

特集 新世代ネットワーク



8

新世代ネットワークによって変わる社会

浅見 徹 東京大学大学院情報理工学系研究科

過去四半世紀のネットワークと発展方向

新世代ネットワークによって社会がどう変わるのか執筆を依頼されたが、なかなかの難題である。しばらく煩悶した末、やはり新世代ネットワークとして何を考えるのかという前提条件なしでいきなり大ジャンプを企てるのは浅学ゆえ難しいと痛感した。それくらい、新世代ネットワークの定義やそれに対する思いは、人それぞれである。このため、まず過去四半世紀に起こったネットワークの動向把握をした上で、次代を考えてみたい。

過去四半世紀が電話網型からインターネットへの移行の歴史であったという点に異論のある人は少ないだろう。1980年代初頭はファクシミリの普及とアナログ電話がサービスとしての完成期にあり、デジタル化を目指してISDN (Integrated Services Digital Network) の研究が佳境に入っていた。公衆電話網は、**図-1**に示すように、電話という機能の制約された端末

と種々のサービスを提供するインテリジェントな電話交換機から構成されていた。端末は、ダイヤリングと音声の入出力のみを機能として持ち、トラフィックの発生と吸収を受け持つのみである。この意味で、ネットワークの構成要素 (通信ノード) は基本的に電話交換機であり、端末は文字通りネットワークの“末端につながるもの”の域を出ていなかった。

公衆電話網のもう1つの特徴は、音声のサンプリング間隔(125 μ秒)を基調として全世界の通信ノードが同期した同期網 (SDH: Synchronous Digital Hierarchy) 上に構築されており、集中制御とアーランB式 (呼量 (単位時間に発生するトラフィック量)), 呼損率 (入力呼量に対する損失呼量の割合) と回線数の相関関係を確率論から求めた理論式) に代表される明確なネットワーク設計理論に支えられていた。このように、公衆電話網は、物理的な通信ケーブルからアプリケーションまでの垂直統合型のサービスであり、電話というアプリケーションに高

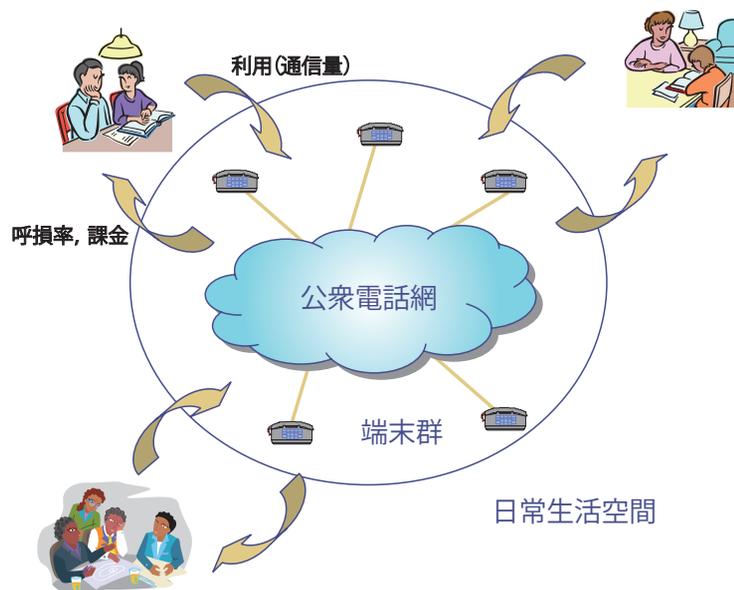


図-1 公衆電話網と社会

度に最適化されたシステムであった。現在、公衆電話網型の通信システムについて、技術の古さを批判する研究者は多い。しかし、通信システムに対する一種の社会モデルもしくは人間行動モデルを持っていたことは、今日のネットワークにない点であり、新世代のネットワークを論ずる際には、大いに参考にすべきところかもしれない。それは、電話による人間の通信活動をポアソン分布と指数分布に基づく行動モデルで捉え、ネットワークと人間社会の間に一種のフィードバック系（利用＝通信量に対し呼損率と課金がフィードバックされる）が構成されていた点にある。このモデルは単純ではあったが、このような人間の社会活動にまで立ち入ったシステムを構築することには、それ以降ついに成功できずにいる。

