

ネットワークの基礎知識

中央大学教授／工学博士
東京工業大学名誉教授

辻井 重男

東京工科大学教授／工学博士

河西 宏之 共著

NTTマルチメディアネットワーク研究所
主幹研究員／工学博士

宮内 充

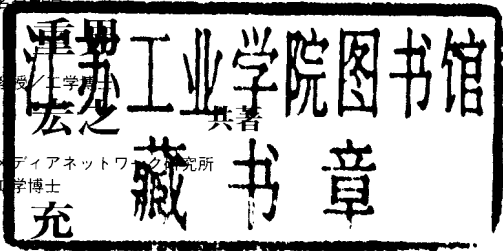
ネットワークの基礎知識

中央大学教授／工学博士
東京工業大学名誉教授

辻井
河西

東京工科大学教授／工学博士

NTTマルチメディアネットワーク研究所
主幹研究員／工学博士
宮内



株式会社 昭晃堂

1997年4月5日 初版1刷発行

著者紹介

辻井 重男 工学博士

昭和33年 東京工業大学工学部電気工学科卒業
現在 中央大学理工学部教授
東京工業大学名誉教授

河西 宏之 工学博士

昭和43年 山梨大学大学院修士課程修了
現在 東京工科大学情報通信工学科教授

宮内 充 工学博士

昭和48年 慶応義塾大学大学院修士課程修了
現在 NTTマルチメディアネットワーク
研究所主幹研究員

ネットワークの基礎知識
(Introduction to Information Networks)

◎ 著 者 辻 井 重 男

河 西 宏 之

宮 内 充

発 行 者 阿 井 國 昭

東京都新宿区矢来町48

印 刷 所 安信印刷工業株式会社

東京都中央区月島2-13-5

発 行 所 株式会社 昭 晃 堂

郵便番号 162 東京都新宿区矢来町48

振替口座 00130-0-139320

電話(03)3269-3449番(代表)

FAX (03) 3269-1611 番

検印省略
著者承認

定価はカバーに
表示してあります

Printed in Japan

製本 小林共文堂

©日本書籍出版協会会員

©自然科学書協会会員

工 学 書 協 会 会 員

ISBN 4-7856-9052-6

本書の無断複写は、著作権法上での例外を除き、禁じられています。本書は、日本複写権センターへの特別委託出版物です。本書を複写される場合は、そのつど日本複写権センター(03-3401-2382)を通して当社の許諾を得てください。

℞〈日本複写権センター委託出版物・特別扱い〉

まえがき

情報ネットワークが国境の壁を越えて、蜘蛛の巣のように地球を覆い始め、その結果、人類が数千年に亘って築いてきた文明の構造や文化の概念に大きな地殻変動が起きようとしている。

これまで電話を主とする1対1の形態であった通信から、文書、データ、映像など含む多岐にわたる情報を、個人が広く世界に向けて不特定多数の人々にまで発信することが可能になった。

現在のインターネットはまだ狭帯域であるが、光ファイバが家庭まで普及すれば、ネットワークの利用形態に更に大きな変化が生ずるものと予想される。

こうした情報ネットワークの浸透は、当然ながら社会経済システムの構造を国際的規模で変革し始めている。米国をはじめとする先進各国は、いわゆるGlobal Information Societyの構築を進めており、我が国でも、総理大臣を本部長とする高度情報通信社会推進本部が設置され、法制度まで含め広範囲にわたる検討が進められている。

本書は、このような新世界の基盤となる情報ネットワークについて、その全体像を把握できるように記述したものである。執筆に当たって、従来、大学の講義で通信工学という専門分野に閉じた形で、さらに場合によっては、伝送工学、交換工学というように分化して教えられてきた科目を、社会情報システムの一環という広い視点から捉え直した。そして、通信系からの展開とコンピュータ系からの発展を融合して進化しつつある情報ネットワークの様相を分かりやすく解説することに留意した。したがって各論的には詳細にわたる説明はできなかったが、変調・伝達方式などの物理レイヤ、プロトコルなどの論理レイヤ、およびアプリケーションレイヤという階層構造をもつ情報ネットワークの全貌を描くことはできたのではないかと考えている。

