中を診る

データと学習の科学

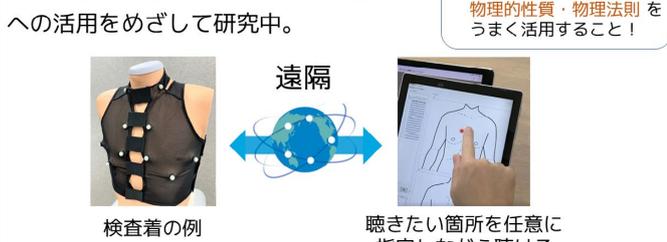
<b>どんな研究</b>	生体から出る音を収集して解析することにより、身体の機能や状態に関する有用な情報を得ることができると期待されます。本研究では数多くの音響センサで <b>同時多面的にとらえた胸部の生体音</b> を基に、 <b>循環器や呼吸器の機能や状態を推定</b> することを目的としています。
<b>どこが凄い</b>	時間の経過を追って収集された多チャンネルの <b>音を言語に直接翻訳</b> する情報変換モデルを提案しました。また心臓の弁の運動や心室の容積と圧力との関係といった、対象（生体器官）の <b>物理的性質</b> を活用することで、 <b>心臓の状態や3D形状</b> を精度良く <b>推定</b> することも可能になりました。
<b>めざす未来</b>	音以外の様々な情報とも組み合わせ、 <b>人の身体の機能や状態を個人ごとにモデル化したデジタルツイン</b> を構築できると考えられます。その精度を高めることで、日常生活における病気の早期発見や予防を通じてウェルビーイングの向上を支援する「 <b>AI聴診器</b> 」の実現をめざします。

コミュニケーションと計算の科学

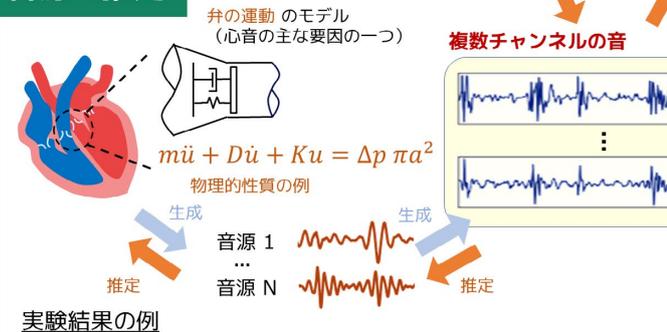
#### テレ聴診・AI聴診

体の各部分の音を検査着に仕込まれた多数の音響センサでとらえ遠隔に送信できる装着型音響センサアレイシステムを開発。

- ・テレ聴診（遠隔・非接触での聴診）
- ・AI聴診（体の状態の推定や予測）

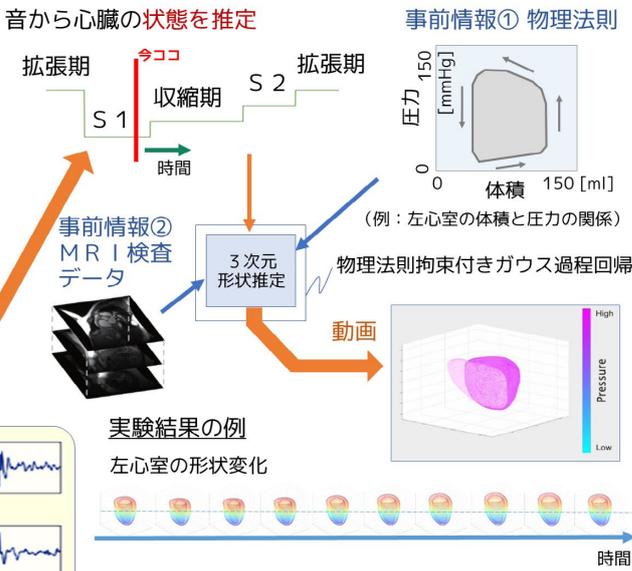


#### 音源の推定

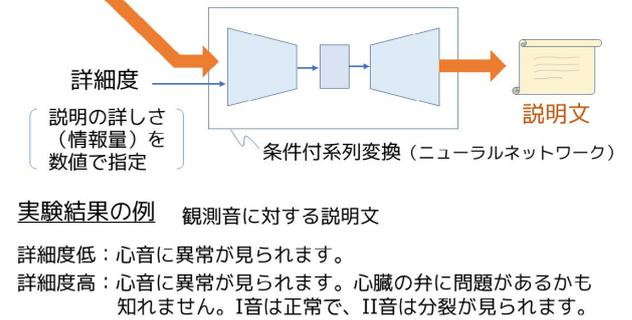


#### 音を手がかりとした動画や文章の生成

##### 観測音から心臓の状態を推定し3D形状を動画で表現



##### 観測音の状態や変化履歴などを文章で説明



メディアの科学

#### 関連文献

- [1] 柏野邦夫, 中野允裕, 渋谷遼平, 塚田信吾, 友池仁暢, “心音に対する説明文の自動生成,” 情報科学技術フォーラム, 2020.
- [2] S. Ikawa, K. Kashino, “Neural audio captioning based on conditional sequence-to-sequence model,” in *Proc. Workshop on Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events (DCASE)*, 2019.
- [3] M. Nakano, R. Shibue, K. Kashino, S. Tsukada, H. Tomoike, “Gaussian process with physical laws for 3D cardiac modeling,” in *Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, pp. 1452-1456, 2020.

#### 連絡先

柏野 邦夫 (Kunio Kashino) メディア情報研究部  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

人間の科学

どんな研究

少子高齢化は深刻な社会問題のひとつです。この研究では、国勢調査等の公開統計データを分析し、**人口密度の高い地域では少子長寿傾向**のあることがわかりました。競争の激しい状況では、子どもの成功のために、数を減らしてひとりあたりへの投資を増やすためであると考えられます。

どこが凄い

少子化については、出産・保育制度や就業・経済状況など、社会経済的観点から議論されることが多いようです。一方、ここでは**生物学的観点から少子化の問題にアプローチ**しています。そうすることでこれまで見えてこなかった少子高齢化の本質的理解が進みます。

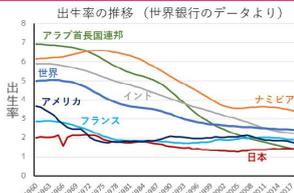
めざす未来

過去50年間、日本だけではなく、世界中で少子高齢化が進行しています。本研究では多角的な視点で現象を理解し、本質的な**解決策立案や解決策のための基礎知見**を提供していきます。そうして、人類および地球環境全体の持続的発展に寄与していきたいと考えています。

