

# NTT

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可  
令和5年8月1日発行 毎月1回1日発行 第35巻第8号(通巻413号)

# 技術ジャーナル

**8** AUGUST  
2023  
Vol.35 No.8

## 特集

### 多様な知と技術が彩る だれもがどこでも輝ける未来

### NTTドコモのAI技術の事業化への取り組み

#### トップインタビュー

白波瀬 章

NTT西日本 執行役員 技術革新部長

#### For the Future

世界中が熱い！半導体政策・動向を紐解く—後編—

#### グループ企業探訪

NTT コノキュー

#### from NTTドコモ

スマートフォンログによる要介護リスク低減をめざしたフレイル推定AI



4 トップインタビュー

**「選択すれば成し遂げられる」  
新しいことに挑み, 既存のビジネスもしっかり守る**

白波瀬 章

NTT西日本 執行役員 技術革新部長



8 For the Future

**世界中が熱い! 半導体政策・動向を紐解く 一後編一**

12 特集1

**多様な知と技術が彩るだれもがどこでも輝ける未来**

14 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

17 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

20 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心理・生理・神経メカニズムの解明

24 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

27 主役登場 中村 健吾 NTTコミュニケーション科学基礎研究所



28 特集2

**NTTドコモのAI技術の事業化への取り組み**

30 DXを実現する自然言語処理技術

34 要約作業を効率化する多機能なニュース記事自動要約AIシステム

38 英語スピーキング採点技術の開発



41 挑戦する研究者たち

河邊 隆寛

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員

物に触れることなくその質感を錯覚させる情報提示技術



特集

44 挑戦する研究開発者たち

吉村 健

NTTドコモ サービスイノベーション部 担当部長

音声認識・自然言語処理・自然対話技術で  
日常生活をより便利に



For the Future

47 明日のトップランナー

橋本 悠香

NTTネットワークサービスシステム研究所 特別研究員

数学理論によるデータ解析で、未知の事象を解明する  
「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」



特別企画

50 グループ企業探訪

株式会社NTTコノキュー

NTTグループの資産を結集し、  
新たなXRの世界を開拓する



挑戦する研究者たち

挑戦する研究開発者たち

54 from NTTドコモ

スマートフォンログによる要介護リスク低減をめざしたフレイル推定AI

58 Webサイト オリジナル記事の紹介

9月号予定  
編集後記

明日のトップランナー

グループ企業探訪

本誌掲載内容についてのご意見、ご要望、お問い合わせ先

日本電信電話株式会社 NTT技術ジャーナル事務局  
E-mail journal@ml.ntt.com

本誌ご購入のお申し込み、お問い合わせ先

日本電信電話株式会社 電気通信協会 ブックセンター  
TEL (03)3288-0611 FAX (03)3288-0615  
ホームページ <http://www.tta.or.jp/>

NTT技術ジャーナルは  
Webで閲覧できます。

<https://journal.ntt.co.jp/>



from NTTドコモ



NTT西日本  
執行役員 技術革新部長

## 白波瀬 章 Akira Shirahase

### PROFILE

1992年日本電信電話株式会社入社。

2014年NTTスマートコネク ト 取締役, 2016年同代表取締役社長,

2020年NTT西日本 取締役 ビジネスデザイン部長を経て, 2021年6月より  
現職。



# 「選択すれば成し遂げられる」 新しいことに挑み, 既存のビジネスもしっかり守る

「あしたへーwith you, with ICT.」. ワクワクする未来をめざし, ステークホルダーとともに挑戦を続けるNTT西日本. 「西日本スピリッツ」を再定義し, 新たな存在意義「パーパス」を定め, 「あらゆる人々が幸せで豊かな未来の姿」を追求しています. 社会の発展を技術で支える白波瀬章NTT西日本技術革新部長に技術戦略とトップとしての心構えを伺いました.

### 大きな変節点を迎え, 「西日本スピリッツ」を再定義

NTT西日本の事業状況についてお聞かせください。

NTT西日本は, 固定電話サービス利用者減少に伴う収入減等の中, 成長分野ビジネスへと収益構造を転換する, まさに変革期を迎えています. こうした中私たちは, 地域の皆様に役立つパートナーとして, より成長できる会社への変革をめざし, 売上高における成長分野ビジネスを2025年に50%以上に押し上げていくとともに, 仕事のやり方を見直し, 環境の変化等に迅速に対応していくことができる, 筋肉質な体質への変化を加速しています.

2021年には新たなパーパスを, 「『つなぐ』その先に『ひらく』あたらしい世界のトピラを. 私たちは, 地域社会の一員として, あらゆる人々が幸せで豊かな未来の姿を追求しつづけます. そのために, 技術と知恵をみがき, 新たな価値の共創に挑戦します.」として制定しました. そして, このパーパ

スの具現化に向けて, 全社員が「自分事」として業務に取り組んでいます.

何事においても「自分事」としてとらえることは重要ですね. それを具現化するためにどのような取り組みをされているのですか.

1人ひとりの社員が「会社のパーパス」と接合する自分の「マイ・パーパス」を設定することを奨励しているほか, パーパスをベースに各部署で意見交換の場を設け, トップと話をする機会を設けることに力を入れています. もちろん, 私も参加してお話を聞いています. 日ごろは管理者から報告を受けることが多いのですが, 担当社員の皆さんと直接会って, じっくりと話し, 耳を傾ける時間は非常に楽しく, 充実しています. 当然, 交わされる議論の中には厳しい意見もありますが, 忌憚のない交流に貴重な気付きを与えていただいています. 現代はVUCAの時代といわれ, 複雑多様な社会課題を抱えています. 多様性が叫ばれる中, こうした直接的なコミュニケーションを通じてお互いにさまざまな価値観を知

り, 考え方を知ることは重要であり, その場としての意見交換会は非常に有意義な活動です. さまざまな価値観を分かり合ったうえでの自発的な行動はまさに「自分事」だと思います.

また, パーパスを具現化していくプロセスにおいては, 地域にフォーカスしたものが中心となってきますが, 一方で, 地域のみならず, グローバルにも展開できる可能性を感じています. 具体的には日本で成功した新しいビジネスを海外展開していくことです. 例えば, グループ会社のNTTソルマーレが提供する漫画・電子書籍の配信サービス, 「コミックシーモア」の月間利用者数は3500万人です. そして日本の「Manga」文化が海外にも定着していることに着目し, 2022年3月に北米向け電子書籍配信サービス「Manga Plaza」をリリースし, 海外展開を強化しています. ほかに, 廃棄ゴミを削減し, 地域経済の活性化に貢献する地域食品資源循環ソリューションや省人化のためのロボット, AIソリューションなど, 課題先進国である日本発のビ



ジネスは大きな可能性があると思っています。また逆に、海外のベンチャー等とも積極的に連携し、競争力のあるサービスを日本で展開していくことも視野に入れていきたいと考えています。

### 技術に加えて重要なのはマーケットの先読み

地域のみならず、グローバル展開も視野に入れての営みなのですね。CTOとして実現のカギを握る技術戦略やビジョンについてお聞かせいただけますか。

ICTとしては、マルチクラウド、ネットワークと統合したICTインフラ、マネージドサービス。課題解決においては、自治体DX（デジタルトランスフォーメーション）、教育、医療。さらに、未来創出においてはWell-beingが実感できる社会を実現するため、生活、健康、経済、環境をキーワードに「未来社会」を築いていくためのサービス化を考えています。現在これらのキーワードを踏まえて、「イノベティブな社会課題解決企業への変革」と「デジタル社会を支える重要インフラである通信サービス提供」の2つの軸において技術戦略・ビジョンを掲げています。

具体的には、オープンイノベーションと、IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）技術をいち早く活用した社会にインパクトのある新事業を創出し、成長重点領域のサービスを創出・拡大すること、そして、社会インフラとしてのネットワーク基盤の安定運用と効率化・高度化に向けた技術開発を図ります。一例として、お客さまに安心して通信サービスをお使いいただけるよう品質やインフラの状況を可視化して、不具合発生時に、より迅速な対応を可能にしたり、電車の遅延情報の案内のように、お客さまに速やかに分かりやすく報告するようなサービスを考えています。そして、IOWNも見据えた次のネットワークへのトランジションに臨みます。時代と



ともに変化に適用してきた現在のネットワークシステムは、変化の節目ごとに個別に対応してきたこともあり、複雑で非効率な部分を内在しています。そのため、次のオペレーション方式、アーキテクチャを検討しなければならないと考えています。Web3.0等も見据え、IOWN関連の先出し技術を活用した、新たなネットワークアーキテクチャの検討も必要です。それらの一部を大阪・関西万博でご紹介したいと考えています。

ところで、今回のインタビュー会場である「QUINTBRIDGE（クイントブリッジ）」は、企業・スタートアップ・自治体・大学等のパートナーとともに、「社会課題の解決」と「未来社会の創造」に臨む場として2022年3月に創設されたオープンイノベーション施設です。国籍や性別、年代もさまざまな立場の会員の方々が来場されて、あちこちでディスカッションが展開されていて、盛況を博しています。NTT西日本のオープンイノベーションは、まさにここを舞台としています。

さらに、QUINTBRIDGEに限らず、オープンイノベーションや、ネットワークに関するイノベーションを実現していくために、

グローバルダイレクトのパートナーリレーションも積極的に活用していきます。

ゆったりとしたオープンスペースや個室はとてモダンなデザインで、まるでカフェにいるようです。コーヒースタンドでディスカッションされる様子もあって、見るだけで創造性を刺激されます。

複雑多様な現代の変化の激しい環境において、技術に加えて重要なのはマーケットの先読みです。私はその実現方法、カギとなるのがオープンイノベーションだと考えているのです。やはり、社会の動きや技術の動向は1つの企業のみでの営みでは気付けないことがあるのです。その社会の動きや技術の動向について、さまざまな立場の方々と出会い、会話し、議論することを通じ、タイムリーにその変化を獲得しなければマーケットの先読みはできません。これらの営みを通じて新しい発見をしていくことは非常に重要であると考えています。

これを実現するためのQUINTBRIDGEは、オープン以来、延べ9.2万人の方にご利用いただいています。イベント数は1年3カ月で470回を超えました。私はQUINTBRIDGEのオープンイノベーショ

ンのアプローチ自体もイノベーションだと考えています。通常、事業会社が運営するオープンイノベーション施設では、その会社と組みたい方々が集まるものですが、QUINTBRIDGEでは運営会社であるNTT西日本とのマッチングだけにこだわらず、まず会員それぞれが「問いや課題」また自身が提供できる「アセット」をこの場に持ち寄り、そこからNTT西日本も含めた他の会員との「社会課題解決のための」共創活動を実施するようにしたのです。これにより想定以上のパートナーが集まって、今日のような活発な活動が自発的に行われています。

ところで、私は日本企業、特に大企業の多くは自分自身だけでは限界を超えるのが難しいと感じています。私は企業が自らの限界を超えるためのプロセスをつくりたいのです。それがうまくいけば各社に展開し、



支援することでNTT西日本は次世代の社会的企業になれると考えています。そのため1つの仕組みがQUINTBRIDGEなのです。QUINTBRIDGEにおける日々の活動から、参加している会員の皆様の私たちへの強い期待もひしひしと伝わってきます。開設から1年を経て、オープンイノベーションの土台づくりはできたと実感していますが、新たなビジネスを創出するために、NTT西日本としてやるべきことをさらに明確化しなければならない、私たちの成果を最大化していく修行の場としてQUINTBRIDGEをさらに活用する必要性も感じています。スタートアップをはじめとする会員企業からは、NTTグループ全体との連携への期待もいただいています。NTT西日本として強みを発揮できることに積極的にチャレンジするのはもちろん、NTTグループ各社との連携のハブにもなって、グループの総合力で社会により大きなインパクトのある事業を具現化していきたいと思っています。

### トップは変える人であり、決める人だが、独善的になってはいけない

NTTに入社して歩んでこられた道のりから得られた教訓等をご教示いただけますか。

1992年にNTTに入社して法人営業からスタートし、2年後にNTTアメリカのロサンゼルスオフィスへ赴任しました。関西の企業のグローバル展開をサポートする業務にあたりながら、米国でインターネットの商用化が勢いよく進んでいくのを目の当たりにし、「これはビジネスになる」と幹部に進言して、現地に設置されたNTTの研究所の方々の支援を受けて、インターネットへの接続サービスなどを手掛けることになりました。この経験を通じて、NTTは提案を前向きにとらえてくれる企業であり、研究所を含めて人材の宝庫であると再認識したのです。

そして、人とのつながりがいかに大切で

あるかを実感したのが、帰国後、インターネット関連のビジネスを推進するプロジェクトに配属され、担当したAPEC大阪会議(1995年)での経験です。会議支援のために集まったメーカーや放送局、広告代理店をはじめさまざまな企業や大学の先生方とつながって、先進的なインターネット技術の開発、実証実験を進める産官学共同コンソーシアム「サイバー関西」を発足しました。ここから、NTTスマートコネクトやスマホ等でラジオが聞けるradikoのような新会社、新サービスが生まれたのです。

このような経験がいかに実りあるもので、社会貢献につながっているかを感じています。次は2025年の大阪・関西万博で新たなレガシーをつくりたいです。これらの経験に導かれた教訓は、多様性が大事であることもかもしれません。多様性を積極的に受け入れるためには「意識」が必要なのです。人は見たいものしか見えないですから。

さらにこれらの経験を通して、私は新規事業と既存事業のバランスに非常に気を配っています。企業活動においては、既存事業の深化と新規事業の探索のうち、深化に引きずられてしまいがちです。既存事業を守るために新規事業に手が回らないこともあるのです。一方で手当たり次第に探索を試みてもうまくいきません。このバランス、リバランスをニーズと知見を活かして意思決定していくことを大事にしています。

意思決定の精度を高めるために日ごろから努めていらっしゃることはありますか。

意思決定の精度を上げるために、私は社内外のさまざまな立場の方々と交流することを大切にしています。コロナ禍にあって、直接的に交流することが叶わない時期がありましたが、だからこそ、その価値を実感しています。

私は何事も「選択すれば成し遂げられる」と信じています。「まず選択する」ことが、どんなに時間がかかっても何かを実現するうえで力になると、これまでの経験を通



じて実感してきました。また、私はトップとは「決める人、変える人」だと思っています。最終的な決断は、トップが担うわけですが、独善的に決めるわけではないのです。私はさまざまな状況や立場に耳を傾け、展望等をかんがみ、適切な方向へ導けるように確認しながら決断を下します。人は、最善だと思って進んでいる方向を自ら転換する、特に止める、のは難しいものです。だからこそ、トップが決断する役割を担うという側面もあると思います。

そして、企業自身も自ら変革を起こすことはなかなか難しいものなのです。そこで、先ほどのお話に戻りますがオープンイノベーションが大事になるわけです。さまざまな人と共創することで変化をつくり出すことができるからなのです。

#### 最後に皆さんへのメッセージをお願いします。

まず、研究者の皆さん、基礎研究を含めた研究開発を継続的に取り組んでいることはNTTグループの強みです。新しい技術

創出にチャレンジしていただきたいのですが、その際、その技術が何に役立ちそうかの仮説をもって信じて取り組んでください。結果的に、本来のねらいと違うところに活かされてもよいと思います。ぜひ、自信をもって新しい価値を生み出してください。

技術者の皆さん、通信インフラを守りつつ、イノベティブな社会的企業へ変革するには、既存事業の深化・新規事業の探索、両利きで取り組まないとはいけません。新しいことをやる人と守る人、両方必要だと私は考えています。互いに尊重し合い、助け合う風土を大切にしていきたいですね。QUINTBRIDGEも活用しながら、グループの人材を横でつなげるようなコミュニティもつくっていききたいと思っていますので、ぜひ参加、あるいは、企画してください。

お客さま、パートナーの皆様。私たちは今後もQUINTBRIDGE、大阪・関西万博等のイベント等を活用して、さまざまな事業アイデアを創出・発信していきたいと考えています。パートナーの皆様、新たなアイデア・サービス、よりよい社会を共に創り出していきましょう。

(インタビュー：外川智恵 / 撮影：大野真也)

## インタビューを終えて

企業のマネジメントのトップのお話は、ややもすれば事業説明に終始してしまうことがあります。ところが、NTTのトップは事業説明に織り交ぜて、成功も失敗も、公私ともに正直にお話ししてくださり、知見や教訓を授けてくれます。白波瀬部長も同様に、ご経験に加えて、ご趣味についてもお話していただきました。驚いたのが趣味や興味の幅広さです。ご趣味の読書ではマーケティング戦略や時間節約術、技術関連の書物を手に取られ、最近ハマっているというファスティング（断食）の仕組みについて熱く語っていただきました。その

一方、大のドラマ好きで、サブスクリプションを利用すると際限なく観てしまうので1クール3本と絞り込んでいたりとか、刑事ものから、大河ドラマなどを楽しんでいるそうで、「私の人生の半分はドラマでできているかもしれませんよ」と満面の笑みを湛える白波瀬部長。インタビューで感じた俯瞰的な視点や切れ味をクールヘッドと称するならば、趣味や興味を無邪気に話されるお姿はまさにウォームハートのなあり方です。新規事業と既存事業のバランス感覚を重要視されているというご姿勢と同様、白波瀬部長の人としてのあり方の絶妙なバランス感覚を垣間見たひと時でした。

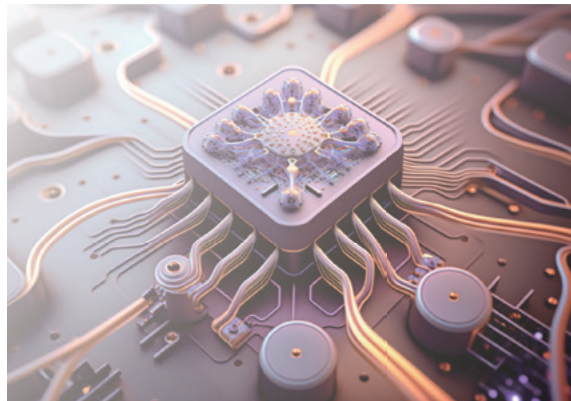






## 世界中が熱い! 半導体政策・動向を紐解く ー後編ー

本稿では、近年、急速に進展する社会経済のデジタル化を支える基盤製品であり、また経済安全保障の観点からも重要な戦略物資となっている半導体の最新技術トレンドを展望します。



### はじめに

本誌2023年7月号『世界中が熱い! 半導体政策・動向を紐解く-前編-』では、半導体業界のビジネスモデルや、半導体メーカーの動向、および半導体の国内製造能力の強化等に向けた各国の国家政策の動向等について展望・概説しました。本稿では、後編として、次世代半導体に関する最新の技術トレンド等について概説します。

### 次世代半導体の最新技術トレンド

次世代半導体をめぐっては、半導体の計算・情報処理能力の向上や、省電力化等に向けて、近年、さまざまな要素技術が登場しています。

ここでは、次世代半導体の先端技術トレンドについて、「微細化技術」「3次元実装技術」「新素材」の3つを展望します。

#### ■微細化技術

前編でも述べたとおり、ここ数年で、自動運転やロボティクス、スマートシティなど、あらゆる業界ビジネスにおいて、自動化やデジタル化を見据えた動きが加速しています。同時に、世の中に流通・蓄積されるデータ量も飛躍的に増加しており、半導体にもさらなる計算・情報処理能力の向上が求められるようになってきました。それらを実現する技術としてまず注目されるのは半導体製造の前工程での「微細化技術」です。

我が国における微細化技術は、回路線幅が40 nm (nは10億分の1) で止まっており、

10年以上も微細化が進んでいませんでしたが、直近では、2 nm以下の先端ロジック半導体の開発・量産をめざして、

トヨタ自動車、デンソー、ソニーグループ、NTT、NEC、ソフトバンク、キオクシア、三菱UFJ銀行の支援を受けて2022年8月に設立された新会社のラピダスが、2 nm半導体の量産に向けた本格準備に入っています。ラピダスは、2025年に2 nm半導体の試作ライン稼働させた後、2027年には2 nm半導体の量産を計画しています。ラピダスの計画は、現在の40 nmから一気に2 nmまで微細化を実現する計画となっています<sup>(1)</sup>。

他方、海外メーカーに目を転じてみると、我が国よりもかなり先行して微細化技術が進展しています。リードしているのは、TSMC (台湾) と、サムスン電子 (韓国) です。両社は2025年には、2 nm半導体の量産を開始する計画です。さらに、サムスン電子は、2027年に1.4 nmの量産を開始

する計画を打ち出しています (図1)。

このように、微細化技術については、2025年以降に、2 nm程度の半導体が量産されていく見通しとなっています。とりわけ、ラピダスが2 nmの試作ライン稼働させるころにはTSMC、サムスン電子は、量産体制に入っているということになります。

#### ■3次元実装技術

次世代半導体に向けた要素技術の2番目は、半導体製造の後工程において、複数のチップを積み重ねて性能を高める「3次元実装技術 (3Dパッケージング技術)」です (図2)。

半導体の微細化技術の進化により、1つのチップに複数の機能を集積する集積度が高まるとともに、接続された素子間の距離が短くなることで、演算性能が向上します。実際には先端半導体の微細化速度のスロー

	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年
ラピダス (日本)	[11月] ・経産省から700億円支援	[4月] ・経産省から2600億円の追加支援		・2ナノ試作ライン稼働を計画		・2ナノ量産を計画
TSMC (台湾)	[12月] ・3ナノ量産開始		・米国で4ナノ量産を計画 ・熊本県で22/28ナノ量産を計画	・2ナノ量産を計画	・米国で3ナノ量産を計画	
サムスン電子 (韓国)	[6月] ・3ナノ量産開始					・1.4ナノ量産を計画

出典：各種情報より筆者作成

図1 半導体の微細加工技術ロードマップ

ダウンと、微細化の物理的な限界が近づいており、微細化技術だけでは将来的な演算要求性能を達成するのが難しくなることが予想されています。さらに、先端半導体の製造コストは、世代を追うごとに上昇し、かつ製造工程における消費電力も増大していることも、サステナブル社会を実現するうえでの課題となっています。

この課題を乗り越える技術が「3次元実装技術」で、(1つのチップ上に複数の機能を集積するのではなく)さまざまな機能を持つチップを垂直方向に積層して、複数のチップを短距離に接続していく技術です。

「3次元実装技術」によって、半導体の製造コストの低減や、低消費電力化が可能となり、またデバイス全体の処理能力を向上させることが可能となります。ラピダスも後工程の「3次元実装技術」の研究に乗り出す意向を示しています。

先ほど、日本の微細化技術は海外に比べて遅れをとっていることを述べましたが、この「3次元実装技術」の関連技術については、日本メーカーも強みを持っています。

とりわけ、半導体製造の後工程においては、ウエハ上に形成された集積回路を切断し、チップ化する工程のダイシング技術や、シリコンウエハの表面・裏面を高精度に研削・研磨するグラインディング技術では、東京精密やディスコなどの日本企業が、世界でも高いシェアを有しています。

また、半導体チップを封印するパッケージング基盤の先端品でも、イビデンと新光電気工業が高いシェアを有するなど、半導体製造の後工程においては日本メーカーにも強みがあります。

「3次元実装技術」については、海外メー

カーのTSMC(台湾)やインテル(米国)など、先端半導体の前工程分野をリードしてきた企業も投資を拡大しており、チップの集積技術や先端パッケージング技術開発を競っています。

### ■新素材

半導体集積回路の高性能化や省エネ化に向けては素材の技術革新も進んでいます。例えば、パワー半導体をはじめとする現在の半導体の材料はシリコンが主流ですが、GaN(窒化ガリウム)やSiC(シリコンカーバイド)といった、広いバンドギャップ(電子が価電子帯から伝導帯に遷移するために必要なエネルギー)を持つ、所謂ワイドギャップ半導体の実用化が進んでいます。

GaNやSiCは、耐えられる電界の最大強度がシリコンよりも大きく、高耐圧、低損失性を有するため、パワー半導体機器の小型化や高効率化に有効です。さらにGaNは高いキャリア移動度(電子や正孔などの移動しやすさ)を有するため、優れた高周波特性を実現可能なことから、携帯電話基地局用機器等の無線通信分野への応用が進んでいます。

さらに、GaNやSiCよりも広いバンドギャップを有する材料として酸化ガリウム( $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、窒化アルミニウム(AIN)、ダイヤモンドがあり、いずれも次世代パワー半導体の材料として期待され、開発が進められています\*。

### 【コラム①：光電融合の実現に向けたNTTの研究開発動向】

本誌2023年7月号『世界中が熱い！半導体政策・動向を紐解く-前編-』では、光回路と電気回路を融合させ、小型・経済化に

加えて、高速・低消費電力化など、さまざまな性能向上を図る「光電融合技術」について紹介しました。

ここでは“NTT Technology Report for Smart World 2022<sup>(2)</sup>”を基に、「光電融合」に関するNTTの研究開発(R&D)事例について概説します。

光電融合技術については、さまざまな研究開発が進められていますが、とりわけ、NTTは、2000年代初頭から、「シリコンフォトニクス」という技術を用いた光送受信モジュールの開発に取り組んでいます。

「シリコンフォトニクス」とは、大規模集積回路(LSI)技術によって培われてきた微細加工技術を用い、通信波長帯(1.3~1.5 μm)において透明なシリコンを光集積回路のプラットフォームとして活用する技術です。

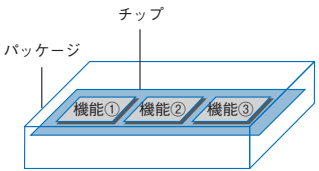
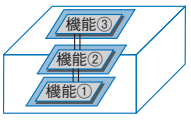
従来、光トランシーバ内の光デバイスは、それぞれ異なる材料系を用いて実現され、相互に接続されていました。他方、「シリコンフォトニクス」技術は、光回路だけではなく変調器やGe(ゲルマニウム)PD(光検出器)などの集積も可能となるという特徴を持っています。そのため、1つのプラットフォーム上にさまざまな材料系を集積することが可能で、シリコンフォトニクスチップを電子回路とともに同一パッケージ内へ実装することで光デバイス部分の超小型化の達成が可能となります。

この光電融合技術のロードマップについては、NTTでは、5つの世代を設定したロードマップを策定しています(図3)。

とりわけ、2026年以降の第4~5世代では、デバイスの内部へ移りパッケージ間の光伝送の実現がめざされ、さらに第5世代ではよりミクロな半導体チップ内の光伝送を実現し、チップ内の1cm未満という距離で電気と光の伝送路が混在するデバイスの製造がめざされています。

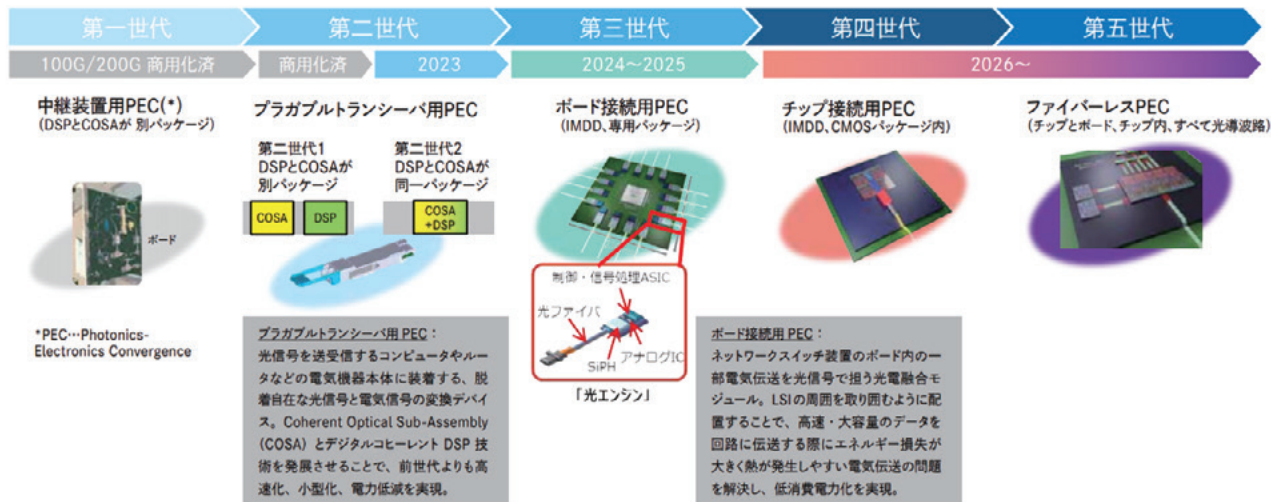
なお、NTTは、2023年5月12日、光電融合デバイスの企画、設計、開発、製造販売をする新会社「NTTイノベーションデバイス株式会社」を2023年6月に設立する

\* ダイヤモンド半導体については、2023年5月11日、Orbrayとミライズテクノロジーズが、電気自動車(EV)など電動車向けダイヤモンド製パワー半導体の共同研究を始めたこと発表。

技術	回路微細化技術	3次元実装技術 (3Dパッケージング技術)
特徴	・ 1つのチップに複数の機能を集積	・ さまざまな機能を持つチップを積層して短距離に接続
イメージ		
利点/欠点	・ 微細化のペースが鈍化 ・ 面積が大きくなりやすい	・ 処理能力や電力効率が向上 ・ 全体を小型化

出典：各種情報より筆者作成

図2 回路微細化技術と3次元実装技術(3Dパッケージング技術)



出典: NTT Technology Report for Smart World 2022  
[https://www.rd.ntt/download/NTT\\_TRFSW\\_2022\\_J.pdf](https://www.rd.ntt/download/NTT_TRFSW_2022_J.pdf)

