講座 第12回

インターネット活用法

インターネットの将来展望

楠本 博之*

KUSUMOTO Hiroyuki

Future of the Internet

12 Series

Utilizing the Internet

[著者抄録] 本講座では、成長著しいインターネットにおける最近の技術動向と、その将来について述べる。近年、その拡大が著しいインターネットであるが、規模や利用者層の拡大、計算機的小型化、新しい通信媒体の登場によって、解決しなければならない事項が増加しており、いろいろな研究開発が行われている。これらは、一般利用者に直接関係するものもあれば、間接的にしか関係しないものもある。ここでは、インターネットへ接続する計算機の増大に伴うアドレス不足と経路制御の問題、移動ホストをどう扱っていくかの問題、音声や画像の取り扱い、インターネット上の知的所有権、次世代インターネットプロトコルについて解説する。

[著者付与キーワード] インターネット、ネットワーク、次世代 IP、IPv6、ドメインネーム、実時間プロトコル

[Author Abstract] In this article, recent research and engineering topics, and the future of the Internet are summarized. The Internet has grown rapidly. However, rapid growth, downsized computers, and emergings of new communication media cause various problems. To solve these issues, much research effort are carried out. Particular, Internet address exhaustion and routing issues, mobile host supporting, audio video transmission, domain name and intellectual property are explained.

[Keywords by Author] Internet, network, IP next generation, IPv6, domain name, realtime protocol

* 慶應義塾大学環境情報学部 (〒252 藤沢市遠藤5322) Tel. 0466(47)5111
Faculty of Environmental Information, KEIO University (5322 Endo, Fujisawa-shi, 252)

1. はじめに

インターネットは、その規模や利用者層が拡大し続けている。当初、研究者の学術活動の支援のために使われていたが、USENET システムの発展を契機に、世界中を対等に結ぶ情報伝達基盤がもたらされた。また、近年の WWW (World Wide Web) の浸透により、世界的な情報共有環境を提供するに至っている。全米のスーパーコンピュータセンターを結んでの研究活動支援や、遠隔地の計算機資源の利用を目的として発展してきたインターネットであるが、このように近年では、コミュニケーションインフラストラクチャとしての様相を強くしている。日本国内でも、本講座連載で述べられているように⁵⁾、ここ 1, 2 年での一般利用者への拡大が著しい。

こういった規模の拡大や、新しい情報伝達や共有方式の発展、計算機の小型化、新しい通信媒体の登場によって、インターネットには新たな問題も、もたらされており、それを解決すべくさまざまな研究がさかんに行われている。ここでは、これらの比較的新しい問題について概説し、これらのインターネットの発展について概観する。

2. インターネットの拡大とそれに伴う問題

ここでは、インターネットの拡大と発展に伴う、規模的な問題について概観し、将来の発展について述べる。

2.1 インターネットの拡大

1996年6月現在、広義のインターネットへの接続性のある国および地域数は186であり、接続性をもたない地域数は51である。IP 接続や、UUCP 接続がある。これをまとめたのが表1である³⁾。

表2に示したINTERNATIONAL CONNECTIVITY の一番最初の調査では、接続地域数は84であった⁴⁾。

この5年間で、IP 接続がなされた地域や国が

表1 INTERNATIONAL CONNECTIVITY
Version.15

ネットワークの種類	接続地域数
IP	134
UUCP	146
FIDONET	108

表2 INTERNATIONAL CONNECTIVITY
Version.1

ネットワークの種類	接続地域数
IP	32
BITNET	46
UUCP	88
FIDONET	36

102にもなることがわかる。インターネット協会の WWW サーバ www.isoc.org には、こういった資料が、いろいろな格納形式で保存されており、WWW または FTP で入手できる。たとえば、図1に、インターネット協会が提供している図や表を取得できる WWW 情報を示す。

2.2 トラフィックの増加と新しいアプリケーション

インターネットのトラフィックは年々増加しているが、こういった種類の通信が増えているのかを明らかにするために、図2と図3に、筆者がインターネットの研究実験を行っている WIDE インターネットに主要プロトコルのトラフィックの量の分布を示す。

