

**IPv4 アドレス在庫枯渇問題に関する検討報告書  
(第一次)**

**2007 年 12 月 7 日**

社団法人日本ネットワークインフォメーションセンター

## 目次

目次.....	2
0 本報告書の目的.....	4
1 用語の定義.....	4
2 検討結果の概要.....	8
3 IPv4 アドレス在庫枯渇の時期と回収、再分配の可能性.....	12
3.1 はじめに.....	12
3.2 IPv4 アドレスの在庫枯渇予測の検証.....	13
3.2.1 RIR 毎のマクロ需要要因.....	13
3.2.2 RIR 毎のアドレス需要予測モデルの検討.....	21
3.2.3 日本におけるアドレス需要要因.....	25
3.2.4 日本におけるアドレス需要予測モデルの検討.....	26
3.3 分配済み未利用 IPv4 アドレス回収の可能性検討.....	28
3.3.1 歴史的 PI アドレスの利用状況の推定.....	28
3.3.2 回収のための課題整理.....	32
3.3.3 ARIN における回収議論の要点.....	35
3.3.4 回収と活用の可能性検討.....	36
3.4 まとめ.....	39
3.4.1 IPv4 アドレス在庫枯渇予測の検証のまとめ.....	39
3.4.2 分配済み未利用 IPv4 アドレス回収の可能性検討のまとめ.....	39
4 IPv4 アドレス在庫枯渇対応策の問題点とその解決策.....	40
4.1 はじめに.....	40
4.2 在庫枯渇により誰がどう直接的に困るのか.....	42
4.2.1 誰がどう困るのか.....	42
4.2.2 困らない人はいるのか.....	42
4.3 インターネットレジストリとしてできること.....	44
4.3.1 分配済み未利用アドレスの回収、再在庫化と再分配.....	44
4.3.2 実効性の評価と課題.....	44
4.4 事業者が採り得る対応策.....	44
4.4.1 何らかのやり方で IPv4 アドレスを確保.....	44
4.4.2 プライベート IPv4 アドレスを利用して新規顧客を収容し、NAT を介してインターネットに接続.....	45
4.4.3 IPv6 による新規顧客の収容.....	46
4.5 三つの対応策の評価.....	47
4.5.1 「何らかの手段で IPv4 アドレスを確保する」の評価.....	47
4.5.2 「プライベート IPv4 アドレス+NAT による新規顧客の収容」の評価.....	48
4.5.3 「IPv6 による新規顧客の収容」の評価.....	49
4.5.4 事業者における各対応策の採用.....	49

4.5.5	二者間の通信に沿った問題点の整理	50
4.5.6	結論	52
4.6	三つの対応策の問題点とその解決策	55
4.6.1	「何らかの手段で IPv4 アドレスを確保する」の問題点と解決策	55
4.6.2	「プライベート IPv4 アドレス+NAT による新規ホストの収容」の問題点と解決策	56
4.6.3	「IPv6 による新規顧客の収容」の問題点と解決策	57
4.6.4	解決策案の分類と実施主体	58
4.7	技術的課題に関する現状の考察	60
4.7.1	IP 電話が NAT やトランスレータの介在によって直面する問題	60
4.7.2	トランスレータ技術の現状	60
4.7.3	NAT トラバーサル技術の現状と多段 NAT 下での問題点	62
4.7.4	IPv6 における電子証明書利用の問題点	65
5	ステークホルダーからの意見	67
5.1	JPNIC 会員アンケート	67
5.1.1	実施概要	67
5.1.2	アンケート結果の概要	67
5.1.3	設問の内容	68
5.1.4	設問 1 の回答	69
5.1.5	設問 2 の回答	69
5.1.6	設問 3 の回答	70
5.1.7	設問 4 の回答	70
5.1.8	設問 5 の回答	71
5.2	IPv4 アドレス在庫枯渇対応諮問委員会	72
5.2.1	設置の目的	72
5.2.2	委員リスト	72
5.2.3	諮問委員会からの意見	73
6	世界の動向	74
6.1	インターネット関連諸団体の動き	74
6.2	各地域、各国の対応状況	75
6.2.1	国際的な IPv6 の推進体制	75
6.2.2	欧州連合	75
6.2.3	米国	75
6.2.4	中国	76
6.2.5	台湾	76
6.2.6	韓国	76
7	検討メンバ	77
7.1.1	IP アドレス管理政策検討ワーキンググループ	77
7.1.2	IPv4 アドレス枯渇克服策検討ワーキンググループ	77

## 0 本報告書の目的

現在グローバルインターネットで識別子として利用されているグローバル IPv4 アドレスに関して、その分配管理を行うインターネットレジストリにおける在庫が、2010 年から 2011 年ごろに枯渇すると言われている。本報告書は、この IPv4 アドレス在庫枯渇の問題に関して、その状況を精査した上、対応策の整理と検討を行ったものである。

JPNIC が本報告書をまとめ、公開する主な目的は、JPNIC 会員をはじめとするインターネットサービスを提供する事業者に対して、この IPv4 アドレス在庫枯渇の問題について正しく認知してもらうこと、そして在庫枯渇時期までの間に克服しなければいけない課題について、事業者各自あるいは事業者間で連携して解決する必要があることを理解してもらうことである。

さらに、課題解決の取り組みを促すために、JPNIC 自らが推進していくべきことに関しても本報告書に盛り込むことで、JPNIC、事業者、また各ステークホルダーが相互に協調しながら、IPv4 アドレス在庫枯渇の問題に取り組みを進めていけるようにしたいと考える。

## 1 用語の定義

本報告書で使用されている用語に関して本項で説明する。特に断りなくこれらの用語が用いられる場合、本項で説明した意味で使われる。

- **IP (インターネットプロトコル、Internet Protocol)**  
インターネットで用いられる通信プロトコル。経路制御とフラグメンテーションを基本機能とし、IP アドレスによって識別されたコンピュータに対して、IP データグラム(IP パケット)を送る。現在、広く用いられている IP は、32 ビットのアドレス空間を持つ「バージョン 4(IPv4)」だが、128 ビットのアドレス空間を持つ「バージョン 6(IPv6)」も普及し始めている。
- **BGP (Border Gateway Protocol)**  
インターネットにおいて、自律システム(AS)同士で経路情報を交換するための経路制御プロトコル。
- **SIP (Session Initiation Protocol)**  
VoIP(Voice Over IP)に関する通話制御プロトコル。音声通話以外にもボイスメール、インターネット FAX 等にも利用可能。
- **SSL (Secure Sockets Layer)**  
電子証明書技術を利用し、インターネット上の通信で、盗聴や改竄、メッセージの偽造を防ぐプロトコル。

- NAT (Network Address Translator)  
 プライベート IP アドレスで構築した閉域網内のホストが、インターネット上のホストにアクセスする際に、インターネット上のホストに対しては閉域網内ホストの IP アドレスを自身のグローバル IP アドレスに変換して、接続を実現する機構、あるいは装置。
- NAT トラバーサル技術(NAT Traversal Technologies)  
 NAT のインターネット側から閉域網上のホストへの接続を実現する技術を指す。
- UPnP (Universal Plug-and-Play)  
 ユニバーサルプラグアンドプレイ。宅内ネットワーク等につながる機器を、広く接続するだけで他の機器との通信を可能にするためのプロトコル群。この報告書ではブロードバンドルータの NAT トラバーサル技術を定めた UPnP IGD (Internet Gateway Device) の機能に関して触れている。
- トランスレータ(Translator)  
 この単語は一般的に「変換装置」「変換機構」という意味を持つが、この報告書では特に IPv4 と IPv6 の間で IP アドレスとプロトコルを変換して、両側に存在するホスト間の通信を実現する装置という意味で用いている。
- ネイティブ接続 (Native 接続)  
 トンネリングや変換装置を介さず、直接接続する形態
- クライアント、サーバ、ホスト(client, server, host)  
 クライアント： クライアント・サーバ型通信においてサーバに接続要求を行い、サービスを受けるコンピュータ  
 サーバ： クライアントからの接続要求を受け、自身に実装されているサービスをクライアントに提供するコンピュータ  
 ホスト： クライアント、サーバを区別せず、ネットワークに接続されているコンピュータを指す場合に用いる
- 事業者  
 単に事業者という場合、本報告書では IP アドレスの分配をインターネットレジストリ等から受け、それをを用いてネットワークやシステムを構築し、インターネット接続を含んだサービスを顧客に提供する者を指す。  
 この事業者には、利用者にインターネット接続サービスを提供する接続事業者と、ホスティングサービス等を行うサーバ設置事業者が含まれる。  
 また、アクセス網提供事業者等インターネット接続を提供しない者は単に「事業者」と表現する場合には含めず、その都度特定する。
- 利用者  
 インターネット接続サービスの利用者。概ねクライアントとしてインターネット上のサーバにアクセスしてインターネットを利用している。
- 顧客  
 事業者の顧客で、利用者とサーバを含む。

- ICANN (アイキャン、Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)  
インターネットの各種資源を全世界的に調整することを目的として、1998年10月に設立された民間の非営利法人。その主な役割は、(1)ドメイン名やIPアドレスといったインターネットの識別子の割り振り・割り当てをグローバルかつ一意に行うシステムの調整、(2)DNS ルートネームサーバ・システムの運用および展開の調整、そして(3)これらの技術的業務に関連するポリシー策定の調整。
- IANA (アイアナ、Internet Assigned Numbers Authority)  
カリフォルニア大学情報科学研究所(ISI)の Jon Postel 教授が中心となって始めたプロジェクトグループで、ドメイン名、IPアドレス、プロトコル番号等、インターネット資源のグローバルな管理を行う。2000年2月には、ICANN、南カリフォルニア大学、および米国政府の三者の合意により、IANA が行っていた各種資源のグローバルな管理の役割はICANNに引き継がれることになった。現在IANAは、ICANNにおける資源管理、調整機能の名称として利用されている。
- インターネットレジストリ (Internet Registry)  
IPアドレス・AS番号等のインターネット資源を管理し、割り当てを行うための機構、組織。RIR、NIR、LIRの総称。
- RIR (Regional Internet Registry 地域インターネットレジストリ)  
特定地域内のIPアドレスの割り当て業務を行うインターネットレジストリ。現在、APNIC、ARIN、RIPE NCC、LACNIC、AfriNICの五つがある。JPNICのIPアドレスの割り当て業務は、APNICの配下で行っている。
- NIR (National Internet Registry 国別インターネットレジストリ)  
国別に組織されたインターネットレジストリ。RIRのIPアドレス分配業務を国の単位で行う。JPNICはAPNIC管轄下で日本のLIR等に対してIPアドレス分配業務を行うNIR。
- LIR (Local Internet Registry ローカルインターネットレジストリ)  
LIRは一般的にインターネットサービスプロバイダ(ISP)のことで、主として自身が提供するネットワークサービスの利用者に対してアドレス空間を割り当てるインターネットレジストリを指す。JPNIC IPアドレス管理指定事業者はこのLIRにあたる。
- エンドユーザ  
IPアドレス管理を扱う場合に、インターネットレジストリ(LIRを含む)からIPアドレスの割り当てを受け自組織が運営する機器に設定して利用する最終利用者を示す。
- APNIC (Asia Pacific Network Information Centre)  
世界に五つある地域インターネットレジストリの一つであり、アジア太平洋地域を管轄。
- ARIN (American Registry for Internet Numbers)  
世界に五つある地域インターネットレジストリの一つであり、北米、カリブ海周辺の一部地域を管轄。

- RIPE NCC (RIPE Network Coordination Centre)  
世界に五つある地域インターネットレジストリの一つであり、ヨーロッパ、中近東、アジアの一部を管轄。
  
- LACNIC (The Latin American and Caribbean IP address Regional Registry)  
世界に五つある地域インターネットレジストリの一つであり、ラテンアメリカとカリブ海地域を管轄。
  
- AfriNIC (African Network Information Centre)  
世界に五つある地域インターネットレジストリの一つであり、アフリカ地域を管轄。

## 2 検討結果の概要

現在グローバルインターネットで識別子として利用されている、グローバルIPv4アドレスの在庫が今後数年の間に枯渇すると言われている。本報告書は、このIPv4アドレス在庫枯渇の問題に関して、その状況を精査した上で、対応策の整理と検討を行ったものである。

検討にあたっては、役員レベルの検討会を設置し、IPv4アドレス在庫枯渇問題に対する対応の全体方針を検討した。

また、詳細検討のためにワーキンググループを二つ設置した。一つは「IPアドレス管理政策検討ワーキンググループ」であり、IPv4アドレスの在庫枯渇の時期と在庫枯渇以後の回収、再分配の可能性の部分を担当した。もう一つは「IPv4アドレス在庫枯渇克服策検討ワーキンググループ」で、IPv4アドレスの在庫枯渇に関する対応策の部分を担当した。

これらに加え、社団外からインターネット接続事業者以外のステークホルダーにご参集いただく「IPv4アドレス在庫枯渇問題諮問委員会」を設置した。この諮問委員会でいただいた意見を織り込んだ上で本報告書を完成させた。

以下に検討結果の概要を示す。

### IPv4 アドレスの在庫枯渇の時期と在庫枯渇以後の回収、再分配の可能性

業界で信頼度が高いとされているGeoff Huston氏の予測<sup>1</sup>によると、インターネットレジストリにおけるIPv4アドレスの在庫は2010年から2011年に枯渇するとされている。一方で、既に分配されたアドレスブロックの中に未利用の部分が多く存在して、これらの未利用アドレスを新しい需要に振り向けることで、実際には在庫枯渇以降にもIPv4アドレスは入手可能ではないかと一部では考えられている。

本検討では、まず、IPv4アドレスの入手可能性に関してより正確な状況を得るために、在庫枯渇の時期と在庫枯渇以後の回収、再分配の可能性に関して検討を行い、以下の結果を得た。

- i) 情報通信技術関連の需要要因を示すさまざまな経済指標を基に JPNIC 独自の予測を行った。この独自予測も 2010 年から 2011 年に IPv4 アドレスの在庫枯渇に到達するという結果を得て、Huston 氏の予測の信頼性を確認した。
- ii) 入手可能性の検討の一つとして、再分配に向けた未利用 IPv4 アドレス回収に関して検討し、以下の結果を得た。
  - 回収に関する法的根拠の理論武装や手続き確立の必要性、回収元における返却誘因（リナバコストの正当化）の不足等といった解決すべき課題がある。
  - 回収によって入手可能になる IPv4 アドレスの量は限定的である。

---

<sup>1</sup> Geoff Huston *IPv4 Address Report* <http://ipv4.potaroo.net/>



## IPv4 アドレスの在庫枯渇に関する対応策

前述の検討に並行して、IPv4アドレス在庫枯渇の後も安定的にインターネット接続を提供しつづけるために、事業者を始めとする諸ステークホルダーがどう対応するべきかを探った。

まず、IPv4アドレスの在庫枯渇自体が持つ意味合いと影響を明らかにし、これに対して採り得る対応策と、対応策それぞれが持つ問題点を挙げた。次に、それぞれの問題点を評価するとともに、これら問題点に対する解決策を解決主体毎に整理することに取り組んだ。

IPv4アドレスの在庫が枯渇し新規に分配されなくなると、事業者は、利用者やサーバの増加によるIPv4アドレスの需要に対応できない。つまり、新規顧客獲得、サービスエリア拡大、新サービスの展開等が、事業者において不可能となることを意味する。

ここで、IPv4アドレスの在庫枯渇によって影響を受けるのは、事業者だけではなく、利用者や、ネットワーク機器等のハードウェアやソフトウェアを開発・供給するベンダーも同様である。利用者においては、従前通りのサービスが利用できない、事業者における対応コストの転嫁によって料金が上昇する等の影響が及ぶことが考えられる。また、ベンダーにおいては新たな技術開発が求められ、チャンスとなり得る一方でリスクもはらむということが考えられる。

しかし、この報告書においては便宜上、これらの影響は事業者のサービス提供によって及ぼされる副次的なものにとらえ、事業者への直接的影響に集約して論じている。

この直接的な影響に対して、インターネットレジストリができることとしては、分配済みのアドレスブロックの未利用分を回収し、再在庫化した上で、必要な事業者に対して再度分配しなおすことである。ただし、これは前述の検討の通り、さまざまな解決すべき課題があると同時に、再分配可能となるアドレス量も限定的であり、永続的な対応策にはなり得ない。しかしながら、インターネットレジストリとしては、後述する事業者が採る対応策が有効なものとして実現できるよう、この対応策について取り組む意義がある。

次に、事業者が採ることができる対応策は、以下の三つからの選択・組み合わせに集約される。

- ① (自網内からの捻出や再分配アドレスの利用等)何らかのやり方で IPv4 アドレスを確保する
- ② プライベート IPv4 アドレスを利用して新規顧客を收容し、NAT を介してインターネットに接続する
- ③ IPv6 により新規顧客を收容する

IPv4アドレスの在庫枯渇以降、事業者が新規顧客を收容しようとする限り、これらのいずれかを採用する必要がある。いずれの対応策も一定のコストが発生するため、事業者はそれぞれの置かれた事業環境に応じて、これらの選択・組み合わせを判断することになる。

本検討では、これら三つの対応策の評価を行い、以下のような性質や問題点があることを明らかにした。

- ① 何らかの手段で IPv4 アドレスを確保する
  - ・ 自網内からの捻出ができさえすれば、その事業者のネットワークの拡張は最も円滑
  - ・ リンバ作業等の負担がかかる一方で、捻出できるアドレスに限りがあり、永続的な

対応策にはならない

- IPv4 アドレスを確保する手段として、回収・再分配されたアドレスを利用する方法も考えられるが、実効性は不透明である

一時的な対応策にはなりえるものの、効果としては非常に限定的なものとなる。

## ② プライベート IPv4 アドレス+NAT による新規顧客の収容

- 中規模以下であれば CATV 事業者を中心に運用実績がある
- 大規模事業者向けに実績がなく、スケーラビリティの確保が課題
- グローバル IPv4 アドレスによる接続サービスと同等のサービスは提供できない
  - ▶ 利用不可となるアプリケーションが存在する
- サーバ事業者や新規事業者には適用できない
  - ▶ 新規事業者は少なくとも一つのグローバルアドレスが必要となる

一部の事業者にとっては有効な対応策となる可能性もあるが、その限界についても理解して進めるべきである。

## ③ IPv6 による新規顧客の収容

- 唯一永続的かつ全体的な適用が可能。解決するためのモチベーションが保てる対応策
- 対応機器、アプリケーションはまだまだ少ない、導入コストは高い等、解決しなければならぬ課題が多い

永続的なインターネットの発展を考えたときの唯一の対応策であるが、課題はまだ多く残されている。

これらの評価から各事業者の対応策の採り方を考える場合、まずは確保さえできれば従来通りの方法で顧客収容ができる①でしのぎつつ、各々の事業環境に応じて、②か③、もしくはこれらの両方を選択していくものと考えられる。

ここで、②が限定的な対応策である一方で③は永続的な対応策となり得ること、既に一部の国内大手事業者がIPv6対応を表明していることから、最終的にはどこかのタイミングで、すべての事業者が③に対応していくことになるものと考えられる。

## 結論

JPNICではこの検討結果から、IPv4アドレス在庫枯渇に対応するにあたって、各事業者におけるIPv6導入推進が、インターネットの継続的な成長に対する最も効果的な対応策であろうという認識に至った。

①と②は限定的な対応策であるため、インターネットの健全な発展を考慮した場合には③の課題をしっかりと認識してその解決に向けた努力をしていかなければいけない。

しかしながら、IPv6導入にあたっては残された課題も多く、これを解決することが各事業者におけるIPv6導入には不可欠である。特に、既存のIPv4インターネットとの相互接続性の確保（トランスレータ、デュアルスタック化等）は、IPv6インターネットを利用者が安心して

て使えるようにするため重要である。

また、IPv6導入に着手するまでの間のつなぎとして、IPv4アドレスの確保は非常に有効であり、円滑なIPv6導入を補助する対応策として重要である。対応を誤ると社会的混乱を招く恐れがあるため、今後、より精緻に検討をしていく必要がある。

本検討は一貫して事業者の立場から進められたが、利用者がIPv4アドレス在庫枯渇の影響を受けることは明らかである。しかし、事業者において広くIPv4アドレス在庫枯渇問題が認知される現段階においても、利用者には本問題はあまり広く知られていない。

利用者において本問題が適切に認知されることは、利用者サイドでの対処を促すためだけでなく、利用者の声を事業者の対策に取り入れる、また顧客である利用者の理解の下で事業者のIPv4アドレス在庫枯渇対応が円滑に進むためにも、重要である。

これらから、JPNICでは以下の3点を重点に、IPv4アドレス在庫枯渇の解決に向けて、関係組織とも連携して、問題解決に向け一層努力していく。

i) IPv6 の普及推進に関する検討 (③に関する追検討)

- IPv6 自体の技術的課題
  - 技術要素、機器開発
  - ネットワーク運営技術
- IPv4 インターネットとの並存に関する課題
  - トランスレータの標準仕様の調査研究等
  - 既存 IPv4 ホストのデュアルスタック化推進
- 普及推進上の課題
  - 事業者における IPv6 導入インセンティブ向上、導入シナリオ
  - コスト試算、リスク分析
  - 国際動向の調査
- クロスポイントの推定
  - IPv4 アドレスの使いまわし時期の限界を推定

ii) 分配済み未利用 IPv4 アドレス再利用についての検討

- 回収・再在庫化、再分配に関する諸課題の検討
  - リナンバ等、回収に要するコスト負担の問題
  - アドレスの細分化と経路制御に関する問題
- 回収・再在庫化、再分配のルール確立に向けたグローバルな議論への参画

iii) 利用者の意見を反映するための施策の検討と実施

利用者への情報提供による認知度向上を中心に、関連団体との連携で施策の検討と実施

この他に、その他のセクターに対する間接的影響の検討や、在庫枯渇期、在庫枯渇後におけるアドレスポリシーの策定・改定に関しても、従来通り必要に応じて対応していく。

### 3 IPv4 アドレス在庫枯渇の時期と回収、再分配の可能性

#### 3.1 はじめに

わが国のインターネットの商用化は 1995 年とされるが、それから 10 年以上経た現在、Web とメールが利用の主体だった時代が過ぎ去り、ショッピングやオンライントレード、そして、音楽や動画視聴といった利用が急拡大し、電話網さえインターネット技術による改革が進められようとする時代へと変わった。わが国のこうした傾向は、諸外国でも同様であり、特に、ヨーロッパにおける ADSL テレビに代表される IPTV の急速な普及と、アジア諸国における経済発展と同時進行のインターネット普及には注目すべき変化がみられる。東西ヨーロッパの統合によって、東ヨーロッパの経済発展とともにインターネットが普及している状況もアジア諸国と同様とみることができる。

こうした情勢から、現在のインターネットの最も基本的な資源である IPv4 アドレスの需要が、ここ数年で級数的な伸びになっており、2011 年に IPv4 アドレスの在庫が枯渇するとの予測も出され、その動向が世界中で注目されている。

本章ではまず、現在、最も広く知られている Geoff Huston 氏<sup>2</sup>の在庫枯渇予測を参照しつつ、独自のアプローチで IPv4 アドレス需要を推計し、その在庫枯渇時期についての推定を別の視点から検証することを試みる。

また、歴史的 PI アドレス<sup>3</sup>をはじめとする既存（分配済み）アドレスの中には未利用の状態であるものが相当数存在しており、それらを回収すれば IPv4 アドレスの在庫枯渇時期を遅らせることができるという意見が多く出ている。歴史的 PI アドレスに関する取り組みは既に開始されているものの、在庫枯渇対応といった大きな目的を持って未利用アドレスを回収することに関しては、未だ本格的な検討が行われていない。そこで、在庫枯渇問題に大きく寄与できるほどの回収量が期待できるのかどうかについて検討するとともに、回収できたアドレスについて本当に利用しやすい状態となっているのかどうかについて検討する。