少子高齢化問題

少子高齢化は日本だけでなく、世界中で起こっています。

政治・経済・文化などの社会状況が違ってても起こるといことは、人間に共通した何らかの要因があると推測できます。



生物としての「ヒト」に着目して、少子高齢化にアプローチします。

少子高齢化問題はさまざまな要因が絡み合った複雑な社会問題です。多様な視点から検討し、解決策を広く議論することが必要です。そのための基礎知見として、生物学的視点に着目しました。

早い/遅い生活史戦略

生活史戦略とは：

生物の繁殖や成長において、自分の時間や資源をどう配分するかに関する進化生物学理論です。

早い生活史戦略



- 多産多死
- 養育が少ない
- 成熟が早い
- 小さな身体
- 短命

素早くたくさんの子をつくるが、1匹ごとの子に与える資源が減る。最終的に“成功”する子が少ない。

遅い生活史戦略



- 少産少死
- 養育が多い
- 成熟が遅い
- 大きな身体
- 長寿
- 少子高齢傾向

子の数を制限し、1匹ごとの子に与える資源を多くする。1匹あたりの“成功”確率が高い。

人にも生活史戦略の早い人/遅い人の違いがあります。

生存リスクが大きい場合、より早い生活史戦略になるとされています。医療が未発達な時代は子どもの死亡率が高かったため、今より早い生活史戦略だったと解釈できます。

現代の少子高齢化は、人々がより遅い生活史に変化しているせいかもしれません。

"WT and TK rat photo" by Functional Neurogenesis is licensed with CC BY 2.0. "Mother and child" by kBandara is licensed with CC BY 2.0.

人口密度の高い都道府県は「遅い生活史」

親は、子どもの競争環境を考慮するでしょう。

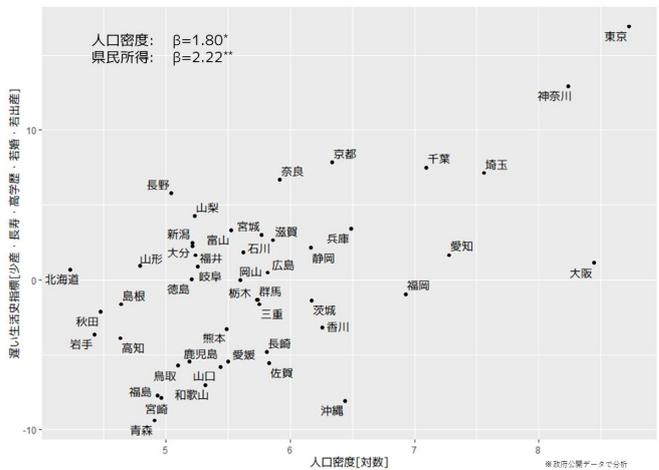
競争が激しいならば、その子が“成功”するよう、より多くの養育投資をしなければなりません。子どもひとりあたりへの投資が増えるよう、子どもの数を減らすと予想されます。

競争の激しさは、人口密度で近似できます。

地域内の人が多ければ、それだけ競争相手が増えるからです。

人口密度の高い都道府県ほど「遅い生活史」でした。

世界の国や地域、全米50州を分析した Sng et al.(2017)とも一貫しています。県民所得を調整しても、人口密度の効果が残りました。



今後の検討に向けて

今日、少子化の原因は出産・育児補助、就労・経済状況などに求められることが多いに思われます。しかし、原因はそれだけではなさそうです。多角的な分析を通じて、本質的な原因究明と解決策の考案が今後の人間社会にとって重要だと考えています。

関連文献

[1] 松田昌史, 小林哲生, “人口密度および経済状況と人々の生活史戦略 ~ WEB調査を用いた分析 ~,” 信学技報, Vol. 119, No. 394, HCS2019-69, pp. 89-92, 2020年1月.  
 [2] 松田昌史, “日本の少子高齢化と人口密度 ~ 都道府県レベルと市区町村レベルの比較 ~,” 信学技法, Vol. 118, No. 437, HCS2018-66, pp. 107-111, 2019年2月.

連絡先

松田 昌史 (Masafumi Matsuda) 協創情報研究部 インタラクション対話研究グループ  
 Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

## どんな研究

永久磁石を触覚提示に利用する磁性触覚技術「マグネタクト」は、電源や配線が不要なため低コストでの触覚提示を実現します[1]。しかし、複雑な磁場パターンの書き込みには相応の時間が必要でした。この展示では、複雑な磁場パターンを生成する新しい手法とその応用を紹介します。

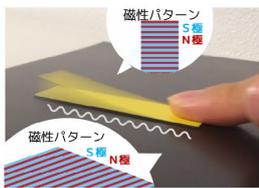
## どこが凄い

単純な磁場パターンの磁性シートを積層し、磁場を干渉させることで複雑な磁場パターンを生成する手法を確立しました[2]。これにより、着磁に必要な時間が大幅に短縮されるだけでなく、磁性シートどうしの位置を変えることによる提示磁場の動的な制御も可能にしました。

## めざす未来

このマグネタクトの進化は、触覚コンテンツの実装コストを下げ、表現の幅を大きく広げます。これにより、子供用の工作キット[3]や絵本はもちろん、本技術を組み込んだポータブルデバイスやウェアラブルデバイスによる多彩な触覚表現やVRコンテンツの実現も期待されます。

