展 望

Toward Superconnective Robotics—ロボティクスがマルチメディアネットワークと融合するとき

Toward Superconnective Robotics—Synthesise of Robotics and Multimedia Networking

渡 辺 保 史* *ジャーナリスト
Yasushi Watanabe* *Journalist

1. は じ め に

絶え間なく演算処理能力を向上させ続けているコンピュータ、そして伝送帯域幅の拡張を続けるデジタル・ネットワーク。この二つの技術基盤をもとに開花しつつあるマルチメディアの分野は、今や人類社会のありようを不可逆的に変容させつつある。その変容は「デジタル革命」とも呼ばれ、個人生活から国際政治に至るまで人類のあらゆる営為に大きなインパクトをもたらしている。とりわけ、近年のインターネット (the Internet) の爆発的拡張は、Computer Mediated Communications (CMC) について先駆的なビジョンを示した名著「The Network Nation」の著者、Hiltz と Turoff が言うような“Superconnectivity”，つまり、人間のあらゆる活動環境においてコンピュータメディアを媒介したコミュニケーションが全面化し、それによって社会・経済システムにおける相互連結性が増大するという状況を現実のものとしている [1]。

最初のデジタルコンピュータが出現して半世紀余りを経た今日、かつてないほど相互依存度を深めている人類社会をコンピュータやネットワークなしに維持調整することはもはや不可能であり、21 世紀の人類社会は現在以上に地球規模で「電子の網」に覆われ、社会全体の「電脳化」が進展しているであろう。

一方、これまでは主に生産現場で用いられてきたロボットも、やはり近未来の社会システムのなかで新たな、そして重要な役割を担うことが期待されている。特に、社会の急速な高齢化と若年労働人口の減少が問題視されつつある我が国では、高齢者の介護支援や各種の重作業の代替といった様々な領域へとロボットが進出し、実社会に定着することが予見されている。そこでは、“Social Robotics”とでもいうべき、社会環境や他の技術分野とのインタフェースを考慮した、従来のロボティクスとは違ったアプローチが不可欠になっていくに違いない。

その意味で、マルチメディアネットワークを基盤とするデジタル情報環境と、実社会への浸透を目指すロボティクスのベクトルは深いところで共振しており、両者の融合による新たな可能性を模索することの意味は決して小さくない。しかも、電子的な入出力系や自律的な行動を可能にするための高度な情報処理機構といったロボティクスの中核部分における成果は、そのままコンピュータ・サイエンスやエレクトロニクスにおける成果と重なるものであり、今後両者は十分に融合、あるいは相互に影響を及ぼしていく可能性がある。

また、両者は新しい技術分野であるがゆえに、それが実社会にどのように浸透・普及していくかという予見を立てるのは難しく、社会的・文化的な視点からの「グランドデザイン」が重要になってくることでも共通している。

そこで本論文では、主にマルチメディアネットワーク分野での技術動向とそのインパクトを概観しながら、ロボティクスとの融合の可能性を探り、そこから導き出される、統合的な機械情報環境のデザインの問題へと考察の射程を延ばしていくことにしたい。

2. 広帯域ネットワークの出現

まずは、現今のマルチメディアネットワークの技術革新が具体的にどんな様相を帯びているのか概観していくことにしたいが、この分野に関連するテクノロジーは言うまでもなく極めて多岐にわたる。ここでは、後述する一つのビジョンを裏付ける、二つの大きな流れを概観してみよう。

何よりも社会の全面的な電脳化への大前提となるのが、高度なネットワーク・インフラストラクチャにほかならない。近未来のネットワークには、コンピュータによって高速度の演算処理を必要とする膨大なマルチメディアの情報を容易にトランスファーできる広帯域性が求められている。そして、アメリカの作家・経済学者ジョージ・ギルダーがいう「砂（シリコンチップ）とガラス（光ファイバー）と空気（無線）の技術革新」によって、今後 20 年のうちに個人にとっての情報の伝達コストを限りなくゼロに近づける、との予見もなされている [2]。

原稿受付 1997 年 2 月 28 日

キーワード: Multimedia, Broadband Network, Ubiquitous Computing, Multi-modal Interface, Augmented Reality

*東京都練馬区

*Nerima-ku, Tokyo

すでに現在では、電話をはじめとする通信トラフィックのほとんどは光ファイバーや衛星をバックボーン（幹線系）としたデジタル化された伝送路によって運ばれており、特に先進諸国内およびその相互を繋ぐバックボーンには最大で 10 [Gb/s] もの帯域幅を持つ伝送システムの導入が始まりつつある。また、研究レベルではさらにそれを 2 桁上回る 1.1 [Tb/s] の超広帯域の光伝送に成功している。

