

モバイル・コンピューティングの技術と 次世代アプリケーション —スタンフォード大学留学帰朝報告—



ビジネス開発本部 技術研究部 鈴木恒一

1. はじめに

2001年9月から2002年7月までの約1年間、米国カリフォルニア州パロアルト市にあるスタンフォード大学工学部コンピュータ・サイエンス学科に、客員研究員(Visiting Scholar)として滞在した。ここでは、私が所属した研究室の紹介や授業およびセミナーの様子、研究活動について報告する。

2. 留学の経緯と目的

スタンフォード大学のコンピュータ・サイエンス学科における、企業からの客員研究員の受け入れは、スタンフォード・コンピュータ・フォーラム (<http://forum.stanford.edu/>) が提供するプログラムの一環として行われている。スタンフォード・コンピュータ・フォーラムとは、コンピュータ・サイエンス学科がIT産業界とのリエゾンを図る目的で設立されたコンソーシアムで、当社もそのメンバーとなっている。メンバー企業にはいくつか特典が与えられているが、客員研究員の派遣もその1つである。当社では、客員研究員として現・技術研究部・稲垣部長が1996年9月～1998年8月までの2年間派遣されており、私が2人目である。

今回の留学の目的は主に次の2つである。

- (1) インターネット関連技術の最新動向調査
- (2) 研究テーマ「モバイル・コンピューティング」の推進

私の現在の研究テーマは「モバイル・コンピューティング」である。本テーマでは、IPv6やMobileIPといった次世代インターネット・プロトコルによって実現される次世代インターネットがどのようなものになるのか、次世代

インターネット上でどのようなアプリケーションが現われ、それをどのように利用していけばいいのか、特にモバイル・コンピューティングにターゲットを絞って研究を行っていく。留学期間中、大学の研究室において関連技術の動向調査およびIPv6環境構築を行い、また次世代アプリケーションについての考察を行った。

3. 担当教官および所属研究室

私の担当教官はFouad Tobagi教授である。教授は初期のころからインターネット・プロトコルに関わり、インターネットの前身であるARPANETプロジェクトではラジオ・パケット・ネットワークの研究を行っていた。またATMの標準化にも貢献した人物である。

最近ではスタンフォード大学においてマルチメディア・ネットワークワーキング・グループを率い、下記の分野での研究を行っている。

- (1) マルチメディア・コミュニケーション
- (2) ワイヤレス&モバイル・ネットワーク
- (3) ネットワーク・デザインと予測
- (4) ネットワーク・リソース・マネジメント

Tobagi教授の研究室には15人ほどの学生がおり、そのうち5人の博士課程最終学年の学生がそれぞれ下記のようなテーマで研究を行っていた。

- ・Ethernet、IP技術を用いたモビリティ
- ・IPバックボーンのログ解析およびパケット遅延予測
- ・マルチメディアにおけるQoSとバッファリング
- ・QoSのTCPアプリケーションへの応用
- ・光ネットワーク

研究室の活動として週に1回の全体ミーティングが開催されていた。全体ミーティングでは主にこの5人が自分の

研究についてあるいは研究に関連した調査結果などを発表し、それに対して質問や議論が行われた。2時間の予定で開催されていたのだが、議論が白熱することも多く、また教授が話し好きなせいもあり、4時間以上続くこともある非常に内容の濃いミーティングであった。

また、留学期間中に無線 LAN 技術に興味のある学生が集まりワイヤレス・グループが作られ、私も参加した。グループには教授も参加しており、週に1回ミーティングを実施していた。ミーティングでは主に無線 LAN 技術の標準規格である IEEE802.11(b/a)の規格書の輪読を行い、無線 LAN の技術的基礎を学習していた。

4. 授業／セミナー

客員研究員は授業やセミナーも聴講できる。私は下記の授業およびセミナーを聴講した。

- ・ Networking
 - EE284A: Introduction to Computer Network, Prof. Tobagi
 - EE384A: Network Protocols and Standards, Prof. Tobagi
 - EE384B: Multimedia Communications in Internet, Prof. Tobagi
 - ・ Operating System
 - CS140: Operating Systems and Systems Programming, Prof. Rosenblum
 - CS240: Advanced Topics in Operating Systems, Prof. Engler
 - ・ Database
 - CS245: Database System Principles, Prof. Garcia-Molina
 - ・ Seminar
 - EE380: Computer Systems Laboratory Colloquium
 - CS548: Distributed Systems Research Seminar
 - Stanford Networking Seminar
 - SNRC(Stanford Network Resource Center) Meeting
- 中でも、私の担当教官である Tobagi 教授による“Multimedia Communications in Internet”では、インターネット上で音声や動画などのマルチメディアを利用したコミュニケーションを行うための様々な規格・標準の解説や、利用シーンにおける特徴の違いなどが、比較的最新の研究成果を交えて紹介されているため、非常に参考になった。