92年には、FTP (File Transfer Protocol) によるファイル転送が全トラフィックの半分近くを占めていたことがわかる。それに対して、94年のトラフィック分布を見ると、92年にはなかった http (Hyper Text Transfer Protocol) と、IP encapsulated が増えて、FTP の全体に占める割合が低下していることがわかる。HTTP は、WWW (World Wide Web) システムにおける

図1 インターネット協会の情報サーバ
ftp://ftp.isoc.org/isoc/charts2/ftpisoc.html

図2 WIDE 国際トラフィック分布 (92年)

図3 WIDE 国際トラフィック分布 (94年)

データ転送プロトコルであり、この頃から、インターネットといえは WWW といった傾向が始まったのがわかる。この WWW のトラフィックの増大には、Mosaic という情報探索ツールの普及によるところが大きい、その後は、netscape や Internet Explorer にとって代わられている。

また、IP encapsulated (カプセル化 IP) は、IP データグラムのデータとして、さらに別の IP データグラムを入れ子にしてインターネット上を転送する技術を用いた通信によるものである。このトラフィックは、IP マルチキャストデータグラム⁶⁾の転送によるものが主である。IP マルチキャストは、インターネット上で1か所から複数の受信者へ向けてデータを転送する技術のことで、国際会議や、コンサート、イベント中継が実験的に行われている⁷⁾。

IP encapsulated という名前でグラフに示されているのは、インターネット上の中継装置 (ルータ) が、IP マルチキャストを直接に処理できないので、IP マルチキャストを使うホストやルータの間を、IP トンネリングという方法で接続しているためである。インターネット全体にこのトンネリングが数多く存在し、このネットワークのことを、MBONE (Multicast backBONE) と呼んでいる^{2),8)}。マルチキャストのトラフィックが増加しているのは、この MBONE による影響が大きい。

マルチキャストに限らないが、こういった音声画像通信を行うアプリケーションソフトウェアが充実してきたのも、インターネットのトラフィックを増加させる大きな要因となっている。ローリングストーンズや坂本龍一氏のコンサートが中継されて、一般新聞紙面に記事として掲載されるほど話題になっている。

2.3 アドレス空間の枯渇と経路表の増大

TCP/IP プロトコル体系は、もともと現在の様な広大なインターネット環境を想定して設計されたものではないために、現在いくつかの問題が発生している。深刻な問題の一つは、アドレス空間の不足である。まず、図4に IP アドレスの構成を

図4 IP アドレスの構成

示す。

クラス A アドレスは、 $2^{24}-1$ ($=16,777,215$) 台のホストを収容できるが、126個しかネットワークアドレスが存在しない。クラス B アドレスは、 $2^{16}-1$ ($=65,535$) 台のホストを収容できるが、 $2^{14}-1$ ($=16,383$) 個のネットワークアドレスしか存在しない。クラス C アドレスは、 2^8-1 ($=255$) 台のホストしか収容できないが、 $2^{21}-1$ ($=2,097,152$) 個のネットワークアドレスが存在する。

過去には、世界的に、クラス C アドレスではなく、クラス B アドレスの取得が勧められていた。これは、同じホスト数を扱う場合、クラス B アドレスなら1個のネットワークに関する経路情報が流れればすむところを、クラス C アドレスでは256個のネットワークに関する経路情報を世界中に流す必要があり、インターネット上のルータに過大な負荷をかけるためである。また、クラス C アドレスはアドレス空間としては小さすぎ、サブネットに分割して使用するには困難な場合もあり、小さな組織に対してもクラス B アドレスの割り当てが行われていた。

しかしながら、計算機の小型化や低価格化、数多くのネットワークの登場により、インターネットへの接続ホスト数は増大の一途をたどった。そのため、インターネット全体でわずか16,383個しかないクラス B アドレスが半分以上割り当て済みになり、クラス B アドレスの枯渇が現実的な問題となった。

