

通信サービス構築の 観点から見る 携帯電話網における モバイル IP

浅見 徹

東京大学大学院情報理工学系研究科



Mobile IP as Service Construction in Cellular Phone Networks

■ 携帯電話網における Mobile IP

インターネット技術花盛りであるが、十年以上という長期間にわたって研究や標準化努力がなされてきたにもかかわらず、IP マルチキャストと Mobile IP は、なかなか実用化の芽が出ずにいる。このため、“Everybody knows it, but nobody uses.”とも揶揄されてきた。IP マルチキャストに関しては、昨今 TV 番組の IP 再送信でようやく商用化の兆しが出てきたが、Mobile IP に関しては、依然、固定系のインターネット・サービスとして商用レベルにあるとは言えない。

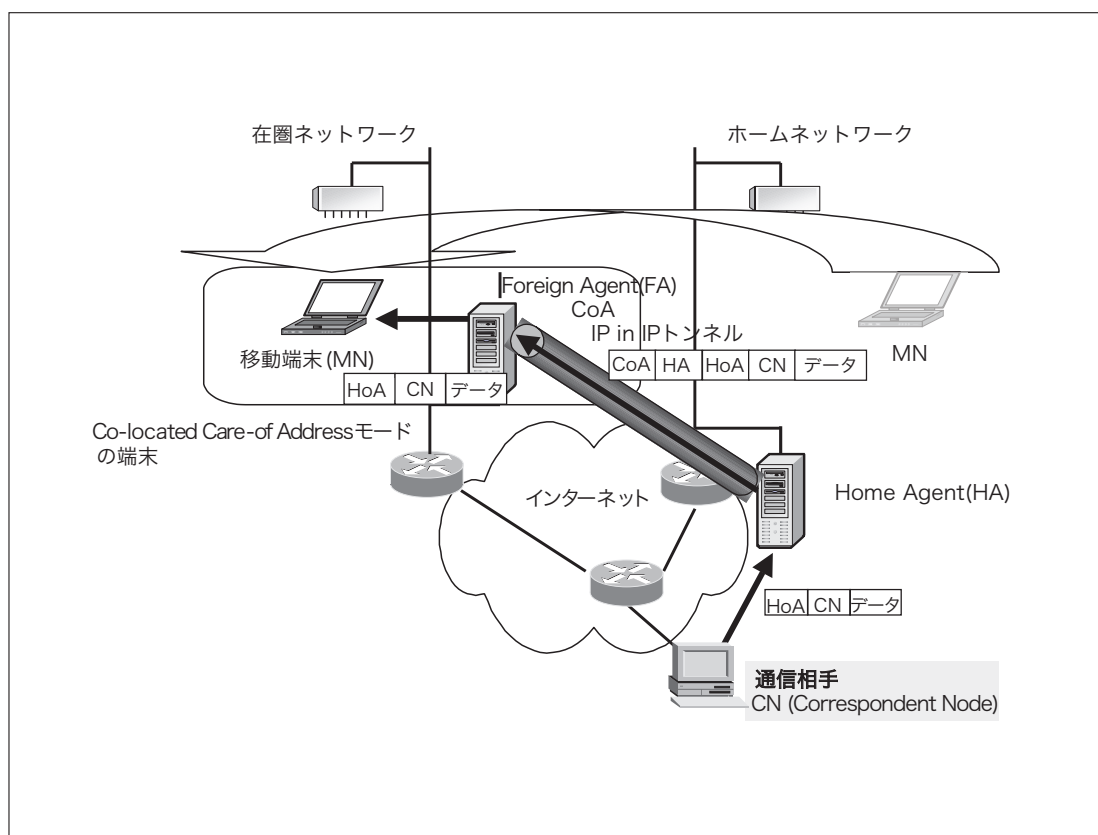
一方、携帯電話に目を転じると、Verizon Wireless, SK Telecom, KDDI などが加盟する標準機関 3GPP^{1), 2)} で決めた cdma2000 の Mobile IP がある。しかし、調査した範囲内では、ジャーナル、解説、研究会等の発表も含め、日本語で入手可能な学会関係資料は存在しない。また、市販の技術書でも、文献 3) が公開されている程度に過ぎない。もう一方の標準機関 3GPP とは対照的である。このため、インターネット研究者の中でさえ、3GPP2 の Mobile IP を知らない研究者も多い。さらに、実際の実装や運用状況に関しても、cdmaOne 以降の各事業者の開発事情からばらつきがあり、全容を把握するのがますます困難にしている。本稿では、最大公約数の 3GPP2 標準^{1), 2)} を筆者なりにひも解くことにより、3GPP2 と IETF とで規定されている Mobile IP (以下 MIP と略記する) に対する考え方の差異と、携帯電話事業者の求める要求条件とを明らかにする。議論にあたっては、MIP を電話のようなリアルタイム系のアプリケーションに拡張するための高速ハンドオーバーの検討⁴⁾ がされ始めていることを鑑み、Accounting に絞り、細かなハンドオーバー、IPv6 等への言及は割愛した。