OSの“Advanced Topics in Operating Systems”は、読んできた論文を元に教授と学生が議論をする形式の授業であった。そのため授業には指定された論文を読んでこなくてはならず、しかも週3回もあったため、非常に準備に時間のかかる授業であった。しかし、指定された論文には

有名なものや良質のものが使われており、興味深い研究も多く大変勉強になった。

スタンフォード大学には日本でもなじみのある著名な教授も多い。OSの授業を担当した Mendel Roseblum 教授は VMware 社 (<http://www.vmware.com/>) の共同創設者である。Databaseの授業を担当した Hector Garcia-Molina 教授は“Database System Implementation”の著者であり、また Garcia-Molina 教授の研究室では、有名検索サイトである Google (<http://www.google.com/>) でも使われている検索技術の研究も行っている。このような著名な教授の授業を聴講できるのは、やはりスタンフォード大学ならではと言えよう。

各セミナーも週1回のペースでひらかれており、コンピュータ・サイエンスにおける著名な教授や有名企業の研究者、ベンチャー企業のトップや興味深い研究をしている研究室の学生などが、時には歴史を振り返り、時には旬の話題を提供してくれた。特にベンチャー企業の Danger 社 (<http://www.danger.com/>) や Tiquit 社 (<http://www.tiquit.com/>) は、携帯端末の試作機のデモを行ってくれ、大変興味深かった。また、オープンソース開発活動の支援サイトである SourceForge (<http://www.sourceforge.net/>) の創設者や、オープンソースの分子モデリングソフトである PyMOL (<http://pymol.sourceforge.net/>) の開発者の講演では、ビジネスがオープンソースに、オープンソースがビジネスにどう関わっていきけるかという話が語られ、大変面白いものであった。これらのセミナーでは研究室や授業では聞けない様々な生の話を聞くことができたため、見聞を広げるのに大いに役に立った。

5. 研究活動

大学では、主に無線 LAN 技術や IPv6、MobileIP の技術動向調査および、IPv6 環境構築を行った。そしてその上で次世代アプリケーションについての考察を行った。

5.1 研究テーマ

私の現在の研究テーマは「モバイル・コンピューティング」である。昨今、携帯電話/PDAを始めとする携帯端末の性能向上、および第3世代携帯電話のサービス開始や無線 LAN 技術の普及などによって、モバイル環境を支えるインフラが整い始めている。近い将来「いつでも、どこでも、なんでも」インターネットに接続されている世界が来るであろう。その世界では、すべての機器が IP で相互につながり、すべてのアプリケーションやサービスが IP をベースにして動くようになるであろう。この“IP on Everything, Everything on IP”という世界が来た時、どのようなアプリケーションが現われ、それをどのように利用し

ていけばいいのかを、モバイル・コンピューティングにフォーカスを当てて研究するのが本テーマである。

5.2 関連技術の動向

次世代インターネットにおける「いつでも、どこでも、なんでも」を支える基礎となるのが、無線 LAN 技術や IPv6、MobileIP といった次世代インターネット・プロトコルである。これらの技術およびプロトコルの動向を調査した。

