

# フロンティア領域ジョイント研究会 1998 (FJK'98) 全体パネル

## テーマ：人とコンピュータ

フロンティア領域に属している研究会は、様々な観点から人間とコンピュータとの関わり方を研究テーマとしていると言えます。このパネルでは、各研究会の主査、幹事の方に、それぞれの研究会の視点から人とコンピュータの関わり方について意見を述べていただき、それらを基に討論を行います。

司 会 松山隆司 (京大) フロンティア領域委員長

### パネラおよび各研究会テーマ

- ・ NL：コンピュータは人の言葉を理解できるようになるのか  
松本裕治 (奈良先端大)
- ・ ICS：コンピュータは人と同じような知能を持てるのか  
橋田浩一 (電総研)
- ・ CVIM：コンピュータはものを見ることができるようになるのか  
久野義徳 (阪大)
- ・ CE：コンピュータに人の教育はできるのか  
武井恵雄 (帝京大)
- ・ CH：コンピュータで人文科学がどう変わるか  
山田奨治 (国際日本文化研究センター)
- ・ MUS：コンピュータによって音楽の世界はどう変化してゆくか  
平賀 譲 (情報大)
- ・ SLP：人とコンピュータの対話はできるようになるのか  
中川聖一 (豊橋技科大)
- ・ EIP：人間社会とコンピュータ  
森 亮一 (神奈川工科大)

# コンピュータは人の言葉を理解できるようになるのか

松本 裕治

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

matsu@is.aist-nara.ac.jp

## 1 はじめに

自然言語処理の究極的な目標を挙げるとすれば、それは機械による言語の理解、あるいは、言語の理解の仕組みを明らかにすることとすることになるかも知れない。しかし、現実には言語理解とは何かという根本的な疑問に誰も答えることができていない。つまり、本稿のタイトルは、「言語理解とは何か」という定義なしには不適切な疑問である。実際、自然言語処理の研究において、少なくとも過去10年の間は、言語理解という問題が正面から議論されることはほとんどなかった。

本稿では、コンピュータによる言語理解の捉え方についてのいくつかの代表的な見解について説明し、その定義の広がりを見る。そして、言語の理解にコンピュータがどのように寄与できるかについて考察する。

## 2 言語の理解についての理解

ここでは、コンピュータによる言語理解についてのいくつかの代表的な見方について述べておこう。

一つは、コンピュータが人間と同様の言語理解を行えるかどうかを問うもので、これに関する古典的な批判として有名なのが、サール (Searl[5]) による「中国語の部屋 (Chinese room)」の思考実験である。概略は次の通りである。

2つの小さな窓を持った部屋の中に一人の男が入っている。1つの窓からは中国語で何か書かれた紙が入れられる。その部屋の中の男は中国語を理解しないので、紙に書かれた文字列は単なる記号以上のものには見えない。しかし、部屋の中には彼が理解できる母国語で記述された手引書があり、それと紙の上の文字列との照合を取りながら、手引書に書かれた指示にしたがって(自分では意味不明の中国語の)文字列を紙に書き出して、もう一つの窓から外に渡す。

部屋の中の男は中国語をまったく理解していない

が、外部からは中国語を完全に理解しているかのように見える。サールの批判は、コンピュータによる言語理解が行っているのはこれとまったく同じことであり、単なる記号操作を行っているに過ぎないというものである。

自然言語処理研究者や人工知能研究者が考える典型的な言語理解は、これとはまったく対照的であり、むしろ言語理解の本質は記号操作であると考えられる。ここではコンピュータによる言語理解のナイーブなイメージは次のようになる。

1. 文あるいは言語表現を何らかの内部表現に変換する方法があり、かつ、
2. その内部表現には体系的な推論操作が定義されている。

言語表現の字義的な意味を取り扱うか、文脈まで考慮したより深い含意まで扱うかによって「理解」の定義が異なるが、いずれにしても、この枠組みのどちらのステップも根本的に解決困難な問題の呪縛から逃れられない。言語表現で記述される事態を表現する操作可能な記号体系を考えることは、人工知能における最も困難な問題である。また、たとえそのような体系が一部なりとも実現されるとしても、言語の曖昧性の問題などがあり、言語表現を機械的にその体系の表現に変換する方法を考えることが近未来的には実現されそうにない。

もう一つ、応用中心の視点で言語の理解を考えることができる。コンピュータが2言語間の翻訳を自然に行えるとすれば、それは言語を理解していると言ってもよいであろう。自然言語による質問応答、テキストの自動要約、自然言語インタフェースによる機械への命令などが実用的なレベルまで可能になれば、そのようなシステムは言語を理解していると外部からは見えるであろう。先のサールの批判は、このような視点から見れば、批判でも何でも無い。「中国語の部屋」は中国語を用いた何かのタスクをこなしているのであり、部屋の中にある手引書こそが、この視点での言語理解に対して我々が手に入れたいものである。

### 3 理解なしの言語理解

自然言語処理の歴史を遡ってみると、1990年代はコーパスの時代であり、80年代は文法フォーマリズムの時代、そして、70年代はWinogradのSHRDLU[6]やSchankらのSAM[4]に代表されるように、言語理解の時代であった。

前章の例からもわかるように、言語理解を論じるには「言語理解とは何か」を定義する必要があるが、70年代のシステムは、「理解」の定義を行わないまま、真の言語理解ではないという批判を受けた。それらのシステムは言語を理解したかのように見せているだけという訳である。

それでは、理解したかのように見せかけるシステムではまずいのだろうか。「人による言語理解」の意味が明らかにならない限り、このようなシステムを批判することはできないのではないだろうか。ただし、70年代の言語理解システムは、いわゆるオモチャの世界(toy world)を対象にしており、それを抜け出して現実の世界を対象にするように拡張することはできなかった。その状況は今も大きく変わっていない。

理解なしの言語理解システムを方法論として越えることは、当分の間は難しいだろう<sup>1</sup>。一方、機械翻訳、自動要約、質問応答、自然言語インタフェースなどの現実の応用を考える場合、言語を理解したかのように見せかけるシステムが本当に正しい方法であるとは、少なくとも、現状ではいえない。システムがどこまで言語を「理解」しているかがわからないからである。

### 4 人間の理解を支援するための言語理解

コンピュータが言語を理解することが本当の目的なのだろうか、という疑問をここで呈してみよう。コンピュータがすべてを理解することができる日が来ることはないだろう。何よりも、我々人間自身が言語を完全に理解している訳ではない。重要なのは、コンピュータが、何がわかっていて何がわかっていないかわかることである。理解したふりをするコンピュータより、理解していないことを正直に打ち明けるコンピュータの実現を目指すべきではないだろうか。では、自分が理解できないということをわかることができるだろうか。

90年代はコーパスの時代であり、現実の言語データから様々な言語知識を獲得する研究が行われている。言語解析のための様々な統計モデルが提案され、品詞タグ付き、あるいは、括弧付きコーパスから、形態素解析や統語解析に必要な確率パラメータを自動

<sup>1</sup> 創発、自己組織化、学習、知識獲得、などがそれを越えるキーワードかもしれないが、ここでは議論の発散を控える。

獲得することにより、従来の人手による文法や規則に基づく解析システムの性能を上回る結果を出している<sup>2</sup>。ただし、一方で、コーパスからの統計学習による統語解析の精度はほぼ頭打ち状態でもあるとも言われている。

他方、コーパスに基づく方法は、学習によって得られたシステムの弱点を客観的に評価するためにも役立つ可能性がある。コーパスを用いた評価テストによって曖昧性の解消が困難なパターンや、次候補の確率とのマージンが小さい部分などを自動的に発見することが容易だからである。

言語の理解の構造を理解することはもちろん重要である。しかし、翻訳や要約などの応用を考えると、利用者(人間)が何かを理解することが目的であり、利用者の理解を増幅するための言語処理という視点も重要なのではないだろうか。

### 5 おわりに

コンピュータが言語を理解できるようになるか、という疑問に対して、その定義自体を慎重に考える必要があること、また、応用に応じてその考え方が変化すること、などを議論した。コンピュータによる完全な言葉の理解は遠い将来にも難しいだろうが、真の理解よりもむしろ、部分的な言語理解と自分の理解度に対する理解という視点が重要であるという点についても述べた。

### 参考文献

- [1] Charniak, E., "Statistical Parsing with a Context-free Grammar and Word Statistics," *AAAI-97*, pp.598-603, 1997.
- [2] Fujio, M. and Matsumoto, Y., "EMNLP-98, 1998.
- [3] 春野, 白井, 大山, "決定木の混合を利用した日本語係受け解析," 言語処理学会第四回年次大会論文集, pp.217-220, 1998.
- [4] Schank, R. and Riesbeck, C.: *Inside Computer Understanding*, Lawrence Erlbaum, 1981. 石崎監訳: 自然言語理解入門, 総研出版.
- [5] Searl, J., "Minds, Brains, and Programs," *Behavioural and Brain Sciences*, Vol.3, pp.417-457, 1980. 坂本監訳「マインズ・アイ」TBSブリタニカ、に邦訳が所蔵.
- [6] Winograd, T.: *Understanding Natural Language*, Academic Press, 1972. 淵他訳: 言語理解の構造, 産業図書.

<sup>2</sup> 括弧付けの精度で約86~87%程度の数値が報告されている。例えば、Charniak[1], 春野[3], Fujio[2]を参照。

# コンピュータは人と同じような知能を持てるのか

橋田 浩一

〒305 つくば市梅園 1-1-4

電子技術総合研究所

機械を知的にするには、機構問題と内容問題を解決する必要がある。前者については基礎研究を進めるのみであり、そのための特別な研究方略はない。内容問題については、知の働きに関する大量の良質なデータを集成する必要があるが、それは研究コミュニティだけでは困難と思われる。そこで、そのようなデータの集積につながるような人工知能技術の実際の応用について提案する。

## Can Computers Become Intelligent like Humans?

HASIDA Kôiti

Electrotechnical Laboratory

1-1-4 Umezono, Tukuba, Ibaraki 305, Japan

To make machines intelligent, both the architecture problem and the content problem must be solved. Just doing basic researches is to solve the former. As for the latter, we must accumulate a huge amount of high-quality data on workings of intelligence, but that appears very hard by just the effort of the research community. A class of practical AI applications are proposed which should give rise to such a huge knowledge base.

