

日常世界のための Web

武田英明

国立情報学研究所

email: takeda@nii.ac.jp

1. はじめに

World Wide Web(ワールドワイドウェブ,以下 Web)は我々の日常世界のさまざまな領域に入り込んできており,今後もよりいっそう浸透していくと思われる. 情報ネットワーク技術は, Web 以前と以後でドラスティックに変わったわけではないにもかかわらず Web がなぜこれほどまで成功したかについてはいろいろ考察すべきことがあるが,結果として Web が我々の社会の情報ネットワークインフラストラクチャとして機能するようになったことは重要である. ここでの重要性は物理的なインフラの重要性ではなくて,我々の社会において水や電気といった要素と同様に,情報ネットワークも必須な要素であるという位置付けを得るようになったということを示している. 物理的なネットワークや情報コンテンツはむしろこの前提があってこそ普及したといえる. すなわち,このようなインフラを得ることにより,いままでは普及が困難であったさまざまな情報技術が Web というインフラの上に載せられることで,容易に普及するようになった. いわば Web は我々の社会や生活に情報ネットワーク技術を導入するこれまでにない切り口となっている. このことは人間と機械のコラボレーションを考える上でも重要である. すなわち人間・機械コラボレーションも同じく Web というインフラの上で考える必要がある.

PARC で 80 年代に提唱されたユビキタス・コンピューティングという概念はいま現実味を帯びてきている. コンピュータと通信が小型・安価になり,現実の社会でありとあらゆるものや環境にコンピュータをつけ,それらが相互に通信することは可能になりつつある. いまや日常的な環境においてコンピュータをない環境を想定することは難しい. すなわち,もはや人間と機械,特にコンピュータとの相互作用は特別なことではなく,いつでもどこでも行われているということである. ユビキタス・コンピューティング環境とは次のレベルの社会での物理的な情報ネットワークインフラである. これまでの情報ネットワークインフラと異なるのは情報の一時的な利用者が人間ではなく,各種の機械であることである. 人間は機械のセンサやアクチュエータを通じて情報ネットワークを利用する. 人間・機械の相互作用は Web およびユビキタス・コンピューティング環境と結び付けられて重要な役割が果たすことが期待される(図 1 参照).

本稿ではこのような図式において,“情報の意味”に着目して考察していく. 図 1 においてより上のレイヤーは取り扱う情報の“意味”が多様になっている. Web は情報を意味についてシステムは極めて限定的にしか扱わない. それはタ

グセットという形で明示されている。Web の成功はこの理解しやすい少量のタグのおかげでもあるが、その限界も明らかである。一方、人間・機械の相互作用ではシステムはより多様な意味を理解する必要がある。多くの人間・機械の相互作用のシステムにおいてはこの環境や文脈によって異なる“情報の意味”がシステムに埋め込む形で扱ってきた。しかし、ユビキタス・コンピューティング環境ではこのような暗黙的な取り扱いでは不十分である。

Web の世界では近年 Semantic Web という概念が提唱されている。これは Web の意味の世界を拡張して、我々の社会や生活における意味の豊かさを取り込もうというアプローチである。これは Web から意味の拡張の試みである。次章では Semantic Web の現状について説明を行う。

Semantic Web は共通の意味の範囲を拡張していく、すなわち上からのアプローチである。その逆のアプローチ、すなわち個別の意味をいかに一般化していくかということも必要となる。そこで 3 章では知的人工物における意味を探るために我々の試み“人工物知能”のアイデアについて述べる。

