

[5G時代の幕開けに向けた研究開発と実証]

5Gの最新の研究開発技術動向と「情報通信の民主化」への期待



中尾彰宏 | 東京大学

5G サービスインに向けた我が国の取り組み

我が国において2020年春に本格的なサービスインが予定されている第五世代移動通信(5G)では、大容量、超低遅延、超多数接続の通信が実現する。国民の共有資産である周波数を戦略的に全国通信事業者に割り当てて通信サービスが全国展開されることで、我々国民が広く利用することが可能となる。

公衆網における5Gの商用サービスインの時期は、我が国は2020年春から本格展開の予定であり、日本、米国、中国、韓国、欧州で比較すると最後発となっている。米国では2019年4月から本格導入がはじまり、中国は2019年中から順次商用展開、韓国は2019年4月より商用展開、欧州においては各国で異なるが、2019年4月からスイス、5月から英国、6月からイタリア、スペインで順次商用展開が進んでいる(総務省移動通信課調査)。各国の5Gの通信料(Subscription Fee)はまちまちであるが、新たな世代の通信が実現し、利用できる帯域が10倍以上になったとしても、通信料金の増加はそこまで大きくない。たとえば、テレコム・イタリアでは4.5Gのサービスが月額19.99ユーロに対し、Advance 5Gが月額29.99ユーロにとどまっている。

最後発とはいえ、我が国の研究開発が極端に遅れているというわけではない。実は、2020年春の商用サービス本格展開の準備として、3年間の実証実験の実績を実施し、5Gのインフラの技術検証やさまざまなユースケースの有益性について慎重に確認を行ってきた。

サービスインに向けた総務省の施策として、2017年度は、実際の5Gの利活用分野を想定した性能評価を実施している。2018年度はICTインフラ地域展開戦略検討会の8つの課題である、「労働力」「地場産業」「観光」「教育」「モビリティ」「医療・介護」「防災・減災」「マイナンバーカード」を中心として網羅的に実証実験に取り組んでいる。そして、2019年度は、5G利活用アイデアコンテストの結果を受けて、さらに地方発の案件として地方課題の総合的な解決に向けた、5G総合実証試験が推進されている。

筆者の研究室も、企業と協力し、いくつかの実証実験を実施している。たとえば、2018年度は、(1)低遅延通信の利活用例として、NTTドコモ(株)との「5GとMECを活用した協調運転支援の実証実験」(2018年11月報道発表)、(2)大容量通信の利活用例として、KDDI(株)との「5Gドローンを用いた4K映像伝送の実証実験」(東大キャンパス 2018年6月報道発表・サイクリングしまなみ 2018年10月報道発表)、などを実施している。また、2019年度は、(3)大容量通信の利活用例として、ATR、KDDI(株)、シャープ(株)、新冠町と連携し、「5Gで軽種馬を育成支援、8Kライブ映像を活用した実証試験」(北海道新冠町 2019年11月報道発表)、(4)大容量通信と低遅延通信の同時利活用例として「5Gと水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験」(広島県・江田島市 2019年11月報道発表)などを実施している。

これらの実証実験を通じて、我々アカデミアの研究開発において解決すべき課題、あるいは、商用化に向けて解決すべきビジネス上の課題など、多くの

知見が得られている。まず、各ユースケースによる5G インフラにおける要求条件は大きく異なることが起因する課題である。たとえば、上記(1)では、1ms程度の無線通信遅延が要求され、また、(2)(3)(4)においては、100Mbps程度の帯域を保証する大容量通信の要件が必要となる。特に(4)においては、水中ドローンの制御と、水中ドローンからの映像通信の2つを同時に実現しなくてはならず、低遅延と大容量通信の両方の品質を確保しなくてはならない。つまり、5Gでなければ実現が難しいユースケースとして注目される。

本稿では、こうした我が国で進展する5Gの研究開発・実証実験から商用化へ至る状況を背景とし、最近の5Gを巡る「課題」と「動向」、そして、これからの「発展の方向性」について議論する。

