

解説

エージェント通信技術の動向

服部文夫 NTTコミュニケーション科学研究所

はじめに

最近、「エージェント」という言葉がブームである。ブームが先行して、一昔前のAIのように、いつかバブルがはじけるのではないかと心配する向きもある。確かにエージェントにはいろいろなとらえ方があり、まだパラダイムとして定着しているとはいえない。また、中には従来からあるようなシステムを単にエージェントと名づけているような例もないではない。

しかし、このブームの背景には、ネットワークの爆発的な普及とコンピュータ技術の発展に伴って、ますます複雑になってきている情報システム、ひいては情

報化社会が新しいパラダイムを必要としていることがあると考える。すなわち、インターネットによってあらゆる情報システムが相互に接続され、家庭にまで入り込んでくるようになってくると、情報システムはこれまでの集中、クローズド、静的なシステムから、分散、オープン、動的なシステムへと変貌せざるを得ない。このような複雑なシステムは人間のコントロールや設計能力の範囲を越えており、何らかの意味で人間をサポートするシステムが求められる。それを実現するのが「エージェント」である。

本稿では、エージェントを用いたコミュニケーションサービスエージェント通信-について、事例を中心にその可能性を述べるとともに、基盤となるエージェント技術を紹介する。

エージェントって何？

人によってエージェントに対するイメージはさまざまである。また、エージェントを含む用語にも、知的エージェント、自律エージェント、ソフトウェアエージェント、インタフェースエージェント、マルチエージェントシステム、等々数限りなく（というところオーバーであるが）存在する。

混乱を招いている1つの要因は、人間の代理人としての役割に注目したとらえ方と、技術的な実現方法や能力に注目したとらえ方が入り交じっている点にあることを指摘したい（図-1）。前者は代理エージェントともいうべきもので、一種のメタファである。擬人化されたソフトウェアモジュールとしてのとらえ方であったり、実現方法は問わない。後者は、新しいソフトウェアの実現方法、プログラミングパラダイムであるが、こちらにもその生い立ちからいくつかの流れがある。我々は大きく移動エージェント、知的エージェント、協調エージェントの3種類に分けて考えている。

