

# 無線通信が拓くブロードバンドの可能性

上村圭介

## 【目次】

1. ブロードバンドの入口としての無線
2. 無線通信への期待の高まり
3. 無線ブロードバンドの課題
4. まとめ：無線とブロードバンドの融合

## [要旨]

無線通信への期待の高まりは、単に移動体での通信を可能にするというだけでなく、むしろ、高速の通信を提供し、設備ベースの競争を促進するという可能性によるものである。その流れの中で、より効率的な無線通信を実現するために、無線周波数割り当ての効率化が議論されるようになってきている。

アメリカでは、周波数割り当ての効率化を進める手法として、周波数に明確な所有権を設定し、市場で取引させようという「所有権モデル」と、無線通信での技術革新を最大限に取り入れることで周波数割り当てそのものを不要にしようとする「コモンズモデル」の二つのアプローチが注目されている。しかし、どちらかのモデルですべての需要が満たされるわけではなく、二つのアプローチのどこに最適なバランスを見出すかが問われていると言える。

長期的に見れば、この問題は、単に周波数をどのように管理するかということではなく、インフラとしてのネットワークを管理する通信事業者が今後も通信産業の主体となりつづけるのか、あるいは通信産業の主体の座が縁にいる利用者と端末機器のメーカーに奪われることになるのかということが問われているという点で、通信産業全体に対して極めて大きな意味をもつ。

利用者がイニシアティブをもつ通信環境を実現するための技術開発や具体的なモデルの開発は十分でなく、これからも積極的な投資やコミットメントが必要な分野であるが、今後の動向が注目される。

## [Abstract]

Wireless communication is becoming increasingly important. It enables unfettered mobile communication, faster connectivity, and, ultimately, has the potential to promote facilities-based competition in the broadband market. However, as expectations for wireless grow, so the inadequacies of the current system of radio spectrum allocation become increasingly apparent. For wireless communication to deliver its full potential there needs to be a reformulation of the way in which radio spectrum is allocated or shared among users.

In the United States two approaches to the reformulation of radio spectrum allocation are being discussed: a "property" model and a "commons" model. In the former approach radio spectrum is divided into small parcels that can be owned as property, and each parcel can be auctioned off or traded in the market. Based on recent technological innovations, the commons model attempts to render spectrum allocation itself obsolete. However, neither of the two models is able to satisfy the requirements of all parties (users, carriers, manufacturers, and so on) involved. Consequently, some form of compromise solution between the two is required. [Discussion around how to reach this compromise is the subject of this paper].

In the longer term, this issue has significant implications for the telecommunications industry as a whole. The reformulation of radio spectrum allocation asks the question whether telecommunication operators, who currently control network infrastructure, will keep the initiative in the industry, or whether control will be taken over by users at the edge of the network and by equipment manufacturers.

The concept of user-initiated networks has a long way to go before becoming reality. Technological improvements still need to be made before such networks are operationally sound. But as investments increase and the commitment of all parties to user-initiated networks grows, we can expect them to be realized and trends in the development of these network types should be carefully reviewed.

# 1. ブロードバンドの入口としての無線

無線通信は、通信を送るための線が不要であるという特徴や空間中を伝搬するという電磁波<sup>※1</sup>の特性を活かし、位置が固定されない移動体での通信や、地表や電離層による反射を利用した見通しがえられない距離での通信に活用されている。しかし、今日、無線通信には、このように「線(wire)が無い(-less)」ことに由来する特徴以上の役割が期待されている。それが、ブロードバンドである。

無線技術への期待が今ほどの高まりを見せる以前から、過渡的にせよ無線技術が他のアクセス手段よりも高速の通信を提供し、ブロードバンドの担い手となる可能性があることは注目されてきた。特に、ADSL(asymmetric digital subscriber line)がこれほどまで普及すると想像されていなかった2000年初め頃までは、移動時で最高384 Kbps、静止時で最高2 Mbpsの通信を可能にする第三代携帯電話技術が、当面はもっとも高速のインターネットアクセスを提供するものと期待されていた。

さらに、無線通信は、アクセス系におけるいくつかの課題を解決するものとしても注目される。一つには「ラスト・ワン・マイル」あるいは「ファースト・ワン・マイル」と呼ばれてきたアクセス系の整備がある。通信と放送の融合であれ、情報家電への統合化であれ、情報通信技術の活用による新しい生活の形を実現するためのさまざまなアプリケーションは、利用者の手元までネットワークが到達していることを前提とする。しかし、そこで常に課題となるのが「ラスト・ワン・マイル」と呼ばれる、利用者の手元までのネットワークの整備であった。ラスト・ワン・マイルのないネットワークは、例えて言うなら入口のない高速道路のようなものだが、無線通信は、この問題を解決する手がかりを与えてくれるかもしれないのである。

無線通信が解決するもう一つの課題は、アクセス系の設備ベースにおける競争を実現する点である。アクセス系のネットワークは、構築や管理のために大規模な投資が必要であり、サービスを提供できる事業者が限られてきた。そのため、競争を促し産業全体を向上させるためには、ある事業者がもつ設備を他の事業者に開放することによって、他の事業者がその設備を経由して、利用者サービスを提供できるような措置が取られてきた。

その点、無線通信は事業者施設と利用者との間で、有線のネットワークを張りめぐらせる必要がなく、アクセス系を構築する負担が軽減される。無線通信では端末を利用者が購入・所有しているケースが一般的だが、これは無線では利用者がアクセスラインを所有している状態に近い。これまで巨額の投資を行ない構築し管理してきたアクセス系のネットワークのあり方を変える可能性を秘めている。無線LANのホットスポットを提供するサービスのよう、これまでネットワークが利用できなかったところにもアクセスを提供するケースが出ているが、これらは、設備ベースの競争の一つの形と言えらる。

このように無線通信は、これまでのインターネットが抱えていたさまざまな問題に対してブレークスルーをもたらし、ブロードバンドの進展においても新たな発展を促す原動力として期待される。さらに、通信というサービス、あるいは通信産業全体における競争を促進する可能性も秘めているのである。

無線通信に期待が寄せられる一方で、このような変化に則した無線通信規制の姿が議論されるようになってきている。無線通信を行なうためには、空間中を伝搬する電波を利用する必要があるが、従来、電波の利用は電波法をはじめとする法令によって強く規制されている。一部の例外を除いて、電波の利用は免許制が取られており、周波数ごとに利用者と用途が定められている。ところが、このような従来の規制の手法は、技術の革新や利用者の入れ替えが頻繁には起こらないことを前提としている。現在のように、技術革新の成果を積極的に取り入れ、無線通信技術に基づいて次世代の通信インフラを構築しようとした場合には、かえって妨げになりかねない。このような視点から、無線通信に関する規制のあり方、特に周波数割り当てという制度のあり方を見直す動きが各国で起こっている。

本稿では、無線通信に寄せられる期待について述べたうえで、その期待を実現する過程で解決すべき課題、なかでも周波数規制の問題について概観し、無線通信がもつブロードバンドネットワークへのインパクトについて考える。

## 2. 無線通信への期待の高まり

無線通信への期待が高まっていることの背景には、無線通信をめぐる二つの状況の変化がある。

一つは、社会経済的背景である。直接的には携帯電話の普及により、無線通信の経済的な価値が高まったことがある。携帯電話以外にも、無線LAN(local area network)のホットスポットサービスや、無線ISP(Internet service provider)など、無線を利用した通信サービスが登場し、無線通信がこれまでとは違った価値をもたらすかもしれないという期待が高まっている。

無線通信への期待の高まりを支えるもう一つの背景は、無線通信の技術革新である。現在の無線通信の規制枠組みは、20世紀はじめの無線通信技術の制約に縛られている。19世紀後半にマクスウェルにより存在が予言された電磁波は、その後、ヘルツによりその存在が実験的に確認され、マルコーニにより通信への応用が実証された。しかし、この100年近くの間、無線通信のための技術は大きく発展し、それに加えて、IEEE 802.11bに代表される無線技術が普及するなど、100年前には想定されていなかった電波の利用法が可能になっている。

それでは、ブロードバンドに対して無線通信はどのような意味をもち、ブロードバンドと無線の「融合」はどのような未来をもたらすことになるのだろうか。

国際大学グローバル・コミュニケーション・センター、慶應義塾大学、スタンフォード大学アジア／太平洋研究センターの共催により2003年1月21日に開かれたシンポジウム「無線ブロードバンドが開く新世界」<sup>※2</sup>では、無線ブロードバンドをめぐるさまざまな期待と、それを実現するために必要な周波数規制のあり方についての議論を行なった。その中で行なわれた議論を踏まえて、無線ブロードバンドの可能性について概観しよう。

## 2.1 シームレスなサービス

無線技術がもつ力の一つは、端末機器、ネットワーク、サービスのそれぞれにおけるさまざまな多様性を維持しつつ、利用者に対してシームレスな利用環境を提供できることにある。ここで言う「シームレス」という言葉の意味は、単に利用者が、物理的な配線にかかわらずに機器をもって移動できるということではない。むしろ、無線技術が、多様な機器やアクセス技術をオーバーレイする役割を担うという点に注目している。