そこで、IANA (Internet Address Numbers

Authority)では、従来のクラスBアドレスの割り当てを推奨する方針を転換し、複数のクラスCアドレスを割り当てするよう方針を変更した。このため、インターネットのバックボーンルータで扱わなければならない経路の数が爆発的に大きくなることとなり、一部のルータのメモリが溢れるという事態になった。現実には、インターネットのバックボーンルータ上では、数万経路を処理する必要があり、16MBのメモリしかない専用ルータではメモリ不足で動作しなくなった。このため、専用ルータメーカーは64MBのメモリを搭載した製品を導入する等の対応を行うに至っている。

また、こういったインターネットのルータに対する負荷を減らすことを目的として、CIDR (Classless Inter-Domain Routing)⁹⁾という技術が導入された。これは、クラスA、クラスB、クラスCといった従来のアドレス割り当ての方式に柔軟性をもたせ、同時に経路表の増大を抑制するものである。

CIDRに基づくIPアドレス空間の割り当て方法については、RFC1466に規定がある¹⁰⁾。クラス

Cアドレス空間の上半分、208.0.0.0-223.255.255.255は当分割り当てしない。下半分を地域別に表3のように割り当て、地域別にCIDR技術により経路制御情報の集約を行う場合に備えることになっている。

これまで、インターネットには直接接続されない組織や部分に対してまで、世界的に一意に定まるアドレスが割り当てられてきた。接続されない部分にまで、貴重なインターネットアドレスを割り当てるのは無駄である議論がなされてきたが、その解決方法として、アドレス空間の一部をプライベート専用とし、インターネット上のホストには割り当てず、インターネット上では経路制御しないという方式が考えられた。

RFC1597¹¹⁾により、表4に示したアドレス空間は、プライベート用として一般のアドレス割り当てからは外されている。

しかしながら、このプライベートアドレス空間を使うことについては、プライベートアドレス空間を用いていた二つの組織が合併する場合など、問題点も上げられており、その使用には十分な注意が必要である。

表3 IPアドレス空間の割り当て

割り当て地域	アドレス空間
複数の地域	192.0.0.0 - 193.255.255.255
ヨーロッパ	194.0.0.0 - 195.255.255.255
その他の地域	196.0.0.0 - 197.255.255.255
北米	198.0.0.0 - 199.255.255.255
中南米	200.0.0.0 - 201.255.255.255
環太平洋地域	202.0.0.0 - 203.255.255.255
その他の地域	204.0.0.0 - 205.255.255.255
その他の地域	206.0.0.0 - 207.255.255.255

表4 プライベートアドレス空間

10.0.0.0	-	10.255.255.255
172.16.0.0	-	172.32.255.255
192.168.0.0	-	192.168.255.255

2.4 インターネットの拡大と将来

利用者の増加と新しい種類のアプリケーションの登場により、トラフィックの増大とアドレス不足、そして経路表の増大が主要なインターネットの規模的問題である。

アドレス枯渇問題を根本的に解決するには、インターネットプロトコルで使えるアドレス空間を32ビットから増やさなければならない。自動設定や、セキュリティ、実時間通信といった他の問題も一緒に解決するために、次世代インターネットプロトコル (Internet Protocol Next Generation: IPng) の規格が検討され、実装の研究が現在行われている。現在のインターネットプロトコルのバージョン番号は4なので、IPv4と呼ばれ、次世代のインターネットプロトコルはバージョン番号6を用いることになったので、IPv6と呼ばれている¹²⁾。

また、増大するトラフィックに対応するためには、バックボーンと加入者線の両方の帯域を大きくする必要がある。高速広域ネットワークとしては、光ファイバを用いた156MbpsのATMや、45Mbpsの専用線が使われているが、ローカルエリアネットワークで使われているFDDIのような技術をそのまま使ってより高速に接続する実験も行われている。加入者線は、ISDNを用いた64kbpsから128kbpsが主流になると考えられるが、銅線を用いてのより高速な接続や、ケーブルテレビ網の利用、FTTH (Fiber To The Home) の実現など、いろいろな可能性が考えられる。

3. 移動通信環境とインターネット

ラップトップコンピュータ等の可搬型の計算機が普及してきたのは、もはや誰の目にもあきらかであり、その必要性も疑いのないところである。公衆電話や、携帯電話、PHSからのインターネットへのアクセスは、いろいろな場面で必要不可欠なものとなっている。