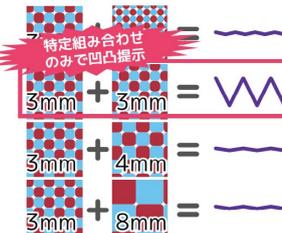
## 磁性触覚技術「マグネタクト」



マグネタクトはマグネシートにパターン着磁を施し、その磁力によりポコポコとした感触を生み出す技術です。S極とN極のパターンを変えると生み出される感触も変化します。

## 積層磁性シートによる複雑磁場パターン生成

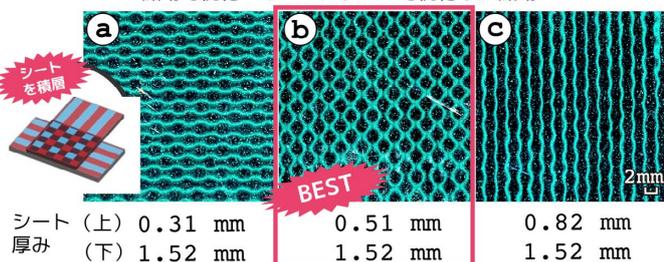
パターンA パターンB 提示触覚



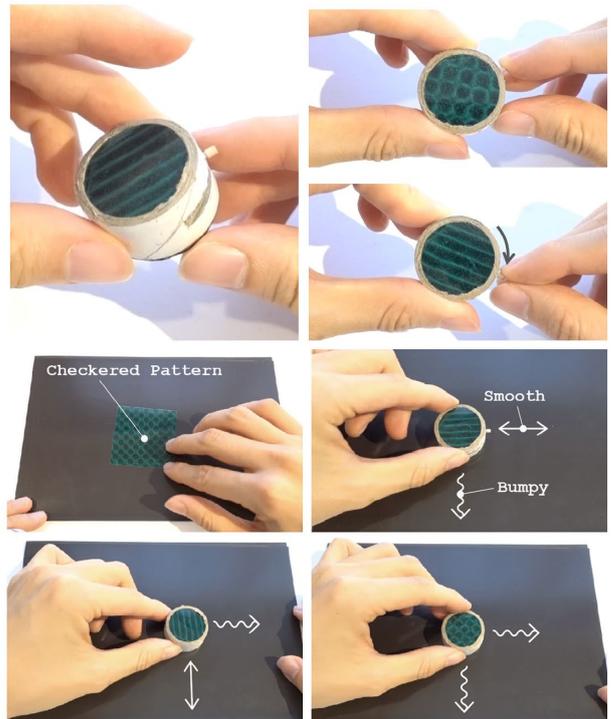
従来技術でもS極とN極の単純なストライプパターンの書き込みは比較的容易にできたのですが、選択的触覚提示に必要な格子状パターンの書き込みには、相応の時間が必要という課題がありました。

この課題に対し、単純な磁場パターンの磁性シートを複数枚積層することで複雑な磁場パターンを生成する手法を確立しました。計算に基づく適切な厚みのシートを重ねることで、従来の約1/7の時間で複雑磁場の構成を可能にしました。

磁場可視化フィルムによって可視化した磁場パターン



## 磁場パターンの動的制御と動きの生成



さらに、重ねた磁性シートを回転させることによって提示磁場を一瞬で変えることも可能になりました。

このマグネタクトの進化は、触覚コンテンツや力場生成の実装コストを下げ、表現の幅を大きく広げます。子供用の工作キットや絵本はもちろん、本技術を組み込んだポータブルデバイスやウェアラブルデバイスによる多彩な触覚表現やVRコンテンツの実現が期待されます。

## 関連文献

- [1] K. Yasu, "Magnetic plotter: a macrotexture design method using magnetic rubber sheets," in *Proc. the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*, 2017.
- [2] K. Yasu, "MagneLayer: force field fabrication by layered magnetic sheets," in *Proc. the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20)*, 2020.
- [3] K. Yasu, M. Ishikawa, "Magnetact Animals: a simple kinetic toy kit for a creative online workshop for children," in *Proc. CHI EA '21*, Article No. 198, pp. 1-4, 2021.

## 連絡先

安 謙太郎 (Kentaro Yasu) 人間情報研究部 感覚表現研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp



どんな研究

コロナ禍で身体的なコミュニケーションが失われつつある中、遠隔時代でも気持ちを共有する共感的コミュニケーションを再構築するために、3つのフレームワークのデザインを解決手段としスポーツの場で遠隔地の家族がハイタッチの体験をする「リモートハイタッチ」を実現しました。

どこが凄い

社会の中で共感的コミュニケーションを実現するための枠組みとして、体験する人や体験の流れまで含めたストーリーのデザイン、触覚伝送を下支えする技術、そして関係する人々を包摂的に巻き込むコンテキストの3つの要素に整理し、実例をもってその有効性を示すことができました。

めざす未来

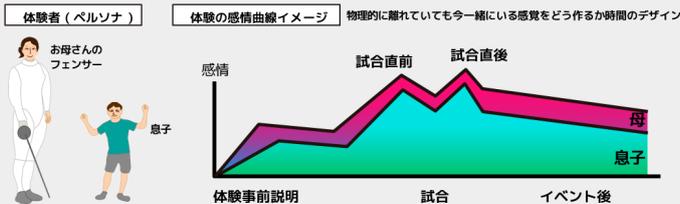
触覚伝送技術の標準化によって、遠くの人とでもお互いの存在を伝えあい、一緒にいるという感覚を感じられるコミュニケーションを誰でも実現できる社会をめざします。同時に個人に合った体験や、取り巻く周囲の人々が主体的に関われるような枠組みを創造します。

共感的コミュニケーションとは

新型コロナウイルス感染症の蔓延により、今まで行ってきた身体的なコミュニケーションが失われつつあります。このような遠隔時代では、気持ちを共有する共感的コミュニケーションの再構築が重要です。そのためには体験、技術、協働の3つのフレームワークのデザインが必須となります。

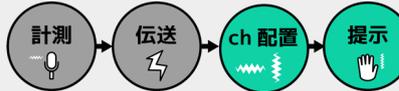
共感的コミュニケーションを再構築するための3つのフレームワークのデザイン

体験者が誰であり、体験のピークをいつにするのがデザインすることが重要です。今回フェンシングの試合では、試合時に離れた場所にいる家族が試合直前、試合直後の2つのピーク時に一番伝えたい家族同士の一瞬の気持ちの共有することができました。

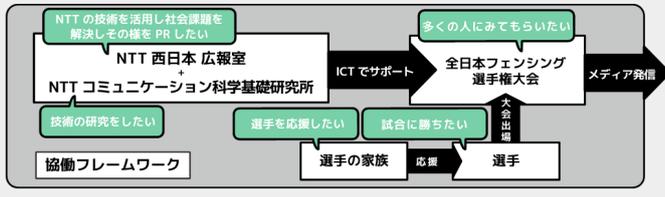


- 1. 体験のフレームワーク  
ストーリーデザイン
- 2. 技術のフレームワーク  
触覚伝送
- 3. 協働のフレームワーク  
コンテキストデザイン

体験を実現するには、それを下支えする技術が必要となります。音声と合わせて触覚振動の信号を送るための規格化に取り組んでいます。具体的には、デジタルオーディオインターフェースの国際標準規格であるIEC 60958-5 (2021年2月発行)のマルチメディア拡張として、触覚振動信号の伝送およびチャンネル番号と振動位置の対応について規定することに貢献しました。

