

エージェントとは何か

石田 亨

京都大学

1 エージェントとは何か

エージェント (Agent) は自律的に判断し行動する主体である。自律性を強調する場合には**自律エージェント** (Autonomous Agent), 知性を強調する場合には**知的エージェント** (Intelligent Agent), と呼ばれる。特に, ソフトウェアによってのみ実現されたものを, ソフトウェアエージェントと呼ぶことがある。エージェント研究は大きく以下の4つに分類できる。

第一は, 実世界において自律的に環境を観測し判断し行動することを可能とする計算モデルの研究である。応用分野としては**知能ロボット**を想像すればよい。BDIモデル, 実時間探索, 強化学習, 包摂アーキテクチャなどの研究がこれに当たる。実世界における時間的・空間的制約や主体の限定合理性を強く意識した研究が中心である。

第二は, 多数のエージェントの協調や競争の計算モデルの研究である。応用としてはインターネットを用いたサービス連携や電子商取引を思い浮かべればよい。黒板モデル, 契約ネット, 分散制約充足, 問題解決組織, 交渉プロトコル, 提携メカニズム, 市場計算モデルなどの研究がある。当初は各エージェントの協調を前提とした分散問題解決の研究が主流であったが, 最近ではゲーム理論やマイクロ経済学を背景に各エージェントが効用最大化を図る場合に研究の中心が移っている。

第三は, 人あるいはそのグループと言語的・非

言語的対話を行い, 社会的役割を演じるエージェントの研究である。インターフェースエージェントあるいは社会的エージェントと呼ばれ, 様々なサービスや教育の場で用いられる。発話行為, 感情などの計算モデルに加えて, 人とのインタラクションを分析する社会心理学的手法も用いられる。

第四は, エージェントを用いたシミュレーションである。個々の行動主体を適切な粒度でモデル化し, そのインタラクションから生じる複雑な現象を観察し理解する。粒度の小さいものは社会や生命現象を含む複雑系のシミュレーションに, 粒度の大きいものは教育や訓練に用いられる。

上記の研究とは別な流れとして, ソフトウェア工学におけるエージェント研究に言及する必要がある。ソフトウェア工学では既に, 行為の客体であるオブジェクトに着目したオブジェクト指向言語・プログラミング・設計が大きな成功を収めている。行為の主体であるエージェントに着目したエージェント指向言語・プログラミング・設計の可能性が議論されるのは自然な流れと言える。しかしながら, その差分は, ソフトウェア工学の視点からは必ずしも明確ではなく, 「オブジェクトとエージェントはどう違う」という議論が続いている。ソフトウェア工学におけるエージェントの顕著な特徴はその移動性にあるため, モバイルエージェントの研究が活発に行われている。

エージェントの応用研究は, 実空間では知能口

ボットが、仮想空間ではインターネット上の様々なサービスの実現に用いられている。Microsoft エージェントのような簡易ツールも現れている。

2 エージェント研究の歴史

エージェントの初期の研究は、**分散人工知能** (DAI:Distributed Artificial Intelligence) と呼ばれる分野で行われた。

分散人工知能という用語が使われるようになったのは、1980年に米国で開催された第一回分散人工知能ワークショップからである。以後このワークショップは1994年までほぼ毎年開催された。この間、Lesserの黒板モデルに基づく分散問題解決、Fox, Corkillによる組織構造の研究、Davis, Smithによる契約ネットプロトコル、Maloneによる市場モデルの資源割り当てへの応用、Hewittによるオープンシステムの提案など多彩な研究が発表されてきた。自己を陽に記述するRosenscheinの合理的エージェントも1984年のワークショップで発表されている。Nilssonが第一回ワークショップで、今日的課題であるinformation gatheringを提案しているのも面白い。このワークショップには、当初コネクショニストも参加していたようだが、粒度の差異が研究手法を分けたのか、次第に足が遠のいたようである。分散人工知能とコネクショニズムの違いは概ね以下のように理解されている。コネクショニズムでは個の知性を仮定しない。知性は個の間の相互作用を介して生まれる。一方分散人工知能は、個に十分な知性を仮定した上で、それらを如何に組織し、調整し、協力させるかを問題とする。

