

特集 「Semantic Web とその周辺」

# 意味理解する Web を目指して

— 次世代 Web の方向性を探る —

Toward to Realize Machine Understandable Web  
— Looking for The Web Tomorrow —

和泉 憲明  
Noriaki Izumi

産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター  
Cyber Assist Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.  
niz@ni.aist.go.jp, <http://www.carc.aist.go.jp/>

武田 英明  
Hideaki Takeda

国立情報学研究所  
National Institute of Informatics.  
takeda@nii.ac.jp, <http://www-kasm.nii.ac.jp/>

山口 高平  
Takahira Yamaguchi

静岡大学情報学部  
Dept. Computer Science, Shizuoka University.  
yamaguti@cs.inf.shizuoka.ac.jp, <http://panda.cs.inf.shizuoka.ac.jp/>

**Keywords:** the web tomorrow, semantic web, agent, ontology, web services, e-commerce.

## 1. はじめに

関連研究分野の発展と同時に、e-ビジネスの普及に伴い、近年の Web の利用目的は、単なる情報流通基盤からサービス流通基盤へと拡大化しつつある。その中で、TBL (Tim Berners-Lee) による Semantic Web の提唱<sup>\*1</sup>をきっかけとして、次世代の Web に関する研究開発や応用領域の方向性が模索されるようになった。この方向性の主導権を取るべく、米国国防総省 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) は、DAML (DARPA Agent Markup Language) プログラム<sup>\*2</sup>に大規模な資金援助を行っている。そして、Stanford 大学や MIT をはじめとする主要大学の研究室を中心として、オントロジーやエージェントに関連する知識システム研究全般の技術を統括しようとしている。

このような動きに敏感な欧州の資金援助団体は、米国の動きに対抗すべく、企業や大学を総動員して、トピックごとに特化しつつも、Network of Excellence<sup>\*3</sup>として各領域の研究開発成果をリンクしようとしている。

これらの動向は、知識工学分野のオントロジー研究を中心にブームとなり、これがエージェント研究とのリンクとなって研究が多角化し、コンテンツ管理の観点から、自然言語処理や Web 一般へ広がっている。また、学術

活動に限らず、Web Services<sup>\*4</sup>や .Net (ドットネット)<sup>\*5</sup>といった次世代のソフトウェアアーキテクチャとの関連から、さまざまな産業応用が検討され、現在では、学術界や産業界を巻き込む大きな流れとなりつつある。

これら Web の高度化としての次世代 Web の目指すものは、Web コンテンツ利用や Web の提供する機能などの高度化である。これらの目標は、機械可読 (Machine Readable) なコンテンツから機械理解可能 (Machine Understandable) なコンテンツへ、や、機械処理可能 (Machine Processable) な Web や意味理解可能 (Machine Reasonable) な Web へ、などといった、しばしば、掲げられるスローガンにも現れる。

以上の観点から、本解説では、次世代 Web をめぐる研究開発やプロジェクトの動向などを概説し、その将来を議論する。特に、近年の急速な研究開発の動向を短い紙面で鳥瞰可能とするため、本解説は主な研究開発活動の目的や経過に集中するものとする。このため、個々の機能やしくみ、仕様などについては、参考文献や Web サイトを紹介することとして、内容に関しては掘り下げないこととする。

本解説の構成は次のとおりである。まず、2章にて次世代 Web としての発展の動向に関する最近の議論をまとめた後、3章にて次世代 Web に関連するさまざまな標準化活動を概観し、各団体やそれに参加する組織の動向を探る。続いて、4章では学術研究を中心に研究開発

\*1 <http://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html>

\*2 <http://www.daml.org/>

\*3 <http://www.fc.ul.research.ec.org/>

\*4 <http://www.w3.org/2002/ws/>

\*5 <http://www.microsoft.com/net/>

プロジェクトの活動を概観し、それぞれの分野における今後の方向性を探る。そして、5章において、標準化や成果応用の分野を特定して、2章、3章、4章での研究動向と技術動向を次世代 Web 発展の課題という視点から議論を行い、最後にまとめを行う。