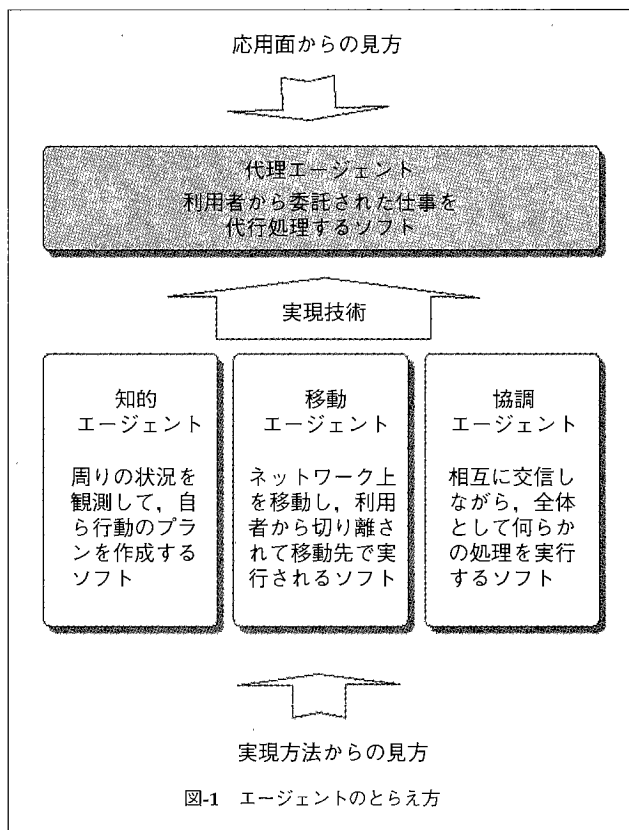


図-1 エージェントのとらえ方

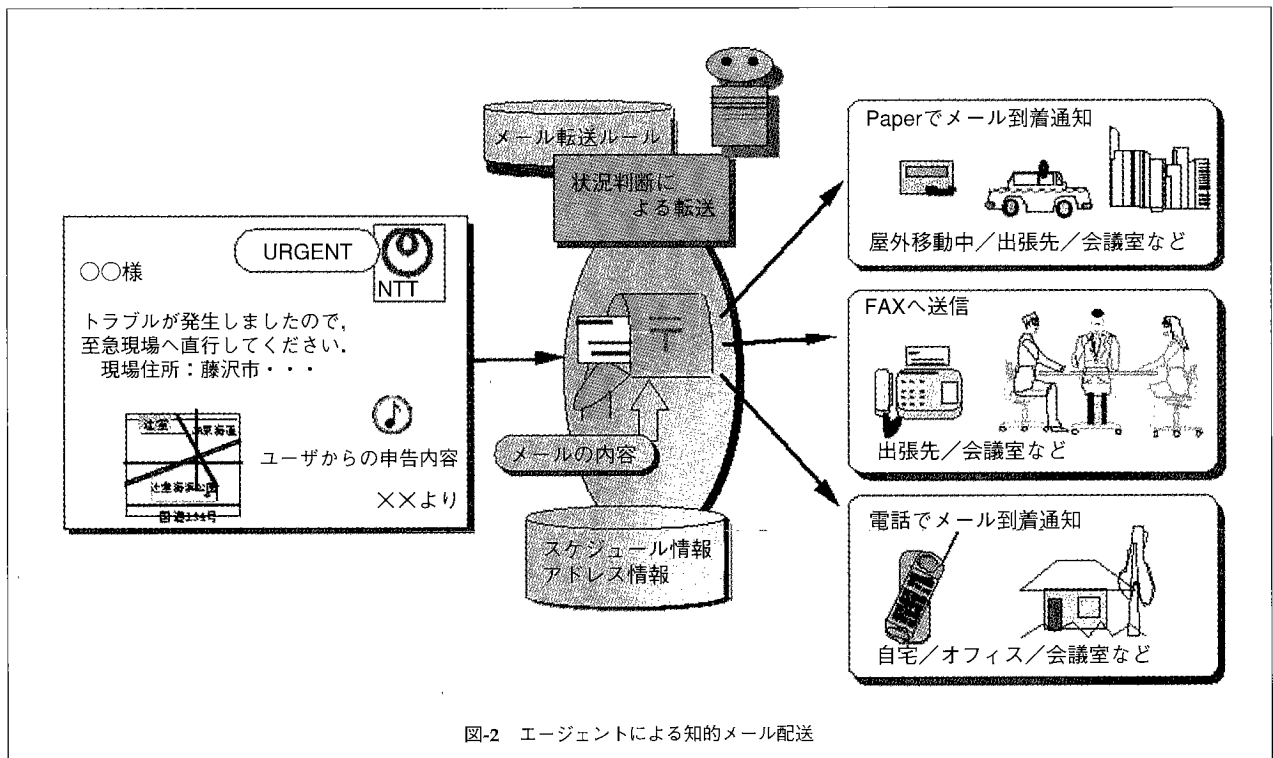


図-2 エージェントによる知的メール配送

移動エージェント (Mobile Agent) は、分散コンピューティングの技術の流れを汲むものであり、ネットワーク上を移動して実行可能なプログラムである¹⁾。知的エージェント (Intelligent Agent) は人工知能の研究から出てきた²⁾。自分の環境を知覚して自律的に行動を決定できる能力、環境を学習して適応する能力などの実現が目標である。最後の協調エージェント (Cooperative Agent) は、AIの一分野である分散人工知能の研究の流れにあるもので、複数のエージェントから成り立つマルチエージェントシステムの構成要素としてとらえられる。

次に、本稿のテーマであるエージェント通信の概念について考えよう。エージェント通信という言葉は、いわゆる電話やデータ伝送のような通信サービスをエージェント技術を用いて高度化しようという意味で用いられることもある³⁾。我々は通信 (コミュニケーション) を、ネットワークを通じた情報のやりとりや共同作業までも含めて広くとらえ、エージェントを用いた通信サービスのことをエージェント通信と呼んでいる⁵⁾。

エージェント通信の発想は、ネットワークを単なる通信の道具だけではなく、人間のコミュニケーションをよりアクティブに支援してくれるものにしたい、ということから生まれた。したがって、ここでいうエージェントはメタファとしてのエージェントであり、役割としての視点でとらえている。もちろん、その実現にあたっては知的エージェントなどの技術が必要とされてくることはいうまでもない。

