

NTT

技術ジャーナル

10

OCTOBER
2022

Vol.34 No.10

特集

宇宙統合コンピューティング・ネットワーク

NTT Technology Report for Smart World

トップインタビュー

前田 義晃

NTTドコモ 代表取締役副社長

グループ企業探訪

NTTドコモ スマートライフカンパニー コンシューママーケティング部

from NTTドコモ

ユーザ行動の時系列予測モデルを利用したレコメンドエンジンの開発



NTT 技術ジャーナル

10 OCTOBER
2022
Vol. 34 No. 10

CONTENTS

4 トップインタビュー

若かりし頃の熱い思いが滾る。
新しい価値を生み出し、
社会のあたりまえになるまで育んでいきたい
前田 義晃
NTTドコモ 代表取締役副社長



8 特集

宇宙統合コンピューティング・ ネットワーク

- 10 宇宙統合コンピューティング・ネットワークの取り組み概要
- 14 宇宙コンピューティングに向けたイベント駆動型推論の検討
- 17 宇宙RANにおけるHAPS実用化に向けた取り組み
- 23 衛星センシングプラットフォーム

特集

NTT Technology Report for Smart World

- 28 [NTT Technology Report for Smart World 2022]の公開について

59 挑戦する研究者たち

小林 哲生
NTT コミュニケーション科学基礎研究所
上席特別研究員
探究心と好奇心を持って
隣接領域にも挑む



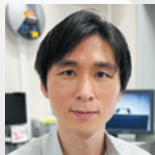
64 挑戦する研究開発者たち

尾島 優太
NTTデータ 技術革新統括本部
技術開発本部 IOWN推進室
世の中の「当たり前」を変革し、
社会課題の解決に挑む



69 明日のトップランナー

堀川 友慈
NTT コミュニケーション科学基礎研究所
特別研究員
共生社会の未来を描く
「AIと脳情報解析技術の融合による
脳メカニズム理解」



72 グループ企業探訪

NTTドコモ
スマートライフカンパニー
コンシューママーケティング部
dポイントクラブでお客さまに
付加価値を提供



74 from NTTドコモ

ユーザ行動の時系列予測モデルを利用した
レコメンドエンジンの開発

Webサイト オリジナル記事の紹介 78
11月号予定
編集後記

NTT技術ジャーナルはWebで閲覧できます。
<https://journal.ntt.co.jp/>



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

一般社団法人電気通信協会
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/>

企画編集

日本電信電話株式会社
〒100-8116 東京都千代田区大手町1-5-1
大手町ファーストスクエア イーストタワー
NTTホームページ URL <https://group.ntt.jp/>

発行

一般社団法人電気通信協会
〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋2-1-1如水会ビルディング6階
TEL (03)3288-0608 FAX (03)3288-0615
URL <http://www.tta.or.jp/>

©日本電信電話株式会社2022

●本誌掲載記事の無断転載を禁じます●

※本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェアなどの名称は、
各社の商標または登録商標です。

View from the Top



NTTドコモ
代表取締役副社長

前田義晃

PROFILE :

2000年NTTドコモ入社。2008年コンシューマサービス部担当部長、2017年執行役員プラットフォームビジネス推進部長、2020年常務執行役員マーケティングプラットフォーム本部長を経て、2022年6月より現職。

若かりし頃の

熱い思いが滾る。

新しい価値を生み出し、

社会のあたりまえになるまで

育てていきたい

NTTドコモが発表した新ブランドスローガン「あなたと世界を変えていく。」には、あらゆる「あなた」と一緒に新たな世界を実現したいという思いが込められています。NTTコミュニケーションズとNTTコムウェアをグループに加え、新しいドコモグループとして新たな世界の実現に向けて挑戦する前田義晃NTTドコモ代表取締役副社長に、スマートライフカンパニーとトップとしてのあり方について伺いました。

新ドコモグループの成長戦略 「スマートライフカンパニー」を 率いる

副社長への就任おめでとうございます。まずは新ドコモグループの経営状況や戦略について教えていただけますでしょうか。

ありがとうございます。副社長になり、前職であるマーケティングプラットフォーム本部長として把握していたこと等に加えて、担当する規模が大きく広がりました。社会課題解決に向けての思いが滾（たぎ）り、

私自身が活性化しています。

さて、ご存じのとおり、2022年1月1日にNTTコミュニケーションズとNTTコムウェアを子会社化して新NTTドコモグループが誕生し、7月1日には営業開始30年を迎えました。この節目の年にNTTドコモはこれまでの法人事業やコンシューマ事業を機能別に統合して、携帯電話サービスを軸に据え、5G（第5世代移动通信システム）や5G SA（Stand Alone）などの新サービスも拡大しつつ、チャンネル改革とネットワーク構造の改革に取り組む「コンシュー

マ通信事業」、金融・決済やコンテンツ等におけるビジネスの成長ペースを加速させて、前年度比1200億円以上の増収をめざす「スマートライフ事業」、法人ビジネスとしてのクラウドソリューションの拡充を含む新しいサービスへポートフォリオを入れ替え、モバイル・固定・クラウドを融合させたサービスをワンストップで提供していくことで前年比550億円の増収をめざす「法人事業」の3つのセグメントを柱に本格的に再スタートしました。この中で、私は「スマートライフ事業」をスマートライ

フカンパニーとして担当しています。

さて、2020年3月に5Gがサービス開始しましたが、NTTドコモではすでに6G（第6世代移動通信システム）の実現に向けた取り組みを始めています。6Gの実現はNTTグループがめざすIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想においても重要なプロジェクトテーマの1つです。「5G Evolution & 6G powered by IOWN」と称して6GとIOWNの技術の融合をめざし、さらに、「ドコモ6Gホワイトペーパー」では、6G時代の新たな提供価値の1つであるネットワークで人間の感覚を拡張する「人間拡張」を実現するための基盤を開発したことを報告しました。人間拡張に関する基盤の開発は世界初です。

それから、NTT環境エネルギービジョンを踏まえ、NTTドコモは経営の中心にサステナブルを位置付けています。その中でも気候変動問題への対応を企業の重要な課題とし、2022年2月に国際的な気候変動イニシアチブSBT（Science Based Targets）1.5℃目標の設定を取得するなど、自社の事業で排出する温室効果ガスの削減に取り組んでいます。さらに、事業活動で消費する電力の實質再生可能エネルギー比率を100%にする「カボニュー」をはじめ、次世代ネットワーク、情報処理基盤などにおける温室効果ガス排出量の削減に寄与する技術の開発により、通信の高速化や省電力化を推進します。

前田副社長率いるスマートライフカンパニーではどのような取り組みをするのですか。

新ドコモグループ3つの柱のうちの1つであるスマートライフ事業においては、カンパニー制を導入して「スマートライフカンパニー」を立ち上げました。カンパニー制は企業内の部門を1つの独立した会社として扱う企業の経営手法です。スマートライフ事業の独立性を高めることによって、私たちは加速度的に変化していく社会の進化を推進するために、スピーディな意思決定、そして、機動的な投資判断、プロ人材の育成や採用を可能にします。

スマートライフカンパニーでは、さまざまなパートナーをつないでお

客さまの新しい価値を生み出し、それを世の中に実装して、社会のあたりまえになるまで育てていきたいと考えています。

具体的には、まず私たちNTTドコモのコアアセットを磨き込みます。例えば、私たちの持つ最大の顧客基盤であるdポイントクラブの会員数は約9040万です。国内のポイント会員の仕組みの中では圧倒的な数を誇ります。このことから私たちの信頼性の高さや安定感を実感いただけると思います。加えて、dポイントや金融・決済で培ってきたパートナー企業は約59万社、そして、dポイント加盟店は750ブランドを数えます。さらに、私たちにはさまざまなサービスの基盤となるプロファイリングAI（人工知能）、モバイル空間統計、認証基盤などのデータとテクノロジーを保有しています。

パートナー企業のマーケティング領域の成長を支える、NTTドコモのこれらのコアアセットを磨き込んで、パートナー企業との協創・アライアンスを推進する基盤を築き、さらには社会を豊かにして、パートナー企業も私たちも成長するサービス群を創発・提供していきたいと考えています。いわば、これは会員基盤から社会OS（Operating System）への進化であって、個人のLifeだけではなく、社会Societyを変革するプ

ラットフォームを構築する営みであると考えています。この営みには強みである金融をはじめ、私たちが成長していきたい、拡張していきたいと考えている、医療・ヘルスケア、エネルギーやまちづくりも含まれます。将来的には個人のIDで、一気通貫でNTTグループ全体から価値提供できるような社会OSを築きたいのです。

NTTドコモ人生20年以上、飽きたことがない

社会OSを築くという構想の大きさに、NTTドコモの気概を感じます。

スマートライフカンパニーにおいて、私たちがより社会を良くするために働こうと目標を据えたとき、改めて考えたのが私たちの存在意義（パーパス）、価値観（バリュー）です。これらを明確にし、共有することで企業の成長を促しプラスの方向へ進んでいけると考えました。

私はこれらを決定していくプロセスの中で、「私たちはいったい何者なのか」についてすいぶん考えました。私たちの歴史をさかのぼり、かつての三公社五現業の1つである電電公社にいきつき、その時代の日本を良くするという思いが起源であることにたどり着きました。そして、私たちはこれまで通信と人とをつなぐこ



とをいかにあたりまえのことにしていくか、社会の進化をいかにあたりまえのことにしていくかに情熱を注いできたことも再認識しました。

iモードにも代表されるように、NTTドコモはこの20年余りはコンピューティングとネットワークを両輪にして、世界に先駆けてさまざまな価値を提供してきました。日本全国どこでも、私たちの提供するインフラを必要とされる方がいっしょり、それを提供する責務があると私たちは自負し、こたえてきました。こうした実績からも私たちは社会的な価値創造を体現し続けていると思うのです。今回、カンパニー発足に際してあえて明文化した存在意義（パーパス）に「つなぐ、育む、明日のあたりまえになるまで。」のとおり、私たちはパートナー企業も含めてこれまで培ってきたように、これから、日本のみならず世界で新たな価値を創造し、育み続けていきたいと考えています。

そして、これを実現する共有すべき価値観（バリュー）も文字にして「より良い価値提供の追求に終わりはない。」「構想は大きく、仕掛けは速く。」「社会の成長は、自らの成長からはじまる。」と掲げました。競争の中で苦勞の連続という日々もあるかもしれませんが、それでもチャレンジし続けていきたいのです。そして、自らを

成長させる際にぶれることなくありたいですね。

存在意義や仕事に臨む価値観には明るい未来への期待が高まります。力強く、前向きな副社長の姿勢はどのように培われたのでしょうか。

やはり、仕事を初めてからの経験やそのインパクトの大きさが今の私をつくり上げていると感じています。20年ほど前に私がリクルートからNTTドコモへ転職となったとき、社風が違うこともあって、当時の同僚等から「お前大丈夫か?」と、心配されたこともありましたが、私自身はNTTドコモで働ける高揚感もありました。なぜなら、当時のNTTドコモはすでに何千万人というお客さまにサービスを提供し、そのお客さまから反応をいただけるというダイナミズムがありました。これに惹かれたと同時に、私の恩人であるiモードの生みの親である夏野剛さんは「この仕事を何のためにやっているんだ? 私は社会を便利に楽しく豊かにするためにやっているんだ」と話しておられて、入社したばかりの私はその言葉にとても共感し、自分のしていることに誇りを持ってました。そのころから、私自身も、自分の生活が変化している、面白くなっていることを体現してみたいと強く思っていました。



NTTドコモでの人生はすでに20年以上も経ちますが、仕事に飽きたことがありません。この20年の間に世の中にはさまざまな進化が起きて、そのたびにその進化にかかわりながら私たちも新しいものを築きながら進化してきたのです。私には常に社会から注目されながら自らもどんどん成長してこられたという大きな実感があります。これはNTTドコモが私に与えてくれたチャンスであり、感謝しています。だからこそ、「ドコモすげえな!」と感心していただけのような存在にしていきたいと思うのです。

中途半端なやり方はしない

ドコモ愛と仕事への情熱が伝わってきます。そんな副社長が仕事をするうえで大切にしていることを教えていただけますでしょうか。

世の中を変えるのはヨソ者、若者、バカ者ともいわれていますが、当時はいわゆるヨソから転入した方が多い部署に配属されました。もちろん、そこでは最初からNTTドコモで働いている同僚とも一緒に働いていました。彼らもコミュニケーションを上手く図ってくれましたし「やってられない」と思ったことはほとんどなく、仕事をしながら築いた信頼関係の盤石さを感じています。こうした経験を踏まえて、私にはトップとして大切にしたいことが2つあります。まず、一緒に働いている皆さんにポジティブな可能性を感じてもらえるような事業をしていきたいと考えています。私たちが社会においてどのような存在であり続けられるのか、NTTドコモの理想像を描ける事業や経営をしていきたい、しなければならぬのです。もう1つは、これを実現するためには、皆さんにも責任を持ってやり抜くこと、そのような気概を持っていただきたいのです。私自身は皆さんにそう考えていただけるように常にコミュニケーションを図るよう努めていきます。

繰り返しになりますが、そのために今回、存在意義（パーパス）と共有すべき価値観（バリュー）を文字



にしました。例えば、常にお客さまを深く理解する、お客さま1人ひとりやパートナーにとっての価値にこだわり抜く、すべての人の期待に真摯に誠実にこたえていくこと等、大切にしたいことを連ねてあります。これらのメッセージは「中途半端なやり方はしない」という姿勢の重要性を訴えています。

仕事をしていると「大体これくらいでいいかな」と思うことはたくさんあるでしょう。しかし、その瞬間に成長は止まってしまいます。より突き進んだ人が社会をけん引しますし、最終的には勝者となると私は思います。

私自身もまだ成長過程ですし、ずっ

とモチベーションを保つことも難しいです。それでも、机上に置いたこの文字に鼓舞されています。こんな思いが滾るのは若いとき以来です。

この情熱を社員の皆さんも強く感じてもらい、この思いを具現化する研究開発へも大きな期待を寄せられているのですね。

研究開発への期待感は何となくあります。お伝えしたとおり、私たちのコアアセットをどうやって社会OS化していくかは研究開発の皆さんの英知の結集ともいえます。しかも、最終形はNTTグループ全体での社会OSの構築です。ネットワークを支える通信技術、ネットワークにつな

る端末や端末上で動作するアプリケーションにかかわる技術等、私たちの武器を携えて、社会の動向を読みつつ、パートナーの方々のニーズに柔軟に、スピーディにこたえていくというチャレンジに大いに期待しています。

そして、面白く楽しい体験や世界観を提供できる技術を築いていきたいと思います。これは主にエンタテインメント分野ではありますが、このような技術を活用してパートナー企業とともに新しいサービスをつくり上げていきたいと思っています。ちなみに愛知県に、2025年の夏にオープンを予定している日本初のスマートアリーナは最先端の技術を投入し、今までにない体験を興行としてつくり上げていくという挑戦です。ここでお客さまに喜んでいただけることに加えて、そのサービスを新しいビジネスにつなげていきたいですね。インパクトのあるセンセーショナルな、劇的な体験価値を生み出しているように頑張りましょう。

(インタビュー：外川智恵/撮影：大野真也)

※インタビューは距離を取りながら、アクリル板越しに行いました。

インタビューを終えて

前田副社長がNTTドコモに転職されたiモード時代。マイケル・シェンカーやゲイリー・ムーア等のミュージシャンを中心として音楽好きで若かった前田副社長は、NTTドコモのケータイの着信音の美しさに感動したと言います。「YMOが大好きだったんですよ！ライディーンという名曲、知ってます？あれがドコモケータイの着信音にプリセットされていたんです。それを聞いたときに、マジか?! こんないっぱいこれから出てくるんだって…もう衝撃でしたよ」と、文字にすると伝わりづらいのですが、ジェスチャー付きで揚々と話されるお姿にケータイ電話の発展とともに青年時

代を過ごされた様子が浮かんできます。お話には終始ドコモ愛や仕事愛が溢れ、未来を見つめるように時折、視線を遠くへとやりながら意気込みを語る前田副社長。なんと、愛犬であるポメラニアン「ポンちゃん」にも学ぶことがあるそうです。「目がとても純粋なんです。私も純粋さを失ってはいけななと思わされます」と、目を細めて微笑まれました。日常のさまざまなことに意味や価値を見出そうとする姿勢がとても印象的で、何度かお使いになられた「滾る(たぎる)」という言葉の裏に何事も「意気に感じる」ことの大切さを学ばせていただいたひと時でした。



特集

宇宙統合コンピューティング・ネットワーク

NTTとスカパーJSAT株式会社は、持続可能な社会の実現に向けた新たな宇宙統合コンピューティング・ネットワーク事業を担う合併会社である株式会社Space Compassを設立し、宇宙空間における新たなインフラ構築を進めている。本特集では、宇宙統合コンピューティング・ネットワークの取り組み概要や宇宙データセンタ、宇宙RAN(Radio Access Network)、宇宙センシングにおける取り組みについて紹介する。

宇宙

コンピューティング

AI 推論

HAPS

衛星 MIMO

Space Integrated Computing

宇宙統合コンピューティング・ネットワークの取り組み概要 10

新たな宇宙ICTインフラ基盤である宇宙統合コンピューティング事業を担う合併会社 株式会社Space Compassの設立、および宇宙統合コンピューティング・ネットワークの全体像や事業概要、今後の展開について紹介する。

宇宙コンピューティングに向けたイベント駆動型推論の検討 14

NTTソフトウェアイノベーションセンタが取り組んできたクラウドコンピューティングやAI推論基盤での経験を活かした宇宙コンピューティング基盤の要件、およびそれに関連する技術について紹介する。

宇宙RANにおけるHAPS実用化に向けた取り組み 17

HAPS (High Altitude Platform Station) による無線システム技術のユースケースと技術課題について示し、HAPSと地上ネットワークの周波数共用に向けた3Dセル制御技術を紹介する。

衛星センシングプラットフォーム 23

NTT研究所で研究開発を進めている衛星センシングプラットフォームの提案コンセプト、および主要技術（衛星ブラインドビームフォーミング、マルチプロトコルー括復調技術、衛星MIMO技術）について紹介する。

宇宙統合コンピューティング・ネットワークの取り組み概要

持続可能な社会の実現に向けて、エネルギー・環境・防災等のさまざまな分野で宇宙空間をICTインフラ基盤として活用することがより一層重要となっています。そこで、NTTとスカパーJSAT株式会社は新たな宇宙ICTインフラ基盤である宇宙統合コンピューティング事業を担う合弁会社として株式会社Space Compassを設立しました。本稿では、宇宙統合コンピューティング・ネットワークの全体像や事業概要、今後の展開について紹介します。

すずき
鈴木かねきよ
兼清こうせい
耕世*ともゆき
知之ほり
堀しげひろ
茂弘*

NTT研究企画部門

新たな宇宙インフラへの挑戦

持続可能な経済・社会活動を確立していくうえで、エネルギー、環境・気候変動、防災、海洋インフラ、安全保障などの多様な分野において、成層圏・地球近傍宇宙空間をICTインフラ基盤として効果的に最大活用することが、より一層重要となります。そのために、宇宙空間のICTインフラ基盤は、従来とは異なる新たな技術・アーキテクチャが求められます。

NTTとスカパーJSAT株式会社は、地上と宇宙のインフラ企業として長年にわたる技術開発・事業を通じて得た知見を活かし、今後の人類の宇宙空間の一層の活用と拡張を支えるため、合弁会社である株式会社Space Compassを2022年7月20日に設立しました^{(1) (2)}。

この合弁会社は、2021年の業務提携⁽³⁾で発表した、「宇宙統合コンピューティング・ネットワーク」実現の一歩

となります。宇宙空間に構築する光無線通信ネットワークおよび成層圏で構築するモバイルネットワークを手始めに、新たなインフラの構築に挑戦することで、世界の宇宙産業の発展と持続可能な社会の実現に貢献していきます。

宇宙統合コンピューティング・ネットワーク

宇宙統合コンピューティング・ネットワークは、NTTのネットワーク・コンピューティングインフラと、スカパーJSATの宇宙アセット・事業を統合して構築する新たなインフラです(図1)。地上から高高度に浮かぶHAPS (High Altitude Platform Station)、宇宙空間の低軌道・静止軌道まで複数の軌道を統合します。また、それらと地上を光無線通信ネットワークで結びコンステレーションを構成し、分散コンピューティングによってさまざまなデータ処理を高度化します。また、地上のモバイル端末へのアクセス手段を提供し、超カバレッジを実現します。

取り組み予定事業の概要

宇宙統合コンピューティング・ネットワークの実現に向けて取り組む予定の事業は以下のとおりです。

- (1) 宇宙データセンタ事業：宇宙における大容量通信・コンピューティング基盤

光電融合技術による低消費電力化と高宇宙線耐性の実現により、宇宙におけるコンピューティング処理基盤を提供します(図2)。また、大容量光通信技術を活用した分散処理コンピューティングによりさまざまな高度なデータ処理を可能とします。例えば、宇宙で収集される膨大な各種データ等を高速光通信ネットワークを通じて即座に宇宙空間にて、情報集約・分析処理し、情報を必要とするユーザに必要な情報のみを即座に届けることで、宇宙データ利活用のリアルタイム性、ユーザ利便性の飛躍的な向上に貢献します。