### 1 機構と内容

機械を知的にするには、人工知能で言う機構問題 (architecture problem) と内容問題 (content problem) を解決する必要がある。機構問題とは、多様な種類の情報を多様な文脈に応じて扱うための計算機構を求める問題であるが、これに関しては基礎研究を進めるのみであり、そのための決定的な研究方略のようなものは特にない。

内容問題とは、たとえば人間が持っているような知識や常識をいかにして機械に与えるかという問題である。そのひとつの理想的な解法は、コンピュータ自身に体験を通じて (技能なども含む) 知識を学習させるというものである。それによって「人と同じような」知能を獲得するには、人と同様の知識を持つ必要があり、それには人と同様

の体験をさせるため、われわれはわが似姿に機械を作らねばならない— そのような機械の行為の多くは計算ではなく物理的行為だから、それをコンピュータと呼ぶのは不適当だろうが。

しかし、それよりも恐らく手っ取り早く内容問題を (完全にではないにせよ、人工知能技術が十分役に立つようになる程度に) 解く方法もある。知の働きに関する大量の良質なデータを自動的な学習によらずに集成できればよい。そのための方法としては、CYC (Lenat, 1995) のように人手で明示的に規則を入力する方式もあるが、これだと明示的に書ける知識しか扱えないし、コストがかかり過ぎる。

## 2 共通フォーマット

そこで、実際的な応用の産物として事例に基づくデータが大量に作られるような可能性を考える。そのひとつとして、大域文書修飾 (GDA) (Hasida, 1997; 橋田, 1998; Nagao & Hasida, 1998) の拡張に当たるものがありうる。GDA とは、自然言語のテキストの意味的・語用論的構造を明示するタグを定義して、このタグを自然言語処理の諸技術の間の共通フォーマットとすることにより、これに基づくさまざまな応用技術の開発と普及を促進し、それと同時にタグも普及させようというプロジェクトであり、言語の使用に関する構造化されたデータがインターネット上に大量に作られることを狙っている。この考え方をマルチモーダルに拡張すれば、テキストに限らず音声や(動)画像にもわたる共通フォーマットという考え方に立ち至る。

共通フォーマットによる情報とソフトウェアの共有と統合というアイデアは、さまざまな領域ですでに考えられている。たとえば音声合成のための標準タグを策定しようという動き (on the Global Document Annotation, ) もある。テキストと音声と動画像に及ぶマルチモーダルなデータの統合的な処理に関しては、テレビ番組作成用のマークアップ言語 (林, 1998) なども作られている。

これらを意味内容に関する構造化に高度化し、さらにモダリティを越えて共有化すれば、図1の

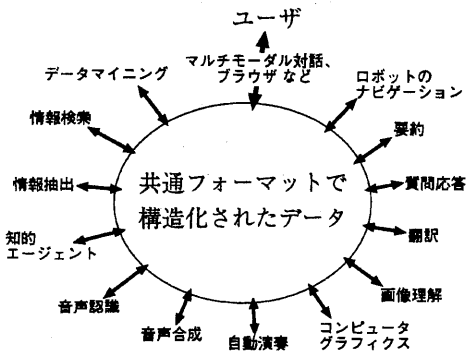


図1: マルチモーダル情報資源の再利用と統合

ような統合環境が得られる。このような統合環境は、人工知能やパターン認識の基礎研究に有用であるにとどまらず、マルチメディアコンテンツに関する実用技術とそうした基礎研究とを融合する効果も持つ。共通フォーマットで構造化さ

れたマルチモーダルデータは、音声や動画像を含むインタラクティブなプレゼンテーション等々のための多用途で知的なコンテンツ (versatile and intelligent contentware) となる。コンテンツの作成にはますます多くの投資がなされつつあるから、共通フォーマットと知的コンテンツを同時に普及させることは可能だろう。

## 3 展望

さまざまな種類にわたる情報処理の統合は前述の機構問題の主要部分を占め、人工知能の重要な課題である。入出力の共通化に基づく上記のような統合法は、もちろんその最終的な解ではないが、真の統合法が現われるまでの数十年間にわたって基礎研究と応用開発の推進に不可欠な技術となるのではない。

### 参考文献

- 橋田 浩一 (1998). GDA: 意味的修飾に基づく多用途の知的コンテンツ. 『人工知能学会誌』, 13 (4).
- Hasida, K. (1997). Global Document Annotation. *Natural Language Processing Pacific Rim Symposium '97*. <http://www.etl.go.jp/etl/nl/GDA/>.
- 林 正樹 (1998). パーソナルなテレビ番組がデスクトップで作れるテレビ番組記述言語 TVML. *bit*, 30 (4), 3-10.
- Lenat, D. B. (1995). CYC: A Large-Scale Investment in Knowledge Infrastructure. *Communications of the ACM*, 38 (11), 33-38.
- Nagao, K. & Hasida, K. (1998). Automatic Text Summarization Based on the Global Document Annotation. *Proceedings of the 17th International Conference on Computational Linguistics*. [The Sable Consortium. http://www.cstr.ed.ac.uk/projects/ssml.html](http://www.cstr.ed.ac.uk/projects/ssml.html).

# コンピュータはものを見ることができるようになるのか

久野義徳

大阪大学工学研究科電子制御機械工学専攻

kuno@mech.eng.osaka-u.ac.jp

**概要:** コンピュータビジョンについては多くの研究があるが、まだその能力は高いとは言えない。主な原因として、ここでは対象物や環境条件についての仮定の問題を考える。コンピュータビジョンでは多様な3次元世界が2次元に縮退した画像を扱うので、問題を解くのに仮定が不可欠である。しかし、実世界ではどういふ仮定があてはまるのか分かり難く、さらに変化もする。コンピュータビジョンのアルゴリズムでも仮定を明確に仕様として表し難い。これを解決する方法として、対象環境を限定し、その中で仕様を明確にしていくアプローチと、人間がコンピュータを助けるアプローチを提案する。これにより研究を進めれば、コンピュータは特定の目的をもつてものを見ようとした場合には、そのものを見ることができるようになっていくと考えられる。

## Will Computers Be Able to See?

Yoshinori Kuno

Department of Computer-Controlled Mechanical Systems, Osaka University

2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

**Abstract:** Although computer vision has been studied widely, its capability is still limited. This paper discusses major causes of this current situation. Computer vision needs to make assumptions to solve ill-posed problems. However, it is difficult to tell which assumptions can be satisfied in a particular environment. Moreover, performance characterization in computer vision is difficult to be determined. To solve these issues, this paper proposes two approaches: the performance-characterization approach and the human-assisted approach. Computers will not be able to see in the near future as humans do. However, the capability of computer vision will be much improved in looking at or watching objects to extract necessary information to accomplish given tasks through researches taking these approaches.

## 1 はじめに

コンピュータビジョンとイメージメディア研究会は一昨年の5月に前身のコンピュータビジョン研究会が100回になるのを期して、研究分野のさらなる発展を目指して名称を変更した[1]。著者はこの名称変更の移行期に幹事の一人を務めさせていただいたが、その際、当時の松山主査の提案で、CVCV(Current and Vision of Computer Vision)というワーキンググループ活動を行った。これは、名称変更で将来の発展を目指すためには、過去の蓄積を評価し、現在の問題点を明らかにする必要があるという考えから活動したものである。すなわち、1980年代からのコンピュータビジョン研究を総括し、「何ができて何ができないのか、その理由は何か」を具体的アルゴリズムの面から深く検討しようというのが目的であった。実際には1994年の11月の研究会から毎回1~2件、「CVCV-WG 報告: コンピュータビジョンにおける技術評論と将来展望」と題して、全体で15件のコンピュータビジョンの重要なテーマについてサーベイ論文を若手研究者に発表してもらい、それをもとに討論を行った。この成果については、サーベイ論文を討論結果に基づき大幅に修正・加筆し、さらに研究会では時間の関係等で取り上げられなかったトピックスも追加して本にまとめており、近く出版の予定である[2]。「コンピュータはものを見ることができるようになるのか」についての各論についてはこの本が刊行されたら見ていただくことにして、今回は一般的な考えを述べる。ただし、著者がこの活動に関わったということで、CVIM からパネルに参加することになったが、以下の議論はこの活動を踏まえてはいるが、意見についてはワーキンググループ活動の結論というわけではなく、著者の個人的なものである。

## 2 何を見ることができるようになったか

まず、コンピュータが現在どの程度ものを見ることができているかを見てみたい。参考のために、前述の本の目次案を次に示す。

### 第0章 本書の背景と目的

- 第1章 コンピュータビジョンのための画像センサ
- 第2章 多重画像の統合による多機能高精度画像計測
- 第3章 カメラキャリブレーション
- 第4章 多重解像度解析 - スケールスペースとその応用
- 第5章 コンピュータビジョンにおけるカラー情報の表現と解析
- 第6章 コンピュータビジョンにおけるエピソード幾何
- 第7章 幾何学的不変量とその応用
- 第8章 ステレオ視
- 第9章 時系列画像からの3次元運動と形状解析
- 第10章 Hough 変換 - 投票と多数決原理に基づく幾何学的対象の検出と識別
- 第11章 コンピュータビジョンにおける最適化手法 - モデルの妥当性と解の安定性
- 第12章 中間視覚 - 信号・記号変換器としての人工神経回路網
- 第13章 画像理解における統計的手法
- 第14章 固有空間法による画像認識
- 第15章 能動視覚とその応用
- 第16章 コンピュータビジョンと動画像符号化
- 第17章 画像・映像の知的生成と編集 - CV 技術を用いた新しい画像・映像処理

これを見ると、視覚の基本的機能である色を識別したり(5章)、両目でものを立体的に見たり(8章)、動いているものを認識したり(9章)することに関する研究をはじめ、センサから各種処理のための計算メカニズム、そして応用と実に多くの研究があることが分かる。このワーキンググループ活動ではコンピュータビジョンの研究を網羅することは目指さなかった。従って、これで全てというわけではないが、これだけでもコンピュータビジョン研究の幅の広さが分かる。

それではコンピュータビジョンはすでに成熟した分野と言えるだろうか。過去の研究の量から見れば、かなり成熟してきているはずの分野かもしれないが、次のような観点からはまだまだと考えられ

る。本当に成熟した分野なら、使用する場所等の環境条件と達成したい仕事の内容を仕様として明確にすれば、それを実現する手段が既存技術を用いてかなり定型的に設計できると考えられる。しかし、コンピュータビジョンでは、このようにきちんと仕様を考え設計していくような技術を提供できる段階には至っていない。この原因としては基本的には同じことに関連したことを言っていることになるが、以下の3つが考えられる。

1つ目は、コンピュータビジョンでは多くの場合、何らかの仮定・ヒューリスティックを使わなければならないことである。科学のあらゆる分野で対象を扱う問題に応じてモデル化するのは当然の方法だが、コンピュータビジョンの場合には対象世界に関して、かなりの仮定をしなければならない。

濃淡画像から世界を認識しようとする際に、計算機にデータとして与えられるのは各点の明るさを表す2次元配列だけである。実際の世界は3次元であるし、画像の各点の明るさは認識したい対象物の形だけで決まるわけではなく、その材質、照明条件、観察方向、周囲に存在する物体等、様々な要因が関与してくる。このように多様な情報が一つの明るさに縮退してしまっているのだから、もとの世界の情報を得ようとする、対象世界に関する知識・仮定を使わざるを得ない。そうでなければ数学的には解けない問題になっている。これらの仮定はできるだけ広い環境条件に適應するように研究されているが、本質的に仮定であって、一般の環境下で常に成り立つことは保証できない。つまり、間違ふこともあつて当然なのである。