5G サービスインに向けた課題

サービスインに向けて、このようなさまざまな実証実験が展開される中でいろいろな課題が浮き彫りになってきている。

第1に、5Gでは、ネットワークの通信能力が飛躍的に進化したことにより帯域・遅延・接続数のダイナミックレンジが従来と比較すると一桁以上大きくなることから、「通信要件が異なる多種多様」なアプリケーションやサービスを「同時に」利用することが想定されており、これらをお互いに干渉しないで収容する、「ネットワークスライシング」技術が必要となってきている。

本技術は、有線ネットワーク分野では、2000年代から研究開発が進められており、我が国では、2007年より始まった「新世代ネットワークの研究開発」でネットワーク仮想化技術の中心技術として推進されている。5G時代になり、エンド・ツー・エンド（端末からクラウドまで全体）のネットワークスライシングが必要とことから、無線アクセスネットワーク（RAN；Radio Access Network）のスラ

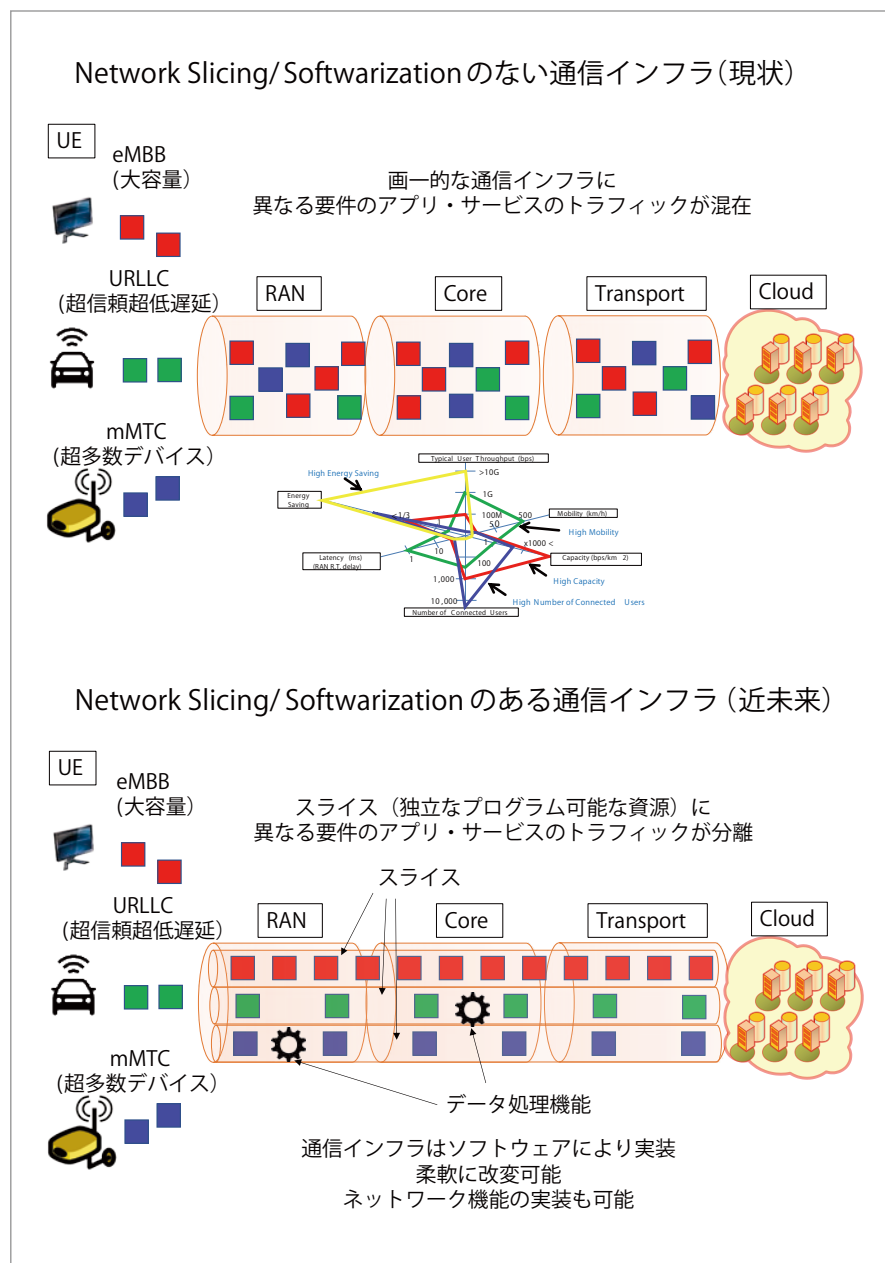
イシング技術が注目されている（図-1）。図-1に示すように、ネットワークスライシングのないインフラ（現状）では、アプリケーショントラフィックが同一インフラ（RAN、コア、トランスポート）に混在するため、超低遅延（URLLC；Ultra-Reliable and Low Latency Communications）、大容量（eMBB；enhanced Mobile BroadBand）、超多数接続（mMTC；massive Machine Type Communication）の大きくネットワーク要件の違うトラフィックがお互いに干渉する可能性がある。一方、ネットワークスライシングを具備するインフラ（将来）では、アプリケーションごとにトラフィックを分類し、互いに干渉しないように収容することが可能になり、アプリケーションが提供するサービス品質を確保することが可能となると期待される。