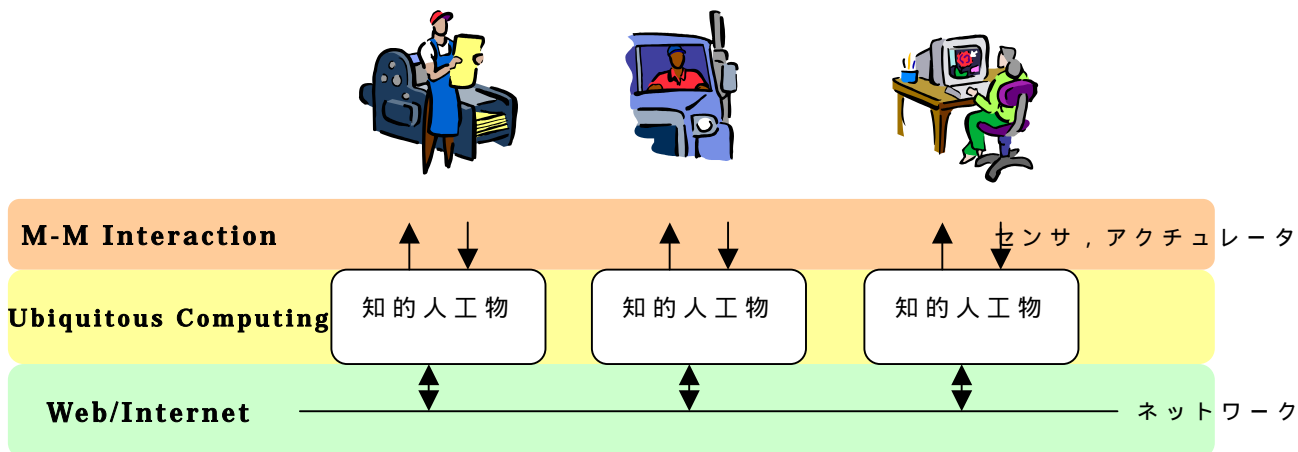


図 1：人間・機械・ネットワークの協調の枠組み

2 . Semantic Web

2.1. Semantic Web というアプローチ

Web というアプローチは瞬く間に産業から我々の生活まで深く浸透してしまっている。もはや我々は Web 以前の不便さを思い出すことも忘れてしまっているようである。しかし現在の Web はこれだとして Web は次にどこへ向かったらよいのであろうか。その答の一つが Web の創始者であり現在の World Wide Web Consortium(W3C)の director である Tim Berners-Lee が目標と掲げる Semantic Web である。

Semantic Web はこれまで人に理解することを中心とした Web から機械（エージェント）にも理解できるようにした Web である。そうすることで、Web のコンテンツを計算機が自動処理をして、その統合や再利用できるようになる。ではこれまでの Web はそのような機械処理には向いていなかったのであろうか。XML はすでにタグをコンテンツにあわせて設計することでコンテンツを処

理可能にしている．XML では不足なのであろうか．例えば次のような XML の記述を考えてみよう．

```
<person>
  <name> Hideaki Takeda</name>
  <age> 20</age>
</person>
```

これが名前が " Hideaki Takeda " で年齢が 20 才である個人というものを指しているということは人間にとっては自明であるが，実は計算機にとって <person> や <name> を上のような自然言語でいった概念として理解することはできない．あるいは

```
<個人>
  <名前>Hideaki Takeda</名前>
  <年齢> 20</年齢>
</個人>
```

と書いたとき，この 2 つが同じことを指すことは分からない．さらには個人の記述としてこれは十分なのか，といったことも分からない．

すなわち XML ではシンタックスの定義だけで意味（セマンティクス）の定義をしていない．そこでセマンティックスの記述も与えようというのが Semantic Web である．

もし上記のような意味理解を計算機が可能になれば，Web の情報は計算機によって必要な部分が切り出されたり，必要な項目だけが検索されたり，さらには結合されたりと，多様な利用が可能になる．

この実現には記述を受け入れる仕組みと記述する仕組みが必要となる．Semantic Web では上記のような意味の情報はメタデータであるとしてこのメタデータを拡張することで実現しようとしている．またその記述の仕組みとしては RDF(Resource Description Framework), RDF Schema, XML Schema, DAML+OIL などの言語を階層的に定義しつつある(図 2 参照)．

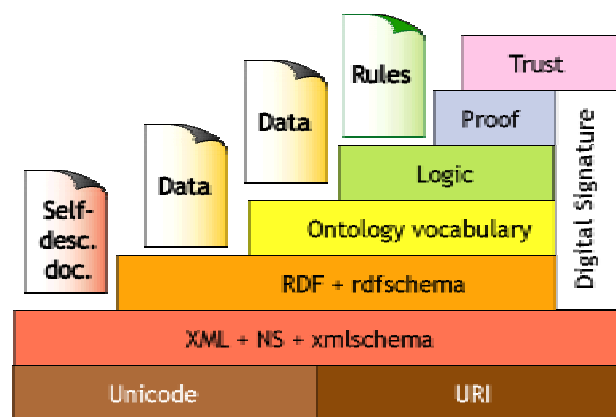


図 2 Semantic Webのアーキテクチャ
(Tim Berners-Lee <http://www.w3.org/2000/Talks/1206-xml2k-tbl>より)