付け加えておくと、コンピュータビジョンではこのように仮定は必要なものだが、とにかく問題を解きたいということで、現実の世界とはあまりにも離れた勝手な仮定をしているものがあるとの批判もある。なお、レンジセンサを使えば、直接的に3次元データは得られるが、物体のセグメンテーションの際をはじめ、多くの仮定が必要なのは同様である。

2つ目は環境条件の仕様の設定の困難さである。「この装置は温度が何度、湿度が何%のときにこういう動作を保証します。」というような条件の記述法が分かっていないことである。なお、ここで環

境条件というのは、このような外部環境だけでなく、認識の対象となる物体も含めた対象世界全体を指すものとする。さらに、この記述ができない原因でもあるが、一般環境で動く視覚を考えようとすると、一般の世界では要因が多く、それらに相互作用もあり、本質的に起こり得ることをすべて予め調べておくことはできないという問題がある。

先に、コンピュータビジョンでは対象世界について仮定をせざるを得ないと述べた。しかし、上に述べたように実際の対象世界がどのような仮定を満足するのか決定するのは困難である。対象物が滑らかであるというような仮定は、実世界でそういう物体しか扱えないということで対応はつく。しかし、例えば照明条件や周囲の物体の存在等は、相互に画像の明るさに影響することもあり、どのように規定したらよいか分かっていない。従って、「良い照明条件のときには動きます。」というようなコンピュータビジョンのアルゴリズムがたくさんあるが、同じように見える環境で動いたり動かなかったりする。動いたときは良い照明条件で、動かなかつたときは悪い条件であつたというようなことでは、実用には難しいであろう。

3つ目はコンピュータビジョンのアルゴリズムの仕様の問題である。これには達成したい仕事の仕様の設定と対象世界の環境条件に関するものがある。これらは、アルゴリズムの出力と入力に関する仕様とも言える。例えば、画像認識システムの開発者が物体の形を調べるために画像からエッジを検出したかと思つたとする。そこで、エッジ検出のアルゴリズムをいろいろ試してみたが、どれも思つたようにエッジを検出してくれない。その結果、コンピュータビジョンなんて使えないと思つてしまう。しかし、これは人間の高度の認識能力の結果である、人間にとってのエッジ検出を計算機への直接的な要求にしてしまったところに無理がある。このように課題の設定自体から難しい。

次に環境条件に関して述べる。これまで、コンピュータビジョンのアルゴリズムは動作仕様が明確でないと非難されることも多かつた。確かに、以前はわけのわからないパラメータだらけで、たまたま論文に載せる画像に対しては動くというようなものもあつたかもしれない。しかし、最近では、アルゴ



リズムの動作のための仮定は明確にされるようになってきている。ただし、2番目のところでは実際の環境条件の仕様の設定の難しさを述べたが、コンピュータビジョンのアルゴリズム上での対象世界に関する仮定を表現することと、現実世界の環境条件のことばの間の対応に大きな溝がある。先に述べたように対象物が滑らか等の条件は簡単に対応がつくが、照明条件等の環境条件はアルゴリズム上のパラメータと実世界の間で対応がつきにくいものが多い。エッジ検出の場合なら、例えばアルゴリズムの方ではどの程度のランダムなノイズのあるステップエッジなら検出できるというような仕様は決まっている。しかし、これは環境条件には直接結び付かない。先に述べたように画像の生成にはさまざまな要因が絡んでいて、物体の境界で必ずしもステップ上に濃度に変化していないこともある。それでも人間はそこにエッジを見ることが多い。このようにして途切れたエッジを接続するには、問題に応じたかなりヒューリスティックな処理を導入せざるを得ない。従って、1番目に述べたように、どんな場合にも動作するようなエッジ検出の実現は難しい。

以上をまとめると、

1. コンピュータビジョンでは対象世界に仮定をしなければ問題は解けない。
2. ところが、対象世界は複雑で相互作用もあり、どのような仮定が当てはまるのか分かり難い。
3. しかも、アルゴリズム上での仮定が実世界の条件と直接結び付き難い。

ということで、コンピュータビジョンは難しい問題だということになる。

以上は物体の属性をとらえるという初期から中間レベルの視覚の処理を中心に考えたものだが、さらに物体をモデルと照合して認識するという高次のレベルを考えると、さらに問題が多い。例えば、椅子にはいろいろな形のものがあるが、それらを皆、椅子と認識できるようなことについては、ほんのさわりの研究があるだけである。さらに人間の視覚を考えると、イヌにはいろいろな種類があるが、それらは皆イヌに見えるし、そうかと思うと人間の顔などはこんなにたくさん人間がいるのに一人一人を識

別できる。コンピュータビジョンの研究にはまだまだやらなければいけないことがたくさんある。

### 3 どうしたら見ることができるか

コンピュータビジョンは難しいと言うだけで本稿を終りにするわけにもいかない。そこで、どうしたら見ることができるようになるのか、私見を述べておく。この目的のためには2つのアプローチがあると考えている。

#### 環境限定・仕様明確化アプローチ

一つは環境限定・仕様明確化アプローチである。これは、センサでデータを入力して処理をして結果を出すという一方向のオープンループのビジョンシステムを実現する際のアプローチである。このアプローチは Haralick[3] の提案と通じるものである。

先に述べたように、コンピュータビジョンではかなりの仮定をしなければ問題が解けない。仮定をするということは、対象世界が仮定を満足しなければ、正しい解が得られる保証がないということになる。従って、オープンループで必要な性能を得るためには、対象世界が仮定に収まるようにコンピュータビジョンのアルゴリズムと環境条件をうまく設定しなければならない。ところが、これも先に、このような仮定を仕様として明確にするのが難しいと述べた。しかし、難しくても地道にこれを研究していかなければいけない。これが、第1のアプローチである。コンピュータビジョンのアルゴリズムの仮定が現実世界のどういう条件に対応するのか、そしてそれがどの程度の範囲で適合が保たれるのかなどについて、アルゴリズムを検討する際に考慮しなければならない。現実のセンサで得られる誤差のあるデータを用いて、どういうことまでが確実に言えるのかというようなことの検討もこのアプローチの中で重要な研究課題になる。

周囲の条件もどうなるか分からないし、どんな物体が存在するかも分からないような全く自由な環境では、使える仮定がかなり限定されてくる。これに対処する方法としてはセンサデータを増やすことだろうが、それでも、このような自由度の大きい環境に対してこのアプローチで成功するのはかなり難しいと思われる。しかし、応用システムのビジョン

は万能である必要はないのだから、このアプローチにより産業応用を中心に多くの実用になるビジョンシステムが実現できると考えられる。

#### 人間介入アプローチ

オープンループのシステムでは環境条件が仮定からはずれると間違いが生じる可能性がある。しかし、もし、この間違いに気づいて仮定を修正してやり直すことができれば、そのうちに正解に到達することが期待される。一般の世界ではどのようなことが起きるかは分からない。従って、すべての可能性を予め考えておくことはできない。このような世界で正しく動作するには、このように失敗したらやり直すというようなクローズドループのシステムが問題解決の有効な手段と考えられる。しかし、間違いが何らかの方法で明確に分かるような場合はいいが、一般には、間違いに気がつくのもセンサ情報の処理によるわけで、この判断が正しいとは限らない。さらに、間違いに気がついたとしても、どのように修正すればよいかを決定するのも難しい。身体をもったロボットならこのような判断ができるという議論もあるが、実際にどうするのかは、まだまだこれからの段階であると思う。

そこで、ここでは難しいところは人間に助けてもらうという人間介入アプローチを提案する。つまり、コンピュータビジョンが間違ったら、それを人間に教えてもらい、必要ならばさらに修正の方向も示唆してもらうという方法である。もちろん人間の介入なしに完全に自律で動作して欲しい応用もあるが、研究会の名称に「コンピュータビジョンとイメージメディア」とあるように、ビジョンは人間のコミュニケーションのメディアであり、人間がシステムの中に入るのが当然な場合も非常に多い。例えば福祉機器を考えると、これは使う人間と全体で一つのシステムになっていると考えられる。福祉機器は人間を助けてくれるためのものだが、人間がそれほど負担にならないような形で機械のビジョンを助けることにより大きな効用が得られるなら、存在価値は十分あることになる。これは福祉機器に限らず、一般に人間と関わる機械、ヒューマンインタフェースが重要な機械に当てはまると考えられる。このアプローチのポイントは人間に負担のない自然な補助で機械が大きな効用をもたらすような方式の

検討であろう。

どちらのアプローチをとるにせよ、あるいは他のアプローチでもよいが、コンピュータビジョンの応用には大きな追い風がある。少し前まではビデオカメラからデジタル画像を得て処理をするシステムを作ろうとするとハードウェアだけで非常にコストがかかってしまった。従って、そのコストに見合うようなかなりの仕事をしてもらうような応用でないと考え難かった。しかし、現在ではそのようなハードウェアはどんどん安くなってきている。従って、ちょっとしたことにコンピュータビジョンを使ってみるということができるようになってきている。そう考えると、いろいろと応用が考えられるのではないだろうか。インターネットの世界の中で画像・映像が自然に扱われる時代になって来ているが、そこにうまくコンピュータビジョンの応用がないかと考えている。

#### 4 おわりに: 「見る」と「見える」

コンピュータビジョンの現状、問題点、そして解決のためのアプローチについて述べてきたが、最後に、このパネルで与えられた課題の「コンピュータはものを見ることができるようになるのか」について結論を出さねばならない。もちろん、「見ることができるといえる」というのは程度の問題であり、現在でも少しは見ることができている。このパネルのタイトルが「人とコンピュータ」であり、この課題も人間とある程度同じレベルで「見ることができるといえる」ということであろう。これについては、「見る」ということはかなりできるが、「見える」というようになるのは難しいと考えている。「見る」というのは、何か目的をもって、それに関する情報を視覚で得ようということを目指す。それに対し「見える」というのは、目を開いていると外界の情報がいろいろと飛び込んで来るが、それを絶えず処理していき、外部世界が内部に投影されている感じで、必要があれば「見る」という行為を起こすことができる視覚の働きである。英語で言えば、「見る」というのは look や watch で、「見える」というのは see に当たるような感じである。つまり、コンピュータは何かタスクが決まれば、それを達成するように「見る」ことはかなりできるようになるだろうが、人間のように

様々な状況の中で世界が「見える」というようなレベルの実現は、近い将来では難しいと考えている。

#### 参考文献

- [1] 松山隆司, 久野義徳, 谷口倫一郎, 和田俊和,  
“特別企画: わが国における IP, CV 研究の軌  
跡と現状,” 情処研報, Vol.96, No.47 (96-CVIM-  
100), pp.1-12, 1996.
- [2] 松山隆司, 久野義徳, 井宮淳 編, “コンピュ  
ータビジョン: 技術評論と将来展望,” 新技術コ  
ミュニケーションズ, 1998 (発行予定).
- [3] Robert M. Haralick, “Performance charac-  
terization in computer vision,” CVGIP: Im-  
age Understanding, Vol.60, No.2, pp.245-  
249, 1994.