交換システムの領域ではマルチメディアのもつ多様なデータタイプの処理に適した ATM（Asynchronous Transfer Mode：非同期転送モード）方式が実用化されたほか、電気的プロセスを必要とせず広帯域の信号をそのまま処理できる光交換方式の研究も進んでいる。将来を見通せば、エンドユーザのアクセス系における FTTH（Fiber To The Home）化も含め、通信網全体が光化することにより（いわゆる All Optic Network）、フラットな構造の超広帯域のネットワークが構築されていくことになる。

おそらく 2010-20 年頃には、バックボーンでは [Tb/s] 級、エンドユーザレベルでも最大で [Gb/s] 級の帯域幅を自在に利用できるようになり、膨大な量のデジタル動画像の送受信も容易になる。こうして、従来のコンピュータ間通信で常に問題とされてきた「伝達のボトルネック」—コンピュータ内部の演算速度にネットワークの帯域幅が追いつかない状況—は解消され、電気と同じような感覚で、情報端末を繋ぎ込みさえすれば、誰でも膨大な帯域幅を安く自由に使える「情報コンセント」が我々の生活環境に登場しよう。

では、こうした超広帯域ネットワークのニーズは果たしてあるのか？ それはインターネットの利用状況を見れば明らかである。

'96 年秋に日米間の光海底ケーブルの回線容量のうちインターネットに利用されている帯域幅が国際電話のそれを上回ったことは極めて象徴的なトピックであるが [3]、WWW（World Wide Web）ばかりでなく、デジタル化された音声リアルタイムに送受するインターネット電話のサービスや、音声や映像の On Demand 型情報配信サービス（例えば RealAudio, StreamWorks など）、あるいは暗号認証技術を使った資金決済のプロセスを含むエレクトロニック・コマース（EC: Electronic Commerce）などが実験から実用の域に入っており、インターネットが既存のメディアや社会的機能を吸収・再編する可能性はますます大きくなっている。

明らかにインターネットはマルチメディア情報インフラストラクチャの母体として発展を遂げていくことになるだろう。むしろ、現在のインターネットがそのままの形態で将来の情報インフラに成長するとは考えにくい（特にネットワークの信頼性や運用管理の面で、幾多の技術的課題が指摘されている）が、電子的メディアを使ったあらゆるコ

ミュニケーションにコンピュータが介在していく状況では、多かれ少なかれ、インターネット型のヘテロジニアス（異種混交）的で分散協調型のネットワーク・モデルが将来にわたっても重要であることは変わらないと思われる。

膨大な帯域幅を多くの人々が自在に使える“Fibersphere”と並んで、この惑星を覆う“Atmosphere”もデジタル無線の電波で充満していく。例えば、「イリジウム計画」に代表される、多数の LEO（低周回軌道衛星）を使ったグローバルな移動体衛星通信ネットワークは、地球上のあらゆる地点からの音声やデータによるパーソナル通信を可能にしていくだろう。

ともあれ、有線・無線における広帯域のコネクティビティの増大は、多様かつ膨大な知識の伝達を容易にし、空間的・時間的・組織的障壁を超えた人々の社会的活動をネットワーク上に実体化させると同時に、バーチャル・リアリティ（VR）のようにまったく新たな環境世界を情動的に生成し多数の人々によってそれを共有することを可能にする。そして、ロボットのような自律的あるいは知的な機械が実社会へ進出するとすれば、やはりこのネットワークへと多様な形態でコネクタされていくことが、不可避の流れとなるだろう。

3. 環境に溶け込むコンピュータ

広帯域ネットワークと並んで、今後の機械情報環境の姿を決定づけるのがコンピュータの遍在化である。

すでに我々の生活環境には数十から数百のマイクロプロセッサが埋め込まれた機器が遍在している。デスクトップに置かれているパーソナル・コンピュータのような形態だけではなく、小は腕時計や電話機から、大は自動車やホームオートメーション（HA）、インテリジェント・ビル（IB）システムに至るまで、多数の「見えないコンピュータ」によって人間の生活や仕事は支援されていることになる。

