2章 携帯電話事業の変遷と将来展望

キーワード：携帯電話，700 MHz帯，第5世代，周波数

1. 携帯電話の歴史と変遷

1979年12月に，自動車電話として世界で初めて日本において商用サービスが開始された現在の携帯電話は，2013年9月末現在で1億4千750万加入（普及率115.2%）まで成長した（図1）。

携帯電話は，通信方式の歴史的な発展により，現在までは大きく4つの世代に区分される．第1世代はHiCap，TACS等のアナログ方式で，音声のみのサービスであった．第2世代はPDC，GSM等のデジタルTDMA（Time Division Multiple Access）方式およびcdmaOneのCDMA方式であり，音声に加えて9.6 kbps～64 kbpsといった狭帯域のデータ通信が可能となった．IMT-2000としてグローバルな標準化がなされ，第3世代のW-CDMA，CDMA2000のCDMA（Code Division Multiple Access）方式では，最高21 Mbpsまでのデータ通信が可能となった．日本では現在3.9世代とされるLTE（Long-Term Evolution）方式においては，10 MHz幅で75 Mbps，さらに後述のキャリアアグリゲーション（CA）技術を使って225 Mbpsといった超高速サービスが提供されつつある。

また，サービス面においては，1999年に始まったNTTドコモの「iモード」をはじめとする携帯インターネット接続サービスは，アクセスの容易さも相まって携帯電話の爆発的普及を促した．携帯電話はさらにカメラ機能，ワンセグ放送や「おさいふケータイ」に代表されるNFC（Near Field Communication）技術等を取り込みつつ発展してきている（図2）。

このような無線伝送技術との進歩と端末の多機能化が日本のほとんどの可住地域で「いつでも，どこでも，だれと

大山 真澄^{†1}，松原正次郎^{†2}， 礪 琢己^{†3}

図1 携帯電話契約数・普及率
（出典：総務省情報通信白書）

図2 携帯電話の世代と技術等

でも」を可能にし，日本人一人当たり1台以上の携帯電話を持つまでになった．また，2007年にAppleのiPhoneが発売され，このヒットは電話型のフィーチャーフォンからスマートフォンへの流れを形成した．加入者数の増加とスマートフォン化によるトラフィックの増加が相乗し，携帯電話用周波数のひっ迫を招き，新規周波数の割当が必要となった．700 MHz帯を含む携帯電話用周波数の割当はこのような携帯電話の発展を背景に行われている。

^{†1}ワイモバイル株式会社 渉外室 企画第一部

^{†2}KDDI株式会社 技術企画本部 電波部

^{†3}株式会社NTTドコモ 電波部 電波企画担当

"Development and Market Growth of Cellular Phone in Japan: Past, present and future outlook" by Masumi Oyama (First Regulatory Department, Regulatory and External Affairs Division, Ymobile Corporation, Tokyo), Shoujiro Matsubara (Spectrum and Radio Regulation Affairs Department, Technical Planning Division, KDDI Corporation, Tokyo) and Takumi Togi (Spectrum Planning Department, NTT DOCOMO, Inc., Tokyo)

図3 スマートフォン国内出荷台数推移 (2014年10月予測)

(出典：総務省電波政策ビジョン懇談会)

2. 現状と課題

携帯電話事業は、現在大きな転換期となっている。例えば、ユーザの使用端末はフィーチャーフォンからスマートフォンへ大きくシフト(図3)しており、これに伴い、ユーザニーズも音声やEメール主体からSNSやPC同等のデータ通信となってきた。

スマートフォンユーザの増加等により、移動通信の月間平均トラフィックは、2014年9月現在で783.9 Gbpsとなり、直近1年間で約1.4倍に増加した。また、固定網トラフィックに対する移動体網トラフィックの比率も、2010年の約6%から2014年には約27%に増加している。移動通信網のデータトラフィックに注目してみると全トラフィックの95%以上がスマートフォンによる(図4)ものとなっている。また、スマートフォンシフトによるデータトラフィックの特徴として「人が集まる特定の時間と場所」で局所的に急増する傾向(図5)があり、今後もこの傾向は継続されるものと想定され、オフィスエリアや駅周辺の局所的なトラフィック対策、興行イベント時の超局所的トラフィック対策が重要になっている。