第2に、5Gあるいはその先を見据えて、「ソフトウェア化」も進展しつつある。ITU-Tで2015年にIMT-2020というフォーカスグループ（FG）にてNetwork Softwarizationのワーキンググループが発足し、2年間、筆者はリーダを務め、世界における5Gに向けたソフトウェア化の動向を調査し、それからソフトウェア化への期待が世界的に高まったという背景がある。ソフトウェア化とは、「ネットワークの機器や機能をソフトウェアプログラムによって具現化し、より柔軟かつ迅速にサービスを構築・運用していく」という通信ネットワークにおける大きな変革を意味する。5Gにおけるソフトウェア化は、前述のネットワークスライシングにおいてネットワーク機器における仮想化を支える基盤技術として重要な役割を果たす。それ以外でも、端末の近傍にてデータ処理を可能とし、無線区間の低遅延を最大限に活用して、端末のデータを処理し、再度端末に低遅延で折り返して届ける、モバイル・エッジ・コンピューティング、あるいはマルチアクセス・エッジ・コンピューティング（MEC）の基盤技術としても注目されている。つまり、基地局がソフトウェアで実現できると、基地局やモバイル機

能、データ処理などが汎用サーバ上で実現できるため、CAPEX（CAPital EXpenditure:設備投資費用）を削減可能になる。また、特に、ローカル 5G など地域での利活用において、すべてのものがインターネットに接続される IoT においては、シンプルな機能のみを備える安価なソフトウェア基地局への期待が高まっている。

5G におけるソフトウェア化において、注目すべきは、オープンインタフェースのアライアンス結成とオープンソースの利用推進である。前者の例である O-RAN（Open Radio Access Network）は、2018 年 2 月に、AT&T, China Mobile, Deutsch Telekom, Orange, NTT ドコモにより設立されたアライアンスで、オープンな RAN アーキテクチャを定義している。このアーキテクチャは、構成要素技術レイヤの間にインタフェースを定義し、各レイヤ間を繋ぐベンダのサプライチェーンを構築することが目的である（図-2）。また、各レイヤにインテリジェンスを埋め込むことを目指している。つまり RAN の構成部品レベルからネットワークレベルまで埋め込まれたインテリジェンスによって、動的な無線リソース割り当てやネットワーク全体の効率化が可能になることが期待される。AI 最適化クロウズ・ループによる自動化は可能でありネットワーク運用に革新をもたらすことが期待される。特に 5G モバイルではネットワークが複雑化し、従来の人手によるネットワークのデプロイ、最適化、運用

