

2. ■

情報通信技術の歩み —情報処理学会の40周年にあたって—

松下 温 情報処理学会副会長／慶應義塾大学理工学部

■新しい通信インフラの登場

日本の電話サービスは、1890年に始まり、100余年の間に6,000万の加入者を持つにいたっている。アメリカに次ぐ世界第2位の電話機保有国である。1977年には積滞の解消と全国の即時通話が実現した。電話は、遠くにいる人と目の前にいるかの如く話すことができるすばらしい文明の利器である。

明治以降、社会基盤の整備が進行し、個々の家庭に電気、ガス、水道が供給され、その1つがなくても現代の文明生活を営むことができない。阪神大震災で被災した多くの人々のご苦労がしのばれる。江戸時代には、井戸の周りに長屋を建て、共同施設で肩を寄せ合った生活があった。井戸端会議が小さな地域社会を形成し、情報の交換と助け合いの場となった。電気、ガス、水道の社会基盤が整備されるにつれて、井戸端会議という地域社会を犠牲にして文明社会が再構築されていった。

しかし、この文明の利器にもいろいろな問題が露呈してきている。会

社に電話をかけ、「木村部長おいでになりますか」と言うと、多くの場合、「ただいま、木村は出張しており、本日は戻りません」という返事とその部に属する女性の声で返ってくる。「会議中です」あるいは「今、席を離れております」などの場合も多い。「こちら〇〇商事の城戸ですが、お戻りになりましたらお電話ください」というメモを置いて電話をきる。相手から電話がかかってくると、こんどはこちらが離席しており電話がなかなかつながらない。この電話による「鬼ごっこ」により、1～2週間も相手に自分の意志が伝達できないことが多い。平均的ビジネスマンを対象としたとき、電話で相手が居あわせる確率は25%とされている。4回に3回は、部長さんや課長さんの電話を、他の課員が対応しなければならない。仕事の手を休めての、電話の対応が頻発する。これが電話がオフィスにおける生産性低下の元凶といわれるゆえンである。

顧客と重要な話をしているとき、電話に割り込まれる。電話に出てみ

我が国における主な情報通信メディアの世帯普及率10%達成までの所要期間

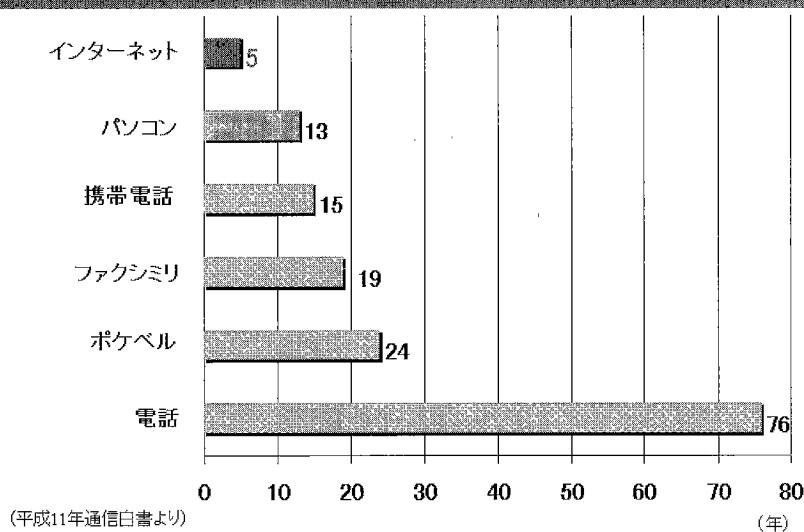


図-1 インターネットの普及

ると、いつでもよいような話だったという経験を多くの人が持っている。主婦が、夕刻、テンブラを揚げているとき、電話が鳴ると、テンブラの火を止めて電話に対応しなければならない。電話に出てみると、隣のおばさんの単なるおしゃべりであったりする。電話のベルを、話の内容と無関係に、最優先で処理する文化を100年の間に我々は身に付けている。なぜ電話のベルを最優先で処理しなくてはならないのか不思議といわざるを得ない。

