

セマンティックウェブ用インタフェースエージェント

Discussion on Interface Agents for Semantic Webs

小出 誠二*¹

Seiji Koide

*¹オントロノミー合同会社

Ontology, LLC

In 2001, Tim Berners-Lee, Jim Hendler, and Ora Lassila published the Semantic Web manifest as an article of Scientific American. In this article, they pictured a use case, in which agents, as substitute of users, work by exploiting web services. However, there is no research on semantic web agents up to now, during fifteen years after the manifest. Aiming the promotion of the research on semantic web agents, this paper discusses interface agents for the sake of Semantic Webs. The semantic web agents must be able to interact users and achieve abstract goals using webs without direct intervention from users, occasionally through collaboration with other agents. The basic idea of building semantic web agents is addressed with its architecture.

1. はじめに

2000 年前後から Tim Berners-Lee を含む一部の研究者によって模索されてきたセマンティックウェブは、2001 年に出版されたサイエンティフィック・アメリカンの特集記事 [Berners-Lee, et al. 2001] によって一般社会に知られることとなった。このセマンティックウェブ宣言とも言える記事には、ウェブとユーザを仲介するエージェントが描かれていたにもかかわらず、これまでのセマンティックウェブ研究 15 年間の歴史においてセマンティックウェブ用エージェントが研究者によって真剣に議論されたことはなかった。その原因の一つには、2000 年前後は「A I 冬の時代」まっただ中であって、Tim Berners-Lee 自身の「セマンティックウェブは A I ではない」という発言もあって、セマンティックウェブ研究に参加した A I 研究者も A I を連想させるエージェント研究を控えていたという事情があったように思われる。しかし、今や世の中は第三の A I ブームを迎えており、セマンティックウェブと A I との関連について一般から疑義も寄せられようになった。本稿では、セマンティックウェブ用知的インタフェースとなるエージェント (SW Agents) について、今後の SW Agents 研究の出発点として資することを目的に、A I 技術応用の視点からセマンティックウェブ・インタフェース・エージェントのあり方について議論する。

2. 関連研究

オブジェクト指向の考え方では、オブジェクト同士のメッセージのやりとりによって計算が行われるとされる。このような計算機構の研究は A I 分野では Carl Hewitt の Actor 理論 [Hewitt 1973] によって開始されたが、その研究の動機は主に並列計算への興味であり、Actor 理論そのものが多くの技術要素を含み複雑であったこと、当時の計算機パワーが貧弱であったこと、並列計算を旨とするエージェントを必要とするような社会的な要請も成熟していなかったことなどから、彼らの研究が大きく広がることはなかった。Hewitt らの研究方向はその後、分散人工知能 (Distributed AI) の研究に引き継がれていく。

オブジェクトはあくまでメッセージを受け取って行動を起こす存在であり、オブジェクトそのものが能動的に何かをするものとは考えられていない。これを一步進めて、エージェント指向では、エージェントは自律した存在であり、ユーザからのメッセージを受け取ることなく、自発的に行動することができる。

エージェントという言葉が A I 研究者に広く認知されるようになったのは、Minsky の *Society of Mind* [Minsky 1985] からだと思われる。この書で Minsky は脳の知的活動を説明するのに旧来のホムンクルスの存在を否定するために、個々のエージェントは知的ではないがエージェント全体の活動として知的活動が創出されると主張した。この主張は魅力的かつ強力であったが、未だに明確に Minsky の理論に従った研究、すなわちニュームやノームと呼ばれるエージェントがあり K-line を持つような知的システム実装は行われていない。

一方、スカーリー時代の Apple は、パーソナル・コンピュータの未来像として Knowledge Navigator というものを考え、そのアイデアのプロモーションビデオ*¹を制作した。当時インターネットはあったが、まだウェブは存在していなかった。しかし執事としての役割を果たす擬人化エージェントが、主人との対話を通じて、代わりに電話を受けたり電話したり、文献検索・提示するなど、一般の人々に計算機上のソフトウェア・エージェントがどんなものか知らしめるのに大きく貢献したと思われる。サイエンティフィック・アメリカンで描かれたセマンティックウェブのエージェントも、このエージェントのウェブ時代における焼き直しと見ることもできよう。