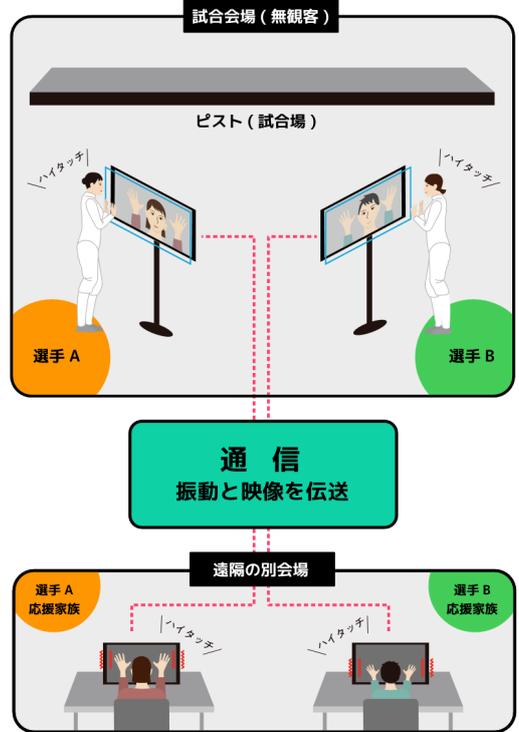


関係する人々それぞれの背景や目的を踏まえた上で実現し、全体の方向性の意識をそろえることが大切です。そして関係者全てがストーリーに共感して体験のデザインに関わり合って進めることで協働のフレームワークが成り立ちます。



共感的コミュニケーションの実例

離れていても、人と人が喜びや応援を共有することをめざし、通信で振動と映像を送り感情を共有する遠隔のハイタッチの体験(リモートハイタッチ)を全日本フェンシング選手権大会で実現しました。



「ふるえ」vol.32.2021.JAN: イラスト改変

実際に使用したデバイス「リモートハイタッチ」



関連文献

- [1] 早川裕彦, 大脇理智, 石川琢也, 南澤孝太, 田中由浩, 駒崎掲, 鎌本優, 渡邊淳司, “高実在感を伴う遠隔コミュニケーションのための双方向型視聴触覚メディア「公衆触覚伝話」の提案,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 25, No. 4, 2020.
- [2] 渡邊淳司, “触れてつながる心と社会,” 電気学会誌, 141巻, 2号, 2021.

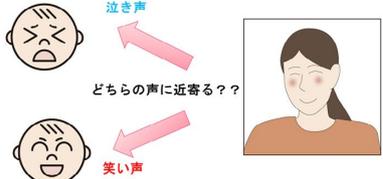
連絡先

駒崎 掲、渡邊 淳司 (Kakagu Komazaki, Junji Watanabe) 人間情報研究部 感覚共鳴研究グループ  
 鎌本 優 (Yutaka Kamamoto) メディア情報研究部 情報基礎理論研究グループ  
 Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

<p><b>どんな研究</b></p>	<p>乳児の声、特に泣き声は母親の乳児への接近行動を促すことが知られていますが、そのメカニズムは明らかにされていません。本研究では、乳児の声に対する母親の無意識な接近行動に着目し、それを引き起こす要因や、個人差を生ずるメカニズムを明らかにしました。</p>
<p><b>どこが凄い</b></p>	<p>母親の重心移動を測定することで、無意識な接近行動の定量化に初めて成功しました。これによって、緊急性が高いと感じる乳児の泣き声に母親は接近し、母親の養育意欲に関連するホルモンであるオキシトシン量が少ないほど接近行動が顕著であることを発見しました。</p>
<p><b>めざす未来</b></p>	<p>無意識な重心移動やオキシトシン量の測定は個人差を客観的に評価できる手法です。これを主観評価と組み合わせ、母子間関係のメカニズムを解明することで家族のwell-being、そして社会全体のwell-being実現に繋がると考えています。</p>

### 1. 母親はどんな声に近づくのか

**背景・目的**  
乳児の声は母親の感情や行動に影響すると言われている



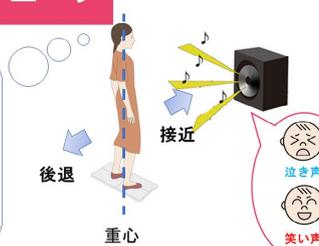
泣き声  
どちらの声に近寄る??  
笑い声

**母親が接近する乳児の声は？  
母親の行動を制御するものは？**

### 2. 客観指標を用いたアプローチ

乳児の音声評価

- あらあら！（覚醒度）
- 早くなんとかしなくちゃ！（緊急性）
- 心地いいな♪（快評定）
- 赤ちゃん元気そうね♪（健康度）
- 抱っこしたい！（援助意図）



接近  
後退  
重心

泣き声  
笑い声

**行動の分析**

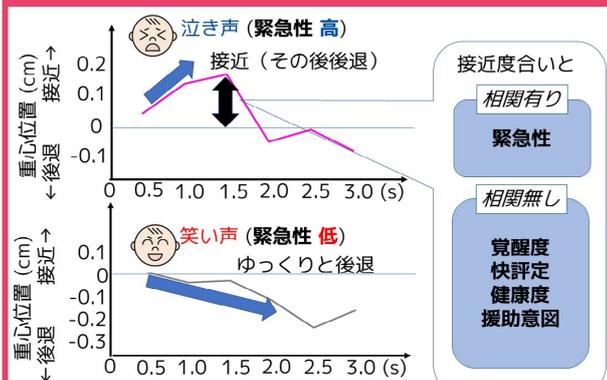
- 乳児の音声（泣き声・笑い声）を提示
- 母親の無意識な運動（重心変動）を評価

**メカニズムの探索**

- 刺激音声の情動的要因（緊急性、快評定等）
- 心的傾向の神経基盤因子（オキシトシン）の個人差

---

### 3. 母親は泣き声に“無意識に”接近する



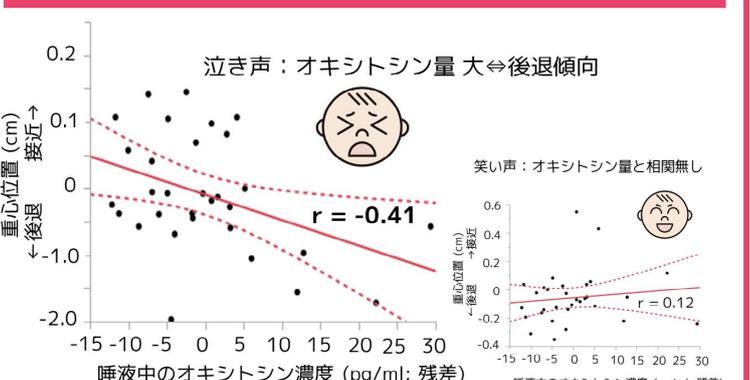
泣き声（緊急性 高）  
接近（その後後退）  
接近度合いと  
相関有り  
緊急性

笑い声（緊急性 低）  
ゆっくりと後退  
相関無し  
覚醒度  
快評定  
健康度  
援助意図

**早く対処したい気持ち（緊急性）  
を喚起する声に無意識に接近する**

(Hiraoka, Ooishi, Mugitani, and Nomura, 2019 Frontiers in Psychology)

### 4. 無意識な接近行動にオキシトシンが関与する



泣き声：オキシトシン量 大⇨後退傾向  
 $r = -0.41$

笑い声：オキシトシン量と相関無し  
 $r = 0.12$

睡眠中のオキシトシン濃度 (pg/ml; 残差)

**心的傾向の神経基盤因子の一つであるオキシトシンが、無意識な接近行動を制御している**

(Ooishi, Hiraoka, Mugitani, and Nomura, 2020 Comprehensive Psychoneuroendocrinology)

**関連文献**

[1] 平岡大樹, 大石悠貴, 麦谷綾子, 野村理朗, “乳児の声は母親を惹きつけるのか? 乳児音声刺激に対する母親の重心動揺とオキシトシンレベルの関連,” 日本赤ちゃん学会第18回学術集会, 2018.

