

# DIGITAL SERIES

未来へつなぐ  
デジタルシリーズ

## コンピュータネットワーク 概論



水野忠則 監修

# 27

DIGITAL SERIES  
未 来 へ つ な ぐ  
デ ジ タ ル シ リ 一 ズ

# コンピュータネットワーク 概論

水野忠則 監修

27

共立出版



# Connection to the Future with Digital Series

## 未来へつなぐ デジタルシリーズ

編集委員長： 白鳥則郎（東北大学）

編集委員： 水野忠則（愛知工業大学）

高橋 修（公立はこだて未来大学）

岡田謙一（慶應義塾大学）

編集協力委員：片岡信弘（東海大学）

松平和也（株式会社 システムフロンティア）

宗森 純（和歌山大学）

村山優子（岩手県立大学）

山田闇裕（東海大学）

吉田幸二（湘南工科大学）

（50 音順）

# 未来へつなぐ デジタルシリーズ 刊行にあたって

デジタルという響きも、皆さんの生活の中で当たり前のように使われる世の中となりました。20世紀後半からの科学・技術の進歩は、急速に進んでおりまだまだ収束を迎えることなく、日々加速しています。そのようなこれからの中の21世紀の科学・技術は、ますます少子高齢化へ向かう社会の変化と地球環境の変化にどう向き合うかが問われています。このような新世紀をより良く生きるために、20世紀までの読み書き（国語）、そろばん（算数）に加えて「デジタル」（情報）に関する基礎と教養が本質的に大切となります。さらには、いかにして人と自然が「共生」するかにむけた、新しい科学・技術のパラダイムを創生することも重要な鍵の1つとなることでしょう。そのために、これからますますデジタル化していく社会を支える未来の人材である若い読者に向けて、その基本となるデジタル社会に関連する新たな教科書の創設を目指して本シリーズを企画しました。

本シリーズでは、デジタル社会において必要となるテーマが幅広く用意されています。読者はこのシリーズを通して、現代における科学・技術・社会の構造が見えてくるでしょう。また、実際に講義を担当している複数の大学教員による豊富な経験と深い討論に基づいた、いわば“みんなの知恵”を随所に散りばめた「日本一の教科書」の創生を目指しています。読者はそうした深い洞察と経験が盛り込まれたこの「新しい教科書」を読み進めるうちに、自然とこれから社会で自分が何をすればよいのかが身に付くことでしょう。さらに、そういった現場を熟知している複数の大学教員の知識と経験に触ることで、読者の皆さんのが視野が広がり、応用への高い展開力もきっと身に付くことでしょう。

本シリーズを教員の皆さん方が、高専、学部や大学院の講義を行う際に活用して頂くことを期待し、祈念しております。また読者諸賢が、本シリーズの想いや得られた知識を後輩へつなぎ、元気な日本へ向けそれを自らの課題に活かして頂ければ、関係者一同にとって望外の喜びです。最後に、本シリーズ刊行にあたっては、編集委員・編集協力委員、監修者の想いや様々な注文に応えてください、素晴らしい原稿を短期間にまとめていただいた執筆者の皆さん方に、この場をお借りし篤くお礼を申し上げます。また、本シリーズの出版に際しては、遅筆な著者を励まし辛抱強く支援していただいた共立出版のご協力に深く感謝いたします。

「未来を共に創っていきましょう。」

編集委員会  
白鳥則郎  
水野忠則  
高橋 修  
岡田謙一

## はじめに

人は自分1人で生きていくのではなく、お互いに協力して生きている。このためには、コミュニケーションをどのように行うことができるかが重要なポイントとなる。辞典（新英和大辞典、研究社）によれば、英語の *communicate* は、「伝える、（病気を）感染させる、（思想等を）伝達する、知らせる、聖ざんにあづかる、（……と）通信する、通ずる、（手紙・電話等で）連絡する」となっている。この名詞形である *communication* という語は日本語に置き換えにくい場合が多く、カタカナでそのまま「コミュニケーション」と表し、コミュニケーションを具体的に実現する技術においては「通信」という用語を用いている。

より便利な通信環境でより良いコミュニケーションを図るために、その昔から我々人類はいろいろ工夫を凝らしてきた。戦においては、敵の情報を遠く離れた味方へ伝達するために、のろしを使用してきた。しかしながら、のろしは敵が来たかどうかを知らせる程度であり、また、相互にコミュニケーションすることもできなかった。

そして技術が発展し、現在では電話網により世界中のあらゆる場所ともほとんどリアルタイムで会話をすることができ、また携帯電話の発展により、いつでもどこでも会話ができるようになってきた。

さらに、電話による人ととのコミュニケーションは音声による会話のみによって行われてきたが、文字データ、静止画像、画像等を利用したマルチメディア技術の発展によって、より高度で便利なコミュニケーションが可能となってきた。