図3 光電融合デバイスの研究開発ロードマップ

と発表しました<sup>(3)</sup>。

### 次世代半導体のユースケース

これまで、次世代半導体技術の研究開発動向について展望しましたが、次世代半導体技術を効果的に社会実装していくためには、そのユースケース（需要サイド）の検討も重要です。なぜなら、次世代半導体の技術開発（供給サイド）と、ユースケースの創出（需要サイド）の両方が有機的に連携し合っ、両者の好循環が生まれるからです。

次世代半導体の想定ユースケースとしては、経済産業省「半導体戦略」が、デジタルニューディールの推進を掲げています<sup>(4)</sup>（図4）。

第1は、5G（第5世代移動通信システム）インフラやエッジコンピューティング、クラウドデータセンタ（DC）等のデジタル社会時代の通信・ネットワーク基盤の投資促進の支援で、それらの投資を支援しつつ、次世代半導体の需要を喚起するものです。DCについては、次世代半導体技術と光エレクトロニクス技術を融合した「次世代グリーンデータセンタ」のシステム開発が検討されています。

第2は、自動運転やロボティクス、FA（Factory Automation）・IoT、スマート

シティ、医療・ヘルスケア、ゲーミング等の業界デジタルトランスフォーメーション（DX）の推進です。それぞれの業界のDXの進展とともに、それを支える半導体の高性能化や省エネ化が必要となり、それを契機とした次世代半導体の技術開発が進展することが期待されています。

### 【コラム②：我が国における半導体業界の復活への道筋】

本稿連載では、半導体業界をめぐる地政学的な動向や国家戦略、業界構造、次世代半導体の技術開発の動向について概説してきました。

我が国の半導体業界は、1980年代に世界一になりながら、過去40年で技術の多くを失い、グローバル市場における日本の半導体メーカーの存在感が急速に低下しました。これを受けて、近年では、我が国の半導体の「再復活」が叫ばれ、再復活に向けた異次元の国家戦略（大規模な補助金支出、海外メーカーの国内誘致等）が展開されています。

それでは、我が国の半導体の「再復活」に向けて、有識者（学識経験者）はどのような見解を述べているのでしょうか。ここではその一例を紹介しします。

世界的ベストセラーとなっている『半導体戦争 世界最重要テクノロジーをめぐる国家間の攻防』（ダイヤモンド社）の著者で国際歴史学者のクリス・ミラー准教授（タ

フツ大学）は、次のように述べています。

“私は、日本の他に欧州や韓国でも、政府当局者と会うことが多いのですが、政治の指導者が「ぜひ我が国でも最先端半導体工場を造りたい」と話しているのをよく耳にします。その考えも意味のあることかもしれませんが、半導体産業のサプライチェーンは複雑なので、国の戦略としては既存の強みを活かすほうがよいのではないのでしょうか。

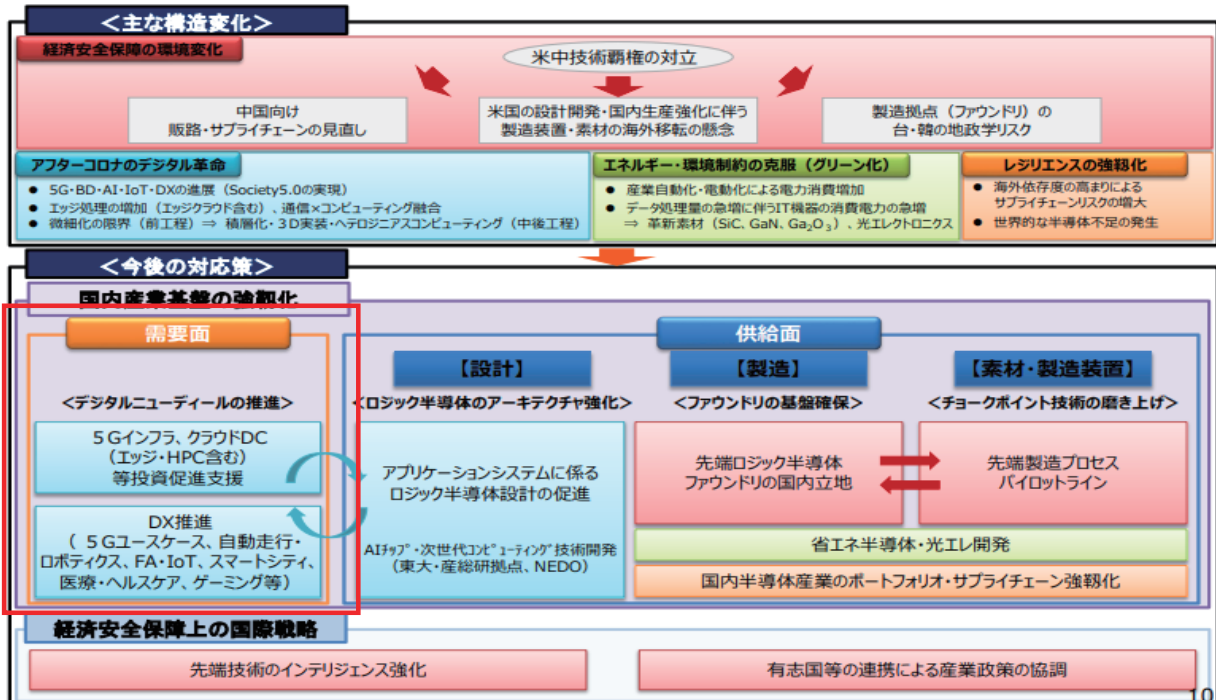
半導体産業において日本は半導体材料や半導体製造装置に強みがあります。サプライチェーン（原材料と部品の供給網）の各分野がそれぞれの強みを磨いていくことは、半導体産業全体が成長していくために必要なことです。”

（『週刊ダイヤモンド』2023年5月27日号，pp. 42-43より抜粋引用。下線部は著者による追記部分）

現在、我が国における半導体の国家戦略は、主に最終製品としての次世代半導体チップの開発に向けた支援と、海外ファウンドリメーカーの国内誘致等による、最終製品である半導体の製造能力強化に力点が置かれていると筆者は考えておりますが、クリス・ミラー准教授の指摘は、それに以外にも、我が国が海外諸国に比べて比較優位を持つ素材や製造装置にも着目して、その分野を強化すべきであるということを通じて非常に示唆的です。なぜなら、次世代半導体を製造するためには、それに必



## 我が国半導体産業を巡る全体像



出典：経済産業省「半導体戦略（概略）」  
20210603008-4.pdf (meti.go.jp)

図4 経済産業省「半導体戦略」

要となる素材や装置が必要であり、我が国が強みを持つ素材や装置分野をさらに磨き上げ、グローバルな次世代半導体製造のハブとしての役割を持つという道筋もあるからです。

したがって、我が国における半導体業界の復活にとっては、①世界に通用する最終製品としての次世代半導体の技術開発に加え、②素材や装置といった比較優位を持つ分野のさらなる磨き上げという両輪が必要といえるでしょう。

## おわりに

本誌『世界中が熱い！半導体政策・動向を紐解く』では全2回にわたり、あらゆる業界ビジネスにとっての基盤インフラであり、また国家安全保障にとっても重要な戦略物資となっている、半導体業界を取りあげ、その市場・技術・政策動向について展望・概説してきました。

本号脱稿中にも、中国当局が米半導体大手のマイクロン・テクノロジーを重要な情

報インフラでの調達から排除<sup>(5)</sup>することや、米国のエヌビディアが、ここ最近世界中の注目を集めている、生成AI向けの専用半導体を2023年内に投入する計画が報道される<sup>(6)</sup>など、半導体をめぐる地政学や技術・市場動向は日々ダイナミックに変化しています。

今後、新たな半導体技術が自動運転やスマートシティなどのデジタル社会の深化を支える基盤となり、また逆に、半導体のユースケース領域の拡大が、次世代半導体の新たな技術開発を誘発するという好循環構造が創出されることを筆者は期待していますし、本誌連載を通して、読者諸氏におかれ、日々のビジネス活動と関連付けながら、半導体業界の動向に関心を持っていただけたら幸いです。

## 参考文献

- (1) 特集：“半導体・EV&電池 国家ぐるみの覇権戦争,” 週刊ダイヤモンド, 2023年5月27日号.
- (2) [https://www.rd.ntt/download/NTT\\_TRFSW\\_2022\\_J.pdf](https://www.rd.ntt/download/NTT_TRFSW_2022_J.pdf)
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/05/12/230512g.html>
- (4) <https://www.meti.go.jp/press/2021/>

06/20210604008/20210603008-4.pdf

- (5) “マイクロンをインフラ調達から排除,” 日本経済新聞, 2023年5月23日.
- (6) “エヌビディア設計/TSMS量産,” 日本経済新聞, 2023年5月31日.
- (7) 太田：“2030半導体の地政学,” 日本経済新聞出版, 2021.
- (8) 黒田：“半導体超進化論,” 日経プレミアシリーズ, 2023.
- (9) 経済産業省：“半導体・デジタル産業戦略（概要）,” 2021.
- (10) 湯之上：“半導体有事,” 文藝春秋, 2023.
- (11) 牧本：“日本半導体復権への道,” ちくま新書, 2022.
- (12) NTT：“NTT Technology Report for Smart World 2022,” .



株式会社 情報通信総合研究所  
ICTリサーチ・コンサルティング部  
IOWN推進室  
主任研究員 山崎将太

## 監修

NTT先端集積デバイス研究所 峯田 真悟  
NTT物性科学基礎研究所 入江 宏

# 多様な知と技術が彩る だれもがどこでも輝ける未来

対話型AIをはじめとするICTの急速な発展や社会情勢の劇的な変化により、コミュニケーションの形態も大きく変わりゆく中で、NTTコミュニケーション科学基礎研究所(CS研)では、人と人、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」の実現をめざし、人間と情報の本質に迫る基礎理論の追求と、ICT社会に変革をもたらす革新技術の創出に向けた基礎研究に取り組んでいる。本特集では、CS研で取り組んでいる最新の基礎研究について、分かりやすく紹介する。

## 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

14

CS研では、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る。「人や社会や地球を読み解く」という切り口から、CS研の最近の取り組みについてその一部を紹介する。



コミュニケーション科学

脳科学

機械学習

マインドフルネス

量子情報処理

## 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 — 17

これまでの歴史で培われてきた物理学の知識を活用することで、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する。

## 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心理・生理・神経メカニズムの解明 — 20

「ありのままの気づき」にかかわっていると考えられている洞察瞑想の心理・生理・神経メカニズムの解明について紹介する。

## 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 — 24

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ある。この検証技術に関するCS研の研究について紹介する。

## 主役登場 中村 健吾 (NTTコミュニケーション科学基礎研究所) — 27

アルゴリズムの力で高信頼なネットワークをめざす





# 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

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。本稿では、「人や社会や地球を読み解く」という切り口から、CS 研の最近の取り組みについてその一部を紹介します。

キーワード：#コミュニケーション科学, #人工知能, #脳科学

## 人を読み解く

人は日々の人とのコミュニケーションにおいて、言葉や明示的な表情を示されなくても、相手の様子やその場の状況を踏まえて、その人がどのように感じているか、あるいは意図などをある程度推察することができます。現在の ICT 機器の大半は明示的なコマンドや音声、ジェスチャなどを必要としますが、これらの機器が人間のように相手の心の状態を読み解くことができるようになれば、人と機械との間で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。

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 (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<sup>(1)</sup>。特に、身体の表層に現れる情報である眼球の動きや瞳孔の変化を非侵襲的かつ簡便に計測することにより、人のさまざまな認知状態をリアルタイムに推定する研究を進めています。これまでの研究では、魅力的な顔を見ると観察者の瞳孔が収縮することや、逆に顔の画像の周辺輝度のコントラストを変化させて観察者の瞳孔を無自覚的に収縮させると、見ている顔の魅力が高くなるという興味深い結果が得られています。これは、魅力的な顔を見ると瞳孔が拡大するとされていたこれまでの定説を覆す結果であると同時に、瞳孔の収縮そのものが好み判断に影響していることを明らかにし

た世界初の成果です。また、最新の研究では、ヘッドフォンで左右の耳に別々に提示された音に対し、どちらの音に注意を向けているかについて、注意を向けた音の方向に提示された視覚刺激の明暗に対する瞳孔対光反応が反映している現象を発見しました<sup>(2)</sup>。このことは、注意の脳内メカニズムが視覚と聴覚である程度共通していることを示唆するのみならず、ユーザの聞きたい音の方向や対象を瞳孔反応から自動的に判断し抽出することにより、補聴器などの聴覚支援デバイスへの適用可能性も期待される結果です。

一方で、前述のような顔の好みや注意などといった心の状態は無意識的に感じることが多く、実は当人でも明確に言語化したり自覚したりすることは困難なことです。本特集では、今この瞬間に感じている感覚や感情などの経験に対し、抑制することなくありのままに気付いている状態を実現する実践方法として近年注目を集めている「マインドフルネス瞑想」について、その生理・心理・神経メカニズムの解明に関する最新の研究成果を紹介しています<sup>(3)</sup>。

## 社会を読み解く

続いて、多様な人と人とのインタラクションによって生じるさまざまな社会的状況を読み解く研究事例について紹介します。

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ウィズコロナ時代における新たな生活様式が浸

なやふとし  
納谷 太

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 所長

透する一方で、対面での人とのインタラクションの機会が減少することにより、孤独感や疎外感を感じたり、帰属意識の低下に伴う不安を感じる人が増加しています。ウィズコロナ時代およびこの先の未来の人の Well-being、すなわち、「身体的・精神的・社会的に満たされて生き生きした状態」を理解し追究するうえで、どのような人がどのような状況や要因で Well-being を感じるのかを明らかにすることは重要な課題です。CS 研では、この課題を個々人とチーム・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」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」の提案に加え、スマートフォンアプリを活用した個人やチームの Well-being を多面的かつ持続的に計測する手法やツールを開発し、2020年に公開しました<sup>(4)</sup>。個々人の主観的な心身の状態の変化をとらえるため、直感的かつ身体的な経験をサンプリングする手法として、感嘆詞やオノマトペ、絵文字などを用いた感性表現語を用いてスマホアプリで記録し、これを感性表現マップ (横軸：快不快、縦軸：覚醒度の高低) で二次元的に可視化します (図1)。これにより、さまざまな体験の前後において、ユーザの負担を軽減しつつ、主観的で時々刻々と変化する心的状態をとらえることが可能になりました。これを、共同体験をしている集団のメンバに対して活用してもらうことにより、例えば会議の満足度などの集団の

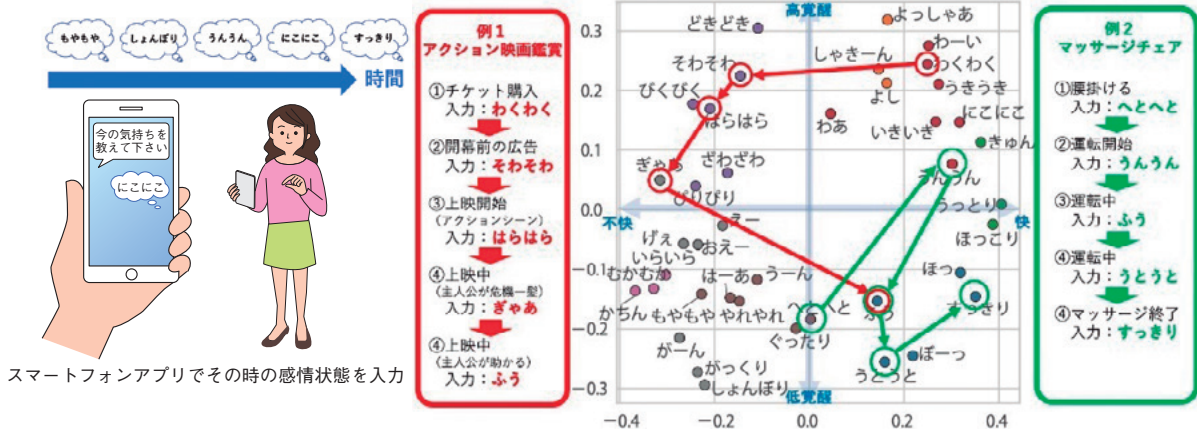


図1 感性表現語による心身の状態の直感的記録と可視化

Well-beingや場のムードの変化の関連性を分析することも可能です。

また、個々人が、何が満たされればWell-beingを感じるのかについて、価値観を可視化し共有するツールについても考察しています。約1300名を対象に「自分にとって大切なこと」を3つ挙げてもらうアンケート調査により、約3900の回答をカテゴリ化し、その結果、価値観について、自分に関すること (I)、他者とのかわりに関すること (We)、地域や社会とのかわりに関すること (Society)、世界や自然とのつながりに関すること (Universe) の4つに分類できることが分かりました。この価値観の分類に基づいた「わたしたちのウェルビーイングカード」(図2)も作成しており、自分の価値観への気付きや、周囲の人の価値観の多様性を相互に共有して理解を深めるためのツールとして、小学生などを対象としたさまざまなワークショップにおいて活用しています。「わたしたちのウェルビーイングカード」はWebからダウンロード可能であり、使い方の解説も用意しています<sup>(5)</sup>。

さて、昨今、生成AI (人工知能) の1つであるChatGPTなどのニュースや記事を多数見かけますが、CS研では対話型AI技術を用いた少し珍しい研究に取り組んでいます。この研究では、うつ病患者など他者に直接相談しづらい悩みを抱えているユーザが、その悩みを打ち明けやすくし、その内容を専門家へ伝えることを支援する対話エージェントを開発しました<sup>(6)</sup>。まず、対話エージェントであるチャットボットとの会話を通じて信頼関係を構築して、双方に



図2 わたしたちのウェルビーイングカード

よる自己開示をできる段階にしたのちに、チャットボットが信頼する人間の専門家を紹介することによって、専門家への信頼関係はどう変わるのかについて実験を行いました。

実験では、47名の実験参加者が4週間、毎日15分程度のチャットをチャットボットを行ったのちに、最後に1時間オンラインで実験者がインタビューを行いました。この際、実験条件として、ステップ1としてチャットボットとの信頼構築のみを行った参加者と、その後に専門家との橋渡しを行うステップ2の双方を行った参加者とで、チャットボットおよび専門家への信頼度をアンケートにより7段階 (1:全く信頼できない~7:非常に信頼できる) で評価してもらい比較しました。その結果、ステップ2の信頼橋渡しを行わなかった場合と行った場合とでは、チャットボットへの信

頼度は変化がなく6程度と高かったのに対し、専門家への信頼については、信頼橋渡しをした場合に有意に信頼度が高くなる結果が得られました。さらに、チャットボットに開示した内容をチャットボットが専門家に共有していいかと聞くと、それに対して肯定的かつ意欲的になる傾向が高まること分かりました。従来、対話エージェントに関する研究は、人とエージェントとの関係に焦点を当てた研究が大半ですが、本研究はエージェントが人と人をつなげることをめざした、世界的にもあまり例をみない研究です。今後、人と人との関係性を会話やその場の状況から学習する技術はますます重要になってくると考えられ、CS研においても対話シーンにおける音声・画像・言語情報などのマルチモーダル情報から対話の目的や対話状況をAIで認識する研究などに取り組んでいます<sup>(7)</sup>。

## 地球（宇宙）を読み解く

自然界の森羅万象について、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るでしょう。昨今では、センシング技術の進歩により、例えば気象衛星ひまわりによる台風の発達などを観測した高精細かつ高品質の画像データが取得され配信されるようになりました。近年の自然災害の増加に伴い、このような気象や海流などの流体に関する複雑な物理現象について、観測データからその発達の様子を正確にモデル化し、シミュレーションによって再現することにより、将来を予測する期待がますます高まっています。人類は、ニュートンの運動の法則や運動方程式など、物理現象を観測したデータからその背後にある法則を数式として人手で発見してきました。しかし、複雑な現象になればなるほど、そのモデル化は困難になり、人手で方程式を設計することにも限界があります。このような法則の発見や、現象を忠実に再現するシミュレーションをAIで自動的に実現することは、非常にチャレンジングな課題です。本特集では、事前に人手で方程式を設計することなく、観測データのみから物理現象を再現する機械学習技術として、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の研究について詳しく紹介しています<sup>(8)</sup>。

さて、上記は物理現象のモデル化をめざした研究の一例ですが、気象データなどの複雑な解析には膨大な計算を高速に行うことが必要とされ、昨今では実用化に向けた報道も増えつつある量子コンピュータへの期待が高まっています。しかし、量子コンピュータの実現において量子エラーの克服が極めて重要な課題です。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して並列に高速計算できる一方、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重要になります。本特集では、量子コンピュータの計算結果の正しさを効率的に検証する技術についても解説しています<sup>(9)</sup>。

また、宇宙を読み解くという観点では、ギリシャの哲学者で数学者のピタゴラスは、

紀元前6世紀ごろに「万物は数なり」と説き、宇宙のすべては人間の主観ではなく数の法則に従い、数学によって解明できると考えました。CS研では、2021年10月に設立した基礎数学研究センタの最新研究成果として、量子ラビモデルという光と原子などの物質との微細な相互作用を記述する数学的モデルに関し、その時間発展の基本解である「熱核」の計算について、表現論という代数学の理論を用いて厳密に求める全く新しい手法を発見しました<sup>(10)</sup>。この研究では、現代数学における有名な未解決問題である「リーマン予想」に現れるゼータ関数と熱核との興味深い関係についても明らかにしています。

## 未来をデザインする

本稿では、人や社会、地球（宇宙）を読み解くという観点でCS研における研究の取り組みの一部について紹介してきました。AIに限らず、技術の進歩は今後ますます加速する一方ですが、技術をつくり活用する私たち自身の責任と倫理観も同時に問われています。時代とともに常に変化する人や社会や地球の多様性に関する理解を深め、宇宙の真理を追究すると同時に、さまざまな立場の人や社会および、変化する地球環境に寄り添い、持続的でより良い未来社会をデザインし、これに向けてさらなる研究開発に取り組んでいきます。

### 参考文献

- (1) 柏野・米家・Liao・古川：“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, Vol.26, No.9, pp.32-36, 2014.
- (2) H.-l. Liao, H. Fujihira, S. Yamagishi, Y.-H. Yang, and S. Furukawa: “Seeing an auditory object: Pupillary light response reflects covert attention to auditory space and object,” J. Cogn. Neurosci., Vol.35, No.2, pp.276-290, 2023.
- (3) 藤野：“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,” NTT技術ジャーナル, Vol.35, No.8, pp.20-23, 2023.
- (4) 西條・藤野・村田・大石・渡邊：“人々のWell-beingの理解と向上をめざした人間情報科学研究,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.8, pp.24-28, 2022.
- (5) [https://socialwellbeing.ilab.ntt.co.jp/tool\\_measure\\_wellbeingcard.html](https://socialwellbeing.ilab.ntt.co.jp/tool_measure_wellbeingcard.html)
- (6) Y. Lee, N. Yamashita, and Y. Huang :

“Designing a Chatbot as a Mediator for Promoting Deep Self-Disclosure to a Real Mental Health Professional,” ACM HCI, Vol.4, Issue CSCW1, Article No.31, pp.1-27, 2020.

- (7) Y. Chiba and R. Higashinaka: “Analyzing variations of everyday Japanese conversations based on semantic labels of functional expressions,” ACM TALLIP, Vol.22, No.2, pp.1-26, 2022.
- (8) 田中：“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,” NTT技術ジャーナル, Vol.35, No.8, pp.17-19, 2023.
- (9) 竹内・谷：“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,” NTT技術ジャーナル, Vol.35, No.8, pp.24-26, 2023.
- (10) C.Reyes-Bustos and M. Wakayama: “The heat kernel for the quantum Rabi model,” ATMP, Vol.26, No.5, pp. 1347-1447, 2022.



納谷 太

CS研は、人・社会・地球環境に自然な調和をもたらす「ここまで伝わる」コミュニケーションの実現に向けて、広く学際的な基礎研究に取り組むとともに、パートナーの皆様とのコラボレーションにより新たな価値創造に貢献していきます。

### ◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
企画担当  
TEL 0774-93-5020  
FAX 0774-93-5026  
E-mail cs-liaison-ml@ntt.com



# 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

機械学習技術の進展はめざましく、今やさまざまな場面で使われ、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。本稿では、この課題に対して、これまでの歴史で培われてきた物理学の知識を活用することで、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します。また、研究の今後の展望、および生み出される価値について述べます。

キーワード：#機械学習, #シミュレーション, #物理法則

たなか ゆうすけ

田中 佑典

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

集  
萃

## 機械学習×物理シミュレーション

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(図1上)。これらの方程式を解くことで物理現象のシミュレーションが可能となり、実際に物理実験をすることなく、計算機上で、さまざまな条件における現象を再現することができます。物理シミュレーションは、気象予測や航空機設計など、実世界におけるさまざまな場面で活用されています。しかし、方程式の設計には多大なコストがかかることや、実世界における気象現象など、複雑な現象のモデル化には限界があるという問題がありました。

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、実世界におけるさまざまな問題が、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、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技術の研究に取り組んでいます(図1下)。

## 既存技術の限界

前述のような研究の流行の背景には、ある技術的なブレイクスルーがありました。2018年に発表されたニューラル常微分方程式(NODE: Neural Ordinary Differen-

tial Equation)<sup>(1)</sup>です。NODEでは、方程式をニューラルネットワークにより代替(図1内オレンジ色の枠「機械学習モデル」を参照)し、観測データを用いてニューラルネットワークのパラメータを学習することにより、方程式を設計することなく現象を表現します。では、物理現象を観測したデータにNODEを適用すれば、十分な精度のシミュレーションができるでしょうか。実は、それだけでは高精度なシミュレーションは難しいことが分かっています。図2では、単純な物理系として振り子を例とした実験結果を紹介し、振り子は、角度を横軸、角運動量を縦軸にとると、図2の真ん中上に示すような運動として描くことができます。エネルギー保存則が成り立つため、黒い点が緑の軌道上を周回し続けます。このような運動を観測したデータ(図2右上)が与えられたとしたとき、NODEを用いてシミュレーションを行った結果を図2下に示しています。シミュレーションされた軌跡が、緑で表す正解の軌道から離れていってしまう様子が見分かります。特に、観測データに含まれるノイズが大きく、かつ、データが少ない状況においては、シミュレーションの精度が著しく低下してしまうことが分かります。

## 学習の難しさ

では、なぜこのような結果となってしまうのでしょうか。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

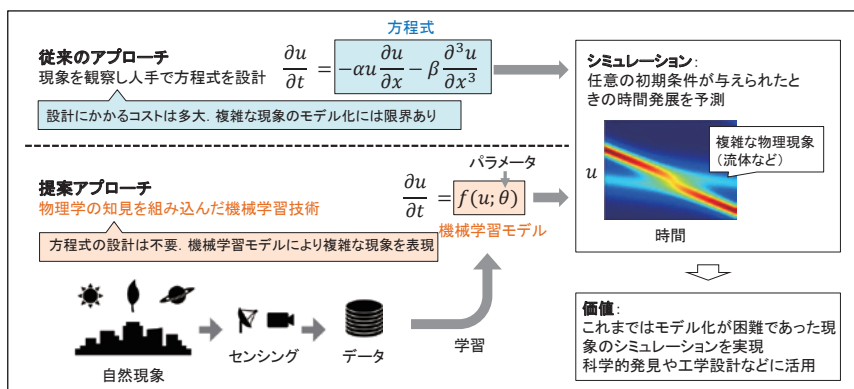


図1 アプローチの違い

可能性を秘めています。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3の灰色の領域)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ヒントとなるような「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に活用することを目的とした研究分野は、Physics-Informed Machine Learning<sup>(2)</sup>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モデルを効果的に推定できることが期待されます(図3のオレンジ色の領域)。事前知識を導入するためのもっとも素朴な方法は、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うえで学習を行うことができます。

### エネルギー保存則を組み込んだ機械学習モデル

これまでの歴史において、エネルギー保存則や質量保存則、運動量保存則などさまざまな物理法則が発見されてきました。本稿では、力学系において広く成立するエネルギー保存則を機械学習モデルに組み込んだ研究事例について紹介します。エネルギー保存則に従う物理現象を表現するには、

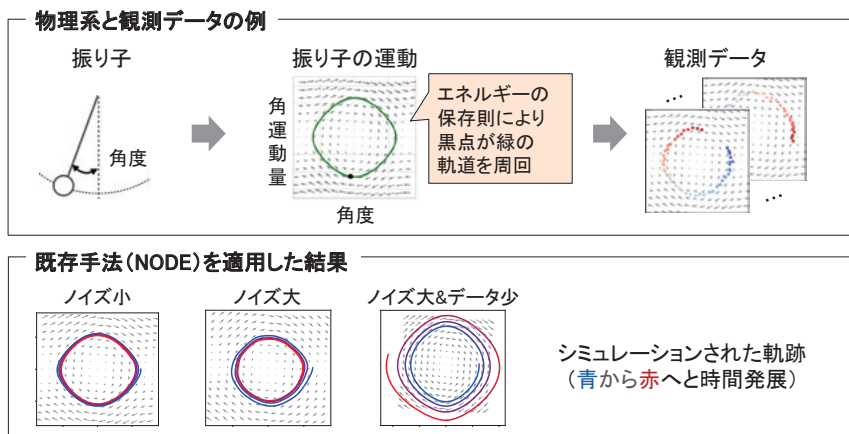


図2 既存手法の限界

「ハミルトン力学」の理論を用いるのが便利です。ハミルトン力学では、物理現象を表す方程式を設計するのではなく、物理系が持つエネルギー関数を設計します。エネルギー関数を定めることができれば、「ハミルトンの運動方程式」に従って、物理ダイナミクスは機械的に導出することができます。ここで重要なことは、ハミルトンの運動方程式に従って導出されたダイナミクスは、常にエネルギー保存則に従うことを保証できる、ということです。従来手法のハミルトンニューラルネットワーク(HNN: Hamiltonian Neural Network<sup>(3)</sup>)は、物理現象ごとに設計が必要であったエネルギー関数をニューラルネットワークに置き換えることで、エネルギー保存則に従う物理現象をデータから推定する方法を提案しました。しかし、ニューラルネットワークに基づく手法は、十分な質と量のデータが使えることを暗に仮定しており、そのようなデータが得られない状況においては過学習<sup>\*1</sup>を起し、精度が低下してしまうという問題がありました。