これらが電話に忍び寄る文明病である。

社会インフラの整備は、通常、国家が計画し、予算化して長期間かけて遂行される形態をとる。電話網も各国が長期間に渡って整備し、国家間の相互接続を話し合って標準化 (ITU) し、地球規模の通信インフラが構築されてきた。しかしながら、国家も主要なキャリアもまったく関与しない民間とボランティアによって推進された、歴史上始めて以来の地球規模の新しい通信インフラ (インターネット) が登場した。国家とはなんであるのかを改めて考え

させるまったく新しい事態に出会った感が深い。

EUによる軍事力によらない通貨の統合と合わせて考えると、21世紀の国家観はまったく新しく変容するように思える。

インターネットの普及がめざましい。1998年末にはアメリカで6,500万人、日本で1,700万人が利用しており、年々利用者が急激な勢いで増大している。アメリカでは1996年に、物理的郵便の数をEメールの数が超え、インターネットを介するサイバービジネスが急速な拡大をみせている。1998年末には株の取引や自動車 (新車) の取引の25~30%がインターネットを介して行われている。ありとあらゆる既成の境界 (州境、商圏、国境) を打ち破っている。ネット取引による価格破壊が起きており、取引体系の簡素化を迫っている。

日本では1993年にインターネット接続プロバイダが登場し、インターネットの商用サービスが始まった。わずか5年で世帯普及率が10% (1999年3月末で11%) を超えた。他の主な情報通信メディア、たとえ

ば電話では、世帯普及率が10%を超えるのに76年を必要とした。爆発的な普及をみせた携帯電話でも、それをクリアするのに15年が必要であった。いかにインターネットの普及の速さが早いかがうかがえる (図-1参照)。VLSIの進展によるパソコンの小型化と高性能化ならびに低価格化とインターネットの普及は深い関係がある。さらに、インターネットはルータと呼ぶ簡易の交換機でネットワークが構成され、通信距離に依存しない料金体系であったこともその普及に拍車をかけた要因である。

■テレコム文化とコンピュータ文化の衝突

電話通信では、発信端末と受信端末の間に物理的回路を形成し、通信終了時まで通信回線が両端末に独占される (回線交換と呼ばれる)。通話する2人の会話がとぎれても2人の間の回線は占有され続け、受話器を置くまで独占される。この回線交換方式は帯域保証型の通信方式で

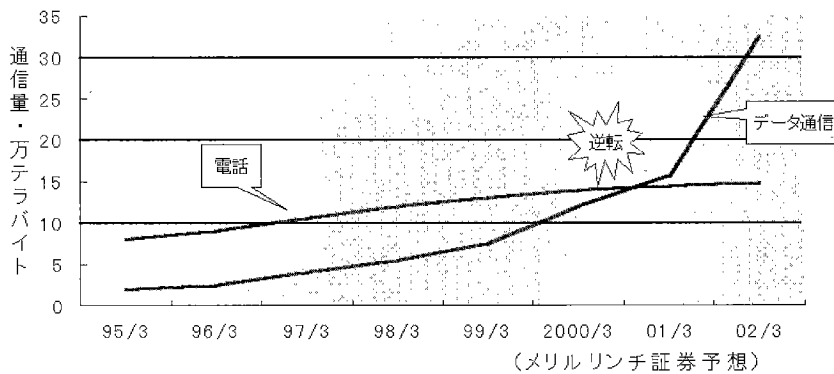


図-2 日本の通信需要の推移

ある。

実際に、電話の通信では、2人の間の占有回線上に信号が流れるのは35%で、65%が使用されていないが無駄に占有されていることになる。

一方、コンピュータ通信では、送りたいメッセージがパケットと呼ぶ適切な単位に分解され、そのパケットごとに独立に転送される(パケット交換と呼ばれる)。パケット交換では、通信する2つの端末に独占する通信回線は存在せず、他の通信呼のパケットと通信回線を共有される。各中継ルータにパケットをいったん蓄積し、ヘッダの宛先により適切な放路へ転送される(store and forwardと呼ぶ)。占有する通信回線が存在しないため、パケットの遅延がトラフィックの変動に影響されるので、パケット交換方式はベストエフォート型の通信方式と呼ばれる。