これらの状況を踏まえ、携帯電話事業者はLTEの導入による周波数利用効率の向上や基地局の増設によるネットワーク容量の向上に加え、今後、4×4 MIMOなどのMIMO多重数の向上、CAの導入(図6)・対象帯域の拡大、スモールセルの導入、C-RAN(Centralized Radio Access Network)によるC(制御信号)/U(ユーザデータ)分離などの技術面の対策が積極的に行われる見込みである。

図4 モバイルデータトラフィックの推移

図5 局所的な高トラフィックのイメージ

(出典：総務省第4世代移動通信システムに関する公開ヒアリング：KDDI資料)

図6 キャリヤアグリゲーション(CA)の特徴

また、無線LANなどへのトラフィックオフロードや半従量制の料金体系の導入など、今後もさまざまな方策を組合せてトラフィック対策を行うことが携帯電話事業者の重要な課題となっている。

以上の傾向は、すでに2000年後半には顕著となってきたため、総務省において新たな周波数を確保すべく検討が行われ、平成24年(2012年)6月にアナログテレビ再編後の空き周波数であり、国際的に携帯電話が利用可能な700 MHz帯が新たな携帯電話の帯域としてNTTドコモ、KDDI・沖縄セルラー、イー・アクセス(現ワイモバイル)に割当てられた(特定基地局開設計画の認定)。この700 MHz帯は、携帯電話の周波数の世界的な調和を図りつつトラフィックの急速な増大への対処として早期に周波数を使えるようにするため、FPU(Field Pickup Unit)および特定ラジオマイクの免許人に対して新たな周波数帯へ移行する費用を負担することにより、周波数利用期限より前に携帯電話を使用できるようにする仕組みである終了促進措置が2011年に導入されている。

現在、認定された事業者4社は2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向けて世界最高水準のICT環境を構築し、国内のみならず海外からの渡航者へのおもてなしの実現やICTの高度発展に伴うトラフィック急増への対応のため、その素地となる700 M帯の早期構築が必要となるため、FPU、特定ラジオマイクの免許人の協力を得ながら移行に取り組んでいる。

しかしながら、今後10年でそのトラフィック量は100～1,000倍に増加すると言われている。これは、携帯電話へのさらなる周波数割当は喫緊の課題であることを示している。このような状況に対して、国際的には2020年時点で1340 MHz～1960 MHzの帯域幅がIMT向けに必要であるとのITU-Rでの検討結果¹⁾があるが、2014年12月に割当てられた3.5 GHz帯120 MHz幅を含めても、携帯電話・BWA(Broadband Wireless Access)への周波数割当は610 MHzにとどまるため、総務省は2020年までに約2,000 MHzを携帯電話・BWAに割当てる方針を示している。2014年12月に第4世代移動通信システム用に割当てられた3.5 GHz帯で

は、一部のエリアで固定衛星業務の地球局(衛星からの受信)が運用されており、地球局への干渉を避けながら3.5 GHz帯を展開していく必要がある。今後は、携帯電話で全国制限なく使用できるクリーンバンドの割当は難しく、携帯電話と他の多くの無線システムと周波数を共用した上での割当が進むと考えられる。しかし、将来的にこれら周波数帯幅が確保されたとしても、まだそのトラフィック増加量を吸収するには、さらに周波数利用効率の高い新しい無線アクセスシステムの導入が必須である。3節にて第5世代携帯電話の動向について紹介したい。

3. 将来動向

携帯電話システムのグローバル標準化に伴い、将来的な携帯電話の検討は国際的に協調して行われている。第5世代携帯電話(5G)における検討において、2013年頃より各国で検討を行う団体が設立され^{*}、利用シーン・アプリケーション、技術要求条件、候補技術、周波数などの議論が活発になっている。

