

# 次世代移動通信の動向

笹瀬 巖

移動通信技術の発展と利用環境の進化に伴い、マルチメディア情報をいつでもどこでも送受できるユビキタスネットワーク社会が訪れようとしている。次世代移動通信では、高速大容量だけでなく、ユーザのパーソナル化・カスタマイズ化に対する様々な品質要求に対して柔軟に対応できる、安全で信頼性の高いネットワーク構築が求められる。ここでは、ユビキタス社会に向けて多様化するモバイルワイヤレス通信の動向と展望について概説する。

キーワード：次世代移動通信，ユビキタスネットワーク，モバイルワイヤレス

## 1. 移動通信システムの変遷

移動通信システムは、約10年周期で世代交代がなされてきた。1980年代の第1世代セルラシステムでは、FMアナログ方式による音声のみのサービス、1990年代の第2世代セルラシステムでは、GSM (Global System for Mobile Communications) や PDC (Personal Digital Cellular) に代表されるデジタル方式による音声と、9.6~64 kbps 程度の低速データ通信サービスが主であった。その後、携帯電話からのインターネット接続およびIPデータトラヒックの急増に伴い、音声・画像・データなどのマルチメディア情報をより高速に柔軟に伝送できる、W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) や cdma 2000 に代表される第3世代セルラシステム (IMT-2000) が開発され、2001年から実運用がなされている。このように、セルラシステムにおいては、電力と周波数の有効利用を図りながら、小型軽量化、高速大容量化を実現するための技術開発が精力的になされてきた。主な技術開発としては、セルサイズ小型化や基地局のセクタ化による周波数再利用率の向上、TDMA (Time Division Multiple Access), CDMA による多重アクセスの効率化と帯域の有効利用、変復調技術・誤り訂正符号技術による情報信号の狭帯域化と低電力化、高度信号処理技術による耐マルチパスフェージング対策や干渉抑圧技術の進歩などが挙げられる。第3世代セルラシステムの特徴としては、高速データ通信 (144~384 kbps, 最大2 Mbps), 固定網並の高品質音声サービス、高周波数効率、可変レート通

信や非対称トラヒックに柔軟に対応できるマルチメディアサービス、世界的なローミングを目指していることなどが挙げられる。なお、近年、無線 LAN (local Area Network) の標準規格として IEEE 802.11 b (2.4 GHz 帯) が爆発的に普及し、より高速な IEEE 802.11 a (5.2 GHz 帯, 34~54 Mbps) や IEEE 802.11 g も登場しており、セルラシステムのように面的カバーはできないものの、局在的環境では数十 Mbps の高速伝送が可能となっている。よって、これらのシステムを相互に接続提携を可能とする次世代移動通信システムとして、第4世代セルラシステムの検討・研究開発が精力的に進められている。

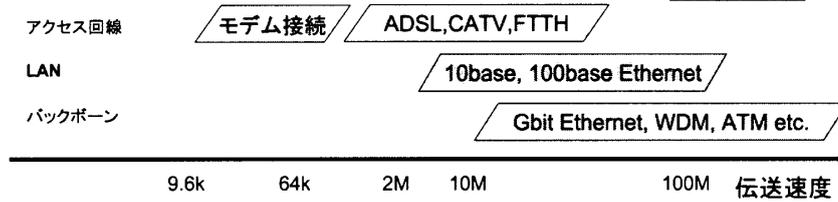
## 2. 移動通信のパラダイムシフト

バックボーン、LAN、アクセス回線における有線および無線通信の伝送速度の現状を図1に示す。また、移動通信技術や市場動向の変化、および、移動通信と固定通信の特徴比較を、表1~3にそれぞれ示す。増大するIPマルチメディアトラヒックを効率よく伝送する移動通信技術の発展に伴い、携帯電話は、インターネット接続による電子メールやWeb利用の最もポピュラーなパーソナル端末として地位を確立するとともに、個人の日常生活における情報獲得やモバイル EC (Electronic Commerce) を行うための情報端末として、さらに重要性が高まっている。一方、情報通信のパラダイムシフトという観点では、アクセス網のブロードバンド化、常時接続化、モバイルインターネットアクセスの一般化により、デジタル情報の流通が社会に広く浸透し、情報流通環境、特に、コンテンツ流通構造の大変革が起こりつつある[1]。あらゆる情報がデジタル化し、コンピュータや人だけでなく家電や動物までも含めたネットワーク化が一層進み、出版、音

