

4 IPv6ルーティングの実態

The Reality of IPv6 Routing

石井秀雄 (パックネットサービス・ジャパン(株))

永見健一 ((株)インテック・ネットコア)

インターネットは、近年、社会のインフラとして重要な役割を果たすようになってきている。現在のインターネットは、IPv4によって構成されているが、2010年には、地域インターネットレジストリ(RIR)の未分配IPv4アドレスの在庫がなくなると予想されている¹⁾。今後インターネットに接続するホストが多くなることを考えると、IPv6を使ったネットワークの構築を検討していく必要がある。本稿では、IPv6ルーティングの現状とその問題について解説する。

IPv6 と IPv4 の経路の比較

インターネットでは、AS (autonomous system) と呼ばれるネットワークの集合を1つの単位として経路情報を交換することにより、全世界規模でのデジタル通信が実現されている。ASとは、たとえば、ISP (Internet Service Provider) や企業・大学など、自律的にかつそれぞれの運用ポリシーに従ってネットワークの運用を行う組織にあたる。ASには、全世界で唯一の値を持つAS番号とよばれる番号が割り当てられている。各ASは、各自ASから自身の所有するIPアドレスをBGP (Border Gateway Protocol) により、隣接のASに広告することにより経路交換が行われる。

現在 (2007年12月現在)、IPv4では、表-1で示すように、25,296個のASから経路が広告されており、219,603個のIPv4プレフィックスが広告されている。これに対して、IPv6では、741個のASから経路が広告されており、855個のIPv6プレフィックスが広告されている。IPv4とIPv6の広告AS数を比較してみると、2.9%のASがIPv6の経路を広告していることになる。また、プレフィックス数を比較してみると、IPv4で広告されているプレフィックスの0.4%がIPv6で広告されていることになる。

次に平均ASパス長を比較してみる。ASパス長とは、あるIPパケットが、送信元ホストから宛先ホストまで経由するASの数を示している。このASパス長が長いと、経由するAS数が多いために、一般的に、ネットワーク的な距離が遠くなる。利用者からは、ASパス長が短いほうが通信品質が高くなる可能性が多い。平均ASパス長とは、広告されている経路のASパス長の平均をとったものになる。IPv4の平均ASパス長は、3.6である。これに比べて、IPv6の平均ASパス長は、4.8である。

	IPv6	IPv4	IPv6 と IPv4 の比
AS 数	741	25,296	2.9%
プレフィックス数	855	219,603	0.4%
平均 AS パス長	4.8	3.6	132.2%

表-1 IPv6 と IPv4 の経路情報の比較
http://bgp.potaroo.net/ より引用

すなわち、ASパス長に関して、1.2の差が存在することから、IPv4のインターネットは、IPv6に比べて、密なネットワークになっていることが分かる。

上記のように、IPv6のインターネットは、IPv4のインターネットに比べて、これから発展していくものと考えられる。

次にIPv6の経路情報の今日までの変化を概観する。図-1は、IPv6経路の広告AS数の経年変化を示している。横軸が年、縦軸が広告AS数を示している。2004年から2007年には、1年間で約100個の広告AS数が増えていることが分かる。図-2は、IPv6経路の広告プレフィックス数の経年変化である。横軸が年、縦軸が広告プレフィックス数を示している。2006年にいったん減少しているが、それ以外は1年間で約150プレフィックス数増えていることが分かる。このように、少しずつであるが、毎年、IPv6ネットワークが拡大していることが分かる。

IPv6 と IPv4 のトラフィック量の比較

次に、IPv6とIPv4のトラフィックの比較を行う。一般に商用のISPにおいては、自身のネットワークのトラフィック量を公開していないため、それぞれのトラフィックを比較することは、きわめて難しい。IPv4とIPv6