## 2. 次世代の Web 発展へ向けての動き

Web の登場により、ユーザは、ハイパーテキストのリンクをたどることで HTML によって記述された大規模な情報源にアクセスすることが可能となった。そして、近年、サーチエンジンの性能向上や XML の普及、e-commerce (Electronic Commerce: 電子商取引) の展開により、Web は新たな発展を遂げようとしている。ここでの機能展開の方向性は、次世代 Web の方向性として捉えることができ、従来の Web から、XML データの入出力として提供される Web 上のサービス (以下、Web サービス) への移行であると一般化して考えることができる。そして、この発展のアプローチは、大別すると、内容指向とサービス指向のアプローチに分類することができる。これを表したものが図 1 である。内容指向の発展は、Semantic Web に代表されるもので、なんらかの意味内容に基づき構造化することにより、流通コンテンツを高度化するとともに、コンテンツの自動処理範囲の拡大を目指すものである。この発展の方向性は、知識表現や推論機構などのような知識システムの研究開発技術全般の延長と考えられる。

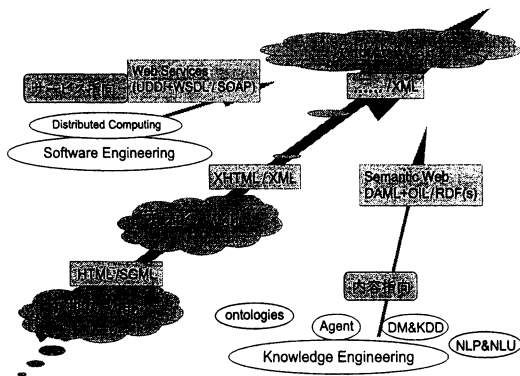


図 1 次世代 Web 開発のアプローチ

一方、UDDI (Universal Description, Discovery and Integration)<sup>\*6</sup>と WSDL (Web Service Definition Language)<sup>\*7</sup>をキー要素とする Web Services [Oellermann 01] に代表されるソフトウェアサービスの開発基盤は、Web サービスに対して「狭義の Web サービス」とも呼ばれ、サービス指向の発展の方向性を特徴

づけるものである。ここで基礎とする技術は、分散環境のソフトウェアアーキテクチャやソフトウェア開発技術などに特徴づけられるような、ソフトウェア工学の研究開発に関するものである。

これらに対して、このような内容指向とサービス指向の両方向の Web 発展に合わせて、W3C (World Wide Web Consortium)<sup>\*8</sup>や DCMI (Dublin Core Metadata Initiative)<sup>\*9</sup>といったコンソーシアムなどによって、技術や仕様などの標準化が進められている。

技術開発の推進力という視点からは、次世代 Web の技術はアプリケーション駆動型と研究開発駆動型 (あるいは、ニーズ駆動型とシーズ駆動型) というように分けることができる。Web のアプリケーションとして第一に注目されているのは e-commerce 全般、特に企業間取引 (B2B: Business To Business) であろう。また、教育学習支援も多くの注目を集めている。アプリケーション駆動型の開発では、企業おのおの、あるいは企業が中心となっているコンソーシアムが開発の中心となっている。また、研究開発駆動型は、主として計算機科学に関連の研究であるが、特に、人工知能とソフトウェア工学が中心となる。人工知能分野では、Web を知識源として取り扱えるようにするための知識表現やオントロジー、推論システムやエージェントに関する技術が重要である。ソフトウェア工学分野では、分散オブジェクトやエージェントのアーキテクチャなどに関する技術が重要である。

## 3. 次世代 Web をめぐる標準化活動

次世代 Web を対象とした研究開発は、普及を前提としていることから、各種の団体による標準化活動と密接な関連をもっている。特に、本章では、次世代 Web に関連する標準化活動の中で、Web の知能化を目指す代表的なものを取り上げ、その方向性を概観する。

### 3-1 W3C の活動

W3C (World Wide Web Consortium) は、1994 年 10 月、Tim Berners-Lee が CERN との連携し、米国国防総省 (DARPA) と欧州委員会 (European Commission) の資金援助のもとにマサチューセッツ工科大学計算機科学研究所 (MIT/LCS) にて設立された産学官共同のコンソーシアムである。後に、欧州地区のホストとしてのフランス国立情報処理自動化研究所 (INRIA) とアジア地区のホストとしての慶應義塾大学 SFC が運営に加わり、国際的な会員制の産学官共同コンソーシアムへと発展し、現在、世界各国の 500 以上の組織が参加している。

\*6 <http://www.uddi.org/>  
 \*7 <http://www.w3.org/TR/wsdl/>

\*8 <http://www.w3.org/>  
 \*9 <http://dublincore.org/>

W3Cでは、会員による議論や一般からの意見聴取を経て、技術仕様を勧告(Recommendation)として公開している。技術仕様は、草案(Working Draft)、勧告候補(Candidate Recommendation)、勧告案(Proposed Recommendation)を経て、最終的に勧告となる。

