



NII Today

National Institute of Informatics News

FEATURED TOPIC

次世代無線ネットワーク

NII Interview

より速く、正確に、どこでもつながる無線ネットワークを目指して

NII Special 1

既存の PC やスマートフォンを活用、
災害時に迅速に復旧用の無線ネットワークを立ち上げる

NII Special 2

無線センサーネットワークの共有化がもたらす新展開

That's Collaboration 1

遠隔地間で実現する「臨場感」あるインターパーソナル・コミュニケーション

That's Collaboration 2

国際交流により研究が加速する次世代無線ネットワーク



INTERVIEW WITH

計宇生

国立情報学研究所 アーキテクチャ科学研究系 教授
総合研究大学院大学 複合科学研究科 情報学専攻 教授



より速く、正確に、どこでもつながる 無線ネットワークを目指して

もし無線ネットワーク技術がこれほど進んでいなかったら——。そう想像すると、今の私たちの社会がどれほど急激に、この技術の恩恵を受けるようになったかがよくわかる。携帯端末による通話やインターネットが代表格だが、さらに人がいない場でセンサーが長時間、稼働してデータを集約するなど、ビッグデータ時代のデータ収集にもかかわるといふ。多くの技術課題を抱えながらも、未来を切り拓く前向きの想いにあふれる計宇生教授に、無線ネットワークの今とこれからを語ってもらった。

山本 通信ネットワークは実際に私たちが利用して身近な一方で、専門用語が多くて理解できない面も多々、あります。まずは今回、採り上げる無線と、有線の比較から復習させていただきますか。

計 赤外線や可視光線、X線など空間を伝わるさまざまな電磁波のうち、波長の長い電波は、テレビやラジオの放送や携帯電話で情報を送るのに広く使われています。回線接続なしに電波を飛ばしていますから、無線電波です。無線は機器と線でつながなくてよいため場所が限定されず、動き回って利用できるのが魅力です。けれども電波が空間を広がって伝わるため、波が減衰して信号が弱くなったり、干渉といって、別の電波と影響したりするのが弱みです。大勢の利用者が限られた電波を使おうとして不具合が起こる点も、大きな問題です。これに対して光ファイバーのよ

うな有線の通信は逆の特徴があります。線につないだ機器は自由に移動できませんが、通信の質はよく、線を太くすればいくらかでも大量の情報を送ることができます。NIIが提供している学術情報ネットワーク「SINET（サイネット）」の場合、全国にネットワークの接続拠点としてノードを設置し、ノード間を高速の有線の回線でつなげています。利用者は研究室のデスクトップパソコンを使う時は有線でつながりますが、外出時にタブレットパソコンで使う時は無線のネットワークアクセスを利用します。最近、増えている自宅の無線LANも同様の形で、ユーザーのアクセス部分を無線ネットワークが担う場合が増えています。

山本 携帯電話も以前は通話だけでしたから、ウェブの情報や動画を扱うことが短期間でこれほど一般的になるなんて、思いもしません

でした。

計 帯域、つまり単位時間に伝送できる情報の量が飛躍的に高くなって可能になりました。けれども、無線ネットワークの容量は有線に比べはるかに小さく、どのように通信のスピードを上げるかが最大の課題といえます。私は電波の周波数や設備の電力などを、限りがある資源ととらえ、どのように利用効率を高めるかという「資源管理」の研究に取り組んでいます。どれを優先する仕組みが、全体として効果的なのか。利用者の公平性を保つ意識も必要です。最適化問題に対して数学的手法も活用することになります。キーワードの一つに多重化があります。違う周波数を使い分けたり、1ミリ秒などごく短い時間で使用者を切り替えたり。携帯電話など端末に複数のアンテナを設置することで通信容量を大きくする「MIMO (Multiple-Input

Multiple-Output: マイモ)」という技術は、空間の多重化に相当します。そもそも移動体端末は電池で動かしていますから、効率向上の考えは常につきまといます。

山本 少し前までは、電車内など移動中は携帯電話の通信がすぐ切れてしまいましたが、この点でもいぶん技術が進んだのだなと感じます。

計 電波は障害物によって反射したり、距離が遠くなって弱まったりするため、不具合がやすいのです。携帯電話のキャリア会社が設置する基地局それぞれがカバーする、数百メートルないし数キロメートルの距離で囲まれた空間範囲をセルと呼びます。セルはどの方向にも別のセルと接している空間で、蜂の巣のハニカム構造をイメージしてもいいでしょう。あるセル内にある携帯電話はそのセルの中心に置かれた基地局とつながり、通信相手とは遠くのセルの基地局を通してつながっています。車や電車などで移動しながら携帯電話を使う時には、隣のセルへ、通信を順に切り替えながら、つながり続けます。通信量や通信環境の変化に対応するためセルの大きさを変えてセル同士を連携させる研究も取り組まれています。基地局は電力を使うので、使用が減る時間帯には休ませ、近隣の他の基地局に働いてもらうことで電力を節約するといったアイデアや、電波の干渉を避けながら、ごく小さなセルをつくり、その中の通信容量を改善するという発想もあります。

山本 解決すべき課題も、その解決法も盛りだくさんなのですね……。

計 世界最大の学会「IEEE (アイトリプルイー)」の通信分野の国際会議では、論文の7～8割を無線ネットワークが占めるほどのです。携帯電話の通信の世代 (ジェネレーション) はGで示され、今の3GやLTE (3.9G相当) が2020年には5Gになるとわれています。より多くの情報をより少ないエネルギーで送るつつ、品質や信頼性を高くしようという流れは今後も続くでしょう。

