

# 2016 年度における IPv6 の大学等における利用状況

小林貴之<sup>1)</sup>, 鈴木伊知郎<sup>2)</sup>, 前野譲二<sup>3)</sup>, 近堂徹<sup>4)</sup>

1) 日本大学 文理学部

2) アラクサラネットワークス株式会社

3) 早稲田大学 情報教育研究所

4) 広島大学 情報メディア教育研究センター

tkoba@chs.nihon-u.ac.jp

## Status of IPv6 utilization in Universities of Japan for the year 2016

Takayuki Kobayashi<sup>1)</sup>, Ichiroh Suzuta<sup>2)</sup>,

Joji Maeno<sup>3)</sup>, Tohru Kondo<sup>4)</sup>

1) College of Humanities and Sciences, Nihon University

2) ALAXALA Networks Corp.

3) Project for DECODE, Waseda University

4) Information Media Center, Hiroshima University

### 概要

すでにアドレス在庫の枯渇が現実のものとなっているにも関わらず、代替プロトコルである IPv6 の運用実績・ノウハウは大学等において蓄積されていない。本稿では 2016 年 9 月現在における IP アドレスをめぐる状況をまとめるとともに、IPv6 の利用状況と導入に向けた提案を行う。

## 1 はじめに

日本 (JPNIC および APNIC) で IPv4 アドレスが枯渇して 5 年以上が経過しているが、社会的に混乱した状況にはなっていない。一方で、本論で言及するように IPv6 は世界的にみても日本国内でも徐々に普及しつつある。

一方で、デュアルスタックで IPv6 を利用することができて、なおかつ IPv4 アドレスのみの環境と比較して遅延や不自由さを感じない環境は現在でもまだあまり一般的とは言い難い。後述するように、一般のユーザは様々な追加費用を支払ってまで IPv6 を採用する積極的な動機はあまりないかもしれない。しかし、インフラストラクチャーとして位置づけられるようになってくる現在のインターネットについて、公的な組織としての大学には研究教育として IPv6 の推進と普及を中心的に担う責任があるはずである。

そこで、本稿では 2015 年の報告[1]に引き続き、IP アドレス全般に関する現況についての調

査と共に、大学等における IPv6 アドレス等を巡る最近の状況や実際の運用実績について調査をした結果を報告する。

## 2 IP アドレス環境

### 2.1 ARIN での IPv4 アドレス枯渇

北アメリカを担当する地域インターネットレジストリ (Regional Internet Registry、以下 RIR) である American Registry for Internet Numbers (以下 ARIN) では、2015 年 9 月 24 日に IPv4 アドレスが枯渇した[2]。ARIN において新たに IPv4 アドレスを得るには、返却される IPv4 アドレスの再割り当てのための待ち行列に加わるか、別の組織から何らかの形で移転を受ける必要がある。

ARIN においてはアドレス等の移転についての定めがあり[3]、RIR 内での移転が認められている他、APNIC および RIPE NCC との間でのみ、移転が可能である。つまり、枯渇しつつあるものの、まだ割り当て済みではない IPv4 アドレスの在庫を持つ RIR は移転元とすることができ

ない。

## 2.2 IPv4 アドレスの価格に影響のある要因

RIR 等の、IP アドレスの割り振りや割り当てを行ってきた組織は、IP アドレスの移転は管理するが、そこに金銭授受があったか、またその取引内容が具体的にどのようなものであるかは公表していない[4]。

実務上は、例えばアメリカでは Chapter 11 (企業再生) の過程で IPv4 アドレスが競売にかけられることがあり、またブローカーによる売買の仲介なども行われているようである。

一般論として、利用されていない IP アドレスは返却すべきであるが、IPv4 アドレスが希少性のある財であると考えれば、市場によって価格付けが行われ、より有効活用できる者が高い価格を提示して入手するというのは合理的であると考えられることもできる。逆に考えれば、IPv6 の普及を通じて IPv4 アドレスの価値を希釈化することも可能である。

IPv4 アドレスの市場価格に影響を与えると考えられる要因としては、次のようなものを考えることができる。

- (1) IPv4 の供給と需要のバランス
- (2) RIR をまたいだ取引
- (3) CGN (Carrier Grade NAT) の利用
- (4) IPv6 の採用

(1)と(2)については、例えば携帯電話の周波数帯のように一定のルールで定期的に競売が行われるのではなく、先願制でアドレスの維持に必要な費用は大きいとはいえない。また既に枯渇している地域間でのみ取引が認められている。つまり、既に IPv4 アドレスを持っている者が何らかの理由で売却することにより、はじめて取引が成立する。