Space Compassにおいて当初取り組む予定の事業としては、観測衛星等により宇宙で収集される膨大な各種

* 現、Space Compass

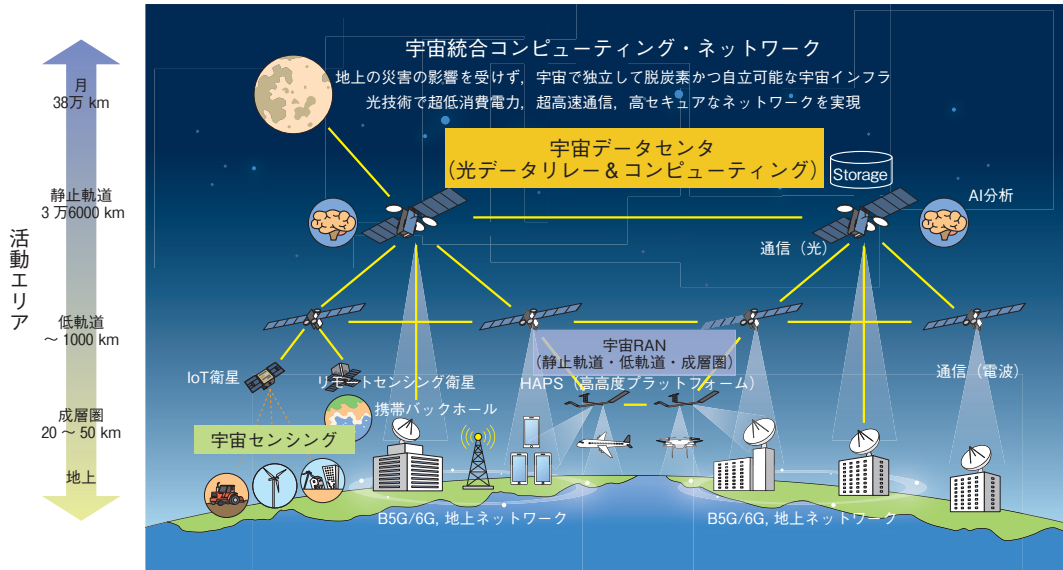


図1 宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想

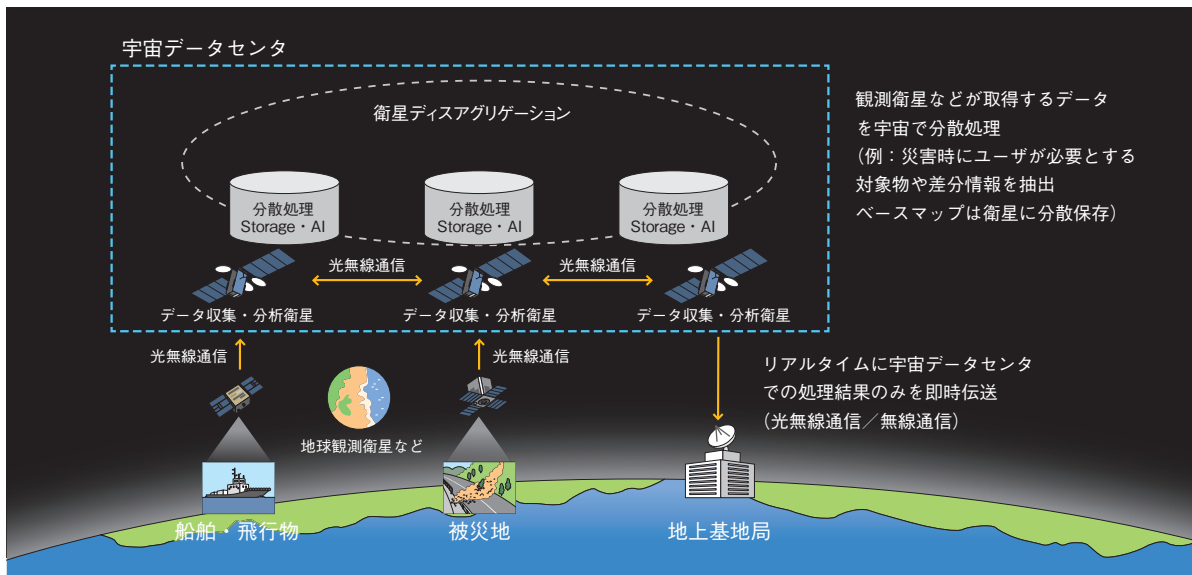


図2 宇宙データセンタ事業の概要

データを静止軌道衛星（GEO：Geostationary Orbit Satellite）経由で地上へ高速伝送する光データリレーサービス（図3）を、2024年度に開始します。静止衛星から地上局に直接データ伝送をする既存サービスでは地上局と通信できるタイミングや電波による通信容量に制約があるのに対し、静止軌道衛星経由での光データ伝送を用いることで、大容量・準リアルタイムのデータ伝送が可能となりま

す。通信速度は既存サービスに比べて10倍程度に向上し、任意のタイミングで即時伝送可能です。さらに光無線通信を用いることで、従来の無線通信サービスで必要となる免許調整が不要になるという利点もあります。顧客となる観測衛星事業者にとっては、観測衛星能力の向上、業務効率の向上を見込めるといったメリットがあります。

(2) 宇宙RAN (Radio Access Network) 事業：Beyond 5G/6G

におけるコミュニケーション基盤 Beyond 5G/6Gで期待される衛星（低軌道・静止軌道）・HAPS^{(4), (5)}を用いたモバイル基地局によるアクセスサービスを提供します（図4）。例えば、災害時における究極の高信頼メッセージングサービスや超広域カバレッジ等、より一層のモバイル通信の利便性・価値向上に貢献します。

Space Compassにおいて当初取り組む予定の事業としては、HAPS

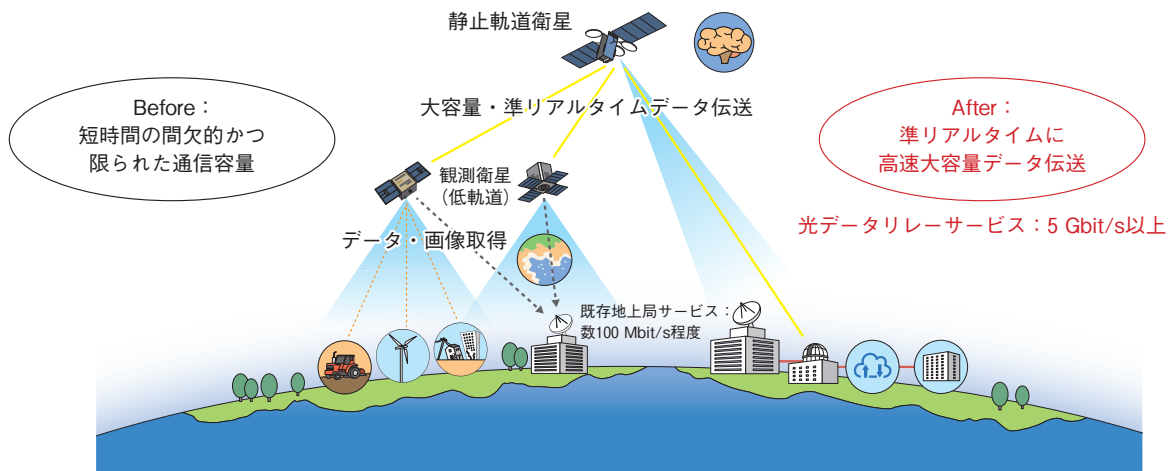


図3 宇宙光データリレーサービスの概要

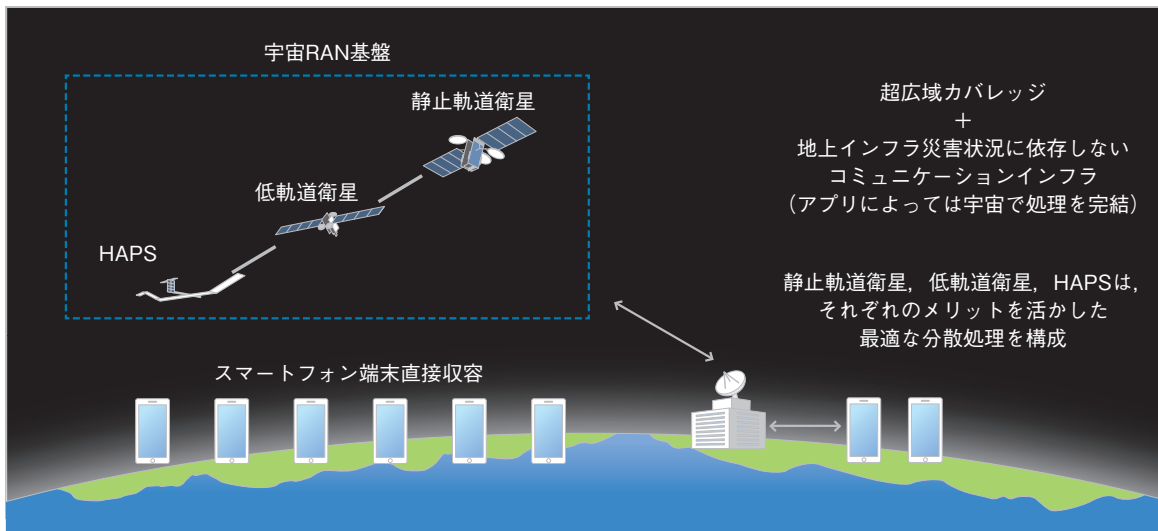


図4 宇宙RAN事業の概要

を用いた低遅延の通信サービスを2025年度に国内で開始をめざします。HAPSによりカバレッジを容易に拡張できることから、災害時の高信頼通信や、船舶や航空機等への大容量通信の提供、離島やへき地への通信サービス提供等が可能となります。携帯通信事業者にとっては、地上基地局整備によるカバレッジ拡張と並行して、HAPSを組み合わせることでモバイルネットワーク全体としてのコスト・エネルギー効率を改善できます。エンドユーザーにとっては、HAPSにより普段使いのスマートフォンの利用が可

能になります。

(3) 宇宙センシング事業：地上と宇宙のセンシングデータ統合基盤
従来の観測衛星による観測データに加え、世界で初となる低軌道衛星MIMO*技術によりグローバルに設置されている地上IoT (Internet of Things) 端末データを収集する、宇宙と地球を統合したセンシング基盤を提供します(図5)。これらの技術については、2022年打ち上げ予定の国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)の革新的衛星技術実証3号機にて軌道上実証を予定しています。

さらには、テラヘルツ波等により従来見えなかった情報を可視化する新たなセンシング技術を開発し、宇宙データの価値向上、宇宙データ利活用の可能性拡大に貢献します。

事業化に向けた研究開発の取り組み

宇宙統合コンピューティング・ネットワークの事業化に向けてはさまざま

* MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) : 無線通信において、送信機と受信機の双方で複数のアンテナを使い、通信品質を向上させるための技術。

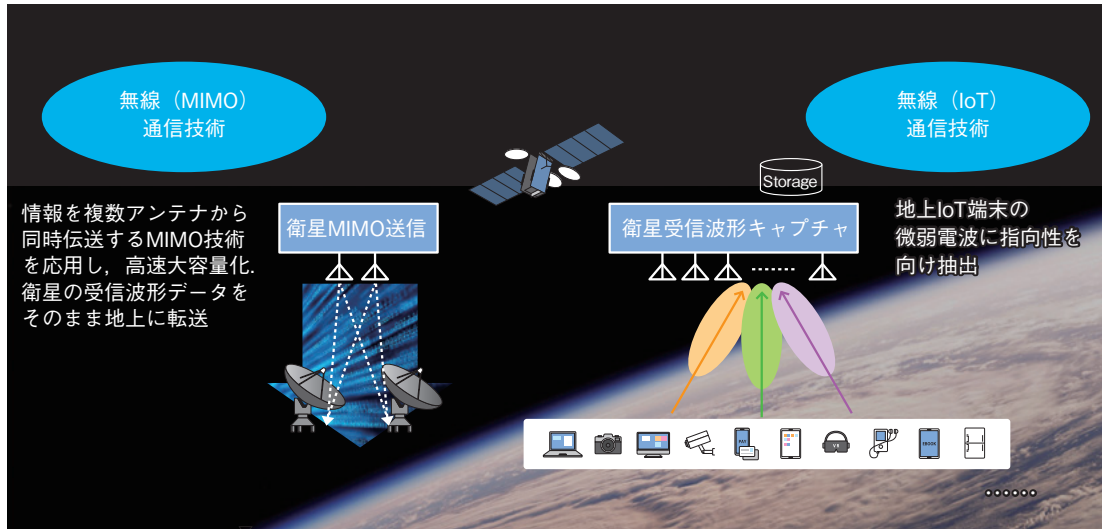


図5 宇宙センシング事業の概要

な技術課題が存在します。本特集では、それらの課題解決のために研究開発を進めてきた主要な技術について、技術概要やユースケース、提供価値等を紹介します。

- ① 宇宙コンピューティングに向けたイベント駆動型推論の検討：宇宙データ利活用のリアルタイム性、ユーザ利便性を向上させるため、分散コンピューティングにより宇宙上で膨大なデータをエッジ処理するコンピューティング技術の概要等
- ② 宇宙RANにおけるHAPS実用化に向けた取り組み：超カバレッジ、高信頼、低遅延の通信サービス提供のためのHAPSのユースケースやHAPSと地上の連携ネットワーク構成、制御技術の概要等
- ③ 衛星センシングプラットフォーム：超カバレッジで低コストなセンシング提供のため、安価なIoT端末の微弱電波に指向性を向け抽出する衛星センシング技術や衛星の受信波形データをそのまま地上に転送する大容量伝送技術の概要、軌道上実証等

今後の展開

Space Compassでは、宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想の第一歩として、前述の宇宙データセンタ、宇宙RANの事業・サービスをはじめ、今後順次拡大します。宇宙データセンタ事業では、高度なコンピューティング機能を搭載した衛星を順次拡大し、宇宙での大容量通信・コンピューティング処理基盤を提供します。なお、2025年の大阪・関西万博ではNTTの大容量光通信技術の宇宙での実証を披露し、将来的には本サービスを全世界に展開する予定です。

宇宙RAN事業ではHAPSを活用した撮像センシング等についても提供を検討していきます。さらに、静止軌道衛星および低軌道衛星（LEO：Low Earth Orbit satellite）も追加・統合し、カバレッジを拡充していくとともに、無線通信広帯域化技術の開発によりHAPS一機当りの通信キャパシティ拡大を図っていきます。

参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/04/26/220426a.html>
- (2) <http://space-compass.com/20220720jp.pdf>
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2021/05/20/210520a.html>
- (4) https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_211115_00.pdf
- (5) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/01/17/220117a.html>



(左から) 鈴木 耕世 / 堀 茂弘 / 兼清 知之

新たな宇宙ICTインフラ基盤である宇宙統合コンピューティング・ネットワークの構築に挑戦することで、世界の宇宙産業の発展と持続可能な社会の実現に貢献していきます。

◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門
R&D ビジョン担当
TEL 03-6838-5399
E-mail kousei.suzuki@ntt.com

宇宙コンピューティングに向けた イベント駆動型推論の検討

NTTでは、宇宙でのリアルタイムなデータ解析を可能とする宇宙コンピューティング基盤の実現をめざしています。NTTソフトウェアイノベーションセンタ（SIC）ではこれまでの経験を活かし、宇宙コンピューティング基盤に関する取り組みを開始しています。本稿では、SICの考える宇宙コンピューティング基盤の要件と、それに関連する技術について紹介します。

えだ たけはる ないとう いちべえ
江田 毅晴^{†1} 内藤 一兵衛^{†2}
やまさき いくお たばた けいいち
山崎 育生^{†1} 田端 啓一^{†1}
し きょく
史 旭^{†1}

NTTソフトウェアイノベーションセンタ^{†1}
Space Compass^{†2}

宇宙コンピューティングの背景

観測衛星（EO）、低軌道衛星（LEO）や各種センサの発展により、宇宙から地上を観察しAI（人工知能）を用いた高度な分析を行うことが可能になってきました。地上に設置したセンサや光学カメラでは取得不可能なデータが取得できるため、さまざまなシーンにて有効活用されています。しかし、衛星の数が限られること、データサイズが大きくダウンロードに時間がかかることなどにより、実際の解析が可能になるまで、数日間以上を要することが多く、リアルタイムなサービス提供はまだ難しい現状があります。NTTでは、コンステレーションと宇宙データセンタを構築することで、そうした撮影データを宇宙空間と地上で協調的に解析を行うことで、不要なデータの転送を減らすとともに計算量を削減し、より広範な範囲のリアルタイムなデータ解析を可能とするコンピューティングプラットフォームの実現をめざしています。

NTTソフトウェアイノベーションセンタ（SIC）ではこれまでのクラウドコンピューティング⁽¹⁾やAI推論基盤⁽²⁾での経験を活かし、宇宙コンピューティング基盤に関する取り組みを開始しています。本稿では、SICの考える宇宙コンピューティング基盤の要件と、それに関連する技術について紹介します。

宇宙コンピューティングの課題

宇宙コンピューティングとは、文字どおり、宇宙でコンピューティング処理を行うことですが、地上でのコンピューティング環境とは大きく前提が異なる部分があります。

宇宙空間では基本的に使える電力量は太陽光発電により得られたものに限られるため、何よりもまず省電力であることが求められます。また、一度宇宙に打ち上げたコンピュータは修理するのも簡単ではないため、高い信頼性・安定性も求められます。当然、放射線や真空のため冷却に空気が使えない、無重力、温度といった宇宙空間の

ための対策も必要になります。これらの前提から、開発・検証に時間がかかり宇宙で利用可能なコンピュータは数世代前のアーキテクチャであることが多く、地上で利用可能なコンピュータに比べて、著しく性能が低くなっています。ソフトウェアについても、ハードウェアの制約に引きずられるかたちで、長い間、低レイヤの言語による組み込み開発に近い状況で行われてきましたが、近年、状況が変わりつつあります。

サーバ大手やチップメーカーが既製品（COTS: Commercial Off-The-Shelf）に近いかたちで宇宙空間にコンピュータを設置し、実験を行っています。例えば、HPE社のSpaceborne Computerは、ProLiantシリーズという地上で利用可能なコンピュータをベースに、国際宇宙ステーション（ISS）に設置し、地上のクラウド環境とつなぐかたちでAIによるデータ解析などの各種実験を行っています⁽³⁾。一方で、Intel社はPhiSat-1と呼ばれる小型衛星プロジェクトに、

既製品のAIチップを搭載し、宇宙空間でのAI処理に関する実験を行っています。宇宙空間でのコンピューティング環境の提供をめざした取り組みにより、利用可能なハードウェアが高性能になり、より高度な処理を宇宙空間で行うことが期待できます。

ハードウェアの進展にあいまってソフトウェアスタックや開発・テスト技法もよりモダンな方法を採用し効率化しようという流れがあります。宇宙航空研究開発機構（JAXA）では、衛星DX研究会を立ち上げ、「衛星のソフトウェア化」により、柔軟で開発コスト・期間を改善する衛星DX（デジタルトランスフォーメーション）を推進しています⁽³⁾。

前述したハードウェアや開発環境の進展を受けて、宇宙空間でより高度な処理、特にAIによるデータ解析を行

うことで、宇宙で観察したデータを情報に変換し、リアルタイムにユーザに届けるサービスへの期待が高まっています。ただし、ハードウェアが発展してきているとはいえ、データ解析のすべてを宇宙空間上で完了できないユースケースは多く存在し続けると考えられます。SAR（合成開口レーダ）*や光学リモートセンサで撮影されるデータは解像度が高くデータ量が大きいため（1画像当たり数GB、1日数100GBともされる）、光を利用しても地上に転送するのに時間がかかり、地上でのAIによるデータ解析コスト（設備量・計算量・電力消費量など）の増加も見込まれます。

宇宙コンピューティングにおけるイベント駆動処理

SICでは、地上でのAIサービスの

ためのイベント駆動型推論技術の研究開発を行ってきました⁽²⁾。イベント駆動型推論では、デバイス側でイベント検知などの軽量の推論を行い、高精度な処理が必要なデータのみをサーバに送信することで転送量を削減します。これにより、AI処理のための設備量・処理量・消費電力量の削減を効果として期待します（図1）。今回、こうしたイベント駆動型推論が、宇宙コンピューティングにても有効かどうか検証を行いました。

今回の検証では、ユースケースとして不審船検知を想定し宇宙空間で光学リモートセンサを用いて数GBクラスの画像データが撮影された前提で行いました。宇宙空間の低スペックな環境で行える比較的軽量のイベント検知を行い地上での処理が必要なデータのみを送信することで、転送量を削減します。地上では送られてきたデータのみに対して高精度なAI処理を行うことで、計算量の削減をめざします。

実装した処理パイプラインと処理時間を図2に示します。宇宙空間では画

* SAR（合成開口レーダ）： Synthetic Aperture Radar。マイクロ波を利用したレーダの一種であり、雨、雲等を通過し、昼夜を問わず観測可能なことから、観測衛星に積極的に採用されています。

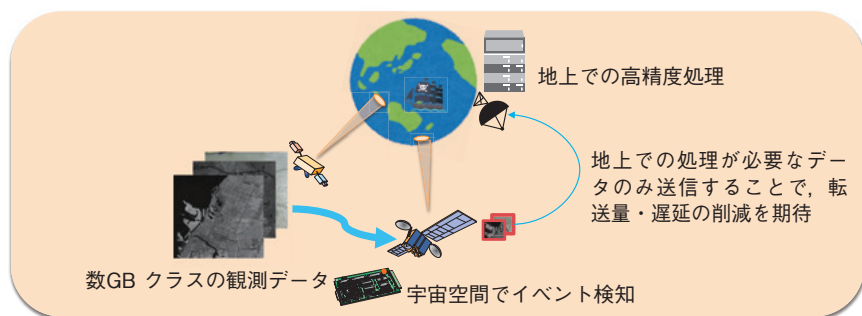
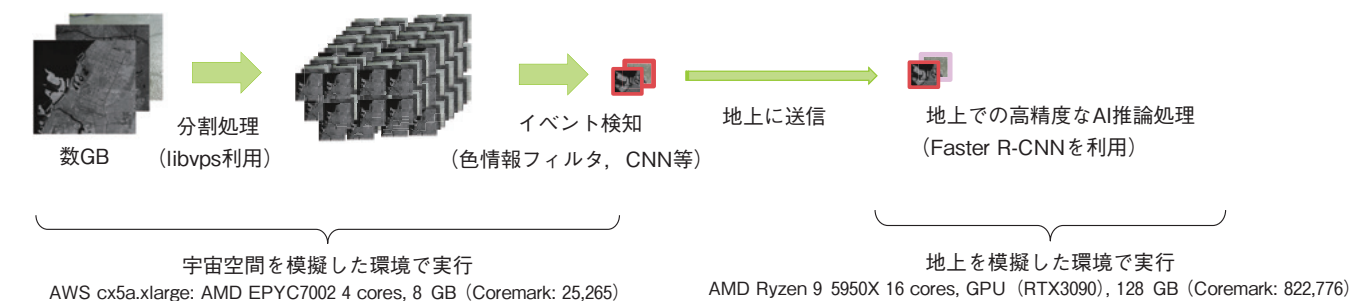