しかしながら、これらはすべて、OSIの7層モデルでいうところのデータリンク層や物理層での移動通信環境の実現であり、インターネットプロトコルが移動通信環境に適応しているわけではない。例えば、公衆電話からインターネットに接続し、会社や大学の計算機にログインしたままで、電話を切断し、会社や大学に戻った後、ローカルエリアネットワークから再接続し、作業を継続するといった環境の提供は、まだ実用化されておらず、研究段階である。

また、A大学のローカルエリアネットワークに接続しているラップトップコンピュータを、そのままの状態で切り離し、B大学へ移動してそのローカルエリアネットワークに接続し、同じように動作するようなことも一般にはできていない。もちろん、WINDOWS95等実装されているDHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) を用いて、IPアドレスを動的に取得すれば、新しいインターネット上のホストとして通信はできるが、

前の位置に送られたデータは転送されてこない。

これら、移動通信環境にまつわる問題の多くは、従来のインターネットプロトコル体系では、位置を表す識別子 (locator) と、通信の実体を表す識別子 (identifier) に対して、一つのIPアドレスを用いて対応してきたことに起因している。

このような問題を解決するための技術が、IETF (図5) のIP Routing for Wireless/Mobile Hosts (mobileip) 分科会 (図6) で議論されており、いろいろな提案がなされている。

イリジウム計画のような全世界規模での低軌道通信衛星をもちいた携帯電話サービスの提供もすぐそこまできており、個人情報端末や情報ツールの浸透も著しい。こういった携帯情報端末では、独自のプロトコル (通信手順) を用いて電子メールの交換や情報交換をするものが多いが、汎用の通信プロトコルとして、インターネットプロトコルが使われるようになるだろう。また、次世代IPでは、すべての情報機器にアドレスを割り当てられるほどの広大なアドレス空間が用意されており、こういった用途への対応を意図している。

4. 実時間・資源保証型サービス

従来のインターネットは、最善努力式配送 (best-effort delivery) をその基盤としてきた。これが、従来の電話会社の通信サービスと異なる点であり、安価に柔軟な通信機能を提供できた理由の一つである。

トラフィックの増加の項でも述べたように、音声や画像の中継といった実時間型のアプリケーションが登場してくるにつれ、資源予約の技術を用いて実時間性 (リアルタイム性) を保証しようという研究が活発になっている。RTP (Real Time Protocol)¹⁵⁾のようなプロトコルが提案されている。

インターネットの将来にとって、こういった種類のサービスの提供と支援は必要不可欠であるが、実時間通信に必要なものは、「まず帯域幅、次に帯域幅、そして帯域幅だ」という有名な研究者

図 5 IETF(Internet Engineering Task Force)のサーバ
http://www.ietf.org/

図 6 IETF MobileIP 分科会
http://www.ietf.org/html.charters/mobileip-charter.html

の言葉もあり、どのように発展していくかは、わからない。

5. 知的所有権とドメイン名

インターネット上での知的所有権に関わる問題は、文献情報、画像・音声データ、ソフトウェアの扱い等、多岐にわたるが、これらについては他にゆずり、ここでは最近の話題である TLD (Top Level Domain) と IAHC (Internet Ad Hoc Committee) について述べる。

IAHC (図7) は、インターネットのドメインネームシステム (DNS) にかかわる問題について議論する場である。特に、インターネットが研究者の間でだけ使われていた時代とは異なり、ドメイン名と商標や社名の関係についての裁判が争われており、商標や社名をドメイン名として使えないことに関して訴訟が起こされるなどの問題が生じている。こういった問題への対応や、それに伴う .JP, .US, .COM といった最上位レベルのドメイン名 (Top Level Domain) の拡張について議論している。

いろいろな分野の要求を考慮するため、次のような団体からの構成員で組織されている。

- ・ Internet Society (ISOC)
- ・ Internet Assigned Numbers Authority (IANA)
- ・ Internet Architecture Board (IAB)
- ・ Federal Networking Council (FNC)
- ・ International Telecommunication Union (ITU)
- ・ International Trademark Association (INTA)
- ・ World Intellectual Property Organization (WIPO)

