

IPv4 アドレス枯渇に向けた提言



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
番号資源利用状況調査研究専門家チーム

2006年3月24日

目次

1. はじめに	1
2. 世界の IPv4 アドレス利用トレンドと今後の予測	3
2.1. 本章で紹介する 3 つのレポートおよび 1 つのバーチャル会議	3
2.2. IPv4 アドレス枯渇に関する各レポートのサマリー	5
2.3. IPv4 アドレス枯渇予測の各研究	6
2.3.1. Geoff Huston による IP Address Space Report	6
2.3.2. Tony Hain による A Pragmatic Report on IPv4 Address Space Consumption	6
2.3.3. IP アドレス有識者間の A Virtual Round Table	7
2.3.4. Geoff Huston による ISP Column	8
2.4. 需要予測に関する統計的評価	8
3. 日本の IPv4 アドレス登録実績と需要予測	10
3.1. 日本の IPv4 アドレス登録実績	10
3.1.1. 世界における日本の IPv4 アドレス登録実績	10
3.1.2. 日本国内における IPv4 アドレス登録実績	11
3.1.3. IPv4 アドレス登録実績の検証	12
3.1.4. IPv4 アドレスの利用形態とアドレス需要トレンドの関係	12
3.1.5. 日本における今後の需要予測	13
3.2. 経路からみる実質的な IPv4 アドレス利用状況	14
3.2.1. IPv4 アドレス利用状況の定義	14
3.2.2. 日本の利用状況	14
3.2.3. APNIC 管理地域の利用状況	20
3.3. 結論	24
4. 枯渇に伴い予想される現象	25
4.1. 期間の定義	26
4.1.1. 枯渇点	27
4.1.2. 枯渇前	28
4.1.3. 枯渇後	28
4.2. IPv4 アドレスに関するポリシー変更の動向	28
4.3. 枯渇前において予想される現象	30
4.3.1. 駆け込み需要	30
4.3.2. IPv4 アドレス使用の回避	31
4.3.3. 枯渇点を先延ばしするための取り組み	32
4.3.4. 枯渇点を混乱なく迎えるための取り組み	32
4.4. 枯渇点において予想される現象	33
4.5. 枯渇後において予想される現象	34
4.5.1. IPv4 アドレスを取引する仕組みの発生	34
4.5.2. IPv6 インターネットへの移行	35
4.5.3. IPv4 インターネットの維持	35
4.6. IPv4 インターネットと IPv6 インターネットとの混在による影響	36
4.6.1. インターネットの基本動作	36
4.6.2. インターネット利用者にとっての IPv4 と IPv6 の違い	37
4.6.3. IPv4 アドレス枯渇後の問題と解決策	39
4.6.4. 混在環境での問題点の整理	42
5. 提言	44

5.1. IP アドレスを取り巻く利用者の分類	44
5.2. レジストリ(ICANN/IANA/RIR/NIR)への提言.....	47
5.3. インターネットサービスプロバイダ(ISP)への提言	48
5.4. インターネット利用者への提言.....	50
5.4.1. サービス提供者	50
5.4.2. 企業ユーザ	51
5.4.3. 一般ユーザ	52
5.5. IP 技術開発者(ベンダ等)への提言	52
6. 著者	54
7. 謝辞	55
Appendix. A	56
A-1.Geoff Huston による IP Address Space Report.....	56
A-2.Tony Hain による A Pragmatic Report on IPv4 Address Space Consumption73	
A-3.IP アドレス有識者間の A Virtual Roundtable Meeting.....	83
A-4.Geoff Huston による ISP Column	89

1. はじめに

インターネットの普及は、IPv4 アドレスの使用量増大と表裏一体である。約 10 年前から世界中で急激にインターネットが普及したことで、32 ビット空間という有限な IPv4 アドレス空間が逼迫しはじめている。

IPv4 アドレスが不足すると言う予測は 1990 年代初期から存在した。実際に割り振ることのできる IPv4 アドレス空間が全体の 4 分の 1 を切った昨年あたりから、「IPv4 アドレスの枯渇」が現実味を増してきた。加えて、IPv4 アドレスの枯渇時期予測を複数の研究者が発表をしており、ここ 3 年から 5 年の割り振り状況が継続すると、比較的早い時期に IPv4 アドレスが「枯渇」と予測されている。

本報告書では、これらの IPv4 アドレスの枯渇予測などを参照しながら、IPv4 アドレスが残り少なくなった段階でも、問題なくインターネットを利用していただけるような準備ができるように、現在の状況の整理、発生する可能性のある事象、そして、枯渇に備えて我々が準備すべき事柄について整理し、まとめた。

第 2 章では、最初にこの報告書の基礎となるべき IPv4 アドレスの枯渇予測について詳しく解説する。IPv4 アドレスの枯渇予測は数名によって行われ、議論も行われている。そこで、それらを読み解き、それぞれの論拠、予測する枯渇時期を整理する。また、これら予測を統計的観点から客観的に判断したコメントを掲載してある。

第 3 章では、日本および世界、アジア太平洋地域の IPv4 アドレスの利用状況について整理した。IPv4 アドレスは、1980 年代から様々に利用されてきたが、その歴史の中で、現在のような整然と管理されていない時代もあり、その時代に大きなアドレスが配布されていた経緯もある。これらの経緯をふまえながら、技術的観点から、IPv4 アドレスの利用状況について整理する。

第 4 章では、ここまでの議論をうけて、「枯渇」について整理し、IPv4 アドレスの枯渇という事象をいくつかのフェーズに分類する。また、分類されたフェーズ毎に発生しうる事象について予測し、整理する。特に、IPv4 アドレスが枯渇する直前に発生するだろう駆け込み需要、そして実際に枯渇したときに考えられる IPv4 アドレスのブラックマーケット化などについても言及する。さらに、IPv4 インターネットから IPv6 インターネットへの移行にあたって考えられる、混在型ネットワークについても言及し、その影響について整理する。

第 5 章では、ここまでの議論・整理を受け、IPv4 アドレスが少なくなってきた今、我々が来るべき IPv4 アドレスの最終割り振りを迎えたときに、問題なく、現在の IPv4 インターネット、そして新しい IPv6 インターネットを継続的に利用できるようにするために、いくつかの提言を行う。

提言は、インターネットに関連する組織・利用者を、「レジストリ」、「インタ

インターネットサービスプロバイダ」、「ベンダなどを含む IP 技術者」、「インターネットを利用したサービス提供者」、「企業ユーザ」、「エンドユーザ」の 6 対象に分類して提言をおこなう。

特に、本報告書では、インターネットサービスプロバイダが IPv6 の接続サービスを準備し、IPv6 接続環境を整えることが最優先だと位置づけている。他方、ベンダなどを含む IP 技術者に対しても、現状の IPv6 に関する技術や製品には安全・快適にインターネット利用を行うには不十分な点があるため、早急な対応・改善を提言している。

本報告書は、IPv4 アドレスの枯渇時期そのものの予測には焦点を当てない。枯渇時期自体は、今後のアドレス需要によって変化するものだからである。むしろ、おおよその時期を念頭に置き、そこに向けた万全の準備を喚起することを目的として各種提言を行う。

本報告書に書いてある提言は、あくまで参考である。実際には、提言に書かれる内容やその他の章に書かれている予測とは全く異なることが起こることが考えられる。本報告書の提言に書かれている内容を参考に、IPv4 アドレスが少なくなってきたときに採るべき行動について、それぞれが考え、行動を起こす契機になることが、執筆者一同の目的である。

2. 世界の IPv4 アドレス利用トレンドと今後の予測

2003(平成 15)年から 2005(平成 17)年にかけて、各国の IP アドレス有識者が IPv4 アドレス枯渇時期に関して様々な角度から予測を行い、各種のレポートを残してきた。

枯渇という言葉の定義や枯渇に対する考え方の違いによって 2009(平成 21)年 1 月に枯渇すると言う予測から 2028(平成 40)年に枯渇すると言う予測まで、様々な予測がある。

この章では、これらの予測のなかから、2005(平成 17)年に発表された 3 つのレポートおよび 1 つのバーチャル会議、計 4 つについて解説する。

なお、この日本語のドキュメントは原文を直訳したものではない。訳者が原文の意味を変えないように訳者の言葉で表現したものである。

2.1. 本章で紹介する 3 つのレポートおよび 1 つのバーチャル会議

本章では、IPv4 アドレスの枯渇に関する以下のレポートを紹介する。

- 「 IP Address Space Report 」

著者 Geoff Huston (APNIC¹)
発行年月 自動プログラムにより毎日データが更新されている
URL <http://bgp.potaroo.net/ipv4/>
※ 2006(平成 18)年 1 月に原文の内容が更新されているが、本ドキュメントにおいては、過去の議論の経緯が解るように更新前の内容をベースに執筆した。

- 「 A Pragmatic Report on IPv4 Address Space Consumption 」

著者 Tony Hain (Cisco Systems)
発行年月 2005(平成 17)年 9 月
URL http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/about/about/c644/ccmigration_09186a00805320df.pdf
の前半

¹ APNIC: Asia Pacific Network Information Centre
アジア太平洋地域の IP アドレス管理を行う地域インターネットレジストリの
一つ <http://www.apnic.net/>

- 「A Virtual Roundtable Meeting」(電子メールによるバーチャル会議)

参加者 Tony Hain (Cisco Systems)
 Geoff Huston (APNIC)
 John Klensin (Independent Consultant)
 Fred Baker (Cisco Systems)

発行年月 2005(平成 17)年 10 月前後

URL http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/about/about/c644/ccmigration_09186a00805320df.pdf
 の後半

- 「IPv4 - How long have we got ?」

著者 Geoff Huston (APNIC)

発行年月 2005(平成 17)年 11 月

URL <http://www.potaroo.net/ispcol/2005-11/numerology.html>

次節にて、各レポートが行っている枯渇時期のサマリーを掲載し、それ以降の節にて、各レポートを細かく読み砕いていく。

2.2. IPv4 アドレス枯渇に関する各レポートのサマリー

表 2-1 は、各レポートのサマリーである。

表 2-1 各レポートのサマリー

ドキュメント名	発行年月	筆者	予測の特徴	IANA プール	RIR プール	BGP
The ISP Column (How long have we got ?)	2003年 7月	Geoff Huston	・ 過去10年間の傾向を 将来に延長して予測 ・ BGPの経路数を考慮	2021年	2022年	2029年
IPv4 Address Report (Potaroo)	2005年 12月28日 (*1)	Geoff Huston	・ 過去10年間の傾向を 将来に延長して予測 ・ BGPの経路数を考慮	2013年 1月 (*)	2016年 1月 (*)	2022年 8月
Internet Protocol Journal (A Pragmatic Report on IPv4 Address Space Consumption)	2005年 9月	Tony Hain	・ 過去5年間の傾向を 将来に延長して予測	2009年～ 2016年		-
The ISP Column (Numerology)	2005年 11月	Geoff Huston	・ 過去3年間の傾向を 将来に延長して予測 ・ BGPの経路数を考慮	2012年 1月 24日	2013年 3月 23日	2027年 1月 16日

(*) Web上で日々データが更新されているため、日々枯渇予測日が変わる

表中の表現は以下のとおりである。

(表中の表現について)

- 「IANA²プール」とは、IANA が保有するプールアドレスが枯渇する時期を意味する。
- 「RIR³プール」とは、各 RIR が保有するプールアドレスが枯渇する時期を意味する。
- 「BGP⁴」とは、すべての割り振り可能な IPv4 アドレスブロックの割り振りが完了し、その後にそれらすべてのブロックが BGP のルーティングテーブルに反映される時期を意味する⁵。

² IANA: Internet Assigned Number Authority (<http://www.iana.org/>)

インターネットの各種資源を全世界的に調整するための組織の名称

³ RIR: Regional Internet Registry

特定地域内の IP アドレスの割り当て業務を行うレジストリの総称

⁴ BGP: Border Gateway Protocol (RFC4271)

ネットワーク同士で経路情報を交換するためのプロトコルの一つ

⁵本質的には、すべてのアドレス空間がすべて利用される時期を指す。厳密には、BGPのルーティングテーブルに現れるものだけが使用されているわけではないが、「使用を観測する」という便宜上このような定義としている。

2.3. IPv4 アドレス枯渇予測の各研究

本節では、表 2-1 に記載した各レポートの論旨と結論を簡潔に述べる。詳細な内容は Appendix. A を参照のこと。

2.3.1. Geoff Huston による IP Address Space Report

Geoff Huston 氏によるこのレポートでは、過去の BGP のルーティングテーブルや、各 RIR の割り振りレポート、さらには IANA の RIR への割り振り状況など数多くの IPv4 アドレス消費予測に役に立つデータを用いて分析している。

また、IPv4 のアドレススペースを細かく分類し、それぞれ毎にどのような特徴があるかをふまえた上で、それらの中から通常 LIR⁶やエンドユーザに割り振る空間だけを用いて、IPv4 アドレスの枯渇予測をおこなっている。

このレポートで最大の特徴は、IPv4 アドレスの割り振り状況を見る際に、過去 10 年のデータを利用して、将来の予測を行っていることである。

将来を予測するトレンドを見る場合、過去何年間のデータを参考にするかで、枯渇時期はかなり異なってくる。このレポートでは、CIDR⁷実施以降の約 10 年間のトレンドをはかる期間として利用している。

この結果、本レポートによる RIR プールが枯渇する時期を 2016(平成 28)年 1 月と予測している。

ただし、本レポートは、割り振り・割り当て状況を加味して毎日更新がかけられているため、本報告書が読まれる頃には、この枯渇時期の予測は変更されていることだろう。

2.3.2. Tony Hain による A Pragmatic Report on IPv4 Address Space Consumption

Tony Hain 氏によるこのレポートでは、先の Geoff Huston 氏の予測に対していくつかの新たなパラメータを追加している。

一番の特徴は、Geoff Huston 氏のレポートでは、トレンドを見るために約

⁶ LIR: Local Internet Registry

主として自身が提供するネットワークにアドレス空間を割り当てる組織のこと

⁷ CIDR: Classless Inter-Domain Routing

IPv4 アドレスの従来のクラスの概念をなくし、IP アドレスを有効に活用する技術の 1 つ

10年という期間を用いていたが、Tony Hain 氏のこのレポートでは、過去 5 年間を用いて予測している。

過去 5 年という期間を利用するには理由がある。このレポートの分析では、IPv4 アドレスの消費をグラフに描いて計ったところ、過去の約 10 年前から約 5 年前と、約 5 年前から現在までと消費のカーブが異なるとしており、直近の約 5 年の方が消費の速度が速いとしている。

また、将来を予測するカーブも指数関数を使う場合や N 次多項式を使う場合なども検証している。

これによって、Tony Hain 氏の予測では、IANA および RIR プールが枯渇する時期として、2009(平成 21)年から 2016(平成 28)年の間と予測している。

2.3.3. IP アドレス有識者間の A Virtual Round Table

この A Virtual Round Table は、IPv4 アドレスの枯渇の時期を予測すると言うよりは、枯渇と言う事態を迎えるに当たってどのようなことが起きるのか、と言うことについて、電子メールによる議論を整理したものである。

この議論に参加したのは、Cisco Systems の Tony Hain 氏、APNIC の Internet Research Scientist の Geoff Huston 氏、コンサルタントの Fred Baker、そして FCC⁸の Technical Advisory Board の John Klensin 氏の 4 名である。

大きなトピックとして、下記の 5 つのテーマについて議論している。

- いつ枯渇するか？
- 米国では IPv4 アドレスが枯渇しないと言われているがほんとうか？
- NAT⁹が枯渇問題を解決するか？
- 米国政府における IPv6 化と GOSIP¹⁰について
- 最後に一言

議論の内容については、Appendix. A を詳しく読んでいただきたい。

特に、いつ枯渇するか、最後に一言の部分では、基本的な考えとして、全員が IPv4 は数年後に枯渇し、IPv6 に移行すると言及している。そして、枯渇した段階で IPv4 アドレスのブラックマーケット化などの懸念も示し、冷静な対応と、現時点からの十分な準備を求めている。

⁸ FCC: Federal Communications Commission
連邦通信委員会

⁹ NAT: Network Address Translation
プライベートアドレスからグローバルアドレスに一对一に変換する機能

¹⁰ GOSIP: Government Open Systems Interconnection Profile
政府オープンシステム相互接続プロファイル

2.3.4. Geoff Huston による ISP Column

この Geoff Huston 氏によるレポートは、先に Geoff Huston 氏が作成した「IP Address Space Report」の枯渇予測時期の予測論理を変更したものである。

変更の大きなポイントは、過去 10 年を利用して予測していたところを、約 3 年(1200 日)に変更している点である。その他の論旨はほとんど同じと言って良い。

このレポートによると、RIR プールが枯渇するのは、2013(平成 25)年 3 月 23 日としている。ただし、このレポートも「IP Address Space Report」と同様に、IP アドレスの割り振り・割り当て状況によって毎日更新がおこなわれているため、本報告書が読まれる頃には、また異なった予測となっているだろう。

2.4. 需要予測に関する統計的評価

本節には、統計学的な見地から北海道大学 助教授 南 弘征 博士からいただいたコメントを掲載する。

なお、本コメントは、先述の Geoff Huston 氏による 2 つの予測を評価している。

文中においては、「IP Address Space Report」を”Potaroo”とし、「IPv4 - How long have we got ?」を”Huston”として記載している。

以下、南博士のコメントを掲載する。このコメントの解釈はいくつかに分かれるかもしれないが、ここでは言及しない。

主たる関心は、上記 2 例に代表される予測モデルの妥当性にあるものと思うが、述べたとおり、曲線延長のもととなるデータの期間を 3 年とすることに対する理論的妥当性を与えることは困難である。

モデルの妥当性を測るための方法としては、AIC(Akaike Information Criterion)等の情報量基準を用いるのが一般的である。もっとも、今回の場合、対象が離散値でもあるので、曲線当てはめとしての簡便法として、さほどエポックがなかった年から 2~3 年分(経年をみるので 1 年では弱い)のデータをもとに、(既に実測されている)翌 1 年分の予測を行い、実測値との誤差が最小となるモデルを採用する、と言う直観的アプローチも想定可能である(ただし、理論的意味付けは難しい)。

Potaroo にある 3 種類の曲線(線形回帰、指数関数、2 次曲線)について、上記例示の各手法を併用し、もっとも妥当と思われるモデルを選ぶ、と言う方法には、説得力を感じる向きもあるのではないか。

ただし、Houston の末尾”Uncertainties”にあるように、そもそも「予測

曲線を考えて先を推測する」(外挿と呼ばれる)アプローチは、今後、同様の外的状況が続く、と言う前提の元でのみ、相応の妥当性を持つ。エポックがあれば、それまでのデータの利用価値が激しく低下することは明らかである。

私見に過ぎないが、IPアドレスの消費量がさまざまな外的要因に基づいていると考えるならば、BGPのアナウンス経路数などは、基調がIPアドレスである以上、別な因子として考えるには弱いように思われる(経路情報がアグリゲートされても、IPアドレスの消費量が減るとは考えにくい)。

たとえば、「総利用者数(ないしドメイン名取得数)と、IPアドレス消費数に相応の相関がある」との仮説をたて、顧客数やドメイン名取得数など、インターネットにかかわる他の実測データを考慮し、他のデータ解析手法により、それらの相関関係を押え、結果的にIPアドレス消費数を導出する、というアプローチには、情報の偏りが少ないように感じられる。

世界規模で見た場合、インターネット人口は増加を続けると思われるので、より安全(悲観的)な予測を導くのであれば、このアプローチも効果的と考える。なお、インターネット人口の増加が停滞すればIPアドレス割り当て量も増えない、と仮定した場合、Potarooで用いられている3曲線はいずれも単調増加なので、他の(頭打ちになり得る)関数の導入も検討の必要がある。

ただし、これらの他因子も時刻 t を入力変数とする値がほとんどと思われ、時間変化につながる(つまり、すべて t に依存する)ことが伺われる。より細かく詰めるならば、隠れている因子の有無を含め、相互関係を子細に調べあげる必要が生じるが、そのためのデータの収集は事実上困難と考えられるため、どこまで踏み込むかについて、慎重な検討が必要と思われる。

本節では、南博士による統計学的な見地からGeoff Huston氏の予測モデルを評価していただいた。ただし、これは枯渇時期が正しいかどうかを評価するためではない。ここで評価したいのは、あくまでGeoff Huston氏の予測モデルの妥当性である。

3. 日本の IPv4 アドレス登録実績と需要予測

本章では、日本の IPv4 アドレス登録実績を分析・検証し、今後の需要予測を述べる。また、実際のアドレス利用状況の調査を行い、その結果についても述べる。

まず、3.1 節では、過去から現在に至るまでの過去数年の IPv4 アドレス消費実績を明らかにし、IPv4 アドレスの利用形態と IPv4 アドレス登録実績を検証した結果、そして、今後の日本における需要予測を述べる。

次に、3.2 節では、JPNIC が管理する IPv4 アドレスに関して、実際にどの程度 IPv4 アドレスが利用されているのかを調査し、その結果を述べるとともに、アジア地域全体や各国の状況も合わせて調査を行い、アジア地域における日本の状況を明らかにする。

3.1. 日本の IPv4 アドレス登録実績

本節では、IPv4 アドレスの需要および利用率について具体的な数字を挙げながら検証する。特に、本節では、日本の動向に注目する。

3.1.1. 世界における日本の IPv4 アドレス登録実績

表 3-1 は、国、地域別の IPv4 アドレスの割り当て状況を表したものである。日本の IPv4 アドレスの割り当て数は、世界のなかでも米国について第 2 位という結果になっている。

表 3-1 国、地域別の IPv4 アドレスの割り当て状況

国名	割合
アメリカ合衆国(US)	59.50%
日本(JP)	6.43%
欧州(EU)	5.14%

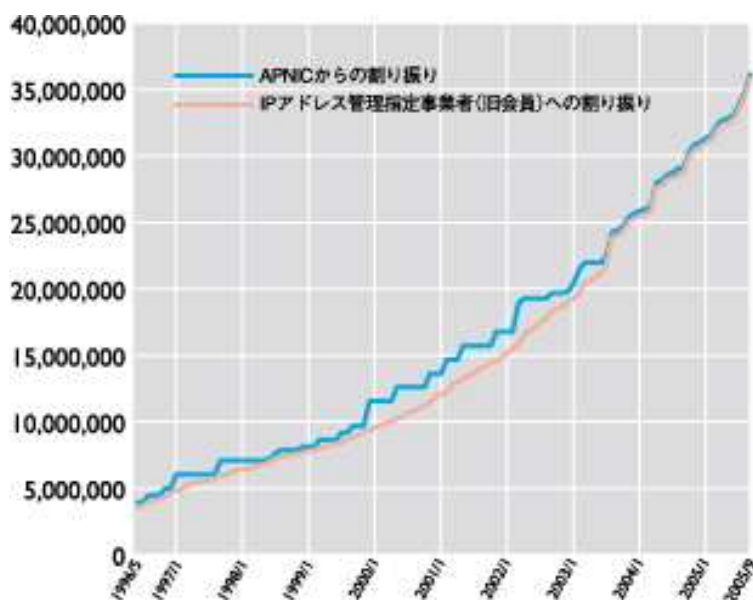
<BGP Routing Table Analysis Reports¹¹ より (2005 年末) >

¹¹ BGP Routing Table Analysis Reports
<http://bgp.potaroo.net/ipv4/stats/allocated-all.html>

3.1.2. 日本国内における IPv4 アドレス登録実績

図 3-1 は、JPNIC における IPv4 アドレス割り振り量を月ごとに集計したデータである。2003(平成 15)年 8 月、2004(平成 16)年 4 月、2004 年 10 月などに表されるように、過去数回程度、大きな IPv4 アドレス空間の割り振りが行われている。これは複数の指定事業者へ大きな割り振りが行われた結果であり、何らか特定のサービス提供のために割り振りされたものではないと想定される。

このため、これらの多量な割り振りを一般的な事象と捉えると、全体としては、特に顕著な傾向も見られず、2000(平成 12)年以降はコンスタントに IPv4 アドレス割り振り量が増加しているといえる。しかし、IPv4 アドレスの割り振り量を過去と比較した場合、最近では以前に比較して増加傾向が強いと言える。



< JPNIC ニュースレター No.31 より >
<http://www.nic.ad.jp/ja/newsletter/No31/090.html>

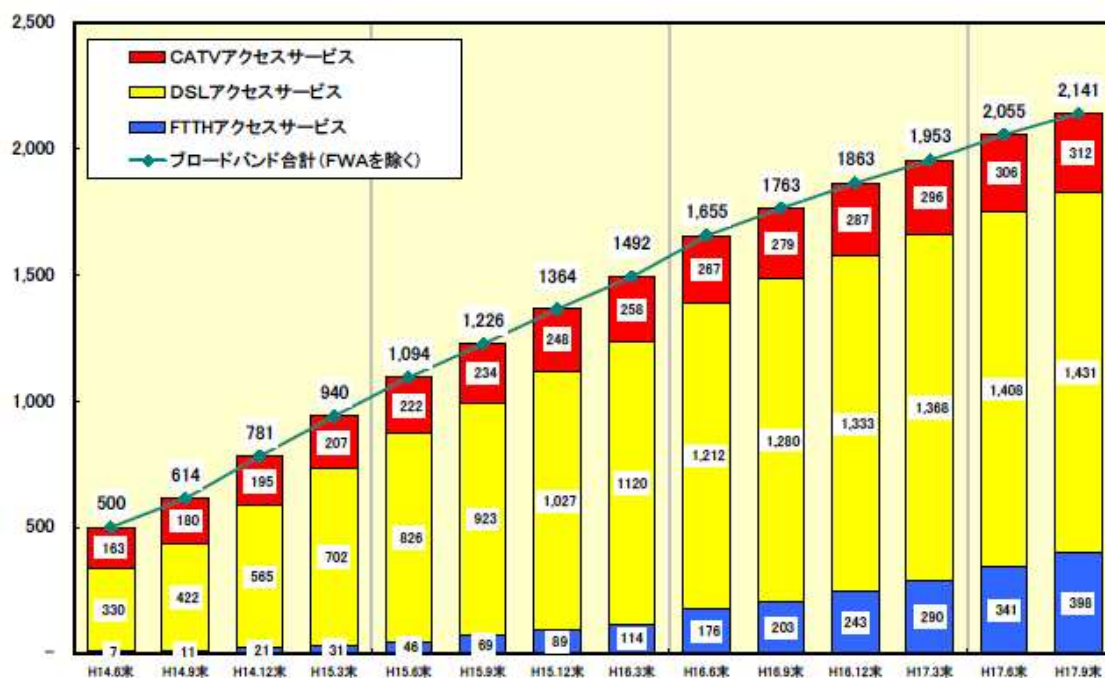
図 3-1 IPv4 アドレスの累計割り振り件数の推移

3.1.3. IPv4 アドレス登録実績の検証

前節の IPv4 アドレス登録実績で述べたとおり、2004(平成 16)年くらいまでに数回程度、まとまった IPv4 アドレスの割り振りが行われた。複数の指定事業者への追加割り振りであること、そして、この時期には 1 ユーザにサービス別に複数のアドレスを割り当てるようなサービスが始まっていなかったことを踏まえると、純粋にブロードバンド接続ユーザの伸びが著しかったために、アドレス需要がその時期に加速されたと考えられる。つまり、特定のサービスに影響されたものではなく、その時期に多く需要が発生していたものであると想定される。

3.1.4. IPv4 アドレスの利用形態とアドレス需要トレンドの関係

図 3-2 で表される、日本のブロードバンドサービス契約者数の推移では、ADSL¹²から FTTH¹³への移行や増加は加速しているものの、全体の契約者数の伸びは、一昨年の 2005(平成 17)年以降鈍化傾向にあることがわかる。



<ブロードバンドサービス契約数の推移等 (図表) ¹⁴ (総務省) より>

図 3-2 契約者数のブロードバンドサービス別比率

¹² ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line
電話線による高速なデータ伝送を可能にしたデジタル技術の 1 つ

¹³ FTTH: Fiber To The Home
各家庭まで高速通信が可能な光ファイバを引き込むこと

¹⁴ ブロードバンドサービス契約数の推移等 (図表) :
http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/pdf/051129_3_1.pdf

一方、これまで見てきたとおり、IPv4 アドレスの消費実績は、特に近年においては、ブロードバンド契約者数の推移に相反し、むしろ増加傾向にあることがわかる。ブロードバンド契約者数の伸びが緩やかになってきているが、IP アドレスの消費は依然として増加傾向にあるという、逆の動きになっている。

このような IPv4 アドレス消費の加速化要因として考えられるのは、1 契約者に対して複数の IPv4 アドレスを割り当てるサービスが増加してきたことや、プライベートアドレスを利用していたサービスがグローバルアドレスを利用するように変わってきたことにより、契約者数の伸び率以上に、アドレスの消費が加速していると考えられる。

ブロードバンド市場は成熟し、単純に契約者数の伸びを見ると 2004(平成 16)年ぐらいから鈍化している傾向にあるが、複数の IPv4 アドレスを 1 契約者が利用するサービスが 2004 年以降に開始・増加傾向にある。つまり、多くの端末にグローバルアドレスが利用される傾向が加速されたことによって、IPv4 アドレス需要も加速していると考えられる。また、純粋にグローバルアドレスの需要が増加しており、表 3-2 で表されるように、より多くのもの、そしてより多くの環境での利用が益々増加しているため、それに伴い、アドレス需要が増加していると考えられる。

表 3-2 インターネットの利用者

	H12	H13	H14	H15	H16	H17
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
インターネットの利用者	1,937.7	3,263.6	4,619.6	5,645.3	6,559.4	7,007.2
自宅の機器から	821.5	1,152.4	1,785.6	2,196.1	2,364.1	2,447.9
自宅、勤務先、学校の機器両方からの利用者	746.8	893.1	1,336.7	1,766.7	2,134.1	2,360.3
勤務先・学校の機器からの利用者	366.4	565.6	819.9	946.9	1,115.7	1,255.8
携帯電話・PHS のみの利用者	3.0	652.5	677.4	735.6	945.5	943.1

単位:万人

<2004 年インターネット概観統計集¹⁵(総務省)より >

3.1.5. 日本における今後の需要予測

これまで述べてきたとおり、今後も継続的にアドレスが消費され、IPv4 アドレスの需要は増加していくと考えられる。しかし、ある時期を越えれば、ブロードバンドユーザの伸びからも分かるように、インターネットへの接続環境が充実し、消費も鈍化する傾向に向かうと考えられる。

ただし、例えば大手通信事業者等によって、1 契約者に対して複数の IPv4

¹⁵ インターネット概観統計集:

http://www.soumu.go.jp/s-news/2006/pdf/060130_2_bt1.pdf

アドレスを割り当てるようなサービスが急激に加速した場合には、これまで以上に加速する傾向に向かうことも考えられる。

また、今後のアドレス需要は IPv6 にシフトすると考えられる。IPv4 アドレスが残り少なくなってきた際に、IPv4 アドレスを利用した新規サービス需要が低下し、IPv4 アドレス需要の伸びは緩まる傾向にあると言える。よって、IPv4 アドレス需要から IPv6 アドレス需要へのシフトが、数年後に発生すると考えられる。

3.2. 経路からみる実質的な IPv4 アドレス利用状況

本節では、インターネット上に広告されている経路情報を元に、実質的にどの程度アドレスが利用されているかを調査・検討・考察する。

なお、インターネット上に広告されている経路情報とは、インターネットの経路制御で一般的に利用されている BGP で交換されている経路情報として調査・検討・考察を進める。また、本節で特に明示されない場合、アドレスとは IPv4 アドレスを示す。

3.2.1. IPv4 アドレス利用状況の定義

本節以降で述べるアドレス利用状況とは、実際に割り振りされた IPv4 アドレス空間（プリフィックス）が、どの程度インターネット上に広告されているかに基づいて判断し、インターネット上の経路情報に存在すれば利用されている、また経路情報に存在しない場合には利用されていないと定義し、その定義に基づいて調査を行った。

なお、実際に経路情報としてインターネット上に存在していない場合でも、内部利用などによるアドレス利用も想定されるが、今回の調査においては、それらは利用されていないと判断されることを補足する。

3.2.2. 日本の利用状況

本節では、経路情報を JPNIC の割り振り情報と付き合わせるなどして選別し、日本における IPv4 アドレスの利用状況に着目して調査し、考察を行う。

3.2.2.1. 調査概要と目的

JPNIC 管理下のプロバイダ集積可能アドレス(PA アドレス¹⁶)とプロバイダ

¹⁶ PA アドレス: Provider Aggregatable Address
LIR により割り当てられた IP アドレス

非依存アドレス(PI アドレス¹⁷)に対して、実際に BGP の経路情報とつきあわせを行い、どの程度経路情報に実在するかを調査した。

IPv4 アドレス空間が残り少なくなった場合を想定し、日本が保有するアドレス空間に対して詳細に調査を行うことにより、まずは現状を明らかにすると共に、仮に未使用アドレス空間の量が相当量存在した場合には、その未使用アドレス空間の返却が延命策に有効かどうか、あるいは今回の調査により新たな対策が可能かどうかを考察する。

3.2.2.2. 調査方法

JPNIC 管理下の全 PA アドレス、PI アドレスを、BGP の経路情報と突合せた。ここで使用した経路情報とは、NTT コミュニケーションズ株式会社のネットワークで管理する AS2914¹⁸ のフルルートのことを指す。また集計の際には以下の点について注意を払った。

- 経路情報が分割して広告されている場合

例えば、データベースに登録されているプリフィックス情報が/16でも、実際に経路情報として広告されているものは連続する 2 つの/17である場合がある。

- 経路情報が集成されて広告されている場合

例えば、データベースに登録されているプリフィックス情報が連続する 2 つの/16 の場合に、実際に経路情報として広告されているものが/15 の場合がある。

- 経路情報が重複して広告されている場合

例えば、データベースに登録されているプリフィックス情報が/16でも、実際に経路情報として広告されているものは、/16 と、その/16を含む/17 が 2 つ、あるいはさらに細かい/18 などが重複して広告されている場合がある。