80年代以降に顕著になったコンピュータ間通信の行き着くところがインターネットであるといえる。ここでは、図-2に示すように、端末（コンピュータ）は、トラフィックの発生・吸収だけでなく、流量調整やアプリケーション・サービスの提供までを担い、交換機（ルータ）以上に重要なネットワーク構成要素を司っている。コンピュータがネットワークを取り込んだとも見えるが、ネットワークから見れば、拡大して端末を飲み込んだとも考えられる。ネットワークは、端末との間でTCP/IPによるフィードバック系を構成しており、各端末は、他の端末と共有する通信パス上のネットワーク資源を最大限まで平等に利用しようと試みる高機能な通信ノードに進化している。このメカニズムゆえ、固定通信料金をベースとする新たな課金体系が生まれたことも記憶に新しい。また、方法も異なっているが、フィードバック対象が人間から端末（機械）に大きく変革されている。

インターネットのもう1つの特徴は、通信ケーブルからアプリケーションまでプロトコルがレイヤに分離され、OSI（Open Systems Interconnection）の各レイヤが、相互独立、かつ思い通りに進化してきたことである。しかも、各レイヤ内では世界全体で分散制御され、非同期で動作し、各要素が落ちても系全体は維持可能である。この意味で、ネットワークが垂直方向にも水平方向にも非常にダイナミックな、柔らかなものに進化したといえる。特に、図-3に示すように、サービスを受けるユーザ端末（クライアント）は、レイヤごとに端末識別子（以下ではサービス終端識別子と呼ぶことにする）を持っているため、レイヤごとに独立した事業者がサービスを提供することが可能である。この結果、第4レイヤ（トランスポート層）を除き、7レイヤすべてで、複数の事業者が活躍するに至っている。いわゆる90年代のドッグ・イヤーズに代表される急速なサービス競争はこの技術的背景から生じた現象である。

一方、通信インフラとしての役割が増すにつれ、初期

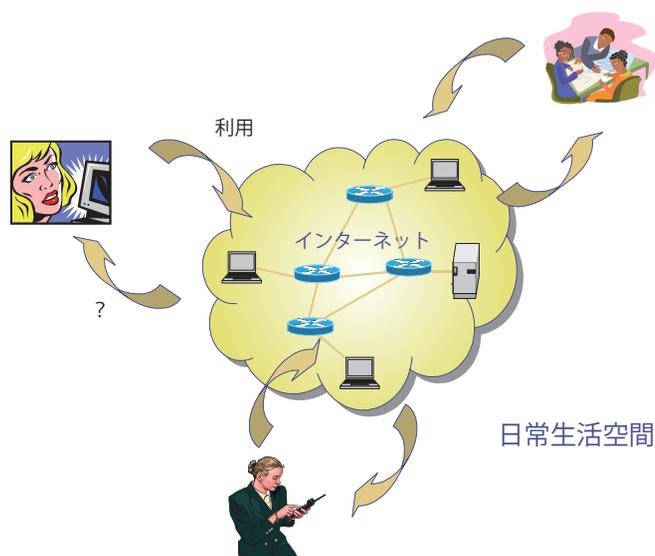


図-2 インターネットと社会

のインターネットにあったアーキテクチャ面での冒険ができなくなってきた。たとえば、ネットワークとアプリケーションとのインタフェースとして有名なソケット・インタフェースに至っては、1983年にUNIX 4.2BSDに登場して以来まったく変更されていない。マニュアルを調べてみれば、四半世紀前と一字一句異なるところが少ないことが分かる。相変わらずStream (SOCK_STREAM), Datagram (SOCK_DGRAM), Raw-protocol interface (SOCK_RAW) のみのサポートであり、当時計画中であったReliably-delivered packet (SOCK_RDM), Sequenced packet (SOCK_SEQPACKET) に至っては、今もって実現していない。これらは、IP電話やIP再送信の普及が見えてきた現在、もっと注目されるべき技術であるにもかかわらずである。先端イメージのあるインターネットの保守的側面を代表しているものといえよう。