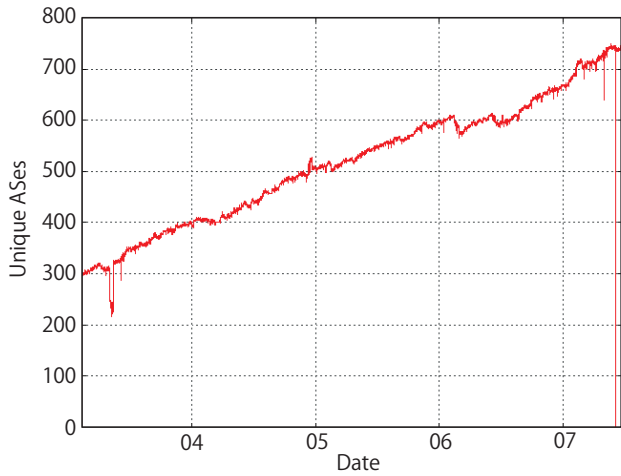


図-1 IPv6 経路の広告 AS 数
http://bgp.potaroo.net/ より引用

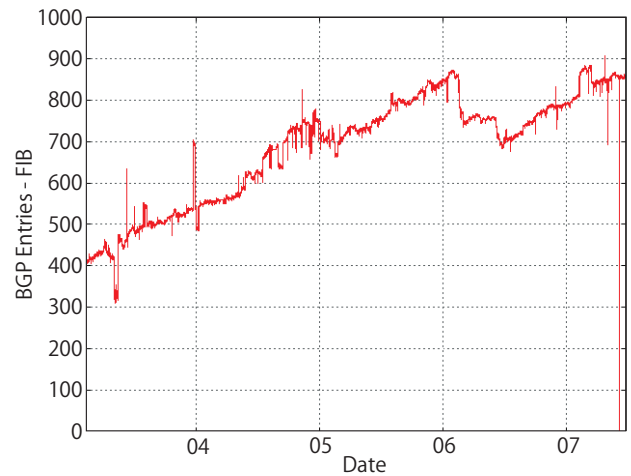


図-2 IPv6 経路のプレフィックス数
http://bgp.potaroo.net/ より引用

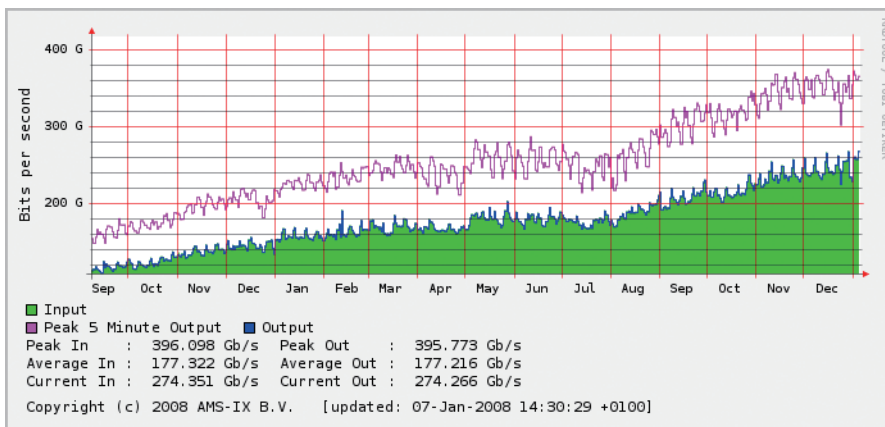


図-3 AMS IX の IPv4 トラフィック

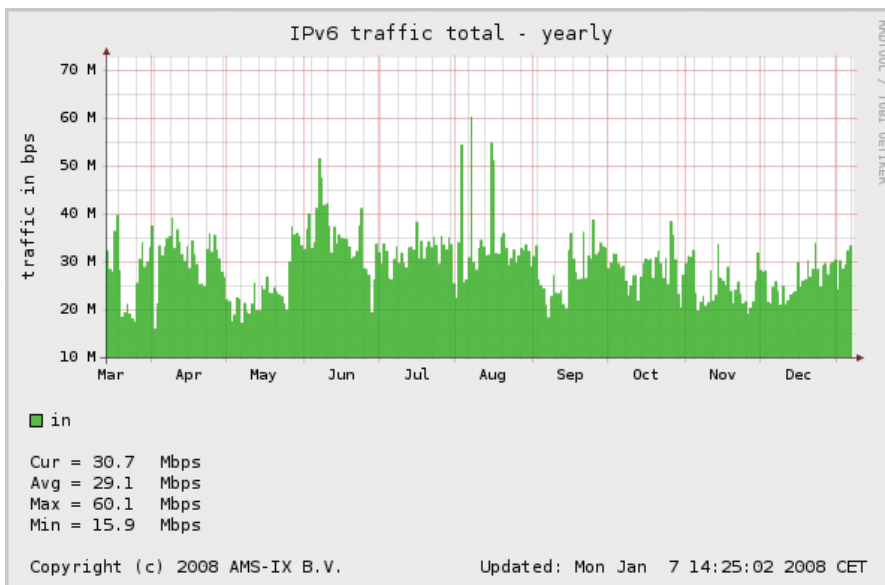


図-4 AMS IX の IPv6 トラフィック

のトラフィック量の両方が公開されているヨーロッパの IX (Internet eXchange) である AMS IX のデータと比較してみる。IX とは、ISP 間でトラフィック交換が行われている場所であり、インターネットのトラフィックが集

中する 典型的なネットワーク設備の 1 つである。図-3 に IPv4 の全トラフィック量のグラフを、一方、図-4 に IPv6 の全トラフィック量のグラフを示した。

2007 年 12 月には、IPv4 のトラフィックは、約

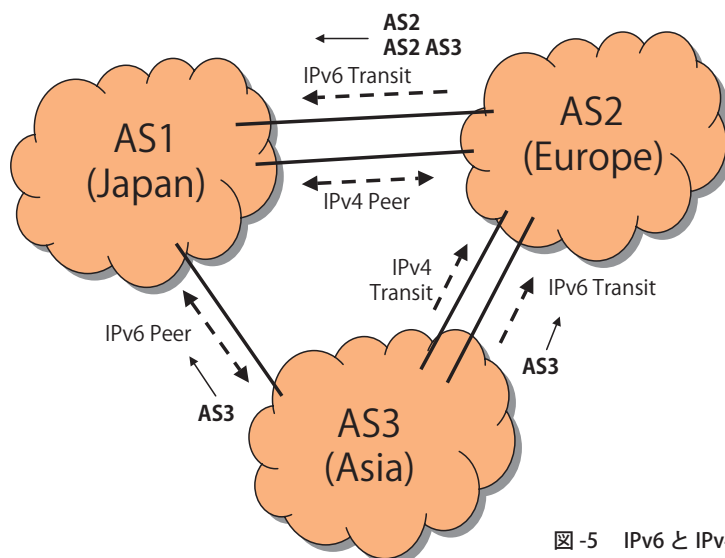


図-5 IPv6とIPv4の接続