山本 携帯電話以外の無線技術のトピックスを教えてください。

計 必要な時だけ無線で通信する、インフラを必要としない「アドホックネットワーク」を紹介しましょう。災害時など必要になった時に自律的に動かせる仕組みとして注目されるほか、社会のさまざまな現象を大量データでとらえるビッグデータの収集でも、貢献が期待されています。例えば環境モニタリングのため10円玉大のセンサーを多数、飛行機から森林にまき、ランダムに散ったセンサーがそれぞれ測定と無線通信を行い、それらの結果を集めるというものです。電池消費を抑えるため、大半の時間は眠った状態で時々、センサーが目覚めて測定する、そのような通信手順 (プロトコル) を設計します。私は「通信技術は、人にネットワークの存在を意識させないものが優れたもの」といっています。利用者が気づくのはたいてい、通信の状況が悪い時



ですから。気づかれない、透明で空気のような存在であることが、利用者の快適さにつながるのです。一方、空間を飛んでいる電波は原理的にだれでも入手できるので、どこでもつながる快適さとともに、安全性やプライバシーの問題も大きくなります。NIIではこのようなテーマに取り組む研究者も配置し、情報化社会として避けては通れない部分の課題解決にも取り組んでいます。



インタビューの一言

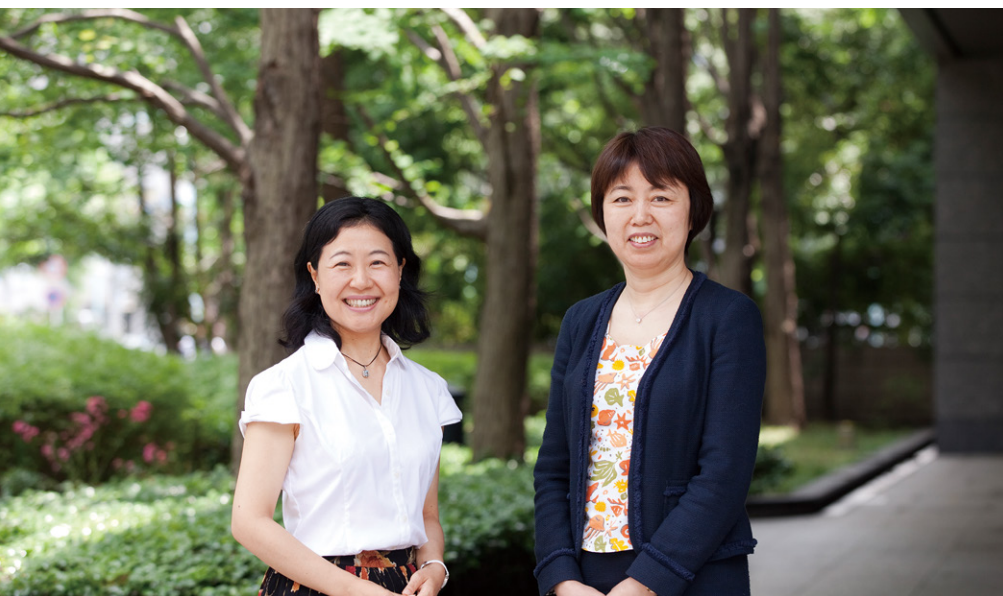
かつての人気のキーワード、いつでもどこでもコンピューターが使える「ユビキタスコンピューティング」は、あっという間にそのイメージが実現される事態となり、その技術進展に畏怖をもたざるを得ない。科学技術はどのようなテーマでも、それを活用した未来を前向きにとらえると同時に、怖れをもつことが必要だと思う。身近な無線ネットワークはその両方を、その時々、私たちに感じさせてくれるのではないだろうか。

山本佳世子

日刊工業新聞社
論説委員兼科学技術部編集委員

お茶の水女子大学理学部卒、東京工業大学修士修了。1990年日刊工業新聞社入社、科学技術、ビジネス、大学・産学連携などを担当。2011年東京農工大学博士修了、テーマは産学官連携コミュニケーション。同年産学連携学会業績賞受賞。東京工業大学など3大学で非常勤講師。文部科学省科学技術・学術審議会臨時委員。著書に「研究費が増やせるメディア活用術」(丸善出版)

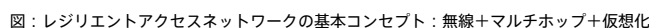
“ 通信技術は、人にネットワークの存在を意識させないものが優れたもの ”



災害時に求められるのは、**素早い復旧**と使いやすさ

既存のPCやスマートフォンを
「数珠つなぎ」に

レジリエントアクセスネットワークは、ありふれたPCやスマートフォンに搭載されてい



る無線LAN機能を土台として、その上にマルチホップ接続により作り上げるネットワークといえる。多くのユーザーが持つPCやスマートフォンを「数珠つなぎ」にし、通信路が絶たれた被災地から、バックボーンネットワークにつながった「生きている」インターネット・ゲートウェイまでのネットワークを復旧することができるというものだ。

今までにも、PCなどを「数珠つなぎ」に接続するアドホックな無線ネットワーク技術の研究開発はなされてきた。ただし、既存の技術は、市販のPCやスマートフォンに搭載されている無線LAN機能では使えなかったり、特殊なプロトコル（通信手順）が必要などの弱点があり、災害時の復旧用ネットワークとしては使いにくいものだった。レジリエントアクセスネットワークでは、多くの人々が利用中の既存のPCやスマートフォンにソフトウェアを導入するだけでマルチホップ接続を実現し、これらの問題を解決する。

その仕組みは、「ツリー構造」のマルチホップ接続による無線ネットワークを作り上げるというものだ。しかも、末端のPCやスマートフォンからは、従来の無線LANとほぼ同様の使い方ができるようにする。このような方法により、復旧用の無線ネットワークを迅速に立ち上げることができる。まさに、大災害の