[2] 大石悠貴, 平岡大樹, 野村理朗, 麦谷綾子, “母親の接近-回避行動と乳児音声に含まれる感情の関係,” 第42回日本神経科学大会, 2019.

**連絡先**

大石 悠貴 (Yuuki Ooishi) 人間情報研究部 感覚共鳴研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 25

## 微小眼球運動と聴覚空間注意 眼にあらわれる音への注意

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

<p><b>どんな研究</b></p>	<p>眼は様々な心の状態を反映します。興味を惹く対象に視線が向くだけでなく、無意識に生じる<b>微小眼球運動（マイクロサッカード）</b>が潜在的注意の方向やタスクへの集中度などを反映することが知られています。このマイクロサッカードと聴覚の空間的注意との関連について調べました。</p>
<p><b>どこが凄い</b></p>	<p>聴覚の注意の方向に応じてマイクロサッカードが変動し、その特性が聴覚タスクの成績とも関連することを発見しました。マイクロサッカードと視覚的注意の関連は多くの研究で示されていますが、<b>聴覚的注意の方向や聴覚系の情報処理とも関連</b>することを新たに発見しました。</p>
<p><b>めざす未来</b></p>	<p>人の<b>注意状態を外部からの観測により推定する</b>技術の確立をめざします。パーティー会場でどの声に注意を向けているのかといった情報を眼から読み取れるようになるかもしれません。人がその時々に応じて適切に注意を振り分けるメカニズムの解明につながることも期待しています。</p>

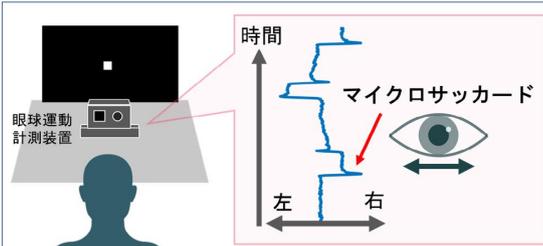
**本展示のポイント**

▶ **眼球運動（マイクロサッカード）の特性が聴覚的注意の方向と関連することを発見**

眼球運動の特性から対象者の聴覚の注意状態（注意方向や注意のレベル）を追跡できる可能性

**マイクロサッカードとは？**

一点を注視していても**無意識**に生じる微小眼球運動のことをマイクロサッカードと呼びます。

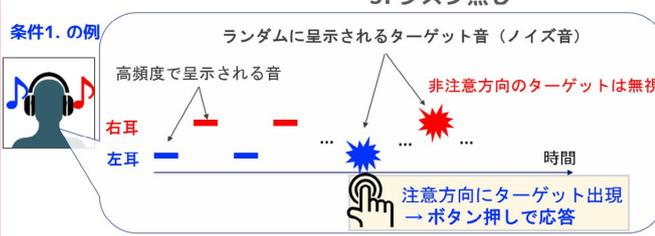


**両耳選択的聴取タスク**

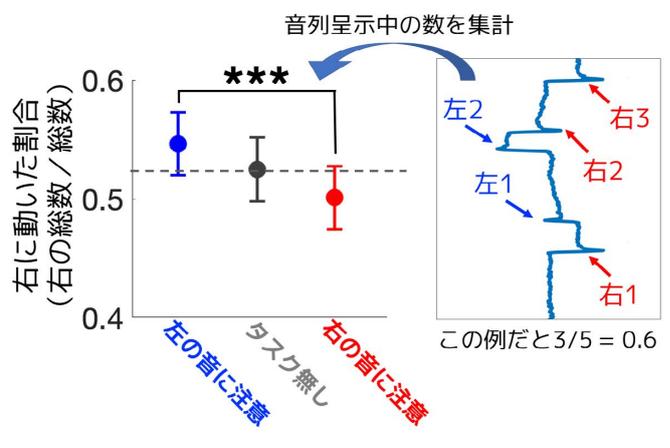
Q1. マイクロサッカードと聴覚注意方向は関連する？  
Q2. マイクロサッカードとタスクの成績（注意レベル）は関連？

左右の耳へ音列を呈示 → 【条件】  
1. 左の音列に注意  
2. 右の音列に注意  
3. タスク無し

**条件1. の例**



**マイクロサッカードの方向は聴覚注意の反対に偏る**

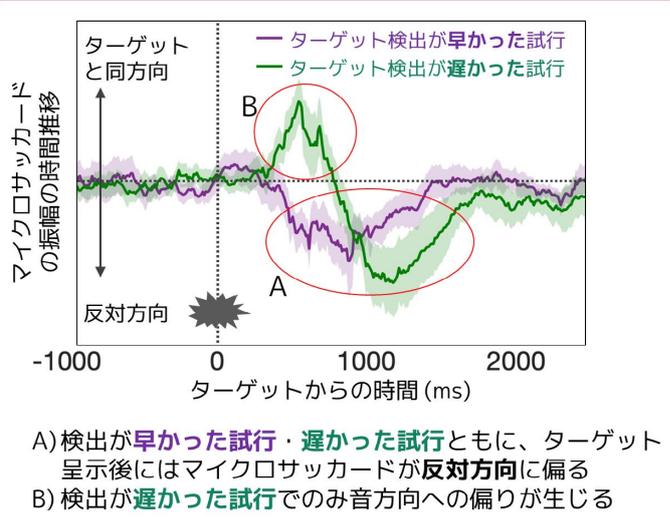


右に動いた割合 (右の総数/総数)

音列呈示中の数を集計

この例だと  $3/5 = 0.6$

**マイクロサッカード方向偏りと検出応答の早さの関係**



マイクロサッカードの振幅の時間推移

ターゲットからの時間 (ms)

A) 検出が**早かった**試行・**遅かった**試行ともに、ターゲット呈示後にはマイクロサッカードが**反対方向**に偏る  
B) 検出が**遅かった**試行でのみ音方向への偏りが生じる

**関連文献**

[1] S. Yamagishi, S. Furukawa, "Simultaneous measures of auditory brainstem frequency following response, pupillary response, and microsaccade during auditory selective attention task," in *Proc. 42nd Association for Research in Otolaryngology (ARO) Midwinter Meeting*, 2020.  
[2] 山岸慎平, 古川茂人, "聴覚の選択的注意と微小眼球運動（マイクロサッカード）の関係," 日本音響学会聴覚研究会, 2020.