■ Mobile IP 概論

3GPP の Mobile IP を論じるには Mobile IP の初歩的知識が必要である。図-1 に RFC2002 等に記載されている Mobile IP の概念図を示す。構成要素は、移動端末 MN (Mobile Node)、通信相手 CN (Correspondent Node)、HA (Home Agent)、FA (Foreign Agent) である。CN と MN が通信する際、HA は MN のホームネットワークにあって、MN の位置を管理し、CN から受けた MN 宛 IP パケットを FA に配送する一種のルータとして機能する。配送方法には MN 宛 IP パケットを HA から FA 行きの IP パケットにカプセル化する IP トンネル (IP in IP) を用いている。一方、FA は、MN の訪問先 (以下では在圏ネットワークと称する) にあって、MN に現在位置を通知するとともに HA から MN に送られるパケットを中継する一種のルータである。

MN が移動する際、Home Address (HoA) で着信できる条件は維持する。このため、MN は移動すると、移動先を示す Care-of Address (CoA, 気付アドレス) と HoA を FA 経由で HA に登録する。HA が「MN の位置を管理」するとは、HoA が CoA 配下にあると関連づけることを意味する。物理的移動の管理というより、あくまでも論理的な IP アドレスの関連付けである。

Mobile IP には、FA モードと Co-located Care-of Address モードがある。前者は在圏ネットワークに FA が存在し、その IP アドレスが CoA になる。FA が HA からのパケットから MN 宛のパケットを抜き出し、Ethernet 等のリンク層アドレスで MN に配送する。このため、MN 用に在圏ネットワークでの IP アドレスを割り当てる必要がない。FA モードでは、MN がホームネットワークから移動したかを判定できるようにするため、FA から Agent Advertisement が流される。また、



■図-1 Mobile IP

MN はこれを使って在圏ネットワークでの CoA を知る
ことができる。

一方、後者は、Care-of Address を MN 自身が DHCP
などで入手し、MN が FA と合体した構成 (図-1 参照)
である。移動先の制約はない利点はあるが、在圏ネット
ワークでは MN ごとに 1 つアドレス (CoA) が必要になる。

MN 発 CN 着のパケット送信に関しては 2 つの立場
がある。1 つはソースアドレスに HoA を入れて送り出
す方法である。これはソースアドレス偽造パケットと区
別がつかず在圏ネットワークのセキュリティ対策上困
る。このため、FA から HA 方向にも IP トンネリング (リ
バーストンネリング) を張り、FA-HA 経由でパケットを
CN に送信する手順がある。後者は通信経路は冗長にな
るがセキュリティ上の利点は大きい。