現在、我々が当たり前のものとして使用しているインターネットは、コンピュータ技術と通信技術の融合によって生まれたコンピュータネットワークから発展したものである。そして、電話機能、データ通信機能等、従来個別に提供されていたサービスを統合して利用できるようになってきている。まさにインターネットによって、新しい情報化社会が実現されようとしている。

このような発展により、日々の生活も激変してきている。すなわち、少し前までは村や町で生活する人々のコミュニケーションの場として町内会があり、そこで頻繁な意見交換の場が存在していた。また工場においても、新製品開発、品質向上、製品の開発力向上等を図るために小集団活動等の組織が作られ、その限られた範囲の中で討議がなされたりしていた。

しかし、分散コンピューティング、モバイルコンピューティング、インターネット等の発展により、地域社会において、また会社組織等においても根本から搖さぶりがかけられてきている。

すなわち、人がどこにいるかという物理的な制約がなくなり、また、企業におけるポジション、年齢等を意識せずに使うコミュニケーション構造になってきている。

このような社会変化に示されるように、コンピュータネットワークはすでに日常生活の営みにおいてすべての基盤となっており、その技術はますます重要となっている。そして、当然ながら、大学教育では誰もが学習しなければならない必須の科目となってきている。

本書は、上記の背景を踏まえて次の点を留意してまとめている。

- (1) 理系だけでなく、文系の大学学部学生もコンピュータネットワークの基礎および応用技術を理解できる。
- (2) 「基本情報技術者試験」におけるコンピュータネットワークの出題内容を網羅する。
- (3) 上級用図書である『コンピュータネットワーク 第5版』(日経BP社)の導入書とする。

まず、(1)に関しては「各章のはじめに本書のポイントとキーワードを入れ」、「各章に演習問題を付ける」、「1ページに必ず図もしくは表を1点は入れる」ことを原則とし、理解しやすくしている。

(2)に関しては、「基本情報技術者試験」におけるコンピュータネットワークの問題をサーベイし、出題内容をすべて満足するようにしている。

さらに、(3)に関しては『コンピュータネットワーク 第5版』(A. S. タネンbaum, D.J. ウエザロール著、水野忠則、相田仁、東野輝夫、太田賢、西垣正勝、渡辺尚訳(2013))がすでに発刊されており、コンピュータネットワークのすべての技術が網羅的かつ詳細に説明されている。しかしながら、初心者にとってはボリューム(全体で900ページ)が多大であることもあり、最後まで読み通すことは容易ではない。したがって、まず本書でコンピュータネットワークの大まかなところを知り、さらに同書(第5版)を熟読されることをお薦めする。

本書は、次の構成となっている。この中で、第7章は2週分の内容を含んでおり、また、1週は中間試験、あるいはまとめとして利用する15週講義用の教科書として使用することを想定している。

第1章では人と人がいかにコミュニケーションしてきたかを述べ、単体のコンピュータがどのようにネットワーク化されたかを紹介する。また、コンピュータネットワークの基本となる分散システムの概念について紹介する。

続いて第2章では、コンピュータネットワークがどのように利用されているかについて、身近な応用例やインターネット上で利用されているネットワークサービスの例を紹介する。

第3章ではコンピュータネットワークとその基本機能について、ネットワークの形態、コンピュータネットワークの基本的な考え方、発展経緯、OSI・TCP/IPの参照モデルと基本機能等について述べる。

第4章では物理層の機能について、ケーブル等の伝送媒体の種類、通信方式、伝送方式等、実際にデータを送るために必要となる伝送技術、および回線交換方式について述べる。

第5章ではデータリンク層について、誤り検出、誤り制御、フロー制御、プロトコルの考え

方，そしてデータリンクに関係するプロトコルの実例を説明する。

第6章ではLAN技術について，広く用いられているイーサネットについて，クラシックイーサネットとスイッチ式イーサネットの観点から述べ，さらに，ブリッジやルータなどネットワーク相互接続デバイスについて述べる。

第7章ではネットワーク層について，ネットワーク層の基本機能を紹介後，ルーティングアルゴリズム，輻輳制御アルゴリズム，QoS，予備ネットワーク相互接続方法について述べ，さらに，インターネットで利用されているインターネットプロトコルについて述べる。第8章では，トランスポート層の基本機能とインターネットで利用されているトランスポート層プロトコルUDPとTCPについて述べる。

第9章～第11章では，アプリケーション層について述べる。まず，第9章ではインターネット上での名前の管理方法について，ドメイン名システム，ドメイン名，名前サーバについて述べる。第10章では，インターネット上で最もよく利用されるメールおよびWebについて，サービス内容とその仕組みを述べる。第11章ではデータ通信に加え，音声，動画像，ライブメディアなどのマルチメディア通信について紹介する。また，マルチメディア情報を含んだコンテンツをネットワーク上で配信するコンテンツ配信方法を述べる。

第12章では無線メディアアクセス制御法について，ALOHAを中心に多重アクセス制御方法を紹介し，続いて，衛星ネットワーク，無線WAN，無線LAN，PANおよび短距離無線について述べる。その後，ワイヤレスアプリケーションとして，モバイルコンピューティング，ユビキタスネットワーク等について述べる。