エージェント研究はロボット研究やプランニング研究と深い関わりがある。Carl Hewitt は PLANNER プロジェクトの主宰者であったし、サイエンティフィック・アメリカンの特集記事の著者の一人である James Hendler も実はプランニング研究者であった。その後 Hendler はエージェント研究を経由して、セマンティックウェブにたどり着くことになる。

MIT のロボット研究者であった Rodney Brooks の下で研究業績を挙げた Pattie Paes は、その当時の身体性 (embodiment) や状況依存性 (situatedness) というロボット研究の新分野をエージェント分野に広げて、1988 年に開かれた “Representation and Learning in an Autonomos Agent” と名付

連絡先: 小出 誠二, オントロノミー合同会社,
koide@ontology.co.jp

*¹ <https://www.youtube.com/watch?v=yc8omdv-tBU>

けられたワークショップを核にして、*Designing Autonomous Agents* [Maes 1991] という小冊子を出版した。この論文集に Brooks は “Elephants Don’t Play Chess” [Brooks 1991] というタイトルの論文を寄稿しているが、従来の記号システム仮説 (symbol system hypothesis) を排して、ヒューリスティックな探索に依らない、より小さな行動ユニットの相互作用としてよりグローバルな行動が発現するような、新しい AI アプローチを提唱した。これには Minsky によるエージェントの考え方と共通するところがあるが、彼が物理グラウンディング仮説 (physical grounding hypothesis) というように、物理環境からのノイジーな信号をどう頑強なロボット行動に結びつけるかという問題では解決に成功したものの、エージェント一般の構成原理としては、人間との対話に必要な言語処理機能や表象にまでどう知能を立ち上げるのかという点において、何ら有効な方法を示すことはできていない。

Angre と Rosenschein は、ウェブの時代となった 1995 年の *Artificial Intelligence* の二つのジャーナルにおける記事を纏めて、1996 年に *Interaction and Agency* [Agre & Rosenschein 1996] というタイトルの論文集を出版した。Angre はその中の総括的論文 [Agre, 1996] において、蒐集した論文に言及しつつ、エージェントの技術的内容に留まらず、ヴィゴツキーやピアジェの発達心理学に基づく AI 研究について言及し、メルロポンティの現象学やハイデッガー哲学と AI 研究との関係に言及している。またマトウラーナとヴァレラによって提案された構造的カップリングにも言及しているが、個人的には特にオートポイエシスの議論において、求心的ニューロンと遠心的ニューロンのカップリングが自己言及的になるという一般の言説に興味がある。意識の自己言及性はどこからくるのかということに関連するかも知れないからだ。Minsky の「心の社会」が人工的な印象を与えるのに対して、オートポイエシスは生物系に対する哲学的な考察から出発するだけに将来の可能性を感じさせるが、この Angre の研究方向はその後発展することはなかった。何故か彼は 2009 年に失踪してしまったのだ。

今でも最も包括的な AI 教科書と位置づけられる、*Artificial Intelligence; A Modern Approach* [Russell & Norvig 1995] (何故かこの本は「エージェントアプローチ人工知能」という名前で和訳された) の出版以降、それまで散発的であった人工知能分野におけるエージェント研究が AI 分野において一定のボリュームを占めるようになってるとともに、人工知能以外の情報処理分野におけるエージェント研究も行われるようになった [Wooldridge, et al. 1996, Müller 1996, Bradshaw 1997, 本位田ら 1999]。次節ではそれらのエージェント研究の成果について概要を示すが、本節では最後に、ソフトウェアエージェントの国際標準を目指してスイスにおいて結成された非営利団体 *Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA)* について述べる。

この団体はいくつかの研究機関と多数の企業の参加を得て、1996 年に立ち上がり 2005 年まで続いたが、膨大なドキュメントを産出しつつも、最後は、IEEE 標準化委員会の活動として発展解消した。特に成果としては *Agent Communication Language (FIPA-ACL)* が挙げられるが、残念ながら FIPA の成果が実用化されて多に役立ったという話を聞かない。またその活動はソフトウェア技術としての側面が大きく、産業化の観点からは意味があったはずであるが、AI 的観点からはあまり見るべきものはなかった。

