

# IPv6 実習教材の作成を通して考える IPv6 の現状

早稲田大学メディアネットワークセンター 前野譲二 [joji@mnc.waseda.ac.jp](mailto:joji@mnc.waseda.ac.jp)

日本大学文理学部 小林貴之 [tkoba@chs.nihon-u.ac.jp](mailto:tkoba@chs.nihon-u.ac.jp)

特定非営利活動法人インターネットラーニングアカデミー 鈴木伊知郎 [suzuta@ila.or.jp](mailto:suzuta@ila.or.jp)

概要： IPv4 アドレスは ICANN において既に枯渇し、地域レジストリ (RIR) においても違いはあるが、それぞれ枯渇しつつある。データセンターやクラウド、仮想化、ビッグデータなどのバズワードが象徴するように、インターネットに接続される機器は増えることはあっても減ることは考えにくく、IPv4 アドレスの節約・有効活用も限界がある。このため、実務からの要請からも、今後はネットワーキングの教育現場においても IPv6 を取り入れなければならないと考えられる。かねてから筆者らは IPv6 に対応した実習教材を作成してきたが、本報告では「実用段階」であるとされてきた IPv6 の実装状況にはばらつきがあるなど、IPv6 を教育課程に導入するにあたって考慮すべき IPv6 の現状について議論する。

## 1. はじめに

IPv4 アドレスは、ICANN で 2011 年 2 月に、また APNIC で 2011 年 4 月 15 日に枯渇した<sup>1</sup>。歴史的 PI (Provider Independent) アドレスの IANA への返却と RIR への再割り振りなどの枯渇への対策が行われている他、日本国内でも IPv4 アドレスの移転手続き<sup>2</sup>が開始されるなど、様々な試みがある。いずれにしても、IPv4 アドレスの枯渇問題は解決することが難しいのは明らかで、IPv4 と IPv6 のデュアルスタックによる運用を真剣に検討しなければならない段階にあると言える。

情報教育において、平成 25 年度から実施される高等学校の教科「情報」において「社会と情報」「情報の科学」いずれにおいてもネットワーク、また特にインターネットが必ず取り上げられている。

文部科学省によれば、高等学校への進学率が 97% にも及ぶことを考えれば、国民生活にインターネットは欠かすことのできない要素である。したがって、今後、大学における情報教育では IPv4 と平行して IPv6 を取り扱う必要があると考えられる。

本報告では、大学教育におけるネットワーク教育のための実習を含む教材を作成した経験から、IPv6 の現状を考察する。また、今後の情報教育におけるネットワーク教育をどのように取り扱うべきか考察する。

### 1.1 ネットワーク教育の現状

平成 21 年 3 月に公表された高校の新指導要領<sup>3</sup> (平成 25 年から年次進行で実施) によれば、情報科は「社会と情報」「情報の科学」に再編されるが、ネットワークは現指導要領からみて重要度を増していると言える。「社会と情報」ではほぼ全体にわたってインターネットが扱われており、「情報の科学」ではアルゴリズムやデータベースを除けば、何かしらの形でインターネットそのものについて学習するか、活用方法や注意点について学習す

<sup>1</sup> APNIC, "APNIC IPv4 Address Pool Reaches Final /8", <http://www.apnic.net/publications/news/2011/final-8>, 最終アクセス日 2011 年 10 月 16 日

<sup>2</sup> 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、「IPv4 アドレス移転申請手続き」、<http://www.nic.ad.jp/doc/jpnic-01113.html>, 最終アクセス日 2012 年 11 月 15 日

<sup>3</sup> 文部科学省、「高等学校学習指導要領解説 情報編」、開隆館出版販売、2010 年 5 月

ることになっている。ただし、利用することに重きが置かれており、その仕組みについての扱いは重視されていない。

これは、コンピューターをインターネットに接続せずに利用することの方が希になりつつあり、ネットワークの利用がコモディティ化している現在を反映しているものと思われる。IPアドレスに触れていない教科書も見受けられるし、IPv6アドレスを扱っている教科書は少数派である。

2012年に発生した「PC遠隔操作ウィルス」事件により、法曹界ではIPアドレスが逮捕・起訴の物的証拠として重視されているらしいことが分かっている。また、いわゆる「ダウンロード処罰化」が2012年10月1日から行われ、2年以下の懲役または200万円以下の罰金とされている。また各都道府県や市町村で制定されている青少年健全育成条例等ではインターネットを念頭に置いていると思われる条項がある（例えばフィルタリング）。

このように、クリック1回で刑事罰につながりかねないのが日本国の現状である。インターネットを利用するに免許は不要である。どの程度の教育水準を担保すべきかは議論の余地を残すが、インターネットの技術は本来はほぼ全国民が学習すべきであると考えられる。

では、大学ではネットワークをどのように教育しているだろうか。ネットワーク教育は、情報リテラシー教育の一部として、また高等学校の情報科免許の指定科目（情報通信ネットワーク）、あるいは専門科目として教えられているが、扱われている知識範囲として特に定まったものはない。

