

複雑系への挑戦とソフトウェア技術

諏訪 基

電子技術総合研究所

人工知能研究は情報技術のフロンティアでなければならない。40年にわたる今までの人工知能研究の中から本当に使いやすいヒューマンインタフェースのための技術や、インターネットに見られる超大規模分散システムに適用できる技術はまだ現われていない。情報技術の適用範囲を飛躍的に広げるためにはカオスに見られるような複雑系を扱える新しいパラダイムを生み出すことこそ、これからの人工知能研究が必要である。ここでは、最近のソフトウェア研究の中から芽生え始めた新しい情報処理パラダイムへの動きと、今後の研究の方向性を議論する。

Exploring Complexity and Software Technology

Motoi Suwa

Electrotechnical Laboratory

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

AI is expected to provide frontier technologies for advanced information systems. Although many efforts have been made to develop intelligent systems for about 40 years since the beginning of AI research, it is hardly said that the result obtained so far is satisfactory for truly user-friendly human-interface or for such large-scale distributed systems as worldwide inter-nets. In order to expand the range of application areas of information technologies, research activities of AI should be extended to create brand-new paradigm which can deal with such a complex system as chaos. This paper describes new trends of a new paradigm which has been recently emerging in software technologies and discusses the new direction of AI research in future.

1. はじめに

情報処理システムはますます複雑な対象を扱うようになってきており、また、情報処理システムそれ自身も大規模かつ複雑になってきている。しかしながら、複雑な対象をミニチュアモデルで置き換えて開発した手法が現実の複雑な問題に単純には拡張して適用できないことがほとんどであるし、また、巨大化したソフトウェアシステムが容易には手直しできなくなり本来ソフトであるべき情報処理システムが柔軟性が失われ始めてきているなど、問題が多い。従来型のソフトウェア技術では、特にヒューマンインタフェースのように、システムが外界と相互作用するシステムの開発や、インターネットに見られるような刻々変貌する超大規模分散システムの構築や保守、運用などが困難になってきている。

このような問題を解決するための糸口を探り、ソフトウェア技術研究のこれからの在り方を検討してみたい。

2. 伝統的人工知能研究の限界

人工知能研究の幕開けとして象徴的な「ダートマス会議」開催から40年近くの歳月が経過している。その間、「知的コンピュータシステムの実現と人間の知能の解明」を標榜しつつ多くの研究努力がなされてきている。しかしながら、機械翻訳にしても、音声認識にしても、画像処理にしても、今もって人々を満足させるレベルに至っていないのも事実であろう。ひいき目に見れば、人々の要求水準が常に現状の技術に満足することなく次から次へとより高度なものへと移っていく故に、限りなき追及の道を辿っているせいとも言えないことはないかも知れない。

1980年代前半までの人工知能研究とそれ以降とは研究の進め方の様相が異なってきて

いる。それまでの人工知能の成功は、それがよってたつパラダイムに負うところが大きかったが、逆にそのパラダイムがさらなる進展の障害にもなっている。すなわち、知能活動や知識は構成要素に分割可能で、各要素を組み合わせることによって全体が再構成が可能であるとの前提にたち、全ての事象は記号で表わすことができ記号操作が推論の基本であるという仮説に基づいて知的コンピュータシステムの構築を試みたのである。さらに知識工学では、知的システムを構築する場合に人間は必要な知識は全て知識ベースに書き込めるとの前提に立っていた。

人工知能への要求水準はもはやこのようなパラダイムで達成できるものを越えていることを意味する。要素還元的なアプローチでは解決しない問題に多数遭遇することになっているし、また、知識万能の発想にも知識獲得のボトルネックという落とし穴が潜んでいた。

3. 複雑系への挑戦

最初に述べたように、情報処理システムはますます複雑な対象を扱うようになってきているし、また、情報処理システムそれ自身も大規模かつ複雑になってきている。

ここで考えなければならないのは、複雑さとは何かである。複雑な図形を描かせることのできる簡単なプログラムが知られているから、複雑さとアルゴリズムの大きさとは必ずしも対応しない。知識体系の学習を行う場合に最初は複雑に感じられるものの、学習が進につれて学習対象の知識がそれほど複雑に感じられなくなることをしばしば経験する。