音声、映像などの情報は周期的に一定量の情報を伝送することが必要なため、きわめてリアルタイム性に厳しいが、誤りに対してはある程度許容される。一方、データ通信では1秒を競うリアルタイム性はないが、1ビットの誤りも許容することはできない。このまったく相反する性質を持つ音声とデータとを同時に扱うことは難しく、それぞれに適した交換方式が採用されてきた。両者

を同時に扱う統合ネットワークの出現を長い間はばんできた。

光デバイスの登場と、光ファイバの高品質化による高速広帯域の通信回線の登場とVLSIの進展により、新しい思考に基づくネットワークの構築が可能となり、その中核的な方式はATM (Asynchronous Transfer Mode) と呼ばれる。ATMの交換方式の特徴は以下になる。

- パケットの蓄積遅延を少なくするために交換する単位(セルと呼ぶ)を小さくする。
- 回線交換のタイムスロットと同様にセルを固定長とするヘッダが一定周期ごとに出現するので、スイッチングを高速化できる。
- バースト的なトラフィックに対して、状況により任意のセルを連続して割り当てられる。
- 光ファイバによる回線上の品質が向上するため、中継交換機間の誤り検出と回復機能を省略し、エンド・ツー・エンドにまかせる網内の処理を単純化する。

一方、アメリカでは新興の通信ベンダが光波長多重WDM (Wavelength Division Multiplexing) と超高速のルータを組み合わせたギガビットのバックボーン (IP over ATM あるいは IP over WDM) 商用サービスが始まっている。

バックボーンの高速化はトラフィ

ックの集中する大都市や国際海底ケーブルにおいてWDMによるところが多い。ファイバ1本の伝送容量が陸上の短距離(数100km)で1Tbps、1万kmの海底でも160Gbpsが実現されており、WDMでは扱える波長数が増大すると21世紀初頭には数Tbps～数10Tbpsが伝送できるようになると予想される。光技術と電子技術をハイブリッドに使用することにより、数Tbpsの能力を持つテラビットルータも複数の新興通信ベンチャが開発完了している。これまでのTCP/IPをベースとするインターネットの通信品質(特にインターネットによる音声通信: VoIP (Voice over IP)) 問題をある程度解決する可能性があることから、IPパケットを基本とする次世代インターネットが新しい世代の公衆網になると期待が集まっている。

アメリカでは多くの次世代インターネットプロジェクトが形成され、活動が活発化している。その1つがInternet2である。Internet2はUCAID (The University Cooperation for Advanced Internet Development) が逐行母体で、多くのキャリアや通信機器ベンダが参加する国際的なプロジェクトである。そのテストベッドとして全米をカバーするUCAIDのAbileneとNSF (National Science Foundation) のvBNS (Very High Speed Backbone Network Service) が構築されている。AbileneはIP over SONET (Synchronous Optical Network, SDHのアメリカ版)で、vBNSはIP over ATM (Asynchronous Transfer Mode) で実現を計画している。SONETは1988年に標準化された伝送多重ハイフキー (SDH: Synchronous Digital Hierarchy) の51.84 Mbpsを基本とする伝送システムである。IPパケットを取り扱うルータをこの伝送システムと直結し、高速低価格化をめざすIP over SONET

