



# モバイルコンピューティング研究のすすめ

## －「いつでもどこでもコンピューティング」の繰り広げる未来にむけて－

An Invitation to Research on Mobile Computing by Masahiko TSUKAMOTO (Graduate School of Engineering, Osaka University)

塚本 昌彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻

最近、新聞・雑誌などでモバイルコンピューティング関連の記事や特集をよく目にするようになってきた。研究レベルでもモバイルコンピューティングに関する話題が増えている。本稿では、このように急激に脚光を浴びるようになったモバイルコンピューティングについて、文献、会議、研究グループ、関連URLなど、特に初学者が研究を始めるうえで有益な情報を紹介する。

### 1. はじめに

たまごっちやポケモンなど、最近の社会トレンドの多くがモバイルコンピューティングに関連するものとなっている。その結果、携帯電話やPHS、デジタルカメラやポータブルMDなどの携帯用デジタルAV機器、高性能・多機能PDAなど、街角が高度なコンピューティング能力を持つ携帯型情報機器であふれかえる現象が顕著になってきた。

社会的なモバイルコンピューティングの流行とともに、コンピュータ科学の研究分野においてもモバイルコンピューティングに関する話題が増えている。しかし、現時点のモバイルコンピューティングの研究は、さまざまな技術要素が入り交じっており、研究者間でコンセンサスのとられている理論や教科書はまだほとんどない。その結果、特に初学者にとって、研究動向を包括的に捉えることが一般に難しくなっている。

そこで本稿では、初心者がこの分野での研究を始める際に有益な情報として、モバイルコンピューティングに関連する文献、会議、研究グループ、関連URLなどを紹介する。まず2章で、基礎知識として知っておくべき事項と文献を紹介する。次に3章で、モバイルコンピューティングの研究に関連する情報を示す。最後に4章で、研究の今後の方向性について述べながら、本稿のまとめを行う。

### 2. 研究の基礎

モバイルコンピューティングの研究を始めるためには、いくつかの関連事項を知っておくことが望ましい。

まず、モバイルコンピューティングを支える技術として、無線通信技術が重要であることは自明であろう。特に、料金、規模、通信レートなどを含むサービス内容については、現状および将来の動向を把握しておく必要がある。モバイルコンピューティング研究を進めていくためには、これらのサービスを熟知したうえで、アプリケーション像を見据えることが重要である。このようなサービスとしては、携帯電話やPHSなど、現在すでに広く使われているものだけでなく、衛星電話、衛星放送や地上波を用いたデータ放送、無線LAN、赤外線を用いたコードレス通信、さらにこれらを統合するための技術が重要である。これらの技術に関しては、IEEEの雑誌Personal CommunicationsやCommunications Magazineで特集がよく組まれており、最近では、文献1)、文献2)などが参考になる。日本語のサーベイとしては文献3)がある。

モバイルコンピューティングを支える技術として、携帯端末・PDAに関するハードウェア技術および商品動向も重要である。特に、多くの商品で、携帯電話やPHSとの連携など、ネットワーク機能が強化されている点には注意しておく必要がある。これらの商品で、バッテリー駆動時間や重さ、入力の手間、通信の不安定さなどの技術的な不満をアプリケーション技術でどのようにカバーできるかという点が、モバイルコンピューティング研究でのポイントとなる。商品動向については、一般のコンピュータ雑誌や多くのWebページ(文献4)など)から情報が得られる。コンピュータ関連商品以外にも、データ格納機能を持つ腕時計、子供向けの小型ゲーム機などにも新しい潮流が見られる場合が多いので注目しておきたい。

無線通信およびPDAなどの動向をまとめた図書として、洋書では文献5)、日本語の参考書としては文献6)～9)などがある。ただし、これらのサービスやシステムを知るには、実際に使ってみるのが一番よいということはいうまでもない。