■ 3GPP2 の Mobile IP

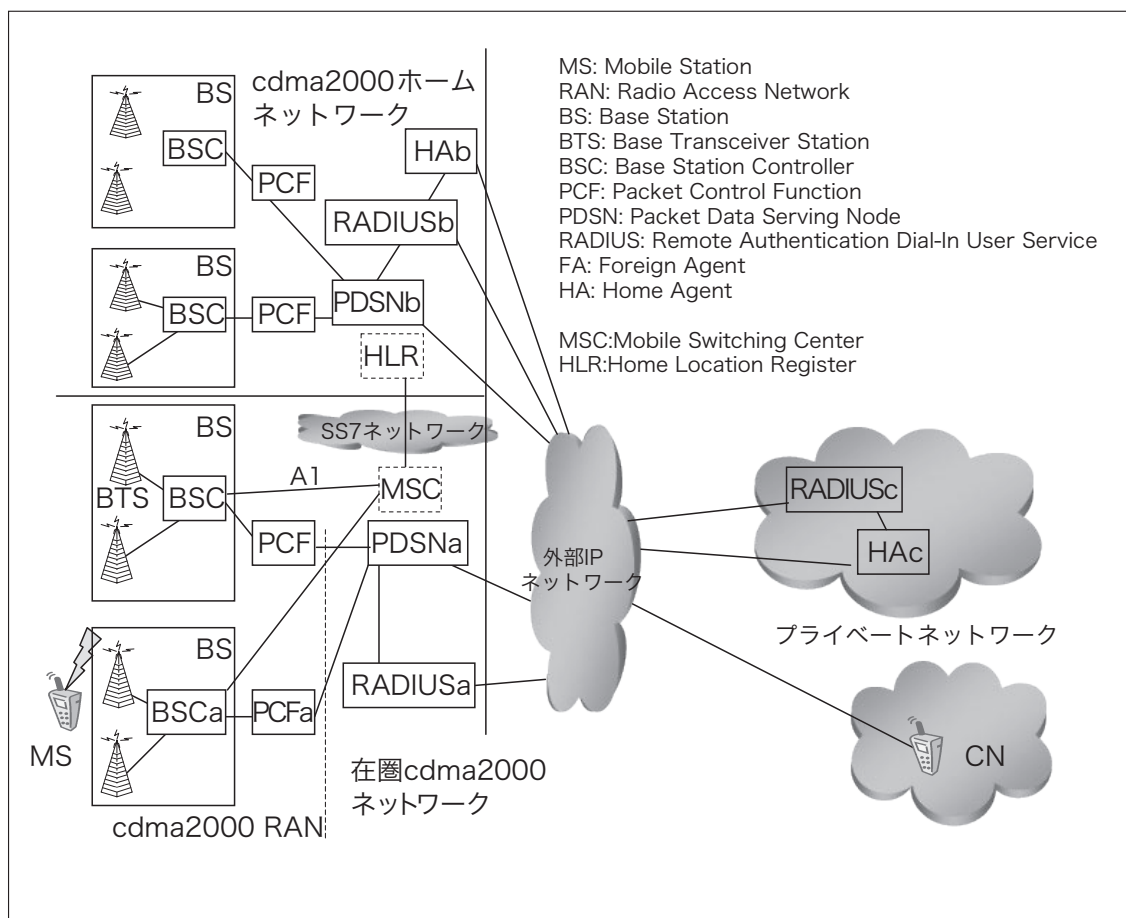
IETF などでは MN の呼称の方が一般的であるが、
3GPP2 では歴史的経緯から、移動端末を MS (Mobile
Station) と呼んでいるため、以下では MS と呼ぶこと
にする。MS のホームネットワークとして、cdma2000 と
プライベートネットワークの 2 つを考え、それぞれの
Home Agent を HAb および HAc とした場合の説明図
を図-2 に示す。3GPP2 の用語は 3GPP と IETF と
一致しないことが多いが、機能的には類似の通信ノー

ドがあるので、理解にはさほど障害はない。また、一
般の IP 接続サービスとの事業モデルの違いを強調する
ため、多少の誤解が生ずるかもしれないが、以下では、
cdma2000 wireless packet data network を携帯電話網と
呼んでいる。