以上の検討によって、IPv4 アドレスの在庫枯渇状況の検証、および、それへの対応策としての分配済みアドレスの活用についての検証を行う。

---

<sup>2</sup> Geoff Huston 氏：APNIC のチーフサイエンティストとして、ルーティングとアドレッシング、ネットワークアーキテクチャ、QoS、ネットワーク運用管理等の研究に取り組んでいる。

<http://www.potaroo.net/tools/ipv4/index.html>にて IPv4 アドレスの在庫枯渇予測を発信している。

<sup>3</sup> JPNIC で定義する歴史的経緯をもつプロバイダ非依存アドレス(Provider Independent Address) <http://www.nic.ad.jp/ia/ip/hr/> 参照

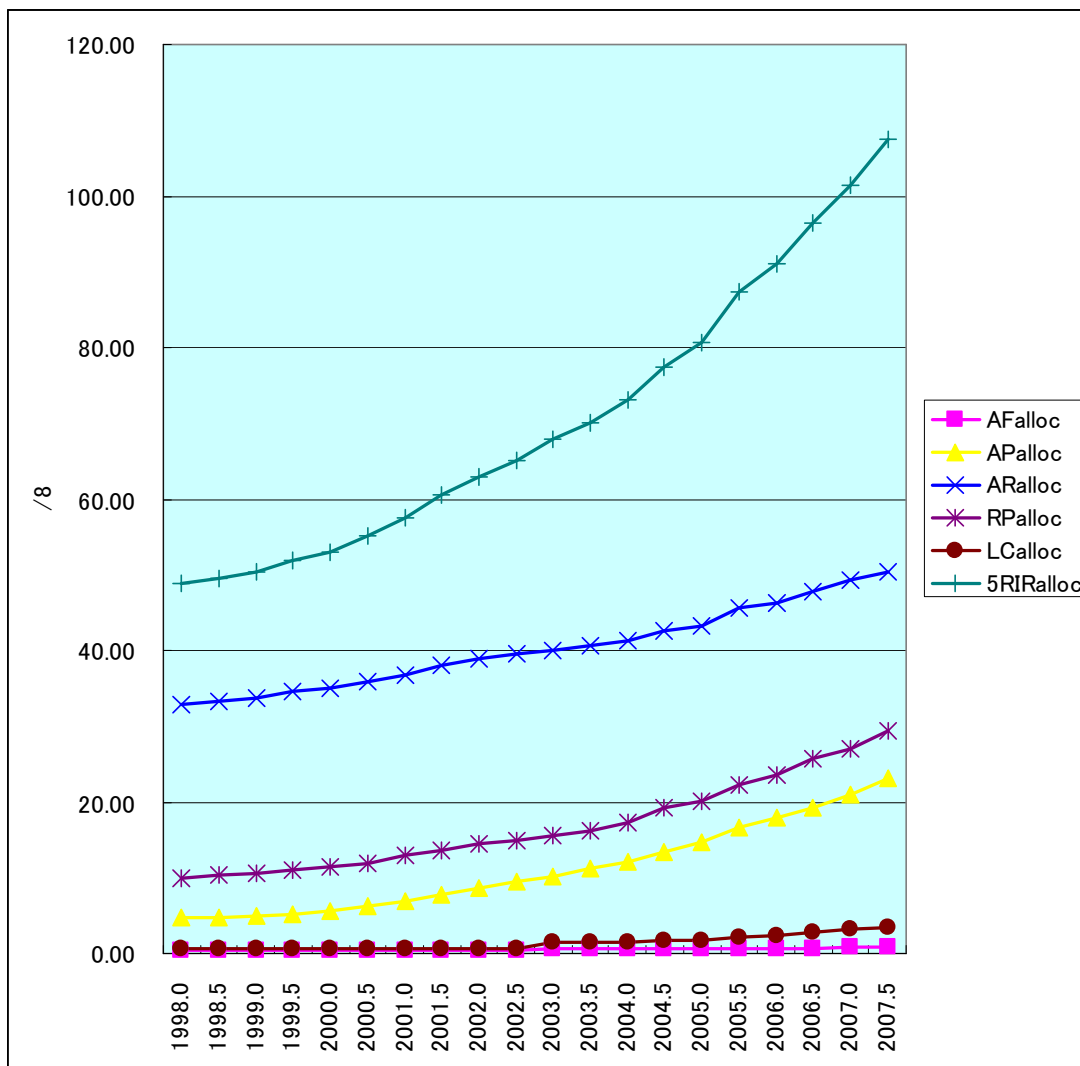
## 3.2 IPv4 アドレスの在庫枯渇予測の検証

### 3.2.1 RIR 毎のマクロ需要要因

#### (1) RIR 毎のアドレス需要実態

ここ 10 年ほどの RIR 毎の IPv4 アドレス需要実態について、Geoff Huston 氏によるデータ整理の中から、/8 の個数を単位とした日次データによって概観すると下図のようになる。これらは、各 RIR に分配された IPv4 アドレスを/8 単位で集計したものであるが、一見して緩やかな指数曲線を描いている様子が見て取れ、経済統計やその他の統計を各種比較しても、いわゆる普及曲線における前期部分の傾向と良く近似していることがわかる。

図 3-1 RIR 毎の IPv4 アドレス需要実態



## (2) IPv4 アドレスのマクロ需要要因

### ① 需要要因の検討

Geoff Huston 氏のモデルでは、これまでの IPv4 アドレス需要の傾向をみて、経済予測としては最も基礎となる時間変数を唯一の説明変数として採用し、一次、二次、指数の三つの関数形から適切なものを選択する方法を採っている。最新のモデルでは、各 RIR で一次形以外を採用している。しかし、実際の IPv4 アドレス需要に関して詳細に分析すれば、下表の様に、いくつかのカテゴリーから説明変数を抽出すべきであることは明らかである。

直接的にはインターネットの普及によってその資源である IPv4 アドレスが消費されていくこととなるが、社会基盤としての発展を続けるインターネットの場合、ショッピングやオンラインゲームといった商業活動によって普及促進されていることが推察されるとともに、今後の応用領域によってさらに普及加速することが見通されている。

また、それらの活動は、マクロ的な経済指標によって統合的に計測されており、特に、先進国における民間企業による設備投資やそれ以外の地域での政府系投資は、他の産業分野と比較しても同等以上にインターネット普及に影響していくものと考えられる。

今回の推計作業では、これらの各種指標の中から RIR 毎のデータとして整理可能であるものを選択しつつ、それぞれの IPv4 アドレス需要に強く影響しているものを 1998 年から 2007 年までの間の実績データ系列において分析し抽出した。

表 3-1 IPv4 アドレスの需要要因の候補

分類	整理番号	需要要因の概要
インターネット普及関連指標	1	インターネット普及率の拡大
	2	ブロードバンド(常時接続)化の進展
	3	PC普及率の上昇
	4	ネットワーク関連機器の普及
	5	NAT/NAPT関連機器の普及
新たなインターネット領域	6	IP(TV)電話の普及
	7	インターネットVPNの普及
現在の主要利用領域	8	ショッピングや金融サービス等の普及
	9	映像配信サービスの普及
	10	インタラクティブ・エンターテインメントの普及
今後の応用領域	11	移動体(車や船舶、航空機等)による新規需要拡大
	12	モバイル等の新たな利用シーンの増大
	13	情報家電等の家庭内端末監視サービスの普及
	14	センサーネットや環境管理等の新規需要拡大
マクロ経済指標	15	民間のICT設備投資の拡大、あるいは拡大スピードの増大
	16	政府のICT設備投資の拡大、あるいは拡大スピードの増大
	17	全要素生産性の向上
	18	国民一人当たりあるいは世帯あたりのGDPの増大
	19	国民一人当たりあるいは世帯あたりの所得の増大
基礎的指標	20	ホワイトカラーの就業人口の増大
	21	世帯規模の高度化の進展
	22	時間

## ② 需要推計の検討フロー

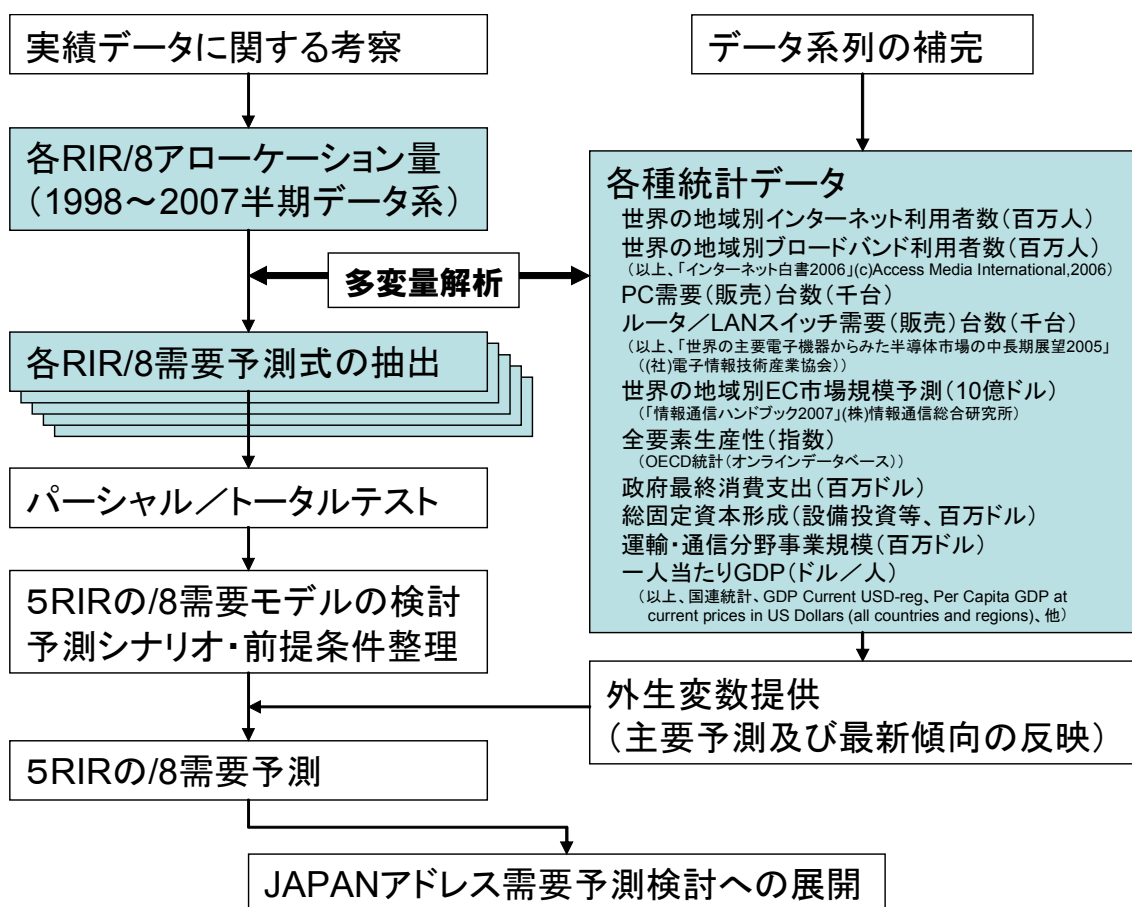
前項の考察を元に、1998年～2007年までの各種データ系列の整理を試みたが、実際には各年データが揃っていなかったり、RIRの地域分類に合致したデータとなっていなかったりするケースが見受けられたため、国連統計を基本としつつ、専門機関資料等から抽出を行った。

次いで、1998年から2007年まで半期毎の各RIRにおけるIPv4アドレスの/8単位の分配量に対して、これら各種統計データによる多変量解析を行い、それぞれ影響力の強い説明変数として抽出し、下記のような多項式の形式で需要予測式を導いた。

$$\text{該当 RIR/8 分配量} = \text{定数項} + \text{係数 1} \times \text{説明変数 1} + \text{係数 2} \times \text{説明変数 2} + \dots$$

実際には、上記式の中における説明変数が、各RIRによってインターネット利用者数であったり総固定資本形成であったりする。本来、より多くの説明変数の中から抽出が行われる方が望ましいが、データの制約があることは否めない。しかしながら、その制約あるデータの中でも、今回の推計作業においては精度の高い結果が得られており、既存のマクロ推計作業と比較しても十分に説明力がある結果が導かれている。

図 3-2 需要推計の検討フロー



## (3) RIR 毎のアドレス需要推計式

## ① ARIN 地域

ARIN 地域の IPv4 アドレスの分配量について下記の表による変数から推計を行った結果、図 3-3 にある通りに重相関係数  $R=0.999939$ 、重決定  $R^2$  乗 $=0.999878$  という良好な結果を得た。データ系列の制約から 2003 年からの 5 時点での推計となっているが、少なくとも 5 年後の推計までは信頼できるものと考えられる。

実際に採用された説明変数は総固定資本形成、インターネット利用者数、電子商取引市場であり、 $t$  値の大きさを相対比較すると電子商取引市場が最も説明力が大きい、その他の変数も十分な説明力を有しているものと考えられる。

また、ブロードバンド利用者数については説明力として有意な結果を得られず、インターネット利用者数の方が採用されているが、北米は歴史的にインターネット先進国としてグローバルアドレスが豊富に利用可能な状態であったことも影響している可能性がある。

<需要推計式>

■ARIN 地域の IPv4 分配量

$$= 18.34583 + 0.00000428 \times \text{GFCF} + 0.072027 \times \text{Internet} + 0.000815 \times \text{EC}$$

表 3-2 ARIN 地域の IPv4 分配量と候補説明変数の実績 (一部推定)

項目	アローケーショ ン量	総固定資本 形成	一人当たり GDP	運輸・通信分 野事業	インターネッ ト利用者数	ブロードバン ド利用者数	電子商取引 市場	ルータ/ス イッチ販売	PC販売
記号	ARalloc	GFCF	PerGDP	Trans.St,Cm	Internet	BB	EC	RouterSw	PC
西暦年	/8	百万ドル	ドル/人	百万ドル	百万人	百万人	10億ドル	千台	千台
1998	33.222000	1,815,433	30,128	615,143	64.7	0.1			
1999	34.524368	1,966,871	31,630	656,718	85.0	0.2			
2000	35.893723	2,113,016	33,245	694,561	102.0	6.7			
2001	37.952255	2,100,531	33,849	700,623	161.0	11.7			
2002	39.525452	2,043,492	34,622	709,274	165.0	18.5		48,072	
2003	40.656845	2,156,050	36,180	736,223	173.5	36.5	733	31,185	52,540
2004	42.562378	2,379,257	38,476	791,758	182.5	55.9	1,107	35,200	58,770
2005	45.703674	2,642,944	40,742	836,504	203.1	68.9	1,683	39,736	63,300
2006	47.847153	2,835,886	43,124	882,855	213.0	86.0	2,570	44,467	66,700
2007	50.423523				220.2	106.0	3,939	47,553	71,400
2008							6,059	55,201	77,400

注：2007 年および 2008 年は一部予測値、空白部分はデータ欠損部分

図 3-3 ARIN 地域 IPv4 分配量推計の結果

回帰統計		係数 標準誤差 t			
重相関 R	0.999939	切片	18.34583	1.028648	17.83489
重決定 R <sup>2</sup>	0.999878	GFCF	4.28E-06	1.55E-06	2.757563
補正 R <sup>2</sup>	0.999511	Internet	0.072027	0.021268	3.386586
標準誤差	0.086922	EC	0.000815	0.000144	5.6432
観測数	5				



## ② RIPE 地域

RIPE 地域の IPv4 アドレスの分配量について下記の表による変数から推計を行った結果、図 3-4 にある通りに重相関係数  $R=0.998951$ 、重決定  $R^2$  乗 $=0.997904$  という良好な結果を得た。ARIN 地域の結果と比べると僅かに精度が低く、やはり、データ系列の制約から 2003 年からの 5 時点での推計となっているが、少なくとも 5 年後の推計までは信頼できるものと考えられる。

実際に採用された説明変数は総固定資本形成、ブロードバンド利用者数、電子商取引市場であり、t 値の大きさを相対比較すると電子商取引市場が最も説明力が大きく、その他の変数もある程度の説明力を有しているものと考えられる。

RIPE 地域の場合は、インターネット利用者数よりもブロードバンド利用者数の方が有意な結果を得ており、近年の欧州でのインターネット普及の特徴を現しているものと考えられる。

< 需要推計式 >

■RIPE 地域の IPv4 分配量

$$= 8.178377 + 0.00000245 \times \text{GFCF} + 0.03569 \times \text{BB} + 0.002302 \times \text{EC}$$

表 3-3 RIPE 地域の IPv4 分配量と候補説明変数の実績 (一部推定)

項目	アローケー ション量	総固定資本 形成	一人当たり GDP	運輸・通信分 野事業	インターネット 利用者数	ブロードバンド 利用者数	電子商取引 市場	ルーター/ス イッチ販売	PC販売
記号	RPAlloc	GFCF	PerGDP	Trans.St.Cm	Internet	BB	EC	RouterSw	PC
西暦年	/8	百万ドル	ドル/人	百万ドル	百万人	百万人	10億ドル	千台	千台
1998	10.321133	2,000,966	13,608	643,297	32.9	0.1			
1999	10.966743	2,007,936	13,486	623,937	49.5	0.2			
2000	11.999129	1,902,882	12,638	586,586	72.5	1.6			
2001	13.708964	1,899,095	12,853	602,860	189.9	6.1			
2002	14.901249	2,011,713	14,055	676,864	212.8	13.0		30,469	
2003	16.216352	2,432,838	17,098	826,030	225.3	22.6	516	23,130	34,080
2004	19.198016	2,851,349	19,829	955,825	249.8	69.8	774	25,861	40,180
2005	22.176606	3,055,718	20,908	1,005,077	287.6	108.4	1,169	28,453	43,600
2006	25.648704	3,368,633	22,455	1,088,595	330.8	134.0	1,769	31,265	46,200
2007	29.451440	3,700,000			363.5	174.0	2,681	32,842	49,500
2008							4,086	37,345	54,400

注：2007 年および 2008 年は一部予測値、空白部分はデータ欠損部分

図 3-4 RIPE 地域 IPv4 分配量推計の結果

回帰統計					
		係数	標準誤差	t	
重相関 R	0.998951				
重決定 R <sup>2</sup>	0.997904				
補正 R <sup>2</sup>	0.991616				
標準誤差	0.477366				
観測数	5				
		切片	8.178377	13.68589	0.597577
		GFCF	2.45E-06	6.09E-06	0.402067
		BB	0.03569	0.044314	0.805374
		EC	0.002302	0.001097	2.098324

## ③ APNIC 地域

APNIC 地域の IPv4 アドレスの分配量について下記の表による変数から推計を行った結果、図 3-5 にある通りに重相関係数  $R=0.998732$ 、重決定  $R^2$  乗 $=0.997465$  という良好な結果を得た。RIPE 地域と同等の結果で、ARIN 地域の結果と比べると僅かに精度が低く、やはり、データ系列の制約から 2003 年からの 5 時点での推計となっているが、少なくとも 5 年後の推計までは信頼できるものと考えられる。

実際に採用された説明変数は総固定資本形成、ブロードバンド利用者数、電子商取引市場であり、t 値の大きさを相対比較すると電子商取引市場が最も説明力が大きく、その他の変数も十分な説明力を有しているものと考えられる。

APNIC 地域の場合も、インターネット利用者数よりもブロードバンド利用者数の方が有意な結果を得ている他、電子商取引市場や総固定資本形成の t 値の絶対値が近く、比較的バランスよく説明力を有している状況である。

< 需要推計式 >

■ APNIC 地域の IPv4 分配量

$$= 1.275726 + 0.00000305 \times \text{GFCF} + 0.019378 \times \text{BB} + 0.00239 \times \text{EC}$$

表 3-4 APNIC 地域の IPv4 分配量と候補説明変数の実績 (一部推定)

項目	アローケー ション量	総固定資本 形成	一人当たり GDP	運輸・通信分 野事業	インターネット 利用者数	ブロードバン ド利用者数	電子商取引 市場	ルータ/ス イッチ販売	PC販売
記号	APAlloc	GFCF	PerGDP	Trans.St.Cm	Internet	BB	EC	RouterSw	PC
西暦年	/8	百万ドル	ドル/人	百万ドル	百万人	百万人	10億ドル	千台	千台
1998	4.837219	2,103,389	2,090	573,156	28.8	0.1			
1999	5.282990	2,275,230	2,283	625,422	45.3	0.2			
2000	6.203629	2,416,501	2,425	677,516	91.5	5.7			
2001	7.734299	2,247,311	2,241	648,641	161.7	11.6			
2002	9.488083	2,281,926	2,267	677,297	215.1	35.1			61,671
2003	11.146118	2,594,465	2,473	750,775	255.7	53.0	343	16,189	68,420
2004	13.369064	2,993,361	2,743	851,692	312.6	109.9	494	19,880	78,660
2005	16.673187	3,365,499	2,956	880,026	366.7	160.0	724	23,999	87,500
2006	19.276413	3,776,286	3,162	983,702	442.6	207.0	1,063	28,377	95,700
2007	23.150040	4,176,286			520.3	279.0	1,570	32,593	105,100
2008							2,330	39,268	118,300

注：2007 年および 2008 年は一部予測値、空白部分はデータ欠損部分

図 3-5 APNIC 地域 IPv4 分配量推計の結果

回帰統計		係数 標準誤差 t			
重相関 R	0.998732	切片	1.275726	13.05318	0.097733
重決定 R <sup>2</sup>	0.997465	GFCF	3.05E-06	5.89E-06	0.517773
補正 R <sup>2</sup>	0.989859	BB	0.019378	0.049387	0.392368
標準誤差	0.478144	EC	0.00239	0.002779	0.860139
観測数	5				

## ④ LACNIC 地域

LACNIC 地域の IPv4 アドレスの分配量について下記の表による変数から推計を行った結果、図 3-6 にある通りに重相関係数  $R=0.989158$ 、重決定  $R^2$  乗 $=0.978434$  という比較的良好な結果を得た。精度がやや低いが、データ観測点数は 2001 年からの 7 時点での推計となっており、ARIN や RIPE 等の他地域と比較すると 5 年後推計への信頼度は高い。

実際に採用された説明変数は政府最終消費支出とブロードバンド利用者数であり、 $t$  値の大きさを相対比較するとブロードバンド利用者数の説明力が大きい。民間の設備投資も含まれる総固定資本形成については、経済環境の不安定さから実績データが爬行しており、LACNIC 地域の説明力としては信頼できる結果は得られず、代わりに政府による支出データを採用した。

LACNIC 地域の場合は、この他にインターネット利用者数と電子商取引市場の二つの説明変数による推計式も候補となっており、重相関係数  $R=0.981122$ 、重決定  $R^2$  乗 $=0.9626$  という良好な結果を得ているが、電子商取引市場のデータに制約があることと、 $R$  および  $R^2$  乗の値が若干低いため、今回は採用していない。

< 需要推計式 >

$$\blacksquare \text{LACNIC 地域の IPv4 分配量} = -4.06351 + 0.0000275 \times \text{GGFC} + 0.017732 \times \text{BB}$$

表 3-5 LACNIC 地域の IPv4 分配量と候補説明変数の実績 (一部推定)

