

P2P/ブロードバンド時代の 新・TCP/IP 入門

村上 健一郎 法政大学ビジネススクール イノベーション・マネジメント研究科 教授 

最終回 変わるもの、変わらないもの

これまで11回にわたってTCP/IPのプロトコルやそのアプリケーションの最新動向を見てきました。最終回の今回は、これまでのTCP/IPプロトコルの歴史を振り返り、今後を展望してみることにしましょう。

[Q1]

この連載では、TCP/IPプロトコルよりも、インターネットを使ったアプリケーションの説明が多かったのはなぜですか？

[A1]

中核技術は
運用開始当時のまま

それは、TCP/IPの中核部分となるプロトコルは開発以来、変わっていないからです。ここで、中核部分と言っているのは、インターネットレイヤーのIP(Internet Protocol)、トランスポートレイヤーのTCP(Transmission Control Protocol)とUDP(User Datagram Protocol)、そしてエラー制御や通知に使うICMP(Internet Control Message Protocol)などです。驚くことに、それらは、現在のインターネットの元祖であるARPA(Advanced Research Project Agency) Internet(1983年運用開始)から機能の付

加はされても、基本的には変わっていないのです。その当時のルーターを接続しても、現在のインターネットで動きます。また、コンピュータ上のTCP/IPのソフトウェアについても同様なのです。

TCP/IPの実用化 インターネットの誕生

NCP(Network Control Protocol)の次世代プロトコルであったTCP/IPプロトコルの研究は1973年に開始され、10年後の1983年からARPAnetでTCP/IPプロトコルの運用が開始されました。開始されたのは1983年1月1日ですから、2006年1月1日で23年目ということになります。これによって、それまでのARPAnetはインターネット「ARPA Internet」を構成する1つのネットワークへと変身しました。

このARPAnetは、米国の国防総省高等研究計画局「DARPA」(Defense Advanced Research Project Agency)の研究資金によって運用されていた単一のネットワークでした。しかし、単一のネットワークでは接続されるコンピュ

タが増大すると管理が破綻することが目に見えていました。そこで、別々に管理されたネットワークを相互接続しても、全体があたかも単一のネットワークのように動くネットワークのネットワーク、つまり、インターネットが開発されたのです。このためのプロトコルがTCP/IPでした。ちなみに、1983年時点での接続されたコンピュータ数は562台でした。

移行時にはバックボーンのネットワークでは、それまでARPAnetで使用していた中継装置であるIMP(Interface Message Processor)と56kbpsの専用線で構成されたネットワークをそのまま使用しました(図1)。つまり、単にコンピュータ上のプロトコルを変更したのです。

ゲートウェイがルーターに

ネットワーク間の接続には、ルーターが使われ、ルーター間では、各ルーター配下にあるIPアドレスを互いに教え合う経路制御プロトコル「GGP」(Gateway-Gateway Protocol)が使用されました。このRFC(Request for Comments)の番号はRFC 823です。なお、当時は

ルーターのことをゲートウェイと呼んでいました。このため、ルーター間のプロトコルには、今でもゲートウェイという言葉が残っています。

たとえば、BGPは、Border Gateway Protocolで、これは現在インターネットのバックボーンで使用されている経路制御プロトコルです。GGPは、性能の問題があったため、その後、EGP(Exterior Gateway Protocol)に切り替えられました。EGPは同様の問題で、さらに、BGPに取って代えられました。

図2には、インターネットの基本構成を示しています。各ネットワークは自律システム AS(Autonomous System)と呼ばれ、それぞれの管理組織のもとで運用されます。たとえば、ISP(Internet Service Provider)や大きな企業、あるいは、大きな大学のネットワークです。それぞれの AS には番号がついており、ASN (Autonomous System Number)と呼ばれます。それぞれの AS には、他のネットワークと経路情報を交換するルーターがあります。そのようなルーターが複数あることも珍しくはありません。これを外部ルーター(ゲートウェイ)と呼びます。これらのルーター間では、各 AS 内の IP アドレスを交換することによって、どの AS にもどの IP アドレスをもつコンピュータがあるのかを全部の AS が知る仕組みになっています。インターネットの中の ARPANet も、AS のひとつでした。

インターネットの初期のプロトコル構成

図3に、インターネットの初期のプロトコル構成を示します。

当時の主なアプリケーションは、ファイルを転送する FTP(File Transfer Protocol)、遠隔のコンピュータを利用する Telnet(Telecommunication Network)、電子メールを転送する SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) の3つ

でした。UDPを使うアプリケーションはほとんどありませんでしたが、その後、コンピュータ間でファイルを共有するためのプロトコルである NSF(Network File System)の登場で、よく使われるようになりました。