**連絡先**

山岸 慎平 (Shinpei Yamagishi) 人間情報研究部 感覚表現研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

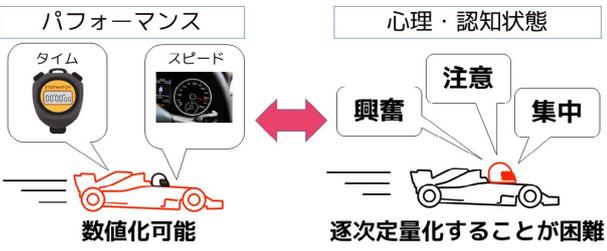
# 26

## 実車運転競技中の瞬目同調から示唆される視覚情報の重要性 レースドライバーのもつ瞬きのパターン

<p><b>どんな研究</b></p>	<p>超高速で走るフォーミュラカーを操るドライバーは、外界の情報をどのように処理しているのでしょうか？本研究では無意識におこる<b>瞬目（まばたき）</b>に着目し、日本のトップドライバーがサーキット周回中に見せる心理・認知状態の変化を調べました。</p>
<p><b>どこが凄い</b></p>	<p>周回速度があがると、コース上で<b>瞬目する場所に偏り</b>が生じ、かつドライバー間でもその偏り方が共通することがわかりました。トップレーサーが、周回速度が速くなるにしたがってより<b>メリハリをつけて心理・認知状態を調節しながらマシンを操っている様子</b>を初めて明らかにしました。</p>
<p><b>めざす未来</b></p>	<p>無意識に生じる生理現象を通して、<b>熟練者が自らも理解していない心理・認知状態を読み解く</b>ことをめざしています。優れたパフォーマンスを支える脳の潜在的な情報処理を明らかにすることで、多くの人々の技能向上が容易に実現できる社会を実現します。</p>

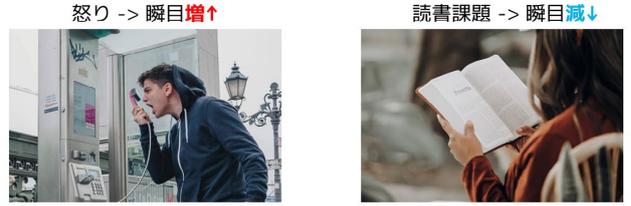
### 心理・認知を表現する指標の必要性

アスリートのパフォーマンスを定量評価する従来の指標は、**心理・認知状態**にリーチできていない



### 心理・認知状態を反映する自発的瞬目

**自発的瞬目（まばたき）**の頻度は感情・課題によって変化することが知られている

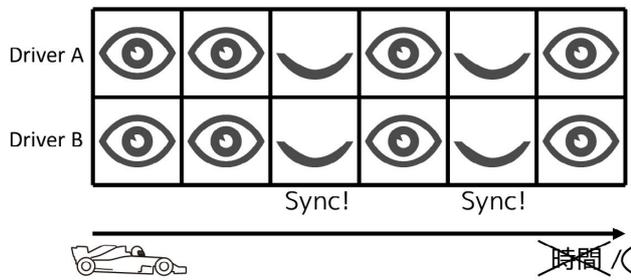


心理・認知状態を逐次捉える指標になりうる

### レースカー走行中の瞬目パターン

似た心理・認知状態にいる場合、似た瞬目行動が起きると予想される

Q: レースカーの周回反復中に同じようなタイミングで瞬目を繰り返すのか？

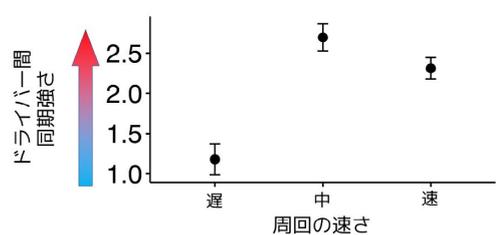


コース上の**位置**を基準としたときに同期現象を発見  
→ 選手が常に一定の心理・認知状態にあるのではなく、コース上の位置に応じて細かく状態を制御していることを示唆

瞬目回数は選手間で大きく異なるにも関わらず共通位置で瞬目する  
→ エリート選手間で共通の**パターン**を持つ

▶ **瞬目パターンによって細かい注意制御を可視化、定量化**できる可能性を示唆

Q: 車の速さで同期の強さが変化するのか？



周回の速さによって同期程度が変化することを発見  
→ ドライブの難しさと関連する心理・認知的負荷を反映していることを示唆

▶ 同期の強さによってアスリートの心理・認知負荷を表現できる可能性

### わかったことと今後の展望

- ✓ 運転中にはコース位置・速さ依存の瞬目パターンが存在することが明らかとなった
- ✓ 瞬目パターンによって心理・認知状態を定量的に表現できる可能性がある
- ✓ 競技レベルでの違いや、他の競技での応用可能性が今後の課題

### 関連文献

[1] R. Nishizono, N. Saijo, M. Kashino, "Synchronization of Spontaneous Eyeblink during Formula Car Driving", in *Proc. The 13th ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications (ETRA)*, 2021.

### 連絡先

西園 良太 (Ryota Nishizono) 柏野多様脳特別研究室  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

どんな研究

人の巧みな“ふるまい”の実現に、運動学習は欠かせません。特にスポーツシーンなど複雑な環境下では、様々な場所に目を向けながら、新規の腕運動スキルを獲得・発揮することが求められます。本研究では、視線方向が腕運動学習と密接に関連していることを世界で初めて発見しました。

どこが凄い

運動における目の重要性は、従来多く語られてきましたが、その多くが“目標に目を向けることの優位性”に限定されてきました。本研究は、中心視でも周辺視でも、学習中に用いる視線と腕運動の位置関係が、獲得される腕運動スキルの重要な内部表現となっていることを解明しました。

めざす未来

本成果は、腕運動学習における視線の重要性について、新たな考え方を提案するもので、学習メカニズムの解明に向けて、大きなパラダイムシフトを引き起こすものです。また、スポーツトレーニングやリハビリテーションプログラムなど、実社会の学習問題への活用もめざしていきます。