# 人とコンピュータ： コンピュータに人の教育はできるのか

武井恵雄

takei@ics.teikyo-u.ac.jp

帝京大学理工学部情報科学科

## 1. Noと言わないために——本稿の立場

「コンピュータに人の教育はできるのか」という題をconvenerから頂いたと報告したとき、「コンピュータと教育」研究会のメンバーからは、一様に笑い声が上がった。だれもまじめにとりあってくれないし、「『できるのか』がいいですね」「一言、『無理』です」といった次第であった。

メンバーには、コンピュータ教育、コンピュータ利用教育、コンピュータ支援教育といった伝統的な意味でのコンピュータと教育の関係をさぐり続けている人もいるし、CSCL(Computer Supported Collaborative Learning)の可能性を追求して、協調分散システムの研究に取り組んでいる人もいる。そして、メンバーに共通していることは、いつも教育とは何かということと前面においてコンピュータの可能性を考えているということだろう。「コンピュータ」も「教育」も、自明のこととは思わない人々を中心になって活動している研究会なので、「人に教えるとは何か」「そもそも理解するとは何か」といったことを念頭においての議論が多い。認知科学に関心をもつ人や、その方面の研究者も多い。

ではこの研究会で、与えられた標題のようなことをターゲットにして、真正面から取り組んでいる人は?と問うてみると、これははない。多分、数十年前の初期の人工知能ブームのときにこの研究会があったならば、メンバーの主流だったかもしれないが、そういった硬い姿勢で取り組んでいる人は今はいない。

しかし、本来は永続的なテーマとして、いつでも考え続けなければならないことであり、こういったことを意識の中心においている人たちが認知科学の方に移っていったままでいいとは思えない。それに、認知科学の立ち上がりの契機となった1968~73年ころの研究業績は、AIの基盤的研究であるとして、わたしたちが学生に教えているものでもある。

このような訳で、「コンピュータに人の教育はできるのか」に対して、無理に「できる」と言い切るときの発言をしようと考えたことにした。2010年の情報通信を想定したシンポジウムが1994年に開かれ、convenerが「とにかく断言するように」と指示して成功したこと(1)に倣うものである。それに、研究会の活性化のためにも、ときどき目標を再考してみる必要があるのではないかと個人的に思っていることもあって、あえて発言に踏みきることとした。

## 2. When, Whom, Whatを限定する

現実に行われていることは、コンピュータを補助的な装置として利用している場合がほとんどであり、その意味では、他の業務におけるコンピュータの役割となんら変わらず、現状では特別な役割を果たしているとは言えないだろう。従って、わたしたちの研究会メンバーが「コンピュータと教育」という言葉を使うときはいつも、未来に向かっての発言である。

では、いつを想定しているのか。これは問題によってばらばらであるとしが言いようがない。

たとえば、分散環境における協調学習(CSCL)の研究などでは、ごく近い将来を想定して、コンピュータ・ネットワークでつながった遠隔教育の実現と、そこにおける学習形態の在り様について研究しているが、その実際的な実現のためにしなければならない作業は膨大なものがある。

近年の情報処理学会全国大会における教育関係のセッションにおいては、そういったことに備えて、じつと未来を見つめ、有用なシステムを実現しようという息の長い研究がみられる。そういったシステムの実現にはまだまだ時間がかかるだろう。

もちろん、現存の技術で、できることは実現させて、実際の教育に活用しようという研究も多い。

大学にLANが普及し、ネットワークワイドのシステムを構築しやすくなったことと、Javaの普及などがこの方面の研究を助けている。

教育の対象者はどうだろうか。現在のところ、学生や成人を対象としたものが多い。これは、大学における研究が多いことと、文字情報や、画像でも記号的画像による表現の方が開発が容易だという理由によるものだろう。しかし、そういった技術的理由の他に、学生なら、文字や記号化された情報でも理解してくれる、という本質的な理由があることを明らかにしておく必要がある。現在のコンピュータでは、子供は飽きてしまっただけで来てくれないのだ、と言い切る人もあるが、問題はもっと深いところにあり、それこそがわたしたちの研究課題であると言ってもいいだろう。この点は章をあらためて述べることにする。

教育目的はどうだろうか。

知的CAI、あるいはITS(intelligent Tutoring System)あたりからが話題になると思うが、現在はもっと自由な、もっと柔らかい感じのものが求められている。これからの時代、重大な意味をもってくるのが、「生涯学習」であろう。自分の意思で、自分が知りたいことを知り、理解したいことを理解することを求める時代になると思われるので、いつでもどこでも、学習したい時に学習できるための個人環境の実現が待たれる。ただ、生涯学習は個人単独で行うと決めつけるのは早計で、グループ学習であったり、リアルあるいはバーチャルなクラスルームであったりする。しかし、「人と協同」ということを「環境も共用」であるとしてシステムをつくってきたことが破綻を見せている今、本当に個人を尊重したシステムを作るために、個人環境をベースに協同環境をつくる方向に向かうものと思う。

### 3. 「教育」を「教える」と言いかえる

教育という言葉は、制度や体制などを含むものとして使われることが多いので、「コンピュータによる人の教育」というのは荒唐無稽な状況を思わせかねない。そこでまずは、「人を教える」というところから考えてみたい。

前章で、現在の研究状況とごく近い将来にむけた研究方向を気ままに上げたが、そこでは、「人を教える」ということには触れなかった。そもそも、「教える」「教わる」ということは決して自明なことではない。人間の知的活動のなかでも歴史の古い

ものであるだけに、古代ギリシャの哲学の対象であり、それを踏まえてヨーロッパの伝統的な教育学が構築されているようだ。わが国の教育学も、当然その影響を強く受けて、哲学的な論功が碩学によってなされている。アリストテレス、プラトン、ソクラテス、エラスムス、ルター、ミルトン、ロック、ルソー、カント、ベスタロッチと続く思想家たち——本当はもっとたくさんの人たちについて学ばなければならないが——は一人として欠かすことができない教育史の星々であり、事実、私たちが思い浮かぶ現象を言葉にすると、この人たちが創りだした言葉のお世話にならなければならない。このため、コンピュータをやるようなざっばく人間は、教育ということが議論されるときは寡黙にならざるを得ない。

しかし、認知科学の華々しい出現のお陰で、たいへん楽になったという感想をもつコンピュータ分野の研究者は多いのではなかろうか。わたしたちにわかる手段で研究を行い、現代語で論文を書いてくれるので、学者による「紹介」ではなく、原著論文や著書を実際に読むことができる。また、場合によっては自らの見解を述べて議論することもできる。

「教える」「教わる」にしても、それを、人間の知識獲得の問題、記憶の問題、意識の問題、そして理解の問題として把握できる時代にいるわたしたちは、なんと幸せなことか、と思う。

その上、わたしたちの方が、少し固いけれども実際に動かして確かめてみることのできる「モデル」つまりコンピュータとネットワークのモデルについては堪能だ、ということも嬉しい。たとえば、人と人とのコミュニケーションの研究は、認知科学以前から盛んだが、私見によれば、論及された研究内容を表現する手段において苦勞しているように見える。たとえば、伝達と認知について出された有名な著書「関連性理論」<sup>2)</sup>にしても、シャノンの情報通信路のモデルでは不十分であることを、図を示して述べているが、それに代わるものの表明は言語によるthick descriptionのみである。

たとえばわたしたちであると、情報通信に関する現実の(固い)システムを相手にし、それを語るために、たとえばOSI基本参照モデルの図式表現などを共有しているから、もっと柔らかいものについて語る時も、そのような図を示して議論することができる。図. 1は、著者が昨年書いたもの<sup>3)</sup>だが、この図を用いて、人や生き物のコミュニケーションにおけるプロトコルの整合や、エージェントという暗

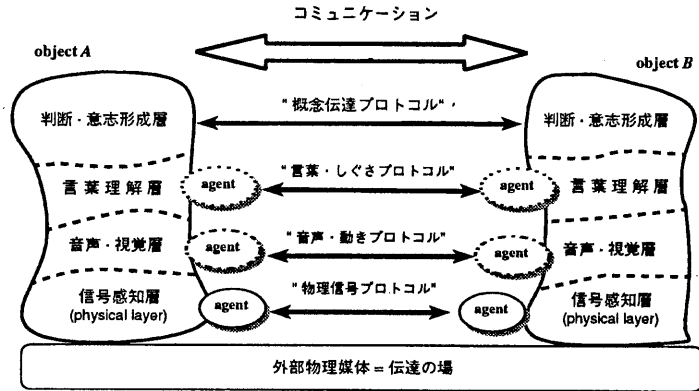


図. 1 人や生きもの間のコミュニケーションの仮説的モデル

喩で示した機能について議論することができる。たとえば、「下層の層のエージェントはphysicalに(肉体的に)実現されるであろうが、上層のものは、それに加えて『教える』ことで enhance されると思う」などと話し、相手の具体的な批判を引き出すことができる。そしてもし、これが科学的手法で実証的に証明されたならば、図図を使って、学生に人と人、あるいは人と犬のコミュニケーション・モデルとして「教える」ことができることになる。学問分野が違うと思ったり議論の仕方も違うという意味で、つくづく、パラダイムの違いを感じる次第である。

#### 4. 認知とCSと初等教育

2003年には、初等・中等教育の教育課程が刷新される。そのなかで、情報教育が全面的に展開されることになるので、関係者には関心を呼んでいる。これについては、今回の合同研究会の中で、CE研究会としての特別パネルが開かれ、その中で、高校教育を重点にして検討がなされる。これは従来のように職業教育として実施されるのではなく、普通科を含む高校全体に対して教科「情報」が設けられ、教育がなされることから、全面的な検討を急いでいる。

それに対して小学校の場合は、いろいろな教科の中で情報教育が行われ、また、いわゆる「ゆとりの時間」でもコンピュータを使う教育が行われることになる。つまり、コンピュータをより身近に感じながらの授業ということになる。その場合、子供たちがコンピュータをどのように受け止めるのか、心身の発達の途上にあるだけに心配する向きもある。

特に、記号化・抽象化ということが本質的な意

味を持っていたコンピュータにとって、これは「初めての体験」になるわけである。擬人的な表現をしたが、実際に問題なのは、教師であり、そういった教師教育を行う筈の養成課程のカリキュラムであり、もっとつきつめれば大学の教官・教員の問題である。

「コンピュータと教育」研究会の中では、教育学と認知科学とコンピュータ・サイエンスの協力が必須である、と認識しているが、その全体の協力体制をつくる必要があると考えられる。情報処理学会では、情報系学科の教育カリキュラムとしてJ97を提示したばかりであるが、情報系学科に、初等・中等教育における教員養成という使命が負われることを考えた場合、これでいいかという検討が必要だろう。教育学・認知科学との協力が become 必要になることはあきらかであろう。