🌐 新世代ネットワークの課題

インターネットは、特定のアプリケーションに依存しない統合網である。逆に言えば、利用形態はさまざまであり、利用モデルを作成しにくい。利用モデルはないと言った方が実態に合っている。このため、図-2に示すように通信網から人間の行動に働きかけるフィードバック要素が何なのかは、はなはだ曖昧である。これは、端末間にTCP/IPによるフィードバック系があるのと対照的である。人間の通信活動のモデル化ができないため、ネットワークと人間社会の間のフィードバックは不在である。言い換えれば、インターネットにより実は人間はネットワークから疎外されてしまったのだともいえる。近年のspamメール、DDoS (Distributed Denial of

	Profile	
Application layer	URL(http://www.univ.ac.jp/), Mail box(myid@univ.ac.jp)	ASP
Presentation Layer	SSL 認証鍵	認証サービス (CA, PKI)
Session Layer	FQDN(www.univ.ac.jp),ENUM	DNS Service (VeriSign), IP 電話
Transport Layer	ポート番号	
Network Layer	IPv4, IPv6	ISP
Data Link Layer	MACアドレス (Ethernet, ATM, etc.)	キャリア (ATM, ISDN, etc.)
Physical Layer	RFID, GPS Location, etc.	キャリア/ダークファイバ 事業者

Terminal Identifiers(equivalents) ICT Business

図-3 OSIレイヤごとのベンダ参入とサービス識別子

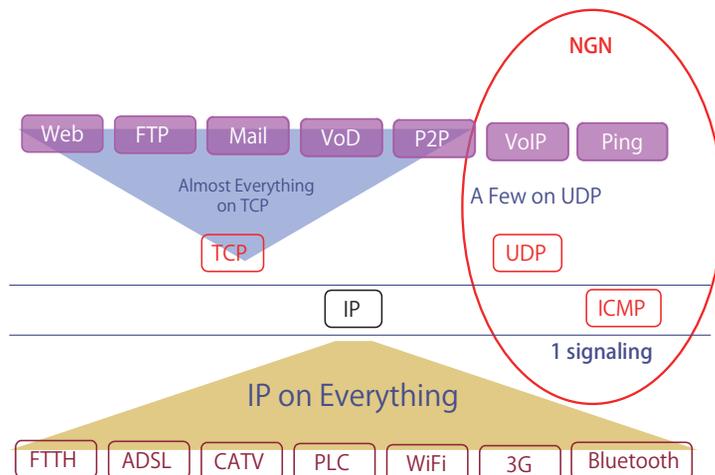


図-4 Almost Everything on TCP

Service), フィッシング等々, 種々のセキュリティ上の問題がクローズアップされるのは, 人間の行動をシステムの枠外に置いてしまった, 人間疎外のアーキテクチャに起因している. インターネットの登場で喪失した, ネットワークと人間社会の間のフィードバック・システムをいかに再構築するかというのは, 情報ハイウェイとも言及される現在の通信システムを研究する者に課された大きな課題である.

“Everything on IP” という人もいるが, 実際のインターネットは図-4に示すように, “Almost Everything on TCP” というのが正しく, UDP系のアプリケーションは, DNS (Domain Name System) や SNMP (Simple Network Management Protocol)等ネットワーク管理系の利用が主

で, アプリケーション・サービス事業者からは過去20年以上に渡って一顧だにされてこなかった. 昨今の地上デジタル放送番組のIP再送信やIP電話の登場でようやく一般利用に活路が開かれたというのが実情である. ただし, UDPトラフィックを用いるには, それなりの制御システムが必要であるが, 図-4のようにインターネットではないも同然である. このため, 公衆電話網のシグナリング体系の考え方を流用するというのが, ITU-T等で進められているNGN (Next Generation Network)のかなり乱暴な概要である. NGNの構想自体は, 以下で示すように, 的を射たものであり, シグナリングの中心にSIP (Session Initiation Protocol. 複数の通信アプリケーション間の関連付け(セッション)を確立・終了するIETF