最終章である第13章では，ネットワークセキュリティについて，まず暗号の方法を紹介後，ネットワークを利用する上で必要なセキュリティに関して，認証，悪意のあるソフトウェア，攻撃方法，そして最後にネットワークに対する安全対策について述べる。

以上の各章では，最初にその章のポイントやキーワードを示し，各章の内容を確認できるようにしている。また，各章の終わりには演習問題を付け，読者の理解度を確認できるようにしている。さらに，推薦図書と参考文献という形で理解を一層深めることに適した関連の図書を推薦している。

本書をまとめにあたって大変なご協力をいただきました，未来へつなぐデジタルシリーズの編集委員長の白鳥則郎先生，編集委員の高橋修先生，岡田謙一先生，および編集協力委員の片岡信弘先生，松平和也先生，宗森純先生，村山優子先生，山田匂裕先生，吉田幸二先生，ならびに共立出版編集制作部の島田誠氏，他の方々に深くお礼を申し上げます。

2014年8月

著者代表 水野忠則

# 目 次

刊行にあたって i

はじめに iii

## 第 1 章

序論 1

1.1  
コミュニケーション

1

1.2  
コンピュータシステムの発展

6

1.3  
コンピュータネットワークの発展

7

1.4  
分散処理システム

9

1.5  
システムの信頼性

12

## 第 2 章

コンピュータネットワークアップ  
リケーション 16

2.1  
コンピュータネットワークと私たちの暮らし

17

2.2  
インターネットアプリケーションの事例

23

## 第 3 章

ネットワーク基本技術 35

3.1  
コンピュータネットワークの発展経緯

35

3.2  
コンピュータネットワークの基本的な考え方

38

3.3  
OSI 参照モデルと基本機能

43

3.4  
TCP/IP 参照モデルと基本機能

47

3.5  
ネットワークアーキテクチャ基本技術

52

<b>第4章</b>	4.1	
<b>物理層と交換方式 62</b>	通信伝送路	<b>62</b>
	4.2	
	データ伝送	<b>65</b>
	4.3	
	通信ネットワークの基本構成	<b>73</b>
	4.4	
	インターネット接続サービス	<b>78</b>
 <b>第5章</b>	5.1	
<b>データリンク層 82</b>	データリンクとは	<b>82</b>
	5.2	
	誤り制御	<b>83</b>
	5.3	
	データリンクプロトコル	<b>90</b>
	5.4	
	データリンクプロトコルの事例	<b>92</b>
	5.5	
	フレーム化	<b>94</b>
 <b>第6章</b>	6.1	
<b>LAN技術 99</b>	LANの概要	<b>100</b>
	6.2	
	LAN参照モデル	<b>102</b>
	6.3	
	メディアアクセス制御プロトコル	<b>104</b>
	6.4	
	LANの高速化	<b>107</b>

6.5	トラフィックの分割と VLAN	109
6.6	情報家電ネットワーク	111
6.7	ネットワーク相互接続	111
第7章		
ネットワーク層 117	7.1 ネットワーク制御	117
	7.2 インターネットプロトコル (IP)	119
	7.3 IP パケットの構成	123
	7.4 IP の補助プロトコル	124
	7.5 経路選択	131
	7.6 インターネットにおける経路制御	136
	7.7 輪轉制御	139
	7.8 QoS (Quality of Service)	142
	7.9 ネットワーク間の接続と NAT (および NAPT)	143
	7.10 IPv6	144

<b>第 8 章</b>	8.1	
トランスポート層 150	トランスポート層の役割	<b>150</b>
	8.2	
	UDP	<b>153</b>
	8.3	
	TCP	<b>154</b>
<b>第 9 章</b>	9.1	
アプリケーション層—ドメイン管理 169	IP アドレスとドメイン名	<b>169</b>
	9.2	
	ドメイン名の構成	<b>171</b>
	9.3	
	ドメイン名の階層構造と種類	<b>172</b>
	9.4	
	DNS の仕組み	<b>175</b>
	9.5	
	DNS サーバの動作確認	<b>177</b>
	9.6	
	DNS のセキュリティ上の脅威	<b>179</b>
<b>第 10 章</b>	10.1	
アプリケーション層—Web と電子メール 184	Web サービス	<b>184</b>
	10.2	
	電子メール	<b>192</b>
<b>第 11 章</b>	11.1	
アプリケーション層—メディア通信とコンテンツ配信 202	マルチメディアデータ	<b>202</b>
	11.2	
	データ圧縮	<b>203</b>

11.3		
ストリーミング		205
11.4		
コンテンツ配信		208
第 12 章	12.1	
ワイヤレスネットワーク 212	ワイヤレス通信の発展	213
12.2		
無線チャネル割当方式		216
12.3		
多重アクセス方式		218
12.4		
モバイルコンピューティングと移動通信ネットワーク		223
12.5		
ユビキタスネットワーク		232
第 13 章	13.1	
ネットワークセキュリティ 240	暗号	241
13.2		
認証		244
13.3		
悪意のあるソフトウェア		247
13.4		
攻撃方法		250
13.5		
ネットワークにおける安全対策		253