ARIN および RIPE NCC の資料から、移転された IPv4 アドレスの数を時系列に従って図示したものが図1である ([5]および[6]等を参照)。日本では、JPNIC が管理を行っており、情報の公開が行われている。また、RIPE NCC については、移転元・先となった国も開示されているため、国とアドレス数の構成割合を表1に示す。APNIC、RIPE NCC、ARIN などで IPv4 アドレスが枯渇する中でこうした移転が増えていることがわかる。

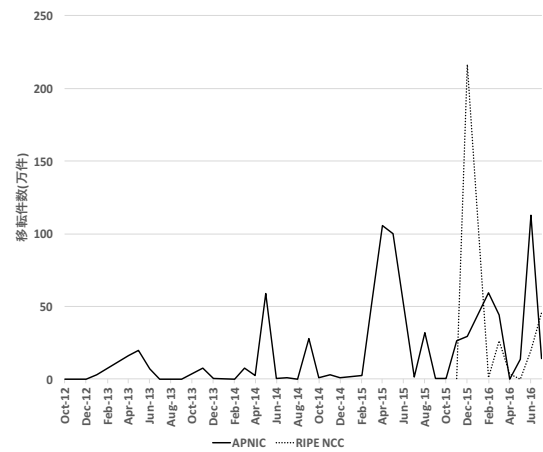


図1: ARIN からのアドレス移転数の推移

表1: RIPE NCC の国別アドレスの移転数

国名	輸入された数	輸出した数
サウジアラビア	1,904,640	6,144
イラン	1,453,056	1,280
アラブ首長国連邦	525,312	0
エストニア	499,456	53,248
オランダ	416,000	377,856
ドイツ	242,688	965,120
イギリス	241,920	66,560
ロシア	178,688	473,344
イタリア	178,176	9,216
ルーマニア	45,312	4,944,384

IPv4 アドレスの取引市場といえるようなものは確立されているとはいえないものの、現に取引は行われていることが観察できる。しかし、こうした取引が安全・確実に行われる枠組みがあるわけではなく本質的な解決手段は IPv6 への移行である。

セキュリティその他の観点から、必ずしも Peer to Peer の通信を許可したくないネットワークも多数あると考えられるので、どこかで NAT ポイントを設定する必要があるかもしれない。

例えば(3)と(4)については、IPv4 アドレスの価格を押し下げる要因として機能するものと考え

えられる。

採用するネットワークの構成によって管理者・ユーザそれぞれに与える影響は異なるが、IPv6 の普及によって IPv4 アドレスの相対的な価値が希釈されることが望ましいといえる。

### 3 調査結果

#### 3.1 トラフィックの状況

現在でも、IPv6 は本格的に利用されているとはいえないのが現状である。例えば、2016 年 9 月における Google における IPv6 トラフィックは全体の 10.77%ほどで、前年同月の 5.77%と比較して伸びてはいることがわかる[7]。DNS の状況をみると、h.root-servers.net は、IPv4 および IPv6 による問い合わせ数を公表している[8]。相対的に IPv6 による問い合わせが増えており、Google 同様、およそ倍増している。

その他にも、APNIC および Akamai による国別の IPv6 の採用状況に関する統計がある ([9] および[10])。これらに共通して言えることは、米国および欧州のいくつかの国は 10~30%程度の幅があるもののいずれも IPv6 利用は着実に増加していることがわかる。

#### 3.2 日本の学術組織における IPv6 アドレスの利用状況

本稿では、日本の学術組織における IPv6 アドレスの利用状況を把握するために、2016 年 9 月末で、文部科学省の Web ページで列挙されている各大学のドメイン名について、IPv6 を利用しているかについて実態を調査した。

実際に利用しているかどうかということの判断基準は難しい。ここでは以下のような基準で判断を行った。

- (1) IPv6 アドレスの割り当てを受けていると思われる
- (2) DNS の NS レコードで各大学が運用している DNS サーバで IPv6 アドレスが設定されている
- (3) DNS の Web サーバ (文部科学省が一覧として提供しているリスト) のドメイン名が IPv6 アドレスとして解決できる
- (4) DNS の MX レコードとして解決されるアド

レスが IPv6 である

RIPE NCC では IPv6 に関する格付け制度<sup>1</sup>を設けているが、本報告では(2)の、IPv6 に対応した DNS サーバを運用している大学を「IPv6 を実用している大学」として定義する。

この定義に従えば、2015 年度における IPv6 を実用している大学は 24 であり、2016 年度では 26 大学になった。なお、(1)は 385、(2)は 0、(3)は 26、(4)は 2 であった。

### 4 IPv4/IPv6 デュアルスタック運用事例

前章での調査では、IPv6 トラフィックの増加状況および日本の大学における IPv6 の実用状況について述べた。トラフィックの状況は世界的に見ても増加傾向にあるなか、大学における IPv6 の実用状況はまだ十分であるとは言い難い。さらに、対外向けの DNS やウェブサーバでの IPv6 対応ができたとしても、学内ネットワークに対して IPv6 接続を提供するとなるとよりハードルは高くなる。