項目	アローケー ション量	政府最終消費 支出	総固定資本形 成	一人当たり GDP	運輸・通信分 野事業	インターネット 利用者数	ブロードバンド 利用者数	電子商取引市 場
記号	LAlloc	GGFC	GFCF	PerGDP	Trans.St.Cm	Internet	BB	EC
西暦年	/8	百万ドル	百万ドル	ドル/人	百万ドル	百万人	百万人	10億ドル
1998	0.586029	1,384,099	406,991	4,362	139,979	1.5	0.0	
1999	0.587982	1,470,452	339,087	3,445	129,841	2.3	0.0	
2000	0.589462	1,566,041	371,085	3,638	145,894	4.2	0.1	
2001	0.604858	1,655,122	350,405	3,281	146,095	33.7	0.3	
2002	0.605103	1,783,586	302,197	2,546	125,493	41.3	1.1	
2003	1.515625	1,935,867	307,793	2,720	131,061	47.0	1.3	110
2004	1.698883	2,083,736	379,940	3,247	147,047	63.3	6.0	164
2005	2.197906	2,236,153	471,522	4,061	173,105	79.1	12.1	250
2006	2.826416	2,393,921	530,532	5,058	203,309	99.0	18.0	385
2007	3.475327					122.0	27.0	592
2008								912

注：2007 年および 2008 年は一部予測値、空白部分はデータ欠損部分

注：EC については米国、欧州、アジア・太平洋以外のその他地域

図 3-6 LACNIC 地域 IPv4 分配量推計の結果

帰帰統計					
重相関 R	0.989158				
重決定 $R^2$	0.978434				
補正 $R^2$	0.967651				
標準誤差	0.193586				
観測数	7				
		係数	標準誤差	t	
		切片	-4.06351	1.462029	-2.77936
		GGFC	2.75E-06	8.08E-07	3.399057
		BB	0.017732	0.025801	0.687244

## ⑤ AfriNIC 地域

AfriNIC 地域の IPv4 アドレスの分配量について下記の表による変数から推計を行った

結果、図 3-7 にある通りに重相関係数  $R=0.99832$ 、重決定  $R^2$  乗 $=0.996643$  という良好な結果を得た。LACNIC の結果と比較すると精度は高いが、説明変数としてはブロードバンド利用者数のみという単純な形となっている。その他の変数については、どれも十分な説明力を持たず、今回の推計作業では採用に至らなかった。また、ブロードバンド利用者数だけを説明変数として推計作業を行った際にも、データ系列としては 2001 年から 7 時点を有しているが、推計期間を変化させることによって最も  $R$  および  $R^2$  乗の結果が良好だった 2003 年からの 5 時点の結果を採用した。

AfriNIC 地域では、政府最終消費支出や総固定資本形成もデータが爬行しており、順当に成長を続ける IPv4 アドレスの分配量とは相関を持ちにくい状況となっている。

< 需要推計式 >

$$\blacksquare \text{AfriNIC 地域の IPv4 分配量} = 0.518563 + 0.0036372 \times \text{BB}$$

表 3-6 AfriNIC 地域の IPv4 分配量と候補説明変数の実績 (一部推定)

項目	アローケーション量	政府最終消費支出	総固定資本形成	一人当たり GDP	運輸・通信分野事業	インターネット利用者数	ブロードバンド利用者数	電子商取引市場
記号	AFalloc	GGFC	GFCF	PerGDP	Trans.St.Cm	Internet	BB	EC
西暦年	/8	百万ドル	百万ドル	ドル/人	百万ドル	百万人	百万人	10億ドル
1998	0.469269	87,068	104,584	735	40,523	1.3	0.0	
1999	0.475372	89,093	101,997	726	41,233	1.6	0.0	
2000	0.484665	89,821	101,285	738	40,805	3.0	0.0	
2001	0.521378	85,090	97,868	693	41,363	12.9	0.3	
2002	0.538193	85,210	100,552	676	40,767	16.4	0.7	
2003	0.553558	108,221	123,337	790	48,995	19.6	0.6	110
2004	0.574295	130,081	153,018	919	59,574	30.1	1.7	164
2005	0.611954	146,487	180,105	1,054	68,587	42.8	2.9	250
2006	0.733185	162,722	214,832	1,158	76,390	60.5	5.8	385
2007	0.956390					83.5	12.0	592
2008								912

注：2007 年および 2008 年は一部予測値、空白部分はデータ欠損部分

注：EC については米国、欧州、アジア・太平洋以外のその他地域

図 3-7 AfriNIC 地域 IPv4 分配量推計の結果

回帰統計					
重相関 R	0.99832				
重決定 R <sup>2</sup>	0.996643				
補正 R <sup>2</sup>	0.995524				
標準誤差	0.011137				
観測数	5				
		係数	標準誤差	t	
		切片	0.518563	0.007499	69.14647
		BB	0.036372	0.001219	29.84223

### 3.2.2 RIR 毎のアドレス需要予測モデルの検討

#### (1) 需要予測シナリオの検討

前項の推計作業においては、説明変数の同定や実績との予測差異の状況の確認等、一連の検証を行った。結果として、LACNIC および AfriNIC について、データの制約から精度的には少々粗い推計モデルとなっているものの、概ね、今後の推計作業に使用可能な状態と考えられる。

説明変数としては、各 RIR 該当地域について、政府最終消費支出、総固定資本形成、インターネット利用者数、ブロードバンド利用者数、電子商取引市場がいくつか組み合わせられて採用されている。前二者については各種予測機関の推計が公表されているため、それらを参照しつつ、今回の予測シナリオを設定した。また、それ以外については、基本的に過去 3 年間の変化率の平均を予測シナリオとしており、数値が過大と思われる場合には部分的に修正を加えてある。

以下の表がその想定であり、これらに基づいて各 RIR の需要予測を行った。

表 3-7 需要予測シナリオの設定

	政府最終消費支出	総固定資本形成	インターネット利用者数	ブロードバンド利用者数	電子商取引市場
ARIN	—	過去 3 年平均は 9%だが、今回は最新増加率の 7%とした	最新増加率の 3%とした	—	過去 51~54%の実績を参照して 50%とした
RIPE	—	過去 3 年平均は 11%だが、今回は最新 2 年増加率平均の 9%を採用し、2011 年以降は 1%ずつ減じた	—	最新 2 年平均増加率 39%から 30%としたが、2012 年以降は 10%ずつ減じた	欧州経済の強さを反映し、最新増加率の 52%とした
APNIC	—	過去 3 年の平均増加率 13%だが微減しており今後は 11%とした	—	過去 3 年間の平均増加率の 37%とした	アジア経済の強さを反映し、最新増加率の 48%とした
LACNIC	過去 3 年間の平均増加率は 8%だが微減しており今後は 7%とした	—	—	過去 3 年間の平均増加率 67%としたが、2011 年以降は 50%とした	—
AfriNIC	—	—	—	過去 3 年間の平均増加率 92%、2011 年以降 80%、70%、60%とした	—

表 3-8 ARIN 地域の推計結果 (Gr は増加率)

西暦年	ARAlloc	Project	GFCF	Gr	Internet	Gr	EC	Gr
2003	40.656845	40.661192	2,156,050		173.5		733	
2004	42.562378	42.568984	2,379,257	10%	182.5	5%	1,107	51%
2005	45.703674	45.650117	2,642,944	11%	203.1	11%	1,683	52%
2006	47.847153	47.911565	2,835,886	7%	213.0	5%	2,570	53%
2007	50.423523	50.401715	3,035,886	7%	220.2	3%	3,939	53%
2008		53.514913	3,248,398	7%	226.8	3%	6,059	54%
2009		57.447556	3,475,786	7%	233.6	3%	9,089	50%
2010		62.698008	3,719,091	7%	240.6	3%	13,633	50%
2011		69.888992	3,979,427	7%	247.8	3%	20,449	50%
2012		79.952337	4,257,987	7%	255.3	3%	30,674	50%
2013		94.283377	4,556,046	7%	262.9	3%	46,011	50%

表 3-9 RIPE 地域の推計結果 (Gr は増加率)

西暦年	RAlloc	Projection	GFCF	Gr	BB	Gr	EC	Gr
2003	16.216352	16.130866	2,432,838		22.6		516	
2004	19.198016	19.434276	2,851,349	17%	69.8	209%	774	50%
2005	22.176606	22.221687	3,055,718	7%	108.4	55%	1,169	51%
2006	25.648704	25.282878	3,368,633	10%	134.0	24%	1,769	51%
2007	29.451440	29.621411	3,700,000	10%	174.0	30%	2,681	52%
2008		35.532362	4,036,017	9%	225.9	30%	4,086	52%
2009		43.705817	4,402,548	9%	293.4	30%	6,201	52%
2010		55.199480	4,802,367	9%	381.0	30%	9,411	52%
2011		71.422117	5,190,472	8%	494.7	30%	14,282	52%
2012		92.871189	5,558,036	7%	593.6	20%	21,675	52%
2013		123.762908	5,896,050	6%	712.3	20%	32,894	52%

表 3-10 APNIC 地域の推計結果 (Gr は増加率)

西暦年	APAlloc	Projection	GFCF	Gr	BB	Gr	EC	Gr
2003	11.146118	11.031621	2,594,465		53.0		343	
2004	13.369064	13.711180	2,993,361	15%	109.9	107%	494	44%
2005	16.673187	16.366245	3,365,499	12%	160.0	46%	724	47%
2006	19.276413	19.339618	3,776,286	12%	207.0	29%	1,063	47%
2007	23.150040	23.166159	4,176,286	11%	279.0	35%	1,570	48%
2008		28.361086	4,635,677	11%	381.1	37%	2,330	48%
2009		35.290299	5,145,602	11%	520.5	37%	3,448	48%
2010		44.661945	5,711,618	11%	710.9	37%	5,104	48%
2011		57.472294	6,339,896	11%	970.9	37%	7,553	48%
2012		75.147587	7,037,285	11%	1,326.1	37%	11,179	48%
2013		99.734564	7,811,386	11%	1,811.2	37%	16,545	48%

表 3-11 LACNIC 地域の推計結果 (Gr は増加率)

西暦年	LAlloc	Projection	GGFC	Gr	BB	Gr
2001	0.604858	0.487333	1,655,122		0.3	
2002	0.605103	0.854323	1,783,586	8%	1.1	267%
2003	1.515625	1,276,084	1,935,867	9%	1.3	18%
2004	1.698883	1,765,522	2,083,736	8%	6.0	362%
2005	2.197906	2,292,273	2,236,153	7%	12.1	102%
2006	2.826416	2,830,176	2,393,921	7%	18.0	49%
2007	3.475327	3,418,407	2,550,000	7%	27.0	50%
2008		4,225,908	2,727,563	7%	45.0	67%
2009		5,281,056	2,917,490	7%	75.1	67%
2010		6,728,981	3,120,642	7%	125.3	67%
2011		8,436,835	3,337,939	7%	188.0	50%
2012		10,741,783	3,570,368	7%	282.0	50%
2013		13,924,490	3,818,982	7%	423.0	50%

表 3-12 AfriNIC 地域の推計結果 (Gr は増加率)

西暦年	AFalloc	Projection	BB	Gr
2001	0.521378	0.529475	0.3	
2002	0.538193	0.544024	0.7	133%
2003	0.553558	0.540387	0.6	-14%
2004	0.574295	0.580396	1.7	183%
2005	0.611954	0.624043	2.9	71%
2006	0.733185	0.729523	5.8	100%
2007	0.956390	0.955033	12.0	107%
2008		1.358745	23.1	92%
2009		2.135870	44.5	92%
2010		3.631797	85.6	92%
2011		6.122384	154.1	80%
2012		10.045059	261.9	70%
2013		15.760957	419.1	60%

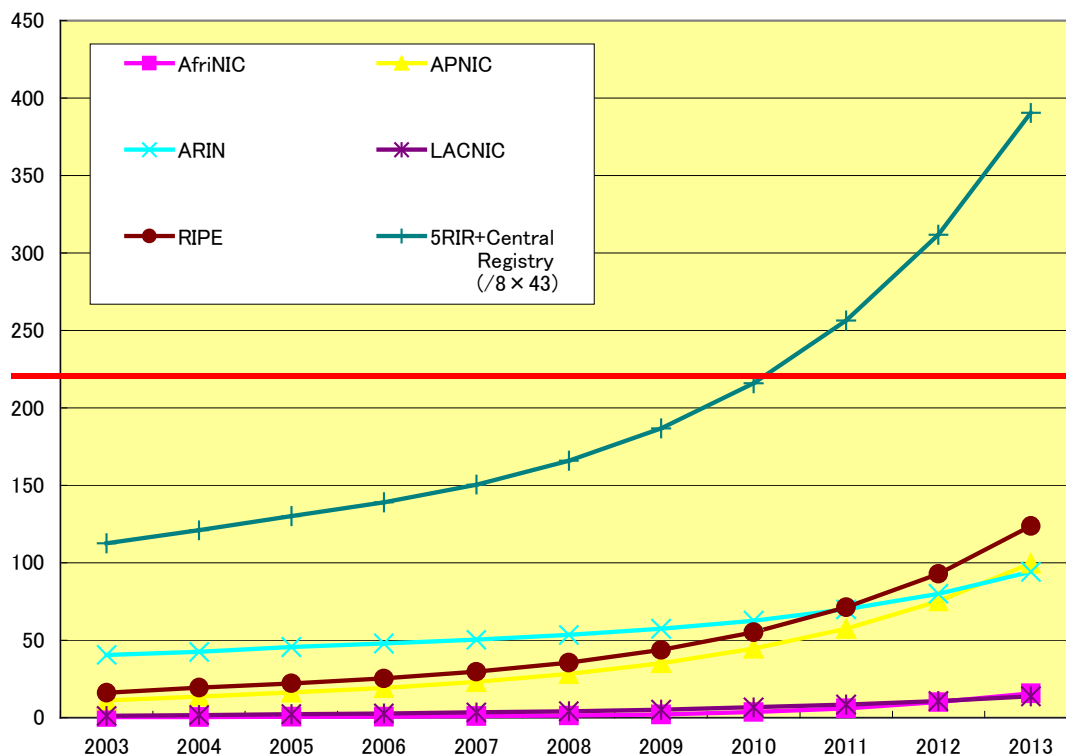
## (2) 各 RIR の需要予測結果

前項のシナリオに基づいて推計作業を行った結果は下表の通りである。RIPE 地域が好調な経済情勢とブロードバンド普及を背景に 2010 年には/8 で 55.2 となる他、同年で APNIC も 44.7 となり、5RIR 合計で 215.9 に達する。特に、ブロードバンドの普及により、それを経済インフラとしてさまざまな経済活動が活性化する相関関係になっており、双方の相乗効果で IPv4 アドレス需要は級数的に拡大することが予測される。

結果的に、翌年には 256 に達するため、特定用途用予約アドレスを除いた IPv4 アドレス空間の上限である 220 には Geoff Huston 氏の予測より早く達し、IPv4 アドレスの在庫枯渇時期が到来することが予測される。

表 3-13 IPv4 アドレスの分配量の 5RIR 予測 (/8 数)

AD	AfriNIC	APNIC	ARIN	LACNIC	RIPE	5RIR+Central Registry
2003	0.540	11.032	40.661	1.276	16.131	112.640
2004	0.580	13.711	42.569	1.766	19.434	121.060
2005	0.624	16.366	45.650	2.292	22.222	130.154
2006	0.730	19.340	47.912	2.830	25.283	139.095
2007	0.955	23.166	50.402	3.418	29.621	150.562
2008	1.359	28.361	53.515	4.226	35.532	165.993
2009	2.136	35.290	57.448	5.281	43.706	186.861
2010	3.632	44.662	62.698	6.729	55.199	215.920
2011	6.122	57.472	69.889	8.437	71.422	256.342
2012	10.045	75.148	79.952	10.742	92.871	311.758
2013	15.761	99.735	94.283	13.924	123.763	390.466





### 3.2.3 日本におけるアドレス需要要因

JPNIC 地域（日本）の場合には、JPNIC データより/32(1 ホスト)単位での分配量を推計しており、APNIC から直接分配を受けて日本国内で使用していると思われるものについても、独自の集計を行った。

日本の場合、この間の不安定な経済情勢を反映して関連指標が安定しておらず、一方的に増加するアドレス消費傾向を説明するのが難しい状況である。逆に言えば、爬行する日本経済の中にあってインターネットが急拡大したことになる。

各 RIR の推計フローと同様に多変量解析を行った結果、ブロードバンド契約数と電子商取引市場（日本は経済産業省発表データを採用。その他経済指標は各 RIR と同様の国連統計）により、最も良く説明され、重相関係数  $R=0.998446$ 、重決定  $R^2$  乗  $=0.996895$  という良好な結果を得た。t 値はブロードバンド契約数の方が大きいものの電子取引市場と拮抗しており、アドレス需要に対して両方とも強い影響力を有しているというのが日本の特徴と言える。

< 需要推計式 >

■ JPNIC 地域の IPv4 分配量  $= 40,139,603 + 1677.383 \times \text{BBHH} + 761.6744 \times \text{EC}$

表 3-14 JPNIC 地域の IPv4 分配量と候補説明変数の実績（一部推定）

項目	アローケー ション量	総固定資本 形成	一人当たり GDP	運輸・通信分 野事業	インターネット 利用者数	ブロードバンド 利用者数	ブロードバン ド契約数	電子商取引 市場	ルータ/ス イッチ販売	PC販売
記号	JPallo	GFCF	PerGDP	Trans.St.Cm	Internet	BB	BBHH	EC	RouterSw	PC
西暦年	/32	百万ドル	ドル/人	百万ドル	百万人	百万人	千	億円	千台	千台
1998		994,490	30,381	274,811						
1999		1,109,811	34,297	304,618						
2000		1,173,947	36,601	323,136			155			
2001		1,009,216	32,118	285,112			636			
2002	58,153,676	909,553	30,630	275,604	48,900,000	7,286,100	2,837	18,000		11,680
2003	70,275,750	970,289	33,145	297,542	57,220,000	18,700,000	7,806	22,000	7,630	12,970
2004	84,208,072	1,047,845	35,876	322,095	61,640,000	26,550,000	13,641	26,000	8,969	13,800
2005	97,138,688	1,058,945	35,646	313,382	64,160,000	41,170,000	18,630	34,560	10,397	14,200
2006	108,897,120	1,064,687	34,661	309,430	66,010,000	45,820,000	22,345	43,910	11,937	14,700
2007	125,217,352				80,550,000	56,870,000	25,743	53,000	13,169	15,000
2008									15,718	15,200

注：2007 年および 2008 年は一部予測値、空白部分はデータ欠損部分

注：電子商取引市場は 2005 年から統計方法が変更されており 2004 年以前は推定値

図 3-8 JPNIC 地域 IPv4 分配量推計の結果

回帰統計					
重相関 R	0.998446				
重決定 R <sup>2</sup>	0.996895				
補正 R <sup>2</sup>	0.994825				
標準誤差	1786179				
観測数	6				
		係数	標準誤差	t	
		切片	40139603	2774692	14.46633
		BBHH	1677.383	343.1992	4.88749
		EC	761.6744	222.1339	3.428898

### 3.2.4 日本におけるアドレス需要予測モデルの検討

#### (1) 需要予測シナリオの検討

##### ① ブロードバンド契約数

わが国のブロードバンド利用は、2007年9月末現在の加入数で2,700万を超えており、総務省の全国ブロードバンド構想にて全世帯普及を目標としている。

ブロードバンド利用者数(BB)換算では2007年で5,700万人弱が推定されているが、伸び率は鈍化している。

今回の予測では最新の2007年6月の契約数が前年同期に対して12%の伸びと鈍化しているため、これを2013年までの伸び率として採用した。ADSLから比較的工事量が多いFTTHへの転換が進んでいる中で、次第に都市部以外へと普及が広まるにつれ供給力に限界があるように見受けられる。

これによって、2013年時点で5,081万のブロードバンド契約数となり、全世帯を若干上回る。なお、わが国には全事業所数が500万程度あり、総世帯数と合わせると5,500万となるため、事業所等の契約も含めると2013年時点でも普及率100%には達しないこととなる。

##### ② 電子商取引市場

わが国の電子商取引市場(EC)はBtoCだけで2006年4.4兆円となっており、2007年は5.3兆円以上が予想されている。

今後の増加率は、過去2年の平均増加率として24%を想定した。この結果2013年には19.3兆円に達すると想定される。2004年商業統計による小売総額は176兆円であり、その11%となるが、実勢動向からすると控えめな予測と考えられる。

表 3-15 JPNIC 地域の IPv4 アドレス分配量予測のシナリオ

西暦年	実績	予測	BBHH	Gr(増加率)	EC	Gr(増加率)
2002	58,153,676	58,608,478	2,837		18,000	
2003	70,275,750	69,990,091	7,806	175.1%	22,000	22.2%
2004	84,208,072	82,824,317	13,641	74.8%	26,000	18.2%
2005	97,138,688	97,712,713	18,630	36.6%	34,560	32.9%
2006	108,897,120	111,065,846	22,345	19.9%	43,910	27.1%
2007	125,217,352	123,689,213	25,743	15.2%	53,000	20.7%
2008		138,559,416	28,832	12.0%	65,720	24.0%
2009		156,376,662	32,292	12.0%	81,493	24.0%
2010		177,773,627	36,167	12.0%	101,051	24.0%
2011		203,525,872	40,507	12.0%	125,303	24.0%
2012		234,585,066	45,368	12.0%	155,376	24.0%
2013		272,120,044	50,812	12.0%	192,666	24.0%

注：2008年以降が予測シナリオ部分

注：ECの実績値のうち2002年～2004年は推定値

#### (2) わが国の IPv4 アドレス需要予測結果

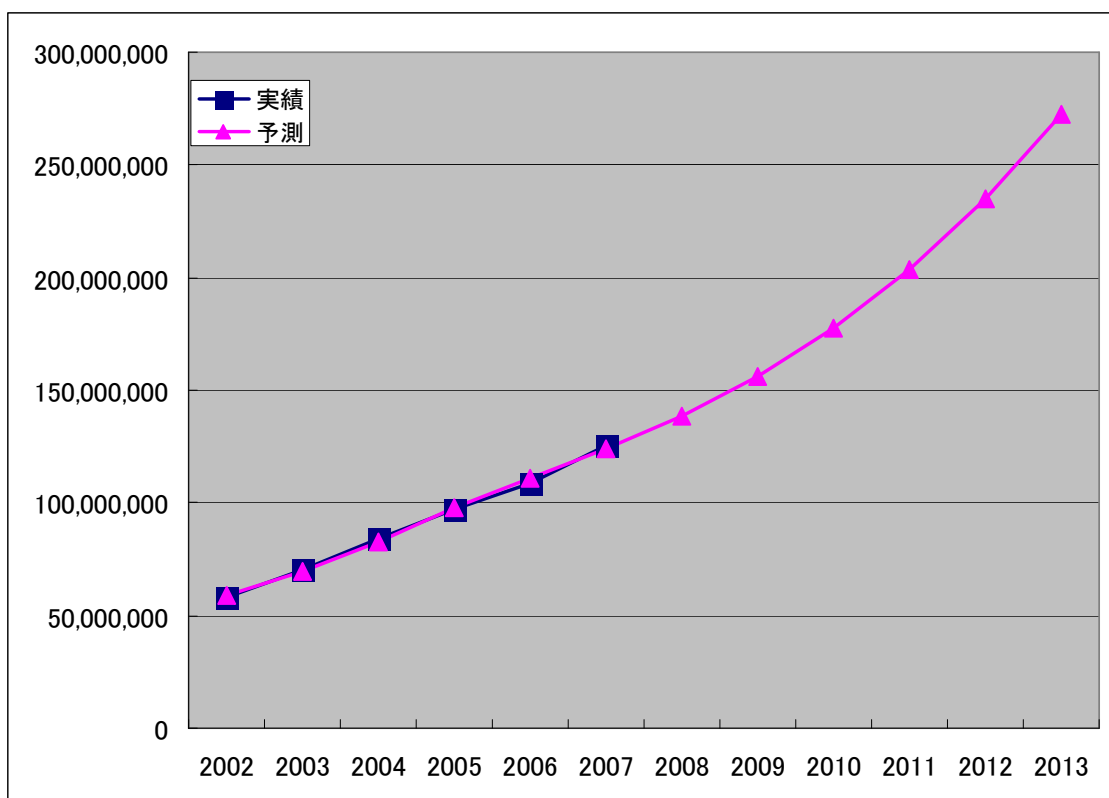
前項の予測シナリオに基づいて推計した場合、わが国の IPv4 アドレス需要は2011年に