W3Cによる勧告で代表的なものに1998年のXMLがあり、最近の勧告には、XMLに基づくプライバシーポリシーの表現言語(P3P 1.0: Platform for Privacy Preferences 1.0)やXMLに基づく電子署名のための言語(XML署名: XML Signature)がある。また、W3Cの活動には、Web Services ArchitectureとXML Protocol, Web Services DescriptionのWorking GroupからなるWeb Servicesに関するActivityや、Semantic Webと密接な関係をもつWeb-Ontology(WebOnt) Working Groupなどを包含しており、その多様な方向性や活動範囲は、W3Cのホームページにて概観できる。ここでは、特に、WWWのキー技術が、HTML+SGMLからXHTML+XMLを経てRDFを中心とした技術へ移行していることが容易に理解でき、W3Cにて合意されつつある次世代Webへの流れの理解につながる事ができる。

以上のように、W3Cの動向は、次世代Webの動向そのものといつてよく、その活動内容は、W3Cの影響とともにも今後も注目されるべきものであると考えられる。

### 3.2 メタデータの標準化活動

次世代Webに関連するメタデータ標準化団体で、最も重要と考えられるものは、DC(Dublin Core)である。DC<sup>\*10</sup>は、DCMI(Dublin Core Metadata Initiative)により定義されたメタデータ集DCMES(Dublin Core Metadata Element Set)<sup>\*11, \*12</sup>のことを指す総称とされることが多い。DCMIはWeb上のリソースを記述するための共通のメタデータ標準などを設定し、普及促進を図る組織である。

DCMIは、WWWC2に端を発し、現在もボランティアベースで運営されている。そして、DCに関する議論は、RDFをコア技術として、Semantic Webだけでなく、各国の電子図書館間の情報流通や、EUの電子政府統合なども含め、幅広く、かつ、中立的なことが特徴である。このため、DCMIのWorking Groupには、LibraryやEducation, Agentなども含まれ、その活動範囲はますます拡大している。その一方で、DCMIには、OCLC(Online Computer Library Center)<sup>\*13</sup>以外には大きな

スポンサーがないことなどから、近年、一度、再組織化されたDCMIをさらに再編し、会員組織化や地域ごとのメンテナンスなどが検討されている。

メタデータ標準化には、DC以外にも、教育用メタデータLOM(Learning Objects Metadata)<sup>\*14</sup>や研究用テキストデータの標準化TEI(Text Encoding Initiative)、ニュース原稿の構造化NITF(News Industry Text Format)、医療メタデータMeSH(Medical Subject Heading)、広くは、MPEG-7まで多様である。

### 3.3 FIPAの活動

FIPA(Foundation for Intelligent Physical Agents)<sup>\*15</sup>は、1996年に、エージェント(あるいはエージェントシステム)のためのソフトウェア標準を確立するために設立された会員制の組織である。組織の特徴は、標準化仕様を設定するグループと、その支援機能を開発するグループに大別できることにある。

FIPAの活動範囲は、「エージェントの定義」という仕様策定に始まり、最近では、FIPA仕様の実装である、FIPA-OSやJADE(Java Agent DEvelopment Framework)、それらの軽量版であるmFIPA-OSやLEAP(Lightweight Extensive Agent Platform)などの開発に及んでいる。また、JavaでFIPAを実装する際の標準API/SPIを定めるJava Agent Servicesプロジェクトや、ビジネスアプリケーションを中心としたSpecial Interest Group F4BA(FIPA for Business Applications)に代表されるように、FIPAの特徴は、モバイルエージェントやマルチエージェントシステムの実装が主眼と考えられることが多い。

一方で、OntologiesやSemanticsといったTechnical Committeesの活動が(地味ではあるものの)継続していることや、FIPA準拠のプラットフォームをインターネットを用いて相互接続を行うAgentcitiesプロジェクトが発足したことなど、FIPAの活動は現在も発展中である。以上より、FIPAは、エージェントを中心に据えつつも次世代Webへの道を模索している活動の一つとして重要であることがわかる。

### 3.4 Web Servicesとe-commerceに関する標準化

前述のとおり、Web Servicesは、狭義には、AribaとIBM、Microsoftにより提唱されたUDDIとWSDLをコアとしたソフトウェアアーキテクチャのことを指すが、広義には、インターネット上でXML文書のやり取りを「要求」と「応答」の一連のプロセスとしてみなすサービス一般と考えられている<sup>\*16</sup>。どちらも、EDI

\*10 名前の由来は、1995年3月に米国オハイオ州のDublinで開催されたOCLC/NCSA Metadata Workshopでの討議結果を“Dublin Core metadata”と呼んだこととされている。