おそらく今後、この膨大なコンピュータ群は有線・無線のネットワークによってコネクタされ、有機的に連携しながら人間の活動を支えることになるだろう。

それを象徴するキーワードが、ユービキタス・コンピューティング（Ubiquitous Computing、以下 Ubicomp とする）である。Ubicomp のコンセプトを先駆的に示したのは、国産の OS 体系の確立を目指した TRON プロジェクトであった。TRON では家庭内でも数千個、都市全体では数億ものコンピュータが埋め込まれた機器が協調動作する超機能分散システム＝Highly Functionally Distributed System（HDFS）の実現を目標に設定していたが、1990 年代に入り、そのコンセプトはパーソナルコンピュータの要素技術の故郷でもある XEROX PARC（パロアルト研究センター）にも大きなインパクトを与え、ここで初めて Ubicomp の名称のもとに具体的なシステムが稼働するこ

となった[4]。

PARCの実践は、オフィス内で一人数十から数百もの様々な形をしたコンピュータを活用しながら、組織内の知識共有や対話、協創(collaboration)を促進するというものである。バッジ程度の大きさのTabやノート代わりの端末のPad、ホワイトボード代わりの電子的な大型共有ディスプレイであるLiveBoardといった装置が試作され、それらをユーザが使い分けながら、ユーザが特にコンピュータの存在を意識することなく、知的作業を遂行できる環境の実現を試行している。また、UbiCompに関連した取り組みとして、MIT Media LabでもTTT(Things That Think:考える物質)プロジェクトが進行中である。

こうした、生活環境全体に膨大な数の見えないコンピュータを埋め込んでいくUbiCompのアプローチは、ヒューマン・インタフェースにおける新たな考え方を要請することになる。

既存のパーソナル・コンピュータのGUI(Graphical User Interface)が象徴するように、これまでの機械情報環境のインタフェースは、デスクトップ・メタファー(比喻)のような、実世界のある事物を模擬することを解決手段としてきた。バーチャル・リアリティ(VR)にしても、コンピュータによって生成される非実体的な環境への没入を「強制」するものであり、いずれも実世界の再現代補をその基本としている。

しかし、マルチメディアというものを、「実世界に存在しているような多様な形態の情報をデジタル化して、ハンドリングを容易にし、統合的(synthetic)な処理を可能にする」機械情報環境と規定してみた場合、現今のヒューマン・インタフェースには実世界と情報環境のシーム(継ぎ目)やギャップが厳然として存在し、ユーザにとっては認知的・心理的あるいは意味論的な部分での負荷が小さくない。

それらを解消し、実世界のなかにコンピュータを溶け込ませ、人間の自然な振る舞いのうちに機械情報環境とのインタラクションを実現することを目指すのが実世界指向のインタフェースである。強化現実(Augmented Reality)やマルチモーダル・インタフェースはその一例である。

強化現実とは、コンピュータで生成された環境への没入を強制するVRとは違い、実世界に遍在する様々なオブジェクトにデジタル情報をオーバーレイ(重ね合わせ)する方法であり、例えば、机上に置かれた紙のドキュメントに書かれている情報をカメラが画像認識し、背後に組み込まれたコンピュータによる編集や加工、計算処理を可能にする「デジタルデスク」のような研究事例や、HMD(Head Mounted Display)などのデバイスを通じて現実のオブジェクトを見ると、そこに関連するデジタル情報がオーバーレイ表示される、というVRからの強化現実への歩み寄りも進んでいる。

一方のマルチモーダル・インタフェースは、人間が実世界のなかで自然に行っている様々な身体的振る舞いを、コンピュータ・システムとの対話の手段に使うという発想である。この先駆はMIT Media Labの前身であるArchitecture Machine Groupによる「メディアルーム」だが、現在では音声認識や視線・身振り認識、あるいはセキュリティ・チェック/ID認証のためのバイオメトリックス(指紋や網膜、虹彩、声紋、サインの動作などを用いた生体識別)、さらに現在はまだあくまでも概念レベルでしかないが、脳波検出やSQUID(超伝導量子干渉計)などを使って直接脳内の神経活動をキャッチする精神感応型インタフェースに至るまで、その取り組みは極めて多様になってきている[5]。

おそらくこうした技術が複合的・融合的に組み合わせられることにより、未来の機械情報環境のインタフェースは従来の「モニター/キーボード/マウス」といった狭い枠組みを脱し、コンピュータやネットワークをあまり意識する必要のないトランスペアレント(透明)なものになっていくだろう。

4. 「個」を超えるパラダイム転換

以上、概観してきたような近未来の機械情報環境は、現在よりも遥かにシームレスでトランスペアレントなものとなる。つまり、現在の生活環境のなかでスイッチを付ければ電灯が点り、水道の蛇口をひねれば水が出るのと同じように、技術的なインフラの存在をほとんど意識せずに、しかも日常的な振る舞いを通してごく自然なスタイルで、古今東西あらゆる知識の入手・編集ができたり、他者とコミュニケーションできるようになっていく。現在の我々にとってあまりに自明的な存在であるネットワークやコンピュータとその利用形態は、近未来にはまったく異なる様相を帯びることになるわけで、そう考えるのは、これまでのメディアの発達史を考えても自然なことであろう。