2 億（/8 単位では約 12）を超えることとなる。

ブロードバンド契約数の予測には最大 5,500 万の制限があるが、電子商取引市場規模に代表されるインターネットの応用については、今回の予測を超えて拡大する可能性もある。仮に 2011 年の電子商取引市場が現在の予測の倍である 25 兆円規模（2004 年小売総額の 14%）になるとすると、これに影響されるアドレス需要は約 3 億（/8 単位で 18）となる。

西暦年	実績	予測
2002	58,153,676	58,608,478
2003	70,275,750	69,990,091
2004	84,208,072	82,824,317
2005	97,138,688	97,712,713
2006	108,897,120	111,065,846
2007	125,217,352	123,689,213
2008		138,559,416
2009		156,376,662
2010		177,773,627
2011		203,525,872
2012		234,585,066
2013		272,120,044

図 3-9 JPNIC 地域のアドレス需要予測



### 3.3 分配済み未利用 IPv4 アドレス回収の可能性検討

#### 3.3.1 歴史的 PI アドレスの利用状況の推定

##### (1) 対象抽出

歴史的 PI アドレスとして回収対象となるのは、CIDR(Classless Inter-Domain Routing, RFC1517, 1993年9月)導入以前に国際的な IP アドレス割り当て機関から直接割り当てられたアドレスブロックであり、概ね 1995 年程度までに /8 単位で企業等のエンドユーザ組織名で登録されているアドレスブロックと Various Registries として登録されているアドレスブロックと考えられる。

それぞれの回収対象としての規模は、IANA にて公開されている "Internet Protocol v4 Address Space (2007年11月1日現在)" より集計すると以下の通りとなる。

表 3-16 歴史的 PI アドレスの分類内訳

分類	/8 単位の個数	備考
/8 単位で組織に割り当てられているもの	41 (36 組織)	IANA Reserved、RIR の管理下、Various Registries のいずれでもないもの
/16 または /24 単位で組織に割り当てられていると考えられるもの	49	Various Registries の区分であるもの

/8 単位でエンドユーザ組織に割り当てられているアドレスブロックは全部で 41 ブロックあり、1 組織で複数ブロックの割り当てを受けている組織もあるため、組織数では 36 となる。

また、Various Registries として登録されているものが 49 あるが、ここには複数の RIR 管理下のアドレスブロックが混在しており、実際には /16 または /24 単位でエンドユーザ組織に割り当てられているアドレスが非常に多数存在していると考えられる。

参考までに、2007 年 11 月 1 日時点で、IANA や RIR の管理下にあるものも含む IP アドレス全体の分類内訳は次ページの通りである。

表 3-17 IP アドレス全体の分類内訳

分類	/8 単位の個数	備考
IANA - RESERVED	61	いわゆる IANA Pool は 42
その他 IANA	18	Multicast×16 Private Use×1 Public Data Network×1
ARIN	27	Cable Block×1 を含む
RIPE NCC	26	
APNIC	26	
LACNIC	6	
AFRINIC	2	
/8 単位で個別組織割り当て	41	
VARIOUS REGISTRIES	49	

## (2) 技術的検証方法の検討

回収対象となり得る歴史的 PI アドレスブロックに関し、その回収可能性を検討するためには、実際の利用状況を調査しなければならない。/8 の割り当てを受けていても、その大部分を利用していないということであれば回収の可能性は高い。逆に、/8 の割り当てを受けているエンドユーザ組織はグローバルカンパニーも多いため、アドレスブロックをサブネット分割して世界中で利用している可能性もあり、その場合には、まとまったアドレスブロックの形で回収するのは非常に困難になる可能性が高い。

割り当て済みアドレスの利用状況に関して、そのごく一部は 2006 年、2007 年前後に IANA の登録情報の更新が行われているようであるが、それ以外は、当の割り当てを受けた組織以外には誰も把握していないのが現状である。このため、割り当て済みアドレスの利用状況に関しては、当該組織に直接聞くのが一番望ましいが、誰に聞くのが良いかというチャンネルの問題、時間がかかりすぎるという問題等もあり、ネットワークを経由した技術的検証方法について検討を行う。

技術的検証方法としては、以下のような方法が考えられる。

- ① 当該組織を代表するアドレスの DNS への登録状況を調べる。(登録状況調査)
- ② 当該組織を代表するアドレスへ ICMP Echo を送り、到達性の検証を行う。(ICMP Echo 調査)
- ③ 当該組織を代表するアドレスへのポートスキャン等を行う。(ポートスキャン調査)
- ④ 当該組織のネットワーク管理者アドレスへ電子メールを送る。(電子メール送付調査)

### ① 登録状況調査

- 経路広告してないアドレスについては調査が不可能である。一般的に、古くにアドレスの割り当てを受け、ネットワークを構築している組織では、アドレスの直打ちや hosts ファイルの利用等により DNS を利用していない等の状況が残っていると考えられ、実際に利用しているアドレスを取りこぼす可能性が高い。

## ② ICMP Echo 調査

- 簡易的に調査が可能である。
- ホストを特定して調査が可能であり、ネットワーク内部への到達性がある場合には、アドレス利用状況を詳細に調査できる可能性がある。
- 外部からの ICMP Echo に対してフィルタリングされている可能性が高く、実効性の面で疑問が大きい。
- また DoS 攻撃等と取られかねない部分もあり、調査範囲や頻度に関して慎重な検討が必要である。

## ③ ポートスキャン調査

- ポートレベルで調査することにより、概ね利用プロトコルも含めてネットワークの利用状況を調査可能である。
- 多数のポートスキャンの実施は攻撃と取られかねない部分もあり、調査手法としては適切性に欠く。

## ④ 電子メール送付調査

- Whois 等により管理者メールアドレスを特定し、電子メール等を送付するので、簡易的に調査が可能である。
- 電子メールの送付に際して、アンケートを同時に送付可能であり、またエラーメールにより到達性の状況(当該メールアドレスのエラーなのか、サイト自身のエラーなのか)も確認が可能である。
- Whois の情報が古い場合、ネットワークは生きているのに、調査結果はエラーとなってしまう可能性がある。
- アンケートへの回答がなければ、アドレスブロック全体の利用の有無は確認できても、ブロックの内部的利用状況は確認できない。

## (3) 技術的検証の実施、分析

本調査では、上述の各調査手法のうち、電子メール送付調査によりアドレスブロック利用状況の調査を実施した。ただし、単純に電子メールを送信することによりアドレスブロック全体の到達状況を調査するだけでなく、内部的なアドレスブロックの利用状況の確認等も目的として、メールアンケートとして実施することとした。詳細については次項にて報告する。

## (4) メールアンケート等実施

アンケートメールの送付対象は、(1)で述べた「/8 単位で組織に割り当てられているもの(以下、IANA Registry と表記)」および「/16 または/24 単位で組織に割り当てられていると考えられるもの(以下、Various Registries と表記)」である。

このうち、Whois 等で管理者アドレスの特定できた IANA Registry の/8×40 件に関して、アンケートを兼ねた存在確認メールを送付した(12.0.0.0/8 のみ、さらに/24 単位で小分けされており、代表管理者アドレスの特定ができなかった)。具体的には、表 3-18 の内容のアンケートメールを送付した。

表 3-18 アンケートメールの内容

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 割り当てアドレスのうちの利用しているアドレスの割合</li> <li>(2) インターネットへの接続利用の有無</li> <li>(3) イントラネットへの利用の有無</li> <li>(4) 拠点間接続を含むエクストラネットへの利用の有無</li> <li>(5) IPv4 から IPv6 への移行の意向</li> </ul> |
|--|

アンケートメールを送付した結果を以下にまとめる。

表 3-19 メールアンケート実施結果

/8 管理者宛てメール送付件数	到達件数	アンケート回答件数
40 件 (35 組織)	37 件 (32 組織)	0 件
10 件 (MX が同一ブロック内のもの)	10 件	0 件

## (5) 結果整理

アンケートメールを送付した 40 件中エラーメールとして帰ってきたものは 4 件、その内訳は、「No such user」が 2 件 (別ドメインの postmaster から回答)、「Host or domain name not found」が 1 件、「transient non-fatal errors (Insufficient disk space)」が 1 件である。このうち、管理者アドレスの MX 登録が当該ブロック内にあるものは 10 件で、そのエラーメールは 1 件、ただしこれは「transient non-fatal errors (Insufficient disk space)」であり、最終的には配送されたものと考え、ほぼ 10 割の到達率ということになる。

管理者が別のアドレスブロックに存在するケースでも、30 件中 27 件がメール到達しており、このうち米国国防省 (DoD) 系列の割り当て/8×12 件を差し引くと、18 件中 15 件が到達ということになる。これがそのままアドレスブロックの利用を指し示すわけではないが、うち 5 件は当該アドレスブロック内で DNS が稼動している模様であり、多くのアドレスブロックが利用中と推測しても不自然ではないと思われる。

残念ながらアンケートの回答件数は 0 件であるため、割り当てアドレスブロックを利用中の組織において、内訳としてどのようなアドレス利用パターンを持っているか、現時点では明らかになっていない。そこで、個別に状況を聞いているあるアドレスブロックの例を参考として示しておく。

/8 として登録されているある歴史的 PI アドレス<sup>4</sup>は、世界的に散らばる拠点間のイントラネット構築に割り当てアドレスを利用している。インターネット上への広告は行っていないが、内部ネットワークにおいて現に割り当て済みグローバルアドレスを利用している状況にある。また、古くから使用していることもあり、アドレス直打ちとなっている接続も多く、リナンバリングによってアドレスブロックを整理し、空けるのは、コスト面でも作業面でも非常に困難とのことである。

<sup>4</sup> 特定して公表することは適切ではないため、このような表現にとどめる。

これはあくまで参考例であるが、古くから IP アドレスを利用している歴史的 PI アドレス利用組織においては、上記のような利用パターンを持っているところも少なからずあるものと推察される。

### 3.3.2 回収のための課題整理

#### (1) 技術的課題整理

歴史的 PI アドレスの回収にあたっては、技術的課題についても整理しておく必要がある。そのため、まずは想定される利用状況のパターン化を試みる。

表 3-20 歴史的 PI アドレスの想定利用パターン

歴史的 PI アドレス使用状況	状況、回収パターン
現時点で全く使用していない。	倒産や組織改変等によりアドレスを全く利用しなくなる可能性がある。 割り当て全アドレスをまとめて回収することが期待できるが、相手のコンタクトポイントを特定できない可能性もある。
インターネット接続向けに一部を使用しているが、内部はプライベートアドレスを利用する等により、大部分のアドレスブロックが未利用の状態である。	割り当て全アドレスのうち、その一部をまとめた形で回収できる可能性がある。 また、インターネット接続を事業者振り出しアドレスに切り替えてもらうことにより、割り当て全アドレスを回収することも期待できるが、回収にあたっては何らかのインセンティブが必要と考えられる。
インターネット接続、内部ネットワークともに使用しているが、ネットワーク構造が整理され、一部のアドレスブロックがまとまった形で未利用の状態にある。	まとまって未使用な状態にあるアドレスは回収できる可能性がある。ただし、アドレスブロックの大きさが回収利用に際してリーズナブルなサイズかどうかは課題となる。 内部ネットワーク利用分については、リナンバリングをしないと回収ができないが、ネットワーク構造が比較的整理された状況であれば、リナンバリングの負荷も比較的少ないと考えられる。
インターネット接続、内部ネットワークともに使用している。内部ネットワークには豊富なアドレスを潤沢に使用し、まとまった形で未利用アドレスがあまりない（未利用アドレスがアドレス空間上で分散している）。	アドレスを回収して再利用するためにはリナンバリングが必要である。しかも、その範囲が広範にわたり、コスト面、作業面での負荷が大きいとされる。
内部ネットワークのみで使用している（インターネット接続は事業者振り出しのアドレスを利用）。	アドレスを回収して再利用するためにはリナンバリングが必要である。その負荷はネットワークの規模による。 ただし、完全に内部ネットワークに閉じて、外部ネットワークと一切接続されない状況であれば、技術的にはリナンバリングなしに回収、再利用が可能と思われる。



アドレス使用状況のパターン毎に回収のパターンを考えて整理すると、技術的には主に下記のような課題点があることがわかる。

表 3-21 回収にあたっての技術的課題

課題項目	内容
回収アドレスのサイズ	/8 や/16 を持つような組織であれば、ある程度の大きさのアドレスブロックを回収できる可能性がある。しかし、/24 を持つような組織の場合、その一部のアドレスのみの回収であると、/25 以下のサイズでの回収ということになり、ルーティング等への影響があるため、現実的ではなく、回収の実効性がないことになってしまう。
リナンバリングを伴う回収方法	現に使用しているアドレスをリナンバリングして回収する場合、事業継続性への影響を排除した形でリナンバリング作業が必要となる。そのためには、現在のアドレス利用状況の再把握、影響範囲の同定、移行後ネットワークの設計、移行計画の策定、障害時の対応等、多くの作業を伴う。大規模な組織におけるリナンバリングの経験はあまりない（あっても詳細が公表されていない）と考えられ、技術的問題に関しても事前検証等が必要と考えられる。
回収後アドレスの評価	再利用しても問題ないことを技術的に検証する必要がある（問題が発生した場合、インターネットの到達性に大きな影響がある？）。

## (2) 法的課題整理

現在 RIR や NIR を経由して割り振り／割り当てられるアドレスについては、ポリシーや規定等、契約に基づく利用がされている。しかし、歴史的 PI アドレスに関しては、その利用組織との間で何らの契約も結ばれていないケースが多く、回収にあたってはその法的根拠がないという状況にある。また誰が何の権限を持って回収するのか（IANA へ回収するのか、RIR へ回収するのか）という問題もある。

このため、JPNIC では、日本国内の歴史的 PI アドレスを対象に、JPNIC への登録内容確認の呼びかけという形で、その同定作業と一定の管理の元への移行作業を実施している<sup>5</sup>。しかし、世界に散らばる多くの歴史的 PI アドレスについては、いずれかの RIR への名目上の登録関係はあるものの、その利用実態はほとんど把握されておらず、実効的な管理下にはないという状況である。

また、回収にあたっての法的な課題を整理すると以下のようなものになると考えられる。

<sup>5</sup> 3.3.4 (3)に記述している

表 3-22 回収にあたっての法的課題

課題項目	内容
誰が回収するか	<ul style="list-style-type: none"> <li>IANA、RIR 等のインターネット資源管理組織（法的根拠がない）</li> </ul>
どのように回収するか	<ul style="list-style-type: none"> <li>強制的または半強制的（法的根拠や回収条件の明確化が必要）に回収</li> <li>インセンティブ／対価等をつけて回収（インセンティブへの課税根拠や課税方法、事業者経由割り当て組織との公平性の欠如）</li> <li>自主返却（法的問題はないが、回収は進まない）</li> </ul>
監視・懲罰	<ul style="list-style-type: none"> <li>闇取引等の発生の監視方法・監視権限</li> <li>闇取引等に対する懲罰の実施方法・実施権限</li> </ul>

### (3) コスト課題整理

歴史的 PI アドレスの回収にあたって、発生し得るコストを整理してまとめたものを以下に示す。この中には、1 回 1 回の回収に伴って主に当事者において発生するコストもあるが、仕組み作りや設備増強等インターネット全体として発生し得るコストも含まれている。したがって、未利用アドレスの回収を今後実施していくかどうかという点では、インターネットコミュニティがこれらのコスト負担をどこまで認めるかという点にもかかってくると考えられる。

表 3-23 回収にあたってのコスト課題整理

課題項目	内容
規則調整等仕組み整理のコスト	技術課題、法的課題の整理、対応方法等の仕組み構築のコスト
リナンバリングコスト	供給組織内でのリナンバリングのコスト
アドレス検査コスト	再利用前の事前検証 <sup>6</sup> のコスト
登録等の運用コスト	登録先変更時の手数料
ルーティング障害を防ぐための技術調整コスト	/24 でのルーティングに耐えるための検査、調整、機器増強等

#### (4) 有効な回収方法／手続きの整理

ここまでの、未利用アドレス回収のための課題整理の議論を踏まえ、有効と思われる回収方法や手続き、その上でもさらに課題として留意しておかなければならない点について以下にまとめる。

- 現時点で割り当てアドレスを一括して回収できる組織は少ないと思われる。
- /8や/16を持つ組織では、/24以上に小分けする形で回収は望める可能性がある。ただし、/24を持つ組織では、割り当てアドレスを一括して回収する必要があり、実効性は小さい。
- IANA や RIR 等への回収は実績的にも難しいと考えられる。
- ただし、事業者や、インターネットレジストリとして必要な準備は行わなければならない。小規模なアドレスブロックでのルーティングが増加することへの対応のための設備の増強、ポリシーや規則の調整、技術的課題／法的課題等への対応、またそれらの伴うコスト負担等についてさらに検討を進めていかなければならない。

### 3.3.3 ARIN における回収議論の要点

#### (1) ARIN 議論の内容整理

歴史的 PI アドレスの大部分は ARIN 地域の組織が持っており、未利用アドレスの回収規模としては最も大きなものとなると期待されるため、IPv4 アドレスの在庫枯渇問題や未利用アドレスの回収問題に関して、ARIN がどのような対応を取ろうとしているのかを追跡し、整理することは重要である。ARIN では年に 2 回の ARIN ミーティングを開いており、この中で、あるいは ppml (Policy Proposal Mailing List) 等において、在庫枯渇や回収に関する議論が行われている。これらの議論の論点を次に整理した。

- Whois の更新、料金、返却の手続きに関する課題の議論

<sup>6</sup> 例えば、回収された IP アドレスの過去の利用者が不正利用を行っていたため、パケットフィルターやメールのブラックリストに載っていて通信性が損なわれている場合、これらの措置を解除して通信性を復旧させるためには、手続きや交渉が必要となる。

- IPv4 アドレスの市場取引を認めるべきか、その中での ARIN の役割の議論
- 延命策としてクラス E (240.0.0.0-255.255.255.255) アドレス空間のプライベートアドレス利用の可否
- NAT による対応では不十分という認識
- IPv4 に関する RIR から LIR/事業者への割り振りを段階的に厳しくするという議論
- IPv4 申請の信憑性確保の重要性
- IPv6 への移行を推奨する必要性
- IPv4 アドレス回収促進策 (費用等の優遇)

## (2) 結果整理

ARIN の場合、組織の性格として、規制的なことを比較的好まない傾向にある。APNIC 地域から IPv4 アドレスの最終振り出し日を定めるポリシーの提案が成されたことがあったが、米独禁法抵触への可能性を理由に反対表明がされている。ARIN においても、個別にはさまざまな意見があるが、全体としては、IPv4 在庫枯渇への明確な認識と、IPv6 への移行の推奨という程度であり、あまり積極的な行動にまでは至っていないのが実情と言える。

### 3.3.4 回収と活用の可能性検討

#### (1) 未利用アドレス回収方法の検討

以上の議論を踏まえ、ここでは有効と考えられる、未利用アドレスの回収可能なパターン、回収可能性、予想回収規模、有効な回収方法についてまとめる。

- /8 または /16 を持つ組織から、/24 以上のブロックで提供してもらう。
- 未利用アドレス供給元としては、/8 を持つ ARIN 地域の組織、/16 を持つ Various Registries に分類される組織が期待できる存在である。/24 を持つ組織は、/24 以上の供給と仮定するならば、アドレスブロックを一括して提供してもらう必要があり、現実的ではない。
- IANA Registry /8×41 のうち、DoD 等の政府組織、ネットワークサービス企業を除く、組織の所持するアドレスは、/8×19 である。これをベースに、いくつかのパターンで回収可能性のあるアドレス規模についてまとめる。

表 3-24 回収可能性のあるアドレス規模のパターン

提供組織の割合	所持アドレス中の提供アドレス割合	全体で提供されるアドレスブロック	/24 相当の数
1 割	12.5%	/10×1	/24×16k
	25%	/9×1	/24×32k
	50%	/8×1	/24×65k
2 割	12.5%	/9×1	/24×32k
	25%	/8×1	/24×65k
	50%	/8×2	/24×131k
3 割	12.5%	/9×1.5	/24×49k
	25%	/8×1.5	/24×98k
	50%	/8×3	/24×196k

- Various Registries 領域については、元となるアドレス空間が /8×49 と、上記の約 2.6 倍である。したがって、単純計算で、上記と合わせて約 3.6 倍のアドレス供給がある可能性がある。ただし、Various Registries には/24 所持の組織も多いので、その分は割り引いて考える必要があり、全体としては、上記パターン表の 2 倍程度のアドレス供給と考えるのが良いと思われる。
- リナンバリング等のコストが回収でき、それを超えるインセンティブがある方法であれば、アドレスは提供される可能性がある。
- アドレスブロックの一部を切り出す形であれば、提供しやすいものと考えられる。

## (2) 未利用アドレス活用への結論

これまでの議論を踏まえ、未利用アドレスを回収し活用することの可能性、課題についてまとめると以下ようになる。

- 小分けされた形の返納を許すことで、回収再利用の可能性は高まる。
- 供給は最大でも/8 が数個程度と考えられる。これは、直近 2 年間でみたとき、数ヶ月分のアドレス需要を満たす分量に過ぎない。したがって、未利用アドレス空間の活用は短期的には有効でも、長期的にみたときの有効な解決策にはならないものと考えられる。
- 小分けにされたルーティングが増えることで、事業者にとっては設備増強等の負担増が必要となる。コミュニティ全体として、このコスト負担が可能かは不確実であり、到達性において不安定なアドレスブロックが発生する可能性がある。
- 積極的な IP アドレス返納を可能とする新たな仕組み作りが必要であり、短期間の間に世界的コンセンサスを形成する必要がある。

## (3) 参考：JPNIC の歴史的 PI アドレス割り当て先明確化活動

利用されていない歴史的 PI アドレスの回収に向けた活動として、JPNIC では 2004 年 12 月から、管理下の歴史的 PI アドレスの割り当て先明確化活動を行っている。

この活動では、JPNIC のレジストリデータベースに登録されている、歴史的 PI アドレスレコードの連絡先にコンタクトする途上で、既に登録情報が古く連絡先がデータベースからだけではわからない場合にも、追跡調査を行った上で全件に対してコンタクトを試みた。

さらに、コンタクトできた歴史的 PI アドレス保持者には、現行のアドレスポリシーに従っていただくこと等を確認する確認書を取り交わす等の手続きを行うとともに、利用していない IP アドレスに関しては返納を受け付けた。表 3-25 は 2007 年 11 月 12 日現在の状況を示すものである。

表 3-25 JPNIC の歴史的 PI アドレス割り当て先明確化活動の現状

2007年11月12日現在

	NW情報 件数(件)	NW情報 件数(%)	アドレス数 (個)	アドレ ス数(%)
歴史的PIアドレス全数	3045	100.0	39537664	100.0
<b>手続完了</b>	2520	82.8	35998720	91.0
返却	411	13.5	765440	1.9
APNIC管理下を選択	11	0.4	332800	0.8
ID/パスワードを発行 (JPNIC管理下を選択)	2098	68.9	34900480	88.3
<b>手続未了</b>	525	17.2	3538944	9.0
コンタクト済み、手続き中	378	12.4	3145984	8.0
コンタクト施行中	147	4.8	392960	1.0

