

IT 革命とそれを担う情報技術革新
IT Revolution and Information Technology Innovation

林 直嗣

2001 年 1 月 『経営志林』法政大学経営学会、37 巻 4 号、pp.151-158.

2001 年 4 月 『経営志林』法政大学経営学会、38 巻 1 号、pp.57-70.

目 次

1. IT 革命の時代
2. コンピューターの技術革新
 2. 1. マイクロ・エレクトロニクスの技術革新
 2. 2. コンピューター用途の拡大
 2. 3. PC の量産化と低価格化
3. ソフトウェアの技術革新
 3. 1. OS とユーザー・インターフェースの技術革新
 3. 2. ソフトウェアの高機能化と低価格化
4. 通信ネットワークのインターネット化と技術革新
 4. 1. 通信プロトコルの統一と技術革新
 4. 2. ネットワークの整備と技術革新
 4. 3. インターネット・ソフトの技術革新とコンテンツの増大
 4. 4. モバイル通信の技術革新
5. AV 機器・放送の技術革新
 5. 1. AV 機器のデジタル化と技術革新
 5. 2. 放送のデジタル化と技術革新

注

参考文献

1. IT 革命の時代

先進諸国は 20 世紀の後半に情報産業の発展、コンピュータリゼーションの進展を軸に情報化社会への道程を歩んできたが、20 世紀の末から 21 世紀にかけては更なる高度情報化社会へと飛躍を遂げようとしている。それを牽引している技術的・経済的・社会的な大変革が、「インターネット革命」とか「情報通信革命」、「情報革命」、「情報ビッグバン」、あるいは「デジタル革命」、また最近では「IT (Information Technology ; 情報技術) 革命」などと、さまざまな名称で呼ばれている変化である⁽¹⁾。こうした変化は単なる情報技術の変革にとどまらず、19 世紀の産業革命にも匹敵する大きな経済的・社会的な変革をもたらしつつある。

20 世紀最後の 2000 年に、日本では「IT 革命」が急展開をし、その関連の書物が多数刊

行され、その用語は流行語大賞を受賞し、世論の大きな注目を浴びるようになった。しかしアメリカではすでに 1980 年代初めから情報技術の革新が注目されて「IT」という大文字の名称と呼ばれ始め、1980 年代半ばからは Forester(1985)などによって「Information Technology Revolution (情報技術革命)」と呼ばれるようになった⁽²⁾。1980 年代にはレーガン政権の下で大胆な規制緩和と思い切った投資減税により、市場競争の激化、リエンジニアリングやリストラによる企業改革や産業構造改革、新機軸を目指すベンチャー企業の群生が起こる中で、1982 年から 8 年も続いたレーガン景気をもたらした、こうした IT 革命が始動し始めた。そして 1990-91 年不況の後クリントン政権の下では情報スーパーハイウェイ構想に牽引されて、IT 関連投資は大幅に増加し⁽³⁾、IT 革命の本格的進行を背景に、1992 年からの 9 年に亘るクリントン景気でアメリカ経済は史上最長の好況を謳歌した。1987 年のブラックマンデーや 1990 ~ 91 年不況を挟みながらも約 18 年に及ぶ長期好況のもとで、株価は年平均 17 %にもものぼる長期上昇を続けてきた。それを牽引してきた大きな原動力の一つが「IT 革命」であった。

とりわけ IT 産業のメッカ、カリフォルニア州のシリコンバレーでは、IC (Integrated Circuit) のフェアチャイルド・セミコンダクター、OS (Operating System) 等ソフトのマイクロソフト、MPU (Micro Processing Unit) や半導体のインテル、半導体のナショナル・セミコンダクター、PC (Personal Computer) のアップル、PC や WS (Work Station) のヒューレット・パッカー、WS のサン・マイクロシステムズ、ネットワーク機器のシスコ、WWW (World Wide Web) ブラウザーのネットスケープ、WWW 検索エンジンのヤフー、データベースのオラクルなど IT 関連の世界的な企業群とそれを支えたベンチャー・キャピタルの群雄が集積して急成長をした⁽⁴⁾。こうした IT 産業は、リーディング産業の一つとしてレーガン景気やクリントン景気を牽引することに貢献した。

日本でも情報技術革新や IT 関連投資は以前から行われてはきたが、所謂「IT 革命」と呼ばれるような大きな変革はアメリカにかなり遅れて今漸く本格化しつつある。

では、一体「IT 革命」とは何であろうか。コンピューター (電子計算機) の発明からすでに半世紀以上を数え、インターネットの誕生からすでに 30 年以上が経っている現在、単なるコンピューターリゼーションやインターネット化それ自体が問題なのではない。「IT 革命」の本質とは、コンピューターの高速化・小型化・モバイル化・低価格化、ソフトウェアの高機能化・低価格化、通信ネットワークのインターネット化と大衆利用化、AV (Audio Visual) 機器・放送等の情報家電のデジタル化と大衆化を通じて、さまざまな情報技術革新が急速に複合的・融合的に起こったこと、そしてこうした情報技術が家庭や企業、社会全体で広範に利用されるようになり、経済的・社会的に大きな変革をもたらすようになったことである。前者の意味での IT 関連の急速な技術革新は狭義の「IT 革命」といえ、後者の意味でそれが経済・社会で広く深く応用されて経済・社会の大きな変革をもたらすようになったことは、経済・社会革命としての広義の「IT 革命」といえる。

したがって「IT 革命」は、「インターネット革命」や「情報通信革命」を一部として伴うものであり、情報技術だけでなく産業や経済面での大きな変化を含めて考えれば、広義では「情報革命」ともいえよう。またそれをアメリカのように時間をかけて行うのではなく、遅れを取り戻すために政策的に一挙に実施する場合には「情報ビッグバン」と呼び得る。さらに工学的観点からは、これら全ての技術が情報を共通の単位 (binary digit = bit)

で処理することから、「デジタル革命」あるいは正確に表現するならば「ビット革命」ということができる⁽⁵⁾。

本稿の目的は、「IT 革命」の直接的な原動力となった、コンピューター、ソフトウェア、通信ネットワーク、AV 機器・放送等の情報家電の 4 大分野における核心的な技術革新を検討し、「IT 革命」の本質を明らかにし、さらには次世代 IT の展望を試みることである。それらの情報技術革新が経済・社会生活において複合的・融合的に応用されるようになり、大きな経済的・社会的変革をもたらしつつあるという意味での広義の「IT 革命」については、さらに広範な検討を要するので、ここでは扱わない。

2. コンピューターの技術革新

2. 1. マイクロ・エレクトロニクスの技術革新

(1) コンピューターの進化

IT の中枢がコンピューターであることはいうまでもない。コンピューターは文字、音声、映像など全ての情報をスイッチの ON・OFF、あるいは 0 と 1 の信号、すなわち bit の意味でのデジタル情報として入力・演算処理・記憶・出力する。デジタル革命の淵源は、あらゆる情報をデジタル処理するデジタル・コンピューターにある。機械式やリレー式の計算機に代わって、1945 年に J.P.エッカートと J.W.モークリーが初めて真空管式の電子計算機 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator) を発明した⁽⁶⁾。ジョン・フォン・ノイマンの提唱によるプログラム内蔵式の電子計算機は、1949 年に M.V.ウィルクスによって EDSAC (Electronic Delay Storage Computer) が、またノイマン自身によっては 1952 年に EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) が開発された。それ以来コンピューターは長足の進歩を遂げたが、プログラム内蔵式の基本的アーキテクチャーはまったく変わっておらず、したがって今日の全てのコンピューターはノイマン型と呼ばれている。人間がプログラムを書いてコンピューターに命令しなければ、コンピューターは何もできないわけであり、したがって「コンピューター、ソフトなければ只の箱」と巷間いわれる。人工知能 (AI ; Artificial Intelligence) が開発され、エキスパート・システムや辞書などに応用されているが、それはソフトウェアによるものである。真空管式の第 1 世代からトランジスターを用いた第 2 世代、IC を使った第 3 世代、LSI を利用した第 4 世代までコンピューターは半世紀をかけて急速に進化してきたが、まだノイマン型の域を超えてはいない。

ノイマン型の範囲内ではあるが、0 と 1 だけからなる 2 進法のコンピューターに代わって、DNA のように 4 進法の原理に基づけば、処理できる情報量は飛躍的に増大し、超高速のコンピューターを作れる可能性がある。それが DNA コンピューターと呼ばれる次世代コンピューターである。また粒子と波という 2 つの性質を持つ量子のもつれの原理を応用し、超高速なコンピューターを作る実験も行われている⁽⁷⁾。

ノイマン型を超えて、プログラム内蔵型に代わる次世代コンピューターとしては、自ら推論を行う人工頭脳 (AB ; Artificial Brains) と呼び得るようなアーキテクチャーをもつプログラム創造型コンピューターがあり、大脳生理学の研究成果などを援用しながら「第 5