現場で多くの人々にとってすぐに役に立つことを目指した技術なのだ。

課題は ツリー型ネットワークの最適設計

「レジリエントアクセスネットワーク」には、いくつかの課題がある。一つはネットワークをどのように設計し、構成するかだ。ホップ数、つまり「数珠つなぎ」でつなぐ回数が増えるほど性能は劣化する。一方、端末（PCやスマートフォンなど）と端末の物理的な距離を長くすれば、やはり通信速度が劣化する。ツリー構造のそれぞれの段に接続される端末の数が多いか少ないかによっても性能は変わる。最適なネットワークの設計のために調整すべきパラメータは数多い。このようなネットワーク設計をどこまで自動化できるかが、挑戦すべき課題の一つだ。

無線LAN特有の事情もある。PCやスマートフォンを持った人々が移動したり、あるいはバッテリーが消耗したりするなどの理由で、レジリエントアクセスネットワークから抜けることも考慮しなければならない。もちろん、



新たな端末が参加することも考慮に入れなければならない。レジリエントアクセスネットワークは、こうした「動的な再構成」に対応する必要がある。

さらに、ツリー構造のネットワークでは、ツリー構造の「根本」に近い部分にアクセスが集中し、ボトルネックとなる。そこで、複数のツリー構造を組み合わせたネットワーク構造を取り入れることも課題の一つだ。大災害で大規模停電が発生している時こそレジリエントアクセスネットワークを使いたい状況であることを考えると、レジリエントアクセスネットワークを構成するPCやスマートフォンのバッテリー消費をどのように抑えるかも大きな課題といえる。

山田教授らは、研究中のレジリエントアクセスネットワークに関して、様々な場合を想定した性能評価を進めている。この2013年7月には、岩手県立大学のキャンパスを使い、15台のパソコンを使った実証実験を実施したばかりだ。今後、実証実験を進めながら、レジリエントネットワークの実用化に向けて研究を進めていく。

山田教授は、研究中のレジリエントアクセスネットワークのためのソフトウェアを、必要とされる人々に広く使ってもらえるよう一般公開する方向で検討している。

「2年以内には、一般の人が使えるようなソフトを作って公開したいと考えています」

そして、山田教授は次のように話す。

「災害に強い情報通信インフラを産業として育てていけるようにしたい。日本の復興に役立つものを立ち上げたい。レジリエントネットワークの研究を始めることになった背景には、そのような思いがあります」

すでに人々の手元にあるPCやスマートフォンが、緊急時のライフラインになる「レジリエントアクセスネットワーク」が人々の手元に届く日は近い。

（取材・文＝星暁雄）



山田茂樹

国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 研究主幹・教授
総合研究大学院大学 複合科学研究科 情報学専攻 教授

無線センサーネットワークの 共有化がもたらす新展開

現在、センサーを使って実世界の状態を把握し、集めた大量のデータを解析して得た知見をフィードバックすることにより、私たちの暮らしを便利にするサービスが始まっている。このようなサービスを支えるインフラの一つとして、さまざまな場所での敷設が可能な無線センサーネットワークが注目を集めている。研究の最前線に立つ2人の研究者に話を伺った。

無線センサーネットワークの 共有化に向けて

無線センサーネットワーク (Wireless Sensor Network: WSN) とは、センサーを搭載し、無線通信ができる小型のコンピュータ (センサーノード) により構成されるネットワークのこと。実空間に多数のセンサーを分散・配置することにより、実世界の現象を把握するのに用いられる。各センサーノードは、温度や湿度、音、明るさ、振動などの物理現象をセンシングするセンサー機能に加え、演算機能、無線通信機能を備える。ノード同士が無線通信によってネットワークを形成し、収集した情報を管理用のサーバーに転送、蓄積する、という仕組みだ。

このWSNは、設置のしやすさから、とくに屋外の広域な場所でのモニタリングに活用され

ている。例えば、橋やトンネルなどの構造物の強度を監視する、火山活動や地殻変動を観測する、あるいは農場での作物の生長や土壌の水分量をモニタリングする、といった活用例もある。

そうしたなか、国立情報学研究所では2006年より、WSNを「オープンインフラ」として複数の用途で共有できる「オープン無線センサーネットワーク」の構築を目指す、「XACプロジェクト」^{*1}に取り組んできた。XACプロジェクトを主導する鄭顕志助教は、次のように説明する。

「このプロジェクトの新規性は、共有化にあります。従来、個々の目的ごとに、専用のWSNが設置されてきましたが、敷設にはコストがかかります。そこで、一つのセンサーネットワークを複数のアプリケーションで共有可能にすることにより、個々の観測システムの開発コストを抑えようと考えたのです。さまざまな情報を収集するための共通インフラとして、一つのWSNを多目的に利用するというのが、XACプロジェクトの研究ビジョンです」

センサーノードの限られた 資源を分配する

一つのWSNが、複数の目的ごとに物理現象を観測する際、課題の一つとして、「メモリ処理や通信量、バッテリーの資源をどのように割り当てるかという、資源の分配が問題になります」と、鄭助教は語る。

「部屋にWSNを設置して、室温管理、照明管理、防犯対策などの複数用途で共有する場合を考えると、どのセンサーノードを、どの用途で使用するのかを決めなければなりません。その割り当て方も実行時に調整する必要があります。例えば、防犯対策のための観測は、普段はある程度広範囲のセンサーで観測しますが、



石川冬樹

国立情報学研究所
コンテンツ科学研究系
准教授

いったん不審な現象を観測するとその周辺のセンサーを使用してより密に観測する、などというシナリオが考えられます。その際には、優先度の低い室温管理や照明管理用途に使用していたセンサーノードを防犯対策用途に使用するなど、柔軟に資源を再分配し、最適化を行う仕組みが必要です」