# 第1章

## 序論

### □ 学習のポイント

通信の方法には人手による搬送方法に加え、目視的な方法と電子的な方法がある。人手による方法としては、飛脚、郵便、宅配便等があり、目視的な方法としては、のろし、トーチ、セマフォ、シャッタ通信等がある。電子的な方法としては、モールス信号、電話、FAX、テレックス、パソコン通信等がある。

コンピュータネットワークは、通信回線を介して複数のコンピュータを相互に利用できるよう開発される。コンピュータ自身も1台で動作するのではなく、システム全体を複数のコンピュータで処理する分散システムとして、クライアントサーバモデル、リアルタイム型システムなどがある。また、ネットワークにおいては高い信頼性を持って動く必要がある。信頼性を表す用語として、RASIS、フォールトトレラント性、稼働率、デュアルシステム、デュプレックスシステムなどが存在する。

- コミュニケーションの方法として、目視による方法を学ぶ。
- 電子的な通信方法の歴史を学ぶ。
- コンピュータネットワークの歴史的発展経過を学ぶ。
- ネットワークの典型的なクライアントサーバモデル、リアルタイム型モデルを学ぶ。
- ネットワークの信頼度について学ぶ。

### □ キーワード

コミュニケーション、目視的コミュニケーション、のろし、手旗信号、セマフォ、シャッタ通信、電子的コミュニケーション、モールス信号、コンピュータネットワーク、クライアントサーバモデル、トランザクション、リアルタイム型システムモデル、信頼性、MTBF

### 1.1 コミュニケーション

人から人へ情報を伝達し、お互いに考えていることを理解し合うためには、コミュニケーションをどのように行ったらよいかが課題となる。

コミュニケーションを図る方法としては、昔から各種の方法が考えられてきた。最も基本的な方法としては人手による搬送方法があり、次に目視的な方法や電子的な方法が挙げられる。

人手による搬送方法としては、飛脚、郵便、宅配便等がある。目視的な方法としては、のろ

し, トーチ, セマフォ, シャッタ通信等がある. 電子的な方法としては, モールス信号, 電話, FAX, テレックス, パソコン通信等がある.

### 1.1.1 目視的コミュニケーション

人は自分の意思を伝えるために言葉を発明し, 次には文字を発明してきた. また, 遠く離れた人にも何らかの方法でお互いの意思を伝達するための工夫がなされてきた.

たとえば, 昔から用いられてきた信号の伝達方法としてのろしがある. 戦においては, いかに相手の動きを察知してそれに対処するかが重要となる. 図1.1は, 和漢三才図会において紹介されているのろしの絵である. このようなのろしを用いて, 武田信玄は情報を伝達したと伝えられている.

しかしながら, のろしは晴れた日であれば複数の地点を経由して遠くに離れたところまで情報を素早く伝えることができるが, その仕掛けは単純であり, のろしが上がっているかいないという情報しか伝えることができない.

のろしの考えをより発展させたものとして, トーチによる伝送や, 手旗信号をはじめとするいくつかの目視的コミュニケーションを利用した情報送信方法がある.

図1.2に示すトーチ伝送では, 5個のトーチを2組用いている. 各組の1~5本のトーチを幕より上に持ち上げたり, 下げて隠すことによって, 離れた受信者に見えるようにする. この方法で, 図1.3に示す24個のギリシャ文字を用いて情報を伝達することができる. たとえば, 次の手順でギリシャ文字からなるメッセージを送ることができる.

- (1) 送信側は, 2組 (AとB) の5個のトーチをすべて掲げる.
- (2) 受信側は, 受け入れ可能を示すために, 同様に2組の5個のトーチを掲げる.
- (3) 次にA組のトーチ群の中から1~5個のトーチを掲げる. 1個ならX1の行 ( $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ ), 2個ならX2の行 ( $\zeta, \eta, \theta, \iota, \kappa$ ), 3個ならX3の行 ( $\lambda, \mu, \nu, \xi, \circ$ ), 4個ならX4の行 ( $\pi, \rho, \sigma, \tau, \upsilon$ ), そして5個ならX5の行 ( $\phi, \chi, \psi, \omega$ ) であることを示す.