これらのケースを踏まえて、最も適切かつ現実的な調査方法として、データベースに登録されているプリフィックス情報すべてを/24 に分割し、それが BGP の経路情報に存在するか否かで利用状況の判断を実施した。/25 以降の細かい (長い) プリフィックスの経路情報については、一般に広告されるべきも

¹⁷ PI アドレス: Provider Independent Address

LIR 以外から割り当てられた IP アドレス。詳細は以下のページを参照
<http://www.nic.ad.jp/ja/ip/hr/index.html#id000101>

¹⁸ AS2914 は、BGP で利用する AS 番号で、BGP を運用するネットワークに割り当てられる番号である。AS2914 は Verio に割り当てられた番号である。
[\(http://www.verio.com/\)](http://www.verio.com/)

のではないという点と、それらの経路情報は実施に多く存在しないので、ここでは誤差の範囲とする。

3.2.2.3. 調査対象

今回は 2005 年 12 月 28 日現在の以下のリストに対して調査を行った。

- JPNIC 管理下の PA アドレス (=1937 プリフィックス)
- JPNIC 管理下の PI アドレス (=2906 プリフィックス)

3.2.2.4. 調査結果

以下では、調査結果を示すと共に、その結果について考察を加える。

(1) PA アドレス

表 3-3 アドレス利用調査結果

	PA		PI	
調査prefix数	1,937	100.00%	2,906	100.00%
(/24換算数)	134,140	100.00%	151,414	100.00%
exact matchのprefix数	1,060	54.72%	931	32.94%
(/24換算数)	100,508	74.93%	93,957	62.05%
広告されているprefix(/24換算)	130,446	97.25%	95,551	63.11%
広告されていないprefix(/24換算)	3,694	2.75%	55,863	36.89%

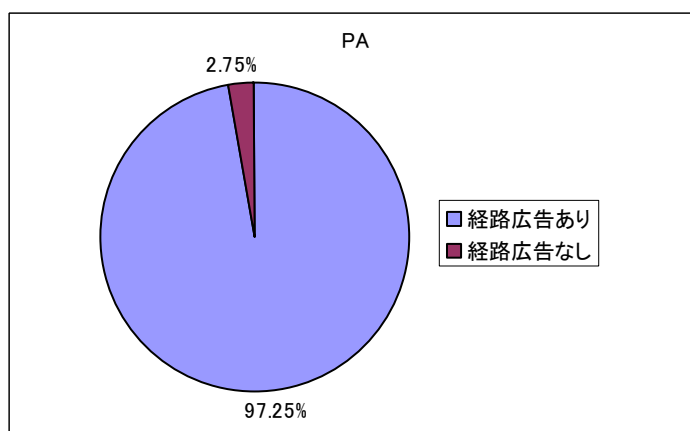


図 3-3 PAアドレスの広告状況

表 3-3 および図 3-3 で示したように、PA アドレスについては、97.25%の利用率という結果となり、ほぼすべてのアドレス空間がインターネット上に広告されていると言える。また、広告がされていないアドレス空間も若干存在しているが、純粹に存在しないもの以外にも、広告準備中のものも恐らく含まれると考えられるため、実質的にはこの数値以上の利用率といっても過言ではない。

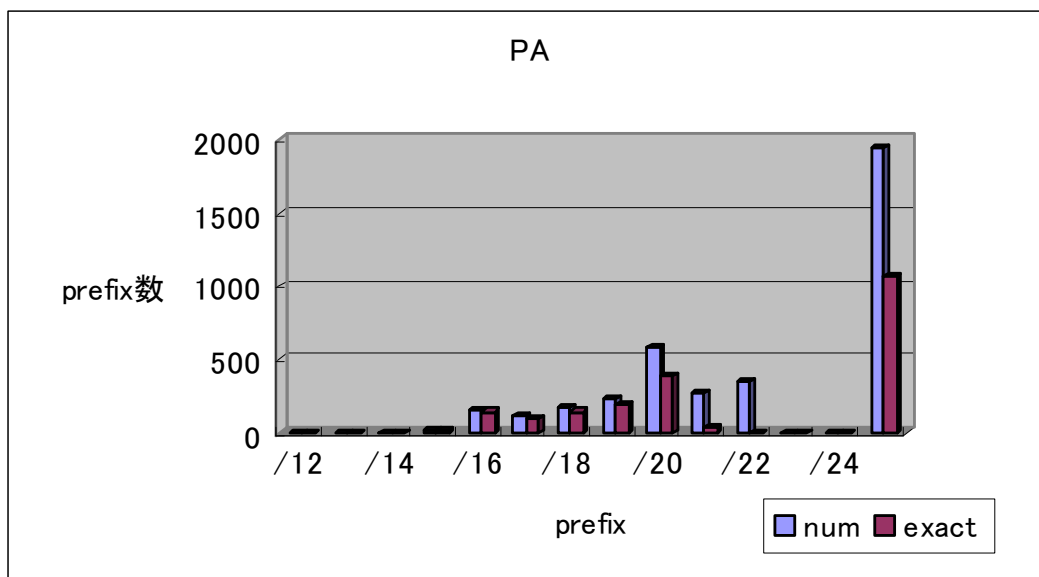


図 3-4 PA アドレスにおけるプリフィックス毎の状況

図 3-4 および表 3-4 で示す各々のプリフィックスにおける状況を詳細に見てみると、意外な事実が明らかになった。

先に述べたとおり、PA アドレス全体の広告率は高い割合となっているが、調査対象プリフィックス長が、実際 BGP で広告されているプリフィックス長と全く一致¹⁹しているかについて調査すると、/16 から/19 については、ほぼ 9 割程度が Exact Match の状態となっている。しかし、/21 や/22 の多くは、異なるプリフィックス長で経路情報に存在することが判明した。

この理由としては、過去に適応されていた JPNIC におけるアドレス割り振りポリシーが原因となっていることが考えられる。

過去においては、/22 が割り振られた場合に、その/22 を含む/19 あるいは/20 のアドレス空間がリザーブ空間とされていた。そのため、/22 で広告せずに、実際には/19 や/20 で広告を行うことが可能であった。そのため、356 個存在する/22 のプリフィックスのうち、205 個は/20 で、123 個は/19 で、合計 356 個の 9 割以上の、328 個のプリフィックスが、/20 もしくは/19 で広告されているという事実が判明し、これが Exact Match の率を低下させていると考えられる。

¹⁹ この状態のことを、ここでは Exact Match と呼ぶ。

表 3-4 PA アドレスのプリフィックス毎の詳細結果

	Prefix数	exact match	割合
/12	3	2	66.67%
/13	6	3	50.00%
/14	9	6	66.67%
/15	25	14	56.00%
/16	162	145	89.51%
/17	116	104	89.66%
/18	171	147	85.96%
/19	229	199	86.90%
/20	587	394	67.12%
/21	266	41	15.41%
/22	356	5	1.40%
/23	5	0	0.00%
/24	2	0	0.00%
sum	1,937	1,060	54.72%

(2) PI アドレス

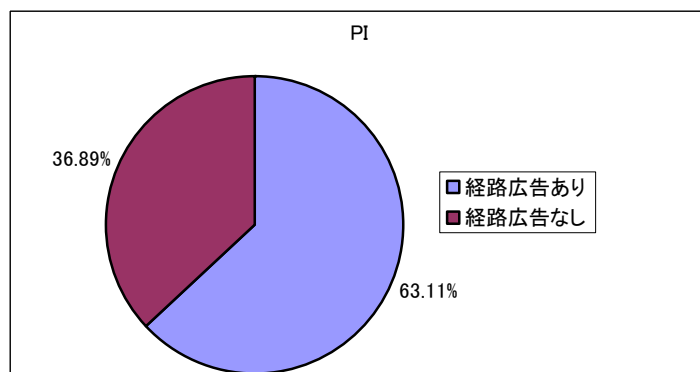


図 3-5 PI アドレスの広告状況

図 3-5 および表 3-5 より、PI アドレスについては、6 割程度の利用率という結果となり、非常に利用率が低いと言える。なお、PI アドレス全体の広告率 63.11%に非常に近い、62.05%が Exact Match であった。

この結果より、データベースに登録されているプリフィックス情報が、細分化されて広告されていたりするのではなく、そのままのプリフィックス長で広告されているか、あるいは全く広告されていないかの、2つの状態になっていることを意味しており、利用されていないものが多く存在することを表している。

特に/16については、全体の広告率とほぼ同等の値になっており、/16の広告率がPIアドレス全体の結果に大きな影響を与えているとも言える。また、/16の202個の未広告プリフィックスを合計してアドレス空間に換算すると、約8の8割程度のアドレス空間の割合となり、非常に大きな比重を占めていると言える。

表 3-5 PIアドレスのプリフィックス毎の詳細結果

	Prefix数	exact match	割合	広告率
/12				
/13				
/14				
/15	1	0	0.00%	0.00%
/16	560	356	63.57%	63.88%
/17	0	0	-	-
/18	10	7	70.00%	70.63%
/19	24	15	62.50%	62.89%
/20	60	32	53.33%	56.77%
/21	124	71	57.26%	60.28%
/22	216	93	43.06%	45.02%
/23	262	84	32.06%	36.07%
/24	1569	273	17.40%	17.40%
sum	2826	931	32.94%	63.11%

3.2.3. APNIC 管理地域の利用状況

本節では、経路情報と APNIC が公開している情報²⁰を付き合わせるなどして選別し、APNIC 管理地域における IPv4 アドレスの利用状況に着目して調査し、考察を行う。

²⁰ APNIC IPv4 resource guide
http://www.apnic.net/services/ipv4_guide.html

3.2.3.1. 調査概要と目的

APNIC 管理地域における主要国を中心とした利用状況を調査し、APNIC 地域全体の状況を把握すると共に、国により、どの程度の乖離が存在するのか、また、日本がその中でどのような状況にあるかを明らかにする。

また JPNIC が管理しているアドレス空間のみを調査対象としたのでは、APNIC から直接アドレスを取得している日本の組織のアドレス空間が調査対象に含まれていないため、前項の結果のみでは、日本で利用しているアドレス空間全体の利用状況を適切に把握できない。よって、APNIC 地域全体で管理されているアドレス空間を国別に分類し、日本の利用状況を調査する。

3.2.3.2. 調査方法

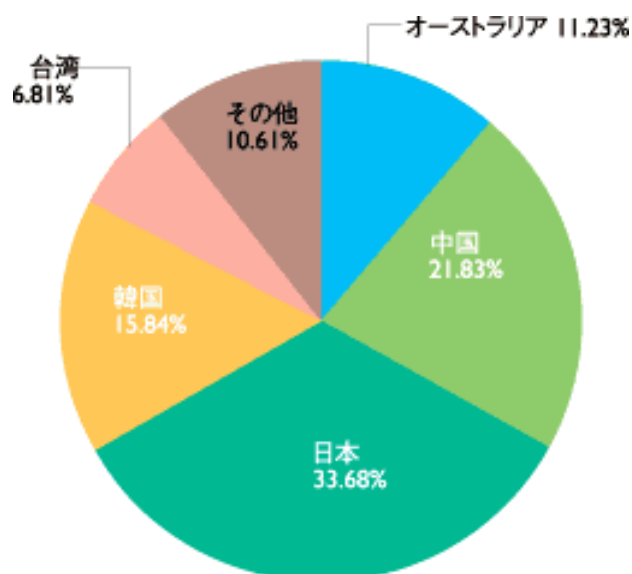
3.2.2.2 節で述べた調査方法と同様に、データベースに登録されているプリフィックス情報すべてを/24 に分割し、BGP の経路情報に存在するか否かで利用状況を判断し、また/25 以降の細かい経路情報については調査対象範囲外とした。

3.2.3.3. 調査対象

APNIC で公開されている統計²¹を用いて調査を行った。実際にはこのアドレスリスト全体のアドレス空間を網羅したアドレスリストと、それぞれ国別に分類した国別アドレスリストを作成し、そのリストを元に、APNIC 管理地域全体と主要 5 カ国についての調査を行った。

²¹ APNIC allocation and assignment reports
<http://ftp.apnic.net/stats/apnic/>

図 3-6 は、APNIC 管理地域主要 5 カ国の IPv4 アドレスの配分状況である。



(<http://www.nic.ad.jp/ja/newsletter/No26/080.html> より)

図 3-6 APNIC 管理地域の国別 IPv4 アドレス配分状況

3.2.3.4. 調査結果

表 3-6 APNIC 管理地域全体と国別の利用状況

	調査対象数 (/24換算数)	概算数	経路広告数 (/24換算)	割合
AP	1169025	~=/4	953872	81.6%
JP	427277	/5~/6	306160	71.7%
CN	289167	~=/6	249054	86.1%
KR	163381	/6~/7	157144	96.2%
AU	104929	/7~/8	78935	75.2%
TW	63594	~=/8	62592	98.4%

表 3-6 より、APNIC 管理地域全体では、約 8 割強のアドレス空間が実際に利用されているという結果が出た。この結果より、台湾と韓国の広告率が高いことがわかる。この 2 カ国については、比較的 CIDR 以前の割り当てが少ないと言えるが、割り振りされた PA アドレス空間については、きちんとインター

ネット上に広告され、利用されているようである。この利用状況の結果は、先に調査結果で判った日本の PA アドレスの広告率と類似している。台湾、韓国について、中国、オーストラリア、日本という結果になっているが、日本の利用状況が悪い原因は幾つかあると考えられる。

1つは、世界の中でもきわめて古くからインターネットを利用しているため、PI アドレスの広告率の悪さが響いていると考えられる。先に結果として表された、6割程度しか PI アドレスが利用されていないという結果が、本結果の大きな理由となっていると考えられる。また、最近割り振りが行われた、ある/8 のアドレス空間の影響が非常に大きい。この/8 については、一度にすべてのアドレス空間が割り振りされているが、調査した際の利用状況では、全体の 7.5% のみしか広告されていない。これが利用率の低下を招いており、仮にこのアドレス空間がすべて広告されていた場合、日本全体の広告率は 85.8% となり、本調査結果の 71.7% という結果とは大きく異なる。

今回は、APNIC の統計リストの情報を元に調査を行ったが、JPNIC 管理下のアドレス空間との整合性を確認すると、主に JPNIC 管理下の PI アドレスが一部網羅されていないことが判明した。よって再度、APNIC の統計から抽出した日本のアドレス空間に加えて、網羅されていない日本のアドレスを含めて日本全体の利用状況を調査すると、利用率が 70.7% となり、さらに利用率が低下するという結果が出た。これの原因は明らかで、PI アドレスのリストをさらに加えたことにより、PI アドレスの利用率の低下が加算され、全体の利用率が低下する結果となったものと考えられる。

3.3. 結論

本章では、日本の IPv4 アドレス需要について、その傾向と実利用に関する調査を行った。

日本のアドレス需要は今後も増加すると考えられ、一定の間は、ますますグローバルアドレスが消費されていくと考えられる。また日本の利用状況としては、PA アドレスについては他の主なアジア各国と同じような状況であることが判明したが、PI アドレスについては、過去割り振りがなされたものが利用されないままになっており、実利用されていないと考えられるものが多く存在する結果が明らかになった。

世界で利用可能な IPv4 アドレス空間が残り少なくなってきた場合、今回の調査で判明した未使用（あるいは未利用）IPv4 アドレス空間を、継続的に日本が保有を続けた場合、状況によっては、まずはその未使用空間の返却、あるいは再利用を行った上で、新たな IPv4 アドレスを申請すべき、などと指摘され得るかもしれない。そのようなことが今後発生しないように、また、アドレス資源の有効活用を行っていくために、特に PI アドレスについては、利用状況を今後継続的に把握し、特に /16 については、全プリフィックス 200 個が仮に返却されれば、/8 の 8 割に相当するため、積極的に未使用アドレス空間の返却に取り組んでいくことが望ましいと考えられる。これが IPv4 アドレス空間全体の再利用を促進させることにつながるとは言いがたいかもしれないが、日本こそが積極的にこのような問題に取り組み、アドレス資源の有効利用に対してリーダーシップを発揮していくことが、今後重要であると考えられる。

4. 枯渇に伴い予想される現象

第2章で紹介した複数の予測が示すように、割り振り可能な IPv4 アドレスがすべて割り振り済みとなる「IPv4 アドレスの枯渇」がそう遠くない将来に到来する。

IPv4 アドレスが利用者に対して割り振るために十分な空間が余っている状況では、利用者は IPv4 アドレスの必要量を示すだけでその必要量分の IPv4 アドレスを利用することができた。

しかし、「IPv4 アドレスの枯渇」が到来すると、これまでのように組織が IPv4 アドレスの必要量とその根拠を示すことができたとしても、割り振りを行うための IPv4 アドレス空間が存在しないために、IPv4 アドレスの割り振りを受けることができなくなることを意味する。

IPv4 アドレスの枯渇という事象が突然到来することはない。前章までに広く公開されている IPv4 アドレスの枯渇予測を紹介したとおり、予測の範囲内で枯渇という事象に迫っていく時間的余裕があり、その時間的余裕に何が起きるかを考え、いくつかの行動を起こすことになる。特に、枯渇という事象が多くの人にとって、具体的に近い将来のこととして認識されるようになると、それに起因して従来とは異なる行動が IPv4 アドレスの消費について行われることが予想される。

本章では、まず「枯渇」の定義を行い、IPv4 アドレスが枯渇していく時間的な流れをいくつかのフェーズに分類する。次に、その分類されたフェーズ毎に、どのような現象が起きるのかを推測し、整理する。

なお、本章ではいくつかの「推測」を行う。本報告書執筆メンバーで十分に検討され行われた推測であり、可能な限り根拠となる資料を提示する。

4.1. 期間の定義

IPv4 アドレスの枯渇に伴い、従来とは異なった現象がいくつか発生することが予測される。この現象は枯渇という非常に短い期間に発生するものではなく、その短い期間を中心に長期間にわたって見られるものと考えられる。また、発生する現象は、この長期間の間に一定の現象を発生させるものではなく、IPv4 アドレスの残量によって異なる現象を発生させるものと考えられる。

本章では、この流れを、IPv4 アドレスが枯渇する時点を「枯渇点」と定め、その前後を「枯渇前」、「枯渇後」と言うように分類し、3つのフェーズに分類して考えてゆく。この概念を図 4-1 に示す。

本節では、これに先立ち、各フェーズの定義を明確に行う。

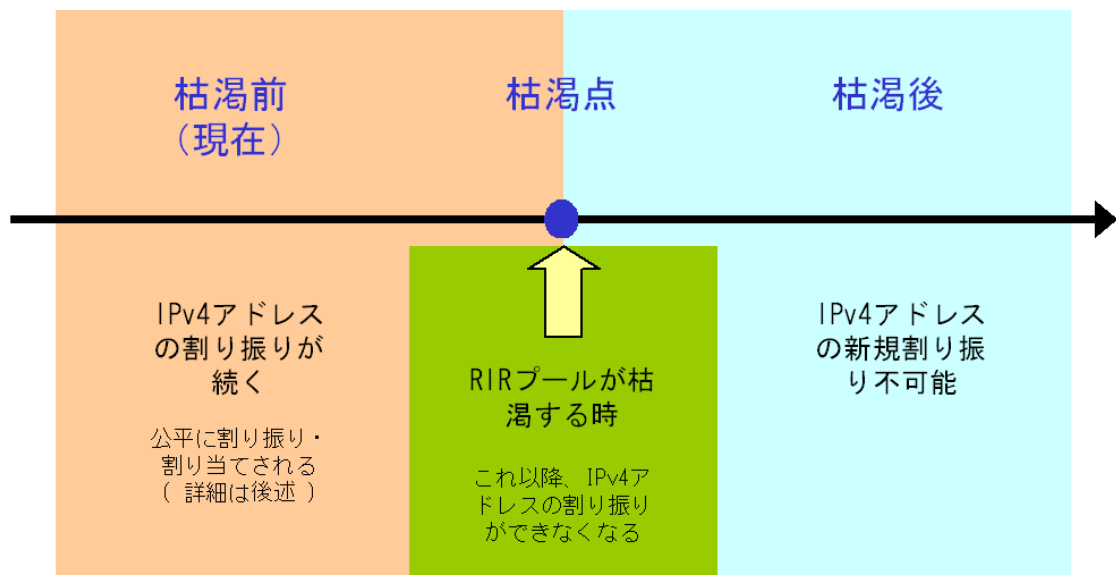


図 4-1 枯渇点の定義

4.1.1. 枯渇点

IPv4 アドレスの割り振り・割り当ては、レジストリの階層構造によって、主管理元である IANA を中心に IANA から RIR へ、RIR から NIR²²または LIR へと言うように割り振りが行われ、最終的にエンドユーザに割り当てられる。

このような構造から枯渇という事象を定義するにはいくつかの考え方がある。以下にその考え方を列挙する。

- IANA プールがすべて払い出された時点を枯渇という。

IANA が保持する IPv4 アドレスプールがすべて RIR に割り振られた時点を指す。この段階で RIR は、IANA から次の割り振りを受けることはできなくなる。

ただし、RIR が保持する IPv4 アドレスプールには、まだ残量があることが期待できるため、RIR から NIR または LIR への割り振りは継続可能である。

- RIR プールがすべて払い出させた時点を枯渇という。

RIR が保持する IPv4 アドレスプールがすべて LIR に割り振られた時点を指す。現在の APNIC のルールでは、NIR が LIR へ割り振る際には、APNIC、つまり RIR のアドレスプールから直接払い出しを行い NIR のアドレスプールは存在しないため、ここでは便宜上 LIR だけを対象とする。

この時点で、IANA プールは既に底をついているため IANA から新たな割り振りは受けられず、かつ、LIR への新たな割り振りもできなくなる。

ただし、LIR が保持する IPv4 アドレスプールには、若干の残量が期待できるため、LIR からエンドユーザへの割り当ては少しの間継続可能である。

- LIR プールがすべて払い出されて時点を枯渇という。

LIR が保持する IPv4 アドレスプールがすべてエンドユーザに割り当てられた時点を指す。

この段階で、レジストリが管理するすべての IPv4 アドレスの払い出しが終了したことになり、レジストリから新たな IPv4 アドレスが割り当てられることがなくなる。

これらの枯渇点の考え方について検討した結果、本報告書では、非営利組織で公共的なアドレスの割り振り業務を行っている RIR から、プロバイダが含ま

²² NIR: National Internet Registry

国別に組織されたインターネットレジストリのこと

れる LIR に対して割り振る IPv4 アドレス空間がなくなることの影響が最も大きいと考えられるため、「RIR プールがすべて払い出された時点」を「枯渇点」と名付ける。

4.1.2. 枯渇前

枯渇点は、時間の流れの中である一つの点を指している。この枯渇点より前の期間を「枯渇前」と定義する。

枯渇前の開始時点は、明確に定義することができない。強いて定義するのであれば、枯渇点の到来が具体的に近い将来のこととして意識されるようになったとき、とすることができる。これは、IPv4 アドレスの枯渇が意識されることによって、IPv4 アドレス消費の動向に変化が生じるものと考えられるからである。

さらに、付け加えるならば、既に本報告書のような文書が執筆される時点で、近い将来に IPv4 アドレスが枯渇するだろうということを意識しているため、現時点で既に「枯渇前」の期間に入っているとと言える。

枯渇前の終了時点は、言うまでもなく枯渇点の直前までである。

枯渇前の最大の特徴は、IPv4 アドレスの新規割り振りが継続的に実施されているということである。

4.1.3. 枯渇後

枯渇点より後の期間を「枯渇後」と定義する。

枯渇後の開始時点は、言うまでもなく、枯渇点の直後からである。

枯渇後の終了時点は、明確に定義することができない。強いて定義するのであれば、IPv4 インターネットに変わって新たに利用され始めるインターネットが標準的になり、IPv4 を IPv4 として意識することがなくなったとき、とすることができる。

枯渇後の最大の特徴は、IPv4 アドレスの新規割り振りが行われないことである。ただし、IPv4 アドレスの新規割り振りが行われないだけであり、IPv4 インターネットがなくなるわけではない。枯渇後においても IPv4 インターネットは、それに代わるインターネットが標準的に使われるようになるまでは、継続的に利用される。

4.2. IPv4 アドレスに関するポリシー変更の動向

本節では、APNIC 管理地域において、現在決定されているアドレスポリシー、および検討されているアドレスポリシー変更について紹介し、それらが

IPv4 アドレスの枯渇時期に与える影響についても言及する。

現在、APNIC 管理地域で IPv4 アドレスの消費に影響を与える可能性があるアドレスポリシーは以下のとおりである。

なお、APNIC が発行した文書は以下の URL から参照することができる。

Policy Archives

<http://ftp.apnic.net/apnic/archive/>

Policy Proposals

<http://www.apnic.net/docs/policy/proposals/archive.html>

以下に列挙する文書群の文書番号は Policy Proposals から参照できる。

- prop-006-v001 『Supporting historical resource transfers』

初期のレジストリポリシーに基づいて登録されている IPv4 アドレスを、既存の割り当て先組織から LIR 管理下に移管を行う方法が提案され、2003(平成 15)年 7 月に実装された。この手続きは、各組織が任意で行うことが可能なため、利用されていない IPv4 アドレスが返却される可能性は低い。

- prop-008-v001 : 『IANA IPv4 resource request procedures』

IANA より各 RIR に対して追加割り振りを行う基準が提案され、2003(平成 15)年 7 月に実装された。一定の基準により IPv4 アドレスが分配されることとなるため、IANA による IPv4 アドレスの割り振り終了までの時期に影響を与えることが想定される。

- prop-014-v001 : 『A proposal to lower the IPv4 minimum allocation size and initial allocation criteria in the Asia Pacific region』

RIR もしくは NIR から LIR に対する追加割り振り時における、最小割り振りサイズを変更する提案が行われ、2004(平成 16)年 1 月より実装された。この提案により、より小さいアドレスサイズでの割り振りが行われるようになったため、RIR もしくは NIR から LIR に対する IPv4 アドレス割り振り終了時期に影響を与えることが想定される。

- prop-017-v001 : 『Recovery of unused address space』

不正に使用されることを防止するために、利用されていないと思われる歴史的な IP アドレスを回収するための提案が行われ、2004(平成 16)年 1 月に実装された。将来的には、このような IP アドレスの有効利用も視野に置いて検討が行われており、RIR もしくは NIR から LIR に対する IPv4 アドレス割り振り終了時期に影響を与えることが想定される。

- prop-020-v001 : 『Application of the HD ratio to IPv4』

IPv4 アドレスにおける追加割り振りの利用率を一律とせず、HD-ratio と呼ばれる計算式に基づいて算出した利用率を適用する提案が、2004(平成 16)年 8 月に行われ、現在も継続して議論が行われている。この方法による追加割り振り基準が実装された場合には、RIR もしくは NIR から LIR に対する IPv4 アドレス割り振り終了時期を早める可能性が考えられる。

4.3. 枯渇前において予想される現象

枯渇前の期間においては、RIR、NIR からの IPv4 アドレスの LIR に対する割り振りは、現在と同様に需要見込みに基づき割り振り申請を行うことで、妥当な量の IPv4 アドレスの割り振りを受けることができる。

この割り振りは、IPv4 アドレスがすべて割り振られる枯渇点まで継続する。

ただし、枯渇点が近づくにつれて、枯渇前に十分な量の IPv4 アドレスを確保するために駆け込み申請を行う、そもそも IPv4 の利用を止めてしまう、IPv4 を延命するためのいくつかの技術開発が行われる、などの事象が起こることが予測される。

本節では、これらの予測できる事象について整理し、解説する。

4.3.1. 駆け込み需要

枯渇点の時期がある程度迫り、枯渇点がいつになるかがより正確に理解されるようになると、IPv4 アドレスを事業インフラの主要な技術として利用している企業などは、事業の将来への継続に対する不安から他社よりも先に IPv4 アドレスを多く確保したいと考えるだろう。このことは、従来どおりの通常の IPv4 アドレス需要に加えて、より多くの IPv4 アドレスの割り振りを受けようという形で IPv4 アドレスの割り振り申請の件数や申請サイズに現れてくる。このことは、IPv4 アドレスの消費を加速させ、枯渇点の到来を前倒しする要因となる。

このことを、本報告書では、「駆け込み需要」と呼ぶことにする。

駆け込み需要の発生は、枯渇前の期間にある程度継続的に発生することが考えられるが、そのピークは、枯渇点の数年前になると想定される。以下に理由

を述べる。

現在の割り振り申請では、最大1年後までの需要に対して割り振りを行うルールとなっている。この1年後までの需要の根拠を示す資料として、ネットワークの設備によってどれだけのIPアドレスが必要かを示す場合が多い。このため、多くの場合、実際に設備を用意してから、駆け込み申請を行うことが考えられ、これが駆け込み需要となると予想される。

仮に、IPv4のネットワークの設備を敷設する場合には、企業の投資計画や耐用年数などから考慮し、その投資計画による費用回収プランや耐用年数が枯渇点を超えてしまうことは考えにくく、これらの枯渇点を見越した投資が駆け込み需要を引き起こす原因と予測することができる。このため、駆け込み需要の最大のピークは、枯渇点の直前ではなく、それよりも数年前であることが言える。

さらに、このピーク後にも既存のサービス・設備に将来的に収容するIPv4アドレスをあらかじめ確保しておこうという駆け込み需要の動きが枯渇点まで引き続き存在するものと考えられるが、その量はピーク時に比べ微々たるものになるだろう。

また、枯渇点の直前においては、既に枯渇後のネットワークを想定した事業企画が済んでいることが予測できるため、新たに発生するアドレス需要は、枯渇後のネットワークで必要なIPアドレスに集中してゆくことが予測できる。このため、駆け込み需要を過ぎた後の枯渇前の期間では、枯渇点に近づくにつれIPv4に対するアドレスの需要は低くなっていくことが考えられる。

4.3.2. IPv4 アドレス使用の回避

枯渇点の到来がさらに近づいてくると、新規のサービスやネットワークを構築するにあたって、必要なIPv4アドレスは将来にわたって十分に確保できないものと判断し、従来のような新規IPv4アドレスを使用したサービスやネットワークの構築を断念する組織が現れることが予想される。

これはIPv4アドレス消費を減速させ、枯渇点の到来を結果として先送りすることになる。

新規のIPv4アドレスを使用したサービスやネットワークの構築を断念した場合の代替手段として、いくつかの手法が考えられる。

一つは、IPv6アドレスを採用し、新たにネットワークを作り直すことである。

二つめは、従来のIPv4ネットワークに対して、NATとプライベートIPv4アドレスを使用することで、インターネットに接続する部分だけのわずかなグローバルアドレスだけを利用してインターネットに対する接続を確保する方法である。

いずれの場合もグローバル IPv4 アドレスを使用している既存のインターネットと相互に通信するためには、アドレス変換ゲートウェイ等を設ける必要があり、サービスに制限が生じることになる。

4.3.3. 枯渇点を先延ばしするための取り組み

既存の IPv4 インターネットを可能な限り長く使いたいと考える人々によって、枯渇点を先延ばしするために、いくつかの IPv4 アドレスを延命するための手段が講じられることが考えられる。

IPv4 アドレスを枯渇させないためには、レジストリからの割り振りを縮小することが最大の効果を上げる。そこで、IPv4 アドレスの延命を試みる人々の中から、地域レジストリに対して、IPv4 アドレス割り振り基準をより厳しくするような、アドレスポリシーの変更が提案される可能性がある。

さらに、より枯渇を遅らせるため、実際には使用されていない IPv4 アドレスを強制または経済的誘因を用いて回収し、再び割り振り可能な IPv4 アドレスとすることによって割り振りを可能にするためのアドレスポリシー変更が提案されることも考えられる。

枯渇を迎えるに当たってのアドレスポリシーの変更には、大きく 2 種類の方向性が考えられる。一つは、IPv4 アドレス延命のためのアドレスポリシー変更であり、もう一つは IPv4 アドレスの割り振りを公平に終わらせるための変更である。どちらも、アドレスポリシーを変更するため同じように見える可能性があるが、この二つは区別しておくべきである。

また、IPv4 アドレスの未使用空間の回収については、第 2 章でも触れられているが、回収には相当な費用と努力が必要である。

いずれの方法をとっても、アドレスポリシーの策定には相当な期間がかかるため、もし提案されれば、非常に緊急性の高いものとして扱われることが考えられ、場合によっては、アドレス割り振りに混乱を来す可能性も排除できない。

4.3.4. 枯渇点を混乱なく迎えるための取り組み

前節でも述べたように、アドレスポリシーの変更には 2 つあり、その一つに、「公平に割り振りを終了させる」ことが目的のアドレスポリシー変更がある。

枯渇点の直前では、いくつかの混乱が予測できる。一つは、地域格差による混乱であり、もう一つは申請ネットワーク規模に起因する不公平感による混乱、最後は時間的不公平による混乱、である。

IP アドレスの割り振りは、世界をいくつかに分割し、各 RIR の担当地域を

決め行われている。このとき、RIRはその地域での割り振り業務を円滑に行うために、各RIRが独自のアドレスプールを保持し、そのアドレスプールから割り振りを行っている。つまり、このアドレスプールは、各地域用に確保されているものと考えることが可能である。このため、枯渇点は、その地域を担当しているRIRが、そのRIRが保持するアドレスプールからどれくらいの量のIPアドレスを払い出すかによって多少前後することになる。端的に言えば、枯渇点がRIR毎に異なるということになる。

このように枯渇点が地域によってことなることは、割り振りの申請を行う地域によって格差がでることを意味しており、ネットワークサービスを世界規模で行っているような企業の場合は、必要に応じて自由に申請先RIRを変更できるなどの不公平感が生じる可能性がある。