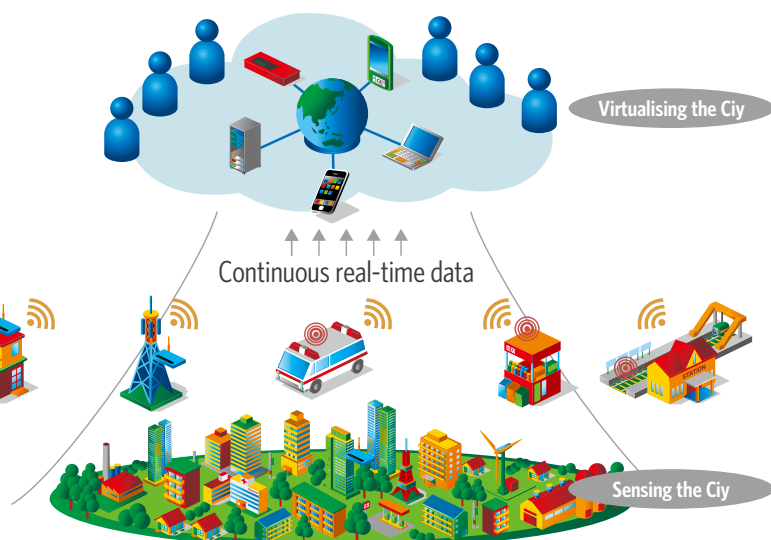
つまり、アプリケーションの実行時に、タスクグループの再配備を行うことで、バッテリーの資源と観測精度の最適化を行うのだ。

また、WSNを支える無線通信には、そもそも、通信が不安定、バッテリーを消費しやすい、データが落ちやすいといった固有の問題がある。それに対して、無線通信自体の性能を向上させることと同時に、ソフトウェア自身が状況の変化に応じて、データを送るタイミングや伝送経路を制御し、最適化することで、信頼性の高い情報を提供し、安定的にセンサーデータ



鄭顕志

国立情報学研究所
アーキテクチャ科学研究系
助教



図：プロジェクトの概念図。WSNの共有化と情報のつなぎ換えなどの研究により、個人ごとに欲しい情報が手に入りやすくなることを目指している。

が収集できるようになったという。

もっとも、「WSNのアプリケーションは、無線ネットワーク上で動作する分散アプリケーションなため、そのプログラムは複雑になります。このようなプログラムを書くのはとても難しいのです」と鄭助教は話す。そこで、アプリケーションプログラムを作る人のためのミドルウェアを開発。ミドルウェアとは、コンピュータの基本的な制御を行うオペレーションシステム（OS）とアプリケーションの間をつなぎ、システムを管理するソフトウェアのこと。これにより、各プログラムは、データの計測や収集処理など、本質的な処理のためのプログラム開発に注力することができる、というわけだ。

全ての情報を自在につなぎ換えて活用する

現在、XACプロジェクトではすでに基本的な技術開発を終え、次のステップとして実応用での取り組みを始めている。その実証実験を担うプロジェクトが、「ClouTプロジェクト」※2である。

今年度から始まったClouTプロジェクトは、モノのネットワークとクラウドを融合することにより、都市に暮らす市民へ新しいネットワークサービスを提供することを目的とするプロジェクトである。欧州最大の競争的資金を管理するFP7※3の下で実施されるこのプロジェクトには、日欧九つの研究所・大学・企業などの

組織と四つの都市（スペイン・サンタンデルとイタリア・ジェノバ、三鷹市、藤沢市）が参加しており、各都市で大規模な実証実験を行うという。プロジェクトでNIIの担当分野を鄭助教とともに担う石川冬樹准教授は次のように説明する。

「ClouTプロジェクトは、Cloud of Thingsからの造語で、モノがつながるネットワーク、すなわち実世界の情報を集約し活用するというプロジェクトの目的を表しています。もう一つ、Cloudには影響力という意味があることから、市民の影響力を強め、生活を豊かに便利にしていこうという願いも込められています」

例えば、ある駅の混雑を想像してみよう。そこには、無線センサーによる駅の混雑状況の把握、鉄道会社からのアナウンス、あるいは、Twitterでの市民のつぶやきなど、たくさんの情報があるが、情報源や情報の形式はバラバラである。

「これらの情報源をすべてセンサーとしてとらえ、それぞれを“駅の混雑状況を調べるサービス”※4として均一な形で利用できるようにすると、さまざまな活用が可能になります。特にソフトウェアの一部品として、情報を利用できれば、日々のラッシュ対応、イベントによる混雑対応、例外的な混雑対応、災害対応など、複数のアプリケーションを作るために活用できるようになるでしょう」と石川准教授は話す。

つまり、上記のように集めた多種多様な情報を、加工し組み合わせ、電光掲示板や情報メールなどさまざまな媒体を通して実世界で活用できるようにすることにより、個人ごとに役立つ



アプリケーションが作られようとしているのだ。

実は、サンタンデルでは、ClouTプロジェクトが始まる以前から、市によって実証試験が進められてきた経緯がある。現在、街中に約2万個のセンサーを設置して、物理センサーからの情報をウェブ上の情報と同じように使うことができる。これらの情報をソフトウェアが利用できる部品として、自由につなげていくための研究をプロジェクトで進めているところだ。

「今後はさらに、実世界の情報をインターネットにつなげ、都市の状態を把握することで、生活をより便利にしていきたいと考えています。さらに、街で暮らしている人が、自由に、そして簡単に欲しい情報が手に入るようなアプリケーションを構築できることを目指しています。この実証実験での成果は、今後、世界中の他の都市にも応用されていくでしょう」と鄭助教は語る。

XACプロジェクトを経て、ClouTプロジェクトにおいて実証研究の段階に入ったセンサー技術。都市に無線センサーネットワークが組み込まれ、モノと人の動きが見える化され、情報を自在に活用できるようになったとき、私たちの暮らしはより豊かになっていくにちがいない。