世代コンピューター」としてアメリカや日本などで研究が進められてきたが、実用化の目途はまだ立っていない⁽⁸⁾。

(2) IC、LSI、CPU の技術革新

とはいえハード面での高性能化・小型化には目を見張るものがある。その原動力となったのが、マイクロ・エレクトロニクスの著しい技術革新であり、中でもトランジスターと IC・LSI は最重要な役割を果たしている。トランジスターは 1947 年に AT&T のベル研究所で発明された画期的な半導体であり、1958 年フェアチャイルドによって発明された IC (集積回路) およびその後の LSI (Large Scale Integrated Circuit; 大規模集積回路) の開発を契機に、相乗効果により著しく高性能化が進んでいる。こうしたマイクロ・エレクトロニクスの技術を使って CPU (Central Processing Unit) はますます高性能化・高速化・小型化し、PC に使われる CISC (Complex Instruction Set Computer) 型ではインテルの Pentium や AMD の Athlon、主に WS に使われる RISC (Reduced Instruction Set Computer) 型ではサン・マイクロシステムズの UltraSPARC、ミップスの MIPS、デックの Alpha、モトローラの PowerPC などが、かつての汎用機やスーパー・コンピューターの CPU さえ凌ぐ性能を持つようになった。

こうした MPU を搭載することにより PC や WS もやはり高速化、高性能化し、サイズも小型化して、モバイル化が可能となった。いわゆるダウンサイジングが至るところで進行し、企業や家庭でもまた移動中でもスペースをとることなく、コンピューター利用ができることになった。

(3) 次世代 CPU

PC 用 CPU の 8 割の市場シェアを占めるインテルは 2000 年 11 月に、Pentium3 をフル・モデル・チェンジした Pentium4 をリリースした。超微細トランジスターの制御電極の幅を示すゲート長は $0.13 \mu\text{m}$ (1 マイクロメートルは 100 万分の 1 メートル)、トランジスターは約 4200 万個を搭載し、クロック周波数は 1.5GHz と、スペック上 5 割近い性能アップをしている。CPU アーキテクチャーの新しい特徴としては、400MHz の FSB (Front Side Bus) を実現したり 1 命令を 1/2 クロックで実行する「ネットバースト」技術を採用したこと、20 段の Hyper Pipeline 処理ができること、ストリーミング SIMD 拡張命令を強化しマルチメディア処理を高速化したこと、などである。インテルは 2001 年には同 CPU のクロック周波数を 2GHz に上げる計画であり、メインストリーム PC の半分以上のシェアを占めたいとしている。

その直後の 2000 年 12 月にインテルは、現在のスーパー・コンピューターに近い性能を持つ最新鋭の次世代 CPU の開発に成功したと発表した。ゲート長は 0.03 マイクロメートルと Pentium4 より 4 分の 3 以上も短くなり、トランジスターは約 4 億個を搭載して Pentium4 より 10 倍も多くなり、またクロック周波数は数十 GHz と Pentium4 より数十倍も高速になった。2005 年までに量産化に入る予定であるが、これにより小さな PC でもスーパー・コンピューター並の処理が可能となる。

省電力化の方向では、トランスメタ社の Crusoe が注目されている。インテルの Pentium (x86系) 互換の CPU でありながら、消費電力は最大で 10 分の 1、平均で 2 分の 1 程度に抑えてある。ハードとしての CPU は非常にシンプルなアーキテクチャーに設計されており、Pentium 互換ではないが、CMS (Code Morphing Software) というインタープリター型の翻訳ソフトによって互換性を実現している。したがって Pentium に新機能が追加された場合には、Crusoe の CMS にソフト的に新機能を追加すればよく、CPU を買い換える必要はない。Crusoe 搭載のノート PC は 2000 年 9 月から出荷が始まったが、今後ノート PC やモバイル端末、デジタル家電などに広範に使われる可能性があり、この分野でインテルとの競争が激化すると見られる。

2. 2. コンピューター用途の拡大

(1) 従来用途

コンピューターが発明されて以来すでに 55 年が経つが、実にさまざまな用途に利用されてきた。従来代表的な用途としては、ミサイルの弾道計算等の軍事利用、原子の軌道計算等の科学技術計算、マクロ経済モデル等の計量分析、工場の自動機械化を目指すファクトリー・オートメーション (FA ; Factory Automation)、事務処理の自動機械化を目指すオフィス・オートメーション (OA ; Office Automation)、金融機関のオンラインシステム、輸送機関のオンライン予約システム、流通業の販売時点管理システム (POS ; Point of Sales System)、選挙の集票システムなどがある。これらは本質的には数字データの計算処理であり、計算機が本来最も得意とする処理であった。

(2) 文字データの処理

しかし近年になって特に拡大してきた新しい用途は、単なる数字データの処理ではない。1970 年代には文字データのデジタル処理を行うワード・プロセッサが登場した。日本語ワープロが開発されたのは 1978 年になってからであるが、日本語変換 FEP (Front End Processor) は単漢字変換に留まっていた。一般に普及するようになったのは、FEP が文節変換や連文節変換をできるようになった 80 年代半ばからであり、漢字は JIS の第 1 水準だけでなく第 2 水準も搭載されるようになった。その後は一括変換や自動変換の FEP も開発され、辞書も前後の文脈を見て変換できる AI 辞書に進化した。文字のデジタル化を中心に担ってきたワープロの技術、日本語処理の技術は、携帯電話、個人情報端末、ゲーム機、その他多くの家電製品のデジタル日本語表示に使われている。

(3) 画像や音声の処理

画像のデジタル処理は膨大な計算能力を必要とするため、その本格化にはコンピューターの高性能化を待たなければならなかった。そこで当初はスーパー・コンピューターや WS などを中心に画像処理技術が発展した。しかし PC の高性能化に伴い、PC でも画像処

理ができるようになった。動画像の処理にはさらに高い性能が要求されるが、PC 性能の向上だけでなく、ソフト面での圧縮技術の発展もあって、近年では PC でもかなり高度な処理が可能となった。

音声データのデジタル処理については、デジタル記憶媒体として 1980 年に開発された CD を初め、CD-R、CD-RW、DVD、MD、DV、miniDV などが続々と製造され、またそれらのプレーヤーも AV 家電として発売されて、急速にしかも大衆的に利用が広がりつつある。

(4) マルチメディア処理

文字情報も音声情報も画像情報も全て統合的に処理できるのが、マルチメディア PC である。必要な言語に応じたフォントや FEP、音源ボード、グラフィックス・ボードなどを装備することにより、マルチメディア処理が可能になる。共通しているのは、全ての情報をビット単位のデジタルで扱うことであり、共通のメディアに記憶できることである。

インターネットはさまざまなデジタル情報をパケットとして伝送するが、それが爆発的に普及するようになったのは日本では 90 年代半ばからである。電子メールは当初文字情報だけを送受信していたが、現在では音声情報も画像情報も取り扱える。WWW のホームページは最初から静止画像情報と文字情報を送受信していたが、現在では音声情報や動画像も含むマルチメディア情報を取り扱える。

このようにコンピューター利用の用途は、最近になって急速に拡大・多様化しつつあり、分野をまたがる複合的・融合的な技術革新を誘発している。

2. 3. PC の量産化と低価格化

PC や WS の高速化、高性能化は、それらの有用性を高め、社会のさまざまなレベルでの用途を拡大し、コンピューターの大衆的普及を促した。サイズの小型化はコンピューター利用を容易にし、やはり大衆的普及の大きな原動力となった。とりわけ PC では、デスクトップ型からノート型、さらにはポケット型に至るまで用途に応じたサイズのカテゴリーが確立してきた。ディスプレイもアナログ RGB の CRT (Cathode Ray Tube) 型からデジタルの液晶 (Liquid Crystal) 型へと変わりつつあり、省スペース化・省電力化が進んでいる。ノート型やポケット型の PC によるモバイル化は、利用場所を固定せず、移動中の利用を可能にした。用途の拡大に伴い販売量が増加し、大量生産を促進したが、その結果低価格化 (低コスト化) が進み、そのフィードバック効果で販売量の増加がますます促され、大衆的な普及が進んだ。

(図 1) に示されているように、PC の国内出荷台数は 1992 年から 1999 年までに年率平均 28 % も増加し、7 年間で 5.6 倍にもなった。こうして社会の全レベルで PC 等のコンピューター利用の大衆化が進み、コンピューターリゼーションが全面展開するにつれて、コンピューターは情報化社会の牽引力となり、その社会的影響力は巨大化してきた。