*1 最近出たRussellらによるAIの教科書³⁾では、「AIの研究とは知的エージェントを作ることである」とまで言っている。

■ コミュニケーションとエージェント

エージェント通信とはどのようなものか、具体的なイメージを持っていただくために、エージェント通信の事例をいくつかご紹介しよう。なお、情報収集や情報流通への応用については昨年の解説⁶⁾ですすでに紹介しているので、本稿では割愛する。

■ 伝えるエージェント

電子メールはインターネット/イントラネットにおける情報伝達の基本的なツールである。電子メールはいつでも、どこでも、誰とでも通信できる非常に便利なツールであるが、一方でいつ返事が返ってくるかわからない、大事なメールが大量のメールに埋もれてしまう、などの問題もある。このような欠点を解決するためのエージェントの応用について紹介する。

1つの応用は知的なメール配送である。電子メールはメールサーバによって、機械的に宛先のアドレスに配送される。急ぎのメールであっても、相手がメールの読める状態でもなくもおかまいなしである。そこで、サーバにいるエージェントがメールボックスを監視し、ユーザに代わってさまざまな処理を行うことが考えられる。たとえば、標題に「緊急」を含むメールはポケットベルに通知する、出張中のメールは出張先に転送する、プライベートなメールは自宅のFAXに出力する、などである。このような処理は、転送条件をルールとして記述し、エージェントに持たせてメールを監視させることで実現できる (図-2)。実現されたシステムとして、AgentAction⁷⁾、電子Q便⁸⁾、Net@ddress⁹⁾など

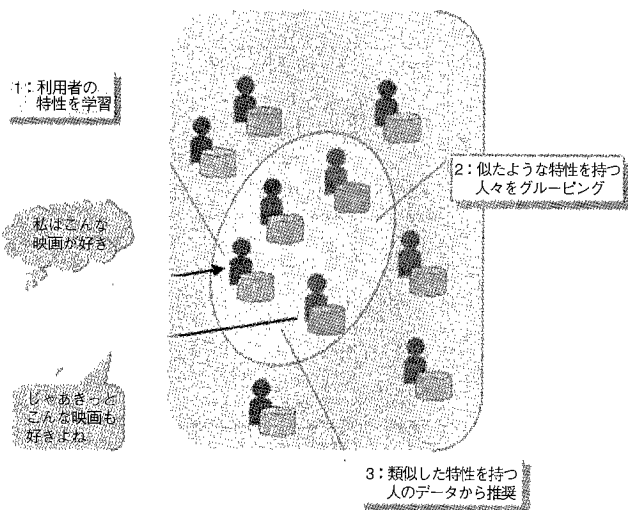


図-3 協調フィルタリングの仕組み

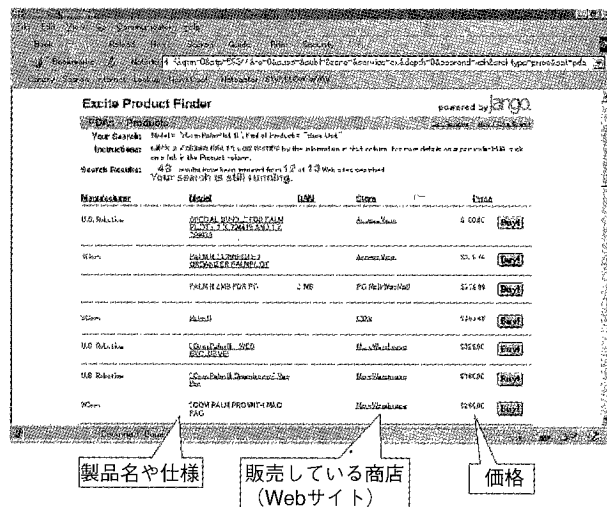


図-4 Jangoの画面例

がある。

もう1つの応用は、情報のフィルタリングである。山のようにくるメールの整理に困っている方も多いかと思う。もちろん市販のメールソフトでもフィルタリング機能は実現されているが、これをより知的にしようというものである。少し古い例になるが、MITで開発されたMaxims¹⁰⁾は、メールの分類、削除、順位付け、転送をユーザに代わって行う。ユーザの行動を観察、学習し、それに基づいてユーザの行動を予測する知的なエージェントである。このエージェントはユーザとシステムとの間にいるので、インタフェースエージェントの一種である。