が難しくなってくるため自動化が必須になっている。後者の例の 1 つである、エッジコンピューティングのために、局舎にエッジクラウドを配備する CORD（Central Office Re-architected as a Datacenter）では、ネットワーク装置をソフトウェア化して API で制御するアクセス網を SDN（Software Defined Networking）化するオープンソースプロジェクトである。CORD は、ONF（Open Networking Foundation）が推進しており、世



■図-1 スライス概念図

界の主要な通信事業者が参画している。特に、日本からも NTT グループの企業が多数参加している。

また、基地局をソフトウェア化する OAI (Open Air Interface) や TIP (Telecom Infra Project) というプロジェクトもある。OAI はフランスの Eurecom という大学が推進しており、日本からは富士通、京セラなどが戦略メンバとして参加している。まだ 4G (LTE) の機能実装を商用化レベルまで向上させる活動がメインであるが、すでに 5G 基地局のソフトウェア実装も 2020 年 2 月 (NSA 方式; Non-Stand-Alone), 6 月 (SA 方式; Stand-Alone) をリリース予定として活発に進められている。NSA とは、端末 (UE) の制御は 4G (LTE) の仕組みを用いる一方でデータ転送は 5G の周波数を用いる手法で、4G (LTE) の基地局インフラを再利用しながら 5G を利用可能とする方式である。一方 SA とは、制御もデータ転送も 5G の基地局で実装する手法である。TIP には日本の企業が多く参加しており、無線だけではなくアクセスからトランスポートの光通信などにおけるオープンソース利

用が推進されている。

これらのオープンソースの利用が進む意味は、慎重かつ戦略的に考える必要がある。もちろん、一般的には、オープンソースを活用することで、汎用ハードウェア上に機能を実装し、CAPEX 削減を図ることと思われがちである。しかし、オープンソースをベースに機能をアンバンドルし、インタフェースを民主的に定義し、相互接続のため 3GPP 等で標準化する戦略もある。つまり、オープン化のためにオープンソースを駆使し、サプライチェーンを民主的に構築する戦略が見える。これにより、機器ベンダは、アンバンドルされた機能への投資集中とグローバルマーケットの展開が見込めると同時に、通信事業者はマルチベンダの機器調達が可能になる。