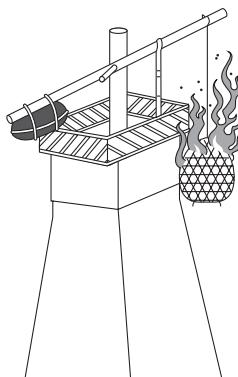


図1.1 のろし (和漢三才図会より)

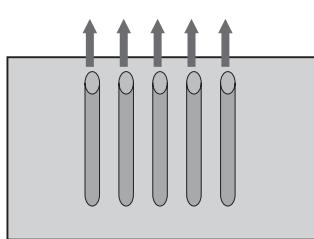


図 1.2 トーチ伝送

	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5
Y 1	$\alpha$	$\zeta$	$\lambda$	$\pi$	$\phi$
Y 2	$\beta$	$\eta$	$\mu$	$\rho$	$\chi$
Y 3	$\gamma$	$\theta$	$\nu$	$\sigma$	$\psi$
Y 4	$\delta$	$\iota$	$\xi$	$\tau$	$\omega$
Y 5	$\varepsilon$	$\kappa$	$\sigma$	$u$	

図 1.3 ギリシャ文字

- (4) 次に、もう片方の B 組のトーチ群から、1~5 個のトーチを掲げ、Y1~Y5 の行から 1 つギリシャ文字を選択する。たとえば、(3)で 3 個のトーチを掲げ、(4)で 2 個のトーチを掲げたら、それは  $\mu$  を示すことになる。
- (5) (3) と (4) を必要な文字数だけ繰り返す。
- (6) 送るべきデータがなくなったときは (1) と (2) の手順を行う。

目視的コミュニケーションでよく用いられるものとして、手旗信号がある。両手を上に上げるか、水平にするか、下に下ろすかによって、いろいろな形態が考えられる。理論的には図 1.4 に示す 16 通りがある。この中で、右上にある数字は類似形態の番号を指している。たとえば ⑦ のところにある 4 は、⑦ は ④ の番号のものと類似形態であることを示している。類似形態を取り除くと 8 通りになる。もちろん、右手と左手に異なる色の手袋をはめて行えば 16 種類が可能となる。

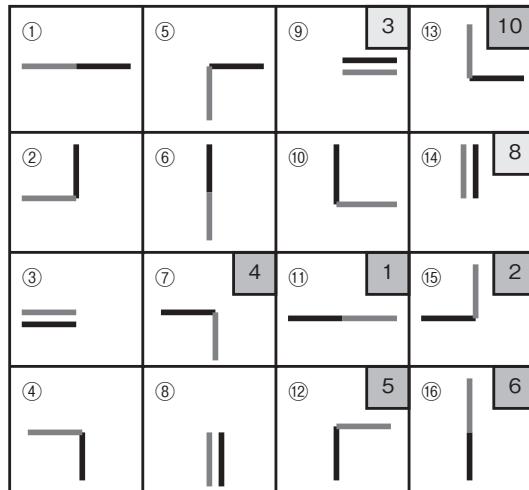


図 1.4 手旗信号



図 1.5 腕木通信システム [ドイツ博物館展示]

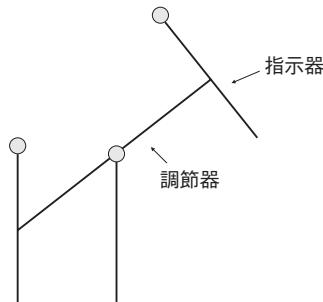


図 1.6 Chappe のセマフォ

この手旗信号を発展させた本格的な伝送システムとして、1793年にフランスの技師 Claude Chappe によって開発されたセマフォ利用の腕木通信システムがある。大きな木構造からなるそのシステムは丘の上や教会の塔に作られ、望遠鏡を持った市職員が操作した（図 1.5）。腕木通信に用いられるセマフォは 3 カ所の可動部、すなわち調節器と 2 つの指示器がある（図 1.6）。

セマフォは 45 度単位で動き、論理的には 3 つの可動部分によって各セマフォは  $256(8 \times 8 \times 4)$  の異なる形となる。しかしながら、指示器が調節器の角度と重複するような紛らわしい形は用いられない。また、有効なセマフォの位置の約半分が数字、句読点、文字の符号として使用され、残りの半分が特別な制御文字に使用された。隣町のステーションにおけるセマフォの形

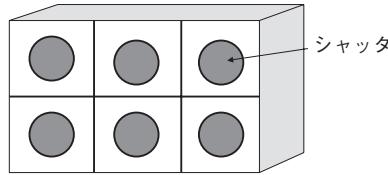


図 1.7 George Murray のシャッタ通信

を読み、それと同じ形のものを中継地で作り、次の隣町へ中継するために市職員が雇われた。

この腕木通信に関しては、参考文献 [2] が参考となる。この本では副題に「ナポレオンが見たインターネットの夜明け」がついているように、フランスを中心に発展した腕木通信について、その歴史、通信方式などが詳細に記述されている。

これ以外にもいくつかの方法が考えられ、実用化された。たとえば、英國海軍では George Murray 卿が設計した図 1.7 に示すシャッタ通信を利用していた。6 個のシャッタを開閉することによって、メッセージ、すなわち 6 ビットの 2 進符号を伝送することが可能である。このシステムでは制御メッセージもまた符号化されている。6 個すべてのシャッタが閉じているときは信号送信の準備中であり、6 個すべてのシャッタが開いているときは、送信準備完了を示している。