そこで、私たちは、ノイズを含み、かつ、少ないデータからの学習に有利な機械学習モデルである、ガウス過程<sup>\*2</sup>を基礎として、ハミルトン力学の理論を組み込んだ新たな手法を提案しました<sup>(4)~(6)</sup>。提案手法の模式図を図4に示します。提案手法は3つの特徴を持ちます。1番目は、エネルギー関数をニューラルネットワークではなく、ガウス過程により推定します。これにより、学習に用いるデータが少ない状況においても過学習を避けてエネルギー関数を推定することが期待できます。2番目は、ハミル

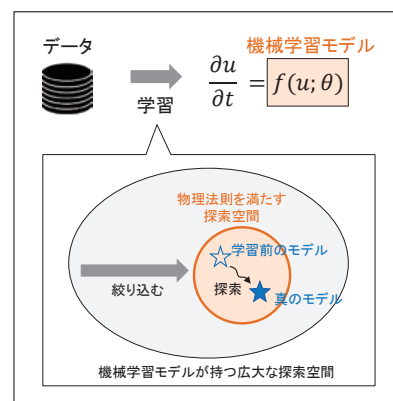


図3 事前知識による探索空間の絞り込み

トンの運動方程式によりダイナミクスを導出します。ガウス過程に従うダイナミクスが、常にエネルギー保存則を満たすことを保証することができます。3番目は、データにノイズを含むことを仮定した観測モデルを導入します。これにより、ノイズが大きいデータからでも頑健な学習が期待できます。提案手法を用いることにより、十分な質と量のデータが得られない場合でも、エネルギー保存則に従う物理現象を効果的に学習可能とし、高精度なシミュレーションを行うことができます。

図5は従来手法(HNN)と提案手法を用いて、振り子の運動をシミュレーション

\*1 過学習: 機械学習モデルが、与えられたデータに対して過剰に適合してしまうこと。これにより、未知のデータが与えられた際の予測精度が低下してしまいます。

\*2 ガウス過程: 任意の連続関数を近似可能な確率モデル。予測に対する不確実性を扱うことができ、データに含まれるノイズや欠損の悪影響を低減してモデルを学習することが可能。

した結果です。図5の左と中央を比較すると、緑で表される正解の軌跡に対して、提案手法は、より正確にシミュレーションができていたことがわかります。図5の右は、エネルギーの時間変化をプロットしたものです。緑で表される正解の値は、エネルギー保存則により、一定の値を取ります。赤で表される従来手法の推定値に比べ、青で表される提案手法の推定値は、より正確にエネルギーの値をとらえられていることがわかります。このような結果から、提案手法はエネルギー保存則をうまくとらえつつ高精度なシミュレーションに成功していることがわかります。

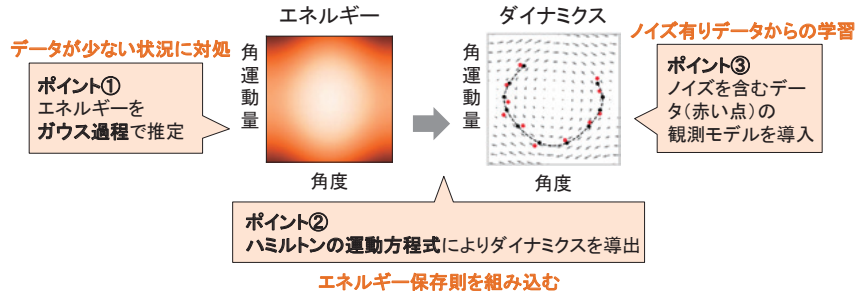


図4 提案手法

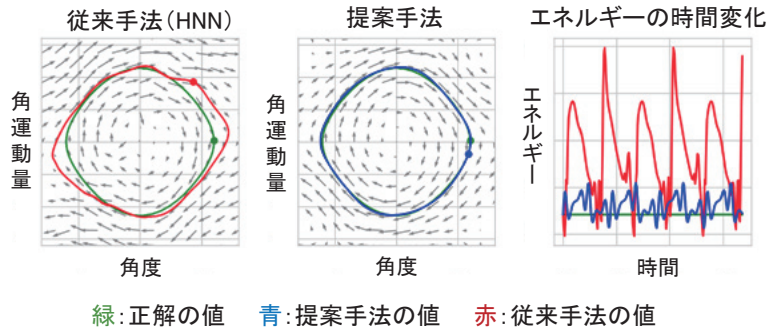


図5 シミュレーション結果

### 今後の展望と応用先

現時点では、学習に必要な入力データや、表現可能な物理現象の種類に、まだまだ制限があります。今後は、実世界への適用を想定し、より現実的な観測から、より複雑な現象の再現をめざしていきます。今回紹介した研究では、振り子の角度のような物理変数が観測できることを仮定しました。しかし、物理系が複雑になると、そのような変数を直接観測することは難しい状況が容易に想定されます。一方で、物理現象に関連するセンサの値や、画像や動画であれば、比較的観測がしやすいことが考えられます。そのようなさまざまな形式の入力が与えられたときでも、物理現象を再現できるような技術が必要だと考えています。また、気象現象など、実世界の複雑な現象は、「偏微分方程式」と呼ばれる種類の方程式で表されることが多く、そのような方程式への技術の拡張が望まれます。

本研究分野が発展すれば、さまざまな応用が期待できます。例えば、気象予測を行うことにより、気候変動のような環境問題への対処や、台風や津波のような現象を再現し、防災に役立てることもできます。具体的な方程式で表しきれない複雑な気象現象をより正確にシミュレーションすることで、高精度な予測結果を得ることが期待できます。また、航空機や自動車、半導体デバイスなどは、現在も物理シミュレーションを活用して製品設計が行われています。観測データから物理シミュレータを自動的に獲得することができれば、新しい製品を

つくる際のシミュレータの高精度化や効率化を行うことができます。さらに、ロボットによるシーン理解や推論といった、AI（人工知能）分野への展開も考えられます。例えば、人間は乱雑に積まれた荷物の画像を見ると、もしかしたら崩れるかも、といった推論を行います。このように推論できるのは、人間が過去の経験に基づいて、無意識のうちに、物理現象を学んでいるから、とも考えられます。今回の研究のアイデアを用いて、ロボットが物理現象を学習するようになれば、上記のような状況におけるリスク回避を行うことも可能ではないかと考えています。

本研究は、JST, ACT-X, JPMJAX210Dの支援を受けたものです。

#### 参考文献

- (1) R. T. Q. Chen, Y. Rubanova, J. Bettencourt, and D. K. Duvenaud: "Neural ordinary differential equations," NeurIPS 2018, Vol. 31, Dec. 2018.
- (2) G. E. Karniadakis, I. G. Kevrekidis, L. Lu, P. Perdikaris, S. Wang, and L. Yang: "Physics-informed machine learning," Nature Reviews Physics, Vol. 3, No. 6, pp. 422-440, 2021.
- (3) S. Greydanus, M. Dzamba, and J. Yosinski: "Hamiltonian neural networks," NeurIPS, Vol. 32, 2019.

- (4) Y. Tanaka, T. Iwata, and N. Ueda: "Symplectic spectrum Gaussian processes: Learning Hamiltonians from noisy and sparse data," NeurIPS 2022, Nov. 2022.
- (5) 田中・岩田・上田: "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.
- (6) 田中: "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, pp.318-325, 2023.



田中 佑典

本研究分野は今まさに黎明期にあり、今後の発展を見越して、今取り組むべき重要な研究テーマの1つであると確信しています。今後も、数理学と情報科学の融合を深めることにより、問題解決へとアプローチしていきます。

#### 問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
協創情報研究部 知能創発環境研究グループ  
TEL 0774-93-5020  
FAX 0774-93-5026  
E-mail cs-liaison-ml@ntt.com





# 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心理・生理・神経メカニズムの解明

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、Well-beingを高めることに貢献することが分かっています。本稿では、この「ありのままの気づき」とは何かということを理解するために、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」にかかわっていると考えられている洞察瞑想の心理・生理・神経メカニズムの観点から考えてみます。

キーワード：#マインドフルネス、#ありのままの気づき、#洞察瞑想

ふじの まさひろ

藤野 正寛

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

### 経験にありのままに気づくことの 大切さ

マインドフルネスとは、今この瞬間の経験に受容的な注意でありのままに気づいている状態を意味します。経験とは、自分の身体や心の中ですべて生じている感覚や感情や思考のことです。受容的な注意とは、意図的に注意の範囲を特定の対象に絞るのとは反対に、そのような意図を手放すことで注意の範囲が自然に広がることです。ありのままとは、そのようにして広がった注意の範囲で生じてくる経験に対して、反応したり判断したり抑制したりすることのない態度のことです。気づきとは、それまで無自覚だったさまざま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、さまざまな心身の症状を改善したりWell-beingを高めたりするための情動調整方法として注目されています。従来の情動調整方法では、ネガティブな経験が生じた際に、意図的に、そこから注意を逸らしたり、それを換えようとしたり、抑え込もうとしたりすることが行われていました。しかし、マインドフルネス瞑想では、それを制御しようとする意図を手放して、それにありのままに気づくということが行われます。

実際、多くの研究で、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ことが示され

ています<sup>(1)</sup>。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<sup>(2)</sup>。これらを踏まえると、有害事象を減らしながら効果を高めるためには、経験にありのままに気づいていることが要点となることが分かります。そして、その理解のために、ありのままの気づきのメカニズムの解明が求められています。

### 集中瞑想と洞察瞑想

私たちのグループは、ありのままの気づきのメカニズムを解明するために、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(図1)、洞察瞑想に注目しました。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<sup>(3)</sup>。例えば、自然に生じている呼吸などの特定の対象を設定

してそこに注意を集中します。しかし、強めの感覚や感情などの妨害刺激が生じると、注意はそれらに囚われてしまいます。そのことに気づいたら、注意を特定の対象に動かすことを試みます。それによって、注意を妨害刺激から離すことができます。これを繰り返すことで、一点に注意を集中する能力を高めることができます。しかし、特定の対象に注意を集中するだけでは、それ以外の範囲で次々と生じている経験に気づくことはできません。

これに対して、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<sup>(3)</sup>。この方法では、特定の対象を設定しないため、注意の範囲が広がり、次々と生じている呼吸や感覚や感情のすべてが気づきの対象となります。しかし、強めの感覚や感情などの妨害刺激が生じると、注意はそれらに囚われてしまいます。そのことに気づいたら、

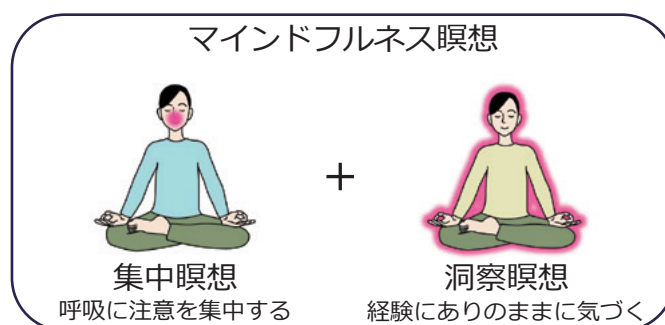


図1 マインドフルネス瞑想を構成する2つの瞑想技法

その刺激から注意を動かすのではなく、その刺激にありのままに気づいていることを試みます。それによって、妨害刺激が気づきの対象に戻り、その刺激に囚われていた注意の範囲が自然と広がっていきます。これを繰り返すことで、さまざまな感覚や感情や思考を、特定の対象とそれ以外の妨害刺激とに区分することなくありのままに気づいている状態を維持することができるようになります。

私たちのグループでは、この洞察瞑想の心理・生理・神経メカニズムを解明することで、ありのままの気づきのメカニズムを明らかにすることに取り組んできました。以降では、その中から、3つの研究について説明します。

### 研究1：洞察瞑想の心理メカニズム解明研究

私たちは、集中して課題を行う際に、視覚などから入ってくる課題に無関係な妨害刺激を無意識的に抑制しています。このような抑制には疲労が伴います。一方、マインドフルネス瞑想を実施するとこのような抑制が低下すると考えられてきました。しかし、これまでの研究では、マインドフルネス瞑想だけでなく集中瞑想や洞察瞑想が妨害刺激に対する抑制を低下させることを行動指標レベルでは確認できていませんでした。そこで、私たちは、妨害刺激に対する抑制の程度を評価する認知課題を考案して、集中瞑想と洞察瞑想が抑制に与える影響を検証しました<sup>(4)</sup>。

実験は、瞑想未経験者72人を、集中瞑想・洞察瞑想・リラックスをする3つの群に分けて実施しました。最初に音声インストラクション<sup>(5)</sup>を用いて30分の介入をし、その後質問紙でリラックス状態を測定してから、2つの課題を実施しました(図2)。課題1では、8人の表情顔が順番に何度も呈示され、その表情顔の中央に呈示されている文字の向きをできるだけ早く正確に回答してもらいました。この場合、表情顔は妨害刺激となります。課題2では、この課題1で呈示された8人の顔と、呈示されていない8人の顔に対する好意度を回答してもら

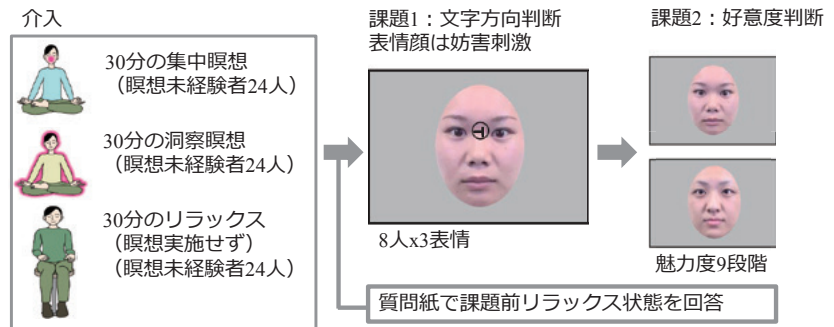


図2 洞察瞑想の心理メカニズム解明研究の実験デザイン

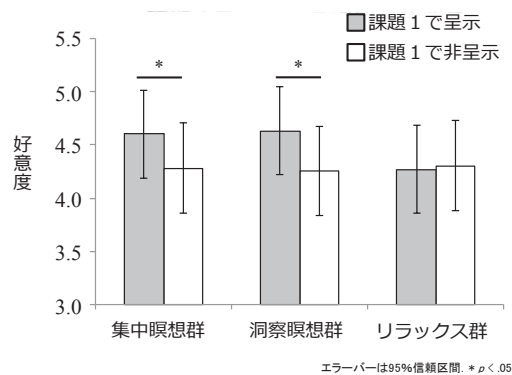


図3 表情顔に対する好意度

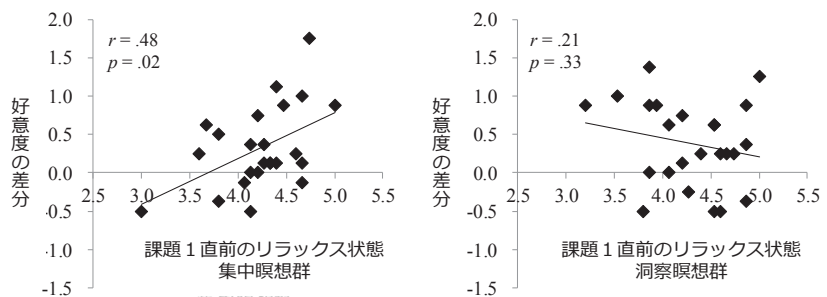


図4 呈示顔と非呈示顔に対する好意度の差分とリラックス状態の関係

いました。従来の研究を踏まえると、表情顔を抑制しなければ、何度も呈示された顔に対する好意度が高まると考えられます。しかし、表情顔を抑制すれば、そういった好意度の高まりはみられないと考えられます。

その結果、リラックス群では、課題1で何度も接触した顔に対する好意度が高まりませんでした(図3)。これは、課題1実施時に、妨害刺激に対する抑制が生じていたことを示しています。一方、集中瞑想群と洞察瞑想群では、課題1で何度も接触した顔に対する好意度が高まっていた(図3)。これは、課題1実施時に、妨害刺激

に対する抑制が低下していたことを示しています。また興味深いことに、集中瞑想群では、課題直前のリラックス状態が高い人は妨害刺激に対する抑制が低下していたのに対して、リラックス状態が低い人は妨害刺激に対する抑制が生じていたことが分かりました(図4)。一方、洞察瞑想群では、そのような関係はみられませんでした(図4)。このことは、集中瞑想群では、リラックス状態の影響を受ける注意制御方略を取っていたのに対して、洞察瞑想群ではリラックス状態の影響を受けない注意制御方略をとっていたことが分かりました。

## 研究 2 : 洞察瞑想の生理メカニズム解明研究

一般的なイメージでは、マインドフルネス瞑想をするとリラックスできると考えられています。しかし、瞑想研究の領域では、ありのままの気づきというのは、さまざまな感覚や感情や思考に気づいている状態であることから、単純なリラックスではないのではないかと考えられてきました。そこで、マインドフルネス瞑想がリラックスやストレスに関連する生理指標に与える影響が検討されてきたのですが、その結果にはばらつきがありました。その原因は、マインドフルネス瞑想を集中瞑想と洞察瞑想に分けずに検討していたためだと考えられます。そこで、私たちは、マインドフルネス瞑想を集中瞑想と洞察瞑想に分けて、それらが生理指標に与える影響を検証しました<sup>(6)</sup>。

実験では、瞑想未経験者41人を対象に、それぞれ30分の集中瞑想と洞察瞑想を実施してもらい<sup>(5)</sup>、それぞれの瞑想が瞑想前と瞑想中の心拍変動に与える影響と、瞑想前後の唾液中コルチゾール濃度に与える影響を検討しました。

その結果、集中瞑想時には、副交感神経の活動が増加していました(図5)。このことは、リラックス状態が高まっていることを示しています。この結果からは、特定の対象に注意を集中することで、それ以外の感覚や感情や思考に振り回されにくくなり、リラックスできていた可能性がうかがえます。一方、洞察瞑想時には、興味深いことに、交感神経の活動が増加すると

もに、コルチゾール濃度が減少していました(図5)。このことは、覚醒度が高まっているにもかかわらずストレスレベルは低くなっていたことを示しています。この結果からは、洞察瞑想は単なるリラックス状態ではなく、さまざまな感覚や感情や思考に気づけているにもかかわらず、それらに対して反応したり抑制したりすることが低下している状態が実現している可能性がうかがえます。

## 研究 3 : 洞察瞑想の神経メカニズム解明研究

それでは、さまざまな感覚や感情や思考にありのままに気づいている際に、脳の中ではどのような活動が生じているのでしょうか。これまでの研究では、そもそも集中瞑想時と洞察瞑想時の脳活動の違いを明確には示せていませんでした。そこで私たちは、純粋な瞑想時の脳活動を抽出できる実験デザインを立案し、集中瞑想時と洞察瞑想時の脳活動を特定しました<sup>(7)</sup>。なお本研究は、私が京都大学大学院教育学研究科所属時に実施した研究です。

実験では、瞑想熟練者17人を対象としました。従来の集中瞑想と洞察瞑想の脳活動を比較する研究では、例えば、集中瞑想を6分、安静時を6分、洞察瞑想を6分実施するといったブロックデザインを用いて、その際の脳活動をfMRI (functional Magnetic Resonance Imaging : 磁気共鳴機能画像法) で測定するといったことが行われていました。しかし、私自身瞑想実践者

なのですが、6分の瞑想ではなかなか最適な瞑想状態にはなりにくいことを実感していました。そこで、防音室で1時間瞑想を実施した直後に、MRI装置で6分間瞑想を実施し、その際の脳活動をfMRIで測定しました。また、1時間瞑想を実施すると、その後もしばらく瞑想状態が続くことを実感していたため、集中瞑想と洞察瞑想の実施日を2日に分けて行いました。

解析に関しては、脳領域間の活動の相関関係を検討する機能的結合性解析を用いました。マインドフルネス瞑想は、注意制御・情動調整・身体感覚への気づき・自己観の変容などさまざまな認知機能にかかわっているため、広範囲な脳領域にかかわっていることが知られています。その中でも、大脳皮質の下に位置している線条体は、大脳皮質のそれぞれの脳領域と複数の異なる回路を形成しており、運動・注意・情動・動機・学習・記憶などさまざまな機能にかかわっています。そこで、線条体を中心としたそれぞれの脳領域との機能的結合性の変化を調べることで、集中瞑想と洞察瞑想に特有の脳活動を特定し、そこから瞑想の機能を推定しました。

その結果、腹側線条体と視覚野の結合性が、集中瞑想時に増加していたのに対して、洞察瞑想時に低下していました。この結合性は特定の対象に対する意図的な注意制御にかかわっていると考えられています。これを踏まえると、集中瞑想では特定の対象に対する意図的な注意制御が高まり、洞察瞑想ではそういった注意制御が低下するという従来の考えを支持する結果であったと

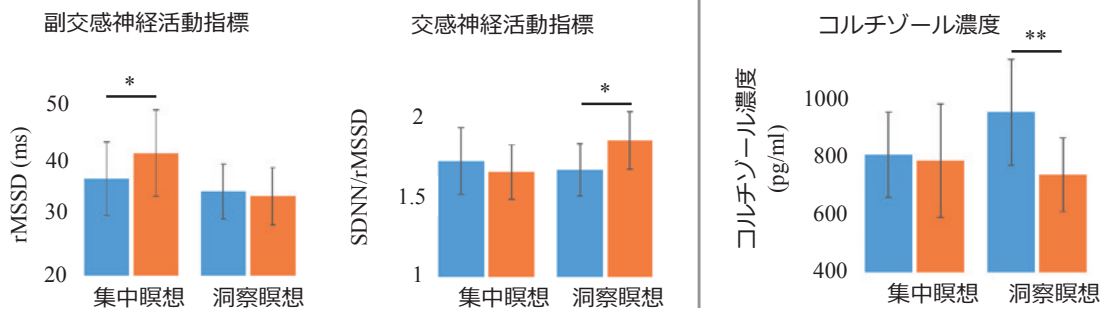
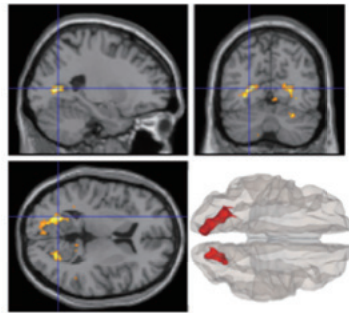


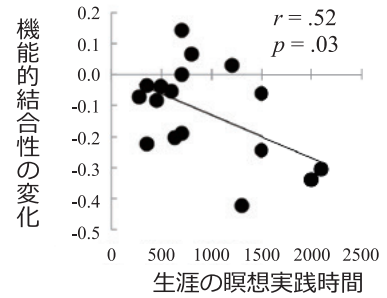
図5 集中瞑想と洞察瞑想が自律神経および唾液中ホルモンに与える影響



いえます。また、腹側線条体と脳梁膨大後部皮質の結合性が、洞察瞑想時に低下していました（図 6 (a)）。さらに、生涯の瞑想実践時間が長いほど、その低下の度合いが大きいことが示されました（図 6 (b)）。この結合性は記憶に囚われる程度にかかわっていると考えられています。これを踏まえると、洞察瞑想時の感覚や感情や思考に気づいている際に、それらの経験と過去の記憶を結びつけるような脳活動が低下していた可能性があることがうかがえます。



(a) 洞察瞑想時に腹側線条体との機能的結合性が低下していた脳梁膨大後部皮質



(b) 腹側線条体と脳梁膨大後部皮質の機能的結合性の低下の度合いと生涯の瞑想実践時間との相関関係

図 6 洞察瞑想時の機能的結合性

### ありのままの気づきとは何か

前述の3つの研究を踏まえて、マインドフルネスにおけるありのままの気づきについて整理します。マインドフルネスとは、今この瞬間の経験に受容的な注意であり、今この瞬間の経験に意味を意味します。この状態の中でも経験にありのままに気づくことには、集中瞑想よりも洞察瞑想がかかわっていると考えられています。この洞察瞑想を行うことによって、妨害刺激に対する抑制が低下することが分かりました。このことは、さまざまな経験を、特定の対象とそれ以外の妨害刺激としてとらえるのではなく、気づきの対象としてとらえているという考えと一致しています。また、そのようにさまざまな経験に気づいている際の生理指標からは、単なるリラックス状態ではなく、むしろ覚醒度の高い状態であることが分かりました。また、そのようなストレスが低い状態には、今この瞬間の経験を過去の記憶と結びつけていないことがかかわっている可能性を見出すことができました。

### 今後の展望

私たちは、現在、これらの知見も踏まえながら、ありのままの気づきを定量化するためのバイオマーカーの開発に取り組んでいます。このような技術が確立されれば、マインドフルネス瞑想の介入をする際に、有害事象を減らしつつ、効果を高めることに貢献することができると考えています。

このように、私たちは、ありのままの気づきのメカニズムを解明することや、そこから発展する技術開発を通じて、世の中の人々の Well-being に貢献することに取り組んでいます。

### 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, and 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. Olenzki, T. Meissner, S. W. Lazar, C. E. Kerr, J. Gorchov, K. C. R. Fox, B. A. Field, W. B. Britton, J. A. Brefczynski-Lewis, and 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, and R. J. Davidson: "Attention regulation and monitoring in meditation," Trends in Cognitive Sciences, Vol. 12, No. 4, pp. 163-169, 2008.
- (4) M. Fujino, Y. Ueda, V. Inoue, Y. Ooishi, N. Kitagawa, and M. Nomura: "Evidence of difference in emotion regulation between focused attention meditation and open monitoring meditation," Proc. of Contemplative Science Symposium (Poster sessions), 2019.
- (5) 藤野・上田・井上・イェット・スティーブン・野村: "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.

- (6) Y. Ooishi, M. Fujino, V. Inoue, M. Nomura, and N. Kitagawa: "Differential effects of focused attention and open monitoring meditation on autonomic cardiac modulation and cortisol secretion," Frontiers in Physiology, Vol. 12, 675899, July 2021.
- (7) M. Fujino, Y. Ueda, H. Mizuhara, J. Saiki, and M. Nomura: "Open monitoring meditation reduces the involvement of brain regions related to memory function," Scientific Reports, Vol. 8, No. 9968, 2018.



