

# スマート社会と機械学習

秋吉 政徳\*

## Smart Society and Machine Learning

Masanori AKIYOSHI\*

### 1. はじめに

最近の情報処理技術の進展はめまぐるしいものがあり、我々の日常の周辺には情報機器があふれているとともに、情報通信システムが社会のすみずみまで浸透している。

このような社会は、はやくから科学者や SF 作家が予想してきたことであり、その中で述べられたいくつかは実現段階を迎えている。特に、1990 年代に始まったインターネット上での WWW(World Wide Web)の普及は、社会の情報流通の仕組みを大きく変え、大規模のさまざまなインターネット企業を生み出しつづけ、社会を常に新たな方向へと向かわせている。

一方、情報を含めてボーダーレスな国際社会が直面している問題の一つにエネルギー問題があり、「低炭素社会」、「省エネ社会」の実現に向けての取り組みも加速する中で、最近「スマート社会」という言葉をメディア上で目にする機会が増えている。

本稿では、「スマート社会」について、これまで同様にメディア上で語られてきた図 1 に示す「アンビエント情報社会」、「知識社会」、「サービス社会」との関連を ICT(Information and Communication Technology)がもたらした側面とともに整理し、その上でこれからの社会の仕組みを変えていくコア技術の一つと考える「機械学習」について述べる。

### 2. スマート社会の様相

#### 2.1 “スマート”の台頭

メディア上で「スマート社会」という言葉が語られる際には、まずは「スマートシティ」や「スマートコミュニティ」としての論点がこれまでは多く見られる。この

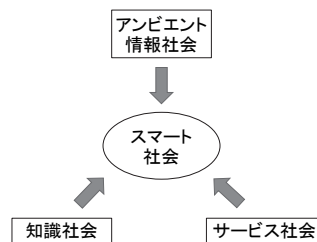


図 1 スマート社会及び関連する社会

背景には、1 節で示したように“エネルギー問題”を解決する方策としての構想や技術が中心となってきたからである。

そもそも電力消費の増大の一因は、連続運転を前提としたデータセンターの構成要素である各種サーバ、通信機器といった ICT の発展とともにあり、その技術を牽引してきた米国で 2009 年 2 月に「米国再生・再投資法」の一部として、「スマートグリッド」への投資による解決を図る動きがおこった。「スマートグリッド」は、電力網を ICT によりこれまで以上に柔軟かつ効率的に運用し、地球環境負荷への低減を目指している。さらに、それが組み込まれた「スマートシティ」では、電気・ガス・水道などのライフライン・エネルギー基盤、通信、建物、道路、交通、流通といった生活基盤、行政、医療、教育などのサービス基盤といった社会インフラが垂直統合されて機能する形態となることが目されている<sup>1)</sup>。

“スマート(smart)”という言葉は、形容詞として“having or showing a quick-witted intelligence”という意味があり、“intelligent”とは異なる意味合いを有している。日本語では、「賢明な、小気味よい、機敏な」という意味合いを含む“スマート”には、社会環境に溶け込んで知らず知

\*教授 情報システム創成学科  
Professor, Dept. of Information Systems Creation

らずのうちに「賢い判断」を提供する性質をさすニューアンスがあると考えてもよさそうである。

以下、ICT 機器が「我々の社会に溶け込んでゆく」、「賢い判断を提供する」ということについて、これまでに來るべき社会として語られてきた図 1 に示される各論をもとに整理してみる。

## 2. 2 アンビエント情報社会

デジタル計算機の処理の高速化、記憶容量の増大化、情報通信ネットワークの拡大により、それまでの計算機室の壁を越えた「ユビキタス・コンピューティング」という概念が提唱され、それらが実現されてきた。D. A. Norman は、“The Invisible Computer”<sup>(2)</sup>の中で、PC(Personal Computer)を中心に利用する社会から次第に情報アプライアンスが席巻する社会を予言しており、日本においても政府主導の「e-Japan」や「u-Japan」の構想の下に、ICT 利活用が推進されてきた。