3. ソフトウェア・エージェント

ロボットもエージェントの一種であるが、ここではセマンティックウェブに関係の深いソフトウェアエージェントに絞って議論する。

3.1 ソフトウェア・エージェントの特徴

Bradshaw [Bradshaw 1997a] はソフトウェア・エージェントの一般的特徴について、次のように整理した。

- 即応性 (reactivity) : 選択的に感知し、行動する力
- 自律性 (autonomy) : 目標指向的にプロアクティブに自分から行動する力
- 協調性 (collaborativity) : 共有目標達成に向けて他のエージェントと協調行動する力
- 伝達性 (communicability) : 人間やエージェントとコミュニケーションする力
- 推論力 (inferenciability) : 事前情報を超えて、目標知識を用いて抽象的タスクを実行できる力
- 自己持続性 (continuity) : 永続的に自己同一性を保持する力
- 個性 (personality) : 感情まで含めてもっともらしい性質を表す力
- 学習力 (adaptivity) : 経験に依って学習し改善できる力
- 移動性 (mobility) : あるプラットフォームから別のプラットフォームへ自分で移動できる力

これらの特徴のすべてを満たすというのは並大抵ではないし、特に移動性などはソフトウェアエージェントでは必要とされない可能性が高い。しかし、即応性や自律性はエージェントに必須の機能であろうし、協調性や伝達性、推論力は、いわゆる「気の利いた」エージェントに望ましい性質である。また、自己持続性、個性、学習力などは「親しみやすい」エージェントに望ましい性質である。

3.2 知的エージェント

ロボットにおけるタスクプランニングと同様に、ソフトウェア・エージェントも目標を持ち、そのゴール達成のための計画を立てることができなければならない。ゴールが抽象的であればあるほど、またゴールに持続性が必要なものほど、高い知的能力が必要となる。Maes らはユーザの負担を軽減するための電子メールエージェント、会議スケジュールエージェント、ニュース選択エージェントを開発 [Maes 1997a] しているが、これらは比較的具体的で実現容易な目標であると言える。1994 年から 2 年間の調査研究とその後の 5 年間の本格研究として実施されたヒューマンメディア・プロジェクト [井口・橋本 1998] では、そのサブプログラムである次世代プラント用ヒューマンインターフェースの研究において、石油精製プラントを対象に、VR を用いた仮想プラント意味表示インタフェースのほかに、操作員の音声コマンドを受けてプラント制御を行い、オントロジーに基づき異常検知と診断を行うインタフェースエージェント [小出・山内 1998, 小出・鈴木 1999] が研究された。VR についても音声対話についても、社会的受容が進みつつある今こそ、提示された次世代プラント用インタフェースを実用に供することができるかも知れない。古典的プランニングでは世界は