ここに挙げたのは初歩的な例であるが、今後さまざまな発展が考えられる。たとえば、受信者の状況（位置、使用できる機器など）を自動的に把握して、その状況に応じた内容にカスタマイズしたり、あるいはメッセージ自体をエージェントにして、送付先でいろいろな処理を行う、などである。後者の場合は移動エージェントの技術を用いることになる。

■仲介するエージェント

ネットワークを介した取引や協調作業は広い意味でのコミュニケーションである。ここでは、電子商取引 (Electronic Commerce) へのエージェントの応用と、ネットワーク上のコミュニティ活動支援への応用について紹介しよう。

Guttmanら¹¹⁾は消費者がネットワーク上で商品を買う場合におけるエージェントの役割として以下の6つを挙げている。

- (1) ニーズの把握 (need identification)
- (2) 購入商品の斡旋 (product brokering)
- (3) 購入先の斡旋 (merchant brokering)

(4) 交渉 (negotiation)

(5) 発注・配送 (purchase and delivery)

(6) 顧客サービス・評価 (product service and evaluation)

このうち (2) ~ (4) について、さまざまなエージェントの構築が試みられている。

(2) の購入商品の斡旋とは、消費者が買いたい商品を探すのを支援するエージェントである。有名な Firefly¹²⁾は、協調フィルタリングという技術を用いて消費者に商品を推奨する。図-3のようにこの方法ではまず、消費者に商品の評価を入力してもらって（たとえば、このビデオは好き、など）消費者の好みを学習する。ある程度たったら、この消費者と類似の嗜好を持つ別の消費者が高く評価した（あるいは購入した）商品を推奨する。

(3) のフェーズでは、購入したい商品を決めた後、それをどこの（仮想）商店から購入するかを支援する。Etzioniらのグループが開発した Shopbot¹³⁾は、指定した商品について商店のWWWサイトを探しまわって価格などのリストを作成してくれる。Shopbotは現在、Jango¹⁴⁾という商用サービスとして発展している（図-4）。他に Andersen Consulting の Bargain Finder¹⁵⁾ などいくつかの商用サービスがすでに存在する。

(4) は、価格の交渉を行うエージェントである。最近、米国のネット上では OnSale¹⁶⁾ や eBay¹⁷⁾ など、中古品のオークションを行うサイトがブレイクしているようである。これらは単に一定期間入札を受け付け、最高価格の入札に落札するだけのようであるが、よりネットワークの広域性や非同期性などの特性を生かしたオークションアルゴリズムの研究が盛んに行われている (AuctionBot¹⁸⁾, Fishmarket¹⁹⁾ など)。

電子商取引のようにビジネスに直結したものは別

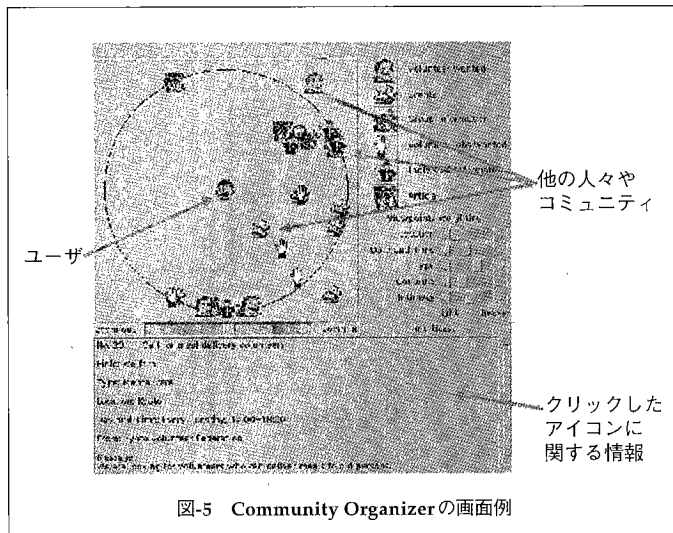


図-5 Community Organizerの画面例

ない難しさがある。マッチメイキングエージェントは、ネットワーク上での出会いを支援するエージェントである。Community Organizer²⁰⁾はユーザのホームページなどからそのユーザのプロファイル情報を収集し、これを分析して嗜好や興味の近いグループを視覚化することでコミュニティの形成を支援する(図-5)。Yenta²¹⁾も学習した個人のプロファイルをもとに嗜好の近い人を相互に紹介する。