ポストユビキタス社会として、最近言われているのが「アンビエント情報社会」である。ユビキタス社会が目指したのは、“いつでも、どこでも、誰でも”といった情報サービスを享受できる社会の実現であったが、アンビエント情報社会は環境の方からユーザに働きかけて、“今だから、ここだから、あなただから”と随時適切な情報サービスをさりげなく自動的に提供する社会である<sup>(3)(4)(5)</sup>。このような考え方は、環境に埋め込まれた知性“ambient intelligence”として 1998 年にすでに提唱されている。

このアンビエント情報社会を構築する鍵は、多様な技術の連携であり、例えば「センサネットワーク、モバイルコンピューティング、ウェアラブルコンピューティング、ヒューマンロボットインタラクション」といった技術が想定されている。実際、モバイルコンピュータは成熟しつつあり、屋内での温度・湿度や照度、屋外での自動車の交通流のセンサなどを始めとしたセンサについても産業分野では実用化の域に達しているものも多くあり、最近ではウェアラブルコンピュータ機器も製品化が加速している。「環境の方からユーザに働きかける」という点では、状況認識技術、特にユーザの行動パターンの抽出や行動予測などの人工知能技術の高度化が必須となるが、このようなソフトウェア（あるいはアルゴリズム）の研究開発も目覚ましい進展が見られる。

つまり、「ICT 機器が我々の社会に溶け込んでゆく」というパラダイムシフトは、現実化しつつある。

## 2. 3 知識社会

労働集約型社会から知識集約型社会への転換は、企業経営の立場から P. F. Drucker より早くから予言され、

「知識社会」<sup>(6)</sup>の到来が言われ続けてきた。知識あるいは知が価値創出の源泉であるという考え方は、企業経営にとどまらず、社会が持続発展するために必要不可欠なものである。この際に対象となる「知識あるいは知」としては、次のようなものが考えられる。

- ・ 個人の「知」(individual intelligence)
- ・ 集団/コミュニティの「知」(group/community intelligence)
- ・ 組織の「知」(organizational intelligence)
- ・ 社会の「知」(social intelligence)

「個人の知」については、人工知能研究の開始時からそもそも「知の解明」として「記憶や推論」のメカニズムとして形式化に取り組み、多くの成果を残してきている。一方、「個人の知」以外については、その形成や伝播といった側面も重要となるが、前述した WWW による情報流通は、同様に知の流通も含めて進展してきている。ICT の視点からは、個人の「知」を支えた PC に代表されるパーソナルメディアに始まり、集団/コミュニティ、あるいは組織の「知」を支えたグループウェアへと拡がり、社会の「知」を提供するソーシャルメディアに技術が変容してきている。

最近では、問題解決の場面に遭遇した際に、“ぐーぐる”という言葉に示されるように、インターネット上の書き込みを検索することで、有用な知識を見つけ、事なきを得ることも多くある。このような検索アルゴリズムの高度化と膨大なデータの蓄積を背景に、スマートフォンに代表される携帯情報端末機器を用いて、有用な知識がますます社会に流通する傾向が生まれている。

さらに、データマイニング技術やテキストマイニング技術によって、このような知の発掘が計算機でなされるようになり、「賢い判断を提供する」という側面の一翼を計算機が担うことになりつつあり、従来の「知識社会」を超えたものとなってきた。

## 2. 4 サービス社会<sup>(7)(8)(9)(10)</sup>

我々の社会においては、これまでもサービスは提供されており、例えば予約サービス、配達サービスといったものを既に十分用いている。しかし、ICT 機器を活用したサービスは、IBM が「サービス・サイエンス」をもとにしたサービス・ビジネスを展開し始めてからは、ビジネスモデルとして新しいものが生まれ、よりサービスに価値の重きをおく社会となってきた。