2.2. Semantic Web の実際

以下では上で述べた各言語についてその特徴を簡単にまとめる。詳細は各言語の仕様にあたっていただきたい。

RDF(Resource Description Framework)

RDF はその名のとおりに、Resource Description すなわちメタデータのための枠組みである。この RDF が以下のより高度な記述の基本として利用されている。RDF ではまたモデルとシンタックスが分離されているところに特徴がある。RDF では極めて単純なモデルすなわち SVO(主語-述語-目的語)という3つ組でデータを表現する。これを順に Resource, Property, Value と呼ぶ。Value は Resource を指してよいので、ネットワークとして定義することができる。

RDF Schema

RDF は SVO あるいはそれを連ねたセマンティックネットとしてデータを記述するが、これはデータの表現として必要最小限であるが、RDF で書かれた表現間の関係を記述することは難しい。そこで RDF Schema が RDF 記述を定義するために提案されている。RDF Schema を用いることで RDF 記述の階層的表現や RDF の引数としてとりうる範囲などが定義可能になる。RDF Schema では class や class-subclass 関係、property-subproperty 関係が用意され、オブジェクト指向風(あるいはフレーム風)表現が可能となる。また property に定義域 domain、値域 range の制約をつけることができる。

DAML+OIL

DAML+OIL は RDF Schema に加えてより詳細なクラス定義や制約を記述可能にしたものである。クラス定義としては必要条件、必要十分条件を分けて記述することができる。またクラスの論理操作(和、積、否定)もつくることができる。また property 制約という形でクラスのスロットの定義をすることができる。また型制約や個数制約などの制約も可能である。例えば先に挙げた個人に関する XML 記述に相当するもの DAML+OIL で書くと図3のようになる。なお、DAML+OIL をベースに新たに OWL(Web Ontology Language)が提案されている。

DAML-S

DAML-S では静的なページではなく Web サービスで使われるようなプロセスをもった動的な Web を記述することを試みている。サービスはサービスの静的な記述である ServiceProfile とプロセスの中身を記述する ServiceModel、アクセス手段を記述する ServiceGrounding からなる。ServiceModel は Sequence や Split などプロセス記述の要素を組み合わせて表現される。

2.3. Semantic Web の課題

Semantic Web は大いなる可能性をもっているものの、まだまだ発展途上の技術である。Semantic Web が発展するには次のようなことが必要であろう。

- (1) 仕様の確定と展開(推論など)[Semantic Web 関係者]
- (2) 利用者に普及すること[Semantic Web 関係者, アプリケーション関係者,

一般ユーザ]

(3) よいオントロジーの提供
[Semantic Web 関係者, アプリケーション関係者]

(4) よいドメインを見つけること
[アプリケーション関係者]

これはどのような言語や仕様にとってもいわれることだが, Semantic Web では本質的に必要とされるものである. というのは Semantic Web にとって流布して共有されることがその存在意義だからである.

2.4. Semantic Web の研究活動

Semantic Web の研究活動は標準化活動と研究開発活動に大別される. また研究開発活動はアメリカとヨーロッパに大別される. 言語としての Semantic Web は標準として使われる必要がある. 標準化が必要である. これは W3C で行われている.

一方 Semantic Web で何ができるか, あるいはどのような拡張が必要かについては研究開発活動が必要となる. アメリカにおける研究開発活動は DAML(DARPA Agent Markup Language)プロジェクトが核となっていて行われている. ここでは, 16 以上の大学等が参加して知識共有プロジェクト KSE などで行われていた研究をベースに研究を行っている. またヨーロッパでは EU の支援を受けた, OnToKnowledge プロジェクトなどが核となり, Ontology エディタや変換などのツールや実際的なアプリケーションの研究が行われている. 詳しくは[1]を参照されたい.

2.5 Semantic Web における“意味”

人工知能や自然言語処理, さらには哲学においては意味は長年の議論の元であった. ここでそのような議論を総括することはできないが, 意味の本質であるかどうかは別として, 意味が持たねばならない特徴を二つ挙げることはできる. すなわち(1)共通性, (2)関係性, の2つがある. 前者はある一定の人々がその概念を共有していることが必要ということである. 後者は概念は繋がりをもっているということである.

