

Web の進化とエージェント

武田 英明^{*1*2}

Evolution of Web and Agents

Hideaki Takeda^{*1*2}

Abstract: 本稿では Web2.0 に代表される近年の Web の進化とエージェントについて、セマンティック Web を仲介に論じていく。セマンティック Web もエージェント技術も Web2.0 の特徴を実現する先行技術であった。しかし、現在の Web の大規模性や多様性に対応することができなかったため、Web2.0 の中に加わることができなかった。もっと Web2.0 は Web の進化の現在のスナップショットであり、今後は Web は社会としての役割（社会としての Web）が大きくなるであろう。このときは社会環境を構築するセマンティック Web と社会インフラストラクチャを形成するエージェント技術が重要になると期待される。

Keywords: Web, Web 2.0, セマンティック Web, エージェント技術, 社会としての Web

1. はじめに

以下は 2001 年 5 月号の Scientific American 誌に載った Tim Berners-Lee 他の記事の冒頭である[1].

電話が鳴ったとき、娯楽システムからビートルズの “We Can Work It Out” が流れていた。Pete は電話で出たとき、彼の電話は音量調整を持っている他のローカルデバイスすべての音量を下げるようメッセージを出して、音を低くした。彼の妹、Lucy が医師の部屋から電話をかけていた。「お母さんは専門家に診察してもらい、物理治療を続けてなくてはいけないのよ。2 週に 1 回ぐらいね。これから私のエージェントにアポイントメントを取ってもらおうわ。」Pete はすぐに車での送り迎えを請け負った。

医師の部屋で、Lucy は彼女のハンドヘルドの Web Browser を通して、エージェントに教示していた。エージェントはすぐに医師のエージェントから母親の処方箋に関する情報を入手していた。そしてこのサービスを提供する提供者をいくつか調べ、加入している保険でカバーでき、母親の家から半径 20 マイル以内で信頼できる評価サービスにおいて優秀と評価されている提供者を探した。次に提供者の可能なアポイント

メントの時間（個々の提供者のエージェントが提供）と Pete と Lucy のスケジュールのすりあわせをはじめた。...

これがセマンティック Web が実現する未来の Web というわけである。ここには Web 上のエージェント、エージェント間メッセージング、エージェント検索、Web の信頼性、エージェント間でのネゴシエーションなど、様々な技術要素が含まれている。Tim Berners-Lee はいわばセマンティック Web に Web の未来を仮託したわけである。

これから 5 年以上経った。セマンティック Web はどうなったであろうか。あるいは Web そのものはどうなったであろうか。

Tim Berners-Lee が director である Web の標準化団体である World Wide Web Consortium(W3C)ではワーキンググループなどを作ってセマンティック Web の推進を行ってきた。ここでは RDF (Resource Description Framework), RDF Schema [2], OWL (Web Ontology Language)[3]といった言語を策定してきた。また研究コミュニティは上記のような言語の開発やその処理系、それを使ったアプリケーションなどを開発してきた。その結果、Web 上の情報にメタデータとして意味を付加する仕組みを構築されている。

さらに Web 上のサービスを標準化する Web サービスと結合して、Web サービスに意味を付加する仕組みが提案、開発されている。

セマンティック Web の歩みは期待外れのもので

^{*1} 国立情報学研究所, 〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋2-1-2

E-mail: takeda@nii.ac.jp

^{*2} 東京大学 人工物工学研究センター, 〒277-8568 千葉県柏市 柏の葉 5-1-5

あったかもしれないが¹、確実に基盤を整えつつある。

ただし、セマンティック Web の技術は RDF など部分的なものは世の中で使われるようになったが、これぞセマンティック Web というアプリケーションはなかなか生まれなかった。すなわち、セマンティック Web が研究室をなかなか出られなかった

一方、エージェント技術もまたなかなか研究室をでることができなかった。1990年代にはモバイルエージェント言語 Telescript[4]が、エージェントコミュニケーション言語としては KQML[5]が開発されて、エージェントを利用したアプリケーションが普及するかと思えたが、Web の劇的な普及の前に霞んでしまった。その後も Web と連動して動作できる Java ベースのモバイルエージェントも数々開発されてきたが、大規模な利用にいたっていない。

この間にも、Web は次々と変化して言った。この最近の変化を Tim O'Reilly は“Web 2.0”と名づけた。この名づけは絶妙で多くの人が使う概念となった。過去の Web がバージョン1なら、今の Web はバージョン2であるというわけである。ソフトウェアのバージョン1とバージョン2では論理的な進展があるわけではないが、なんらかの性能向上や使いやすさでの進歩がある（と期待されている）。今の Web はそんな状態であるというわけである。