コミュニティにおける情報の共有も重要な課題である。Action Navigator²²⁾は国際会議の支援プロジェクトで実験されたシステムで、地図上に店の情報を表示して案内するシステムであるが、リアルタイムで収集したユーザの推奨の多い店の丸を大きく表示することで、情報を共有しようとするものである。

に、多くのメーリングリストやパソコン通信のフォーラムなど、ネットワーク上でさまざまな仮想コミュニティが形成されている。仮想コミュニティは今後のネットワーク社会の活動の基本となるものとして、今後ますます重要になっていくものと予想される²²⁾。仮想コミュニティではメンバが広域(世界的)に分散していることや、コミュニケーション手段が限定されていることから、現実のコミュニティと比べてその活動にはさまざまな制約が生じる。これを解決するために、エージェントによって支援していくことが考えられる。

ネットワーク上のコミュニティは、現実世界の制約に縛られずに、ダイナミックに形成され活動できる点に大きな特徴がある。しかし、逆に世界中に張り巡らされた膨大なネットワークの中から、志を同じくする人を見つけ出してコミュニティを形成しなくてはなら

いうものである。

エージェント通信を支える技術

エージェント通信を実現する基盤となるエージェント技術について、その現状と動向をごく簡単に紹介しよう。

(1) 移動エージェントの技術

移動エージェントを実現するためには、図-6のように、基本的にはプログラムを移動させるための仕掛けと、移動先でプログラムを実行するための仕掛けを用意すればよい。後者は計算機からの独立性を高めるために仮想マシンとして実装されるのが普通である。また、前者では、単にプログラムを移動させるだけか、あるいは実行途中のプログラムを中断し、移動先で再開することができるようにするかで、実現の難易度はかなり異なる。

²²⁾たとえば、Fireflyやオークションの例から想像できるように、ネットワーク社会では物や情報の価値がコミュニティによって決められるなど、仮想コミュニティが社会活動の単位になると考えられる。

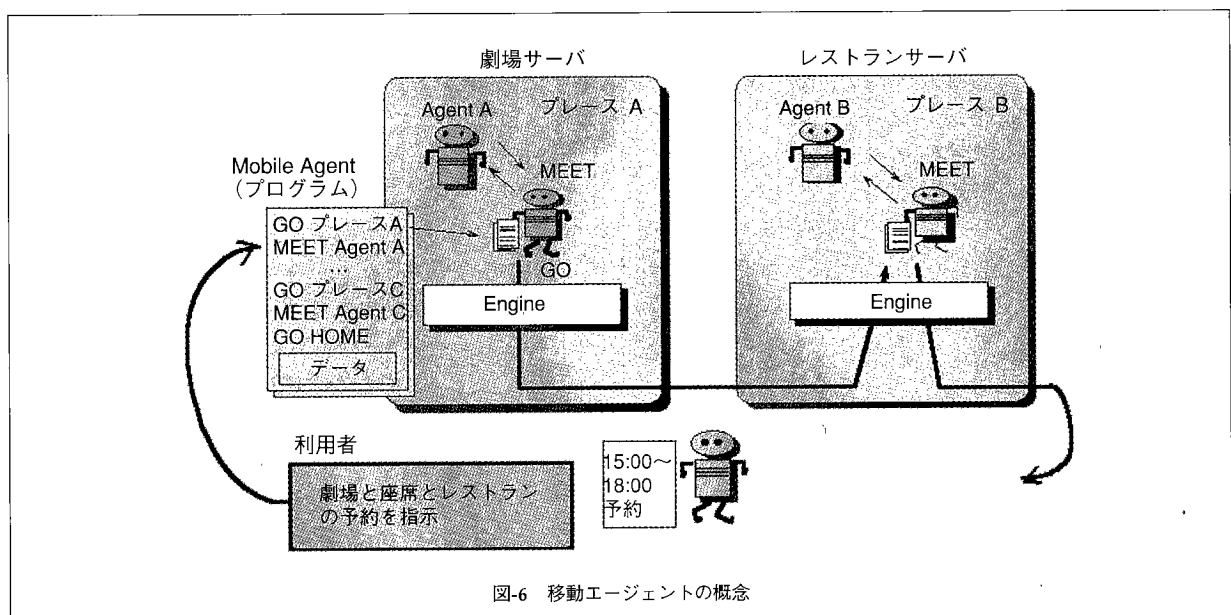


図-6 移動エージェントの概念

移動エージェントの先駆けである Telescript²³⁾ は概念的にはよくできたシステムであったが、普及には至らなかった。その原因は非公開という戦略の失敗もあったが、プラットフォームの開発に終わって、有益なアプリケーションを実現できなかった点も大きいと思われる²³⁾。しかしその後、Javaが爆発的に普及し²⁴⁾、これをベースにした移動エージェントの処理系が数多く実現されてきており (Aglets²⁴⁾, Concordia²⁵⁾ など)、今後の展開が期待できる。IPAのプロジェクトで開発された Flage²⁶⁾ は、早くから移動エージェントの概念を提案し、しかも適応性など知的な機能も取り込んでおり、注目に値する。