260Gbpsであり、IPv6のトラフィックは、30Mbpsであった。IPv6のトラフィック量は、IPv4のトラフィック量の0.01%となっている。現在のIPv6のトラフィック量は少ないが、今後インターネット上のユーザサイトにIPv6対応機器が増加することが期待されており、その結果、IPv6のトラフィック量が増加することが予想されている。

IPv6 ルーティング問題

日本におけるIPv6ネットワークのサービス展開や実ネットワークにおける経験は、国際的に見ても先行しているといえよう。日本がIPv6ネットワークの導入と強化を引き続き推進することで、日本のISPがIPv6ネットワークのTier-1 ISPになる可能性が高いと考えることもできよう。Tier-1とは、IP接続サービスをISPから購入せず、ユーザからの経路と、ピアリングの経路で、完全なルーティングテーブルを構築できるISPを指す。IPv4においては、Level (3), AT&T, Sprint, Verizon (UUNet), Global Crossing, NTT.NET, Qwest, SAVVIS, AOLがTier-1と呼ばれ、トランジットサービスをどのISPからも購入することなく、インターネットトランジットサービスを提供している。日本のISPがIPv6ネットワークのTier-1になることは、米国中心のIPv4ネットワークモデルと異なった、グローバルに分散した(IPv6)ネットワークモデルになることを意味する。

IPv6のTier-1として日本のISPがIPv6トランジットを国際的に提供し始めると、IPv4の環境では発生しなかった問題が出てくる可能性がある。その原因は、IPv6のルーティングポリシーにある。実際、IPv6とIPv4の接続形態が異なるのにもかかわらず、IPv4で導入して