IAHC は、1996年12月19日に gTLD (global Top Level Domain) の運用管理に関するドラフト案をプレスリリースした (図8)。

これによると、インターネットトップレベルドメインは、次のように三つに分類される。

- ・ ISO3166に基づく国名の2文字コード (.jp, .fr など)
- ・ 国際ドメイン (.int)
- ・ 一般最上位ドメイン (generic TLD: gTLD)

IAHC は、この gTLD を増やしていく手続きについて提案しており、また、商標などの問題をできるかぎり回避するための60日間の公示期間などの導入を提案している。

日本国内でも、第3レベルドメインの一意性の解除やサービスのための第2レベルドメイン ne.jp の新設や移行など、ドメイン名の扱いに対する変更が行われている¹⁴⁾。

このように、インターネットが非常に広く一般にも使われるようになったため、短くて覚えやすいドメイン名は、それ自体で価値のあるものとなり、いろいろな不都合が生じている。トップレベルドメイン名空間が公共の資源であることを共通の認識とし、公平な管理と運用をめざすことは、インターネットの将来と発展に必要である。しかしながら、DNS の技術的な制限など、法律的な議論だけで解決、決定できるものでもないことに注意して議論しなければならない。

6. お わ り に

以上、述べてきたように、急激に拡大したインターネットは、その利用者層、利用範囲、利用者数、利用手段、利用目的、どれをとっても、当初考えられていた規模を大きく越えるに至っている。このため、さまざまな問題点が生じているのは確かである。インターネットの技術者は、次世代インターネットプロトコルを始め、新たな手段を研究開発し、これらの要求に応えようとしている。しかしながら、純粋に技術的には解決できない知的所有権の扱いの問題や、情報倫理の問題があるのも事実である。これらの問題を解決するために必要なデジタル署名技術や、コピー検出技術などの新しい技術開発も必要であるが、それを使う方のあり方も重要であることを強調して、本稿を終えたい。

図 7 IAHC のサーバ
http://www.iahc.org/

図 8 TLD 運用管理案
http://www.iahc.org/draft-iahc-gTLDspec-00.html

~~~~~ 参 考 文 献 ~~~~~

- 1) D.Comer, Internetworking with TCP/IP Vol.1 3rd ed., 1995 Prentice-Hall, (邦訳: TCP/IPによるインターネットワーク構築, 1996, 共立出版)
- 2) Vinay Kumar, MBone: Interactive Multimedia on the Internet, 1996, New Riders (邦訳: インターネットマルチキャスト MBone, 1996, インプレス社)
- 3) L. Landweber, INTERNATIONAL CONNECTIVITY Version 15, June, 1996
- 4) L. Landweber, INTERNATIONAL CONNECTIVITY Version 1, August, 1991
- 5) 上林正巳, インターネットの現状を探る. 情報管理 Vol.39 No.2, 1996
- 6) S. Derring. Multicast Routing in Internetworks and Extended Lans. In SIGCOMM, ACM, August 1988.
- 7) S. Casner, S. Derring. First IETF Internet Audiocast Computer Communication Review, July 1992, ACM
- 8) Michael R. Macedonia, Donald P. Brutzman MBone Provides Audio and Video Across the Internet COMPUTER, April 1994, IEEE
- 9) V. Fuller, T. Li, J. Yu, K. Varadhan, Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy. RFC 1519, September 1993.
- 10) E. Gerich, Guidelines for Management of IP Address Space RFC 1466, May 1993
- 11) Y. Rekhter, R. Moskowitz, D. Karrenberg, G. de Groot, Address Allocation for Private Internets March 1994.
- 12) S. Deering, R. Hinden, Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, January 1996.
- 13) C. Huitema, IPv6: The New Internet Protocol Prentice Hall, 1996
(邦訳: IPv6次世代インターネット・プロトコル, 1996, プレンティスホール)
- 14) 日本ネットワークインフォメーションセンター, ドメイン割り当てルールの変更について, <http://www.nic.ad.jp/jpnic/hottopics/domain-press-release.txt>
- 15) H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, January 1996.