目視的通信の伝送速度は、実際の光の速さではなく、形をいかに素早く変化させることができるかによる。Chappe の伝送では、セマフォの形は 15~20 秒ごとに変えることができた。128 の可能なシンボル（あるいは 7 ビットの情報）のサブセットでは、約 0.5 bps (bit per second: ビット/秒) の伝送速度であった。George Murray のシャッタ通信の 6 ビット符号は 5 秒ごとに変化し、信号の速度はおよそ 1 bps である。

一方日本においても、ビジネス分野において、旗振り通信が有名である [1]。旗振り通信は、見通しのよい山から山へ望遠鏡の力を借りて旗の振り方で情報を知らしめるものであり、米相場の伝達に使われた。大阪の堂島の米相場がわずか 3 分で和歌山へ、そして 27 分で広島に伝えることができた。

このような目視的コミュニケーションにおいては、操作者にセマフォが見えることが必須であった。しかしながら腕木通信システムにおいては、1831~1839 年までの間で平均して 1 年のうち 20 日は悪天候により、オランダの 5 つの都市間でのシャッタ通信は利用できず、より信頼度の高いシステムが求められた。

### 1.1.2 電子的コミュニケーション

電子的コミュニケーションにおいては、元来、電信による方法が鉄道信号のために使用され、次に一般的に利用されるようになってきた。1851 年ロンドンとパリの株式交換が電信で結合され、最初の公的な電信会社が設立された。1875 年までには約 30 キロメートルの電信線が運用されるようになった。最初、電信は針、あるいはモールス信号のキーによって操作されていた。

文字	符号	文字	符号	数字	符号
A	· — —	N	— ·	1	· — — — —
B	— · · ·	O	— — —	2	· · — — —
C	— · — ·	P	— — ·	3	· · · · —
D	— · ·	Q	— — · —	4	· · · · ·
E	·	R	— · ·	5	· · · · ·
F	· · — ·	S	· · ·	6	— · · · ·
G	— — ·	T	—	7	— — — · ·
H	· · · ·	U	· · —	8	— — — — ·
I	· ·	V	· · · —	9	— — — — ·
J	· — — —	W	· — —	0	— — — — —
K	— — —	X	— · · —		
L	— — ·	Y	— · — —		
M	— —	Z	— — · ·		

図 1.8 モールス信号表

最もよく使用された信号符号は改良モールス符号である。元々のモールス符号は、変化する持続期間、すなわち、点 (dot)，線 (dash)，長線 (long dash) の 3 つの信号要素を使用していた。2 つによく知られた信号要素、すなわち点 (dot: トン) と線 (dash: ツー) による様々な長さの 2 進符号を使用した。現在のものは 1851 年に作られた。図 1.8 にモールス信号表を示す。

次に開発されたものは、紙テープ穿孔読み取り器である。1858 年、ホイートストン (Charles Wheatstone) は伝送速度 300 ワード／分 (約 30 bps) に達するホイートストン自動操作機械を作り、つい最近まで使用されてきた。1920 年以降、特別な「テレタイプライタ」キーボードとプリンタが直接通信回線に結合された。これらの機械で使用された 5 ビット符号は、1874 年にフランス人エミル・ボー (Emil Baudot) によって開発された。1925 年までには完全な「テレックス (電信交換)」網が稼働した。

ときを同じくして、1850～1950 年の間に現在よく知られた電話と無線の 2 つの異なった通信方法が開発された。グレイ (Elisha Gray) とベル (Alexander Graham Bell) は 1876 年、電話の発明に関する特許申請を提出し、またマルコーニ (Guglielmo Marconi) は 1897 年、最初の無線電信を作り出した。

コンピュータを利用した通信システムとして、テレックスの拡張版であるテレテックス、パソコン通信、電子メール等が近年利用可能となってきている。

## 1.2 コンピュータシステムの発展

コンピュータは図 1.9(a) に示すように、まず本体に加えテレタイプライタ等簡単な入出力機器の構成から始まった。次に、遠隔からもデータのやりとりをする必要があるため図 1.9(b) に示すような形態が発生した。

また、データの入力は、一番初期においては計算機の中のビットを 1 ビットごとに手動で操作するトグルスイッチによって行っていたが、次には紙テープが入出力に利用された。次に、より多くのデータを入出力可能とするためにカードリーダおよびラインプリンタが利用可能に