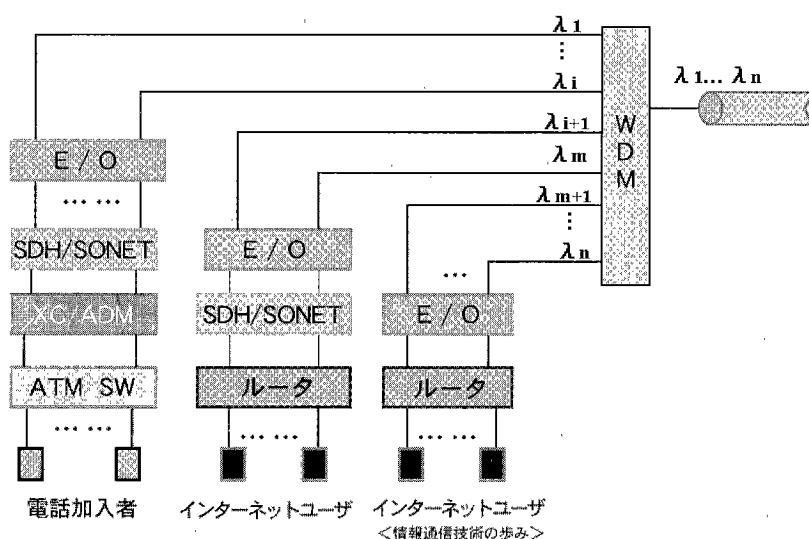


図-3 ルータをWDMに直結する形態

はインターネット構築手法である。一方、ATMは音声からパースト性（普段はデータ量が少ないが時々大量データが発生する）のデータまでを同時に扱えるように工夫した次世代の交換機である。ATMを基本とするネットワークの高速化は主としてキャリアによって推進されてきた。ルータがコンピュータベンダによって開発されてきたのと比較すると、次世代インターネットがテレコム側とコンピュータベンダ側の文化が本格的に衝突する主戦場となる。

もう1つNGI（Next Generation Internet）は現インターネットの100～1000倍のネットワークアプリケーションを開発することを目的にして、DARPA（DOD, Advanced Research Project Agency）、DOE（Department of Energy）、NASA、NIH（National Institutes of Health）、NIST（National Institute of Standards and Technology）、NSFの合同で1997年に作ったプロジェクト。100倍を狙うテストベッドとして、vBNS、DODのDREN（Defence Research and Education Network）、NASAのNREN（NASA Research and Education Network）、DOEのEsnetなどがある。

1000倍のテストベッドとしてSuperNet（DARPAのプロジェクト）があり、地域のWDMテストベッドとそれを相互に結ぶHSCC（High Speed Connectivity Consortium）とからなる。

日本でも1999年春にJGN（Japan Gigabit Network）の5カ年計画がスタートした（郵政省、通信放送機構）。全国45カ所のアクセスポイントを2.4Gbpsの回線で結び（IP over ATMのアーキテクチャ）、全国5カ所の共同利用型研究開発施設を、大学や研究機関に開放している。さらに、日本、カナダ、ヨーロッパ、イスラエルなどの主要な次世代型ネットワークがNSFのSTAR TAPと呼ぶ国際回線で、アメリカの次世代インターネットと相互接続することとなり、国際的な共同研究が活発化している。

このインターネットの高速化研究に2つの流れがある。1つは伝統的なキャリアを中心に進められてきたATM技術と光伝送技術を基盤にインターネットを融合しようというもので、IP over ATMと呼ばれる流れである。もう1つはATMという技術を仲介とすることなく、インターネットを構成するルータと呼ぶ交換



機を光技術の伝送路と連結するIP over WDMという流れである。

■データトラフィックの増大

インターネットの加入者が増大し、デジタル放送が開始され、コンテンツのネット配信が増大するなど、ますます音声トラフィックに比してデータ通信トラフィックが増大すると予想されている（図-2）。21世紀の初頭にデータトラフィックが80%に達するという予測がある。データトラフィックの増大につれ1つのルータが1つの光波長を占有する時期がくる。ルータが1つの波長を占有するので、図-3のATMスイッチや回線をたばねる伝送装置や多重化装置（SDH, XC, ADM）が不要となる。光の波長の通過（バイパス）と落ちを光信号の領域で行うWDMとルータとを直結することが可能となる。

ルータの問題点は着信するパケットを蓄積し、宛先を判断して適切なルートに転送することを基本としていることである。そのために遅延が発生し、何段もルータを中継するとリアルタイム性を保証できないこと、すなわちQoS（Quality of Service）を確保できないことである。ATMを介する通信では中継網の中でまったくルータを介することなく通信することが可能となり、両端でルータを通過するのみとなり（カットスルー通信と呼ぶ）、通信品質を確保できる。これがキャリア側の主な論点である。

最終的には、通信コスト（経済性）と通信品質とから、マーケットがゆくえを決定する。

（平成12年2月24日受付）