3. ソフトウェアの技術革新

コンピューターが発明されてから長い間、コンピューターはもっぱら専門家が専門の用途のために利用してきたが、一般人が日常の用途で使うことはあまりなかった。しかし上で指摘したようにコンピューターの用途が拡大・多様化するにつれて、専門家以外の一般ユーザーが次第に利用するようになった。その大きな推進力となったのは、コンピューターの低価格化の他に、OS とユーザー・インターフェースの容易化、ソフトウェアの高機能化・低価格化が挙げられる。

3. 1. OS とユーザー・インターフェースの技術革新

(1) 従来の OS

汎用機が主流であった時代はもちろんのこと WS や PC の利用が広まりつつあった頃でも、基本ソフト (OS) を使う際にコマンド・ラインでコマンドをテキスト入力して操作する利用環境は、一般ユーザーにはやはり使いにくいものであった。アプリケーション・ソフトが起動後は、それ独自の GUI (Graphical User Interface) によりユーザー・フレンドリーな使用方法を提供するソフトも多数あったものの、そのインストールやアンインストール、細部設定などはコマンド・ラインでやらなければならないケースが多く、専門的知識を要した。

汎用機や WS の OS は専門的で複雑な構成をしており、それを使いこなすには専門的な知識を要する。それに比較して CPM、N88-BASIC、MS-DOS など PC の OS は非常に簡素化されてはいるものの、ユーザー・インターフェースは GUI ではなく、一般人にはまだ使いやすいたとはいえない。とはいえ 1981 年に IBM-PC の OS として採用された MS-DOS は、IBM-PC の市場拡大に歩調を合わせて基本ソフトとしての地歩を固めていった。そもそも MS-DOS は、シアトル・コンピューター・プロダクツのティム・パターソンが開発した 86-DOS を、マイクロソフト社のビル・ゲイツが買収し、MS-DOS として市場に送り出したものであった。そして 1984 年に 16bit の i80286 を搭載した IBM-PC/AT のオープン・アーキテクチャー政策が実施されてから、互換機市場が急速に拡大するにつれ、MS-DOS は PC の OS の圧倒的シェアを占めるにいたった。

(2) OS の進歩と GUI 化

独自の PC アーキテクチャーをもつアップル社は、OS のユーザー・インターフェースをグラフィックスを用いて大衆化するのに成功した。同社が 1984 年に発売した Macintosh は、コマンド・ラインでのテキスト入力の代わりに GUI の Windows を用いた Mac-OS を搭載し、操作の容易性と快適性を武器に PC 市場の一定シェアを獲得することができた。

この成功に範をとり、マイクロソフト社は MS-DOS のユーザー・インターフェースとして GUI の Windows を導入したが、Windows3.1 までは OS と GUI は分離していた。これらを GUI 型 OS として統合したのは Windows95 以降であり、操作の容易性と快適性により PC 市場のシェアを拡大するのみならず、PC 利用の大衆化にさらに拍車をかけ、PC 市場規模それ自体を拡大させた。

他方で WS の OS である UNIX でも GUI 化が進み、X-Windows が開発された。さらに UNIX は PC に移植されて PC-UNIX となり、高価な WS を購入しなくても一般の PC ユーザーにも UNIX が使えるようになった。また PC の MS-Windows 上で X-Windows エミュレーターが開発され、PC を WS の X クライアントとして利用できるようになった。1991 年にはフィンランドのリーナス・トーバルズによって System-V 系の UNIX を改良した Linux がオープン・ソース OS として開発され、より快適な GUI 環境で利用できるようになった。1998 年にはホームページ用サーバー OS のシェアでは、Linux は 26 % と WindowsNT の 23 % を凌駕するにいたった。

1995 年にサン・マイクロシステムズが発表した Java Virtual Machine (JVM) は、さまざまな OS の違いを吸収するユニークなインターフェースである。JVM は MS-Windows や MacOS などの PC-OS だけでなく、UNIX の代表的な OS (Solaris、HP-UX、AIX、Linux)、そのほか携帯電話や PDA などのデジタル機器用 OS に対しても開発されている。したがって Java 言語で書かれたソフトは、JVM がある限りどのような OS 上でもまったく同様に動作する。こうしたインターフェースはソフトの普遍性を高め、ソフト開発費を節約するので、広範囲に使われて行くであろう。

(3) デジタル機器の新 OS

マイクロソフト社は MPU を搭載したゲーム機、携帯情報端末 (PDA)、デジタル家電などが小さいながらも立派なコンピューターとなることを見据えて、その OS として 1996 年 (日本では 1997 年) に WindowsCE をリリースした。CE は Consumer Electronics の意味であり、ハードディスクや大容量メモリーを使えない家電用などの小型コンピューターで動作するように設計されている。しかしソニーや松下電器はマイクロソフトの支配を嫌って、独自のデジタル家電用 OS を開発した。また NTT、ヒューレット・パッカー、ノキアなどによる次世代 PDA の共同開発計画では、フリーウェアの Linux を OS として採用する規格が合意されている。リーナス・トーバルズが所属するトランスメタ社は Crusoe 搭載モバイル端末専用の OS として Mobile Linux を開発したが、2000 年末に AOL とゲートウェイ社が共同で発売した Crusoe 搭載インターネット端末では、Mobile Linux を採用している。次世代携帯電話では、ノキア、エリクソン、モトローラ、松下通信工業などがシンビアン社を合弁設立して EPOC という新しい OS を開発した。このように PC 以外の次世代 OS では、マイクロソフト社対他社との間で今後ますます開発競争が激しくなると見られる。

3. 2. ソフトウェアの高機能化と低価格化

巷間「コンピューター、ソフトなければ只の箱」といわれるが、コンピューターを利用する上でソフトウェアの果たす役割は決定的に重要である。マイクロソフト社は PC の基本ソフトで圧倒的なシェアを制し、プログラミング言語ソフトやアプリケーション・ソフトでも数々のヒット作を生み出したことから、今や総資産で見て GE (ジェネラル・エレクトリック) に次ぐ世界第 2 位の巨大企業に成長した。ビル・ゲイツ会長はやはり総資産で見て世界第 1 位の大富豪となった。まさに「ソフトを征するものはコンピューターを征

する」といえよう。

従来は前述の専門的利用のためのソフトウェアが多かったが、PCの普及とともに一般の個人利用のためのソフトが多数開発されるようになってきた。ワープロ・表計算・データベースなどのコンピューター・リテラシー、ビジネス、出版やDTP、料理・健康・家庭などのホームユース、語学・文学・童話、学習・教育、辞典・百科事典、アート・グラフィックス、ゲーム、エンターテインメント、インターネット等々、実にさまざまな分野のソフトが開発・販売されてきた。近年では特に多くの機能を満載した巨大容量のソフトが開発されているが、これはPCの高速化・高性能化によって従来なら巨大で動作が遅いソフトも快適に動作可能となったためである。

コンピューターのハード性能が低い時代には、ディスク上の辞書を先読みするなどソフトをできるだけ効率的にプログラミングし、軽快に動作するように制作し、そのためマシン語やアセンブリ言語のレベルでの開発やメンテナンスにも配慮していた。しかし近年ではそうした制作努力は避けて、たとえ動作は鈍くてもとにかく多くの機能を満載した巨大容量のソフトを作ること为目标としている傾向が強い。そのためマシン語やアセンブリ言語のレベルでの開発やメンテナンスをせず、もっぱらC言語、Visual Basic、Javaなどの開発言語に頼ってプログラミングをし、動作の鈍さはCPU、メモリー、ハードディスク等の高速化・高性能化に頼ってカバーすることになる。現在発売されているソフトを2～3年前に発売のPCで動作させると、極端に動作が遅くなるのはそのためである。したがって確かにソフトそれ自体は一般に高機能・多機能になってきてはいるが、決して高性能になったとはいえない。

ともあれ高機能・多機能な巨大容量のソフトは、PC性能の向上に助けられて一般ユーザーの用途を著しく拡大し、社会の全レベルでのコンピューター利用を大衆化させることになった。

4. 通信ネットワークのインターネット化と技術革新

4. 1. 通信プロトコルの技術革新と統一

(1) ネットワークの進化と通信プロトコルの統一

専用回線で接続した通信ネットワークは、汎用機（Mainframe Computer）の全盛時代から組織内（企業内）あるいは本支部間（本支店間）で利用されていた。しかしそれは汎用機と中継機および端末とを繋ぐ局所的ネットワークに留まっていた。1950年代にはバッチ処理型のメインフレームが登場したが、各端末からくる処理命令を1つずつ順番に処理した。1960年代には時分割システム（Time Sharing System）が開発され、複数端末からの処理命令を同時に処理できるようになった。こうした時代のネットワーク・アーキテクチャーは、1つの汎用機をホスト・コンピューターとしてそれに複数の端末を接続させるスター型であった。1970年代には大きなジョブを、相互接続した複数のコンピューターに分けて処理させる分散処理システムが登場した。ネットワーク・アーキテクチャーはスター型からバス型へと移っていった。また1980年代以降はコンピューターや周辺機器などをネ