藤野 正寛

マインドフルネス瞑想について知的に理解するだけでは Well-being は高まりません。この原稿を読まれて興味を持たれた方は、ぜひ実際にマインドフルネス瞑想を実践して体験的に理解してみてください。

### ◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
人間情報研究部  
TEL 0774-93-5020  
FAX 0774-93-5026  
E-mail cs-liaison-ml@ntt.com



# 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

量子コンピュータは、現在の古典コンピュータよりも高速な計算を可能にする  
と期待されています。一方で、量子コンピュータにはエラーが発生しやすいとい  
う実装上の課題があり、間違った答えを出力してしまう場合があります。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。本稿では、この検証技術に関する  
私たちの研究を紹介します。

キーワード：#量子コンピュータ、#クラウド量子計算、#量子情報処理

たけうち ゆうき

竹内 勇貴

たに せいいちろう

谷 誠一郎

NTT コミュニケーション科学基礎研究所

### 量子コンピュータの長所と課題

1994年に、当時ベル研究所に所属してい  
たピーター・ショア氏が量子コンピュータ  
で素因数分解を高速に行うためのアルゴリ  
ズムを発見しました。素因数分解の困難性  
は現代暗号の安全性の根拠になっており、  
現在のコンピュータ（古典コンピュータ）  
では解くのが困難だと考えられています。  
ショアのアルゴリズムは量子コンピュータ  
の計算能力の高さを表す有名な例であり、  
この発見以降、量子コンピュータは世界  
中で研究されてきました。現在では、物性・  
化学シミュレーションや、数学の問題で  
あるジョーンズ多項式の近似など、さま  
ざまな問題において、量子コンピュータは  
古典コンピュータ（の既知の最良のアル  
ゴリズム）よりも高速な計算が可能だとい  
うことが分かっています。しかし、このよ  
うな長所がある一方で、量子コンピュータ  
にはノイズの影響によってエラーが発生  
しやすいという実装上の課題もあります。

量子コンピュータの情報の基本単位であ  
る量子ビットを実現する方法にはさまざま  
なものがありますが、例えば超伝導回路  
を用いる場合、共鳴周波数の時間的な揺ら  
ぎなどによりエラーが発生してしまいま  
す。素因数分解を行う場合、このような  
エラーが発生したとしてもあまり問題に  
はなりません。なぜならば、素因数分解  
は答えの正否を古典コンピュータで掛け  
算を行うことでチェックできるため、量  
子コンピュータの計算途中にエラーが発  
生して間違った答えを出力してしまっ  
ているかどうかを簡単

に分かるからです。しかし、上記のとおり、  
量子コンピュータは素因数分解以外の問題  
にも応用することが可能です。例えば、  
ジョーンズ多項式の近似を行うために量  
子コンピュータを使った場合、出力され  
た数字が正しい近似になっているのか、  
それとも間違った答えになっているの  
かを古典コンピュータで高速にチェック  
する方法は知られていません。言い換え  
れば、量子コンピュータの高速計算を可  
能にしている量子重ね合わせによって  
答えの正否チェックが困難になるとい  
うジレンマがあるのです。量子コンピ  
ュータの高い計算能力を活用するため  
には、エラーの影響に対処し、このジ  
レンマを解消するための技術が必要にな  
ります。

### 量子コンピュータをエラーから 守るための技術

量子コンピュータの計算途中に発生す  
るエラーの影響を緩和する技術として、  
本章では「量子エラー訂正・抑制」と「  
量子計算の検証」について説明します。  
量子エラー訂正は名前のとおり、発生  
したエラーを検知し訂正する技術です。  
そのために、複数の量子ビットで1量  
子ビット分の情報を保存するというこ  
とを行います。現在の技術では量子ビ  
ットを（高精度に）大量に準備するこ  
とは困難であるため、量子エラー訂  
正の実現は小規模での実験にとどま  
っています。この欠点を解決するのが  
量子エラー抑制であり、量子ビットの  
数を増やす代わりに、計算の繰り返し  
回数を増やすことで

エラーの影響を抑制することができます。  
しかし、期待値の計算など限られた用途  
にしか使用できない、一般には指数回  
繰り返す必要があるなどの欠点もあり  
ます。また、量子エラー訂正・抑制を  
適用するためには、どのようなエラー  
が発生しているかある程度知っている  
必要があります。特に、量子エラー訂  
正や一部の量子エラー抑制手法はエ  
ラーの発生確率が十分小さくなければ  
使用することができません。

一方で、量子計算の検証はエラーが大  
きい場合でも使用することができます。  
その代わりに、エラーを訂正したり抑  
制したりすることはできず、エラーが  
発生しているかどうかを検知すること  
しかできません。しかし、量子コンピ  
ュータに複数回同じ問題を解かせて  
各々の答えを検証することで、その  
中からエラーの影響を受けていない  
正しい答えを抽出することができる  
ため、検証技術も立派なエラー対策  
技術だといえます。

この章の話をまとめると、量子エラー  
訂正はエラーを訂正できますが、エ  
ラー確率が小さいときにしか使え  
ません。一方で、量子計算の検証  
はエラー確率が大きくても使え  
ますが、エラーを検知すること  
しかできません。このように、  
これら2つの技術はお互いの欠  
点を補い合う相補的な関係に  
あり、信頼性が高い大規模な  
量子コンピュータの実現をめ  
ざすうえで、どちらも大切な  
技術だといえます（図1）。以  
降では、量子計算の検証に関  
する私たちの研究をいくつか  
紹介します。

## さまざまな検証手法

### ■測定型量子計算の検証

量子コンピュータを実現するための方法は数多く提案されており、測定型量子計算はその一種です。通常の方法（量子回路方式）では、最初に初期化した量子ビットを準備し、それらを量子ゲートで操作した後測定することで計算を行います。測定型量子計算では、最初にグラフ状態と呼ばれるエンタングル状態\*さえ準備してしまえば、後はそれを1量子ビットずつ測定するだけで任意の量子計算を行うことができます。さらに、グラフ状態は解きたい問題に依存しないため、計算を開始する前にあらかじめ準備しておくことが可能です。光（厳密には、光子）を用いて量子ビットを実現し、量子ゲートを線形光学素子で実現する場合、1量子ビットに対する操作や測定は比較的簡単に行うことができますが、2量子ビットに対する量子ゲートは実現が難しく確率

的にしか行うことができません。測定型量子計算では、2量子ビット操作を行うのはグラフ状態を準備するときだけでよいため、難しい操作は計算開始前に行い、計算開始後は測定という簡単な操作のみでよいという利点があります。このような量子回路方式との違いから、量子暗号や量子通信など、さまざまな量子情報処理に応用されています。

測定型量子計算を用いて量子コンピュータを実現する場合、エラーが一番発生しやすいのがグラフ状態を準備するステップです。そのため、グラフ状態が正しくつくられているかを検証する手法がこれまで数多く提案されてきました。私たちは2019年に、当時の従来手法よりも効率的な検証手法を提案することに成功しました<sup>(1)</sup>。このような効率化を行うため、量子暗号の一種である量子鍵配送に使用されていた数学的テクニックを、世界で初めて検証技術に応用しました。その後、私たちの検証技術を量子

計測に応用し<sup>(2)</sup>、それが中国科学技術大学のグループに小規模ながらも光学実験で実現される<sup>(3)</sup>など、本研究は大きな広がりを見せています。

### ■量子乱数の検証

前述したグラフ状態の検証を、重み付きグラフ状態と呼ばれるより複雑な量子状態に拡張することにも成功しています。このような拡張を行うことにより、IQP (Instantaneous Quantum Polynomial time) 回路と呼ばれる特別な量子回路が正しく動作しているかの検証が可能となります。通常の量子回路では、量子ゲート操作の順番を入れ替えると異なる計算になってしまいますが、IQP回路では量子ゲート操作を入れ替えても同じ計算になるような限られた計算しか行うことができません(図2)。そのため、計算能力は理想的なフルスペックの量子コンピュータよりも弱いですが、実現はその分簡単だと考えられています。IQP回路を用いることによって、古典コンピュータではつくることが困難な乱数をつくることができます。しかし、これは理想的なIQP回路が実現できた場合の話であり、実際には正しい乱数をつくり出しているのか、エラーによって古典コンピュータでも簡単につくれる乱数になってしまっているかを判定することは容易ではありません。2019年、私たちはIQP回路の検証を行うことで、そのような乱数の生成が正しくできているかを高速にチェックすることを可能にしました<sup>(4)</sup>。

### ■NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) コンピュータの検証

IQP回路のようにフルスペックの量子コンピュータよりも計算能力が弱い量子コン

\* エンタングル状態：量子的な相関がある状態。2個以上の量子ビットを用いて生成することができます。さまざまな量子情報処理に応用されています。

	エラー訂正能力	エラー検知能力	適用条件
量子エラー訂正	○	○	✗ (エラー確率が十分小さいとき)
量子計算の検証 (本稿のテーマ)	✗	○	○ (エラー確率が大きくても適用可能)

図1 量子エラー訂正と量子計算の検証

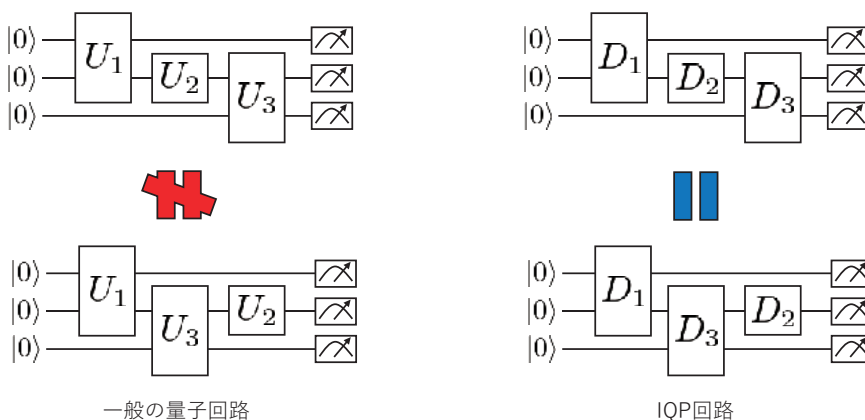


図2 一般の量子回路とIQP回路



コンピュータは、非万能量子コンピュータと呼ばれています。その中でも、特に現在および近未来に実現すると考えられている量子コンピュータは、NISQ コンピュータと呼ばれています。NISQとはNoisy Intermediate-Scale Quantumの頭文字で「ニスク」と読み、ノイズがある小・中規模の量子コンピュータを意味しています。本誌 2023年 4月号記事『量子コンピュータの能力を引き出すアルゴリズムとその検証技術』<sup>(5)</sup>に掲載されているとおり、私たちは2022年にNISQ コンピュータ用の検証手法を提案することに成功しました<sup>(6)</sup>。

#### ■量子コンピュータの量子性の検証

これまで紹介してきた検証手法には、検証するために小規模な量子測定器（読み出し機能のみの量子コンピュータ）が必要だという短所があります。つまり、測定型量子コンピュータ、IQP回路、NISQ コンピュータなどさまざまな量子コンピュータの出力が正しいかを、それよりも小規模な別の量子コンピュータで検証する手法になっています。量子計算の検証をより実用的な技術にするためには、量子コンピュータを古典コンピュータのみで高速に検証できることが好ましいといえます。2018年にカリフォルニア大学バークレー校（当時）のウルミラ・マハデフ氏が、そのような古典検証の手法を、耐量子計算機暗号という量子コンピュータでも破ることができない暗号を用いて提案しました。同氏の研究成果は分野の大きなブレイクスルーであり、その後多くの研究者によって拡張されました。私たちも、2022年に、同氏の手法を応用することで、マジック状態という特殊な量子状態を正しく準備・測定できているかを検証する手法を提案しました<sup>(7)</sup>。マジック状態を用いない量子計算（専門的には、クリフォードユニタリ操作のみの量子計算）は古典コンピュータでシミュレート可能で

あるため、マジック状態は量子コンピュータを量子コンピュータたらしめている、量子性の証拠といえます。そのため、マジック状態の検証は、量子コンピュータに欠かせない量子性の有無をチェックするために使用することができます。

#### 今後の展望

前述のとおり、私たちはこれまでさまざまな検証手法を提案してきました。これらにより、さまざまな量子コンピュータの検証が可能になりましたが、実用化のためにはさらなる改善が必要です。今後は改善を行うとともに、量子計算の検証をクラウド量子計算システムに応用することも目指しています。現在、IBMやAmazonなどがクラウド量子計算システムを提供していますが、これらには、ユーザが受け取った答えの正否をチェックするための検証機能がありません。既存システムに検証機能を組み込むことで、ユーザ自身で答えの正否をチェックできるようになるだけでなく、システムを提供している企業側も量子コンピュータの性能が高いことを公平なかたちで公表することが可能となります。世界中の誰もが、どこでも量子コンピュータの恩恵を安心して受けられる社会の実現をめざして、今後も量子計算の基礎技術構築に取り組んでいきます。

#### ■参考文献

- (1) Y. Takeuchi, A. Mantri, T. Morimae, A. Mizutani, and J. F. Fitzsimons: "Resource-efficient verification of quantum computing using Serfling's bound," npj Quantum Information, Vol. 5, No. 27, 2019.
- (2) Y. Takeuchi, Y. Matsuzaki, K. Miyanishi, T. Sugiyama, and W. J. Munro: "Quantum remote sensing with asymmetric information gain," Phys. Rev. A, Vol. 99, No. 2, 022325, Feb. 2019.

- (3) P. Yin, Y. Takeuchi, W.-H. Zhang, Z.-Q. Yin, Y. Matsuzaki, X.-X. Peng, X.-Y. Xu, J.-S. Xu, J.-S. Tang, Z.-Q. Zhou, G. Chen, C.-F. Li, and G.-C. Guo: "Experimental Demonstration of Secure Quantum Remote Sensing," Phys. Rev. Appl., Vol. 14, No. 1, 014065, July 2020.
- (4) M. Hayashi and Y. Takeuchi: "Verifying commuting quantum computers via fidelity estimation of weighted graph states," New J. Phys., Vol. 21, 093060, 2019.
- (5) 谷・秋笛・竹内: "量子コンピュータの能力を引き出すアルゴリズムとその検証技術," NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 4, pp. 29-32, 2023.
- (6) Y. Takeuchi, Y. Takahashi, T. Morimae, and S. Tani: "Divide-and-conquer verification method for noisy intermediate-scale quantum computation," Quantum, Vol. 6, p. 758, 2022.
- (7) A. Mizutani, Y. Takeuchi, R. Hiromasa, Y. Aikawa, and S. Tani: "Computational self-testing for entangled magic states," Phys. Rev. A, Vol. 106, No. 1, L010601, July 2022.



(左から) 竹内 勇貴 / 谷 誠一郎

NTT研究所は、爆発的に増大するデータを、ネットワーク上で超高速に分析・処理するため、量子コンピュータのハードウェアから超高速計算能力を引き出すことを可能にする基礎理論の確立に貢献します。

#### ◆問い合わせ先

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 情報基礎理論研究グループ  
TEL 0774-93-5020  
FAX 0774-93-5026  
E-mail cs-liaison-ml@ntt.com



## 主役登場

# アルゴリズムの力で 高信頼なネットワークをめざす

中村 健吾 Kengo Nakamura

NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
准特別研究員



アルゴリズムの研究では、計算機を用いて問題を解くときの効率的な手順を開発することが1つの目標です。年々大きな処理能力を持つスーパーコンピュータが次々と登場していますが、アルゴリズム研究の重要性は今も昔も変わっていません。例えば、従来の数億倍高速に問題を解けるアルゴリズムを開発すれば、スーパーコンピュータを用いても年単位の時間がかかると見積もられて実質的に不可能だった計算が、手元のPC利用であっても数分で終わるといったことが起こります。これは決して極端な例ではなく、私の研究グループでも実際に起こっていることです。

私が所属する研究グループでは、「組合せ爆発」を起こす問題を高速に解くための基礎研究を多く行っています。元のアイテムの集合に対し、その組合せの種類数は一般に指数関数的に多くなり、少しアイテムが増えただけでも種類数が膨大な数になることから、「組合せ爆発」と呼ばれます。例えば、道路網におけるある地点から別の地点までの経路の本数は、道路網の規模（すなわち道路の本数や交差点の数）と比べて指数関数的に多くなります。より具体的には、札幌のような碁盤の目状に道路が走る町で、ある隅から反対側の隅まで同じ交差点を通らずに行く方法は、縦横たった8ブロック分の区画を考えただけでも3200京通り以上考えられます。

私が最近取り組んでいる課題の1つである、通信ネットワークがどれほど障害に対

して頑健かを解析するネットワーク信頼性解析の問題では、ある条件を満たすリンクの組合せの数を数えたり、もしくは条件を満たすリンクの組合せの中から最適なものを選ぶものがありますが、膨大な数の組合せがあるため多くの問題はそのままでは計算時間的に困難になってしまいます。そこで、条件を満たす組合せの集合をうまく圧縮して保持し、後の計算に圧縮したままのかたちで活用することで計算量を減らすという手法が取られます。この手法はときに指数関数的な圧縮を可能とします。これによってアルゴリズムを高速化し、通信や道路ネットワークの厳密解析、言い換えれば全く誤差のない解析を実用的な規模のネットワークで行うことをめざしています。

私は高校生のころに「競技プログラミング」に触れ、問題に対する効率的な解法を考えプログラムに落とし込むということを行ってきました。一方で、現在の研究でも効率的なアルゴリズムを考え出し、それをプログラムとして実装して実際のデータで効率性を実証する、ということを行っていて、実は高校生のころにやっていた経験を活かして研究をしているのではないかと思うことがよくあります。幸いなことに、NTTにはネットワークに関する問題意識を持つ方が多くおり、そこに私の営みがうまくマッチしたことで、これまでいくつかの研究成果を生み出すことができました。

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) に代表される将来の

ネットワークでは、非常に高い信頼性、言い換えれば非常に低い確率でしか通信の断絶が起こらないことが要求されます。このような状況では、信頼性などの指標を近似的に計算すると誤差が求められる水準を上回ってしまい解析できません。よって、信頼性などの指標の厳密評価や解析が重要となります。しかし、これらの厳密評価の多くは計算時間的に困難な問題であることが知られています。そのような中で、私はこれまで厳密評価の計算時間を実用的に大幅に改善することに成功してきました。今後もアルゴリズムの力で実用上の計算時間の改善に貢献できればと考えています。

# NTTドコモのAI技術の 事業化への取り組み

近年、AI(人工知能)を利用してデジタルトランスフォーメーション(DX)の推進に資する技術開発が盛んとなっている。

本特集では、NTTドコモのAI技術の事業化への取り組みについて紹介する。

## DXを実現する自然言語処理技術

30

NTTドコモが開発している自然言語処理AIとその技術的特徴、およびAIの利用をサポートするGUIツールを紹介するとともに、実際の導入事例やRPAツールとの相乗効果、今後の展望について紹介する。





DX

言語処理

文書分類

自動要約

自動採点

## 要約作業を効率化する多機能な

### ニュース記事自動要約AIシステム ————— 34

ユーザの意向に沿った要約を自動で作成し、さらに確認作業を効率化できる多機能な自動要約AIシステムについて紹介する。

## 英語スピーキング採点技術の開発 ————— 38

面接試験をベースとしたスピーキング練習ならびに自動採点を可能とする、英語スピーキング採点技術の概要と応用について紹介する。



# DXを実現する自然言語処理技術

近年、AI（人工知能）を利用してデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進に資する技術開発がさかんとなっています。特に、企業に蓄積される大量のテキストデータを高速かつ正確に処理するAI技術として、自然言語処理と呼ばれる分野に注目が集まっています。本稿では、NTTドコモが開発している自然言語処理AIとその技術的特徴、およびAIの利用をサポートするGUIツールを紹介するとともに、実際の導入事例やRPAツールとの相乗効果、今後の展望について解説します。

キーワード：#DX, #自然言語処理, #文書分類

## はじめに

近年、RPA（Robotic Process Automation）ツール<sup>\*1</sup>やチャットボットをはじめとするデジタル技術を活用した、「働き方改革」が強く求められています。さらに、テキストのカテゴリ分類やタグ付けのように、知的な判断を必要とする作業のデジタルトランスフォーメーション（DX）はRPAツールだけでは実現が困難であることから、人間の言語理解を代替できる「自然言語処理」と呼ばれる分野のAI（人工知能）による自動処理も需要が増大しています。

しかし、実際の現場では利用できる計算資源や求められる性能が案件ごとに異なること、SaaS（Software as a Service）で社内のテキストデータを処理するのはセキュリティ面で抵抗感があること、技術者を抱えていない部門が独力でAIを導入して運用を担うのは負担が大きいことなどの諸問題があり、AIの導入は容易ではありません。

そこでNTTドコモは、計算資源を存分に活用した高性能な自然言語処理アルゴリズムを開発し、加えて、省リソースなPCでも動作する軽量高速なアルゴリズムも開発しました。さらに運用者の負担を軽減するために、GUI（Graphical User Interface）ツールも併せて開発しました。

本稿では、現場の多様なニーズに広く対

応した自然言語処理AIやGUIの技術開発、ならびに社内外での活用事例について解説します。

## DXに推進に資する自然言語処理AI

### ■概要

近年、自然言語処理の学術研究が世界中で活発に行われています。これらのアルゴリズムはOSS（Open Source Software）として公開されることが多く、最新のアルゴリズムを誰でも手軽に利用できます。一方、ビジネス現場では、利用できる計算資源やデータに制約が多く、アルゴリズムをそのまま適用してもニーズを満たせません。そこでNTTドコモでは、最新のOSSも活用しつつ、前述したような現場の多様なニーズに対応するため、追加機能の開発や展開方法の工夫に取り組んできました。

### ■機能

#### (1) 文書分類

文書分類機能は、文書にラベルを自動付与する機能です（図1①）。NTTドコモでは、ニーズに応じて、軽量な分類器と高性能な分類器の2種類の分類器を提供しています。

#### ・軽量な分類器

軽量な分類器は、コストやセキュリティの観点からクラウドが使えない場合など、通常業務用PCのローカル環境での利用ニーズにこたえたものです。アルゴリズムには、省リソースなPCでも実行可能な多層パーセプトロン<sup>\*2</sup>を利用しています。また、特徴量として、一般的に利用される形態素に

しらみず ゆうたろう

白水 優太郎

おか けいすけ

岡 慶介

たつみ しゅうすけ

辰巳 守祐

NTTドコモ

加えて、文字そのものや文字N-gram<sup>\*3</sup>も利用しています。この工夫により、少量のコーパスでも高い精度が得られ、さらには誤字脱字にも頑強な分類器を構築することができます。これらの特徴量が有効に機能する事例としてFAQ分類を図2に示します。

#### ・高性能な分類器

高性能な分類器は、GPU（Graphics Processing Unit）が利用できるクラウドサーバかオンプレミスサーバを保有している利用者の、高性能な分類器を構築したいというニーズにこたえたものです。アルゴリズムは、近年の言語処理のデファクトスタンダードであるBERT（Bidirectional Encoder Representations from Transformers）<sup>(1)</sup>を採用しました。BERTの事前学習モデル<sup>\*4</sup>には、NTT人間情報研究所の成果技術であるNTT版BERTを利用しています。

また、マルチラベル分類への対応をNTTドコモ独自で行いました。NTT版BERTはシングルラベル分類しか対応していなかったですが、ビジネス現場ではマルチラベル分類のニーズが高いからです。そこで、NTTドコモでは、NTT版BERTの

\*1 RPAツール：PC操作をシナリオとして記録させ、PC操作を自動化するソフトウェア型ロボット。

\*2 多層パーセプトロン：機械学習アルゴリズムであるニューラルネットワークの一種。

\*3 N-gram：任意の連続したn個の要素。要素の例としては、単語や文字などが挙げられる。

\*4 事前学習モデル：目的タスクの教師あり学習実施前に、大量のコーパスで教師なし学習したモデル。

\* 本記事は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」（Vol.29 No.4, 2022年1月）に掲載された内容を編集したものです。

ラベル出力部分の関数を工夫することで、出力をマルチラベル化して提供しています。

(2) 系列ラベリング

系列ラベリング機能は、系列データにラベルを自動付与する機能です。NTTドコモは、この機能を個人情報や誹謗中傷表現をはじめとする、テキストのマスクングに利用しています(図1②)。当機能の開発においてNTTドコモは、軽量のアルゴリズムを扱えて、かつ開発者コミュニティの大きいOSSとして知られるFlair<sup>(2)</sup>を採用しました。

(3) エンティティリンキング

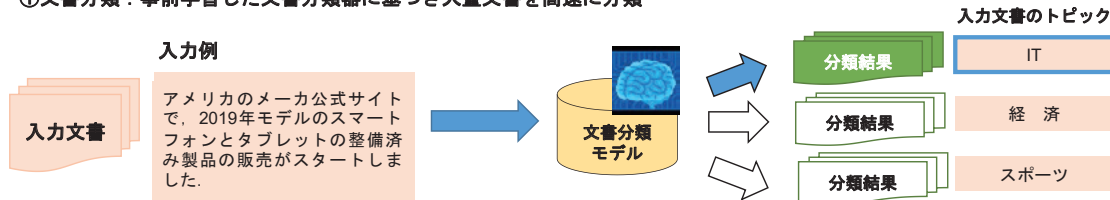
例えば、「ドコモ」「DOCOMO」といった語は、一般的な単語(例えば、「机」や「電車」など)とは違い、固有名詞です。さらに、これらの語は文字列こそ異なるものの、いずれも「NTTドコモ」という同一の概念(エンティティ)を指しています。このように、「文中の何がキーワードか」「そのキーワードがどのエンティティを指すか」を機械的に抽出・推定する機能がエンティティリンキングです(図1③)。

・Wikipediaからの抽出データに基づく辞書の構築

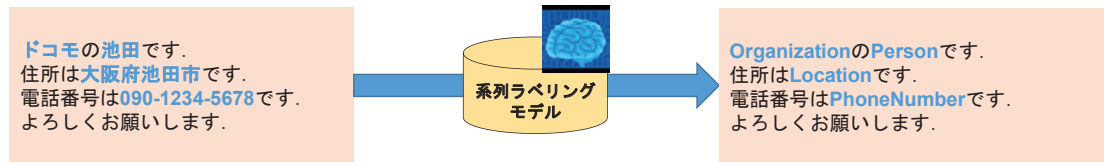
NTTドコモでは、特にWikipedia<sup>(3)</sup>から抽出したデータをエンティティリンキングに活用しています。Wikipediaを利用する利点として、①更新が頻繁であり新語や流行語などへの対応が早いこと、②毎日新たにデータベース・ダンプ<sup>\*5</sup>が公開されておりデータを利用しやすいこと、③データ抽出から辞書構築までを一気通貫で自動処理できるため、辞書のメンテナンスコストが低いことが挙げられます。

\*5 データベース・ダンプ：データベースの内容をそのままファイルに出力したもの。

①文書分類：事前学習した文書分類器に基づき大量文書を高速に分類



②系列ラベリング：文中に含まれる個人情報や誹謗中傷表現などを特定してラベリング



③エンティティリンキング：Wikipediaから生成した大量固有表現辞書により文中から固有名詞などを抽出

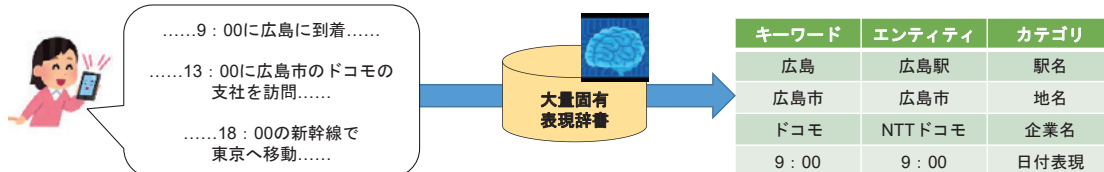


図1 自然言語処理AIの機能一覧

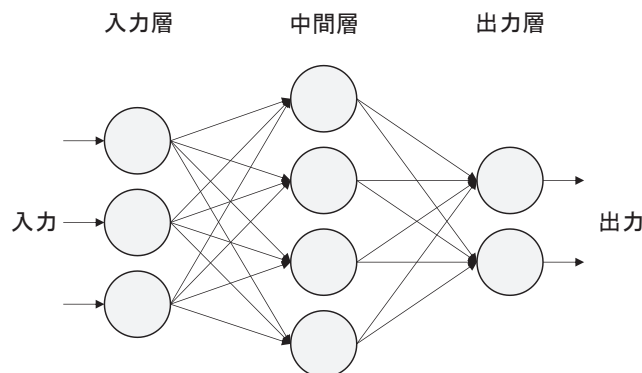
入力文と  
利用する特徴量

機械学習モデル

出力ラベルと  
ラベルに該当する回答文

入力文  
Bluetoothにつながらない

特徴量  
形態素  
bluetooth, つなが, ら, ない  
文字  
b, l, u, e, t, o, ...  
文字 N-gram  
bl, lu, ue, et, to, oo, ...



出力ラベル  
0007

ラベルに該当する回答文  
Bluetooth接続は、設定をONにするだけでなく、接続したい相手先の機器を選択し、機器同士のペアリングをすることで接続が可能になります。...