また、IPアドレスの追加割り振りにはアドレス利用率（割り振りブロックの中の何%が割り当てられたか）が条件（現在80%）を満たす必要がある。小規模なネットワークサービスを行っている企業、そして大規模にネットワークサービスを行っている企業など、様々だが、ネットワークサービスを行っている企業の方針によってIPアドレスの申請タイミングは異なるとともに、申請量も異なる。しかし、申請量によってその企業のネットワークサービスの重要性が異なるわけではない。これらは公平に判断されるべきだが、ある大規模なネットワークが通常通り申請を行った場合に必要なアドレス量を割り振ることで一気に枯渇点に達することが考えられる。このような事態が発生すると、同時期に小規模なネットワークが通常通り申請を行っても割り振りを受けることができない。

現在の割り振り申請では、将来1年間の利用見込みによって申請を行うことが可能であり、それによって割り振り量が決まる。これだと、上記の様なネットワーク規模によって不公平が発生する可能性があるため、この将来の見込みを6ヶ月に限定したり、最小割り振り単位を細かくしたりするなどして、この不公平感を緩和する試みが必要かもしれない。

さらに、最後の申請が行われようとしている場合には、最後の申請を行った団体がどこであるかを明確にするために、申請時間を証明する必要があるかもしれない。

ここで挙げたものは、先に挙げた3つの考えられる混乱を想定した「例」である。ここで想定したものが発生するという根拠はなく、その事象に対する対応策も明確ではない。ただし、このような混乱が考えられることは、第2章の中や、本報告書執筆者での議論でも挙げられているため、このような混乱を避けようとしたアドレスポリシーの提案が行われる可能性は高い。

4.4. 枯渇点において予想される現象

RIRから割り振り可能なIPv4アドレスがすべて割り振られると、各RIRはIPv4アドレスの割り振りが終了した旨の発表を行うことになるだろう。これが、

枯渇点の到来である。そして、同時に枯渇後の時期に入ることになる。

前節でも既に言及しているが、現状の階層型の割り振りにおいては、各 RIR で異なるアドレスプールを保持しており、このアドレスプールから独自に各 RIR に対する割り振り申請者に対して IP アドレスを払い出す。このため、RIR ごとに枯渇点が到来する時期に若干の差が生じることになる。

このため、IP アドレスの割り振りを受けた事業者は、一時的に IPv4 アドレスが枯渇した地域から、枯渇前の状態にある他の RIR に対して IPv4 アドレス割り振りの申請を行うことが考えられる。

通常の RIR の業務では、他地域からの IP アドレス割り振り申請は、担当地域の RIR を紹介するなどして、適切な RIR からの割り振り申請を受けるように促されるはずである。しかし、世界中に拠点を持つ事業者は、このような申請がより容易に可能といえる。

このような事態を避けるために、RIR 相互で残りの IPv4 アドレスを再分配することにより、地域ごとの枯渇点の到来時期を揃えようとする動きも考えられる。

4.5. 枯渇後において予想される現象

枯渇後の期間では、既にレジストリからの IPv4 アドレスの割り振りは終了しているため、新たな IPv4 アドレスの割り振りは受けられない。しかし、割り振り可能な IPv4 アドレスが枯渇したからといって、直ちに IPv4 インターネットが利用されなくなることは考えられない。

既存の IPv4 インターネットは引き続き IPv4 アドレスを利用して運用され、さらに新しいインターネットの運用が本格化してくるものと考えられる。

本節では、この枯渇後の期間で起こりえる、第 2 章の報告書でも想定されていた以下の現象について整理する。

- IPv4 アドレスを取引する仕組み
- IPv6 インターネットへの移行
- IPv4 インターネットの維持

4.5.1. IPv4 アドレスを取引する仕組みの発生

枯渇後においては、RIR からの新たな IPv4 アドレスの割り振りは行われな
い。しかし、枯渇点直後においては、緊急的なネットワーク拡大など継続的な
IPv4 アドレスの需要が見込まれる。これらの IPv4 アドレスの需要は、利用さ
れなくなった割り振り済み IPv4 アドレスによってのみ賄われなくてはなら
ない。このため、IPv4 アドレスを取引するための何らかの仕組みが出来上がる
ものと考えられる。

現在インターネットレジストリでは割り当てられた IP アドレスの売買を含む一切の譲渡を禁止している²³が、枯渇後の逼迫した状況の下では RIR などの公的機関が、例えば証券市場のような妥当な流通機構を実現する必要が出てくる可能性もあるし、そういった機構が不十分である場合には 2.3.3 項で言及されているようなブラックマーケットとして実現する可能性も否定できない。

このようなブラックマーケットでの IPv4 アドレスの需要がどれくらいの量で、どれくらいの期間続くのかについては全く想定できないが、枯渇点直後にこのようなブラックマーケットが形成されれば、一時的に IPv4 アドレスの価格が高騰することが考えられる。

4.5.2. IPv6 インターネットへの移行

枯渇後において、仮に 4.5.1 節で述べたようなブラックマーケットが発生したとしても、そこで供給される IPv4 アドレスの量は、実際に必要とされている IPv4 アドレス需要に対してわずかなものであると考えられる。

このブラックマーケットに流出してくるアドレスが、実際の需要に対して適切に割り振られたアドレス空間ではない部分、つまり、RIR が形成される以前に割り振られた空間の余剰部分から流出してくることが考えられる。この流出してくるアドレス空間の量は、期待ほど大きくなく、第 2 章でも述べられているとおりに長くても数年の需要を満たすだけにとどまることが予測される。

このように、マーケットに流出するアドレス量が少ないと言うことは、IPv4 アドレスが非常に高価となる可能性が高い。従って、必然的に多くの組織は IPv4 アドレスに替わる方法を必要とすることになる。

IPv4 に対する代替手段の有効な選択肢として、IPv6 の採用がある。IPv6 に関連する技術は、この数年間で既に多くが検証されており、多くの場面で問題なく稼働することが解っている。このため、新たなサービスは IPv6 アドレスを利用して形成されることが予測でき、その結果、多くの組織が IPv6 の導入に向かうことになることが考えられる。

IPv6 インターネットが十分に成長し、既存の IPv4 インターネットに取って代わるようになれば、結果として IPv4 インターネットは過去のものとなり、そこで必要となる IPv4 アドレスの需要も減少することになる。

4.5.3. IPv4 インターネットの維持

現在の IPv4 インターネットに取って代わる新たなネットワークが IPv6 イン

²³ 例えば APNIC アドレスポリシー(Policies for IPv4 address space management in the Asia Pacific region) 9.9 項
<http://www.apnic.net/docs/policy/add-manage-policy.html>

ターネットである可能性は非常に高い。しかし、IPv6 インターネットだけが現在のインターネットを継続させる手段ではない。

現在の IPv4 インターネットを継続させるための IPv6 以外の有力な選択肢が NAT に代表されるアドレス変換技術であると考えられる。NAT に代表されるアドレス変換技術が高度化し、利便性が高い場合には、利用者は IPv6 よりも、アドレス変換技術の活用を選択することも考えられる。

ただし、すでに新規の IPv4 アドレスは供給されないことから、ネットワークの成長にあたっては、IPv4 アドレスの捻出、再利用を繰り返すことになる。これは、先に述べたブラックマーケットの助長にもつながると言える。

しかし、IP アドレスの利用量が継続的に増えるのであれば、必ず IPv4 アドレスの完全なる枯渇、つまり、ブラックマーケットでやりとりできる IPv4 アドレスすらなくなる時期の到来も考えられる。この時期がいつになるかは予測不可能だが、仮に到来した場合には、結局 IPv4 インターネットを代替する技術が必要になる。

4.6. IPv4 インターネットと IPv6 インターネットとの混在による影響

本節では、IPv4 アドレス空間すべての割り当てが完了し、新たに割り当てられるのは IPv6 アドレスだけとなった場合のインターネットにどのような状況が考えられるか考察する。

4.6.1. インターネットの基本動作

インターネットの動作の基本を今一度おさらいする。

インターネットは TCP/IP²⁴プロトコル群を用いて構築されたネットワークが相互接続されて構成された地球規模の公衆ネットワークであり、一般的にはコンピュータが接続され、他のコンピュータとの間で通信を行う。ネットワークサービスの必須な条件のひとつとして、接続される機器はネットワーク上で一意な識別子によって識別されなければならず、TCP/IP プロトコル群においては、これが IP アドレスである。

ただし、IP アドレスはコンピュータのユーザから直接参照されることは特殊なケースを除きなく、ホスト名を使って通信先のホストを特定、ホスト名から DNS²⁵の仕組みで IP アドレスを参照して通信を確立する。以上を、図 4-2 に概念図として示す。

²⁴ TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol
インターネットで利用されるプロトコル群の総称

²⁵ DNS: Domain Name System
インターネットに接続されたコンピュータの情報を提供するしくみ

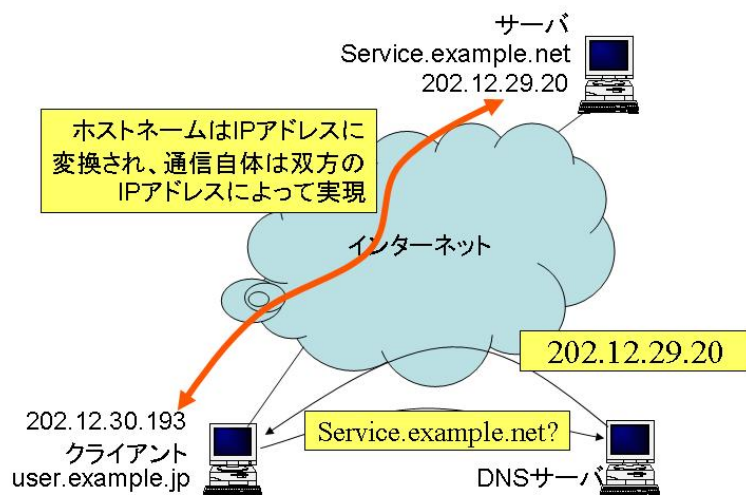


図 4-2 インターネットの概念図

4.6.2. インターネット利用者にとっての IPv4 と IPv6 の違い

インターネットに接続されたコンピュータの利用者は、インターネット上で提供事業者のサーバに設置された、情報提供を初めとする各種サービスを手入れし利用することにインターネットの利便性を見出して利用していると言える。利用者にとってのインターネットの利便は、まさにこのサーバ上のサービスに他ならない。

この場合に各種サービスに到達するためのインデックスとなるのは、URI²⁶などに用いられるホストネームである。利用者はホストネームを WWW²⁷ブラウザやメールソフトウェアに投入することで各種サービスを手入れする。IP アドレスが意識されることは極めて少ない。

IPv4 と IPv6 は名前のおりインターネットプロトコルの異なる 2 つのバージョンであり、しばしば同じコンピュータやルータなどで同時に動作して物理的な設備を共有することは多い（このような状態を「デュアルスタック」という）。しかしながら、プロトコルとしての IPv4 と IPv6 の間に互換性はないため、これら 2 つが直接相互に通信することはできない。従って、IPv4 で構築さ

²⁶ URI: Uniform Resource Identifier

インターネット上に存在する情報の場所を示す方法

²⁷ WWW: World Wide Web

インターネットで標準的に用いられるドキュメントシステム

れたインターネットと IPv6 で構築されたインターネットは、一部の設備を共有しているものの独立した2つのネットワークだと捉えるべきである。図 4-3 は図 4-2 の概念図をこの観点で書き直したものである。

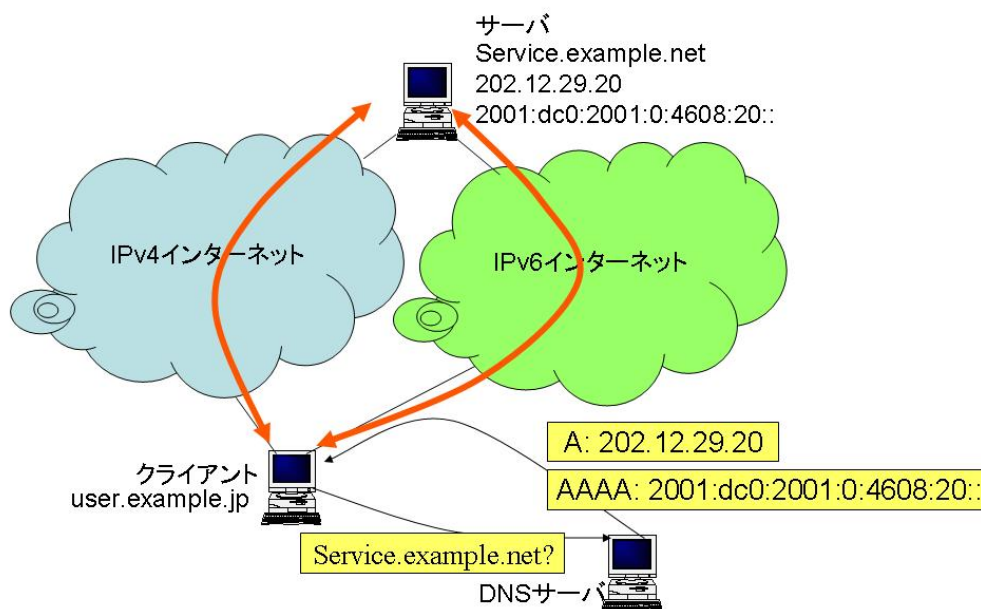


図 4-3 デュアルスタックインターネット

図 4-3 ではネームサーバをネットワークから便宜的に離して書いているが、コンピュータがホストネームの解決のために参照するネームサーバは IPv4 経由、IPv6 経由いずれの場合にも同一の内容を解決し、IPv4 と IPv6 に別々の DNS が構築されているわけではない。ひとつのホストネームに対して、IPv4 アドレスである A レコードと IPv6 アドレスである AAAA (クワッド A) レコードのうちどちらか一方、あるいは両方が解決される。

現在、利用者がインターネットという言葉で指すものは IPv4 インターネットである。利用者が利便として求める情報や各種サービスはもっぱら IPv4 で提供され、インターネットの価値を高めている。IPv6 インターネットは商用提供されていながら、まだまだ提供者、利用者ともに実験的な意味合いを脱しない。とはいえ、IPv6 インターネットは既に存在し、IPv4 と IPv6 のインターネットどちらにも接続されているデュアルスタックのクライアント、サーバは少数ながら存在し、極めて限定的ながら IPv6 シングルスタックのクライアントサーバも存在する。以上を図 4-4 に図示する。

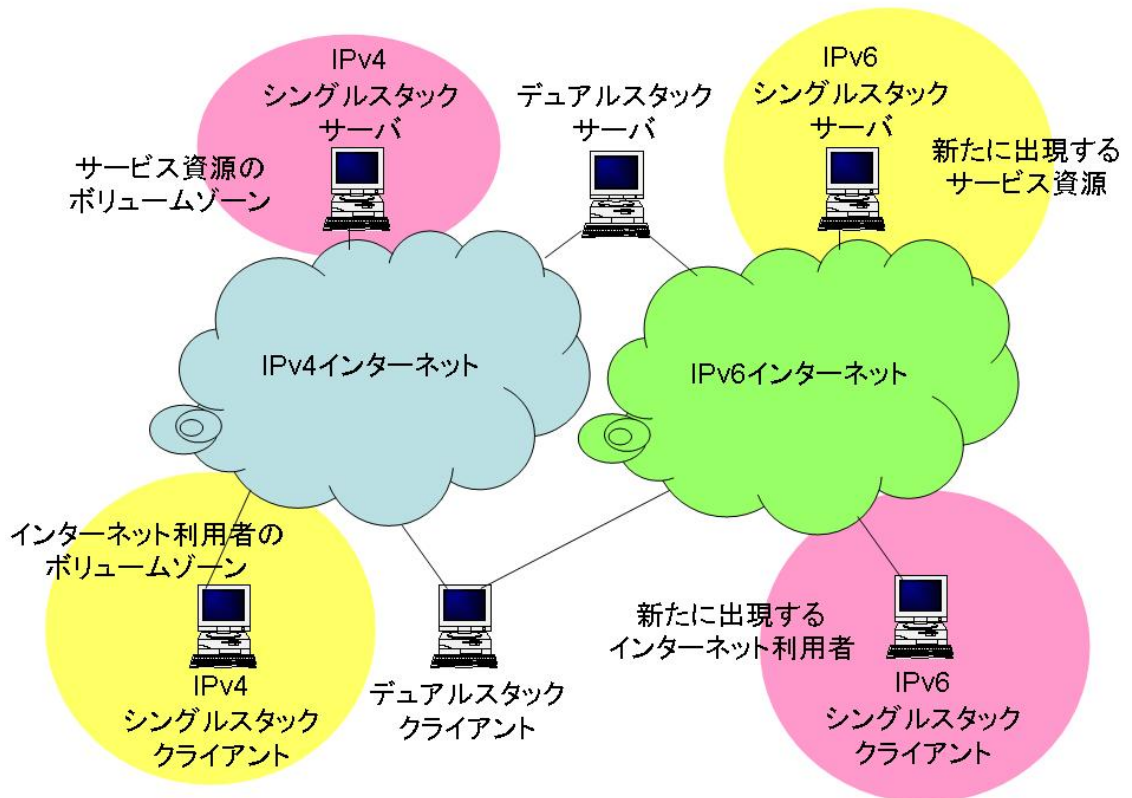


図 4-4 インターネットに接続されるさまざまなサーバとクライアント

4.6.3. IPv4 アドレス枯渇後の問題と解決策

IPv4 アドレスの割り当てが終了し、それ以降 IPv6 アドレスしか割り当てられなくなった場合には、新たにインターネットに接続してくるサービス事業者および利用者は、IPv6 シングルスタックでしかインターネットを利用できない状態となる。この場合に顕在化する問題として以下の 2 つが考えられる。

1. 新たなインターネット利用者（クライアント側）は、IPv6 インターネットしか利用できず、情報や各種サービスが充実している IPv4 シングルスタックサーバへのアクセスができない。前述のとおり、利用者にとってのインターネットの利便はサーバ上で実現されているので、このままでは新たなインターネット利用者はインターネットの利便を享受できない。言い換えると、利便がないインターネットに接続する利用者は発生しない。
2. 新たなサービス事業者（サーバ側）も IPv6 インターネットしか利用できず、ボリュームゾーンを構成する IPv4 シングルスタックの利用者に対するサービスの提供ができない。このままでは事業意義を見出せないことになるので、事業展開されない。

これら問題点を解決することは、IPv4 アドレスの割り当て終了と IPv6 によるインターネットの円滑な発展のために極めて重要である。では、この問題が解決するためにどのような方策があるだろうか。IPv4 アドレスが確保できない環境下では以下の 2 つの方法が考えられる。

- a. IPv6 シングルスタックのクライアントに IPv4 シングルスタックのサーバへのアクセスを可能にする方策としては、
 - (ア) サーバ側が IPv6 を具備しデュアルスタックとなるか、
 - (イ) あるいは IPv6 から IPv4 へのセッション確立を可能とするミドルシステムを開発し、設置すること。
- b. IPv4 シングルスタックのクライアントに IPv6 シングルスタックのサーバへのアクセスを可能にする方策としては、
 - (ア) IPv4 から IPv6 へのセッション確立を可能とするミドルシステムを開発し、設置するか、
 - (イ) あるいはクライアント側が IPv6 を具備しデュアルスタックとなること。

a., b. の方策を、図 4-5 と図 4-6 に図示する。また、(ア),(イ)に関して、(ア)はサーバ側（あるいはサーバ側のネットワーク提供事業者）で、(イ)はクライアント側（あるいはクライアント側のネットワーク提供事業者）で行われるだろう方策として提示している。

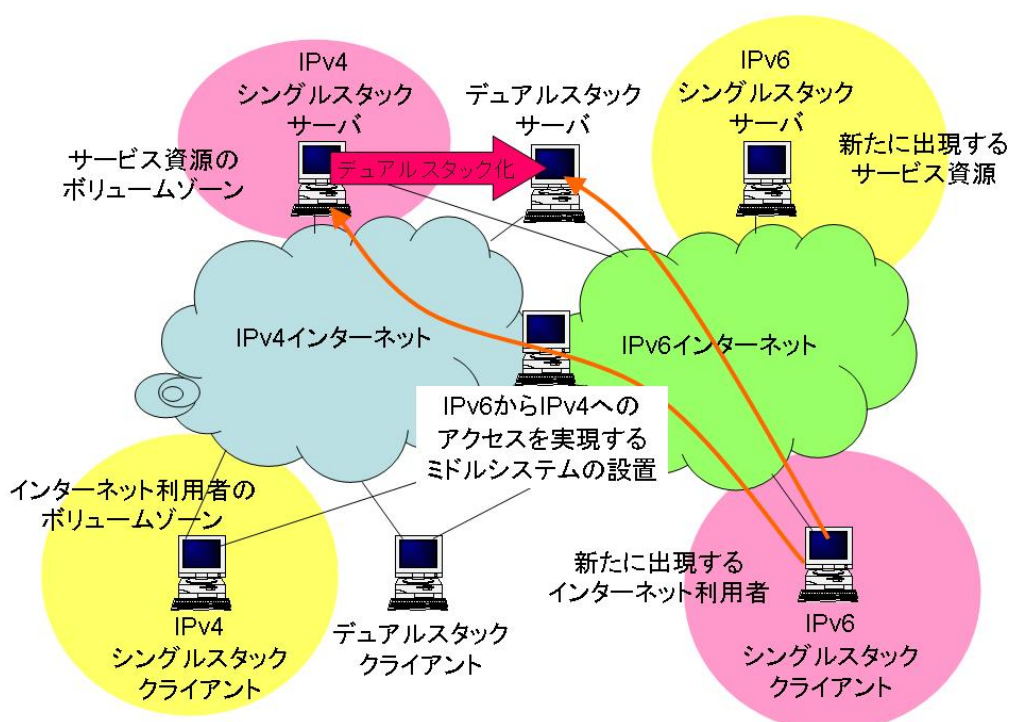


図 4-5 IPv6 シングルスタッククライアントに対する方策

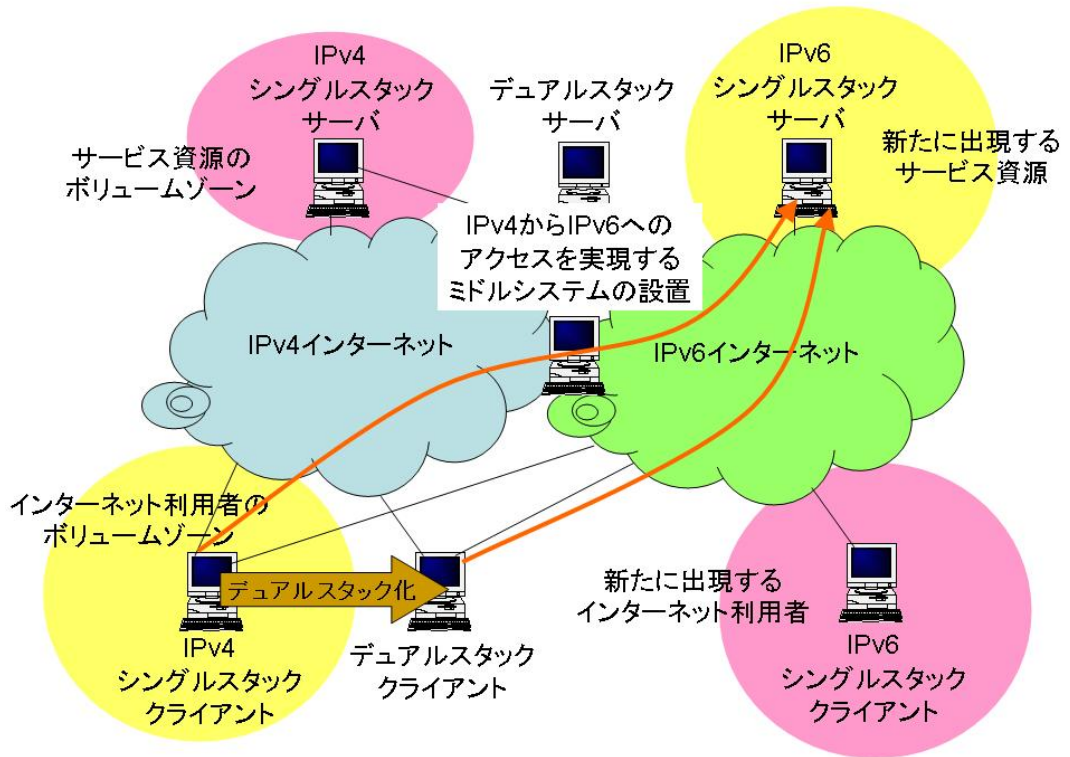


図 4-6 IPv6 シングルスタックサーバに対する方策

つまり、それぞれ IPv4 シングルスタックのホストに IPv6 を具備してデュアルスタック化するという本来的な対策を行った、ホストの管理者あるいはネットワーク事業者が、それに加えて自分側の IPv4 シングルスタックのホストと他の IPv6 シングルスタックホストとの通信を実現するための対策を講じるとは考えにくい。むしろ、それらは IPv6 シングルスタック側のホストの管理者あるいはネットワーク提供事業者側で、IPv4 シングルスタックとの通信を可能にする方策が取られることになるだろう。この状況を図 4-7 に図示する。

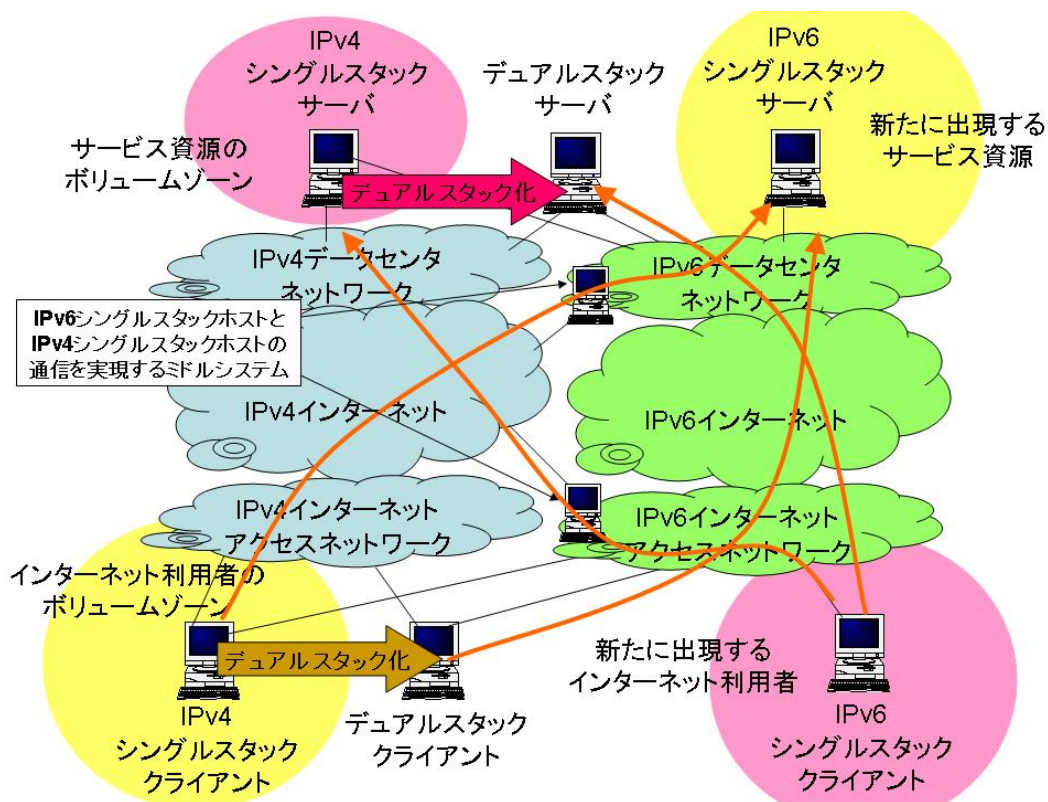


図 4-7 IPv6 シングルスタックホストのための解決策

また、このようなミドルシステムを設置する方策に関して注意したいことは、そのミドルシステムの設置に当たっては新たに IPv4 アドレスが必要となることである。ただし、どのくらいの数の IPv4 アドレスが必要となるかに関しては多分にそのミドルシステムの仕様に依存すると言わざるを得ないが、そのようなミドルシステムのために IPv4 アドレスを確保するための何らかの対策が必要になると考えられる。

4.6.4. 混在環境での問題点の整理

ここまで論じてきた IPv4 割り当て終了後に不可避となる IPv6 シングルスタックホストへの対応策を、ネットワーク事業者の立場から捉えなおすと以下のように整理できる。

- i) 既存 IPv4 クライアントに対しては、IPv6 とのデュアルスタック化を推進して、IPv6 シングルスタックサーバとの通信を実現する。
- ii) 既存 IPv4 サーバに対しては、IPv6 とのデュアルスタック化を推進して、IPv6 シングルスタッククライアントからの通信を実現する。

iii) 新規 IPv6 シングルスタッククライアントに対しては、デュアルスタック化が完了していないインターネット上の IPv4 シングルスタックサーバへのアクセスの利便を確保するためのミドルシステムを設置する。

iv) 新規 IPv6 シングルスタックサーバに対しては、デュアルスタック化が完了していないインターネット上の IPv4 シングルスタッククライアントからのアクセスの利便を確保するためのミドルシステムを設置する。

これらの方策は、実現性に関する技術的な制約や周辺状況がそれぞれあるだろう。

まず、iii), iv)のようなミドルシステムに関して、本報告でその技術的な実現性に関して検証しないが、実際に検証する過程で思いがけなく実現が困難であるなどで、i), ii)のように IPv4 ホスト側に、デュアルスタック化への要請が高まるかもしれない。しかしながら、デュアルスタック化とて一定の投資を必要とするので単純ではなく、デュアルスタック化を行うための投資が正当化できるほど需要が顕在化するには少くない時間が掛かるだろう。言い換えると、IPv6 シングルスタックからの利用者数が十分に少ないと判断される間、既存 IPv4 ホスト側の投資は期待できないと考えるのが自然である。例え日本国内でデュアルスタック化が順調に進んだとしても、それは世界各国で同様に進むことを保証するものではない。

これらから、IPv6 シングルスタックホストを抱えようとする事業者側でミドルシステム設置（あるいは開発も含む）を自助努力で行う必要があるだろうと想像できる。

次に、iii), iv)の間の違い、ミドルシステムがクライアントのためにサービスするか、サーバのためにサービスするかは大きな違いだといえる。iii)はクライアントのためにサービスしているが、現在これに良く似た機能としては容易に NAT を想像することができ、IPv4 対 IPv4 のアドレス変換においては相当のレベルの透明性（トランスペアレンシー）を確保できているので、IPv6 においても同様なものを期待できる。

しかしながら、iv)のサーバ側に置かれるミドルシステムでは、サーバがそもそもクライアントからのサービス要求を待ち構える側であることから、ミドルシステム自体に事前にサービスと変換スキームを登録しておく必要があるため、透明性の観点では iii)のレベルにとっても到達しないものと考えられる。従ってサーバ側では IPv6 シングルスタックに対する障壁は高いように思われる。

5. 提言

前章までにおいて、各有識者の予測の報告および日本国内の動向に関する分析を行った。これらの事実が示すとおり、IPv4 アドレスの割り振り・割り当てはそう遠くない将来において終了することは明らかである。これによって直ちに IPv4 を基盤としたインターネットが終了するわけではない。しかし、新しい IPv4 アドレスが割り当てられないことから、IPv4 を基盤としたインターネットの成長は停止あるいは縮退していくことになる。インターネットを利用するすべての者は、この事実を受け止め、必要な対策を順次講じるべきである。

IPv4 アドレスの枯渇に向けて、インターネットに関わる者は、特に IPv6 インターネットへの対応を検討・実施することが急務であると考えられる。今後、ユーザに向けて何らかの新しいサービスを提供する場合は、IPv4 を基盤としたインターネット上のみで提供されるのではなく、IPv6 を基盤としたインターネット上でも提供するべきである。

本章では、インターネットに関わるプレイヤー別に、IPv4 アドレス枯渇に向けて、今後必要だと考えられる準備事項について述べる。前章までにおいては、客観的事実のまとめを行い、筆者らの主観はなるべく省いて記述してきた。本章では、筆者ら専門家チームが、IPv4 アドレスの枯渇を迎えるに当たり、プレイヤーごとに準備することが望ましい事項について提言を行う。

5.1. IP アドレスを取り巻く利用者の分類

本章においては、インターネットに関わるプレイヤーを以下のように分類する。また、これらを整理したものを図 5-1 および図 5-2 に示す。

- インターネットサービスプロバイダ (ISP)

ISP とは、インターネットへの接続性を提供する事業者とする。IP アドレスの管理構造のモデル中では LIR と呼ばれている。JPNIC における「IP アドレス管理指定事業者(IP 指定事業者)」は ISP に含まれる。IP 指定事業者にならず、上位の ISP から IP アドレスの割り振りを受けてユーザに IP アドレス割り当てを行っている事業者(いわゆる二次プロバイダ)も ISP に含まれる。

- レジストリ

本章では、IP アドレスの割り振り、割り当て業務を行う組織のうち、全世界を統括する ICANN²⁸および IANA、地域を統括する RIR、そして各国を統括する NIR をレジストリと呼ぶ。LIR (JPNIC における IP 指定事業者) は、ここで述べるレジストリには含まれない。

²⁸ ICANN: The 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する民間の非営利法人

- インターネット利用者

インターネット利用者をさらに以下のように分類する。

- ▶ サービス提供者

サービス提供者とは、インターネットを手段（メディア）として利用し、一般ユーザ（消費者、エンドユーザ）に何らかのサービスを提供する組織を指す。ISPはIPv4あるいはIPv6パケットを運ぶ業務が中心だとすると、サーバを使って情報提供あるいは何らかのオンラインビジネスを行う組織、例えば検索エンジン提供者、オンラインバンキング提供者、オンラインショッピングサイト提供者、などがサービス提供者と分類される。