\*11 <http://dublincore.org/documents/1999/07/02/dces/>

\*12 <http://dublincore.org/documents/2000/07/11/dcmes-qualifiers/>

\*13 <http://www.oclc.org/home/>

\*14 <http://ltsc.ieee.org/wg12/>

\*15 <http://www.fipa.org/>

\*16 前者をWeb Services、後者をWebサービス(あるいは、Web Service)と記述して区別することもある。

(Electronic Data Interchange) の発展として e-commerce を加速させるものであると期待されている。

一方では、米国の IT バブルが弾け、e-マーケットプレイスや B2B が進展しないなどから、Web Services のパラダイムは EAI (Enterprise Application Integration) や B2B の枠組みと何が違うのか、という疑問も数多く投げかけられている。これに対して、EAI や B2B などに比べて、Web Services に基づくアプリケーション開発は、安価に、容易に、柔軟に構築可能で、かつ、HTTP、HTML、XML の従来技術の延長上にあるなどの理由で、IT 専門のアナリストによるレポートなどでは好意的に捉えられていることが多い<sup>\*17</sup>。

また、Web Services は、W3C における Web Services Activities として強力に推進されていることや、IBM と Microsoft といった巨大企業が仕掛けたこともあり、内外のソフトウェア関連産業から注目されている。このため、各ベンダでは、Web Services 対応商品として、すでにいくつかの開発環境などを商品化しており、現在では、CORBA (Common Object Request Broker Architecture) や ASP (Application Service Provider) よりも大きな動きとみられることもある。また、AgentCities プロジェクトのプラットフォームとして、.Net が採用されるなど、学術活動と実証的開発活動との掛け橋とも考えられる。

これに対して、非営利団体による e-commerce 関連の動きとしては、RosettaNet<sup>\*18</sup> があげられる。RosettaNet は、インテルや IBM、シスコ、ソニーなど、主要 IT 企業や電子機器製造企業の間で B2B を実現するための標準化仕様を定める団体である。同じく、非営利団体による ebXML (Electronic Business using eXtensible Markup Language)<sup>\*19</sup> や BPMI (Business Process Management Initiative) による BPML (Business Process Modeling Language)<sup>\*20</sup> などと比較すると、RosettaNet は、情報機器や電子部品、半導体製造などの分野限定ではあるものの、具体的に実践されていることが特徴である。

以上のように、Web Services や e-commerce に関連する次世代 Web をめぐる動きは、実証的な研究開発を中心に確実に前進しているといえる。

#### 4. 次世代 Web をめぐる学術研究活動

Semantic Web における学術的な技術課題のキーワードとして、しばしば、オントロジーが取りあげられるが、このほかにも、次世代 Web 実現のためには、さまざま

な技術課題が存在する。本章では、オントロジーに加えて、ルール・論理、エージェントの三つの課題を取りあげる。

##### 4.1 オントロジー研究とその実証的研究プロジェクト

オントロジー [Fensel 01] は、知識表現の基礎や知識システム構築方法論の要素技術として、理論と実証をリンクする知識工学の基礎的な研究と位置づけられてきた。そして、Semantic Web の提唱により、オントロジーの研究はその意義が再評価され、現実色の濃い研究分野へと変貌しつつある。

オントロジーの研究コミュニティは、大別すると北米と欧州に分類でき、それぞれ特色を有する。北米での研究プロジェクトとしては、DARPA による Stanford 大学の KSE (Knowledge Sharing Effort)<sup>\*21</sup> のほかに、Cyc プロジェクト<sup>\*22</sup>、Stanford 大学の Protégé<sup>\*23</sup> が中心であったが、これらは、大規模でかつ即座に利用できるオントロジーの構築が主眼となっていた。これに対して、欧州では、アムステルダム大学の Common KADS [Schreiber 99] を中心として、DL (Description Logic) [Baader 02] などに代表される基礎理論や、表現や操作の意味論などを議論する傾向があった。

近年、オントロジーの研究は、大規模で半永久的に固定可能なオントロジーの構築から、小規模で分散したオントロジーを状況に応じてマージしたり、マッピングしたりする技術へと移行する傾向がある [Wache 01]。この傾向と、次世代 Web により実現される分散コンピューティング環境との相性から、オントロジーの利用や交換、流通といった目標を掲げるさまざまなプロジェクトが立ち上がっている。