図1 宇宙空間でのイベント駆動処理



	分割処理	イベント検知	高精度AI推論
処理時間	4.5分	3.7分	10.5 ~ 11.3分

図2 実装した処理パイプラインと処理時間

表1 軽量なモデルを利用した場合のイベント検知精度と転送量削減率

アルゴリズム	イベント検知の再現率	転送量の削減率	処理時間
色情報フィルタ	75 %	7.1 %	数分
色情報フィルタ	70 %	14.3 %	数分

表2 高精度なモデルを利用した場合のイベント検知精度と転送量削減率

アルゴリズム	イベント検知の再現率	転送量の削減率	処理時間
Faster R-CNN	88.7 %	55.0 %	数10時間
Faster R-CNN	72.2 %	65.7 %	数10時間

像の分割処理に続くイベント検知処理までを行い、地上では送られたデータに対する高精度なAI推論処理を行うケースを実装しました。分割後、数万枚の処理が要求されるイベント検知は、計算能力が限られるため、色情報フィルタなどの軽量なものをを用いて評価しました。

■結果と考察

宇宙空間での処理時間に関しては、大きな画像データに対しても、リソース利用量も十分余裕がある状況で、10分程度で処理を完了することが確認できました。地上での処理は容易に並列化が可能のため、十分リアルタイムなAI推論が可能です。しかし、精度と転送削減量に関しては厳しい結果になりました。一般に精度（この場合は再現率）と転送量に関してはトレードオフの関係にあります。70%の再現率でも14.3%しか転送量を削減できないという結果になりました（表1）。これは、イベント検知に用いたフィルタの精度が低いことが原因です。

そこで、仮に地上で用いた高精度なAI処理が宇宙空間でイベント検知に使えた場合にどれくらいの精度になるかを机上計算しました（表2）。

Faster R-CNNが宇宙空間で実行できた場合には、検出漏れも少なく、55~65.7%程度の転送量を削減できることが分かりましたが、今回想定した

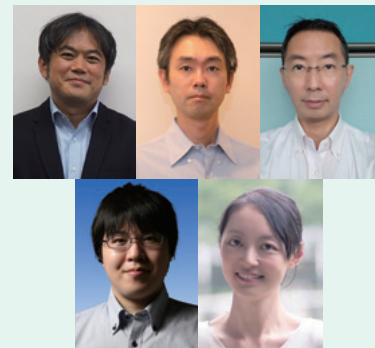
計算機のCPUでは現実的に処理することが不可能であり、高速化や最適化に取り組んでいく必要があります。

今後の課題とSICの取り組み

今回紹介した検討結果により、宇宙コンピューティングにおいて高効率なイベント駆動処理を実現するには、低消費電力でAI推論などの高速な処理を実現する各種アクセラレータを1チップに搭載したSoC（System-on-a-Chip）の活用が必須であると考えています。SICではこれまで、映像解析向けAIアクセラレータの比較検証や、ヘテロアーキテクチャに適した仕組みを持つOSSのAIコンパイラ（TVM）の最適利用といった研究開発を行っており、それらの知見・経験を活かして、宇宙コンピューティング基盤に必要なイベント駆動型AI推論の研究開発を進めていきます。

■参考文献

- (1) 尾尻・谷口・長田・中川・岩崎：“オープンイノベーションによるクラウド基盤技術の取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol.26, No.12, pp. 16-19, 2014.
- (2) 江田・樽林・榎本・史・飯田・羽室：“IOWN時代のAIサービスを支える高効率イベント駆動型推論,” NTT技術ジャーナル, Vol. 32, No. 12, pp. 16-22, 2020.
- (3) https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/explorer/Investigation.html?id=8221
- (4) https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Ph-sat
- (5) <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/sasshin/sasshin.html>



（上段左から）江田 毅晴/ 内藤 一兵衛
山崎 育生

（下段左から）田端 啓一/ 史 旭

宇宙コンピューティング基盤の検討は始まったばかりですが、次世代通信を担う重要な技術要素になると考えられ、SICではクラウドやAIの知見を活かし、NTTを支える宇宙コンピューティング基盤の研究開発を進めていきます。

◆問い合わせ先

NTTソフトウェアイノベーションセンタ
AI基盤プロジェクト
TEL 0422-59-2200
FAX 0422-59-2699
E-mail dl-sg-ml@hco.ntt.co.jp

宇宙RANにおけるHAPS実用化に向けた取り組み

宇宙RAN事業は5G Evolution & 6Gの時代におけるコミュニケーション基盤とされ、空・海・宇宙を含むあらゆる場所でのユースケースを想定した「超カバレッジ拡張」が検討されています。超カバレッジ拡張の早期実現に向けて、HAPS (High Altitude Platform Station) を用いた低遅延の通信サービスに着目しています。本稿では、HAPSによる無線システム技術のユースケースと技術課題について示し、HAPSと地上ネットワークの周波数共用に向けた3Dセル制御技術を解説します。

ほかぞの ゆうき
外園 悠貴

きしやま よしひさ
岸山 祥久

あさい たかひろ
浅井 孝浩

NTTドコモ

はじめに

宇宙RAN事業は、5G (第5世代移動通信システム) の高度化 (5G Evolution) および6G (第6世代移動通信システム) の時代におけるコミュニケーション基盤とされ、静止軌道衛星 (GEO: Geostationary Orbit satellite), 低軌道衛星 (LEO: Low Earth Orbit satellite), および高高度プラットフォーム (HAPS: High Altitude Platform Station)*¹を用いた非地上ネットワーク (NTN: Non-Terrestrial Network)*²を用いて、これまでの移動通信ネットワークでは十分にカバーできなかった空・海・宇宙を含むあらゆる場所への「超カバレッジ拡張*³」の実現をめざしています⁽¹⁾。

超カバレッジ拡張の早期実現に向けて、HAPSを用いた低遅延の通信サービスに着目しています⁽²⁾。HAPSによりカバレッジを容易に拡張できることから、災害時の高信頼通信や、船舶や航空機等への大容量通信の提供、離

島やへき地への通信サービス提供等が可能となります。携帯通信事業者にとっては、地上基地局整備によるカバレッジ拡張と並行して、HAPSを組み合わせることでモバイルネットワーク全体としてのコスト・エネルギー効率を改善できます。

本稿では、宇宙RANにおけるHAPS実用化に向けた取り組みについて解説します。具体的には、HAPSによる無線システム技術のユースケースと技術課題について示し、HAPSと地上ネットワークの周波数共用に向けた3Dセル制御技術を解説します。

HAPSのユースケースとネットワーク構成および制御技術

NTTドコモは、5G網を含む地上ネットワークとHAPSによる成層圏ネットワークが柔軟に連携できる通信方式やネットワークアーキテクチャの研究開発に取り組んでいます⁽³⁾。本研究開発では、今後の5G Evolution & 6Gで想定される幅広いユースケースを柔軟にサポートすることに加えて、

災害発生時の柔軟な回線制御の実現や、開発・運用コストなどの面から現実的なHAPSを活用する通信システムの実現を目的とした検討を行っています。

■HAPSのユースケース

図1に示すとおり、5G Evolution & 6Gの時代に向けては、HAPSを用いて電波の中継あるいは基地局として電波を放射することで、さまざまなユースケースを実現することが期待されます。ユースケースは、バックホール*⁴用途としてサービスを提供する

*1 高高度プラットフォーム: ソーラープレーン型の航空機や飛行船などを利用して、成層圏環境での運用が想定される空中プラットフォーム。

*2 非地上ネットワーク: 衛星やHAPSなどの非陸上系媒体を利用して、通信エリアが地上に限定されず、空・海・宇宙などのあらゆる場所に通信エリアが拡張されたネットワーク。

*3 超カバレッジ拡張: 基地局が移動局端末との通信を行うことができるエリアを、現在の移動通信システムがカバーしていない空・海・宇宙などを含むあらゆる場所へ拡張すること。

*4 バックホール: 移動通信ネットワークにおける、多数の無線基地局とコアネットワークとの間的高速大容量な情報伝送をサポートする固定回線を表します。

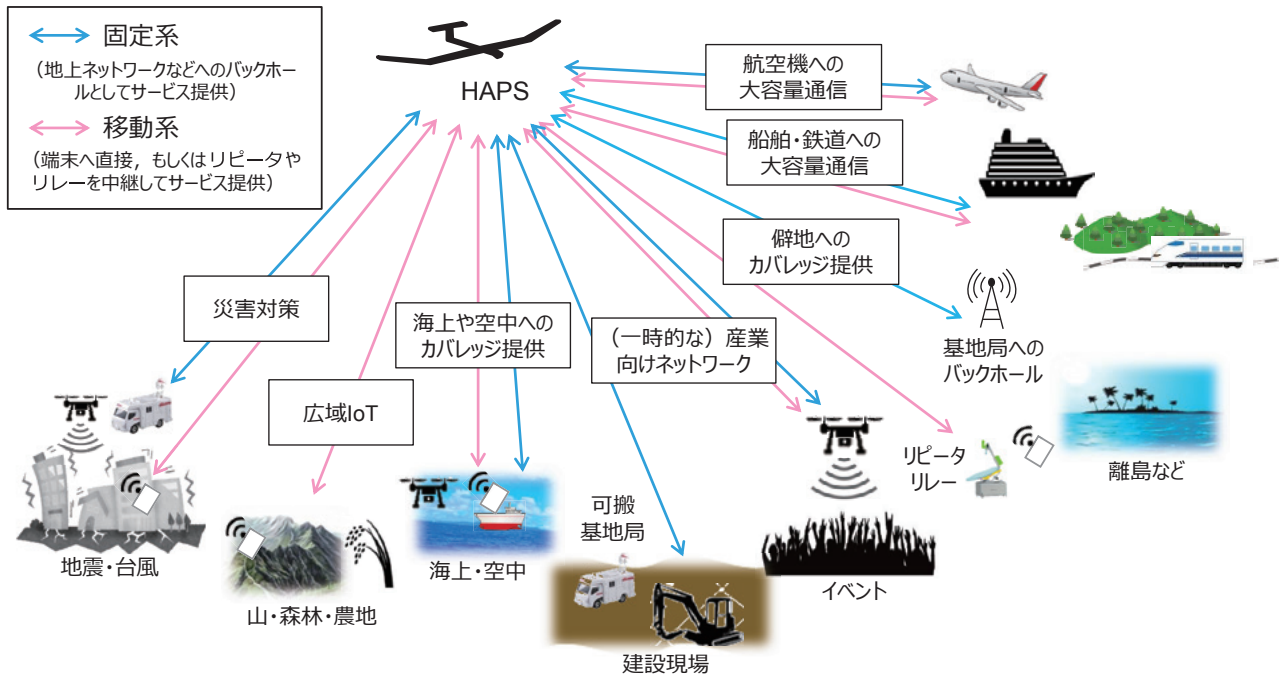


図1 HAPSで期待されるさまざまなユースケース

固定系と、端末へ直接、もしくはリピータやリレーを中継してサービスを提供する移動系の両方が考えられます。HAPSシステムの要求条件はユースケースごとにさまざま、それぞれに求められる通信速度や帯域幅は異なります。固定系と移動系のあらゆるユースケースに対応できる柔軟な通信方式とシステムが望ましいです。

また、平常のビジネス用途から災害発生時のパブリックセーフティ用途への柔軟な回線制御も必要です。現状の災害対策は、音声通話やSMSなど最低限の通信品質を想定したものです。将来的には災害現場における遠隔制御や映像伝送、ドローンとの通信など、ある程度高速通信が必要なユースケースも考えられます。さらに、災害対策に向けては、一部の装置が使えなくなっても動作することを想定したネットワーク構成と制御技術を検討することが必要です。

■ HAPSと地上ネットワークの連携ネットワーク構成および制御技術

(1) HAPS搭載局の分類

HAPSを5G基地局へのバックホールに用いる場合のネットワーク構成と制御技術において、HAPS搭載局の分類に着目して検討を行っています。HAPS搭載局を大別すると、①中継局として地上から受信した通信信号を、必要な周波数変換などを行ったうえで地上へ折り返し送信する「中継型」と、②5G網の基地局装置もしくはその一部をHAPSへ搭載する「基地局型」に分けられます⁽⁴⁾。

- 中継型の場合は、搭載装置が比較的少なく、HAPS搭載局のサイズ・重量・消費電力の制限が厳しい場合に有効です。
- 基地局型の場合は、アンテナ装置の搭載に加え、多くの基地局機能をHAPSへ搭載するほどHAPS

側でさまざまな制御が可能になり、かつフィーダリンクの情報量を削減できます。一方、搭載機能が増えるほど搭載局のサイズ・重量・消費電力が大きくなります。

一般的には、開発コストや運用面を考慮すると、より多くの基地局機能を地上ネットワーク側に配置するのが望ましいですが、HAPSに搭載することで災害の影響を受けにくいメリットもあります。また、性能面を考慮すると、HAPS搭載局側にもある程度の機能、少なくともミリ波を用いる場合はビーム制御の機能を持たせる必要があるものと考えられます。さらに、HAPS搭載局におけるサイズ・重量・消費電力、搭載局の開発・運用コスト、固定通信と移動通信でのHAPSプラットフォーム共通化、GEO/LEOとの連携など、5G網にHAPSシステムを組み込む際に考慮すべき幅広い要件を総合的に検討する必要があります。

(2) 5G網と連携したネットワーク構成例

5G網と連携したネットワーク構成における「基地局型」の一例として、O-RAN (Open RAN) アライアンス仕様⁽⁵⁾を参考にした5G基地局のDU (Distributed Unit) とRU (Radio Unit) をHAPSに搭載する構成を図2に示します。この構成では、CU (Centralized Unit) を地上の災害に強い地点に設置することで可用性を確保し、フィードリンクにおいてHAPSがCUから受け取った情報を、サービスリンクにおいて地上の小型基地局装置(中継局)へ5G無線を介して伝送することで、有線のバックホールを使用せずに可搬5G基地局の利用

が可能となります。また、この構成では中継局を介さずにHAPSから5G端末へ直接通信を提供することも可能です。さらなる拡張としては、地上側で複数のCUを用いることによって悪天候や災害発生時の影響を軽減するサイトダイバーシチ^{*5}の実現や、端末が通信のエリアを移動した際に通信先のHAPSを切り替えることでモビリティサポート^{*6}も実現できます。

別の有望な構成として、5G無線中継器をHAPSに搭載する「中継型」の構成例を図3に示します。この構成では、TN (Terrestrial Network) はコアネットワークからフロントホール^{*7}まで利用され、RU機能を備えたHAPS地上システムは複数のビーム

の信号を束ねて通信します。フィードリンク^{*8}にはQ帯などの広帯域周波数を使用し、HAPS中継システムが周波数変換と電力制御を行います。次にHAPSは、複数のビームを同時に使用してサービスリンク通信を確立します。サービスリンク^{*9}の周波数としては、WRC-19⁽⁶⁾の仕様およびWRC-23⁽⁷⁾の議題に従って、International Mobile Telecommunication (IMT) 用にすでに特定されている2.7 GHz未満の周波数帯域を使用する必要があります。

図2と図3の構成以外にも、スタン

- *5 サイトダイバーシチ：雨や障害物により電波の減衰が大きいときに、複数の地上局を切り替えることで、通信品質を向上させる技術。
- *6 モビリティサポート：端末が通信のエリアを移動した際に、通信が途切れる前に接続先の基地局を切り替えることで、通信を継続可能とする技術。
- *7 フロントホール：基地局装置のベースバンド処理部と無線装置間の回線であり、光ファイバなどが用いられます。
- *8 フィードリンク：NTN通信システムの中で、衛星またはHAPSと地上基地局(ゲートウェイ)間の通信経路を指します。
- *9 サービスリンク：NTN通信システムの中で、衛星またはHAPSと端末間の通信経路を指します。
- *10 スタンドアローン：既存のLTE/LTE-AdvancedとNRをLTE-NR DCを用いて連携して運用するノンスタンドアローンに対し、NR単独で運用する形態。

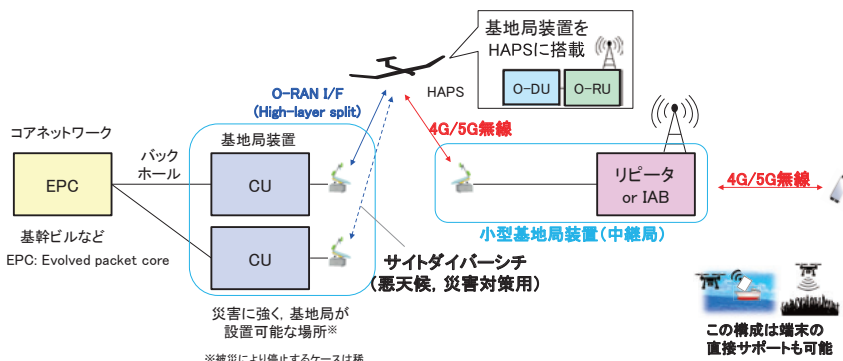


図2 HAPS をバックホールに用いる場合の連携構成例

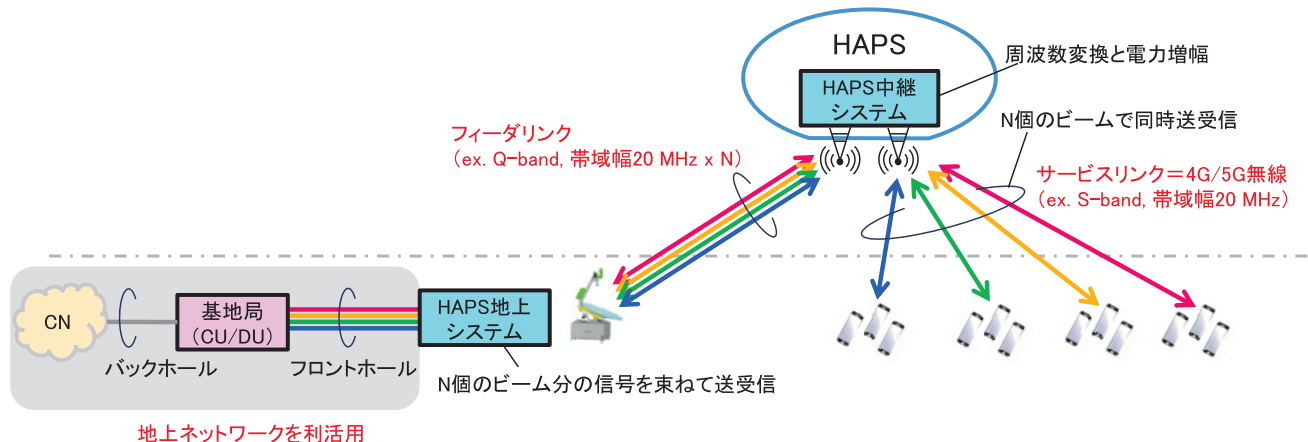


図3 HAPS をダイレクトアクセスに用いる場合の連携構成例

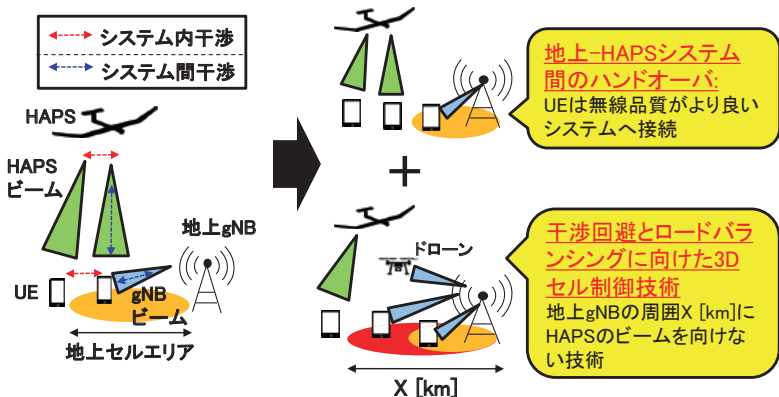
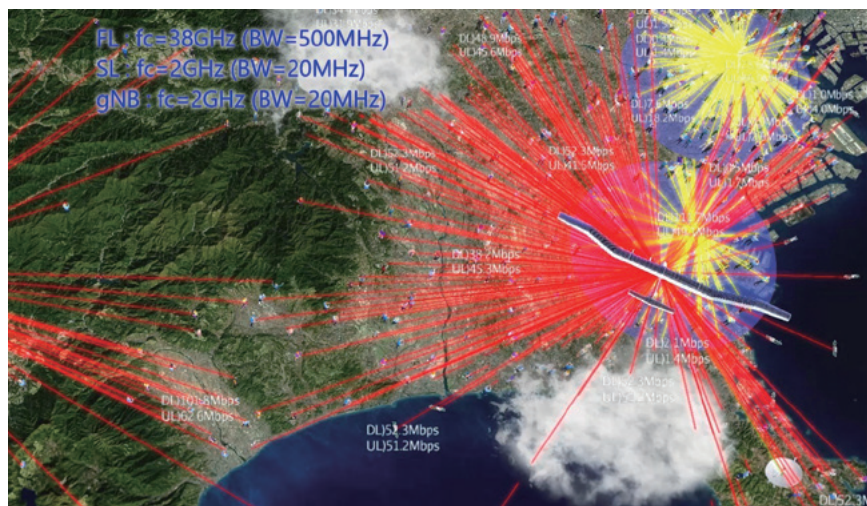


図4 3Dセル制御技術



©NTTインフラネット株式会社, DigitalGlobe, Inc., a Maxar company, All Rights Reserved.