これらをよく見るとわかるように、当時のものが、今でもほとんどそのまま使用されています。20年以上も使われている要因は、当時の研究者のすばらしい設計にあったといつてよいでしょう。IP (Internet Protocol)配下ではさまざまなリンクレイヤーのプロトコルが、TCP/UDP上では多くのアプリケーション

ンレイヤーのプロトコルが追加され、現在に至っています。

RFC は「コメントください」の意味

現在でも使われている主なプロトコルの RFC と発行年の一覧を、表1に示します。

RFCとは Request for Comments と呼ばれる TCP/IP プロトコル群のプロトコル仕様書のことです。ARPAnet の開発が行われた際に、「プロトコル仕様へのコメントをください」という意味で RFC という名前をつけたのです。

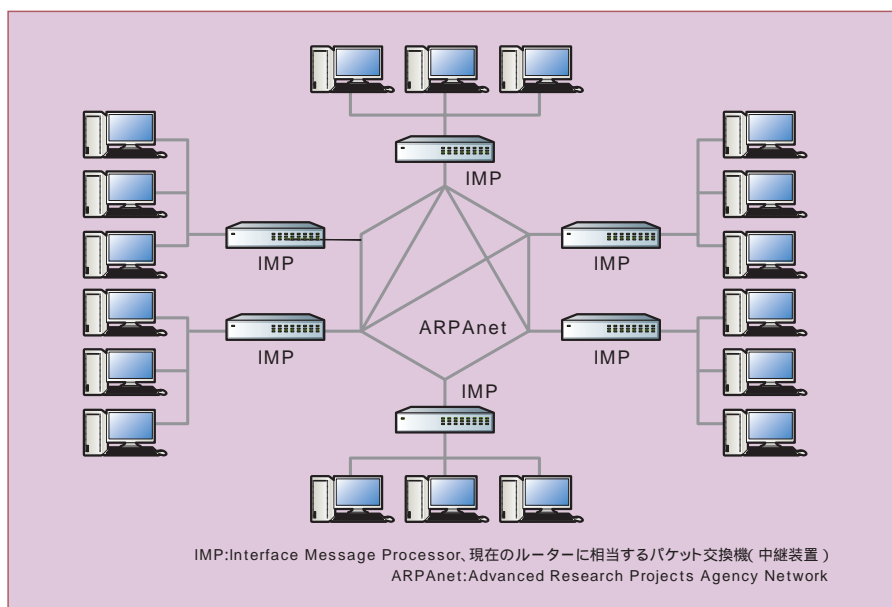


図1 ARPANetの構成

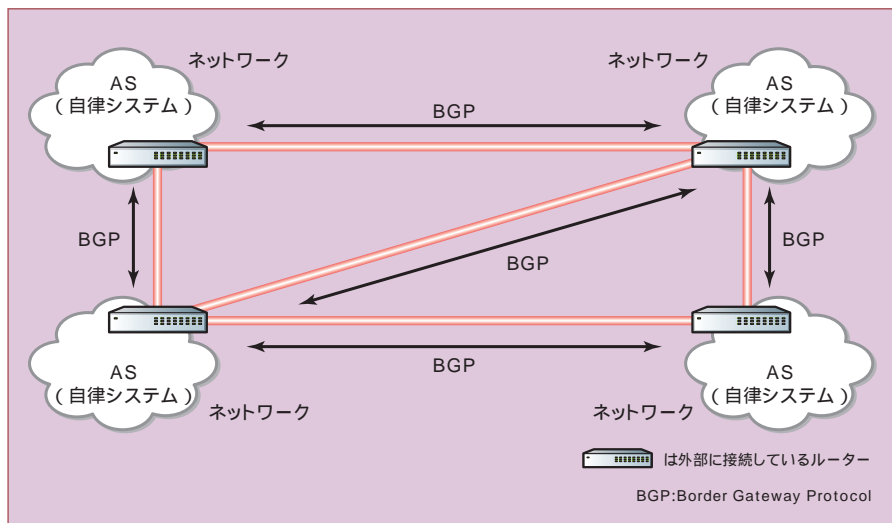


図2 ネットワーク間接続と経路制御プロトコル

RFCは1番から始まり、現在では4300番代までのRFCが発行されています。なお、すべてのRFCがTCP/IPプロトコル群の標準プロトコルというわけではありません。また、プロトコルが更新された場合には、元のRFCを書き直すのではなく、新たな番号をもつRFCを発行します。開発された年よりもずいぶん後にRFCが書かれたものもあります。

たとえば、経路制御プロトコルのRIP (Routing Information Protocol)は、UNIX上で開発されて世の中で広く使用されていましたが、長い間、RFCが出てきませんでした。このため、相互接続に問題が生じるようになり、1988年になってやっとRFC 1058が書かれたのです。