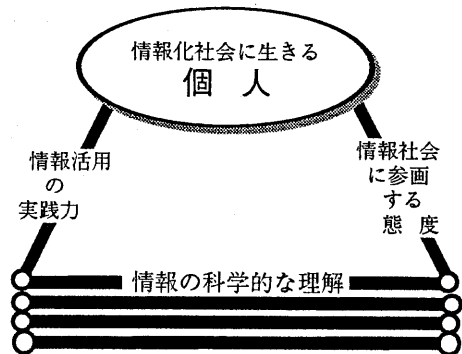


図. 2 情報リテラシーの三つの要素  
報告<sup>3)</sup>の提案内容から著者が作図

図. 2は、いわゆる文部省協力者会議<sup>4)</sup>の中間報告に示されたことを、著者が図にしたものである。もともとの報告には「情報活用の実践力」「情報の科学的な理解」「情報社会に参画する態度」の3要素が述べられているだけで、三者の関係については言及されていない。関連づけは著者の考えであり、提案である。著者の考えは、これを建物になぞらえたもので、「情報の科学的な理解」なしで他の2本の柱だけでも家は建つが、平安時代ころまでの庶民の家屋のような掘建て小屋でしかなく、土台のしっかりした家にならないという寓意をこめている。逆に、土台がしっかりしていれば、より高度な家も実現できるというメッセージを含んでいる。

もちろん、協力者会議の中間報告に示された3要素は、それぞれ、独立に有用であり、それぞれをどの順序で学ぶかなどは示されていない。それらの学習においては、何等かの教材に則してどれかを学び、次いで別の機会に別の要素を学ぶということをおして、これら3要素を次第に習得して、らせん的に高みに到達するものである<sup>5)</sup>。

## 5. CE研究会は何をすべきか

ここでのCEはComputer in Educationであり、当研究会の英語名称である。教育という言葉を広義にとらえ、且つ、コンピュータとの関係を緩やかなものとして捉えているので、この表現を使っている。

本稿の最初に述べた立場から、著者の意向でここまで書いて来たが、研究会としての進む道については、今すぐのことではないにしても、メンバーとの相談・議論が必要と思う。

今回の合同研究会の間に、研究会のメンバーと十分に話して、パネル討論の際にのべることにする。多分、「教える」「教わる」についてもいろいろと教示に富む話があるだろうと思われる。

また、「コンピュータは、ここまで人を『教える』ことができた!」という研究を見せてくださる方もあると思われる。その際は、全体パネルにおいてもご披露することができるだろう。

## 註 および 参考文献

- 1) この記録は情報処理 36(9), 1995 に特集された。convenerは白鳥則郎東北大学教授
- 2) D. スベルベル, D. ウィルソン(内田聖二他 訳); 「関連性理論」—伝達と認知—, 研究社(1993)
- 3) 武井恵雄: リテラシーとしての「情報通信」の教

育モデル, 教育工学関連学協会第5次全国大会論文集, pp.653-654(1997).

- 4) 正式名称は「情報化の進展に対応した初等中等教育における情報教育の推進等に関する調査研究協力者会議」である。報告はインターネット上で読める。 <http://www.monbu.go.jp/series/>
- 5) 坂元 昂教授(メディア教育開発センター所長)のご指摘による。情報処理学会1998年前期全国大会において開催されたパネル討論「初等・中等き教育における情報教育」における発言。

# コンピュータで人文科学がどう変わるか

山田 奨治

国際日本文化研究センター・研究部/  
総合研究大学院大学・文化科学研究科

学際領域である「人文科学とコンピュータ」について、道具としてのコンピュータ、コンピュータで人文科学がどう変わるか、人文科学でコンピュータがどう変わるかの三つの視点から考察し、これまでの成果の一部と今後の研究課題について述べる。

## Computers transform Humanities?

Shoji YAMADA

International Research Center for Japanese Studies /  
School of Cultural Studies,  
The Graduate University for Advanced Studies

This article describes about "Humanities and the computers" as an interdisciplinary study. Three view points are provided: computers as tools, how computers transform Humanities, and how Humanities transform the computers. Some successful studies and future problems are presented.



## ・道具としてのコンピュータ

技術には固有の目的がある。ある目的を持った人間の営みを技術と呼ぶのだといった方がよいのかもしれない。すなわち技術には、すべからくある目的を達成するための道具としての性質がある。コンピュータという技術も、その例外ではあり得ない。

純粋なコンピュータサイエンス（CS）研究者や開発メーカーの方々以外の者にとって、コンピュータは自分の研究や仕事を行うための道具に過ぎないことは自明であろう。現代のコンピュータ技術は、高性能・高機能・低価格化の追求によってのみドライブされている観が否めない。もちろん高性能化のドライブがもたらした恩恵には多大なものがあるので、一概にそれを否定することは誤りである。しかしコンピュータもここまで来たのであるから、これまでのCSの成果が、それを必要としている領域において、あまねく利用可能な状態になっているか否か、コンピュータがもたらした新たな問題はないのかどうか、少し立ち止まって考えてみることは無益な寄り道ではあるまい。それはすなわち、ユーザの声に耳を傾けるという、単純かつ基本的な行為に他ならない。

## ・コンピュータで人文科学がどう変わるか

人文科学とコンピュータ研究会は、人文科学分野へのコンピュータ応用をめざした種々の研究を取り扱っている。人文科学は一見、コンピュータとは何の縁もないように見える。人文科学者の間では、そのような見方をする者が多いのも事実である。しかし社会のコンピュータ化は、確実に人文科学の研究環境を変えており、またある分野では研究方法そのものがドラスティックな変化が起こしつつある。

研究環境の変化の一例として、文部省学術情報センターのNACSIS-ILLサービスをあげることができる。これは図書館間で行われている相互貸借サービスを電子化したシステムで、これによって文献複写や貸借のスピードが格段に迅速化した。利用統計によればILLサービスの利用件数は、1995年のサービス開始以来、年1.2倍のペースで増加している。筆者が所属する人文系の大学共同利用機関である国際日本文化研究センター（日文化研）においても、ほぼ同様の伸び率を示している。また昨年度、一般ユーザがWWW上で文献の所在情報を確認できるWEBCATサービスが開始された。日文化研図書室でもWEBCATのプリントアウトを手で文献複写を依頼する研究者が、目に見えて増加していることが実感できる。コンピュータネットワークの進化が、人文科学の研究環境を確実に変えているのである。

コンピュータ化によって、人文科学の研究方法そのものがドラスティックに変わりつつある分野の一例として、電子化された全文情報による古典文学研究をあげることができる。1996年に『新編国歌大観』のCD-ROMが発売された。これは、1983年に刊行された全10巻の同名書物に収録されている古典和歌45万首を一枚のCD-ROMに収めたものである。この種の全文情報は、古典文学とは多少専門を異にする研究者に多大な恩恵をもたらす。例えば、人文地理学者が「飛鳥川」を詠んだ和歌をすべて調べたいと思ったとき、横に並べると50cmを超えるような書物を丹念に調べなければならない環境と、検索コマンドひとつで該当する和歌すべてがリストされる環境を想像し、比較してみたい。古典の参照が本質的に重要である連歌の分野でも、電子化全文情報は大きなインパクトをあたえつつある。最近では、『新編国歌大観』の全文情報を利用して、和歌のパターンを抽出する

研究も出てきている [1]。また品詞情報を付加した『源氏物語』の電子化全文情報を作成し、物語の前半と後半の文体変化について計量的に示した研究もある [2]。これらは、人文科学者と情報科学者の共同研究によって可能となった、人文科学研究の新しいスタイルであるといえることができる。

## ・人文科学でコンピュータがどう変わるか

「人文科学でコンピュータがどう変わるか」は、この小論のタイトルと比較して奇異な感じがするかもしれない。しかしコンピュータで人文科学が変わるならば、人文科学でコンピュータが変わってもおかしくない。ユーザの要望を取り入れることは、コンピュータそのものを進化させる。それはインタフェースなどのユーザに接する部分においてのみならず、コンピュータの機構そのものを進歩させる契機にもなる。現代の最高速のコンピュータ作りに、理論物理学者というユーザが関与していることから、そのことは理解できる。しかし理論物理学者と人文科学者の大きな違いは、前者は最速のコンピュータという自分達のための道具作りの手間を惜しまないのに対して、後者はそれをしない傾向があるという点である。それは人文科学者の怠慢ともいえなくはないが、もともと理系の科目が苦手な人文科学へ進んだ者が多い訳であるから、単純に両者を比較することは酷であろう。

前節では文字情報を使った研究例を紹介したが、人文科学では画像情報を有効に使う方法論確立への期待も大きい。例えば古文書を扱う研究者にとって、劣化した画像を回復させる技術はたいへん魅力があるが、多くの人文科学者には手が届かない技術である。情報科学において20年以上の研究史を持つ画像回復技術が、人文科学者にとってはまだ絵に描いた餅のままであるような現状は、何とか打破しなくてはならない。

ここで、人文科学のためのコンピュータという観点から二つの課題提起を行いたい。

第一は夢のあるテーマで、古文書の自動読みとり技術の必要性についてである。世の中には未発見のものも含めて、まだ読まれていない古文書が大量に存在する。古文書の読解には相当のトレーニングが必要で、大量の文書を扱う研究現場では古文書を読める人材の人手不足に悩まされている現状がある。また古文書の専門家であっても、判読が困難な文字に遭遇することは珍しくない。古文書を自動的に読みとったり、専門家をサポートするようなシステムの必要性が叫ばれている。「人文科学とコンピュータ研究会」では、古文書自動読みとりを視野においた研究がなされているが、研究の進展のためにより多くの研究者の参画が望まれる。古文書自動読みとりは、いわば究極の文字認識ともいえ、克服すべき技術課題の多いテーマである。

第二はやや深刻なテーマで、電子化された記録の保全性の問題である。人文科学が扱う記録は、1000年単位のものである。「人文科学とコンピュータ研究会」でよく議論されることであるが、和紙に墨で書いた記録は1000年たっても読めるという実績がある。粘土に刻んだ文字にいたっては、5000年を経ても読むことができる。しかし1980年代のフロッピーディスクや光磁気ディスクに記録された情報には、20年を経ずして不可読となってしまったものが、筆者のまわりにも少なからずある。電子化された記録は劣化しないという、極めて大きなメリットがあることは周知の通りである。しかし電子化された記録を維持するためには、それを最新の記録媒体に絶えずコピーし続けなければならないことも、われわれはすでに気づいている。この特性は、電子化記録がわれわれの子孫にとって負の遺産と

なりかねないことを意味している。われわれが作った記録を維持するだけのために、子孫は相当な手間と資金を投じなければならないかもしれない。そのことに気づいていながら、子孫にその責務を課すのか？そのような無限ループから脱却させるすべを、考えておくべきではないだろうか。

コンピュータに限らず技術開発は、現状では軍事を除いては経済原理で動いている。文化的な研究や文化遺物の維持保存といった、大きな目標ではあるが経済原理から外れた分野のためには、技術開発は行われにくい社会システムの上に、われわれは生きている。しかし冒頭に述べたように、技術には固有の目的があるはずである。コンピュータ技術の最終目的は何なのかと問うならば、文化の発展のためだと思いたい。文化の学問であるともいえる人文科学とコンピュータの接点は、もっと広がらなければならない。

## 参考文献

- [1] 山崎真由美, 竹田正幸, 福田智子, 南里一郎: MDL 原理を用いた和歌データからのパターン抽出, 情処研報, Vol.98-CH-37, pp.29-34 (1998).
- [2] 村上征勝, 上田英代, 今西祐一郎, 樺島忠夫, 藤田真理, 上田裕一: 源氏物語の文章の統計分析, 情処研報, Vol.96-CH-31, pp.33-38 (1996).