目と腕の位置関係



運動スキルの獲得と発揮には“腕”に加えて“目”も重要？

従来研究：周辺視に対して、中心視の優位性のみに着目。

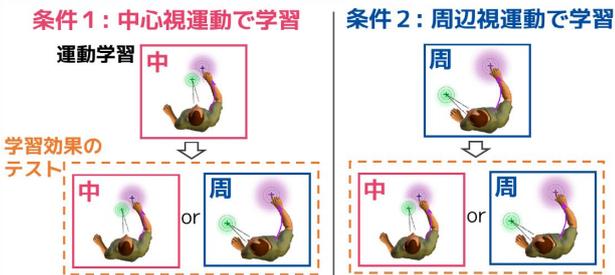
本研究：中心視と周辺視の両方を含めて、目と腕の位置関係が腕運動学習と密接に関連することを世界で初めて解明。

実験手法

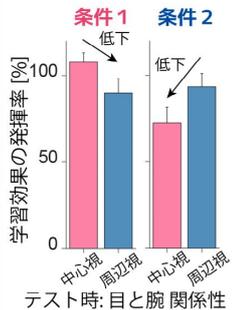
- 腕と異なる方向に動くカーソル（回転変換）を、目標へと動かす課題
- 次第にエラーを補正する動きを獲得→運動学習として評価



実験1：目と腕の位置関係は運動学習に影響するか？



[結果] 両条件とも、学習時と異なる目と腕の位置関係を用いると、学習効果の発揮率は約80%に低下。



**学習効果の発揮：学習時に用いた目と腕の関係性を保つことが重要**

中心視と周辺視で異なる内部表現を示唆⇒異なる運動スキルを同時獲得可能？

逆転の発想で実験2へ！！

実験2：中心視運動と周辺視運動は異なる腕スキルの同時獲得を可能にするか？

学習過程（480試行）：学ぶべき回転変換（右回り & 左回り）を試行毎に切り替えながらも、視線と腕の位置関係に紐づける\*1

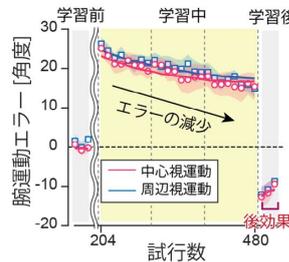
	試行1	試行2	試行3	-----	試行480
視線&腕	中心視運動	周辺視運動	周辺視運動	-----	中心視運動
学ぶべき回転変換	右回り	左回り	左回り	-----	右回り

[結果] 学習過程の一例。二つの回転変換は同回数、順不同に提示。

学習中：両方向の回転変換に対して、運動エラーが減少  
学習後：顕著な“後効果”\*2を観察

\*1 通常、異なるスキルの同時獲得は難しいことが知られる。

\*2 後効果：学習後に、回転変換を取り除いた状態で腕運動を評価。大きい負値ほど、学習した運動パターンを適切に発揮。



目と腕の位置関係を変更：異なる腕運動スキルの同時獲得が可能

人は目と腕の位置関係も含めて腕運動スキルを獲得

関連文献

[1] N. Abekawa, S. Ito, H. Gomi, “Different learning and generalization for reaching movements in foveal and peripheral vision,” in *Proc. Adv. Mot. Learn. Mot. Control*, 2019.  
[2] N. Abekawa, S. Ito, H. Gomi, “目と腕の空間関係に依存して獲得される複数の腕運動スキル,” 日本神経回路学会 全国大会(JNNS2020), 2020.

連絡先

安部川 直稔 (Naotoshi Abekawa) 人間情報研究部 感覚運動研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

# 28

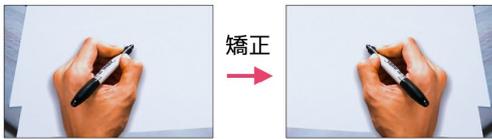
## 運動のばらつきで利き手かどうかを簡単判定

### スマートフォンで運動能力を計る？

<p><b>どんな研究</b></p>	<p>球技スポーツ等で利用される従来の<b>利き手調査</b> [1] は、<b>矯正</b>などに<b>左右されやすく</b>、実際の運動能力に基づいた定量的な測定を簡単に行うことが困難でした。本研究では、左右手の<b>簡単な繰り返し運動</b>を評価して<b>利き手度合いを定量化</b>する手法を生み出しました。</p>
<p><b>どこが凄い</b></p>	<p>従来の方法では<b>専用機器</b>で運動能力を計測するため、手軽に計測するのが困難でした。提案した方法では<b>スマートフォン</b>を握って簡単な運動をするだけで<b>運動能力を定量化</b>でき、スポーツの現場でも<b>手軽</b>に、個人ごとに異なる<b>利き手度合いの評価・判断</b>が可能です。</p>
<p><b>めざす未来</b></p>	<p>運動能力を簡単に評価する手法をさらに発展させることにより、スポーツ種別に則した<b>トレーニング</b>や<b>運動リハビリ</b>での<b>左右バランス</b>や<b>学習効果</b>を容易に「見える化」できることが期待されます。さらに、<b>運動機能と脳情報処理の関係</b>を探るツールとしての展開もめざしています。</p>

#### 運動能力定量化問題

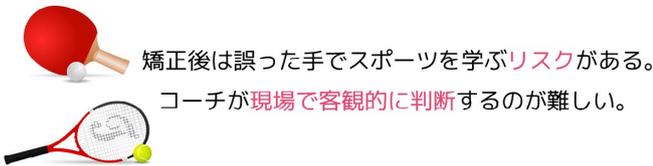
運動に特化された手と「利き手」が違う問題



- 問1. 矯正後の利き手はどっち？
- 問2. 利き手判断は定量化できるの？

#### 問題の難しさ

##### 難しさ1. 客観的な利き手判断



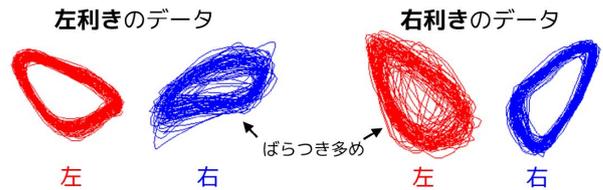
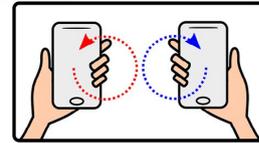
##### 難しさ2. 専用機器の必要性