Semantic Web では結局この“意味”は扱えるようになったのだろうか.(2)の関係性は先の言語によって明示的に記述することができるようになった.(1)の共通性は実は概念が URI によって identify されるところに暗黙的に記述されている. すなわち, ある概念の identity としてある URI を多くの人々が利用したとすると, それは結果として概念を共有したことになるからである.

```
<daml:DatatypeProperty rdf:ID="age">
  <rdfs:comment>
    age is a DatatypeProperty whose
    range is xsd:decimal..age is also a
    UniqueProperty (can only have one age)
  </rdfs:comment>
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.daml.org/2001/
03/daml+oil#UniqueProperty"/>
  <rdfs:range
rdf:resource="http://www.w3.org/2
000/10/XMLSchema#nonNegativeInteg
er"/>
</daml:DatatypeProperty>
<daml:Class rdf:ID="Person">
  <rdfs:subClassOf
rdf:resource="#Animal"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <daml:Restriction
daml:minCardinality="1">
      <daml:onProperty
rdf:resource="#name"/>
    </daml:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
</daml:Class>
<Person rdf:ID="Hideaki">
  <rdfs:label>Adam</rdfs:label>
  <rdfs:comment>Hideaki is a person.
His name is Hideaki Takeda and his age
is 20.</rdfs:comment>
```

図 3 DAML+OIL による定義例(一部)

これは巧妙な方法であり，意味の議論で陥りやすい意味の根源とか primitive といったものを避けている．そのようなものを借定しなくても意味の流通が可能であることを示した点で Semantic Web は面白いといえよう

Semantic Web はこの点において意味の生成や合成といったものには直接関与しない．あくまで流通が主眼である．

3．人工物知能

意味の生成や合成というのは極めて大きな問題であり，簡単に解決がつく問題ではないが，ここでは個別のエージェントがどのように意味を理解していくかについての私どもの試みについて述べる．

3．1 人工物知能の定義

ロボットはその歴史的経緯からして人間に理想形として研究を行ってきた．工業用ロボットなどもロボットと呼ばれることもあったが，最終目標は人間のようなロボット（ヒューマノイド）であった．その実現はメカトロニクス技術と人工知能の組み合わせが技術的道筋であるといえる．一方，ビヘイビアベースト (behavior-based) あるいは生物発想型 (biology-inspired) ロボットのアプローチはより“下等な”生物に範を求めてその原理からロボットを作ろうとしている．私共は生物を模範とするという点で後者でも未だ高等すぎる知能であると考えている．とくに生物は機能的に書き下すことはできないし，身体も複雑すぎる．そこで私共は機能的に書き下すことができるような人工物においてその機能をその身体において実現するための能力を人工物知能 (Artifact Intelligence) と名づけ，この実現を模索することで知能や人工物に関する新しい知見を得られると考えている [2]．

3．2 人工物におけるアフォーダンス

人工物知能において2つの重要な視点がある．一つは人工物の機能はその身体において発揮されるということである．これは生物と共通する性質であるが，身体がより簡単である．これは環境と身体とのインタラクションが基本的な要素であることを示している．もうひとつは人工物には人間によって役割が与えられているという点である．この点は生物とは違う点である．人工物の存在意義はこの役割を果たすことができるか否かによる．役割は人工物が存在させられたときに与えられるものもあれば(顕在的機能)，使っていくうちに発生するもの(潜在的機能)がある．この人間が与える役割というものは，人間とのインタラクションがやはり基本的な要素であることを示している．

前者のインタラクションについてはギブソンのアフォーダンスが重要な方向を示している [2]．アフォーダンスは環境とのインタラクションを通じての認知という新しい方法を提案しているが，インタラクションといっても人間が働きかけをすることが前提となっている．そのため，このままでは自ら行動する人工物には適用できない．そこでアクティブアフォーダンスという方法を提案している．

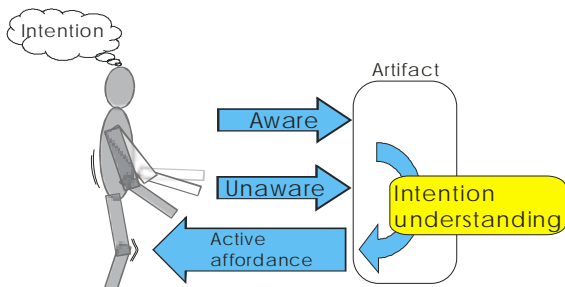


図 4. Communication between human and artifact

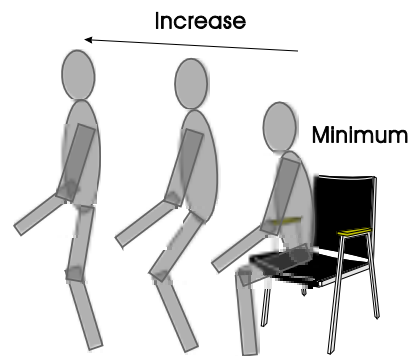


図 5 Affordance 距離.