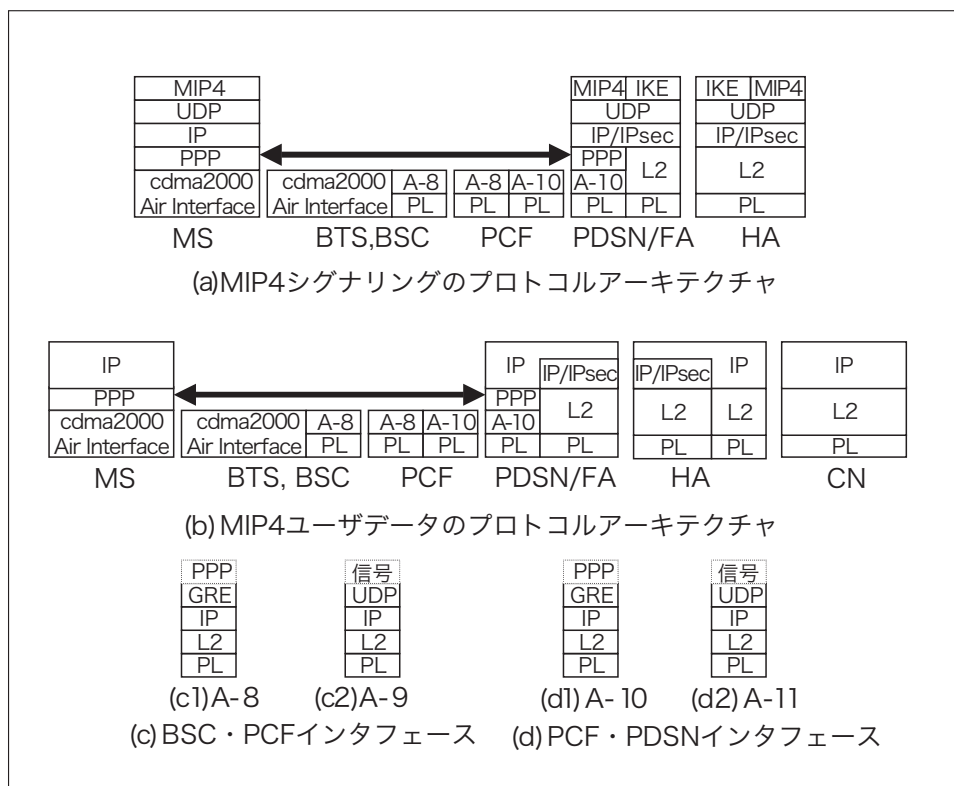
図-2 の MS から、BSCa、PCFa、PDSNa のパス、お
よび HA のプロトコル階層を図-3 に示した。特徴は、
(1) PDSN は PPP サーバと Foreign Agent (FA) を兼ね
ていること、(2) したがって、MIP の FA モードを採用
していること、(3) PPP で運ばれるユーザデータは、シ
グナリングとともに同一の MS-PDSN 間の IP 転送網で
運ばれるが、A-8、A-10 と A-9、A-11 とに論理的に明
確に分離されていること、(4) 呼制御機能、移動管理機
能、無線リソース管理、伝送設備管理用に HLR、MSC、
BSC 間の A1 インタフェースを使うという点で、SS7 回
線交換網の機能を使っていることが挙げられる。(3) は
cdma2000 パケット交換網の制御プレーンをデータプレ
ーンから切り離し、網管理ネットワークのセキュリティ
向上を図っている。以下に、主だった特徴を列挙する。

3GPP2 仕様では、通常の IP 接続のことを Simple
IP と呼んでいるが、1 つの PPP リンクで、複数の
Simple IPv4、Simple IPv6、Mobile IPv4 (MIP4) Home
Address (HoA)、Mobile IPv6 (MIP6) HoA アドレスに
対応できる。

Simple IPv4 の PPP 接続時に PAP/CHAP 認証を行



■図-2
cdma2000 MIP4
アーキテクチャ



■図-3
MIP4のプロトコルアーキテクチャ¹⁾

わない場合、PDSNが、端末MSの持つMSID (Mobile Station ID) から RFC2486 形式の NAI (Network Access Identifier) を <MSID>@<realm> (realm は MS のホームネットワーク名) と生成できる。ここで、MSID は IMSI

(International Mobile Subscriber Identity. 10 進 3 桁の Mobile Country Code, 2 ~ 3 桁の事業者識別番号, 最大 10 桁の Mobile Subscriber Identification Number から構成), MIN (Mobile Identification Number. 北米

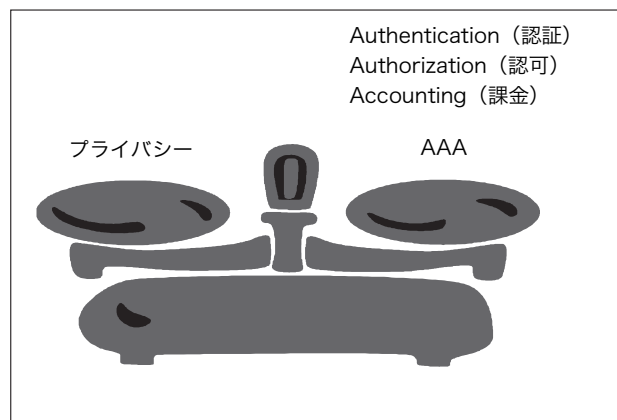
シナリオ	概要
1	HA もホームアドレス HoA もダイナミックに割り当て.
2	HA はダイナミックに指定. ホームアドレス HoA は固定割り当て.
3	HA は固定. ホームアドレス HoA はダイナミックに割り当て.
4	HA もホームアドレス HoA も固定割り当て.