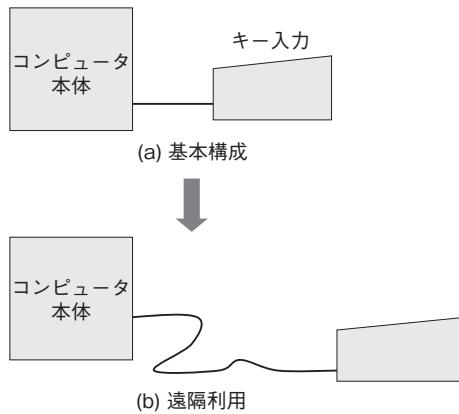


図 1.9 コンピュータの構成

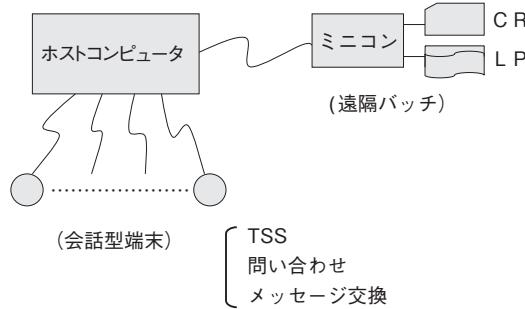


図 1.10 ホストコンピュータシステム

なった。

さらにこの形態が発展し、単一のホストコンピュータを複数の端末から利用するホスト集中システムが開発された。またこのようなコンピュータシステムには、図1.10に示すようにTSS(タイムシェアリングシステム)用の会話型の端末や、バッチジョブを依頼するためのカードリーダ(CR)やラインプリンタ(LP)を持つ遠隔バッチ(remote batch)(遠隔ジョブ入力:Remote Job Entry, RJE)端末が接続されている。また、会話型の端末には、簡単なテレタイプライタやある程度のコンパイル、ファイル処理、文書編集が可能なインテリジェント端末がある。この形態はホストコンピュータが集中的に処理を行うホスト中心のシステム構成である。

### 1.3 コンピュータネットワークの発展

コンピュータシステムをより発展させ、それらを相互に接続したものがコンピュータネットワークである。コンピュータネットワークは、通信回線を介して広く地理的に離れたコンピュータを相互につなげ、端末から複数のコンピュータにアクセスでき、異なるコンピュータ間でも

アプリケーションプログラムのやりとりを可能にしたものである。

図1.11はコンピュータネットワークの発展の流れを示している。まず、第2次世界大戦時に開発された軍事用オンラインシステムが開発され、続いて前節で述べたような単体のコンピュータからホスト型のコンピュータシステムへ発展した。

1969年に最初のコンピュータネットワークである ARPAnet の実験をきっかけに、各国でコンピュータネットワークの研究が始まった。まさに 1970 年代はコンピュータネットワーク研究の黎明期である。

1980 年代はネットワークが大学や大規模なビジネス分野において使用されるとともに、OSI (Open Systems Interconnection: 開放型システム間相互接続、第3章参照) の研究開発に多くの人々がかかわった。

1990 年代はコンピュータネットワークを取り囲む世の中に変化が生じた。コンピュータネットワークは広く一般に浸透し、特に珍しいものというのではなく、生活の基盤技術となってきた。言い換えると、コンピュータネットワークも、電気、ガス、水道、道路、橋といった従来からの社会基盤に劣らない重要な社会システムになった。たとえば、少し前までであれば電子メールも便利なものという程度であり、電子メールが不通になんて仕方がないと諦めていたが、今や人と人がコミュニケーションする上でなくてはならないものとなった。

それ以降、コンピュータネットワークの技術は進化し、1990 年代の半ばにおいては、各種プロトコルスタックを有した LAN や WAN が存在したが、有線の LAN はイーサネットとほぼ同義語となり、WAN もインターネットとほぼ同義語となった。

1995 年からの大きな特徴は、ワイヤレスネットワークの急速な発展である。携帯電話、無線 LAN が出現り始め、どこでもネットワークにつながる時代となった。有線から無線への変革期

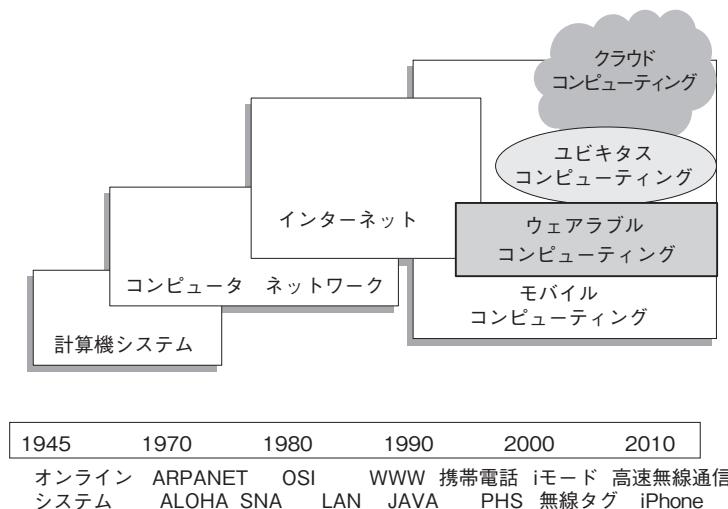


図 1.11 コンピュータネットワークの発展

であり、電話は固定電話から携帯電話へと完全に移り変わってきた。

今日においては、コンピュータネットワークの技術は半導体技術と通信技術の驚異的な進展によって一層発展してきた。コンピュータはより小さく、より高性能になり、回線速度も上がってきた。そこで重要な役割を示すのは、IC タグに代表される通信機能を有した極小チップの進展である。