図2 軽量な分類器の特徴量が有効に機能する事例



・カテゴリの付与

NTTドコモでは、「拡張固有表現階層\*6」<sup>(4)</sup>に基づくカテゴリを上位概念としてエンティティに付与しており、抽出した結果を200種類程度のカテゴリに分類した上で、それらを利用します。

・活用事例

例えば、ニュースからのキーワード抽出が挙げられます。Wikipediaは時勢を反映して記事内容が更新されたり特定のページ閲覧数が伸びたりするため、Wikipediaの統計データを利用したエンティティリンクは、ニュース本文からのキーワード抽出と相性が良いです。加えて、単純な文字列抽出のみではなく「表記ゆれの吸収」も同時に行うため、抽出・リンクされたエンティティあるいはエンティティに付与されたカテゴリを記事のタグとして活用しやすいというメリットがあります。

自然言語処理AIの展開を加速する GUIツールの開発

■概要

自然言語処理AIの導入や活用には、AIの精度を維持・向上していくためのチューニングが欠かせません。チューニングとは、AIの精度検証、アノテーション作業による

学習データの修正など、AIモデルの構築と継続的な更新に発生する一連の作業を指し、一定の人的な運用コストが発生します。

このような作業にかかる運用コストを軽減するために、NTTドコモはAIのチューニングをサポートするGUIツールも併せて開発しています。GUIツールとツールのバックエンド\*7エンジン<sup>(5)</sup>はコンテナ仮想化技術\*8<sup>(6)</sup>の上で動作させており、バックエンドからフロントエンドまでを簡便に導入できます。

■GUIツールの開発とその機能

本ツールでは、AIの構築に必要なデータセットのアップロード、アノテーションデータ作成、学習、評価など一連の機能をGUIとして提供しており、AIの初期構築からメンテナンスに至るまでのすべてをツール画面上で実行可能です（図3）。

主な機能詳細を以下に示します。

(1) 学習・評価

あらかじめ用意したアノテーション済みのテキストデータをツール経由でアップロードし、簡易な画面操作を行うことで、独自のAIを作成できます。また、正解として用意したアノテーション済みデータをGUIツールへアップロードすると、本ツールが正答率を自動で算出し、作成したAIの精度を評価できます。

(2) チューニング

学習済みのAIを用いて、テキストデータに自動でラベルを付与する機能と、ユーザがラベルを確認・修正できる機能を提供しています。ある程度学習を繰り返したAIにテキストのアノテーションを任せ、間違った部分を人間の判断で修正することでアノテーションの作業の効率化が可能となります。そして、アノテーションしたテキストをさらにAIに学習させることによる精度向上も可能です。

また、学習時のハイパーパラメータの変更、学習実行、精度評価などが実行できる画面も提供しており、チューニング時のパラメータ調整が容易です。

(3) リビジョン管理

本ツールでは、学習したAIや学習に利用したデータセット、評価サマリなどを、「リ

- \*6 拡張固有表現階層：語を「人名」「市区町村名」「国名」のような200種類程度のカテゴリに分類したものを、カテゴリは「地名>天体名>惑星名」のように、最大3階層の構造になっています。
- \*7 バックエンド：GUIを動作させるためのシステム部分。主にエンジンおよびエンジンとGUIの動作をつなぐシステム部分のこと。
- \*8 コンテナ仮想化技術：アプリケーション本体や、アプリケーションに必要なファイル群を「コンテナ」としてパッケージングし、コンテナエンジンというプロセス上で動かす技術の1つ。

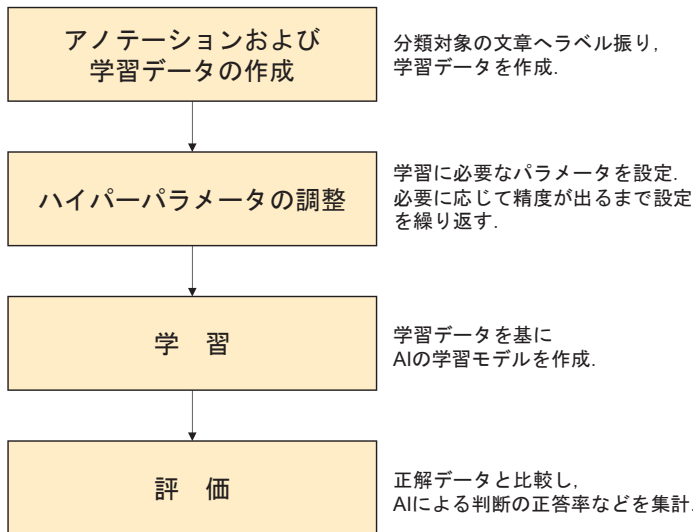


図3 チューニングフローとGUIツールの画面イメージ

ビジョン」という作業単位ごとに管理できる機能を提供しており、前述したような煩雑な管理をユーザが意識することなく、過去のデータセットや評価サマリをシステム側で個別に管理し、各データセットのチューニングの効果やデータの差分を分析することが可能です。

## 活用事例の紹介

### ■概要

NTTドコモでは、自然言語処理AIやGUIツールの開発のみならず、社内外で自然言語処理AIによるDXを推進しています。

社内においては、ユーザや従業員からの意見・要望がテキストデータとして集約されるCS (Customer Satisfaction) 部門と相互に協力し、自然言語処理AIの構築や導入サポート、蓄積してきた人手による分類結果の共有などを通して、ユーザ満足度向上のためのオペレーション改善に努めています。

また社外においても、法人営業部門と共同でRPA - AI連携ソリューション展開を進めており、自然言語処理のみならずOCR (Optical Character Recognition) や音声認識技術をも活用した実証実験を広く実施しています。

### ■社内CS部門との取り組み

NTTドコモでは、ユーザや従業員からいただいた意見・要望を、特定の個人を識別することができないように加工した上で分析・分類し、ユーザ満足度や従業員満足度の向上につながるようなサービスを開発したり業務の改善に活用したりしています。しかし、日々届くアンケートは大量であることから精読には時間がかかります。また、人の目で確認する以上、見落としや分類ミスなどによる精度の低下などは避けられません。

そこでNTTドコモは、自然言語処理AIの導入によるアンケート自動分類を社内CS部門と進めてきました。自然言語処理AIを作業に導入することで、これまで長時

間人手をかけて実施していた内容の大半が自動化され、大きな稼働時間の削減効果がありました。今後はアンケートの自動分類のみならず、ユーザが誤って入力してしまった氏名や住所などの個人情報、人の手を介さずに自動で秘匿するAIを導入することで、ユーザに、より一層満足いただける価値の提供をめざします。

### ■RPAツールとAIの連携ソリューション

近年、自然言語処理やOCR用のAIを「頭脳」に見立ててRPAツールと組み合わせることで、より複雑な業務を自動化するソリューション (Cognitive Automation<sup>\*9</sup>) が模索されています。NTTドコモにおいても、RPAツール「WinActor」の導入・拡大およびRPA - AI連携ソリューションの一環として、「既存システムへの電子カルテ自動投入」の実証実験を、奈良県総合医療センターと共同で実施しました。

医療現場には、患者ごとのカルテ作成や電子カルテシステムへのデータ入力など、ITによる効率化が可能な業務も多くありますが、RPAツールのみでの対応は容易ではありません。また、個人情報を扱うことから、作業用PC間のローカルネットワークに閉じた処理が比較的好まれます。

以上の点を踏まえ、ローカルでも動作する軽量の自然言語処理AIと外部サーバの不要なRPAツールを、院内のローカルネットワークに接続しているPC上のみで構築し、それらを連携させて、これまで人間が実施していたシステムへの転記作業をそのまま自動化することで、医療従事者の稼働削減による超過勤務解消を図りました。さらに音声認識ソフトを新たに導入し、これまで紙に控えていた患者情報を音声発話から直接電子テキスト化することで、データ作成の効率化もめざしました。

実証実験の結果、電子カルテシステムへの投入時間削減といった定量的な効果のみならず、「記入ミスの削減につながった」「患者と向き合う時間が増えた」という担当者からの定性的な評価もありました。

## おわりに

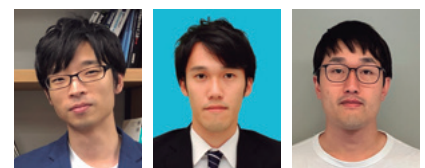
本稿では、DXを実現する自然言語処理アルゴリズムの開発、操作性・利便性を向上させるためのGUIツールの開発、および

社内外への展開と今後の展望について解説しました。複数種類の手法やアルゴリズムをサポートした多様な自然言語処理AIを開発することによって、利用者は、用途や要件、実行環境などに合わせた適切なAIの選択が可能になりました。並行して、運用部門からの機能要望を盛り込んだGUIツールを開発することで、現場でのAI運用 (学習、性能評価、精度改善) の負担軽減をめざしました。さらに、開発した自然言語処理AIを導入・活用することで、稼働を定量的に削減できるだけでなく、RPAツールとの親和性の高さや、業務フロー改善に伴って作業の質が向上するといった効果も示せました。

今後は、新規アルゴリズムの追加などバックエンドの機能拡張と並行して、社内外での活用事例創出や利用組織拡大に向けてフロントエンドのGUIツールを訴求していきます。

### ■参考文献

- (1) J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova: "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding," Proc. of NAACL, May 2019.
- (2) A. Akbik, T. Bergmann, D. Blythe, K. Rasul, S. Schweter, and R. Vollgraf: "FLAIR: An easy-to-use framework for state-of-the-art NLP," Proc. of NAACL, June 2019.
- (3) <https://ja.wikipedia.org/wiki/>
- (4) <http://ene-project.info>



(左から) 白水 優太郎 / 岡 慶介 / 辰巳 守祐

近年の技術的革新によって、自然言語処理は著しい進展を遂げ、非常に注目されている分野となっています。業務効率化や働き方改革だけでなく、より幅広い領域で有用な技術の研究開発に、今後も取り組んでいきます。

### ◆問い合わせ先

NTTドコモ  
R&D戦略部  
E-mail dtj@nttdocomo.com

\*9 Cognitive Automation: 自然言語処理や画像認識、音声認識などのAIとRPAツールとを組み合わせることで、人間が行っている「判断に基づく作業」を自動化すること。



# 要約作業を効率化する多機能なニュース記事自動要約AIシステム

現在、多くのメディアのニュースサイトでは、記事の要約を表示することにより読者に内容を分かりやすく伝えています。しかし、人手による要約作業は分量が多いうえに専門的なスキルを必要とし、人材確保の観点で課題となっています。そこでNTTドコモは、要約作業の効率化をめざし、ユーザの意向に沿った要約を自動で作成し、さらに確認作業を効率化できる多機能な自動要約AI（人工知能）システムを開発しました。特に、汎用的な対話型AIでは現状は実現が困難な位置特定機能を活用することで、より効率的に要約を作成できます。

キーワード：#AI、#自動要約、#自然言語処理技術

くお しゅーほん なかむら いっせい  
郭 垌宏<sup>†1</sup> / 中村 一成<sup>†1</sup>  
り あんしん ふじもと ひろし  
李 安新<sup>†1</sup> / 藤本 拓<sup>†2</sup>

NTTドコモ北京研究所<sup>†1</sup>  
NTTドコモ<sup>†2</sup>

## はじめに

人手による要約作業の効率化をめざし、NTTドコモはユーザの意向に沿った要約を作成する多機能な自動要約AI（人工知能）システムを開発しました。本システムはヒント機能、文字数制御機能、位置特定機能を具備し、文字数や内容の観点でユーザの求める最適な要約を自動で生成することが可能です。本システムを活用することで、効率的に要約の自動生成、確認と修正作業ができるため、人手による要約作成や従来の要約システムを利用した場合と比較して要約作業に要する時間を短縮することが可能となります。

## NTTドコモの自動要約AIシステム

### ■システム全体像

NTTドコモの自動要約AIシステムには、

\* 本記事は「NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル」(Vol.29 No.4, 2022年1月)に掲載された内容を編集したものです。

\* 1 深層学習：多層のニューラルネットワークを用いた機械学習の一種。

深層学習<sup>\*1</sup>を用いた抽出式要約と生成式要約の2つのシステムがあります(図1)。各システムに実装されている機能を以下で解説します。

### ■ヒント機能

ヒント機能は、ユーザが要約に含めたい、もしくは含めたくないキーワードやフレーズを指定することで、要約内容に制約を加えることができる機能です。ニュース記事

において、どの情報を要約に含めたいかはユーザごとに異なる可能性があるため、各ユーザに対して最適な要約を生成できるように、このような機能を開発しました。

図2(a)は要約に含めたいキーワードをユーザが指定することで、ヒントがない場合には要約に含まれない内容が含まれるように変化させた例です。図2(b)は要約に含めたくないキーワード(図中ではマイナス

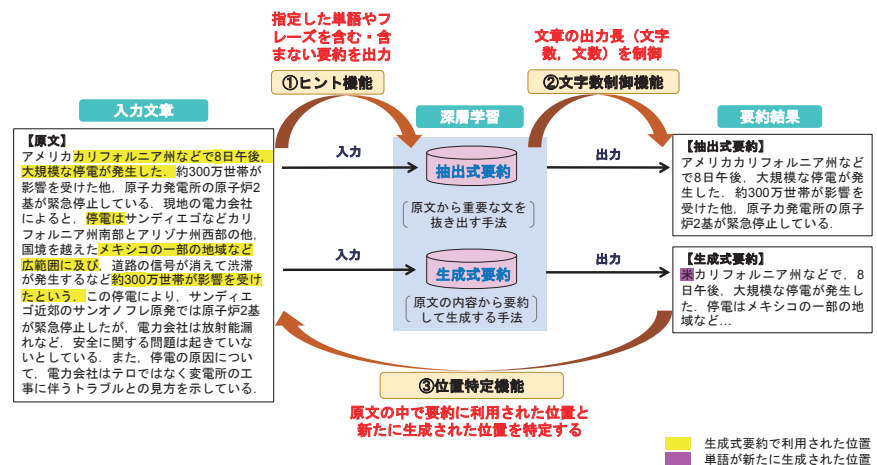


図1 自動要約AIシステム全体像

(a)	原文	指定文字数	ヒント指定なし 要約結果	(b)	原文	指定文字数	マイナスヒント指定なし 要約結果
	アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。約300万世帯が影響を受けた他、原子力発電所の原子炉2基が緊急停止している。現地の電力会社によると、停電はサンディエゴなどカリフォルニア州南部とアリゾナ州西部の他、国境を越えたメキシコの一部の地域など広範囲に及び、道路の信号が消えて渋滞が発生するなど約300万世帯が影響を受けたという。この停電により、サンディエゴ近郊のサンオノフレ原発では原子炉2基が緊急停止したが、電力会社は放射能漏れなど、安全に関する問題は起きていないとしている。また、停電の原因について、電力会社はゼロではなく変電所の工事に伴うトラブルとの見方を示している。(294文字)	120	アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。停電はメキシコの一部の地域など広範囲に及び、約300万世帯が影響を受けたという。また、停電の原因について、電力会社はゼロではなく変電所の工事に伴うトラブルとの見方を示している。(118文字)		アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。約300万世帯が影響を受けた他、原子力発電所の原子炉2基が緊急停止している。現地の電力会社によると、停電はサンディエゴなどカリフォルニア州南部とアリゾナ州西部の他、国境を越えたメキシコの一部の地域など広範囲に及び、道路の信号が消えて渋滞が発生するなど約300万世帯が影響を受けたという。この停電により、サンディエゴ近郊のサンオノフレ原発では原子炉2基が緊急停止したが、電力会社は放射能漏れなど、安全に関する問題は起きていないとしている。また、停電の原因について、電力会社はゼロではなく変電所の工事に伴うトラブルとの見方を示している。(294文字)	100	アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。停電はメキシコの一部の地域など広範囲に及び、道路の信号が消えて渋滞が発生するなど約300万世帯が影響を受けたという。(90文字)
			ヒント指定「緊急停止」要約結果 アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。この停電により、サンディエゴ近郊のサンオノフレ原発では原子炉2基が緊急停止したが、電力会社は放射能漏れなど、安全に関する問題は起きていないとしている。(107文字)				マイナスヒント指定「渋滞」要約結果 アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。この停電により、サンディエゴ近郊のサンオノフレ原発では原子炉2基が緊急停止したが、電力会社は、安全に関する問題は起きていないとしている。(100文字)

図2 ヒント機能



原文	指定文字数	要約結果
アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。約300万世帯が影響を受けた他、原子力発電所の原子炉2基が緊急停止している。現地の電力会社によると、停電はサンディエゴなどカリフォルニア州南部とアリゾナ州西部の他、国境を越えたメキシコの一部の地域など広範囲に及び、道路の信号が消えて渋滞が発生するなど約300万世帯が影響を受けたという。この停電により、サンディエゴ近郊のサンオノフレ原発では原子炉2基が緊急停止したが、電力会社は放射能漏れなど、安全に関する問題は起きていないとしている。また、停電の原因について、電力会社はテロではなく変電所の工事に伴うトラブルとの見方を示している。(294文字)	80	アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。停電はメキシコの一部の地域など広範囲に及び、約300万世帯が影響を受けたという。(70文字)
アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。約300万世帯が影響を受けた他、原子力発電所の原子炉2基が緊急停止している。現地の電力会社によると、停電はサンディエゴなどカリフォルニア州南部とアリゾナ州西部の他、国境を越えたメキシコの一部の地域など広範囲に及び、道路の信号が消えて渋滞が発生するなど約300万世帯が影響を受けたという。この停電により、サンディエゴ近郊のサンオノフレ原発では原子炉2基が緊急停止したが、電力会社は放射能漏れなど、安全に関する問題は起きていないとしている。また、停電の原因について、電力会社はテロではなく変電所の工事に伴うトラブルとの見方を示している。(294文字)	160	アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。停電はメキシコの一部の地域など広範囲に及び、道路の信号が消えて渋滞が発生するなど約300万世帯が影響を受けたという。また、停電の原因について、電力会社はテロではなく変電所の工事に伴うトラブルとの見方を示している。(136文字)

引用部分

図3 文字数制御機能

原文	要約結果
アメリカカリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。約300万世帯が影響を受けた他、原子力発電所の原子炉2基が緊急停止している。現地の電力会社によると、停電はサンディエゴなどカリフォルニア州南部とアリゾナ州西部の他、国境を越えたメキシコの一部の地域など広範囲に及び、道路の信号が消えて渋滞が発生するなど約300万世帯が影響を受けたという。この停電により、サンディエゴ近郊のサンオノフレ原発では原子炉2基が緊急停止したが、電力会社は放射能漏れなど、安全に関する問題は起きていないとしている。また、停電の原因について、電力会社はテロではなく変電所の工事に伴うトラブルとの見方を示している。	カリフォルニア州などで8日午後、大規模な停電が発生した。この停電により、サンディエゴ近郊のサンオノフレ原発では原子炉2基が緊急停止したが、電力会社は放射能漏れなど、安全に関する問題は起きていないとしている。

生成式要約で引用された位置  
単語が新たに生成された位置

図4 位置特定機能

ヒントと記載)をユーザが指定することで、ヒントがない場合に要約に含まれていた内容が、含まれないように変化した例です。

### ■文字数制御機能

文字数制御機能は、ユーザが要約の文字数を指定できる機能です。ニュースサイトやソーシャルメディアには、配信メディアの要約表示枠の制約から要約文字数の最大値が厳しく制限されることがあるため、本システムではユーザが設定した文字数の70~100%の範囲で要約を出力するようにチューニングをしています。図3に示すように同じ原文に対して異なる文字数を設定すると、それに合った文字数の要約をそれぞれ得ることができます。

### ■位置特定機能

位置特定機能は、要約の文言が原文のどの位置を参照したかを可視化できる機能です。要約が原文の中の重要な内容を含み、文法的に正しいかどうかをユーザが効率的に確認できるようにこのような機能を開発しました。図4に示すように、「原子炉2

基が緊急停止」という同じフレーズが原文に複数ある場合や、単語が新たに生成された場合にも正しく参照箇所をマッピングすることが可能です。このような各文言のマッピングは汎用的な対話型AIでは現状は実現が困難であるため、本システムを活用することで、汎用的な対話型AIを活用した要約作業と比較してさらに効率的に要約を作成できます。

## 生成式要約の品質改善手法

### ■概要

深層学習を用いた要約モデルの学習では、通常、原文と人手で作成した正しい要約のペアのデータを用いて学習を行います。人手で要約を作成するのは時間的、また金銭的なコストがかかることが課題です。

そこで、大量のデータを用意する代わりに、原文と要約のペアデータから機械的に生成された誤りのある要約や、正解の要約がない大量の原文データ、一文の中から不

要な情報が除かれた圧縮文を活用し、独自の技術を導入することで、既存技術と比較して主に文法、非冗長性、文字数制御の観点で、性能改善を行いました。

### ■文法

本システムでは、強化学習の方法を導入することで文法の性能改善を行いました。強化学習はエージェントとそれに報酬を返す環境の間のフィードバックをとおして、エージェントを学習させる手法です。一般的にロボット制御などの分野で利用される学習手法ですが、近年自然言語処理の分野でも利用される例があります<sup>(1)</sup>。本システムでは、強化学習の各要素が下記のように構成されます。

- ・エージェント (Agent) : 要約モデル
- ・環境 (Environment) : 文を与えたときに文法的に正しいか正しくないかを判断する識別器
- ・状態 (State) : 要約結果
- ・動作 (Action) : 次の単語の生成
- ・報酬 (Reward) : 文法の正しさのスコア (識別器の判断結果)

要約モデルが要約を生成する動作を通じて、報酬がもっとも多くなるように、つまり文法の誤りが少なくなるように学習を行うことで、既存手法と比較して文法誤りの少ない要約モデルを構築しました。

### ■非冗長性

本稿では要約内容の中で、同一文内や複数の文間で意味的に同一の内容が繰り返し言及されることを「冗長」と表現します。深層学習を用いたテキスト生成モデルでは、冗長な内容を含む要約の生成が課題として指摘されています<sup>(2)</sup>。

そこで、本システムでは、対照学習<sup>\*2</sup>を導入することにより冗長性の課題について改善を行いました。対照学習では、Anchor, 正例, 負例の3つを用意し、学習時にAnchorと正例の特徴間の距離が、Anchorと負例の特徴間の距離よりも近接するように学習することでモデルの精度を

\*2 対照学習: 類似データ間の特徴距離が非類似データ間の特徴距離よりも近くなるように学習することでモデルの高精度化を行う手法。

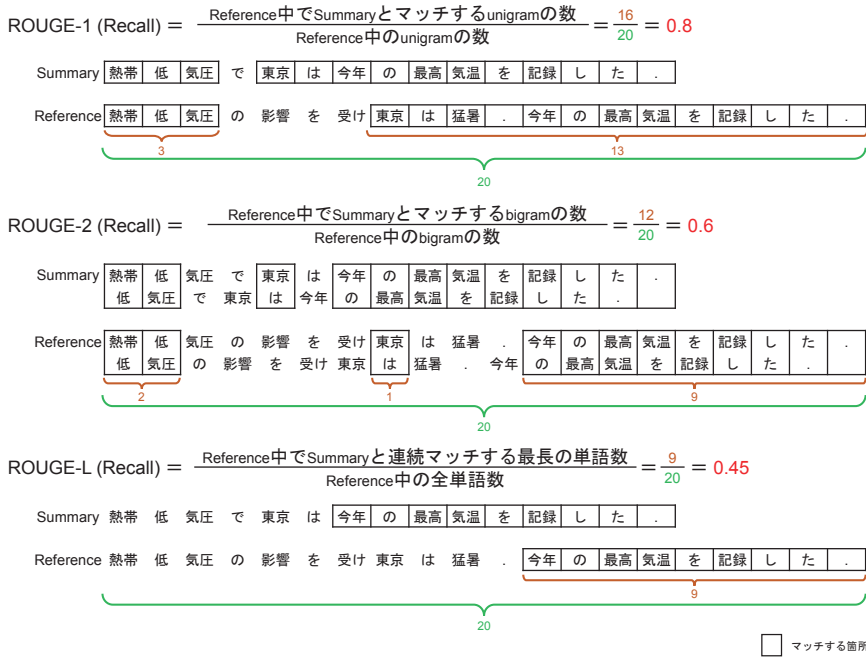


図5 ROUGEの計算方法

表1 ROUGEによる評価結果

		ROUGE-1	ROUGE-2	ROUGE-L
抽出式要約	Lead-3	74.46	63.89	72.48
	TextRank	64.06	50.07	60.16
	SumBasic	64.49	49.18	58.38
生成式要約	PGN	79.25	70.36	77.45
	Ours	84.49	76.47	81.80

向上する手法です。本システムでは、Anchorは要約モデルによって生成された要約、正例は人手で作成した正しい要約であり、負例は正例に対して機械的に同一の単語、フレーズ、文を繰り返した、冗長性の観点で誤りのある要約としました。このように冗長性の観点で誤りのある負例を用いた学習を行うことで、既存手法と比較して冗長な文を生成しにくい要約モデルを構築しました。

■文字数制御

文字数制御でもっとも一般的な手法は、要約を生成する過程でBeam Search<sup>\*3</sup>を行う際に、ルールベースでより適切な長さとなる出力結果を選択する手法です。このようなルールベースの手法の場合、適切な長さとなる出力結果を選択するために、文

法的な正しさや主題の抽出度合いについて考慮されない場合があり、要約結果がユーザの指定した長さに近い一方で、文法的に誤りのある要約や主題から逸脱した要約が出力されやすくなる課題があります<sup>(3)</sup>。

そこでNTTドコモの文字数制御機能は、要約モデル自体に出力する要約の長さの情報の特徴量<sup>\*4</sup>として入力し、要約モデルが要約を出力する際に文法、主題、長さなどを同時に考慮するよう学習させることで、要約モデルの最適化を行いました。また要約モデルの後処理として、文字数を削減するための文圧縮モデルを導入することにより、要約モデルより出力された文がユーザの設定する文字数を上回る場合は、文を適切な長さに圧縮し要約を生成できるように改善しました。

生成式要約の性能評価

■データセット

日本テレビ放送網株式会社が提供する約18万件のニュース記事と記事を人手で要約したデータセットを利用し、本システムの生成式要約の学習と評価を行いました。

■ROUGEによる評価

正解要約 (Reference) に対する要約結果の網羅性を評価するRecallについて各ROUGEの計算方法を図5に示します。ROUGEは、正解とされるテキストとモデルが作成したテキストの類似度を比較する要約の指標の中でもっとも広く利用されるものです<sup>(4)</sup>。ROUGE-1、ROUGE-2は、それぞれテキスト間のunigram<sup>\*5</sup>とbigram<sup>\*6</sup>の重なり度合いを表し、ROUGE-Lは、一致する最長の単語の長さを用いてテキスト間の重なり度合いを測定します。ROUGE-1、ROUGE-2、ROUGE-Lすべてにおいて、値が大きいほどテキスト間の重なりが大きく、テキスト生成モデルの性能が高いことを示します。

表1は、日本テレビ放送網が提供するデータセットのうち3000件を用いて、本システムの評価を行った結果です。比較対象として原文の先頭3つの文を要約結果とするLead-3、また、TextRank<sup>(5)</sup>、SumBasic<sup>(6)</sup>、PGN<sup>(2)</sup>を利用しました。TextRank、SumBasicについては抽出式要約であり、抽出する文の中で重要度の高い3つの文を要約結果としました。PGNについては生成式要約であり、Beam Search結果の中でもっとも正解の要約の文字数に近い要約を、最終的な要約結果として評価しました。これらの既存手法と比較して、NTTドコモの自動要約AIシステムはROUGEの数値が大きく、人手で作成した

\*3 Beam Search: 本稿では、ニューラルネットワークが出力する単語の候補をスコアに基づいて複数選定し、いくつかの要約結果の候補を得ること。  
 \*4 特徴量: データから抽出される、そのデータの特徴付けられる量 (数値)。  
 \*5 unigram: n単語連続して続く文字列をn-gramと呼び、nが1の場合の1単語だけの文字列のこと。  
 \*6 bigram: 2単語連続して続く文字列のこと。

表2 人手による評価結果

	文法	主題性	非冗長性	流暢性	要約文字数
PGN	2.82	2.40	3.89	3.06	3.25
Ours	3.85	3.53	3.92	3.84	3.89

表3 要約の文字数に関するスコア

要約の文字数範囲	スコア
$0.7 \times L \leq S \leq 1.0 \times L$	4
$0.6 \times L \leq S < 0.7 \times L$ or $1.0 \times L < S \leq 1.1 \times L$	3
$0.5 \times L \leq S < 0.6 \times L$ or $1.1 \times L < S \leq 1.2 \times L$	2
$S < 0.5 \times L$ or $1.2 \times L < S$	1

L : 正解要約の文字数  
S : 要約モデルが作成した要約の文字数

正解により近い要約を生成することが示されました。

#### ■人手による評価

前述のROUGEの評価による欠点として、文法の誤りや意味的な冗長性などを評価できない点が挙げられます。そこで、日本語を母国語とする者が以下の4つの観点で評価を行いました。その際スコアを、4を最高点とする4段階評価としました。

- ① 文法：要約に文法的な誤りが少ないこと
- ② 主題性：生成された要約が原文の主要な内容をカバーしていること
- ③ 非冗長性：要約の中に意味的に同一の単語、フレーズ、文の繰返しがないこと
- ④ 流暢性：生成された要約が単語間、文間で流暢であること

表2は、評価データセットのうち100件を用いてNTTドコモの自動要約AIシステムとPGNの出力結果を人手で評価した評価値の平均値です。また表3に示すように、指定した要約の文字数に対して生成された要約の文字数の割合を算出し、4段階のスコアに割り当てました。この要約文字数のスコアを評価データごとに算出し、平均値を表2の「要約文字数」列に記載しました。

このような人手による評価についても既存手法のPGNと比較して、NTTドコモの自動要約AIシステムは各評価指標の数値が大きく、より品質の高い要約が生成されることが示されました。なお、自動要約の処理時間は、抽出式要約が約1秒、生成式要約が10秒程度のため、数分から数十分かかる手動の要約作業と比較して速度が大幅に向上します。

#### おわりに

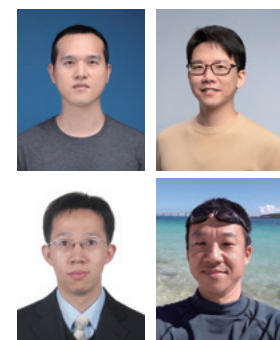
本稿では、NTTドコモの自動要約AIシステムの各機能や技術、性能について解説しました。NTTドコモは、ヒント機能、文字数制御機能、位置特定機能を開発し、ユーザの意向に沿った要約を出力しやすいシステムを実現しました。また、文法、非冗長性、要約文字数の制約の課題を解決するために、強化学習、対照学習などを導入し、性能向上を行いました。性能評価結果が示すように、NTTドコモの自動要約AIシステムは既存の技術と比較し、ROUGEによる評価と人手による評価の両方の指標の値を改善しました。この自動要約AIシステムにより、要約作業時間を短縮し人手不足の解消をすることが可能となります。今後は、サービスをとおして得られた課題を基に既存機能の性能向上や新機能の開発を行い、さらに高性能な自動要約AIシステムを実現していきます。

#### ■参考文献

- (1) L. Yu, W. Zhang, J. Wang, and Y. Yu: "SeqGAN: Sequence generative adversarial nets with policy gradient," 31st AAAI Conf. Artif. on Intell., pp.2852-2858, 2017.
- (2) A. See, P. J. Liu, and C. D. Manning: "Get To The Point: Summarization with Pointer-Generator Networks," ACL 2017 - 55th Annu. Meet. Assoc. Comput. Linguist. Proc. Conf.

(Long Pap.), Vol.1, pp.1073-1083, 2017 (doi: 10.18653/v1/P17-1099).

- (3) B. Eikema and W. Aziz: "Is MAP Decoding All You Need? The Inadequacy of the Mode in Neural Machine Translation," Proc. of the 28th International Conference on Computational Linguistics, pp.4506-4520, 2021 (doi: 10.18653/v1/2020.coling-main.398).
- (4) C.-Y. Lin: "Looking for a Few Good Metrics: ROUGE and its Evaluation," NTCIR Work., pp.1-8, June 2004.
- (5) R. Mihalcea and P. Tarau: "TextRank: Bringing Order into Text," Proc. of 2004 Conf. Empir. methods Nat. Lang. Process., pp. 404-411, 2004.
- (6) L. Vanderwende, H. Suzuki, C. Brockett, and A. Nenkova: "Beyond SumBasic: Task-focused summarization with sentence simplification and lexical expansion," Inf. Process. Manag., Vol.43, No.6, pp.1606-1618, Nov. 2007 (doi: 10.1016/j.ipm.2007.01.023).