ワイドエリアネットワーク(WAN)、ローカルエリアネットワーク(LAN)、パーソナルエリアネットワーク(PAN)は、それぞれ、地域的カバー、セキュリティ、サービスモデル、用途、運用主体において異なる特徴をもっている。利用者は、ネットワークインターフェースを切り替えるというだけでなく、ネットワークの形態も場面に応じて切り替えることになるだろう。このような状況では、数年前までのオフィスでそうだったように、ある特定のネットワーク接続方式、例えばイーサネットだけを必要十分のネットワークインターフェースだと考えるわけにはいかない。

無線アクセスは、このような多面的な切り替えに有利に働く。例えば、職場ではIEEE802.11bの無線LANを、そして屋外では第三世代携帯電話サービスによるデータ通信を利用するということを考えてみよう。

電話、イーサネット、光ファイバーなど、有線系のネットワークインターフェースは、そもそも配線を受ける口の形状がそれぞれ異なる。有線ネットワークには、距離や移動性の制約があることはもちろんだが、それ以上にインターフェースの物理的形狀という点からも、切り替えの容易性のうえで強い制約を受けている。一方、無線ネットワークは物理的層のレベル(つまり、電波)でシームレスな切り替えが可能である。

「無線」という共通の媒体の上に、いくつものアクセス技術をオーバーレイして、自動的に切り替えることができれば、利用者は場所だけでなく、ネットワーク環境もシームレスにホップすることができる。このような切り替えを前提にすれば、同じ標準や技術によって一つの統一的なブロードバンドが提供されなくても、利用者がこのような異なる様相の通信を必要に応じて、あるいは場面によって切り替えることで、シームレスにサービスやネットワークを利用し分けることができる。

また、アクセス系のシームレス化の裏側で進む、機器やサービスの多様化にも注目すべきである。「切り替え」を意識せずに使い分けられるということは、機器の多様性をもたらし、さらには市場やサービスの多様性に結びつく。多様化する利用者のニーズを、一つの巨大化した事業者が満たすのではなく、異なるサービスを提供する事業者同士の提携により、多様性を許容できる内容のサービスを提供していくことが戦略的に重要性を増すことになるだろう。無線を利用したインターネット接続サービスを提供する無線ISPや、ホットスポットサービスの間では相互に提携の動きが進んでいるが、このような動きは、その流れの中にあるものである。

## 2.2 ブロードバンドの新たな「価値」としての無線

一方、通信事業者にとっては、無線通信はブロードバンドサービスに新しい価値を増し加えるものとなる。実のところ、ネットワーク接続サービスの速度は、ISDN(Integrated Services Digital Network)時代の64 Kbpsから、光ファイバーによる100 Mbpsへと向上しているものの、利用者一人あたりの収益は増加しているわけではない。ブロードバンド化が進むにつれて、ビットあたりの単価はますます下がっている。

これは、従来の従量課金制が成立しにくくなったことを意味するだけでなく、そもそもネットワークサービスの「価値」が、今やインターネットアクセスを提供するだけでは維持できなくなったことも含意する。そのような背景から、通信事業者は、無線とブロードバンドの組み合わせにネットワークサービスのさらなる価値を見出そうとしている。これまでのブロードバンドが「一家に一つ」のブロードバンドであったのに対して、無線と組み合わせることで、ブロードバンドは「一人に一つ」の、しかも「持ち運べる」ものになる。

「持ち運べる」ブロードバンドの代表例は、無線LAN型のサービスだろう。街頭での有料無線LANサービスを提供する事業者は、表1に示すように増えている<sup>※3</sup>。

表1 無線LAN型の無線ブロードバンドサービス

HOTSPOT	NTTコミュニケーションズ	<a href="http://www.hotspot.ne.jp/">http://www.hotspot.ne.jp/</a>
Mzone	NTTドコモ	<a href="http://www.nttdocomo.co.jp/p_s/mzone/">http://www.nttdocomo.co.jp/p_s/mzone/</a>
Mフレッツ	NTT東日本	<a href="http://www.ntt-east.co.jp/flets/mflets/">http://www.ntt-east.co.jp/flets/mflets/</a>
Yahoo!BBモバイル	Yahoo! Japan	<a href="http://bbpromo.yahoo.co.jp/">http://bbpromo.yahoo.co.jp/</a>
駅でワイヤレス	JR東日本	<a href="http://www.jreast.co.jp/musenlan/">http://www.jreast.co.jp/musenlan/</a>

このようなブロードバンドサービスへの新たな価値とは、言い換えれば「ユビキタス性」ということになるだろう。ネットワークの新しい価値であるユビキタス性を実現する強力な手段として、無線技術は通信事業者にとって重要な意味をもつことになる。

実は、無線ブロードバンドが現在のように大きな動きになる前に、アメリカではスプリントやメトリコムなどの事業者が、無線ISPサービスを提供していた時期がある。これらの無線ブロードバンドサービスは、現在の無線ブロードバンドの波の一つ前の波という意味で第一世代の無線ブロードバンドと呼ぶことができるが、第一世代の無線ブロードバンドサービスは、煩瑣な導入工事、端末機器価格、限定されたサービスエリア、不十分な通信速度というどれを見てもビジネス的に洗練されていなかった。結局これらの欠点が克服できなかったため、この時期の無線ISPサービスは十分に成長しなかった。

しかし、最初期の段階の無線サービスの「失敗」は、決してその後の無線ブロードバンドの可能性を否定するものではない。最初の世代の無線ISPサービスの欠点は克服されつつある。現在進みつつある第二世代の無線ブロードバンドは、そのことを裏付けていると言えるだろう。機器が小型化し、移動性も備えられている今日の無線ブロードバンドは、第三世代携帯電話サービスと並んで、着実に新たな無線サービスの一角を築きつつある。

## 3. 無線ブロードバンドの課題

ブロードバンドの「入口」として、無線を利用するためには、通信・ネットワーク技術、コンテンツ、事業・サービスモデルなど、克服すべき課題がいくつかあるが、なかでも近年注視されているのが、周波数割り当て規制に関するものである。無線によるブロードバンドサービスを促進するために、規制を見直し、より時代に則したものとしていこうと試みられている。

### 3.1 周波数割り当て見直しの動き

無線通信に関する規制、取り分け周波数の割り当て制度についての規制は、制度が最初に確立した当時の技術水準を前提としていると言われる。その後発展した技術を活用すれば、より効率的に電波を利用することも可能なのだが、規制によりそれが十分有効にできない。そこで、規制が想定している技術的前提を、無線通信の技術革新の成果に合わせて更新すべきだという声が高まっているというわけである。

その中でも最大の焦点は周波数の配分の方式である。周波数の割り当ての枠組みを変えようとする動きは、日本をはじめ各国で進んでいるが、アメリカでは2002年7月に連邦通信委員会(FCC)の周波数政策タスクフォース(Spectrum Policy Task Force)が設置され、2002年9月に報告書を出している。日本では、IT戦略本部や総務省の総合通信基盤局長の研究会「電波有効利用政策研究会」などが同様の視点から、周波数の効率的な配分の方法についての検討を行なっている。

一連の無線通信の規制見直しの議論は、単純に周波数割り当て方式の変更を求めるものではなく、他にもいくつかの論点がある。FCCの周波数政策タスクフォースがまとめた報告書では、電磁波の有効利用を進めるために、周波数の割り当て方式の改革以外にも、次のような論点に触れている<sup>※4</sup>。

- ・免許不要周波数帯域の拡大
- ・地域特性(都市部、過疎部など)を考慮した柔軟な割り当て
- ・実験用帯域の拡大
- ・微弱周波数の同時並行利用(アンダーレイ)
- ・「送信中心主義」的規制から「受信中心主義」的規制への転換

無線通信に関する規制のもっとも重要な役割は、干渉を防止するための周波数の割り当てであった。ある組の利用者が無線を利用して信号を誤りなく送受信するためには、ある周波数帯域の電磁波をその組に占有させなければならない。しかし、当事者同士の交渉では公平性や安定性が保証できないため、規制当局が公平な第三者として周波数の配分を管理しているというわけである。しかし、このような管理のあり方は、制度が制定された20世紀初頭の技術的制約を前提としており、今では必ずしも効率的ではないというのが、周波数割り当て制度の見直しの一つの理由となっている。

近年の無線通信の需要の高まりと、それに伴う割り当て可能な周波数の不足を受けて立法府、行政府、学界、民間団体がそれぞれの立場から無線技術について関心をもち始め、それぞれの立場からの政策提言を行ないつつある。しかし、FCCの周波数政策タスクフォースの委員長であったポール・コロツィーが言うように、帯域、用途、利用者といった項目ごとに個別の政策を立てるのではなく、無線通信を情報通信の共有基盤として考える包括的な政策が必要となるだろう<sup>※5</sup>。