最近急激に増加しているさまざまな情報コンテンツのサービスの動向も重要である。VICS (Vehicle Information & Communication System)、ATIS (Advanced Traffic Information Service) などのカーナビ用の情報サービスや、街角情報を集めたWWWページ、街角での無線を用いた情報放送など、モバイル環境での利用を前提としたサービスが徐々に展開している。テレビやラジオの電波の隙間を使ったデータ放送や衛星放送などを用いたゲームやプログラムの配信なども含め、新しい利用形態とコンテンツサービスの動向を見ておく必要がある。文献10) はデータ放送を用いたディスクシステムの研究に関するサーベイである。

以上、特に重要な事項のみを挙げたが、他にもインターネットプロトコル、WWWやJavaの動向、バーチャルリアリティ、エージェント技術など、ほとんどのコンピュータ技術がモバイルコンピューティングの基礎となる。

### 3. 研究の動向

現在盛んに行われているモバイルコンピューティング研究は、次の2つの視点から大まかに分類できる。

- (1) ハンディキャップの克服 (ネガティブな側面) : 計算機の少資源性や省電力性、無線通信の低信頼性など、モバイルコンピューティングを、従来のコンピューティングから見て、ハンディキャップであるとみなし、それを克服するために従来の計算方法、通信方法などを改善しようとするもの。
- (2) 新しいアプリケーションの可能性 (ポジティブな側面) : いつでもどこでもコンピューティングを行うということには、限りないコンピュータの利用方法が秘められていると考え、これまでにない新しいコンピュータアプリケーションを創出しようとするもの。

以下では、両者のアプローチについて述べた後、関連する学会・会議・雑誌などについて述べる。

#### 3.1 ハンディキャップの克服

ネットワークレベルの問題: 従来のインターネットアーキテクチャでは、ホストが移動することは考慮されていなかったが、それを可能にするプロトコルとしてモバイルIP<sup>21)</sup>が開発されている。さらに、IPv6対応版やマルチキャストプロトコルなど、関連するプロ

トコルも順次提案されている。ホストが移動先でアドレスなどのネットワークパラメータを設定するプロトコルとして、DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)<sup>22)</sup>がある。また、ネームサーバ、ファイルサーバ、プリンタなど、必要なサーバを見つけるプロトコルとして、SLP (Service Location Protocol)<sup>23)</sup>が開発されている。

インターネット標準の動向に関しては、最新のRFC<sup>24)</sup>およびインターネットドラフト<sup>25)</sup>を参照するのがよい。また、解説記事としては文献16)が有用である。

計算機リソースの活用: 移動ホストは、一般に、メモリ、CPU、バッテリーなどのリソースが貧弱なので、それを考慮した動作メカニズムが必要である。たとえば、必要な計算をできるだけ固定ホストで行うことによって、移動ホストでのメモリやCPUの制限を超える計算を行ったり、消費電力を抑えることが可能となる。また、移動ホストは、ネットワークから切断されているときでも、なるべくネットワークに接続されているときに匹敵するような作業環境を持つことが望まれる。それに対し、キャッシュをうまく利用して対処する方法が開発されており、このような動作は切断時動作と呼ばれている。

この他にも、トランザクション処理や複製管理の研究が多数行われており、文献17)～20)などでまとめられている。

プロキシ、エージェント: モバイル環境でクライアント・サーバ型アプリケーションを利用する際に、クライアントとサーバの間にアプリケーションエンティティを置くアプローチがとられることが多い<sup>21)</sup>。このようなアプローチは、モバイルエージェント<sup>22)</sup>、プロキシ<sup>23)</sup>などと呼ばれている。

セキュリティ、認証: さまざまな場所からアクセスするユーザをどのようにして認証するか、ユーザの管理する情報のセキュリティはどのようにして守ることができるのか、ユーザの位置情報はどのようにして守るのかなどといった、セキュリティ、認証に関連する問題がある。従来のセキュリティ、認証の枠組みを拡張して、さまざまなモバイルコンピューティング特有の状況に対処する方法が提案されている<sup>24)</sup>。

#### 3.2 新しいアプリケーションの可能性

新しいモバイルコンピューティングの可能性に関してはさまざまな提案が行われている。この節では、新しい方向性として特に重要なキーワードと文献を紹介する。

ウェアラブルコンピューティング: モバイルコンピューティングにおいて、現状では機器を手を持って

操作することが一般的であるが、ウェアラブルコンピューティング（文献25）、26）ではこのような制約を取り除くことに重点を置く。コンピュータを衣服のように身にまといながら利用するコンピューティングスタイルのことをいう。透過型のヘッドマウントディスプレイや衣服に装着したジョグシャトルなどで入力を行う。現実世界でのさまざまな作業をしながら、その場その場の業務内容に応じた作業の支援が可能となる。