(上段左から) 郭 埜宏 / 中村 一成

(下段左から) 李 安新 / 藤本 拓

今回紹介したシステムはパートナー企業との密な連携により、現場で要約を行っている方々のニーズに基づいて開発を行いました。今後もパートナー企業との連携を推進し、社会課題の解決に貢献していきます。

#### ◆問い合わせ先

NTTドコモ  
R&D戦略部  
E-mail dtj@nttdocomo.com





# 英語スピーキング採点技術の開発

近年、日本の英語教育では、「聞く」「読む」「書く」「話す」の4技能をバランス良く習得することが求められています。特に、「書く」「話す」といった能動的なスキルの習得が重要視されています。しかし、個人で学習することは難しいため、NTTドコモでは、個人で「話す」練習が可能な、スピーキング採点技術を開発しました。本技術により、面接試験をベースとしたスピーキング練習ならびに自動採点が可能になりました。本稿では、その技術の概要と応用について解説します。

キーワード：#自動採点、#ディープラーニング、#言語処理

## はじめに

近年、日本の学校教育における英語学習では、「聞く」「読む」「書く」「話す」の4技能をバランス良く習得することが求められるようになってきています。中でも、「書く」「話す」といった、能動的スキルを生徒が習得できることに重点が置かれています。その結果、能動的なスキルを判定可能な資格取得が推奨されるようになり、英検<sup>®</sup>などの資格が授業単位として認定されたり、資格取得によって入学試験の一部免除が行われたりするなど、生徒にとって大きな変化が起きています。

そのような中で、生徒の能動的スキルを高める指導のために教員の負担がさらに増大し、大きな問題となっています。例えば、外部試験・入試対策のための面接試験練習は、教員が放課後などの授業外の時間に指導しなければならないことが多くあります。そのうえ、教員の時間には限りがあるため、生徒が十分な指導を受けられないなどの問題もあります。

このような背景から、AI（人工知能）技術によって生徒の学習サポートや自動採点を実現することが、生徒の能動的スキルの向上や、教員の負担軽減に有効と考えています。

これまでNTTドコモでは、これらの課題を解決するための最初のステップとして、AIを用いたライティングの採点・添削機能<sup>(1)</sup>

を開発し、その機能を中高生向け英語4技能の学習サービス「English 4skills」<sup>(2)</sup>におけるAIライティング機能として提供してきました。これにより、「書く」スキル学習における生徒の学習支援や教員の採点・指導の稼働削減に貢献してきました。

一方、学校教育の観点からは、「話す」スキルについても、取り組むべき喫緊の課題だと考えています。「話す」スキル習得をサポートするには、生徒が発話した内容に対して、提供中のAIライティング機能と同様に、人手を介在せずに評価できる機能が必要となります。加えて、AIライティング機能と異なり、生徒の英訳文を採点するだけではなく、生徒が英語で話した状況説明や意見を採点できる必要があります。

そこでNTTドコモは、「話す」スキル習得の練習が可能な、英語スピーキング採点技術を開発しました。本技術は、「問題カードを用いた状況説明問題の採点技術」と「一問一答問題の採点技術」からなり、対面の面接試験を想定したスピーキング採点システムにこれらを組み込むことで「話す」スキル習得の練習が可能となりました。

本稿では、開発した英語スピーキング採点技術について解説します。

## 面接練習問題の概要

本技術を用いたスピーキング採点システムは、Webアプリケーションの形式で対面の面接試験を想定した練習ができるように設計されています。生徒は、「試験官との挨拶」から始まり、「問題カードの受取り」「問題カードを用いた状況説明問題」「一問一答問題」「問題カードの返却・試験官との挨拶」

さわやま あつき<sup>+1</sup>  
澤山 熱気<sup>+1</sup>  
まつおか ほうせい<sup>+2</sup>  
松岡 保静<sup>+2</sup>

NTTドコモ<sup>+1</sup>  
みらい翻訳<sup>+2</sup>

一問一答問題」「問題カードの返却」「試験官との挨拶」という一連の流れをスマートフォンやタブレットなどを使って練習できるようになっています（図1）。

本システムは、生徒がスマートフォンやタブレットなどのマイクに向かって行った発話を音声認識し、採点処理を行います。試験官との挨拶が終わると、一連の面接試験の採点結果が生徒に提示されます。採点システムで実装した2種類の問題（問題カードを用いた状況説明問題、一問一答問題）について解説します。

### ■問題カードを用いた状況説明問題

この問題では、問題カードに記載されたパッセージやイメージに関する内容について出題があり、生徒は記載内容の状況説明や、説明についての理由を述べます。問題カードに記載されるイメージの例を図2に示します。問題図に描かれている人物それぞれが行っている行動について状況説明する問題などが試験官から出題されます。

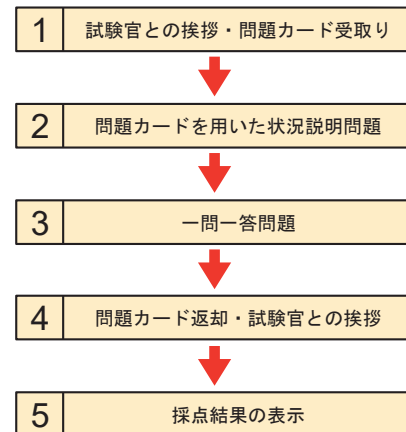


図1 面接試験練習の流れ

\* 本記事は「NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル」(Vol.30 No.4, 2023年1月)に掲載された内容を編集したものです。

■一問一答問題

この問題では、問題カードなどの参照資料を使わず、トピックに関する出題がなされます。生徒は自分自身の立場や意見を回答します(図3)。試験官は回答した生徒の意見を踏まえて、理由などについて追加で質問します。

スピーキング採点技術の概要

本システムが提供する「問題カードを用いた状況説明問題」「一問一答問題」の2形式に用いられる採点技術について解説します。

■問題カードを用いた状況説明問題の採点

問題カードを用いた状況説明問題の採点は、図4に示すように、(1)回答からの人物・状況の推定、(2)人物・状況の模範解答集合からの模範解答選択と(3)英作文添削技術を活用した回答採点・添削の3つのステップで行います。

最初に(1)のステップでは、事前に用意した、問題図に複数描かれた人物それぞれの状況を説明した模範解答と、今回入力された生徒の回答を比較し、生徒の回答が問題図のどの人物・状況に該当するかを推定します。

続いて、(2)のステップでは、推定された人物・状況に対応する模範解答集合の中で、生徒の回答ともっとも類似する模範解答を選択し、選択された模範解答とペアデータになっている模範解答の日本語文を出力します。

その後、(3)のステップにより、選択された模範解答に対応する日本語文を英作文添削技術<sup>(1)</sup>を用いて英訳し、生徒の回答と比較することで、意味の観点で生徒の回答の採点・添削を行います。

これら3つのステップにより、生徒の回答が、問題図のどの人物や状況に関する説明なのかを推定しつつ、生徒の回答の意味的な添削まで行うことを可能としています。

(1) 回答からの人物・状況の推定

入力された生徒の回答に類似する問題図の人物・状況を推定するにあたり、あらかじめ問題図に描かれた人物それぞれの状況を説明した複数の英文と日本語文のペアデータをまとめた模範解答集合を用意しておきます。この模範解答集合は構造化され



図2 問題カードに記載されるイメージの例



図3 一問一答問題のイメージ

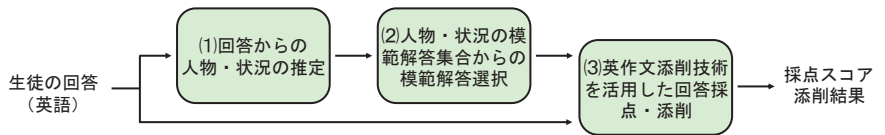


図4 問題カードを用いた状況説明問題の採点フロー

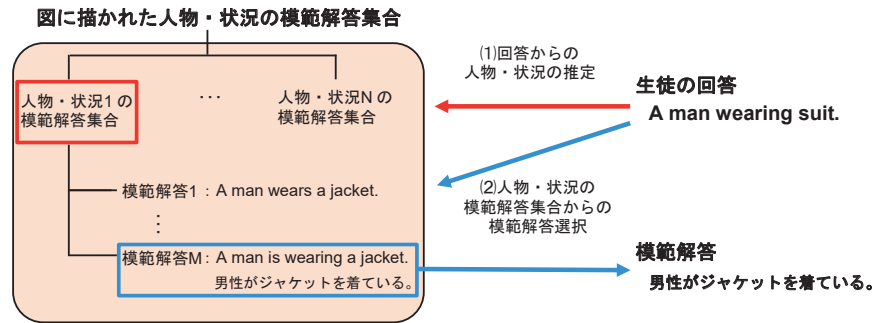


図5 模範解答集合の構造と「回答からの人物・状況の推定ステップ」の流れ

ており、1階層目は、問題図中のどの人物や状況を示すかの情報が、2階層目は、各人物・状況を表現するさまざまな模範解答が格納されています(図5左)。

人物・状況の模範解答集合の推定ステップの動作例を述べます。生徒の回答「A man wearing suit.」が入力されると単語単位に分割します。次に、回答文中の単語をWord2Vec<sup>\*1(3)</sup>を用いて単語ベクトルに変換します。その後、単語ベクトルを足し合わせ、文ベクトルを作成します<sup>(4)</sup>。同様に、問題図に描かれた人物・状況の模範解答集合の各模範解答文についても、あらかじめ文ベクトル化しておき、生徒の回答の文ベクトルと、それぞれの模範解答集合に含まれる各文の文ベクトルとのコサイン類似度<sup>\*2</sup>を算出し、生徒の回答と模範解答集合との平均類似度から、もっとも類似する模範解答集合を選択します。

(2) 人物・状況の模範解答集合からの模範解答選択

生徒の回答の文ベクトルと(1)で選択された模範解答集合に含まれる模範解答の文ベクトルを比較し、もっとも生徒の回答と類似する模範解答を選択します。図5では「A man wearing suit.」にもっとも類似する「A man is wearing a jacket.」が選択されます。このとき、後段の英作文添削技術を活用した生徒の回答の採点・添削には、選択した模範解答の日本語文「男性がジャケットを着ている。」が用いられます。

(3) 英作文添削技術を活用した回答の採点・添削

続いて、(2)で選択された模範解答に対応する日本語文を基に英作文添削技術を用いて生徒の回答の採点と添削を行います。この技術は、日英翻訳モデルをベースとした

\*1 Word2Vec: テキストデータを解析し、各単語の意味をベクトル表現化する手法の1つ。  
\*2 コサイン類似度: 2つのベクトルの向きがどの程度近いかを数値化したもの。

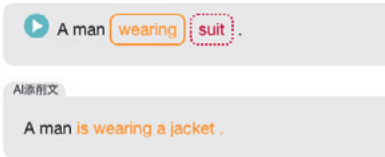


図6 問題カードを用いた状況説明問題の採点例  
(図2の左下の男性に対する説明)

英文の採点ができ、日本語文の模範解答から英文を生成する過程で、生徒の回答の言回しに近い文章が生成できます。これにより、英語で書かれた模範解答と生徒の回答との比較だけでは難しい、模範解答と意味が似ているが言回しが異なる生徒の回答も、採点・添削ができます。

採点の例として、日本語の模範解答を「男性がジャケットを着ている。」、生徒の英語回答を「A man wearing suit.」とした場合の動作を示します。まず、日本語の模範解答を単語分割し、日英翻訳モデルをベースとしたエンコーダ・デコーダモデル<sup>\*3</sup>のエンコーダに入力します。そうすると、模範解答文の英訳が始まり、予測単語が推定されます。予測単語と生徒の回答した単語から、単語ごとの点数と、添削結果が出力されます。すべての単語の点数と添削結果とが出力されると、文としての点数が計算されます。このようにして、生徒の回答の採点・添削結果が表示されます(図6では添削結果のみ表示)。

### ■一問一答問題の採点

一問一答問題の採点技術では、回答がシステムに入力されると、採点システムは質問と生徒の回答のペアに一貫性があるか(回答が質問に答えられているか)を評価し、点数を出力します。これにより、提示された質問に対し、回答がどの程度正しく回答できているかを採点することが可能になります。

\*3 エンコーダ・デコーダモデル:ある時系列データの入力から時系列データを生成するリカレント・ニューラルネットワークの構造。ディープラーニングの一種。

\*4 隠れ層:ある入力された際に、学習されている重みなどに基づき、内部的な値を計算し、出力層に伝播させる層。

\*5 アテンション層:ある出力をする際に、入力データ中のどの部分に着目するか(重きをおくか)を出力計算する層。今回の採点では、セルフアテンションと呼ばれる、入力された文中の、単語と単語などの相対的な関係性をとらえることができる手法を用いています。

面接官の質問: What usually do you do on Sunday ?



図7 一問一答問題の採点例

生徒の回答が質問に答えられているかを採点するにあたり、あらかじめ質問と質問に正しく答えている回答のペア(正例)と、質問と質問に答えていない回答のペア(負例)を大量に用意しました。この際、人手作成した正例・負例のペアのみを学習に用いるのではなく、正例ペアの質問と回答をランダムに組み替えて疑似的な負例データを作成し、学習データに追加しました。その後、単語分割を行った質問と回答のペアを分割トークン「[SEP]」で結合したものを入力系列とし、ディープラーニングの一種である、構造化アテンションモデル<sup>(5)</sup>に学習させました。これにより、質問文と回答文の意味を理解して、質問に答えられている回答かどうかを採点できます。

回答の採点を行う際には、まず、上記のように作成された質問・回答ペアを採点モデルに入力します。その後、各入力の隠れ層<sup>\*4</sup>を結合し、アテンション層<sup>\*5</sup>に入力することで、質問文と回答文のどの部分に関連しているかを計算します。その後、質問回答ペアの一貫性の点数が0から1の範囲の値で出力され、出力値を10点満点に正規化します。最後に、質問文に対して、明らかに短い回答がされている場合は、質問に対して内容が不十分であるとし、質問文と生徒の回答文の文長の差をペナルティ(Brevity penalty)として与え、最終的な生徒の回答の点数とします。

生徒の回答の採点例を図7に示します。質問に答えている文章は高い点数を出力しつつ、質問文に使われている単語が含まれていても、質問に答えられていない文章には低い点数を出力します。

## おわりに

本稿では「話す」スキルの練習が可能な英語スピーキング採点技術を解説しました。面接試験練習用として開発した採点技術を

学習アプリに組み込むことで、これまで個人での練習が難しかった、リアルな面接試験のシーンを想定した、自由な回答を許容するスピーキング練習が可能となりました。本技術は、NTTドコモが提供する、英語4技能の学習サービス「English 4skills」内で「AIスピーキング」として実装されており、実際に教育現場で活用され始めています。

### ■参考文献

- (1) 松岡:「英作文採点・添削技術の開発」NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol.27, No.4, pp.56-60, Jan. 2020.
- (2) <https://e4skills.com/>
- (3) T. Mikolov, I. Sutskever, K. Chen, G. Corrado, and J. Dean: "Distributed representations of words and phrases and their compositionality," Proc. of NIPS 2013, Oct. 2013.
- (4) D. Shen, G. Wang, W. Wang, M. R. Min, Q. Su, Y. Zhang, C. Li, R. Henao, and L. Carin: "Baseline needs more love: On simple word-embedding-based models and associated pooling mechanisms," Proc. of ACL, Melbourne, Australia, pp. 440-450, July 2018.
- (5) Z. Lin, M. Feng, C. Nogueira dos Santos, M. Yu, B. Xiang, B. Zhou, and Y. Bengio: "A structured self-attentive sentence embedding," ICLR 2017, Toulon, France, April 2017.



(左から) 澤山 熱気/ 松岡 保静

近年の自然言語処理技術の急速な発展に伴い、教育現場における語学教育支援の期待が高まっています。今後も、生徒が楽しく意欲的に、かつ自律的に学ぶことができる世界の実現をめざし、研究開発を推進していきます。

### ◆問い合わせ先

NTTドコモ  
R&D戦略部  
E-mail dtj@nttdocomo.com



NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
 上席特別研究員

## 河邊隆寛 Takahiro Kawabe

### 物に触れることなくその質感を錯覚させる情報提示技術

昨今、XR (Cross Reality) 用のゴーグルが各社から発売されてきており、少しずつ社会の中に浸透しつつあります。XRでは、人間の視覚特性を利用した3次元の立体映像がより現実感を引き出しています。ただし、錯覚は視覚だけではなく、聴覚や触覚といった複数の感覚の組み合わせの結果として生じます。そういった複数の感覚の組み合わせで生じる物の質感に関する錯覚の研究に取り組むNTTコミュニケーション科学基礎研究所 河邊隆寛上席特別研究員に、非接触インタフェースにおける質感表現の研究や、錯覚研究における心理学と工学の融合と研究者としての姿勢・考え方を伺いました。



#### 錯覚を利用して非接触で物の質感を操作する

現在、手掛けていらっしゃる研究について教えていただけますでしょうか。

私は人間の錯覚を利用した情報提示技術に関する研究を行っています。錯覚を利用することにより、物理的には困難な表現を知覚上実現することができると考えています。前回の本誌記事(2020年9月号)では、「変幻灯」や「浮像」といった、プロジェクションマッピングの技術で、止まっているものに動きを与えたり、止まっているものの質感を変えたりすることを紹介させていただきました。

現在取り組んでいるテーマは「非接触インタフェースにおいて仮想対象の質感印象を操作する技術」と「タンジブルインタフェースとバーチャルインタフェース」です。

「非接触インタフェースにおいて仮想対象の質感印象を操作する技術」は、前回の記事で少し触れた「質感」について、より直接的に操作する技術・方法に関する研究です。特に、横坂拓巳特別研究員、宇治土公雄特別研究員とともに、人が物を持ち上げる動作を行った際に、どのようにしたら直接触ることのできない画面上の対象の重さをその人に伝えることができるか、という問題を研究しました。実験では、人の持ち上げ動作と同期させて画面上の縞模様を動かしたのですが、縞模様が動く速度を遅くすると、実際には人の手に力がかかっていないにもかかわらず、その縞模様を「重く感じる」ことがわかりました。さらに、縞模様の動きの方向がそれを持ち上げる動作の方向と必ずしも一致している必要はなく、例えば上に持ち上げる動作に合わせて横に動く縞模様のスピードを遅くしても人はその縞模様を「重く感じる」こ

ともわかりました(図1)。この成果を利用することで、人が非接触に操作する仮想対象に重さ感を与えることができますし、リアリティの高い操作印象を実現できるのではないかと期待しています。

図2はノートPCの前に人が手をかざして左右に動かすと、画



図1 重さを感じる錯覚

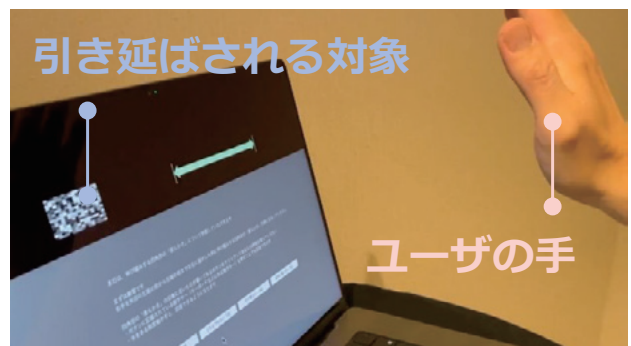


図2 引き延ばしの印象の変化

面の左上にあるようなテクスチャのついた仮想対象が伸びるよう  
に感じます。人の手が動いた量に応じて仮想対象が引き伸ばされ  
る量が増え、多く伸ばされるとやわらかく感じ、少ししか伸ば  
されないと固く感じます。そして、手がカメラの検知する範囲外  
に出ることで、手の動作が途中で仮想対象に反映されなくなる（引  
き伸ばされる状態が途中で止まる）と、何か変な感じがするのだ  
ですが、その詳しい部分は分かっていませんでした。そこで、私と  
宇治土公雄介特別研究員は、仮想対象を引き伸ばすような手の動  
きに対するセンシングが機能する有効範囲（カメラの検知範囲）  
を設定し、その有効範囲によって仮想対象の印象がどのように変  
化するのかを調べた結果、途中で引き伸ばしが止まる場合、その  
対象は硬く、重く、摩擦を伴っているように感じられることが分  
かりました。これにより、非接触デバイスをつくるエンジニアは、  
このような有効範囲が質感印象に与える効果を理解しておくこと  
が必要で、逆にこの有効範囲の効果を利用することで、対象  
の付加的な質感印象を人に提供することができるかもしれません。

これらの「非接触インタフェースにおいて仮想対象の質感印象  
を操作する技術」に関して、学術雑誌へ数多く論文投稿しており、  
中でも最新の研究は、Impact Factorの高い、「IEEE (Institute  
of Electrical and Electronics Engineers) Transactions on  
Visualization and Computer Graphics」という論文誌に採録  
が決定しています。

そして最近、非接触にロボットを動かすというテーマで、キュー  
ブ型のロボットを非接触で動かして（手の動き）、物を動かすど  
きの因果知覚や質感についての研究も始めました。

さて、「タンジブルインタフェースとバーチャルインタフェース」  
については、人間の特性や物性に関する科学的理解を活用しつつ、  
人と情報とのインタラクションを支える次世代インタフェース開  
発をめざしたもので、それぞれのインタフェースを融合させた新  
しいインタフェースの形の研究として、2022年10月から開始した  
テーマです。タンジブルインタフェース（実体を伴うインタフェ  
ース）は実物を触りながら情報にアクセスできるので、日常生活  
の延長上で直感的に情報とインタラクションできますが、実物を使  
う以上、造形時間や物理制約がかかってきます。一方、バーチャ  
ルインタフェース（実体を伴わないインタフェース）では、多く  
の情報が仮想的に与えられるので、造形時間や物理制約はあまり  
かかりませんが、ヘッドマウントディスプレイを装着したり、見  
慣れない装置を利用したりと、日常生活の延長上でのインタラク  
ションは難しくなります。このタンジブル・バーチャルインター  
フェースを融合させる新しいインタフェースは、例えばXR (Cross  
Reality) のアプローチに、タンジブルインタフェースを加えるイ  
メージです。XRをいかに自然に人に体験させるか、その問いに  
対する1つの解としてタンジブルインタフェースをとらえてい

うと考えています。

**非接触で物体の質感を人に感じさせることで、より便利で豊  
かな日常生活が期待できますね。**

非接触な動作と映像との組み合わせにより、物の重さ、硬さとい  
った質感を提示できる可能性を示してきました。今後はその提示の  
リアリティを高めていくフェーズに入ります。将来的には、一連の  
研究成果をオンラインショッピング等における情報提示で活用で  
きるのではないかと考えています。例えば、オンラインショッピ  
ングで購入した枕の硬さがイメージと異なっていたとか、買った  
服の素材の感触がイメージと異なっていたといった話はよく耳に  
すると思います。映像を利用することである程度の素材イメージ  
は表現できるのですが、質感を正確に買い手に伝えるには至って  
いません。質感を伝える情報提示技術をさらに発展させることで、  
買い手に質感を含む情報を正しく伝えることが可能となり、イメ  
ージと合った買い物ができるようになります。また、遠隔地に住ん  
でいる家族等との間で肌のぬくもりや掌の感触といった質感を伝  
え合うことで、より深いコミュニケーションが可能になります。非  
接触インタフェースによる質感の操作技術を、その視覚表現技術  
と連動させていくことで、錯覚を利用した情報提示をよりリッチに、  
より精緻にすることができます。

## 心理学と工学の融合で研究を深める

**もともと心理学がご専攻だと伺いました。**

人間の錯覚・知覚は、日本では心理学分野で研究されています。  
錯覚・知覚現象を心理学的なアプローチを駆使して解明し、工学  
的技術との連携により日常生活の中に応用していく、といったア  
プローチで現在研究を進めています。

心理学は人間を対象とした研究なので実験に時間がかかること、  
機械系とは異なり人間は同じ刺激や対話等に対して常に完全に同  
じ反応をするわけではないので、データの再現・収集が困難であ  
り、こうしたデータを使った理論構築にも時間がかかります。一方、  
工学については、その研究が目まぐるしく進化しており、そのスピー  
ドのギャップをどのように埋めていくか、というところが人間の  
錯覚・知覚研究のポイントになると考えています。近年はAI（人  
工知能）の発達が目覚ましく、これを使うことで、このギャップ  
をうまくコントロールできるのではないかと思います。もし、AI  
を駆使したDTC (Digital Twin Computing) により人間の完全  
なモデルをつくってそれを解析していくことができれば、こうし  
た課題も解決されるとは思います。しかし、人間どうしは相互に

影響し合うし、環境によっても反応が異なるため、すべてのデータを取り込んで学習させて人間のモデルをつくるというのは、なかなか一筋縄ではいかないだろうと思います。

心理学の研究においても、例えば視覚だったら視覚、聴覚だったら聴覚、対人認知だったら対人認知といった部分だけ取り出して、個々にどのような仕組みになっているかということ解析しています。そういった部分的なところをAIでモデル化することは十分可能であると思いますし、実はそういう取り組みはすでに行われてきています、こういったモデルを近接領域間で融合させていくことで、将来的には人間のこころの全容解明のような話になるのではないかと思います。

インタフェース研究におきましても、情報の受け取り手である人の心理特性を科学的に理解することは大変重要です。伝えるべき対象の本質をどのようにインタフェースで表現できるのか、それがなぜ人に伝わるのかをトータルに理解して初めて、インタフェースを取り巻く科学研究が成立すると考えています。



## 他者の価値観と自分の価値観を融合して新しい価値観を創造し、「素敵に尖って」前進しよう

**研究者として心掛けていること、そしてこれからめざしていくことを教えてください。**

研究者は、研究に没頭するほど自分の論理にとらわれ、自分の価値観が正しいと考える傾向にあると思います。そういった自分の価値観にだけ閉じこもって研究を続けていると、逆に自分自身本当にこれでいいのかという感じで苦しくなってきたり、壁に突き当たったりするのではないかと思います。私は、3年前にグループリーダーになって、他の方の価値観をいろいろと知る機会が多くなりました。もちろん、自分の持っている価値観と合わないなと思うこともありますが、他の方の価値観を理解し、認め、そのうえで自分の価値観と融合させて新しい価値観をつくっていくことが大事だし、そうすることで自分自身も成長できるのではないかと、最近強く思っています。

例えば、AIの研究においては最近の学術研究スピードは目覚ましいものがあり、昨日まで解けなかった問題が今日いきなり解けるようになることも少なくありません。その問題に取り組んでいた研究者にとって、その問題が解かれてしまったときには次の研究目標を探さなくてはなりません。自分の研究領域がいきなり陳腐化してしまうことで目標を見失ったり、新たな技術のわずかな先を行こうとして、近視眼的に小さな目標設定してしまったりするケースも出てくるのではないかと思います。ここで大切になる

のは、多領域に関する知識の習得とそれらを結び付け、そして自己の研究領域の拡張だと考えています。そのためにも他者と自分の価値観を融合させて新しい価値観をつくるのが重要なのです。問題の答えは1つでも、その解き方は1つではなく、ほとんどの場合複数あります。スピードや効果がそれぞれの解き方で違いますし、複数を組み合わせることでシナジーが生まれる場合もあるでしょう。そして、組み合わせることで新たな問題が発見されるかもしれません。それと同様に、複数の領域の知識を習得しつつ組み合わせながら、問題解決に挑むことで、おのずと自己の研究領域が拡張していき、研究者としての幅も出てくるのではないかと考えています。

将来的にも研究者を続けていきたいと思っていますが、多様な価値観を許容し、ブレンドし、新たな価値を創造・提供し続けることができる研究者になりたいと思います。新しい価値観をつくり出す中で、別の領域やテーマに目が向くこともあるかもしれません。このような場合であっても、よりどころ・原点になるところがあり、それを土台としていくことで大きく前進できるのではないかと思います。私のよりどころ・原点は「心理学」であり、それをベースにしてさまざまな新しいことも吸収していこうと思っています。そして、心理学と工学をうまく融合させて、世の中への貢献として一石投じることができるよう、研究を続けていきたいと思っています。

### 後進の研究者へのメッセージをお願いします。

上司や周囲からいろいろと期待されることはあると思います。もちろん、それにこたえることは重要なのですが、その期待を超えて突き進む、尖っていくことが大切だと感じています。「期待どおり」というのは上司や周囲の枠の中にとどまることですから、どうしても成長の範囲が狭まったり、機会が少なくなったりします。期待を突き破って進んだ瞬間には、上司をはじめ各方面とも議論が発生すると思います。ただ、議論をすることで周囲も巻き込んで全体が進むので、ぜひ尖って議論を進めてもらいたいです。そのためには、その土台となるもの、よりどころになるものが必要で、それは自分の経験等を含む知見であったり、他者の知見であったり、こうした知見の蓄積です。