（取材・文＝保谷彰彦）

※1 XAC プロジェクト

X-Aware Computing の略であり、「ユーザーの状況も含めて多種多様な情報“X”を把握し、それらに応じた処理を適宜行う」という意味が込められている。

※2 ClouT プロジェクト

正式なプロジェクト名は、“Cloud of Things for empowering the citizen cloud in smart cities”
プロジェクトのウェブサイト：<http://clout-project.eu/jp/>

※3 FP7

第7次研究・技術開発のための枠組み計画（FP7）は、欧州全体の国際競争力・技術力を向上させることを目的とした、ヨーロッパにおける研究活動を助成する欧州委員会（EC）の主要な政策である。

※4 サービス

ここでの「サービス」は、「ソフトウェアが使う部品」を表す専門用語として使われている。1個のセンサー情報を提供するものも「サービス」であり、それが他の「サービス」と組み合わせられて、一般のユーザーが使うソフトウェアから見えるようになったものも「サービス」である。

遠隔地間で実現する「臨場感」ある インターパーソナル・コミュニケーション

テレビ会議のように、遠隔地間での映像と音声によるコミュニケーションはもう珍しくはない。しかし、テレビ会議には、相手の顔が間近に見えていながら、終止視線が合うことなく、生身の人間を相手にしている実感がないという「気味の悪さ」がつきまとう。膝を突き合わせて「心が通う」ような、臨場感のあるコミュニケーションが遠隔地間では実現できないのはなぜか。マルチメディア情報処理研究と無線を含む通信技術研究とのコラボレーションが、この疑問に答えを出そうとしている。

コミュニケーションの
60%以上は
言語ではない要素が占めている

「人の目を見て話す」のは会話のマナーの基本。そうしないと気持ちが伝わらない、と教わったのは子どもの頃のことだろう。さらに私たちは、他者とのコミュニケーションには、言葉だけでなく、視線や微妙な表情の変化、首のかしげ方、身振り手振りといった「非言語」要素が重要であることを、無意識のうちに学習していく。

「人と人とのコミュニケーションの60%以上が言語以外の手段で行われています」と語るのは、インタラクティブ（対話的）なマルチメディア・コミュニケーションを研究しているチョン ジン准教授だ。

「会話や会議で相互理解を図るには、直接会って“フェイス・ツー・フェイス”（対面）コミュ

ニケーションをとるのが一番。しかし、コスト削減や環境負荷の低減のためには、今後ますますテレビ会議システムのような、遠隔地とのコミュニケーションが求められていくことになるでしょう。そこで私たちは、直接会えなくても同等の効果が得られるマルチメディア通信システムが構築できないか、という研究をしています。つまり、マルチメディア技術と通信技術が融合する“臨場感”あるインターパーソナル（対人）・コミュニケーションを実現しようとしているのです」

遠くの相手が、机の向こう側に
いるような「臨場感」が必要

ジン准教授が考える“臨場感”とは、「相

手と視線が合う」「首を傾げれば相手の後ろにあるものが見える」といった、近くで対面する人間同士なら当たり前にできていることを、遠く離れた地点にいる相手とでも同じように実現できることだ。相手側が現実と同じ3次元映像として見えて、今自分がいる会議室の机の向こうに相手が本当にいるように実感できることが理想だという。

3次元映像といえば、今では3D映画などで身近なものになっている。しかし、3D映画は実は2台のカメラで撮影した映像を右目用、左目用にそれぞれ見せているだけで、ひょいと頭を傾げて後ろをのぞきこもうとしても無理だ。

ジン准教授が追求しているのはそれとは全く異なり、こちらが動けばたちまちそれに反応してリアルタイムに映像が変化する仕組み。映像を見ている側の視線や頭部などの動きを検知し、それに応じて映像の角度が変わり、手前にいる人物の後ろ側まで見ることができるよう、より現実に近い立体映像を瞬時に構成する技術だ。これには双方向のインタラクティブ性と、実世界での会話と違和感

計字生

国立情報科学研究所 アーキテクチャ科学研究系 教授
総合研究大学院大学 複合科学研究科 情報学専攻 教授

リュウ ジ

総合研究大学院大学 4年

マオ ユ

総合研究大学院大学 2年

フェン コン ロン

総合研究大学院大学 4年

チョン ジーン

国立情報科学研究所 コンテンツ科学研究系 准教授
総合研究大学院大学 複合科学研究科 情報学専攻 准教授

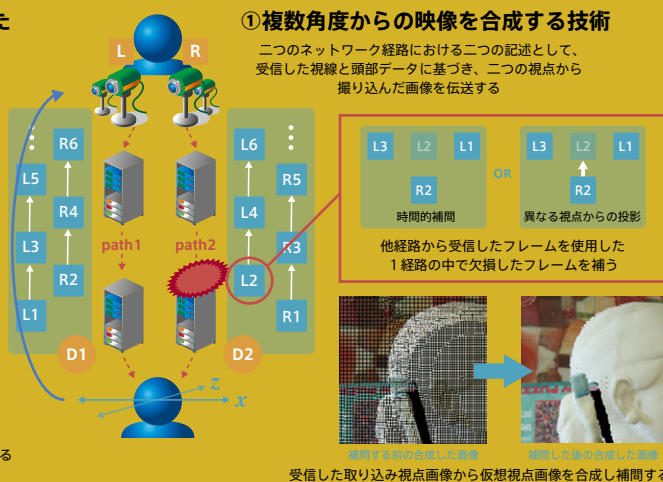
②映像中の関心領域に応じた映像品質での伝送技術



追跡した視線と頭部データを送信者に伝送する



予想される注目画像領域のみ高画質に合成する



受信した取り込み視点画像から仮想視点画像を合成し補間する

③奥行きデータとテクスチャ情報を利用する3次元映像合成技術

総研大生の3人が現在取り組んでいる三つの技術、そしてこれからの課題に一言。

- ①映像の注目領域だけを高解像度化する仕組みを、無線通信の帯域の中でどう実現するかが課題です。(リュウさん)
- ②一人の視線追跡や予測はできても、複数の会議参加者に対象を増やすと難しい。いまそのチャレンジをしています。(フェンさん)
- ③伝送データ量に制限がある中で、伝送可能なデータでどれだけ現実と違和感のない映像を合成するかに挑んでいます。(マオさん)