どんな下位レイヤーでも使えるIP

TCP/IPが開発されてからこれまでのネットワーク技術の発展は目を見張るものがあります。たとえば、1983年当時は、わずか56kbpsの速度の専用線を使用して全米に渡るバックボーンネットワークが

構成されていました。これを、インターネットに接続された大学や研究所の研究者が共有していたのです。

現在では、バックボーンネットワークには、10Gbpsや40Gbpsの専用線が使用されています。このように、リンクレイヤー(通信回線)の技術の進歩をインターネットが時間差なく取り込める理由は、もともとIPがどのようなリンクレイヤーでも利用できるように設計されていたからです。

つまり、(1)各リンクレイヤーへの依存部分をARP(Address Resolution Protocol、アドレス解決プロトコル)として切り離し、しかも、(2)IPのパケット(データグラム)を単に下位のレイヤーのパケット(フレーム)のデータ部に入れることにしました。後者はエンキャプシュレーション(カプセル化)と呼ばれます。

リンクレイヤーにはそのレイヤー独自のアドレスがあります。たとえば、イーサネットの場合には、48ビット長のMAC(Media Access Control)アドレスです。インターネットプロトコルには32ビット長のIPアドレスがあります。その対応をつけるのがARPです。

イーサネットのARPでは、パケット(データグラム)を渡したいホストやルーターのIPアドレスを、同じイーサネット上のすべてのコンピュータへ斉同報します。そうすると、そのIPアドレスをもつコンピュータだけが応答するので、応答パケットの中を見れば、対応するMACアドレスがわかります。これを宛先としてパケット(フレーム)を送ります。もちろん、そのデータ部にはIPパケットが入っています。

なお、データグラムの宛先が同一イーサネット上にない場合には、それを中継するルーターのIPアドレスに対してARPの要求を送ります。

このような設計の結果、新たなリンクレイヤーのプロトコルが出てきた場合には、ARPだけを設計すればよいのです。このおかげで、無線LANが登場しても、IPに手を加えることなく使えています。専用線やADSL(Asynchronous Digital Subscriber Line)の場合には、ARPは必要ありません。相手が決まっていますから、単にそのフレームにデータグラムをエンキャプシュレーションして送るだけでいいのです。

豊富なユーティリティや上位レイヤーのプロトコル

インターネットの運用開始以来、たくさんのユーティリティ(補助機能)やアプリケーションのプロトコルが開発されてきました。これらを表2に示します。その中で、インターネットに爆発的な成長をもたらしたのは、何といたってもWWW(World Wide Web)でしょう。この転送プロトコル「HTTP」(HyperText Transfer Protocol)は、1996年にRFC 1945として登場しています。また、WWWの文章を書くための言語HTML(HyperText Markup Language)は、RFC 1866として1995年にプロトコル仕様が公開されています。ただし、実際に使われていたの

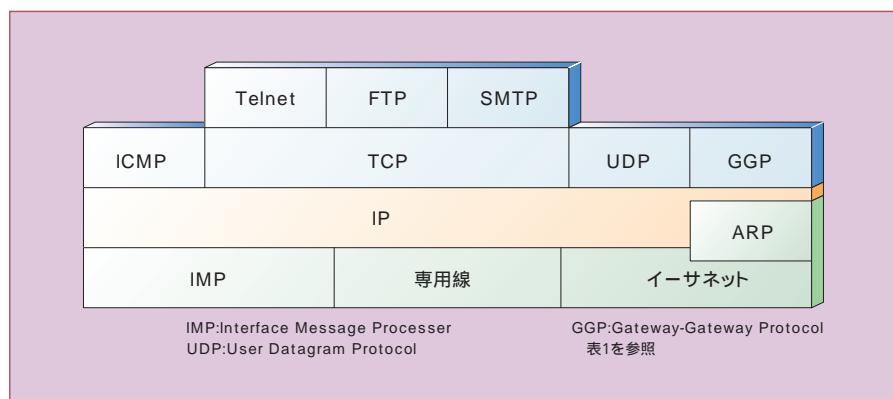


図3 当初の主なプロトコル

プロトコル名	基本的なRFC番号	発行された年
IP(Internet Protocol)	760	1980
TCP(Transmission Control Protocol)	761	1980
ICMP(Internet Control Message Protocol)	777	1981
Telnet(Telecommunication Network)	764	1980
FTP(File Transfer Protocol)	765	1980
TFTP(Trivial File Transfer Protocol)	783	1981
SMTP(Simple Mail Transfer Protocol)	788	1981
ARP(Address Resolution Protocol)	826	1982