- ▶ 企業ユーザ

自らの業務遂行のためインターネットに接続している企業などの団体において、インターネット上にある情報やサービスを利用するサービス利用者の部分をここでは「企業ユーザ」と定義する。一方、社外の不特定多数の利用者に対して何らかのサービスを提供している部分に関しては、上記の「サービス提供者」の範疇に分類する。

- ▶ 一般ユーザ

一般ユーザとは、インターネット上にある情報やサービスを利用する利用者を指す。一方、一般ユーザにおいても、自分でサーバを立てて情報提供している部分は、「サービス提供者」の範疇と考える。

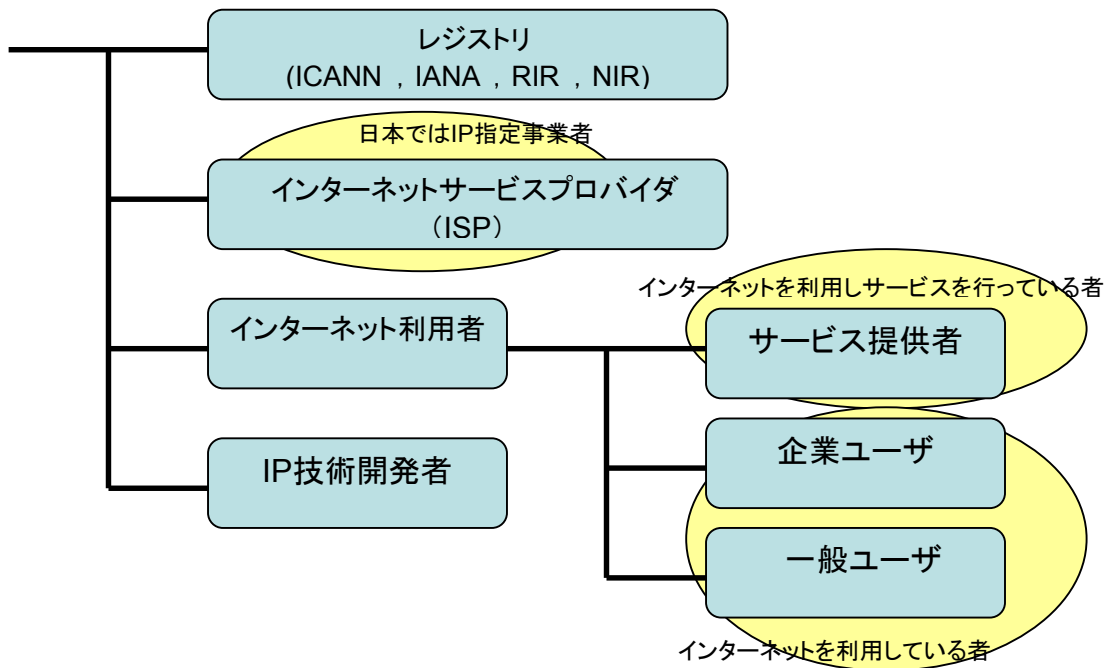


図 5-1 関係プレイヤーの分類

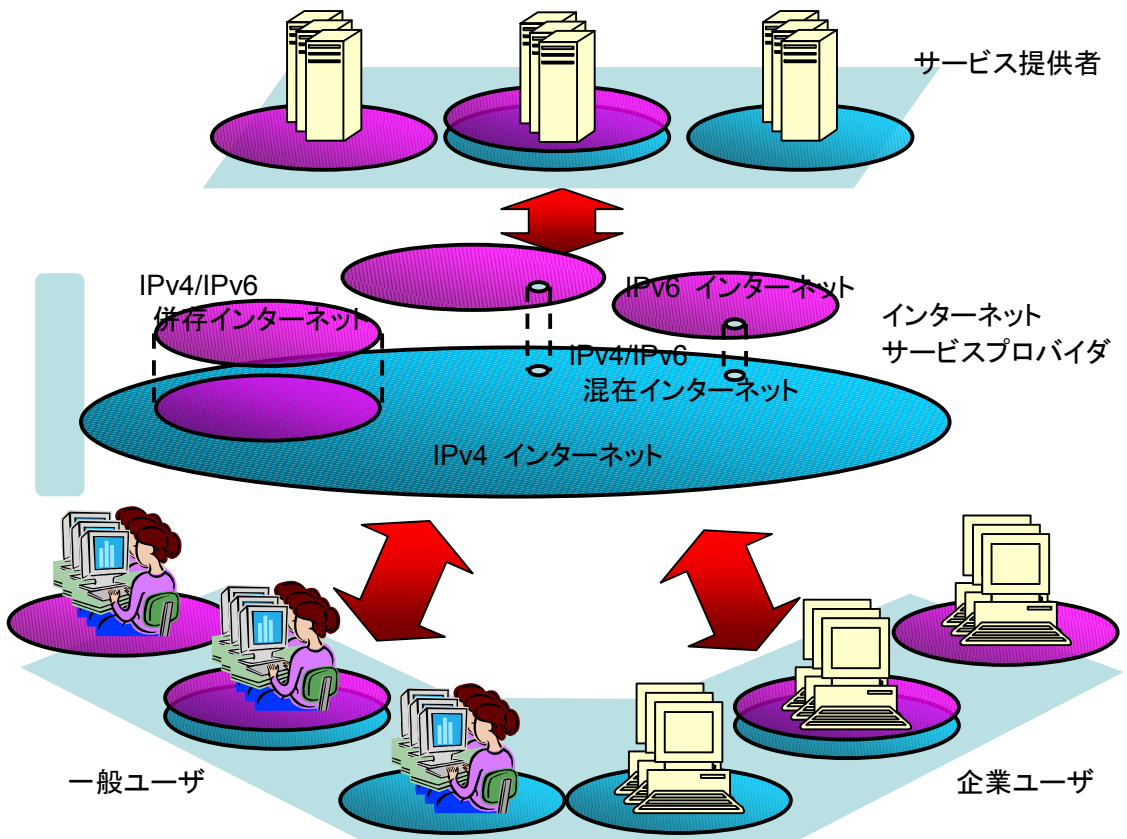


図 5-2 インターネット利用者と ISP の関係

5.2. レジストリ(ICANN/IANA/RIR/NIR)への提言

- **IP アドレスに関わる各レジストリは、全世界的に一貫性のあるポリシーを共有するべきである。**

各地域レジストリによる ISP(LIR)への IP アドレス割り振りは、不公平があってはならない。各地域レジストリはどの LIR から申請を受けたとしても、同じポリシーにより、同じ基準で IP アドレスを割り振るべきである。地理的な条件に因って IP アドレスの割り振りに関して有利・不利があってはならない。

- **レジストリは IPv4 アドレス枯渇を阻止する目的、あるいは IPv4 アドレスを延命する目的でポリシー変更を行うべきではない。**

IPv4 アドレスの枯渇はインターネットの成長と同様、止められるものではない。第 2.3.2 項で Tony Hain も述べているように、「使われていない IPv4 アドレスを回収して再度割り振る」「アドレス割り振り条件を厳しくする」等の行為を行ったとしても現在の IPv4 アドレスの消費速度からみても非効率的であり、効果的ではないと考えられる。このため IPv4 アドレスを割り振ることができる期間を延ばすためにポリシー変更することは、かえってインターネット利用の促進を阻害することにつながる。

各レジストリは現状とおり、必要な組織に、必要な時に、必要なだけの IP アドレスを割り振る業務を粛々と進めるべきである。そして可能な限り公平性を期し、スムーズに IPv4 アドレスの割り振り終了を迎えられるように努めるべきである。

- **レジストリは IPv4 アドレス割り振り・割り当ての公平性を保つ目的であれば、ポリシーを変更してもよい。**

IPv4 アドレスの「延命を目的とした」ポリシーの変更は行うべきではない。一方、アドレス資源の割り振りの「公平性を保つための」ポリシー変更は容認しうる。

レジストリは、現状と同じく、各 ISP (LIR) に対して必要な時に必要な分だけのアドレスを割り振りつつ、可能な限り公平な分配を行うべきであり、公平を期すことを前提としたポリシー変更を行ってもよい。

公平なアドレス分配に関しては、既に RIR のポリシーミーティング等で何度も議論されているように、様々な考え方が存在する。IPv4 アドレスの枯渇期がすぐ到来することを考えると、今後各 RIR 間で意識を統一するよう準備を始めるなければならない。

例えば、申請時の IP アドレス需要の見込み期間を短く区切る、申請受領時のタイムスタンプを厳密に適用する、といったポリシーの変更は、公平な IP

アドレス割り振りに必要となるかもしれない。これらは IP アドレスの需要を鑑みて議論されるべきである。

- レジストリは、クリティカルインフラストラクチャなどのために IPv4 アドレスを確保しておくべきである。

また、各レジストリまたは IETF²⁹等の公的機関において、インターネットの運用に最低限必要なクリティカルインフラストラクチャに用いるための IPv4 アドレスは確保しておくべきである。インターネットの運用に最低限必要なクリティカルインフラストラクチャとは何か、という定義は、別途定める必要がある。これは RIR の PI アドレス割り当ての際に定められたクリティカルインフラストラクチャの定義を参照するとよい。

同様に、第 4.6.4 項で指摘したミドルシステムなど、IPv4/IPv6 混在環境の実現や IPv6 インターネットへの移行を円滑に実現するため必要となる IPv4 アドレスも存在しうるため、これらにも IPv4 アドレスの確保が必要となる可能性もある。

5.3. インターネットサービスプロバイダ(ISP)への提言

- ISP は、必要以上の IP アドレス申請をしないよう心がけるべきである。

ISP は、IPv4 アドレスが枯渇することを常に意識する必要がある。そして、より効率的な IPv4 アドレス利用を心がけるべきである。特に、IPv4 アドレスの申請にあたっては、今後も必要な分だけを取得するべきである。枯渇が迫っていることを理由に駆け込みで IPv4 アドレスの余分な申請をする等のパニック的な対応はしてはならない。レジストリは、IPv4 アドレスの枯渇に向け世界的に見ても公平な割り振りを行うはずである。従って、例えば駆け込み的な申請を行う、他の地域レジストリに申請を行う、等といった行為を行ったとしても割り振りに有利・不利等が生じることは有り得ない。

- ISP は、IPv4 アドレスの枯渇に向けた準備として、IPv6 による接続性を提供できるよう準備を始めるべきである。特に一般ユーザが IPv4 アドレス枯渇を意識しなくて済むよう、事前に万全の対策を取るべきである。

ISP は、インターネットインフラストラクチャを利用者に提供する要であり、IPv4 アドレスの枯渇によって利用者へのインターネット接続性等の提供が頭打ちになってしまうようなことがあってはならない。IPv4 インターネットと同様、これまで以上に IPv6 接続性の提供に向けた取り組みが必要となる。

インターネットへの接続性を提供する ISP が IPv6 でのサービス提供を行わ

²⁹ IETF: Internet Engineering Task Force
インターネット技術の標準化を推進する任意団体

なければ、インターネット利用者であるサービス提供者、企業ユーザ、一般ユーザが IPv6 を使い始めたとしても、IPv6 での到達性が存在せずにサーバへのアクセスが遅くなるなどの問題が生じる可能性がある。これらの問題はインターネット利用者が IPv6 に対応するモチベーションを低下させる。このため、ISP の IPv6 への対応が遅れると IPv4 アドレス枯渇時点でもインターネット全体の IPv6 対応が終わらない状況が起こりうる。この点を考慮すると、ISP の IPv6 対応は最も重要で最も優先しなければならない事項である。

もちろん IPv6 接続性の提供は安価におこなえるものではない。対応にあたり、下記のような費用が想定される。しかし、インターネット全体で IPv4 枯渇を乗り切るためには、後述のように、ISP 自らがベンダを始めとする IP 技術開発者に積極的に働きかけ、IPv6 導入に伴う問題を解決させ、かつ安価なコストで IPv6 対応機器を調達できる状況を作るとともに、社会状況を見ながら適切な時期に IPv6 接続性を提供できるよう努力しなければならない。

- ネットワーク運用技術者の育成・教育費等の人件費
 - 既存のネットワーク運用を継続する他に、IPv6 ネットワークを運用する技術を身につけたオペレータ等の育成費用等の人件費が初期には余分に掛かる。継続的なサービス提供を行うためにはサポート業務に関わる人材育成等の人件費も必要となる。
- IPv6 対応設備への投資
 - ルータを始めとするネットワーク機器は、現行では IPv6 対応を明示してあるものはその分高価であることも多く、IPv6 対応のためにはその分の設備投資が必要となる。
 - 監視系システムや運用系システムを IPv6 に対応させるために費用が発生することがある。
- IPv6 アドレスの取得、ピアリング
 - IPv4 アドレスに加え、IPv6 アドレスを新たに取得する必要がある。また、IPv6 ピアリングやトランジットの費用も必要となる。
- 提供サービスの IPv6 対応
 - Web ポータルや Mail サービスなど、各 ISP が提供するサービスを IPv6 化するために、サーバやアプリケーション等の改変費用が必要となる。

なお、IPv6 対応および移行に関する一連の技術的課題の検討、機器策定の基準および、IP アドレス維持コストなどの洗い出しは IPv6 普及・高度化推進協議会の移行ワーキンググループ³⁰における移行ガイドライン等が参考になる。

5.4. インターネット利用者への提言

インターネット資料者は、図 5-1 にも示したとおり、「サービス提供者」、「企業ユーザ」、「一般ユーザ」の 3 つに分類される。

本節では、インターネット利用者に対する提言をまとめる。

5.4.1. サービス提供者

- サービス提供者は、新たな設備調達にあたって IPv6 対応機器を選択すべきである。

サービス提供者が IPv6 に対応することは、今後のインターネットにとって非常に重要である。なぜならば、IPv4 アドレス枯渇ののち、サービス提供者が IPv6 に対応していないと IPv4 だけを使い続けようとする傾向が強まると共に、IPv6 から IPv4 変換の負荷が無用が増加することが予想されるからである。

サービス提供者に対しては、これから新たな設備（サーバ、ルータ、ファイアウォールなど）を構築する場合には、設備償却期間を考慮しながら、IPv6 にも対応した（すなわち IPv4/IPv6 両方利用可能な）機器の調達を推奨する。

2006 年後半から 2007 年前半の間に、IPv6 に標準で対応する Windows Vista が登場することが予定されており、ISP も IPv6 対応を進めていくと考えられる。Windows Vista による IPv6 の普及に伴い、今後も使用を続ける機器の調達にあたっては IPv6 対応を考慮しておく必要がある。

- サービス提供者は、ISP の IPv6 対応が進み自らのビジネスに支障がなくなった時点で速やかに IPv6 でのサービス提供を行うべきである。

サービス提供者の場合、IPv6 でのサービス提供に当たっては十分な検討が必要である。例えば、ISP が IPv6 に対応するより早く IPv6 アドレスを DNS でアナウンスしてしまうと問題が起きる可能性がある。現在の多くの OS では、IP アドレスの名前解決順序・サーバとの接続を試みる順序が IPv6 優先となっている。IPv6 での到達性が完全でない状況において IPv6 から接続を開始すると、IPv6 での接続に失敗してから IPv4 で接続を行うことになる。このため環

³⁰ IPv6 普及・高度化推進協議会 移行ワーキンググループ
<http://www.v6pc.jp/jp/wg/transWG/index.phtml>

境によっては接続に 20 秒程度余分に時間がかかり、利用者から「接続が遅い」等というクレームが上がる可能性がある³¹。この対策としては、本来ならば同じ FQDN³²に IPv4 アドレスと IPv6 アドレスを対応づける（すなわち、A レコードと AAAA レコードを持たせる）のが理想である。例えば、IPv4 用の FQDN と IPv6 用の FQDN を分ける等の対策を考慮するなどが考えられる。

サービス提供者は、ISP の IPv6 対応状況を充分見極める必要がある。しかし ISP が IPv6 に対応する頃には IPv4 枯渇時期が迫っていると予想されるため、ISP の対応後は、サービス提供者も速やかに IPv6 でサービスを開始することを推奨する。

5.4.2. 企業ユーザ

企業ユーザへの提言は、主に企業ネットワークの管理者（例えば、情報システム部門など）への提言である。企業内の利用者への提言は、次節の一般ユーザと同じ提言となる。

● 今後新たなネットワーク設備を導入する場合には、IPv6 に対応した機器を導入すべきである。

企業ネットワークの設備とは、ルータ等のネットワーク機器、パソコン、社内向けおよび社外向けサーバ、各種アプリケーション、グループウェア等を含む基幹システムなどが挙げられる。

企業のネットワークにおける設備更改のサイクルは、通常 5 年程度であることを考慮すると、数年後と予想される IPv4 アドレス枯渇点が近づいてきた時点には、インターネット側での IPv6 普及が進んでいると予想される。現在、設備更改を検討しているのであれば、IPv6 対応あるいは近い将来に IPv6 対応が約束されている機器の調達を推奨する。

また、社内ネットワークに（IPv4 とともに）IPv6 アドレスも用いる場合、前節のサービス提供者への提言にて述べた IPv4/IPv6 併存による問題のために社外との通信（インターネットへのアクセス等）の反応が遅くなる可能性がある。企業ネットワーク管理者は、この点に十分注意してネットワークを設計・構築すべきである。

³¹ この内容に関するプレゼンテーションが JANOG17 にて行われた。
「IPv6 の今そこにある危機」

<http://www.janog.gr.jp/meeting/janog17/abstract.html#p04>

³² FQDN: Fully Qualified Domain Name
すべての要素を省略せずに表記したドメイン名

5.4.3. 一般ユーザ

- 一般ユーザは、IPv4 アドレス枯渇にあたって意識すべきことはない。さらに言えば、IPv4 アドレス枯渇の事実さえも意識しなくてよい。

一般ユーザは、IPv4 枯渇に伴って行うべきアクション、例えば IPv6 への対応などを気にする必要はない。

ISP やサービス提供者、さらにベンダなどの IP 技術者は、一般ユーザに IPv4 アドレスの枯渇や、IPv6 の移行などを意識させないように対応すべきであり、一般ユーザがすべてのサービスを IPv4 アドレスの枯渇と関係なく享受し続けられるように努めなければならない。

5.5. IP 技術開発者(ベンダ等)への提言

- ベンダを始めとする IP 技術開発者は、IPv4 アドレス枯渇を意識し、より一層の IPv6 技術開発に取り組むべきである。特に IPv6/IPv4 併存環境における課題に対しては、他のプレイヤーと連携をとりながら迅速に問題解決を図る必要がある。

IP ネットワークに関する技術開発に携わる開発者・組織・ベンダ・メーカは、今後より一層 IPv6 の技術開発に向けて取り組む必要がある。特に、第 4 章に述べたような過渡期における IPv4 と IPv6 の併存環境および混在環境における課題は、各者が互いに協力ながら解決すべきである。

- アプリケーションに関して
 - 今後アプリケーションの開発を行う際には、常に IPv4・IPv6 アドレスが複数付与され、デュアルスタックと呼ばれるようなマルチホーム、マルチソース IP の併存環境に置かれている事を想定した実装を行う必要があるだろう。
- ネットワークに関して
 - 現状では、IPv6 インターネットのみですべてのサービスが利用できる環境が実現できているとは言えない。過渡期には、IPv6 環境のみからでも IPv4 上のサービスが透過的に利用できるような、移行に必要な技術も必要となってくるであろう。
 - また、例えば DNS の利用など、インターネット要素技術の IPv6 化に問題が発生しないよう努める必要がある。
- セキュリティに関して
 - IPv4 と IPv6 の併存、または混在環境において、セキュリティ技術の

開発も重要となる。これらの環境においても、最低限、現状の IPv4 インターネットと同等の安心・安全が利用者に提供できるよう努める必要がある。

- また、IPv6 インターネットでは新しい利用形態も想定される。ホームネットワークやタグ技術といった既存のインターネットとは異なるサービスが提供される際にも、セキュリティの確保は重要な要素となるだろう。

IPv4 の枯渇期（枯渇前、枯渇点、枯渇後を含めた全期間）は、IPv6 インターネットとの過渡期でもありと考えられる。以下のような環境の際に、利用者にサービスが提供可能かどうか、技術的な底上げが必要となるだろう。

1. IPv4 のみのインターネットと IPv6 のみのインターネットがそれぞれ独立したネットワークとしてあちこちで相互に接続されているような「IPv4/IPv6 混在ネットワーク」上でも、サービスが問題なく使える必要がある。
2. デュアルスタック環境に代表される、IPv4 および IPv6 のアドレスが複数割り当てられる「IPv4/IPv6 併存ネットワーク」環境においても、各サービスが問題なく使える必要がある。
3. 当面は、IPv6 のみのネットワークから、IPv4 ネットワーク上の各サービスが問題なく使える必要がある。第 4 章で述べたような過渡期には、これらの技術が充分でないと移行がスムーズに行われない。

なお、2 点目の「IPv4/IPv6 併存ネットワーク」環境における IPv6 移行の技術的問題等に関しては、WIDE Project³³が行っている IPv6 Fix Project³⁴に詳しく記載されている。

³³ WIDE Project: Widely Integrated Distributed Environment Project
<http://www.wide.ad.jp/index-j.html>

³⁴ IPv6 Fix Official Homepage
<http://v6fix.net/>

6. 著者

本報告書は、日本ネットワークインフォメーションセンター(JPNIC)に設置された、「番号資源利用状況調査研究専門家チーム」によって、現時点での IPv4 アドレス需要の伸びなどを把握することを目的に作成されました。

以下に、執筆にあたった専門家チームのメンバーを紹介する。

チェア	近藤 邦昭	株式会社インテック・ネットコア
メンバー	芦田 宏之 河野 志行 塚本 彰 外山 勝保 豊野 剛 中川 あきら 吉田 友哉	イツツ・コミュニケーションズ株式会社 早稲田大学大学院 国際情報通信研究科 株式会社UCOM 日本電信電話株式会社 日本電信電話株式会社 KDD I 株式会社 NTT コミュニケーションズ株式会社
担当理事	前村 昌紀	フランステレコム日本研究所

多忙の中、度重なるミーティングによる検討と執筆に時間を割いていただいたことに感謝します。

7. 謝辞

本報告書執筆に当たっては、上記で紹介した専門家チームのメンバー以外にも多くの方に協力を頂いています。

日本電信電話株式会社/JPNIC IP アドレス検討委員の藤崎氏には、多数のミーティングに出席を頂いただけでなく、メーリングリストなど多くの場面で多くのコメントを頂きました。

北海道大学 助教授 南博士には、多忙の中、各枯渇予測レポートを読み解き、我々にコメントを頂きました。

JPNIC IP 事業部からの過去のデータの提供やその他の協力を頂かなくては、報告書は完成に至りませんでした。

また、Geoff Huston 氏、Tony Hain 氏には論文引用に関してご快諾をいただき、著者の立場から有益なコメントを頂きました。

その他、多くの方に本報告書執筆にご協力をいただきました。

ここで、感謝の意を表したいと思います。ありがとうございました。

以上

Appendix. A

本 Appendix では、第 2 章で紹介した、各有識者の IPv4 アドレス枯渇予測の詳しい内容について紹介する。

A-1.Geoff Huston による IP Address Space Report

本節では、Geoff Huston 氏による IP Address Space Report について解説する。

A-1.1.はじめに

このレポートに使われているデータは、過去の BGP のルーティングテーブルにおける経路数の伸びを将来に伸ばしたものである。

なお、このレポートは Web にて公開されているが、掲載内容が毎日自動更新されており、日々の IP アドレス需要を反映しながら、更新のたびに枯渇予測年月日に変化している。そこで、本報告書では、2005(平成 17)年 12 月 28 日に取得した Web 情報をもとに解説を進める。

また、このレポートでは、前提として、過去の IP アドレス消費傾向は将来も続くものであることとしている。

A-1.2.結論

- IANA プールが枯渇する時期 **2013(平成 25)年**
- RIR プールが枯渇する時期 **2016(平成 28)年 1 月**
- 割り振り/割り当てされた全 IPv4 アドレスブロックが BGP ルーティングテーブルに反映される時期 **2022(平成 34)年 8 月**

(注意)

この章では、「割り振り」、「割り当て」という言葉の定義について、原文の筆者の使い方に合わせた。具体的には以下のとおりである。

- 割り振り・・・ IANA から RIR への IP アドレス分配を指す。
- 割り当て・・・ RIR からエンドユーザへの IP アドレス分配を指す。ここで、エンドユーザとは、LIR や ISPなどを指す。

A-1.3.全 IPv4 アドレスブロックの内訳および予約済みのブロック

図 A-1 に IPv4 アドレスの内訳を示す。

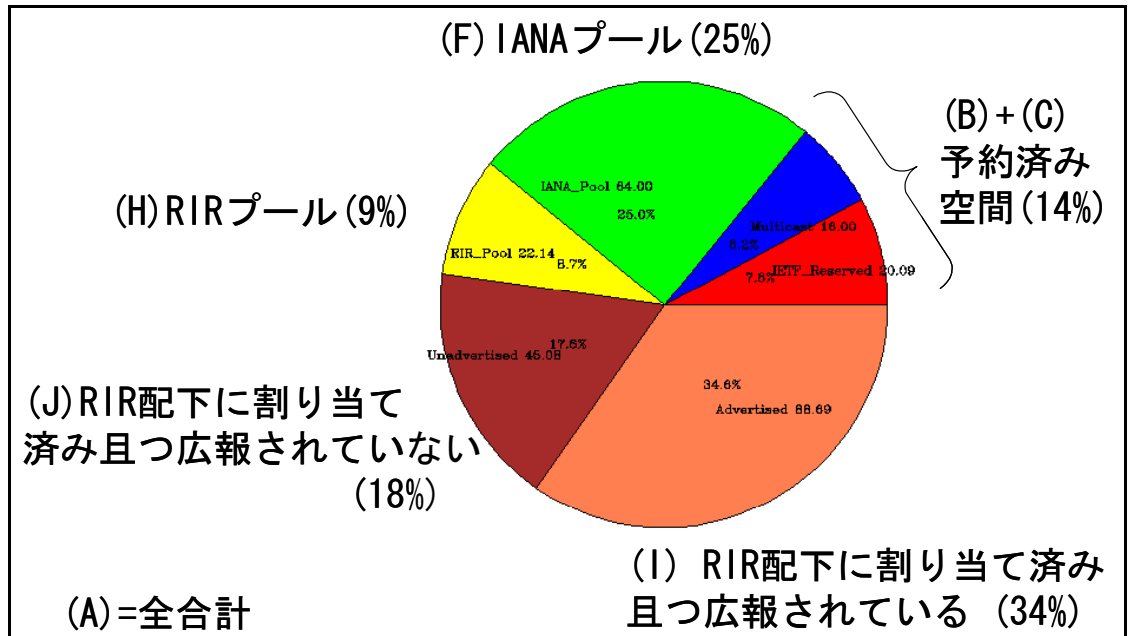


図 A-1 IPv4 アドレスの内訳

IPv4 アドレスは、32 ビットで構成され、アドレス数の合計は約 45 億個になる。この分析では、旧クラス A 単位、つまり、全 IPv4 アドレスを 256 の /8 の単位に分けて考える。各 /8 の IPv4 アドレスブロックは 16,777,216 個分のアドレス空間である。

(A)全 IPv4 アドレスブロックは 256 個あるが、このブロックを以下のとおり分類することが可能である。

- (A) 全 IPv4 アドレスブロック /8 × 256 ブロック
- 内訳
 - (B) Multicast アドレス /8 × 16 ブロック
 - (C) IETF 予約済み /8 × 20.09 ブロック
 - (D) Unicast アドレス /8 × 219.91 ブロック

更に、この (D) Unicast アドレスを「(E)IANA から RIR へ割り振り済み」、 「(F) IANA から RIR へ未割り振り」に分類することが可能である。

- (E)IANA から RIR へ割り振り済み /8 × 155.91 ブロック
- (F)IANA から RIR へ未割り振り (IANA プール) /8 × 64 ブロック

更に、「(E) IANA から RIR へ割り振り済み」アドレスブロックを「(G) RIR からその配下への割り当て済みブロック」と「(H) 未割り当て(RIR プール)」に分類することが可能である。

- (G) RIR からその配下へ割り当て済み $/8 \times 133.77$ ブロック
- (H) RIR からその配下へ未割り当て(RIR プール) $/8 \times 22.14$ ブロック

一方、「(G)RIR からその配下へ割り当て済み」IPv4 アドレスブロックを「(I) インターネット上に広告されている」ブロックと「(J) インターネット上に広告されていない」ブロックに分類することができる。

- (I) インターネット上に広告されている
- (J) インターネット上に広告されていない

執筆者 歴史的経緯をもつプロバイダ非依存アドレス等、上記に記述の無いアドレスについては、IANA から割り振られた IP アドレスは IANA に含まれており、RIR から割り振られた IP アドレスは RIR に含まれているものとする。

A-1.4. 割り振りの状況

IANA から各 RIR への割り振りブロック数の推移、各 RIR から各 RIR 等の配下の組織への割り当てブロック数の推移は、図 A-2 図 A-3 のとおりである。