70年代前後から物理学や生物学の世界で複雑系を扱うことのできる方法の開発を目指す研究が進められてきている[1]。その研究対象はカオスである。これは古代ギリシャの「宇宙秩序はカオスから生成される」とい壮大な思想とも合通じるものといわれている。カオスの示

予測不可能性は複雑さの一つの要因になっており、非線形性、非平衡性、開放性、非可逆性などがカオス現象の根源と考えられている。自然界の現象の複雑性については参考文献 [2] などに詳しい。

4. ソフトウェア技術が対象としてきた世界

図1は、いままでのソフトウェア技術の適用対象として主に考えられてきた2つの問題領域ならびにそこで採用されてきた代表的アプローチを示したものである。分類の軸はシステムの複雑さになっている。第1の問題領域の特色は、問題を構成する要素が十分に少数であるために、要素間の関係を因果律を使って理解することができるところにある。物理の世界ではニュートン力学が適用可能な世界である。要素還元的に問題を分割し、個々の部分問題を解くことが全体問題を解くことの必要十分条件となるために、従来の機械的問題解決手法が適用できる。このような世界を扱うソフトウェアシステムの典型

例がバンキングシステムやみどりの窓口システムなどである。見かけの要素の数が多くても、それらの要素間の関係は明確に記述可能な問題ととらえることができるから、アルゴリズムを見つけるのが容易である問題領域でもある。システムが作り出す結論は、一つ一つの要素について個別のものが導かれる。すなわち、バンキングシステムでは、一人一人の預金者のデータが管理される。

第2の問題領域は、要素の数が非常に多い場合である。要素の個々の扱いにはあまり重点を置かずに、確率的統計的な処理が主流となる。物理の世界では、統計法則、熱力学が適用可能な世界である。パターン認識システムなどの問題領域であり、また、計量診断学や疫学などでの情報処理が行われる領域である。

上で述べた第1の問題領域の要素の数が次第に増すと、個々の要素間の因果関係を記述することが困難になってくる領域が現われる。図2の中央に示したのがそのような第3の問題領域である。その場合に、第2の問題領域のように、

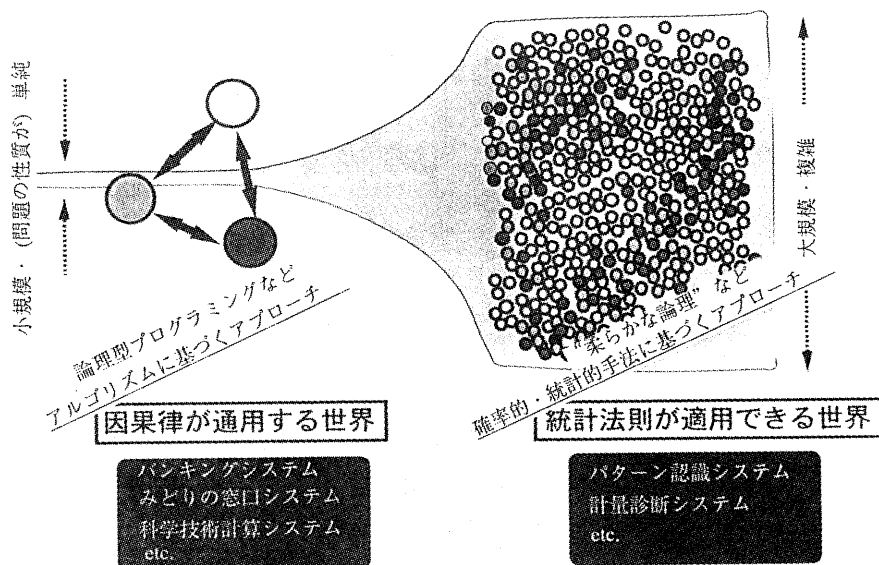


図1 システムの複雑さに応じた2つの世界への情報処理アプローチ

要素の個性を全く無視した統計的な処理にも向かない領域として、たとえば最も典型的な事例としてヒューマンインタフェースがある。人間の認知的要素や人間工学的要素と、情報処理システムの要素との関係から構成されるこの問題は、個々の要素間の因果関係を抽出して記述することが困難であると同時に、統計的処理で個性を無視することもふさわしくない。