1980年代の後半になると、研究内容は分散問題解決に集中し始める。主として議論されたのは、局所的な処理とノード間の通信量とのトレードオフであった。同じ機能を持つシステムを集中システムとして実現することもできるが、応

用の性質から分散化した方が良いという場合である。例えば広大なエリアを覆うレーダーシステムの構築を考える。処理を集中するとセンサ情報を一箇所に送信する必要が生じる。耐故障性も悪い。処理を分散化すればそうした問題はなくなるが、各レーダーは部分的な情報を基に全体の状況を推測しなければならなくなる。各処理部分を担当するレーダーは、どの段階でどのような情報を相互に通信すれば良いだろうか。こうした設計論としての問題設定は基礎研究を大いに刺激し、分散仮説管理、交渉、均衡、問題解決組織などの従来にない研究課題を認識させるに至った。しかし、常に集中システムとの競争に晒されたのも事実である。研究が高度になればなるほど、そこまで努力するより集中システムとして実現してはどうかという反論も同様に強くなった。

1990年代に入ると、協調を仮定せず、経済学のように競争下の均衡を利用する研究に中心が移り始める。ゲーム理論が、エージェント間の交渉や提携の説明に利用される。市場計算モデルが、インターネット上での資源配分やオークションの実現に利用される。1990年代後半には、エージェントは現実のものとなり始め、研究領域が急速に拡大する。人間社会との接点も拡大する。組織論が、エージェントを用いた企業のシミュレーション結果の解釈に適用される。アミューズメントロボットが現実のものとなり、ロボカップが大きな話題を呼ぶ。ビデオゲームの動的なシナリオ生成に実時間のプランニングが利用されている。また、エージェントが人に与える作用が教育学や社会心理学的手法を用いて研究され始めている。

全米人工知能会議(AAAI)のセッション名でエージェントが用いられ始めたのは1991年である。以降、毎回のように入れられ今日に至っている。マルチエージェントシステム国際会議(ICMAS: International Conference on Multiagent

Systems) が始まったのが 1995 年, エージェント国際会議 (Agents: International Conference on Autonomous Agents) が 1997 年, 両者は 2002 年に統合されている (AAMAS: International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems). エージェントが研究分野として広く認識され始めたのは, 最近 10 年であると言ってよい.

3 エージェント研究への FAQ

エージェントという用語は抽象度が高い. 機械学習や音声認識などと比べ, その意味するところに解釈の幅が大きいので, 同じ質問が繰り返し発せられている. 以下では, 典型的な質問とその解答例を記述する.

エージェントは人工知能そのものか?

エージェントは人工知能そのものではないか, とその用語の意義が問われることもある. 確かに, 最近の人工知能の代表的教科書には, エージェント概念を用いてまとめられたものが多い. [Russell 03] [Nilsson 98] 一方, エージェント概念が広く議論される以前の人工知能の教科書は, 人工知能研究を「問題解決」「知識表現」「機械学習」などに分類し記述されたものや, 状態空間や論理など特定の計算モデルに依拠して記述されものが多かった. エージェントを人工知能の中核的概念として位置付けた Russell の教科書 [Russell 03] は初版が 1995 年である. 意外にも, エージェントが人工知能そのものと陽に意識され, 教育の場においてその概念が語られ始めたのは 1990 年代後半になってからなのである.

今日においては, 概念としてのエージェントは人工知能そのものであるという認識が広まっている. 同時に, 研究分野としてのエージェントは, 自律性に焦点を当てたものを指す用語として使われている.

エージェントは普通のプログラムとどう違うのか?

ソフトウェア工学を始め, 計算機科学の研究者からエージェントが誤解され議論が混乱する最大の理由は, 抽象レベルの違いを意識せずに用語が使われるからである. 「オブジェクトとエージェントはどう違う」「プログラムとエージェントはどう違う」などの問いが繰り返し発せられているようである.

例えば人の行為を議論する抽象レベルでは, 行為の主体 (エージェント) と行為の客体 (オブジェクト) の違いは明らかであり, 「オブジェクトとエージェントはどう違う」と問う余地はない. 一方, 実装レベルで, 「プログラムとエージェントはどう違う」と問えば, 同じものだと言わざるを得ない. 「ビット列と手紙はどう違う」と問うようなものである. 知人とのコミュニケーションにビット列という用語は使わないように, 知的な振る舞いを議論するときにプログラムという用語は使わない.