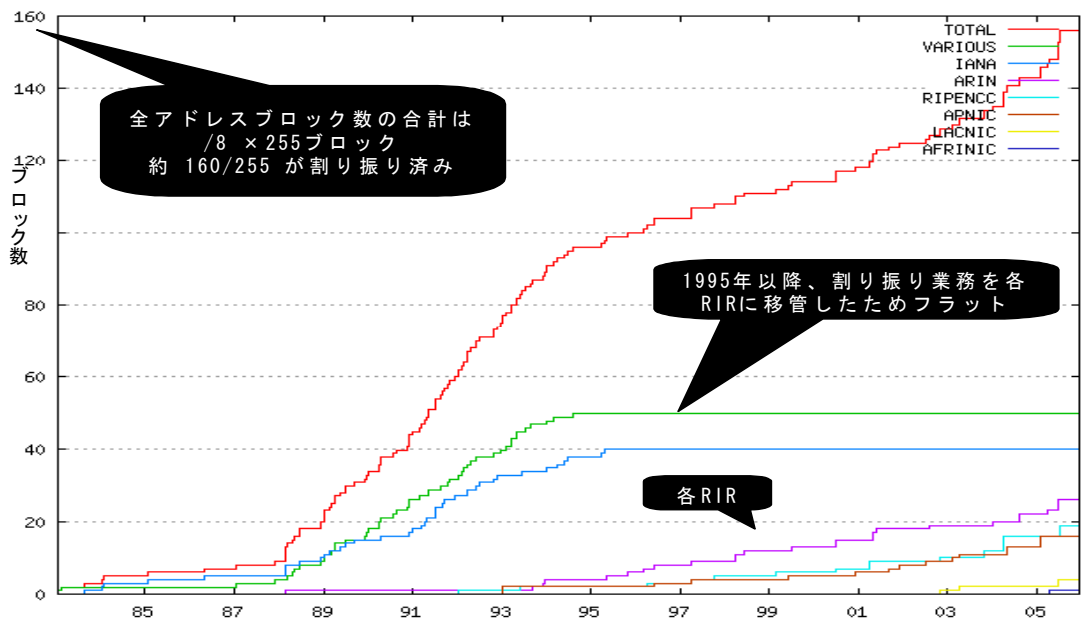


図 A-2 IANA から各 RIR への割り振りブロック数の推移

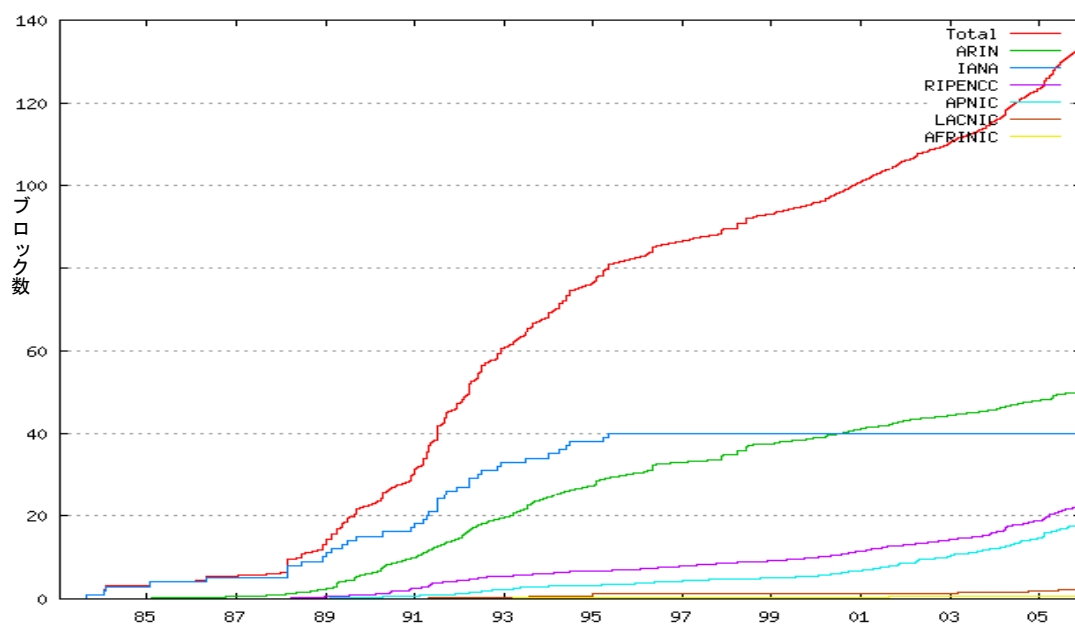


図 A-3 各 RIR から各 NIR 等の配下の組織への割り振りブロック数の推移

A-1.5.IANA プールの推移

IANA プールに残っている IPv4 アドレスブロック数は、図 A-4 のとおりである。

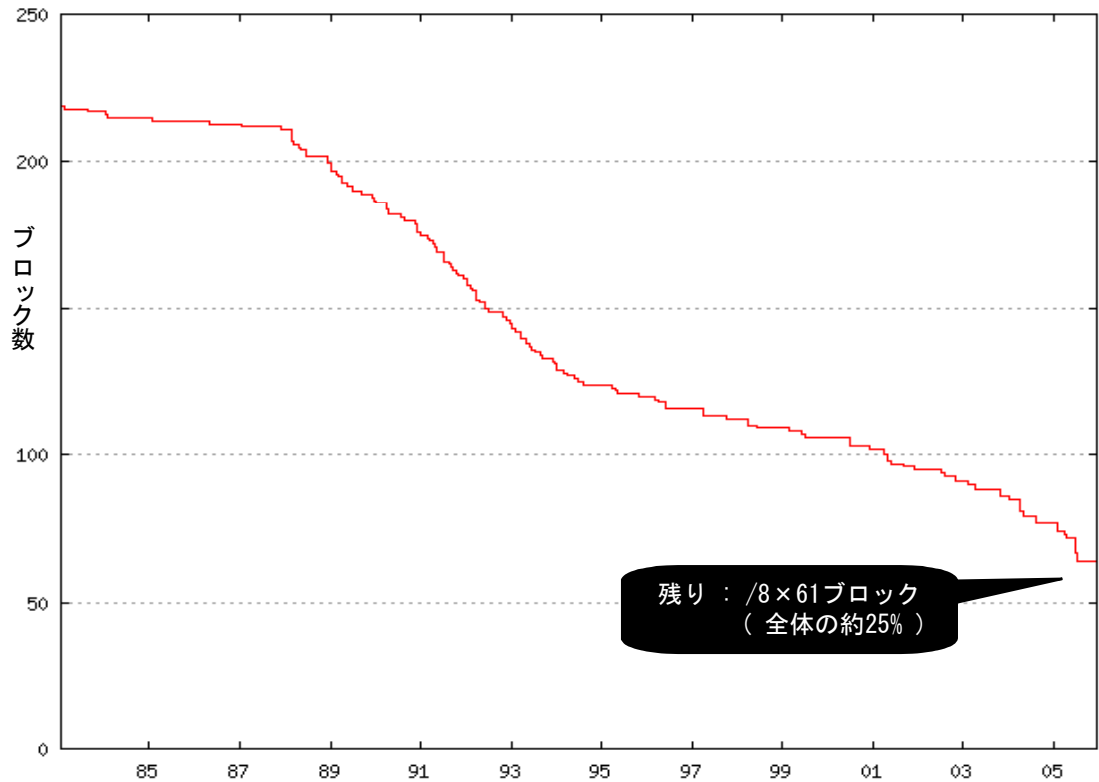


図 A-4 各 RIR から各 NIR 等の配下の組織への割り振りブロック数の推移

A-1.6. IPv4 アドレス消費予測の考え方

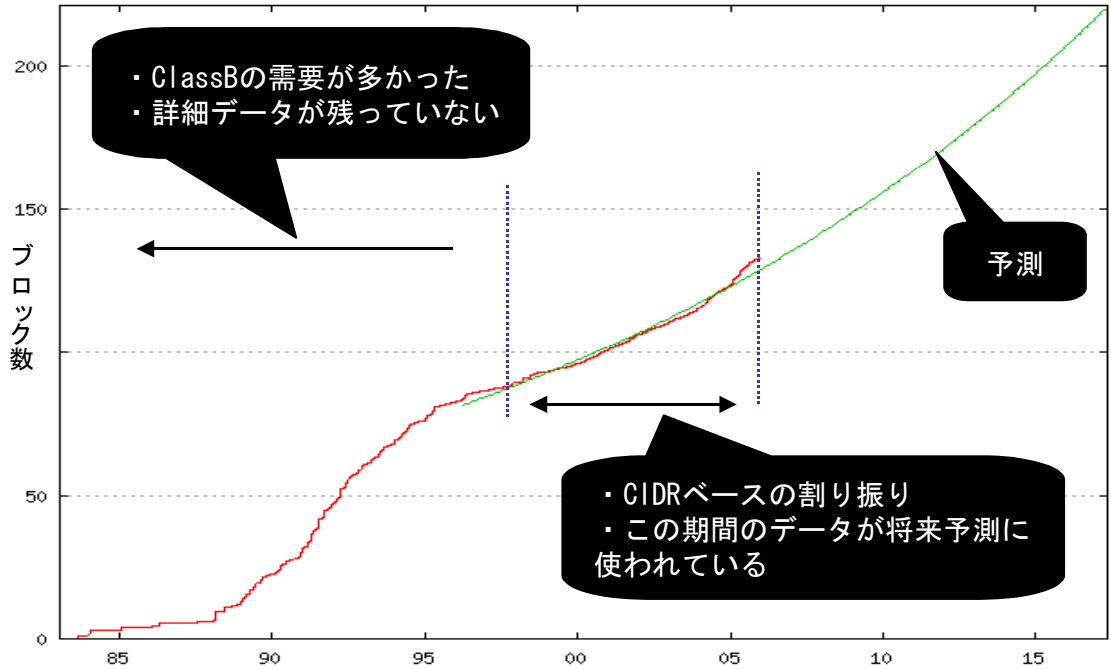


図 A-5 予測の元になるデータ

図 A-5 では、今後の IPv4 アドレス消費の傾向を予測するための考え方を示す。このグラフの特徴は以下のとおりである。

- 1995(平成 7)年以前は、現在とは違い、旧クラス B の需要が多かった。そのため、現在よりアドレス消費のペースが早かった。
- 1995(平成 7)年以前の割り振りに関する詳細データが残っていない。
- 1995(平成 7)年以降、CIDR が導入されたため、アドレス消費のペースが鈍化している。

以上より、指数関数上に伸びている 1995(平成 7)年以降の傾向を用いて今後の IPv4 のアドレス消費を予測することとする。

A-1.7.RIR プールの推移

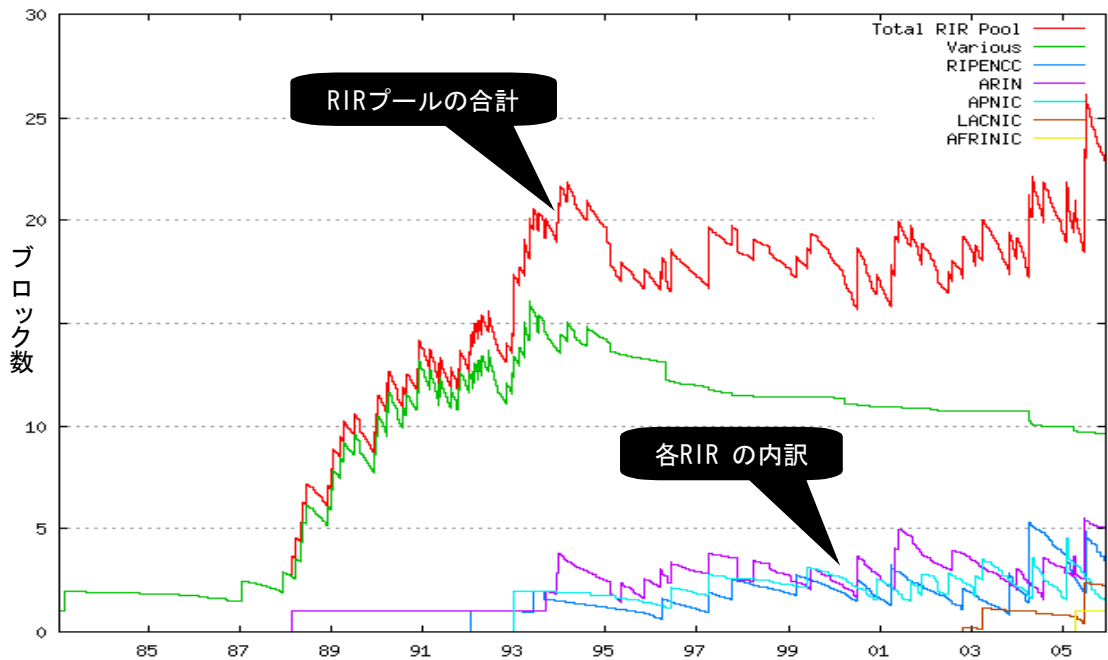


図 A-6 RIR プールの推移

各 RIR が保有するプールアドレス数の推移は、図 A-6 のとおりである。この図には表現されていないが、この時、RIR プールアドレスを 2 つに分けることが可能である。

- Active すでに割り当てられている空間
- Non-active IANA から割り振られたが RIR 配下へは未割り当てとなっている空間。または、RIR 配下の組織が RIR への返却後、RIR が将来用として確保してある空間

A-1.8. IANA からの割り振りに対する広告の割合

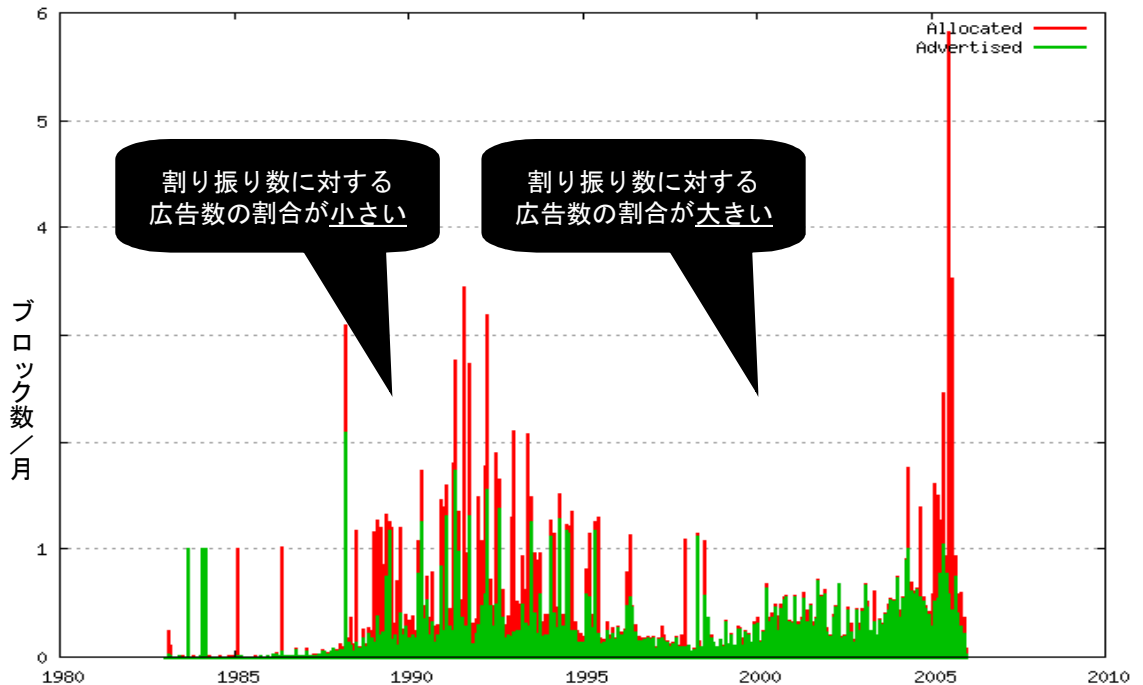


図 A-7 割り振りに対する広告の割合

図 A-7 は、IANA から ”割り振られた” アドレスブロック数および、その内インターネット上に広告されたアドレスブロック数を月単位で集計したものである。このアドレスブロックは、次の 2 つに分けられる。

- 割り振られたアドレスブロック
- 広告されたアドレスブロック

1995(平成 7)年以前は、IP アドレス割り振りに対する広告の比率が低いことがわかる。一方、1996(平成 8)年以降は、IP アドレス割り振りに対する広告の比率が高いことがわかる。

ここで、例えば、ある組織が /16 をインターネット上に広告しているが、その内 /24 相当のアドレスブロックしか利用していない場合があるとする。この場合、このグラフでは、/16 を広告していると見なされている。

A-1.9.割り当てに対する広告の割合

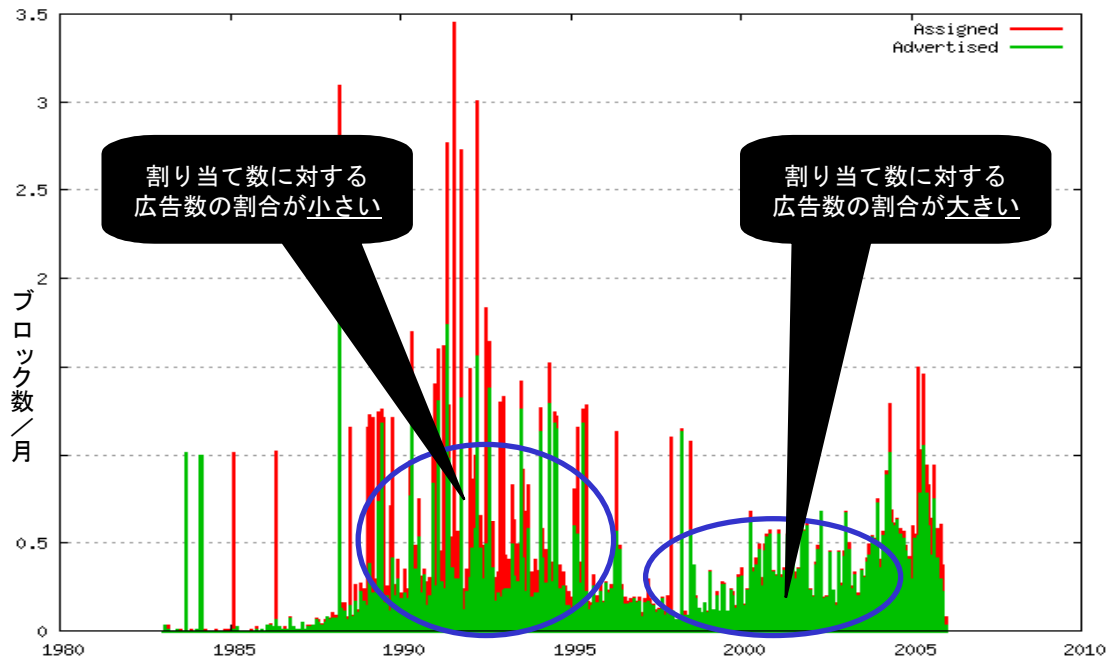


図 A- 8 割り当てに対する広告の割合

図 A- 8 は、“割り当てられた” アドレスブロック数および、その内インターネット上に広告されたアドレスブロック数を月単位で集計したものである。このアドレスブロックは、次の 2 つに分けられる。

- 割り当てられたアドレスブロック
- 広告されたアドレスブロック

前項と同様に、1995(平成 7)年前後を境に、アドレス“割り当て”に対する広告の比率が高いことがわかる。

A-1.10.割り当てに対する非広告の割合

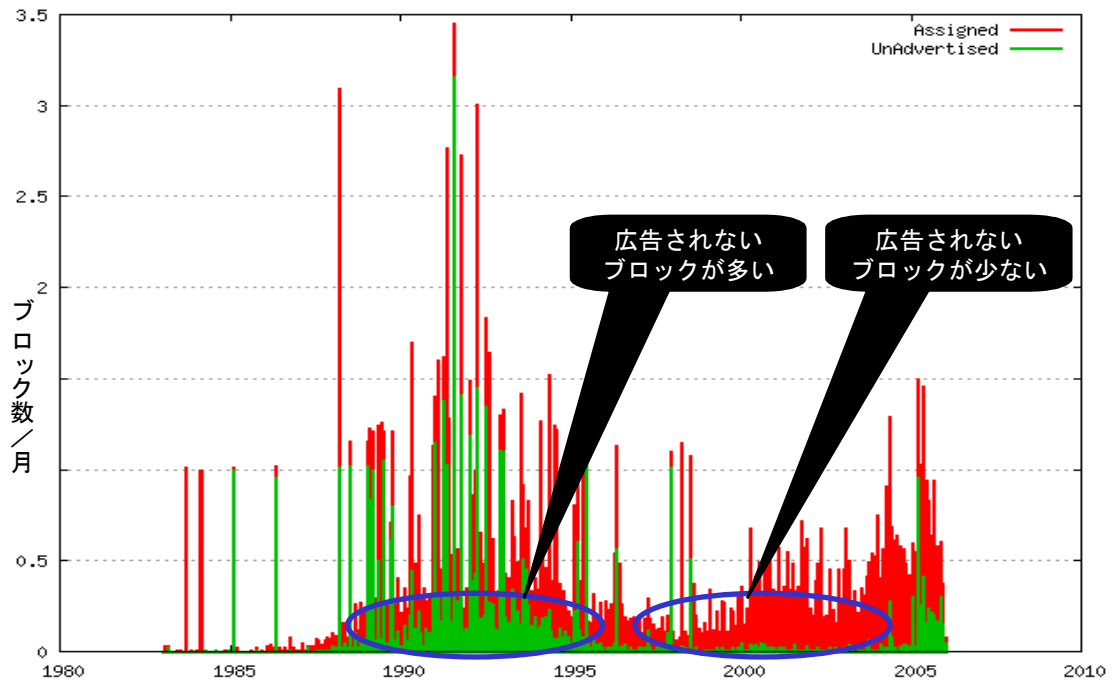


図 A-9 割り当てに対する非広告の割合

図 A-9 は、図 A-8 と同じことを、図 A-8 の裏から考察しているグラフである。

”割り当てられた” アドレスブロック数および、その内インターネット上に広告 “されていない” アドレスブロック数を月単位で集計したものである。

- 割り当てられたアドレスブロック
- 広告 “されていない” アドレスブロック

1995(平成 7)年前後を境に、アドレス割り割り当てに対する “非広告” の比率が低いことがわかる。

A-1.11.インターネット上に広告されている経路数

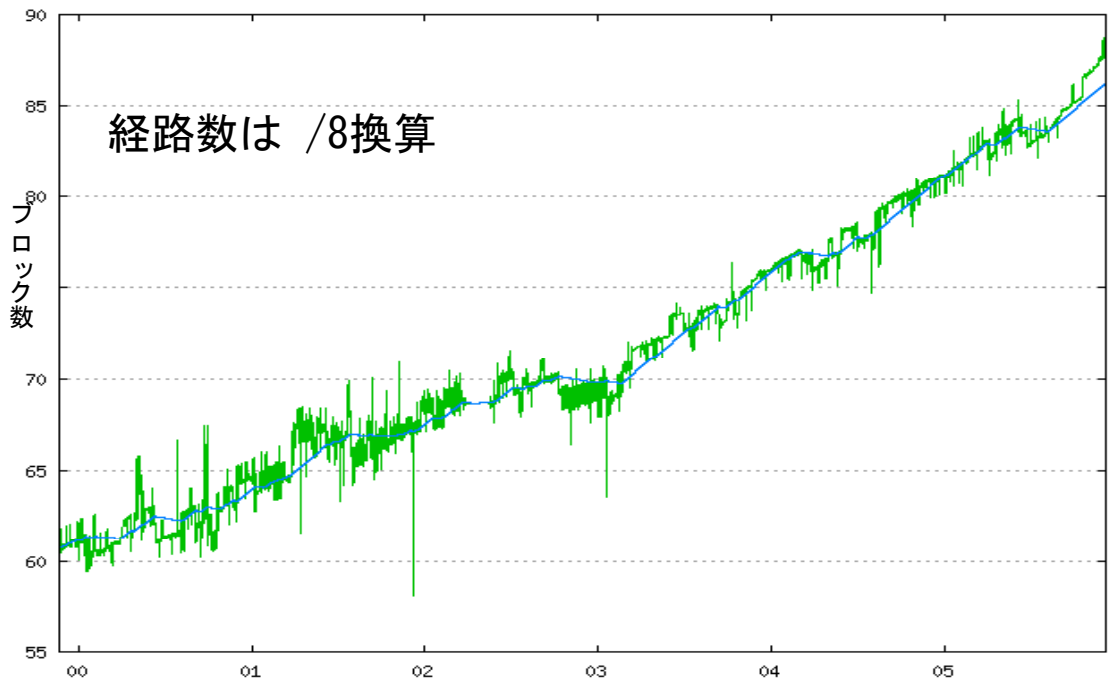


図 A-10 インターネット上に広告されている経路数 (/8 換算)

図 A-10 は、インターネット上に広告されている経路数を /8 換算したものである。元々、1 時間毎に収集したグラフであったが、傾向をつかむために 1 時間毎の移動平均を取り、グラフを滑らかにしてある。

A-1.12.インターネット上の経路数増加の増加率

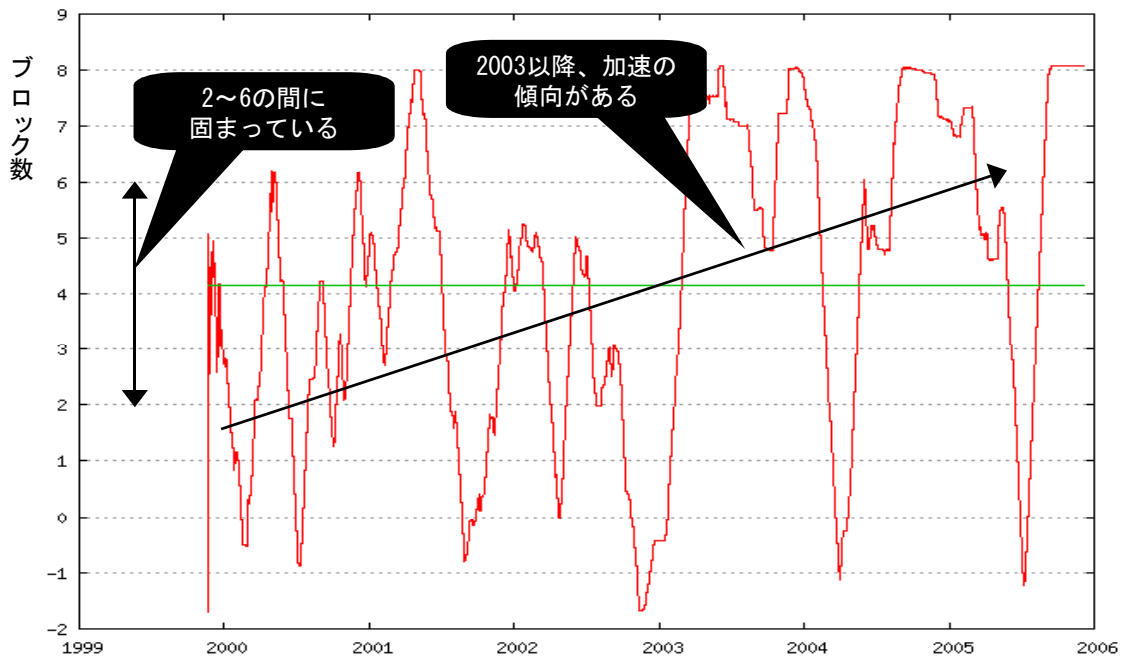


図 A-11 インターネット上に広告されている経路数の増加率 (/8 換算)

図 A-11 は、図 A-10 を一次微分したものである。このグラフより、インターネット上に広告される /8 ブロックの増加数は、毎年 2~6 ブロックであることが解る。

また、このグラフをマクロ的に考察すると、2003(平成 15)年以降の伸びがそれ以前と比べて加速していることが解る。

A-1.13. IPv4 アドレスの消費モデル (1)

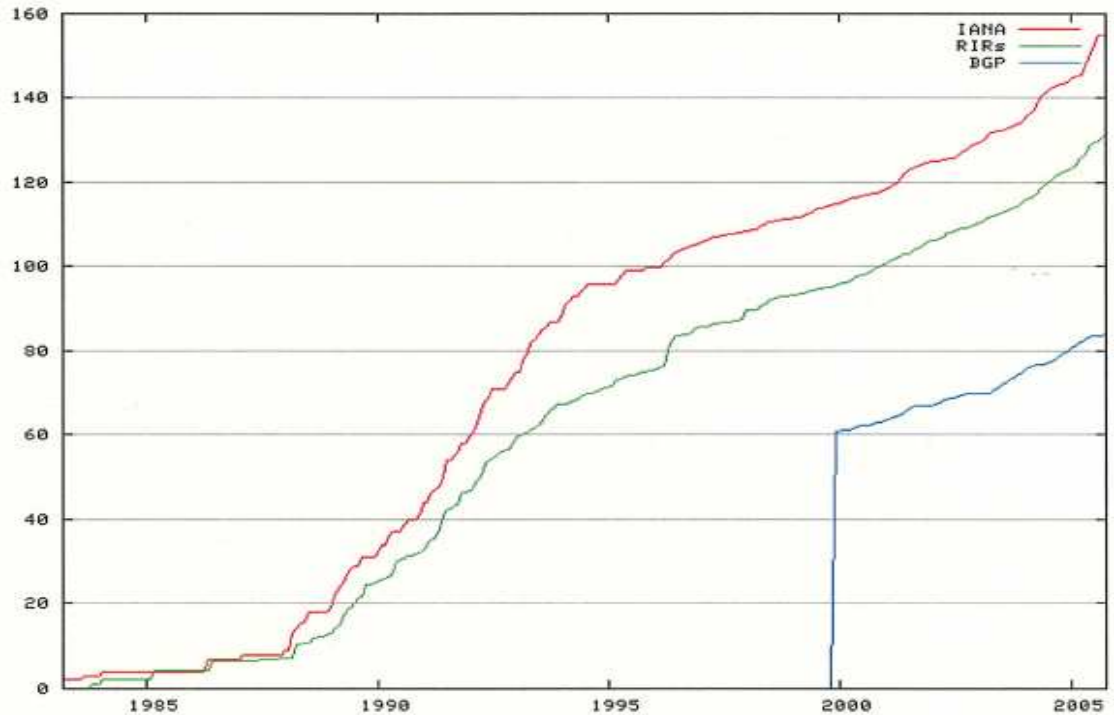


図 A-12 IANA、RIR、BGP のデータ

IANA からの割り振り、RIR からの割り振り、BGP 経路数の 3 つのデータを用い、1 つの IPv4 アドレス消費モデルを考えることができる。この 3 つのデータをグラフにしたものを図 A-12 に示す。

- IANA からの割り振り
1995(平成 7)年に IANA の割り当て方針が変わったため、1995(平成 7)年以前のデータの信頼性は低い。
- RIR からの割り当て
初期に割り振った 30 ブロックの /8 については、いつ割り振られたのかデータに残っていない。よって 1995(平成 7)年以降のデータを利用するのが良い。
- BGP 経路数 (/8 換算)
このデータは、1999(平成 11)年から収集を開始した。

A-1.14. IPv4 アドレスの消費モデル (2)

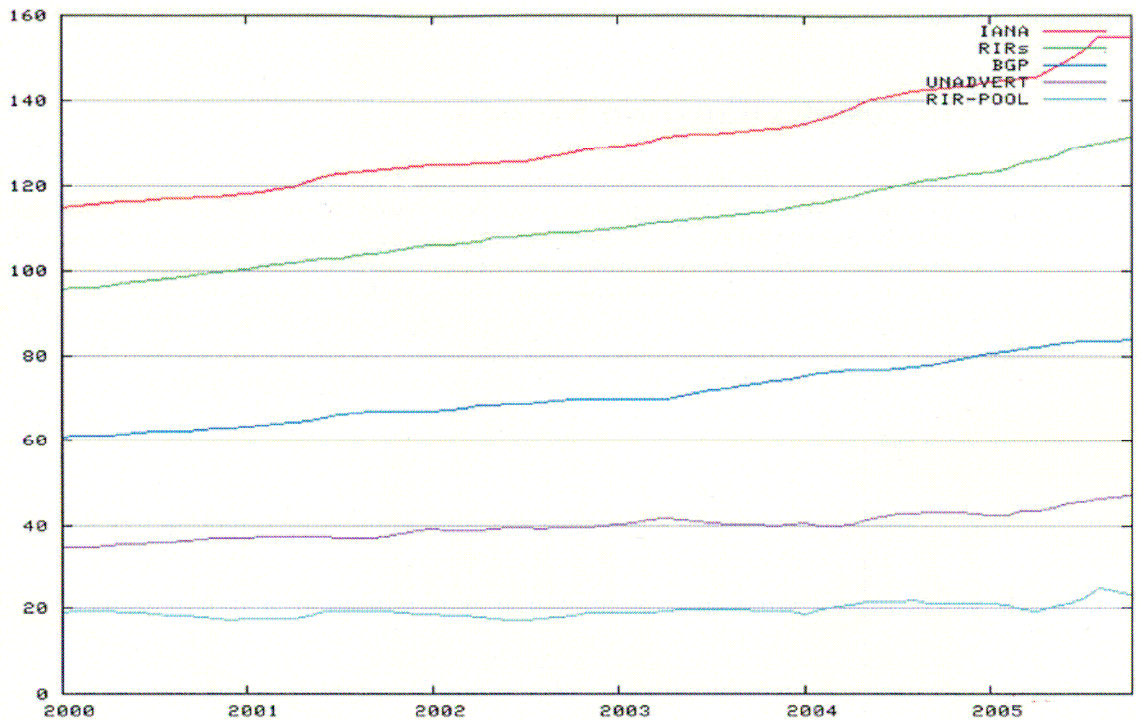


図 A-13 RIR プール、非広告のデータを追加したモデル

前項の 3 種類のデータによる消費モデルに加え、更に 2 種類のデータを加えて 5 種類のデータによるモデルを作ることが可能である。以下、追加する 2 種類のデータである。

- RIR から割り当てられた広告されていないブロック数
RIR が割り当てたアドレス空間と広告されたアドレス空間の差を指す。
- RIR プール
IANA 割り振りと RIR 割り当ての差を指す。

これら 5 つのデータで作成したグラフを図 A-13 に示す。

A-1.15. IPv4 アドレス枯渇モデル (1) ～ 直線状に伸びるモデル

IPv4 アドレスの需要が直線状に伸びるモデルを採用し、その将来予測をしたものを図 A-14 に示す。

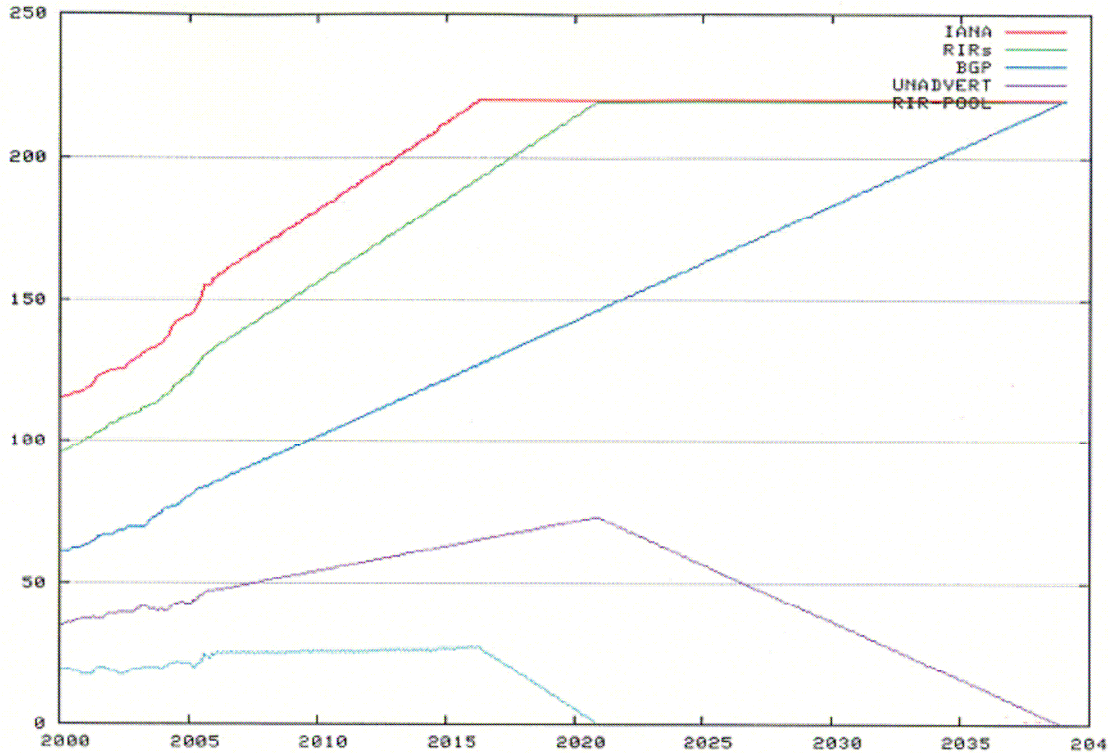


図 A-14 直線状に伸びるモデルを採用した予測

この図に従うと、次の順序でマイルストーンを迎える。

- ① IANA プールが枯渇する。
- ② RIR プールが枯渇する。
- ③ RIR が既に割り振ったすべてのアドレスブロックがルーティングテーブルに乗る。

以下、このモデルにおける 2 つのマイルストーンおよび想定される世界を説明する。

- すべての IPv4 アドレスが完全に枯渇する日、つまりすべての IPv4 アドレスがルーティングテーブルに乗る日は **2038(平成 50)年 8 月** である。
この時、IPv4 アドレスのトレーディングマーケットができるであろう。それにより、既に広告されているアドレス、広告されていないアドレス共にトレーディングプールに入ることになり、マーケットプライスが高騰するであろう。
その結果、現在の IPv4 アドレスホルダーには、アドレスを効率的に使

うインセンティブが働き、保有していた IPv4 アドレスをマーケットにリリースすることとなるであろう。

- すべての IPv4 アドレスの割り振りが完了する日、つまり RIR プールが枯渇する日は、**2021(平成 33)年 4 月**である。
この時点で、RIR は既存の割り振りポリシーは使うことができなくなり、新たな枠組みが必要となる。アドレステーディングマーケットが必要であると強く言えるであろう。