無線通信の規制の新しい手法が必要だという認識はしだいに一般的なものとなってきたが、具体的な手法や利害についてはそれぞれの立場で異なる。コロツィーが強調しているのも、政策的に重要な課題であると認識されるようになればなるほど、政策立案に携わる人に無線技術の正確な知識と理解が求められるという点である。

これまでに述べてきたように、無線通信は、これからのブロードバンドおよび情報通信一般の発展に大きく貢献すると期待されている。その期待に応えるためには、無線通信の技術革新の成果を積極的に取り入れていく必要がある。しかし、無線による通信は極めて強い規制の下にあり、技術革新の成果を取り入れるうえで規制が結果的に障壁となるケースがある。無線通信の、とりわけ周波数割り当てのあり方を見直そうという動きは、この障壁を取り除き、無線通信における技術革新を促進しようとするものである。

### 3.2 二つの考え方：所有権モデルとコモンズモデル

アメリカで、無線周波数を割り当てる手法としての「規制」の有効性を問う議論が学者の間で行なわれるようになったのは1960～70年代にかけてのことだった。当時は学問的な見地から周波数割り当て方式について検討するという域を出ず、具体的に規制当局であるFCCがその可能性を検討し始めるようになったのは、1980年代に入ってからであった。そして、従来の比較検討方式による割り当てに加え、限定的なオークションによる割り当てが導入されたのは1990年代のことである。「限定的なオークション」というのは、オークションで落札された周波数利用の権利を再譲渡することが認められていなかったことなどが理由である。

ところで、この問題は、アメリカのネクストウェブ・テレコムが1998年に破産した際にもっとも象徴的に明らかになった。同社は、破産する2年前の1996年に周波数オークションでPCS (personal communications service) 周波数免許を落札していたが、破産にあたり、FCCはこの免許を「回収」し、再オークションにかけた。しかし、この措置の妥当性をめぐって訴訟

が起きた。これは、オークションにかけられたものが、土地の所有権のように所有者固有のものとなる周波数の利用権だったのか、それともカード会社から会員に対して貸し出されたにすぎないクレジットカードのようなものだったのかが不透明であったことと無縁ではないだろう。

現在主流となっている周波数割り当ての方式は、規制当局が申請者の申請内容を比較考慮したうえで、特定の周波数を利用する免許を与えることから「指揮監督」方式と呼ばれている。このような側面をとらえ、無線周波数の割り当ては、自由主義社会に残された数少ない統制的な制度であるとも言われる。

これに対して、二つの改革案が提案されている。一つは、周波数を土地と同等に分割や再販が可能な独立した権利として考えようという「所有権モデル」による改革である。これは、1960年代から段階的に進められてきたオークション制度の導入をより徹底化する試みと位置付けられるだろう。もう一つは、周波数利用に関する規制を、健康被害の防止、製造者責任の確立といった例外を除き完全に自由化しようという「コモンズモデル」による改革である。これは、従来の方式を超越したまったく新しい仕組みを導入しようとする試みであると言える。

周波数割り当てのあり方をめぐっては2003年3月に画期的な会議が開催された。スタンフォード大学ロースクールのローレンス・レッシグ (Lawrence Lessig)らが中心となって開催したシンポジウム「周波数政策：所有権かコモンズか？」<sup>\*6</sup>である。

この会議の目的は、無線技術の進展と需要の拡大を受け、次世代の情報通信インフラに相応しい無線周波数の割り当て方法についての議論を行なうことだった。スピーカーとして、ローレンス・レッシグ、デビッド・リード (David Reed)、ヨハイ・ベンクラー (Yochai Benkler)、ジェラルド・フォールハイバー (Gerald Faulhaber)、デビッド・ファーバー (David Farber) など、ここ数年行なわれてきた無線周波数割り当て見直しの議論を代表する論客が勢揃いした。彼らが一つの場で議論を行なったという点だけを見ても、極めて象徴的な出来事であった。

この会議には、コモンズ派の立場の論者として、会議主催者の一人でもあるスタンフォード大学ロースクールのローレンス・レッシグ、ニューヨーク大学のヨハイ・ベンクラーなどが出席した。また、所有権派の立場から、FCC計画政策局のエバン・クエレル (Evan Kwerel)、「ビッグバン」オークションの提唱者であるペンシルベニア大学のジェラルド・フォールハイバー、マンハッタン研究所のトーマス・ヘズレット (Thomas Hazlett)らが意見を述べた。

実のところ、一見大きく異なるこれら二つの立場は、前述の社会経済的な変化と技術的な変化をもとに、技術革新への対応、機動的な周波数割り当ての実現、効率的な電波利用の促進といった目的を共有している。

周波数割り当てにおける現在の問題は、事業者に対して配分された周波数が有効に活用されていないケースがあることと、それに加えて、有望な新規サービスを企図する事業者に対して配分するための周波数の余剰がないということである。周波数割り当ての流動性を高めることによって、非効率な周波数利用を抑制し、効率的で社会的効果の高い目的での周波数利用を促進する必要がある。

しかし、周波数割り当ての機動性を実現するために、どのような具体的な方策をとるかという点では、まだ社会全体としての合意は形成されていない。コモンズ派は、これまでの無線

通信における技術革新の成果は、利用者に対する事前の周波数の割り当てという作業を必要とせず、必要に応じて周波数を「開放」し、誰でもが必要なときに必要に応じて利用できるコモンズ(共有資源)にすべきだと提案する。一方、所有権派の議論は、周波数帯域に対して、現在のような中途半端な免許制度ではなく、周波数利用に所有権(財産権)制度を導入し、その権利が市場で取り引きできるということを背景に、経済原理に基づく機動的で効率的な無線周波数の利用を目指すべきだと訴える。

スタンフォード大学でのシンポジウムは、周波数割り当て見直しをめぐるの二つの主張を改めて対峙させ、その中から周波数管理のあるべき姿を探る議論を喚起する役割を担ったと言えるだろう。

### 3.2.1 周波数の効率的利用か通信容量の増大か

それでは、コモンズモデルでは、周波数の割り当てという問題についてどのような考え方をするのだろうか。

ニューヨーク大学の経済学者であるヨハイ・ベンクラーは、そもそも周波数割り当てを、稀少資源の割り当て問題と考えることに誤りがあるという<sup>\*7</sup>。稀少資源であるということは、その資源を市場原理によって管理することの理由になったとしても、行政が周波数の配分をコントロールするという現行の方式を合理化する理由にはならないと指摘する。

コモンズモデルの考え方、あるいはベンクラーがいう「開放型無線ネットワーク(openwireless network)」の考え方によれば、政府による周波数割り当て方式と徹底した所有権モデルのどちらを選択するか、という従来の二分法は意味をなさない。というのも、この考え方では、先端の無線技術を取り入れることで、周波数を分割し、利用者に対してあらかじめ割り当てるという方式自体をとらないのである。無線通信の本来の目的は、ある周波数を使うということではなく、(その周波数で搬送される)通信容量を確保することである。重要なのは、ある高さの周波数の電波を割り当てることではなく、無線を利用した通信容量を確保することだと定義される。その中で、周波数は、通信容量を規定するパラメーターの一つにすぎなくなるのである。

この転換を象徴的に示したのは、IEEE 802.11bによる無線LANの急速な進展である。802.11b技術は、免許が不要なISM(industrial scientific medical)バンドの一つである2.4 GHz帯の周波数を利用して最高11 Mbpsまでのデータ通信を行なうものであるが、この技術では中央集中的な方式で周波数の利用が管理されているわけではない。有線のイーサネット同様、同じ媒体を利用して他の組が通信を行なっているときには、衝突を避けるため、その組の通信が終わるのを待つという原則に基づいて、複数の組がほぼ同時に通信できるようになっている。

ベンクラーは、開放型無線ネットワークと従来の周波数割り当て型ネットワークについて経済学的な分析を行なうための三つの視点——機器コスト、置き換え(displacement)コスト、管理・運用コスト——を提示する。機器コストは、通信を行なうために導入する機器全体のコ

ストである。この中には、ネットワークインフラのコスト、中継系のコスト、端末のコストなどが含まれる。開放型無線ネットワークでは、集中的な管理を行なう主体が存在しないため、機器にかかるコストは端末側に分散する。一方、周波数割り当てに基づくインフラベースのネットワークでは、インフラ側の機器のコストの比重が高くなる。

こういった機器のコスト構造は、収益モデルにも反映される。開放型無線ネットワークの場合には、端末の機器価格にすべてのコストが含まれ、通信にかかる費用は、すべてそこで回収されなければならない。インフラベースの無線ネットワークの場合には、資本はインフラ側に先に投入され、サービスを提供することを通じて事後的にそのコストを回収することになる。このように考えると、二つのネットワークモデルのどちらがより高コストであるかは、自明ではない。