3.2 アクティブアフォーダンスと自律椅子

アクティブアフォーダンスとは人工物が働きかけることでアフォーダンスを行うというものである(図4参照)。

アクティブアフォーダンスの実現においては人間と人工物の接触に注目する。人間が人工物を使うあるいは人工物が人間に役に立つ最も基本的状況とは両者が接するということである。ここではこの接触するという行為を実現する仕組みをアクティブアフォーダンスの基本的な仕組みと考える。そこで、役割を実現するような接触が成立するまでの”距離”をアフォーダンス距離として定義して、このアフォーダンス距離を0にすることがアクティブアフォーダンスだと規定することができる(図5)。例えば椅子に座るという行為は椅子の座面と人間の臀部の接触が必要とされ、この接触がおきたときアフォーダンス距離が0と考える。人工物はこのようなそれぞれの役割に対応するアフォーダンス距離を0にするような行動を学習することで状況に合わせた役割を実現する行動が取れるようになる。

このような議論に基づいて椅子に自律性をもたせたものが図6に示す自律椅子である[5]。この椅子はシミュレーションによって行動を学習することによって、椅子の人間に対する役割(座る)を果たすための行動を自律的に行うことができる。

この他、さらに自律的に役割まで認識させようという研究も行っている[6]。

3.3 人工物知能における”意味”

さて、本章の冒頭で述べた意味の問題はこのようなアクティブアフォーダンスにおいてどのような関係をもつであろう。アクティブアフォーダンスによる行動の実現は人工物に与えられた役割を実世界に接地させる行為のひとつと考えることができる。Semantic Webにおいて“(座るものとして定義される)椅子”という概念の共有性までは扱うことができたが、その定義を記述することはできなかつた。実際、椅子は物理形状としては多種多様であ



図 6. 自律椅子

り，どのような人工物の範囲を椅子とみなすは難しい問題である．むしろ椅子が椅子であるのは“座る”行為を人間に可能にする／促すという点にある．能動的な人工物としての椅子はこの仕組みを智能に組み込むことで椅子であることを保証しようとしている．エージェントがこのような仕組みをもったときそのとき初めてエージェントはその概念の意味を理解したといえよう．もちろんすべてのエージェントが概念を自律的に理解する必要はない．しかし，環境に自律的に対応するようなエージェントにとっては不可避なことであろう．

4．おわりに

本稿では今後現れるであろうユビキタスコンピューティングの世界におけるマンマシンインタラクションのビジョンを情報の意味という点から考察した．意味を扱う上で二つの方向が示した．一つは共有性と関係性でこれは Semantic Web で実現される．もう一つは意味の理解という点で，これはこれが今後のマンマシンインタラクションの課題となることを示した．その一つの取り組みとして人工物知能を取り上げて議論した．

参考文献

- [1] 和泉，武田，山口：意味を理解する Web を目指して 次世代 Web の方向性を探る - ，人工知能学会誌，Vol.17, No.4, 2002
- [2] Tatsuyuki Kawamura Hideaki Takeda, Kazunori Terada. Artifact intelligence: Yet another approach for intelligent robots. In Proceedings of the 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN 2002), 2002. (To appear).
- [3] James J. Gibson: *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin, 1979 (J.J.ギブソン,生態学的視覚論 ヒトの知覚世界を探る,サイエンス社,1985)
- [4] Terada K. and Nishida T., *Active artifacts: for new embodiment relation between human and artifacts*. In *Intelligent Autonomous System 7 (IAS-7)*, pp. 333-340, 2002.
- [5] 寺田和憲，西田豊明, Harmonic Artifacts(HARMONICAR)-人間に同調して振舞う人工物-, 人工知能学会全国大会(第16回)論文集, 2002.
- [6] 河村竜幸，武田英明，寺田和憲，福原知宏，近間正樹，輿石欣吾，上岡隆宏，濱崎雅弘. Agentbox : 人ともものとの新しいインタラクションのためのハードウェア. 人工知能学会全国大会(第16回)論文集, 2002.