ささせ いわお

慶應義塾大学 理工学部情報工学科  
〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1

## 有線通信



## 無線通信

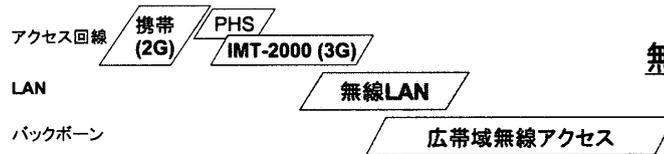


図1 有線・無線通信の伝送速度

表1 移動通信技術の動向

<ul style="list-style-type: none"> <li>回線交換</li> <li>帯域保証型</li> <li>音声中心+データ</li> <li>高機能ネットワーク</li> <li>単機能端末</li> <li>同一網多様サービス</li> <li>ターミナルモビリティ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IP交換</li> <li>Best Effort 型</li> <li>データ中心(全IP化)</li> <li>ネットワークの単純化</li> <li>高機能特化型端末</li> <li>網速度依存棲み分け</li> <li>パーソナルモビリティ</li> </ul>
--	---

表2 移動通信市場の動向

<ul style="list-style-type: none"> <li>ビジネスユース</li> <li>携帯電話と固定電話</li> <li>音声・電子メールが主</li> <li>主に時間での従量制</li> <li>付加通信サービス</li> <li>端末の多機能化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パーソナルユース</li> <li>一人一台常時使用</li> <li>データ・インターネット</li> <li>基本サービス定額化</li> <li>コンテンツが商品</li> <li>特化型高機能端末</li> </ul>
--	--

表3 移動通信と固定通信の特徴比較

移動通信	固定通信
<ul style="list-style-type: none"> <li>パーソナルモビリティ</li> <li>電話機能が必須</li> <li>音声+中低速データ</li> <li>データ伝送速度可変</li> <li>特化した情報端末</li> <li>音声定額・データ従量</li> <li>切り札は何?(便利)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ターミナルモビリティ</li> <li>同一電話番号化</li> <li>高速データ・動画像</li> <li>高速データ伝送</li> <li>高機能汎用情報端末</li> <li>定額制が原則</li> <li>切り札は何?(値段)</li> </ul>

楽、映像、ゲーム配信なども通信で行われることとなるのはそう遠い未来ではない。5年後には、電車の中ですら、皆がワイヤレス端末の液晶画面で新聞、漫画、ゲームや音楽、映像を楽しんでいるのが常識となっており、「電話」という言葉がもはや用いられなくなっているかもしれない。今後は、信頼性、安全性はもちろんのこと、パーソナル化、カスタマイズ化に対するユーザの様々な品質要求を十分に満たす通信サービス

やコンテンツを提供できるものだけが生き残る時代に突入するように思われる。また、単にパーソナルな通信環境の利便性・柔軟性を求められるだけではなく、プライバシーも含めてセキュリティ的にも安全で、信頼性の高い社会インフラと、日本発の高い感性で文化的薫りが漂う文化的インフラの構築も求められる。一方、国家や企業がライフラインとして通信インフラを整備する際には、グローバル化、高信頼性、高安全性を持った地域に偏りの少ないネットワーク構築が必要不可欠である。特に、交通インフラと同等に情報インフラを整備するには、まず、相互乗り入れや場所、嗜好に依存した柔軟なサービス、つまり、利用シーンに応じて最適な無線システムやサービスを選ぶことが自在に活用できるように移動通信システムと無線LAN、Bluetooth、UWB (Ultra Wide Band) などの近距離アドホックとの機能融合を最優先することが強く求められる。面的カバーができ、モビリティが高いセルラ環境での移動通信システム、高速大容量を達成しやすい無線LANシステム、身近な情報機器と低電力で経済的に接続できるアドホックネットワークシステム、さらに、ブロードキャスト機能を持つデジタル放送システムのそれぞれの長所をうまく組み合わせ、経済的で柔軟なシームレスサービスを楽しむことが重要になる。