大学学部・大学院における情報・通信・電気・電子工学等の工学分野、あるいは経済学、社会学などの人文・社会科学分野の情報ネットワークに関する教

科書として、また産業界など広い層のための概説書として利用して頂ければ幸いである。

本書の執筆に当たり、NTTエレクトロニクステクノロジー(株)顧問葉原耕平氏には原稿を詳細にお読み頂き、全般にわたって有用なコメントを頂戴した。紙面を借りて深い謝意を表する次第である。

1997年1月

執筆者を代表して 辻井重男

目 次

1 情報通信ネットワーク時代の到来

1.1 情報スーパーハイウェイとインフラストラクチャ	1
1.2 情報スーパーハイウェイの原点はインターネット	4
1.3 『通信』から『情報』への視点転換	7
1.4 情報インフラストラクチャと情報通信政策	9
1.5 情報通信のインフラストラクチャ化	10
1.6 規制緩和と通信法の改正	13
1.7 GII で世界を視野に	15
演 習 問 題	17

2 情報通信時代への技術的背景

2.1 デジタルとは	18
2.2 デジタル技術	24
2.3 情報伝達	25
2.4 情報処理	29
2.5 情報蓄積	34
演 習 問 題	36

3 情報通信ネットワークの基礎

3.1 情報通信の歴史	37
3.2 情報とは	40
3.3 通信とは	46
演 習 問 題	50

4 通信方式とネットワーク

4.1 情報の種類と伝送方式	51
4.2 ネットワーク	62
演習問題	68

5 情報通信ネットワークの展開

5.1 テレコムネットワークの展開	70
5.2 コンピュータネットワークの展開	78
5.3 テレコムネットワークとコンピュータネットワークの融合	84
演習問題	89

6 LAN：ローカルエリアネットワーク

6.1 LAN とは	90
6.2 LAN の技術	91
6.3 代表的な LAN	96
6.4 LAN 間の接続	100
演習問題	102

7 アクセス系（加入者系）ネットワーク

7.1 アクセス系ネットワークの概要と特徴	103
7.2 メタリック系システム	106
7.3 光加入者系システム	109
7.4 CATV	113
7.5 無線アクセス	116
演習問題	117

8 バックボーン（中継系）ネットワーク

8.1 バックボーンネットワークの特徴	118
8.2 SDH	119
8.3 光伝送方式	122
8.4 ギガビットネットワーク	123
8.5 日本および各国の高速バックボーンネットワーク	126
8.6 全光ネットワーク	129
8.7 メタコンピュータ用のバックボーンネットワーク	130
8.8 次世代インターネットのバックボーンネットワーク	131
演習問題	132

9 WAN とその利用

9.1 WAN とは	133
9.2 電 話 網	134
9.3 デジタルデータ交換網	136
9.4 専 用 線	139
9.5 ISDN	141
9.6 フレームリレーとセルリレー	145
9.7 WANの適用領域	148
演習問題	149

10 インターネット

10.1 インターネットの概要	150
10.2 インターネットの構成	152
10.3 インターネットのサービス	156
10.4 ユーザ，トラヒック動向	158
10.5 WWW	159

10.6 インターネットの課題.....	161
演習問題	163

11 マルチメディアネットワーク

11.1 マルチメディアについて.....	164
11.2 マルチメディアネットワーク.....	166
11.3 マルチメディアネットワークの構造.....	168
11.4 マルチメディアネットワーク時代のアプリケーション.....	171
11.5 マルチメディアの今後の方向.....	174
演習問題	178

12 情報セキュリティと暗号技術

12.1 情報通信時代におけるセキュリティ.....	179
12.2 情報セキュリティと倫理.....	182
12.3 ギリシャ・ローマ時代の暗号.....	183
12.4 共通鍵暗号方式と DES	185
12.5 公開鍵暗号方式と RSA 暗号	191
12.6 暗号方式と認証.....	195
演習問題	198
参考文献	199
索引	202