表1 インターネット運用開始当時から使われている主なプロトコル

はそれよりも早くからで、WWWは1991年にCERN(セルン、欧州合同素粒子原子核研究機構)からリリースされ、初のグラフィックが表示できるブラウザ“mosaic”は1993年にNCSA(米国立スーパーコンピュータ応用研究所)からリリースされました。

爆発的な普及を促した技術、制約、そして解決

インターネットは、それを取り巻くいくつかの技術によって多段ロケットのごとく普及が加速されました。

まず、1983年のBSD UNIXへの組み込みです。これで世界中のUNIXユーザーがTCP/IPを使えるようになりました。次の推進力は、1991年のウェブの発明です。

また、1995年には、WindowsオペレーティングシステムでInternet Explorerが使える環境ができ、研究者だけではなく一般の人でもパソコンでインターネットが使えるようになり、個人が情報を世界に発信することもできるようになりました。同時期に、Yahoo!のサービスが開始され、インターネットの検索が可能となりました。

その後、1998年にはGoogleが登場しています。1999年には、携帯電話のiモードが開始され、パソコンを使えない人でもメールやインターネットが使えるようになりました。その一方で、普及したが故に予想もしなかった「IPアドレスの不足」という事態に対応することにもなりました。

まず、それまで、インターネットに接続できるホスト(コンピュータ)数によって分類していた3つのIPアドレスの体系(クラス)をなくしました。それまではこの体系に沿ったアドレスの分割によって発生する未使用のまま残ってしまうアドレス領域を、他のネットワークで利用できるようになりました。この技術はCIDR(サイダー、Class-less Inter-Domain Routing)と呼ばれます。

また、アドレス変換技術「NAT」(ネットワーク、Network Address Translator)の開発によって、インターネット上で利用できるIPアドレスであるグローバルアドレスが1つしかなくても、家庭やオフィス内の多数のコンピュータから、同時にインターネットを使えるようになりました。NATは、アドレス変換だけではなく、悪意のあるアクセスを遮断するという重要な機能も同時に提供することにもなりました。

以上のような解決策のおかげで、23年を経過した今でもTCP/IPプロトコルはほとんどそのまま使えています。

[Q2]

今後TCP/IPやインターネットはどうなっていくのでしょうか？

[A2]

価値を高める上位レイヤーの充実とセキュリティ問題

これまで説明してきたように、すでに中核部分の技術は安定したものとなりました。今後は上位レイヤーのサービスがますます重要になっていくでしょう。たとえば、eコマース、インターネット広告、eマーケティング、検索エンジン、RSSやポッドキャストに代表される配信技術などです。これらがますます豊かな

機能を提供し、インターネットの価値を高めるでしょう。それは、SkypeやTiVoなどの技術動向やSNS(Social Network Site)などで行われているコミュニティーを対象としたマーケティング、自分のウェブに広告を張るアフィリエイトなどから予想できることです。

しかし、一層の利便性の向上と同時に、セキュリティの問題やインターネットの悪用の問題も増えるでしょう。

現実の世界がそうであるように、完全なものなど、どこにもありません。どれをとっても、光と影があるのです。スパムや、ウイルスによる情報漏洩、フィッシング、P2Pによる音楽や映画の不正コピー、スパイウェアによる個人の情報の盗難など、現実の世界にある問題以上の問題がすでにインターネットに持ち込まれています。

インターネットは、そのような問題の広がり方が早い一方で、対策や追跡は困難になっています。このため、今後は、インターネットのセキュリティガバナンス(管理機構)をどうするか、という議論が一層盛んになるでしょう。インターネットには国境がないことから、セキュリティの確保や問題の解決には国際協力が不可欠となります。

これは、監督官庁だけでなくインターネットユーザーが考えるべきことでもあります。少なくとも1つ言えることは、読者のみなさんが自己防衛を怠らないようにして、知らないうちにスパムの踏み台などの加害者にならないよう、不断の努力をしなければならないということです。

プロトコル名	RFC番号	発行された年
DNS(Domain Name System)	1035	1987年
POP3(Post Office Protocol Version 3)	1081	1988年
PPP(Point-to-Point Protocol)	1134	1989年
DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)	1531	1993年
IPsec(IP security protocol)	1825,1826,1827	1995年
BGP4(Border Gateway Protocol Version 4)	1771	1995年
HTTP(HyperText Transfer Protocol)	1945	1996年 (すでに1991年から使われている)
RTP(Realtime Transport Protocol)	1889	1996年
SIP(Session Initiation Protocol)	2543	1999年

表2 豊富なユーティリティーのプロトコルや上位プロトコル



[インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

株式会社インプレスR&D

All-in-One INTERNET magazine 編集部

im-info@impress.co.jp