**拡張現実感：**現実空間での人間の活動支援を行うという側面をさらに強調したアプローチとして、拡張現実感（augmented reality）がある。拡張現実感とは、仮想現実感（virtual reality）と対比させた言葉で、コンピュータの作り出す仮想的なものによって現実空間を拡張するという意味を意味する。典型的には、ビデオカメラを有する移動ホストで現実空間を写したとき、現実空間にはない説明文や仮想的な対象、ポイントデバイスなどがカメラ画像に重ねて表示されるというシステムなどのことをいう。文献27）は、このようなアプローチを含む包括的なサーベイであり有用である。

**ユビキタスコンピューティング：**人間だけでなく、現実空間のあらゆるものがコンピューティングと通信の機能を有するようなコンピューティングの形態は、ユビキタスコンピューティング（ubiquitous computing）と呼ばれる<sup>28)</sup>。机やいす、筆記具や家具、ノート、本など、あらゆるものが互いに通信しあって有機的に機能を果たす。ものを探したり、作業のプランニングをしたりといった、現実空間を対象にしたさまざまな活動にコンピュータと通信の機能を導入できる。

### 3.3. 学会・会議・雑誌など

モバイルコンピューティングに関連する研究成果は、1990年ごろからACM SIGCOMM<sup>29)</sup>主催のSIGCOMM国際会議<sup>30)</sup>やIEEEの分散コンピューティングとシステムに関する国際会議（ICDCS）<sup>31)</sup>などで発表されている。1994年ごろより、IEEE主催でモバイルコンピューティングシステムとアプリケーションに関するワークショップ<sup>32)</sup>やRutgers大・NSF共催のMobiDataワークショップ<sup>33)</sup>など、数々のワークショップが開催されるようになった。1995年にはACMの主催でモバイルコンピューティング国際会議（MobiCom '95）<sup>34)</sup>が開催された。MobiCom国際会議は、1996年からはACMとIEEEの共催として開催されている。1996年にはACMにSIGMOBILE<sup>35)</sup>が新設され、年4冊の会誌Mobile Computing and Communications Reviewsを発行している。インターネットプロトコル

の標準化を推進しているIETF（Internet Engineering Task Force）<sup>36)</sup>では、モバイルIPワーキンググループ（mobileip）<sup>37)</sup>およびアドホックネットワークに関するワーキンググループ（manet）<sup>38)</sup>がモバイルコンピューティング関連の活動を行っている。

国内では、情報処理学会で、1996年にモバイルコンピューティング研究グループが設立され、1997年に研究会<sup>39)</sup>となっている。これまで年4回の研究会とシンポジウム、ワークショップが開催されている。

雑誌では、ACM/BaltzerのWINET（Wireless Networks）とMONET（Mobile Networks and Applications）が関連分野を扱っている。前者は主に通信関連、後者は主にアプリケーション関連のテーマを扱っている。IEEEの雑誌として他に、Selected Areas in Networkingがあり、モバイルコンピューティング関連の特集も組まれている。

サーベイとしては、IEEE Computerの特集記事<sup>40)</sup>や電子情報通信学会誌の特集<sup>41)</sup>が参考になる。研究レベルの話を含む図書としては、文献42）が初期の主要な研究プロジェクトを含んでいる。将来展望をまとめたものとしては文献43）がある。

リンク集などを含むWWWページとして、文献44）～48）などがある。筆者の提供している情報ページ<sup>49)</sup>も参考にいただきたい。

## 4. 今後の展開

今後2、3年は無線通信やインターネット接続サービスなどの通信インフラが拡充されるとともに、移動ホストの計算能力が飛躍的に向上するものと考えられ、その結果、現在インターネットを通じて提供されているさまざまなサービスが、モバイルコンピューティングの形態で容易に利用できるようになることが予想される。特に、ホスト側での計算能力が要求されるバーチャルモールやサイバシティなどのサイバースペース技術をモバイルコンピューティングに導入することが可能となり<sup>50)</sup>、いつでもどこでもさまざまなアプリケーションがよりリアルに使えるような環境が広がってゆくものと予想される。