図5 HAPS シミュレータ

における提案技術の効果を確認します。

■3Dセル制御技術による2GHz帯の干渉回避評価

(1) 3Dセル制御技術

地上ネットワークとHAPSシステムが周波数を共有する場合におけるシステム間干渉を抑制するための3Dセル制御技術を図4に示します。本技術では、HAPSが地上gNB周辺のX [km]の領域 (gNB接続しきい値) にビームを向けないことで、システム間干渉の抑制とロードバランシングの効果が期待できます。

(2) シミュレーション諸元

HAPSのサービスリンクと地上gNBリンクが2GHz帯を共有するシナリオを想定し、図5に示します。HAPSシミュレータを用いて3Dセル制御技術による干渉回避効果を評価します。表1と表2にシステム関連パラメータとデバイス関連パラメータをそれぞれ示します。初期評価として、関東地方から中部地方にわたる約60 km × 114 kmを評価エリアとし、各都市の人口密度に基づいて500台の地上UEをランダムに配置します。HAPSは評価エリアの西側と東側に1機ずつ配置し、gNBは評価エリア東側の都市部に2局配置します。

(3) 評価結果

3Dセル制御技術におけるgNB接続しきい値X [km]を変化させたときにおけるHAPS接続UEの下りリンクスループット評価結果を表3に示します。累積分布関数 (CDF: Cumulative Distribution Function) の値が

*11 周波数共有技術: 2つのシステムが同じ場所で同一周波数を利用するときに発生する干渉の影響を抑え、周波数共有を可能とする技術。本稿では、主にHAPSシステムと地上移動通信システム間の周波数共有を想定しています。

ドローン*10な5G基地局をHAPSに使用する構成も有力な候補として検討しています。各構成において、モビリティサポート、サイトダイバーシチ技術および周波数共有技術*11などと合わせて、GEO/LEOとの連携や装置重量・消費電力などHAPSへの搭載要件を考慮した総合的な検討が今後必要です。

HAPSと地上ネットワークの周波数共有に向けた3Dセル制御技術

一般のUser Equipment (UE) がHAPS基地局と直接通信を行う移動

系用途に向けて、現行の無線通信規則ではHAPS-UE間のサービスリンクに2.7 GHz以下のIMT特定された周波数帯を使用する必要があります⁽⁶⁾。HAPSが地上ネットワークと同一の周波数を利用してカバレッジを拡張する際には、地上エリアとの干渉影響をいかに回避できるかが鍵となります。ここでは、HAPSと地上ネットワークが周波数を共有するときのロードバランシングおよび干渉回避技術として、3Dセル制御技術を提案します。HAPSシミュレータを用いたシステムレベルの評価により、2GHz帯に

表1 システム関連パラメータ

パラメータ	フィーダリンク	サービスリンク	gNBリンク
周波数	38 GHz		2 GHz
帯域幅	500 MHz		20 MHz
大気吸収損失			1 dB
パスロスモデル	自由空間伝搬ロス		UMaパスロスモデル (TR 38.901 ⁽⁹⁾) ※NLOS:LOS=9:1の比率でランダムに適用
最大ランク	2 ※円偏波の利用を想定		8

表2 デバイス関連パラメータ

デバイス	パラメータ	値
UE	UE数	500
	ピークゲイン	Tx: -3dBi, Rx: 0 dBi
	アンテナ構成	オムニアンテナ
	Noise figure	3 dB
	HAPSへの送信電力	常時23 dBm
	gNBへの送信電力	最大22 dBm ※gNBとの距離に依存 ⁽¹⁰⁾
HAPS	HAPS数	2
	高度	20 km
	ピークゲイン	サービスリンク: 24 dBi フィーダリンク: 30 dBi
	アンテナ構成	パラボラアンテナ サービスリンクの半値角: 7.7° フィーダリンクの半値角: 2.5°
	ゲインパターン	TR 38.811のベッセル関数によるパターン ⁽¹¹⁾
	Noise figure	3 dB
	最大ビーム文	50 or 500
	送信電力	サービスリンク: 43 dBm/HAPS フィーダリンク: 34 dBm/HAPS
gNB	gNB数	2
	ピークゲイン	17 dBi
	アンテナ構成	セクタアンテナ
	ゲインパターン	ITU-R M.2101に準拠 ⁽¹²⁾
	ダウンチルト	15°
	アンテナ高	25 m
	送信電力	43 dBm/セクタ
	Noise figure	3 dB
地球局	地球局数	2
	位置	それぞれのHAPS直下
	送信電力	34 dBm
	ピークゲイン	50 dBi
	ゲインパターン	TR 38.811のベッセル関数によるパターン ⁽¹¹⁾

5%, 50%, 95%の場合におけるスループットをそれぞれ比較すると、Xの拡大に伴いロードバランシングが働き、平均スループットが増加することを確認できます。最大HAPSビーム数で比較すると、ビーム数500のときにそれぞれのHAPS接続UE方向にHAPSビームが向けられピークゲインが得られるため、ビーム数50のときよりもスループットが高いです。

一方でgNB接続UEの下りリンク Interference-to-Noise ratio (I/N) 評価結果を表4に示します。CDFの値が5%, 50%, 95%の場合におけるI/Nをそれぞれ比較すると、Xの拡大に伴い干渉回避効果が表れ、I/Nが減少することを確認できます。最大HAPSビーム数で比較すると、ビーム数500のときに50のときと比べビーム当りの送信電力が小さくなるため、ビーム数50のときよりもI/Nが小さいです。

なお、上りリンクにおいても同様の評価を行い、下りリンクと同様にロードバランシングと干渉回避効果が得られることを確認しました。一方で、Xの拡大に伴いHAPSのカバーエリアが減少することを考慮に入れて、エリア化の需要に応じた適切なXの値を選定する必要があります。

表3 HAPS接続UEのスループット（下りリンク）

最大HAPSビーム数	gNB接続しきい値：X [km]	HAPS接続UEのスループット (Mbit/s)		
		CDF 5%	CDF 50%	CDF 95%
50	0	4.4	18.4	171.3
	3	4.2	19.1	171.7
	9	9.5	39.5	222.0
500	0	9.0	44.6	203.5
	3	9.4	44.8	203.6
	9	19.0	70.0	249.9

表4 gNB接続UEのI/N（下りリンク）

最大HAPSビーム数	gNB接続しきい値：X [km]	gNB接続UEのI/N (dB)		
		CDF 5%	CDF 50%	CDF 95%
50	0	16.9	19.4	22.9
	3	14.1	18.7	21.3
	9	6.8	13.2	17.8
500	0	12.9	18.2	19.8
	3	11.8	17.7	19.8
	9	6.8	13.0	18.0

おわりに

本稿では、宇宙RANにおけるHAPS実用化に向けた取り組みとして、HAPSのユースケースとネットワーク構成および制御技術について解説し、HAPSと地上ネットワークの周波数共有に向けた3Dセル制御技術のシミュレーション評価結果を示しました。今後もNTTドコモでは、超カバレッジ拡張の実現に向けたNTN技術開発、HAPSネットワーク実現に向けた技術開発、HAPSの実用化システムに近い形式でのシミュレーション評価、実証実験および標準化活動の推進に取り組んでいく予定です。

本研究開発の一部は、総務省「電波資源拡大のための研究開発(JPJ000254)」によって実施しています。

参考文献

- https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/index.html
- https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/04/26/220426a.html
- Y. Hokazono, H. Kohara, Y. Kishiyama, and T. Asai: "Extreme coverage extension in 6G: Cooperative non-terrestrial network architecture integrating terrestrial networks," Proc. of WCNC2022, pp. 138-143, April 2022.
- Y. Xing, F. Hsieh, A. Ghosh, and T. S. Rappaport: "High altitude platform stations (HAPS): architecture and system performance," Proc. of VTC 2021, pp. 1-6, April 2021.
- https://hapsalliance.org/
- World Radiocommunication Conference 2019 (WRC-19) Final Acts, ITU Publications, pp. 41-43, 2020.
- World Radiocommunication Conference 2023 (WRC-23) ITU-SG CL Contribution 55, ITU Publications, p.7, 2020.
- L. C. Alexandre, A. Linhares, G. Neto, and A. C. Sodre: "High-altitude platform stations as IMT base stations: Connectivity from the stratosphere," IEEE Communications Magazine, Vol. 59, No. 12, pp. 30-35, Dec. 2021.
- 3GPP, TR 38.901 V17.0.0: "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz," March 2022.
- Nokia Corporation, ITU-R TG5.1 Contribution 284: "Adjacent band compatibility study between IMT-2020 in 24.25-27.5 GHz and EESS in 23.6-24 GHz," Jan. 2018.
- 3GPP, TR 38.811 V15.4.0: "Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks," Oct. 2020.
- ITU-R M.2101: "Modelling and simulation of IMT networks and systems for use in sharing and compatibility studies," Feb. 2017.



(左から) 外園 悠貴 / 岸山 祥久 / 浅井 孝浩

これまでの移動通信ネットワークではカバーできなかった空・海・宇宙を含むあらゆる場所への「超カバレッジ拡張」早期実現に向けて、HAPS技術の研究開発および実用化に取り組んでいます。

◆問い合わせ先

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

衛星センシングプラットフォーム

世界的に宇宙ビジネスが注目されており、2040年度には約120兆円に市場が拡大すると予想されています。日本においても2020年度に宇宙基本計画が約4年ぶりに更新され、日本の宇宙産業（約1.2兆円）を2030年代早期に倍増する計画が立てられています。宇宙産業において地球センシングビジネスへの期待は大きく、新しい市場の創出がさまざまな分野で検討されています。本稿ではNTT研究所で研究開発を進めている衛星センシングプラットフォームについて解説します。

やました ふみひろ いとかわ きよひこ
山下 史洋^{†1} 糸川 喜代彦^{†1}
ふじの ようすけ すずき けんじ
藤野 洋輔^{†2} 鈴木 賢司^{†2}

NTTアクセスサービスシステム研究所^{†1}

NTT未来ねっと研究所^{†2}

はじめに

2020年度に制定された宇宙基本計画において、宇宙産業の今後の柱として、①宇宙安全保障、②災害対策・国土強靱化、③宇宙科学・宇宙探査、④経済成長とイノベーション実現、が掲げられています⁽¹⁾。①は通信、測位、情報収集衛星の整備や小型衛星による海洋状況・宇宙状況の把握、②は気象・地球観測の強化と災害時に被災状況の迅速な把握のためのシステム開発、③は宇宙探査、月面基地、国際宇宙ステーション、④は過去や現在に国の衛星で取得されて日々蓄積されている衛星画像データ利用の拡大が代表的なものです。いずれのカテゴリにおいても低軌道（LEO: Low Earth Orbit）衛星とセンシングは重要なキーワードであり、NTT研究所でも宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想の下、衛星センシングプラットフォームの研究開発を推進しています。

衛星センシングについては、近年の地球観測衛星の高精細化・高機能化に

より、ダウンリンク（衛星から地球へ伝送する回線）の帯域需要が拡大しています。NTT研究所は宇宙航空研究開発機構（JAXA）と連携し、LEO衛星から地上への大容量伝送を実現するためのキー技術として、LEO-MIMO（Multiple-Input Multiple-Output）技術の共同研究を実施しています⁽²⁾。

一方、地上においては、さまざまな物に通信機器を装着し、データを定期的に収集するIoT（Internet of Things）需要が急速に伸びています。NTT研究所では地上網ではカバーできない、超カバレッジのセンシング需要にこたえるため、衛星IoTの研究開発にも着手しています⁽³⁾。

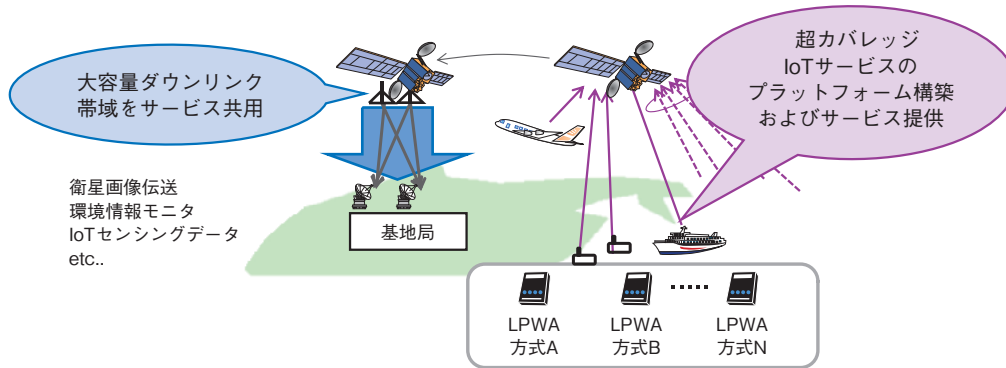
衛星センシングプラットフォーム

■提案コンセプト

これまで衛星を経由した超カバレッジのデータ集信は存在しました。しかし、その多くは衛星専用装置や衛星専用周波数を用いており、サービスのコストが高止まりしていました。そ

こで、NTT研究所では、地上で普及している一般的なLPWA（Low Power Wide Area）端末と同じ周波数、同じ電力の端末を用い、低軌道衛星を介して小容量データを収集する920 MHz帯を用いた衛星センシングプラットフォームを提案しています（図1）。

サービスのコンセプトとしては、地球上のあらゆる場所につながるIoT端末で海洋など超広域かつ低頻度のセンシングデータ収集による新たな市場の開拓をめざしています。ハードウェアとしては、一般的な地上用LPWA端末を活用することで、端末調達コストを抑制します。衛星は極めてシンプルな構造で、受信した920 MHzの信号波形をデジタルサンプリングして衛星搭載メモリにいったんストアし、基地局上空を飛来するタイミングでメモリに蓄積されたデータを地上基地局にダウンリンクします。この際、衛星からのダウンリンクで利用できる帯域は限られているため、同一周波数の異なる信号を複数アンテナで送受信するMIMO技術を活用することでダウン



	現在のIoT向け衛星システム			本提案
	ORBCOMM	ARGOS	IRIDIUM	
周波数 (免許)	150 MHz帯 (必要)	400 MHz帯 (必要)	1.6 GHz帯 (必要)	920 MHz帯 (不要)
無線機	衛星専用	衛星専用	衛星専用	地上用をそのまま利用
送信時消費電力	20 W以上	5 W弱	1 ~ 10 W	0.1 W程度

図1 衛星センシングプラットフォーム

リンクの大容量化を図ります。

■主要技術

(1) 衛星ブラインドビームフォーミング⁽⁴⁾

近年920 MHz帯を用いた地上IoT端末の台数はスマートメータの利用等により都市部で急速に伸びており、衛星に920 MHz帯の受信アンテナを搭載すると都市部からの干渉波も同時に受信する課題が予想されます。本研究では、衛星に複数のアンテナを搭載し、大きな干渉源に対して衛星アンテナ指向性のヌル方向を向けて、他端末からの干渉を低減しつつ、所望信号の受信利得を最大化するようにビーム指向性を制御します(図2)。ただし、衛星が時々刻々移動することで衛星センサ端末と干渉源の相対関係も変化するため、リアルタイムでのビーム制御は困難です。そこで、衛星に搭載された複数アンテナで衛星センサ端末からの信号をいったん受信し、衛星を介して地上にダウンリンクした後、信号処理で端末単位に他端末からの干渉を低減しつつ、所望信号の受信利得を最大化する方法を検討しています。この地上で

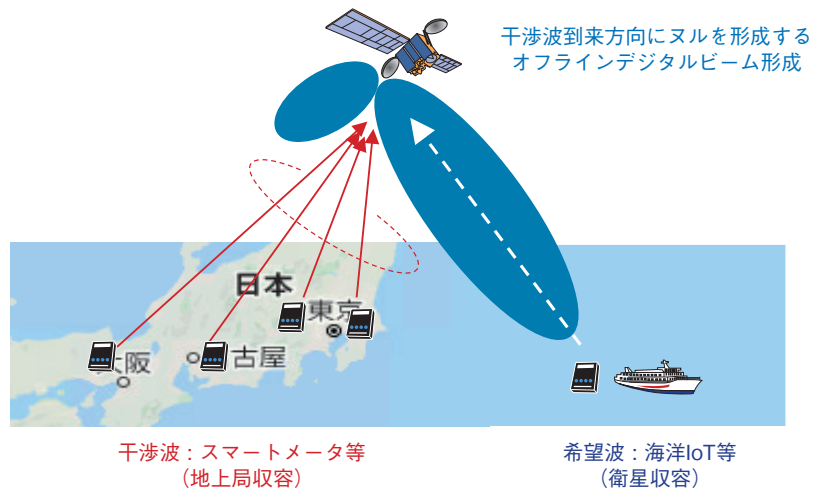


図2 衛星ブラインドビームフォーミング

の信号処理により、受信SINR (Signal to Interference Noise Ratio) 向上を図ることができます。

一例として高度570 kmの太陽同期軌道を想定した低軌道衛星のサービスエリアを回線設計で評価しました。前提として他端末からの干渉はなく、衛星搭載された3アンテナで受信された信号を最大比合成します。端末アンテナの最大ビーム指向方向の仰角が90°となるようにIoT端末を設置した場合、
・ 端末上空の半径640 km以内に低

軌道衛星が位置する際はセンサ情報収集可能

・ 半径110 km以内では18 dB以上の高SNR (Signal to Noise Ratio) という検討結果が得られています。

(2) マルチプロトコル一括復調技術
通常、衛星上で受信信号を復調するには復調器を衛星に搭載する必要があります。現在地上で利用されている920 MHzのプロトコルは多種多様であり、プロトコルを決めれば、提案ブ

プラットフォームで利用できる衛星センサ種別が限定されます。そこで、現在検討しているプラットフォームでは、マルチプロトコル一括復調を採用します。具体的には衛星には復調器を搭載せず、波形データをサンプリング後に蓄積し、地上にダウンリンクした後に復調処理を行います。地上における復調処理をソフトウェアで実施することで、衛星打ち上げ後でも、多様なセンシングプロトコルに柔軟に対応できます。

(3) 衛星MIMO技術⁽⁵⁾

携帯電話や無線LANで使われているMIMO技術は、アンテナを複数用いて限られた周波数で伝送容量を改善する技術であり、マルチパス環境でMIMOチャンネルの相互相関が低いときに伝送容量が改善されます。そのため、これまで衛星通信のような見通し環境ではパス間の相関が高く、MIMO技術の適用が難しいとされてきました。この課題に対してNTT研究所で

はJAXAとともに、衛星に複数アンテナを搭載し、地上にも複数アンテナを設置するが、その地上のアンテナ間の距離を物理的に離すことでチャンネル相関を下げる方法を提案しています。物理的に地上アンテナを離せばチャンネル相関を下げることはできますが、トレードオフとして受信チャンネルの関係が相対的に非同期となる課題が生じます。そこで、NTT研究所では、この非同期受信環境においてMIMO干渉補償できる技術を考案しました(図3)。一例として、衛星搭載アンテナ間隔を0.7 mとし、基地局間間隔を70 km離れた場合、シミュレーションの結果、従来の送受1アンテナを用いるSISO (Single Input Single Output) 伝送と比べて送受2アンテナを用いるMIMO伝送のほうが平均2倍の伝送容量の向上を達成できます(図4)。原理的にはアンテナ数を増やせば、スケラブルに容量が増えるのもMIMO伝送の大きな魅力の1つです。

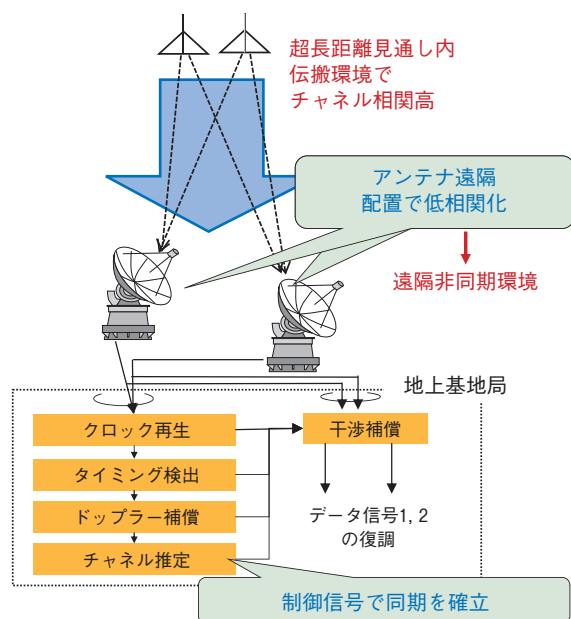
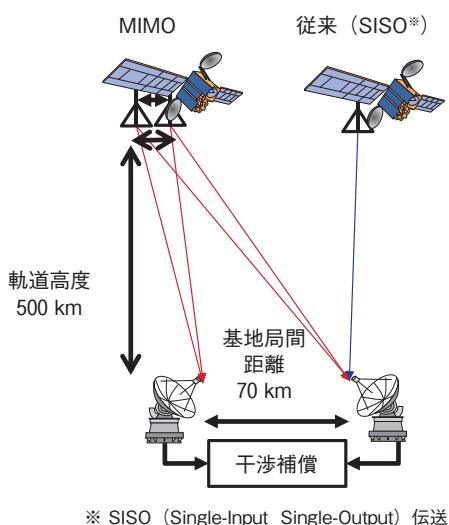


図3 衛星MIMO地球局技術

革新的衛星技術実証3号機への提案

NTT研究所では、衛星MIMO技術を用いた衛星センシングプラットフォーム



※ SISO (Single-Input Single-Output) 伝送

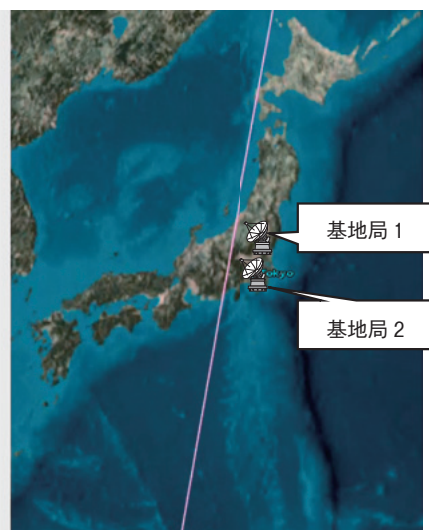
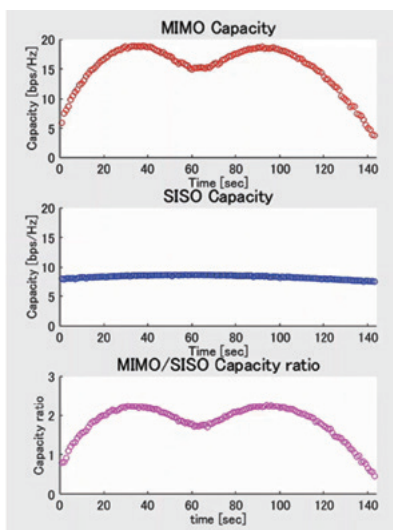