5.2.1 無線 LAN 技術

(1) 標準・機器

現在の製品の主流は、2.4GHz 帯を利用し最大速度11Mbps の IEEE802.11b であり、既に手頃な価格で手に入る。最近では 5GHz 帯を利用し最大速度54Mbps の IEEE802.11a に対応した製品も、量販店で見かけるようになった。IEEE802.11b を拡張し、速度的に IEEE802.11a の対抗馬となる IEEE802.11g は、まだ標準化策定段階である。この標準化作業の遅れにより、IEEE802.11g は IEEE802.11a に水を開けられてしまい、少しきびしい状況である。IEEE802.11g は IEEE802.11b と同じ 2.4GHz 帯を使っており互換性の高さが売りであったが、IEEE802.11b/a をデュアルでサポートする製品が出てきてしまい、互換性の高さだけでは普及しない可能性が出てきてしまった。しかし、屋外利用を考えた場合、周波数が低い方が遠くに届きやすいことや、日本では屋外での利用を許可されている 5GHz 帯のチャンネルが現時点では 3 チャンネルに制限されていることなどから、IEEE802.11g にもまだチャンスはあるのではないかと思っている。なお標準策定中にも関わらず、IEEE802.11g に対応した製品は既にいくつか製品化されている。特にスタンフォード大学の Meng 教授らが設立した Atheros Communications 社 (<http://www.atheros.com/>) は、IEEE802.11b/a/g の 3 つの規格を同時にサポートした製品を既に製品化しており、技術的に一歩抜き出ている感がある。

一方、最近携帯電話用チップに無線 LAN 技術を組み込もうという動きがある。屋外利用を考えた場合、電波の到達範囲の狭い無線 LAN ですべての地域をカバーすることは現実的ではない。無線 LAN のアクセス・ポイントがないところでは、シームレスに携帯電話に切替えることができるようになれば、利便性ははるかに向上するに違いない。

(2) サービス

特に留学していたこの 1 年は、様々なインターネット接続業者が立ち上げた無線ホットサービス（いわゆるホットスポット）の話題がつきなかつた。アメリカでは主要な空港やホテル、大きな都市のカフェなどでサービスが行われている。日本でも JR の駅や主だったファーストフード店、カフェなどでサービスが提供されているほか、モバイルインターネットサービス株式会社 (MIS, [\[erv.net/\]\(http://www.mis-erv.net/\)\) が提供する Genuine という、移動しながらでも通信が利用できるユニークな商用サービスまで立ち上がっている。](http://www.mis-</p></div><div data-bbox=)

しかし、いくら大きな接続業者でも、すべての地域をカバーすることは困難である。そこで接続業者間でローミングし合う必要が出てくるのだが、ユーザー認証やアクセス制御、課金方法などがからみ、話が大変複雑である。現在 IEEE ではローミング標準を策定中であるが、まだしばらく時間が掛かりそうである。それを解決するソリューションとして、ワイヤレス・ソフトメーカーの iPass 社 (<http://www.ipass.com/>) が自社技術を提供し、いくつかのベンダーや接続業者がこれを採用した。IEEE にて標準が策定されるまで、これが事実上の標準となるであろう。

(3) セキュリティ

無線 LAN におけるセキュリティは、もっとも関心が持たれているところであろう。IEEE802.11 が持っていたセキュリティ機構である WEP (Wired Equivalent Privacy) に脆弱性が指摘され、現在は Ethernet の認証機構を拡張する規格である IEEE802.1x による対応が行われている。また、無線 LAN 用のセキュリティ規格である IEEE802.11i が標準化の過程にある。おそらく 2003 年の後半に標準化がなされ、その年末に製品が出てくるであろう。

屋外利用においては、多くのホットサービスにおけるデータのセキュリティはユーザー任せとなっているが、MIS では独自に MISP (MIS プロトコル) というプロトコルを開発し、ユーザーの高速認証や通信データの暗号化を行っている。この MISP は現在、モバイルブロードバンド協会 (<http://www.mbassoc.org/>) で標準化の過程にある。このようなセキュリティを考慮した技術が、早く他のネットワークでも利用できるようになって欲しいと思う。

5.2.2 IPv6

現在インターネットで広く使われている IPv4 (Internet Protocol Version 4) が設計/開発されてからほぼ 4 半世紀が過ぎ、様々な綻びが見えはじめている。特に IP アドレスの枯渇および、ルーティングテーブルの肥大化は深刻である。IPv6 は、IPv4 の持つこのような欠点を克服すべく設計された後継プロトコルである。

IPv6 の最初の標準化は 1995 年になされており、既に各種ベンダーは OS や、ルーターを始めとするネットワーク機器等の IPv6 対応を済ませている。さらに、特に日本では様々なインターネット接続サービス業者が IPv6 の接続サービスを展開しており、IPv6 をベースとしたインフラも整ってきた。また、第 3 世代携帯電話の規格の標準化団体である 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) は、将来的に携帯電話を IPv6 ベースに移行することを既に決定しており、各社は IPv6 を用いた実験も始めている。ソフトウェア面でも、インターネット上で使われ