コスト的な分析の二つめの論点は、置き換えコストである。これは、ある組が通信を行なうと、他の組が通信できなくなるというコストを示す。周波数をあらかじめ割り当てておく方式では、割り当てを受けた組は確実に通信できる一方、割り当てを受けない組は通信を行なうことができない。開放型無線ネットワークの場合には、ある周波数をどれか特定の組の通信に確保せず、どの組も通信容量に「空き」がある限り自由に通信を行なうことができる。反面、通信を行なおうとする瞬間に「空き」がなければ、通信できなくなる。ベンクラーは、経済学的手法に基づき、開放型無線ネットワークのほうが、置き換えコストは低くなると分析している。

三つめの視点は交渉・管理コストである。所有権モデルにしる規制当局による配給モデルにしる、周波数をあらかじめ割り当てる方式では、周波数の割り当てを行なうための事務的・行政的コストが発生する。所有権モデルでは、オークションの実施や、その後の登記などの処理が必要になる。また、配給モデルでも、同様に配給制度を運用するための事務的・行政的なコストが発生する。特に、ベンクラーは、所有権方式を導入した場合の交渉コストが、周波数所有権の効率的な値づけを本質的に妨げ、所有権方式に本来期待される効果の発現を妨げていると指摘している。一方、開放型無線ネットワークでは、管理コストは直接的には発生しないが、管理がなくても全体として通信が行なわれるための技術を機器に組み込む必要があり、その分が機器コストに反映される。

ベンクラーは、これらの分析を通じ、従来の配給方式や所有権モデルによるよりも、開放型無線ネットワークによるほうが、無線通信の総合的なコストを下げ、効率的な無線通信を行なうことができるはずだと結論づける。しかし、この結論は、現時点ではあくまで理論上のものであり、どれか一つを選択するには実証的な研究が不足しているため、彼はいずれのモデルが適切であるのかを判断するために、複数モデルを実証する移行期間を設けることの重要性を主張し、実証期間導入のためのいくつかの提案を行なっている。

一つは、コモンズ領域の拡大である。これは、所有者がいない共用の周波数を利用したソフトウェアとハードウェアの技術開発を推進するために、十分な規模と安定性をもった周波数帯域を共用領域として確保することである。現在のような部分的で限定的な免許不要周波数帯域ではなく、長期的な展望をもってある周波数帯域を共用領域とすることで、投資を呼び込み、研究開発を促進することが必要というのが理由である。

二つめの提案は、所有権モデルの実証である。周波数を全面的に所有権モデルによって

利用することになるにせよ、ならないにせよ、現時点では限定的に所有権モデルを導入し、その効果を検討することが必要である。第一の提案と併せて実施することで、どちらのモデルが、将来の無線通信のために有効であるのかを判断する手がかりを得られると期待できる。

バンクラーの議論は、開放型無線ネットワークを構想するうえでの基礎となる技術的、経済的な考察を行なっているが、そのメッセージの中核は、投資が起こる場所が変わりつつあるという指摘ではないだろうか。

### 3.2.2 「財産」としての周波数

所有権モデルの立場から、周波数政策について述べたFCCのエバン・クエーレルは、周波数割り当てのあり方を変えなければならないという点では二つの議論の流れの間に合意があり、争点はどのように変えるかということであると指摘しながらも、「稀少性」という考え方を維持する必要性を訴えた<sup>※8</sup>。サービスを提供する立場の事業者にとっては、通信容量があればよいという議論はやや乱暴だという。これは、インターネットのことを考えてみても分かるだろう。インターネットは、理念的には確かに抽象化された接続性や通信容量だけを提供し、その他の具体的・個別的なことは捨象されている。しかし、具体的なサービスを提供するコンテンツ事業者やアクセス事業者にとっては、接続性や通信容量が具体的にどのようにチューンされたルーティングによって実現するかも重要な問題である。同様に、電波を利用した通信をサービスとして提供するであろう事業者にとっては、単に通信容量が確保できるということだけでは不十分なのである。

また、事業者がサービスを提供する際には、周波数の他に、カバーエリア、移動性、サービス品質などを考慮しなければならないが、これらの特性も、単に容量の増大によって解決できるものではない。これらのことから、彼は、周波数管理に所有権モデルを導入することの必要性を訴えている。彼は、周波数割り当ての仕組みを所有権モデルに移行させる措置を提案している。これは、割り当て済みの帯域を回収し（インカンベントには返却のイニシアティブも与えたうえで）、未割り当ての帯域と併せてオークションにかけるというものである。

この方式によると、322 MHzから3.1 GHzまでの438 MHzにわたる周波数帯域が「開放」できることになる。また、所有権モデルの導入は、二次取り引きを可能にすることを通じて周波数割り当てに柔軟性を与えられるだけでない。それは、周波数の利用効率を単に技術的な問題から、経営資源の効率的運用という経営上の問題へと引き上げることができるという。周波数の運用が現場の技術者の判断に委ねられている間は、現場から周波数を有効利用しようというインセンティブは働きの悪い。しかし、二次取り引きによって周波数を利用する権利に値段が付き、見える形で経済的な価値が与えられれば、周波数の価値を最大限に引き出そうという動機が与えられるはずである。獲得された周波数の権利が、その価値に見合った利用法をしていないと経営的に判断されれば（例えば、無線通信よりも安価な代替技術が存在していると理解されれば）、その権利を効率的に利用できる主体に移転されることになるだろうというのである。

クエーレルの議論に対し、元FCCのチーフエコノミストのフォールハイバーは、現行の周波数管理の問題は、官僚的(ときに政治的)な手続きによって割り当てが決定されること、そして、免許の発行に際して、許可された周波数の利用目的が限定されてしまうことの2点であると考える。彼は、このような事前調整的な周波数割り当ての非効率性を、旧ソ連邦における国家計画委員会(ゴスプラン)になぞらえて批判する。

規制当局による周波数割り当てが非効率になる原因は、周波数規制を担当する規制当局が周波数割り当ての際に考慮する「パラメータ」が、実際に事業者や市民が無線通信を使用する個別の状況(地理的制約、ビジネスモデルの違い)を反映しきれないところにあるという分析がある<sup>※9</sup>。利用者ごとに異なる条件を考慮して、周波数の割り当てが最適化されることが理想だが、実際には規制当局が把握できる条件には限界があるというのである。

フォールハイバーは、中央管理的な周波数割り当てが陳腐化しつつあるもう一つの理由として、技術革新により無線通信に利用できるようになった周波数の範囲が拡大したことを挙げる。20世紀の初めには0 Hzから890 MHzまでの範囲だった利用可能な周波数が、0 Hzから3 GHzにまで拡大している。このように利用できる周波数は拡大しているにもかかわらず、彼の分析によれば実際に有効利用されている周波数のブロックは3 GHzまでの間に3カ所しかないという。つまり、それ以外の大半は、割り当てられながらも有効に利用されていないブロックだということある。

所有権モデルでは、まず周波数を利用する権利が、一般的な財産権と同様に二次取り引きも可能な譲渡可能な権利として設定され、そのうえで、市場原理により調整された利用価値と価格のバランスに基づいて、周波数が効果的に分配されることになる。こうすることで、周波数を分配する役割が規制当局から分離され、周波数の非効率な配分が解消されると考えるわけである。需要が高い周波数帯域は高い価格が設定され、利用者によるその価格に見合う効率的な運用を促す動機を与えることになる。逆に、需要が低い周波数帯域の価格は低く抑えられることになる。

市場主義的なメカニズム以外にも、周波数の効率的配分に効果的な手法がある。その一つが、先進的な無線通信技術の利用である。フォールハイバーは、動的に検知した未使用周波数を利用して通信を行なう「アジャイル無線(agile radio)」などのソフトウェア無線技術を利用することで、さらに効率的に電波を利用することができると述べる。所有権モデルと先端技術を組み合わせ、リアルタイムで取り引きが行なわれる周波数市場が実現できれば、電磁空間を利用した通信の利用効率をさらに高めることも可能になると言う。

### 3.3 周波数見直しの議論から見えるもの

これまで、周波数見直しの議論をめぐる二つの流れについて見てきたが、それでは今後、この議論はどのような方向に進むことになるのだろうか。以下では、今後の状況を見るうえで、注目すべき点について述べておこう。

### 3.3.1 隠れた前提

周波数割り当て見直しをめぐる議論には、いくつかの隠れた前提があることに注意したい。コモンズモデルの開放型無線ネットワークの議論にも、所有権モデルの周波数割り当てを支持する側の議論にも、同様の前提がある。

コモンズモデルの開放型無線ネットワークの議論には、次のような隠れた前提がある。

- ・必要なのは周波数ではなく通信容量である。
- ・端末は高性能である。
- ・通信の内容は低出力で短距離間のデータ通信である。
- ・ネットワークはインフラベースでなく端末指向で構築される。
- ・電波を指向性をもった通信に利用する。