のないスピードでの処理が必要になる。

そうしたシステム実現のネックになっているのが、ネットワークで伝送できるデータ量だ。ネットワーク技術の研究を行っている計宇生教授は、「3次元情報も含むマルチメディアデータを伝送するには、現在のブロードバンドネットワークでも帯域が不足しがち。無線ネットワークではさらに厳しい条件になる」と指摘する。

「通信、特に無線通信には遅延やパケットロス（データの損失）はつきものです。その制約の中で、より高いレベルの臨場感あるコミュニケーションができるように、データを圧縮/軽減する技術、あるいは少ないデータや一部が欠落したデータからでも、現実に近い3次元映像を生成する技術が求められています」

“臨場感”コミュニケーションのための三つの先進映像技術

具体的にどのような技術が研究されているのだろうか。

ジーン准教授が力を入れている一つが、視線の追跡と予測技術だ。インタラクティブな映像を合成するには、映像の受け手の視線を予測して、次の適応する映像をシステム側で用意する必要がある。映像を見ている人がど

こに着目し、どのように視線を動かすのかを予測し、動きに応じた映像を迅速に合成できるようにするのがこの技術。この基盤技術を用いて、以下の三つの先進映像技術に取り組んでいる。

①複数角度からの映像を合成する技術

ネットワーク経路の一つひとつが遅いなら、複数の経路を利用すれば速くなる。そこでカメラを複数台用意して対象物（会議の相手など）を同時に撮影し、別々の経路で順番に映像を送り出してネットワーク帯域を有効に使うのがこの技術。また、パケットロスで一つの映像フレームが抜け落ちたとしても、別の経路からの映像フレームで補って、受信側ではほぼ違和感がないように合成することもできる。

②映像中の関心領域に応じた映像品質での伝送技術

私たちが何かを見るとき、視野に入る全部ではなく、特定の関心領域だけを見ていることがほとんどだ。高画質映像の場合も同様で、4Kテレビなどの大画面映像の中で鮮明な映像が必要なのは一部だけ。そこで、視線の追跡と予測とともに、映像の中の注目されそうな部分を洗い出し（特徴マップ）、適切な領域だけを高精細に映し出すようにするのがこの技術だ。

その他の領域は圧縮率を高めたり、解像度を落としたりして映像伝送できるので、ネットワーク帯域が有効に使えることになる。これにより30～40%のビットレート削減が可能になるという。



③奥行きデータとテクスチャ情報を利用する3次元映像合成技術

さまざまな角度から見た画像を捉えるにはカメラを多数用意して撮影する必要があるが、その画像をそのまま圧縮するとデータ量が大きくなり過ぎる。そこで、比較的少ないカメラで撮影したカラー画像と奥行きだけを表現する画像を送る手法が考えられている。映像の受け手側で視線の角度などを検知して、受け取ったデータを元に適切な画像を合成すれば、少ないデータ量でも自然な立体映像を構成できる。例えば映像をズームイン/アウトした時や、視線の角度が変わった時に、その変化に応じた映像データを要求するのではなく、システム側に今あるデータをもとに不足する画素を補うのがこの技術だ。視点を変えたときには、手前の人物と背景との間に本当は情報がない隙間ができるが、そこに計算によって適切にテクスチャを補間し、自然に見えるように加工することで、実世界同様の自由視点からの映像が実現するわけだ。

こうした技術が向かうところは、立体的でリアルタイムに反応する“臨場感”あふれたコミュニケーション環境だ。

「ネットワークの向こう側の人が、まるでこちら側にいるように感じられるのが“臨場感”技術。TV会議の発展形として有望であるばかりでなく、例えばディスプレイ画像の前では緊張して何も言えない自閉症の子でも、まるでそこに実在するかのようなカウンセラーや、動きを合成したアニメのキャラクターになら話をしてくれるかもしれません。遠隔医療にも応用されることを期待しています。コミュニケーションの質がこうした技術で変わるはずです」とジーン准教授は語る。

空間を超えたインターパーソナル・コミュニケーションを実現する“臨場感”技術に、夢がふくらむ。

(取材・文＝土肥正弘)

国際交流により研究が加速する 次世代無線ネットワーク

スマートフォンや、タブレットなどのモバイル通信デバイスの普及に伴い、無線通信ネットワークも進化を続けている。現在、市場ではLTEの普及が進み、第4世代（4G）への切り替えが進みつつある。そして、次世代の無線セルラーネットワーク（5G）の研究開発が、国際的に加速している。国際的な研究開発の現状や、国際交流、共同研究の動向について、中国同済大学の劉富強教授（NII客員教授）、NIIの計宇生教授にお聞きした。

時代は3Gから4Gへ 未解決の課題も残る

ほんの数年前まで、インターネットにはPCから有線で接続するのが一般的だった。しかし近年、スマートフォンやタブレットなどのモバイル通信デバイスが急速に普及し、モバイル環境でのインターネット接続の需要が大幅に増えている。それにより無線通信ネットワークには、いつでもどこでも、どんな端末でも接続でき、ネットワーク上のサービスやアプリケーションを快適に利用できるという、より高い機能や品質が期待されるようになっている。

日本では今、第3世代（3G）を経てLTEが

普及しつつある。LTEは第4世代（4G）のネットワークが完成するまでの「つなぎ」の役目を果たす3.9世代（3.9G）と呼ばれるネットワークで、通信速度は下り方向（基地局から端末）で100Mbps以上、上り方向（端末から基地局）で50Mbps以上と定められている。