17超

10弱

この時点で、この活動によって返納された歴史的 PI アドレスは、ネットワーク情報(割り当てた IP アドレスのレコード) 件数ベースで 16.3%(手続きが完了した 82.8%中の返却分 13.5%)、アドレススペースベースで 2.1% (同様に 1.9%/91%) に留まっている。

返納は IP アドレス保持者が自己申告で、当該 IP アドレスの全域が利用されていないとして手続きしているものであるとともに、部分返却には応じなかった。

### 3.4 まとめ

本章のまとめを以下に示す。

#### 3.4.1 IPv4 アドレス在庫枯渇予測の検証のまとめ

- RIR 管轄地域毎にマクロ需要予測に基づくアドレス需要予測のフィッティングを行った。
- 予測としては、ARIN の伸びは緩やかだが、RIPE、APNIC、AfriNIC 等で急速な伸びが予想される。現時点の需要規模を勘案すると、RIPE、APNIC の影響が支配的で、2011 年初頭には/8×213 を越える予想となる。
- 日本においても、今後ともアドレスの需要は伸び続け、2011 年には現在の 1.7 倍の 2 億 (/32 単位、/8 単位では約 12) になると予想される。

#### 3.4.2 分配済み未利用 IPv4 アドレス回収の可能性検討のまとめ

- 歴史的 PI アドレスのうち、割り当て単位全体で使われていないものは、ほとんどないと思われる。したがって、そのうちの一部を如何にして回収するかという問題になる。
- 技術的には、回収サイズの確保の問題とリナンバリングの問題がある。回収サイズは経路制御可能性(routability)を考えると/24 以上は必要であり、これに応えられる組織は、/8 または/16 を持つ組織である。リナンバリングに関しては、大規模なリナンバリングを経験した組織は少なく、事前の技術検証も必要となるかもしれない。
- 現行ポリシーとの整合、自主返納以外の回収方法の法的根拠等、規則的・法的に解決しなければならない問題も多い。
- 未利用アドレスを提供してもらう方法としては、インターネットレジストリへの回収による可能性は小さいと考えられる。
- 小分けされたアドレスブロックをルーティングさせるためのネットワーク設備の能力増強は、インターネットコミュニティ全体の問題でもあり、コスト負担についてはさらに議論が必要である。
- 回収によって再利用が可能となると想定されるアドレス規模に関しては、多くても世界的なアドレス需要の数ヶ月分に過ぎないと思われる。したがって、未利用アドレスの再利用は、短期的には有効だが、長期的な有効性には疑問がある方法と言わざるを得ない。

## 4 IPv4 アドレス在庫枯渇対応策の問題点とその解決策

### 4.1 はじめに

IPアドレスは、インターネットプロトコル(IP)で構成されるネットワークにおける識別子として、ネットワーク上に接続されるすべてのホストに付与され、他のホストからそのホストを識別するために利用される。あるIPネットワークであらゆる2ホスト間の通信が成立するためには、すべてのホストが一意に識別される必要がある。このためIPアドレスの一意性はIPネットワークが機能するための大前提である。

インターネットは世界中に存在する無数のIPネットワークが相互接続された全体を示すが、インターネットにおけるIPアドレスの一意性は、ICANN/IANAを頂点としてRIR, NIR, LIR等のインターネットレジストリの管理によって担保されている。このようにインターネットでの利用のためにインターネットレジストリから分配されるIPアドレスをグローバルIPアドレスと呼ぶ。この報告書で扱われるのは、IPバージョン4のグローバルアドレスに関する在庫枯渇の問題である<sup>7</sup>。

本章ではIPv4アドレスの在庫が枯渇した場合にどのような問題が発生し、それを解決するためにどのような対策を打つべきかを論じていく。

IPv4アドレスの在庫枯渇が間近に迫るものとして認識され始めて以来、インターネット運営技術者のコミュニティでは、IPv4アドレスの在庫が枯渇した場合の問題点と解決策に関する議論が断続的に行われて来た。しかしながら網羅的な検討、あるいは積み上げられた議論に至ったものは今までに例がなかった。

そこで本章の検討を担当した、JPNICのIPv4アドレス在庫枯渇に関する克服策検討ワーキンググループでは、以下のような要領で検討を進めた。

- 1) IPv4 アドレス在庫枯渇時に想定される“困ること”を洗い出す
- 2) それぞれの“困ること”に関する対応策を挙げる
- 3) 対応策に関する問題点を洗い出し、解決策を検討する
- 4) 問題点と解決策を分析する
- 5) 解決策を実施主体と性質毎に分類する
- 6) 5)と並行して、問題点と解決策を基に対策を評価する

本章は以下のような構成を採っている。

- **4.2 在庫枯渇により誰がどう直接的に困るのか** では、IPv4 アドレスの在庫枯渇により、直接的に誰がどのように困るかに関して論じる。
- **4.3 考えられる対応策** では、4.2 で論じた「困ること」に対して、現在考えられる直接的な対応策を整理する。
- **4.4 対応策の評価** では、4.3 で挙げた対応策に関して、主な問題点等について比較検討することで対応策案毎の得失を明らかにしていく。
- **4.5 対応策の主な問題点、解決策案と実施主体** では、4.4 の評価を検討するために整

---

<sup>7</sup> 本報告書では特に示さない限り、IPv4 アドレスという場合はグローバル IPv4 アドレスを示す。



理した対応策毎の問題点と解決策案をまとめ、解決策案の実施主体を明らかにしていく。

- **4.6 技術的課題に関する現状の考察** では、4.4 で挙げた技術的課題に関する現状をまとめた。

## 4.2 在庫枯渇により誰がどう直接的に困るのか

### 4.2.1 誰がどう困るのか

現在のインターネットはそのほとんどがIPv4で構成されており、IPv4アドレスなしには、インターネットへ直接接続することは不可能である<sup>8</sup>。したがって、IPv4アドレスの在庫が枯渇して、事業者や利用者が新たなIPv4アドレスの入手ができなくなった場合に生じる、直接的な問題を端的に表すと、「**新たなホストをインターネットに直接接続することができない**」ということになる。大枠として整理すると以下のようなケースである。

表 4-1 IPv4 アドレス在庫枯渇で誰がどう直接的に困るのか

誰が	困ること
新たに利用者を収容したい 接続事業者	顧客の需要に対応できない ＝事業の拡大ができない
新たにサーバを設置したい サーバ設置事業者	サービスの新設、増強・拡張ができない
新規参入事業者	新規参入ができなくなる

この他に、利用者や、機器・ソフトウェアを提供するベンダーも、上記に該当するような事業者の対応次第では間接的な影響を受けることになる。

利用者にとっては、対応策実施による事業者のコスト増が料金に転嫁される可能性がある。また、ベンダーにとっては、対応策実施のための技術開発や、自社製品の改良、入れ替え、新製品投入等を求められる可能性がある。これらはビジネスチャンスとなり得る一方で、一時的な需要に留まり、技術開発投資の回収までに至らない恐れもある。

なお本報告書では、上記のようなケースを二次的影響としてとらえ、直接的な影響のある事業者の観点からの対応策検討を中心に検討を進めていくこととする。

### 4.2.2 困らない人はいるのか

「**新たなホストをインターネットに直接接続することができない**」ことが問題であるため、この条件に当てはまらない「**新たなホストをインターネットに直接接続する必要がない**」場合、例えば次のようなケースは、当面は困ることなくインターネットを利用できることになる。

- 利用者増がないインターネット接続事業者
- 既にサービス提供を行っているサーバ

<sup>8</sup> 組織・企業をはじめとして一般家庭においてもそれぞれの閉域 IP 網から NAT（ネットワークアドレス変換機構）を介してインターネットに接続する形式が一般的に普及している。ここで直接接続とは、このような変換機構なしにインターネットに接続する形態を指している。

- サーバ増設やネットワーク拡張の必要がない事業者

言い換えると、既存の利用者、サーバを含むIPv4インターネットは、IPv4アドレスの在庫が枯渇しても当然ながら動作を続けるため、その中で生活や業務が充足する場合には特に困ることも発生しない。

ただし、これはあくまで現在のインターネットの状況が継続すれば、という前提であり、さまざまな状況変化が起った場合には、これらに該当するものも困ることになる可能性は大いにあり得る。

### 4.3 インターネットレジストリとしてできること

#### 4.3.1 分配済み未利用アドレスの回収、再在庫化と再分配

インターネットレジストリとして、IPv4アドレス在庫枯渇への対応としてできることは、既に分配済みで未利用となっているIPv4アドレスを積極的に回収、再在庫化して、必要な事業者に対して再度分配しなおすことである。これにより一時的に「IPv4アドレスがなくなって困る」という事態を避けることは可能である。

#### 4.3.2 実効性の評価と課題

現在のアドレス管理ポリシーでは、不要なアドレスはインターネットレジストリに返却されることとなっているため、上記の方策の主な対象となるのは、現在のアドレス管理ポリシー制定以前に分配された歴史的PIアドレスとなる。

これについては、3.3で検討した通り、法的、技術的、コスト的課題がこれらを解決する必要がある。また、実際に回収可能なアドレス量の推定についても、より詳細な調査、見積もりを行い、対応策としての有効性について検証が必要である。

上記のような課題があるため、対応策としての実行性については不透明ではあるものの、後述する事業者の対応策にも影響を与えることになる。このため、JPNICはインターネットレジストリとして、今後これらの課題の検討に、主体的に取り組んでいく必要がある。

### 4.4 事業者が採り得る対応策

「新たなホストをインターネットに直接接続することができない」という状況を解決する手段にはどのようなものがあるか検討を行い、さまざまな案を整理統合していくと、現段階では以下の三つが利用されうる手段だと考えられる。もちろん、この他にも全く新しい手法、イノベーションによる対応策が生まれてくる可能性も否定はしないが、本章ではこの三つに絞って検討を進めていくことにする。

#### 4.4.1 何らかのやり方で IPv4 アドレスを確保

後の項で述べるように対応策はいずれも機器に対する出費・投資を伴うものであるため、これらを採用するよりも先に、何らかの手段でIPv4アドレスを確保することになるだろう。これにはいくつかの方法が考えられる。

- 自網内で IPv4 アドレスの利用を効率化して捻出する

既存のセグメント構成を見直す、管理監視系システムをプライベートアドレスに振り替える、サーバを少数大規模化する等によって、自網内の IPv4 アドレスの利用効率を改善して、捻出した IPv4 アドレスを新たなホストの収容に利用する。

- 回収された未利用 IPv4 アドレスの再分配を受ける

前述したインターネットレジストリによる未利用 IPv4 アドレスの回収、再在庫化、再分配が実現した場合に、その再分配されたアドレスを利用して新たなホストの収容を行う。

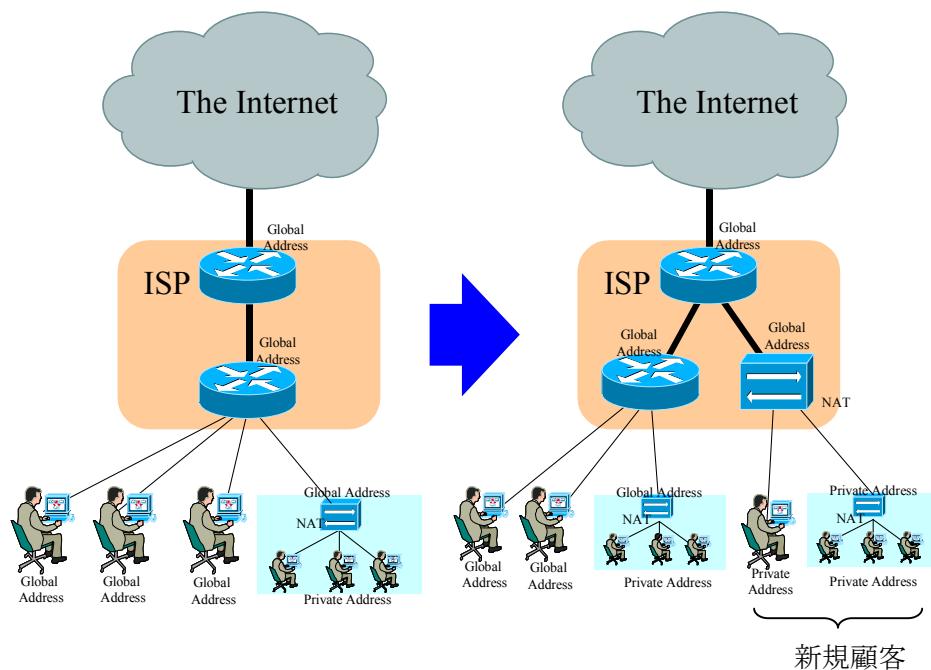
なお在庫枯渇後に、何らかの理由でIPv4アドレスの余剰がある組織が、IPv4アドレスを必要とする組織に対して、余剰のアドレスを譲り渡すというケースが発生することも考えられる。しかしIPアドレスポリシーでは、IPアドレスは所有物ではないという原則に基づき、譲渡を認めていないため、インターネットレジストリとしてはこのようなケースが発覚した場合には、余剰アドレスがある組織に対して返却を求めることになる。

#### 4.4.2 プライベート IPv4 アドレスを利用して新規顧客を收容し、NAT を介してインターネットに接続

インターネットに直接接続されない閉域IP網にはグローバルIPアドレスを利用する必要がないため、プライベートアドレスが利用されている。

IPv4アドレス空間の節約の観点から閉域IP網にはプライベートアドレスの利用が推奨され、現在では原則的にインターネットに直接接続しない利用方法に対して、グローバルIPv4アドレスの割り当ては行われぬ。これらの閉域IP網からは、NATを介してインターネットに接続する方法が一般的に認知され、技術として確立している。これをインターネット接続事業者レベルで採用し、グローバルIPv4アドレスを利用せずに新規顧客を收容していくのがこの方式である。既に一部のCATV事業者で実績があるため、この方式に変更することは一つの手段だと考えられる。

図 4-1 プライベート IPv4 アドレスと NAT による新規顧客の收容



#### 4.4.3 IPv6 による新規顧客の収容

IPv6 は IPv4 に替わる新たなバージョンのインターネットプロトコルとして開発され、既に要素技術もかなり揃ってきている。また、IPv4 と比較して圧倒的な大きさのアドレス空間を持つため、余裕を持って将来の拡張性を考慮したネットワークの設計・計画が立てられる。事業者が IPv6 ネットワークを構築して、新規顧客をこの新たなネットワークに収容することで、IPv4 アドレスを利用することなくグローバルインターネットへ直接接続が可能ということになる。なお、この方式を採用したとしても既存の IPv4 によるインターネットは継続して存在し、利用されることになる。ここで対応策として提示する IPv6 の利用は、既存の IPv4 インターネットを IPv6 へ移行させることではない。

## 4.5 三つの対応策の評価

ここでは4.3に挙げた三つの対応策を各々の事業者がインターネット上で適用した状態を想定して、問題点の所在を明らかにするとともに、総合的に評価する。

なお、評価を検討するにあたって整理した各課題の問題点および解決策案については、次項で一覧にまとめている。

### 4.5.1 「何らかの手段で IPv4 アドレスを確保する」の評価

この手段の利点は、他の二つと異なり、IPv4アドレスが確保できさえすれば今まで通りのサービスを提供できることである。IPv4アドレスを確保する手段としては次の二つが考えられる。

- ① 事業者が自網から余剰アドレスを捻出する。
- ② インターネットレジストリが回収したアドレスの再分配を受け、利用する。

これから考えられる主な問題点は、3章で検討した内容も含めて、以下のようにまとめることができる。

- A) 現時点で実施可能な手段は①だけであり、②に関しては部分返却等のルールが確立されていない。また、3章で述べた通り、実現に向けた課題も多いため実施できるかどうかは不確実である。
- B) ②が可能になったとしても、必要なときにアドレスの確保ができるとは限らない。
- C) ②で確保した IPv4 アドレスは、細分化によるインターネット経路制御におけるスケラビリティ等の問題を抱えている。
- D) 回収再分配による IPv4 アドレスの供給にも限りがあるため、永続的な対応策とはなり得ない。

このうちD)の在庫枯渇後に供給可能なIPv4アドレスの量に関しては、この検討では明確な結論は出ていない。仮定として、本報告書では3.3.4で、DoD等の政府組織、ネットワークサービス企業を除いた /8×19 のclassA割り当てに関して、3割の組織が50%のスペースを供出するという前提を立てた場合に、/8×3が再分配される可能性があるとしている。

Geoff Huston氏のIPv4 Address Reportでは、IANAにおける在庫枯渇、全RIRにおける在庫枯渇以外に、「分配済み、かつ、経路広告されていない」アドレス数の遷移に関しても予測している。

これによると2018年中盤に「分配済み、かつ、経路広告されていない」IPv4アドレスがなくなる、つまりこの時点で、すべてのIPv4アドレスがインターネット上で広告されると予測している。

ただし、インターネット上で広告されているアドレスブロックに含まれるIPアドレスにも未利用のものが含まれる点（後ろ倒しになる要因）、および、必ずしもすべてのIPv4アドレスが再利用に供されるとは限らないこと（前倒しになる要因）を考えると、IPv4アドレスの供給可能時限は、この予測時期よりも後になる要因も前になる要因もある。

このように、回収再分配等IPv4アドレス再利用の仕組みは確立が不確かで、仕組みが確

立した場合にも適時的な供給に疑問が残るとともに、理想的に再利用が実現した場合にも IPv4 アドレスの総量以上に供給されることはないため、効果は限定的だと言わざるを得ない。

#### 4.5.2 「プライベート IPv4 アドレス+NAT による新規顧客の収容」の評価

CATV事業者の一部では、NATを利用したプライベートアドレスによるインターネット接続サービスが提供されている。つまり、一定規模以下の事業者で、クライアントとなる利用者がインターネット上のIPv4で接続されたサーバと通信を行う場合には、選択可能な対応策と言える。しかしながら、クライアントに対する接続サービス提供を前提とする場合にも、以下のような問題がある。

- 現在グローバルアドレスによる接続サービスを提供していて、新規顧客収容のためにプライベート IPv4 アドレス+NAT の構成が取られる場合、サービス条件に制限が加わるため実質的にサービス品質の低下となる。
- 具体的には、例えば SIP や UPnP を利用したもの等、一部アプリケーションにおいて通信性が損なわれる可能性がある。また、利用者宅でブロードバンドルータ等によるユーザ NAT が設置されている場合には、多段 NAT となり、現状 NAT トラバーサル技術が確立しているアプリケーションにも問題が生じる。<sup>9</sup>
- スケーラビリティに限界があり、現在の実績では数万利用者規模のレベルまでしか対応できない。
- 利用者へのアクセス回線がアクセス網提供事業者によって提供される場合、プライベートアドレスの利用が不可、あるいは制限がある可能性がある。
- IPv6 のみで接続されるサーバとの通信には別途トランスレータの設置が必要となる。
- 既に利用者宅内にユーザ NAT が設置されている場合が多いため、事業者が新たにプライベートアドレスによってサービスを提供する場合に、利用者宅内ネットワークと事業者ネットワークのプライベートアドレスが衝突する可能性がある。この懸念が大きい場合、事業者用に新たなプライベートアドレス空間を定義する等の対処が必要である。

以上、クライアントの収容に関する問題点を述べてきたが、この対応策の大きな問題は、表 4-2 に示す通り、新規サーバの収容に対して意味を成さないことである。

NATは原理的に、プライベートアドレス側にあるクライアントが、グローバルアドレスによって指定するサーバへのセッション開設要求を受けることで、双方のIPアドレスを認識し、IPアドレス変換の仲介を行って通信を実現するものである。

サーバがプライベートアドレス側にある場合、グローバルアドレス側にあるクライアントは、サーバをIPアドレスで一意的に指定することができない。サーバをIPアドレスで指定するために、NAT機器に複数のグローバルアドレスを付与し、特定のサーバに対応させることもできるが、ここではNATが、IPv4アドレスが入手できないことに対する対応策であるため、意味を成さない。<sup>10</sup>

<sup>9</sup> NAT環境の問題点は、4.7.3 で詳細に述べている。

<sup>10</sup> IPアドレス以外にTCP, UDPのポート番号も利用してサーバを識別する方法も取り得るが、DNSにおいてポート番号も含めた名前解決ができない現状では、サーバが提供するサービスの識別に供することは非現実的であると考えられるため、検討から省いている。



このような状況から、プライベートアドレスとNATによる対応策はサーバに適用することができないため、サーバ設置事業者が自網構成変更によるグローバルIPv4アドレスの捻出を含むどの手段を使ってもIPv4アドレスの確保ができず、なおかつサーバを増設する必要がある場合は、IPv6を利用したサーバ収容しか選択肢がなくなることになる。

また、新規参入事業者がこの方式でサービス提供を行う場合でも、上位のインターネットへ接続するために、最低でも一つ以上のグローバルアドレスが必要となり、この対応策単体では解決しないことになる。

#### 4.5.3 「IPv6 による新規顧客の収容」の評価

IPv6によって新規ホストを収容する場合には、以下のような問題点がある。

- 現在グローバル IPv4 アドレスによる接続サービスを提供していて、新規顧客収容のために IPv6 が利用される場合、IPv6 が普及して IPv6 で通信できる対地が十分多くなるまでの間、実質的にサービス品質の低下となる
- 具体的には、新規 IPv6 クライアントはそのままでは IPv4 インターネットへの接続ができないため、「プライベート IPv4 アドレス+NAT」との併用か、トランスレータ等によって対応を取る必要がある
- 新規 IPv6 サーバは、クライアント側の IPv6 対応（ネイティブ接続あるいはトランスレータ設置）なしには、クライアントからの接続を受けられない。
- 利用者へのアクセス回線がアクセス網提供事業者によって提供される場合、IPv6 の利用が不可、あるいは制限がある可能性がある。

この他に、IPv6という新たなプロトコルによってネットワークを構築運営し、商用サービスとして顧客に提供するためには、ネットワーク機器のIPv6対応、事業者におけるIPv6ネットワーク構築運営のための投資・出費とノウハウの取得蓄積、端末における既存のアプリケーションのIPv6対応、およびこれらを総合したIPv6インターネットとしての安定運営に向けた努力が必要となる。これを既存のIPv4インターネットのサービスを継続しながら新たに実施していくことになる。

これらの課題は事業者にとって大きな負担であることは明らかで、そのことがIPv6の導入が進まない主な原因だと考えられる。また、他事業者のIPv6対応意向が明確でない状況で、自ら先行してIPv6対応に着手することは事業者としては大きなリスクであることもIPv6導入を躊躇させる原因であると思われる。

しかしながら、「何らかの手段でIPv4アドレスを確保する」、「プライベートIPv4アドレス+NATによる新規顧客の収容」の二つには存在している限定性はこの対応策には存在していないため、唯一永続的かつ全体的に適用が可能な対応策と言える。

#### 4.5.4 事業者における各対応策の採用

事業者はここまで検討してきた三つの対応策

- ① 何らかの手段でIPv4アドレスを確保する
- ② プライベートIPv4アドレス+NATによる新規顧客の収容

### ③ IPv6による新規顧客の収容

を、次のような考え方で選択していくことになると考えられる。

まずは①によって、従来通りのサービス提供方法で顧客を収容することを検討し、当面はこれでしのごうとする。

次に、各事業者の事業環境、サービス内容に応じて②あるは③もしくはこれらの両方を選択していくと考えられる。

ここで、②が規模的にもサービス内容的にも、対応策としては限定的である一方で、③はいくつかの解決すべき問題点が克服されることで永続的な対応策となり得る。

特に、既存利用者を含めクライアント側のIPv6対応（IPv4/IPv6デュアルスタック接続）が進めば、相互接続に関する問題の多くをクリアできる可能性がある。また、多くの事業者がこの対応策を取ることが想定できれば、対応のために導入が必要な機器やソフトウェアのコストも低減されていくと考えられる。特にIPv6に関しては、既にJPNIC会員を含む一部の国内大手事業者も対応を表明していることもあり、この対応策の問題点は普及と共に軽減・克服できる可能性が高い。