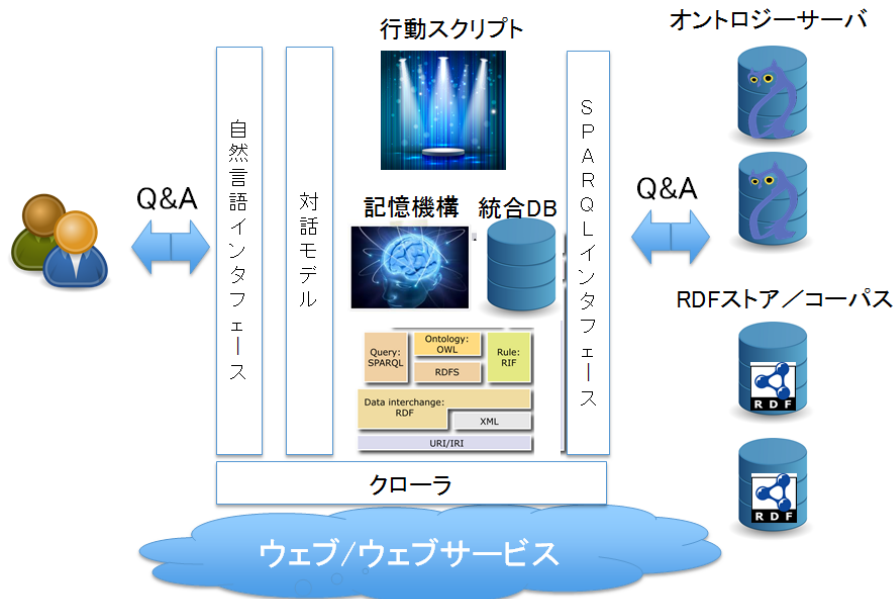


図 1: セマンティックウェブ用インタフェースエージェントのアーキテクチャ

計画時中から実行中まで変化しないとされるが、現実には計画時にも変化したり計画時と実行時の環境が違うことが普通である。そのような変化する世界を前提とする知的エージェント [山田 1997] が研究されている。なお、将来実現が期待される最も実現困難なエージェントは、ソフトウェア・エージェントではないが、人間に先立って火星に移住し、人間のための生活環境を整えるロボットであろう。通信遅延 (8 分～40 分往復) のために、地上からの監視制御の困難さを克服するために高い自律性が要求されるし、持続する高い目標達成のために状況変化に即応して行動を計画し、想定外の様々な偶発的なできごとによりうまく対応しなければならない。

3.3 インタフェース・エージェント

ソフトウェア・エージェントにも色々な形態がある。Apple 社の Knowledge Navigator のように、人間の姿をしているエージェントは、その形態から擬人化エージェントと呼ばれる。擬人化エージェントでは、エージェントはそのエージェントの持つ知的レベルや役割に合致した形態を備えなければならない。機械とユーザとの間で両者の仲立ちをするようなエージェントは、インタフェース・エージェントと呼ばれる。上記プラットフォーム用インタフェースエージェントでは当初の構想段階では擬人化が考えられたが、最終的には擬人化されなかった。Space Odyssey の HAL も人間との会話能力を持つが擬人化はされていない。これら機械装置のインタフェース・エージェントに親しみやすさはあまり要求されないからであろう。一方、一般ユーザが様々な用途に利用するウェブインタフェース・エージェントでは、当初は Amazon Echo^{*2} のように擬人化されなくとも、最終的には擬人化されるのではなかろうか。

4. ウェブ・インタフェース・エージェントのアーキテクチャ

図 1 にセマンティックウェブ用インタフェースエージェントのアーキテクチャの構想を示す。このエージェントは自然言語対話機能を持ち、セマンティックウェブにある知識を用いてユーザからの質問に答えるものである。単純に言えば、ユーザの発する言葉を解釈して適切な SPARQL クエリに変換し、エンドポイントを適切に選んで得られた RDF 形式の答えを再び自然言語に変換してユーザに答えるものと捉えることができるが、現状ではユーザから投げかけられる簡単な質問にさえ正しく答えることは難しい。その理由は、まだ十分な量の事実知識を持つ RDF ストアがないことや、常識的な知識がオントロジーとして蓄積されていないからである。図にはエージェントの記憶機構とともに、行動スクリプトが記載されているが、エージェントの脳内の記憶をベースに、行動の指針となるのが行動スクリプトである。図の統合 DB は膨大になる外部オントロジーや外部 RDF ストアから、当面のセッションに関連する知識のみを部分的に取り込んでて保持するものである。対話モデルは Winograd と Flores [Winograd&Flores 1987] による行動のための会話の基本構造 (ここには、依頼、約束、受容、提案、表明、宣言、保古、拒否、離脱を含む状態遷移モデルがある) に触発されて開発したプラットフォーム用インタフェースエージェントの対話機能開発 [小出・鈴木 1999] の経験から、必要と考えたものである。

一方、セマンティックウェブとエージェント間のインタフェースについては、小出らが大規模システムの運転支援システム開発を目的に、セマンティック・ウェブインタフェースの利用を前提に、内部にプランナー、エグゼキュータ、および事例ベースに基づくメモリ機構を含んだ、インタフェースエージェントの開発 [Koide 2005] を行った。しかし、インハウス用のセマンティック・ウェブサービスは別としても、未だに一般に利用可能なパブリックなウェブサービスが普及していない現状では、実用化を目的の実証研究の動機は低いと言わざるを得ない。図

*2 <https://www.youtube.com/watch?v=Kk0CeAtKHic>

1 ではセマンティックウェブにあるようなウェブサービスではなく、今日普及しつつある RDF ストアを前提としたが、エージェントを前提とした利用方法については、今後の研究開発に期待する。