(2) 知的エージェントの技術

Russellら³⁾によれば、知的エージェントは図-7のように、センサとエフェクタを持っている。内部の構造はいろいろなレベルがあるが、代表的なものは、ゴールを持っている、それを達成するように自律的に行動を決定するエージェントである。

また、環境に適応して自分の行動を改善する学習機能も、知的エージェントの重要な要素の1つである。

知的エージェントの実現はAIの研究の大きな目標であり、長年にわたって多くの努力がなされてきているが、残念ながらまだ本格的に実用に耐えられるようなものは実現されていない。研究用のシステムとしては、Agent0²⁷⁾ や ARCHON²⁸⁾, ADIPS²⁹⁾ などが提案、実装されているが、その知的能力はまだ限定的である。しかし、先に述べたような応用では、学習アルゴリズムやルールベースの知識ベースシステムなど、部分的ではあるが知的な機能の実現が試みられている。

(3) 協調エージェントの技術

複数のエージェントの協調による問題解決技術は、エージェント通信では必須である。その技術として、エージェント間の通信を実現する技術と、より基本的な技術として協調問題解決アルゴリズムとがある。

前者は応用に依存しないレベルでエージェント間の通信の枠組みを決めておこうというもので、エージェント通信言語 (Agent Communication Language) という形で実現される。米国の知識共有プロジェクト