### 3. ユビキタスネットワーク社会

ネットワーク技術の発展に伴い、ネットワーク接続の形態や接続モデルが、図2に示すように大きく変わりつつある。2001年ごろまでは、ダイヤルアップから常時接続に接続形態が変わりつつも、固定端末からWebベースのクライアント/サーバ型のサービスが主流であった。それ以降、携帯電話やPDA (Personal

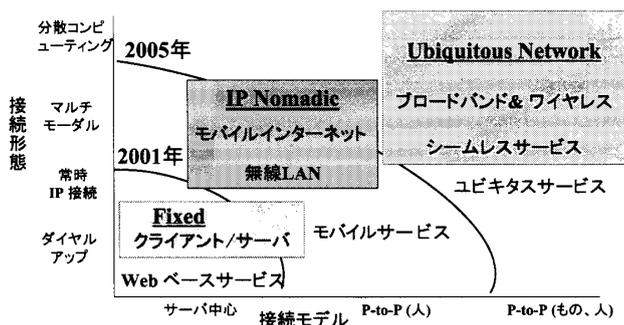


図2 ネットワーク接続形態・接続モデルの変化

Digital Assistant) などの端末によるインターネット接続や、無線 LAN によるマルチモーダル接続が普及し始め、映像配信を含む Peer-to-Peer 型 (人と人の通信が主) のモバイルサービスへとネットワーク利用が進化している。では、2005 年度以降のネットワーク利用はどのように進化していくのであろうか。ネットワーク利用の推進力は、利用者の強いニーズがあることと、それをささえる技術をリーズナブルなコストで提供できることである。潜在的に最も大きいニーズは、ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line), CATV (Cable TV), FTTH (Fiber To The Home) などの屋内固定通信で得られた常時接続のブロードバンド環境を、屋外や移動環境下でも自在に利用したいということであろう。また、PC、携帯電話、PDA だけでなく、デジタル TV、情報家電、ビデオゲーム端末、カーナビ、ITS (Intelligent Transport System) などの様々な情報端末間で自由に情報のやり取りができることも大きなニーズであろう。これらのニーズを達成するためには、分散コンピューティングの接続形態のもと、ブロードバンドワイヤレス技術を駆使して、人と人だけでなく、人と物、物と物の通信も含めた Peer-to-Peer 通信を経済的に可能にするシステム構築が重要となる。では、「いつでも」「どこでも」「誰とでも」「何とでも」「どの端末でも」「世界中で」情報を自由自在にやり取りできる「ユビキタスネットワーク社会」とは、どのような特徴があるのであろうか。Ubiquitous とは、ラテン語で「遍在：どこにでもある」を意味しており、ユビキタスネットワークでは、いつでもどこでも誰でも何でもネットワーク接続できること、煩わしいネットワーク接続作業が不要でコンピュータを利用していることを意識させないこと、状況に応じたサービスが提供できることが特徴として挙げられる[2]。ユビキタスネットワークでは、ワイヤレス化により、空間に広がる

複数のシステムに自由自在にシームレス接続でき、利用シーンに応じて最適な無線システムやサービスを選ぶことにより、経済的で柔軟なシームレスサービスを楽しむことができる。では、今後の移動通信や無線 LAN などの無線アクセスシステムは、どのようなことに留意して発展させていくべきなのか。次世代モバイルシステムでは、屋内外の移動環境下でも固定と同等のネットワーク環境を享受でき、ユーザが必要に応じてネットワークやアプリケーションを自在に選択でき、また、新たな技術を柔軟にシステムサービスに導入できることが必要不可欠である。よって、第 3・4 世代セルラシステムと、無線 LAN などの高速無線アクセスシステム、無線ホームリンクや近距離アドホックネットワークシステムとのシームレスサービス接続を前提とした相互親和性と機能融合を図った次世代移動通信システムの構築が必須となる。