サービスは元来「無形」のものであるがゆえに、同じサービスと考えられているものも、受ける側によってその価値が変わり、サービス提供側も画一的な対価を得る

ものではなくてきている。すなわち、サービス価値には上限がなく、提供者と利用者の合意による価格設定が成立している。無形性を含むサービスの特徴は、以下のように考えられている。

- ・ 無形性(intangible)：提供者の活動がサービスであり、目に見えない
- ・ 同時性(simultaneous)：生産と消費が時間的・空間的に同時に起こる
- ・ 異質性(heterogeneous)：提供者における違い、提供者・受容者間での違い
- ・ 消滅性(perishable)：在庫が不可能

このようなサービスの特徴を踏まえて、以下の3つの視点でさらに整理してみよう<sup>(11)</sup>。

#### 2. 4. 1 ものづくりの視点

世界的に類を見ない「ものづくり」が我が国の中心産業として発展してきた中で、産業技術総合研究所にサービス工学研究センターという組織が設置されている。その狙いは、サービス生産性向上のための科学的・工学的手法を確立することであり、ここには「生産性」という我が国の「ものづくり」に対する切り口が脈々と受けつがれている。それゆえに、「サービス工学」という言葉で語られるように、「工学」としての推進が図られている。

#### 2. 4. 2 ビジネスモデルの視点

ビジネスモデルにおいては、バリューチェーンがひとつの重要な視点であり、情報産業においては特にこれまでのソフトウェアのパッケージ開発やシステム開発などでの販売型ビジネスや運用・保守型サービスから、サービス提供型ビジネスへとシフトしている。Web 技術をサービスに展開した情報基盤技術としての Web サービスにより、SOA(Service Oriented Architecture)という用語とともにさまざまな技術開発が推進され、SaaS(Software as a Service)という言葉とともに定着してきている。

しかし、このような情報技術基盤をもとに、いかにビジネスモデルとしてのこれまでとは異なるバリューチェーンが築けるかどうかの方法論としては、まだまだ確立に至っていないのが現状である。MOT(Management of Technology)に加えて、MOS(Management of Service)という新しい言葉も生まれてきており、経営学、工学、情報科学に加えて、社会科学といった分野横断的な議論がますます活発化している。

#### 2. 4. 3 サービス・サイエンスの視点

「サイエンス」という言葉が表すように、工学的問題解決というよりは、「そもそも論」としてサービスを科学するとは何かということから出発し、サービス社会に対

する洞察をえようとしている。その上で、サービス価値やサービス創造をどうやって生み出してくるかに関して、設計方法や構成論が必要との考えのもと、サービスの受容者である消費者視点やサービスプロセスを含めたこれらの新しい展開を探ろうとする動きがある。また、サービスを創造するというのは、組織・人・システムに関わるモデル化手法が求められており、「サービス・サイエンス」という旗印の下に多くが議論されている。

サービス社会は、情報基盤技術をもとにした「賢い判断が提供される」機会とともに、「賢い判断が創造される」社会構造であり、必然的に「スマート社会」につながっていくものと位置づけられる。

### 3. 機械学習技術のインパクト

2 節での「スマート社会の様相」に含まれるコア技術の一つとして、個人や社会の「知識」を活用するための情報処理技術があげられる。1956 年のダートマス会議(The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence)にて、人工知能という分野が確立されることとなり、初期の「チェスのプログラム研究」などを経て、1970 年代に始まる専門家の知識を活用した「エキスパートシステム」という言葉に代表される知識工学の隆盛があり、その後の ICT の発展と歩みをもとにして進展してきている。そこで、まずは「知識情報処理」を概観し、その中でますます重要度をおびてきている“機械学習”について述べる。

#### 3. 1 知識情報処理の概要<sup>(12)</sup>

我々が用いる“知識”を計算機で処理するには、そもそも我々の脳と異なるハードウェアである計算機上に適合した形式化が必要であり、「知識表現」という面でいろいろな取り組みがなされた。もちろん、形式化されたものをもとに、推論や学習がなされることによって問題解決が図られるわけで、専門家の知識を形式化して問題解決を図ろうとするエキスパートシステムを構築する際には、「If-Then ルール」と呼ばれる知識表現を中心に用い、その上で“曖昧さ”や“不確実さ”に関しての知識表現や推論の導入が試みられた。