# コンピュータによって音楽の世界はどう変化してゆくか

平賀 譲 (図書館情報大学)

音楽は古来、芸術の中で最も科学・技術との関係の深い部門である。すでに約 2,500 年前、ピタゴラスは音の協和性と弦の長さとの関係を論じたと言われているし、後のプラトンは主要な四学 (quadrivium) のうちに、幾何などと並んで音楽を掲げている。特に楽器の歴史はそのまま技術革新の歴史という側面をもつ。またここで言う技術は工学的な技術だけに限らない。音楽のそのときどきにおける革新は、1 つには新たな作曲技法や演奏技法の開発・普及と手を携えて起こってきた。

そういった背景を考えれば、現代技術の最先端であるコンピュータが音楽に利用されるというのは当然の成りゆきと言えよう。しかし言うまでもなく、コンピュータの利用は単に過去の延長線上の現象というだけでなく、全く異質の展開をもたらすものでもある。ここではその役割を、「道具としてのコンピュータ」、「作り手としてのコンピュータ」、「聴き手としてのコンピュータ」という 3 つの側面に分けて考えていきたい。

「道具としてのコンピュータ」というのは、音楽作りや聴取を行なうのはあくまで人間で、コンピュータはその道具として利用されるという観点である。典型的には「楽器」としての利用があり、それ以外にも、コンピュータのもつ制御・蓄積・加工・通信といった情報処理機能を利用した様々な利用形態が存在する。

道具としての役割に対し、後 2 者ではコンピュータが能動的に音楽に関わる面が強調される。「作り手」としての役割には、コンピュータ自身が作曲を行ったり、人間の演奏者と対等に、自主的に演奏を行なっていくような場合があげられる。一方「聴き手」のほうは曲の分析、さらには評価に立ち入ったような処理を指している。もっとも「インテリジェント・ツール」、つまり（「知能」と呼べるかは別にしても）高度の処理能力をもった能動的な道具ということもあるから、3 者の境界はそう明確というわけでもない。

## ● 道具としてのコンピュータ

3 者のうちで一番問題の少ないのは「道具」としての役割だろう。デジタル電子楽器まで含めれば、すでにコンピュータはポピュラー音楽などメジャーな領域にも浸透しているし、先端的な創作・研究においては広範で多様な試みが行なわれている。

ここではその具体的な内容を個々に取り上げることはできないが、大枠としてとらえるなら、コン

ピュータがもたらすインパクトの要因には、デジタル化による仮想化、複雑な処理の実現、能動的な関与、そして社会的インパクトとしての大衆化・個人化などがあげられる。能動化については次項で、また社会的影響については最後に取り上げる。

従来の楽器は物理的な制約のもとで存在してきた。どういった音が出るかは楽器の物理的構造によって決まるし、演奏者の技能、さかのぼれば人間の運動能力による制約もある。しかしあらゆる情報がデジタル化によって一元的に扱われるようになると、そういった制約は実質的に消滅してしまう。キーボードを弾いて（電子合成による）フルートの音を出したり、はるか遠隔地と合奏を行ったり、人間にはとても演奏できないような複雑なパッセージを弾いたり、自然界には存在しえないような音を出したりができるわけである。物理的な制約からの解放によって得られる自由は、当然ながら音楽そのものを変革させる潜在的な力を秘めている。

今「潜在的」と書いたが、実はこれがくせものである。これは 1 つには、現在までの様々な研究にも関わらず、我々がコンピュータでできることはまだまだ限られているということでもあるし、一方では、すでに手に入っているものだけでも十分に使いこなせていないのではないかということでもある。

後者についてだけ言えば、自由というのは膨大な可能性を提供してくれるものではあるが、そこから何を選べばよいかを教えてくれるわけではない。そのあたりは感性の領域の問題になってくるが、膨大さゆえに手に負えなくなっている面も否定できない。そうなると、表現よりは技術のほうに振り回されることになる。ともすれば、新たな技術のショーケースのようにになっている作品がまま見られる。表現の可能性は拡大しているが、そこから斬新で芸術的意義のある表現内容が生まれ、世間にも受け入れられる形で定着しうるのかは大きな問題だろう。

ただ、新たな道具が音楽そのものをグローバルに変化させる力を持ちうることは事実である。例えば 18-9 世紀における鍵盤楽器の発達は、平均律という新たな音律をもたらしたし、和声的な、そして転調を多用する音楽へとつながった（それをさらに押し進めたのが現代の無調音楽である）。

現在の「コンピュータ音楽」は既存の音楽とは一線を画したところに存在している。実際、作曲家に聞いても、コンピュータ音楽作品と既存楽器の作品とは全然違ったアプローチで臨むそうである。また既存の音楽にコンピュータを持ち込んだ、いわゆる DTM (Desk Top Music) は、その既存の音楽

の表現手段としてはまだ十分な水準に達していない。今後、それらが別々のものとして進展していくのか、あるいは大々的な融合が生じるのかが興味のあるところである。よく言われる「今の若者は（コンピュータが作り出すような）機械的なリズムを好む」というのは、そういった現象がすでに生じている現れなのかもしれない。

#### ● 作り手としてのコンピュータ

コンピュータには与えられた指示を忠実に実行するだけでなく、能動的に振る舞う、つまりプログラムの作成者や利用者に対峙する形で機能させることもできる。典型的な例が「自動作曲」の試みで、そこではプログラム自身が選択し、創造することが目指されている。

ここでの問題は、「そもそも音楽とは何なのか」という大本までたどり着く。音楽があくまで人間による営為であるなら、小川のせせらぎや小鳥の鳴き声が音楽でないのと同様、コンピュータによる「音楽」も音楽ではない。一方、音響として享受できるものが音楽なら、いずれも音楽になりうる。「芸術」としての音楽はさらにやっかいで、作り手の意志、主張、さらにはアイデンティティといったものが求められる。ベートーベンを徹底研究して「第10交響曲」を完璧に作曲したところで、それはジョークにしかない。

DeepBlue と対戦したカスパロフは、相手に「意志」が感じられなくて弱ったと述懐したと伝えられる。チェスのように論理づくの世界でもそうなら、音楽ではなおさらだろう。自動作曲にしても自動演奏・合奏にしても、相手に意志・意図が感じられなくなった瞬間に一種の「破綻」が生じる。初期に盛んであった「完全」自動作曲の試みは、現在では下火になっている。これは技術的な難しさもさることながら、「創作するとはどういうことか」について、研究サイドが十分な取り組みをしてこなかったことも大きな原因だろう。少なくとも作品に意志や主張といったものは感じられない。あるいは作曲者など気にせず、聞いて好ましいものであれば音楽としての資格はあるのだろうか（もっとも現実にはその水準にさえ達しないものも少なくないが）。またコンピュータが「意志」と言えるものを持つようになったとき（近い将来ではなさそうだが）、事情はどう変わるだろうか。

#### ● 聴き手としてのコンピュータ

そういった「意志」を持つことの一環として、対象を理解すること、つまり分析の能力は不可欠である。しかし現在のところ、コンピュータによる音楽分析の研究というのは、少なくとも目を見はるような成果という意味では他の側面に比べて立ち遅れている。対話的演奏システムでは、リアルタイムという制約もあるため、表面的な特徴だけしか扱われてない（それだけでもちゃんと動かすのは大変である）。立ち遅れの理由としては、（人間による音楽理解という、認知に関わることもあって）問題自体が難しいこともあるし、そういった基礎固めとも言

える作業に対する関心が一般には薄いということもあろう。近い将来、大発展するという楽観的な見通しも立たない。

しかし一方、潜在的な影響力はこれが一番大きいかもしれない。音楽を作る側だけでなく、例えば演奏練習の相手や音楽 CAI といった応用を通じて、受け手の側にも直接につながるからである。これは同時に危険をはらんでもいる。そういった教育面への導入を通じて、画一的な、また一面的で不完全な評価や見方が一人歩きし、広まる可能性があるからである。あるいはまた、上述の「機械的なリズムを好む若者」のように、それが根本的なところで音楽に対する意識を変えていく結果になるかもしれない。

#### ● 社会的なインパクト

先端的な研究・創作とは別に、音楽に対する社会全体の関わり方について、むしろそちらの面でコンピュータは大きなインパクトを持ちうる。これにはワープロやゲーム、インターネットが社会に及ぼす影響などと共通の一般的な事項もあるし、音楽固有の事項もある。

録音技術の発達と普及は、音楽のあり方そのものを変えてしまった。音楽が一大産業として成立することになり、大衆の側ではいつでもどこでも自由に音楽にアクセスできる、その一方で常に音楽に晒される状態になった。ここまでは大衆はあくまで音楽を受動的に受け入れる立場にすぎないが、コンピュータ上の DTM やインターネットなどの広がりにより、今度は作る側へも大衆化の動きが及ぶことになる。これまで専門性の高かった作曲・編曲・演奏が、コンピュータ支援を受けることでハードルが低くなり、気軽に「音楽」を作れる状況が生まれてきている。それとともに、これまでは多人数の共同作業として成り立ってきた音楽が、1台のコンピュータですべてをこなすという意味で、利用者ごとに個人化していく傾向も生じるだろう。

こういった動向が音楽全般にどのような影響をもたらすかは、実のところよくわからない。一方では、ワープロや DTP が出版産業に大変革をもたらしたのと同様、既存の音楽産業の解体・再編成につながるかもしれない。少なくとも生産・供給が拡大し、あらゆる場面に「音楽」が氾濫するということはありそうである。しかし反面、音楽に対する需要は無機的なドキュメントの必要性とは本質的に異なっている。あくまで一定の質や、送り手との共感が求められ続けるかもしれない。そうであれば、大衆化そのものは進行するにしても、現在の枠組はそのまま残り、それと共存していくことになる。

音楽作りの大衆的な拡大は、必然的に全体としての質の低下につながる。これは高度な専門技能のレベルにも変質をもたらす可能性がある。仮に全世界で音楽を享受できる総量といったものが一定として、それが広く行き渡り、しかし低い水準にとどまることと、一部の者に集中し、しかし高い水準を保つこととの、どちらが音楽にとって望ましい状態かは興味のある問題である。

# 人とコンピュータの対話はできるようになるのか

中川聖一（豊橋技術科学大学・情報工学系）

## 1 音声対話システムとは

音声対話システムは、話し言葉である音声言語を用いて、人間と機械が対話するシステムのことをいう。当然、音声言語の分析・認識・理解が基礎となっている。音声対話システムの研究は、音声科学・言語科学・知能科学・認知科学的なモデルを構成し、それを計算機上に対話理解生成システムとして具体化することにより、人間のコミュニケーションメカニズムを構成的立場で理解することとマンマシンインターフェースの入出力手段として音声言語を利用することを目的としている。本稿では、主に後者について考察する。