実装レベルでエージェントという用語を使う場合には, 議論の混乱を避けるために予め用語の意味するところを確認しておくべきである.

分散人工知能とマルチエージェントシステムはどう違うのか?

1988 年に分散人工知能の論文集が発行されている. その中で Bond 等は分散人工知能の課題を以下の 2 種に分類している [Bond 88].

1. 分散問題解決 (Distributed Problem Solving) [?].
疎に結合した (即ち, 通信にコストを要する) 問題解決ノードが協力して一つの問題を解く.
2. マルチエージェントシステム (Multiagent System)

複数の自律エージェントの相互作用を研究する。エージェントは独立または共通の目標を持つ。

分散問題解決は、Lesser 等の 1980 年頃の研究を指す。その時代の論文にはエージェントという言葉は出てこない。(ノードと呼ばれている。)しかし 1980 年代の後半になると、分散問題解決においてもノードの自律性が問題にされ始め、マルチエージェントシステムとの境界は曖昧なものとなっていく。その結果として、分散人工知能とマルチエージェントシステムとの違いも曖昧になる。前者は知能の側面からの表現であり、後者はシステム形態の表現である。前者では、興味を中心は群としての振る舞いにある。特定の群の振る舞いを実現するために、エージェントがどのようなモデルを持つべきかが議論される。後者では、自らの効用を最大化するエージェントに興味の中心がある。それらの提携が組織を生み出していくと考える。分散人工知能とマルチエージェントシステムでは軸足の違いはあるものの、研究内容に差はない。

人工知能以外の研究者には「分散」という用語は誤解されやすい。分散人工知能の「分散」は分散計算機環境を意味しない。分散認知や分散表現と同じ使われ方で、群による知能を表しているに過ぎない。ところが、1990 年代に入ると、計算機システム、プログラミング言語、データベースなど、多様な背景を持つ計算機科学者が合流し始める。こうした研究者には「分散」は計算機科学の既存分野であるとの印象が強い。物理的に複数の計算機や、オペレーティングシステムの複数プロセスを意味するものと受け取られる。「人工知能」にも違和感がある研究者が多い。多様な背景を持つ研究者に受け入れられるよう、1990 年代中ごろに、分散人工知能からマルチエージェントシステムへの呼称の変更が合意されている。

4 エージェント研究の展望

今後のエージェント研究は大きく 2 方向に分かれていこう。

第一の方向は、コンピュータの素子数が脳の細胞数に近付きつつある状況を背景としたものである。生命科学の進展と呼応して、ニューラルネット、人工生命、複雑系などが活発に議論されている。また具体的な実現例として、人類の夢である知能ロボットが取り上げられている。エージェントは生命体をモデルとして、知覚と行動とを統合する新しいメカニズムを備えていこう。

第二の方向は、コンピュータネットワークの進歩に伴うものである。インターネットは人間社会とコンピュータの接触面を急激に拡大した。大規模な Web 情報、データマイニング、携帯端末、情報家電、ユビキタス環境を背景に、電子商取引、電子政府などの議論も活発化している。エージェントは、インターネットと利用者を結び付けるものとして、音声言語、画像理解、機械翻訳、問題解決、機械学習などの人工知能研究との結びつきを強めるだろう。

いずれの方向も、従来の人工知能研究に閉じていては研究を進めることはできない。生命科学、物理学、社会学、経済学、心理学などとの交流を深めながら、研究が発展していくものと思われる。

参考文献

- [Bond 88] A. H. Bond and L. Gasser. *Readings in Distributed Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, 1988.
- [Rao 91] A. S. Rao and M. P. Georgeff. Modeling rational agents within a BDI-architecture.

Distributed Problem Solving. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*, pp. 245 - 251, 1990.

[Nilsson 98] Nils J. Nilsson. *Artificial Intelligence: A New Synthesis*. Morgan Kaufmann Publishers, 1998.

[Russell 03] Stuart J. Russell and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (2nd Edition). Prentice Hall, 2003.