A-1.16. IPv4 アドレス枯渇モデル (2) ～ 指数関数モデル

IPv4 アドレスの需要が指数関数状に伸びるモデルを採用し、その将来予測をしたものを図 A-15 に示す。

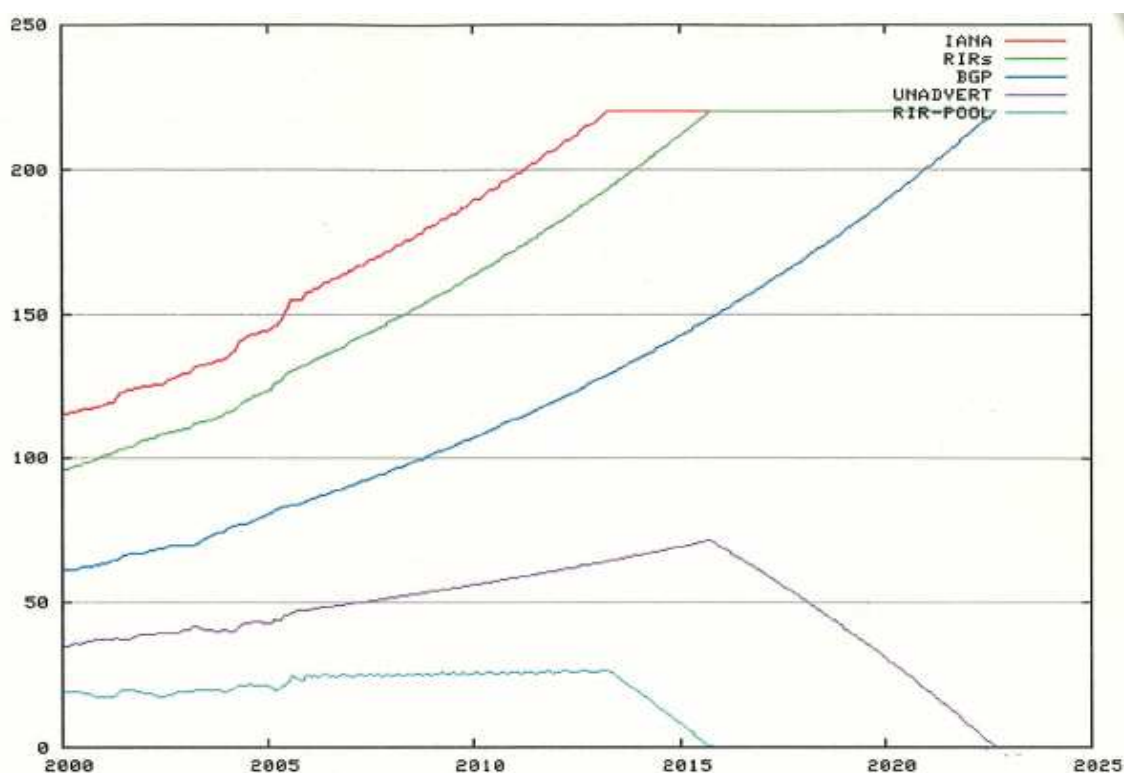


図 A-15 指数関数モデルを採用した予測

この指数関数モデルを用いると、次の順序でマイルストーンを迎える。

- すべての IPv4 アドレスが完全に枯渇する日、つまりすべての IPv4 アドレスがルーティングテーブルに乗る日は **2022(平成 34)年 8 月**である。
- すべての IPv4 アドレスの割り振りが完了する日、つまり RIR プールが枯渇する日は、**2016(平成 28)年 1 月**である。

A-1.17.最後に

最も大きなマイルストーンは、未割り振りの IPv4 アドレスプールが枯渇する時である。アドレスプールが枯渇すると、アドレス分配の手段として、信頼性の高いアドレステーディングマーケットができ、マーケットベースで値を付ける仕組みに置き換わる。

この現象が起こるであろう最も有望な時期は、**2016(平成28)年1月～2021(平成33)年4月**である。

A-2.Tony Hain による A Pragmatic Report on IPv4 Address Space Consumption

本節では、Tony Hain 氏による A Pragmatic Report on IPv4 Address Space Consumption について解説する。

A-2.1.はじめに

プロトコルの移行は容易ではない。IPv6 への移行を考えている組織は、移行を決定する際に、多数のこと検討しなければならない。その中で最初に出てくる疑問は、「いつ IPv4 アドレスが枯渇するのか。いつ、強制的に IPv6 に移行しなければならないのか。」というものである。この疑問は、IPv6 が出てきた 1990 年代初期から言われている。

これまで CIDR や NAT が、避けることのできないこと (IPv6 への移行) を遅らせてきた。また、それらがネットワークを複雑なものにしてきた。このドキュメントでは、IPv4 アドレス空間の枯渇について深く考察する。

A-2.2.結論

IANA / RIR プールが枯渇する時期：2009(平成 21)年～2016(平成 28)年

A-2.3.全世界のIPv4 アドレス割り振り状況

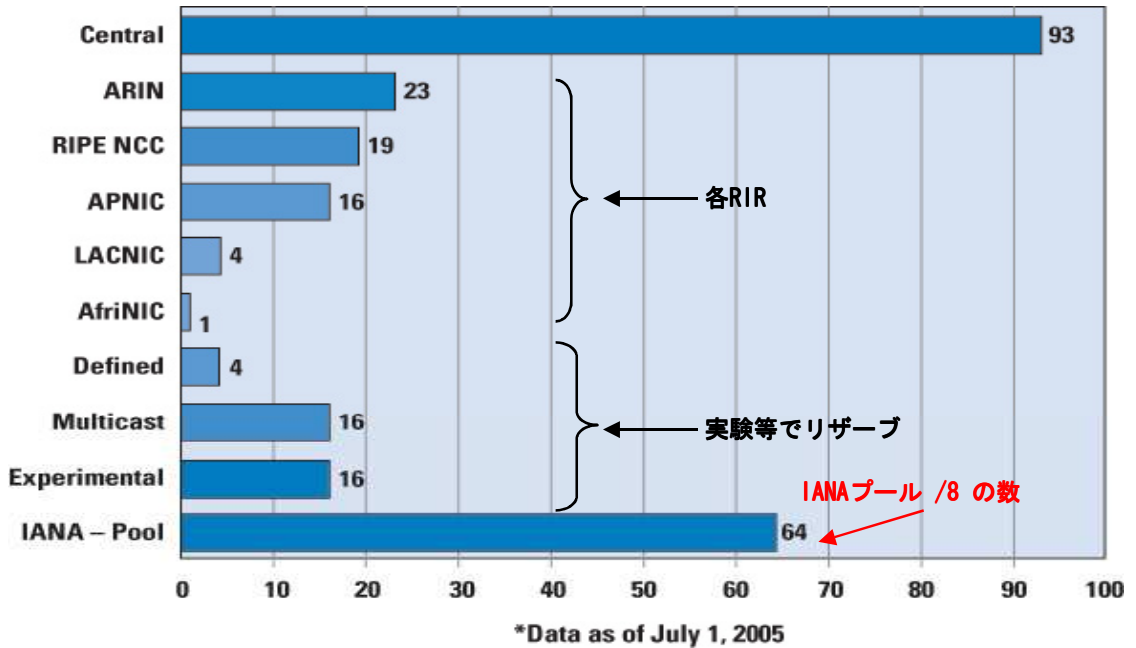


図 A-16 IANA の /8 割り振り状況

図 A-16 は、2005(平成 17)年 7 月 1 日時点における 256 ブロックの /8 の内訳および、IANA 割り振りの状況である。各 RIR に割り振られた空間、マルチキャスト用や実験用などにリザーブされている空間、そして今後割り振り可能な IPv4 アドレスブロックなどの数が解る。

もし、IANA プールが枯渇した場合、各 RIR プールが残っているが、12 ヶ月～18 ヶ月で RIR プールも枯渇してしまう。

ここで、実験用のブロックでリザーブされているアドレスを設定しようとする、エラーを起こしてしまう IP スタックを搭載した機器が多数あるということを実態として記載しておく。

A-2.4.Potaroo レポートについて

Potaroo レポートは、<http://bgp.potaroo.net/ipv4> で公開されている IPv4 アドレス枯渇に関する予測のことである。この Potaroo レポートは、「IPv4 から IPv6 への早期移行が不要である」という一貫した視点を持って IPv4 枯渇について分析したものである。

Potaroo レポートのアプローチは、1995(平成 7)年からの割り振り状況の指数関数型グラフを単純に伸ばしたものである。更に、レポート中には各種歴史的な背景を包含している。例えば、CIDR 導入の効果や、2 年間にわたって実施した IANA から RIR への割り振り業務移管による影響なども網羅している。

A-2.5.IANA から RIR への割り振り状況（月別）を用いた今後の予測

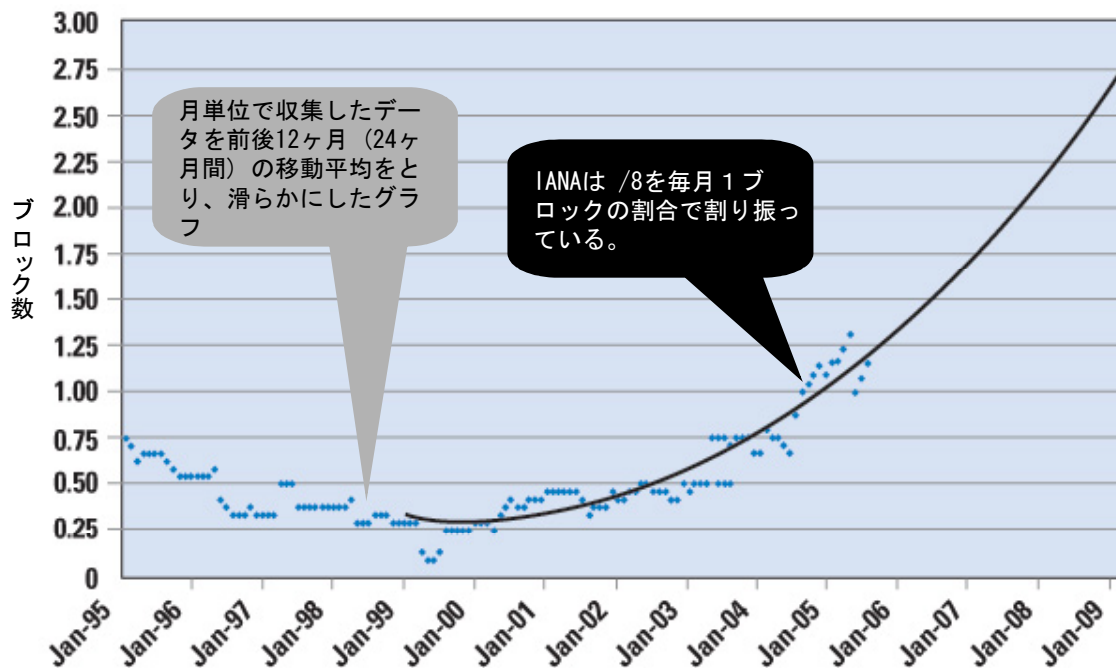


図 A-17 IANA から RIR への割り振り状況（月別）

図 A-17 は、毎月 IANA から RIR に割り振られている /8 のブロック数の推移である。仮に、/8 が月間 1 ブロックのペースで割り振られたとしても、残り 64 ブロックの /8 は約 5 年後に枯渇することがわかる。

$$(64 \text{ ブロック} \div 1 \text{ ブロック/月} = 64 \text{ ヶ月} \rightarrow \text{約 5 年後に枯渇})$$

不運なことに、今のところ割り振りのペースが落ちるけはいが見あたらない。1995(平成 7)年に導入された CIDR による割り振りのペースダウンも織り込み済みである。

A-2.6. 国連のデータから言えること

March 15, 2004

Reference: U.N. Population Division - 2002 report Annex Reference: CIA - The World factbook 2002 Reference: R/I/R Stats Mar. 2004

Nation (Internet code)	Population (2003)	Internet users (2002)	% internet Penetration Rate	Global IPv4 address assigned per country	Current I/R equivalent	Additional addresses needed to reach 20% penetration rate of the population with a 3 person per address ratio - H-ratio of 85%		Number of IPv4/B required for 20% penetration rate of the population with a 3 person per address ratio - H-ratio of 85%	
						penetration rate of the population with a 3 person per address ratio - H-ratio of 85%	penetration rate of the population with a 3 person per address ratio - H-ratio of 85%		
208 countries									
Worldwide	8,321,888,311	813,040,319	9.70%	2,466,834,136	147	6,229,490,197		372.3	
Specified use (IANA)				605,093,888	35,070				
China (.cn)	1,304,196,000	56,600,000	4.34%	44,007,936	2,630	1,761,501,891		105.00	
India (.in)	1,065,462,000	7,000,000	0.66%	2,804,480	0.170	1,699,132,089		101.28	
Indonesia (.id)	219,883,000	4,400,000	2.00%	1,141,504	0.070	261,377,868		15.68	
Brazil (.br)	178,470,000	13,980,000	7.83%	1,199,160	0.080	202,594,158		12.08	
Pakistan (.pk)	153,578,000	1,200,000	0.78%	254,464	0.020	175,020,149		10.44	
Bangladesh (.bd)	146,736,000	150,000	0.10%	128,000	0.010	166,655,664		9.94	
Nigeria (.ng)	124,009,000	100,000	0.08%	114,688	0.010	136,679,929		8.15	
Russia (.ru)	143,246,000	18,000,000	12.57%	7,638,944	0.460	113,059,221		6.74	
Vietnam (.vn)	81,377,000	400,000	0.49%	159,232	0.010	82,758,458		4.94	
Philippines (.ph)	79,999,000	4,500,000	5.63%	766,696	0.060	77,455,760		4.62	
Mexico (.mx)	103,457,000	3,500,000	3.38%	6,311,936	0.380	72,369,345		4.32	
Ethiopia (.et)	70,678,000	20,000	0.03%	16,384	0.010	70,830,696		4.23	
Egypt (.eg)	71,931,000	600,000	0.83%	853,504	0.060	67,362,138		4.02	
Iran (.ir)	69,920,000	420,000	0.61%	581,888	0.040	65,449,815		3.91	
Turkey (.tr)	71,326,000	2,500,000	3.51%	2,429,696	0.150	57,553,061		3.44	
<< snip >>									
Japan (.jp)	127,654,000	56,000,000	43.87%	111,919,872	6,680	0		0.00	
<< snip >>									
United States (.us)	294,043,000	166,750,000	56.71%	265,443,840	75,430	0		0.00	

<< ↓ 以下省略 (全6ページ) >>

図 A-18 インターネットの利用に関する UN のデータ

図 A-18 は、潜在的な IP アドレス需要を示す資料³⁵である。各発展途上国において 20%の人々がインターネットを使うことを想定すると、その数字は既存インターネット人口の半数に相当する。発展途上国の需要は残っているアドレスプールを食いつぶすこととなる。割り振りのポリシーを厳しくしたとしても無駄である。

上述の割り振りの傾向が継続的に続けば、IPv4 アドレス枯渇時期は 4 年±1 年後となる。

³⁵ 本資料の出典:

<http://www.nav6tf.org/documents/e-Nations-data.pdf>

A-2.7. 過去データの不適切な利用による弊害

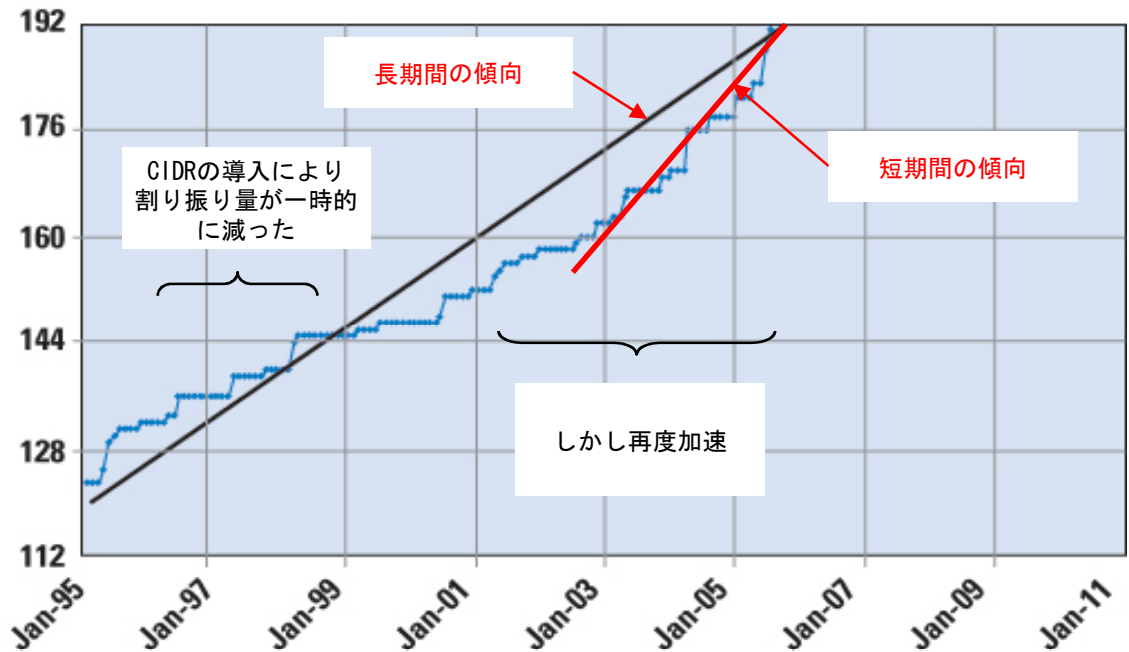


図 A-19 予測のための過去の傾向

図 A-19 は、将来の IPv4 アドレス枯渇を予測するにあたり、過去何年分の傾向を使えば良いかを示す図である。

長い直線は、過去 10 年の IPv4 アドレス消費の傾向を示し、短い直線は、最近の IPv4 アドレス消費の傾向を示す。長い直線の傾向を用いると、短期的に大きな変動を吸収することができる一方、人々に、「まだまだ枯渇しない」と思い込ませてしまうこととなる。よって、過去 10 年間の傾向を将来予測のために用いてしまうと、大きな代償となってしまう。

A-2.8.当てはめるモデルによる予測の違い

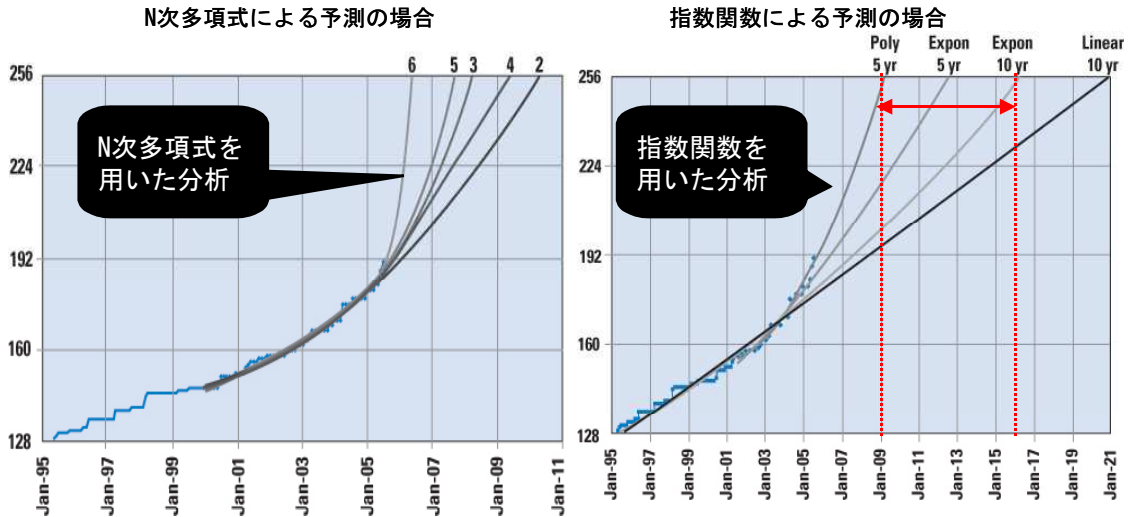


図 A-20 2つのモデルによる予測

図 A-20 は、過去の実績に N 次多項式を当てはめて将来を予測するモデルと、指数関数を当てはめて予測するモデルの違いを示している。

左右の図のとおり、採用するモデルによって結果が異なることが解る。右図の指数関数モデルの場合、過去 10 年間のデータを用いた分析から、過去 5 年間のデータを用いた分析までを示している。過去何年分のデータを使うかにもよるが、残り 64 ブロックの 18 が割り振られる時期は、**2009(平成 21)年～2016(平成 28)年**のどこかになる。

A-2.9.プライベートアドレス枯渇時の対応

(1) ARIN の表明

例えば、ARIN³⁶ では、最近ポリシーを変更した。概要は次のとおりである。RFC³⁷ 1918 で規定されているプライベートアドレスを使い切ったことを示した組織は、グローバルアドレスの割り当てを受けることが可能となる。その際、アナウンスの必要性は無い。

(2) 他地域のポリシー

他の地域では、上記 ARIN と似たポリシーを持っているか、ARIN のポリシーに従っている。なぜなら、RIR のメンバーは確固としてプライベートアドレスのレンジ拡張に反対しているからである。

(3) ポリシー変化の影響

プライベートアドレスを枯渇させてしまった大企業が増えるにつれ、グローバルアドレス割り振り数が増えて行こうとしている。

ある大企業のアドレス空間が、毎月 1% の割合で増えたとする。今、12 の追加が必要であるとすれば、この企業は 1 年間で RFC1918 で規定されている空間を使い果たしてしまう。

(4) いくつかの商用サービスプロバイダーの場合

いくつかの ISP が、既存の各装置に保守用 IPv4 アドレス付与をするだけで、12~18 ヶ月後に RFC1918 で規定されている空間を使い果たしてしまう。

上述の内容は、今後考えられる新規サービス出現を考慮していない。ここで言う新規サービスとは、例えば、何百万台もの装置それぞれに複数の IPv4 アドレスを新たに付与する必要のあるサービスのことである。

³⁶ ARIN: American Registry for Internet Numbers

北米における IP アドレスの管理などを行う地域インターネットレジストリの一つ <http://www.arin.net/>

³⁷ RFC:

IETF が正式に発行する文書。インターネットで利用されるプロトコルや、その他インターネットに関わるさまざまな技術の仕様・要件を、通し番号をつけて IANA が公開を行っている

A-2.10.過去5年間の傾向を使った予測

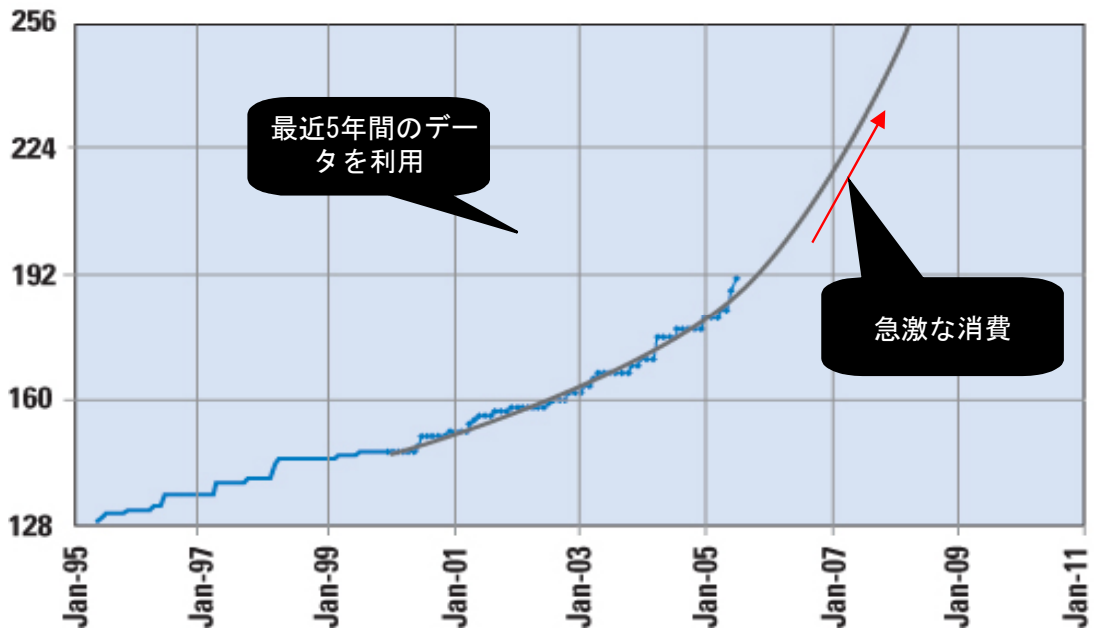


図 A- 21 過去5年間の傾向を使った枯渇予測

図 A- 21 のとおり、今、IPv4 に投資をしても投資に見合った回収 (ROI³⁸) をするよりも先に IPv4 アドレスプールが枯渇してしまうことがわかる。

Potaroo レポートの 2.4 項においては、過去 10 年間の傾向をベースに枯渇の予測を行っているが、この分析では最近 5 年間のカーブをベースにしている。

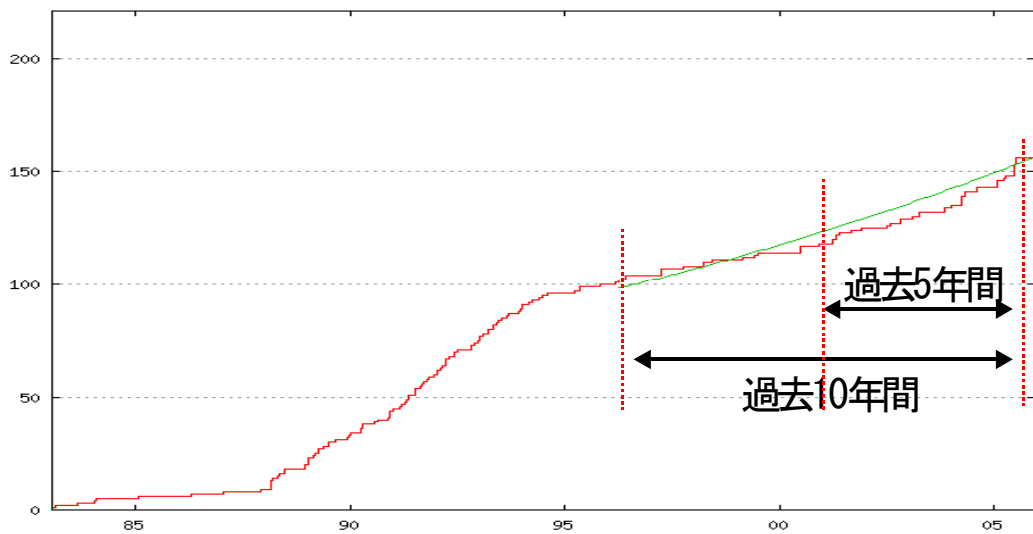


図 A- 22 Potaroo レポートの 2.4 項の図

³⁸ ROI: Return-On-Investment

参考のため、図 A-22 に Potaroo レポートの 2.4 項にある図を示す。

A-2.11. Tony Hain と Potaroo の想定の違い

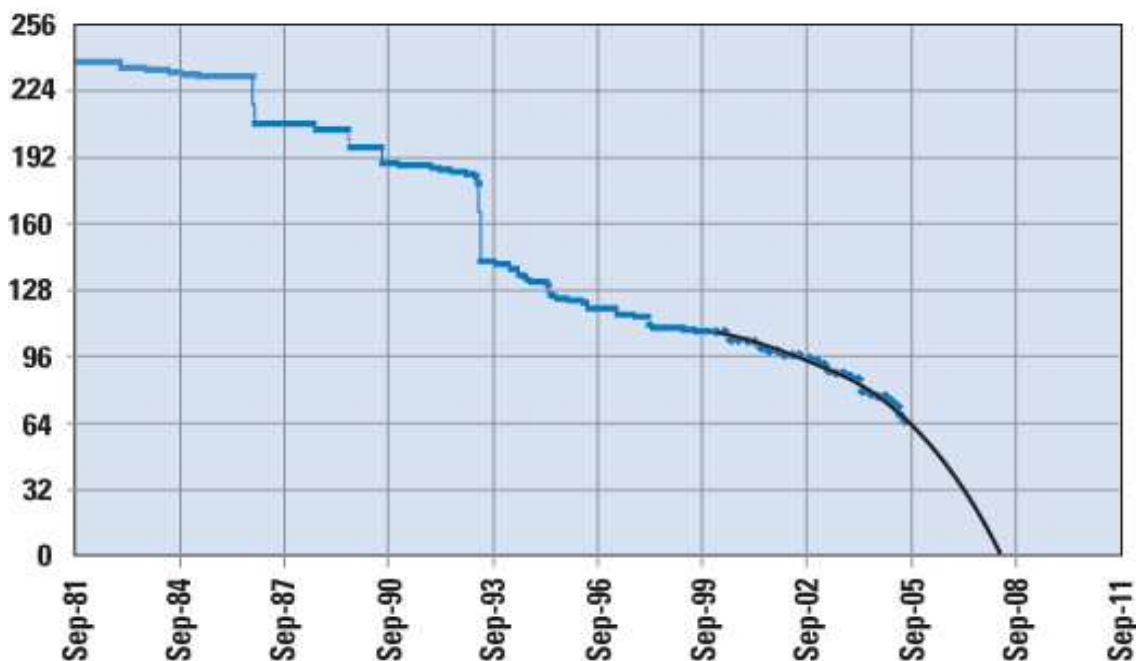


図 A-23 過去 5 年間の傾向を使った IANA プール枯渇予測

図 A-23 は、2000 年時点で IANA が保有していたデータを元に予測した IANA プールの枯渇モデルである。

Potaroo レポートの予測とこの予測のどちらの推定が正しいかは、時間のみが知っていると言える。実際に起きる割り振りのカーブを Potaroo モデルに近づけるためには、世界の IPv4 アドレス消費を抑制する必要がある。これはとても大きなことであろう。

A-2.12. IETF 予約済み空間を利用する場合の効果

延命のために、実験用に予約されている 16 ブロックの /8 を使えば良いと良く言われる。これらのブロックを使うことが可能であると思われがちであるが、機器(IP スタックの実装)によっては、これらの IP アドレスを設定しようとしても設定できない場合がある。

例えば、簡単に実験できる範囲で、Windows95 や Windows2003 Server が予約済みアドレスブロック非対応であり、このブロックの IP アドレスを設定しようとするコンフィギュレーションエラーを起こしてしまう。スタック毎に使える IP アドレスの空間を制限するといった運用も考えられるが現実的ではない。

次に、旧クラス E の空間を利用することを考える。最近の割り振りトレンドが持続した場合、残り 64 ブロックの 18 が底をつく頃には、月間 3 ブロックのペースで 18 が割り振られることとなる。

よって、旧クラス E の空間を利用したとしても、約 6 ヶ月の延命策にしかない。

A-2.13.割り振り済み IPv4 アドレスの回収(返却)の効果

既に割り振った IPv4 アドレス回収による延命策も考えられる。しかし、これは数ヶ月間の延命策にしかならず、ROI は極めて低い。18 返却のための交渉に数年を要すが、その際、世界中の裁判システムの配下でこれを行う必要があり、更に、相当の努力、費用が必要である。これに対し、回収できるブロック数は、2~3 ブロック程度である可能性が高い。

もし、訴訟が起きた場合、その対応には数年間かかると考えられるが、IANA のブロックが枯渇する前に裁判を終了させておかなければならない。もし枯渇してしまったら更に需要が激増し、アドレスブロックを回収しても瞬時にしてなくなってしまう。

A-2.14.最後に

NAT と CIDR は、これまでそれぞれの役目を果たしてきた。また、IPv6 の標準化や製品開発のための 10 年間を使ってきた。今こそが、増え続ける IPv4 ベースのインターネットに終止符を打つ時であり、次に進むべき時である。

後継技術として IPv6 の準備は整っている。残る課題は姿勢である。各社の CIO³⁹が IPv6 普及に向けて強い決断を行った場合、IPv6 への移行が直進する。

スタッフはトレーニングを受けておく必要がある。マネジメントツールの機能を拡張しておく必要がある。ルータや OS をアップデートしておく必要がある。アプリケーションを IPv6 対応にしておく必要がある。これらの全ステップには数年間を要する。

このレポートのポイントとなるが、各組織は今、IPv6 普及に向けての計画をスタートするべきである。遅れてしまうと、IPv6 への移行が完了する前に IANA のプールは枯渇してしまう。大部分の組織にとって IPv6 化は問題にはならないことであるが、切り替えすべき時に IPv4 アドレスを得て IPv4 ネットワークの更なる拡張を行っていると幸運を得ることができないであろう。

³⁹ CIO: Chief Information Officer(情報担当最高責任者)

A-3.IP アドレス有識者間の A Virtual Roundtable Meeting

本節では、IP アドレスの割り振りポリシーや IP アドレス管理などの有識者 4 人によって行われた Virtual Roundtable Meeting について解説する。

A-3.1.はじめに

Tony Hain の IPv4 枯渇に関するレポートを受けて、世界の IP アドレス有識者 4 人が電子メールによる会議を行った。本来であれば直接会い会議を行うのであるが、時間や場所の都合上電子メールというメディアを使った。

このバーチャル会議に出席したメンバーは、Tony Hain、Geoff Huston、Fred Baker、John Klensin の 4 名である。

本章では、この会議について解説する。

4 名の所属は以下のとおりである。

- Tony Hain
Senior Technical Leader, IPv6 technologies, with Cisco Systems.
- Geoff Huston
Internet Research Scientist at the Asia Pacific Network Information Centre (APNIC)
- Fred Baker
An independent consultant based in Cambridge, Massachusetts.
- John Klensin
Technical Advisory Board of the U.S. Federal Communications Commission and as the Chairman of ISOC's Board of Trustees.