図4 衛星MIMOの伝送容量

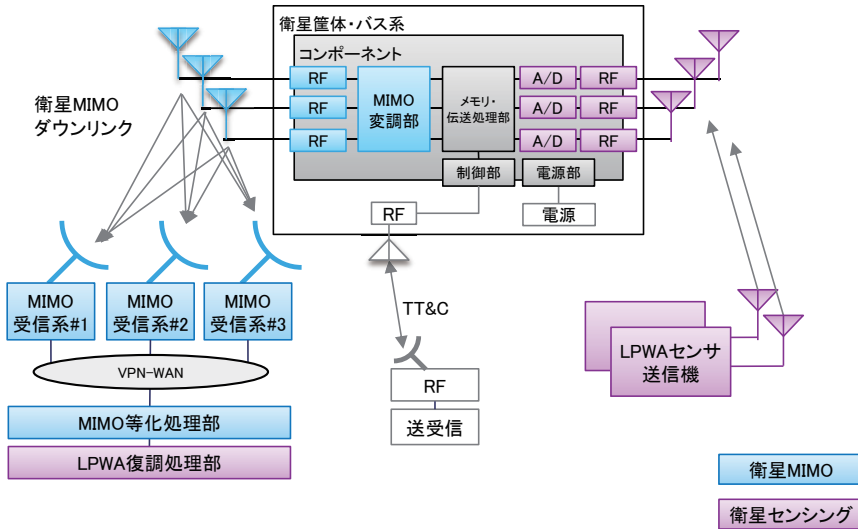


図5 革新的衛星技術実証3号機への提案構成

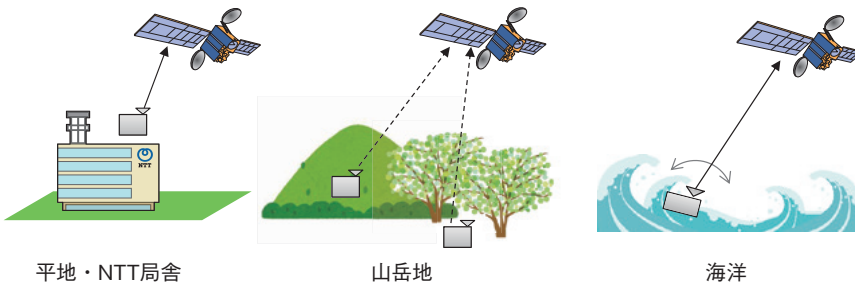


図6 衛星IoT実験イメージ

フォームの実証のため、JAXAの革新的衛星技術実証3号機に応募し、実証テーマの1つとして選定されました⁽⁶⁾。今年度に予定されている衛星での実験に向け、搭載装置の開発まで完了しており、現在実証実験に向けて地上装置の開発を進めています⁽⁷⁾。図5に革新的衛星技術実証3号機での実験の全体構成を、図6に衛星IoTの実験イメージを示します。本実験では同じ衛星に複数の実証テーマが相乗りする衛星のため、利用可能なスペース・重量・電力が限られており、本実験ではスケールモデルを用いた衛星MIMO伝送の原理を確認します。サービスリンク*として920 MHzのIoT受信アンテナを3つ搭載し、所望の衛星IoT端末から

* サービスリンク：端末と衛星間の通信リンク。

の信号を受信し、地上で復調処理できることを確認します。その後、海上や山地などIoT送信環境を変化させて通信実験をする予定です。一方、衛星から地上基地局へのダウンリンクとしてはX帯(8 GHz帯)の送信アンテナを3つ衛星に搭載しており、MIMOアンテナ数に応じて伝送容量をスケールアップに変更できることを確認する予定です。

今後に向けて

革新的衛星技術実証3号機での実験を成功させるため、衛星搭載機器および地上装置の運用に必要なオペレーション・コマンド等のソフトウェア開発を完遂します。その後、1年以上かけて、衛星実験を重ね、技術の有用性を明確にします。さらに、実証実

験を通じて、衛星センシングプラットフォームにご興味を持っていただいた方々と一緒に、衛星センシングビジネスの議論を加速させていきたいと考えています。

参考文献

- (1) <https://www8.cao.go.jp/space/plan/keikaku.html>
- (2) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2019/11/05/191105c.html>
- (3) 坂元・景山・吉澤・藤野・小島・糸川・山下：“920MHz帯衛星IoTプラットフォームにおける各LPWA方式の端末収容台数評価,” 信学技報, Vol. 120, No. 372, SAT2020-35, pp. 35-40, 2021.
- (4) F.Yamashita, D.Goto, Y.Kojima, M.Matsui, K.Itokawa, K.Yoshizawa, Y.Fujino, C.Kato, and M.Nakadai: “920-MHz IoT platform via LEO satellite employing feeder-link MIMO technology,” ICETC 2020, A1-2, Online, Dec. 2020.
- (5) D. Goto, K. Itokawa, F.Yamashita, C.Kato, and M.Nakadai: “Clock timing synchronization among distributed multiple antennas for LEO-MIMO communications system,” ICETC 2020, B1-4, Online, Dec. 2020.
- (6) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/05/29/200529a.html>
- (7) 糸川・五藤・小島・坂元・藤野・山下・加藤・中台・谷島・岩田：“低軌道衛星MIMO技術を活用した920MHz帯衛星IoTプラットフォームの軌道上実証と開発状況,” 第65回 宇宙科学技術連合講演会, OS-16-5, オンライン, 2021.



(左から) 藤野 洋輔/ 鈴木 賢司/
山下 史洋/ 糸川 喜代彦

NTT 研究所では約16年ぶりに衛星搭載機器の開発と軌道上実証実験にチャレンジします。宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想の衛星実証のトップバッターとして、実験成功に向けて、チーム一丸となって取り組んでいます。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
無線エントランスプロジェクト
TEL 046-859-4103
FAX 046-859-4311
E-mail leomimoiot-mgr-p@hco.ntt.co.jp

「NTT Technology Report for Smart World 2022」の公開について

NTT研究企画部門では、2019年に始動したIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想とともに、より人々が豊かに生きていく世界を実現するためのテクノロジーについてまとめた「NTT Technology Report for Smart World」を発表しています。このたび、新たに2022年度版を公開しましたので、本稿では、その概要と更新のポイントについて紹介します。

かねきよ

兼清

いのうえ

井上

ともゆき

知之

すずよ

鈴代

しらい

白井

だいすけ

大介

NTT研究企画部門

持続可能な社会を創り、世界を“再生”させるためのイノベーション

これまでの技術革新は、多くの歪みも生み出してきました。持続可能な社会の実現には、人間中心の世界観から脱して、「環世界」をとらえられる、より膨大な量の情報を扱うための新たな情報処理基盤が求められます。わたしたちは光技術の拡張に可能性を見出し、2019年より「IOWN (Innovative Optical and Wireless Network)」と名づけた構想の実現へ歩みを進めています。このIOWN構想は、現在さまざまな領域のイノベーションへと発展しながら着実に2030年の実装へと進み出ています。本稿では、IOWN構想の実装へ向かってさらに進んでいくために必要とされる基盤テクノロジー、および国内外の多くの企業と連携してフィールドでの技術実証を行うIOWN導入への取り組みについて紹介します。これらのIOWNの取り組みにより、わたしたちは世界を「再生」するためのイノベーションを実現していきます。

IOWN構想実現に向けた光電融合技術、2つの社会インフラ、5つの価値

IOWN構想の実現は、光と電気を一体に集積してより効率的な動作を可能とさせる「光電融合技術」、それにより構築可能となる「オールフォトニクス・ネットワーク (APN)」「ディスクアグリゲータッド・コンピューティング」の2つの社会インフラによって支えられています。これらの技術や新たなインフラにより、IOWNは「次世代データハブ」「4Dデジタル基盤[®]」「セキュア光トランスポートネットワーク」「5G evolution / 6G 無線技術」「宇宙統合コンピューティング」という5つの価値を創出しています。NTT Technology Report for Smart World 2022では、これらの光電融合技術、2つの社会インフラ、5つの価値についてそれぞれ解説します。

光電融合技術

IOWNは、長距離間だけではなくデータセンタに設置されているサーバ

間、さらにコンピュータをネットワークと接続するボード内、ボードに搭載されたチップ間、さらには半導体内部と、よりマイクロな領域へ光による情報伝送を導入することで、超大容量・超高速・低消費電力の通信基盤を実現していきます。より短距離の通信に光技術を導入するためには、光を操るデバイスの圧倒的な小型化や経済化、性能向上が求められます。そこでわたしたちは光と電気を一体に集積し、より効率的な動作を可能とさせる「光電融合技術」の確立に取り組んでいます。IOWNの究極の理想形を実現し、革新的な情報通信のプラットフォームを提示すべく、光電融合技術の5つの世代を設定したロードマップを策定し、パートナー企業との共創を通じて研究・開発を進めています。

2つの社会インフラ

■オールフォトニクス・ネットワーク (APN)

わたしたちはAPNを「DX/デジタル流通時代のさまざまなICT基盤のイ

ンフラ・オブ・インフラ」とすべく開発に取り組んでいます。このために、APNは通信ビルだけでなくユーザ施設やデータセンタ間をエンド・ツー・エンドで広帯域な光ネットワークや無線アクセスでつなぎ、誰でも超高速の光伝送や無線伝送を利用できる共用ネットワークの構築をめざしています。また基盤技術の開発はもちろんのこと、近年はAPNの実現に向けてさまざまな技術の実証が進んでいます。

例として、2021年度には「ゲーミングUXを変革する L1通信パス遅延調整技術」「非圧縮8K120p 対応超低遅延映像伝送技術」「次世代の高安全な暗号技術を適用した光トランスポートネットワーク技術」といった技術の実証に取り組みました。

■ディスアグリゲータッド・コンピューティング

APNを最大限効果的に活用するためには、これまで専用装置で実現されていたルータや携帯基地局等の機能を、高いコンピューティング能力を有するハードウェアとソフトウェアで実現する必要があります。そこでわたしたちが生み出したのが「ディスアグリゲータッド・コンピューティング」という概念です。コンピューティングの領域では、これまで箱に閉じられたコンピュータをネットワークでつなぐことが前提とされてきましたが、ディスアグリゲータッド・コンピューティングは、CPUやメモリを直接光で接続することで、ラックやデータセンタを

1つのコンピュータとして扱うことを可能にします。光の持つ高速性・低消費電力性・低損失性を最大限引き出す物理構成（ハードウェアアーキテクチャ）と論理構成（ソフトウェアアーキテクチャ）、制御方式という3つの観点から変革を起こし、これまでのコンピューティングを遥かに上回る性能を実現していきます。

5つの価値

■次世代データハブ

IoT (Internet of Things) デバイスの普及や通信ネットワークの発展により、世界中で流通するデータの量は増加の一途を辿っており、AI（人工知能）の発展などに伴い今後あらゆる領域でデータの利活用は進んでいきます。一方、従来のストレージやネットワークの圧迫や、データの二次流通や目的外利用を防止する技術的仕組みが確立されておらず、自由なデータ流通が阻害されていることが課題となっています。これらの課題の解決に向け、わたしたちは次世代データハブの研究開発に取り組んでいます。「仮想データレイク」「データブローカー」「データサンドボックス」という3つの技術から構成されている次世代データハブにより、社会のデータ利活用を加速させていきます。

■4Dデジタル基盤[®]

4Dデジタル基盤[®]とは、「人・モノ・コト」のさまざまなセンシングデータをリアルタイムに収集し、緯度・経度・

高度・時刻という四次元の情報を高い精度で一致・統合させ、多様な産業基盤とのデータ融合や未来予測を可能とする基盤です。わたしたちは既存の地図データにMMS (Mobile Mapping System) など高度な3D空間情報を統合するとともに、都市部での測位・時刻同期精度を高めるスマート・サテライト・セレクション[®]などを活用し位置・時刻が高精度なセンシングデータを収集し、そこにAIを掛け合わせることで高度な未来予測を実現します。4Dデジタル基盤[®]は道路交通の整流化や都市アセットの最適化、社会インフラ保全、地球環境の精緻な理解など、さまざまな価値を提供していきます。

■セキュア光トランスポートネットワーク

わたしたちは極めて高度な計算が可能となる量子計算機に対して安全なネットワークの実現をめざし、セキュア光トランスポートネットワークの研究・開発に取り組んでいます。実現の鍵を握るのは、量子技術の活用とアーキテクチャ設計における新たな攻撃者への対策です。量子技術の活用として、「量子鍵配送 (QKD)」と「耐量子計算機暗号による鍵配送 (PQCまたはPQKD)」という2種類の鍵暗号・鍵配送の開発に取り組んでいます。アーキテクチャ設計における新たな攻撃者への対策は、より低レイヤで暗号化の機能を実装することで、IOWN/APNの低遅延性を阻害することなく

セキュリティを付加できることが期待されます。

■5G evolution / 6G 無線技術

わたしたちは2030年までの6G実現に向け、「超高速・大容量通信」「超カバレッジ拡張」「超多接続&センシング」「超低消費電力・低コスト化」「超低遅延」「超高信頼通信」の6つの条件を満たさなければいけないと考えています。他方で、利用エリアの拡大やニーズの複雑化により1人ひとりの状況に合わせたネットワークの提供としてマルチ無線プロアクティブ制御技術「Cradio[®]」の開発を進めています。2030年までの実用化をめざし現在は農機の圃場間自動走行と遠隔監視制御など実証実験を重ねており、よりナチュラルな通信環境の実現が近づいています。

■宇宙統合コンピューティング・ネットワーク

わたしたちが現在構想を進めている宇宙統合コンピューティング・ネットワークは、地球環境の影響を受けず、宇宙で独立して脱炭素かつ自立可能な宇宙インフラをつくるものです。宇宙センシングと宇宙データセンタ、宇宙RAN (Radio Access Network) という3つの機能を通じ、地上から高高度の成層圏に浮かぶHAPSや宇宙空間の低軌道・静止軌道に浮かぶ衛星まで複数の軌道を統合するとともに、地上と光無線通信ネットワークで結びながら全く新たなICT基盤を整備していきます。

世界に広がるIOWNのネットワーク

幅広い研究・技術分野の専門家やグローバルビジネスパートナーとの連携を進めていくべく、IOWN構想に賛同するソニーとインテルとともにIOWN Global Forum (IOWN GF) を2020年1月に立ち上げました。2020年3月からメンバを募集し、2022年3月時点で93社の組織・団体がIOWN GFへと参加しています。従来の国際団体とは異なり高頻度で議論を重ねることで、2020年4月にはホワイトペーパーを、2021年にはユースケース中間レポート(2月と6月)、Technology Outlook レポート(4月)、ユースケースRelease 1(10月)を公開し、12月にはIOWNの技術開発ロードマップに則り、6つのリファレンス文書を公開しました。2022年からはIOWN GFメンバとともに、発行された文書に基づくPoC (Proof of Concept) や技術検討に取り組んでいきます。

おわりに

NTT研究企画部門では今後もテクノロジーの動向とNTT R&Dの取り組みについて発表していきます。今回発表した資料はNTT持株会社HP⁽¹⁾よりダウンロードしていただくことが可能ですので是非ご覧ください。

■参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/research/RDNTT20220720.html>



(左から) 兼清 知之/ 白井 大介/
井上 鈴代

テクノロジーとNTT R&Dの動向をまとめた「Technology Report for Smart World 2022」のオンラインPDFを発行しています。お客さまとのコミュニケーションへご活用いただければと思います。

◆問い合わせ先

NTT研究企画部門
R&Dビジョン担当
E-mail technology_report-ml@ntt.com

挑戦する 研究者たち CHALLENGERS



小林哲生

NTT コミュニケーション科学基礎研究所
上席特別研究員

探究心と好奇心を 持って隣接領域にも 挑む

我が国では「子どもの読書活動の推進に関する法律」の下、子どもの読書活動を推進しています。また、中高生のスマートフォンの保有率の急増やGIGAスクール構想による1人1台端末環境の整備等が進む中、それより下の年代である幼児期の読書習慣が子どもの学力に与える影響が注目されています。言語習得のメカニズムの解明と教育支援に臨むNTTコミュニケーション科学基礎研究所 小林哲生 上席特別研究員に研究活動の進捗を伺いました。



科学的エビデンスに基づいたヒトに 寄り添うインタラクション技術を創出

現在手掛けている研究について教えていただけますでしょうか。

ヒトの発達に関する領域において、言語習得メカニズムの解明とそれを活用した教育支援の研究をしています。科学的エビデンスに基づいたヒトに寄り添うインタラクション技術を創出するという目標の下、ヒトの発達をより深く理解してシステムを実装することに加え、フィールド検証を通じて技術を深化させる試みを進めています。ごく簡単にいうと、子どもが自然にことばを覚えていくメカニズム

を解き明かして、それをベースに子どもの発達に即したより充実した支援の方法を、心理学、データサイエンス、言語処理技術などを活用して考案しています。

また、子どもはおおむね0～3歳くらいまでの間に母語の基礎を習得していくのですが、言語を構成する語彙や文法、文字に着目して、それらを幼児がどのように習得していくのかについて、実験室での精緻な検証や、保育園・医療現場などでのフィールド調査を行うことにより、言語発達に影響を与える機序と要因を解き明かす調査を進めています。

さらに、感情能力を育むための研究も始めています。感情の知識、つまり相手がどんな気持ちかを考えたり、読み取っ



たりすることは社会生活にとって重要なことから、こうした能力を測定して子どもの発達支援にどのように役立てるかを検討しています。また、乳児院に入所しているお子さんの言語発達の特徴や児童相談所への虐待通報の地域差などを通じて、子どもを取り巻く環境についても調査しています。

ほかには、心理学や言語処理技術などの分野における基盤的言語資源として、継続して調査・構築してきた「単語親密度データベース」の充実に努めるとともに、難聴者・人工内耳装用者の言語発達についても研究を開始しています。

子どもを取り巻く環境等をも包括的に捉えた科学的支援は、大きな社会貢献につながりそうですね。具体的な調査研究の成果をお聞かせいただけますか。

基礎研究をベースとするスピナウト事例も含めて紹介します。昨今、絵本の読み聞かせが与える長期的影響について取り沙汰されています。例えば、1～2歳時の親による絵本の読み聞かせの頻度が8～9歳時の文章読解力や算数文章問題の成績、そして読書の内発的動機付けと関連することがシカゴ大学の研究⁽¹⁾で明らかとなったのですが、この効果は親の学歴・家庭収入（SES）を統計的に考慮しても残存することが分かっています。こうした先行研究から、私たちは日本の子どもたちに早いうちから読み聞かせの支援をすることが有効であり、この活動は社会的な投資であると考えました。

また、前回もお話ししましたが、私は大学院で乳幼児心

理学を研究していたことから、NTTに入社後、幼児向けのテレビ番組の監修も務めていました。そこで分かったのは番組スタッフにノウハウはあるものの、科学的エビデンスに基づいた番組構成があまりなされていないことでした。「言葉の理解に関して、科学的なデータによる指針があると安心」といった番組スタッフから声があがる状況に、幼児言語発達に関する科学的エビデンスの必要性を感じました。

こうした背景もあって、私たちは、世界的にみても非常に大規模な2つのデータベースを構築しました。1つは0～4歳児1500人の語彙チェックリストデータに基づく「幼児語彙発達データベース」です。このデータによると、子どもが最初に理解できる語は「自分の名前」で、約50%の子どもが約7カ月で理解できます。また、発話できる月齢の観点からみると、約50%の子どもが「ワンワン」という語を発話できるのは15カ月なのに対して、「犬」は26カ月です。また14カ月で「いないいないばー」、17カ月で「バイバイ」などの社会的なコミュニケーションに使う言葉も発話できるようになります。

このデータベースを活用したのが「パーソナルちいこえほん」で、子どもの興味と発達をかんがみて、名前や好きなもの、そしてこれから覚える語を個人ごとに反映し個別最適化した絵本を作成しています（図1）。例えば、「パーソナルちいこえほん」のうち1～2歳向けの「すきなもの」は、「幼児語彙発達データベース」からの推定を基に、これから覚える語を選定して作成しています。



図1 パーソナルちいこえほん（NTT印刷より販売中）



個別最適化した読み聞かせ支援の 検証を自治体と協力して展開

世界最大規模とは学術的にも社会的にも意義深い成果ですね。
もう1つのデータベースとフィールド調査についても教えてください。

もう1つのデータベースは約6000冊の絵本の本文テキストをすべて入力して構築した「絵本・児童書データベース」です。これは、絵本検索システム「びたりえ」を開発する際につくったものですが、当初は、各絵本にどんな単語が出現するか、そしてその単語頻度情報が幼児の語彙発達にどう関連するのかを明らかにするために始めたものでもありました。この「びたりえ」ですが、絵本・児童書の分野では世界初のAI(人工知能)システムで、「幼児語彙発達データベース」に「グラフ索引型類似探索」や「自然言語処理」といった機能を組み合わせて、子どもの興味や発達段階に合わせた絵本の検索を可能にしています。

2019年から福井県立図書館、品川区の保育園などに順次導入しており、これまで多くの方々に体験していただきました。さらに、前回よりも発展したのが「びたりえタッチ」で、ロボットの「Sota(そーた)*」の質問に答えていくと、最後におすすめの絵本を教えてくれるシステムです(図2)。

「パーソナルちいこえほん」のうち「ひらがなまええほん」は、この「絵本・児童書データベース」を活用した成果に基づいて作成しています。このデータベースの分析から、子どもが文字を覚えるときは、全体的には、絵本に頻出する文字から読めるようになることが明らかになり⁽²⁾、それぞれの文字をどれだけ見聞きするかが習得のポイント