ットワークで接続して利用する意義が認められて、分散処理システムからコンピューター・ネットワークの考え方が生まれ、さらにはそうしたネットワーク同士を接続するインターネットや通信プロトコルが発展した。

(2) TCP/IP

さまざまな種類のネットワーク同士が統合的に通信可能となるためには、通信プロトコルの統一が不可欠である。現在インターネットの標準的な通信プロトコルとなっている TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol) は、1969 年に創設された米国防総省の ARPAnet (Advanced Research Project Agency Network; 先端研究計画局ネットワーク) で開発され、世界で最初の packets 交換方式を採用した。メインフレームをホストとする集中型ネットワークでは、ホストが故障した場合には全ての機能が停止するが、一部が被害を受けても全体のシステムへの影響を最小限に食い止め、非常時でもシステムの安定稼働を確保する目的で、コンピューターを分散配置し、それらをネットワーク網で接続しようとした。

TCP は packets 化したデータの伝送エラーをチェックし、IP はデータの伝送情報を管理するプロトコルであり、それぞれ OSI (Open Systems Interconnection; 開放型システム間相互接続) の第 4 層 (トランスポート層) と第 3 層 (ネットワーク層) に対応する⁽⁹⁾。TCP/IP を用いたネットワーク上で個々のコンピューターを識別する 32bit の識別子が IP アドレスである。インターネットに接続されたコンピューターは全て異なる IP アドレスをもたなければならない、アメリカの NIC (Network Information Center) が世界的に一元管理している。日本では JPNIC が割り当て業務を行っている。また TCP/IP を用いたネットワーク上で個々のユーザーを識別する識別子がメール・アドレスである。こうした識別子によって、インターネット上では世界中で唯一つの番地に間違いなく送信したりアクセスできるのである。32bit で表現できる IP アドレスは約 43 億であるが、インターネットの急速な発展でもう限界に近づきつつある。そこで次世代 IP アドレスとして検討されているのが IP version6 であり、128bit に増やすことにより IP アドレスは約 340 兆にもなる。

(3) その他の通信プロトコル

さてゼロックス社と DEC 社が開発した Ethernet や IBM 社が開発した Token Ring は、OSI の第 1 層 (物理層) と第 2 層 (データリンク層) とに相当する通信プロトコルである。その他電話のダイヤルアップ・プロトコルとしては PPP (Point to Point Protocol)、アプリケーション・プロトコルとしてはリモート・ログインのための telnet、ファイル転送を行う FTP (File Transfer Protocol)、UNIX 機間で一定時間にファイル・コピーを行う UUCP (UNIX to UNIX Copy Program)、単純メール転送の SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)、サーバーからクライアントへメールを取り出す POP (Post Office Protocol)、マルチメディア・メールの転送もできる MIME (Multi purpose Internet Mail Extensions) などが開発されてきた。こうして世界共通に使える通信プロトコルの統一が行われ、インターネット発展の基盤が築かれたのである。

4. 2. ネットワークの整備と技術革新

(1) インターネットの発展

メインフレームの時代からメタル同軸ケーブルの局所的な通信回線ネットワークは使われていた。1976年にEthernetが開発され、同軸ケーブルやツイストペア・ケーブルを用いた高速で安価な通信回線が提供されるようになったこともあって、分散処理型ネットワークやコンピューター・ネットワークが発達した。1984年にはアメリカ国防総省は機密保持のため軍事利用はMILNET (Military Network) として分離し、ARPAnetは学術研究専用となった。ARPAnetの利用はその後アメリカ国内のみならず世界中の学術研究者の間に次第に広がっていき、ネットワークとネットワークを接続するインターネットとして育っていった。1990年にはNFS (National Science Foundation ; 全米科学財団) が学術研究用ネットワークとしてNFSnetを構築し、これがARPAnetに代わるインターネットの基幹ネットとなった。日本でも1984年に村井純氏の主導のもとに東京工業大学、慶應義塾大学、東京大学のUNIXコンピューターを接続したJUNET (Japan University Network) が発足し、UUCPなどを用いていた。さらに1988年には同氏を中心に自主的な学術団体としてWIDE (Widely Integrated Distributed Environment) プロジェクトが発足し、本格的なインターネット研究が始まった。

1989年にCERN (ヨーロッパ素粒子物理学研究所) のティモシー・バーナーズ・リーがWWW (World Wide Web) というインターネット上の情報発信ツールを開発し、1993年にはイリノイ大学のマーク・アンドリーセンがWWWのマルチメディア・ブラウザMosaicを開発しNCSA (National Center for Supercomputing Applications) から発表した。これを契機にNSFnetのトラフィックは1年間で150倍となり、インターネット利用の急速な拡大が触発された。また1993年にはクリントン政権によって情報スーパーハイウェイ (高速ネットワーク網) 構想が打ち出され、インターネットの商業利用が認可されて、1995年にはインターネット利用の爆発的増大が起こって、インターネット元年と呼ばれた。(図2)に示されるように、その後も世界のインターネット利用人口は指数的に増加し、1995年の2600万人から2000年には2億7554万人にも膨れ上がった。

(2) アナログ・モデム

ネットワークのインターネット化に伴い、既存の電話回線をアナログで利用するためカプラーやモデムが、またデジタルで利用するためにISDNが開発された。Modem (Modulator Demodulator ; 変復調装置) はアナログ電話回線の信号をコンピューターのデジタル信号へ、またその逆への変換をする装置で、世界中の電話回線網をコンピューター・ネットワーク網に変換するという重要な役割を果たし、インターネットの世界的な普及に大きく貢献した。しかし伝送速度は4.8Kbpsから現在では56Kbpsまで上がったものの、これは4KHz帯の電話回線の上限であり、画像等の大容量情報を伝送するにはまったく不十分である。

(3) ISDN

ISDN (Integrated Services Digital Network ; 統合サービス・デジタル通信網) は、1980 年代の国際電信電話諮問委員会による勧告に基づいて設計され、デジタル伝送により安定した高速通信が確保できる。電話回線の 4KHz 以下の周波数帯域を電話や FAX が使用し、ISDN は数百 KHz の帯域で複数の伝送チャンネルを設定して使うので、同時使用ができる。日本では NTT が 1988 年に、64Kbps の情報伝送用 B チャンネル 2 本と 16Kbps の通信制御用 D チャンネル 1 本で構成される「INS ネット 64」のサービスを開始し、DSU (Digital Service Unit ; デジタル回線接続装置) と TA (Terminal Adapter ; 端末接続装置) とを用いて 64Kbps ~ 128Kbps の伝送速度を実現した。さらに 1989 年には 64Kbps のチャンネルを 24 本束ねた「INS ネット 1500」のサービスが開始され、1.5Mbps までの伝送が可能となった。これにより多地点間テレビ会議システム、PBX (Private Branch Exchange ; 構内交換機ネットワーク)、POS システム、マルチメディア通信、CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacture) のデータ伝送などの用途に大容量の伝送ができるようになった。また NTT は全国の都市に ISDN 公衆電話機を広く設置しつつあり、モバイル・コンピューティングによるビジネス環境を整備している。こうして ISDN の利用は順調に拡大し、(図 3) のように、日本の ISDN 通信時間は 1992 年の 483 万時間から 1998 年には 3 億 3428 万時間にも約 70 倍に増大した。

現在の N-ISDN (Narrowband ISDN ; 狭帯域 ISDN) に対して、次世代は B-ISDN (Broadband ISDN ; 広帯域 ISDN) が計画されており、ブロードバンド化が実現すれば 150Mbps ~ 600Mbps という超高速伝送が可能になる。

(4) ADSL

ただしそれまでの繋ぎとして、既存のツイストペアの電話回線をそのまま使って高速通信を可能にするのが、1989 年にアメリカのベルコア社が開発した xDSL (Digital Subscriber Line ; デジタル加入者回線) の技術である。x は DSL の技術タイプを示す。これには 4 つの技術タイプがあるが、最も高速な下り伝送が可能なのが ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line ; 非対称デジタル加入者回線) であり、伝送速度は下りが最大で約 10Mbps、上りが最大で 640Kbps と非対称的である。電話線の 4KHz 以下の周波数帯域を電話や FAX が使い、数百 KHz の帯域を ADSL が使うので、同時使用ができる。アメリカでは地域電話会社が ADSL サービスを提供し、2000 年には利用者は 200 万人に達したとみられる。日本では下り 1.5Mbps、上り 512Kbps で民間企業が初めにサービスを開始し、遅れて NTT が 2001 年から開始している。ただし ADSL が使う周波数帯域は ISDN と重なるため、ケーブル内で両回線が接近していると干渉を起こすので、サービス可能な地域は限定される。