現在、世界各国の無線通信ネットワークはどのような状況にあるのだろうか。まずは4Gをめぐる現状について劉教授にご説明いただく。

「4Gは日本でも中国でもこれから広く普及していく段階です。とはいえ、現在でも4Gの課題がすべて解決しているわけではありません。中継機能や、送信機と受信機で複数のアンテナを使って通信容量を向上させるMIMO（Multiple-Input Multiple-Output）の技術にはまだ課題が残っていますし、基地局を介さずデバイス同士が直接通信し合うD2D（Device to Device）の技術も実現はこれからです」

4Gの研究開発が始まったのは15年ほど前。国際電気通信連合（ITU）による国際標準が決定されたのが2010年、そして普及は昨年ごろから始まった。一つの技術が商用化されるまでには、それだけ長い時間がかかるのだ。そして、すでに各国で、次世代の無線セルラーネットワーク※（5G）の研究開発が始まっている。

世界で次々と立ち上がる 5Gの研究開発プロジェクト

5Gの国際規格が決められるのはまだこれからだが、目標とするのは、キャパシティ、エ

計宇生

国立情報学研究所 アーキテクチャ科学研究系 教授
総合研究大学院大学 複合科学研究科 情報学専攻 教授

劉富強

国立情報学研究所 客員教授
同済大学 教授



ペドロ・チャパロさん
(スペイン、バレンシア工科大学)

「私は協調通信における中継ノードの選択について研究しています。異文化に触れ、世界最先端の研究についても知ることができる。とてもよい機会を与えられて感謝しています」



タックポーン・サンワンワアックさん
(タイ、アジア工科大学院)

「私が取り組んでいるのは、協調通信において資源を最適化するためのアルゴリズムの開発です。グループ内での研究協力や、素晴らしい先生からの指導など、よい経験ができる有意義なプログラムですね」



ルオ・ウェイさん
(中国、同済大学)

「ヘテロジニアスなネットワーク構築を有効にするための、セル間の協調という課題に取り組んでいます。ここでは、教授の指導や世界的に有名な研究者の講演など、自分とは異なる視点からの考え方に触れる機会が多く、とてもハッピーです」



NII 計字生研究室のインターン生から一言

エネルギー効率とともに、4Gのおよそ1000倍を実現することにあるという。通信速度は数十Gbpsと、ギガビットの世界に入ってくる。この1～2年、世界各国でこの5Gの研究開発が加速し始めた。

「EUではエリクソンなどの通信大手企業が研究に着手したほか、昨年度の第4四半期だけで、EUサポートのプロジェクトでEU内外の20以上のパートナーシップが結ばれるなど、国際協力も積極的に進められています。アメリカではクアルコムとインテルが5Gに関する基礎的な研究をスタート。このパートナーシップは、通信とPCがさらに融合していく未来を反映していると言えます」

日本では今年2月、NTTドコモと東京工業大学が超高速移動通信の実現に向けた実験を行い、世界で初めて、上り最大約10Gbpsのパケット信号の伝送に成功。中国でも今年、劉教授が教鞭をとる同済大学で、交通における事故や渋滞の解消という応用面から通信への要求を引き出すための5Gのプロジェクトがスタートしている。

同済大学のプロジェクトの中心に交通分野への応用があるように、応用指向の強さは5Gの特徴の一つだ。応用サービスを構築していく上では、もう一つ大切な要素があると劉教授は言う。

「これまで通信ネットワークの分野では、QoS (Quality of Service)、つまり通信速度や遅延、パケットロスなど、通信サービスの品質が問われてきました。今後はそれに加えて、QoE (Quality of Experience) といわれるユーザーの体感の品質が重視されるようになります。ネットワークの使い勝手のよさ、アプリケーションやサービスを利用する上での快適さなど、ユーザーの主観的な評価を指標化し、取り入れていく必要が出てくるのです」

また、4Gから5Gへの切り替えに際して、これまで以上にヘテロジニアスなネットワー

クの構築が重要となる。ヘテロジニアス・ネットワークとは、移動体通信の規格やWi-Fiなどの無線通信規格、それに有線やセンサなどのマシンコミュニケーションも含めて、さまざまな異なる通信形式が混在したネットワークのことだ。これらをどのように融合し、人間にとって快適なサービスを提供するのが、今後のポイントとなる。

5Gの標準規格づくりに向け 国際協力が活発化

次世代通信ネットワークの研究開発においては、国や地域がしのぎを削る一方で、国際間の交流や共同研究も数多く行われている。国際協力の意義はどのような点にあるのだろうか。計教授は次のように説明する。

「通信とはお互いがつながりあって初めて機能するものですから、より大きな成果を出すには国際間の情報交換が欠かせません。特に標準化については、複数の国による協力関係がなくては実現は難しいでしょう」。

無線通信ネットワークの初期には、規格は国ごとに異なっていたが、3Gで4種、4Gでは2種の通信規格が国際標準として承認された。5Gでは、いよいよ規格が一つに統一されると期待されている。この過程において、近隣国だけではなく、世界各国との研究協力体制をつくる意義は大きいというわけだ。

とはいえ、これから数年かけて5Gのコンセプトを具体化していき、標準規格ができるのは2020年頃と予想される。商用化は、そこからさらに数年先になるだろう。

「技術の発展には時間がかかるものです。た

だ、技術にはどこかに、それまでの技術の延長上ではない、全く新しい技術が生まれる『ブレークスルー』があります。私は5Gの研究開発において、そのような技術革新が起こるのではないかと期待しています。たとえば、エネルギー効率に関する目標は通信分野の研究だけでは達成できませんし、5Gの応用が広がればスマートシティなどとも関わりが出てきます。より快適な通信環境をつくる技術革新は、サイエンス分野を含めたさまざまな分野の専門家と交流し、アイデアを出し合うことから生まれてくるでしょう」