図-5 携帯電話のパーソナルゲートウェイ化

標準の通信プロトコル) を持ってきたことも、現在考えられる最良の選択である。ただし、シグナリングのオーバーヘッドはかなり大きく、呼の確立に必要なシグナリングは、現在のTCPの十数倍から30倍ほどの仕様になっている。アプリケーションを機敏に切り替えられるようなアーキテクチャではないかもしれない。また、UDP系の通信の制御に関しては、アプリケーションの少なさから、インターネットの運用レベルの錬度はこれまでで十分とはいえず、世界規模での大規模なアプリケーションを運用した場合、どのような問題が出てくるのか正確に予想できる研究者は少ない。

インターネットでは各レイヤに種々の事業者がなだれ込んだが、図-3に示すように、サービス終端識別子が無いというアーキテクチャ上の問題から、エンドエンドの接続サービスであるトランスポート・レイヤには固有の事業者が存在していない。ISPの中でしかエンドエンドのサービスをやれないのが現実である。番号計画に始まり番号計画に終わる通信事業の本質を鑑みると、サービス終端識別子を持たないレイヤでは固有のサービス事業が成立し得ないのである。ネットワーク・レイヤのISPの領域を越えた、いわゆるインタードメインでの品質制御も、定義付けははなはだ困難である。図-4の貧弱なUDP系制御に潤沢なシグナリングを導入し、ここを事業化可能な枠組みにすると考えるとNGNも面白い。

IP電話やIP再送信といった「リアルタイム通信」に関しては、通信主体は、コンピュータというより人間であ

る。このため、シグナリング・オーバーヘッドによる接続時の遅延の増大(即時性の劣化)がある程度あっても許容される。この観点からは、NGNは復古型の図-1モデルへの回帰ともみなせよう。現状のITU-T型のNGNは、マジョリティになったIPベースの通信インフラの上に音声呼を乗せ、コストダウンを図るというサービス提供側の論理で進んでおり、その先のサービスイメージに関しては、FMC (Fixed Mobile Convergence) 程度で、概してまだ希薄である。

一方、通信事業者のサービス競争では、「～割」といった、インターネット接続サービス、携帯電話サービス、固定電話サービス、あるいはCATVサービスを組み合わせたバンドルサービスが花盛りである。ネットワーク利用者の持つ端末が多彩になっているのが今日の日本のサービスである。個人の所有する通信端末が複数あることを前提としたサービス開発競争がすでに始まっているのである。また、図-5に示すように、携帯電話の記憶容量の増加や機能の拡充により、携帯電話は、ネットワークから取得した情報、あるいはローカルに持つ情報と外部デバイスとの連携が可能なるHUBに進化しつつある。この結果、通信サービスの終端をどこに定めるかはますます難しくなっている。携帯電話と情報家電等との間のIrDAによる通信まで通信事業者が品質保証すべきかはかなり議論の分かれるところである。したがって、単純な復古型の図-1モデルへは回帰できないのも現実である。新世代ネットワークを論ずるには、利用者を囲む通信端末群を総として捉えネットワーク利用モデルを構築



図-6 通信サービスの利用シーンに関するイメージ(総務省「ユビキタスネットワーク技術の研究開発」)

する必要がある。

ユビキタスネットワークの位置づけ

コンピュータ間通信としての発展の行き着くところがグリッドであったとも考えられる。コンピュータの内部バス/外部バスといったCPUと周辺装置等をつなぐバスの延長にインターネットが位置づけられ、通信網全体が1つの巨大コンピュータに進化したともいえる。ネットワークは拡大して端末を飲み込んだわけであるが、次に何を飲み込むのが次代を占う1つの指標になる。以下の議論からも分かるように、それは人間であろう。その際の課題は、コンピュータを利用する人間活動をどう把握し記述するのが鍵となる。また、さまざまな人間関係を内包してきた公衆通信網は、コンピュータ内部のバスとは同一には論じられない。人間を飲み込んだネットワークの動作をどのように記述して取り扱うのかも大きな問題である。