冒頭にも述べたとおり、モバイルコンピューティングの研究分野は、現在混沌とした状況にあるが、有用なアプリケーションを実際に作り出していくことで研究の新しい流れが形成されていくものと考えられる。このような意味で、新規、特に若手の研究者のこの分野への参入は非常に重要であり、既存の技術にとらわれない新しい見方でこの分野を切り開いていくことが望まれる。本稿の読者諸氏には、「腕時計が、数Mbpsの通信機能を有する高性能PCになったとした

ら], 「靴のなかに, 鞆のなかに, 数Gbpsの通信機能を有する高性能PCが入っているとしたら」など, 現状にとらわれない自由な発想で, コンピュータソフトウェアとして何ができて何が問題になるかを, じっくり考えていただきたい.

#### 参考文献

- 1) 小特集 Mobility and Location: A European Perspective, IEEE Personal Communications, Vol.4, No.5 (Oct. 1997).
- 2) 小特集 Introduction to Mobile and Wireless ATM, IEEE Communications Magazine, Vol.35, No.11 (Nov. 1997).
- 3) 塚本昌彦: 通信ネットワークインフラストラクチャ, 文献41), pp.338-343 (1997).
- 4) YAHOO! Japan モバイルコンピュータ, <URL:http://www.yahoo.co.jp/Computers\_and\_Internet/Mobile\_Computing/>.
- 5) Dhawan, C.: Mobile Computing, McGraw-Hill (1996).
- 6) 東邦仁虎監修, MC&MD研究会編: モバイルコンピューティング, 日刊工業新聞社 (1996).
- 7) 服部 武編著, 花田恵太郎, 古谷之綱, 正木 勝共著: モーバイルパーソナルインテリジェンス, 共立出版 (1996).
- 8) デジタル・サポート・ライターズ: モービルコンピューティング, 秀和システム (1996).
- 9) 杉沼浩司: 移動体通信, 日本経済新聞社 (1996).
- 10) Acharya, S., Franklin, M. and Zdonik, S.: Dissemination-Based Data Delivery Using Broadcast Disks, IEEE Personal Communications, Vol.2, No.6, pp.50-60 (Dec. 1995).
- 11) Perkins, C. (Ed.) : IP Mobility Support, IETF RFC2002 (1996).
- 12) Droms, R.: Dynamic Host Configuration Protocol, IETF RFC 2131 (1997).
- 13) Veizades, J., Guttman, E., Perkins, C. and Kaplan, S.: Service Location Protocol, IETF RFC 2165 (1997).
- 14) IETF Requests for Comments Documents (RFC's) , <URL:http://ds.internic.net/ds/dspg1intdoc.html>.
- 15) IETF Current Internet-Drafts, <URL: http://www.ietf.org/lid-abstracts.html>.
- 16) 寺岡文男: 移動透過な通信を実現するプロトコル, 文献41), pp.344-349 (1997).
- 17) Bagrodia, R., Chu, W. W., Kleinrock, L. and Popek, G.: Vision, Issues, and Architecture for Nomadic Computing, IEEE Personal Communications, Vol.2, No.6, pp.14-27 (Dec. 1995).
- 18) Imielinski, T. and Badrinath, B. R.: Mobile Wireless Computing, Communications of the ACM, Vol.37, No.10, pp.18-28 (Oct. 1994).
- 19) Forman, G. H. and Zahorjan, J.: The Challenges of Mobile Computing, IEEE Computer, Vol.27, No.4, pp.38-47 (Apr. 1994).
- 20) 滝沢 誠: モバイルデータベースシステム, 文献41), pp.331-337 (1997).
- 21) 西尾章治郎, 塚本昌彦: 高度ネットワーク環境とデータベースシステム, Computer Today, サイエンス社, No.79, pp.9-14 (May 1997).
- 22) Oracle Networking Products, <URL: http://www.oracle.com/products/networking/html/>.
- 23) 中島達夫: 移動計算機環境に適したオペレーティングシステム, 文献41), pp.324-330 (1997).
- 24) 松井 充: 情報セキュリティ技術, 文献41), pp.364-369 (1997).
- 25) Smailagic, A. and Siewiorek, D. P.: Modalities of Interaction with CMU Wearable Computers, IEEE Personal Communications, Vol.3, No.1, pp.14-25 (Jan. 1996).
- 26) サド・スターナ: 技術解説: ウェアラブルコンピューティング, 日経コンピュータ97.5.12, pp.135-145 (May 1997).
- 27) 暦本純一: 実世界指向インタフェースの研究動向, コンピュータソフトウェア, Vol.13, No.3, pp.4-18 (1996).
- 28) Weiser, M.: Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing, Communications of the ACM, Vol.36, No.7, pp.74-84 (July 1993).
- 29) ACM SIGCOMM, <URL: http://www.acm.org/sigcomm/>.
- 30) ACM SIGCOMM Conference Home Page Archive, <URL: http://www.acm.org/sigcomm/old-confs.html>.
- 31) IEEE Conference Proceedings in Computer Engineering, <URL: http://www.ieee.org/bookstore/compconf.html>.
- 32) Proc. of the 1994 Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (1994).
- 33) Imielinski, T. and Korth, H. F. (Eds.) : MOBIDATA Workshop Report, 文献45), Vol.1, No.2 (Apr. 1995).