バーティカル・ファースト

5G において、もう 1 つ、4G と比較して大きな違いが浮き彫りになりつつある。4G までは、移动通信事業者が通信のサービスを提供し、UE (User

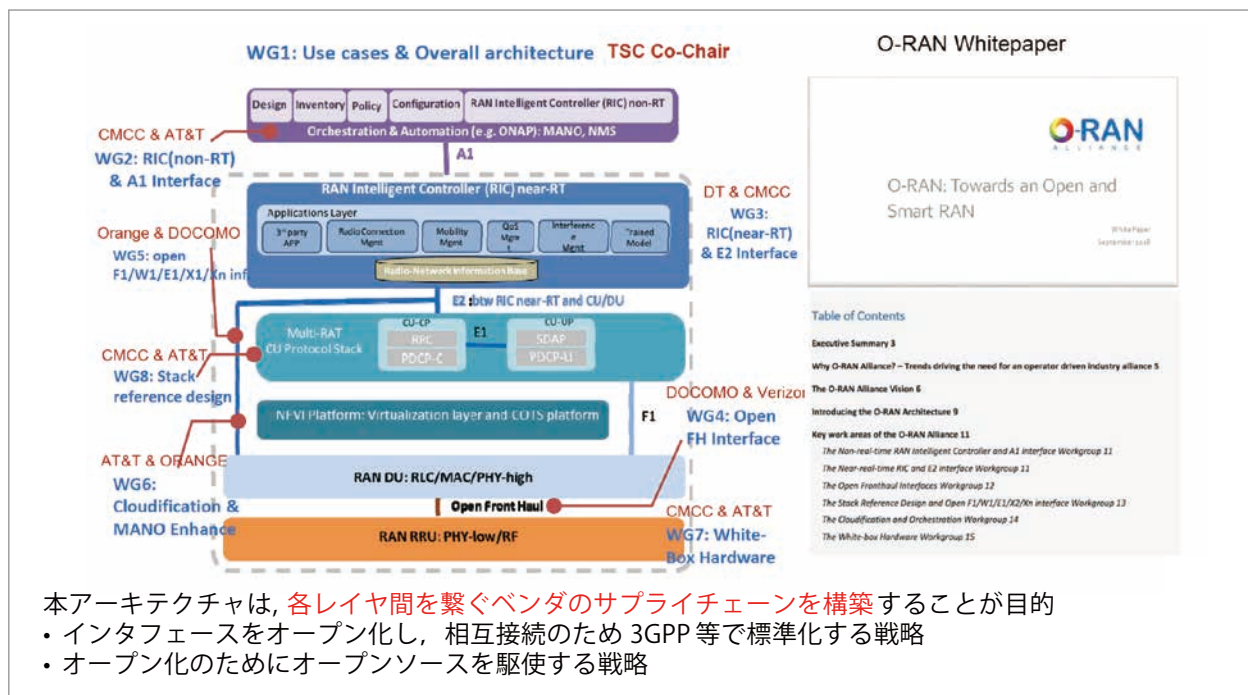


図-2 O-RAN アーキテクチャ

Equipment ; 端末) を保有するユーザが月額の通信料を支払いながら、サービスを楽しむというビジネス形態が主流である。これは、端末数が人口の数で頭打ちになるため、収益性の高いモデルにせざるを得ない。このため、月額通信料の高止まりが、我が国の政府の研究会等において、社会問題として挙げられたほどである。

しかし、5G では、「通信」と「端末」という構成で情報通信が議論できる時代が終焉し、「通信」と「あらゆるビジネス分野 (パーティカル)」との融合が起こると考えられる。ここでパーティカルとは特定の分野の業界という意味があるが、通信事業の業界では通信を利用するユーザ企業を業種ごとに扱う場合の呼称である。つまり、IoT と 5G の融合により、端末 (UE) 側の多様化が起こり、あらゆる業界のあらゆる物が 5G 通信により接続される。5G の持つ特徴の 1 つである、超多数接続がもたらす結果である。このように、端末が多様化し、接続数が増大すると、これまでの収益モデルは、幅広く、かつ、このユースケースは収益性が低いモデルへと移行することが予測できる。イノベーションは、少数の通信事業者や通信機器ベンダが起点となるばかりではなく、パーティカルと呼ばれる多数の利用者が創生する、いわゆる、「パーティカル・ファースト」の時代が来ると予想できる。

筆者は、World Economic Forum (WEF) の Global Future Councils にて 5G のグローバル展開を議論している。先日 2019 年 11 月に開催された、GFC on New Network Technologies (2019/11/3 ~ 4 @Dubai) の議論でも、通信サービスと端末という図式のビジネスモデルはマジョリティではなくなることが予見された。筆者が提唱する、パーティカル・ファーストの図式が合意形成されている。

ローカル 5G・自営 BWA・プライベート LTE など自営網通信の台頭

5G 商用サービスの事業展開に関して各国に共通した課題が、地方での周波数利用である。5G の導入には多大なコストがかかるため、ユーザの多い都市部での導入は加速するが、ユーザが多くない地域や過疎地ではサービスインの優先度が下がることは否めない。しかし、地域にこそ、地場産業、特に、農林水産業等の第一次産業などでは、ICT の適用が遅れているなど、解くべき課題が多くあり、5G をはじめとする最新の情報通信技術の適用が期待されている。地域での 5G 利活用の普及を促進するため、周波数の有効利活用の観点で自営網の利用が注目を集めている。特にローカル 5G、自営 BWA、プライベート LTE などに期待が集まる。