この問題領域に属する情報技術の問題の中に、ヒューマンインタフェースのほかに、学習、自然言語理解、さらには大規模ネットワークなどが含まれるであろう。

本来、人工知能の研究は、この領域を目指していたのではないだろうか。しかし、要素還元仮説や独立世界仮説、記号処理の仮説、というように、コンピュータプログラムで扱うために都合のよい制約を持ち込んだのであった。そのような中であって、カオスの持つ性質に対処すべきさまざまな試みが始まっていることも事実である。そのような努力の例として、ヒューリスティクス概念や、制約充足の考え方、状況

推論の研究などがある。また、ニューラルネットや人工生命の研究なども、伝統的な人工知能研究とは別の流れではあるが、この問題領域への挑戦の試みでもある。図3はこのような動向の一端を示したものである。

5. 情報处理的複雑さ

情報処理の観点からの複雑さを扱った最近の研究動向を見ておこう。

複雑さの一つは処理の手順の枠組みが前もって規定できない場合に現われる。人間が新しい知識に遭遇する場合、前もって知識を受け入れる枠組みは必ずしも持ち合わせていないと考えたほうが自然ではないだろうか。いままでの知識工学は、前もって枠組みを設定して、その枠に知識を入れることを強要するスタイルをとらざるを得なかった。むしろ、その様な枠組みを作り上げるプロセスが知的活動の根源にあるとの考え方はある。これは解釈学 [3] とも相通じるものである。具体例として、人間の言語処

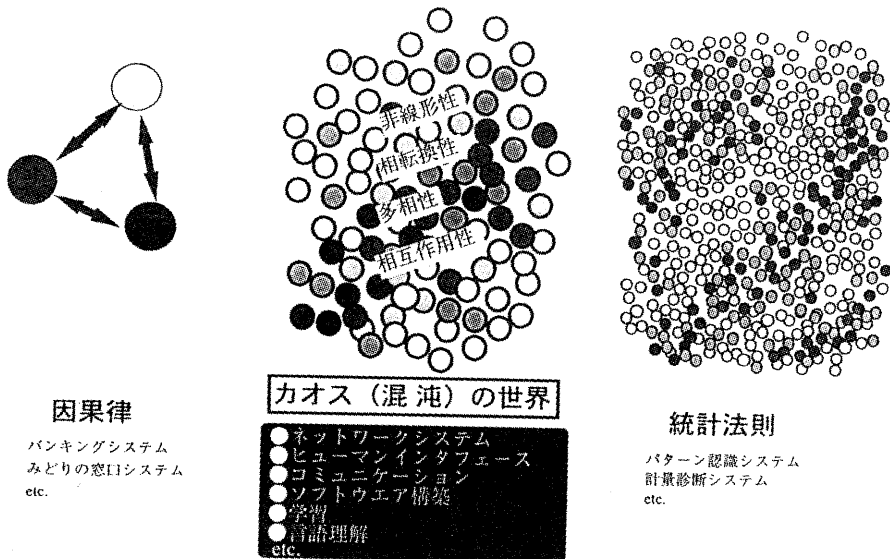


図2 情報を取り巻くさまざまな現象の源としてのカオス (混沌)

理過程が固定的な手順になっているとは考えにくくまた処理の情報の流れを明示的に記述できるとも考えにくいことから、制約による自然言語処理の研究を進める中で情報の流れをいっさい明示しない設計の提唱が行われている [4]。

別の典型的な例として、多義性からくる複雑さの問題である。言葉は使われる状況に応じてその中から意味が特定される。情報の状況依存性は、複雑さと係わると同時に情報の効率性を生みだしているものとも考えることができるため、プログラミングに生かせることができれば、プログラミングの効率が上がり、でき上がったソフトウェアの変更作業も円滑に行われるようになると思われる [5]。