その一方で、組織が IPv6 に対応したときに考えられる効果や課題について広く情報を共有していくことで IPv6 を推進するひとつのきっかけにもなる。ここでは広島大学のキャンパスネットワークを例に IPv4/IPv6 デュアルスタック化による効果と影響について述べる。

広島大学キャンパスネットワーク(HINET)は情報メディア教育研究センターが管理・運用する全学ネットワークであり、2008 年 4 月より基幹および支線ネットワークの一部で IPv4/IPv6 のデュアルスタック運用を進め、2016 年 9 月時点でサーバ、クライアント全てのホストで IPv6 が利用可能である。サーバに対しては固定 IPv4/IPv6 アドレスの割当を行いサーバ管理者による設定が必要となる。一方、クライアントに対しては DHCP(IPv4)、RA(IPv6)による自動設定が行われる。そのため、HINET に接続されるクライアントは多くの端末で IPv4 と IPv6 のアドレスが付与される。2015 年の調査では、無線 LAN エリアの接続端末では、全端末の約 90%に IPv6 アドレスも付与されていた。なお、

<sup>1</sup> <https://ipv6ripeness.ripe.net/>

ネットワーク構成の詳細は文献[11]を参照されたい。

図2に对外接続ルータにおける全トラフィックにおける IPv6 トラフィックの比率を示す。図は7月25日から7月31日までの1週間の推移を示したものであり、2時間毎にダウンロード方向の通信量の平均を計測したものである。この結果から、30%前後のトラフィックが IPv6 通信になっており、昼間を中心に40%を超える時間帯もあることがわかる。大学が提供するDNS キャッシュサーバのクエリタイプをみてもAレコード/AAAAレコードの比が3:1となっている。組織内ネットワークのデュアルスタック化により約3割のトラフィックがIPv6となっている現状を把握することができる。

現時点で、IPv6の導入により利用者からの問題等の大きな声は上がってきていない。つまり、IPv6導入が利用者にも与えるインパクトはさほど大きくなく、いつのまにかIPv6で通信をしていたという状況になっているのが実際の状況である。また、運用側から見ると既にルータやファイアウォール等のネットワーク機器もIPv6でもIPv4と遜色なく稼働するため支障となることはない。しかしながら、RAによる一時アドレスによるインシデント時の利用者追跡にかかるコスト増や、DHCPv6によるステートフルアドレス管理など、今後取り組むべき課題も存在する。

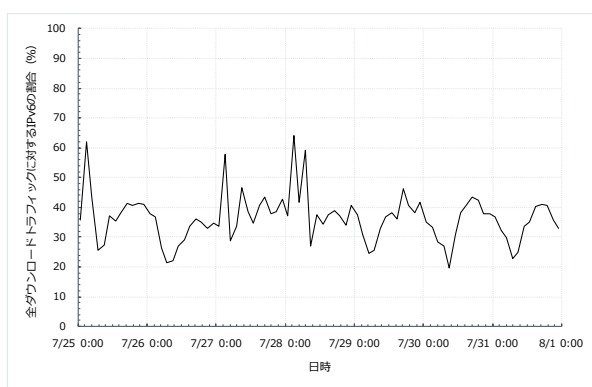


図2 全トラフィックにおけるIPv6トラフィックの比率 (2016/7/25 から 2016/7/31 まで)

## 5 IPv6 導入に向けて

### 5.1 学内ネットワークと IPv6

すでに大半のホストは少なくともデュアルスタックや IPv6 のみの環境での動作に支障がない状況であるとともに、インターネット側のサーバもハイパージャイアントはすでに対応を終え、その他を含めても30%以上がIPv6での通信を行える状況にある。とはいえ実際にIPv6のみでサービスを提供しているといった状況は実験的なものを除いてないことから、その併用に躊躇するのも十分理解できる。しかしながらすでに様々な分野で IPv6 への対応が求められている中、教育研究機関である大学の多くで IPv6 の環境がないということは、教育・研究の両面で憂慮すべきことであり、また運用管理者にとってそのノウハウがないことは、今後深刻な問題となることは容易に想像できる。先行して IPv6 を導入・運用する大学等での事例を広く共有し、ノウハウを蓄積していくことも今後必要であろう。

### 5.2 IPv6 を止めるコスト

LAN 内において、今やホスト側はデュアルスタックがデフォルトとなっており IPv6 を止めさせることは現実的ではない状況となっている。そのため LAN 向けの DNS サーバに対し AAAA フィルタリングといったテクニックが必要となる。また、現状の Windows はなんとかして IPv6 の接続性を確保しようとするが、モバイル系 OS もすでに IPv6 を優先する方向に動いており、その動作を理解し対策を打たなくてはならない。モバイルも含めた各種 OS への対応はかなり煩雑になってくると言える。