5Gを実現するための各国での検討状況はIMTに関する研究を所掌するITU-RのWP5D(Working Party 5D)に報告されているため、以下にWP5Dでの検討状況を示す。

WP5D(前身のWP8Fを含む)では、これまでIMT-2000(第3世代)、IMT-Advanced(第4世代)システムの無線インタフェースに関する研究が行われ、民間標準化団体等から提案される技術仕様をITU-R勧告として採用してきたが、現在はIMT-2020(第5世代相当方式の仮称)としてシステムの新たな無線インタフェース仕様を2020年ごろに確定することを目指している。そのため今後IMT-2020に関する研究構想・方針検討(以降、Vision勧告)、技術特性要求条件策定、外部標準化団体からの無線インタフェース提案募集などのロードマップ案が示されている(図7)。なお呼称について、「第3世代(3G)」という用語はITUを含めて広く使われているが、「第4世代(4G)」の表現は世代区分が明確でないためITUでは基本的に用いられず、「第5世代」についても同様である。また、現在仮称としてIMT-2020が用いられているが、2015年10月までに正式な名称が決定される予定である。なお、日本では2020年に東京オリンピック・パラリンピックが開催され、5G実現の貴重なショーケースとなるため、世界に先駆けて5Gを実現することが重要であることが、電波政策ビジョン懇談会で提言されている²⁾。

2015年1月現在、IMT-2020に向けて利用シーン・アプリケーション、要求条件、技術トレンドなどを含むIMT-

^{*} 日本では2013年9月にARIB(電波産業会)に2020 and Beyond AH(20B AH)が設置され、2020年以降の移動通信システムに関する白書を作成し、ITU-R WP5Dに inputs した。また、2014年9月に第5世代モバイル推進フォーラム(5GMF)を設立し、産官学が連携して第5世代携帯電話の実現に向けた検討を行う体制が整えられた。

図7 IMT-2020無線インタフェース勧告の策定スケジュール案（2015年1月時点）

表1 Vision勧告案とITU-R勧告M.1645でのシステム要求条件の比較

	IMT-2000IMT-Advanced		IMT-2020	
	要求項目	目標値	要求項目	目標値
高速移動	Mobility	250 km/h	Mobility	500 km/h
ピーク伝送速度	Peak useful data rate	0.1-1 Gbps	Peak data rate	10-50 Gbps
ユーザ実効伝送速度	-	-	User experienced data rate	0.1-1 Gbps
端末接続数	-	-	Connection on density	10 ⁶ -10 ⁷ km ²
遅延（無線）	-	-	Latency	1 ms
電力効率	-	-	Energy efficiency	50-100 times IMT-Advanced
周波数利用効率	-	-	Spectrum efficiency	5-15 times IMT-Advanced
トラフィック密度	-	-	Traffic volume density	e.g. 1-10 Tbps/km ²

2020の研究構想・方針をVision勧告³⁾として取りまとめる作業が進められている。

これまでの携帯電話は、固定通信など他のメディアで実現されていたアプリケーションをモバイル環境でも利用できるよう進化を遂げてきた。すなわち人と人のコミュニケーション（通話、メール）および人が情報・コンテンツを入手する（Webブラウジング、動画コンテンツダウンロードなど）ことが主な利用形態であった。現在策定中のVision勧告案では、携帯電話は社会インフラとしてより多種・多様かつモバイルにしか担えない役割を期待されるものと位置づけ、例えば、M2M、IoT（Internet of Things）、ITS（Intelligent Transport Systems）など、モノとモノ、システムとシステムを円滑に機能させる役割や、これまで情報の受け手であった個人がコンテンツを創出していくためのツールとしての役割などが期待されている。現在想定されていないアプリケーションや端末の出現も予想される。Vision勧告案では、これまでにない“IMT Impact on Society”というセクションが設けられ、将来の携帯電話が社会に与えるインパクトを分析している。