5. まとめ

本稿では、これまでのセマンティックウェブ研究の成果を踏まえて、今こそセマンティックウェブの AI 応用の場としてセマンティックウェブ用インタフェースエージェントを位置づけ、現状を踏まえて将来に向けての簡単な報告をした。セマンティックウェブ用インタフェースエージェントは自然言語対話機能を備え、ユーザからの質問に対してセマンティックウェブに記述された知識を用いて回答するものであり、その実現のためには、整合性のある網羅的なオントロジーと回答に必要な十分な事実知識を備えた複数の RDF ストアが必要である。さらに知的エージェントとするためには、簡単な行動スクリプトに従ってユーザを含む環境の変化を感知して、行動を選択する機能も要求される。今後はアーキテクチャについてさらに詳細な検討を加えるとともに、それらの個別機能実現にむけて研究を進めていく。

参考文献

- [Berners-Lee, et al. 2001] Berners-Lee, Tim, James Hendler, Ora Lassila: “The Semantic Web”, *Scientific American* (2001-5). (邦訳: 自分で推論する未来型ウェブ, 日経サイエンス (2001-8)).
- [Hewitt 1973] Hewitt, Carl, Peter Bishop, Richard Steiger: “A Universal Modular ACTOR Formalism for Artificial Intelligence”, *IJCAI* (1973).
- [Minsky 1985] Minsky, Marvin: *Society of Mind*, Simon&Schuster (1985). (邦訳: 心の社会, 安西祐一郎訳, 産業図書, (1990)).
- [Maes 1991] Maes, Pattie (ed.): *Designing Autonomous Agents*, MIT/Elsevier (1991).
- [Brooks 1991] Brooks, Rodney A.: “Elephants Don’t Play Chess”, *Designing Autonomous Agents*, pp.3–25, MIT/Elsevier (1991).
- [Agre & Rosenschein 1996] Agre, Philip E., Stanley J. Rosenschein (eds.): *Interaction and Agency*, MIT/Elsevier (1996).
- [Agre, 1996] Agre, Philip E.: “Computational research on interaction and agency”, *Interaction and Agency*, pp.1–52, MIT/Elsevier (1996).
- [Russell & Norvig 1995] Russell Stuart J., Peter Norvig: *Artificial Intelligence A Modern Approach*, Prentice Hall (1995).
- [Wooldridge, et al. 1996] Wooldridge, M.J., Jörg Müller, Milind Tambe (Eds.): *Intelligent Agents II - Agent Theories, Architectures, and Languages*, Springer (1996).
- [Müller 1996] Müller, Jörg: *The Design of Intelligent Agents*, Springer (1996).
- [Bradshaw 1997] Bradshaw, Jeffrey M. (ed): *Software Agents*, MIT (1997).
- [本位田ら 1999] 本位田 真一, 飯島 正, 大須賀 昭彦: エージェント技術, 共立 (1999).
- [Bradshaw 1997a] Bradshaw, Jeffrey M.: “An Introduction to Software Agents”, *Software Agents*, pp.3–46, MIT (1997).
- [Maes 1997a] Maes, Pattie: “Agents that Reduce Work and Information Overload”, *Software Agents*, pp.145–164, MIT (1997).
- [井口・橋本 1998] 井口 征士, 橋本 周司: ヒューマンメディアプロジェクトの概要, システム/制御/情報, 42-5, pp.235–243 (1998).
- [小出・山内 1998] 小出 誠二, 山内 進吾: プラント運転用インタフェースエージェント, 電子情報通信学会技術研究報告, 人工知能と知識処理 (1998).
- [小出・鈴木 1999] 小出 誠二, 鈴木 俊太郎: プラント運転支援用インタフェースエージェントの音声対話技術, 人工知能学会全国大会論文集, (1999).
- [山田 1997] 山田 誠二: 適応エージェント, 共立 (1997).
- [Winograd&Flores 1987] Winograd, Terry, Fernando Flores: *Understanding Computers and Cognition*, Addison-Wesley (1987). (邦訳: 平賀譲訳, コンピュータと認知を理解する, 産業図書 (1989)).
- [Koide 2005] Koide, Seiji: “Memory Organization Package (MOP) for Web Agents”, *Int. Lisp Conf*, (2005).