²³⁾ 当時はまだインターネットが普及しておらず、ニーズが顕在化していなかったという事情もある。

²⁴⁾ Javaのアプレットはサーバからクライアントに移動して実行される移動エージェントともとらえられる。

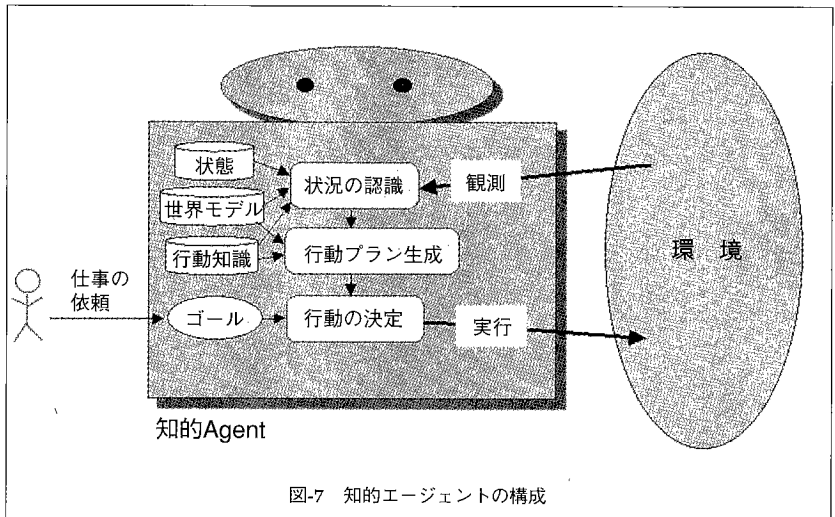


図-7 知的エージェントの構成

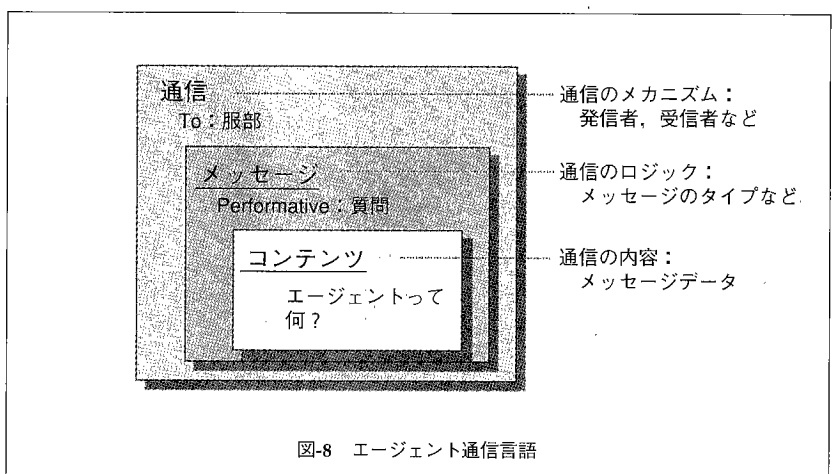


図-8 エージェント通信言語

で提唱された、KQML³⁰⁾ タイプの言語が主流となっている。KQMLは言語行為理論 (Speech Act Theory) によっており、メッセージの中身がどのような種類の応用を期待しているかを表すパフォーマンスを記述するのが特徴である (図-8)。これによって受信側は処理の仕方を決定することができる。

一方、協調問題解決とは、複数のエージェントがそれぞれの持つ部分的な知識/情報をもとに、全体としていかに効率よく目標を達成するかという問題である。詳細は誌面の都合で省略するが³¹⁾、現実の複雑な問題を解くにはまだギャップが存在するのが現状である。最近では、オークションなどのように、全体で協調して1つの目標を達成するのではなく、それぞれのエージェントが独自の目標を達成するための行動決定アルゴリズムも重要な課題として活発に研究されている。

(4) エージェントの活動を支える技術

エージェントそのものではないが、その実現にあたって重要となるいくつかの技術について触れる。

1つは、エージェントの行動に必要な情報の表現技術である。エージェントが自律的に活動するためには、処理対象となる情報の内容が分からなくてはならない。現在広く普及しているHTMLは画面表示のための情報構造が記述できるだけで不十分である。最近話

題のXML (eXtensible Markup Language) は、内容を記述できる構造化言語として注目を浴びている³²⁾。XMLで情報を表現することで、エージェントはそこに何が書かれているかを理解することができ、適切な処理を行うことができる。すでにXMLの電子商取引への応用のプロジェクトが始まっており³³⁾、今後、仲介エージェント機能の実現が進められていくものと思われる。

また、もう1つの課題として、人間を含む現実世界とのインタフェースの問題がある。現状ではネットワーク上の仮想世界は物理世界とは切り離されていて、コンピュータのディスプレイを通じた細かいインタフェースで接続されているが、今後、エージェント通信がより広く普及するためには、現実世界の状況を認識したり、また仮想世界の状況を伝えたりするための、より自然なインタフェースが重要になってくるであろう。バーチャルリアリティ技術の活用や、現実世界に埋め込まれたコンピュータによるインタラクティブな環境の実現が望まれる³⁴⁾。

また、その一部として、人間と自然に対話できるエージェントが実用に近づいてきている³⁵⁾。その背景には自然言語処理や対話の技術、音声や画像のメディア処理技術の着実な進歩がある。

情報源

エージェントに関する情報を集めたWebサイトとして文献³⁶⁾がある。また³⁷⁾にも多くのリンクがある。国際会議やワークショップは最近、数多く開催されているが、ICMAS (International Conference on Multi Agent Systems)³⁸⁾、International Conference on Autonomous Agents³⁹⁾、PAAM (International Conference on Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents)⁴⁰⁾の3つが代表的なものである。日本ではソフトウェア科学会主催でMACC (マルチエージェントと協調計算ワークショップ)が毎年開催されているほか、昨年、ソフトウェアエージェントとその応用シンポジウムが開催された⁴¹⁾。標準化の団体として、FIPA (Foundation on Intelligent and Physical Agents)⁴²⁾、OMG (Object Management Group)⁴³⁾、Agent Society³⁷⁾などがある。また、今年からKluwer Academic Publishersよりエージェント専門のジャーナル Autonomous Agents and Multi-Agent Systemsが発刊されている。

エージェント通信の未来

エージェント通信に対するニーズとそのイメージを事

例を中心に述べた。また、その背景となるエージェント技術の動向について紹介した。

エージェント通信は、今後のネットワーク社会におけるインフラストラクチャの1つとして必須の技術である。しかし、現状の技術レベルはまだ不十分であることも確かである。単なる名前だけのブームに終わらないよう、現実のニーズに基づいたエージェント通信技術の健全な発展を願う。