■表-1 MIP4 のサービス・シナリオ

における加入者識別番号で、10 進 3 桁のエリア・コード、3 桁の CO コード、4 桁の回線番号から構成)、IRM (International Roaming MIN. 0 か 1 から始まる MIN. 米国にローミングしてくる海外キャリア向け) のいずれかである。在圏ネットワークの RADIUS サーバ RADIUSa は、これをホームネットワークの RADIUS サーバ (RADIUSb) に送って、正しい課金用 NAI に変換することができる。ここに、課金単位は MSID という携帯電話網特有の考え方が現れている。

ホームアドレス HoA とホームエージェント HA の割り当て方は表-1 に示すとおり、4 通りある。ただし、MIP4 のみのモードでは PPP アクセス時の CHAP/PAP 認証は行わない。これでは、PDSN は PPP で MS の NAI を入手できないが、後述するように、MS-PDSN あるいは MS-RADIUS 間での認証の際、MS が MN-NAI (RFC2794), MN-FA Challenge (RFC3012), MN-AAA (RFC2012) の各 extension を設定した RRQ (MIP Registration Request) を送るので、その際に入手できる。このため、PPP アクセス時の CHAP/PAP 認証はコネクション確立時間が長くなるだけなので省いている。

無線区間のリソースを節約するため、いったん一定数の Agent Advertisement を出した後は、MS から Agent Solicitation を受信するか、FA advertisement lifetime (最大値は ICMP router advertisement lifetime の 9,000 秒) がタイムアウトしない限り、PDSN は Agent Advertisement を出さない。さらに、Unsolicited Agent Advertisement も同様の理由により出さない。また、MS は Agent advertisement に組み込まれた Challenge を用いて、Response を計算し、RRQ を PDSN に送ることにより認証されるが、Agent advertisement を MS に送る頻度が低いので、RRP (MIP Registration Reply) を MS に送る際、次に用いる Challenge を入れて教えるようになっている。上記は、携帯電話網特有のチューニ



■図-4 通信サービスとは？

ングである。

PDSNa は、MS から RRQ を初めて受信した場合、FAC (Foreign Agent Challenge) をホームネットワークの RADIUS サーバ RADIUSb に送って認証する。MN-AAA Extension が指定されているときも同様である。

PDSN は、各 MS のユーザレコード UDR (NAI と HoA のペアで定義される) に対して、<A10 コネクション ID, MS の HoA, HA のアドレス> の 3 つ組みでルーティング・テーブルを作っている。このため、同一の MS が複数の HoA を同時に利用することができる。

HA は、MIP4 (RFC2002-2006), リバーストンネリング (RFC3024), Foreign Agent Challenge (FAC), MN-NAI Extension をサポートしている。また、HA には、各 NAI に対して複数の相異なるホームアドレス HoA を登録できる。特に、PDSNa から HAc へのリバーストンネルを張れば、プライベートアドレスをホームアドレス HoA にすることもできる。また、複数の異なった MS が同一のプライベートアドレス HoA (当然、物理的には異なったプライベートネットワークに属している) を同時に利用することもできる。PDSN からの RRQ は MN-HA 共有鍵で認証する。もちろん、RRQ に MN-AAA Authentication Extension が指示されているか、HA のセキュリティポリシーで必要ならば、ホームネットワークの RADIUS サーバ RADIUSb を使って、MS の NAI と CHAP を用いた認証を行うことができる。

■ スケーラブルなサービス提供と固定アドレス

通信事業とは、図-4 に示すように、的確にユーザを認証 (Authentication) し、ネットワーク・リソースへのユーザ・アクセスを制御 (Authorization) し、ユーザの利用ログを取る (Accounting) ことがサービス構築上の

基本である。この AAA は、プライバシー侵害と表裏一体の関係にあり、バランスの良いアーキテクチャが時代時代に合わせて必要となる。

ここでは、固定アドレスの通信事業での意義を考えてみたい。一般に MIP の議論では、固定アドレスのメリットとして、着信可能（ただし、Always on が前提）であるとか、端末認証の観点からセキュリティに強い等が挙げられることが多い。しかし、IP アドレスがユーザーに勝手に操作されるような環境ではほとんど意味がない。IP アドレスを他の耐タンパー性の高い ID にひも付けてきていない限り無意味である。そのような詐称できない枠組みがあったとして、端末認証も含む利点が出てくる。3GPP2 のような携帯電話網では、IMSI のような端末（MS）固有のハードウェア ID があるため、これをキーに網側のデータベースから固定 IP アドレスを割り振ることができる。この前提で、QoS 等顧客ごとの付加サービスの可能性に道が開かれることに注意すべきである。