になります。ただ、個人ごとに考えると、自分の名前の文字も相当見ていることになるかと思えます。そこで、これまでに頻繁に見てきた自分の名前に着目して、それらの文字を本文中に頻繁に出てくる絵本を作成し、各個人の言語環境に合わせたかたちで文字習得の最初のステップを後押ししようと考えました。この絵本には、名前に関する「しかけ絵本」のような特徴もあります。例えば、名前が「あかり」ちゃんであれば、「あ」はアイスクリームの「あ」とか、「この中から“あ”を探してみよう」といったページが用意されています(図3)。ほかにも、名前の文字の部分をこすったり突いたりして次のページを開くと、文字が大きくなったり小さくなったりするといったしかけもあります。自分の名前の文字に触れ合いながら、絵本を楽しく読むことで、文字の習得を自然なかたちで後押しできればと思っています。

「パーソナルちいこえほん」や「びたりえ」を使ったフィールド調査はさらに広がっていると伺いました。

前回は、2020年1月から沖縄県恩納村と協力して、乳幼児健診に来た親子に、絵本を作成してもらうことをきっかけに、子どもを図書館に誘導することを始めたところまでお話ししました。現在は、兵庫県西宮市と締結した「生涯学習推進のための読書振興等に関する共同研究協定」に基づいて、「パーソナルちいこえほん」の提供や、図書館での「びたりえ」の設置などを通じて親子の絵本読み活動を支援できるかを検証しています。

*「Sota」は、ヴァイストン株式会社の登録商標です。



図2 びたりえタッチ



具体的には、1歳半健診のときに「パーソナルちいこえほん」の申込券を配布し、希望者にはWebを通じて絵本を作成していただいています。共同研究を開始した2021年10月から2022年3月までの間に1歳半健診の対象者約2000名のうちの半数の方が「すきなもの」を申し込まれました。また、2歳から5歳を対象とした「ひらがなまええほん」については、2022年1月から3月に各図書館において約400枚の申込券を配布したところ、9割以上の方が申し込まれました。フォローアップ調査では、約8割のお子さんが気に入ってくれており、約6～7割の家庭で1週間に1回以上の読み聞かせが行われていました。

また、先ほどご紹介した「びたりえ」と子どもが利用できる「びたりえタッチ」は、2021年度、西宮市の図書館3カ所に設置したところ、「びたりえ」は3つの図書館の累計延べ約2万件の検索実績、「びたりえタッチ」は約3万人が利用してくれました。内訳として、「びたりえタッチ」は、0～5歳児の利用が約半数以上を占め、ターゲット層へのアプローチに成功しました。実際に図書館で観察していると、お子さんがレシートプリンターから出力された絵本リストを持って、カウンターに持っていき姿が多数見られました。ロボットからおすすめされた情報をお子さんはどうとらえているのか。心理学的には、こういったことも興味深い問題です。

さらに、子どもの感情や環境についても調査研究を進めているとのこと。どんなことが分かったのですか。

親の発話と絵本における感情語の種類と出現傾向の違い

を調べてみました。まずは先行研究や感情表現辞典などを参考にして、770語からなる乳幼児向けの感情語リストを作成し、それらの感情語が絵本・児童書データベース（約6000冊）と親子会話コーパス（448会話）にどの程度出現するかを分析したところ、絵本には親の発話よりもバラエティ豊かな感情語が含まれていることが分かりました。また、高い頻度で出現する上位20語をみると、絵本にはポジティブな感情語がより多く出現するのに対し、親の発話にはネガティブな感情語も頻繁に出現するという質的な違いも確認しました。また、一般家庭と乳児院に入所している子どもの語彙発達データを比較して、施設での養育環境が語彙の発達にどのような影響を与えるかを分析しました。その結果、発話できる語彙数や語彙を獲得していく順序については一般家庭に育った子どもとほぼ差がないことが分かりました⁽³⁾。また、入所児の中でも虐待を受けた子については、語彙の獲得に多少の遅れがみられました。

これらの成果を踏まえ、改めて絵本の取り組みを眺めると、本当に必要としている親子に支援が届く仕組みの重要性を感じています。コロナ禍にあって、言語聴覚士の方がリモートで対応する際、「既存の言語訓練ツールのデジタル化が遅れ、著作権法に抵触することから勝手にデジタル化もできず、十分な訓練ができていない」と話しているのを聞いて、医療関係者そして社会福祉領域の方々と手を携えながら、独自のデジタル支援ツール作成などをはじめとした、子どもの発達を支える仕組みづくりをしていくことは次なる課題であると考えています。



図3 ひらがなまええほん（かしわらあきお作）



研究者とは「自然の摂理を読み解く人」

研究活動において大切にしていってほしいことを教えてください。

私は探究する姿勢はとても重要だと考え、フィールドと実験室での取り組みを循環させながら研究を進めていくことを大切にしています。探究は高等学校の学習指導要領にも盛り込まれたことから、その重要性は我が国も感じているところだと思っています。また、どんなに幼い子どもにも好奇心というか、探究心の芽生えみたいものはありますよね。子どもたちの持つその科学的探究心をどうやって育て、支援したらよいかを最近よく考えているのですが、自らもこうした探究心を糧にして研究に臨まないことには新しい発見や技術創出に到らないのではないかと常々思っています。

こうした思いから、自分の専門領域だけではなく隣接する分野にも探究心と好奇心を持って臨んでいます。もちろん、特定の研究トピックスを深く深く掘り進めることも大事ですが、私は専門領域を追究する中で、子どもそのものを見るだけでなく、子どもを取り巻く環境、そして社会状況や歴史的・地理的背景も含めて、大局的に物事をとらえたいと思っており、その意味でフィールドでの調査と隣接領域の研究者・関係者との協力が重要だと考えています。

そして、上司をはじめ、周囲がNTTでは稀だといえる研究テーマ（赤ちゃんや教育など）を私に追究させてくれること、社会貢献につながる研究活動をできることに幸せを感じています。一方で、研究活動に対して周囲の理解を得るために、本質を突く研究テーマを設定できるように心掛け、説明なども全力を尽くすように努めています。そのためには、何よりもパッションは重要で、企画書の段階でさえ、パッションのない計画は見破られてしまいます。最近では計画を立てる際に、どう理解してもらおうかという点について、若手の皆さんと議論を繰り返しているのですが、こういったことを繰り返すことで、パッションを持って語ることが醸成されるのだと思います。

最後に研究者とはどんな存在だとお考えでしょうか。若手の皆さんにも一言お願いいたします。

研究者とは、自然の摂理を読み解く人だと思います。そ

の意味でも、ヒトの発達研究においては環境要因を踏まえつつ、自然に育まれる子どもたちのルールを読み解いて、発達のサポートにつなげていきたいと考えています。

研究はたくさんの時間を要する行為です。研究計画からデータ収集と分析、論文執筆、資料作成まで、きちんと仕上げるのには時間が必要です。言い換えれば、計画も分析も論文も資料もそう簡単にできることではありませんから、たっぴりと時間をかけて研究者としてのスキルを少しずつ身につけていくのだと思います。

それから、こうした活動において研究者はいろいろな人の言葉に耳を傾ける中で、最終的には自分の信じるものに従うと思うのですが、それが研究者1人ひとりの「センス」だと思います。ここでいうセンスとは、見えていないモノに気付く力です。同程度の知識やスキル、経験を持つ人が同じモノを見ても、そこに潜むモノに気付く人と気付かない人がいます。そんな見えないモノに気付く力を持って自然の摂理を少しでも読み解ける研究者になっていきたいです。

今後ですが、バイタリティ溢れる若手研究員とともに、定説を覆すような研究や本質を突くような手法の提案に、困難であろうとも挑んでいただきたいと思います。そのためにも研究テーマを何に据えるかは重要です。私も本質を突く研究をしたい、一山当てたいと思っていながら、実はその山の登り方も、どこから登ればゴールへたどり着けるのかも分かっていません。また、私は実験室を飛び出してフィールド調査もしていますが、このやり方が正しいとも限りません。つまり、本質を突く研究はどうしたらできるのか、その答えは私自身もいまだ見つかっていないのです。

■参考文献

- (1) E. Demir-Lira, L. R. Applebaum, S. Goldin-Meadow, and S.C. Levine: "Parents' early book reading to children: Relation to children's later language and literacy outcomes controlling for other parent language input" *Developmental Science*, Vol.22, No. 3, pp.673-685, 2019.
- (2) 樋口・奥村・小林: "幼児のひらがな読み・書き習得に及ぼす文字特性の影響," *音声言語医学*, Vol.60, No.2, pp.113-120, 2019.
- (3) 坂本・奥村・南・麦谷・伊藤・小林: "乳児院入所児における言語発達の特徴 語彙数・語彙獲得順序・品詞カテゴリからの分析," *信学技報*, Vol.119, No.394 (HCS2019 54-84), pp.157-161, 2020.

挑戦する 研究開発者たち CHALLENGERS



尾島優太

NTTデータ
技術革新統括本部
技術開発本部 IOWN推進室



世の中の「当たり前」 を変革し、社会課題の 解決に挑む

さまざまなデータをサイバー空間上で掛け合わせ、その効果・影響をシミュレーションできるデジタルツインコンピューティング (DTC) はIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の主要技術の1つで、社会課題の解決につながる技術として注目されています。このDTCを独自のスタンスから技術開発するNTTデータIOWN推進室 尾島優太氏に研究開発の概要と研究開発に臨む姿勢について伺いました。



IOWN構想の1つデジタルツイン コンピューティングで未来を予測する

現在、手掛けている研究開発について教えてください。

デジタルトランスフォーメーション (DX)、中でも社会広域・複数業界にまたがるDX (ソサイエティDX) の実現をめざして、デジタルツインコンピューティング (DTC) を応用したサービス基盤技術の開発を手掛けています。

まず、デジタルツインとは現実空間の、ヒト・モノ・コトのさまざまなデジタルコピーをサイバー空間上に表現する技術です。サイバー空間上に現実空間を双子 (ツイン)

的につくり出すことからこう呼ばれています。サイバー空間上でデータ分析や未来予測などのシミュレーションを実行し、その結果に基づく最適な方法や行動を現実空間にフィードバックすることで、街づくりや工場・生産ラインの改善など、社会やビジネスプロセスを進化させることができる技術概念として注目を浴びています。そして、デジタルモデルとして表現されたヒト・モノ・コトに対する複合的な分析によって未来を高精度に予測、最適化するIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の主要技術分野の1つです。DTCはこのデジタルツインの概念を発展させたアイデアで、複数のデジタルツイ

ンを融合させて扱い、都市におけるヒト、自動車、小売店の関係のようにこれまで総合的に扱えなかった組合せを高精度に再現します。

NTTデータは、このデジタルツインどうしを融合させる技術であるDTCを開発・活用し、「未知の組合せ」によって社会がどう進化できるか、未来予測の実現をめざしています（図1）。

DTCはどのようなニーズにこたえるのですか。社会的背景やその意義を教えてください。

私たちは、現在のマーケティングやビジネスにおいて市場や未来を分析する手法や当たり前になされてきたことを大きく変革しようとしています。

まず、デジタル化の急速な進展・高度化により、全世界で年間に生成されるデータ総量は2025年には約163兆GBと爆発的に増大する見通し（IDC Japanの予測）であることから、データは企業の競争力の源泉となる資産として再定義される傾向にあり、データ取引市場を含むデータ流通の仕組みづくりが急速に進んでいます。加えて、多くのビジネスプロセスはさまざまな事象の複合によって成り立っていますから、さまざまな事象の相互作用をどう分析し、シミュレーションの品質・信頼性を高めていくか、その手法には大きな関心が寄せられています。一方で、SDGsが注目される昨今は、企業は自らのビジネス的な成功だけではなく、自らが営むビジネスが環境や市民にもたらす影響をかんがみ、多面的な観点をもって社会との調和を図る

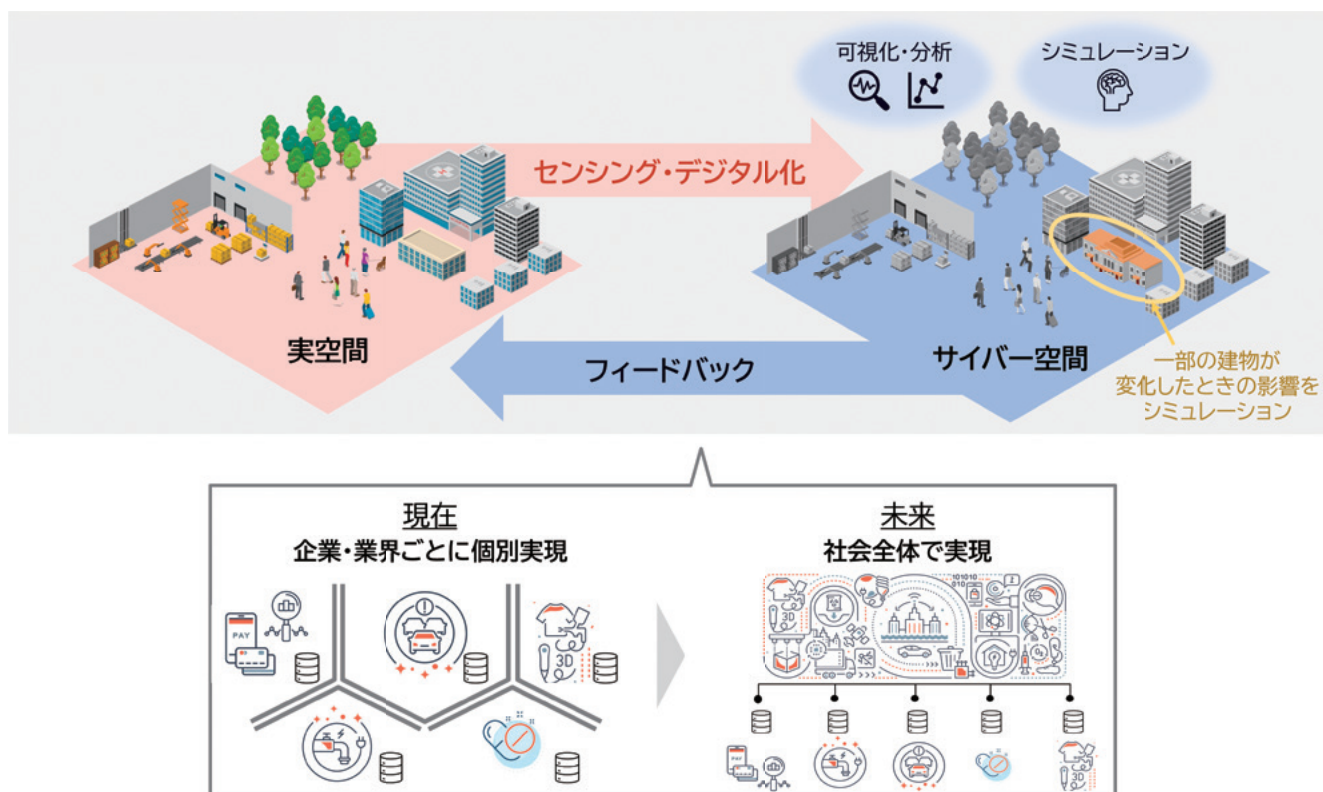


図1 デジタルツインのイメージ



ことが求められています。

こうした背景から、社会全体のDTC化を実現することで、今当たり前だと思っているビジネス手法を変化させ、かつ、社会課題の解決にも貢献できると考えられます。例えば、個別の店舗において、人の流れや天気の詳細データ、飲食店の来客実績データ、SNSデータ等を基にしたデジタルツインを融合して来店予測をし、仕入れや配膳量に反映することで、フードロス改善を実現することができるでしょう。さらにこれをフードサプライチェーン全体でデジタルツインを融合することで、社会全体でフードロス改善を実現するさまざまなサービスが構想できます（図2）。

他にも、予測した結果に基づいて最適な方法や行動を現実空間にフィードバックすることで、街づくりや工場・生産ラインの改善など、社会やビジネスプロセスを進化させることができると考えます。例えば、製造業においては生産ラインの自動化機器導入効果の推定および作業動線などの確認、導入後のスケジューリング最適化、物流業におい

ては稼働率向上のための集配拠点の配置最適化や集配ルート最適化、さらに、不動産業ではデータを用いたエリアごとのマーケット特性理解のうえで、都市設計・テナント呼込計画の策定、小売り・健康サービス業では地域生活者の生活動線、健康活動実績に基づく商圏分析、商品開発を見込めます。

このように、DTCは各業界、業態のビジネス手法を変革することで、結果的にCO₂排出量など、社会全体での最適化が求められる目標の達成も、このDTCによって提供できると考えます。



**行動前に結果が分かるから
最適なデザインを探索できる**

DTCにおけるNTTデータの独自性や事業インパクトについてお聞かせください。

スタートアップ企業や研究所など、さまざまな企業や団

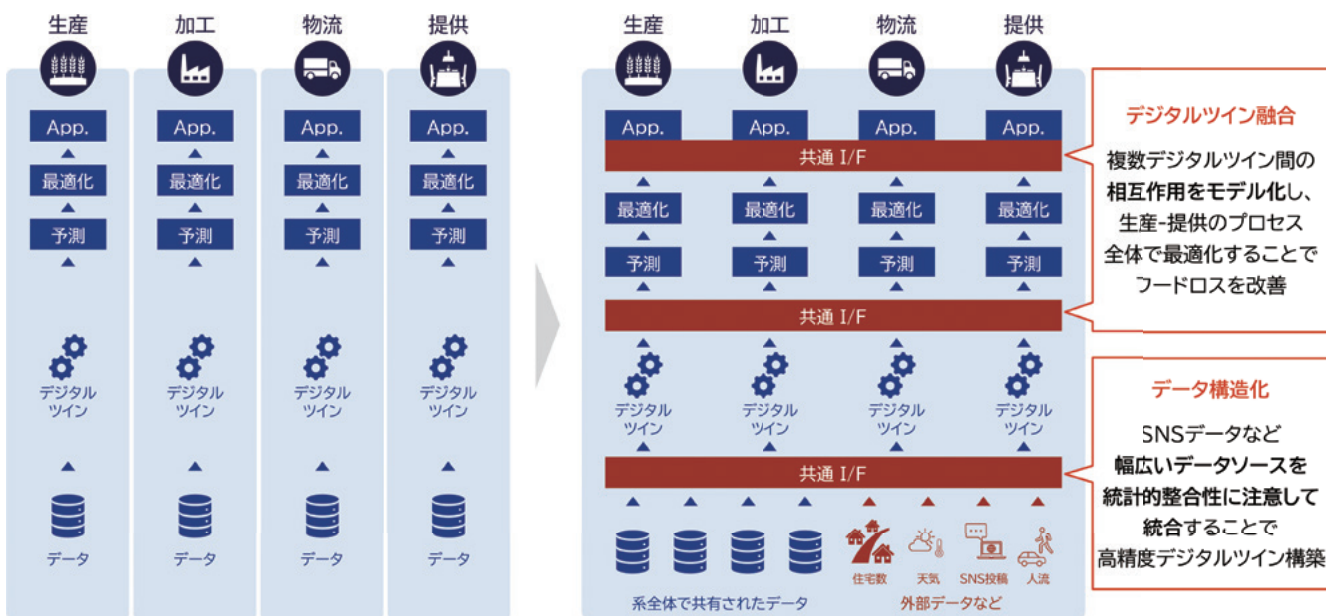


図2 フードロス改善のためのデジタルツイン融合イメージ

体がこのデジタルツインに取り組んでいます。その中で、私たちの独自性が光るのは「サイバーファースト」であることです。一般的なデジタルツインでは、最初に現実空間からデータを収集し、そのデータを基にサイバー空間にツインをつくり上げますが、サイバーファーストなデジタルツインはその逆です。理想とする世界観や要求を、まずはサイバー空間上に仮想的に組み上げて、そこでシミュレーションを繰り返し、デザインした仕組みを現実空間に実装していきます。さらに現実空間での動作結果をリアルタイムにサイバー空間へフィードバックすることから、常に改善し続けていくことができます。

最大のメリットは「実際に行動する前に結果が分かる」ことや「最適なデザインを探索できる」ことです。例えば、物流拠点を新規に設置する場合、コストや稼働率を最適にするために場所はどこが適切か、配送手段を変えた場合はどうか、悪天候の場合の影響はどうかなど、さまざまな条件を組み合わせサイバー空間で何度でも試行錯誤できるため、より低コスト・短時間で適切な結果を導くことができます。

ただ、このような素晴らしいメリットを実現するためにはデジタルツインサービスが、現在抱えている課題を解消しなくてはなりません。例えば、現段階では、事例が整理されておらず提案素材が乏しいことや、ユースケースごとにカスタムでAP（アプリケーション）を開発しているため生産性が低いこと、そして、個別のデジタルツインであることから局所最適化されているため、現状は限られたデータソースからつくられた不完全なデジタルツインとなっています。

この現状を打破することを目的に、私たちは複数のデジタルツインを融合した全体最適化サービスを、効率的に開発できる技術開発に挑んでいます。私はそのフレームワーク開発、つまりデジタルツイン開発のための技術やプラットフォームの整備を担っています。

実現に期待が高まります。具体的な計画をお聞かせください。

私たちのめざすDTCサービスでは次のことを実現しま

す。まず、ビジネス課題に応じ、コンポーネントを容易に組み合わせることでデジタルツインAPを開発できる方法論とアーキテクチャの開発です。NTTデータの独自性としてはデジタルツイン融合技術とデータ構造化技術を用いる点です。デジタルツイン融合技術を用いて、複数デジタルツイン間の相互作用をモデル化し、全体最適化したい「系」のデジタルツインを合成します。そして、データ構造化技術を用いて、複数データソースを、統計的整合性を満たすように統合することによって高精度なデジタルツインを構築します。