無線通信を必要とする利用者にとって、これらの前提がどの程度受け入れられるものだろうか。特に、既存、新規を問わずサービスを提供する事業者にとってはどうだろうか。また、無線による周波数を必要としているのは、決して先端技術だけではない。また、先端技術を利用するからといって、それが開放型無線ネットワークに自動的に結びつくわけでもないだろう。

携帯電話インターネット協会(CTIA)の規制政策担当副会長ダイアン・コーンウェル(Diane Cornwell)は、サービスを提供する立場の事業者が求めているのは周波数の所有権ではなく、干渉からの保護にすぎないと述べている<sup>※10</sup>。事業者にとっては、サービスを提供するうえで、干渉なく通信できることの確実性と予測可能性を確保することが重要なのである。

現在の枠組みでは、この二つの特性は、周波数割り当てという手段を通じて事業者に対して確保されているわけだが、開放型無線ネットワークが前提とされ、周波数利用が自由化されることになったとき、事業者の要求は満たされるのだろうか。あるいは、このような要求をする事業者は、開放型無線ネットワークが主流となる次世代通信の主役にはなることができないということになるのだろうか。

### 3.3.2 誰が周波数を必要としているのか

もう一つ懸念される点として、周波数割り当ての制度が自由化されたとして、その制度がどの程度有効に活用されるかという点がある。

現時点では、新しいサービスや事業者への周波数配分の必要性が強く叫ばれているが、このような状態はいつまでも続くのだろうか。オープンな周波数市場を導入するにせよ、コモンズモデルの開放型無線ネットワークを実現するにせよ、その導入と維持のためにはコストが必要となる。このような革新的な新規事業者が登場しつづけないのであれば、現在の状態に合わせて制度を変えるというのは過剰な社会的コストを自ら強いることになる。

機動的な周波数の割り当てを目指し、制度改正をしたものの、実際にはその制度が利用されないということも起こりうる。

例えば、オーストラリアでは、所有権モデルに近い二次取引可能な周波数免許の制度が1997年から導入されている。現在では、500 MHz、800 MHz、1.8 GHz、2 GHz、2.3 GHz、3.4 GHz、27 GHz、28 GHz、31 GHzの周波数帯に対して、周波数免許が設定され、利用者によるオークションが実施されている。

オーストラリアの周波数免許は、電波を周波数と地理的位置によってブロックに分割し、そのブロックごとに所有権を設定するというものである。そのブロックの周波数の所有権の保持者は、電磁波の出力といった技術的な制約を受ける以外、使用目的や変調方式の制約は受けない。しかも、その権利は再販売などの取引が可能とされている。用途の制約を受けないことを活かして、アレイコム(ArrayComm)は、オーストラリアの子会社CKWを通じて、第三代携帯電話の周波数ブロックを利用したデータ通信サービスの実験を2002年11月に開始した。

ところで、実際に二次取引はどの程度行なわれるものなのだろうか。2002年夏に、筆者はオーストラリアの無線通信の規制を統括するオーストラリア通信庁(ACA)の担当者と面会したことがある。その時点では、周波数の取引の実績は実際にはまだないという状況であった。これは、制度導入からあまり時間が経過していなかったこともあるだろうが、同時に、周波数再割り当てに求められている機動性が、数年単位の比較的長期的なものであることを示しているのではないだろうか。

### 3.3.3 議論の着地点

実は、この二つの立場の議論は、結論らしい結論が出るものではない。この問題は、一方のモデルが片方を置き換えるという性格のものではない。むしろ、その間のどこに妥協点を見出すかということのほうが重要なのである。

コモンズと所有権の議論は、「あれかこれか」の問題ではない。所有権モデルを提案する論者の多くは、所有権モデルに基づいて、コモンズ的な要素も取り込みながら、自由な通信のためのプラットフォームとしての電波という理想に近付けることがもっとも重要だと言う。

つまり、重要なことは、純粋なコモンズ派の立場と完全な所有権モデルの立場のどこかに妥協点を見つけ、そこで両者を混在させた制度やシステムを作り上げ、さらなる技術革新が可能である状況を維持することなのではないだろうか。

このような観点から、一つの妥協として、ある部分の周波数だけを開放するという提案もある<sup>\*11</sup>。すべての利用者がコモンズモデルの開放型無線ネットワークが課す前提をすぐには受け入れられないということを考えると、このような妥協点が現実解となるだろう。

「所有権モデル対コモンズモデル」という立論は、法律家やジャーナリストにとっては刺激的に映るが、もはや争点はその二分法の中にはないという声はどちらの議論からも聞こえてくる。我われはすでに、政策的な視点から具体的な技術に基づいてどのような政策が実現可

能なのかを検討する段階に入っているのである。

## 3.4 無線ブロードバンドに求められる新しい技術

### 3.4.1 インフラ非依存のネットワーク

無線ブロードバンドを実現するためには、より効果的な無線通信のための技術を採用することが必要となる。特に、周波数の開放を求めるコモンズモデルのネットワークでは、そのような技術の採用が前提となる。

それでは、現行の周波数政策を陳腐化させ、新しい形の開放型無線ネットワークを実現する技術革新とは何なのだろうか。起業家であり「グループ形成ネットワーク」理論の提唱者であるデビッド・リードは、無線通信における技術革新のポイントが三つあることを述べている<sup>※12</sup>。一つは、我われが求めているのが、周波数ではなく通信容量であるはずだということ、二つめは、周波数規制の根拠となってきた周波数の「干渉」<sup>※13</sup>は、従来の規制で想定されていたような「混信」を受信機側に引き起こさず、現在の技術では無視できるほど小さな影響しかないこと、三つめは、「ウイルス型」のインフラ非依存のネットワークモデルを採用することで、より多くの通信容量が得られること、である。

リードだけでなく、無線通信の先端的な技術に通じている論者の多くは、現在の周波数規制が前提としている無線技術が電波の利用法として効率のよいものでないことを指摘する。現在の周波数規制は、混信を排除するために時間単位、あるいは空間単位で周波数を静的に分割し、利用者に対して提供している。このような静的な分割は、無線通信の需要が継続的に変化する時代には、多くの無駄を生んでしまう。

現在主流の周波数規制の方式では、電磁波は周波数によって多数のブロックに分けられる。電磁波は、その周波数のブロックに従って利用者に割り当てられる。あるいは、周波数ブロックと地理的な区画を組み合わせた三次元的なブロックによって割り当てられる。新しいサービスを提供しようとする事業者や利用者は、規制当局から周波数ブロックの割り当てを受けなければならないが、周波数割り当てにおける問題は、この周波数ブロックがすでに既存の利用者によって埋め尽くされ、場合によってはほとんど活用されていないにもかかわらず、後発の利用者に周波数の区画が回ってこないことである。

このようなブロック化は、複数の「チャンネル」がそれぞれ誤りなく通信できるためのものとして導入されている。チャンネルの間に周波数上の間隔と地理的な間隔のいずれか、あるいは両方を確保して電波の干渉や混信を防いできた。ラジオの周波数やテレビのチャンネルは、周波数的な間隔、あるいは地理的な間隔によって隔てられたチャンネルの例である。そして、このブロック化が今や自由な周波数利用を妨げる要因だと認識されるようになってきているのである。

ところで、電磁波を区別する手がかりは周波数だけではない。発信の時間、到達の仰角

と方位角、偏波の傾きなどの特性を組み合わせることで、周波数が同じ電波であっても区別して受信することができる。もちろん、単純な受信装置でこのような区別はできないので、高い計算能力をもつデジタル受信機が必要になる。

現在の周波数規制は、主として周波数という特性によってチャンネルを区別しているが、これは、無線技術が開発され始めた頃の受信機が、そのような単純なチャンネルの区別しかできなかったことと関係がある。しかしデジタル技術をはじめとした技術革新により、選択的な利得と高速のデジタル処理を伴った高性能受信機を使えば、電磁波の特性を最大限に活用して周波数だけでなく波の位置や角度によってもチャンネルを区別することができる。そのような受信機を使えば、同じ周波数を使っても誤りのない信号の受信が可能になる。ところが、現在の無線通信の規制は、周波数という特性だけでチャンネルが区別された時代の技術を前提としているため、周波数に過度に依存した枠組みのまま取り残されているのである。

さて、リードは、このような無線技術の背景を踏まえたくうえで、次のように述べる。現在のよ様に電波を周波数的な間隔や地理的な間隔で分割する方式では、無線局の数が増えるのに伴って、無線局あたりに与えられる通信容量が減少してしまう。100 MHzの幅をもつ電磁波を10 MHzの間隔で分割すれば、利用者は10人までになってしまうし、同じ周波数の電波を共有するために出力を落とし到達距離を短縮すれば、複数の利用者が異なる地理的ブロック中でその周波数を利用することができるが、そのままでは利用者がその地理的ブロックに限られてしまう。彼は、電波を静的に分割する方式では、需要に応じたネットワークの拡張性に乏しく、今後も増大する無線通信の需要に応じていくことが難しいと予測する。