1 情報通信ネットワーク時代の到来

1.1 情報スーパーハイウェイとインフラストラクチャ

ディジタル革命、マルチメディア革命、情報通信革命という言葉がおおげさに聞こえない程、通信の世界は大きく動き出している。また、それは通信の世界にとどまらず社会生活、産業界、教育にも大きな影響を与える可能性をもっている。米国でのクリントン大統領、ゴア副大統領の全米情報インフラストラクチャ構想（NII：National Information Infrastructure）、日本での新社会資本整備、1994年はじめに相次いで出された郵政省、NTTのマルチメディア構想、郵政省電気通信審議会答申、さらには1995年初めに開催された世界情報インフラストラクチャ構想（GII：Global Information Infrastructure）サミットなどの政治的・政策的動きは見逃せない。

しかし、マルチメディアへの思い入ればかり聞こえ、技術的な言葉が必ずしも聞こえてこないのも事実であり、これが混乱状態に拍車をかけるひとつの要因ともなっていると言えよう。

ところで、マルチメディアはすでに1980年代からもさまざまに論じられ、研究もされてきている。たとえば、今では一般的なTV会議でも、音声と映像という2つのメディアを使ったマルチメディア通信であるということが出来る。なぜ、今マルチメディアか？

ディジタルについても、技術者の視点から考えれば、さまざま課題が確かに残されているが、すでに良く使われている技術であり、ほとんどの通信や情報

の処理はデジタル化されているのが現状である。デジタルかアナログかというのは単に通信網の中での符号化の問題にすぎない。どちらを選択するかと言う問題は、技術の成熟度よりもコストやトータルでの経済性によっている。ネットワークとしてもサービス総合デジタル網（ISDN：Integrated Services Digital Network）という形で、デジタルネットワークの標準化がされている。そして、すでに187万のデジタル回線が存在している（1996年10月、Bチャネル：64kb/s換算、9.5節参照）。さらに、光ファイバはすでに日本列島に12万km以上張り巡らされている現状がある。これは、日本の全長を3000kmとすると、40本の光ケーブルが北端から南端まで日本の断面を縦断している計算になり、中継系での光ケーブルの設備率は80%以上に達している。なぜ、今デジタルか？

マルチメディアになって情報量が飛躍的に増大すると、それを伝達する高速大容量の伝送路が必要となってくる。だから情報スーパーハイウェイが必要になるといわれている。通信の世界では、国際電気通信連合（ITU-T：International Telecommunication Union、旧国際電信電話諮問委員会、CCITT：International Telegraph and Telephone Consultative Committee）で広帯域サービス総合デジタル網（B-ISDN：Broadband Integrated Services Digital Network）という形でマルチメディアを含め次期の高速通信が検討され、標準化が進められている。情報スーパーハイウェイとマルチメディアは同義か？ B-ISDNとはどう違うのか？

また、『NII（情報スーパーハイウェイ）』という表現を見かけることも多くなっている。その解説として、米国政権が全米に光ファイバの高速ネットワークを張り巡らす構想、というような内容が書かれている。NII（全米情報インフラストラクチャ）＝情報スーパーハイウェイなのだろうか？ その構図が日本に持ち込まれると、日本の光ファイバ設備計画が日本版情報スーパーハイウェイ構想になり、各所で繰り広げられつつある通信実験プロジェクトが日本版情報スーパーハイウェイ実験となってしまう。まさに旧訳聖書にいう『始めに光ありき』である。情報スーパーハイウェイ＝光ファイバ設備計画なのだろうか？

確かに、NII を全米情報インフラストラクチャというより、情報スーパーハイウェイといった方が一般の人にはわかりやすい。それに言ってみれば「響きが良い」ので良く用いられている感もある。ゴア副大統領が提唱しているから、全米情報インフラストラクチャではなくて、情報スーパーハイウェイだという意見もある。ゴア副大統領の父親が、上院議員の時代に州にまたがる全米道路交通網であるハイウェイを作ったという話はつとに有名である。それにあやかっている訳だが、これは少しこじつけぎみである。だが、「スーパー」という形容語はどうしてついてきたのか？ これは超高速のという技術的意味合いだけでなく、ゴア副大統領の、従来のものをすべて超えようという意気込みを感じさせる。ただし、これはスーパーコンピュータとおなじ用法での「スーパー」と考えた方がよい。