いたルーティングポリシーをそのままIPv6にも使用するケースが多く、IPv4と同じポリシーで運用を行うと、国際的なルーティング問題が発生してしまう。

BGPにおけるASとASの関係は、IPv6だけではなく、IPv4による関係も影響する。すなわち、IPv4ではお客となるが、IPv6では逆の立場、という状況になり得る。このようなIPv4とIPv6で経路の取り扱いが違う状況は、結果としてIPv6のトラフィックフローに問題を起こすこととなる。

たとえば、図-5のように、IPv4においては、ヨーロッパのISP AS2が日本のISP AS1と米国において、ユーザ経路をお互いに無償で交換するピアリングを行い、IPv6に関してはAS2がAS1のIPv6トランジットを購入したとする。一方、アジアのISP AS3がAS1と日本国内、もしくはアジア域内でIPv6のピアリングを行い、ISP AS2とは、米国においてIPv4でトランジットのユーザとなり、その上AS3はAS2からIPv6のフルトランジットも提供されている。このような接続環境は実際に存在し、非対称のIPv6トラフィックルーティングを発生させる。

一般的にISPは、BGPのlocal preference値を、ピアリングやトランジット提供者からの受信経路より、ユーザからの受信経路を高い値に設定し、トラフィックをユーザへ返すように調整している。また、表-2のように、経路に対して、どこから受信したのかによって、その経路を広告するか否かを決定している。その結果、AS3はAS1とAS2に同等の経路を広告したとしても、AS1はAS3から受信した、AS3_AS2のAS Path最適経路とし、AS3へのトラフィックはすべてAS2経由で行われてしまう。結果、同じIXにおいてピアリングをしたとしても、トラフィックはすべて米国経由となり、結果、行きと帰

経路	To Peer	To Upstream	To Customer
From Peer	×	×	○
From Upstream	×	×	○
From Customer	○	○	○

表-2 ISPにおける受信経路扱い

りとのルートが異なることで遅延が大きくなってしまふ。

実際、このような、BGP 経路の取り扱いに起因する問題は、IPv4 より、IPv6 の環境において、すでに、(顕著に) 発生している。それは、IPv6 の経路広告ポリシーや iBGP, eBGP での経路の取り扱い方が主な要因となっている。したがって、IPv6 でピアリングと IPv6 の全経路(フルルート)を受けるトランジットでの両方の接続を同時に持つような ISP は、トランジットを提供する ISP に対して、自 AS が広告する IPv6 経路がどのように扱われるか、そして非対称のトラフィックフローが発生しないかを事前に確認する必要がある。また、主体的経路制御という観点では、IPv6 ネットワークは IPv4 のように、BGP Community を使ったユーザによる経路制御なども準備されていないケースが多く、トランジット提供者に BGP Community による経路制御を準備させるように要求する必要がある。

今後、IPv6 に関しては IPv4 のような米国中心の状況から、欧州やアジア、日本へ分散したネットワークモデルになり、IPv4 のルーティング制御とは異なった手法が必要になると考えられる。現在の一時的な解決手法ではなく、IPv6 導入に関して先行している日本が、最適な経路制御手法を検討し、提案していく必要がある。

トンネル問題

既存の IPv4 のネットワークを使って IPv6 ネットワークを構築するためには、IPv6/IPv4 Dual Stack, Generic Routing Encapsulation (GRE)²⁾ トンネル, 6PE³⁾ などの手法が存在する。IPv6/IPv4 Dual Stack は、既存の IPv4 ルーティングプロトコルを、IPv4 と IPv6 の両方に対応するように変更した上で、IPv6 アドレスをルータに割り当て、ネットワーク全体を IPv6 にも対応させる手法である。GRE トンネルと 6PE は、IPv4 のネットワークに影響を与えず、IPv6 のオーバレイネットワークを構築することが可能であり、ISP が IPv6 を商用ネットワークに導入する際、最も選択しやすいネットワークの構成方法である。しかしながら、GRE トンネルや 6PE を使ったオーバレイのネットワーク構築には、以下に述べるような問題点を事前に確認し対応しなければならない。