P2P アプリの台頭はあるが、サービスとしての通信事業は、依然としてサーバ・クライアント型のアーキテクチャに負っている。この場合、各サービス提供サーバに多数のクライアントが集中するため、負荷分散装置を使って、同じ IP アドレス宛てにきたパケットを同機能の異なった MAC アドレスを持つサーバに振り分けて処理するのが普通である。この負荷分散には、IP アドレス、ポート番号、クッキー、SSL セッション ID、URL などが用いられている。しかし、トランスポート層（レイヤ 4）より上の、クッキー、SSL セッション ID、URL を使うことは、(1) 負荷分散装置は、高速性が要求されるためハードウェア実装であり、新たなアプリが出てくるたびに新たな負荷分散装置が必要になり、投資コストがかさむこと、(2) ペイロードの中身をあまり深く読むのは通信の秘密の観点からあまり好ましくないことから、可能ならば避けるべきである。

レイヤ 3 の IP アドレスでの負荷分散は、(1) 上位プロトコルに透過的であり、新規のアプリケーションに追加投資なく対応できること、(2) 負荷分散ルールが単純であり、ハードウェア処理に向いていること、(3) IP アドレスがユーザーに紐付けられていれば、ユーザーごとにサーバを割り当ててサービスを組み上げることにより、ユーザー数に合わせてサービス提供システムを段階的に構築できる。

固定アドレスのサービス提供上の利点はここに尽きる。特に、FMC (Fixed Mobile Convergence) 等で固定、移動双方にサービスすることを試みた場合も、固定アドレスならば、上記の観点から課金処理も含め、簡易かつスケラブルな処理系を構築できる。NGN 等に拡張した場合、このような仕組みをどう作るかが鍵であろう。

■ MIP とサービス提供

携帯電話加入数は、過去 10 数年急速に増加し、日本の一般コンシューマ市場では IP 通信端末としては PC より台数が多い。図-5 に示すように日本の携帯電話 3 社の端末台数はクラス A プライベートアドレス (10.0.0.0/8) 空間 $2^{24}=16,777,216$ を大幅に凌駕するに至っている。MIP の欠点としてよく指摘されるのは、(1) 経路最適化が難しい、(2) 移動端末の制御が QoS 維持等の観点からは検討が弱い、(3) Location Privacy がないなどであるが、(1) と (3) は後述するように必ずしも欠点とは言えず、(2) は、IP 技術全般に言える欠点である。むしろ、公開された情報で知る限り、大規模な商用経験がまだないこと、標準化されたとはいえ、3GPP2 の各事業会社での運用実態が未公表であることなどが問題と言える。

一方、メリットとしては、(i) 携帯網と固定網間のシームレスなハンドオーバー、(ii) 移動管理が MIP に一元化しているため SIP がセッション管理に集中できること、(iii) 移動端末のモニタが容易でありトラフィック制御が可能であることなどが叫ばれてきた。しかし、いずれも、あればいい程度の域を出ておらず、キラーアプリを明言せずに事業会社を満足させるには至っていない。事業的には、今後導入が進む FMC を考え、固定アドレスによる大規模サービスの可能性の方がメリットとして大きい。