#### 4. モバイルワイヤレスの多様化と次世代モバイルワイヤレスの要求条件

インターネットやバックボーンネットワークに接続するためのユーザに近いネットワークをアクセスネットワークと定義すると、図 3 に示すように、有線・無線や固定・移動も含め、様々なネットワークが存在している。モバイルワイヤレス通信においても、準静止型のものを含めると、セルラ移動通信、無線 LAN (IEEE 802.11 a, b, g), 高速無線アクセス (HiSWAN: High Speed Wireless Access Network), ワイヤレスホームリンク (Wireless 1394, 赤外線通信), Bluetooth や UWB のような近距離アドホックネットワーク, ITS, 加入者無線 (FWA: Fixed Wireless Access) など実に様々なシステムがある。表 4 にホットスポットで使用される無線 LAN を示す。これらは、図 4 に示すように、通信範囲エリア、移動度、伝送レートなどに応じて、最適なシステムが実用化されてきた。しかしながら、今後は、これらの個別のシステムの発展を目指すよりも、サービスまで含めてシームレス接続を前提に相互親和性と機能融合を図ることが、柔軟な次世代移動通信システムを早期にかつ経済的に構築するためには不可欠であると考えられる。特に、第 3・4 世代セルラ移動通信システムに代表される公衆ネットワークと無線 LAN などに代表されるコンシューマネットワーク (ホーム・構内・アドホックネットワーク) をシームレス接続できるよう機能融合し、柔軟性、拡張性に富んだシステム

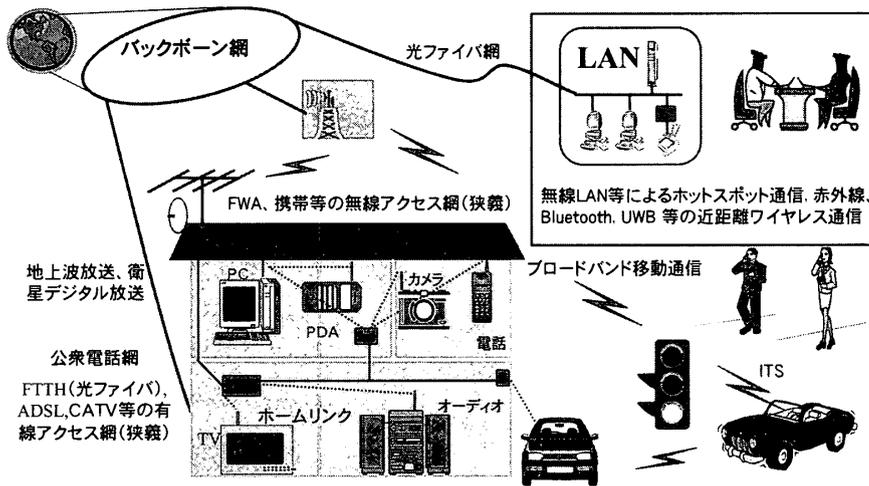


図3 アクセスネットワークの多様化

表4 ホットスポットで使用される無線 LAN

規格名	IEEE802.11a	HiSWANa/HiperLAN2	IEEE802.11b
標準化団体	IEEE802委員会	MMAC推進協議会	IEEE802委員会
無線周波数帯	5.2 GHz帯		2.4 GHz帯
変復調方式	符号化OFDM方式		DS-SS方式
アクセス制御	CSMA/CA	TDMA/TDD	CSMA/CA
最大データ転送速度	36 Mbps (54 Mbpsオプション)		11 Mbps
実行速度	~20 Mbps	~25 Mbps	~5 Mbps
通信可能距離	100 m程度		10 ~ 150 m
使用環境	屋内のみ		屋内および屋外
帯域保証機能	なし	最低帯域保証 ベストエフォート	なし
暗号化方式	RC4/WEP	56 bit DES	RC4/WEP
干渉問題	共存条件が守られていれば干渉問題なし		あり(干渉問題は深刻)

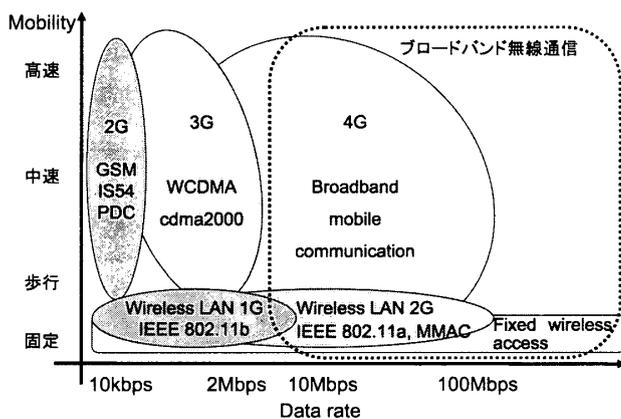


図4 ブロードバンド無線通信の発展

構築を行う必要がある。次世代移動通信システムでは、セルラシステムと無線 LAN が重要な役割を果たすと考えられるが、その要求条件としては、高速伝送（高速移動時 10 Mbps、歩行 100 Mbps、室内 600 Mbps、