るアプリケーションのIPv6対応も進み、IPv6ネットワークでもIPv4と変わらぬ環境を構築可能となっており、ユーザーがIPのバージョンを意識せずに利用できるようになってきている。このようにIPv6化の流れは着実に進んでいる。

現在IPv6の標準化ワーキンググループは、IPv6における名前解決やアドレス配布についての議論を行っている。これらが標準化されれば、さらにIPv6への移行がよりスムーズになるであろう。また小型の機器に組み込むためのIPv6の最小構成機能や次世代携帯電話に必要な要件定義なども議論されている。これらが標準化されれば、センサーを含めた超小型機器や携帯電話まで全てIPv6でつながるようになるであろう。

5.2.3 MobileIP

本来IPでは、通信ノードが通信中にネットワーク間を移動することを考慮していないため、移動先がわからなければ移動したノードにはアクセスできず、通信を行いながら移動することもできない。MobileIPは、モバイルノードがどのネットワークへ移動しても、他のノードから同一のIPアドレスでアクセスができるようにすると同時に、他のノードとの接続を保ちながらネットワーク間を移動することができるようにIPを拡張したプロトコルである。

MobileIPのメカニズムを簡単に説明する(図1参照)。

ホーム・ネットワーク上のホーム・エージェントが、モバイル・ノードの管理を行う。通信相手であるコレスポンデント・ノードは、モバイル・ノードと通信を行う時には常にホーム・エージェントにパケットを送る。ホーム・エージェントは、そのパケットをモバイル・ノードに転送する。モバイル・ノードはコレスポンデント・ノードに直

接パケットを返してもよいし、いったんホーム・エージェントに送って転送してもらってもよい。

モバイル・ノードが他のネットワーク(フォーリン・ネットワーク)に移動すると、そのネットワークで取得したIPアドレスをホーム・エージェントに登録する。コレスポンデント・ノードからホーム・エージェントに届いたパケットは、この登録された情報にしたがってフォーリン・ネットワーク上のモバイル・ノードへ転送される。さらに移動した場合には、モバイル・ノードは再び新しいネットワークで取得したIPアドレスをホーム・エージェントに登録するか、もしくは直前にいたフォーリン・ネットワーク上のフォーリン・エージェントに登録する。このようにして、コレスポンデント・ノードは常にホーム・エージェントにパケットを送り、ホーム・エージェントおよびフォーリン・エージェントがモバイル・ノードまでパケットを転送する。このようなメカニズムにより、モバイル・ノードがどこにいてもパケットは届き、移動しつつ通信を行うことができる。

IPv4をベースとしたMobileIPv4は標準化が既に済んでおり、例えばCiscoのルーターでは利用可能となっている。また無線ホットサービスとともにMobileIPv4の商用サービスを提供しているMISのような接続業者も出てきている。一方、IPv6をベースとしたMobileIPv6は、セキュリティ関連の問題で標準化が遅れているが、まもなく標準化がなされる見通しである。携帯電話キャリアを始めとして各所で活発に実験が行われているため、商用サービスとして提供される日もそれほど先のことではないであろう。