では、近未来の情報環境におけるロボティクスの可能性を考えてみることにしよう。ここで一つの予見を立ててみたい。すなわち、「ロボティクスとマルチメディアネットワークの技術的融合は、“ロボットの終焉”をもたらす」と。

「メディア論」などの著作で知られる文明批評家のマーシャル・マクルーハンに倣っていえば、あらゆるメディアとは人間の精神的・肉体的能力の延長であるわけだが[6]、そのスタンスからすればロボットも「労働・奉仕」という語源を持つ存在である限りにおいて、またメディアということになる。しかし、今日では「個」としての人間の能力代補という側面だけをメディア、とりわけデジタル化・ネットワーク化が顕著な現代のメディアに求めることは本質を見誤る恐れがある。コンピュータの世界ではすでに、ネットワークに接続されないマシンは(余程の例外を除いて)もはやナンセンスな存在となりつつあるといっても過言では

ない。デジタル化したメディアは、全面的なネットワーク化を指向することにより、それは環境あるいは生態系（情報生態系）としての様相を強めているのである [7]。

これからのロボット＝メディアの役割を考えた場合も、やはり「個」を超えるパラダイム転換は重要である。

これまで、ロボットと言えば大抵の場合、スタンドアローンでの自律的活動を基本に考えられてきたように思われる。フィクションの世界でも、アシモフの陽電子ロボット・シリーズや鉄腕アトムから、「個性」はロボットにおいて自明的な条件として夢想されてきた。しかし、コネクティビティの増大は、それ自体高度な情報処理装置でもあるロボットの存在様態にも大きな影響を及ぼすことになり、生産現場から広範な人類社会への進出を指向する近未来のロボットは、ネットワークとの結合を前提として考える必要が出てこよう。

ネットワーク経由で遠隔地のロボットを制御するテレロボティクスは、その最も端な利用形態であり、すでにインターネットの WWW を通じてロボットアームを操作し植物に水を撒くという実験サイトも存在する [8] が、近未来におけるテレロボティクスは極めて多様なシーンで活用されることになるだろう。

例えば、外出先から PDA (Personal Digital Assistants) のような携帯端末を使ってネットワークにアクセスし、自宅にある家事用ロボットに命令を出して家事を代行させたり、医師が高齢者の自宅にある介護ロボットを通じて高齢者の健康状況をモニタリングする、といった比較的単純な 1 対 1 接続がまず想定される。テレイグジスタンスによる極限作業ロボットの操作も、1 対 1 接続の典型といえる。ロボットの側にある程度の自律性が備わることになれば、一人のユーザ（人間）が複数のロボットによる協調動作を統括的に制御する、という 1 対多接続へと発展していくと思われる。

5. ロボットの「終焉」へ向けて

そして、前述の Ubicomp に見られるような、生活環境におけるコンピュータの遍在化、あらゆる事物へのマイクロチップの埋め込みというトレンドをロボティクスの立場から見れば、それは万物のロボット化、あるいは知的マシンの遍在化と言い換えることもできよう。ここでロボットの定義に拘泥するつもりはないが、仮にロボットを（大雑把であるのを承知で）「人間の諸活動を支援する、ある程度の自律性を持った知的機械・装置」と捉えてみると、マルチメディアネットワークによって高度な相互連結性を帯びた社会システムの多くは、その全体が巨大な分散協調型のロボットの環境として機能することを意味しよう。

実際、数千個のマイクロプロセッサが至るところに埋め込まれ、それらの協調動作により居住環境を快適に保

ち、居住者の生活を支援する「電腦住宅」—それは前述の TRON プロジェクトの最も初期の実験として有名である—などは、住宅という建築空間系に機械情報系が重畳する「住むロボット」と見なすことができる。あるいは、現在各国で研究開発が進められている道路交通システムのインテリジェント化（高度道路交通システム＝ITS: Intelligent Transportation System）にしても、自動車の走行環境に情報システムを遍在化させ、道路・車両・ドライバー相互の双方向の情報通信を可能にし、究極的には道路交通そのものの自動制御を目指しているわけだが、これなどもネットワークを基盤として道路交通システム全体をロボット化する動きとして注目される [9]。