調査会社によれば、今後 10 年近くにわたり、プライベート LTE やローカル 5G (日本以外ではプライベート 5G と呼ばれる) による市場が大きく成長するとの予測である。世界に目を向けると、米国では、実験目的で自営網ネットワークの構築が可能であり、周波数免許不要の市民ブロードバンド無線サービス (CBRS) 制度により、3.5GHz 帯を自営網に活用可能とするプライベート 5G 戦略もある。中国でも Industrial IoT 用途の自営網用周波数の検討が進む。台湾や UK でも同様の計画が進む。欧州では世界に先駆けて 2019 年 11 月にドイツで 3.7 ~ 3.8GHz 帯のプライベート 5G のライセンス申請が可能になっている。

特にローカル 5G は、周波数の免許を取得すれば、5G の最新技術を自分の敷地内で運用可能となり、公衆網のサービスインと時期的にはあまり変わらず利用が可能になると期待されている。我が国では、28GHz 帯のローカル 5G の周波数は 2019 年度末には利用可能となる見込みである。ローカル 5G / プライベート 5G は Wi-Fi と比較して、特に、高度なセキュリティや認証機能が注目され、一般産業、

工場や企業内での利用に期待が集まる。

情報通信の民主化 (Democratization)

近年、情報通信の基本的なサービスを提供する主体は多様化している。ネットワーク仮想化の進展による設備と機能の分離等を通じ、電気通信事業者以外の役割が拡大する等、基幹的なサービスの提供にかかわる主体が多様化することが想定されている(2019/6 総務省電気通信事業分野における競争ルール等の包括的検証中間報告書)。特にGAFAやBATと呼ばれるプラットフォームが、OTT (Over The Top) と呼ばれるコンテンツ配信事業や、クラウドサービス事業を推進しつつ、情報通信も合わせて提供するビジネス形態が推進する可能性もある。また、MVNO (Mobile Virtual Network Operator) やケーブルテレビ企業、および、大学、地方自治体等の一般業務を行う主体が、自ら通信の基幹的なサービスを利用する可能性も大きい。また、5Gの導入を見据えると、固定通信と移動通信の融合等、既存の市場区分を越えた事業者間連携等が進展すると思われる(2019/6 総務省電気通信事業分野における競争ルール等の包括的検証中間報告書)。

筆者は、このような状況を示す言葉として、「情報通信の民主化 (Democratization)」が起こりつつあると提唱している。Democratization とは何か？ Oxford English Dictionary によれば、Democratization とは “The action of making something accessible to everyone.” とある。つまり、何かをすべての国民にアクセス可能とすることである。情報通信にあてはめれば、情報通信のサービスの享受だけでなく、提供も含めて、インフラの整備は全国移動通信事業者だけではなく、すべての国民が主体となって基本的なサービスを行うことを可能とすることを意味する。

前述のローカル 5G やその他の自営網技術の推進

は、情報通信の民主化を大きく進める政策であると考えられる。たとえば、格安スマホで脚光を浴びたMVNOやケーブルテレビ事業者、ベンダ、自治体、大学、などが最新の情報通信 5G の運用主体となる可能性がある。

これまでもWi-Fiや地域BWAなど、自前で情報通信の提供ができる例が過去にもあったかもしれないが、今回の「情報通信の民主化」の動きは、全国事業者が展開する、最新の大容量、超低遅延、超多数接続の通信と同等の5G技術を自ら設置し運用が可能になることを意味する点で大きな違いがある。