現在MobileIPv4/v6の両方で議論されているのが、移動の際に発生するホーム・エージェントへの新IPアドレ

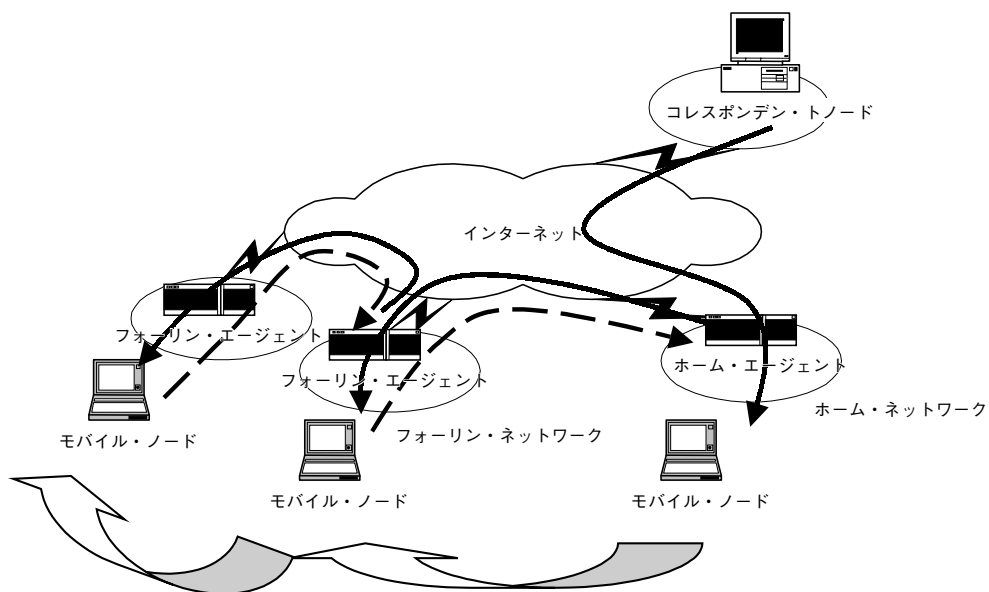


図1 MobileIPの仕組み

スの登録の間に、コレスポンデント・ノードからのパケットが遅延や不達を生じることである。ウェブの閲覧やメール、FTPといった現在主流のアプリケーションであれば、パケットが多少遅延しても構わないし、TCPの再送機能によりパケットの不達はリカバリされるため特に問題はない。しかし、今後増えるであろう音楽／動画のストリーミングや、音声／映像を用いた双方向コミュニケーション・ツールといったマルチメディア・コンテンツを扱うアプリケーションでは、TCPではなくUDPが使われているためパケットの再送はされず、パケットの不達が生じてしまう。マルチメディア・アプリケーションでは、データの正確性よりもリアルタイム性が求められるため、TCPを用いて100%の正確性を期す必要はないが、それでもハンドオーバー時のパケットの不達や遅延は大きくなる。これによって音質や画質の低下が生じ、インタラクティブ性も損なわれるため問題となっている。この問題の解決にはいくつかの方法が提案され検討がされているところであり、近い将来標準に取り込まれるであろう。

5.3 IPv6 環境構築

技術動向調査と並行して、IPv6環境の構築ノウハウを蓄積するため、研究室においてIPv6環境の構築を行った。スタンフォード大学のネットワーク環境は、帯域については大変恵まれているのだが、一般の学生に開放されている研究目的ではないネットワークはまだIPv6化されていない。そのため研究室からIPv6 over IPv4トンネリング・サービスをしているサイトまでトンネル接続をし、IPv6接続を確保した。IPv6 over IPv4トンネリングとは、IPv6ネットワーク間にIPv4ネットワークがはさまっている場合に、IPv6パケットをIPv4パケットにカプセル化してIPv4ネットワーク上を通過させる技術である。トンネルの接続先は、IPv6ネットワークへのトンネリング・

サービスを無料で提供しているFreenet6 (<http://www.freenet6.net/>) を利用した。

図2がそのネットワーク図である。

ここで、それぞれのマシンの環境は以下の通りである。

baron : FreeBSD4.4-RELEASE→4.5-RELEASE

amedio : FreeBSD4.4-RELEASE→4.5-RELEASE

→4-stable (安定版の最新)

abel : FreeBSD 4-stable

四角く囲ってある「IPv4、IPv6混在環境」が私の研究室である。ゲートウェイ・マシンであるbaronからFreenet6へ、Peer-to-Peerのトンネル接続を行っている。Freenet6から提供されているツールを利用してトンネル接続をするとIPv6プレフィックスが割り当てられ、baronはIPv6ルーターとして動作する。

IPv6ルーターは、ローカル・ネットワークにルーター通知メッセージ (Router Advertisement: RA) を定期的に発信してネットワーク・プレフィックスをアナウンスする。IPv6ノードは、RAを受信することによって自分のネットワークのプレフィックスを知り、自分の持つネットワーク・インタフェースを設定する。つまりIPv6ノードをIPv6ネットワークにつなぐと、自動的にネットワークが利用可能になるのである。これは「ステートレスなアドレス自動設定」と呼ばれる。これは一見DHCPと同じに見えるが、ノードがIPアドレスを自分で生成し、ネットワーク・インタフェースを設定するところが異なる。このステートレスなアドレス自動設定が、IPv6の大きな特徴の1つである。これに対しDHCPv6を用いた設定を「ステートフルな自動設定」と呼ぶ。