欧州でNGNの活動が盛んになるより以前に、日本では産官学連携でユビキタスネットワークを目指した研究開発が進んでいた。ユビキタスネットワークとは、「遍在する」、「どこにでも存在する」の意味のラテン語が原義のユビキタス(Ubiquitous)のコピーのもとで、あらゆるもののネットワーク化(“人と人”から“人とモノ”、“モノとモノ”の通信へ)を目指すものであり、世代的にはITU-Tで言うNGNの次の世代にあたるネットワークといえる。日本人の島国根性と叱責されるかもしれないが、

日本で新世代ネットワークを標榜するときは、これまでの歴史的背景と内容の先進性から、やはりユビキタスネットワークをイメージしたいものである。

図-6に総務省の提案した利用シーンを示してみた。大きく、快適・便利、安全、安心、その他に分けて考察してみよう。まず、通信技術のみならず、従来、さまざまな技術が目指してきた快適・便利の目標に関しては、やはり多く、“快適な居住・オフィス環境の提供を目指して”、“電子政府等の公共サービスの充実”、“外出先から自企業・自宅のネットにアクセスし情報家電機器のリモートコントロール”とか、“携帯、無線LAN等のネットワークの差異を意識せずサービスを利用可能であること”が求められている。この部分に対しては、すでに、いくつかの先達があり、たとえば、Sun Microsystems Inc. は分散コンピューティングの観点からJiniを提唱している。現状では、デバイスの収容を強調しているが、アプリケーションやユーザまでネットワーク上のサービスとして取り扱うことを標榜している点で、新世代ネットワークを構築する際のソフトウェア・プラットフォームとして有望である。

次は安全であるが、これを大きく前面に出したのがユビキタスネットワーク・プロジェクトの特徴でもある。“交通・気象状況等のタイムリーな収集”、“橋・道路・建物の経年変化の監視”、“地震・雪崩・落石などの計測・観測による事故防止”を目標に掲げている。3番目が、安心であり、“高齢者、障害者の外出時のケア”、“在宅医療”、“遠隔監視による火災・犯罪予防”といった目

標を掲げている。

一方、(1) “省エネ、道路等公的資産の有効活用”，(2) “情報共有・稟議の効率化、コスト低減、事業変更に即した素早い業務システム改編”，(3) “在宅教育、遠隔地の人との交流”などは、上記のどこにも含まれない。これら“その他”の小目標のうち、(2)はエコロジーもあるかもしれないが合理化が目標で、従来型の効率至上主義の技術目標である。一方、(1)はエコロジーであることに異論はないと思うが、(3)は昔ながらの対人関係の改善にあり、家庭内教育崩壊の日本の現状を考えると興味深い。(1)は地球に優しくとすれば、(3)は、しいて言えば、人に優しいことを目標としていると考えられる。

ユビキタスネットワークのもとで盛んに言われるようになった技術用語に、プロファイルとコンテキストがある。いったいこれらが何なのかは今でも人によってさまざまな解釈の揺れがあり、ユビキタスネットワークが現在進行形の技術であることを物語っている。

プロファイルは、通信サービス利用のために必要なプロトコルや設定といった情報を指すことが多い。単純なダイヤルアップ型のインターネット接続サービスを例にとっても、パソコンのログインID、同パスワード、モデムの種別、モジュラーケーブル、ISP アクセス電話番号、IP アドレスからメールボックスに至るさまざまな情報が必要になる。これだけで、図-3のOSI全レイヤに関して設定情報が必要ことが分かる。この考えをサービスごとにまとめて利用する技術は、コンテキストと合わせて、利用者に便利なサービスを構築する上で欠かせない。