まえおきが長くなったが、今話題になっている『情報スーパーハイウェイ』というのは、一体何か、ということである。いろいろな情報、状況が入り組んでいて「胸がすくような」答えはなかなか見つかりそうにもない。一種の流行語、枕詞のように使われている場合さえある。しかし、情報スーパーハイウェイを語る上で一番のポイントはNII (National Information Infrastructure) という名称が示すとおり、「情報インフラストラクチャ」という言葉にある。インフラストラクチャは人々が社会生活を営む上での必要不可欠な社会基盤という意味であり、交通のための道路や橋の建設、エネルギーとしての電力、上下水道、国立公園などの環境整備などが含まれる。ここで情報（通信ではないことに注目）をインフラストラクチャとしたところに先見性がある。それは光ファイバの設備計画ではない。マルチメディア通信でもない。あえて言うなら、社会生活、さらには社会構造そのものを変革して行こうというビジョン、構想である。そういう意味では日本で使われている『新社会資本整備』という言葉が一番適合しているかもしれない。『情報スーパーハイウェイとインフラストラクチャ』で、問題は、21世紀にむけて2010年までに完成させるという知的情報化社会の実体が『巨象をなでるが如く』よく見えていない点にあるといえよう。本家米国でも『情報スーパーハイウェイを作るために、まじめに努力してい

る機関はなく』ある特定の地域に限られた『「情報鉄道網」程度のもの』になるだろうという見方も一部である。具体化はこれから、ということでもある。

世の中の動きに踊らされると技術の流れの実態を見失うし、技術だけをみていると世の中の変動に取り残され、その本質を見逃すことになりかねない。本書では、世の中の動きと技術の両面から情報通信ネットワークをとらえることにしたい。

1.2 情報スーパーハイウェイの原点はインターネット

米国のNII、情報スーパーハイウェイの原点は1987年11月に科学技術政策局（OSTP：Office of Science and Technology Policy）が『1990年代なかばまでにギガビットネットワークを作る』という報告書を作成したところから始まる。さらにその報告の狙いを見ると、インターネットすなわちコンピュータ通信のルーツであるアーパネットワーク（ARPA Network）まで遡る必要がある。

表1.1に示すように、コンピュータ通信は1969年に開始された米国のアーパネットワークに始まる。他国からのミサイル攻撃によっても生き残れるネットワークを構築するという目的で、国防省において軍の分散型オペレーションの

表 1.1 インターネットの発展経緯

1967年	国防省が中心となり DARPA (国防高等研究計画局) を設立
1969年	アーパネットワーク (ARPA Network) がスタート (パケットスイッチ)
1978年頃	TCP/IP を開発し、アーパネットワークに適用
1983年	アーパネットワークのプロトコルがパケット交換から TCP/IP に アーパネットワークという単体のネットワークからインターネットへ
1985年	NSF (National Science Foundation：国立科学財団) が Supercomputing Network を計画 (全米 5 ケ所のスーパーコンピュータ・センタをネットワークで結ぶ)
1986年	NSFNET が完成 (64kb/s)、アーパネットワークへアクセス可能
1987年	NSFNET は Internet としての形をとり始める
1990年	アーパネットワークの終了宣言、NSFNET がインターネットのバックボーン化
1992年	NREN (National Research and Education Network：全米研究教育ネットワーク) のもとで NSFNET の T3 (45 Mb/s) 化完了、ホスト数は 70 万以上、5 つのギガビットテストベッドを運用

研究が開始され、その中心となった高等研究計画局（ARPA：Advanced Research Project Agency）のプロジェクトがアーパネットワークである。本ネットワークはカリフォルニア大学サンタバーバラ校（UCSB）、同ロサンゼルス校（UCLA）、スタンフォード研究所（SRI）、ユタ大学（Utah）の4つのノードを接続して運用された。