環境構築中にいくつか障害が起きた。そのうち大きなものは、amedioでRAを使ったIPアドレスの自動設定が使えなかったことである。このマシンは比較的新しいマザーボード (ECS K7S5A) を搭載しており、内蔵のネット

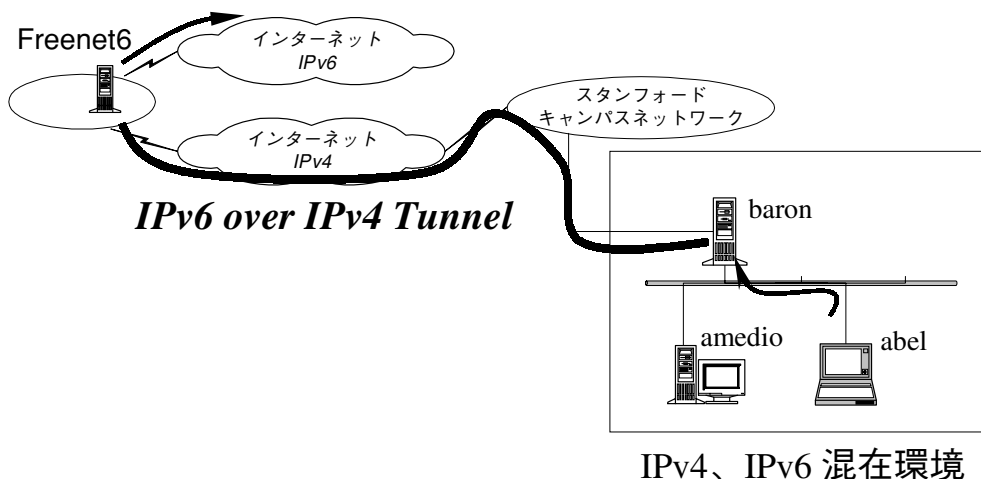


図2 研究室で構築したIPv6環境

ワーク・インタフェース（チップセットは SiS900 で物理部は Realtek のもの）を持っていたのだが、FreeBSD のネットワーク・ドライバの対応がまだ不十分であることが原因であった。

このマシンでは、最初に FreeBSD 4.4-RELEASE をインストールした時も、内蔵のネットワーク・インタフェースが認識されず、半ば強引にコードを修正して認識させて利用していた。後に FreeBSD 本体にもっと正しい形で修正が入り、この内蔵ネットワーク・インタフェースは安心して利用可能になった。

今回の障害では、amedio では RA を聞いてないが、Intel のネットワーク・インタフェースを持つ abel では正常に動作していたため、前述同様にネットワーク・ドライバの問題であると判断した。そのため、まず OS を安定版の最新状態へと更新したところ、RA を聞いて IP アドレスの自動設定が行われるようになった。これで直らなければ、私の手にはおえなかったであろう。世界中の開発者たちに感謝する日々である。

実際に IPv6 パケットがどのように目的地まで到達するのかを、簡単に述べる。クライアント・マシンである abel から出た IPv6 パケットは、ゲートウェイとなっている baron で IPv4 パケットへカプセル化され、IPv4 のネットワークを通過して Freenet 6 のサーバーまで届けられる。Freenet 6 のサーバーでは、届いた IPv4 パケットのカプセル化を解き、本来の宛先へパケットを発信する。逆も同様にして、いったん Freenet 6 のサーバーで IPv4 のパケットにカプセル化されて baron に届けられ、baron では IPv4 パケットのカプセル化を解いて IPv6 パケットを abel へ届ける。このようにして直接 IPv6 ネットワークでつながってなくても、IPv4 ネットワーク内をトンネルすることにより、IPv6 を利用することが可能である。一方、abel から出た IPv4 パケットは、普通に IPv4 のネットワークへ出ていく。こうして、研究室内からは IPv4 と IPv6 のアプリケーションを同時に利用可能である。

さらにウェブブラウザである Mozilla を始めとして、IPv6 に対応したアプリケーションの多くは、DNS によって名前を解決した時に IPv6 の IP アドレスが返ってきた場合は、まず IPv6 でアクセスを試み、IPv6 でアクセスできなければ IPv4 でアクセスする。このようなアプリケーションであれば、アクセス先が IPv4 であるか IPv6 であるかを意識することなく利用できる。このようにして IPv4 から IPv6 への移行をスムーズ行えるような様々な工夫が凝らされている。