彼の記事[6]によれば、Web2.0 とはまず Web をプラットフォームとして位置づけることである。これはある意味当然のことなのであるが、あえてその価値を再認識せよということである。次に利用者のモデルとしては「情報の自己コントロール」であるとする。すなわち情報利用者は情報提供者に一方的に従属するといったモデルではなく、相互に関係しあいかつ自立した利用者ということを想定している。特徴的な要素としては

- (1) パッケージソフトウェアではなくてサービス
- (2) 参加のアーキテクチャ
- (3) 高い拡張性とコスト効率
- (4) 再構成可能なデータソースとデータの変換

¹ というよりドッグイヤーごとくインターネットの速さが速すぎるというべきか。

(5) 単一デバイスを超えたソフトウェア

(6) 集合知の活用

を挙げている。また、代表的なサービスとしては

1. Folksonomy (例 del.icio.us, Flickr)
2. 豊かなユーザ経験 (例 Gmail, Google Map, AJAX)
3. ユーザの貢献 (例 PageRank, eBay, Amazon)
4. Long tail (ex. AdSense)
5. 公開ではなくて参加(ex. Blogs)
6. ラディカルな信頼 (ex. Wikipedia)
7. ラディカルな分散化 (例 BitTorrent)

この個々の特徴やその具体化されたサービスなど Web2.0 の詳細については元記事を参照されたい。

それでは Web 2.0 の出現はセマンティック Web もエージェント技術も不要であるということであろうか。

確かに Web 2.0 においては、セマンティック Web もエージェント技術でも看過されていた側面を露にしたという点で大いに評価できる。しかし、それによって、他の技術が不要になるのではなく、相補的な関係であると考えられるべきであろう。以下では Web 2.0 とセマンティック Web、エージェントの関係を詳しく見ていくことにする。

2. Web2.0 とセマンティック Web

セマンティック Web は元来の Web がそうであったように基本的には情報共有に関する技術である。その方法論としては情報共有の抽象度を挙げて知識共有として発展させることで、高度な情報共有を可能とすることを目標としている。知識を共有する仕組みを提供することで高度な情報共有が実現できると考えており、実際、オントロジー言語 RDFS や OWL が制定されてきた。一方、Web2.0 も Web の発展形であるので、情報共有を実現している。Web2.0 の特徴のうち、2 と 6 から極めて Web2.0 は多数の人々が能動的に参加することで成立するものであることがわかる。そしてその実現の仕組みとしてはサービスであり(1)、固定的な仕組みではなく、ダイナミックに実現されるもの(3)である。すなわち、大規模性、インタラクティブ性、可変性を持つ情報共有を実現しようとしているわけである。

両者は大規模情報共有を実現しようという点においては同じであるが、その注目点は異なる。

ある意味、大規模情報共有とは矛盾を内包しているともいえる。情報を共有しようとしているわけであるから、統一された情報交換のフォーマットがなければならない。しかし、大規模性になればなるほど多様な情報共有をみとめていかないといけない。

セマンティック Web は情報の標準化に主に注視して、それを発展させようとしている。ある意味、極めてオーソドックスに情報共有の問題に取り組んでいる。

一方、Web2.0 は大規模性に注目している。大規模性はもちろん大量であるということがまず問題になる。が、単に量が多いというだけでは留まらない、というのがポイントである。大規模さが生み出すいわば“創発”的現象（集合知）を積極的に利用すべきであるし、それを可能とするようなフレキシブルな仕組み（高い拡張性）を提供すべきと考えているわけである。

すなわち、両者は補完的である。セマンティック Web は共有の基盤構築に集中しているが、大規模性がもたらす問題は看過している。一方、Web2.0 は大規模性やそこからくる多様性を重視するが、共有基盤には注目しない。しかし、安定した大規模知識共有は両方の要素が必要である。

セマンティック Web のほうから多様性、分散性を取り込むような研究も現れている。

セマンティック Web においてもオントロジーは分散的に開発・利用されると考えられている。そのためにオントロジーのマッピング、アライメント、統合といったものが盛んに研究されている。例えば、Yahoo!ディレクトリのような巨大オントロジーを自動的にマッピングする仕組みを提案などもある[7]。

またオントロジーを協調して構築するというものも盛んに研究されている。ことに近年、wiki を拡張して、Semantic Wiki[8]として、オントロジーやオントロジーによるタギングを共同で行う環境として使う動きが盛んである。

さらにオントロジーを Web データから自動構築するという試みもある。Mika は folksonomy からオントロジーを作るという試みを行っている[9]。ここでは del.icio.us のタグに上位下位関係を児童発見することを行っている。