リードによれば、この問題を解決するためには方法が二つある。一つは、細かく分かれた地理的な区画の外にも通信できるように、通信を中継するリピーターを導入することである。さらにリピーターによる中継を多段的に行なうホップ・バイ・ホップ・リピーティングの導入が有効であるという。ある電波を利用してネットワーク全体をカバーしようとするれば、無線局あたりの通信容量は、無線局の数に反比例して減少する。しかし、その電波を、ネットワーク全体をカバーするために使用せず、近隣の無線局との通信だけに使用し、リピーターを導入することで信号をリレーさせることができれば、結果的にネットワーク全体の容量は増大することになるという。

リードが提案したもう一つの方法は、電波の指向性の活用である。指向性を組み入れることで、信号のランダムなリピーティングの非効率性を防ぐことができる。指向性がないランダムなリピーティングのネットワークの容量は、ノードの増加に伴って増加するが、ノードが増えれば増えるほど容量の増加はなだらかになる(図1)<sup>※14</sup>。一方、指向性をもつネットワークでは、ノードが増加すればするほど容量が増加する(図2)<sup>※15</sup>。

**Capacity (Bit-meters/sec) vs. Station Density**

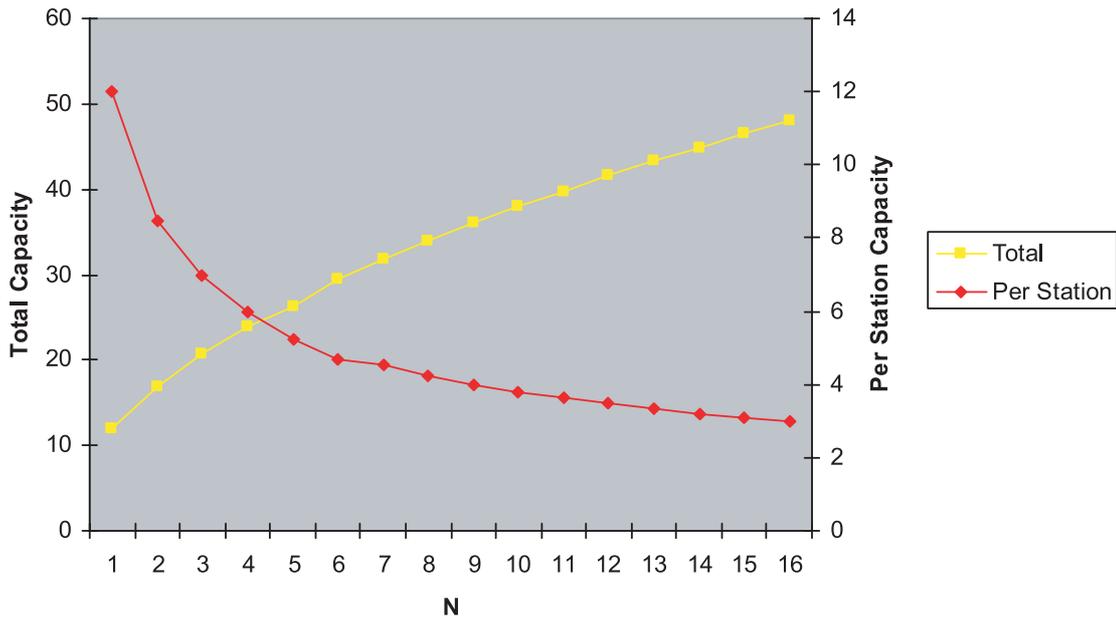


図1 Repeater Network Capacity<sup>※14</sup>

**Capacity (Bit-meters/sec) vs. Station Density**

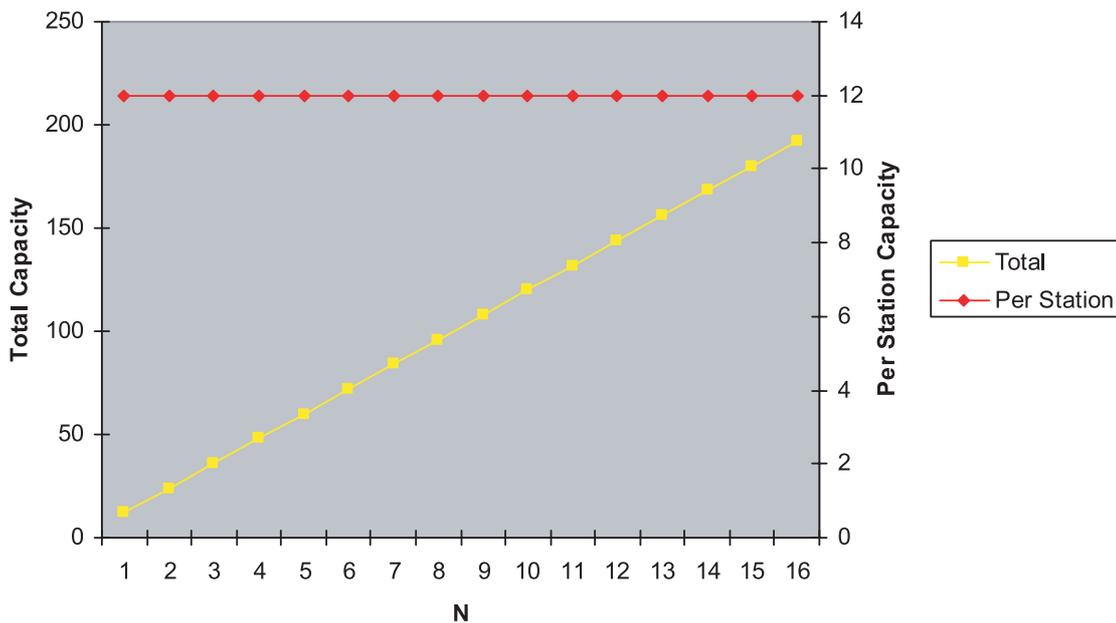


図2 Network Capacity Scales w/Demand<sup>※15</sup>

これらの提案に従うと、アンテナの数は現在と比べ物にならないほど増えるが、一つあたりの出力は低く抑えられ、全体の通信容量は逆に増大する。無線通信でもっとも重要なのが通信容量の確保であるならば、これは極めて効率的なネットワークとなる。このネットワークは、

利用者が加われば加わるほど、ネットワーク全体の通信容量が増加することになる。彼は、このような特徴をもつネットワークのことを「ウイルス型(viral)」通信と呼んでいる。

リードが構想するこの通信モデルは、現時点ではアイデアの域を大きく出たものではない。しかし、この中には、非常に多くの示唆が含まれている。例えば、ウイルス型通信では、通信を行なうノード同士が共通して利用するインフラが存在しない。つまり、ピア・トゥー・ピア(P2P)のネットワークである。インフラ型の通信ネットワークの場合には、ノードの通信需要の増大に応えるためには、インフラを拡大し、ネットワークの通信容量を拡大する必要がある。一方、P2Pのウイルス型通信の場合には、ネットワークのバックボーンを追加するのではなく、ノードを追加することでネットワークの容量を拡大するという、一見直観に反する特徴をもつ。

リードのウイルス型通信の構想は、さらに大きな意味をもっている。それは、コンピューターのダウンサイズが、単なる機器の小型化にとどまらず、メインフレームコンピューティング(ホストコンピューターをターミナルから利用する)からパーソナルコンピューティングへと変化したのと同じように、通信も大規模インフラを必要とする「メインフレーム型」の通信から、パーソナルな「ウイルス型」の通信へと変化するという予見を含むからにはほかならない。ウイルス型通信は、インフラがなくても十分な容量をもつことができるネットワークであるばかりではない。インフラを拡大するコストをかけてネットワークを拡張するのではなく、むしろ利用者を増やすためのコストをかけることでネットワークを拡張するモデルを示しているのである。

もちろん、このようなネットワークの実現のためには、これから解決していかなければならない課題も少なくない。このようなネットワークを実現するためには、受信装置側に、スマートアンテナや動的周波数検知技術など高度な処理能力が必要となる。また、実際にこのモデルの通信ネットワークが成立するとしても、通信経路での秘匿性やプライバシー保護、互いに通信を行なうノード同士の認証などの課題もある。

さらに、P2P型のモデルに必ずつきまとう「エチケット」の問題がある。ウイルス型通信は、参加する利用者が、それぞれの通信容量や他の利用者の通信のリピーティングをするための処理能力を提供しなければ成立しないが、ただ乗りの利用が増えることは、ネットワークの持続性や拡張性を下げてしまう。

### 3.4.2 自主管理と問題解決のためのメカニズム

通信容量が一定であれば、利用者の過剰な増加により通信容量という資源の枯渇が起こる。しかし、容量がノードの増加とともに増加するとすれば、このような事態は理論上は起こらない。それでも、そもそもこのような仕組みが問題なく機能するためには、ネットワークに参加するノード間の協調が必要になる。例えば、強力な妨害的な電波を発する悪意あるノードがネットワークに存在したとすれば、他のノード間の通信が不能になってしまう。開放型無線ネットワークでは、通信を保全するためのノード間の協調を確保することが、規制当局に期待される役割の一つとなるだろう。