さらに国防省は通信の手順を規定するプロトコルとしてTCP/IP（Transmission Control Protocol/Internet Protocol）を開発し、これをアーパネットワークに適用する。その後、国防省のネットワークの1つとしてミルネット（MILNET：MILitary NETwork）を分離し、アーパネットワークは研究者間のネットワークとしての性格を強めていく。TCP/IPは1983年以降全面的に使われるようになった。イーサネットが普及してくるに従い、接続ホストとして稼働していたデックシステム・マシンにLANが接続され、その配下にコンピュータ機器としてVAX、SUNなどが繋がり、アーパネットは次第にインターネットの性格も強めていった。当初は研究者や情報・通信関係の専門家の使用が中心で、利用の伸びは緩やかであったが、コンピュータとネットワークを利用した実験が重ねられ、多くの成果がもたらされた。特に、その利用を通じてネットワーク関連技術やソフトウェアが発達し、さらにネットワークが普及していくという、ハードとソフトが相互に相乗効果を及ぼして大きな発展を遂げた。

その後、全米5ヶ所のスーパーコンピュータ・センタをネットワークで結ぶことから始まって、1986年には全米科学財団（NSF：National Science Foundation）ネットワーク（NSFNET）の運用が開始され、アーパネットワークと相互接続されたことにより、全米からのアクセスが可能となった。NSFNETはスーパーコンピュータ利用時間を多くのユーザに割り当て、全分野の学術研究者コミュニティの汎用コンピュータネットワークへと機能してきている。さらに、CSNET（Computer Science research NETwork）、BITNET（Because It's Time NETwork）等、さまざまな研究者向けのコンピュータネットワークが形成されるが、これらは、政府・公的機関・企業から資金的援助はうけて

いるものの、まさに“草の根的”に発展してきたところに特徴がある。そして当初 64kb/s であった伝送容量を、1988年には 1.5Mb/s 化してネットワークのバックボーン化を図った。

1990年に、研究情報ネットワークの中心的役割がアーパネットから NSFNET に引き継がれて以来、その利用は飛躍的な伸びを示している。特に、1992年からは、高性能コンピュータ通信プロジェクト（HPCC：High Performance Computing and Communication）のもとで、航空・宇宙、ライフサイエンス、地球環境、材料設計等の分野において、コンピュータとネットワーク、データベース、ソフトウェアを駆使した研究開発目標である「グランドチャレンジ」の遂行に重要な役割を果たしている。一方、公衆通信業者（コモンキャリア）は、電話が通信の主体となっているネットワークを構築していたが、コンピュータ間通信についても、データ通信という形でサービスを提供し発展してきた。

情報スーパーハイウェイの中核になろうとしているこのコンピュータネットワークは、現在、番号（アドレス）が不足するほど接続するユーザ数が増大し、また地域的なネットワークの相互接続により巨大化している。これにともなう、さまざまな問題も発生している。その顕著なものがネットワークでのトラフィック輻輳である。特に情報検索プロトコルである WWW（World-Wide Web）や検索ツール（ブラウザ）としてモザイク（MOSAIC）やネットスケープ・ナビゲータ（Netscape navigator）、インターネット・エクスプローラ（Internet explorer）等が使用されるようになってから、検索のためのトラフィックがネットワークを圧迫している。

このような状況において、コモンキャリアネットワークの高速化の中心技術であった光ファイバ、ISDN、非同期転送モード（ATM：Asynchronous Transfer Mode：5章で詳述）といった通信技術にコンピュータピープルが興味をもち始め、通信速度ネックであったコンピュータネットワークの打開を真剣に考え、一部に積極的に導入をはかろうとする動きが出現している。コンピュータとネットワークの整合・融合という動きは、いままで相互に発展して

きたキャリアネットワークとコンピュータネットワークの歩み寄りを促進させ、一気に米国で情報インフラストラクチャを構築しようという構想（NII）へと具体化した。

1.3 『通信』から『情報』への視点転換

情報インフラストラクチャ（NII）は、技術的には通信業者（キャリア）のネットワークと、コンピュータネットワークの融合促進という側面をもっているが、重要な点は、社会改革の視点である。