現在は、NTTデータが2022年4月に立ち上げた「デジタルツイン共創プログラム」において、お客さまやパートナーが保有するデータに加えて、地図情報や気象情報のようなオープンデータや人流・交通流データ、ヘルスケアデータなどのデータを掛け合わせた高精度なデジタルツインを試作し、その技術面や事業面での有効性を検証しているところです。デジタルツイン技術のエキスパートがお客さまやパートナーをサポートし、デジタルツインの試作・検証活動を実施しています。

私たちが描いているシナリオでは、イベントによる人流・交通流変化による、混雑解消やイベント効果予測・効果検証をデジタルツイン上で実施するパイロットを年度内に実施予定です。

もちろん、一度でうまくいくとは思っていません。融合する実際のデータはノイズが乗っているなど、想定と違う部分もありますから試行錯誤は必至です。また、得られたオリジナルデータの価値を活かしつつ、無限にある選択肢の中から最適なデータを抽出して正しい予測の得られる組み合わせを検討すること、処理に時間がかからないようにデータのサイズにも配慮する必要があります。さらに、自社のデータだけではなく、社会全体の最適化をめざすには、各社、各業界が保有するデータを提供していただけるように努めなければなりません。現在は、目標達成のみならず、各社が自社のデータを強みとするために隠匿するのが当た



り前の状態を覆し、社会的責任を果たすための体制や基盤づくりに注力しています。



「縁の下の力持ち」も 表舞台に立つべきである

研究開発に臨む際に大切にしていることを教えてください。

お客さまのアイデアを実現するために、属人的ではなくシステムとして、確たる根拠や最善策を提示することは価値のある活動であると自負しています。このため、事業会社特有ともいえますが、まず、精度の高いサービスを提供するだけでなく、お客さまに提供するサービス等をいかに分かりやすく説明し、ご理解いただくかに心を砕くことを大切にしています。

これは後輩にも話していることです。お客さまや同僚、専門外の方等、相手に応じて分かりやすく表現していくことをとても大切にしています。言葉の通じる居心地の良い場所ばかりにいることや、自分が手掛けている研究開発を内に閉じ込めていても何も発展しません。

ところで、私は研究開発職に就きたくてNTTデータに入社しました。理由は2つあります。1つは研究室にこもって同じテーマを追求するよりも、お客さまと距離の近いところで自分の専門性を活かしているいろいろな仕事をするのが好きなことです。もう1つは研究成果が目に見えて分かるかたちで社会に活かされることです。研究開発を扱う企業は数多くありますが、その中でもNTTグループであればより大きな事業に取り組めますし、社会に大きなインパクトを与えられると思いました。さまざまなフィールドでビジネスを展開しているNTTデータは、その思いを実現することができる会社です。大げさかもしれませんが、事業部と話をしていると未知なる世界を知り、新しい発見がありますから、テーマもたくさんありすぎて大変なくらいです。

こうした日々の業務において、私が大切にしているのは

目の前の課題に一生懸命になるだけではなく、将来を見据える姿勢を失わないことです。この姿勢で研究開発に臨めば、日々悪戦苦闘していても夢が広がるからです。そして、クリティカルシンキングも大切にしています。世の中にあふれる情報は玉石混交ですから、鵜呑みにせず真偽を確かめることにも努めています。

今後はどのように研究開発に臨みますか。

まず、専門性を活かしていきたいですね。NTTデータは事業会社という特性も手伝って、マネジメントをめざす方も結構多いのですが、私は自分にしかない知見を活かして広く社会に価値を提供していく研究開発のスタイルをめざしたいと思っています。私はこれまで研究開発者は縁の下の力持ちであると思っていました。研究開発者には日の目を浴びることを目標としない人が一定数います。しかし、私は「研究開発者は日の目を浴びるべき」だと思うのです。縁の下の力持ちとして表舞台に立たなければ、世間には研究開発者がどんな仕事をして、何をしているかは分かりませんし、正体が分からないから興味を持たれることも仕事の醍醐味が伝わることもありません。そうすると、社会課題の解決につながるような仕事をしているにもかかわらず、真の評価が得られにくいのではないのでしょうか。

例えば、社会にインパクトを与えた研究開発者の伝記を読んだりしていると、生きている間には理解されないまま亡くなる方もいますよね。そういう方の職人肌ともいえるのでしょうか、人に理解されなくてもいいという考えは本当に尊重します。ただ、私は自分の意見を発信したいと思います。研究開発者も社会の一員であり、社会を支える欠かすことのできない存在です。研究開発者も表舞台に立ち、どんな仕事をしているかを表現する力をつけて、表舞台に立つことで「理系・開発職の魅力」が伝わって、研究開発職の人気も高まるのではないかと考えています。

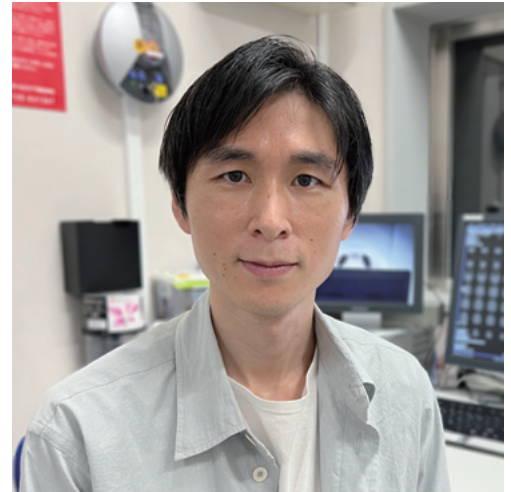


堀川友慈 特別研究員

共生社会の未来を描く「AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解」

近年多くの社会的な場面でAI（人工知能）による深層学習の技術が登場していますが、脳解析の研究分野においてもこれらの技術を用いて研究が進んでいます。今回は深層学習技術と脳情報デコーディング技術を組み合わせて共生社会を実現する「AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解」の研究について、堀川友慈特別研究員にお話を伺いました。

◆PROFILE：2013年奈良先端科学技術大学院大学博士課程修了。博士（理学）。2021年、日本電信電話株式会社に入社、NTTコミュニケーション科学基礎研究所に所属。2022年よりNTTコミュニケーション科学基礎研究所特別研究員。脳を模した計算モデルと脳情報解析技術の融合の研究に従事。第33回電気通信普及財団賞（テレコムシステム技術賞）、神経回路学会論文賞等を受賞。



AIと脳情報解析技術を組み合わせて さらなる脳情報の理解へ

◆「AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解」の研究内容について教えてください。

「AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解」では、近年多くの実用的場面においても用いられている機械学習に基づくAI（人工知能）モデルと、脳に符号化された感覚刺激の情報を解読する脳情報デコーディングの技術を組み合わせて、脳のメカニズムについて理解を深めることをめざしています。AIモデルの代表ともいえるDNN（Deep Neural Network：深層学習）というのは、近年脳の研究分野において今まで以上に一層大きな影響力を持つようになっていますが、これに私自身が研究を続けてきている脳情報デコーディングという、脳の信号を統計的に解析し脳に表現された情報を読み解く技術を組み合わせることで、より深い脳の理解が得られないかと研究を進めています（図1）。

私が研究を始めた当初、脳情報デコーディング技術は「画像を見ているときに計測した脳活動を解析することで、見ている対象がヒトの顔なのか家の画像なのかを脳活動から当てましょう」というような、限られた予測対象に対するシンプルな分類課題に適用することが主流でした。しかし技術が発展していく中で、ヒトの脳の情報処理方式に近いAIモデル（DNN）の信号を解読対象とすることで、従来以上に多様な対象を解読するアプローチが実現できるのではないかと考えました。

◆「AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解」はどのような方法で行うのでしょうか。

具体的な方法としては、脳の活動を画像化するfMRI（functional Magnetic Resonance Imaging：機能的MRI）のデータと脳の情報処理方式を模したDNNモデル（機械の脳）を使って、ヒトの脳と機械の脳の間で情報表現の比較をしたり、機械の脳を使ってヒトの脳を解析したりする方法で研究を進めています。現在はこの方法に基づいて、単純に「見ているものがヒトか車か」ではなく「ヒトが車に乗っている」という複数の要素の関係性のような、さまざまな知覚的要素が脳でどのように組み合わせられて表現されているのかを研究しています。つまり1つひとつの知覚対象についてだけでなく、それぞれの要素がどのような関係性にあるのか、どのように交互作用しているのか、ヒトが認識する全体的な意味の情報が脳でどのように表現されているか、ということの研究対象としています。

また私の以前の研究の1つでは、脳の中でさまざまな感情の情報がどう表現されているのかということ調べていました。ヒトの感情反応は「悲しい」「楽しい」などの基本感情と呼ばれる少数のカテゴリーだけではなく、より細かく多様なカテゴリーによってより正確に記述されることが実験的に示されてきており、例えばネガティブな感情を例にとっても「恐怖」「戦慄」「嫌悪」など、より細分化されたカテゴリーに分類することができるという研究結果があります。私の研究では、そのような感情の情報が脳でどう表現されているかを、人が動画に対してつけた評価スコアを基にして研究していましたが、このような研究対象に対しても、今後DNNモデルなどの機械の脳を活用したアプローチが有効になる

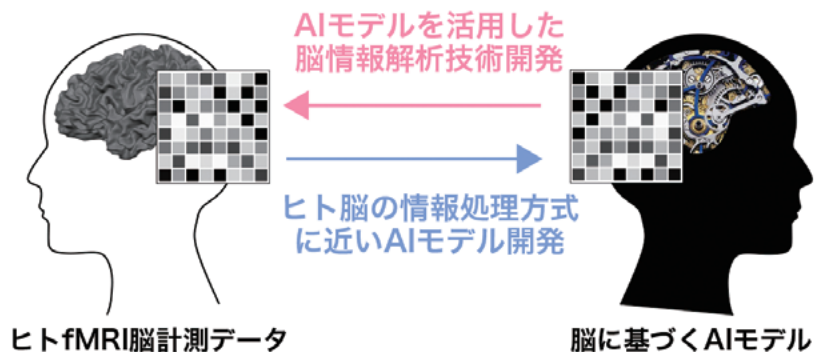


図1 AIモデル表現を利用した脳情報表現の理解イメージ

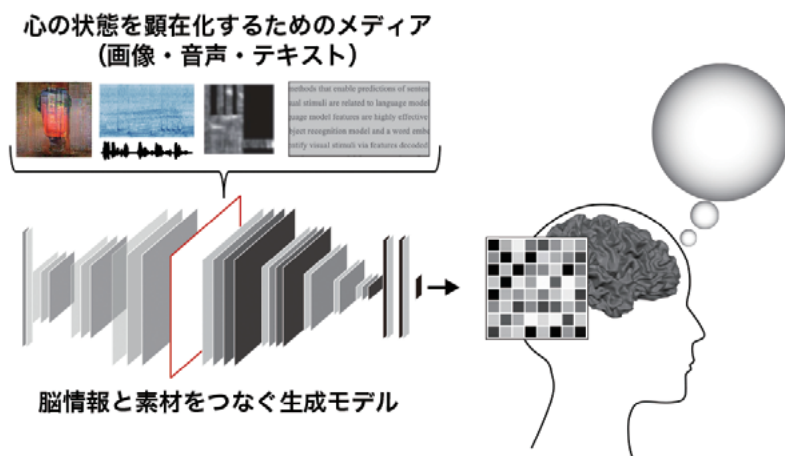


図2 研究のゴール：意図した情報を脳情報ベースの最適刺激生成で引き出す

ことが期待されます。

図2で示した研究のゴールでは、脳のデータに基づいて、特定の脳状態を説明する最適な画像・音声・テキストなどを生成する技術を開発することで、意図したイメージや感情などを引き起こす素材を生成することをめざしています。例えば感情の情報が脳でどのように表現されているかを特定できれば、感情に対応する脳活動のパターンを強く引き起こす画像を脳のデータとDNNを使って生成することで、ねらった感情を惹起する画像生成を実現することができるかもしれません。

脳のデータに基づいてヒトが見ている画像を再構成するという研究は、私が以前所属していたラボで先駆的に研究が進められており、初期の研究では文字や図形などの粗いパターンを画像として見ているときの脳活動データから、見ている視覚像を再構成することに成功していました。その後の私がかかわった研究では、DNNの技術を用いてより高解像度かつ自然な画像に対しても視覚像を可視化することに成功しています。従来の研究で再構成できていたのは10×10ほどのモノクロのピクセル情報でしたが、最近の研究では色や物体の形状、動物の目や顔などの細かいパ

ターンを反映したような200×200ほどの解像度の画像を再構成できるようになっています。この精度を実現するうえで有効だったのは、ヒトの脳と機械の脳（DNN）がどちらも視覚入力情報を階層的に処理しているという知見を活用したことです。脳では視覚情報が階層的に処理されており、例えば低次の脳部位では「どの傾きの線分か」というような単純な視覚特徴が、より高次の脳部位では複雑な形やパターンを持つ特徴が、というように階層的に複雑さの異なる情報が表現されていることが知られています。同様に脳のモデルであるDNNの各階層でも、徐々に複雑さを増した特徴に関連する情報表現を獲得できていることが分かっています。そこで、ヒトの脳と機械の脳のこのような階層表現の類似性を活用し、ヒトの視覚野の活動に表現される低次から高次までの階層の情報をすべて利用して画像を再構成することで、高い精度を実現できたと考えています。

こうした研究を行ううえで私がつけていることは、自分自身が「データの偶然のばらつきに騙されないようにする」こと、そして「本当に脳に表現されている情報が何なのかを正しく把握する」ことです。特に脳の研究では、データが高次元であったり

複雑な解析プロセスを伴ったりするため、どこかの解析のパラメータを少し変えるだけで一見ポジティブな結果を見出すことができ、危険があります。実験データが偶然ポジティブな結果を示しているのか、あるいは本当に真の脳の実態を表しているのかを見極めるのは確かに判断が難しいですが、自分自身が騙されないようしっかりと気をつける必要があります。そのためには「本当に正しい情報をとらえているのか」を意識するとともに、実験計画やデータ収集、統計解析の手続きを正しく真摯に実行していくことが重要であると認識しています。また、近年のAI技術の発展により、脳から解読した情報をうまく修飾することで、例えば脳からの画像再構成の結果を写真のように綺麗に見せることも可能になっています。脳に表現されている情報を解釈しやすいかたちで取り出す（翻訳する）ことは応用的に重要な意義がありますが、一方で脳の理解を目標としてDNNを活用していることを考えると、得られた結果のどこまでが脳の情報に基づいていて、どこからが付加的に修飾されたものなのかを正しく理解しておくことは重要だと思います。

脳メカニズムの理解で インクルーシブな社会を実現

◆「AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解」の技術を用いた今後の展望について教えてください。

今後の展望として、ヒトの心で表現されている主観的体験の情報を取り出して、可視化し外在化するという研究テーマに関連した新しい技術の開発や、ヒトの脳の情報を定量的に評価する技術を応用に利用する方向性も発展させたいと考えています。例えばここ10年くらいの比較的新しい研究では「りんごを思い浮かべてください」と言ったときに、みずみずしい表面や赤色をすごく鮮明にイメージできる人がいる一方で、イメージが全くできない「アファンタジア」という特質を持った人たちがいることが分かってきています。私は今まで心的イメージを可視化したり、心的イメージが脳でどのように表現されているかを定量的に評価したりする研究を進めてきたので、同じようなテクニックを用いて、



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)

アファンタジアの人たちが心的イメージを生成しようとするときに、脳がどういう状態にあるのかということを知りたいと考えています。イメージができない人たちの脳の状態を明らかにしてその知見を広めていくことで、アファンタジアという特質に対する社会からの理解を得ることができ、そうした理解が進むことでよりインクルーシブな社会が実現されることを願っています。

◆研究者や学生の皆さんへメッセージをお願いします。

私は現在、NTTコミュニケーション科学基礎研究所の人間情報研究部 感覚表現研究グループに所属していますが、NTTは研究を進めるための後押しが充実しているところが良いところだと思います。例えば自分が脳の計測に使っているMRIは強力な磁場を発生させる装置で、被験者に画像や音声として刺激を提示する場合には、高磁場環境でも利用できるような非磁性の特殊な機器を使う必要があります。また、試行錯誤を重ねながら多くの実験を繰り返し、多くのデータを収集するためには実験費用も高額になりますが、私がNTTに移ってきてからの1年で、それまでほとんど何もなかったそれらの実験機器の整備や実験費用のサポートをしてもらったり、脳解析のために必要となるソフトウェアやハードウェアを惜みなく調達してもらっており、そのような環境の中で自由にどんどん研究を進めることができるのはNTTの強みであると感じています。そうした研究環境の中では「論文が通ったときに嬉しい」という気持ちや「研究対象に対する新たな理解を得られた」ときの喜びはもちろんありますが、私自身はそのような喜びのために日々頑張っているというよりは、例えば夜寝るときに「明日これをやったらうまくいくんじゃないか」「よし今日はこのアイデアを試すぞ」と考えてワクワクして毎朝走り出したいような気持ちで研究所に向かう生活が続けられることが、研究のやりがいであり楽しさの1つです。長い研究人生の中で、毎日楽しみながら研究ができているというのは、NTTの研究環境があるおかげだと思っています。

一方で社会がうまく回っていないと、研究に対する国の予算などが削られることがありますし、一般企業で働いている人や世間の理解を得られないことなどもあります。また研究者になりたいという若い人たちが少なかったり、優秀な研究者が研究を続けられなかったりするような、苦しい状況も多くあります。しかし私は、研究というのは時代にかかわらず本当に価値のあることだと信じています。多くの人がさまざまなアイデアに基づいて正しい方法で研究することは価値があり、たとえある研究テーマに対して面白いと思ってくれる人が少なかったとしても、1人ひとりの研究の積み重ねが未来の世界をつくっていくのだと思います。どんな小さな研究でも正しい方法で研究を積み重ねていくことには価値があると信じています。自分の価値を信じて頑張っていきましょう、という自分に対するエールとともに、皆さまへのメッセージとさせていただきます。

dポイントクラブでお客さまに付加価値を提供

2022年7月1日にNTTドコモにスマートライフカンパニーが誕生した。この中で、顧客とのエンゲージメントおよびサービスのセールスや販促を強化していくため、ポイント・決済をはじめとする各種スマートライフ事業のマーケティングを横断的に担うコンシューママーケティング部伊藤邦宏部長に、プレイヤーが乱立するポイントビジネス市場におけるドコモの取り組みや今後の展望を伺った。

dポイントクラブは顧客起点の発想・行動の基盤

◆コンシューママーケティング部とはどのような組織なのでしょう。

新NTTドコモグループでは、これまでの法人事業やコンシューマ事業を機能別に統合して、携帯電話サービスを軸に据え、新サービスの拡大、チャネル改革とネットワーク構造の改革に取り組む「コンシューマ通信事業」、顧客基盤の充実を図り、金融・決済やコンテンツ等におけるビジネスの成長ペースの加速に取り組む「スマートライフ事業」、法人ビジネスとしてのクラウドソリューションの拡充を含む新しいサービスポートフォリオを入れ替え、モバイル・固定・クラウドを融合させたサービスをワンストップで提供していく「法人事業」の3つのセグメントを柱に本格的に再スタートしました。

スマートライフ事業では、サービスやプロダクトごとにマーケティング、営業、開発といった機能が分割していたところ、これを機能単位に集約した組織形態に変え、2022年7月より「スマートライフカンパニー」として事業運営しています。この中で、コンシューママーケティング部は、コンシューマユーザを対象としたデジタルマーケティングやプロモーション、およびその基盤となるdポイントクラブの企画・推進等をミッションとしています。

◆具体的にどのような事業をしているのでしょうか。

dポイントクラブ会員から得られるデータ等を活用し、会員向けの最適な情報提供やサービスのレコメンドを、リアル・デジタルの接点を活用しながら統合的に行うことで、会員1人ひとりにとっての顧客体験のさらなる向上に取り組んでいます。

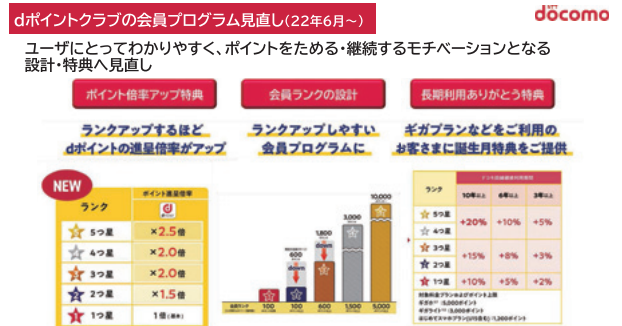
dポイントクラブには計約9040万の会員がいます。皆さんご存じのように、dポイントは、750ブランドのdポイント加盟店のご利用やdカード、d払いのご利用、ドコモのケータイ電話のご利用等でポイントがたまり、たまったポイントはdポイント加盟店等での利用や、ケータイ電話を購入いただく際やケータイの利用料金等に利用することができます。

コンシューママーケティング部は、dポイントクラブという顧客基盤に加え、dメニュー・dマーケット等のオウンドメディアやリアルチャネルでのユーザとの接点、会員から得られるデータの分析やリサーチ機能、これらの機能を活用し顧客起点でマーケティングを行うための機能を、1つの組織で有しています。会員から得られるデータには、会員の属性に関するデータのほか、サービスの利用履歴、dポイントの付与・利用の履歴等、多種多様なデータがあり、これらのデータをうまく活用することで、お客さま1人ひとりに最適なサービスを届けるための「ユーザ理解の深化」と「マーケティングの強化」が実現できると考えており、当社の事業・サービスはもちろん、パートナーの売上拡大にも貢献できるものと考えています。



伊藤邦宏部長

このようにdポイントクラブの顧客基盤には、活用価値のある多くの情報を有しています。この価値のさらなる向上には、より多くの、より精度の高い情報をより一層集めていくことが必要であり、このため、会員数増に向けた活動はもちろんですが、さらに、dポイントの利用頻度を高めていくことが重要です。その代表的な取り組みとして、2022年6月に、会員ランクに応じたポイント倍率アップ、ランクアップしやすい条件、長期利用特典の見直し等、dポイントクラブの会員プログラムを抜本的に見直しました(図1)。