IEEE 802.11bとBluetoothは、ともに2.4 GHzのISMバンドを利用するが、これら二つの

技術は同じ空間内で共存ができない。直接スペクトラム拡散方式をとる802.11bは、ある範囲の周波数帯域に信号を分散させるため、その範囲内の一部が他の通信と干渉してデータパケットが破損しても、再送信によって正しい信号を送ることができる。しかし、周波数ホッピング方式のBluetoothなどの技術が混在すると、範囲内の幅広い信号が干渉することになり、通信に大きな影響を与える。最悪の場合には、IEEE 802.11b側の通信が途絶してしまう。ある混在環境の実験では、IEEE 802.11bネットワークの通信への影響は、Bluetoothの通信量にかかわらず常に現れ、Bluetoothの通信量(IEEE 802.11b側から見ればノイズ)に伴って、より多くの影響を受けると報告されている<sup>※16</sup>。

コモンス的な周波数利用が広がるとした場合、ある周波数の中で利用される技術標準や、ある周波数を利用するための優先権は、すべて利用者相互の交渉により解決されることが前提となる。それでは、IEEE 802.11bとBluetoothの例のように、異なる二つの標準間での干渉がどちらかの(あるいは両方の)通信に悪影響を与えることになった場合、どのようなプロセスでこの問題を解決することになるのだろうか。

方法の一つとして、既存の標準化団体や国際組織の場で合意を形成することが考えられる。例えば、今年(2003年)スイスのジュネーブで開かれる世界無線通信会議(WRC)では、無線データ通信に関連する議題として、議題1.5「ITU-Rの研究結果を考慮し、5150-5725 MHz帯において、決議第736(WRC-2000)に従って移動業務、固定業務、地球探査衛星業務及び宇宙研究業務への新たな又は追加の分配のために規制事項及び周波数要求を検討すること、並びに、格上げの観点から無線標準業務のステータスを見直すこと」、議題1.6「最新のITU-R勧告を考慮して(例えば、勧告ITU-R S.1426、ITU-RS.1427、ITU-R M.1454)、5150-5250 MHz帯で運用する移動衛星業務のフィードリンク(地球から宇宙)を保護するための規制措置を検討すること」<sup>※17</sup>などが挙げられているが、日本をはじめ各国は無線データ通信の需要が高まりに配慮して、周波数計画を見直すことを提案しつつある。

また、無線LAN技術の代名詞ともなった802.11技術をはじめとするネットワーキングのための標準化を手がけているIEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) では、IEEE 802技術と他の技術との共存に関する802.19委員会を2003年1月に発足させている。IEEE 802技術ファミリーとの共存の相手としては、Bluetooth、衛星通信、HyperLanなどが想定されている。IEEEでローカルエリアネットワークおよびメトロポリタンエリアネットワークに関する標準化を担当する802委員会には、無線通信技術に関する三つのワーキンググループ(WG)が設置されている。無線LANのための802.11ワーキンググループ、無線パーソナルエリアネットワークのための802.15ワーキンググループ、そして無線によるメトロネットワークのための802.16ワーキンググループである。ワーキンググループには、さらに個別の技術課題に応じてタスクグループが設置される。「ドットイレブンビー」は、802.11ワーキンググループのタスクグループb(TGb)によって標準化が行なわれたものである。

技術開発のためのワーキンググループとは別に、各国の無線通信政策をIEEEとしてモニターし、IEEE内の各委員会の意見を集約してコメントを行なうための802.18ワーキンググループや、802委員会内外の技術間の共存のための802.19ワーキンググループが設置されているが、今後周波数の割り当ての見直しや、異技術間の共存がより重要なテーマになるに

つれ、これらのワーキンググループの重要性も相対的に高まることになるだろう。

表2 無線通信の標準化を行なうIEEE802委員会のワーキンググループ

802.11	無線LAN (TGa、TGb、TGgなど)
802.15	無線PAN (TG1がBluetooth、TG2が共存技術、TG3が高速PAN、TG3aが超高速代替PAN)
802.16	無線MAN
802.18	周波数規制
802.19	共存技術

2.4 GHz周辺のISMバンドを利用するIEEE 802.11b、Bluetooth、コードレス電話、ワイヤレステレビは競合してお互いの通信を妨げるという問題がある。今後も無線通信を利用する機器は増加していくと思われるが、通信容量の不足よりも、電波の出力や変調方式の特性による通信への障害が問題となるとと思われる。

周波数管理が自由化され、利用者が自由にアクセスできるものになるとすれば、その中で自律的ルールや規制が必要になる。通信容量の制約はないとしても、電磁波の特性上起こりうる障害(過剰な出力、意図的な妨害)を防ぐためのルール作りが必要となるだろう。

その場合のルールとはどのようなものになるのだろうか。先に紹介したスタンフォード大学のシンポジウムでは、この問題に関する議論も行なわれた。このようなルールは、受信機、チャンネル、フォーマットに依存しないものにならざるをえない。内容的には「Listen before you talk」の原則(「送信する前に、他の電波がないか確認せよ」)、最大出力に関する原則(「ほかの受信機に障害を与えるほど強い電波を発してはならない」)、動的周波数検出の原則(「利用可能な周波数は自分で検出せよ」)など、ありふれたものにすぎない。議論の中では、ルールを決めることだけでは問題は解決せず、むしろ、誰がそれを監視するかということのほうが重要となることが明らかになった。

このような監視は、ある組織や団体が単独で行なっても効果は乏しい。そこで、第三者的な立場からルールが守られているかを監視する役割が必要になる。例えば、インターネット技術の管理・開発を行なうIETF(Internet Engineering Task Force)や、ウェブ技術の取りまとめを図るW3C(World Wide Web Consortium)に似た民間組織、あるいは「周波数警察」のような公的機能の導入を検討する必要があるだろう。監視を「誰が」「どこで」「どのように」するのは、これまでと大きく異なるが、無線通信を媒介にした社会活動が信頼をもって実施されるためにも、適切な周波数利用を監視していく機能はこれまで以上に重要となるだろう。

もう一つのポイントは、規制の対象がこれまでと大きく変わりうることである。これまで無線

通信に関する規制の対象は、電波を受ける大多数の受信機ではなく、電波を送信する比較的少数の送信機であった。しかし、規制の枠組みの視点が、ベンクラーやリードが主張するように、送信機から受信機にシフトするということは、規制すべき対象が大きく変わるということである。コモンズモデルも所有権モデルも、無線通信を行なううえで規制当局による事前主義的な集中管理から、機器メーカーに対する製造者責任や利用者の自己責任に基づく自主管理を強調するが、このような枠組みの下で、全体的なコーディネーションがどのように実現できるかも、今後の重要なテーマである。

### 3.4.3 要素技術の方向性

前述した課題は、社会や制度にかかわるものだが、もちろん技術的にも解決すべき課題は残されている。新しい技術に基づくことで従来の周波数管理が不要であると主張する論者の間でも、彼らが思い描くような次世代の無線通信のための研究開発が不足していることが意識されている。前述のデビッド・リードは自らが描くウイルス型のネットワークを実現するまでには10年はかかるだろうと予測しており、元FCCチーフエンジニアのデビッド・ファーバーも、新しい無線通信の実用化のための研究は、まったく不十分であると述べ、この分野における技術開発への注力が必要だと訴えた。

それでは、どのような技術要素が、今後、注目されるべきなのだろうか。デビッド・リードは、そのような技術要素として、エンド・トゥー・エンドの暗号化、プライバシー保護、認証などを行なうための技術を挙げた。ソフトウェア無線技術や、動的に空き周波数を検知し、割り当て、必要に応じて補償を行なうための技術、またこのような原理で動作するネットワークの拡張性を確保するための技術もこれからの課題となるだろう。

また、次に挙げたのは、最近行なわれた国際シンポジウム<sup>※18</sup>での研究報告の中で、今後の無線通信技術を見るうえで興味深いと思われるトピックである。今後の動向を見るうえで参考としたい。

**【GSMネットワークへの二次的アクセス】**GSM携帯電話のネットワークの空きを利用した2点間の通信を実現するためのシグナリングチャンネルとプロトコルの実証実験。特に、利用率が上がったときに、二次利用者が先にネットワークを利用して、一次利用者である携帯電話会社が排除された場合の補償額のシミュレーションも実施。

**【第四世代携帯電話の端末間リレー通信のシミュレーション】**端末のアイドル時間を利用したリレー通信は、リレー役の端末への負荷が少なく、ネットワーク全体の電力消費も7分の1から3分の1で済む。

**【無線ブロードバンドの産業構造】**この先10年で進むユビキタス、パーベイシブのネットワーク環境で重要なのは、統一規格よりもマルチプロトコルのサポート。無線LANの「インフラ」は、事業者の商用ベースのものだけでなく、補助金ベースのものも重要になる。技術特性もビジネスモデルも大きく異なる、機器ベースの無線LANとインフラベースの通信事業がお互いを