新情報処理技術開発 (WRC) では情報の不完全さに起因する複雑さを問題にしている。この場合の不完全さは、情報の欠落、誤り、内容の一貫性の欠如などである。実世界の問題を扱う場合には必ずこのような状況に直面するものであるにもかかわらず、従来の情報技術では避けて通ってきているきらいがある。

6. おわりに

情報は物質やエネルギーとは異なる第3の対象である。この違いの源としては、第1に情報では「価値」の概念が重要な役割を果たすことが挙げられる。価値の決定に人間が介在する。第2に情報は要素還元論的な手法が適用できない場合が非常に多いことから言えることであるが、全体が個を規定する要因が強く働くという特徴がある。

情報処理システムへの考え方も、外界 (環境) との相互作用を視点を据えた考え方が多くなってきている。外界への働きかけが知の始まりであろう。

ソフトウェアは人間の思考の具現である。人間が問題を解釈した結果をアルゴリズムとして書き下し、プログラムしたものである。この解釈という作業が実は人間の知的活動の本質である。人間の知的振る舞いを理解する際に、システム論的アプローチには限界があると考えられるようになってきた。人間の体は、心臓や肺、

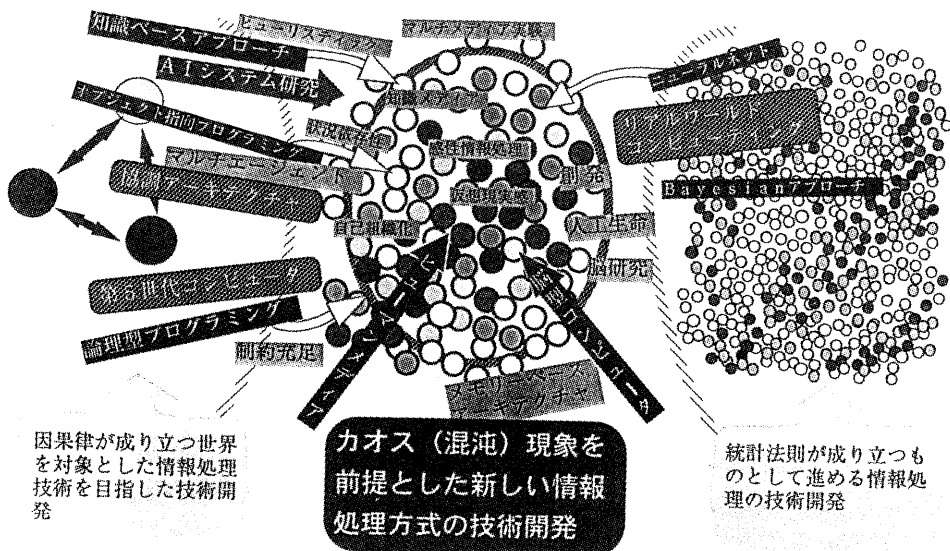


図3 先導的情報処理技術の研究開発のトレンド

消化器などのように、それぞれが（相対的に）閉じた系として捕えることができるサブシステムからできている部分もあるが、免疫システムのように、体中に分散して機能する仕組みも生物体の中に存在する。遺伝子の機能発現も部分システムとしてではなく、全体に関わるものである〔6〕。

このように、複雑系を扱うことができるソフトウェア技術を研究する上で、新しい物理学の動き、生物学の知見等、他の領域との連携がますます必要になってきている。その中から真に新しい情報処理のパラダイムが生みだされることを期待したい。

参考文献

- 〔1〕 東大公開講座:「混沌」, 東大出版会, 1991.
- 〔2〕 G.ニコリス, I.プリゴジン:「複雑性の探究」, みすず書房, 1993.
- 〔3〕 O.ベゲラー編:「解釈学の根本問題」, 晃洋書房, 1977.
- 〔4〕 橋田浩一, 松原仁:「知能の設計原理に関する試論--部分性・制約・フレーム問題--」, 認知科学の発展, Vol.7, 1994.
- 〔5〕 中島秀之:「状況を対象とした推論」, 人工知能学会誌, Vol.5, No.5, 1990.
- 〔6〕 多田富雄:「免疫の意味論」, 青土社, 1993.