前述したように、情報通信全体では、同時に情報通信のソフトウェア化が進展しており、即応的に新しい機能を追加可能な柔軟なインフラの研究開発が進む。つまり、情報通信機器を、マーケットが大きく異なる汎用サーバの上にオープンソースを活用して実装し、CAPEXを削減すると同時に、柔軟に新しい機能を導入可能とする。「運用の自動化」の機能は一般に複雑である場合が多いが、柔軟にデータ処理の機能をソフトウェアを利用して実装し、通信インフラに組み込む「ソフトウェア化」の利活用が進んでいる。このように汎用サーバ(設備)上にソフトウェアによって通信・データ処理(機能)を実装する「設備」と「機能」の分離が進む。こうした動きは、インフラコストの低廉化や、運用のノウハウがなくても運用自動化機能の具備を加速することから、一般企業の通信インフラの構築の参入障壁を下げる方向に働くため、情報通信の基本的なサービスを提供する主体が多様化する「情報通信の民主化」を後押ししている。

アカデミアにおける 情報通信の民主化が持つ意味

東京大学中尾研究室では、以下のような「最先端の情報通信技術の研究開発」を推進している。

(1)「ネットワークスライシング」により多様なア

アプリケーションを干渉なく収容可能しサービス提供の利便性を向上する技術

- (2) 「ネットワークソフトウェア化」に基づきインフラに柔軟で高度な機能を実装しセキュリティ高度化、通信効率化・障害予測などを実現する技術
- (3) 「エッジコンピューティング」を駆使する超低遅延通信により人間の知覚遅延に匹敵する低遅延通信制御の実現する技術
- (4) 「機械学習・AIによる運用自動化」による、運用人手不足問題の解決・自動的に最適な通信の提供を実現
- (5) 「IoT・AIによる地域創生」による地域の課題解決や地場産業振興の推進

これらの詳細に踏み込むことは紙面の限定から割愛し、当方研究室の論文を参照していただきたいところであるが、我々が情報通信の民主化に大きく期待するところは、ローカル 5G・自営 BWA・プライベート LTE など自営モバイル網を「最新技術を実装可能な環境」として活用することである。

たとえば、最新技術を実装可能な自営モバイル網を使うことで、以下のような利点を実現することが可能である。第 1 に、公衆モバイル網で実現困難な高度な運用が自営網において利用可能である点。第 2 に、公衆モバイル網と自営モバイル網の連携・設備共用によるユーザの利便性を高度化できる点。そして、第 3 に、大容量（映像による公共安全）・低遅延（自動運転等制御）・超多数（低コスト IoT）による地域創生の実証が行える点、などが挙げられる。

地域創生における 「情報通信の民主化」が持つ意味

実証実験を推進していくと、地域課題解決のユースケースでは、情報通信のインフラをカスタム化する必要があることが分かる。たとえば、当方の研究室が企業と実施した 5G のユースケースの実証実験では、ドローンに搭載された 5G UE（端末）

からの映像配信や軽種馬の厩舎におかれた CPE（Customer Premises Equipment）からの映像配信において、アップリンク方向の帯域を大きく割り当てる必要がある。一方、多くの商用公衆網では LTE での運用実績を見れば分かるように、多くのユーザは（大容量の）コンテンツをダウンロードすることが多く、ダウンリンク方向の帯域を大きく割り当てる調整がなされている。このように、一般の公衆網では大衆のユースケースを優先的に考えた運用が合理的であるが、ローカル 5G など情報通信が民主化された世界では、ユースケースが比較的に限定的となるため、たとえば、帯域割り当てを基地局において調整するカスタム化が合理的である。

また、別のユースケースである一次産業の課題解決のための環境センシングなどでは、センサの電池容量は限られているため、低消費電力の運用が望ましい。このため、IoT でよく使われる Cat-M1 などの LTE の運用では、NTT ドコモなどから eDRX と呼ばれる、ページング（端末への制御信号の発信）の周期を極端に長くできる設定が入っている。このような低消費電力化の工夫は、標準化のプロセスを経て、商用化された端末や基地局に導入されるが、ローカル 5G では、必ずしも標準化しなくても、ユースケースによっては超低消費電力化を施した基地局を利用するなど自由度が広がる。