## 4.5.5 二者間の通信に沿った問題点の整理

三つの対応策に対する問題点をネットワーク上に展開した形で図 4-2 に示す。ただし、この図は利用者やサーバが相互に通信する上での技術的な問題に焦点を当てており、IPv4 アドレス確保の問題、事業者が発生するコストや運営上の問題は割愛してある。

言うまでもなく通信は二者（あるいはそれ以上<sup>11</sup>）の利用者・サーバの間で行われるもので、インターネットの場合は一般的に、通信が複数の接続事業者をまたいで発生する。IPv4 アドレスが入手できなくなった場合には、通信にかかる二者を接続する事業者が採る対応策によって、通信の上で発生する問題は異なる。

この点を整理するため、インターネット上の通信にかかるサーバとクライアントの二者に施される対応策で分類して問題点を示したものが表 4-2 である。

---

<sup>11</sup> この報告書では IP ユニキャスト通信だけに議論の対象を絞り、以下二者間通信を前提として記述する。

図 4-2 IPv4 アドレス在庫枯渇による主な問題点

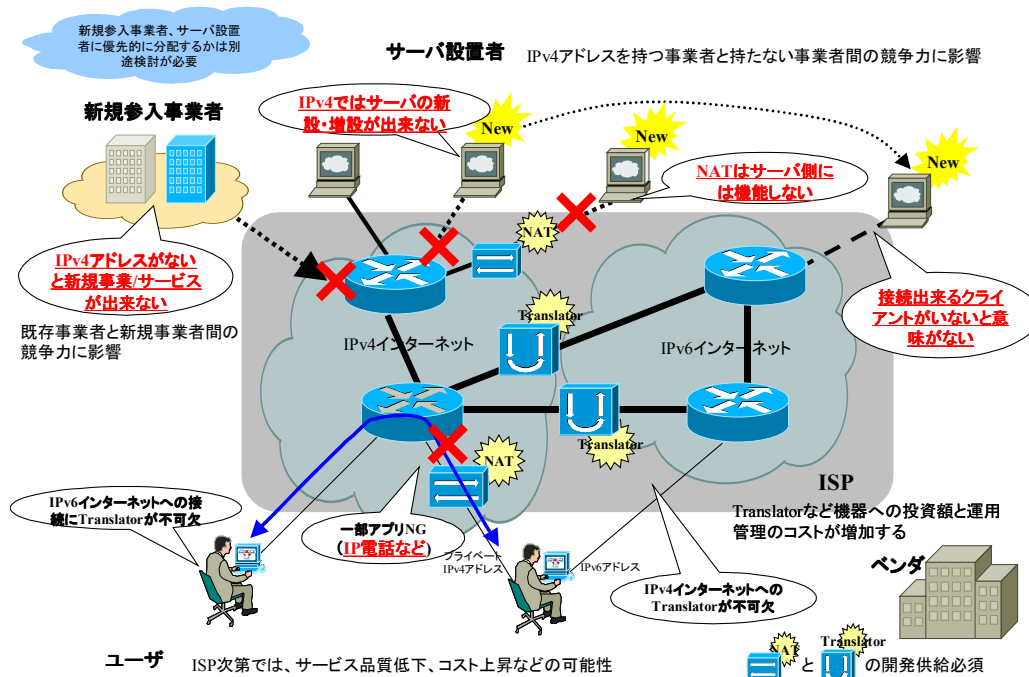


表 4-2 クライアント/サーバ型通信における対応策の適用評価

クライアント \ サーバ	IPv4を確保	NAT+private	IPv6対応	クライアント適用評価
IPv4を確保	◎ (Native)	×	△ (クライアント側 Translator)	アドレス供給の適時性、継続性に難あり
NAT+private	○ (クライアント側 NAT)	×	△ (クライアント側 Translator)	スケーラビリティに不安がある
IPv6対応	△ (クライアント側 Translator)	×	◎ (Native)	トランスレータ技術は確立していない
サーバ適用の評価	アドレス供給の適時性、継続性に難あり	サーバに対する対応策にならない	トランスレータは確立していない	

表 4-2 をみて際立つことは、プライベート IPv4 アドレス+NAT の対応策がサーバにおいて適用できないということである。また、サーバにおける IPv6 による新規顧客の収容においては、トランスレータによる対処、クライアントの IPv6 化を含めて、クライアント側（利用者および利用者を収容する接続事業者）において対処が必要となるのがわかる。

## 4.5.6 結論

4.5 の検討結果を以下の通りまとめる。

- i. どの対応策にもいくつかの問題点があり、その問題点を解決するためには一定のコストがかかる。事業者がどの対応策を取るかはコストを含めた得失を分析して、対応策の取捨選択・併用等を検討することが必要である。
- ii. 「何らかのやり方で IPv4 アドレスを確保」は、確保さえできれば技術的問題はなく、今まで通りの方法で新規顧客の収容が可能であるが、自網内から捻出したとしても、またインターネットレジストリによる回収・再在庫化、再分配が実現したとしても、IPv4 アドレスの供給量が不明であるとともに、効果は限定的である。
- iii. 「プライベート IPv4 アドレス+NAT による新規顧客の収容」は、クライアント（一般インターネット利用者）を収容するための対応策として、利用者数が小規模（数万顧客まで）であれば、既存のサービス（IPv4 で接続されたサーバとの通信）を維持する上で選択し得る対応策である。しかし、現在のところ大規模事業者に対応できるスケラビリティは確保されていない。
- iv. 「IPv6 による新規顧客の収容」にはアプリケーション、ネットワーク機器、ネットワーク構築運営等さまざまなレベルの対応と投資・出費、技術や知見の獲得が必要であり、これが事業者における IPv6 導入の障壁となっている。しかしながら、三つの中で唯一永続的かつ全体的に適用が可能な対応策である。
- v. 事業者においては、インターネットレジストリにおける IPv4 アドレスの在庫が枯渇した後は、今まで通りの方法で新規顧客の収容が可能な ii. でのぎながら新規顧客を収容し、iii.、iv. の対応策を選択していくものと考えられる。
- vi. 新規サーバの収容に関して iii.の対応策を適用することができないため、ii.の対応が不可能となった後は iv. しか対応策がない。またサーバ設置事業者が iv. の対応策を採った後に、クライアントからのアクセスを実現するためにはクライアント側（利用者および利用者を収容する接続事業者）側で、トランスレータあるいは IPv6 導入等の対応が必要となる。

対応策の選択が、経済合理性等の観点から事業者各自で判断されていくべきであることは言うまでもないが、まず事業者において検討されるのは、技術的な問題点がない「何らかの手段でIPv4アドレスを確保する」であろう。次にこれが不可能と判断される時点で、「プライベートIPv4アドレス+NATによる新規顧客の収容」、「IPv6による新規顧客の収容」が検討されるものと考えられる。

次に、「プライベートIPv4アドレス+NATによる新規顧客の収容」は、各事業者が置かれた状況に応じて有効な場合や局面があって選択されることがあるものの、スケラビリティやサービスの限定性から、最終的にはすべての事業者が「IPv6による新規顧客の収容」にも対応していくだろう。

vi.は問題の発生する個所（サーバ設置事業者）と対策を講じる個所（接続事業者）が異なり、解決は容易ではない。「何らかの手段でIPv4アドレスを確保する」による対応が不可能となり、iv.のようにIPv6で新規サーバを収容しようとしても、アクセスする利用者がごく限られている状況であれば、サーバ設置事業者におけるIPv6対応は投資効果の観点からはなかなか正当化しづらい。これと同様に接続事業者側でも、ごく限られた数のIPv6サーバへの接続のためだけにIPv6対応を行うことはなかなか正当化できないことである。

このようにサーバ・クライアントの両側で連鎖的な停滞に陥ることはインターネットの発展を妨げる大きな問題である。それを防ぐためには、「何らかの手段でIPv4アドレスを確保する」が不可能となる時点までに、接続事業者、サーバ設置事業者の双方で、何らかの形でIPv6対応が完了している必要がある。

これは正に「鶏と卵」の問題であり、一旦IPv6対応の流れが進み始めれば、技術的課題の解決や導入コストの低廉化も順を追って進んでいくものと考えられる。4.5.4で触れたように、大手事業者においてIPv6対応が既に表明されているため、事業者におけるIPv6対応の流れが顕在化するとともに導入障壁は低くなり始め、「IPv6による新規顧客の収容」がコスト対効果の観点からも有利と判断されるクロスポイントの到来は、それほど遠くないものと考えられる。

このような考察から、IPv4アドレス在庫枯渇に対応するにあたって、各事業者におけるIPv6導入推進が、インターネットの全体的かつ継続的な成長に対する最も効果的な対応策であろうと考えられる。

IPv6導入に関しては、4.5.3や後述の4.6.3で述べられたような問題点や課題が存在している。またIPv4アドレスの入手可能性は、IPv6導入の計画を行う上の時間的猶予を決める重要な要素である。JPNICでは関連組織との連携によって、これらの問題点や課題の解決、不明点の明確化を通じて、事業者におけるIPv6導入が円滑に進むための対応を進めていく。

図 4-3に、IPv4アドレス在庫枯渇と在庫の使いまわしの限界、それに対応した対処の流れを示す。また図 4-4に、既存のインターネット上の利用者、サーバでIPv6対応を行うことによって、新たに接続される利用者、サーバとの通信性が確保されるイメージを図示した。

図 4-3 IPv4 在庫枯渇対応のロードマップイメージ

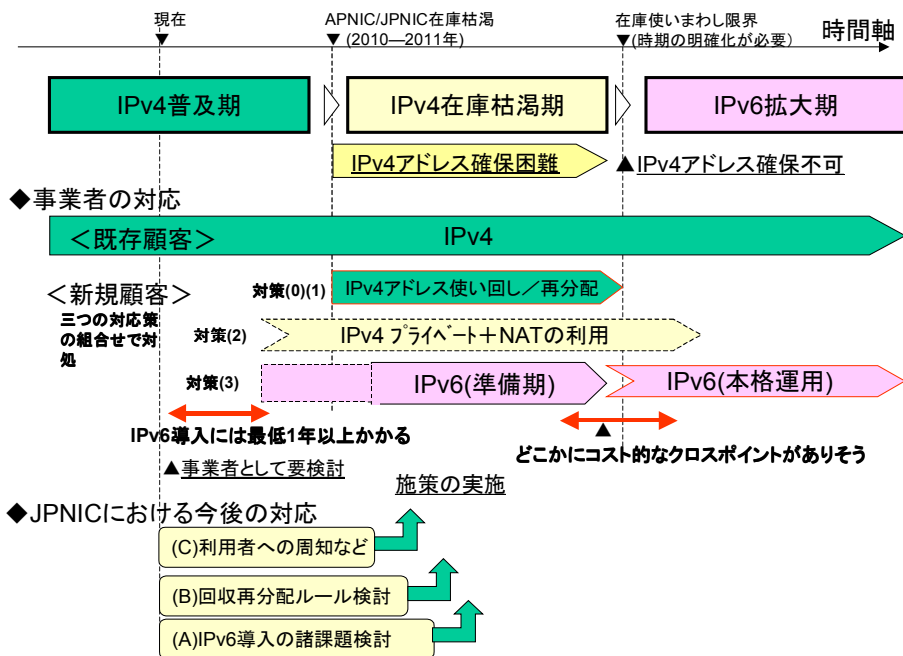
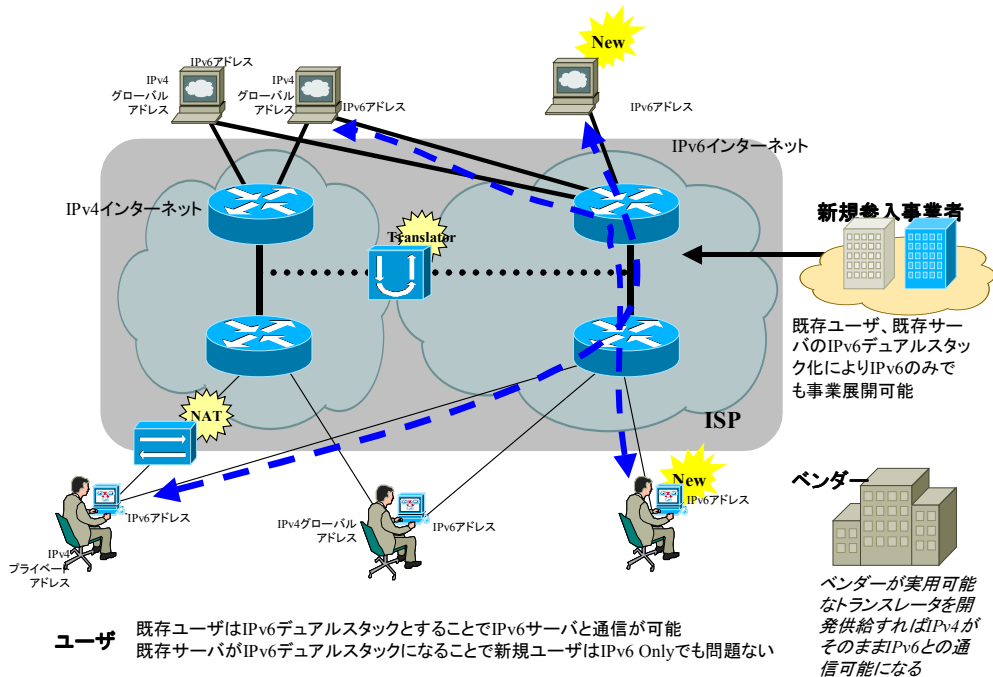


図 4-4 考えられる理想的対応例

**サーバ設置者** 既存サーバはIPv6デュアルスタックとすることでIPv6クライアントと通信が可能  
 既存ユーザがIPv6デュアルスタックになることで新規サーバはIPv6 Onlyでも問題ない



## 4.6 三つの対応策の問題点とその解決策

本節では、前項の三つの対応策を評価するにあたり、それぞれの問題点とその解決策案をまとめた。また、それぞれの解決策案を誰が主体となって実施するかについても整理を行った。

### 4.6.1 「何らかの手段で IPv4 アドレスを確保する」の問題点と解決策

	問題点	説明	解決策案
A	自網からの余剰アドレスを捻出するのにコストがかかる	自ネットワークからまとまったアドレスを捻出するために、セグメント構成を見直す、管理監視系システムをプライベートアドレスに振り替える、サーバを少数大規模化する、等いずれの方法を取ったとしても、投資や習熟のための時間と手間と費用がかかる	合理化努力を行う、コストをサービス価格へ転嫁する等、対応により増加したコストを吸収する
B	回収再分配のルールが確立していない	現在のアドレス管理ルールでは IPv4 アドレスの移転は認められていない。また、回収再分配に関しては、「未利用の IP アドレスはインターネットレジストリに返却する」ことがルール上定められているものの、あくまで任意であり、強制的な回収を具体的に定めるものは、APNIC と LACNIC において一部のケースに関して存在しているに過ぎない	ICANN/RIR/NIR を始めとする関係組織間でアドレス管理ルールの整備、見直しを推進し、IPv4 アドレスの再利用を可能にする
C	BGP ルーティングテーブルのエントリ数が増大する可能性がある	再配分される IPv4 アドレスは細分化されたブロックになる恐れが大きく、現在 24 万経路に到達している BGP ルーティングテーブルにおける経路情報のエントリ数をさらに増大させることとなり、インターネット経路制御システム全体、あるいは個々のルータの安定性に対して大きな影響がある	インターネットコミュニティにおける運用ガイドライン等のコンセンサス作りを推進し、正常なルーティングを維持できるようにする
D	タイムリーにアドレスの供給が受けられない可能性がある	インターネットレジストリによる回収再分配に頼る場合、必要なときにいつも供給を受けられるとは限らない	これには直接的な解決策がないため、この問題点がクリティカルな場合は、他の対応策を採用するしかない

#### 4.6.2 「プライベート IPv4 アドレス+NAT による新規ホストの収容」の問題点と解決策

	問題点	説明	解決策案
A	対応策実施にあたり、新たな投資や費用が必要となる	ネットワーク設計や運用管理方式の見直しおよび NAT 対応機器の導入等の投資および設計、構築、運用管理のための手間や費用がかかる	合理化努力を行う、コストをサービス価格へ転嫁する等、対応により増加したコストを吸収する
B	プライベート IPv4 アドレス+NAT の利用により一部アプリケーションが正常に動作しない可能性がある	事業者側 NAT と利用者宅側 NAT で二重の NAT となるケースがあり、その場合、NAT トラバーサル技術が多段 NAT に対応したものとなっていないため、一部のアプリケーションが動作しなくなる	利用者側ルータの設定を変更して二重 NAT を解消する。または、NAT トラバーサル技術の改良を検討する
C	Abuse 対応のため膨大な NATLog を取得し管理する必要がある	Abuse 対応のため利用者の利用をトラックできるようにする必要があるが、NATLog を取得する必要があるが、NATLog は膨大なため保存と管理に手間とコストがかかる	ログ管理の仕組み構築と対応フローを完備しておく
D	NAT の WAN 側のグローバルアドレスがブラックリスト等に載り通信できなくなる可能性がある	NAT の WAN 側に割り当てられたグローバルアドレスが、何らかの理由でブラックリスト等に掲載されルーティングされなくなり、NAT 配下のユーザがすべて接続できなくなる	リストから外してもらうよう管理者に依頼する。配下の悪質なユーザを監視して排除できるようにする
E	利用者ネットワークと事業者ネットワークで利用するプライベートアドレスが重複する可能性がある	現在プライベートアドレス空間としては RFC1918 で定義されたものしかないため、この中から事業者ネットワークで利用する場合に、利用者が既に宅内で利用しているアドレスレンジと重複する可能性がある	RFC1918 アドレス空間とは別に、事業者用プライベートアドレス空間の設置をアドレスポリシーで定める
F	新規顧客に対して既存顧客と同等のサービスを提供できない	既存のグローバルアドレスによるインターネットへの直接接続と異なり、事業者 NAT が間に介すことで、インターネットからの直接アクセスを受けることができなくなり、一部アプリケーションが動作しない、あるいはインターネットへ直接接続する場合と比較し、パフォーマンスが落ちる可能性もある	サービス種別を分ける、事前に新規顧客への周知を徹底する等して、利用者があらかじめ理解した上で利用してもらうようにする
G	アクセス網提供事業者がプライベートアドレスの利用に対応していない	多くのインターネット接続事業者が、利用者宅までの足回りをアクセス網提供事業者に依存している状況であるが、このアクセス網でインターネット接続事業者がプライベートアドレスを利用することに対応していない	アクセス網提供事業者と調整する、もしくは事業者用プライベートアドレス空間の設置をアドレスポリシーで定める
H	プライベート IPv4 アドレス+NAT 構成はサーバには機能しない	グローバルなインターネットからアクセスを受けるサーバの場合、プライベート IPv4 アドレス+NAT による構成では、名前解決や通信が機能しないため、対応策としては有効ではない	これには直接的な解決策がないため、この問題点がクリティカルな場合は、他の対応策を採用するしかない
I	新規参入事業者は、事業者 NAT のインターネット側に少なくとも一つ以上のグローバルアドレスが必要となる	インターネット接続事業者等を新規に立ち上げようとした場合、顧客側ネットワークはプライベートアドレスで構築したとしても、IPv4 インターネットへの接続性を確保するため、上流側に一つ以上のグローバルアドレスが必要となる	これには直接的な解決策がないため、この問題点がクリティカルな場合は、他の対応策を採用するしかない



## 4.6.3 「IPv6 による新規顧客の収容」の問題点と解決策

	問題点	説明	解決策案
A	対応策実施にあたり、新たな投資や費用が必要となる	ネットワーク設計や運用管理方式の見直しおよび IPv6 対応機器の導入等の投資および設計、構築、運用管理のための手間や費用がかかる	合理化努力を行う、コストをサービス価格へ転嫁する等、対応により増加したコストを吸収する
B	既存の端末およびネットワーク機器の IPv6 対応や仕様変更等を行う必要がある	サービスの IPv6 対応を行うため、機器の仕様変更あるいは対応機器への入れ替えが必要になる可能性がある。例えば、現在 CATV ネットワークで利用されているケーブルモデルはほとんどが IPv6 に対応していないため、新たなケーブルモデムの開発と利用者宅への設置が必要となる	ベンダーに必要機器を開発してもらおう。必要な対応機器を調達し、入れ替えを行う
C	新規 IPv6 クライアントはそのままでは IPv4 インターネットへの接続ができない	IPv6 と IPv4 には互換性がないため、新規 IPv6 クライアントは、そのままでは IPv4 のクライアントと通信することができず、(当初は少数であると思われる)IPv6 サーバだけしか接続ができない	サーバ側のデュアルスタック対応を推進する。IPv4 インターネットへ接続するためのトランスレータを開発してもらい、導入・設置する
D	新規 IPv6 サーバはクライアントの IPv6 対応なしにはクライアントからの接続を受けられない	新規サーバを IPv6 で収容する場合、接続するクライアント側を IPv6 対応にするか、IPv4 から接続するとしても、接続する側にトランスレータを設置する等、アクセスする側の対応に依存することになり、接続を受けるためにサーバ側で行う対応はあまりない	クライアント側のデュアルスタック対応を推進する。IPv4 クライアントから接続するためのトランスレータを開発してもらい、各事業者に導入を促す
E	既存のソフトウェア、アプリケーションが IPv6 対応していない	現在広く利用されているソフトウェアやアプリケーションの一部がそのままでは IPv6 の通信に対応していないため利用できない場合がある	早期に検証環境を構築し、対応していないアプリケーションの洗い出しを行い、顧客への周知を徹底する等して、利用者があらかじめ理解した上で利用してもらうようにする
F	新規顧客に対して既存顧客と同等のサービスを提供できない	既存の IPv4 インターネットと異なり、IPv4 と IPv6 は直接接続できない他、プロトコル仕様の違いによりサービスの性質も異なっていると言える	サービス種別を分ける、事前に新規顧客への周知を徹底する等して、利用者があらかじめ理解した上で利用してもらうようにする
G	アクセス網提供事業者が IPv6 の利用に対応していない	多くのインターネット接続事業者が、利用者宅までの足回りをアクセス網提供事業者に依存している状況であるが、このアクセス網でインターネット接続事業者が IPv6 を利用することに対応していない	アクセス網提供事業者と調整する

#### 4.6.4 解決策案の分類と実施主体

前項で列挙した、対応策毎の問題点については解決策案を踏まえて大きく以下のよう  
に分類できる

- コスト負担が必要な問題
- 技術的な解決が必要な問題
- ルール作りや周知で解決する問題
- アクセス網の対応により解決する問題
- 直接的な解決策がない問題