極小チップに通信機能が搭載されるということは、極小チップまでがコンピュータネットワークの対象になるということを意味する。極小チップはもはや誰もコンピュータネットワークという意識を持つことなく利用されていくであろう。CPU 機能と通信機能を有した驚くほどの数のインテリジェントなチップが巷にあふれ、それらがネットワークにつながりつつあり、ユビキタス社会が到達してきた。

言い換えると、小型化技術や無線通信技術の進歩によって日常生活の様々な場所、たとえば家庭、学校、職場、交通機関や公共施設等に大量の情報機器が配置され、室内や屋外にも様々な環境センサが備え付けられ、家電や車両設備においては部品レベルでの通信が行われる。各個人が常に数百～数千個の情報機器に囲まれる情報化社会が到来しつつある。

このような情報化社会では、家や車、自然などの環境に埋め込まれた情報機器や、人や荷物、車両とともに移動する多数の端末間の大規模な通信を支える技術が必要となる。

## 1.4 分散処理システム

分散処理システムでは、単一の場所に置かれているコンピュータだけではなく、異なった場所に分散して置かれる複数のコンピュータの連携によって有機的に統合して処理を行うものである。ここでは、分散処理システムにおける代表的なモデルであるクライアントサーバモデルとリアルタイム型システムモデルを紹介する。なお、インターネット上で対等の立場で通信する P2P (Peer to Peer: ピアツーピア) ネットワークもよく使用されており、それに関しては第 11 章で述べる。

### 1.4.1 クライアントサーバモデル

分散システムとは、複数のプロセッサが通信路を介して接続されお互いのプロセッサが所有する資源を共有し合うものであると述べたが、分散処理の基本的な処理はネットワークを介して処理を依頼し、その結果を受理するものである。この処理内容を解決するものがクライアントサーバモデルである。

クライアントサーバモデルとは、クライアント（顧客側）とサーバ（奉仕側）に機能を分けたものである。すなわち、レストランでお客様が食事をするとき、お客様は店の人にワインやステーキ等を注文し、お店の人はそれに従って調理し、お客様まで運んで、お客様は食事をすることになる。

これと同様なことをコンピュータに当てはめたものが、クライアントサーバモデルである。

この考えは機能のモジュール化にも役立てることができる。図1.12(a)は単一プロセッサで実現したクライアントサーバモデルで、図1.12(b)が複数プロセッサで実現するモデル概念図である。

典型的なクライアントサーバモデルの展開としては、図1.13に示すデータベース利用のトランザクション処理がある。パソコンからデータベースサーバを利用する場合、パソコンのユーザプログラムからデータベースの検索更新を行うことになる。この場合、クライアント側であるパソコン上でユーザプログラムが動作し、データベースを所有しているデータベースサーバ側がサーバとして動作する。

なお、クライアントとサーバという考えは、装置に従属するものではなくどちらが主体性を持って行うかによって決定され、サービスによっては同じマシンがクライアントにもなりサーバにもなる。

クライアントサーバの概念は当初、ワークステーションにおいてLANやRPC（Remote Procedure Call：遠隔手続き呼び出し）に基づいて使用されたが、最近はクライアントであるパソコンからサーバであるホストコンピュータや専用のサーバを利用するため用いられる。

この概念は、従来のホストコンピュータシステムがホストコンピュータを中心に端末が従属していた方式に決別し、新たに端末側がクライアントとなることでホストコンピュータの方が従属者になる方式であった。

クライアントサーバモデルは、クライアントとサーバの2層に分けた2層クライアントサーバモデルに加えて、3層クライアントサーバモデルがある。3層クライアントサーバモデルにお

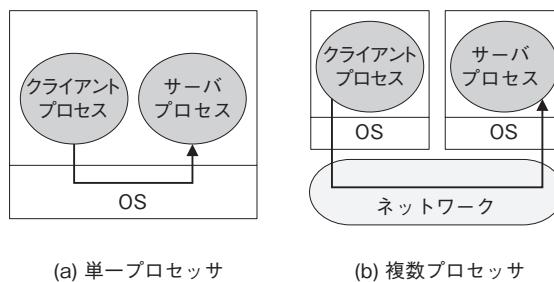


図1.12 クライアントサーバモデル

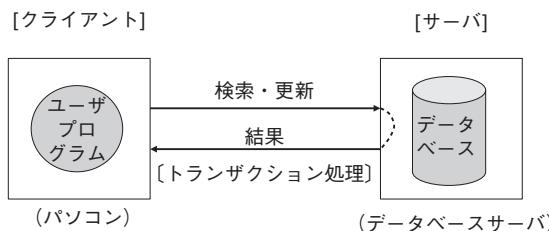


図1.13 データベース利用トランザクション処理