どのように補完していくのかを予測することが重要。

**【P2Pネットワークの効率的なアドホックリンクの確立】**既存のネットワークが存在しない場合(災害、遠隔地など)や既存のネットワークの利用を避けたい場合(価格など)など、動的に中継ルートを発見、確立するための効率的な方法とセキュリティーの確保。

**【緊急通信の確保】**緊急通信のような用途は、IPネットワークの世界ではアプリケーションが考えられるべきこととされてきた。しかし、IPネットワークが社会にとってより重要なものになるにつれ、IPベースの緊急通信へのニーズが高まる可能性がある。必ずしも音声による緊急通信ということだけでなく、緊急時のコミュニケーションを確保する手段を提供することが、新しいネットワークの価値を高めることにつながる。

**【アダプティブ無線技術の開発】**周波数の隙き間を検知し、その隙き間にあった波形の電磁波を生成する「日和見のメディアアクセスコントロール(MAC)技術」を提供し、無線技術について十分理解していないかもしれない政策コミュニティに対して、この方向の技術のフィージビリティを示す。

他にも、次のような分野もこれからの研究開発と投資の方向として挙げられている<sup>\*19</sup>。

- ・UWB(ultra wide band)技術、コグニティブ(cognitive)無線、ソフトウェア無線技術、メッシュ型通信などに基づく通信技術の標準化
- ・チップセット、埋め込み技術の開発
- ・家電製品、電子電気機器、車載機器などへの組み込み技術
- ・分散通信技術のための基本ソフトウェアと管理技術
- ・分散通信を前提にしたコンテンツ

UWB技術、コグニティブ無線などの新しい世代の通信技術の基礎研究が必要だというのは、デビッド・ファーバーをはじめ多くの論者が指摘するところであるが、実用化を視野に入れた場合には、この他にもチップセット、電気製品への埋め込み技術の開発、またピア・トゥー・ピア型のアドホック通信を前提としたネットワークの管理技術などの開発が注目される。

## 4. まとめ：無線とブロードバンドの融合

周波数が自由化され、通信容量がユビキタスに存在するようになったとして、そのうえで何を我われが行ない、それによって我われの社会や生活がどのような影響を受けることになるのかは明らかではない。ハワード・ラインゴールドは、その著『Smart Mobs: The Next Social Revolution』<sup>\*20</sup>の中で、20世紀初頭の市民は、馬なし馬車(自動車)がもたらすことになる生活環境への影響を予測しつつ、その自由や力や利便性をもたらすための方法を見つけることができなかった。彼は、そのことを踏まえ、現在のコンピューターと情報技術が世代を超えてもたらす影響について考えることの重要性和難しさを指摘している。

コモンズモデルであれ、所有権モデルであれ、周波数政策見直しの議論が目指しているのは、周波数利用の自由化である。では、周波数利用の自由化と結びついた無線ブロードバンドの世界はどのような姿になるのだろうか。

周波数利用の自由化によりもたらされるのは、複数主体が共働的に構築する無線通信の網(あみ)である。デビッド・リードは、この網に「ネットワーク」ではなく、「ソサエティー(society)」という言葉をあてた。彼はこの言葉に、中心と周縁からなるインフラベースの通信形態でない、新しい通信形態という意味を込めているのだろう。

実は、ネットワークからソサエティーへのシフトは、通信産業の主役の交代ということも意味している。バンクラーが言うように、無線通信のもっとも大きなインパクトは、ネットワークの中心に向けられてきた投資が、これまでネットワークの「縁」であった利用者の方向に向けられるようになるというところにある。現在普及が著しい無線LANは、アクセスポイントまで引いてきたネットワークを無線によって共有するために使われているが、その意味では、有線ハブが「無線ハブ」に置き換わっただけにすぎない。しかし、無線通信の能力をもったコンピューターは、単なるバックボーン通信の「消費者」という立場をいずれ脱却し、リードが言う通信の「ソサエティー」の一員になり、全体として大きな通信容量をもつ通信の網の実現に向かうに違いない。

現在は、個々のアイデアや要素になる技術がばらばらに提案されている状態であり、コモンズモデルに基づく開放型無線ネットワークや、リードが考えるような通信のソサエティーの構想には、技術やサービス全体の流れの中で具体的に何が実現されるのかがまだ見えてこない。

もちろん、このモデルが注目されるようになったのは最近のことであり、本当に実現するために何が必要かを議論してきた蓄積が少ないということもあるだろう。また、無線LANの普及という現実こそが、コモンズ派の議論の最大の起動力であるのだが、本来LANの技術であるIEEE 802.11bを中心に全体を描こうとしているところが、かえって全体像を描きにくくしている面もあるに違いない。仮に将来、11bの技術をベースにしたネットワークが実現するとしても、もともとLANのために開発された技術をベースにして、社会全体にどうやって通信容量を提供していくのかは大きな挑戦である。

それでも、開放型無線ネットワークや通信のソサエティーが社会にブロードバンドをもたらすとすれば、そのネットワークは、これまでのインフラ中心のネットワークとは異なるコスト構造と、何よりも異なる主役をもつことになる。インターネットは、利用者中心のネットワークだと言われてきたが、無線という要素は、ネットワークに対する利用者のコントロールをさらに高め、逆に通信事業者がもっていた主導権を奪い取ってしまう可能性をもっている。

無線ブロードバンドとは、そのような大きな変革の一翼を担う、画期的な第一歩であるに違いないのである。

上村圭介(かみむら・けいすけ)  
講師・主任研究員

## 注

- ※1 ここでいう無線通信は、主として3 kHzから3,000 GHzまでの電磁波を利用するものを想定している。可視光線や赤外線による通信は、広い意味で無線に含まれることがあるが、本稿の議論では、これらの通信は対象としない。
- ※2 <<http://w3.glocom.ac.jp/project/wireless>>
- ※3 東京ホットスポット情報館<<http://www.joho.st/hotspot/>>
- ※4 Robert Berger. 2002. Highlights of FCC SPTF Report. [国際大学グローバル・コミュニケーション・センターでの発表資料]
- ※5 Paul Kolodzy. 2003. Technology Visions for Spectrum Policy. International Symposium on Advanced Radio Technologies (ISART) 2003.  
<[http://www.its.bldrdoc.gov/meetings/art/art03/slides03/kol\\_p/kol\\_abs.pdf](http://www.its.bldrdoc.gov/meetings/art/art03/slides03/kol_p/kol_abs.pdf)>
- ※6 Spectrum Policy: Property or Commons? 2003年3月1日、2日  
<<http://cyberlaw.stanford.edu/spectrum/>>
- ※7 Some Economics of Wireless Communications. Harvard Journal of Law & Technology. Volume 16, Number 1 Fall 2002.  
<<http://jolt.law.harvard.edu/articles/pdf/v16/16HarvJLTech025.pdf>>
- ※8 Evan Kwerel and John Williams. A Proposal for a Rapid Transition to Market Allocation of Spectrum. [OPP Working Paper Series 38]  
<[http://hraunfoss.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/DOC-228552A1.pdf](http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DOC-228552A1.pdf)>
- ※9 Douglas Galbi. 2002. Revolutionary Ideas for Radio Regulation.  
<<http://users.erols.com/dgalbi/telpol/rirr.pdf>>
- ※10 ISART 2003. 前出
- ※11 Nobuo Ikeda. 2002. The Spectrum as Commons Digital Wireless Technologies and Radio Administration. [RIETI Discussion Paper Series 02-E-002]  
<<http://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/02e002.pdf>>
- ※12 スタンフォードにおける会議での基調講演。
- ※13 ここでいう「干渉」は、二つ(またはそれ以上)の発生源から放出される同じ周波数の電波が、お互いに弱めあったり強めあったりすることを、また、「混信」は、二つ(またはそれ以上)の発生源からの同じ周波数の電波が、干渉された状態で受信機に入り、信号が正しく取り出されないことをそれぞれ示す。
- ※14 <[http://www.its.bldrdoc.gov/meetings/art/art02/slides02/ree/ree\\_slides.pdf](http://www.its.bldrdoc.gov/meetings/art/art02/slides02/ree/ree_slides.pdf)>
- ※15 同前
- ※16 Cameron McKay and Fukumasa Masuda. 2003. Empirical Study of 802.11b Wireless Networks in the Presence of Bluetooth Interference. Proceedings of the International Symposium on Advanced Radio Technologies.
- ※17 <<http://www.tele.soumu.go.jp/j/inter/wrc/subject.htm>>(総務省「電波利用ホームページ」より)
- ※18 ISART 2003. 前出
- ※19 <<http://www.interesting-people.org/archives/interesting-people/200302/msg00008.html>>
- ※20 Howard Rheingold. 2002. Smart Mobs: The Next Social Revolution. Perseus Publishing.