オントロジーではないが、人間関係を Web から自動構築するという試みもある[10]。Web の信頼

性を考えるには人間関係は重要な要素であり、それを Web から抽出している。

3. Web2.0 とエージェント技術

多くのエージェント技術ではエージェントが実行あるいは通信する環境を普及させて、そのプラットフォームの中でエージェントが活動するというのを想定している。しかし、このような環境を普及させることは大変なことであり、それがエージェント技術普及のネックになっている。基本的に http と html しかない Web に加えれば、はるかに高度な機能を提供しうるエージェント技術であっても、普及しなければ真価が発揮できない。もともと Web の利用者もこの Web の“低機能”性に満足していてわけではない。しかし、すでに普及している Web を捨てるのではなく、その上に新しい機能を構築しようとしている。それがソフトウェアアーキテクチャとしての Web2.0 である。

Web2.0 の特徴のうち、**単一デバイスを超えたソフトウェア(5)**はコンピュータから携帯機器いたる様々な機器を連携させるソフトウェアを指している。これはまさにエージェントによって達成したかったことである。しかし、実現の方法論が異なる。新たなプラットフォームを構築してその上に載せるのではなくて、最低限 Web であるということだけを基盤に、その上に用途に応じて様々な方法で連携を実現している。

その実現方法の一つが**高い拡張性とコスト効率(3)**というフレーズに代表され、具体的には ajax や API の公開といったものである。一般に独自の方法で連携といったシステムを作った場合、ユーザを囲い込む方向になりやすい。しかし、ユーザの囲い込みは Web の公開性の原則にも合わないし、またビジネス的に Web の巨大さに対応できないし、さらには技術的にも Web の日々の進歩についていくことができない。

代わりにソフトウェアそのものの公開やソフトウェア API を公開することで、多くの人にソースやデータを自由に利用してもらうことで、利用者の拡大とソフトウェアの発展を同時に達成しようとしている。結果として多様な利用方法が開拓されたり、新しい技術が追加されるといった柔軟性の高い仕組みとなっている。

現在の ajax や API 公開でできることは固定的な連携など、エージェント技術からみれば基本的

な機能である。柔軟な連携や自律性など、エージェントが提供しうる機能は多い。今後は、エージェント研究で出てきた技術は一旦解体され Web 上に再構築されると思われる。

4. 社会としての Web

Web2.0は現在の Web のスナップショットである。それでは Web は今後どんな方向へ進化していくのであろうか。

端的にいつてしまえば、「Web は社会化」するであろう。Web 2.0 の言い方にならえば、「社会としての Web」ということになる。「Web の社会化」とは、我々が日常生活している基盤である社会が Web 上に乗ってしまうということである。実空間で行っていたことが Web 空間上で行うようになるということである。この 10 年で我々の生活の一部は確実に Web 上へ移されてきた。その傾向は今後むしろ加速していくであろう。すなわち、社会そのものが大部分 Web 上へ移動してしまうというわけである。

このためには社会に存在するあらゆる要素が Web 上になければならない。人、もの、人やものの関係、社会的活動（生活、教育、ビジネス）、コミュニティ、組織、ルール、モラル、法律、犯罪、政治、等々である。社会という視点からみると、現在の Web はまだまだその端緒についたばかりだということがわかる。やっとな、大勢の人（といっても人口の何割かではない）、人間関係のほんのすこしの部分、社会的活動のほんのすこしの部分等々。これらの要素はこれから次々と「Web 化」されていくであろう。

そうすると Web の様相は大きく変わっていくであろう。Web は今に比べればずっと複雑な構造をもつことになる。Web が普及した理由は Web 文書とリンクといった構造の単純さであり、この特徴は Web はなくなりほしくないが、社会的な要素を取り扱うためにはそれだけでは済まず、社会のもつ複雑な構造を取り込まないといけない²。とはいえ、現在の社会がそのまま Web に移し変えられるわけではない。実空間上の社会はその空間のもつ制約のなかで形成されたものであり、一方 Web 空間は別の制約をもっている。したが

って異なった社会の実現の仕方になるはずである。

Web 空間の特徴としては以下のものをあげることができる。まずデータの特徴としては

- ・ 複製可能
- ・ 再利用可能
- ・ 永続性

がある。複製可能と再利用可能はデジタルデータの一般的特徴であるが、最後の永続性は少し趣が異なる。確かにデジタルデータは劣化しないという面では永続的であるが、実際に永続的に存在し続けるかは別問題である。Web 上の情報は消去が簡単で紙文書より永続性がないという言い方をする人もいるが、現在の傾向からするとむしろ逆で、一度 Web 上に現れた情報はどこかに保存され、ずっと残りうる³。そうすると、量は単調的に増え続けるだろう。