また、理系の学部・学科において実験のような形式で技術的な教育が行われているケースもあるが、多くの場合で座学が中心となっている。教育内容もどのように利活用するかとか、セキュリティに重点が置かれていることが多いように思われる。

筆者らは、座学のみによるインターネット技術の教育は、消化不良に終わると考えている。実習を通じて実際に機能するネットワークを組み立てることによって、学生らのネットワークへの理解は格段に高くなる。

## 1.2 ネットワーク教育の問題点

ネットワークも含めた情報教育の問題点の根底には、教育内容の陳腐化が激しいということがある。つまり、現在のコンピューティングから見て、学校で教えていることは常に最先端から離れつつあるということである。ネットワーク教育についてはこの傾向が顕著で、筆者らがネットワーク教育に携わるようになった2000年前後と比較して、実務と教育の現場での乖離が大きくなっている。

そして、前述のようにコンピューティングの最先端は常に変化している。ネットワークの技術そのもののイノベーションによらなくても、社会の状況に巻き込まれる形でネットワーク教育の内容について、更新を求められる場合もある。

本報告で扱う、IPv6の技術教育は、このような社会状況の変化により変更を迫られる教育項目と考えることができる。2011年に枯渇したIPv4アドレスの枯渇に伴って問題が生じているが、既に2000年には当時の森首相による施政方針演説で取り上げられ、2008年までにはすべての省庁で対応を完了することが目標であったことを考えると、現状は芳しいものとは言い難い<sup>4</sup>。

中長期的に考えれば、ネットワーク層のプロトコルとしては、IPv6が現在のネットワーク教育で中心的に扱われるべき内容である。しかし、そうなっていない。今すぐIPv4ア

---

<sup>4</sup>例えば、2012年11月15日現在、首相官邸のWebサーバー（[www.kantei.go.jp](http://www.kantei.go.jp)）にはIPv6アドレスが設定されていない。なお、総務省（[www.soumu.go.jp](http://www.soumu.go.jp)）にはIPv6アドレスが設定されている。

ドレスが利用できなくなるわけではないこともあり、IPv6を利用できないことが問題となるまでには時間がかかるかもしれないが、ネットワーク教育としてIPv6を高等教育で採用するカリキュラムに取り上げないのはバランスを欠いていると思われる。

## 2. IPv6 導入の注意点

IPv4の枯渇が明らかになった昨年から、IPv6に関して、今年はWorld IPv6 Launchが行われたにもかかわらず、報道に乗ることは少なく、比較的静かな状況に見えるが、これはある意味作られた状況とも言える。

本来FQDN (Fully Qualified Domain Name) なドメイン名について名前解決をした場合、もしデュアルスタックな環境であればIPv6、IPv4双方のアドレスが返されることが期待される。この場合どちらのプロトコルで通信するかは任意ではあるが、IPv6で通信するのを優先するべきである。

ところが、日本においては健全なIPv6の併用が行われているとは言えない状況にある。本稿ではその問題の詳細について言及することは避けるが技術的に日本が先行していたはずのIPv6に関して実用レベルで足かせがある状況であることを認識しておく必要がある。

また、インターネットをインフラとして考えた場合、土管であるネットワークを構築する側に立てば、上で述べた問題に関わらずIPv6におけるリーチャビリティを確保するのは当然の責務である。数年来IPv6の実践教材について開発を行ってきた我々のスタンスは今日においても変わらないが、その点に言及されることが少ない状況も相変わらず変化がない。

## 3. 歩みの遅い IPv6 実装

久しくIPv6は「普及期」であると言われていたが、本報告はそれを疑う問題意識で行っ

ている。研究・大学での運用といったレベルでの実用はできていても、まだ実用には遠いと言わざるを得ない。

IPv6のルータ間におけるリーチャビリティの確保、そしてこれまではサーバの領域とされたアドレス配布、そしてIPv4とIPv6の併用技術、これら点においては我々の取り組みが今後実際に現場で評価されるフェーズとなったと考える。

ここで警鐘を鳴らしておきたいのは組織内をデュアルスタック化するのは、単にルータもしくはL3スイッチにIPv6のアドレスを割り当て、RAを動かせば良い、という事ではない点である。

IPv6のみの環境ではなくデュアルスタックを前提とすれば、コンピューター教室環境において問題が生じることはないと思われる。しかしながら今や少数のルータ（多くがレイヤー3スイッチで）によってレイヤー2フラットなネットワークを構築することが趨勢のキャンパスネットワークにおいて、その収容数が非常に大きな問題となる。

IPv4のARPについては問題なく運用できているそれが、IPv6におけるNDPのエントリ数に相当することに異論を挟む余地はない。その点において現在の利用されているルータやレイヤー3スイッチがデュアルスタック環境に耐え得るかは、積極的に検証すべきポイントである。

## 4. おわりに

我々が作成した教材は箱庭的ハンズオンを提供するものに過ぎないが、それを通じてIPv6を実運用する一助となり、さらにその上で生じるハードルやそれを乗り越えるノウハウについてはぜひ情報を共有していければと考えている次第である。