(5) FWA

ADSL と並んでブロードバンド化までの繋ぎとして注目されているのが、FWA (Fixed Wireless Access ; 加入者系無線アクセス) である。基幹ネットに接続した基地局からパラボ

ラ・アンテナなどにより、各家庭や企業へ無線電波を発信する。家庭や企業は受信用のアンテナを設置して受信する。最大で 156Mbps の高速通信が可能である。FWA は有線より設備投資が比較的少額ですみ、電話会社に市内回線使用料を支払わなくてもよいので、低価格で通信サービスを提供できる。アメリカでは 2000 年 8 月にワールドコム社が固定無線事業者免許を連邦通信委員会に申請し、通信サービスを始めた。日本でも 20 社以上が無線局の免許を郵政省に申請し、サービスを開始しつつある。

(6) CATV

日本では中継系基幹ネットでは光ケーブル化が進む反面で、加入者系ではモデムや ISDN の利用が多くてボトルネックになっているのに対して、アメリカでは CATV (Cable TV ; 有線テレビ放送) の世帯普及率が 70 % にも達しており、そのケーブルのインターネット常時接続利用がかなり進んでいる⁽¹⁰⁾。CATV のネットワークは、メタル同軸ケーブルを使用していたが、近年では中継系はもちろん加入者系でも光ファイバー化が進んでいる。そのため容量当たりの伝送コストは大幅に低下し、料金体系は従量制から定額制への移行が非常に進み、常時接続サービスが増えつつある。地上波、BS、CS の多チャンネル・テレビ放送の他には、インターネット、広域電話サービス、ビデオ・オン・デマンド、教育・在宅医療支援など多くの用途が広がっている。伝送速度は現行同軸ケーブルで 30Mbps まで可能であるが、現在の実効速度は 1Mbps ~ 10Mbps 程度までかなり幅がある。インターネット・インフラとしては、ISDN より大容量で高速である。2001 年現在東急ケーブルテレビジョン等では、最大 14Mbps のインターネット接続サービスを提供している。

日本でも CATV 高度化のために、中継系では 2000 年頃には 450MHz 同軸型施設を、2005 年頃には 770MHz 光・同軸ハイブリッド型施設を構築し、一般加入者系では 2000 年頃には伝送速度を 6Mbps、2010 年頃には最大 150Mbps にまで、また企業加入者系では 2000 年頃には伝送速度を 150Mbps、2010 年頃には最大 600Mbps にまで上げる計画が検討されてきた。しかし CATV の世帯普及率は約 20 % と低いので、巨額の設備投資を行うにはかなりの時間を要する。

(7) Ether と光ファイバー

Ether ケーブル (10Mbps ~ 100Mbps) は組織内 (企業内) の LAN (Local Area Network) で積極的に利用されているが、中継系のみならず加入者系の基幹網では光ファイバー化が進められている。光ファイバー (Optical Fiber) は石英ガラスやプラスチックなど透明度の高い誘導体にゲルマニウムやフッ素を加えて作った細い繊維で、光を低損失で伝搬させることにより、100Mbps ~ 1Gbps の超高速伝送を可能にする。アメリカでは 1993 年にクリントン政権のゴア副大統領が NII (National Information Infrastructure ; 全米情報基盤) 計画を打ち出し、光ファイバーを中心に CATV や衛星通信などを組み合わせて情報スーパーハイウェイを構築しようとした。それを受け情報通信関連の民間 13 社が NII 計画に積極的に協力して、設備投資を活発に行ってきた。その後アメリカ政府はインターネットそれ自体を情報インフラとして位置づけ、1998 年には次世代インターネット計画 (Next Generation Internet

Initiative ; NGI2) を打ち出し、大学連合プロジェクト Internet2 と連携して、既存ネットワークの 100 倍～ 1000 倍の高速伝送を実現しようとしている⁽¹¹⁾。

(8) FTTH

日本でも郵政省を中心として 2010 年までに FTTH (fiber to the home) 計画を実現する案を打ち出したが、インターネットの急速な発展に合わせて計画を 2005 年までに前倒しした。その結果中継系の基幹ネットでは、2000 年 4 月現在で 10 万人以上の都市中心部における光ファイバー化率は、東日本で 79 %、西日本で 87 %に達した。光ファイバー化率は、この部分では日本はアメリカを凌駕したが、基幹ネットから各家庭や企業への加入者系ネットではほとんど進んでおらず、非常に低速なボトルネックとなっている。FTTH を完全に実現するには、基幹ネットから各家庭や企業までの光ファイバー化をしなければならず、巨額の設備投資が必要となる。NTT は 2005 年までに 10Mbps の接続サービスを月額 1 万円程度で実現することを目標にしていたが、CATV のデジタル化や ADSL の実用化が日程にのぼったため、2000 年秋から 10Mbps の光ファイバーを最大 30 戸の住宅で共有するシェアード・アクセス・サービスを提供し始め、光ファイバー化のテンポを速めている。ADSL、B-ISDN、CATV のデジタル化など高速通信の技術は錯綜的に展開しているが、やはり本命は FTTH であり、これが完全に実現すればその他の通信ネットワーク技術はほとんど吸収される可能性がある。

2001 年現在有線ブロードネットワークス等では、100Mbps の FTTH によるインターネット接続サービスを開始した。

(9) ネットワーク・アーキテクチャーの進化と ATM

近年ではネットワーク・アーキテクチャーないしネットワーク・トポロジーの発達も著しい。コンピューターの集中型処理が全盛の頃はスター型であったものが、分散型処理に移行し始めてからはバス型に移ってきた。しかし通信スイッチの発達に伴って再びスター型のトポロジーが優勢になっている。Ether スイッチや ATM スイッチ等を介したスター型ネットワークでは、バス型に比べてパケット・コリジョンが大幅に減少し、伝送速度が高速化する。特に ATM (Asynchronous Transfer Mode ; 非同期転送モード) では、マルチメディア情報を、48byte の情報ブロックと 5byte のラベル情報とからなる 53byte のセルに分割する点ではパケット方式と似ているが、プロトコルを TCP/IP より単純化することによって伝送速度を超高速化できる。日本では NTT が 1995 年に 6Mbps のセル・リレー・サービスを開始したが、現在ではギガビット・スイッチの出現により 1Gbps の超高速伝送が可能になっている。

4. 3. インターネット・ソフトの技術革新とコンテンツの増大

(1) 電子メール

インターネットの発展は単にハード的な技術革新だけではなく、ソフトウェアの技術進歩と情報コンテンツの充実によっても支えられている。

電子メール (Electronic Mail ; Eメール) は、コンピューター・ネットワークを通じて特定の個人あるいは諸個人の間で信書等の情報を交換し合うシステムであり、特定の諸個人をグループ登録してその参加者全員でメール交換をするシステムがメーリング・リスト (Mailing List) である。これに対して電子掲示板システム (BBS ; Bulletin Board System) は、不特定ないしは特定の諸個人の間で情報交換をする掲示板を、コンピューター・ネットワーク上で実現する仕組みであり、会員を特定しない場合と特定する場合がある。Eメールや BBS はともに、汎用機の局所的ネットワークの時代にも使われていたが、交信相手が局所的に限定されていたために、余り普及はしなかった。しかしインターネットによって世界中のネットワークが接続されると、その利便性は飛躍的に増大し、インターネットの最も普及した利用法となった。ただし当初は UNIX 機でしか利用できず、vi や Mule、Emacs などのエディターで文書を編集して、mh-E などのメール・ソフトで送受信をしていた。メール通信プロトコルは UUCP を用いて一定時間毎にメール送信をしていたが、SMTP の導入により随時送信が可能となった。さらには MIME の開発により、音声や画像などのマルチメディア情報の送受信が可能となった。1994 年には Netscape が開発され、PC 用のメールソフトや PPP ドライバーが続々と登場するに及び、PC クライアントから手軽に電子メールが使えるようになり、爆発的に普及した。

(2) WWW、HTML、ブラウザ

インターネット用のツリー型階層構造の情報発信ツールとしては、ミネソタ大学で開発された Gopher があり、クライアント・サーバー・システムで動作する。情報は Gopher サーバーの管理下に置かれ、主として文字情報を検索するのに使う。これに対して 1989 年に CERN で開発された WWW は、文字だけでなく画像などマルチメディア情報を発信できるため、Gopher よりも強力である。WWW では HTML (Hyper Text Markup Language) という言語で文字・音声・画像などマルチメディア情報を記述し、HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) という通信プロトコルを用いて、インターネット上の住所名を表す URL (Uniform Resource Locator) から送信をする。ページ順に本を読むのではなく、インターネット上の関連ある URL に直接飛んでいくことをハイパーリンクといい、ハイパーリンクされたテキスト情報をハイパーテキスト、ハイパーリンクされたマルチメディア情報をハイパーメディアと呼ぶ。ハイパーリンクの考え方そのものはインターネットの歴史より古く、1965 年にアメリカのテッド・ネルソンが創案した。