DAML や OIL のほかにも、欧州のオントロジー研究の主要メンバによるプロジェクトとして、知識交換を主題とした OnToKnowledge<sup>\*24</sup> や ASP の PSM (Problem Solving Method: 問題解決メソッド) 版である iBrow<sup>\*25</sup> が立ち上がり、さらに、これらのプロジェクトは、OnToWeb<sup>\*26</sup> として発展している。いずれも、EC-IST (European Commission Information Society Technologies)<sup>\*27</sup> により大規模な資金援助を受けており、ツール類も充実しつつある。一方、これらのオントロジー運用に関するプロジェクトに対して、IEEE の SUO (Standard Upper Ontology Working Group)<sup>\*28</sup> のように、オントロジーの一部を標準化しようとする動きもあ

\*17 <http://www.stencilgroup.com/>

\*18 <http://www.rosettanel.org/>

\*19 <http://www.ebxml.org/>

\*20 <http://www.bpmi.org/>

\*21 <http://www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing/>

\*22 <http://www.cyc.com/>

\*23 <http://protege.stanford.edu/>

\*24 <http://www.ontoknowledge.org/>

\*25 <http://www.swi.psy.uva.nl/projects/ibrow/home.html>

\*26 <http://www.ontoweb.org/>

\*27 <http://www.cordls.lu/ist/>

\*28 <http://suo.ieee.org/>

る。SUO に提案されている SUMO (Suggested Upper Merged Ontology)<sup>\*29</sup> のほかにも、同様の目的から、Upper Ontology がいくつか提案されているが、顕著な成果は得られていない。

現在、オントロジーに関連する研究コミュニティでは、オントロジーに関するライフサイクル全般を支援する方向で活動しており、Web 上のリソースから特定分野のオントロジーを自動構築しようとする Ontology Learning に始まり、オントロジーの修正や統合、再利用など、さまざまなツールが登場している。これらの動きは、次世代 Web を本格化するためのツールとしての役割も期待されており、今後も発展を続けると考えられる。

#### 4.2 ルールベースシステムの応用としての Web 関連研究

Semantic Web により活性化した研究で、オントロジー以外の知識工学分野のものに、論理やルールに基づくアプローチがある。また、論理やルールは、オントロジーに基づく語彙推論だけでなく、Web 上のサービスを考えた場合、個人情報の取扱いやプロセスの自動実行に関するルールの解釈などに不可欠と考えられる。

このような研究動向は、次世代 Web のための知識の自動処理を実現することを目的として、知識工学におけるさまざまな形式化技術の応用と捉えることができる。これらの成果として XML とルールを融合させたもので、DAML の Logic 層のための言語 DAML-L のほかでは、RuleML<sup>\*30</sup> があげられる。

オントロジー=タクソノミー+公理であり、かつ、公理はルールにより構成されるとの観点から、このためのルールを処理するための XML 言語として RuleML (Rule Markup Language) は発展している。このため、一階述語論理式だけでなく、導出規則に加えて、ECA (Event-Condition-Action) やトリガー規則と呼ばれるリアクション規則 (Reaction Rules)、一般の否定や閉世界仮説の否定などを統一的に表現できるように設計されている。また、RuleML によるルールベースを、XSLT に基づいて XSB<sup>\*31</sup> や JESS<sup>\*32</sup> などのルール処理系へと変換するシステム GEDCOM<sup>\*33</sup> や、RuleML のための完全な input-process-output 環境 Mandarax RuleML などが実装されていることも特徴である。

これらのほかでは、OIL の論理による拡張として、Heavy OIL が検討されているが、Horn 論理レベルの拡張にとどめるか、iBrow プロジェクトのコアである UPML (United Problem Modeling Language) [Fensel

99] とリンクするか、その仕様は、アムステルダム自由大学における OIL 開発チームでも議論されているとのことである。また、韓国 KAIST による XXML (Extensive Rule Markup Language)<sup>\*34</sup> では、ルールのための XML 言語にモジュール性を導入するなど、ルールからのアプローチは、今後も継続すると考えられる。

#### 4.3 エージェントに基づく次世代 Web 研究

最近、EC-IST を中心とする資金援助により、AgentLink<sup>\*35</sup> や PLANET<sup>\*36</sup>、AgentCities<sup>\*37</sup> といったエージェントを基礎とするプロジェクトが活発化している。ここでのエージェントの意義は、AI システムのモデル化としてのメタファーではなく、Web 上のエージェントとして再認識されていることである。すなわち、コンテンツ記述を XML 言語としたときに、コンテンツのブラウザが実行系としてのエージェントであり、また、コンテンツ流通のためのプロセスやプロトコルの記述がエージェント通信言語 (ACL: Agent Communication Language) であるとしてモデル化される。