また、多種・多様な役割を期待されていることを踏まえ、IMT-2020に求められるシステム要求条件も多様化、高度化している。表1はVision勧告案とITU-R勧告M.1645（IMT-2000、IMT-Advanced）でのシステム要求条件（要求項目・目標値）の比較を示しているが、ITU-R勧告M.1645では高速移動、ピーク伝送速度の2項目であったのに対し、8項目とすることが検討されている。

以下追加される項目を概説する。「ユーザ実効伝送速度」は高速通信を前提としたいつでも、どこでも使用できるアプリケーションのサポートがより重要となるため、ピーク伝送速度に加えて追加された。「端末接続数」はIoT、IoE（Internet of Everything）時代の到来を見据え、極めて多数の端末を接続可能とするために必要と考えられている。「遅延」については、例えば、M2MやV2V（Vehicle to Vehicle）でシステムの高機能化、安全システムの構築を想定すると、さらなる低遅延化が必要と考えられている。「電力効率」は、社会インフラとしてネットワーク側の電力消費の抑制が必要であることに加え、例えば、端末への充電を不要とするセンサネットワークなどで必要な要求条件である。周波数リソースは限られており、「周波数利用効率」も重要な要求条件として挙げられている。局所的なトラフィック集中に適応できることも重要であり、「トラフィック密度」も挙げられている。

次に、これらの要求条件を実現するための技術開発動向を紹介したい。2015年から2020年のタイムフレームのIMTの将来技術動向として、ITU-R報告M.2320⁴⁾が2014年11月に承認された。OFDMを採用したLTEのように、単一の多重・変調方式で周波数利用効率の劇的な向上を実現する候補技術は現時点でなく、複数の要素技術の組合せにより周波数利用効率の実現を図ることが考えられている。

周波数帯の観点での特徴は、高い周波数帯と組合せて導入することが効果的な技術が多く含まれることである。局所的なトラフィックを吸収することに高い周波数帯が適し

図8 将来の移動通信のサービス例
(出典：ドコモ5Gホワイトペーパー (NTTドコモ))

ていること、低い周波数帯はさまざまな無線システムで使用されているため、将来の追加周波数割当は高い周波数帯が現実的であること、などの側面がある。WRC-15 (2015年世界無線通信会議) でのIMTへの周波数追加特定の検討では、6 GHz以下の周波数のみが候補帯域となっているが⁵⁾、2020年以降に向けて6GHz以上の高い周波数帯のIMTへの追加特定をWRC-19 (2019年世界無線通信会議) の新議題として設定しようとする議論が、欧州、米国、アジアなどで始まっている。

(2015年2月3日受付)

〔文 献〕

- 1) Report ITU-R M.2290-0: "Future spectrum requirements estimate for terrestrial IMT"

- 2) 電波政策ビジョン懇談会最終報告書, p.26
- 3) Working document toward preliminary draft new Recommendation ITU-R M. [IMT.VISION] : "IMT Vision - 'Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond'", WP5D 第20回会合 (2014年10月開催) 議長報告第3章 Attachment 3.6
- 4) Report ITU-R M.2320: "Future technology trends"
- 5) Draft CPM Report on technical, operational and regulatory/procedural matters to be considered by the 2015 World Radiocommunication Conference (ITU-R), p.56

大山 真澄 1988年、東京大学工学部卒業。2004年、イー・アクセス(株)(現ワイモバイル(株))入社。主に携帯電話の制度対応業務に従事。現在、同社渉外室企画第一部部長。

松原正次郎 1982年、熊本電波工業高等専門学校卒業。同年、国際電信電話(株)(現KDDI(株))に入社。以来、短波通信の保守運用、海底ケーブルの設計・建設保守、携帯電話基地局の建設業務に従事。2011年、同社設備計画部長。(公社)移動通信基盤整備協会出向を経て、2014年より、KDDI(株)技術企画本部電波部副部長。

琢己 研 2000年、(株)NTTドコモ入社。2013年より、同社電波部電波企画担当課長。携帯電話に関する周波数関連業務、ITU-R活動に従事。