音声言語特有の現象として、間投詞、助詞落ち、倒置の多用、言い間違い、言い直し、言い淀みの出現、多様な言い回しなどがあり、文字言語と比べて機械にとっては非常に扱い難い代物である。また、声質、韻律という形で個性、モダリティや感情を伝達できるのも特徴的である。また、音声対話は、即興的に行われるので、相当「さぼった」発話がなされる。このため、音声、言語、知識、概念のいずれのレベルにおいても、誤り、あいまいさ、省略や語順変更などの不確実さや重複が多くなる。逆に、話し言葉は、小さい単位で漸進的に、断片的に情報伝達が進められることが多く、発話単位当たりの格要素数は少ない。複雑な文構造は少ないが、時には、係り受け構造が明確でなく、途中で文構造が代わる発話も多い。したがって、音声対話の研究では、書き言葉とはかなり異なったアプローチにより、各レベルを密接に関連させて、一体的に行なう必要性がある。

テキスト入力による自然言語対話システムの欠点（自然言語対話の利点は思考の即時表現可能性である）をカバーしようとする音声対話システムでの難点の一つは、ユーザが発声する発話を完全にカバーできるシステムの構築がきわめて困難なことである。Spontaneous speechに見られる現象の他に未知語の問題も生じるし、独言も発声するかも知れない。さらに困ったことに、ユーザにとってシステムが理解できるように協力的に発声しようとするれば、何をどのように発声したらよいか分からずどまどつてし

まう点である。もちろん、これらはタスク・アプリケーションの設定が重要となることを意味するし、システム主導の対話制御も必要になることを意味する。さりとて、ユーザの発話を制御することは即時性の入力表現法としての音声の利点を損なってしまふ。プランベースの対話制御は音声対話には不向きである。

## 2 音声対話システムの課題[1]

シュナイダーマンは、自然言語インターフェースに関して次のように述べている[2]。「人間と人間の対話の方法が、必ずしも人間がコンピュータを使用する場合の適当なモデルとは言えない。コンピュータは、人間がコマンド入力するよりも 1000 倍も速く情報を表示できるので、豊富な情報を表示し、初心者や中級者には単純にその中から選択できるようにする方が得策とも考えられる。」但し、上述の自然言語とはタイプ入力による自然言語であり、音声による自然言語（音声対話）入力になれば、「キー入力数が多い」という短所はなくなり「入力速度が早い」という長所もでてくると思われる。このことをふまえても、シュナイダーマンは言う。「たびたび対話の内容を確認しなければならないとすれば嫌気がさしてしまうだろう。音声によるエラー処理やフィードバックは難しく遅く、音の入出力チャネルは人間同士のコミュニケーションのために用意されているとも言える。結局、直接操作をはじめとする視覚的な対話方式が、高速ディスプレイをもつ、コンピュータの能力をより効率的に利用できる」と。

シュナイダーマンの主張は、結局筆者らが指摘した以下の音声対話システムの研究課題を導く[1]。

1. 各処理レベル間のインターフェースを解明し、制約条件を形成すること。省略補間、ユーザの意図・発話行為の推測。
2. エラー、あいまいさ、省略、多義性などの不確実さや重複を含む「きたないシステム」としての音声対話系の扱い方を解明し、処理方式を確立すること。
3. ユーザに不自然さを与えないシステム主導型の対話制御法（断片的発話や割り込みの許可、あ

- いづちの挿入など)。ユーザ主導は現状では小さいタスクや発話・対話構造が明確なタスクのみ可能である。初心者には、システム主導がよく、熟練者には、ユーザ主導がよい。一般的には主導権を固定しない混合主導がよい。
- システムの制約に対するユーザの適応化能力の評価（例えば、倒置や言い直しは許さないという制限にユーザは適応可能か、システムの限界の説明や状態の透明性、タスクの合理的な設計法など）。
  - 他の競合インターフェースを意識したアプローチ（メニューベースド、マルチモーダルインターフェースとの統合化も一方向）。

### 3 音声対話システムの現状

ユーザに自然な発話を許す対話システムは、これまで音声認識でテスト用に用いられてきた朗読文などの発話に比べてバリエーションの大きな発話を扱わなければならない。文法は書き言葉に比べてかなり緩くなり、間投詞、言い直し、曖昧な発話などの現象も多く生じてくる。制約の多くを文法的制約に頼る音声認識システムでは認識率が下がる。そのため、比較的明確に対象が限定されたタスクに於いてさえ、n-gram などの統計的言語モデルが有用である[3]。また、間投詞や言い直し、未知語などの問題によって認識率はさらに下がり、音声認識結果には単語の置換、挿入、欠落などが増大する。このため、現状の音声対話システムでは誤りを含んだ認識結果を解析しなければならない。すなわち、音声対話システムにおいて自然な発話を理解するためには間投詞、助詞落ち、言い直し、倒置などを含む文の理解はもちろん、誤認識からの発話文の復元も必要不可欠である。

また、システムがユーザと協調的には対話を進めていくために、曖昧な入力に対するシステムからの確認や文脈解析による解消・適当な答えがない時の代案の提示、などの機能を持たせる必要がある。航空案内[4]や観光案内[5]などの限定されたタスクに於いては、図1に示すような対話システムが実現できるようになってき、一部実現化されている。しかし、まだまだ協調的にシステムに話しかけねばならず、人間同士の会話に比べて助詞落ち、言い直し、間投詞、倒置などの不適格文の発話は少ない。研究室段階でできるのと現場で使えるのとは大違いというのが現状であろう。

SYS: 富士山観光案内システムです。ご用件をお願いします。  
 USR: えーと、本栖湖で何ができるんですか。  
 ([え] /to o/ 本栖湖で何 [あ] できますか)  
 SYS: どんな事をなさりたいのですか。  
 USR: テニスしたいです。  
 (テニスでしたいです)  
 SYS: テニスは本栖湖でできます。  
 USR: 本栖湖、あの一、ボートに乗れますか。  
 (本栖湖は [その一] ボートに乗れますか)  
 SYS: ボートは本栖湖では乗れません。ボートは山中湖と河口湖で乗れます。  
 USR: 水上スキーのできるホテルは、かわ…、河口湖にあります。  
 (水上スキーのできるホテルは /pu o wa/ 河口湖にありますか)  
 SYS: 水上スキーのできるホテルは河口湖にありません。しかしテニスのできるレイグランドホテルが河口湖にはあります。

図1: 音声対話例  
 (括弧内は音声認識結果を、  
 [] は間投詞を、 / / は未知語を示している)

### 4 むすび

本稿では、音声対話システムの構築において、考慮すべき点を列挙した。音声認識技術と自然言語理解技術の発展と融合により、限られたタスクではオンライン、リアルタイムで動作する音声対話システムの構築が可能となってきた。しかし、留守番電話やテレビ電話が一般のユーザに敬遠されていることからわかるように[6]、認知工学的な見地からのインターフェース設計が重要となってこよう[2]。

### 参考文献

- [1] 中川, 堂下: 「音声言語情報処理研究の動向と研究課題」 情報処理, Vol.36, No.11, pp.1012-1019 (1995)
- [2] B.シュナイダーマン著 (東・井関監訳): ユーザインターフェースの設計, 第2版, 日経BP出版 (1995)
- [3] 廣瀬, 甲斐, 中川: バイグラム言語モデルに基づく対話音声における冗長語・未知語処理, 電子情報通信学会, 音声技報 SP98-4(1998.4)
- [4] V.Zue: Conversational interfaces: advances and challenges, Proc.Euro speech, pp.KN-9-18(1997)
- [5] 伊藤, 小暮, 中川: 協調的応答を備えた観光案内音声対話システムとその評価, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5(1998)
- [6] 原田悦子: 人の視点から見た人工物研究, 共立出版(1997)

# 人間社会とコンピュータ

森 亮一\*  
神奈川工科大学  
情報工学科

## 概 要

これまで人類が経験したことのないような激的な変革が進行している。デジタル革命である。この革命の中で、情報処理技術が生命、経済、政治の根幹を支えるようになってきた。我々研究技術者は、このような影響を十分考慮し研究開発の大きな流れをとらえるべきである。本論文では、デジタル革命の正および負の影響がともに一般的認識より遥かに巨大であることを述べる。また、正の影響の規模の素晴らしさへの認識も不十分であるが、セキュリティへの負の影響の認識には根本的に欠けたところがあることを解説する。最後に、デジタル革命が進展するにつれて、社会的あるいは人間的座標軸を見据えた技術開発がより一層重要になることを指摘する。

## Human Society and the Computer

Ryoichi Mori\*  
Kanagawa Institute of Technology

## Abstract

The Digital Revolution, the greatest revolution humankind has ever experienced, is now underway. Information technology is becoming the backbone of life, economy, and politics. We researchers in the field, therefore, must carefully consider the effects of the Digital Revolution and what our scientific and engineering goals should be. This paper outlines how the advantages and disadvantages of the Digital Revolution are much greater than people think. Few people fully understand either the extent of its benefits or how it can jeopardize our security. As we develop the new technologies of the Digital Revolution, it is vital that we not neglect either their human factors or their social effects.

---

\* email: mori.ryoichi@nifty.ne.jp, mori@ic.kanagawa-it.ac.jp



## 1. デジタル革命の本質

デジタル革命の影響の大きさを示そうとして産業革命や津波あるいは集中豪雨に例える場合があるが、どちらも不適切である。産業革命はエネルギーの工業生産を可能にしたけれども、質量・エネルギー保存則が核心であることには変わりがなかった。その意味で産業革命はデジタル革命の初期微動であるとたとえるほうがむしろ適当である。

津波や集中豪雨などで「緊急対策」と呼ばれるものの多くは実は単なる「緊急避難」にすぎない。最悪の事態は長く続かないことを我々は経験的に知っているので、本格的対策が峠が過ぎてからになるのは自然である。デジタル革命の場合に同様な対応は致命的である。なぜならば、この革命は今後 100 年以上にわたって継続する明瞭な理由があるからである。デジタル革命では今すぐに長期的根本的対策をはじめることが正しいのであって、もし緊急避難で乗り切ろうとすれば大きな誤りになる。

デジタル革命が長く続く理由は、世界中の人間と資本がデジタル情報の分野に流入を続けるからである。ますます多くの人々が、デジタル情報の分野が有利な投資先であることに気づいて、自分とその財産を投入する。それは、ある時間の遅れをともなって結果としてあらわれ、さらに正のフィードバックを引き起こす。津波や集中豪雨と違って、デジタル革命は「絶対的な」限界に達するまで止まらない。筆者が 1980 年に書いた文献 1 の図 1 から見られる様に、現在の速度でナノテク化がすすむとして、人間のナノ技術が「神の」すなわち自然が数十億年かけて創ったナノ構造の水準と比較できる程度になるま