つまり、産業振興や地域課題解決に特化した、情報通信のインフラをカスタマイズする自由度が得られること、これが地域創生における、情報通信の民主化が持つ意味と言えるだろう。

また、前述のように 5G では、パーティカル・ファーストのビジネスモデルが進行することが予測されるが、情報通信の民主化は、地域におけるパーティカル・ファーストをさらに進展させると考えられる。通信を提供する側と享受する側の明確な境界がなくなり多様な基本サービスを自ら構築しながら、地域課題の解決や産業振興を同時に実装する、いわ

ゆる「通信とパーティカルの融合」が起こると考えられる。パーティカルのユースケースから駆動される情報通信インフラ構築への移行が加速する。

重要なのは、「民主化」により、最新の情報通信の基本的なサービスを提供する主体が多様化し、ビジネスのアイデアを有するさまざまなステークホルダーがいろいろなサービスを自ら展開する環境が整ったパラダイムシフトである。今後、イノベーションはインフラ事業者よりもパーティカル・ファーストで推進される

通信事業者における「情報通信の民主化」が持つ意味

最後に、これらの情報通信の民主化の進行は、通信事業者にとって、どのような意味を持つだろうか？ ローカル 5G に割り当てられる周波数は、全国移動通信事業者は取得ができないことが総務省のガイドラインで示されている。このガイドラインによれば、一見、移動通信事業者とローカル 5G の接点はあまりないように見受けられるかもしれない。

しかし、通信事業者も、ローカル 5G のように自らがオンプレミスの、いわば専用線としての無線インフラを構築し、専用サービスとして提供するケースも出てくるだろう。または、周波数を万人が実際に使用し運用するためには、電波干渉調整・機器の設定などの経験を補完するため通信事業者がコンサルティングするようなビジネスも考えられる。

特に筆者が期待するのは、ローカル 5G を実装し、運用する、一般事業者が、移動通信事業者から通信インフラ設備を一部借り受けて、インフラコストを低減させる、いわゆる「設備共用」のモデルである。移動通信には、無線設備、基地局設備、アクセス網、コア装置、トランスポート設備、クラウド設備など

いろいろな構成要素が必要である。移動通信事業者が持つ、堅牢なインフラ設備の構成要素を、従来のクラウドのように、仮想化して貸し出し、利用するインフラ構築モデルが主流となることが予想される。情報通信の民主化を、全国移動通信事業者が支援するビジネスモデルである。我が国の情報通信の発展には、このような新しいビジネスモデルを許容し、推進する政策が必須と考えられる。

これからの情報通信

情報通信が民営化されて 30 年が経過し、通信を巡る国内産業は大きく発展を遂げたが、今後、情報通信の民主化はどのような便益を国民にもたらすか、前述のように、あらゆる観点で非常に興味深い。

最近、5G のサービスインが近づくにつれて、Beyond 5G (B5G) や 6G の声が聞こえるようになってきている。ITU-T NET-2030 という FG (フォーカスグループ) では、ユースケースを中心に、5G の次の通信インフラの在り方を考える議論が始まっている。また、フィンランドでは、6G のプロジェクトが立ち上がり 2018 ~ 2026 年までで約 300 億円の予算が付いている。

通信基盤技術は人々の経済社会生活を根本から支える屋台骨の技術であり、5G のサービスインが始まっても絶えず進化をし続ける。世界で進展する通信基盤技術の最新動向を常に把握し、戦略的に研究開発を進めることが重要である。

(2019 年 12 月 15 日受付)

■中尾彰宏 (正会員) nakao@nakao-lab.org

東京大学理学部卒業 (1991)、東京大学大学院工学系研究科修士修了 (1994)、IBM オースチン研究所・東京基礎研究所を経て Princeton University にて M.S., Ph.D. 取得。東京大学大学院情報学環助教授 (2005) 教授就任 (2014) (現職)。専門は情報科学・情報通信。