また、解決策案を実施する人を軸に以下の3種類に分類することができる。

- ハード/ソフトベンダーが実施するもの
- 事業者自身が実施するもの
- コミュニティが連携して実施するもの

この分類にしたがって、問題点、解決策案、実施主体を下記の表に整理した。

表 4-3 対応策毎の問題点と解決策案の分類と実施主体

	対応策	問題点	問題の種類	解決策	解決主体
①	何らかの手段でIPv4アドレスを確保する	A 自網からの余剰アドレスを捻出するのにコストがかかる	コスト	合理化努力、価格転嫁によるコスト吸収	事業者
		B 回収再分配のルールが確立していない	ルール	アドレス管理ルールの整備、見直し推進	コミュニティ
		C BGP経路テーブルのエントリ数が増大する可能性がある	ルール	コミュニティによる運用ガイドライン作り推進	コミュニティ
		D タイムリーにアドレスの供給を受けられない可能性がある	解決策なし	直接的な解決策がないため他の対応策を採用する	事業者
②	プライベートアドレスとNATによる新規ホストの収容	A 対応策実施にあたり、新たな投資や費用が必要となる	コスト	合理化努力、価格転嫁によるコスト吸収	事業者
		B プライベートアドレス+NATの利用により一部アプリケーションが正常に動作しない可能性がある	技術	二重NATの解消 NATトランスレータ技術の改良	事業者 ベンダー
		C Abuse対応のため膨大なNATLogを取得し管理する必要がある	コスト	ログ管理の仕組み構築と対応フロー完備	事業者
		D NATのWAN側のグローバルアドレスがブラックリスト等に載り通信できなくなる可能性がある	コスト	リストからはずしてもらおうようお願いする。配下の悪質なユーザを監視して排除できるようにする	事業者
		E 利用者ネットワークと事業者ネットワークで利用するプライベートアドレスが重複する可能性がある	ルール	事業者サービス提供用プライベートアドレス空間を設置するポリシー作り	コミュニティ
		F 新規顧客に対して既存顧客と同等のサービスを提供できない	ルール	サービス種別を分ける、顧客へ事前に周知し理解を求める	事業者
		G アクセス網を提供する事業者がプライベートIPv4アドレスの利用に対応していない	アクセス網	アクセス網事業者が対応してもらう	事業者
		H プライベートアドレス+NAT構成はサーバには機能しない	解決策なし	直接的な解決策がないため他の対応策を採用する	事業者
		I 新規参入事業者は、事業者NATのインターネット側に少なくとも一つ以上のグローバルアドレスが必要となる	解決策なし	直接的な解決策がないため他の対応策を採用する	事業者
③	IPv6による新規ホストの収容	A 対応策実施にあたり、新たな投資や費用が必要となる	コスト	合理化努力、価格転嫁によるコスト吸収	事業者
		B 既存の端末及びネットワーク機器のIPv6対応や仕様変更などを行う必要がある	技術	必要機器の開発と導入	ベンダー 事業者
		C 新規IPv6クライアントはそのままではIPv4インターネットへの接続ができない	技術	サーバ側のデュアルスタック対応推進 トランスレータの開発と導入	事業者 ベンダー
		D 新規IPv6サーバはクライアントのIPv6対応なしにはクライアントからの接続を受けられない	技術	クライアント側のデュアルスタック対応推進 トランスレータの開発と導入	事業者 ベンダー
		E 既存のソフトウェア、アプリケーションがIPv6対応していない	ルール	動作検証による確認、顧客へ事前に周知し理解を求める	事業者
		F 新規顧客に対して既存顧客と同等のサービスを提供できない	ルール	サービス種別を分ける、顧客へ事前に周知し理解を求める	事業者
		G アクセス網を提供する事業者がIPv6利用に対応していない	アクセス網	アクセス網事業者が対応してもらう	事業者

この表を整理することによりわかることは、対応策として①と②には直接的な解決策がない問題点の一つ以上含まれるが、③についてはそれがなく、各問題点を解決することで、唯一永続的で全体に適用可能な対応策になるということである。

これらの問題点の解決には、解決策案の実施主体がそれぞれ次のような役割を担っている

くことになる。

- ベンダー： 主要なネットワーク機器、ソフトウェアの対応なくして、IPv4 アドレス在庫枯渇への対応は不可能であり、ベンダーの対応如何により IPv4 アドレス在庫枯渇に向けた対応の成否が決定すると言っても過言ではない。特に③が唯一永続的かつ全体に適用可能な対応策であるという結論から考えると、ベンダーに期待する役割は大きいものになると言える。
- 事業者： IPv4 アドレス在庫枯渇対応のメインプレイヤーであり、最も主体的に各対応策を実施していく必要がある。そのためコスト負担も大きくなるが、対応策を取らないと事業推進が不可能になるため、対応策の選択と問題点の解決に対して、早期の検討と着手が不可欠になる。
- コミュニティ： アドレス管理ルール作りや運用ルール作り等、IPv4 在庫枯渇時期に向け、事前の取り組みが重要なポイントになる。また、各対応策は事業者が足並みを揃えて実施することがコスト面でもより効果的である。そのため、業界団体等が中心となり、事業者がマクロ的な観点から最適な対応策を選択できるようにするための情報提供やガイダンスを行っていくことも重要な取り組みとなる。

## 4.7 技術的課題に関する現状の考察

この項では、4.5 で挙げられた問題点に関し、特に技術的な課題として大きいと思われるものをピックアップし、その問題点の内容について技術的な観点から掘り下げて考察を行った。

### 4.7.1 IP 電話が NAT やトランスレータの介在によって直面する問題

050番号、0AB-J番号ともにIP電話をプライベートIPv4アドレス+NAT環境下やIPv6ネットワークからIPv4ネットワークにまたいで、トランスレータ等を経由して利用しようとした場合の問題点について整理する。

ブロードバンドサービスにおいては、IPv4アドレス在庫枯渇により、グローバルIPv4アドレスが付与できなくなると、事業者内ネットワークにおいて大規模NATの導入、またはIPv6アドレスのみの付与が想定される。IP電話では、SIP (Session Initiation Protocol)を用いており、これに対応したNAT越え/プロトコル変換技術が必要となる。

通常のアプリケーションに対しては、NAT外部からNAT内部を呼び出すため、UPnP、STUN等のNAT越え技術がよく用いられる。しかしSIPのNAT越えについては、パケットのペイロードに含まれるIPアドレス情報も書き換える必要がある。そこで、アプリケーションレベルのパケット書き換えおよびプロトコル変換を実行可能なNAT/ALG(Application Level Gateway)装置を新規導入する必要がある。上記のような技術的な課題について現在では改善されつつある。

IP電話の通話中の遅延時間にかかわる商用サービスガイドラインとして、End-to-Endの一方方向遅延は以下のように定められている。

- 050 番号サービス：400msec 以下
- 0AB-J 番号サービス：150msec 以下

NAT/ALGの導入は、アドレス接続遅延、通話中の遅延時間に影響する。NAT/トランスレータとも、コーデックトランスレータではないため、通話品質（音声の明瞭性）そのものには影響はなく、主に遅延時間にかかわる品質の影響があるものと考えられる。

### 4.7.2 トランスレータ技術の現状

本節では、IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワーク間での通信を行う上で必要となるプロトコル変換装置（トランスレータ）の現状について述べる。

トランスレータに関する技術仕様は下記の通りである。

- SIIT (RFC2765: Stateless IP/ICMP Translation Algorithm)
- NAT-PT (RFC2766: Network Address Translation - Protocol Translation)
- TRT (RFC3142: IPv6-to-IPv4 Transport Relay Translator)

現在、これらの技術仕様を実装した製品が市販されている（具体的な製品は後述）。

IPv6→IPv4方向のトランスレータによる通信の特徴は、一般論として、IPv4アドレス空間（32ビット）をIPv6アドレス空間（128ビット）に射影できるため、静的なアドレス変換処

理が可能ということである。実際の製品としてはDNSと連携するものが多く、この場合、DNSとの連携手法が問題となる。

一方、IPv4→IPv6方向の通信に関する特徴としては、DNSとの連携等による動的で複雑な変換処理が必要となることが挙げられる。基本的には、変換後のアドレスとして、相当数のIPv4アドレスが必要となる。上位層のプロトコルによりノードの特定ができる場合等には変換アドレスの多重化が可能である（上位プロトコルのポート番号の利用や、HTTP 1.1によるURL識別等）。

トランスレータ全般的な課題としては、NAPTと同様の問題が存在することが大きい。ペイロード部分に埋め込まれたIPv4アドレスは変換することができない(SIP,HTTP等)他、変換テーブルの保持時間や、ラージスケール環境で実用に堪えるトランスレータ製品の実例がない、といった問題点が挙げられる。

トランスレータ技術の標準化に関する動向であるが、昨今関連技術に対する注目度が低下しており、既存の関連仕様についての議論はあまり行われていなかった。一方で、トランスレータで広く用いられている技術標準(NAT-PT)に関するRFCが、IPv6インターネットへのNATの導入につながるという理由から、廃止(historic)ステータスになっている。しかしながら、IPv6普及に伴うトランスレーション技術の重要性についての認知は高まっており、IETFにおいても、NAT-PTに代わる技術の検討が開始される予定である。

現在市販製品として出荷されているトランスレータは以下の通りであり、ほとんどの製品がNAT-PTを拡張した技術を用いていると思われる。

表 4-4 現行トランスレータ製品一覧

製品名	メーカー	備考
TTB シリーズ 参考 URL <a href="http://www.yokogawa.co.jp/ipnet/ttb/">http://www.yokogawa.co.jp/ipnet/ttb/</a>	横河電機	SIP-ALG もあり
AG8100-T シリーズ 参考 URL <a href="http://network.hitachi.co.jp/gateway/ag8100t.html">http://network.hitachi.co.jp/gateway/ag8100t.html</a>	日立製作所	
IP Translator シリーズ 参考 URL <a href="http://www.seiko-p.co.jp/news/news-2003/news_sx3520iptrans.html">http://www.seiko-p.co.jp/news/news-2003/news_sx3520iptrans.html</a>	セイコープレジジョン	
NETSTAGE/IPv6 Access GEAR Standard Edition 参考 URL <a href="http://globalserver.fujitsu.com/jp/software/netstagev6g/index.html">http://globalserver.fujitsu.com/jp/software/netstagev6g/index.html</a>	富士通	ソフトウェアで提供?
SEIL シリーズ 参考 URL <a href="http://www.seil.jp/seilseries/seil/_other_s.html">http://www.seil.jp/seilseries/seil/_other_s.html</a>	IJ	利用者宅内装置
IPv6-IPv4 コンバータ 参考 URL <a href="http://www.silex.jp/japan/products/network/others/sx2600cv.html">http://www.silex.jp/japan/products/network/others/sx2600cv.html</a>	サイレックス・テクノロジー	

なお、この他にIPv6対応ルータでNAT-PT機能を備えた製品も存在する (Cisco、日立等)。

### 4.7.3 NAT トラバーサル技術の現状と多段 NAT 下での問題点

最初に UPnP 技術の現状と多段 NAT 環境下での問題について考察する。

UPnP の規格においては、インターネットへ接続する機器を IGD (Internet Gateway Device) と定義する。IGD には、事業者との接続を行う WAN インタフェースと、クライアントとの接続を仮定した LAN インタフェースがある。IGD には、NAPT 内のクライアントからの要求に基づき、WAN 側インタフェースの特定ポート番号宛での通信を、LAN 内クライアントの特定のポート宛てに転送する Port Mapping 機能がある。この Port Mapping 機能により外部から IGD 内部へ接続が転送され、外部からコネクションを確立できるようになる。

多段 NAT 環境下においては、この UPnP IGD の Port Mapping 機能を利用しようとする場合、NAT の内部にある IGD から、グローバル IP アドレスを有する IGD に対して Port Mapping 設定要求が中継される仕組みがないため、インターネットに接続された IGD において Port Mapping が設定されない。また、仮にこの問題が解決したとしても、グローバル IP アドレスを有する IGD と、その内部にある IGD が Port Mapping の制御において連携を行う必要があるが、IGD 間でポート番号情報を共有する仕組みは存在しない。さらに、セッションの保持期間の違いや、それぞれの IGD において同一の短命ポート番号を利用しつづける保証はないため、多段 NAT 環境下において UPnP を利用することは困難である。

次に、NAT トラバーサル技術に関する課題について考察する。

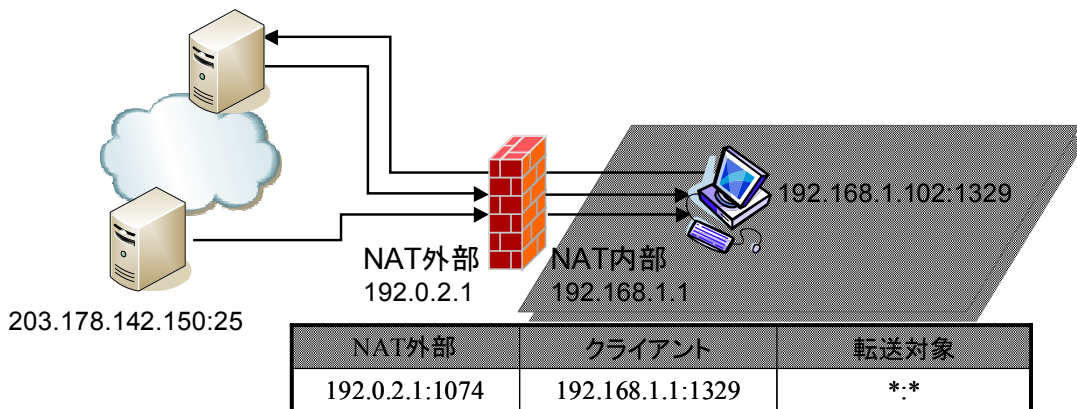
NAPT 実装には多くの種類があり、実装は特定の通信が行われている条件下で、NAPT の外部から内部へ通信を行うことができる。NAT トラバーサル技術は、この性質に着目し、NAPT 実装の種類を判別し、NAPT の外部から内部へ通信を行う技術である。

NAT トラバーサル技術は、基本的に多段 NAT 環境を想定していないため、正常に動作しないことが予想される。特に、異なる種類の NAPT 実装の組み合わせによる多段 NAT 環境においては、複数の NAPT 実装を判断し、適切な技法を利用する必要があるため、NAT トラバーサルは非常に困難である。NAT の外部にあるサーバを用いて通信の中継を行うタイプの NAT トラバーサル技術については、多段 NAT 環境下においても利用可能であると考えられるが、NAPT 装置のタイマの問題等、課題が依然として存在する。これまで述べたように、IPv4 における NAT トラバーサル技術には多くの技術的制約が存在する。一方で、IPv4 の多段 NAT 環境下で外部からの通信を行う手段として、Teredo をはじめとする IPv6 トンネリング技術という選択肢もありうるだろう。

また、さまざまな NAT の実装について個別に説明を行う。これは RFC3489 にて、NAT 越え技術の議論の中で主要な実装が整理されているものである。

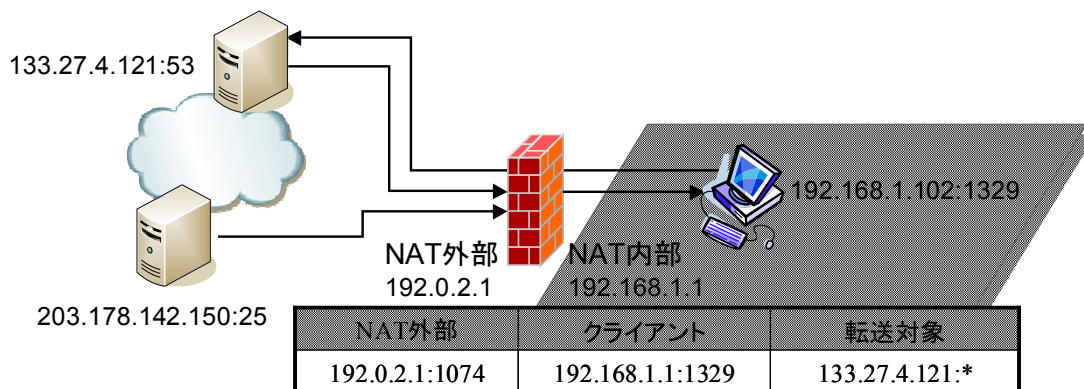
以下 4 種類の NAT 実装に対する UDP の処理を説明する。なお、必ずしもこれらの分類に当てはまらない実装も存在する。

i) Full Cone NAT



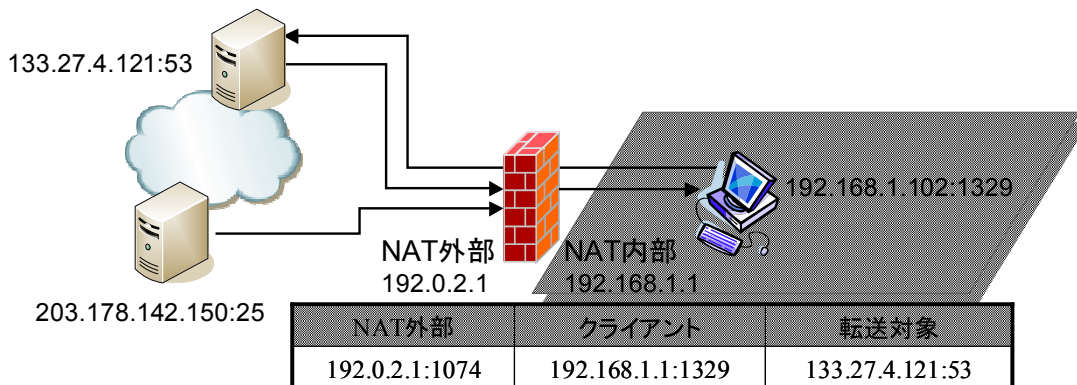
- ・Full Cone NAT の動作
  - NAT 内部のクライアントがパケットを最初に送信した際に、NAT ルータの外部インタフェースのポート番号とクライアントのポート番号が 1:1 で割り当てられる
  - NAT 外部に割り当てられた IP アドレス/ポート番号がパケットを受信した場合、**任意の IP アドレス/ポート番号からのパケット**を NAT 内部に転送

ii) Restricted Cone NAT



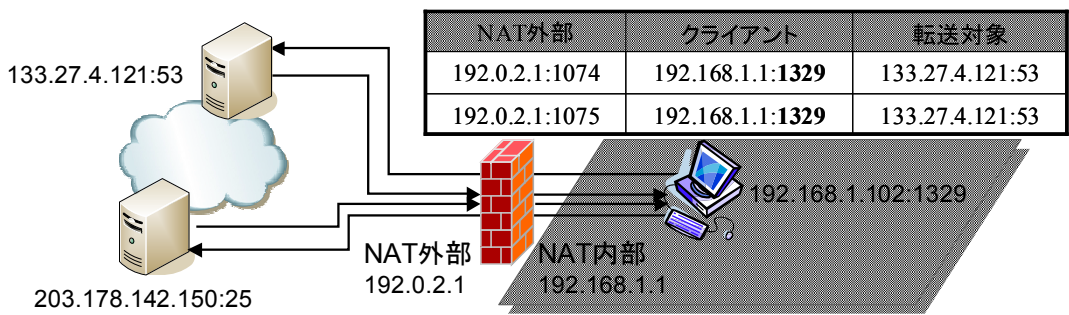
- ・Restricted Cone NAT の動作
  - NAT 内部のクライアントのポートと NAT ルータの外部インタフェースのポート番号が 1:1 で割り当てられる
  - NAT 外部に割り当てられた IP アドレス/ポート番号がパケットを受信した場合、**NAT のエントリの相手先 IP アドレス(クライアントが接続した相手先 IP アドレス)**からのパケットをポート番号にかかわらず NAT 内部のクライアントに転送

iii) Port Restricted Cone NAT



- ・Port Restricted Cone NAT の動作
  - NAT 内部のクライアントのポートと NAT ルータの外部インターフェースのポート番号が 1:1 で割り当てられる
  - NAT 外部に割り当てられた IP アドレス/ポート番号がパケットを受信した場合、**NAT のエントリの相手先 IP アドレスとポート番号**(クライアントが接続した相手先 IP アドレス)からのパケットを NAT 内部のクライアントに転送

iv) Symmetric NAT



- ・Symmetric NAT の動作
  - これまで説明した以外の NAT
  - NAT 内部のクライアントのポートと、NAT ルータの外部インターフェースのポート番号はセッション毎に割り当てられる
  - NAT 外部に割り当てられた IP アドレス/ポート番号がパケットを受信した場合、**NAT のエントリの相手先 IP アドレスとポート番号**(クライアントが接続した相手先 IP アドレス)からのパケットを NAT 内部のクライアントに転送



#### 4.7.4 IPv6 における電子証明書利用の問題点

IPv6において電子証明書を利用しようとした場合の課題について整理する。

まずバーチャルホストにおける課題として、現在普及しているSSLの実装においてはサーバ証明書毎にIPアドレスが必要であることが挙げられる。HTTPでは、HTTP/1.1 の Host: ヘッダにより、単一のIPアドレスで名前ベースのバーチャルホストを実現しており、SSL/TLSでは、Host: ヘッダによるホストの識別が行われる前の段階(接続の確立時)でサーバ証明書を交換・検証するため、SSL/TLSの利用時には名前ベースのバーチャルホストを行うことはできない。したがって、現状においてはSSL/TLSが必要なサイトでは、必然的にIPベースのバーチャルホストを選択せざるを得ず、サーバ証明書の枚数分のIPアドレスが必要になる。

なお、単一のIPアドレスのみでSSL/TLSのバーチャルホストを実現する技術が存在するものの、証明書の機能面での制約や、WebサーバやWebブラウザにおける実装が進んでいない等といった課題がある。

また、電子証明書に含まれる失効証明書リスト(CRL)のURLに対し、IPv4の到達性しかない場合、IPv6 onlyの環境下から電子証明書の失効状況を確認できないという問題もある。一般的なサーバ証明書では、コモンネームにドメイン名を用いているため、DNSの名前解決ができれば、IPv4でもIPv6でも利用可能であるが、一部のサーバ証明書<sup>12</sup>においては、IPv4アドレスをコモンネームとして用いているため、IPv6への対応には仕様変更が必要となる。

---

<sup>12</sup> GlobalSign グローバル IP、<http://jp.globalsign.com/service/ssl/option/globalip.html>

表 4-5 単一の IP アドレスで SSL/TLS のバーチャルホストを実現する技術とその課題

	一般的なサーバ証明書	サーバ証明書の拡張(仕様変更)	プロトコルの仕様変更
要素技術/ プロトコル	SSL/TLS	subjectAltName属性を含むX.509証明書RFC3280	Server Name Indication RFC3546
実装	○ Webサーバ/Webブラウザともに広く普及		△限定的
証明対象 コモンネーム	単一	複数	単一
複数証明書の 利用	△(サーバ証明書の 枚数分のIPアドレス が必要)	×(同一証明書を利用する ため、コモンネーム以外の 証明項目は共通)	○
対応製品例		サーバ証明書: Entrust Unified Communications Certificates[2] Comodo Unified Communications Certificates [3] CSP SSL Multi-Domain Certificates [4] DigiCert® Unified Communications Certificates[5]	クライアント: Internet Explorer 7, Firefox 2 サーバ: mod_ssl + patch[1], or mod_gnutls (Apache module)

※その他の技術として、RFC2817 Upgrading to TLS Within HTTP/1.1 や、ワイルドカード証明書も候補に挙げられるが、前者は実装が極めて限られていること、後者ではサブドメイン以外に適用できないことから本リストから除外した。

[1] [http://issues.apache.org/bugzilla/show\\_bug.cgi?id=34607](http://issues.apache.org/bugzilla/show_bug.cgi?id=34607)