NIIでも海外の大学・研究機関との国際交流を推進するため、現在、24か国78機関とMOU（国際交流協定）を結び、毎年2回、2～6カ月のインターンシッププログラムを設けてインターン生を公募し、年間120人以上を受け入れている。また、教員を招聘する「MOUグラント」という制度もある。なかでも2005年以来、活発な交流が行われているのが同済大学だ。

「これまで教員で延べ人数15名、インターン生29名をNIIに送り出した一方、NIIからも延べ人数9名の教員と2名のインターン生を迎え、それぞれ成果を挙げてきました。大きな技術革新のためにも、我々はこれからも多くの国の大学や研究機関と交流していきたいと考えています」(劉教授)。

国際的な視野をもち、多角的に発想することは、これからの時代の研究者には不可欠だ。多種多様なコミュニケーションを通してこそ、いつでも、どこでも、どんな端末でも快適に使える新しい時代のネットワークは実現されていくのだろう。

(取材・文＝桜井裕子)

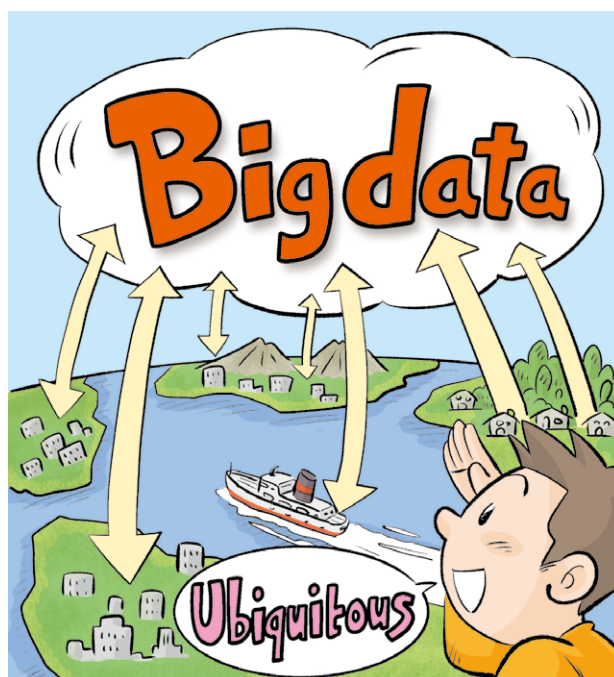
※ 無線セルラーネットワーク

「セル」(cell)と呼ばれる、細かく分割した地域それぞれに基地局を配し、無線通信を行う通信方式。

ユビキタスと ビッグデータの 新たなコラボ

今井 和雄

国立情報学研究所 研究戦略室 特任教授



今から10年ほど前、日本では「ユビキタス」という言葉がICTの世界で流行っていた。人だけでなく、実世界のあらゆるものが繋がり発信する「ユビキタス」なつながりをつくることで、人やモノや周囲環境といった実世界の状況に応じた最適なサービスをいつでも、どこでも提供するという概念である。日本は、当時すでに第3世代(3G)携帯とiモードに代表されるモバイル・インターネットサービスを世界に先駆けて成功させており、モバイル先進国としてその先の世界をめざしていたのである。

研究や実証実験は盛んに行われた。しかし、モノをつなげるデバイスもワイヤレス環境もまだ十分ではなく、サービス処理のための経済的な計算インフラもそろっておらず、結果として商業的に成り立つサービスも十分見いだせないまま、ユビキタスと銘打った技術や政策議論は過去のものとなっていった。

一方、世界に目を向けると、この10年間の情報技術の変革は目覚ましく、これをリードする米国が、モバイルデバイスの分野でも大躍進した。大量のデータ処理を経済的に実現するクラウドを活用し、人の状況(時刻や場所)を踏まえたコンテキストウェアなモバイルサービスがシリコンバレーを中心として

次々と生まれている。実世界の機器(モノ)を接続するネットワークキングについても「モノのインターネット」(Internet of Things :IoT)やM2M(マシン-to-マシン)と呼ばれる軽量・省エネの通信方式が世界各所で検討され、情報空間と実世界の距離が着実に縮まっている。一昔前、日本の研究者や技術者がユビキタスサービスとして懸命に発想した実世界に対する価値創造が、実際に示され始めているのである。

日本がデバイスやネットワークという、どちらかと言えば「手足」と「神経」の構築に気をとられている間に、世界は「頭脳」にあたる実世界データのビッグデータ処理からアプローチし、成功を収めつつあるのだ。日本は、ユビキタス化を支える優れたワイヤレスやデバイス技術をもっており、技術や商業化の様々な課題も把握できているはずである。「ユビキタス」という言葉は流行らなくなったが、デバイス、ネットワークそしてコンピューティングの総合的な連携によって新たな価値を提供し、日本のイノベーションの遅れも取り戻すまたとないチャンスが今、来ていると思う。産業界とも力を合わせたオープンな研究活動を、ユーザも巻き込んで積極的に進める必要がある。

情報から知を紡ぎだす。

NII

表紙イラスト

電波の周波数を、波打つリボンテープにたとえて表現した。天使が運ぶテープの切れ端は、無線で割り当てられる各周波数をイメージした。通信が必要となるへ、天使が周波数を割り振るべく舞い降りる。いつでもどこでもつながることができる背景には、高度な無線の技術が支えているのだ。

国立情報学研究所ニュース [NII Today] 第61号 平成25年9月

発行：大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 <http://www.nii.ac.jp/>

〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋2丁目1番2号 学術総合センター

編集長：東倉洋一 表紙画：小森誠 写真撮影：川本聖哉 / 佐藤祐介 デスク：田井中麻都佳 制作：インスケイプ株式会社

本誌についてのお問い合わせ：総務部企画課 広報チーム TEL：03-4212-2164 FAX：03-4212-2150 e-mail：kouhou@nii.ac.jp