コンテキストに関しては、ユーザコンテキストとして言及する機会が多い。もちろん英語の「文脈」から派生した概念で、通信サービスの利用者が次のサービス内容を選択する上で判断の材料にする嗜好（過去の行動パターン）、行動目標、置かれた状況（時間、場所、その場所に存在する機器、所有物）などを指す。これを使って（コンテキストウェア）、次の行動を予測して利用者を支援し、快適・便利、安全、安心なサービスを目指そうというわけである。嗜好や行動予測把握には、ペイジアン・ネットワークが使われだしているのも興味深い。似た概念にコンピュータ用語のコンテキストの定義があり、上記のコンテキストの定義は、コンピュータ用語のコンテキストの概念において、“プログラム”を“人”に置換し、通信サービスにまで拡張したものと考えることもできる。人間の行動をプログラムの動作に見立て、最適な通信サービスの提供を目指すものがコンテキストウェア構想といえる。

一方、人間の行動予測を試みようとしても、現状では収集可能な情報が限定されすぎている。このため、より詳細精緻なコンテキストの把握を目指して、利用者周

辺にさまざまなセンサを配置する試みがセンサネットワークの研究といえよう。このようにユビキタスネットワークとは、人間行動のモニタがベースであり、図-2で示したインターネットの出現によりネットワークから疎外されてしまった人間を再びネットワークに取り込む技術になり得る可能性を秘めている。そのため、以下では、このような新世代ネットワークを日本型NGNと呼ぶことにする。また、ここでのフィードバックとはいかなるものであろうか。

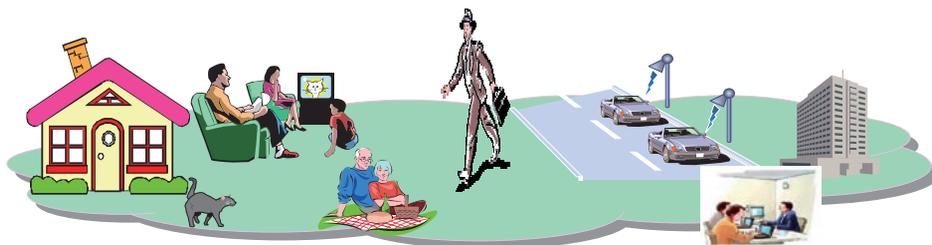
日本型 NGN の目標

WWW サーバ群で世界中のありとあらゆる情報をかき集めた電子図書館と化した今日のネットワークは、もちろん人間が作り得た最高の人工知であり、画期的なシステムである。しかし、図書館はそれに興味がある人がそこに行かない限り無意味な存在である。また、児童書のコーナーの横にエロ本コーナーがあるというのが今日のインターネットでもある。この一例からも、必要なサービスを必要な人に必要なときに提供することを新世代ネットワークの目標にしなければならない。そのためには、単なるデータベースから、利用者の意図や属性を理解している、いわば考えるネットワークに進化しなければならない。もう少し極論すれば、ネットワークは擬人化に耐え得るものでなければならない。

人間とネットワークの間のフィードバック系を度外視して新世代のネットワークは論じられない。コンテキストウェア型のネットワークが論じられるようになってきたのも、そのような問題意識からだと考えたい。人間の行動を予知して先回りして支援できるくらいのネットワークなら、逆に悪意のある人の行動を抑制できるような機能も持たせられる。このような“考えるネットワーク”の登場が新世代には望まれる。

社会と日本型 NGN

従来、集団活動に優れていることが日本人の特長と言われてきたが、最近はずしもそうでもなくなってきた。高度経済成長の前までは日本人の大部分は農民で、夫婦、家族、親戚、あるいは隣組といった単位で農作業という共通の仕事をしてきたのであるから、当然の長所として皆持っていたのかもしれない。筆者が育った、ちょっと前の日本の田舎では、「あそこのうちの長男は10歳過ぎまでお尻にアザ（蒙古斑）があった」といった話が普通に交わされていた。村人の目という究極のセンサネットワークが存在していたわけである。この条件では悪いことはできないし、また、よそ者とは明確に付き合い