エージェントに関する研究プロジェクトの多くは、各プロジェクトに学術団体と産業団体の両方が参加していることに特徴がある。FIPA などにおける、KIF (Knowledge Interchange Format) や KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) の研究成果を Web 環境へ移行する、という観点から継続的な研究開発が行われていることも特徴である。

AgentLink では、現在、七つの研究会 (SIG: Special Interest Groups) が活動しており、その活動内容は、エージェントの仲介による e-commerce から学習や発見といったパラダイムまで、基礎から応用までを広くカバーするものとなっている。これらのテーマは、トップダウンに決められるものではなく、産業界のメンバによりまとめられた要求項目に基づいて学術界のメンバを募り、技術確立する形で産学交流を推進する形式となっている。

PLANET では、TCU (Technical Coordination Units) を単位として活動しており、各 TCU は、ワークフロー管理や知的生産などにプランニングやスケジューリングの技術を応用している。次世代 Web との関連では、特に、インターネットを対象として、ユーザの旅行計画やこれに関連するホテルや航空機の予約などを統合的に行う技術の確立を目指している。

AgentCities は、次世代 Web の実現のために、.Net をプラットフォームとして実証的に研究開発をすすめるプロジェクトである。彼らは、DAML+OIL のような

\*29 <http://ontology.tekknowledge.com/>

\*30 <http://www.dfki.uni-kl.de/ruleml/>

\*31 <http://xsb.sourceforge.net/>

\*32 <http://herzberg.ca.sandia.gov/jess/>

\*33 <http://www.daml.org/2001/02/gedcom-ruleml/>

\*34 <http://xml.kaist.ac.kr/>

\*35 <http://www.agentlink.org/>

\*36 <http://www.planet-noe.org/>

\*37 <http://www.agentcities.org/>

Web リソースの記述仕様などよりも、参加組織が提供する Web 上のサービスの相互運用を主目的としている。サブプロジェクトは AgentCities USA や AgentCities France のように国単位で組織され、研究活動と資金援助申請活動とを分離している。また、AgentCities は始まったばかりだが、ある程度、成果がまとまった時点で、Semantic Web のコミュニティとの連携を図ることが AgentCities と DAML+OIL の主要メンバ間で確認されている。

以上のように、エージェントの研究は、一時のブームとして過ぎ去ることなく、次世代 Web の研究により、さまざまな AI に関する課題を、応用や基礎、実証といった幅広い角度から推進されるものとなっている。また、各種エージェント開発環境として具体的な研究開発成果が得られたことや、FIPA-ACL や FIPA-OS などが公開されるなどしたこと、DAML+OIL に関する各種の研究成果のリンクなどとの関連が今後注目される。

## 5. 次世代 Web の発展への課題

前章までに述べたとおり、次世代 Web に関する研究開発では、単なる技術向上を目指すだけでなく、実用化や普及のための活動が同時進行していることが特徴である。したがって、研究開発に従事する者にとって、今後の社会的な傾向や影響を考慮に入れることが重要となる。2 章と 3 章、4 章の内容から、次世代 Web と社会や産業との接点は、よりオープンな環境への移行と Web サービスにおける専門ユーザから一般ユーザへの移行（エンドユーザ化）とが考えられる。以上を踏まえて、本章では、いくつかの主要な領域に関して、社会や産業への影響を議論する。

### 5.1 アプリケーションにもたらす影響

従来、各社個別に構築されていた企業アプリケーションは、より、オープンな環境下での利用へと移行しつつある。例えば、IBM の Legacy Modernization に象徴されるように、社内のレガシーアプリケーションを PC 中心の計算機環境にて利用するために EAI というパラダイムが着目されている。また、企業間のビジネス情報交換に XML が有効との観点から、B2B としての EDI は XML ベースへと急速に変化しつつある。さらに、RosettaNet にも象徴されるように、企業間の統合は B2Bi (Business to Business Integration) としてよりオープンな方向へ向かっていると考えられる。また、一部では、Semantic Web に Web Services のアーキテクチャ的な観点を加えることにより e-commerce へ参入することは、アプリケーション分野として重要であるとの認識が示されている。

以上の傾向は、概して、各アプリケーションをネットワークで結ぶことであると考えられるが、その先の応用

領域として、エンドユーザへの解放による電子ビジネスの展開が考えられている。例えば、企業主導のものでは、HP による Cool Town<sup>\*38</sup> や、Microsoft Research による Easy Living<sup>\*39</sup> のように、日常生活とネットワークがつながることによる構想などがあげられる。また、大学主導のものとしては、MIT の Oxygen<sup>\*40</sup> のように、「酸素のように計算機環境を利用する」という野心的な目標を掲げるものもある。