もちろん、単体の自動車だけ取ってみても、自律走行が可能なインテリジェント・ビークル（「走るロボット」）の実現は大きな課題である。だがそれ以上に、人間と個々の自動車、そして道路環境という構成要素が相互に連携しあい、個的な効率や快適性・安全性との追求と、全体のエコノミーやエコロジーとが対立することなく両立し、あたかも生態系のようなバランスを実現するホロニック・システムこそ、現在のエンジニアリングにおいて残された“Grand Challenge”ではないかと考える。

そう考えたとき、従来のロボットが自明のものとしてきたいくつかの条件は、もはや大きく変節せざるを得ないだろう。コンピュータがコネクティビティを拡張し、生活環境への遍在化によって旧来的な存在様態の終焉を迎えつつあるのと同様に、ロボットもまた、ある意味での「終焉」を迎えることになる。しかしそれは、ロボットが我々の環境に溶け込み、さりげなく我々の生活を支援し、経験を拡張深化させてくれる存在へと昇華することを意味する。ロボットは、ロボットが抱え持っていた自明性を超越することによって、より大きな可能性を獲得していくであろう。

さらには、ネットワークの内部で自律的に活動し人間に代わって高度な処理をこなすエージェントの台頭も期待されている。エージェントは言わば「ハードウェアを持たないロボット」であり、多数のエージェントの協調（あるいは競争）によってマルチメディアネットワーク上に一種の社会的アクティビティが生成されていく、という状況を考えると、ロボティクスの領域は、物理的な工学の世界だけではなく情報生態系における社会デザインの問題としても浮上していくともいえよう。

6. お わ り に

自律性を持った知能ロボットの実現が、依然としてロボティクスにおける極めてチャレンジャブルな目標であることは言うまでもない。しかしながら、我々が今直面している、マルチメディアネットワークを基盤としたスーパーコネクティブな社会の胎動という事態を考えたとき、ロボ

ティクスは既存の枠組みを超えた、「環境としてのロボティクス」という統合的なデザインの視座を獲得していくことが不可欠であろう。

サイバネティクスが、生命と非生命に連続した制御と通信の学問として出発し、そこから現代の情報科学が発展してきたという事実を想起してみると [10], こうしたホロニック・デザインの課題は実はこの半世紀にわたって潜在してきたことを改めて認識せざるを得ない。そして、マルチメディアネットワークとロボティクスの融合による新しい技術世界は、惑星規模で広がる複雑かつ多様な機械情報系に加え、人間を含めた生命情報系すら含んだ包括的な情報生態系の維持・管理という、極めて文明史的なテーマをはらんだ可能性をも予感させるのである。

参 考 文 献

- [1] S. Hiltz and M. Turoff: "The Network Nation," MIT Press, revised edition, 1993.
- [2] ジョージ・ギルガー, 森泉淳訳: テレビの消える日. 講談社, 1993.
- [3] 「朝日新聞」1997年2月3日付け朝刊による.
- [4] ビェール・ウェルナー他編, 坂村健監訳: 脳強化環境, パーソナルメディア, 1995. ほかに, TRON Project (<http://tron.is.s.u-tokyo>).

ac.jp/), Ubiquitous Computing (<http://www.ubiq.com/>), MIT Things That Think (<http://tth.wwww.media.mit.edu>) などのWebサイトを参照されたい.

- [5] 渡辺保史: はじめてナットク! マルチメディア. 講談社ブルーバックス, 1995.
- [6] マーシャル・マクルーハン, 栗原裕+河本仲聖訳: メディア論—人間の拡張の諸相. みすず書房, 1987.
- [7] 情報生態系の諸相については差し当たり, 伊藤俊治監修: テクノカルチャーマトリクス. NTT出版, 1994. あるいは, 季刊インターコミュニケーション, no.3 <特集: サイバースペース>, NTT出版, 1993などを参照されたい.
- [8] The Telegarden <http://telegarden.aec.at/>
- [9] ITS Homepage <http://www.nihon.net/ITS/>
- [10] ノーバート・ウィーナー, 池原止戈夫他訳: サイバネティクス—動物と機械における制御と通信. 岩波書店, 1962.

渡辺保史 (Yasushi Watanabe)

1965年12月24日生. 1988年弘前大学人文学部人文学科(西洋史学専攻)卒業. 情報通信専門誌記者を経て, 現在フリーのジャーナリスト. 主にマルチメディアおよびインターネット関連各誌に取材記事, 論考を発表している. 著書に「世界のコンピュータマップ95」(共著, ジャストシステム, 1994)「はじめてナットク! マルチメディア」(講談社ブルーバックス, 1995), 「グループウェアで会社を変える」(NTT出版, 1997)などがある.