### 5.3 デュアルスタック化

各ホストの名前解決を IPv4 に委ねるのであれば導入においては、IPv6 のリーチャビリティを確保した上で各ホストが所属する VLAN のデフォルトゲートウェイとなるネットワーク機器に RA を設定するのみである。ただし、この際対応するルータやL3SWのNDPの収容数には気をつける必要がある。IPv6の収容数を考慮に入れていない設計の場合、収容できない可能性が

ある。その意味でデュアルスタック化は試す程度であれば支障は出ないかもしれないが、大規模に導入するとなると「デュアル」故のコストを意識しなくてはならないし、昨今求められるトレーサビリティにおいても煩雑になるとも言える。

#### 5.4 IPv6 のみでの運用

昨年12月、筆者らはDNS64/NAT64を用いたIPv6のみの環境からのインターネットアクセスの実験を行なった。この時IPv6のみのネットワークにおいても管理者側が環境を用意すれば、IPv6は当然ながらIPv4環境へのアクセスが問題なくできることを確認した。しかしその際課題となったのは各クライアントOSにおいて、(a)IPv6のDNSサーバ情報をどのように配布(受け取るか)、(b)名前解決をIPv6でできるか、の二点であった。(a)が可能なOSであれば(b)ができるのは自明なのだが、この点についてはIETFでも混沌としているようなので、引き続き注視していきたい。

今後、より大規模な環境での実証実験を実施し、そのノウハウを蓄積できればと考えている。

## 6 まとめ

本稿では、IPアドレス全般に関する現況についての調査と共に、日本の学術組織等におけるIPv6アドレスを巡る最近の状況や実際の運用実績について述べた。全世界的にIPv6トラフィックが増加傾向にあり、IPv6を導入することで約30%以上のトラフィックがIPv6で行われるようになっており、今後さらに増加することは想像に難しくない。学内ネットワークに対してIPv6を提供する手法としては、IPv4/IPv6デュアルスタック化やDNS64/NAT64によるIPv6のみでの運用など、幾つかの方法があり、それぞれで効果や課題も異なってくる。今後は、これらの技術動向やネットワーク機器、OSの対応状況を整理し、運用管理におけるベストプラクティスの検討を行う必要がある。

## 参考文献

[1] 前野譲二, 鈴田伊知郎, 小林貴之, 「IPv6の大

学等における利用状況」, 大学ICT推進協議会, 2015年12月.

- [2] American Registry for Internet Numbers, ARIN IPv4 Free Pool Reaches Zero, <https://www.arin.net/announcements/2015/20150924.html>, 最終アクセス 2016年9月1日.
- [3] American Registry for Internet Numbers, Transfer Resources, <https://www.arin.net/resources/transfers/index.html>, 最終アクセス 2016年9月1日.
- [4] JPNIC, IPv4 アドレス移転履歴, <https://www.nic.ad.jp/ja/ip/ipv4transfer-log.html>, 最終アクセス 2016年9月1日.
- [5] American Registry for Internet Numbers, Historical Inter-RIR and Specified Transfers of Internet Number Resources, [https://www.arin.net/knowledge/statistics/historical\\_transfers.html](https://www.arin.net/knowledge/statistics/historical_transfers.html), 最終アクセス 2016年9月1日.
- [6] RIPE Network Coordination Center, IPv4 Transfers in the RIPE NCC Service Region, <https://labs.ripe.net/Members/wilhelm/ipv4-transfers-in-the-ripe-ncc-service-region>, 最終アクセス 2016年9月1日.
- [7] Google, Google IPv6 Adoption Statistics, <https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>, 最終アクセス 2016年9月1日.
- [8] U.S. Army Research Laboratory, Total IPv6 Query Rate for h.root-servers.net, [http://h.root-servers.org/total\\_qps\\_v6.html](http://h.root-servers.org/total_qps_v6.html), 最終アクセス 2016年9月1日.
- [9] APNIC, IPv6 Capable Rate by country (%), <http://stats.labs.apnic.net/ipv6/>, 最終アクセス 2016年9月1日.
- [10] Akamai, IPv6の普及状況の可視化, <https://www.akamai.com/jp/ja/our-thinking/state-of-the-internet-report/state-of-the-internet-ipv6-adoption-visualization.jsp>, 最終アクセス 2016年9月1日.
- [11] 近堂徹, 田島浩一, 岸場清悟, 吉田朋彦, 岩田則和, 大東俊博, 西村浩二, 相原玲二, “クラウドコンピューティング活用のための大規模キャンパスネットワーク”, 情報処理学会インターネットと運用技術シンポジウム (IOTS)2014 論文集, pp.101-108, 2014.