高速移動（高速道路、新幹線などでの高速移動時の通信を確保）、大容量通信（映像などのマルチメディア情報をサポート）、ビット当たりのネットワークコストの削減、サービス品質（QoS: Quality of Service）制御、次世代インターネットサポート、端末基地局の IP 化、異システム間でのシームレスローミング（セルラ移動通信、無線 LAN、広帯域無線アクセスの相互利用）などが挙げられる[3]。よって、伝送環境に応じて最適な変調方式や符号化を選択できる高速伝送技術、様々なシステムとの機能融合を図り、周波数や変調方式、通信プロトコルなどをソフトウェアにより柔軟に変更できるソフトウェア無線技術、柔軟なシームレス接続を実現するワイヤレスアドホックネットワーク技術、環境に応じて最適な動画像伝送を含むモバイルマルチメディア通信が実現できる画像伝送技術、IPv 6 による次世代インターネットとの親和性を高め

表5 セルラを核とした移動通信システムの段階的発展例

	2005年 IMT-2000の高度化 発展期	2010年 第4世代セルラ 成熟期
伝送速度	30Mbit/s	50~100Mbit/s
サービスレベル	高度なアプリケーションサービス	より高度な認証・セキュリティを有するサービス
主なユーザ	先進ユーザ	広く一般に普及
機能	基本的な機能を有するシステム	本格的なサービス
他のシステムとのシームレス性	他のシステムとのシームレス性を柔軟に実現	意識することなくシームレス化
社会的インパクト	社会機能の一部として位置付けられる	社会構造の変革要因として位置付けられる

つつ、ユーザがサービス、アプリケーション、ネットワークを自在に選択可能とするマルチモーダルアクセス技術などのモバイルプラットフォーム技術、ユーザオリエントドアプリケーション技術、高いセキュリティ技術などの開発が求められる。表5にセルラを核とした移動通信システムの段階的発展例を示す。2005年までは、先進ユーザがIMT 2000と他システムとのシームレス接続を柔軟に実現することが主になると思われるが、2010年には、IMT 2000の「デパート型」移動通信から「ショッピングモール型」移動通信に代わり、利用シーンに応じて最適なサービス（個人個人の趣味や嗜好も含めた「ここだけ」、「今だけ」、「あなただけ」サービス）を享受できるようになると考えられる。

### 5. 第4世代セルラ移動通信システム

第4世代セルラ移動通信システムの目標を図5に示す[4]。高速・大容量伝送を実現する変復調・アクセス技術としては、周波数選択性フェージングに強い直交周波数分割多重（OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing）変復調方式やCDMAを用いた、可変拡散率（VSF: Variable Spreading Factor）-OFCDMや可変拡散率・チップ繰返しファクタCDMA（SCRF-CDMA: Variable Spreading and Chip Repetition Factors-CDMA）などの研究開発が進んでいる。また、指向性制御により小ゾーン化と所要電力の低減を図るアダプティブアレーアンテナ送信技術や、送信アンテナ毎に異なる情報を送信することにより高速伝送を可能とするマルチアンテナ送受信技術（MIMO: Multi Input Multiple Output）、高性能FEC（Forward Error Correction）、ARQ（Automatic Repeat reQuest）技術、IPネットワーキング