- 34) ACM MobiCom '95, <URL: <http://www.acm.org/sigcomm/mobicom95/>>.
- 35) ACM SIGMOBILE, <URL: <http://www.acm.org/sigmobile/>>.
- 36) IETF, <URL: <http://www.ietf.org/>>.
- 37) IETF MobileIP Working Group, <URL: <http://www.ietf.org/html.charters/mobileip-charter.html>>.
- 38) IEFT MANET Working Group, <URL: <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>>.
- 39) 情報処理学会モバイルコンピューティング研究会, <URL: <http://www.csl.sony.co.jp/sig-mbl/>>.
- 40) 小特集: Mobile Computing/Wearable Computers, IEEE Computer, Vol.30, No.2 (Feb. 1997).
- 41) 特集: モバイルコンピューティング, 電子情報通信学会誌, Vol.80, No.4 (Apr. 1997).
- 42) Imielinski, T. and Korth, H. F. (Eds.): Mobile Computing, Kluwer (1996).
- 43) 水野忠則, 田窪昭夫: モバイルコンピューティング, 情報処理, Vol.36, No.9, pp.822-826 (Sep. 1995).
- 44) Rutgers DATAMAN Project, <URL: <http://athos.rutgers.edu/dataman/>>.
- 45) MobiData: An Interactive Journal on Mobile Computing, <URL: <http://www.cs.rutgers.edu/~badri/journal/cover.html>>.
- 46) mobilis Magazine, <URL: <http://www.volksware.com/mobilis/>>.
- 47) Dolnet: Mobile Computing, <URL: <http://www.mobileinfo.com/>>.
- 48) Mobile Computing at CITI, <URL: <http://www.citi.umich.edu/mobile.html>>.
- 49) 塚本昌彦: モバイルコンピューティング関連情報, <URL: <http://aries.ise.eng.osaka-u.ac.jp/~tuka/mobi-link.html>>.
- 50) 塚本昌彦: 透明人間: 仮想空間と実空間を統合するコンピューティング環境, シミュレーション (日本シミュレーション学会誌), Vol.16, No.1, pp.20-27 (Mar. 1997).

(平成9年12月15日受付)



塚本 昌彦 (正会員)

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学院工学研究科応用システム科学専攻修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学工学部情報システム工学科講師。1996年より同大学院工学研究科情報システム工学専攻助教授。工学博士。モバイルコンピューティングに興味を持つ。情報処理学会など7学会の会員。

<URL: <http://aries.ise.eng.osaka-u.ac.jp/~tuka>>  
e-mail:tuka@ise.eng.osaka-u.ac.jp