HTML はホームページを記述・表現する言語であるが、ホームページ上のデータを処理できない欠点をもつ。そこでそのデータを処理しやすいように定義し、集計や検索を実行できるように拡張した言語が、1986 年に ISO が制定した SGML (Standard Generalized Markup Language) である。しかしそれは煩雑すぎて実用性がないため、それを簡略にしたのが XML (Extensible Markup Language) であり、今後企業などのホームページで利用が進むと見られる。

WWW のブラウザとしては、1993 年に NCSA から Mosaic が公開され、前述の通りこれ

を契機に NSFnet のトラフィック利用は 1 年間で 150 倍にも急増した。翌 1994 年にはさらに性能が優れた Netscape がマーク・アンドリーセンによって開発され、また 1995 年には MS-Windows95 とともに Internet Explorer がリリースされて、WWW の利用は世界的に激増し、情報コンテンツの蓄積と充実が進んだ。コンテンツの蓄積はインターネット先進国アメリカで最も著しく、WWW やメール等のサーバー数では、(図 4) で示されるように、アメリカが実に世界の 4 分の 3 を占めている。

膨大な量の WWW コンテンツを検索するために、検索エンジン (Search Engine) が開発され、当初はカテゴリー型 (インデックス型) が主流であったが、最近ではハイパーリンクを辿ることにより URL 情報を自動収集するロボット型が開発されている。ヤフー社の Yahoo は前者であり、NTT-ME 社の goo は後者であるが、両者を提供するインフォシーク社の Infoseek もある。

(3) FTP

ファイル転送に使うプロトコルは FTP であるが、世界中に分散してある FTP サーバーの URL を探して必要なファイルをダウンロードすることができる。サーバーにファイルを載せるアップロード、そこからファイルの複製を取り出すダウンロードの双方に対して、FTP を用いる。ユーザー ID とパスワードの認証を必要とする FTP サーバーの他に、それを必要とせず不特定多数に対してフリーに公開されている anonymous FTP がある。ファイル検索のためにさまざまな FTP サーバーからファイルリストを収集した Archie サーバーが開発され、Archie クライアント・ソフトを使って検索できる。FTP ソフトはフリーウェアでもシェアウェアでも数多くある。

(4) ネットニュース

インターネット上の BBS はオープンな NetNews として発展してきた。特定のテーマに関して、ディスカッションを含むさまざまな情報を電子掲示板に公開し、他人の情報を読んだり、自分の意見を投稿したりする。メーリング・リストと違って自分のメールアドレスに情報が配達されないので、ニュース・サーバーに自分でアクセスして情報交換をしなければならない。日本語が使えるネットニュースでは、JUNET を母胎としてできた fj (from Japan) が著名であり、パソコン通信の BBS とは違った文化を形成している。ネットニュースを読むソフトはフリーウェアでもシェアウェアでもたくさんあり、Netscape のような WWW ブラウザーを使っても読める。

4. 4. モバイル通信の技術革新

(1) モバイル通信の進化

船舶や航空機の通信手段としては従来から無線を使った移動体通信 (mobile telecommunication) が用いられており、近年では基地局との無線通信の代わりにインマルサ

ット（国際海事衛星機構）の衛星を用いた衛星通信が主流となりつつある。こうした移動体通信の技術は、高度情報化社会における新しい通信手段としても活用されつつある。陸上の移動体通信には、携帯電話（Mobile Telephone）・自動車電話、個人携帯電話（PHS；Personal Handy Phone System）、ポケットベルなどがある。これらは、無線通信を用いた双方向の移動電話システムであり⁽¹⁾⁽²⁾、最初はセルラー方式のアナログ携帯電話が1978年にシカゴで導入された。これはセルラー電話（Cellular Phone）とも呼ばれ、広い地域を細胞（cell）状に細かく分割し、各セル（ゾーンともいう）で各セルラー電話会社が異なる無線周波数の基地局（cell station）を設置し、セルからセルへ移動する利用者の通話をコンピューターによって切り替えて継続させる。日本では郵政省が電話会社を免許制とし、電波干渉を起こさないように異なる周波数帯を割り当ててきた。第1世代はアナログ方式であったが、第2世代からはPDC、PHS、cdmaOne、GSMなどのデジタル方式になり、第3世代は高性能な次世代IMT2000方式となる。

（2）携帯電話

最初はアナログ方式であった携帯電話は、日本ではデジタル方式のPDC（Personal Digital Cellular）として標準化され、1997年からNTTドコモによりサービスが開始された。アメリカではcdmaOne（Code Division Multiple Access One）方式、欧州ではGSM（Global System for Mobile Communications）方式が主流である。セルの半径は1.5～2.4kmと大きく、周波数帯は800MHz帯（アナログ波とデジタル波）や1.5GHz帯（デジタル波）を使っているが、帯域が狭いので音質は良くない。出力は0.6～5Wと大きく、ゾーンも大きいので、比較的広範囲で利用できるが、伝送速度が9.6Kbpsと遅いので、テキスト・データ通信以外のデジタル・データ通信にはあまり強くない。

そこで国際電気通信連合（ITU；International Telecommunications Union）では、世界中で共通に使えるように規格統一をし、2GHzの周波数を用い、車速で144Kbps、歩行速度で384Kbps、屋内で2Mbpsの高速データ通信ができる次世代携帯電話IMT2000（International Mobile Telecommunications 2000）の規格化をした。しかし実際には規格は有力2方式を含む5方式が認可された。NTTドコモ、J-フォン、欧州の電話会社はW-CDMA方式を共同提案し、ドコモはオンライン・サービスのiモードを発展させて、高速インターネット接続、音楽や映像の配信、テレビ電話などのマルチメディア・サービスを、2001年5月から開始する予定である。J-フォンはJ-スカイウェブを発展させたサービスを2001年9月から行う予定である。これに対してKDDI（KDD、DDI、IDOの合併会社）とアメリカの電話会社はcdma2000方式を採用し、KDDIは2001年末からEZアクセスを発展させたサービスを提供する予定である。

（3）個人携帯電話（PHS）

これに対して1995年に実用化された個人携帯電話（PHS；Personal Handy Phone System）は、日本独自の移動電話方式であり、セルの半径を200～300mと小さくすることで基地局設置コストを引き下げ、低価格化に成功した。周波数帯は1.9GHz帯を使い帯域が広い

ので、音質がよい。高周波数のため電波が届く範囲が狭く、出力が 10mW と微弱なので、広い範囲では利用しにくい、屋内や地下街にも基地局を容易に設置できるので利用しやすい。伝送速度は 32Kbps、1999 年からは 64Kbps と ISDN 並に速いので、モバイル・コンピューティングのデータ伝送に向いている。これに VPN (Virtual Private Network ; 仮想内線網) の機能を付加して、屋外や市街地での無線 LAN としても活用されている。ゾーンが小さく低出力で電話が繋がりにくいため、97 年 9 月以降は加入者数が減少していたが、通信速度を倍増した 1999 年以降はやや復活傾向にある。また電話には携帯電話を、データ通信には PHS をと使い分けるユーザーもある。

次世代携帯電話に対応して、PHS の欠点を改善した次世代 PHS 計画を NTT など関係の 20 社が開始し、2002 年の実用化を目指している。伝送速度を次世代携帯電話の屋内使用時の 15 倍に当たる 30Mbps にまで引き上げ、電話を繋がりやすく、切れにくくするように、規格のパワーアップを図ることを目標にするが、低コストと高性能をどう両立させるかが難しいところである。

(4) 携帯情報端末 (PDA)

その他に携帯情報端末 (PDA ; Personal Digital Assistants) の利用が近年では盛んになっている。1992 年にアップル社が提唱した携帯用の情報機器の総称で、製品としてはアップル社の Newton、Palm Computing 社の Palm、シャープのザウルスなどがある。手のひらに収まる大きさであることから、パームトップとも呼ばれる。ノートブックパソコン並の機能を搭載するものもあり、外部接続端子と携帯電話等を繋げばどこでもモバイル・コンピューティングができる。

次世代 PDA として MIT、NTT、ヒューレット・パッカー、ノキア、フィリップス、エイサー、米国防総省等の共同開発により、音声入力方式、携帯電話・ポケベル・メール端末・テレビ電話等の多機能化、OS に Linux を採用などの規格をもつオキシジェン計画 (Oxygen Project) を推進している。これは、日常生活で酸素のように不可欠の機能を搭載し、誰でも手軽に使えることを目標としている。