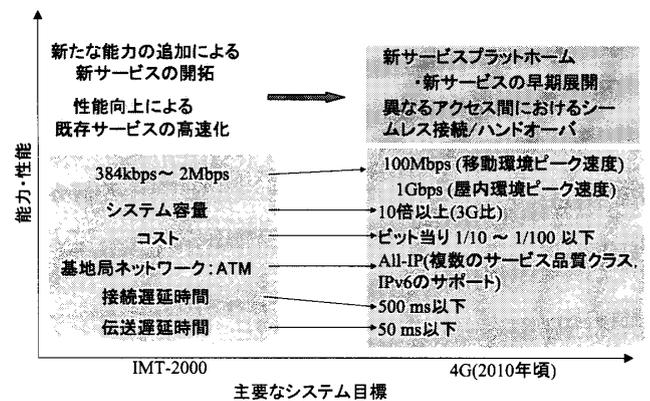


図5 第4世代セルラ移動通信システムの目標

をベースとしたシステム間相互接続技術、ソフトウェア無線技術、RAN（Radio Access Network）構成法、QoSパケット伝送制御に関する研究開発なども精力的に進められている[5, 6]。さらに、セル構成技術、ミリ波デバイス技術、高速メディアアクセス制御技術、光ファイバ無線技術、VoIP（Voice over IP）輻輳制御技術、異種無線間高速ハンドオーバー技術、複数無線搭載時の端末低消費電力化技術および制御方法、高機能マルチキャスト無線伝送技術、ワイアレスエージェント技術などの要素技術も重要である。

### 6. IPベース移動通信システムのネットワークアーキテクチャとソフトウェア無線

次世代IPベース移動通信システムのネットワークアーキテクチャの想定図を図6に示す。ユーザは、マルチモーダルアクセスにより、共通のモバイルプラットフォームへのシームレス接続が可能となる。モバイルプラットフォームは、大きく分けて三つのレイヤから構成され、下位レイヤは、マルチモーダルアクセス機能を持つIPベースバックボーン転送ネットワークレイヤ、中位レイヤは、複数インターフェース管理、

<b>アプリケーションレイヤ</b>				
<b>サービスミドルウェアレイヤ</b> サービスサポートレイヤ(位置登録, 課金, メディア変換, 配送...)				
<b>ネットワークワーク管理レイヤ</b> (複数インターフェース管理, モビリティ管理, セキュリティ, QoS...)				
<b>IPベースバックボーン 転送ネットワークレイヤ</b> マルチモーダルアクセス				
W-CDMA Cdma2000 等	無線 LAN	Bluetooth UWB	アドホック ネット ワーク	ホーム ネット ワーク

図6 次世代 IP ベース移動通信システムのネットワークアーキテクチャ

モビリティ管理, セキュリティ, QoSを担当するネットワークワーク管理レイヤと, 位置登録, 課金, メディア変換, 分配などの機能を担当するサービスサポートレイヤからなるサービスミドルウェアレイヤで構成され, その上位にアプリケーションレイヤが置かれる。ユーザは, このモバイルプラットフォームにより, ネットワークサービスアプリケーションを自在に選択でき, アップデートされた最新のユーザオリエンテッドアプリケーション技術や高いセキュリティ技術を楽しむことができるようになる。モバイルプラットフォーム構築における重要技術として, ソフトウェア無線がある[7, 8]。ソフトウェア無線を用いると, ソフトウェアの書き換えにより, 環境に応じて周波数, 伝送速度や変調方式などの通信方式を切り替えシームレスな通信ができるだけでなく, ユーザの速度や料金などの多用なニーズに応じて音声, 画像, テータなどの通信サービスの機能の柔軟な変更・追加ができ, 最適で経済的なサービスを提供することが可能となる。ソフトウェア無線装置は, マルチバンドのアンテナ部と高周波回路, A/D, D/A 変換回路, 外部インターフェース, デジタルプログラマブルプロセッサ, 制御回路, ソフトウェアにより構成される。ソフトウェア無線技術における基盤技術としては, マルチバンド RF 回路設計技術, 高速で低消費電力かつ安価なプログラマブルプロセッサ技術が挙げられ, 高い生産性でソフトウェア開発ができる設計環境の構築も重要となる。ソフトウェア無線を用いると, 新しい技術やサービスの迅速な導入, 利用者の利便性の向上, 電波利用システムの利用促進を図ることができる一方, 電波管理上の問題が生じやすいため, セキュリティの低下や不法無線機によるサービス品質の低下などが危惧される。よって, ソフトウェアの完全性を保証する技術や認証技術も重要とな