[2] <http://www.entrust.net/ssl-certificates/unified-communications.htm>

[3] <http://www.comodo.com/msexchange/>

[4] <http://cspssl.jp/>

[5] <http://www.digicert.com/unified-communications-ssl-tls.htm>

## 5 ステークホルダーからの意見

この章では、IPv4アドレス在庫枯渇問題およびこの検討で寄せられた意見をまとめる。

5.1 では、この検討の開始当初に、JPNIC会員を対象に行われたアンケートの結果を示す。

5.2 では、この検討成果に対してインターネットに関係する諸ステークホルダーからの意見をいただくために設置した「IPv4アドレス在庫枯渇対応諮問委員会」の会合で寄せられた意見を示す。

### 5.1 JPNIC 会員アンケート

#### 5.1.1 実施概要

目的：

在庫枯渇に関する会員の認識状況を定量的なデータとして確認し、IPv4 アドレス在庫枯渇問題に関する検討の重点を明確にする

設問項目：

- ①在庫枯渇に関する認知、理解度（在庫枯渇問題広報の成果確認）
  - ②在庫枯渇に関する懸念の有無（克服策検討の比重確認）
  - ③在庫枯渇への対応状況(問題意識の濃淡確認)
  - ④在庫枯渇に関し JPNIC に期待すること（目的毎の重点項目確認）
- これに加え、JPNIC に対する在庫枯渇に関した自由回答を加える。

対象： JPNIC 会員 170 社

実施期間： 2007 年 7 月～8 月

#### 5.1.2 アンケート結果の概要

- 7 割以上の回答者が在庫枯渇に関して時期も含めて認知している。
- 技術面の懸念よりも、事業の発展性、継続性に関する懸念が多い。
- 9 割近くの会員が在庫枯渇に向けた対応策の必要性を理解しているが、「検討開始」「対応済み」は 3 割程度。
  - 必要性を理解していても検討に着手している回答者が少ないことから、検討を促す情報提供が必要と考えられる。
- JPNIC に期待することとして、関係者間の意見集約とその周知、技術面での克服策、協調的な IPv6 への移行策の検討等が求められている。
  - ポリシー変更等のインターネットレジストリとしての対応よりも、公益法人としての検討課題への対応が求められている
- IPv6 への移行を前提と考える会員が多く見受けられる一方、IPv4 継続利用のための施策、未利用の歴史的 PI アドレスの回収、一般ユーザ向け広報を求める意見等も目立った。
- 地方を中心に、IPv6 対応に不安を感じている事業者も少なからず居る。

### 5.1.3 設問の内容

#### 【設問 1】

近い将来、IPv4 アドレスの在庫が枯渇し、新たな IPv4 アドレスの分配が行われなくなるということをご存知でしたか？（一つだけ選択）

- 1) IPv4 アドレスの在庫枯渇については知らなかった
- 2) 時期は不明だが近い将来在庫枯渇するということは知っていた
- 3) 在庫枯渇時期予測が 2010 年ということも含めて知っていた

#### 【設問 2】

御社では、IPv4 アドレス在庫枯渇に対してどのような懸念がありますか？（複数選択可）

- 1) 事業の発展性（成長性）が損なわれるかもしれない
- 2) 対応策を実施するための投資額が賄えないかもしれない
- 3) ビジネス上の課題がわからない
- 4) 技術的な課題がわからない
- 5) 技術的対応策を実施するための技術力が十分でない
- 6) その他

#### 【設問 3】

御社では、既に IPv4 アドレス在庫枯渇に向けて何らかの対応策をご検討でしょうか？（一つだけ選択）

- 1) 対応策は必要ない
- 2) まだ対応策が必要かどうかわからない
- 3) 対応策の必要性は理解しているがまだ検討は行っていない
- 4) 対応の検討を始めている
- 5) 既に対応策を実施している

#### 【設問 4】

IPv4 アドレス在庫枯渇に関し、JPNIC の活動として期待するものはありますか？（複数選択可）

- 1) 会員、指定事業者、業界、一般からの情報収集と広報活動の推進
- 2) 行政、他団体と連携した情報収集、情報発信
- 3) 在庫枯渇時期予測の精度の精査、向上
- 4) 国際的な動向把握、調整、連携の実施
- 5) 在庫枯渇にあたっての関係者のビジネスインパクトの検討
- 6) 在庫枯渇の技術面での克服策の精査・検討
- 7) 在庫枯渇にあたってポリシー制定の実施
- 8) 分配済み未利用 IPv4 アドレス回収作業の推進
- 9) IPv6 インターネットへの移行の検討と推進
- 10) 他のアドレス流通手段の可能性についての検討実施

#### 【設問 5】

その他に IPv4 アドレス在庫枯渇に関してご意見がありましたら何なりとご記入ください。

### 5.1.4 設問 1 の回答

設問： 近い将来、IPv4 アドレスの在庫が枯渇し、新たな IPv4 アドレスの分配が行われなくなるということをご存知でしたか？（一つだけ選択）

回答：

回答(N=55)	(件)	(%)
1) IPv4 アドレスの在庫枯渇については知らなかった	0	0%
2) 時期は不明だが近い将来在庫枯渇するということは知っていた	13	24%
3) 在庫枯渇時期予測が 2010 年ということも含めて知っていた	42	76%

### 5.1.5 設問 2 の回答

設問： 御社では、IPv4 アドレス在庫枯渇に対してどのような懸念がありますか？  
（複数選択可）

回答：

回答(N=55)	(件)	(%)
1) 事業の発展性（成長性）が損なわれるかもしれない	33	60%
2) 対応策実施のための投資額が賄えないかもしれない	27	49%
3) ビジネス上の課題がわからない	12	22%
4) 技術的な課題がわからない	12	22%
5) 技術的対応策を実施するための技術力が十分でない	16	29%
6) その他	9	16%

6)の主な回答：

- ケーブルモデムセンター装置の IPv6 対応がベンダーにてまだされていない
- IP アドレスを意識していない一般ユーザへの啓蒙活動方法がみえない
- IPv4 在庫枯渇以降の IPv4 アドレス要求への対応
- 移行等に伴って取り組むべき課題等はあるが、本質的に懸念は感じていない
- 特に懸念は持っていない。世の中が過剰に反応することを心配している
- 現状何も決まっていなようなのが不安である。これまでの自律分散という基本姿勢を崩さないような方向性を出せるかが問題。国が中心になって”あれやれ、これやれ”は好ましくないの、皆で協力して事に当たる必要があるとは思うのだが...
- 在庫枯渇に直面した際の世の中の動向が読みきれない
- IPv4 延命策や IPv6 移行推進が間に合うのか心配。フレッツや ACCA 等、キャリアの対応が早く決まって欲しい

所見：

回答者の半数が、1)、2)という事業の発展性、継続性に関する懸念を抱いている一方で、4)、5)といった技術面での懸念を挙げる会員は比較的少ない。

### 5.1.6 設問 3 の回答

設問：御社では既に IPv4 アドレス在庫枯渇に向けて何らかの対応策をご検討でしょうか？

(一つだけ選択)

回答：

回答(N=55)	(件)	(%)
1) 対応策は必要ない	1	2%
2) まだ対応策が必要かどうかわからない	5	9%
3) 対応策の必要性は理解しているがまだ検討は行っていない	31	56%
4) 対応の検討を始めている	12	22%
5) 既に対応策を実施している	6	11%

所見：

3)のように対応の必要性を理解しながら検討に着手していない事業者も多いことから、検討を促すための情報提供が必要と考えられる。

### 5.1.7 設問 4 の回答

設問： IPv4 アドレス在庫枯渇に関し、JPNIC の活動として期待するものはありますか？  
(複数選択可)

回答：

回答(N=55)	(件)	(%)
1) 会員、指定事業者、業界、一般からの情報収集と広報活動推進	33	62%
2) 行政、他団体と連携した情報収集、情報発信	28	53%
3) 在庫枯渇時期予測の精度の精査、向上	22	42%
4) 国際的な動向把握、調整、連携の実施	25	47%
5) 在庫枯渇にあたっての、関係者のビジネスインパクトの検討	28	34%
6) 在庫枯渇の技術面での克服策の精査・検討	29	55%
7) 在庫枯渇にあたってポリシー制定の実施	24	45%
8) 分配済み未利用 IPv4 アドレス回収作業の推進	26	49%
9) IPv6 インターネットへの移行の検討と推進	30	57%
10) 他のアドレス流通手段の可能性についての検討実施	9	17%

所見：

1)、2)の選択が多いという点で、関係者間の意見集約とその周知が求められていると考えられる。また同時に、技術面での克服策と IPv6 インターネットへの移行の検討も期待されている重要なポイントであり、インターネットレジストリとしてよりも公益法人としての活動が期待されていると判断できる。

### 5.1.8 設問 5 の回答

設問： その他に IPv4 アドレス在庫枯渇に関してご意見がありましたら何なりとご記入ください。(自由記述)

## 主な回答：

- CATV 事業者として IPv6 への移行はハードルが高いと感じる。理由としては米国主導によるケーブルインターネット機器の対応遅れやユーザ環境。早期に実環境下で実証実験を行い準備したいと思うが運用者側のリソースが足りない。
- IPv4 アドレス在庫枯渇後のインターネット全体像がイメージできない。
- IPv4 については世界的にみても歴史的 PI アドレス等に不公平感あり
- エンドユーザがこうした問題を認識すると IPv6 への移行が進めやすいだろう。
- IPv4 アドレス在庫枯渇は事実として、業界を煽るような発言は控えてほしい。
- スムーズな移行方法、事業者のやるべきこと等ポジティブな議論を進めてほしい。
- IPv6 への対応を進めるにあたり、IPv4/IPv6 混在環境におけるネットワーク構築技術の情報を早めに提供してほしい。
- IPv6 への移行は、十分に対応機器が市場に出回ってから 5 年間で移行すると円滑に進むだろう。移行に関する技術的な対応方法のわかりやすい解説があればありがたい。
- IPv4 在庫枯渇で慌てないためにも、IPv6 の割り振り条件の緩和をお願いしたい。2 年以内の IPv6 の導入予定が必要と言われても、まずは検証しないことには、事業の実現性すら検討できない。例えば現に IPv4 での割り振りを受けており、AS の運用経験等を根拠に割り振りを受けられれば、IPv6 への移行が促進されると思われる
- IPv6 の圧倒的なキラーコンテンツ(v6 のみで通信)があると、自然に普及するかもしれない。
- 通信業界団体ではなく、資源管理団体として活動や立場を明確化するべき。
- プロバイダが簡単に IPv6 を利用できる要素技術の標準化支援
- ユーザ数が増えないので、現在の IPv4 アドレスのみの運用 (アドレスの追加はしない) を考えている。その場合の影響、対策の要不要がわからないため、判断できる情報の提供をお願いしたい。

## 所見：

回答者は全体的に IPv6 への移行の必要性を感じていると思われる。ただし、それを判断し、実施していくための情報が不足しており、それを求める意見が多く見受けられる。IPv4 を継続して利用するための施策案等を期待する意見や、一般利用者向けの広報を求める意見等も目立った。

## 5.2 IPv4 アドレス在庫枯渇対応諮問委員会

### 5.2.1 設置の目的

本検討は JPNIC の役職員および会員企業を中心に編成したワーキンググループによって行われ、インターネット接続事業者を中心とする会員の立場から行われている。当然ながら IPv4 アドレス在庫枯渇による影響を受けるのは、インターネットに関係するあらゆるステークホルダーである。そこで、これらのステークホルダーから意見を伺うために、「IPv4 アドレス在庫枯渇対応諮問委員会」を設置することとした。

IPv4 アドレス在庫枯渇対応諮問委員会には、日本におけるインターネットの諸ステークホルダーを代表する委員にご参集いただいた。検討成果として作成される本報告書を公開する直前の段階で会合を持ち、報告書案をご覧いただいた上で、それぞれの観点からご意見をいただいた。

### 5.2.2 委員リスト

IPv4 アドレス在庫枯渇対応諮問委員会の委員は以下の 9 名。(敬称略)

株式会社 NTT データ 常務執行役員 ビジネスソリューション事業本部長	海野 忍
財団法人地方自治情報センター 総合行政ネットワーク全国センター センター長	太田 正剛
株式会社フジテレビジョン デジタル技術推進室長 (役員待遇)	上瀬 千春
早稲田大学理工学術院 基幹理工学部 情報理工学科 教授	後藤 滋樹
生活経済ジャーナリスト	高橋 伸子
松下電工株式会社 代表取締役 取締役社長	野村 淳二
ソフトバンクモバイル株式会社 執行役員 技術統括 ネットワーク本部 本部長	牧園 啓市
楽天株式会社 取締役常務執行役員 開発・編成統括本部 CPO 室 室長	安武 弘晃
社団法人日本ケーブルテレビ連盟 日本ケーブルラボ 部会担当部長	山下 良蔵



### 5.2.3 諮問委員会からの意見

#### ①一般利用者への周知に対する意見

- 1) 利用者が在庫枯渇問題を周知するための啓発活動が不足している
- 2) 在庫枯渇問題の国民への周知が十分ではないと感じている
- 3) IPv6 対応にあたり、利用者にはメリットだけでなくデメリットも合わせて伝えるようにしてほしい
- 4) モバイルのインターネット利用がかなり進んでいるが、早晚行われるであろう SIM ロック解除で利用者にとどのような影響が起きるのか、しっかり検証してほしい

#### ②技術者の教育、啓発に関する意見

- 1) 技術者が IPv6 を理解するための教育が必要である

#### ③IPv6 対応の促進についての意見

- 1) IPv6 対応について、利用者個々の状況に合わせるべきか、国全体で進めるべきか最適な方法を検討する必要がある
- 2) 日本が IPv6 の新規サービスで世界をリードしていくことが望ましい
- 3) 現在挙げられている課題で重要なものを絞り込んで戦略的に進めるべき
- 4) 三つの対応策のうち IPv6 対応についてもっと重点を置き、IPv6 対応を行う事業者インセンティブを与えられる形で推進に協力してほしい
- 5) IPv6 への対応を円滑に行うため、IPv6 のメリットを利用者にアピールできるように JPNIC をはじめ関連する業界全体で取り組んでほしい
- 6) IPv6 対応の投資を正当化するためにも現在の IPv6 ユーザ数や利用状況に関する情報も周知されるようにしてほしい
- 7) IPv6 対応している製品や事業者を認定するプログラムを設けたり、その検証を行うためのテストベッド等を用意したりすることを検討してはどうか

#### ④IPv6 技術および製品の品質に関する意見

- 1) IPv6 インターネットでセキュリティ強化が実現されるならば、強い導入インセンティブを感じる
- 2) IPv6 製品の品質や信頼性向上を関係者と連携して進めていく必要がある

#### ⑤対応時期の明確化に関する意見

- 1) 対応のための適切な投資ができるよう時間軸を明確にしてほしい

#### ⑥世界的動向に関する意見

- 1) 日本の IPv6 対応が世界的な先駆けとなるのか、またそれがメリットになるのかを把握できると望ましい

## 6 世界の動向

この章では、世界各国における IPv4 アドレス在庫枯渇問題、および IPv6 普及促進に関する動向を簡単にまとめる。

### 6.1 インターネット関連諸団体の動き

2007 年、インターネット関連諸団体は以下のように相次いで IPv4 アドレス在庫枯渇問題に関する声明を発表している。

- 5 月 21 日 ARIN 理事会勧告
  - <http://www.arin.net/announcements/20070521.html>
- 6 月 19 日 JPNIC 姿勢表明
  - <http://www.nic.ad.jp/ja/pressrelease/2007/20070619-01.html>
- 6 月 20 日 LACNIC アナウンス
  - [http://lacnic.net/en/anuncios/2007\\_agotamiento\\_ipv4.html](http://lacnic.net/en/anuncios/2007_agotamiento_ipv4.html)
- 6 月 21 日 NIC Mexico アナウンス
  - [http://www.nic.mx/es/Noticias\\_2?NEWS=220](http://www.nic.mx/es/Noticias_2?NEWS=220)
- 6 月 29 日 ICANN 理事会決議
  - <http://www.icann.org/minutes/resolutions-29jun07.htm#n>
- 7 月 9 日 CNNIC アナウンス
  - <http://www.cnnic.cn/html/Dir/2007/07/09/4698.htm> (中国語)
- 8 月 1 日 ARIN 理事会声明
  - <http://www.arin.net/announcements/20070801.html>
- 8 月 2 日 AfriNIC アナウンス
  - <http://www.afrinic.net/news/position-on-the-future-of-IP.htm>
- 9 月 7 日 APNIC コミュニティ決議
  - <http://www.arin.net/announcements/20070801.html>
- 10 月 26 日 RIPE コミュニティ決議
  - <http://www.ripe.net/news/community-statement.html>
- 11 月 12 日 インターネットソサエティ報道発表
  - [http://www.isoc.org/isoc/media/releases/071112pr\\_ipv6.shtml](http://www.isoc.org/isoc/media/releases/071112pr_ipv6.shtml)

これらはそれぞれに多少の違いはあるものの、どれも以下のような内容を含んでいる。

1. 2010 年前後に IPv4 アドレスの在庫が枯渇すると予測されている
2. 根本的な解決策は IPv6 である
3. 関連組織との連携を深め、この状況の周知啓発に力を入れる
4. アドレスポリシーの変更を含め、必要な対策の検討を行う

## 6.2 各地域、各国の対応状況

この項では、世界における IPv6 の普及・推進活動に関して簡単にまとめる。

### 概要

グローバルには IPv6 Forum を初めとして、各地域のタスクフォース等が編成され、IPv6 サミット（対応事例や普及推進策等を紹介するカンファレンス）の開催等の活動を展開している。

国家レベルの取り組み<sup>13</sup>として、政府主導の IPv6 推進活動が多く認められ、その中には、日本における IPv6 普及・高度化推進協議会<sup>14</sup>のような推進団体を設置する例も存在する。また、各国の国営あるいは大手の通信事業者で先行的に IPv6 の対応が進んでいる国もある。

民間企業やコミュニティの動きにはまだまだ目立ったものは少なく、今後調査が必要である。

### 6.2.1 国際的な IPv6 の推進体制

以下に国際的な IPv6 推進組織を列挙する。

1) IPv6 Forum <http://www.ipv6forum.org/>

➤ 1999 年に発足して、グローバルな IPv6 の普及を目指す活動を行っており、各国チャプター<sup>15</sup>や各地域のタスクフォースと連携して、IPv6 サミットや IPv6 Ready Logo プログラム等の推進活動を行っている。

1) Asia Pacific IPv6 Task Force (APv6TF) <http://www.ap-ipv6tf.org/>

2) European IPv6 Task Force (EUv6TF) <http://www.eu.ipv6.org/>

3) Latin American and Caribbean IPv6 Task Force (LAC IPv6 TF)  
<http://www.lac.ipv6tf.org/>

4) North American IPv6 Task Force (NAv6TF) <http://www.nav6tf.org>

### 6.2.2 欧州連合

- 2002 年に発表された情報社会促進のためのアクションプラン”eEurope2005”で、ブロードバンド、3G 携帯電話と並んで IPv6 が主要テーマとなる。
- 2003 年度から始まった研究開発投資予算 FP6(Framework Programme 6)で IPv6 を情報社会分野の最重要課題として位置づけ、2007 年度からの FP7 でもこの位置づけが継続。

### 6.2.3 米国

- 2003 年国防総省や商務省から IPv6 への完全以降を目標として計画が策定される
- 2003 年に商務省による”The National Strategy to Secure Cyberspace”<sup>16</sup>が Web に発表

<sup>13</sup> 国家レベルの取り組みに関して、IPv6 教科書（インプレス R&D 発行、江崎浩監修、ISBN 978-4-8443-2487-4）8.5 項を参照した

<sup>14</sup> <http://v6pc.jp/>

<sup>15</sup> IPv6 Forum の Web ページによると、2007 年 12 月現在、42 の国別チャプターが確認できる。

<sup>16</sup> <http://www.whitehouse.gov/pcipb/>

され、IPv6 採用の必要性が記述される。

- 2005 年 IPv6 への以降に関する公聴会”To lead or to follow: The next generation internet and the transition to IPv6”<sup>17</sup>の開催, GAO(Government Accountability Office)によるレポート”Federal Agencies Need to Plan for Transition and Manage Security Risks”<sup>18</sup>の発行, OMB(Office of Management and Budget) から IPv6 への以降計画(Transition Planning for Internet Protocol Version 6)<sup>19</sup> 発表
- 2007 年、連邦政府の CIO 協議会に IPv6 Working Group を設置

## 6.2.4 中国

- 学術研究ネットワーク CERNET(China Education and Research Network) に IPv6 実証実験網が構築され、ついで CNGI(China Next Generation Internet)が IPv6 対応で設計されている
- 10 億人を超える人口を抱える広大な国土に対して情報通信ネットワークの整備が急ピッチで進んでおり、IPv6 への要請が大きい

## 6.2.5 台湾

- TWNIC を中心に IPv6 Forum Taiwan (台湾 IPv6 論壇) が編成され、IPv6 普及推進にあたっている。
- 2007 年 9 月に、NICE – Next-generation Internet Connectivity Environment として、大手 ISP7 社が協同で、利用者に対して無料の IPv6 トンネルブローカーサービスを提供し始めた。

## 6.2.6 韓国<sup>20</sup>

- 2003 年政府により「u-Korea (Ubiquitous Korea)」構想の一環として「IPv6 普及・促進計画」が策定され、産官学の研究者と責任者で構成する「IPv6 戦略協議会」を発足させた。
- 2004 年 IPv6 戦略協議会により、「IPv6 普及・促進基本計画」を確定した。
- 基幹研究網 KOREN(Korea advanced Research Network)を利用して IPv6 テストベッド “Korea v6”を構築した。

<sup>17</sup> [http://www.usipv6.com/press\\_room/downloads/Media\\_Advisory.doc](http://www.usipv6.com/press_room/downloads/Media_Advisory.doc)

<sup>18</sup> <http://www.gao.gov/new.items/d05471.pdf>

<sup>19</sup>

<http://www.google.co.jp/url?sa=t&ct=res&cd=1&url=http%3A%2F%2Fwww.whitehouse.gov%2Fomb%2Fmemoranda%2Ffy2005%2Fm05-22.pdf&ei=rztWR9DjA4GGgAPZnKySDQ&usg=AFQjCNGPT-vpk43ZY1An04f3dwUeQ8mmtw&sig2=4Xb7hnhsMZvGD3AZwzvZvg>

<sup>20</sup> 高 選圭 (ゴ・ソンギョ) 氏による、「韓国の電子自治体事情」を参照した

<http://www.computerworld.jp/topics/gov/40561.html>

## 7 検討メンバ

本報告書をまとめるにあたって、検討に参加したワーキンググループのメンバを以下に示す。

### 7.1.1 IP アドレス管理政策検討ワーキンググループ

荒野 高志	JPNIC IP・IPv6 分野担当理事 株式会社インテック・ネットコア
伊藤 公祐	株式会社ユビテック
近藤 邦昭	株式会社まほろば工房
中川 あきら	KDDI 株式会社
中村 秀治	IPv6 普及・高度化推進協議会
藤崎 智宏	JPNIC ポリシ WG チェア 日本電信電話株式会社
吉田 友哉	JPNIC IP アドレス検討委員会チェア NTT コミュニケーションズ株式会社

株式会社三菱総合研究所

### 7.1.2 IPv4 アドレス枯渇克服策検討ワーキンググループ

荒野 高志	JPNIC IP・IPv6 分野担当理事 株式会社インテック・ネットコア
赤木 篤志	KDDI 株式会社
猪俣 彰浩	富士通株式会社
江口 忠博	株式会社ケイ・オプティコム
岡田 雅也	NTT コミュニケーションズ株式会社
小山 海平	株式会社倉敷ケーブルテレビ
白畑 真	株式会社クララオンライン
高田 寛	メディアエクスチェンジ株式会社
中原 一彦	NEC ビッグロブ株式会社
本間 誠治	株式会社新潟通信サービス