上司や周囲の枠を突き破り、発想の外に行くくらいまで素敵に尖って、ともに前進していきましょう。



NTTドコモ  
サービスイノベーション部 担当部長

吉村 健 Takeshi Yoshimura

## 音声認識・自然言語処理・自然対話技術で日常生活をより便利に

検索エンジンや自動車の運転アシスト機能等をはじめ、日常のさまざまなシーンでAI（人工知能）が活用され、世の中がより安全、便利になってきています。さらに生成AIであるChatGPTが話題になり、その秘められた可能性に期待が高まっています。一方、こうしたAIを使うにあたっては、まだ人が機械に合わせて使わなければならない場合が多く、自然言語処理技術により自然なかたちでの利用に近づけることができます。NTTドコモ サービスイノベーション部の吉村健氏に、音声認識・自然言語処理・自然対話技術、そして、開発者としての姿勢を伺いました。



### 幅広く、奥深い音声認識・自然言語処理技術

現在、手掛けている開発の概要をお聞かせいただけますか。

私は、1999年にNTTドコモに入社し、当時のマルチメディア研究所で、VoIP（Voice over IP）のヘッダ圧縮、ストリーミング、MBMS（Multimedia Broadcast and Multicast Service）等の技術検討・国際標準化、および音響QRコード技術（音波による情報伝送技術）の開発、フィーチャーフォン向け音声認識システムの開発等を行ってきました。その後、データマイニングを手掛け、異動となったサービス開発部門で、データマイニング、Twitter検索、「しゃべってコンシェル」、自然対話プラットフォーム（PF）、画像認識PFの開発を手掛けてきました。現在は、音声認識・自然言語処理技術に軸足を移して、①自然対話PF、②自然言語処理AI（人工知能）、③音声DX（デジタルトランスフォーメーション）基盤、④マルチモーダル認識等をテーマに開発を行っています。

自然対話PFは、「しゃべってコンシェル」や「my daiz」で使

用されているAIエンジンであり、シナリオベースの対話機能を中心に、発話内容の意図を機械学習により解釈したり、雑談のやり取りやFAQへの回答、天気情報等の外部情報を自然言語で返すことが可能となるPFです。音声認識、音声合成の機能をAPI（Application Programming Interface）でつなぐことで、非技術者でも簡単に対話エージェントの構築と自然言語による対話が可能となります（図1）。自然対話PFでは、xAIMLという言葉で表現される、さまざまなシナリオをつくり込んでいくことが重要となりますが、これを簡易に行えるようにするために「SUNABA」という開発環境を有するWebサイトも開設しました（<https://docs.sunaba.docomo.ne.jp/>）。「SUNABA」では、マニュアル等をまとめたドキュメントサイトや、xAIMLを開発・実行できるWebオーサリングツール（ボットエディタ）を提供しています。

対話中心の自然対話PFに対して、自然言語処理技術を対話以外の分野に応用することを目的として開発したものが自然言語処理AIです。さまざまなテキストを入力とし、AIがテキストの内容を自動分類したり、自動でのラベリング、あるいは新たに文章を自動生成するような技術です。どのような文書かを自動で判断・

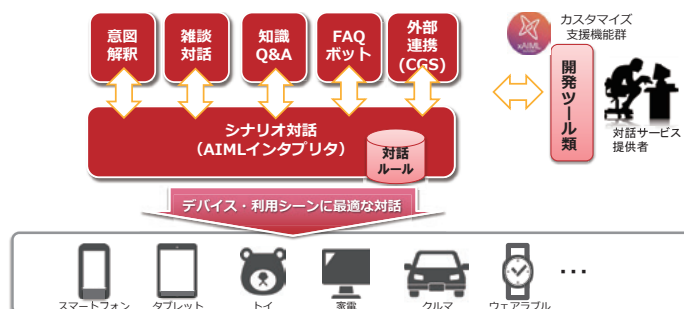


図1 自然対話プラットフォーム

分類する文書分類、個人情報・誹謗中傷を自動で判定し隠すマスキング、固有名詞や業界用語を抽出する固有表現抽出、文章を所定の文字数に要約する文章自動要約等、さまざまなAIが存在し、業務シーンでの用途に応じて使い分けことができます。

音声DX基盤は、話し言葉音声認識、会議・会話分析、非言語情報認識、マルチモーダル認識といった音声処理関連技術アセットを組み合わせて、音声字幕作成機能、議事録作成機能、注釈表示機能、対話可視化機能、反応可視化機能等の業務効率化・価値創造に貢献する機能を実装しています。リモート環境における会議や共同作業、ブレインストーミング、そしてオンライン講義、1 on 1面談、窓口対応、コールセンタ等の対面対応、さらに聴覚障がい者支援等、さまざまな領域への展開を検討しています(図2)。

マルチモーダル認識は、音声だけでなく表情、動作といった動画情報から、対話相手の興味や発話タイミング等を認識する技術です。現在、オンラインコミュニケーションを円滑化できるようなサポートをめざして、対話相手の興味の度合いを認識し、それを分かりやすく表示する「マルチモーダル興味認識」、口の動きに基づく発話の先読みにより、頭切れや音声の遅延が生じない「発話検知技術」について取り組んでいます。

### 音声認識・自然言語処理技術は幅広く、奥深いのですね。すでに実際のサービス等に組み込まれているのでしょうか。

自然対話PFは、「ドコモAIエージェントAPI」の中に組み込まれています。本サービスは、音声認識・音声合成技術と自然対話PFを活用したSaaS (Software as a Service) 型の音声対話サービスで、法人のお客さまが、スマートフォン、ロボット、家電、Webブラウザ等さまざまなUI (User Interface) を通して自然な対話を行う対話エージェントを構築・展開を可能とするものです。

自然言語処理AIは、「お客さまアンケート・スタッフの声分析」「ニュース記事自動要約」「音声認識IVR (Interactive Voice Response: 自動応答システム)」等において利用されています。

「お客さまアンケート・スタッフの声分析」では、CS (Customer Satisfaction) 部門がさまざまな顧客接点から収集した意

見・要望をAIエンジンにより自動分類・分析し、後段の処理へのエスカレーションや、アンケート中に含まれる個人情報・誹謗中傷を含む文の仕分け・マスキングを行います。

「ニュース記事自動要約」は、NTTドコモ北京研究所との共同プロジェクトとしての取り組みで、要約長さ指定機能、タイトル利用機能、ヒント・マイナスヒント機能、要約の原文引用位置可視化機能等を提供しています。また、事前学習、強化学習、負例を用いた対照学習等を導入し、流暢性や文法、冗長性観点で高い精度を達成するとともに、文圧縮と動的組合せによる要約字数の制御も行います。

「音声認識IVR」は、NTTドコモの総合受付センタから故障受付等の専門センタにIVRにより転送される電話の集中を避けるために、IVR上に自然言語処理AIを導入し、お客さまのご要件から適切なご案内を自動判別し、専門センタへの転送や自動回答によるご案内を実施します。

音声DX基盤は、ファシリテーションを支援しながら、会議参加者の発言率・交差数・質疑回数などを分析するとともに、ブレインストーミングなどにおける活用を想定して、音声認識結果からキーワードを抽出し関連ワードと併せて可視化すること、相手が聞き取りやすい話し方を支援する、話速・音量の可視化等を行う会議・会話分析をめざして、これから具体化に入る段階です。

マルチモーダル認識については、マイクON/OFFを自動制御する「マルチモーダル発話検知」を展示会等に出展し、これから本格化させようとしている段階です。この技術は「発話を先読みしマイクミュート制御をするマルチモーダル発話検知技術」として学会発表も行い、複数の賞もいただきました。

こうした受賞もさることながら、やはり自分が携った技術が世の中に出て多くの人に使ってもらえるということは、非常にうれしくもあり感慨深いものです。以前担当していた「しゃべってコンシェル」は、どうかすると間違ったことを言うこともありました。それでも多くの方々にご利用いただけたのは、大変ありがたかったし、精度を上げようとの思いにもつながりました。また、当時「しゃべってコンシェル」のテレビCMを大々的に放映しており、テレビの俳優さんに話しかけてもらうと出てくる回答が、機械学習モデルの学習内容により、次の瞬間には異なった回答に

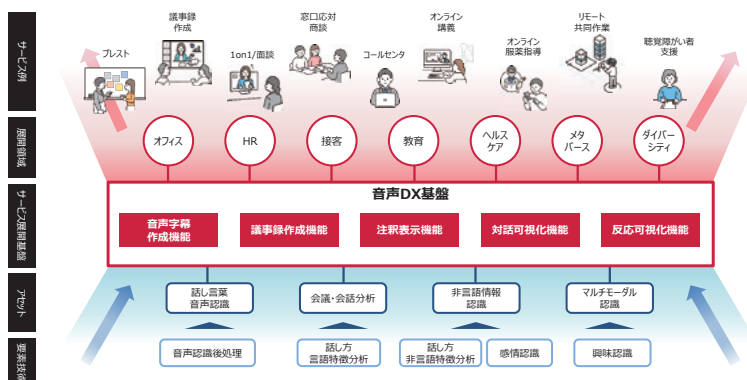


図2 音声DX基盤

になってしまうのではないかとヒヤヒヤしたこともありましたが、とはいえ、それくらい世の中に注目されていたという証でもあり、うれしさもひとしおでした。



## ChatGPTと自然言語処理技術の連携

**開発者としてスキルの維持、スキルアップはどのようにしていますか。**

研究部門在籍のころは、研究を実践する中でスキルの幅と奥行きを広げてきました。ところが、サービス開発部門に異動したときは、分野が異なったうえにマネージャーとしての役割も求められるようになり、当初は技術の専門性はほとんどない状態で、日々の業務を通じたスキルアップもなかなかできる環境にはありませんでした。

一方、チームのメンバーにはそれぞれ得意な技術分野があるので、こうしたメンバーから吸収するとともに、社内でその分野のトップの技術者をめざすように指導しながら、私自身も一緒に勉強してきました。また、これまでの経験から私には広い分野の経験があったので、それによりメンバーを側面支援しながら、チームのスキルアップを図ってきました。こうした努力が次の開発につながったことはいうまでもありません。

私個人としては、外部のセミナー等に積極的に参加しています。幸いなことに情報処理学会の委員や研究会の主査もやっているので、自然言語処理とは関係が薄い研究会ではありますが、やはり見ている面白い技術も多くあり、それがどういう社会課題への取り組みにつながっているのかということも参考になります。もちろん、そこから得られるものがあれば積極的にチームに展開しています。

さらに、こうした机上の知識、理論だけではなく、その技術を具体的に理解し、本質に迫るためにも、自分の手を動かしていくことを実践しています。

こうしたことを繰り返していく中で、自身ばかりではなく、チーム全体のスキルアップを図っています。

**事業会社は異動がありますが、こうしたスキルを活かして将来的に何を経験したいのでしょうか。**

これまでの経験を活かして、自然言語処理に関する研究開発の道を究めていきたいと思っています。自然言語処理技術とその応用は、大きな広がりを持っており、これにより人間に近い対話ができれば、日常生活の一部としてあらゆるモノ、コトが便利になると思います。例えば、昨今の検索エンジンにはAIが活用されていますが、利用に際してはまだ機械に人が合わせている状態です。これに自然言語処理を活用すれば、人が自然なかたちでコンピュータとコミュニケーションを取れ、誰にとっても使いやすくなると思っています。

さて、最近ChatGPTをはじめとするLLM（Large Language Model：大規模言語モデル）が話題になっていますが、当面これ

に関するテーマに取り組んでいくつもりです。ChatGPTを使うと、回答が毎回変わるとか、間違った回答が出てくる等の話がよくありますが、ChatGPTの良さをうまく使いこなしていくには、使う側のリテラシーに依存している部分が多いと思います。ChatGPT単体だけではなく、その周辺に自然言語処理技術を整備・適用することで、使う側のリテラシー依存度を大幅に下げることができ、たとえ検索利用であってもより自然に近いかたちでコミュニケーションできるのではないかと考えています。タイミング的にも今が1つのチャンスではないかと思っていますので、これを開発のテーマとして取り組んでいきたいと思っています。

そのために、まずはChatGPT等のLLMを多くの人に使ってもらい、それで自然言語でこういったことができるんだということを知ってもらうための環境整備を進めています。併せて、汎用的な言語モデルで分類やマスキング等、どこまで精度を向上できるか、試行錯誤を通じて見極めながら研究開発を進めていきたいと思っています。



## 時には「技術の無駄遣い」も必要

**後進の方やパートナーへのメッセージをお願いします。**

いくら良い技術であっても、それだけで実用化に持っていくことは難しいものです。市場のニーズはもちろん、既存技術からのマイグレーションに要するコスト等、周囲の環境を含めて実用化に向けたシナリオをつくっていくことが重要です。もちろん技術そのものを追究する姿勢も重要です。

そして、技術の追究から実用化に向けた流れの中で、時には「技術の無駄遣い」も必要になります。ここでいう「技術」とは、実用化に向けて進んでいる道の脇にある技術と、それとは全く関係のない自分の興味のある分野の技術の両方のことで、実用化に直接関係ない技術に取り組むことで見識を広げることができ、新たな発見や、実用化の方向性確認や行き詰まりの解消に役立つかもしれないので、「無駄遣い」と言いながらも決して無駄にはなりません。マネージャーとして「技術の無駄遣い」を推奨する環境を準備・提供していきますので、ぜひご参加ください。

それから、スキル維持・向上の話の中でも触れましたが、私が携わってきたデータ分析、データマイニング、機械学習等を通して感じたことですが、自分で手を動かしているという経験していくことが重要です。頭の中で考えていたとおりにいかないこともよくあり、自分で手を動かしているとその予兆や原因が肌感覚で分かることが多々あります。

さて、私たちは一緒になって伴走してもらえるパートナー様を探しています。いきなり確実に使えるものであればおそらく誰かがすでにやっているはずですが、使えるかどうか分からないところからR&Dとして、1つの目標に向けて一緒に伴走していただいて、新しい技術をつくってきたいので、ぜひ一緒にいただきたいと思います。





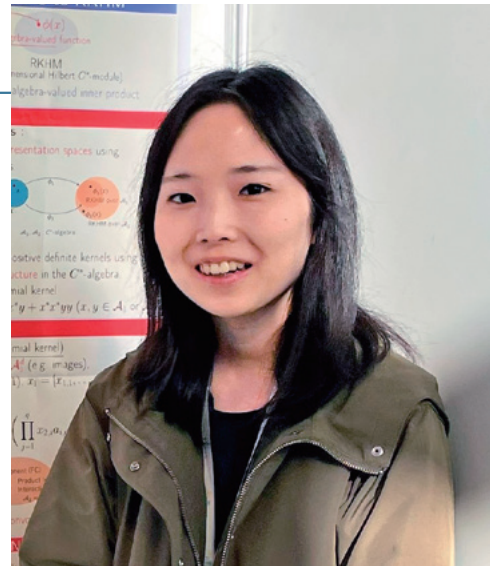
NTTネットワークサービスシステム研究所  
特別研究員

**橋本 悠香** Yuka Hashimoto

## 数学理論によるデータ解析で、未知の事象を解明する 「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」

現在のニューラルネットワークは、大規模データを用いて学習モデルを構築する場合は非常に高精度である一方で、学習に少量のデータしか得られない場合には学習精度が大幅に低下してしまうという課題があります。また現在「事前に異常検知を行う」ICTシステムの運用自動化の分野では、さまざまな状況でのデータ解析を行うために「ノイズがある」「複数データとの相互作用がある・連続的に変化する」など複雑な振る舞いをするデータの解析が求められています。今回はC\*環・作用素論といった高度な数学理論をデータ解析に応用して、「少量のデータでもデータ解析の精度の向上」、「ICTシステムの運用自動化」をはじめ、あらゆる社会課題の研究に取り組む橋本悠香特別研究員にお話を聞きました。

◆PROFILE: 2018年慶應義塾大学大学院 理工学研究科基礎理工学専攻 修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社入社。2022年慶應義塾大学大学院 理工学研究科 基礎理工学専攻博士課程修了。2023年より特別研究員。ネットワーク運用自動化に関する研究に従事。2021年 慶應義塾大学 米沢富美子賞、2018年 慶應義塾大学 藤原賞、2017年情報処理学会情報処理学会第78回全国大会 大会奨励賞等を受賞。



### 高度な数学理論をデータ解析に応用し、通信を含めた諸分野の社会課題を解決

#### ■ 「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」とはどのような技術なのでしょうか。

「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」とは、行列を一般化した「作用素」という概念を用いて複雑なデータを表現し解析する技術です。この技術が求められている背景として、現在のICTシステムの運用自動化では「ノイズがある」「複数データとの相互作用がある・連続的に変化する」など、複雑な振る舞いをするデータの解析が求められています。例えばネットワークの通信トラフィックでは「A地点の通信量が増加するとB地点の通信量も増加する」といったさまざまな場所での通信トラフィックの相互作用を同時に考えなければなりません。また機器の状態を調べる際には、CPUの使用率やメモリの使用率といった異なるタイプのデータを同時に考える必要があります。そして現状のニューラルネットワークの学習モデルを構築する際には大量のデータが必要ですが、実際には十分なデータが得られず高い精度の学習モデルを構築できない場合があるため、少量のデータでも高精度の分析ができる技術に対する要求が高まっています。

こうした課題に対して従来一般的に用いられていた数学の理論は、実数や複素数といった「1つの値」(スカラー値)の変化を見るというものでした。これに対して「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」では、C\*環・作用素論などの高度な数

学理論を用いてモデルやデータを1つに統合(連続化)し、抽象化して単純化する新しいデータ解析の枠組みを提案します。従来の理論を拡張させた「複数の値を同時に持つような対象を考える」という性質をデータ解析に応用することで、データを解析する際に1種類のデータから複数の値を取り出し、高効率・高精度なデータ解析が可能になります。

この「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」の技術は、複数のデータ間の関係性を解析するために行列やさらにそれを拡張させた数学の概念をうまく利用できないかと漠然と考えていたところ、共同研究者からC\*環に関する知識を教えていただき、本格的に適用を始めたことが研究のきっかけです。「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」で用いている数学理論は応用分野が限られるものではなく、枠組みとしてはとても一般的なものであるため、通信分野やICTシステムのみならずさまざまな分野に技術展開が可能です。また「光の進み方といった時系列的な変化を連続的な枠組みを使って表すことで、問題を解決することができるのではないか」と検討しています。例えば現在行っている研究では、自然界の動物の脳波や体温などの生体のデータ分析などに本研究を用いています。また高精度に分析したデータを用いることで災害やトラブルなどの事前異常検知を行ったり、通信トラフィック・信号による未知の異常への対応を行ったりすることが可能になります。このように通信の枠組みにとらわれずに機械学習・数学・物理学・生物学・量子力学などで分野横断研究を行い、産業の高度化や自然社会の現象解明など分野を超えた



包括的な取り組みをめざしています (図1)。

■具体的な「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」の手法について教えてください。

「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」では「連続的に時間変化するデータ」を数学の対象とみなして解析を行います。従来では時系列のデータを解析する場合に各時間のデータをバラバラな「点」の集まりとしてとらえていたのに対して、1つの関数という数学的な対象、つまり「線」としてとらえることでより高度なデータ解析が可能になります。

またデータから「固有値」や「特異値」といったデータを特徴付ける値を見つけ出すことで、少ないデータでも高精度な解析を行うことができます。既存の研究ではこの値を見つける際に、データを数学的な情報に変換するために抽象化を行い、離散的に戻して近似的に特徴を抽出していました。しかしこの手法ではデータの性質が失われ解析の精度が低くなってしまおうというデメリットがあります。そこで「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」では、可能な限り情報が失われるのを防ぎながら連続的にデータを解析する手法に取り組んでいます。ここでの技術的な課題点として、連続的なもの(無限次元)と離散的なもの(有限次元)の性質が全く異なり、それぞれの次元からは考えられないような概念が生まれることが多々起こるとい点があります。これによりただ単純に離散的なデータを連続的なデータへ拡張しようと考えてもデータ解析は難しいため、数学の高度な知識を応用し、今ある概念をどう拡張していけばよいのかということを検討しています。データを連続的なまま扱う場合には高度な数学の知識が必要になるため、私自身現在は多くの専門家のお力をいただきながら研究を進めることができています。

■「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」のご研究で苦労している点について教えてください。

大きな課題として「現実世界のデータと理論上の数学の世界をいかにして結びつけるか」というものがあります。例えばニューラルネットワークの解析では、理論上は数学的に記述しやすい形式の単純な構造としてのニューラルネットワークが検討されています。しかし実際の複雑なニューラルネットワークを完全に再現

するためには、データを加工したり情報処理ステップの途中で値をカットしたりなどさまざまな操作が必要であり、現在はそういったところまでは反映しきれていないという状況です。実際にそういった細かい部分の操作を行うことで精度が向上することは実験結果として示されているため、新たに「ニューラルネットワークがどういう仕組みで動いているのか」といった点、そしてそれが解明された場合に「どうすればさらに精度が向上するのか」という点をできるだけ多く検討しながら、現在高精度なニューラルネットワークの構築をめざしています。このようにデータ解析においては理論上単純化して考えるケースが多いため、理論解析や数学理論を用いた手法の構築では現実的な設定を多く取り入れながら解析ができるよう努力していきたいと考えています。

また研究を行う際には理論的な精度を保証するという点に気を付けています。例えばニューラルネットワークでは、学習時に用いたデータモデルがフィットしてデータ分析の精度が高かったとしても、別のデータの場合にはそのデータに対してモデルがフィットせずに精度が低くなってしまおうということがあります。これは実際の研究ではもちろん、論文に載っているような結果でも起こり得ることで、論文で「データを使って〇〇%の精度が達成されました」と書いてあったとしても、実際に自分たちの設定でその技術を使おうとしたときに、同じぐらいの精度の向上が見込まれるかというのは必ずしも保証できません。データが変わると結果が変わってしまうというのはよくあることで、そういった問題が起きないようにするためには、事前にあらゆるデータで高精度のデータ解析を行えるか理論的に調べることに重点を置く必要があります。それによって技術を使う人にも技術をアピールしやすく、安心して運用できることを分かってもらうために重要な取り組みであると考えています。

他分野とコラボレーションを大切に、常に広い視線を持った研究を

■今後の「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」の研究ビジョンについて教えてください。

今後の研究ビジョンは、複雑データの解析が求められる通信ネットワークを含めたさまざまな分野に技術を応用し、多くの社会課

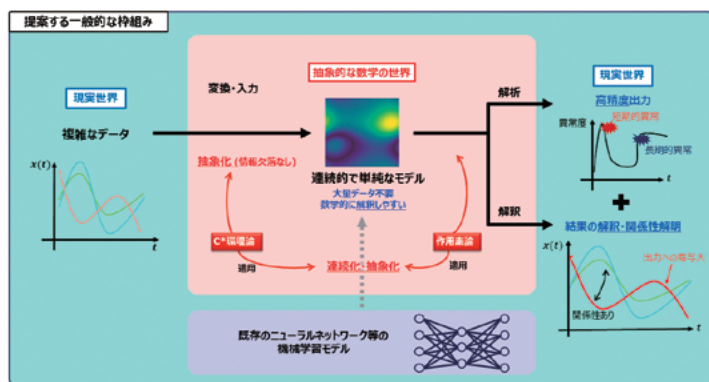


図1 「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」の概要

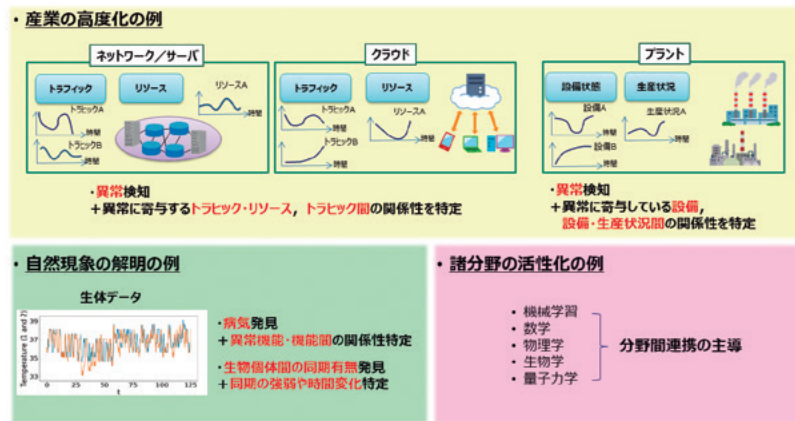


図2 「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」の応用例

題を解決していくことです。例えば光は連続的に変化するため「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」の枠組みを用いて光の性質を解明することで、NTTが提唱するIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想に貢献することが可能になると考えています。

また今後新たに取り組む研究ビジョンとして、生物学で解析されている問題と通信ネットワークのデータ解析には似た特徴があるため、生物の専門家と連携・協力して動物の睡眠といった動物の性質に関する解明を考えています。このように「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」で用いられている数学の枠組みはとて一般的な設定であるため、今後もさまざまな分野の方とコラボレーションの幅を広げていきたいと考えています。さまざまな分野の課題に技術を応用することで、これまでバラバラに調べられていたものを1つにまとめて考え、産業界・自然界のさまざまな問題の解決に貢献することをめざします(図2)。

### 最後に研究者・学生・ビジネスパートナーの方々へ向けてメッセージをお願いします。

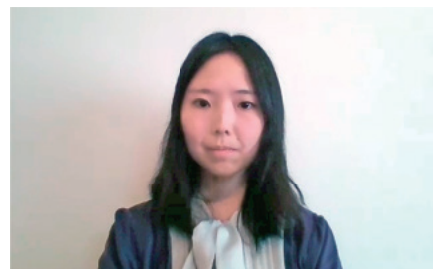
私は「C\*環・作用素論に基づいた複雑データの解析法」の研究を進める中で、数学の「応用」と「理論」の橋渡しをする役目を担っています。そのためさまざまな方々と一緒に研究を行う機会が多く、またそれを社内でも共有するという場面も多々あります。こうした状況において、例えば少人数のグループの中で行っている研究を他のグループに共有して「こういうところにも技術が使えるのではないか」というように、自分が今まで考えていなかった応用のアイデアをもらえることは研究においてとても有益な活動であり、研究の喜びを感じる瞬間でもあります。そのため多くの方と交流をしながら研究を進めることを大事にしています。

NTTは基礎研究から実用化まで幅広く研究しており、私が所属しているNTTネットワークサービスシステム研究所は「応用」と「理論」の両方に取り組んでいるため、その点でとても魅力的な環境です。例えば実際に開発に携わっている周りの方と話をし目標感や実際の課題についてすぐに知ることができたり、学術的な観点からのコメントをもらうことができたりすることなどに

より、研究が円滑に進められています。例えば私が所属している部署ではICTシステムの運用自動化にかかわる要素技術を研究開発していますが、多様な知識とバックグラウンドを持った同僚がおり、日々刺激を受けながら研究をしています。

もちろん1つの分野に特化するということは研究者にとって大切であり、ないがしろにははいけません。しかし一方で、それだけにこだわりすぎると見えてこないことが多くあります。研究においてはやはり広い視点を持つということは重要で、私自身なるべく1つの分野にとどまらずに活動することを意識しています。確かに近い分野の方と共同研究を行う環境は、周囲の理解は得やすく話が通じやすいため楽に研究を進めることができます。しかしそこから1歩飛び出して、例えば他分野の方の話を聞いたり普段とは違う分野の学会に参加したりすることで、今までになかった新しい視点を得ることができるはずで、私自身も今までとは異なる他分野の方と協力してみることで自分の考えの間違いに気が付き、違う分野の方と話したときに全く話が通じず「自分はずごく狭いところでしか考えていなかったんだ」というような新たな気付きを得ることができて、研究者としてとても大きなプラスになったと感じています。

1人で新しい領域に踏み出すことはとても大変ですが、踏み出した先にはきっと今までに見たことのない面白い世界が待っていると思います。私自身もこれからさらに視野を広げていきたいと考えていますし、これを読んでいる皆さんにも、ぜひ自分と違う分野の方と話をしてみるところから、新しい扉を開くことを始めてほしいなと願っています。



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)



## 株式会社NTTコノキュー

<https://www.nttqonoq.com/>

### NTTグループのアセットを結集し、新たなXRの世界を開拓する

NTTコノキューは、XR (Extended Reality) を用いたさまざまなサービスやソリューションを展開し、「新しいコミュニケーション文化の世界の創造」とおして社会課題解決への貢献に取り組んでいる。コノキュー (QONOO) という社名に込められた思いと、XRのリーディングカンパニーをめざす戦略的取り組みを丸山誠治社長に伺った。



NTTコノキュー 丸山誠治社長

#### デジタル空間が自然と溶け込むリアルな世界(空間)をめざす

##### ■設立の背景と会社の概要について教えてください。

NTTコノキューは、NTTグループにおけるXR (Extended Reality) 事業のさらなる推進を目的に、2022年10月1日に事業開始しました。

コノキュー (QONOO) という社名には、①「Quest Over Network」高度なネットワークによるXRの世界を探索、②ネットワークを軸に「仮想と現実」を行き交う、③XR新時代の始まりの合図「キュー」という意味が込められています。『アイデア・テクノロジーを結集し創り上げた「空間」は、「ヒト」の心を豊かにし、社会 (空間) に輝きを持たせる。そのため、我々は探求を続け、デジタル空間が自然と溶け込むリアルな世界 (空間) をめざす』という信念の下、会社の事業運営を行っています。

もともとNTTグループ各社は、「リアルな限界を超えて、夢や思いを体験し、共感し合える世界へ」というNTT XRのビジョンの下、各々XRビジネスを展開していました。このビジョンをより強力に実現していくためにNTTコノキューが設立されました。NTTグループの顧客基盤、営業基盤、技術力など、各種アセットを総結集して、XR事業を、個人および法人のお客さまへ展開していきます。