(5) SOHO と SOMO

モバイル通信手段は近年急速に利用が大衆化しており、(図 5) で示されるように、形態・自動車電話の契約数で見ると 1992 年の 171 万件から 1999 年には 5114 万件へと実に 30 倍にも急膨張している。こうしたモバイル通信の技術革新と大衆的な普及は、コンピューターのノートブック化、ポケット化と結びついて、モバイル・コンピューティングを可能にし、全国いたる所に移動しながらビジネスができるという新しい形態を発展させている。通信技術の発達は、必ずしもいつも本社に出勤しなくても、サテライト・オフィスや自宅オフィスでの仕事を可能にし、SOHO (Small Office Home Office) という新しいビジネス形態を生んだが、モバイル通信の発達はさらに SOHO をモバイル化し、出張先のホテル、車、電車、飛行機でさえオフィスにする SOMO (Small Office Mobile Office) を生みだしている。

5. AV 機器・放送の技術革新

あらゆる情報を 2 進法の 0 と 1 の信号に分解して処理するコンピューターの（バイナリー・）デジタル技術は、非常に多くの分野の電子技術に応用されてきた。上で見てきたコンピューター、通信ネットワーク、モバイル通信などの他に、日常生活で使う AV 機器や放送機器等の家庭電気製品でもデジタル化が急速に進んでおり、こうしたデジタル技術が経済や社会に広く深く応用されて、経済・社会を大きく変えようとしているのである。「IT 革命」の工学的根幹は、まさに「デジタル革命」であるといえる。

5. 1. AV 機器のデジタル化と技術革新

(1) CD

音声データのデジタル処理は、50 年代からそれ専用の MPU を搭載したシンセサイザーなどを使って行われ、電子音楽というジャンルを作り出した。記録媒体としては 1980 年にソニーとフィリップスが光学的メディアである直径 12cm の CD (Compact Disk) を開発し、翌 1981 年に業界団体のデジタル・オーディオ・ディスク懇談会がそれを音楽用記録媒体として使うために、CD-DA (Compact Disk - Digital Audio ; 通称は Red ブック) という規格をとりまとめた。データ容量は約 600MB である。この CD-DA が音楽用データのデジタル記録媒体として主流となったが、一般に CD と呼ばれている。80 年代半ばに低価格の CD プレーヤーが市販されるに及んで急速に一般に普及し、レコードから CD への転換が進んだ。デジタルの CD は、アナログのレコードと違って雑音が入らない高い音質を何時までも再生可能であり、しかも一般個人による CD への録音が不可能であったため著作権の心配をせずに、非常な短期間にしかもほぼ全面的な移行が行われた。

(2) CD-ROM、CD-R、CD-RW

1984 年にソニーとフィリップスは CD をコンピューターのデジタル・データ記録媒体として使うために、CD-ROM (Compact Disk - Read Only Memory ; 通称は Yellow ブック) という規格を定めた。容量は約 650MB である。これは一般個人による複製が不可能であったので著作権保護のためには都合が良く、PC や WS などのコンピューター、家庭用テレビゲーム機のソフト記録媒体として急速に普及し、フロッピーディスクなどに代わって標準的メディアとなった。

また録音も複製も可能な媒体として、1 回だけ書き込み可能な CD-R (CD Recordable) や複数回書き込み可能な CD-RW (CD Rewritable) が登場し、それぞれのドライブ装置も低価格で販売されるようになった。

(3) MD

ソニーは CD を小型化した直径 6.4cm の MD (Mini Disk) を 1991 年に開発し、1992 年に

は MD プレーヤーも発売した。データ容量は 140MB、音声記録時間は最大で 74 分であるが、小型のデジタル音声再生・録音装置として高音質、コンパクト、操作簡単、音質が劣化しないなどの特徴を持つので、アナログのカセット・テープレコーダーに急速に取って代わりつつある。

(4) DVD

DVD (Digital Versatile Disk) は CD と同じ形状の光学的メディアに CD より遙かに大きな容量のデータを記録できる。ソニー・フィリップス陣営のマルチメディア CD 規格と東芝・松下など日米 7 社のスーパー・デンシティ規格とが 1995 年に統一されて、DVD という規格になった。ビデオ再生専用の DVD-Video、オーディオ再生専用の DVD-Audio、読み出し専用の DVD-ROM、1 回だけ書き込み可能な DVD-R、複数回書き込み可能な DVD-RW など 5 つの規格があり、今まで実現したのは DVD-Video と DVD-ROM の 2 種類である。記憶容量は 1 層片面ディスクが 4.7GB、2 層片面ディスクが 8.5GB であり、両面ディスクはこれらの倍である。アナログ・ビデオテープより高画質・高音質であるので、ビデオ作品販売のシェアは増えつつある。DVD-RW の出荷が始まれば録画・編集用ビデオとしてもアナログに取って代わる可能性がある。

(5) デジタル・カメラ

カメラでもアナログの光学式からデジタルの電子式への移行が進んでいる。光学式では画像をレンズを通して光に反応するフィルムに結像させ、化学変化として記録するが、電子式ではレンズを通した画像を CCD (Charge Coupled Device ; 電荷結合素子) という受光素子に結像させ、電気信号として記録する。CCD は多数のセル (単位素子) ごとに金属、酸化物、半導体 (MOS ; Metal Oxide Semiconductor) の 3 層構造をした集積回路で、表面に電極を接続し、光量に応じて変化する電荷量を電気信号として記録する。セルが画素に相当し、画素数が多いほど解像度は高くなる。CCD は今日ではデジタル・カメラ、デジタル・ビデオ・カメラ、イメージ・スキャナ、複写機、ファクシミリなど多くの電子的なデジタル画像処理機器に用いられており、その技術的影響力は大きい。1970 年代末に製造された初期の製品では 15 万画素程度で粗かったが、現在では普及機で 100 万画素、上級機では 400 万画素を越えており、非常に高画質である。CCD を最初にデジタル・カメラに搭載したのはソニーであり、1988 年のことであった。記録媒体は最初フロッピー・ディスクが用いられたが、現在ではフラッシュ・メモリー等の専用カード、または内蔵メモリーが主流である。デジタル記録された画像は、PC など他のデジタル機器で編集したり印刷したりできるので、デジタル・カメラはアナログ・カメラより多用途に使える利便性があり、急速にシェアを伸ばしている。

(6) デジタル・ビデオ・カメラ

ビデオ・カメラではアナログ光学式からデジタル電子式へ急速に移行しており、新製品

販売では移行がほぼ完了した。業務用ビデオ・カメラではさらに早くデジタルへの移行が進んでおり、ビデオ・デッキでは高度な圧縮技術やハードディスクを用いて高品質な編集作業がされている。ビデオ・カメラの記録媒体は DV (Digital Video) フォーマットの磁気テープであり、DV カセット・テープと miniDV カセット・テープがある。

5. 2. 放送のデジタル化と技術革新

従来のテレビ放送は地上波、CATV (ケーブル・テレビ)、BS (Broadcasting Satellite ; 放送衛星)、CS (Communication Satellite ; 通信衛星) とともにアナログ放送であったが、1990 年代末になってデジタル放送が開始されつつある。CATV が発達した多チャンネル先進国アメリカでは、1998 年 11 月から先ず地上波でデジタル放送が開始された。

(1) CS 放送と BS 放送のデジタル化

日本では 1996 年 10 月に最初に PerfecTV が、次いで 1997 年 12 月にはディレク TV がデジタル CS 放送を開始し、デジタル放送時代の幕開けとなった。その後 PerfecTV はスカイ B を合併し、1998 年 5 月からスカイパーフェク TV として再出発した。(図 6) で示されるように、デジタル CS 放送の契約件数は急増している。放送用アンテナとしては通信衛星を用い、スカイパーフェク TV では JCSAT-3 と JCSAT-4 を、ディレク TV ではスーパーバード C を利用している。この 2 社で現在 300 チャンネルに達する番組が提供され、アナログ CATV を越える多チャンネルを実現している。

2000 年 12 月からは NHK、BS 日テレ、BS 朝日、BS-i、BS ジャパン、BS フジ、WOWOW の 7 チャンネルで BS デジタル TV 放送が開始され、同時に 23 チャンネルのデジタル・ラジオ放送、およびニュース・スポーツ・天気などのデータ放送も開始された。放送用アンテナとしては放送衛星を用いる。