A-3.2. 【トピック 1】 いつ枯渇するか

- Geoff

11 年後の 2016(平成 28)年に枯渇すると考えるが、この枯渇時期は各種の要因に左右される。例えば、サービスプロバイダーの駆け込み需要により枯渇時期が前倒しされると言う想定がある。一方、業界が IPv6 にシフトすることにより、枯渇時期が後送りされると言う想定も考えられる。

- Tony

昔、私は IP アドレスが枯渇することは無いと言ってきた。なぜなら、最後のアドレスを欲しいと思う人はいないであろうと考えていたからである。しかし、近年の緩やかな IPv6 への移行状況に対して加速する IPv4 の消費を見ていると、IPv4 アドレスが枯渇しそうなことがわかる。

- John

現実的には、枯渇防止のために RIR がポリシーを改編していくために、アドレス枯渇の最後の瞬間が来ることはないであろう。むしろ重要なことは、いつエンドゲームに突入するかである。もしエンドゲームに突入したらその瞬間にアドレスの消費が加速し、IPv4 アドレスが枯渇してしまう。

私はエンドゲームの突入時期を統計的に考えることはできないと見ている。エンドゲーム突入時期は、ネットワーク設計や運用の変化によって定義することができると考えている。その視点で考えると、IPv4 アドレスは既に数年前から枯渇していると言える。

- Fred

経済の視点から、既に IPv4 アドレスは枯渇していると言える。一般論として、供給が需要を上回れば IPv6 アドレスのように多量に手に入る。一方、重要需要が供給を上回るとマーケットができあがる。私が自宅で IPv4 アドレスに対してお金を払っているように、IPv4 の需要は供給を上回っている。現在の割り振りポリシーの存在は、我々が既に規制されている一種のマーケットに入っていることを物語っている。この規制の次のステップには、ブラックマーケットが待っているであろう。

- John

ブラックマーケットへ突入する前に、もう 1 つのステップがある。難しいことではあるが、既に割り振られている大きなアドレスブロックを回収することである。学術系組織、研究組織、商用組織、政府などからの回収である。ここで、気を付けなければならないことがある。それほど長期間の IPv4 アドレス延命を稼げるわけではない割には、返却する組織を NAT 導入に導いてしまい、IPv6 への移行を難しくしてしまうことである。

- Tony

政府のアドレスを回収するという手段もあるが、これはとても効率が悪い。IPv6 への移行の方が好ましい。

ネットワーク再構築および IP アドレス返却に要する時間に比べて、アドレス消費のペースがとても速いからである。例えば、/16 という大きなネットワークの中に残っている小さなネットワークを切り替えるだけで、1 年を要してしまう。それに対し、IANA において /16 という空間のアドレスが消費される時間は、2 時間である。

また、/8 の返却も効率面で好ましくない。なぜなら、/8 返却には数年を要する一方、IANA において /8 が消費される期間は 1 週間程度であるからである。更に、/8 返却の流れが、組織を NAT に誘導してしまうことも懸念される。

- Geoff

ブラックマーケット化を避けるべきである。なぜなら、ブラックマーケットを作るには法的な枠組みが必要であり、この枠組みの無いマーケットは意味のないものであるからである。更に、混乱を招くおそれがあるからである。

- Fred

我々は、既に中国や日本などで IPv6-only または IPv6-dominant ネットワークを見ることが出来る。IPv6-dominant とは、ISP 等のネットワーク内部では IPv4 を使っているがお客様には IPv6 のサービスを提供しているネットワークのことである。彼らは将来にわたり大量に IP アドレスを使う計画を持っているために、制限の出る IPv4 アドレスではなく IPv6 アドレスが必要であったとのことである。

もう一つ、多段 NAT の例を見てみよう。チャイナユニコムは NIR からアドレスを得ることができなかつたため、多段 NAT を利用している。その後、この会社は 2 つの対策を行っている。1 つは、IP アドレスを APNIC から割り当ててもらうこと。もう 1 つは、IPv6 ネットワークを並列で運用することである。

- John

移行は決して無料ではない。今、ネットワークを設計して構築するのであれば、IPv6 ネットワーク構築の方が IPv4 ネットワーク構築より安くあがる。IPv6 で構築すれば IPv4 ネットワークとの接続部分でお金がかかるが、今から IPv4 ネットワークを構築して後に IPv6 への切り替えをする金額に比べたらとても安い。また、これにより IPv4 アドレスを返却することが可能となる。

例えば、DoD の構想通りに IPv6 ネットワークを構築すれば、いくつかの /8 が返却されるであろう。

A-3.3. 【トピック 2】 北米では枯渇しないと言われているが・・・

- Tony

ARIN は IANA からの割り振りの 30%を消費し続けている。IANA プールが枯渇したら北米も他の地域と同様の結果となる。

- Geoff

今日のインターネットベースサービスの伸びを考えると、北米のみがアドレス枯渇から免除されることはあり得ない。

A-3.4. 【トピック 3】 NAT が枯渇問題を解決すると言われているが・・・

- Geoff

今日のインターネットにおいては、NAT に対して膨大な投資が行われてきた。NAT は長期的に使われ続けることになるが、各種の制限を伴う。まず、ネットワーク作りに制限を伴う。次に、更なる NAT への投資は長期的なコストアップを伴う。また、今日と同様に NAT により各種サービスを提供することができない状況が続き、あらゆる問題を解決できない状態が続く。インターネット上にある各種の機会をつかむこともできなくなる。

IPv6 のシナリオの 1 つとしては、端末密度が高い環境を利用するサービス、つまり 1 つのネットワーク内に多数の端末が収容されるサービスが考えられる。このような端末数高密度型ネットワークの場合、IPv6 でネットワークを構築すれば簡単に構成でき、安価なサービスが見込める。

端末数高密度型ネットワークを構築するための手段としては、NAT モデルには限界があり、大きなアドレス空間を持つ IPv6 が主流となる。

- Tony

Geoff が言うように、NAT は広く使われてきた。NAT は、IPv4 アドレス消費のペースを落とすという問題解決手段である一方、それより大きな問題を引き起こしている。経済面の問題を引き起こしているのである。

IPv6 を普及させようとしている人々は、IPv6 の価値を立証しようとするが、IPv4 を選択した場合の NAT に関連するコストについて言及しない。IPv6 への移行を行う場合、もちろん移行期に両ネットワークに対するコストが重複するが、IPv6 への移行が完了すれば重複分のコストが不要となる。一方、IPv4+NAT を選ぶとコストは下がることはない。

A-3.5. 【トピック 4】 米政府における 2008 年の IPv6 化と GOSIP について

- Tony

米政府は、プロトコルを統一したいと考えている。90 年代、OSI 系の GOSIP がその候補であった。しかし、IPv4 がそれに変わって使われてきた。今までは IPv4 に変わるプロトコルが存在していなかった。

IPv4 アドレスの枯渇が見えてきた今、米政府がネットワークに関して取りうる選択肢は 2 つである。1 つ目は IPv4 の成長を止めることであり、2 つ目は政府の方針通り IPv6 に移行することである。IPv6 への移行には、アプリケーションの IPv6 対応も含む。

A-3.6. 【トピック 5】 最後に一言ずつ・・・

- Tony

私のレポートの最後に書いたとおり、IPv4 の継続的な伸びに終止符を打つ時が来た。今後アドレスの消費が伸び続ける会社にとっては、もはや、これは組織内部の問題ではない。

組織が気にすることは、アドレスが枯渇することそのものということよりも、取引先との関係上、取引先のネットワークが自組織よりも先に IPv6 化することで、必要に迫られて自組織の IPv6 化を進めざるを得なくなることである。今後成長していく組織は、Geoff や私 (Tony) の分析を評価していく必要がある。

機器開発には時間がかかるため、各組織は今から IPv6 に関するディスカッションを機器ベンダとスタートすべきである。また、各組織は、IPv6 が普及した時のインパクトを今から考えておくと良い。IPv4 と IPv6 は同じパケットであるが、実際には別のプロトコルであるため、IPv6 をむやみに普及させるべきではなく、簡単で安い方法を選ぶという

考え方が必要である。

- Geoff

インターネットは各種コミュニケーションへのチャレンジを継続していくが、私は今後の需要の源はシリコンとソフトウェアの組み合わせであると考え。我々は、人間の活動のために作られた機器の裏側において、Web や E メールなどのサービスを通して他のコンピュータを操作したりモニターしたりしている。この概念が、スマートビルディングに応用されたり、スマートトラフィックコントロールシステムに応用されたりするようになる。更に、この概念は、消費者向けの各機器や ID 用のタグにも埋め込まれて行く。これらは、IPv4 ベースのインフラを用いてサービスされるべきものではない。IPv4 を用いると複雑になり、さらにこれがコストアップをもたらす。

アドレスプールのサイズが大きい IPv6 導入がこれらの目的にてこ入れを行うことができるのである。

- John

質問を「いつ我々は IPv6 に対して本気になるべきか?」に置き換えるとしたら、Tony と Geoff の解釈は違っている。

Geoff のメッセージを言い換えると、「我々全員が定年を迎えるまで IPv4 を使い続けても問題はない」と言える。一方、Tony のメッセージを言い換えると、「我々は IPv4 に満足できない」と言える。

我々は、数年後ではなく “今”、バックボーンや ISP のことを検討するのではなくエンドユーザ向けのアプリケーションやサービスを検討すべきである。

私が特に気にしていることは、世界中の人々やシステムなどすべてが IPv4 をベースに動いてきたことである。全世界で同じパターンを形成している IPv4 + NAT モデルの利点についても再検討しておくべきである。

違う概念を導入して、そのためにトレーニングを行ったり各種のツールを揃えたりするためのコストは、ネットワークを IPv6 に移行するコストよりも高いかもしれない。

- Fred

我々は、IPv4 アドレスのエンドゲームについて議論してきたが、我々には未だ議論していないポイントがある。IPv4 アドレスの利用が制限されるべきかの議論、アドレスポリシーによってアドレスを保存してお

くべきかの議論、ポリシーが経済や技術に与えるインパクトの議論、そして IPv6 以外のアーキテクチャーについての議論などである。

最も簡単な移行を行うのであれば、今から機器、OS、アプリケーションなどを準備しておき、2005(平成 17)～2007(平成 19)年に IPv6 をスロースタートし、2008(平成 20)～2010(平成 22)年に移行を行うのが良い。

この移行は、ビジネスによる決断であり、焦って行う決断ではない。今後 10 年間又はそれ以上の期間は、IPv6 と IPv4 が共存していくだろう。

A-4.Geoff Huston による ISP Column

本節では、Geoff Huston 氏による ISP Column について解説する。

A-4.1.はじめに

このレポートで最も言いたいことは、IPv4 が終わる日の予測でもなく、IPv4 アドレス枯渇日の予測でもない。このレポートで言いたいことは、それらよりも控えめなことである。現行ポリシーにおける IPv4 アドレス分配の体制が妥当ではなくなる日がいつなのかである。

現在のアドレスポリシーは、継続的なアドレス供給があることを前提としている。しかし、IP アドレスが枯渇してしまうと現在のポリシーは論理的に終焉を迎える。その時にどのような仕組みが必要なのかを議論する必要があるが、このレポートでは、その議論の手前までを解説する。

A-4.2.結論

A) IANA プールが枯渇する時期	: 2012(平成 24)年 1 月 24 日
B) RIR プールが枯渇する時期	: 2013(平成 25)年 3 月 23 日
C) 割り振り/割り当てされた全 IPv4 アドレスブロックが BGP ルーティングテーブルに反映される時期	: 2027(平成 39)年 1 月 16 日

A-4.3. アドレスプールの状況

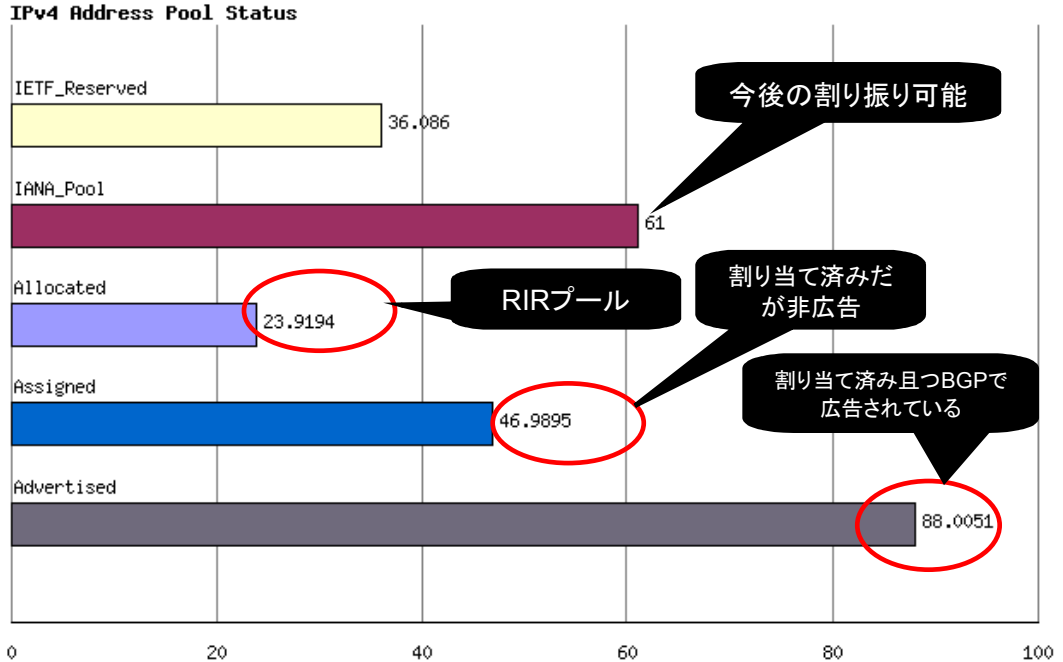


図 A-24 アドレスプールの状況

IPv4 アドレスは、256 ブロックの /8 で構成されている。図 A-24 は、この 256 ブロックの内訳を示すグラフである。IANA プール、つまり今後割り振ることのできるブロック数が 61 ブロックであることが解る。

既に割り当てられている IPv4 アドレスかつ、インターネット上に広告されているアドレスブロック数は約 88 ブロックあり、割り当て済みかつ広告されていないブロック数は約 47 ブロックとなっている。

なお、IETF 予約分 36 ブロックの内訳は次のとおりである。

- 16 ブロック マルチキャスト用
- 16 ブロック 将来用
- 1 ブロック Local Identification (0.0.0.0/8)
- 1 ブロック ループバック (127.0.0.0/8)
- 1 ブロック プライベートアドレス (10.0.0.0/8)
- 1 ブロック Public Data Networks と呼ばれる特殊利用 (14.0.0.0/8)

A-4.4.BGP 広告経路数を踏まえた各 RIR 別アドレスプールの状況

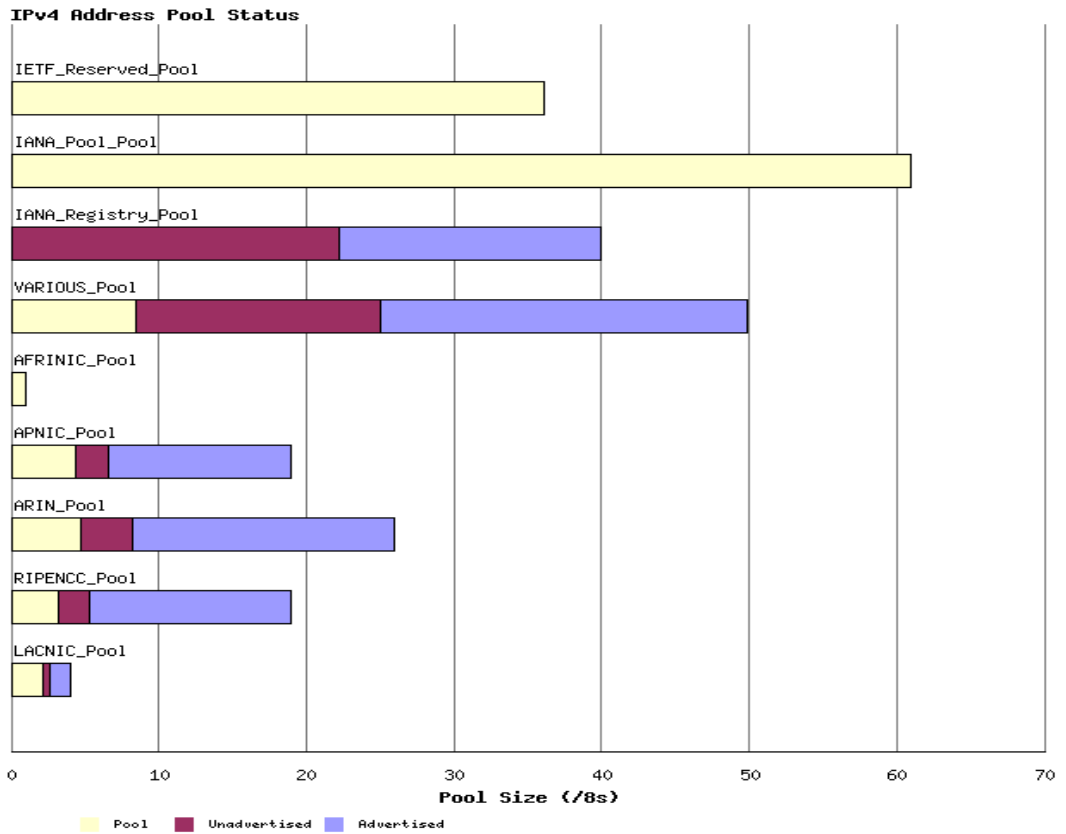


図 A-25 BGP 広告経路数を踏まえた各 RIR 別アドレスプールの状況

図 A-25 は、256 ブロックの 18 の内訳である。各 RIR のブロックを更に次の 3 つに分けたグラフである。

- プール
- 割り当て済みかつインターネットに広告されていない空間
- 割り当て済みかつインターネットに広告されている空間

A-4.5. IANA から各 RIR への割り振り実績

IANA から各 RIR への割り振りブロック数の推移、各 RIR から各 NIR 等の配下の組織への割り当てブロック数の推移は、それぞれ図 A-26、図 A-27 のとおりである。

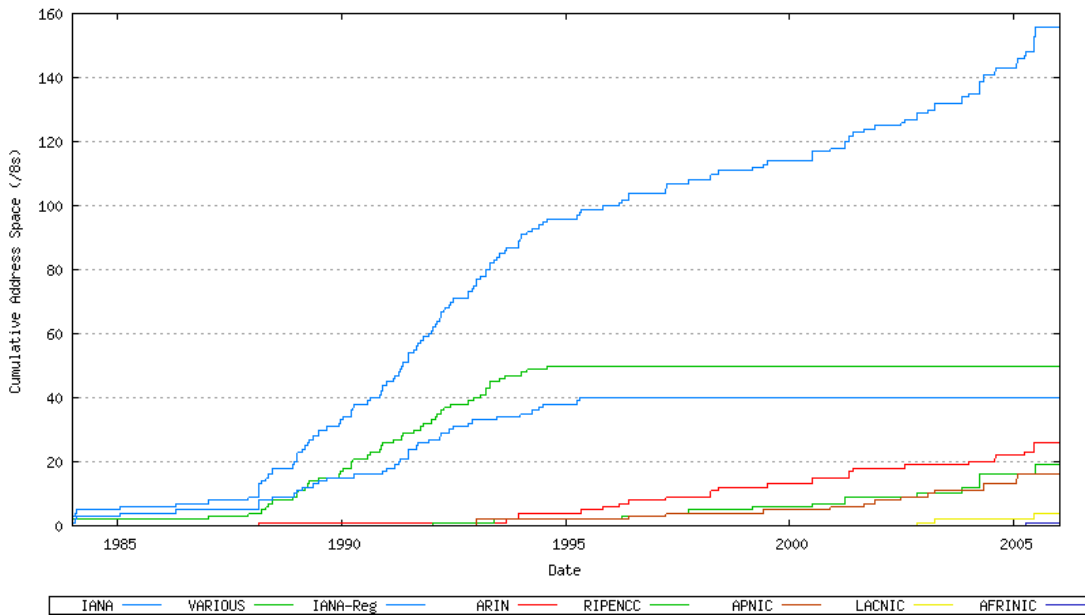


図 A-26 IANA から各 RIR への割り振りブロック数の推移

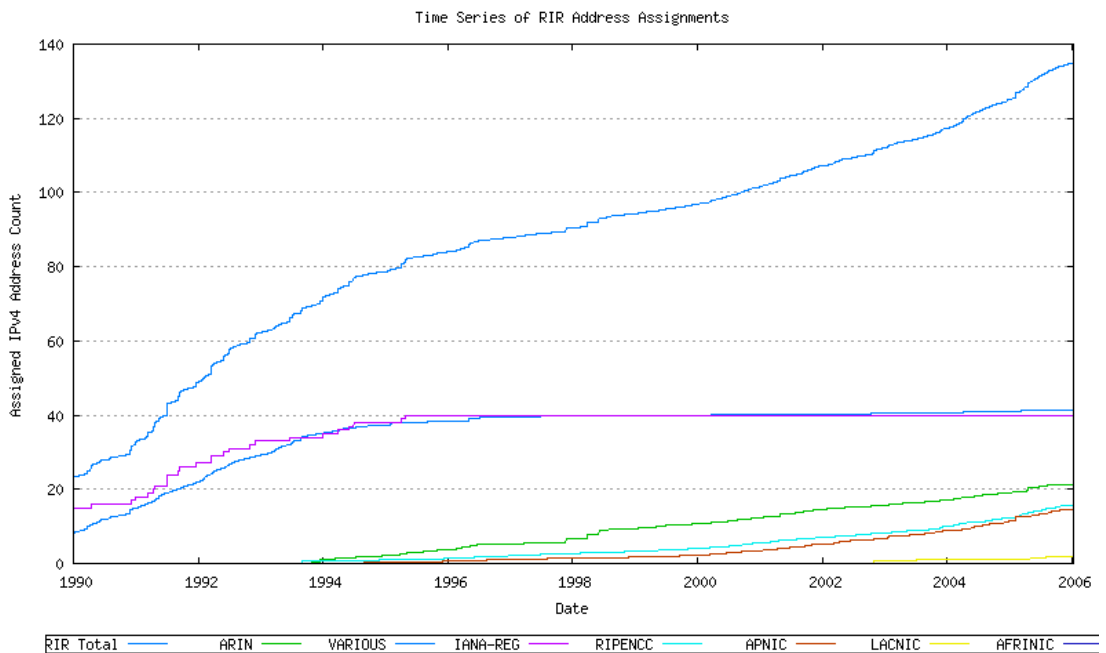


図 A-27 各 RIR から各 NIR 等の配下の組織への割り振りブロック数の推移

A-4.6.RIR プールの状況

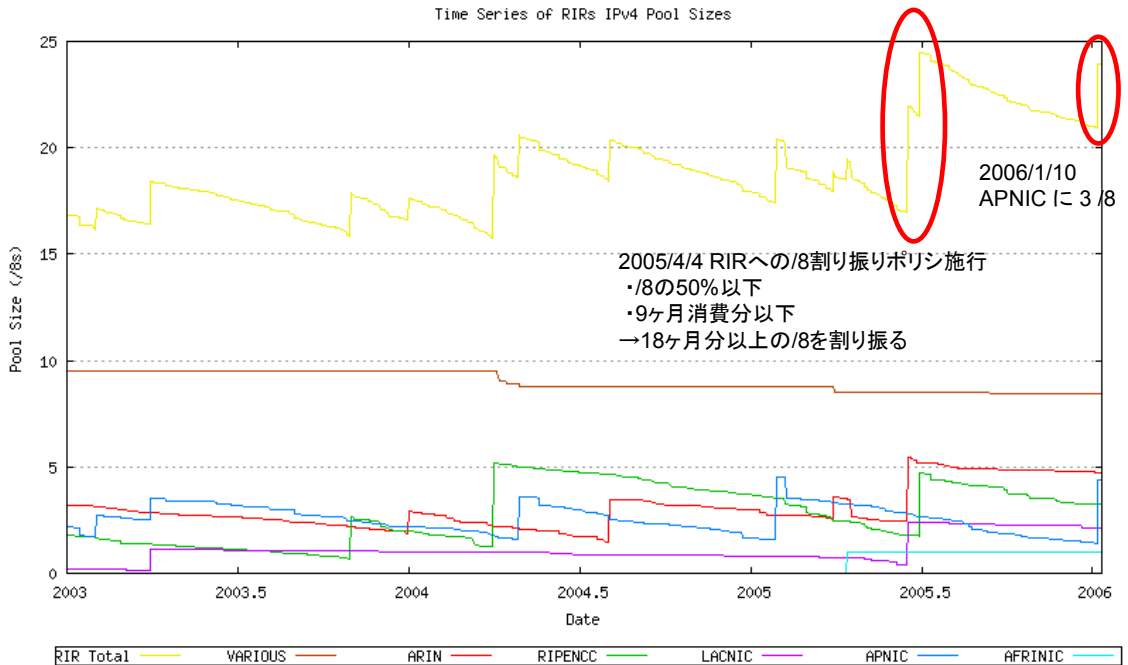


図 A-28 BGP 広告経路数を踏まえた各 RIR 別アドレスプールの状況

図 A-28 は、RIR プールサイズの実績を示す。全 RIR のプールの合計は、20 ブロック前後であることがわかる。

2005(平成 17)年および 2006(平成 18)年の 2 回、急激に増加している。2005(平成 17)年の理由は、IANA から各 RIR への割り振り基準が実装された⁴⁰ことによるものであり、2006(平成 18)年の増加の理由は、IANA が APNIC に 3 ブロックの /8 を割り振ったからである。

このポリシー変更は、RIR プールの /8 が 50%以下になるか、又は RIR プールが 9 ヶ月分以下になった場合に、18 ヶ月分以上の /8 を割り振るという内容である。

⁴⁰ 割り振り基準については、以下を参照
 prop-008-v001 : 『IANA IPv4 resource request procedures』
<http://www.apnic.net/docs/policy/proposals/prop-008-v001.html>

A-4.7.BGP 経路数の状況

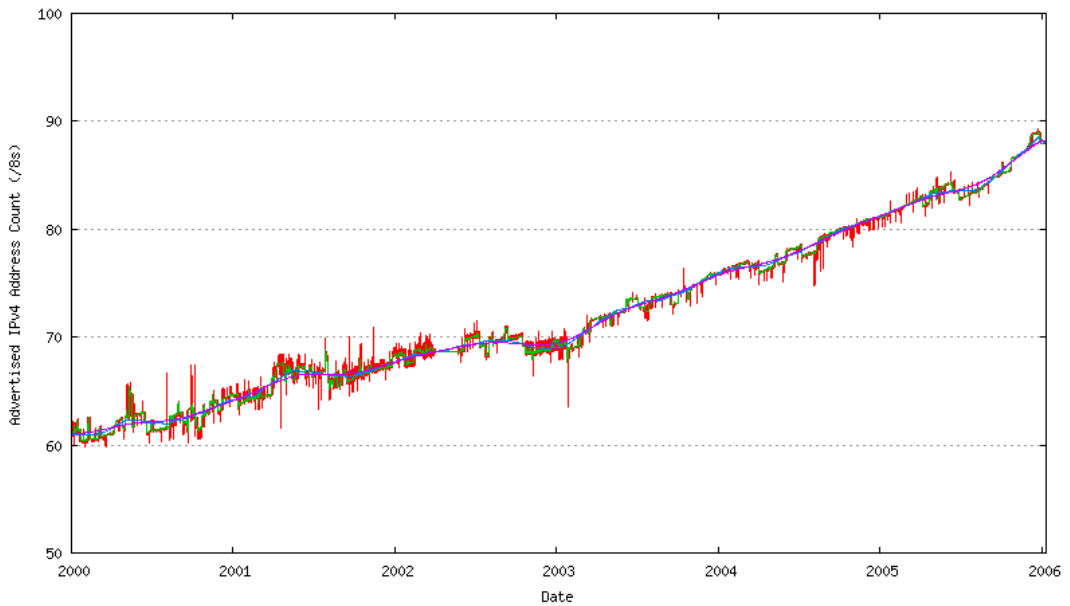


図 A-29 BGP 広告経路数を踏まえた各 RIR 別アドレスプールの状況

図 A-29 は、インターネットに広告されている IPv4 アドレス数を /8 単位に換算したものである。変動の激しい方の線は、1999(平成 11)年以來、2 時間毎に収集したデータであり、滑らかな線は移動平均をとったものである。

A-4.8.広告経路数と非広告経路数（/8 換算）

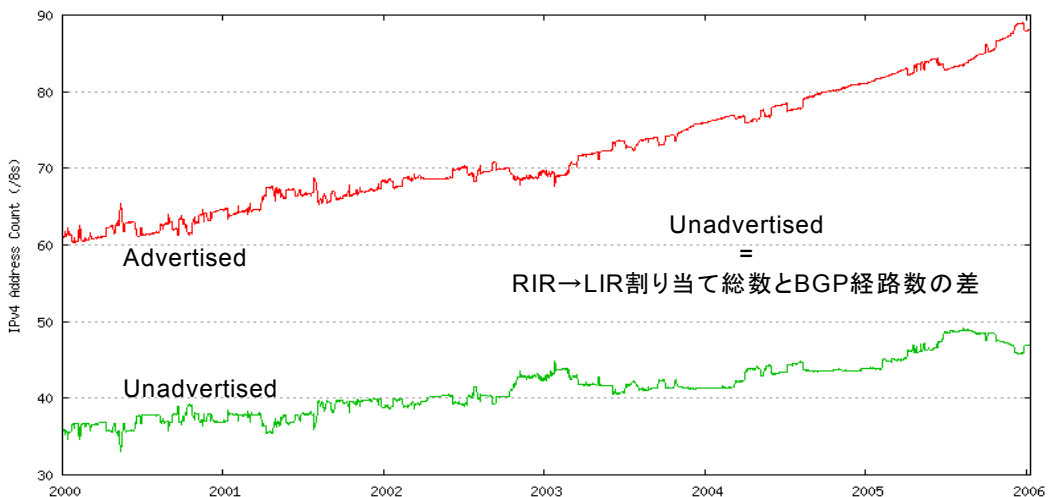


図 A-30 広告されている経路数と広告されていない経路数（/8 換算）

図 A-30 は、広告されている IPv4 アドレス数を /8 換算した数および広告されていない IPv4 アドレス数を /8 換算した数の比較を表すグラフである。

A-4.9. 広告経路数に対する非広告経路数の割合

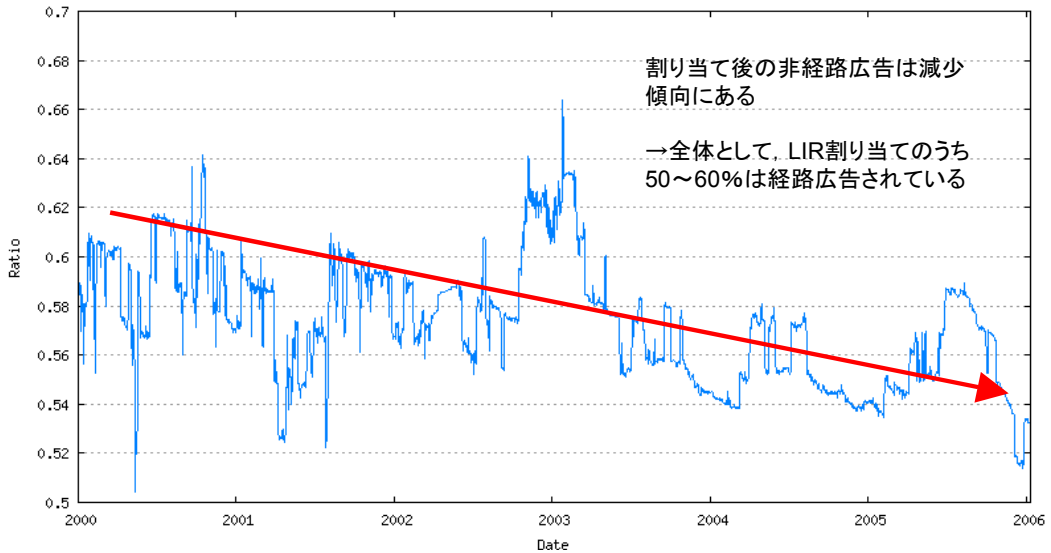


図 A-31 広告経路数に対する非広告経路数の割合（/8 換算）

図 A-31 は、図 A-30 を別の視点からアプローチしたものであり、「非広告アドレス数 ÷ 広告アドレス数」を示すグラフである。近年、割り当てられた IPv4 アドレスが効率よく広告されていることが解る。

A-4.10.RIR からの割り振り数に対する非広告 IPv4 アドレス数の割合

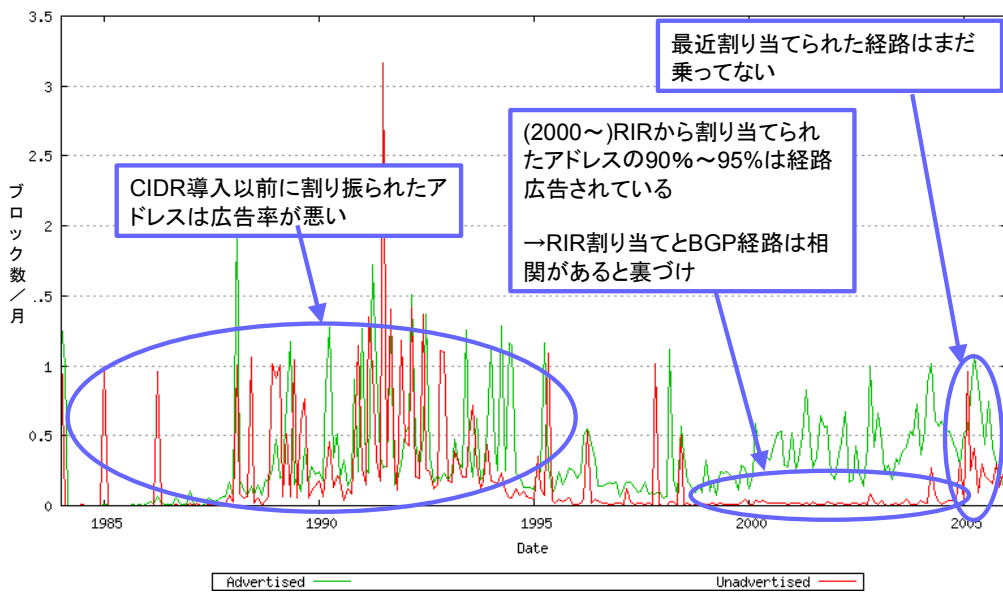


図 A-32 割り振られたアドレスブロック数に対する非広告数

図 A-32 は、RIR から割り振られたアドレスブロック数および、その内インターネット上に広告“されていない”アドレスブロック数を月単位で集計したものである。

1995(平成 7)年以前は、CIDR 導入以前であったために非広告率が高い、つまり IP アドレスが有効に利用されていないことが解る。

2005(平成 17)年に一時的に非広告率が上がった時期があったが、1995(平成 7)年前後の大きな傾向として、IP アドレス割り振りに対する非広告率が低い、つまり IP アドレスが有効に利用されていることが解る。