顧客起点の発想で、お客さまと一体となって価値の向上を図る

◆世の中には多くのポイントビジネスがありますが、市場環境について教えてください。

ポイントビジネスだけでも、Ponta、Tポイント、楽天ポイント等、まさに乱立状態です。さらに10月から、PayPayも共通ポイントサービスを開始する予定であり、さらに競争が激しくなっています。

加えて、単一の会社と契約しているお客さまの多いケー

タイ電話とは異なり、ほとんどのお客さまは複数のポイントカードを保有しています。このような中で、お客さまのdポイントの利用頻度を高めるには、お客さまにメインのポイントとして選んでいただくことが重要です。そのため、利用いただける加盟店を拡げていくことや、dポイントがおトク、便利であるということをしかりと実感できるようにしていくことはもちろん、消費・購買におけるおトク・便利だけでなく、社会貢献等のdポイントならではの新たな価値を提供していくことが必要になります。

また、PayPayや楽天は、d払いやdカードといった決済サービスにおいても競合関係にあるほか、楽天は楽天市場から、PayPayはQR決済から、といった入口は異なるものの、各社がそれぞれの経済圏を築こうとしている中では、サービス単位での競争にとどまらず、経済圏レベルでの競争を意識していかなければなりません。

◆今後の展望についてお聞かせください。

従来は、お勧めしたいサービスやコンテンツごとに、それぞれのターゲットとなるお客さまに対して、それぞれがアプローチするといった、個別最適でのマーケティングを展開してきました。コンシューママーケティング部にマーケティングの機能が集約されたことで、今後は、お客さまに最適なプロダクトの組み合わせを、最適なタイミング・接点で提案・提供する（顧客起点の提案・提供）といった全体最適のマーケティングを行うことで、お客さまへの良質な体験を実現するとともに、マーケティング効果の最大化を図っていくことができると考えています。こうした取り組みをより洗練・加速させるために、2022年7月1日より、外部の専門家をマーケティングディレクターとして招聘しました。

さらに、今後は、消費・購買といったマーケティング領域だけでなく、社会課題の解決にも取り組んでいきたいと思っています。例えば位置情報等を活用した行動推定により、お客さまへ移動経路や移動時間をずらすためのレコメンド（ex. ショッピングモールへの立ち寄り等）を行うことで、渋滞の抑制や、渋滞解消に寄与するといったことも可能となります。また、より多くのデータが集まってくれば、ヘルスケア等の領域においても、お客さまのWell-beingへの貢献も可能となり、これは医療費の抑制にもつながると考えます。

このように、dポイントクラブをベースとした顧客基盤の活用により、付加価値が向上・拡大し、社会課題解決や社会貢献につながるとともに、より多くの種類・量のデータの収集が可能となり、それがさらに顧客基盤の拡大とデータの質・精度の向上につながることで、さらなる付加価値が生まれる、といったエコシステムが構築されていきます。このエコシステムを早期に構築・強化すべくチーム一丸となって取り組んでいます（図2）。

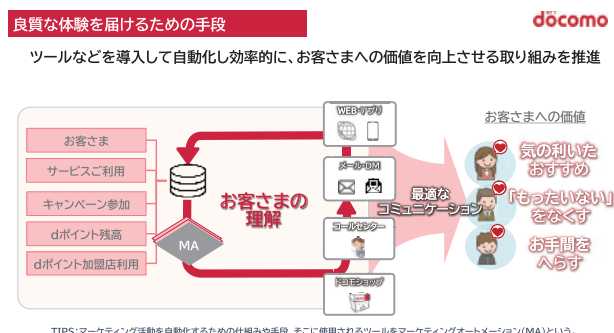


図2 良質な体験を届けるための手段

ア・ラ・カルト

■外部からの風

7月1日から外部の専門家がシニアマーケティングディレクターとして就任しました（写真）。コンシューママーケティング部の全社員を対象に、毎週3～4時間のオンラインミーティングが行われ、顧客起点の考え方や他社の事例紹介等、フラットで活発な議論が行われているそうです。外部の人がリーダーになることで、良い意味でカルチャーショックを受けるという話をよく聞きますが、それ以上に客観的な視点からのアドバイスや、新鮮な感覚の情報、新しい気付き等勉強になることが多く、社員の中にも、自分のマーケティング力上がっているという意見も出てきているようです。

■dポイントでES（Employee Satisfaction）向上

リモートワークが広く浸透してきており、コンシューママーケティング部に所属する約900人のうち約1割程度しか出社していないそうです。キックオフや定例会議等により、メンバーがオンライン上で一堂に会して議論や懇親会をするといったことはNTTドコモに限らずさまざまな組織で行われているかと思いますが、よりその文化が定着している印象です。さらに、ここはdポイントクラブの総本山です。過去には、ドコモ全体で、歩数計アプリを利用してチームごとの歩数対抗戦を行い、上位チームに賞品としてdポイントをプレゼントするといったことも企画されていましたが、コロナ禍で難しくなりました。今後も社員のES向上やコミュニケーションの活性化のため、例えば、dポイントを使って社員どうして感謝を伝え合うようなことも考えているそうです。



写真 西井敏恭さん

ユーザ行動の時系列予測モデルを利用したレコメンドエンジンの開発

近年、WebにおけるBtoCサービスにおいて商品・コンテンツのレコメンド機能の提供が主流となっています。レコメンドエンジンはさまざまな種類がありますが、多くは人気ランキングに基づいたものであり、これらはユーザのサービス利用の文脈を正しく理解できていませんでした。ユーザの興味を惹くレコメンドを提示するためには、レコメンドエンジンがユーザ文脈を理解し、次に興味を持つコンテンツを予測する必要があります。そこでNTTドコモでは、購買してもらう確率を上げることを目的に、行動を時系列で解釈して予測を行う深層学習アルゴリズムを活用したレコメンドエンジンを開発し、社内サービスに適用しました。これにより、高精度なレコメンド提供が可能となりました。

はじめに

近年、EC (Electronic Commerce) サービスや動画配信などのBtoC (Business to Consumer) サービスでは、商品のレコメンドを行うことが主流となっています。NTTドコモのサービスの多くについても、「ユーザへのおすすめ」としてレコメンド機能が提供されています。レコメンド手法においては、人気ランキングを基にした単純な手法から、機械学習を用いた手法まで幅広く提案されており、特にここ数年では市中で簡単に利用できる機械学習ライブラリが配布されているほか、クラウドサービスを用いたレコメンドサービスが提供され始めています。

レコメンド機能は数年前より提供されていますが、既存では、人気ランキングをベースとしたレコメンドが多く行われていました。人気ランキングベースは、大多数のユーザの嗜好をとらえているため一定のクリック率を稼げますが、異なるユーザ間で同一の商品がレコメンドされるため、人気コンテンツを好まないユーザには響かず、加えて出ているコンテンツが固定化されるため、他の多くの商品はレコメンドされず、ユーザが新しい商品を発見しにくいという課題がありました。また、ユーザは通常、一連のWeb回遊の中で欲しい商品をクリックするという手順を踏むため、レコメンドサービスにおいては、趣味嗜好よりも直前にどのようなコンテンツをクリックしたかという時系列のデータが重要になります。例えば、ポータルサイトで食料品を探しているユーザには、普段の趣味嗜好にかかわらず、Web回遊をしている場面では食料品が提示されることが望ましく、生鮮食品を直前にクリックしているユーザには、続けて生鮮食品を提示することでユーザ所望のコンテンツを推薦することができるようになります。

そこでドコモでは、時系列予測のアルゴリズムであるRNN (Recurrent Neural Network) をレコメンドに適用し、ユーザの長期・短期での興味の推移をとらえることを可能としました。本技術では、直近の興味のあるジャンルを主にレコメンドするほか、定常的に興味があるジャンルも共にレコメンドすることで、パーソナライズしつつ状況に合わせたレコメンドの提示が可能となり、クリック率向上につながりました。ここでは、実際に適用したレコメンドアルゴリズムとサービスでの効果検証について解説します。

RNNのレコメンドへの活用

■ RNN概要

RNNは、再帰型ニューラルネットワークと呼ばれ、時系列データなどの連続的なデータのパターンを認識するように設計されたニューラルネットワークのモデルです⁽¹⁾。従来の一般的なニューラルネットワークモデルでは、固定長の入力層、出力層とその間に中間層が与えられます(図1)。例えば画像認識タスクでは、実際の画像を画素単位で分割し、画素値を入力層として与え、出力層では分類対象のカテゴリを出力します。この場合、入力層は画素数、出力層は分類パターン数となり、それぞれ1つの値となるため、各ノードは固定長として与える必要があります。

一方で、現実のデータは必ずしも固定長で与えられるわけではありません。例えば、文書予測などのタスクの場合、入力としては文章が与えられることとなりますが、画像のような固定長でないため、上記のようなモデルでは表現することができません。そこで、可変長のデータを取り扱えるように改良されたモデルがRNNです。RNNでは、可変長データの各地点を時系列として扱い、内部(中間層)に状態という変数を保持します(図2)。入力データに応じて状態が変化していき、その状態が次の時系列ステップに

* 本記事は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol. 30, No. 1, 2022年4月)に掲載された内容を編集したものです。

伝搬していきます。そして、状態に応じた値が出力層に提示されます。このように、状態が時系列で伝搬していくというモデルとすることで、可変長データを入力とする対象に対してニューラルネットワークを適用することができます。

■RNNの Recommend への適用

上記RNNは、文章認識や機械翻訳などの文章をターゲットとするタスク、および音声認識などの音声をターゲットとするタスクに利用されることが多く、与えられた入力値に対してどのような出力値が与えられるべきか、というデータをネットワークに学習させることで、新しい文章・音声に対して所望の出力値を得ることができます。このような

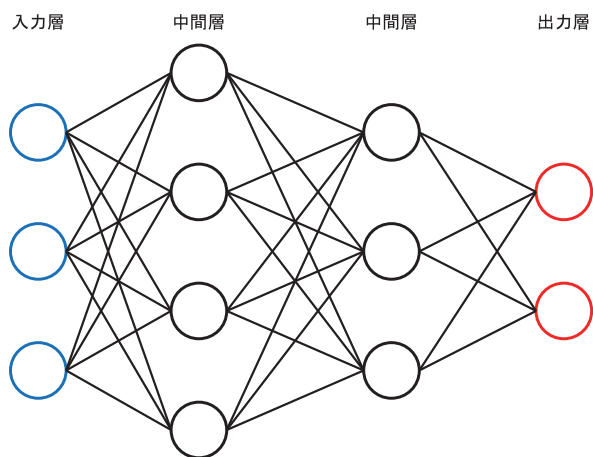


図1 一般的なニューラルネットワーク

特性から、RNNは時系列予測にも用いることができます。入力と出力の値を同一にして学習させることで、特定の入力を与えられたとき、次にどのような値が来るかを予測させるモデルを構築することができます⁽²⁾。

近年では、RNNの時系列予測タスクを Recommend に適用する事例が増えています。1つ当りの入力値を商品クリック・動画視聴といったユーザ行動として定義し、出力値を同様にユーザ行動として与えることで、ある商品・動画に興味を持ったユーザが、次にどのような商品・動画に興味を持つのかユーザの興味（状態）の遷移を予測することができます（図3）。加えて、そのときのユーザ状態に合わせた Recommend が可能となるため、最新のユーザ行動をモデルに入力することにより、常に最新化された Recommend をリアルタイムに提供することができるようになります。

提案手法

■概要

RNNを Recommend に適用する際、何点かサービスドメインに合わせた改良を行い、さらにユーザの直近の興味に適した Recommend を出力するために、①階層型RNNを用いた長期予測モデルと短期予測モデルを組み合わせた Recommend、②異なる情報を用いた複数のRNNを組み合わせた Recommend、の構築を行いました。

■階層型RNNを用いた長期短期予測モデル

ユーザの興味は一定の周期で移り変わるわけではなく、長期的な興味遷移と短期的な興味遷移があると考えられま

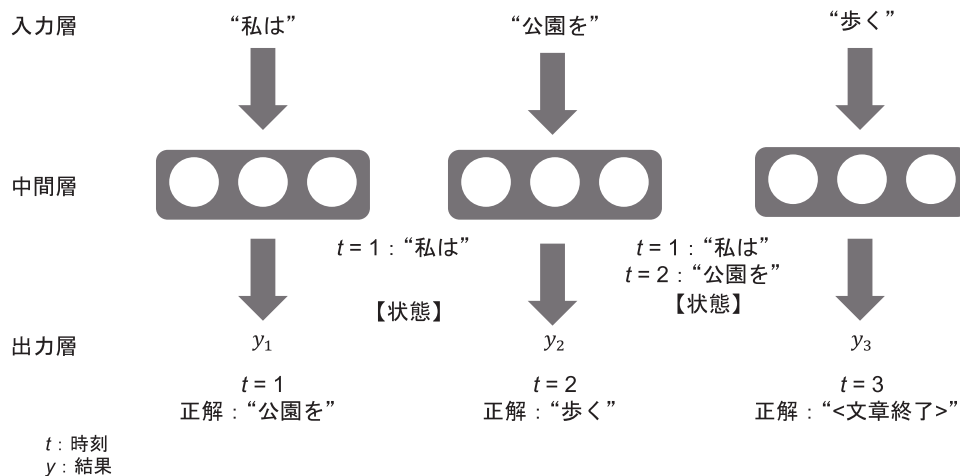


図2 RNNの模式図

す⁽³⁾。例えば、インストール履歴ベースでユーザーにスマートフォンアプリケーション（アプリ）をレコメンドするシステムにおいて、ユーザーがX日にSNSアプリを検索しているが、X+1日には動画配信アプリを検索しているという場合が考えられます。その場合、X日にはSNSアプリをレコメンドし、X+1日には動画配信アプリをレコメンドすることが望ましいが、単純なRNNではX日とX+1日の違いを考慮することができないため、X日の履歴を基にX+1日にもSNSアプリをレコメンドしてしまう可能性があります。そのため、X日の中では当日のインストール履歴を基にSNSアプリをレコメンドし、日をまたいだ

場合はより長期的な興味遷移を予測してレコメンドする必要があります。

上記の長期・短期でのユーザー興味をとらえたレコメンドを実現するために、階層型RNNを提案しました（図4）。前日までの履歴からレコメンドする内容を決定する日別RNNと、前日と当日の履歴を基に決定する同日RNNの二階層に分けることで、前述の課題を解決することができます。

異なる情報を用いた複数RNNを組み合わせたレコメンドモデル

商品・動画をレコメンドする際には、それらの内容を踏

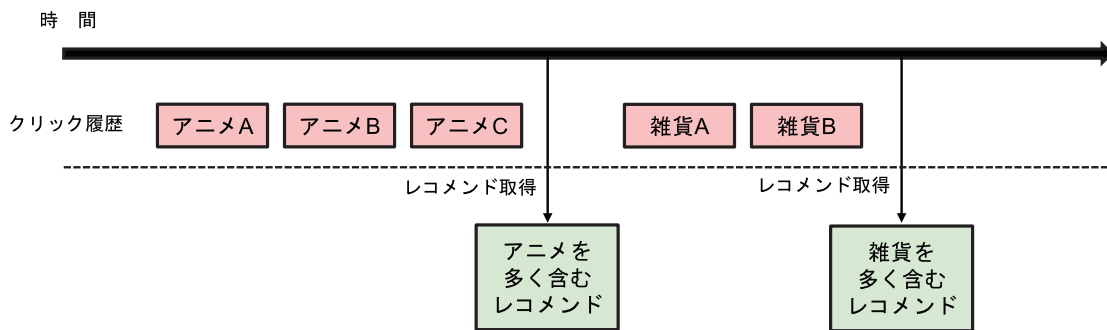
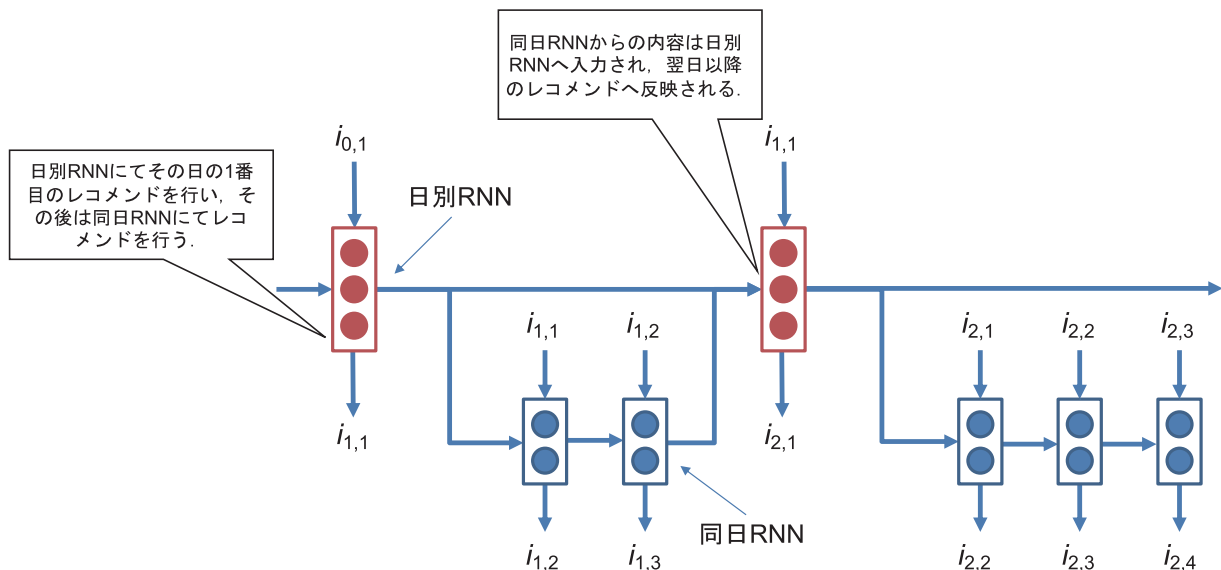


図3 RNNのレコメンド利用概要



i : ある時点におけるユーザーの行動（例：動画クリック、アプリのインストール）

図4 階層型RNNの模式図

まえて考える必要があります。一方で、RNNで扱うデータは数値であり、商品や動画は数値データとして扱われます。一般的に、商品や動画にはコンテンツIDが割り振られており、RNNではこのIDという数値データの時系列遷移を予測します。この手法では、コンテンツID単位での予測となりますが、同一のコンテンツが過去の履歴に存在していない場合、予測を行うことができません。しかし、コンテンツIDが異なる場合でも、類似のコンテンツであれば同じような時系列推移になると考えられるため、商品や動画の内容（カテゴリ）の考慮を行う必要があります。例えば、飲食カテゴリの商品をクリックしたユーザは続けて飲食カテゴリの商品をクリックする可能性が高いと考えられるため、コンテンツID単位での時系列だけでなく、カテゴリ単位の時系列も併せて予測することになります。

上記のレコメンドを実現するために、複数RNNを組み合わせたレコメンドモデルを提案しました。異なる階層のデータを独立して時系列予測するRNNを組み合わせることにより、コンテンツ単位での細かいレコメンドと、カテゴリ単位での大まかなレコメンドを両方実現できることになり、精度とカバレッジの両方が向上します。

NTT ドコモサービスへの適用

上記技術を、実際のNTTドコモサービスに適用して効果検証を行いました。適用したサービスは、ユーザに対してアプリをレコメンドする「おすすめアプリ」と、BtoCサービスの商品をレコメンドするポータルサイト「dマーケット」の2つです。おすすめアプリには「階層型RNNを用いたレコメンド」、dマーケットには「複数RNNを用いたレコメンド」をそれぞれ適用しています。

■おすすめアプリ

おすすめアプリは、ユーザのアプリインストール履歴を基に、ユーザにとって有用と思われるアプリを提示するサービスです。提示したアプリをより多くインストールしてもらうことを目的とし、前述の階層型RNNを用いたレコメンドの効果検証を、実際にユーザに対して行いました。2020年9月より本技術と、履歴によるユーザ特徴量を用いた既存のレコメンドアルゴリズムとのA/Bテストを実施し、既存のアルゴリズムと比較してインストール率 2.7倍を達成しました。

■dマーケット

dマーケットは、「お買い物」「グルメ」など16種類のタブで分類された領域において、ユーザへのおすすめコンテンツをサービス横断で表示するサービスです。複数のサービスにまたがって、ユーザがコンテンツに興味を持ち、ク

リックしてもらうことを目的としてレコメンドを表示しており、また、Web回遊の中で、常にユーザに興味を持ってもらえるよう、表示するたびにレコメンド内容を変化させています。前述の複数RNNを組み合わせたレコメンドの効果検証を実ユーザに対して実施しました。本技術と既存の人気ランキングベースでのレコメンドアルゴリズムとのA/Bテストを行い、2.0%のCTR (Click Through Rate) 向上を達成しました。

今後の取り組み

ここでは、RNNを拡張したレコメンドアルゴリズムについて解説しました。サービスドメインの特性に合わせ、長期・短期双方でのユーザ興味推移をとらえるための階層型RNNを用いたレコメンドと、コンテンツの複数の特徴を活用した複数RNNを組み合わせたレコメンドについて紹介しました。両方のアルゴリズムについて実際のNTTドコモサービス上で効果検証を行い、既存のアルゴリズムと比べての精度向上につながることを確認しました。NTTドコモは、レコメンドアルゴリズムについて、今後も最新技術を追求め、サービスの提供価値向上に向けた取り組みを進め、NTTと共に推進している「5G Evolution & 6G powered by IOWN」の取り組みの加速にも貢献していきます。

■参考文献

- (1) J. Li, L. Deng, R. H.-Umbach, and Y. Gong: "Robust Automatic Speech Recognition: A Bridge to Practical Applications," Academic Press, Oct. 2015.
- (2) D. Wierstra, J. Schmidhuber, and F. Gomez: "Evolino: Hybrid Neuroevolution/Optimal Linear Search for Sequence Learning," Proc. of the 19th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Edinburgh, pp. 853-858, July 2005.
- (3) B. Hidasi, A. Karatzoglou, L. Baltrunas, and D. Tikk: "Session-based recommendations with recurrent neural networks," arXiv preprint arXiv: 1511.06939, Nov. 2015.

◆問い合わせ先

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