XRはまだまだ発展途上の技術であり、NTTやNTTドコモの研究開発部門と連携し、積極的に技術開発を進めるとともに、新たな顧客価値を提供できるよう、小規模企業ならではの機動的な事業運営を行ってまいります。

またXR空間を構成するための3D空間のデータ量は膨大であり、通信回線の高度化やデバイスの進化が必須となります。さらにデバイス領域では、グループ内にないノウハウを補うため、シャープ株式会社と合併会社を設立し、製品開発を進めています。

##### ■具体的にどのような事業展開をしているのでしょうか。

NTTコノキューは、個人および法人のお客さまに対して、VR (Virtual Reality) やAR (Augmented Reality), MR (Mixed Reality) などXRを用いて、メタバース事業、デジタルツイン事業、デバイス事業の3つの領域で、さまざまなサービスやソリューションを提供しています (図1)。

メタバース事業では、手軽にスマホのブラウザでバーチャル空間ならではのコミュニケーションをお楽しみいただけるサービス「XR World」を提供しています。また自社IPとしてバーチャルシンガー「Tacitly」を展開し、バーチャルアーティスト向けスタジオソリューション「Matrix Stream」を提供するなど、バーチャル空間におけるアバターを介したさまざまな体験や新しいコミュニケーションのあり方を追求しています。また、簡単に自身で空間クリエイトできるメタバースサービスとして「DOOR」をビジネス展開し、さらには2023年5月にはWebVRを利用して、あらたなECやショールーム体験を展開していく「360Media」を、2023年6月には社内のインフォーマルなコミュニケーションを誘発するバーチャルオフィスサービス「NTT XR Lounge」を提供開始しました (図2)。

デジタルツイン事業では、スマートフォンをかざすと、その場所に合ったAR/MRコンテンツを表示することで商業施設や観光地などリアルなエリアへの回遊促進・店舗誘客などを実現する新感覚街あそびアプリ「XR City」を提供しています。また、MR技術により遠隔作業支援を可能とすることで人手不足や技術継承等の課題を解決するソリューション「NTT XR Real Support」を3月に提供開始しました。

デバイス事業では、自社オリジナルのXRデバイスを開発しています。メタバース事業やデジタルツイン事業と一体で顧客体験や価値を提供できるのがNTTコノキューの強みとなります。

こうしたサービスは既に多くのお客さまにご利用いただいています。例えば、「DOOR」を活用し明光義塾様と共同で、14大学に参加いただき、高校生向け進学説明会をメタバース空間で開催

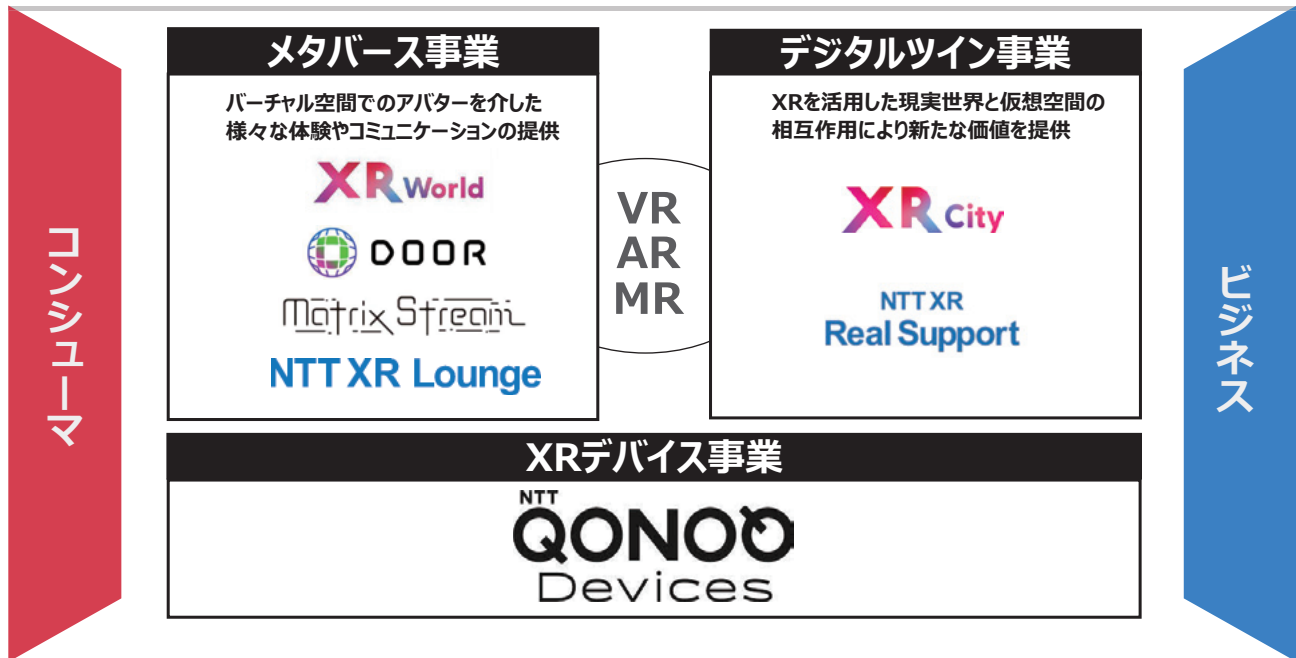


図1 事業概要

しました。その他、自治体向け就農支援へのソリューション提供を行うなど、特定業界のお客さまに向けた取り組みも実施しています。

### 迅速な事業展開により、XRといえばNTTコノキューといわれる存在をめざす

#### ■事業を取り巻く環境はどのような状況でしょうか。

複雑で多様化する社会において、少子高齢化、教育問題、技術の継承、脱炭素、デジタルトランスフォーメーション（DX）の促進といった社会課題がクローズアップされ、さらに新型コロナウイルス感染症流行鎮静後のアフターコロナにおける社会活動・経済活動に関する議論も盛んに行われています。一方で、AI（人工知能）やXRなどの技術の進展も著しく、これらを活用したアプリケーションも次々と登場しており、それによる社会課題解決への貢献についても注目が集まっています。

このような環境において、現在XR市場は黎明期にあり、各社も手探りの状態が続いていますが、数年後には市場が大きく成長すると予想されています。その中で、Meta社をはじめとしてGoogle社、Microsoft社、Apple社、Epic games社、Sony社などの有力企業が、XR事業の垂直統合型展開をめざして活発に投資を続けています。

現在の黎明期のXR市場においては、いろいろなビジネスの可能性を探りながら、機敏にお客さまニーズをとらえて、自らの技術と柔軟に組み合わせながら価値提供していくことが必要です。そのためにもXR関連技術やノウハウを自ら蓄積し磨き上げていくこと、そして常にお客さまの声に耳を傾けながらCXの改善活動を地道に継続していくことが最重要です。



図2 NTT XR Lounge

#### ■今後の展望についてお聞かせください。

今後も顧客基盤や販売チャネルなどNTTグループ各社が持つアセット、ノウハウ・リソース・技術等を活用しながら迅速にXRサービスを展開することに変わりはありません。XR関連技術や通信回線、デバイスが急速に進化していく中で、そこから生み出される付加価値をいち早くお客さまに届けることで、XRといえばNTTコノキューといわれる存在をめざします。

また、NTTグループでは、「2025年日本国際博覧会（大阪・関西万博）」において、メタバース空間上で夢洲会場を再現した「大阪・関西万博バーチャル会場」を提供する予定であり、ソフトウェア開発を主にNTTコノキューが担当しています。こうしたビッグイベントを契機に、グローバル展開も視野に事業拡大を図っていきます。

## 「XR City」と日常で利用するコンテンツでXRの新たな魅力を提供

XR City  
プロジェクトオーナー  
岩崎 正典 さん



担当  
星野 紗希 さん



### ■担当されている業務について教えてください。

デジタルツイン事業における「XR City」ARサービスを担当しています。具体的なコンテンツとしては、有名IP（Information Provider）とのコラボ・自社IPである「Lost Animal Planet」など、ARの新規性や臨場感を活かしたサービス展開を実施しています。

現在、XR自体の具体的なメリットが市場認知されていないことが課題ですが、コンシューマの方々に「日常でご利用いただく」コンテンツを提供することをめざして、コンテンツ開発やユースケース開発にチャレンジしています。世界的にも確立されたユースケースがないからこそ、お客さまにXRの新たな魅力を提供できるチャンスがあると思っています。

### ■今後の展望について教えてください。

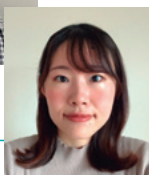
現在はAR/MRを楽しむデバイスとしてはスマートフォンが主流ですが、スマートグラスが普及する時代がすぐそこまで来ています。現時点では、あえてスマートフォンでサービス展開をしていますが、AR/MR技術はスマートグラスと非常に親和性が高く、その普及によって利用する層やユースケースが爆発的に増加することが予想されます。「XR City」はスマートグラスの時代が到来したときに、世界を代表するARサービス提供者であるための準備だと考えています。

## 世の中にはないサービスの価値提供をめざして「NTT-XR Lounge」を提供開始

オフィスDX  
プロジェクトオーナー  
清水 一郎 さん



担当  
山内 彩樺 さん



### ■担当されている業務について教えてください。

エンタープライズ向けオフィス領域におけるサービスを担当し

ており、6月末に「NTT-XR Lounge」をリリースしました。世の中にはないサービスの価値提供をめざして、仮説をベースにお客さまからいただいた声を反映させながら、ユーザ体験設計やバーチャル空間のデザイン検討を行っています。メタバース空間の活用は進んでいますが、その空間に2度、3度と利用していただくためには目的が必要です。

コロナ禍に起因して減った雑談からコミュニケーションを促し「仲間がいる、つながる、また話をしたい!」と感じていただくことにより、心理的安全性を確保し、働きやすいチームビルディングのお手伝いをします。

そのためには、キャンプ場や海中にあるオフィス、かわいい動物アバターも選べるなどバーチャルならではの世界の構築や、今仲間がいるのか、話しかけていいのかが、瞬時に分かるステータス表示等、細部にも目配せしながら、開発を進めています。

### ■今後の展望について教えてください。

コミュニケーションや生産性向上のためリアルオフィスへの回帰が進んでいますが、リアルオフィスでもコミュニケーションは減少しており、一方で子育てや介護、趣味など自己のライフスタイル実現のために、ロケーションフリーのニーズは根強くあります。また、出社していても組織間連携により他拠点メンバと業務を行うことも珍しくありません。そういった多様な環境の中で、1人ひとりが気兼ねすることなく理想的な働き方を実現できるソリューション・価値を社会へ提供することをめざしています。

## 熟練者の減少、技能伝承、人手不足等、社会課題を解決するソリューション「NTT XR Real Support」

スキルサポートDX  
プロジェクトオーナー  
安藤 智浩 さん



担当  
浅井 勇大 さん



### ■担当されている業務について教えてください。

エンタープライズ事業における、スキルサポートDXプロジェクトにおいて、主に遠隔作業支援ソリューション等を担当しています。その中で「NTT XR Real Support」は、熟練者の減少、技能伝承、人手不足等の社会課題を解決するソリューションです。MR技術により、遠くにいる隣にいたかのように作業支援が可能になります。電話、メール、Web会議ツールなどの既存のコミュニケーションツールでは実現できない価値を、日々お客さまの課題に寄り添いながら、XR技術を活用して追求しています。



### ■今後の展望について教えてください。

熟練者の減少、技能伝承、人手不足といった社会課題は今後ますます顕在化してくると考えています。また、海外の現地工場に対するサポートなど国境を越えた作業支援が求められるケースも出てくると想定しています。XR技術により、時間、場所を超越し、世界中の方々のあらゆる作業をサポートすることができる世界をめざしていきたいと考えています。

## メタバース中核サービス「DOOR」をパートナーとともに育てる

仮想空間DX  
プロジェクトオーナー  
涌井 道子 さん



担当  
藤井 里奈 さん

### ■担当されている業務について教えてください。

オンライン3Dバーチャル空間（メタバース）サービス「DOOR」の企画業務を担当しています。「DOOR」は2023年3月末現在、累計ユーザ数220万人超、累計アクセス数は850万超、作成ルーム数約15万ルームを抱えるサービスであり、専用アプリ不要で、ブラウザ上での簡易アクセスに加え、VRゴーグルを用いることで没入感のある体験も可能です。メタバースに触れたことのないユーザを含め幅広い層にご利用いただけ、また、空間クリエイト機能により、豊富なテンプレートを活用した空間制作や、個展やイベントの開催等の独自の空間創作など、個人から企業のお客さままで、非常に多くの用途でご利用いただいています。

「DOOR」を社会に役立つメタバースプラットフォームとして成長させたいと考えていますが、現在、メタバース市場は立ち上がり期にあり、継続的に利用されるユースケースが少ないのが現状です。そのため、まずは目的が明確化された多様なシーンで使っていただく、そういう機会を創出し続けることが重要であり、さまざまな業界のパートナーの皆様と新たなユースケースの議論を進めております。その第一弾として「教育」に注目し、子どもから大人まで、また「教育」にかかわる学校・企業が集う空間の創造を進めております。2023年3月には、明光ネットワークジャパン様、GoGood様をメインパートナーとし、高校生をターゲットとした「DOOR Academia EXPO」として、全国14大学による大学合同ライブ相談会や進路相談会を開催しました。非常に多くの大学進学を意識する中高生が参加し、アバターを介してコミュニケーションを取ることで、大学の関係者や塾のアドバイザーに、日ごろ聞きにくいことも含め気軽に相談している様子が見られました。

### ■今後の展望について教えてください。

教育、地方創生、医療、エンタテインメントなどのメタバースと相性が良いといわれている領域にとどまらず、多様な利用シーンを創出し続け、関係する個人や企業の皆様が集いたくなる、そんなメタバース空間に「DOOR」を育てていきます。

## NTTコノキュー ア・ラ・ワ・ル・ト

### ■若手中心で作成した社名に込めた思い

社名・ロゴは若手中心で作成したそうです。もちろん社名に込めた思い（本文参照）も含まれています。候補にあがる名称はすでに商標登録されているものが多く、大変苦労したとのこと。苦労したからこそ、社員一同社名「QONOQ」に対する思い入れは強く、「デジタル空間が自然と溶け込むリアルな世界（空間）」をめざして日々邁進しているそうです。

### ■on/offのスイッチを切り替えやすい環境を体現

リモートワークを基本としつつ、オフィスの設備も完備しています。基本的にフリーアドレスで、ミーティングスペースや集中作業スペース、個別ブースなど仕事のしやすい環境が整っています。フロア内にリフレッシュスペースも設けられておりon/offのスイッチが切り替えやすい環境だそうです。オフィスのあるビルから道路1本隔てれば、そこは赤坂で有名店も多く、おいしい食事を楽しめるのも魅力的です。

### ■リモート会議にアバターで登場して密なコミュニケーション

各部門とは別に、担当しているプロジェクト単位の所属でもあるため、企画、開発、運用、総括など多岐にわたる業務担当者とのコミュニケーションを図ることが可能です。自身で担当している業務以外の内容についても理解を進めやすく、スピード感のあるやり取りができる点も強みです。もちろんコミュニケーションはリモートで行われることも多く、XRの会社らしく、リモート会議にアバターで登場する社員もいるとのこと。

# スマートフォンログによる要介護リスク低減をめざしたフレイル推定AI

フレイルとは、加齢とともに心身の働きが弱くなった要介護の前段階を示します。介護費抑制などの観点から、早期発見・早期介入のニーズが高まっていますが、対面診断や質問票を用いた既存手法では住民への幅広い調査が困難でした。NTTドコモは、日常生活をとおりて誰もが健康を維持・増進できる世界の実現に向けて、自動的に取得できるスマートフォンログを用いたフレイル推定AI（人工知能）を開発しました。本技術により、少ない負荷でフレイルリスクを把握でき、また個人ごとに改善すべき生活習慣を特定し、行動変容につなげることが可能となります。

## はじめに

NTTドコモは、日常生活をとおりて誰もが健康を維持・増進できる社会の実現をめざし、人々の健康状態を推定し健康行動につなげるAI（人工知能）の開発を進めています。

フレイルとは、健康な状態と要介護状態の中間で、身体機能や認知機能の低下がみられる状態を示し、プレフレイル<sup>\*1</sup>を含めると高齢者の49.5%が該当すると報告されています<sup>(1)</sup>。人々の健康寿命を延伸し、10兆円を越す介護費を抑制するためには、要介護の前段階であるフレイルをいち早く検知し、生活習慣改善などの要介護リスク低減に向けた取り組みを行うことが重要です。

しかし、現状、フレイルの診断は、対面診断での握力や歩行速度の測定、あるいは、25項目におよぶ問診票（基本チェックリスト）への回答など、診断対象者に一定の負担を強いるため、シニアへの幅広い調査や継続的な追跡が困難でした<sup>(2)</sup>。そこで、NTTドコモでは、自社の強みであるスマートフォンという顧客とのタッチポイントを活かし、同意取得のうえ、スマートフォンでユーザの生活習慣情報などを自動的に取得し、それらの情報からフレイルリスクを推定し、リスクや個人の生活習慣に合わせて行動変容を促すフレイル推定AIを開発しました。スマートフォンは60歳代で80%、70歳代で62%とシニアにおいても普及していることから<sup>(3)</sup>、フレイル推定AIを活用することで、幅広い高齢者へのアプローチが可能になります。

ここでは、フレイル推定AIの概要や、実証実験の結果、商用サービスへの機能実装について解説します。

## フレイル推定AIの概要

### ■AI開発方法

フレイル推定AIの概要を図1に示します。NTTドコモのdポ

\* 本記事は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.30 No.4, 2023年1月)に掲載された内容を編集したものです。

\*1 プレフレイル：フレイルの前段階で、健常とフレイルとの中間状態。

\*2 機械学習：事例を基にした統計処理により、計算機に入力と出力の関係を学習させる仕組み。

イントクラブアンケートなどを活用し、同意取得のうえ、数百名のdポイントクラブ会員（協力者）から基本チェックリストへの回答と、歩行情報、睡眠情報、位置情報、コミュニケーションアプリの利用状況など、生活習慣に関するスマートフォンログを収集しました。その後、自社のデータ分析環境にて、フレイルリスクの推定に寄与すると考えられる平均歩数などの特徴量をスマートフォンログから作成しました。続いて、基本チェックリストへの回答結果を基に、協力者ごとにフレイル・健常のラベル付けを行いました。基本チェックリストのいくつかの項目は、直近2週間の生活習慣や心の状態を質問していることから、基本チェックリストへの回答からさかのぼって過去2週間分のスマートフォンログを用い、特徴量とフレイル・健常との関係性を機械学習<sup>\*2</sup>の手法によりAIに学習させました。これにより、スマートフォンログが入力された際、その個人のフレイルのリスクをAIが出力することが可能となります。

### ■行動変容ロジック

フレイル推定AIは、スマートフォンログに基づきフレイルリス

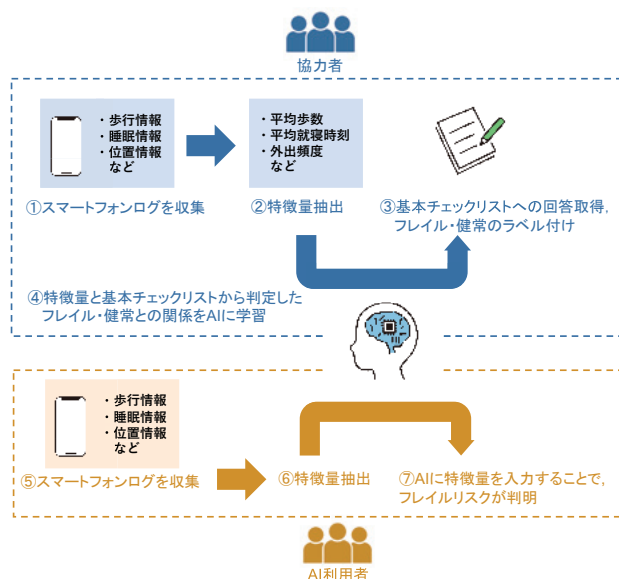


図1 フレイル推定AIの概要

クを提示するだけでなく、個人に合わせて改善すべき生活習慣と目標値も提示し、ユーザに行動変容を促します。

改善すべき生活習慣の提示では、まず、XAI(Explainable AI)<sup>\*3</sup>の技術を用い、個人ごとにフレイルリスクを高めているスマートフォンログを特定します。リスクを高めているスマートフォンログのうち、個人が解釈可能かつ行動変容可能で、もっともリスクを高めている項目(例えば、1日の平均歩数や就寝時刻)を、改善すべき生活習慣として提示します。なお、改善すべき生活習慣を複数提示することも可能ですが、選択肢過多効果<sup>\*4</sup>により、どの生活習慣から改善すればよいかをユーザが意思決定できない可能性があるため、もっともリスクを高めている生活習慣のみを提示する仕様としています。

生活習慣の改善には、個別的・具体的・実現可能な目標値の提示が重要とされています<sup>(4)</sup>。そこで、フレイル推定AIでは、個人の過去2週間分のスマートフォンログから、改善すべき生活習慣の分布を把握し、個人にとって適度に難易度があると考えられる目標値を提示します。

## 実証実験

### ■実証実験内容

フレイル推定AIのリスク推定性能および行動変容効果を確認するため、同意取得のうえ、都民や都内に勤務する50歳以上の約200名(実証参加者)に対して、フレイル推定AIの実証実験を行いました(図2)。実証参加者には、自身のスマートフォンに実証実験専用のアプリ(専用アプリ)をインストールしてもらいました。実証参加者は2つのグループにランダムで振り分けられ、一方のグループは専用アプリ上でフレイル推定AIの機能が提供される介入群、他方は当該機能が提供されない対照群としました。なお、介入群・対照群にかかわらず、すべての実証参加者から、実証実験期間中、専用アプリをとおしてスマートフォンログを収集し、実証実験参加時と終了時に、基本チェックリストへの回答を取得しました。

また、介入群には、実証実験への参加後、2週間以上のスマー

\*3 XAI: 説明可能なAIのこと。AIの出力に対して、人間が解釈できる理由や根拠を示す技術。

\*4 選択肢過多効果: 選択肢が多い場合、選択すること自体が心理的に負担となり、選択や行動ができなくなる現象。

\*5 感度: 検知したい異常な事象、あるいは症例(本稿の場合、フレイル)を有する人のうち、異常もしくは症例を有すると正しく識別できた事象、あるいは人の比率。

\*6 特異度: 異常ではない事象、あるいは症例を持たない(本稿の場合、健常)人のうち、異常ではないもしくは症例を持たないと正しく識別できた事象、あるいは人の比率。

トフォンログ収集期間を経た後、フレイル推定AIのリスク判定結果を基に、フレイルリスクと改善すべき生活習慣および目標値が、専用アプリから週1回の頻度で4週間にわたり通知されました。

### ■分析方法

#### (1) フレイル推定AIのリスク推定性能の評価

フレイル推定AIのリスク推定性能の評価には、実証実験参加時の2週間分のログをインプットしたフレイル推定AIのアウトプット(フレイルリスク)と、同じく実証実験参加時に取得した基本チェックリストを用いました。フレイルリスクがあらかじめ設定した基準値を上回る、つまりフレイル推定AIがフレイルの可能性が高いと判断した実証参加者のうち、基本チェックリストにおいてもフレイルと判断された実証参加者の割合を感度<sup>\*5</sup>、フレイルリスクがあらかじめ設定した基準値を下回る、つまりフレイル推定AIがフレイルの可能性が低いと判断した実証参加者のうち、基本チェックリストにおいても健常と判断された実証参加者の割合を特異度<sup>\*6</sup>、とそれぞれ定義し、リスク推定性能の評価指標としました。

#### (2) 行動変容効果の評価

行動変容効果の評価には、介入群におけるフレイル推定AIの機能提供(介入)前後の2週間において、生活習慣に差が生じたかを確認しました。また、フレイル推定AI以外の外的要因(天候など)の影響を確認するため、同タイミングにおける対照群の生

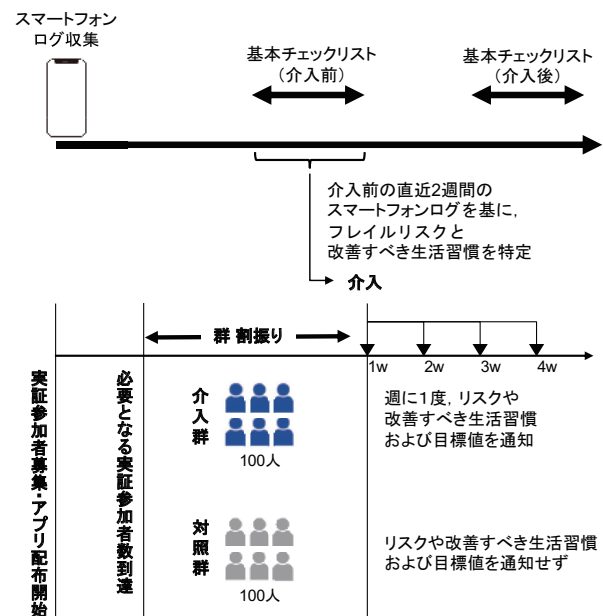


図2 実証実験の概要



活習慣の変化を分析しました。なお、例えば、介入群において1日の平均歩数の行動変容効果を確認する場合、改善すべき生活習慣が歩数と提示された実証参加者に限定して分析を行いました。一方、対照群は、特定の生活習慣について介入を受けていないため、全実証参加者のデータを用いて分析しました。

### ■実証実験結果

#### (1) リスク推定性能の評価結果

リスク推定性能の評価結果は、感度、特異度ともに0.8となり、スマートフォンログのみを用いたフレイル推定AIが、従来のフレイル判定手法に近いフレイル検知能を有することを確認しました。

#### (2) 行動変容効果の評価結果

行動変容効果の評価結果の一例を図3に示します。例えば、介入群のみにおいて有意な歩数増加（平均約700歩）が確認できました（図3(a)）。これは、介入前と比較し、20%も歩数が増加したことになります。

次に、リスク提示とともに、具体的な生活習慣や目標値を提示する効果を可視化するため、介入群において、改善すべき生活習慣が歩数と提示された実証参加者と、それ以外の生活習慣が提示された実証参加者とで、歩数の行動変容に差があるかを評価しました。その結果、改善すべき生活習慣が歩数と提示された実証参加者においてのみ、有意な行動変容が生じており、具体的な生活習慣や目標値を提示する意義を確認することができました（図3(b)）。

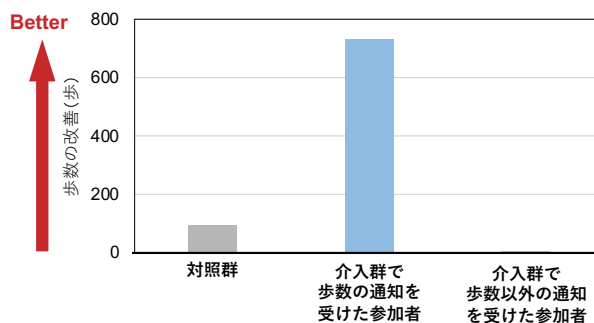
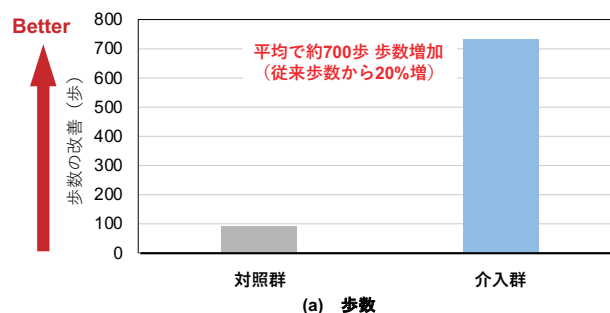
#### (3) フレイルリスク低減の有無の評価結果

フレイル推定AIを利用することによる、フレイルリスク低減の有無を評価し、介入前と比較して平均で10%のフレイルリスク低減を認めました。フレイル推定AIの利用が、要介護状態に陥ってしまうリスクを低減し、健康の維持や増進に寄与する可能性が示唆されました。

## 商用サービスへの機能提供

新型コロナウイルス感染症の感染拡大以降、外出や対面交流などを控える暮らしが続き、高齢者の身体や認知機能の低下を懸念する自治体が増加しています。そこで、NTTドコモが運用する自治体や企業向けの健康増進サービス「健康マイレージ」に、フレイル推定AIを「からだところの健康度チェック」機能として、2022年9月26日より商用提供を開始しました<sup>(5)</sup>。

今後は、社外パートナーを含むより多くのサービスへの展開を推進していく予定です。



(b) 対照群、介入群（歩数通知有・無）の比較

図3 行動変容効果の評価結果

## おわりに

ここでは、フレイル推定AIの概要や、実証実験、商用提供について解説しました。今後は、フレイル推定AIの長期利用による介護費抑制効果などさらなるエビデンスを蓄積していく予定です。

### ■参考文献

- (1) <https://www.tmghig.jp/research/release/2020/0903.html>
- (2) 荒井：“フレイル診療ガイド（2018年版）”，株式会社ライフ・サイエンス，2018。
- (3) <https://www.moba-ken.jp/project/seniors/seniors20210526.html>
- (4) 福田：“一目でわかるヘルスプロモーション 理論と実践ガイドブック”，国立保健医療科学院，2008。
- (5) [https://www.docomo.ne.jp/info/news\\_release/2022/09/26\\_02.html](https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2022/09/26_02.html)

### ◆問い合わせ先

NTTドコモ  
R&D戦略部  
E-mail dtj@nttdocomo.com