### 5.2 ソフトウェア開発にもたらす影響

分散コンピューティング環境のためのソフトウェアアーキテクチャの中心は、CORBA や ASP から Web Services や .Net へとシフトしつつある。この観点を支える研究的な視点としては、オブジェクト指向パラダイムとの相性の良さが考えられる。このことは、RDFS や OIL がフレームをモデル化の観点としていることからもうかがえる。

具体的なオブジェクト指向パラダイムとの接点としては

- Web 上のサービスそのものが必然的にカプセル化されていると考えられること、
- (EJB などの) コンポーネントの機能に Web のインタフェースを与えることで、再利用性が高まること、
- SOAP などの利用により、コンポーネント間の結合に関するインタフェースが簡素化され、柔軟な構成が可能となること、

などがあげられる。

従来より、CORBA や DCOM などによる EAI の実現などが行われてきた [Zahavi 99] ようだが、HTTP+XML によってファイヤウォールに関する制約の取扱いが容易になること、UDDI+WSDL+SOAP によって Web 技術にそのまま組み込み可能であることなどから、既存の技術の延長として捉えられることになる。

以上のことから、Web Services を中心とする次世代 Web 技術は、新たな分散計算環境構築技術として、従来のインターネット技術とソフトウェア開発技術に対して、今後もシームレスに発展し続けると考えられる。

### 5.3 AI 技術一般への影響

AI 技術一般という観点からは、DL (Description Logic) やオントロジーだけでなく、プランニングやエージェント技術などが次世代 Web のための要素技術として着目されており、関連研究分野では、応用分野をより実際の観点へとシフトしつつある。これと同時に、米国やドイツをはじめとして、国家予算を大規模に AI 関

\*38 <http://cooltown.hp.com/>

\*39 <http://research.microsoft.com/easyliving/>

\*40 <http://oxygen.lcs.mit.edu/>

連技術に投入し、AI技術の産業応用が画策されている。

例えば、DFKI<sup>\*41</sup>、<sup>\*42</sup>は、ダイムラークライスラーやSAPといった企業を巻き込み、産学連携研究を強力に推進している。

また、EC-ISTによるNetwork of Excellenceでは、エージェント技術、言語と音声技術、AIプランニング技術、知的情報インタフェース技術、計算論理学の各分野における研究成果をリンクさせ大きな成果へと発展させようと試みられている。

DAMLプログラムやDFKIの各活動も含めて、これらの研究成果は、一部、経済活動戦略に組み込まれることも多く、関連技術の国際特許などとからみなかなか見えてこない面も多い。実際、これらの情報は、研究者間で口頭で交換されることが多いが、着実に成果を結集しているようである。

以上のように、AI技術は、次世代Webの模索を契機として、より実証的かつ産業応用的な成果の集約へと移行し、その動きは今後ますます加速すると思われる。

#### 5.4 そのほか一般社会への影響

e-commerceを中心とした影響以外にも、電子政府[松井01]やe-Learning, Knowledge Management(知識管理)といったキーワードに象徴されるように、次世代Webは、一般社会へ深く浸透しようとしている。

電子政府に関しては、各国の特色がそのまま表れる形となっている。日本では政府主導のe-Japan構想<sup>\*43</sup>に象徴されるように、インフラストラクチャ整備と人材育成に特化しているが、欧米、特に、EUでは、通貨統合に続く大きな課題として電子政府の相互運用を課題とする傾向が強く、その研究は多岐にわたっている。特に、DC2001<sup>\*44</sup>やICEC2001<sup>\*45</sup>の電子政府に関する特別セッションなど、計算機科学の研究者だけでなく、経済学者や法律学者、産業界までも包含した幅広い議論を基礎とし、XML情報の交換による各種手続きやその容易性、操作性、相互運用性などの研究開発が行われている。

近年のe-Learningの普及は、MITを中心とするOKI(Open Knowledge Initiative)<sup>\*46</sup>のような学術プロジェクトやその周辺を統合するAMPS(Academic Media Production Services)<sup>\*47</sup>、IEEEのLTSC(Learning Technology Standards Committee)によるLOM(Learning Object Metadata)<sup>\*48</sup>のような標準化活動な

ど、幅広く多様である。これらに共通していることは、Webの機能を最大限に引き出すために、コンテンツの再利用と流通である。ここでは、豊富な教育コンテンツなどをいかに選択し、個人化させるか、という観点から、次世代Webに有用なサービス構築を目指している。