GRE を使った場合に発生する問題

GRE は、IPv4 のネットワーク基盤を用いて構築されるため、IPv4 ヘッダと GRE ヘッダの計 24byte が任意のプロトコルのパケットに付与されることになる。その上で、GRE トンネルで設定された相手先ルータまで IPv6 パケットのトラフィックを IPv4 ネットワーク上で転送する。しかし、GRE を利用した場合、IPv6 で要求するサービス品質を IPv4 ネットワークで反映させるために、一般的には、IPv6 のトラフィッククラスを IPv4 の Precedence bit に送信元ルータで反映させる設定が事実上不可能となっている。その結果、IPv6 で要求されるサービスクラスを、IPv4 ネットワークを用いて実現することが、きわめて困難となってしまふ。

6PE を用いた場合に発生する問題

GRE ではないトンネル技術で、IPv6 ネットワーク構築の技術として、6PE が IETF においても標準化されており、多くの実ネットワークにおいて導入されている。この技術は、Multi-Protocol Label Switching (MPLS)⁴⁾ を使い、IPv4 のネットワークに IPv6 パケットを転送させるものである。この技術を利用することによって、IPv6 パケットのサービスクラス要求を、MPLS ヘッダにある EXP bit に反映させて、IPv4 の網内で IPv6 パケットの優先順位制御、また、Label Switched Path でのプロトコル分類や、サービス単位、パケット種別単位でのトラフィックフローの識別や集約、MPLS Fast ReRoute を使った高速迂回機能などが利用できるように設計されている。

しかし、6PE 技術を適用するためには、IPv4 ネットワークにおいて MPLS を導入する必要がある。さらに、6PE を導入する際には、既存の IPv4 ルータに IPv6 をサポートさせることが必要になる。また、現在、IPv6 のルーティングプロトコルでは、MPLS への対応が行われていないため、MPLS を構築するためには、IPv4 を引き続き使わなければいけない、という問題も発生してしまう。

6PE の環境下で発生する問題については、以下でより詳しく解説する。

図-6 に、6PE が適用されたネットワークの典型的な構成図を示した。6PE は、IPv6 を直接収容するルータとなり、MPLS が利用できる既存の IPv4 ネットワークを使って、IPv6 ネットワークを構築する。しかし、『既存の IPv4 ネットワークは MPLS をサポートしていればよい』ということではなく、図-3, 4 の回線 A と C において、IPv4 と IPv6 の両方のプロトコルファミリーをサポートしている OSPF⁵⁾ や IS-IS^{6), 7)} などの Interior Gateway Protocol (IGP) が利用できる構成ならびに経路システムの設定を行わなければならない。まず、IPv4 の IGP は、MPLS プロトコルで使用され、6PE 間の MPLS ラベルパ

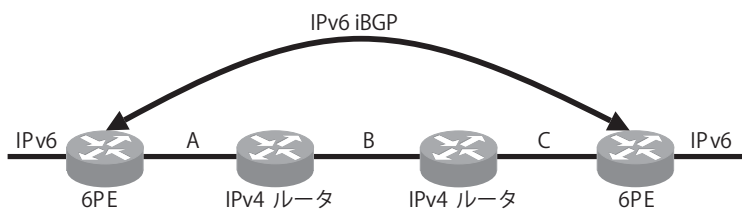


図-6 6PE 構成図

スや、Traffic Engineering Database (TED) を構築するために使用される。IPv6 の IGP を可能にしなければならない理由は、現在、A と C の回線が接続している 6PE ルータのインタフェースに IPv6 が利用できるようにする必要があるのである。そのため、6PE は、回線 A と C に、IPv4 と IPv6 両方の経路情報を IGP によって転送してしまう。しかし、IPv4 ルータで IPv6 プロトコルが利用不可能な場合、IGP に含まれる IPv6 の経路情報をエラーと判断し、IPv4、IPv6 両方の経路情報を破棄してしまうため、IPv4 の経路情報も交換できなくなり、6PE 間で MPLS パスを構築できず、IPv6 ネットワークを構築できなくなってしまう。