る。

## 7. ユビキタス環境での新しいアプリケーションを支えるアドホックネットワーク

ユビキタス環境では, いつでもどこでも何でもワイヤレスでネットワーク接続でき, 状況に応じたサービス提供が期待される。利用シーンに応じて最適な無線システムやサービスを選ぶことにより, 経済的で柔軟なシームレスサービスを楽しむためには, 様々な形態をとり (アドホック: ad hoc), 管理者なしにネットワーク形態が自在に変化し (自己編成機能), 他の端末を検出して通信に必要なハンドシェイクを行い (適応性), 情報・サービスが共有できるアドホックネットワークを用いて, 次世代移動体システムとシームレス接続できることが必須となる。アドホックネットワークの特徴として, 固定の無線基地局, 電話線, 固定ルータが不要 (インフラレス), 様々な形態の端末 (パームトップ, ラップトップ, 携帯電話) と接続可能であり, 近くの接続可能な端末のデバイスタイプと属性を認識する機能, 端末の移動に伴い経路情報を変化させる機能, パケット中継のためのバッテリ残量を確認する機能などを有することが挙げられる。モバイルコンピューティングは, ノート PC を持ち歩くことやウェアラブルコンピュータを使うことだけではない。むしろ, 周辺アウェア (Neighbor-aware), 位置情報アウェア (Location-aware), 接続性アウェア (Connectivity-aware), 文脈アウェア (Context-aware) などのモバイルアドホックアプリケーションの特性を利用することにより, 新しい魅力あるアプリケーションを生み出すことが重要である。例えば, アドホック無線技術を導入することで, ユーザの位置情報, 時刻に基づいた適切な情報を提供することにより, ショッピングモールで購入予定商品の情報取得や値段の比較, 博物館で展示エリアに応じた情報提供や自動ガイド, 最寄りの劇場での上映プログラムの取得やオンラインチケット購入が可能になる。また, 無線 RF タグとの連携により, 顧客の持つ無線デバイスと通信し, 無線 RF タグによる商品の検索, 価格情報の取得, 在庫情報の照会, 電子値札などが可能になると, ショッピングスタイルは大きく変化することが容易に予想できる。さらに, アドホック無線ネットワークの一形態として, 端末として通信能力とストレージ能力を持つマイクロセンサ (スマートダストなど) が利用できるようになると, センサは特定のノードに収集したデ

ータを無線で定期的に送り、ノードは収集したデータを計算し、統計値を算出することが可能となり、生命に関わる情報を絶え間なく監視するヘルスケア産業、品質コントロールが必須な食品産業、環境や天候の情報収集などで、様々な魅力あるアプリケーションが生まれ、ビジネスモデルがうまく構築できれば、アドホックネットワークを用いた新しいアプリケーションが、次世代移動通信を牽引する大きな駆動力となるであろう。アドホックネットワーク（特に無線センサネットワーク）の普及と発展のために、省電力技術、高電力効率伝送技術、メディアアクセス制御技術、ルーチング・マルチキャスト技術、セキュリティ・プライバシー技術のブレイクスルーを大いに期待したい。

## 8. まとめ

ユビキタス社会に向けて多様化するモバイルワイヤレスネットワークの動向と展望について概説し、次世代移動通信システムのビジョンを述べた。次世代移動通信システムは、シームレス技術を早期に経済的に提供すること、および、新しい魅力あるアプリケーションを生み出せる拡張性・柔軟性に優れたモバイルプラットフォームを構築することで今後ますます発展していくであろう。本稿が、ユビキタスネットワーク社会実現に向けた技術革新において、移動通信システムに

おける動向分析の一助となれば幸いである。

## 参考文献

- [1] 情報通信研究開発基本計画：電気通信技術審議会答申，2000年2月。
- [2] 梅比良正弘：“ユビキタスネットワーク社会と次世代ワイヤレス技術の展望”，MATLAB EXPO 2003，2003年12月。
- [3] 笹瀬巖：慶應義塾大学大学院講義資料，<http://www.sasase.ics.keio.ac.jp>
- [4] NTT DoCoMo テクニカルジャーナル，Vol. 11，No. 2，2003年7月。
- [5] Special Issue on Multiple Access and Signal Transmission techniques for Future Mobile Communications, IEICE Trans. on Communications, Vol. E 86-E, No. 1, Jan. 2003.
- [6] MIMO Systems and Applications: Part I, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 21, No. 3, April 2003.
- [7] NTT DoCoMo テクニカルジャーナル，Vol. 11，No. 4，2004年1月。
- [8] Special Issue on Software Defined Radio Technology and Its Applications, IEICE Trans. on Communications, Vol. E 86-E, No. 12, Dec. 2003.