通信の世界に限らず、現在大きく社会も技術も動き出している。それが、通信あるいはデジタルといった、単にテクノロジーの問題だけではなく、『情報』というものが社会生活や新社会基盤にかかわる所で、大きく注目されていることに注意する必要がある。つまり「通信」から「情報」への視点転換である。情報化社会とよくいわれる現代では、情報そのものが社会生活や産業に大きな影響を持つとともに、社会活動を進める上で人々にとって必要不可欠のものとなってきている。この意味において、情報ならびにそれを伝達する手段としての通信が社会基盤（インフラストラクチャ）として位置づけられる。また、情報量が増え、その通信形態が多様化してくるに従い、社会資本としての整備が重要な課題となってくる。米国の情報スーパーハイウェイ構想は、このような背景のもとに強力に推進されようとしている。しかし、米国の場合には、社会資本整備と言う観点よりも一歩踏み込んで、最終的には情報通信による社会構造の変革をも目差している点に注目する必要がある。

NII 構想では、高度な情報基盤によって米国企業の国際競争力を強化し、経済成長を実現するという理念の下、全米に「情報スーパーハイウェイ」の構築を行うことを目指している。本構想においては、ハードウェアの情報基盤整備とともに、その利用（アプリケーション）と流通するデータベース等の情報資源（コンテンツ）が重視されている。1993年9月に出された NII 行動計画（アジェンダ）の中で、NII とは情報世代に暮らすためのものであり、同時に技術進

歩を民衆、企業、図書館、その他非政治的機関に有用なものとするための基礎土台であるとしている。すでに述べたように、NIIのルーツはコンピュータ通信であると言うことができるが、図1.1に概要を示すように、時代の経過とともにさまざまな要素が加わり、NIIへと発展して行く。

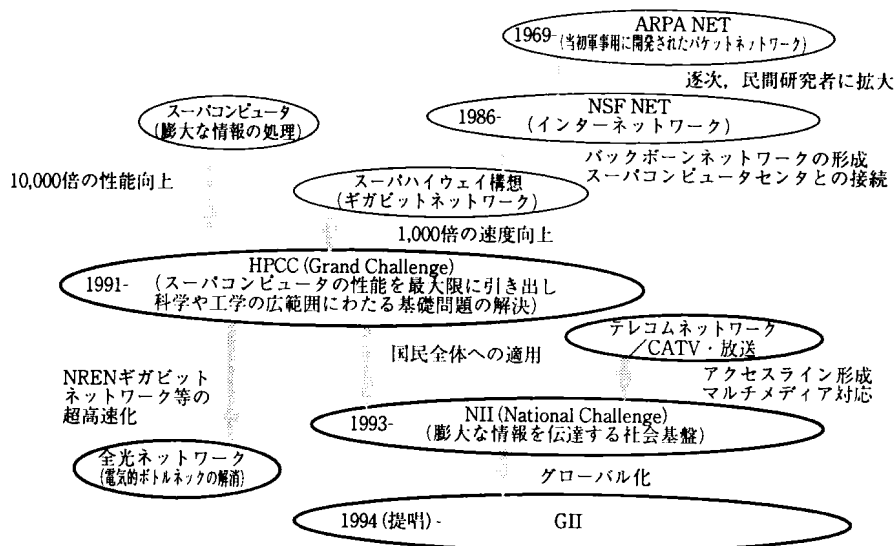


図 1.1 米国情報インフラストラクチャ形成への道のり

社会は情報通信システムによってどう変わるのだろうか？ 我々は将来に対して何をなすべきなのだろうか？ これらは答えのない問なのかもしれない。未来とはいまだ来らざるものであって、期待する対象にはなりえても将来に対する保証にはなりえない。人々は最善の努力をしつつ、たとえそれが結果として期待どおりにならなかったにしても、その時間を過去の事実として受け入れ、またあらたな未来へと踏み出して行く。歴史とはそういうものである。まずは、その時々社会・業界・政策の動きという社会的側面と、これまでの情報通信でのネットワークの動きという技術的側面との両方を同一のマップの上に描き、検証して見るという作業が必要であろう。それにより、今後の展望が見い出される可能性がある。