参考文献

- 1) White, J. E. : Mobile Agent, in 2).
- 2) Bradshaw, J. M. ed. : Software Agents, AAAI Press / MIT Press (1997).
- 3) Russell, S. J. and Norvig, P. : Artificial Intelligence A Modern Approach, Prentice-Hall (1995). (邦訳: 古川康一監訳: エージェントアプローチ人工知能, 共立出版 (1997)).
- 4) 岸本: エージェント通信トランスポートネットワーク, 信学論 (B-I), Vol.79, No.5, pp.238-250 (1996).
- 5) 服部, 坂間, 森原: わかりやすいエージェント通信, オーム社 (1998).
- 6) 服部: ネットワークエージェントによる情報収集と流通, 情報処理, Vol.38, No.1 (Jan. 1997).
- 7) <http://www.nsc.cae.nitt.co.jp/messejng/agentaction/aatop.htm>
- 8) <http://www.flexfirm.co.jp/product/cti.html>
- 9) <http://www.netaddress.com/>
- 10) Lashkari, Y., Metral, M. and Maes, P. : Collaborative Interface Agents, Proc. of AAAI'94 (1994).
- 11) Guttman, R., Moukas, A. and Maes, P. : Agent-mediated Electronic Commerce: A Survey, Knowledge Engineering Review, Vol.13, No.2 (June 1998).
- 12) <http://www.firefly.net>
- 13) Doorenbos, B., Etzioni, O. and Weld, D. : A Scalable Comparison - Shopping Agent for the World Wide Web, Proc. of AGENTS'97 (1997).
- 14) <http://www.jango.com>
- 15) <http://bf.cstar.ac.com/bf/>
- 16) <http://www.onsale.com/>
- 17) <http://pages.ebay.com/aw/index.html>
- 18) <http://auction.eecs.umich.edu/index.html>
- 19) <http://www.iiia.csic.es/Projects/fishmarket/newindex.html>
- 20) 吉田, 横尾, 服部: 潜在的なコミュニティの可視化, 第6回マルチエージェントと協調計算ワークショップ (1997).
- 21) <http://foner.www.media.mit.edu/people/foner/yenta-brief.html>
- 22) 大坪, 高橋, 西部, 森原: コミュニティ形成を支援する情報案内システム Action Navigator, 第54回情処全大, IW-05 (1997).
- 23) 山崎, 津田編訳: Telescript 言語入門, アスキー出版局 (1996).
- 24) <http://www.ibm.co.jp/tri/aglets/>
- 25) <http://www.meitca.com/HSL/Projects/Concordia/>
- 26) <http://www.ipa.go.jp/NEWSOFT/public/Flage/index.html>
- 27) Shoham, Y. : AGENT0: A Simple Agent Language and Its Interpreter, AAAI-91 (1991).
- 28) Wittig, T. (ed.) : ARCHON: An Architecture for Multi-Agent Systems, Ellis Horwood (1992).
- 29) 藤田, 菅原, 木下, 白鳥: 分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ, 情処論文誌, Vol.37, No.5, pp.840-852 (May 1996).
- 30) Finnin, T. and Fritzon, R. : KQML - A Language and Protocol for Knowledge and Information Exchange, 13th Distributed Artificial Intelligence Workshop (1994).
- 31) 沼岡, 大沢, 長尾: マルチエージェントシステム, 共立出版 (1998).
- 32) 池田: XMLの概要と応用, 情報処理, Vol.39, No.6, (June 1998).
- 33) <http://www.commercenet.or.jp/index.html>
- 34) 長尾: インタラクティブな環境を作る, 共立出版 (1996).
- 35) Elliott, C. and Brezinski, J.: Autonomous Agents as Synthetic Characters, AI magazine, Vol.19, No.2, Summer (1998).
- 36) <http://www.cs.umbc.edu/agents/>
- 37) <http://www.agent.org/>
- 38) <http://cosmos.imag.fr/MAGMA/ICMAS98/>
- 39) <http://www.cis.udel.edu/~agents98/>
- 40) <http://www.demon.co.uk/ar/PAAM98/>
- 41) ソフトウェアエージェントとその応用論文特集, 信学論文誌, Vol.J81-D-I, No.5 (1998).
- 42) <http://drogo.cselt.stet.it/fipa/index.htm>
- 43) <http://www.omg.org/>

(平成10年9月2日受付)