今後は、社内の実験ネットワークを利用して MobileIPv6 の実験環境の構築を行い、構築ノウハウを蓄積するとともに、モバイル環境におけるアプリケーションの利用を試みる予定である。

5.4 次世代インターネット・アプリケーション

最後に、これまで述べてきた技術によって「いつでも、どこでも、なんでも」つながっている次世代インターネットが実現した時に、どのような次世代アプリケーションが出現するのかを考える。無線 LAN 技術や IPv6、MobileIP などの次世代インターネット・プロトコルによって実現される次世代インターネットの特徴は下記のようなものである。

- ・どこにいても常時接続されている
- ・太い帯域を持っている
- ・定額で使い放題である
- ・家電・車・各種センサーなど、何でもつながっている

⋮

つまり、我々はネットワークの大海にどっぷりと浸かるようになる。しかし、このような世界に行き着くには、今までも述べたようにまだまだ様々な困難が残っている。

- ・アクセス・ポイントが不足している。
- ・ローミング標準が未成立である。
- ・End-to-End での統一されたセキュリティが確保されていない。
- ・ハンドオーバー時にパケットの大きな遅延や不達が生じる。

⋮

これらの困難を克服し次世代インターネットが実現した暁には、以下のような次世代アプリケーションが、広く一般に利用できるようになるであろう。現在のところ、私はこれらのアプリケーションを3種類に分類している。

(1) コミュニケーション

主に、音声や動画などのマルチメディア・データを用いて人と人とのコミュニケーションに使われるアプリケーション。テレビ電話、ビデオ・カンファレンス、チャット・オフィス、対戦ゲームなどがここに分類される。

(2) 個別データを利用

主に、接続先の機器の情報を用いて管理／制御／監視などを行うアプリケーション。バス／タクシー／集配送などの運行管理や位置情報サービスなどが含まれる。また、外からの家電管理や家の監視及びそれらの外部委託、ホームドクターが家庭内医療機器の監視することによる健康管理なども考えられる。さらに常に薬の残量を管理し用法を提示し、簡単な診断なども行えるインターネット薬箱なども面白いのではないだろうか。

(3) 集約したデータを利用

主に、多数のセンサーなどを用いて、個々の情報は取るに足らないものであるが、それらを集約することによって有用な情報を得るアプリケーション。例えば車のワイパーにつけたセンサーでワイパーが動いているかを測定すれば、リアルタイムお天気情報となる。車の速度

を測定すれば、渋滞情報にもなるであろう。車の位置情報を追跡すれば、道路地図が描けるのである。このタイプのアプリケーションは、まだまだどんなものが出てくるのか予想もつかない。それだけアイデア勝負のアプリケーションと言える。今後が非常に楽しみである。

確かに、ここにあげたアプリケーションの中には、現在でも利用可能なものがいくつもある。しかし、それらの多くは独自のインフラの上に構築されているため、単独で利用するしかない。次世代インターネットにおいて、これらのアプリケーションがIPという同一インフラ上で構築されるようになれば、開発コストの軽減や品質の向上が望める。また運用管理コストの軽減も図れるであろう。さらにアプリケーションの統合化／融合化も可能となり、それによる新たなアプリケーションへの進化なども期待できる。Metcalfの法則によると、ネットワークの価値はその参加ノード数の二乗に比例するという。次世代インターネットには、従来のコンピュータのみならず、携帯電話／PDA

などの携帯デバイス、家電、車、各種センサーなど、およそありとあらゆるものがIPを用いて接続されるようになるため、次世代インターネットが持つであろうポテンシャルは計り知れない。そのポテンシャルを存分に引き出す次世代インターネット・アプリケーションを求めていきたい。

6. まとめ

スタンフォード大学では著名な教授たちや優秀な学生たちが、研究室のミーティングや授業などで様々な意見やアイデアを交わしあっている。また頻繁にひらかれるセミナーによって外部の様々な情報を取り入れ、活発に交流しあっている。カリフォルニアの暑過ぎず寒過ぎない穏やかな気候の下、このようにすばらしい教育・研究環境に身を置き研究活動を行った経験は大変に貴重である。この成果を今後の研究活動および社内支援活動に積極的に生かして行きたいと思う。