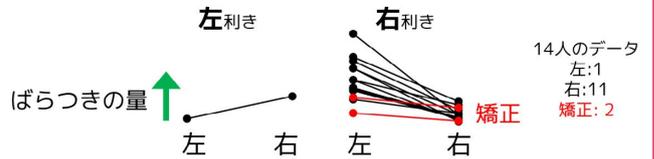
従来の利き手判断には**専用機器**が必要。  
手軽な計測が難しい。

#### スマートフォンでの運動能力評価

繰り返し運動をスマートフォンの加速度計で計測し、動きのばらつきを運動能力と定義、定量化する。



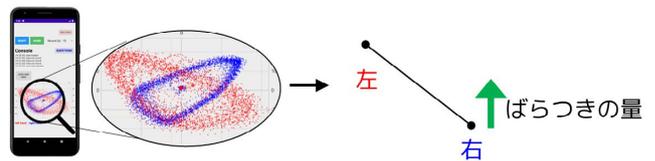
答1. 矯正後は右手のばらつきが減少する傾向。



答2. 利き手判断は運動のばらつきで定量化。

#### まとめ

- 利き手判断の**定量化**により、**矯正の影響**が明らかに。
- 左右の運動能力バランスが**現場で手軽**に計測できる。
- スポーツ**トレーニングの評価**も期待できる。



#### 関連文献

- [1] A. Takagi, S. Maxwell, A. Melendez-Calderon, E. Burdet, "The dominant limb preferentially stabilizes posture in a bimanual task with physical coupling," *Journal of neurophysiology*, Vol. 123, No. 6, pp. 2154-2160, 2020.
- [2] R. C. Oldfield, "The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory," *Neuropsychologia*, 1971.

#### 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  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

どんな研究

野球で時速150kmの豪速球を打つとき、打者は約0.4秒で球筋を見極めバットを操らなければなりません。しかし、正確な判断や運動には時間を要します。このような厳しい時間制約下でどのように判断と運動を両立させているのか、その脳情報処理の仕組みについて調べました。

どこが凄い

判断や運動の研究は個別に行われがちですが、両者は密接に関係すると考えられます。私たちは、判断と運動の関係性を評価するための打撃実験を行い、時間が厳しいと球筋を判断する効果は低下するが、その低下を補うために運動戦略を変える能力が重要であることを明らかにしました。

めざす未来

主に身体的な側面（体力面）から行われてきたアスリートの評価やトレーニングに対して、認知や運動制御など様々な脳の情報処理機能、いわば「脳力」面の評価や学習手法を確立することをめざしています。さらに、新たな才能発掘やスポーツ以外の領域での活用なども期待されます。

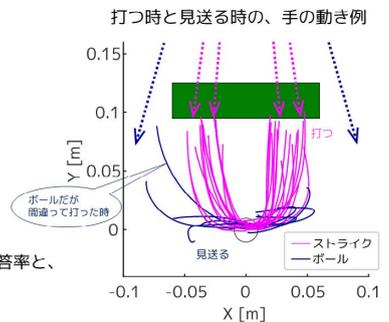
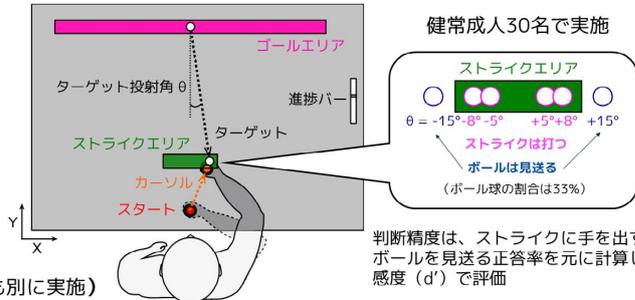
瞬時の状況判断と運動実行 「正確な運動や判断を行うためには時間がかかる」  
…豪速球（打つまでの時間が短い球）のとき、どう判断して運動する？



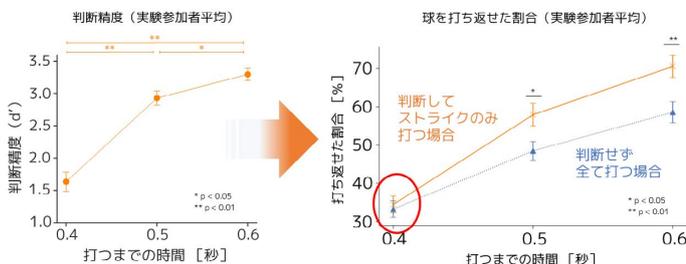
バッティングを模した実験で評価

（ストライク/ボール判断をして、ストライクターゲットを正確に打ち返す）

- 球を打つまでの時間  
(time-to-contact: TTC)
- 0.4秒 ≒ 153 km/h
  - 0.5秒 ≒ 122 km/h
  - 0.6秒 ≒ 102 km/h



豪速球を打つ時の判断やヒット成績は？



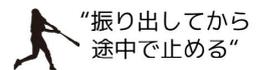
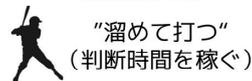
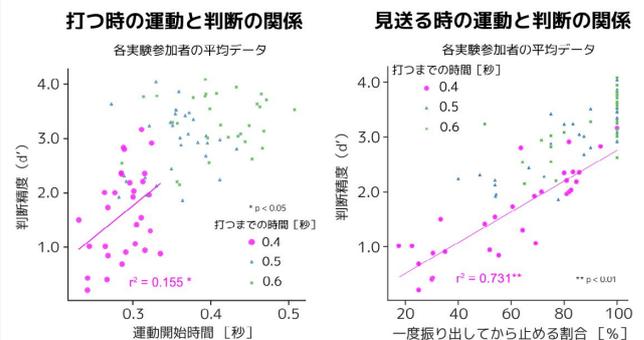
打つまでの時間が短くなると、**正しく判断できなくなる**

判断の効果

- ◎ 0.5秒以上：判断した方が良く打ち返せる
- △~× 0.4秒以下：判断の有無で変わらない

打つまでの時間が短いと、**判断精度が低下し、結果的に打ち返せた割合も低下する**

豪速球を打つ時の運動は？



打つ時は**運動開始を遅くして、見送る時には振り出してから止める“脳力”が判断精度に効いていると考えられる**

関連文献

- [1] 小林明美, 木村聡貴, “ヒッティング課題における認知戦略の影響,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 118, No. 470, pp. 37-42, 2019.
- [2] 小林明美, 木村聡貴, “意思決定の挙動は運動の冗長性に影響される,” 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム2020, 2020.
- [3] A. Kobayashi, T. Kimura, “Go/No-go decision making under severe time constraints interferes with hitting task performance,” in Proc. The Society for Neuroscience 49th Annual Meeting, 2019.

連絡先

小林 明美 (Akemi Kobayashi) 柏野多様脳特別研究室  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

**NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
オープンハウス 2021 実行委員会**

(委員長) 新井 賢一

(副委員長) 加藤 豪

(委員) 大國 智樹／丹羽 健太／リャオ シンイ／那須 大毅



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 FAX: 0774-93-5026