で、おそらく 100 年以上にわたって進歩が継続することになるだろう。

もしデジタル革命を無理に集中豪雨に例えるならば、それは降りが毎日前日よりも強くなる、そしてやむことのない豪雨である。その結果としては、「陸地などというものはなくなる」というたえの方がよいであろう。その時でも有体物は確かに存在するであろうが、それは情報の海の上に浮くハウスボートのようなものだろう。

## 2. コーヒーとガソリン

このような激烈な進歩の原因は何だろうか、それは、デジタル情報の諸性質の中でも飛び離れて重要な、自己の持つ財産を他人に分け与えても財産が減らないという性質である。人類の歴史の上で、ほとんどの流血の原因は財産の取りあいであった。その意味で、デジタル情報が産業製品の主要なものとなることは、人類の社会が長い貧困と流血の時代から離陸するための最も強力な推進力になる。有体物・エネルギー中心の社会は質量・エネルギー保存則の束縛から逃れることはできなかった。デジタル情報はその束縛から自由であり、様々な富の源泉となるだろう。次の例は、デジタル情報が産み出す富の一端を知る上で参考になる。

コーヒーとガソリンを保管する時には、それぞれ別な容器を使う。1つの容器に両方を入れておいて、使うときに分別する方法（容器を1つ節約できる）よりも、容器を別にして混じらないようにする（分別の手数と装置を節約できる）方がよいからである。

このように有体物では別なものは別に取り扱

うのが自然である。たとえばガソリンとコーヒーは混ぜない。デジタル情報では別なものの情報も同じ装置で取り扱うのが自然である。コーヒーの在庫量とガソリンの在庫量を取り扱うために別なコンピュータを用いる必要はない。このことがデジタル情報の重要さの一つの理由である。農業、漁業、自動車産業などの何をとっても、それらの産業のある部分は特有であるが一部の部分は情報処理である。

漁業を例にとろう。「操業地まで安全な天候のもとで往復できるルート」「操業地で魚群を探索する技術」「漁獲作業をいつやめるか、どの港にゆくか、どの市場に送るのが最も有利かの計算」「何割を活魚、何割を冷蔵、何割を冷凍とするのが最も有利かの計算」は情報処理であって、他の分野の情報処理と基本的に同じ技術である。このように、あらゆる産業の半分は結局は情報処理である。そこでそのための「コンピュータのハードウェアおよびソフトウェア」の生産は、デジタル革命の進歩とともに、他のハードウェア例えば農業のための農地や灌漑施設、自動車工場のための生産ライン、などの総和に匹敵する産業規模になる。

これだけであれば、例えばGDPの50%がコンピュータのハードウェアとソフトウェアに対応するようになるだろう、で話は終わる。けれども実際にはその先がある。コンピュータのハードウェアとソフトウェアを研究・開発・設計・製造する技術と、量産されたそのシステムを効率よく利用する技術とは、関係はあるが別のものである。これは自動車を研究・開発・設計・製造する技術と自動車を運転・利用する技術とが関係はあるが別なものであると同様である。現在および将来の社会では、コンピュータを作る人々の数に比べて使う人々の数の方が圧倒的に多い。これは他の

産業分野でも同様である。漁業のための各種装置を効率よく使用することは1つの教育である。この教育のかなりの部分は現在でもデジタル情報処理である。マルチメディア技術やバーチャルリアリティ技術の進歩によって、教育はますますデジタル情報処理の直接の応用になってゆく。これらのことを考慮すると、おおまかに定性的に言うとき、GDPの4分の3くらいまでがデジタル情報処理であるという状況が起こるだろう。

### 3. 保存則のない世界へ

質量・エネルギー保存則は重要な物理法則の一つであるが、情報には質量・エネルギーのような保存則がない。このことの正の影響は大きく、それについての人々の理解はまだ十分とは言えないことは、上述したとおりである。さらに一方で、負の影響についての多くの人々の理解には、まだ根本的に欠けたところがある様に思われる。

読者の財布が、私のポケットにあれば他所にはないのは、保存則による。飛行士が、月面に居れば地球にいないのも、保存則による。犯罪が起きた時、証拠は現場にあって、たぶん読者のポケットにはない。これも保存則による。

保存則の有無によって、次のような違いが起きる。財布を金庫にしまうと、原理的に独立な二種類の防御機能が実行される。第一に、金庫によって、財布を盗むことが妨げられる。第二に、金庫をあけて財布があれば、それは財布が盗まれていないことの証明になる。この二つは「直交する」すなわち「互いに独立な」事象である。その証拠に、情報を金庫にしまう場合を考えてみると良い。金庫にしまうことによって、情報を盗むことを妨げる防御機能は働くが、金庫をあけてそこに情報があっても、情報が盗まれていないことの証明に

はならない。

ネットワークセキュリティのように、人々の希望と欲望がうずまき、社会生活の全般にわたるような分野では、直交する多くの防御機能を同時に持つような防御体系のほうが望ましい。

#### 4. セキュリティにおける直交性

ある会社の社長 P が身分証明書を紛失または盗まれたとする。この場合に「あの P は身分証明書を持っていないがしかし我社の社長である」という確認が身分証明書と独立にできるならば、その社のセキュリティは、身分証明書による座標に加えて直交する別の 1 つの座標を持っている。この時また、「あの S は我社の社長の身分証明書を持っているがしかし我社の社長ではない」ことを確認する手段があれば、これも身分証明書による座標と直交する 1 つの座標である。

セキュリティを構築する時、この様に直交する複数の座標が実用上不可欠であることは明らかである。しかし、その必要は我々の経験によって認められるのであって、セキュリティに関する厳密な証明、すなわち、公理に基づく証明でその必要が導き出されることはない。なんとなれば、厳密な証明では、公理が正しいか否かについての議論は原理的に不可能だからである。

デジタル情報技術は著しく若い。秘密鍵暗号方式や公開鍵暗号方式におけるこれまでの高度な議論はほとんどが厳密な証明に基づいている。それに対して、デジタル革命が実現する社会のセキュリティは、そのような厳密な技術に加えて、それと直交する多様性のあるセキュリティを不可欠のものとして求める。

厳密な暗号は計算機技術のひとつの中核として推進されるべき正当な注目を得ているが、それと直交する多様性のあるセキュリティは、全く異なる発想と、破壊されたセキュリティの実例と、ユーザの快適さについての今後の長い経験と知識の集積によって提供され改善されてゆく性質のものである。

#### 5. セキュリティの最大の穴は人間である

セキュリティの最大の穴が人間であることについては専門家の間でも異論はないように思われる。「セキュリティの鎖はその中の最も弱い輪で切れる」こともまたよく知られた事実である。これら二つの表明が事実であるならば、この穴をふさぐ為の電子技術の研究・開発がセキュリティにとって最も重要なはずである。実際にそうなっているだろうか。答えは No であるように見える。

この穴をふさぐための電子技術がまだない理由を検討しよう。原子力の例を考える。物理的な式やマニュアルの記述があっても、人間がそれを適切に守るとは限らない。そして実際そのようにして事故が起こった。にもかかわらず、この課題への取組は最重要なものとは設定されなかった。その理由は、おそらく原子力の場合、万一事故が起こった時の悪影響は恐るべきものなので、そのようなことが起こらないようにすること、すなわち、人間が穴になることがないように物理的、機構的に対策することに力点が置かれた為であろう。それでも現在になってみると、人間という穴をふさぐことが投資対策として最大の価値があったことが明らかである様に筆者には見える。

ネットワークセキュリティでは、原子力のような致命的で長期に影響する事故の可能性が本質

的に小さいと考える人々がいるかもしれない。しかし次のことを忘れてはならない。原子力の事故では、事故がより一層凄惨になることを希望する組織や人々は殆どないことを前提にできる。ネットワークセキュリティではそうではない。巨大で、優れた能力を持ちそして存在そのものも知られ

ていない組織が事故を計画し、事故の拡大に努める可能性がある。また、そのような組織による小手試しなどがあっても、それによる損失が巨大すぎて隠蔽できなくなるまでは、被害を受けた機関自身が隠蔽につとめる可能性も存在する。

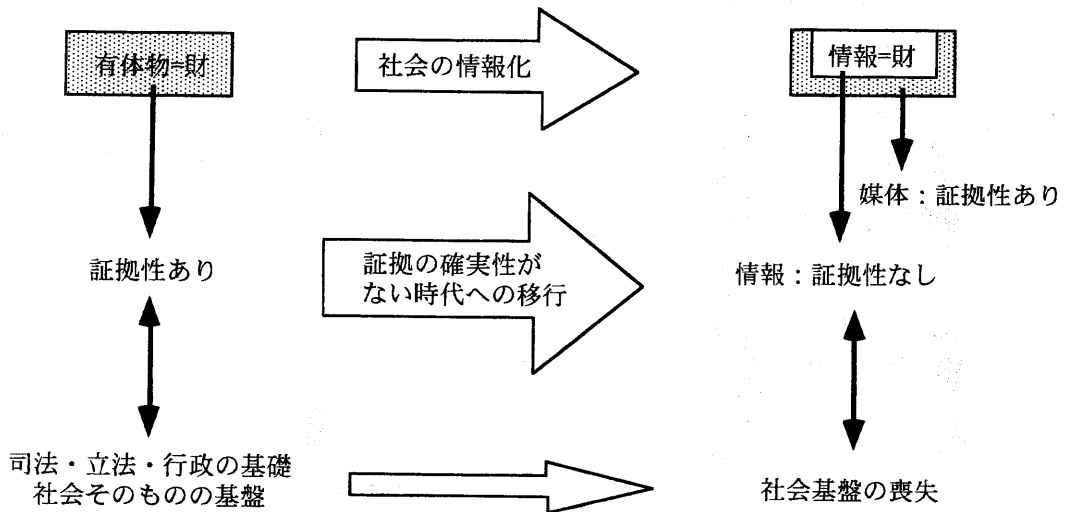


図1. デジタル情報のセキュリティの重要度は増す一方である。

他の例を考えよう。デジタル革命以前において、直交したなるべく多様な防御機能が必要であるという認識とその実践とが目立たなかった理由は、特段の措置をしなくとも、それがほぼ自動的に行われたからである。例えば事件があったとすると、そこで血液、DNA、指紋などの証拠が「自然に」発生する。犯人がそれを避けようとして手袋をしたりしても、ある金庫が破られたとき、それを破った人間が金庫の近くにいたであろうことは確かであった。

デジタル革命によって、このような確かさはどんどん少なくなる。一方で、証拠を抹消し改竄することはますます容易になる。ここでもやはり、

人間という穴をふさぐことが最も重要であると筆者は考える。そのための電子技術が、ネットワークセキュリティのための新しい技術分野になるだろう。

社会におけるデジタル情報の重要度と、必要なセキュリティの種類は、上の図1に示すように変化してゆくことは明らかである。

### 参考文献

- 1) 森 亮一: マイクロコンピュータとその将来, 科学, Vol.50, No.11, pp.704-711 (Nov. 1980) 岩波書店.