(2) デジタル TV 放送の特徴

デジタル TV 放送には日本の ISDB-T 方式、米国の ATSC 方式、欧州の DVB-T 方式があり、いずれも MPEG2 の圧縮デジタル信号で放送する。その特徴としては、デジタル・ハイビジョン、多チャンネル化、データ放送、双方向通信等が挙げられる。デジタル・ハイビジョン (High Definition Television ; HDTV ; 高精細度テレビ) により高画質・高音質の放送が可能となり、プリンターを接続して出力するとデジタル写真が印刷される。自動車で高速移動中でも高品質の画面が見られる。アナログ 1 チャンネルの周波数でデジタルは 4 ~ 8 チャンネルとれるので、多チャンネル化によりチャンネル数は 500 ~ 1000 にも増える可能性があり、ニュース、スポーツ、ドキュメンタリー、映画など各ジャンル専門のコンテンツをもつチャンネルも増えつつある。データ放送と双方向通信は、電話など通信回線と結んで実現される機能である。データ放送により必要なデータを必要な時に取り出せるようになり、TV がデータバンク機能をもつことになる。データ放送は EPG (Electronic Program Guide ; 電子番組ガイド) も提供するので、キーワード入力により見たい番組の検索もで

きるようになる。新聞購読契約により、TV画面上で新聞が読め、プリンター出力もできるような電子新聞サービスが将来は期待される。双方向通信により、TVショッピングを見ながら商品の注文をすることができるようになり、クイズ番組への視聴者参加も可能となる。デジタル放送は放送と通信を複合ないし融合する可能性をもっている。データ放送と双方向通信は、通信回線と放送とを結合して実現され、両者を媒介する役割を果たすといえる⁽¹³⁾。

(3) CATVのデジタル化

放送と通信の複合や融合にさらに強く影響するのはCATVである。CATVは現在のところアナログ放送であるが、アメリカでは全世帯の70%近くに、日本では全世帯の20%程に普及し、多チャンネル放送だけでなくインターネットの重要な通信インフラとして機能している。CATVのメタル同軸ケーブルはTCP/IP接続で最大30Mbpsの伝送速度を実現でき、光ケーブルと並んでアメリカでは情報スーパーハイウェイの中心的インフラをなしており、大規模データや動画像の大容量伝送とインターネット常時接続を支えている。インターネット先進国アメリカと後発国日本との大きな差の一つは、この通信インフラの差にある。ISDNのブロードバンド（広帯域高速通信）化に照応して、CATVもデジタルのブロードバンド化を目指しており、そのための大規模設備投資が必要とされる。そこでアメリカでは1999年頃からAT&TがCATV事業者を次々と買収し、CATV事業子会社AT&T Broadband and Internet Serviceを設立し、放送事業への進出を積極的に進めている。日本でも2000年には最大手CATVのジュピター・テレコムとタイトラス・コミュニケーションズが事業統合し、富士通、東京電力、セコム、丸紅、トーメンの5社がCATV事業で連携し、またNTTもデータ放送事業への進出を窺っている。巨大通信事業者が放送事業に進出し、放送事業者との間にメガコンペティションが誘発されれば、放送と通信の複合・融合がさらに進むであろう。

注

(1) 電通総研(1997; pp.40-47)によれば、情報化がブームになったことは過去2回あり、1回目は大型コンピューターを中心とする情報システムが導入され、先進産業の効率化と成長が進んだ時期、2回目はコンピューターと通信を融合させる「ニューメディア」ブームで、通信の高度化と効率化が進んだ時期である。しかしこれらと異なり、デジタル技術の発達、パソコンの発達と普及、情報インフラの重層化と拡大、競争によるコスト低下、情報処理に長けた人間の大量出現、情報ネットワークの拡大のために、今回の「情報ビッグバン」は本物になると指摘した。

(2) 「Information Technology」については、Kent-Galvin(1982)、Zorkoczy(1983)などが初期の文献としてあり、「IT」という用語については、Eaton-Smithers(1982)等を参照。Stover(1984)は「I.T.」とピリオドを付けており、またほかに「I/T」とスラッシュを間に入れてitと間違わないように区別した表現もされていた。1980年代半ばから言われた「Information Technology Revolution」については、ほかにCherry(1985)、Forester(1987)なども参照。

(3) アメリカではIT関連投資の統計として、商務省統計の「Information Processing Equipment」

があるが、日本ではこれに相当する統計がないので、土志田・日本経済研究センター(2000 ; pp.54-57)のように、種々の統計から推計して求めるさまざまな工夫がされている。

(4) 井上(1999)は、1939年ヒューレット・パッカー社の設立から始まり現代に至るシリコンバレーの発展を、新興企業群の戦国史として記述している。加藤(1997)は、シリコンバレーをモデルとした情報都市建設をアメリカ、ヨーロッパ、アジア、日本で調査し、新しい次世代情報都市社会を構築するためのヴィジョンやアクション・プランを提言している。

(5) 牧野・石井(1998 ; p.iii)は、情報をビットで処理し伝送する技術こそが「情報革命」を引き起こしているとは指摘している。

(6) ENIACは、1万8千本の真空管、1500個のリレー、6000個のスイッチを使った総重量130トンの電子計算機で、入出力を除いて、すべての記憶・演算・制御装置が電子回路となった。開発の経緯については島戸(1983 ; pp.48-49)を参照。

(7) これらの次世代コンピューターの研究については、石井(2000)、Williams-Clearwater(1998)を参照。

(8) 品川(1986 ; pp.102-114)は、論理思考の中枢である左脳だけでなくイメージ思考の中枢である右脳の研究も踏まえて、コンピューターの設計をする必要性を指摘している。

(9) OSIのプロトコル階層と通信プロトコルとの対応関係については、向仲(2000 ; p.60)を参照

(10) インターネット総合研究所(2000 ; p.157)が指摘するように、日本でも郵政省やNTT、その他民間団体によって日本版NGI計画が検討されてきた。しかし省庁横断的な政府プロジェクトにはまだなっていない。

(11) 森谷(2000 ; pp.27-28)は、企業の情報化では先行するアメリカに対して、日本は遅れて追随するが、家庭の情報化ではアメリカでCATVが発達しているのに対して、日本ではそれと異なる衛星放送、カーナビ、携帯電話などが発達しているのは、国情や生活習慣の違いによると指摘している。

(12) 無線通信でもトランシーバーは一方向方式であるが、携帯電話などは送信と受信の周波数に55MHzの差を設定し、送信と受信が混信せずに同時通信できるように設計してある。そのメカニズムについては、吉岡(1994 ; pp.66-69)を参照。

(13) 日本民間放送連盟研究所(2000 ; p.176)が指摘するように、TV放送はデジタル化で空中の無線から地上のケーブルに主力が移る一方で、通信の主流は地上のケーブルから空中の無線に移るという「ネグロポンテ予想」(Negroponti Switch)がある。しかしFTTHが完成すれば、これをベースに通信と放送の融合が進み、モバイル無線通信はその補完という役割分担をする可能性が高い。

参考文献

石井孝利(2000)『図解 次世代IT』東洋経済新報社

インターネット総合研究所(2000)『インターネットで融合する次世代ネットワーク』

共立出版

井上一馬(1999)『シリコンバレー戦国史』新潮選書

- 加藤敏春 (1997) 『シリコンバレー・ウェーブ』 NTT 出版
- 品川嘉也 (1986) 『全脳コンピュータ JAPAN』 太陽企画出版
- 島戸一臣 (1983) 『コンピューター早わかり百科』 新潮社
- 電通総研 (1997) 『情報ビッグバン 日本の挑戦』 電通
- 土志田征一・日本経済研究センター編 (2000) 『どうなる日本の IT 革命』 日本経済新聞社
- 日本民間放送連盟研究所編 (2000) 『デジタル放送産業の未来』 東洋経済新報社
- 牧野昇・石井威望監修 (2000) 『全予測 情報革命』 ダイヤモンド社
- 向仲景 (2000) 『コンピュータネットワークと Web アプリケーション』 培風館
- 森谷正規 (2000) 『アメリカと違う日本の IT 革命』 毎日新聞社
- 吉岡安之 (1994) 『電子の回廊』 日刊工業新聞
- Cherry, C. (1985) *The Age of Access: Information Technology and Social Revolution*, Croom Helm, London.
- Eaton, J. and Smithers, J. (1982) *This is IT: A Manager's Guide to Information Technology*, Deddington, Oxford.
- Forester, T. (1985) *The Information Technology Revolution*, MIT Press, Cambridge.
- Forester, T. (1987) *High-tech Society: The Story of the Information Technology Revolution*, Blackwell, Oxford. 沢田博訳 (1989) 『情報技術革命』 日本ソフトバンク
- Kent, A. and Galvin, T. J. (1982) *Information Technology*, M. Dekker, New York.
- Stover, W. J. (1984) *Information Technology in the Third World: Can I.T. Lead to Humane National Development?*, Boulder Colo: Weatview Press.
- Williams, C.P., and Clearwater, S.H. (1998) *Explorations in Quantum Computing*, Santa Clara, TELOS.
- 西野哲朗・荒井隆・渡邊昇訳 (2000) 『量子コンピューティング』 シュプリンガー・フェアラーク東京
- Zorkoczy, P. (1983) *Information Technology*, Van Nostrand Reinhold Co., New York.