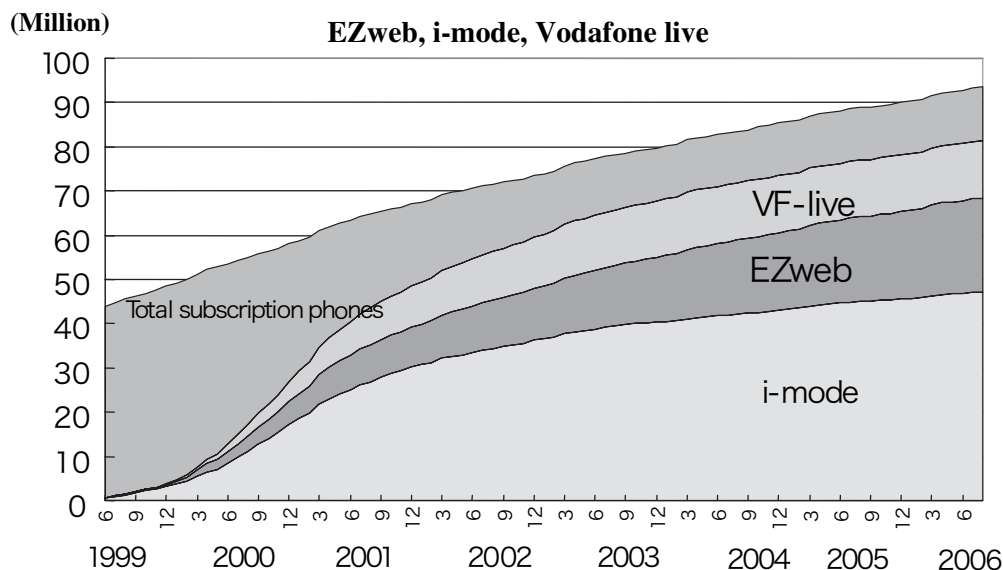
■ 双方向トンネルとサービス提供

3GPP2 の MIP の特徴は、PPP サーバと FA を兼ねた PDSN にある。端末 (MS) が FA を兼ねる Co-located Care-of Address モードではなく、FA モードを選んだ理由はどこにあるのであろうか？

MS 発のパケットをどう扱うかという観点では、IETF で種々の検討がなされてきており、通信経路の最適化のための Binding Cache という仕様がある。MIP6 では標準仕様にもなっているこの方式では、CN が最初に通信するときだけ HA 経由で MS にアクセスするが、MS はアクセスされると CN に対して Binding Update を送って現在の CoA を通知し、以後 CN と MS は CoA を使った直接通信に移行する。MIP6 は Co-located Care-of Address モードで動作するが、ソースアドレスが在圏ネットワークのものになるこの Co-located Care-of Address モードはアドレス・スプーフィングも解決でき、経路冗長化も回避できるため一見有利に見える。ところが、近年の固定網の高速化により、地球の裏側にある端末にパケットが行って戻ってくる RTT (Round Trip Time) は理論限界の 0.2 秒に近づきつつある。一方、携

At the end of August, 2006
Total: 8,134 Million
(Total cell phones: 9,350 Million)

i-mode: 4,708 Million
EZweb: 2,132 Million
VF-live: 1,292 Million



■ 図-5
携帯電話加入の推移

帯電話網の無線区間の RTT はこれと比較してかなり大きい。固定網内の経路最適化は携帯電話網では、実は意味がない。また、MS の移動先を通信相手 CN に知られないため、すなわち Location Privacy を守るためには、CoA を CN に知らせないほうがいい。さらに、IPv4 のプライベートネットワークをベースに構築されることが多い携帯電話網では、HoA もプライベートアドレスの場合、Co-located Care-of Address モードでは、CoA との HoA のアドレス衝突の可能性もある。以上から、双方向トンネルの FA モードの方が事業的観点からは優れているといえる。

3GPP2 仕様の中では、1 つの PPP セッションに対して、Simple IPv4 (i 個)、Simple IPv6 (j 個)、MIP4 (k 個)、MIP6 (l 個) を $i+j+k+l>0$ でアドレス付与できる。このため、 $i=j=0$ 、すなわち MIP アドレス (HoA) のみで端末を収容でき、これで FA モードを実現している。また、PDSN は、各 MS の UDR に対して、<A10 コネクション ID, MS の HoA, HA のアドレス> の 3 つ組みでルーティング・テーブルを作っている。PDSN から MS へのパケットの配送に関しては、HA と PDSN 間の IP トンネル (HoA と HA のアドレスのペアで同定する) を、該当する A10 コネクション ID を持つ PPP リンクにつなぎこむ処理を行っているだけである。このた

め、PDSN から HA へのリバーストンネリングがあれば、同一の PDSN 配下に、同一のプライベート IP アドレスを持ち、相異なるプライベート・ネットワークに属した端末 (MS) がいくらかでも存在できる。これは、MS と PDSN 間が Ethernet のようなシェアード・メディアでなく、PPP であるので、各パケットの配送を PPP セッションごとに独立に行えることから実現できている。

これには、事業会社が注目すべき、以下のメリットがある。まず第 1 に、ソリューション事業の観点から考える。図-2 のプライベートネットワークを企業網と見立てると、HA から端末 MS まで PPP と IP トンネルでパケットを配送しており、経路上にインターネットへの出口はない。このため、セキュリティを確保しつつ、企業網の延長として携帯電話網を利用できる。しかも異なる企業に属した端末を収容する場合でも、各企業網の個別プライベートネットワークアドレスを考慮する必要がないという運用上のメリットまである。