プロセスとしての特徴は

- ・ 時間非依存
- ・ 空間非依存
- ・ 多重化可能
- ・ 並列化可能
- ・ 量非依存

などが挙げられる。時間や空間に依存しないということははじめからの Web の特徴である。さらに近年の計算機の普及によってあまねく PC がおかれるようになり、多重化や並列化が容易になっている。さらには Google が示したように、近年の PC の低廉化によって計算資源が潤沢になり、実質的に情報の量に依存しなくなりつつある。

このようなデータ（情報）の取り扱いあるいはデータの処理は実空間ではできなかつたわけである。当然、このような特徴をもつ Web 上の社会は今までの社会とは異なる仕組みをもつであろう。

たとえば、Web 上の取り扱いで混沌とした状況にある著作権問題も、そもそも実空間のための仕組みを複製可能・再利用可能という異なる性質をもつ Web に適用しようとすることによって生じている問題である。

こういうことが沢山生じつつ、社会としての Web が形成されていくであろう。

² 「2000年代までの Web は Google で検索できるぐらい単純でよかった」なんて後で回顧されるかもしれない。

ただし、すべてが Web に移行するわけではない。我々は実空間に身体を持ち、依然として実空間で生活し続けるわけである。したがって、一部は Web 空間で一部は実空間でという生活であり、それが今よりずっと Web の比重が増えるということである。

5. 社会としての Web とエージェント

社会としての Web においてエージェント技術は重要な役割を果たすことが期待されている。そもそも先にあげた Web 空間の特徴は実空間に身体をもつ我々に合わないのである。我々は情報を永続的に記憶したり、大量の情報を扱うこともできないし、ましてや多重や並列に処理することもできない。このギャップは増える一方である。ここに必要なのはまさに代理人としてのエージェントである。

また、社会の要素自身が Web 化するということは我々がインタラクション可能な Web 上の存在物にならないといけない。この意味でもエージェントが必要である。このエージェントは必要に応じて Web 空間のどこへでもいってインタラクションを行うであろう。

社会としての Web という視点から見れば、セマンティック Web は社会環境の構築である。すなわち、我々の生活環境や文化を Web 上に構築する仕組みを提供する。一方、エージェント技術は社会インフラストラクチャーの構築である。その社会環境の中で人々が実際に活動できるような仕組みを提供する。社会としての Web は両方の取り組みが必要とされる。

6. おわりに

本稿では、Web の進化の方向とエージェント技術の係わり合いについて論じた。関連技術を十分にカバーしているとはいえないし、仮定に基づく議論も多く、粗雑な議論であることは否めない。しかし、Web の急速な発展の中、将来を見越した議論が研究者に必要であると考えて、あえてこのような形で述べさせてもらった。これをもとに多少とも議論が起これば幸いである。

文 献

- (1) Tim Berners-Lee, James Handler, and Ora Lassila, The Semantic Web. Scientific American, May 2001.
- (2) Dan Brickley, R.V. Guha, eds., RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema, W3C Recommendation, 10 February 2004
- (3) Deborah L. McGuinness and Frank van Harmelen eds., OWL Web Ontology Language Overview, W3C Recommendation, 10 Feb 2004.
- (4) White, J. E., Telescript technology: The foundation for the electronic marketplace. White paper, General Magic, Inc., 1995.
- (5) Tim Finin, Yannis Labrou, and James Mayfield, KQML as an agent communication language, Proceedings of the 3rd International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'94), 1995
- (6) Tim O'Reilly, What Is Web 2.0 Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software, 2005
<http://www.oreillynet.com/pub/a/oreilly/tim/news/2005/09/30/what-is-web-20.html> (Last visited on October 4, 2006)
- (7) R. Ichise, H. Takeda and S. Honiden: Integrating Multiple Internet Directories by Instance-based Learning, in Proceedings of the Eighteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, (IJCAI-03), pp. 22–28, 2003.
- (8) Max Völkel, Malte Kiesel, Sebastian Schaffert, Björn Decker and Eyal Oren, Semantic Wiki State of The Art Paper, 2005, http://wiki.ontoworld.org/wiki/Semantic_Wiki_State_of_The_Art_Paper (Last visited on October 4, 2006)
- (9) Peter Mika. Ontologies are us: A unified model of social networks and semantics. Proceedings of the 4th International Semantic Web Conference (ISWC 2005), LNCS 3729, Springer-Verlag, 2005.
- (10) Y. Matsuo, J. Mori, M. Hamasaki, K. Ishida, T. Nishimura, H. Takeda, K. Hasida and M. Ishizuka: POLYPHONET: An Advanced Social Network Extraction System from the Web, in Proceedings of the 15th International Conference on World Wide Web (WWW2006), pp. 397–406, Edinburgh, Scotland (2006), ACM Press

³ ハードディスクなどのデジタルデータの保存技術さえ発展し続ければ、むしろデータの保存は容易である。例えば現在ならば Internet Archive (<http://www.archive.org/>)