A-4.11.IPv4 アドレス枯渇予測モデル

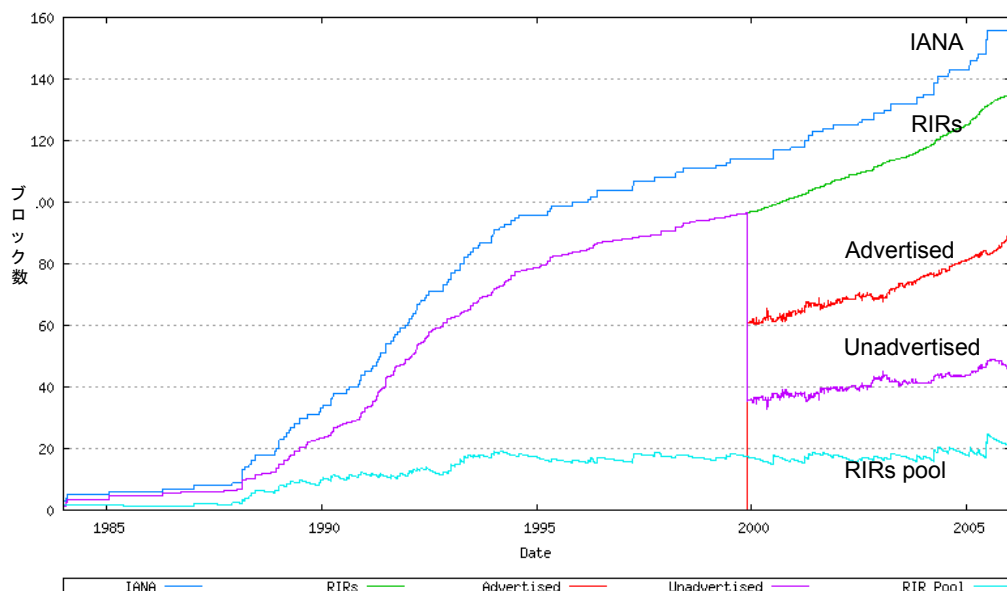


図 A-33 IPv4 アドレス枯渇予測モデル

図 A-33 は、ここまで解説してきた内容のまとめである。5本の線は上からそれぞれ次のとおりである。

- IANA からの割り振りブロック数
- RIR からの割り振りブロック数
- RIR から割り振られたブロックで、インターネットに広告されたブロック数
- RIR から割り振られたブロックで、インターネットに広告されていないブロック数
- RIR プール

このグラフをベースに、次ページ以降の IPv4 アドレス枯渇モデル予測を行う。

A-4.12.IANA プールの枯渇予測

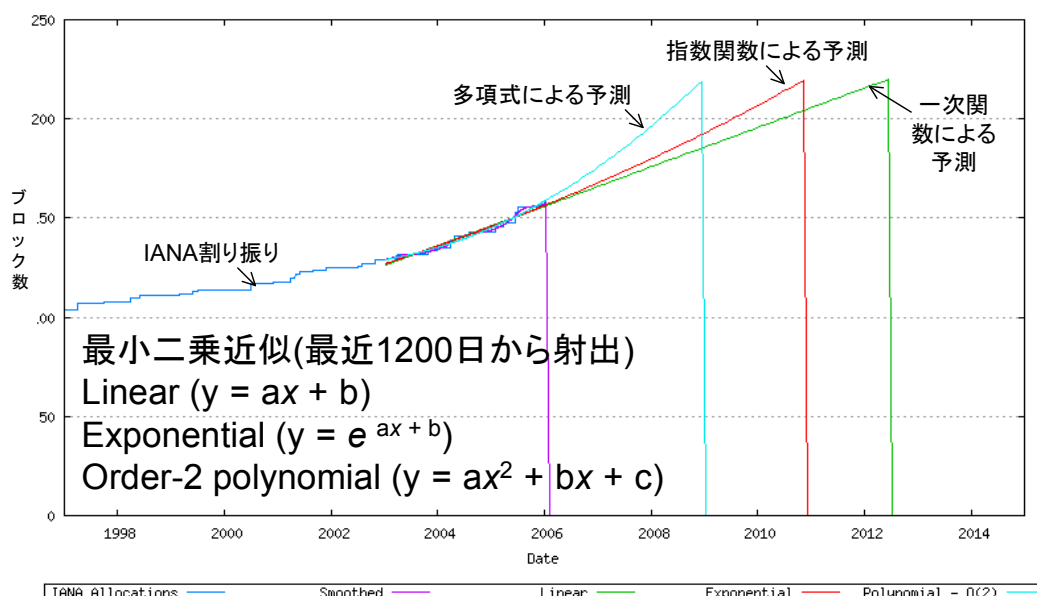


図 A- 34 IANA 割り振りの予測

図 A- 34 のとおり、一次関数による予測、指数関数による予測、多項式による予測の 3 種類の予測により、IPv4 アドレス枯渇時期を予測することが可能である。それぞれの式は次のとおりである。

- 一次関数 $Y = aX + b$
- 指数関数 $Y = e^{aX} + b$
- 多項式 $Y = aX^2 + bX + c$

グラフの各頂点は、それぞれの関数を用いて予測した IANA プール枯渇時期を示す。

A-4.13.RIR プールの枯渇予測

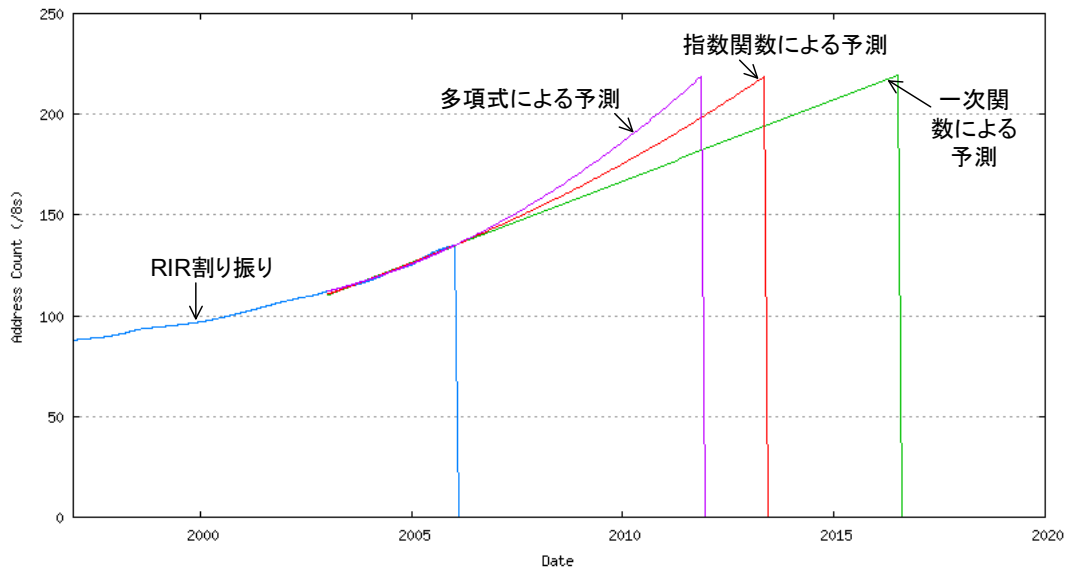


図 A- 35 RIR 割り振りの予測

図 A- 35 は、前項で IANA プール枯渇時期を予測したのと同様の考え方に基づき RIR プール枯渇時期を予測したものであり、図 A- 36 は、RIR から割り振り / 割り当てられたアドレスブロックのすべてがインターネット上の BGP ルーティングテーブルに反映される時期を予測したものである。

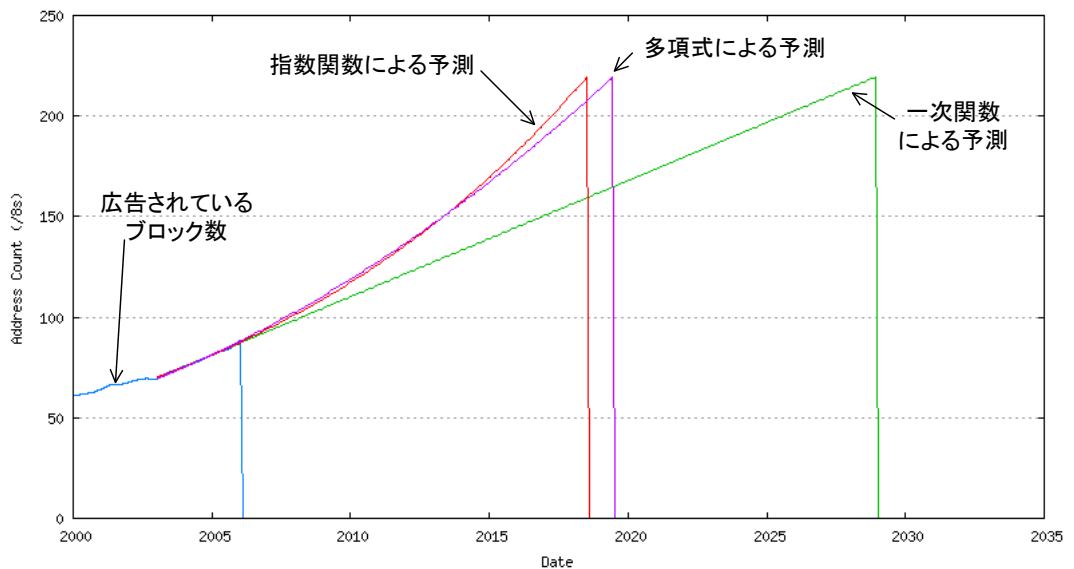


図 A- 36 BGP 経路の枯渇時期予測

A-4.14.インターネット上に広告されている経路数

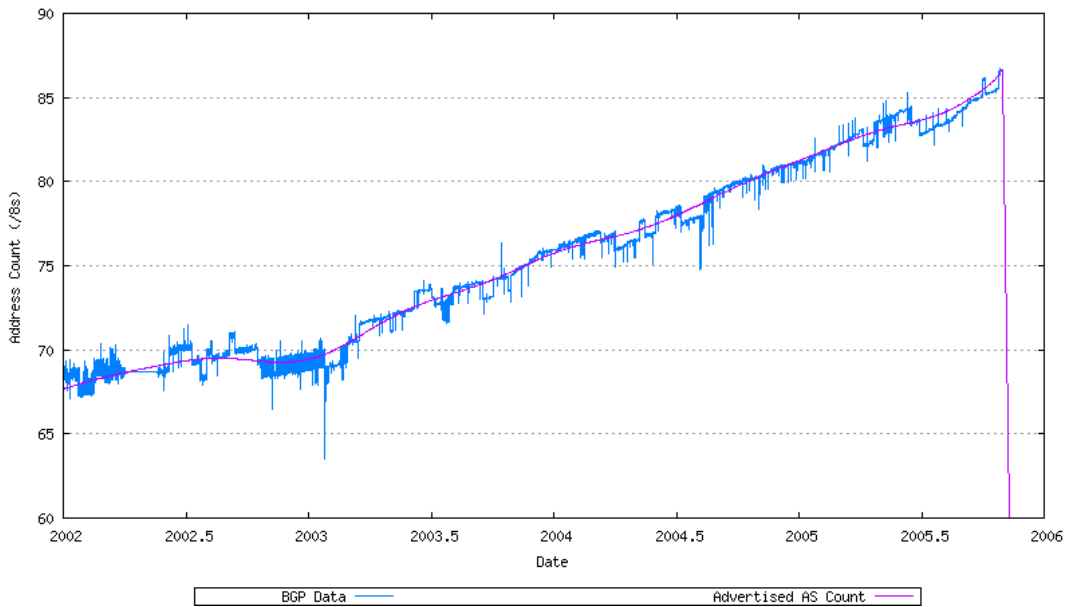


図 A- 37 インターネット上に広告されている経路数 (/8 換算)

図 A- 37 は、インターネット上に広告されている経路数を /8 換算したものである。元々1時間毎に収集したグラフであったが、傾向をつかむために1時間毎の移動平均を取り、グラフを滑らかにしてある。

A-4.15.広告されている経路数増加の加速度

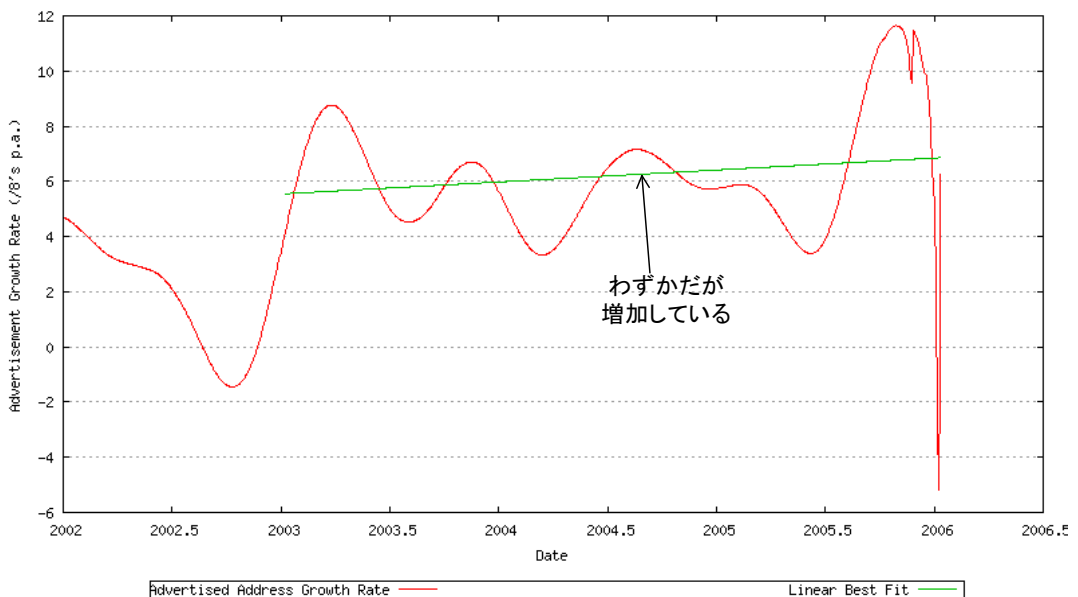


図 A- 38 インターネット上に広告されている経路数増加の加速度 (/8 換算)

図 A- 38 は、図 A- 37 における 2003(平成 15)年以降のデータを一次微分したものである。このグラフより、インターネット上に広告される /8 ブロックの数増加の加速度は、わずかではあるが毎年増加していることが解る。

よって、IPv4 アドレス枯渇時期予測には、一次関数式によるトレンド予測を使うべきではないと言える。

A-4.16. 広告経路数に対する非広告経路数の割合

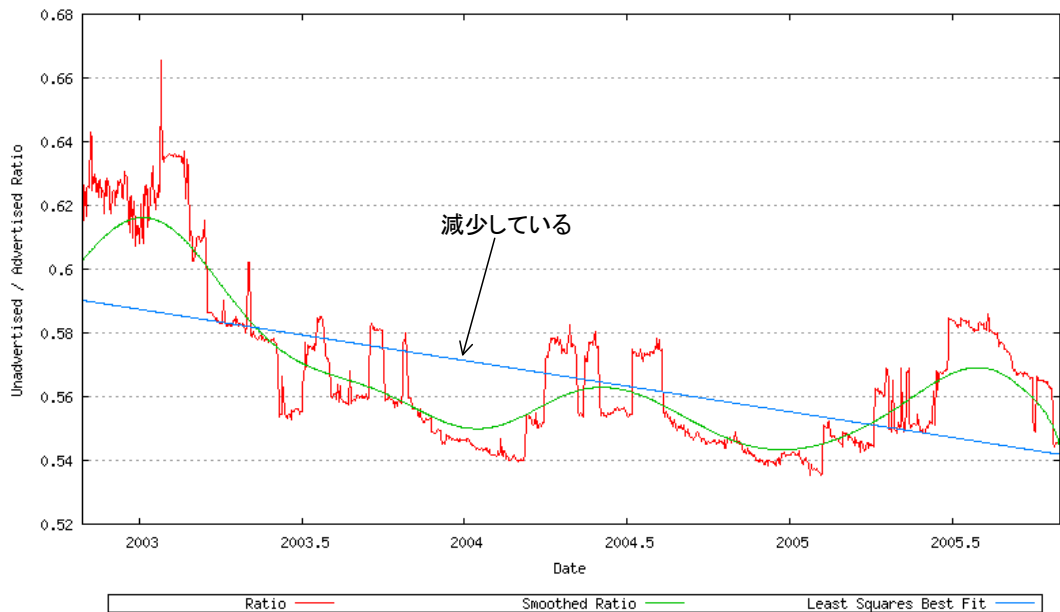


図 A- 39 広告経路数に対する非広告経路数の割合 (/8 換算)

図 A- 39 は、「非広告アドレス数 ÷ 広告アドレス数」を示すグラフである。近年、割り当てられた IPv4 アドレスが効率よく広告されていることが解る。図 A- 31 と同様であるが、図 A- 31 は 2000(平成 12)年からの傾向を示しているのに対し、図 A- 39 は 2003(平成 15)年からの傾向を示している。

A-4.17.IPv4 枯渇予測に利用するモデル

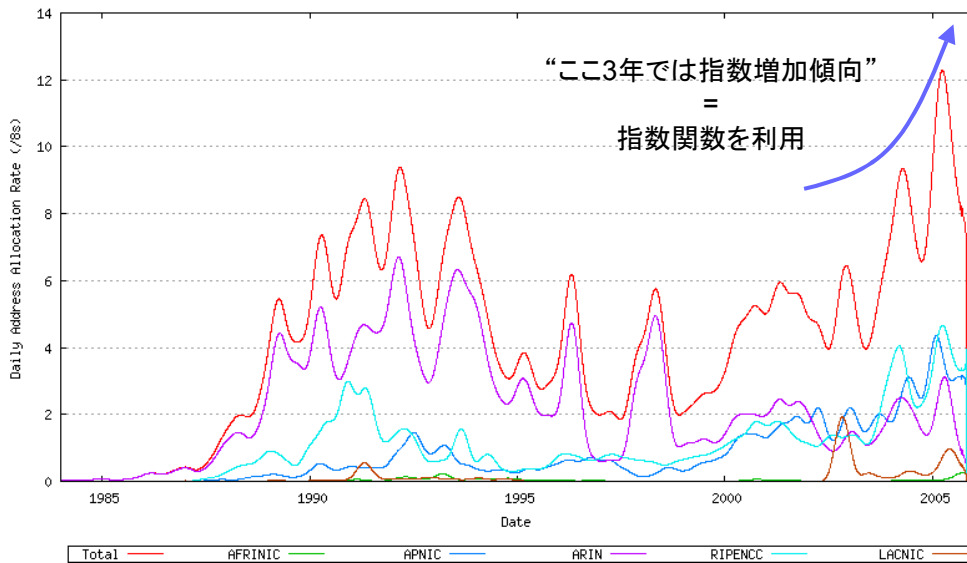


図 A-40 RIR 毎の割り振り数増加加速度 (一階微分)

図 A-40 は、各 RIR の割り振りブロック数を一次微分したものである。このグラフは、1985(昭和 60)年から現在までの IPv4 アドレス割り振りの伸びの傾向を示している。20 年間のレンジで見ても、最近 3 年間のレンジで見ても、各年の伸びが一定ではない。つまり一次方程式で過去の傾向を示すことはできない。最近の傾向を見ると伸びが上昇していることから、将来を予測するモデルには、指数関数モデルを使うのが良いことがわかる。

A-4.18.各 RIR の IPv4 アドレス割り振り実績および予測

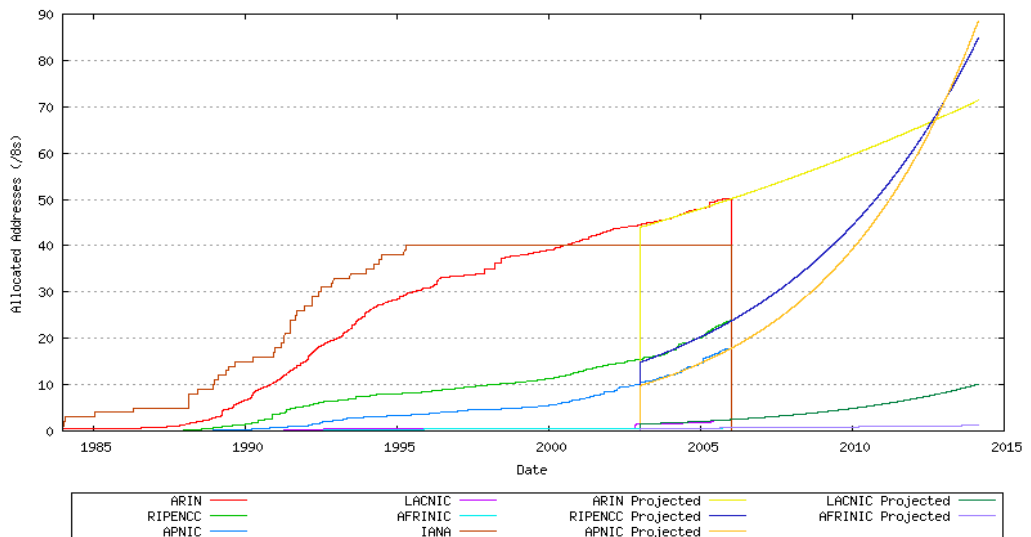


図 A-41 各 RIR の IPv4 アドレス割り振り実績および予測

今まで分析してきた全 RIR 合計の IPv4 アドレス割り振りの実績および予測を各 RIR 別に分けて比較することが可能である。図 A- 41 はそれを示す。

A-4.19.各 RIR の IPv4 アドレス割り振りの割合実績および予測

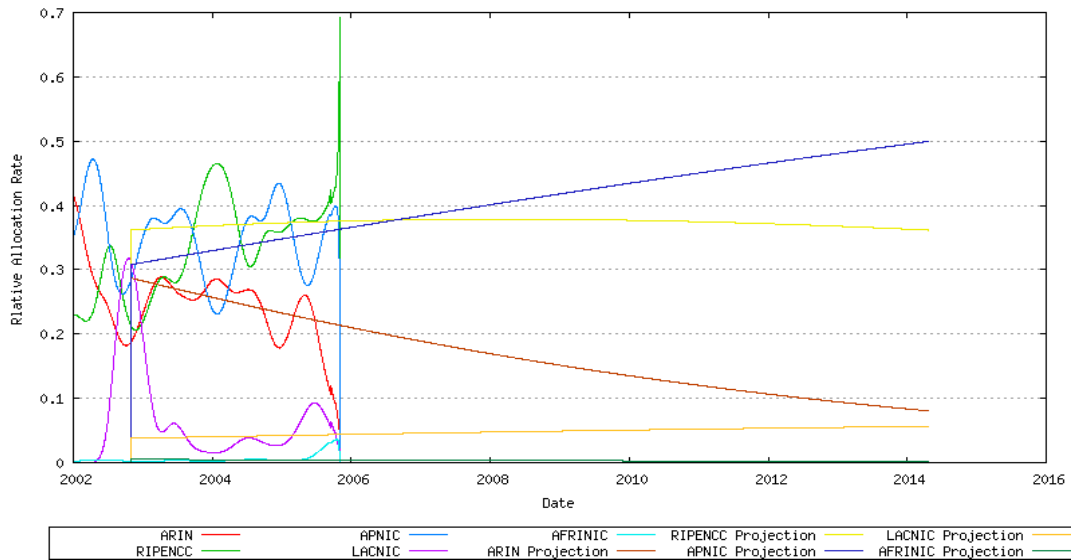


図 A- 42 RIR 毎の割り振りの割合実績および予測

図 A- 42 は、図 A- 40 の 2002(平成 14)年以降のデータを用い、各 RIR の割り振りブロック数の割合を相対的に比較したものである。

A-4.20. "Low Threshold"モデルによる割り振り予測

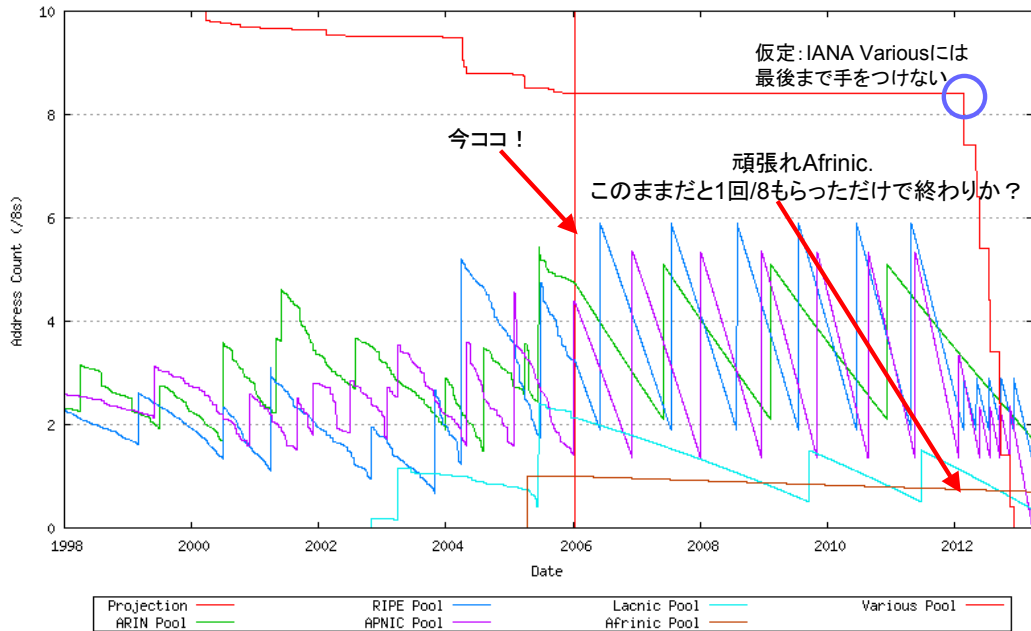


図 A-43 "Low Threshold"モデルによる IANA から RIR への割り振り予測

図 A-43 のとおり、IANA から各 RIR への割り振りモデルとして、“Low Threshold”モデルを考えることが可能である。これは、RIR プールが /8 換算で 3 ブロックになった時、RIR が過去 18 ヶ月間に RIR 配下の組織に割り振ってきた IPv4 アドレスの累積数と同じサイズが IANA から RIR に割り振られるというものである。

この時、IANA によって “Various” として予約されてきた空間については、手を付けないことを前提とする。

A-4.21.IPv4 アドレス枯渇予測

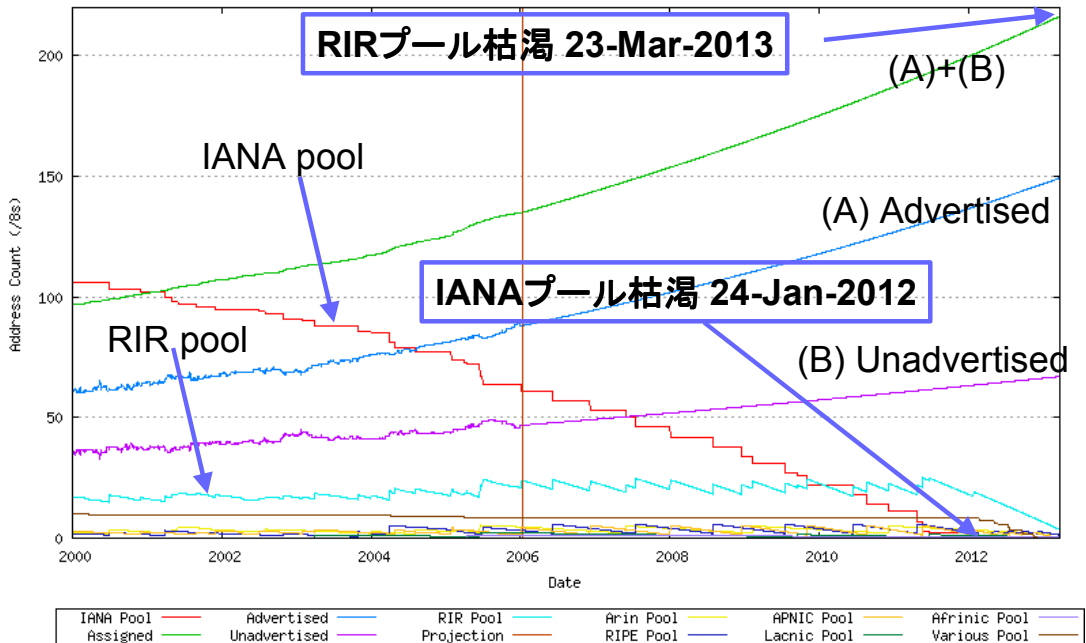


図 A- 44 IPv4 アドレス枯渇予測

これまでの分析を総合的にまとめると、図 A- 44 になる。IPv4 アドレス枯渇時期予測については、次のとおりである。

- IANA プール枯渇 2012(平成 24)年 1 月 24 日
- RIR プール枯渇 2013(平成 25)年 3 月 23 日

A-4.22.IPv4 アドレス延命枯渇予測

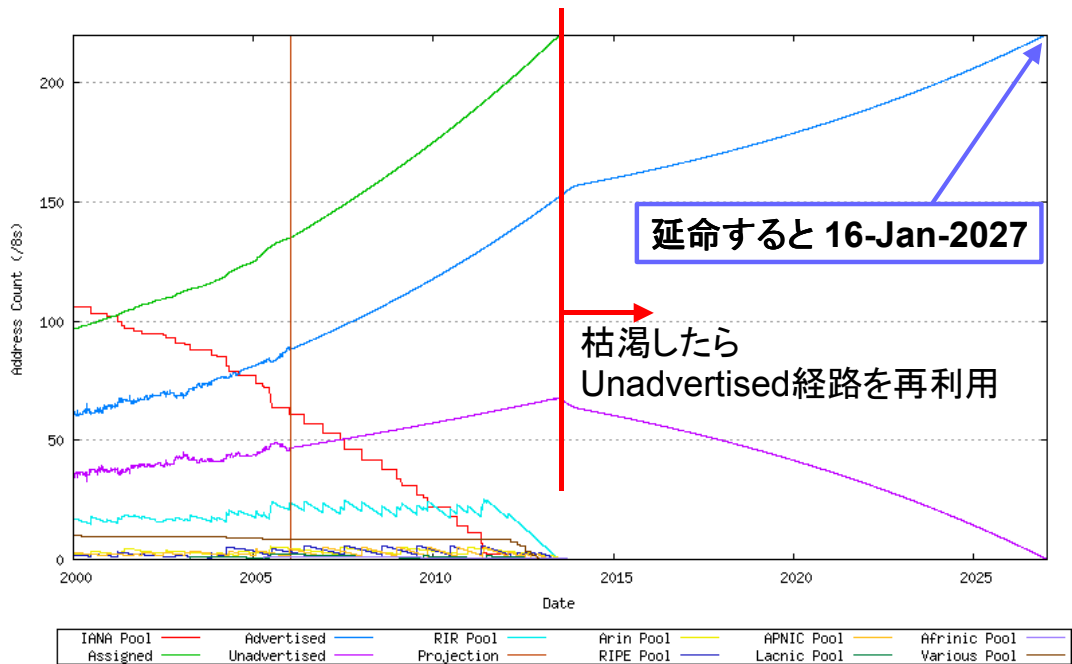


図 A-45 IPv4 アドレス延命枯渇予測

前項で、RIR プールが枯渇する時が IPv4 アドレス枯渇時期であるという解説をしたが、RIR が配下の組織よりインターネットに広告されていないアドレスブロックを回収することで延命を図ることが可能である。

どのような手段で非広告 IPv4 アドレスを回収するかについて考えなければ、ポイントは絞られる。「もし回収できたら何年間延命できるのか」である。

この命題を解くための前提は、IP アドレスに値を付けることである。値付けにより IP アドレスを有効利用するメカニズムが生まれる。また、値付けを行うと、値付けを行わない場合に比べて 2 倍以上の延命策となる。

以上より、広告されていない IPv4 アドレスを回収再利用することにより延命される枯渇時期は、**2027(平成 39)年 1 月 16 日**である。

A-4.23.最後に

IANA プールの枯渇予測日は **2012(平成 24)年 1 月 24 日**であり、**2013(平成 25)年 3 月 23 日**である。

このレポートではとても控えめな予言を行った。このレポートにより言えることは、もし、今の消費トレンドが進むようであれば、IANA プールが枯渇する前に IP アドレス分配に関する新たなメカニズムが必要になるということである。今から直面するこの状況に反応する業界はとても大きなアドレス需要を持つと言え、残りの IPv4 アドレスに対する“駆け込み”需要を引き起こすことになるであろう。もし、駆け込み需要の動きが起きたら、IPv4 アドレス枯渇日はこのレポートの予測よりも前倒しになるであろう。しかし、既存のデータを用いてそのようなモデルを作るのは難しいし、このレポートにおける目的でもない。

このレポートの締めくくりとして提案したいことは、**2005(平成 17)年末**までにアドレスポリシー変更に向けての動きをスタートしておくべきであるということである。IPv4 アドレスが枯渇する際に、成長するインターネットを継続的に利用していくためには何をするのが最も良いのかを深く考えておく必要があることはあきらかである。グローバルなインターネットが、一夜にして IPv6 に切り替わることはありえない。

以上