第 2 に、携帯電話網の構成の観点からの利点もある。一般に、固定のプライベートアドレスを端末に付与するサービスでは、クラス A プライベート IP アドレス (10.0.0.0/8) 空間 $2^{24}=16,777,216$ を超えることができない。しかし、ネットワーク全体を複数のホームネットワーク (ネットワークアドレスはプライベートネットワー

クアドレスですべて同一)に分け、各端末をどれかのホームネットワークに属するように MIP を運用すれば、アドレス空間の制約から解放される。

第3に事業者間ローミングの観点からの利点もある。携帯電話網がプライベートアドレスを利用している場合、図-2の cdma2000 ホームネットワークと cdma2000 在圏ネットワークの利用しているネットワークアドレスが同一の可能性がある。これも第2の利点と同様、MIP を使えば問題が解決できる。事業者間の細かなアドレス割り当て作業は無用である。

第4に、在圏ネットワークでも端末の環境はホームネットワークと同じになるため、ホームネットワーク固有のサービスを提供することができる。アプリケーション・サービスごとにローミング方法を検討する必要はない。この網を越えたサービス提供が容易ということは、強いアプリケーション・サービスを持つ事業者が有利になることを意味する。

第5に、無線通信インフラを他社に依存する MVNO (Mobile Virtual Network Operator, 仮想移動体サービス事業者)にとっても都合が良い。彼らが用意すべきは図-2のプライベートネットワークと HA と端末だけであり、後は在圏ネットワークの PDSN のルーティング・テーブルに中継情報を書き込んでもらうだけで技術的には完成する。しかも、課金処理系は自社独自のものを使うことができる。

以上、携帯電話網の運用上、固定の MIP アドレス、FA モード、双方向トンネリング、かつ MIP アドレスのみでの端末収容を前提に、事業的観点から利点を述べてみた。事業上の利点は、プライベートネットワークを何層にも自由に重ね合わせられるオーバーレイネットワーク技術として MIP を利用することから来ていることが分かる。

■ まとめ

本稿では、一般的には認知度の低い 3GPP2 における Mobile IP の技術を取り上げ、事業的観点から概論した。携帯電話事業の世界でデファクトとなっている GSM や cdma2000 に関しては、日本発の技術ではないためか、これまで、日本の学術雑誌へ掲載されたことがほとんどない。しかし、次世代技術を論ずるには、通信事業の実態や運用現場のニーズを的確に研究者が把握し、現用技術を精緻に分析し、問題点を把握する努力を続ける必要がある。3GPP2 における Mobile IP 技術は、学術雑誌への掲載は皆無の状況にあり、運用現場独自の判断で仕様策定に走ったことに特徴がある。このような開発現場の技術開発活動を学会に取り込めれば、的確なニーズ把握を学会にもたらし、出口のある研究、シーズのある開発サイクルを助長し、単に学会の活性化だけでなく、開発現場のリスク軽減にもつながるはずである。関連研究会も含め、研究技術の周知、運用現場からの情報収集活動の徹底が望まれる。

参考文献

- 1) 3GPP2, cdma2000 Wireless IP Network Standard: Introduction, X.S0011-001-D, http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/X.S0011-001-D_v1.0_060301.pdf (Feb. 2006).
- 2) 3GPP2, cdma2000 Wireless IP Network Standard: Simple IP and Mobile IP Access Services, X.S0011-002-D, http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/X.S0011-002-D_v1.0_060301.pdf (Feb. 2006).
- 3) 小田稔周：第3世代のモバイル・ネットワーク、ワイヤレス・ブロードバンド教科書、服部 武、藤岡雅宣（編）、pp.133-190、IDG ジャパン (2002)。
- 4) Yokota, H. and Dommetty, G. : Mobile IPv6 Fast Handovers for 3G CDMA Networks, <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mipshop-3gfh-00.txt> (May 2006).

(平成 18 年 9 月 4 日受付)

浅見 徹(正会員) | asami@ee.t.u-tokyo.ac.jp

1974 年京大・工・電子卒業。1976 年同大学院修士課程修了。同年国際電信電話(株)(KDDI)に入社。UNIX 通信、ネットワーク障害診断、xDSL の実証実験等に従事。博士(情報理工学)。2001 年(株)KDDI 研究所代表取締役所長。2006 年東大・大学院情報理工学系研究科教授。現在に至る。平成 9 年度前島賞。IEEE、電子情報通信学会各会員。