これらの応用分野には、メタデータや個人のプロフィールなどの機械的な処理が不可欠であるが、マイクロソフトの「パスポート」のように、そのような情報はすでに大規模に収集されつつあり、我々は一部のビジネス的かつ政治的な戦略に飲み込まれつつあることも事実である。

以上、次世代Webやメタデータなどを直接は意識しないものの、一般社会に確実に浸透しつつあるといつてよい。

## 6. おわりに

本解説では、近年の次世代Webに関するプロジェクトの動向などを鳥瞰するために、関連する標準化活動の動向と、関連研究分野におけるトレンド、ならびに、個別の応用分野における傾向など、三つの観点から多角的に概説した。紙面の都合で各研究開発に関する詳細は述べなかったものの、個別の項目に関しては、いくつかの解説や教科書など[Fensel02]があるので、それらが役に立つと思われる。

次世代Web、特に、Semantic Webに関しては、国際特許や秘匿事項にかかわることもあり、研究成果が表面化しないことも多く、本解説のための情報源は、著者らの口頭によるものも少なくない。しかしながら、欧州では、DAMLプログラムに即応し、いち早く各種の研究開発プロジェクトを立ち上げた。特に、OIL開発の中心的役割を担うアムステルダム自由大学のメンバは、欧州の知識工学の研究者に対して、熱心に呼びかけていた。

このような欧米の動向をアジアの研究者と議論したとき、彼らの日本に対する期待を重く感じた。特に、知識管理をはじめ、ワークフローやビジネス応用といった分野には、日本固有の文化を重んじる風潮があり、次世代Webも同様と考えられる。人工知能学会やINTAPをはじめ一部ではSemantic Webなどに追従すべく活動されているが、その規模はまだまだ小さいといっても過言ではない。本解説を含めた今回の特集が、日本発の動きになれば幸いである。

## ◇ 参考文献 ◇

\*41 Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz: German Research Center for Artificial Intelligence  
 \*42 <http://www.dfki.de/>  
 \*43 <http://www.kantei.go.jp/jp/it/>  
 \*44 <http://www.nii.ac.jp/dc2001/>  
 \*45 <http://www.icec.net/>  
 \*46 <http://web.mit.edu/oki/>  
 \*47 <http://web.mit.edu/amps/>  
 \*48 <http://ltsc.ieee.org/wg12/>

[Baader 02] F. Baader, Ed.: The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications, Cambridge University Press (to appear) (2002)  
 [Fensel 99] D. Fensel, et al.: UPML: A Framework for knowledge system reuse, Proc. IJCAI'99 (1999)  
 [Fensel 01] D. Fensel: Ontologies: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce, Springer-Verlag (2001)

- [Fensel 02] D. Fensel, Ed.: Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential, MIT Press (to appear) (2002)
- [松井 01] 松井くにお: 欧州の電子政府と Semantic Web の最新事情について, INTAP ジャーナル, No. 62, pp. 21-25 (2002)
- [Oellermann 01] W. L. Oellermann, Jr.: Architecting Web Services, A Press (2001)
- [Schreiber 99] G. Schreiber, et al.: Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology, MIT Press (1999)
- [Wache 01] H. Wache, et al.: Ontology-based Integration of Information - A Survey of Existing Approach, IJCAI'01 WS on Ontologies and Information Sharing (2001)
- [Zahavi 99] R. Zahavi and D. S. Linthicum: Enterprise Application Integration with CORBA Component and Web-Based Solutions, OMG Press (1999)

2002年6月4日 受理

著者紹介



和泉 憲明 (正会員)

1992年大阪府立大学工学部電気工学科卒業。1994年同大学院工学研究科博士前期課程電気工学専攻修了。1996年12月静岡大学情報学部情報科学科助手。2002年4月より、産業技術総合研究所、サイバーアシスト研究センター。意味モデル的な観点からエージェントや Semantic Web、ビジネス応用などの知識情報処理の研究にアプローチしている。電子情報通信学会、情報処理学会、日本ソフトウェア科学会各会員。

武田 英明 (正会員) は、前掲 (Vol. 17, No. 3, p. 351) 参照。



山口 高平 (正会員)

1979年大阪大学工学部通信工学科卒業。1984年同大学院工学研究科博士後期課程修了。同年、大阪大学産業科学研究所助手。1989年静岡大学工学部助教授。現在、情報学部教授。工学博士。定理証明の研究を経て、知識システム、知識発見、ビジネスモデリング、オントロジーに関する研究に従事。1991年、1998年度人工知能学会研究会奨励賞、1992年度人工知能学会全国大会優秀論文賞。電子情報通信学会、情報処理学会、日本認知科学会、AAAI、IEEE-CS、ACM各会員。