この問題を解決するために『IPv4 ルータで IPv6 を利用可能にする』、ということは、『IPv4 の網に影響がなく、IPv6 ネットワークを構築するという』ではないので、実際に 6PE を使い IPv6 ネットワークを構築する計画がある場合には、上述したような技術的検討が事前に行われなければならない。

なお、この問題は、IS-IS を IGP として使っている場合に発生することが、すでに、実システムにおいて検証されている。IS-IS とならんで、広くインターネットにおいて IGP として利用されている OSPF の場合についても同様な事象が発生するののかに関しては、今後の検証が期待される。

むすび

本稿では、実際の IPv6 ネットワークにおける経路数増加の実情や、IPv6 ルーティングにおける問題点を解説した。今後も続く、インターネットの多様化やユーザの増加、また、近年中に予想される IPv4 アドレスの枯渇問題に起因し、より一層、IPv6 ネットワークが必要不可欠なものとなり、IPv6 ネットワークを現在の IPv4 ネットワーク以上に、安心して安定したサービス基盤とすることが要求される。そのため日本においては、引き続

き IPv6 の技術研究開発や運用技術開発を主導し、既存の問題を解決していくとともに、潜在的問題や新規課題にも柔軟に対応し、より安定した IPv6 ネットワークの構築を推進していく必要がある。

参考文献

- 1) IPv4 アドレス在庫枯渇問題に関する検討報告書、日本ネットワークインフォメーションセンター、<http://www.nic.ad.jp/ja/ip/ipv4pool/ipv4exh-report-071207.pdf> (Dec. 2007).
- 2) Hanks, S., Li, T., Frinacci, D. and Traina, P.: Generic Routing Encapsulation Over IPv4 Networks, IETF RFC1701, RFC1702 (Oct. 1994).
- 3) Clercq, J. D., Ooms, D., Prevost, S. and Faucheur, F. L.: Connecting IPv6 Islands Over IPv4 MPLS Using IPv6 Provider Edge Routers (6PE), IETF RFC4798 (Feb. 2007).
- 4) Rosen, E., Viswanathan, A. and Callon, R.: Multiprotocol Label Switching Architecture, IETF RFC3031 (Jan. 2001).
- 5) Coltun, R., Ferguson, D. and Moy, J.: OSPF for IPv6, IETF RFC2740 (Dec. 1999).
- 6) Callon, R.: Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments, IETF RFC1195 (Dec. 1990).
- 7) Intermediate System to Intermediate System IntraDomain Routing Exchange Protocol for use in Conjunction with the Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service (ISO 8473), ISO DP 10589 (Feb. 1990).

(平成 20 年 1 月 21 日受付)

石井秀雄

hishii@pacnet.net

1990 年桜美林大学経済学部卒業。同年 CSK ネットワーク(株)入社。ネットワーク企画部にて、パケット交換網、フレームリレー網の評価検証などに従事。1995 年、スプリントインターナショナル入社、インターネットサービスの技術サポート、および MPLS-VPN のアジア域内の拡張作業を行う。2000 年グローバルクロッシングジャパン入社後、アジアパシフィック内のインターネット網と MPLS-VPN 網の構築と運営、および米国グローバルクロッシングと共に MPLS 技術の評価検証を行う。2002 年、取締役役に就任、社名がアジアネットコムへ変わり、新たな国際インターネット網と MPLS-VPN の設計と構築を行う。2008 年 1 月に、会社統合により社名をバックネットサービス・ジャパン(株)へ変更。

永見健一

nagami@inetcore.com

1992 年東京工業大学理工学専攻電気電子工学専攻修了、同年(株)東芝入社。東芝総合研究所において、ATM システムを用いたデータ通信の研究に従事。1994 年からラベルスイッチ技術(MPLS)のもととなるセルスイッチルータ(CSR)の研究開発、および運用を行う。IETF MPLS WG で標準化活動を行い、CSR および MPLS に関する RFC を提出している。2001 年、東京工業大学工学部学位取得。2002 年(株)インテック・ネットワークコアに入社。MPLS をはじめとする次世代インターネット経路制御とネットワーク監視技術の研究開発を行う。博士(工学)。