新世代ネットワーク

図-7 日本型 NGN

方が異なっていたのも事実である。このようにして、プライバシーと引き換えに安心を手に入れていたのが村社会であった。もちろんこのシステムがすべてにおいてうまく機能していたとここで言いたいわけではないが、お見合いのようなおせっかいなシステムがうまく機能していたのは、この共同体意識あつてのことである。何と言っても、生まれてから二十数年の間、何十人が見守ってきた末の“善意の”推薦であるから、それなりの説得力はあった。今日の出生率減少が、劣悪な育児環境や職場環境だけに起因するものとは到底考えられない。

しかし、長期に渡る地元の人たちとの付き合いで作り出された共同体的意識、悪く言えば村意識といったものは、今日では望むべくもなくなってしまっている。実際、数多くの見知らぬ人たちに囲まれて日常生活するのが普通である。電車の中での電話が耳障りなのは、お互いに面識がないから、知っている人なら聞き耳を立てるのが人間である。満員電車の中で化粧や朝食を食べる人たちがいるのも、お互い面識がない（お互い物言わぬ石も同然）という理由であろう。日本的な恥の美学の喪失である。契約に縛られた企業生活にはない、家族のような直接的な人間関係を、ネットワークの進化によりいかに取り戻すことができるかという問題は、単に情報通信分野の課題にとどまらない大きな問題である。

新世代ネットワークのイメージを、図-6を加工して書き直したものが図-7である。ここでは、人間の活動は何らかの意味で常にネットワークと相互作用しており、ある意味、人はゴムまりのようなネットワーク上で生活している。ネットワーク自体が人々に語りかけ、支援もすれば抑制もする一種の村長（ムラオサ）的役割を持ち、このような村社会がいくつも集まって世界を形作れば（インターネットであるから、もちろん分散制御、全体主義は排除である）居心地の良いネットワーク社会といえる。このように、情報通信ネットワークが単なる社会インフラから、人と人の関係からなる社会システムに組み込まれた、いわば、ネットワーク共同体を目指すのが新世代だといえるかもしれない。すでに、SNSのような

萌芽が見られるが、人間活動のモニタの粒度、情報管理、支援・行動抑制方法等、まだまだ原始的である。人の呼吸の乱れくらいが分かるシステムでない限り、円滑な人間関係はネットワーク上に作れない。このネットワークが暴走して“The Big Brother”になってしまうのか、あるいは、蒙古斑を笑い飛ばす、皆に優しい“ゴッド母ちゃん”になれるのかは、これからの研究開発と運用にかかっている。

まとめ

本稿では、新世代ネットワークが社会に及ぼすインパクトについて解説した。1990年後半のITバブル崩壊以降、80年代半ばから世界を技術面で席卷してきた米国の牽引力は弱まり、21世紀になってからは日本や韓国によるサービス開発が、顕著になっている。この結果、日韓両国は、さながら世界の3G携帯電話新技術に関するテストベッドの様相を呈している。日本の場合、移動体分野だけでなく、広域イーサネット・サービス面でも先行し、固定通信分野でも通信サービス面で世界の牽引役であることを自覚すべきである。背景には、3Gや光ファイバー面での投資が諸外国に比べて数年進んでいることが挙げられることは言うまでもない。ただし、日本は、商業的には進んでいるが、通信技術のコンセプトの発信という観点からは、NGNの欧州に学ぶべきところが大きい。先進的なインフラと新技術に積極的な国民性を活かして、欧米追従から、次代の通信技術（日本型NGN）の発信国に脱皮を図らねばならない時期に来ているのではないだろうか。

（平成18年9月12日受付）

●浅見 徹(正会員) | asami@ee.t.u-tokyo.ac.jp

1974年京大・工・電子卒業。1976年同大学院修士課程修了。同年国際電信電話(株)(KDDI)に入社。UNIX通信、ネットワーク障害診断、xDSLの実証実験等に従事。博士(情報理工学)。2001年(株)KDDI研究所代表取締役所長。2006年東大・大学院情報理工学系研究科教授。現在に至る。平成9年度前島賞。IEEE、電子情報通信学会各会員。