しかし、2 節で議論している「スマート社会」では、必ずしも専門家の知識だけを対象にするわけではなく、非形式化の自然言語により表現されたデータやセンサから得られる実データそのものを蓄積し、その中から状況に応じて必要な「知識」を抽出したり、組み合わせたりすることで、「賢い判断を提供する」ということを知識情報処理が担うようになってきている。この際に、“機械学

習”と呼ばれる技術が重要な役割を果たしている。

### 3. 2 機械学習

“機械学習”はその字義通りに、「計算機が入力される情報（データ）をもとに、処理アルゴリズムや蓄積する情報（データ）を学習により変容させていく」こととなる。我々が「学習能力」を有するのと同様に、計算機にも「学習能力」を付与していこうとすることであり、そのためにはデータ集合に対して解析を行い、判断基準、決定ルール、特徴などを導き出したり、処理アルゴリズムを発展させたりする。少数のデータから学習することも可能であるが、最近ではセンサネットワークや大規模データベースからの非常に多くのデータを用いることが主流となりつつある。このことはインターネット上の検索がスケールアップしたのと同じであり、「ビッグデータ」という言葉で示されるデータ集合を用いた機械学習も現実味を帯びてきている。

#### 3. 2. 1 機械学習の種類

我々の学習と同様に、機械学習は“教師あり学習”、“教師なし学習”、“強化学習”に大別される。“教師あり学習”では、サンプルとなるデータ集合に対しては正解がわかっている状況で学習を進め、未知のデータが入力された際にも答えを出せるようにする。“教師なし学習”では、正解や学習目的そのものははっきりしない状況下で、入力されたデータ集合に潜む特徴を抽出したり、加工したりする。“強化学習”では、正解がはっきりとはわからないが、処理を進めるたびに正解につながる評価が与えられ、この評価が高まるように学習が進められる。それぞれの学習メカニズムの代表的なものを表1に示す。

表1 機械学習の種類

	学習メカニズム
教師あり学習	決定木学習、ニューラルネットワーク、サポートベクターマシン
教師なし学習	相関ルールマイニング、クラスタリング、自己組織化マップ
強化学習	TD 学習、Q 学習

しかしながら、上記の学習メカニズムをどのように適用していくかは、まだ人の手に委ねられている。

#### 3. 2. 2 機械学習への期待

計算機が数値処理や記号処理を高速にこなし、また無尽蔵な記憶容量が提供される時代になる中で、“機械学習”はそのような計算機基盤の上で、状況や利用者に合わせた解の提供を担うことが期待される。「スマート社会」は、2.1 節で述べた「スマートシティ」という社会インフラの中で暮らす我々が活動する中で、“スマート”と

いう性質をさまざまに享受できる社会であり、例えば都市空間を移動する際に混雑を回避するだけでなく、利用者が「快適さ」や「楽しさ」を感じる経路を教えてくれるサービス、コミュニティでの活動中に新しい「ひらめき」を促すようなサービス、といったことの実現に、“機械学習”が寄与すると期待される。

### 4. おわりに

昨今、「スマート社会」という言葉がメディア上で頻出することを背景に、その意義と内容についてこれまで語られてきた「アンビエント情報社会」、「知識社会」、「サービス社会」との関連を ICT とともに整理した。その上で、「スマート社会」の特質の一つである「賢い判断を提供する」という点からコア技術となる「機械学習」について概説した。今後、「スマート社会」での“機械学習”の実展開の一つは、ロボティクスにおいても起こり始めており、「スマート・ロボット」という言葉がメディア上を賑わし始めている。

#### 参考文献

- (1) 芹澤善徳, “スマート社会と ICT”, 電気学会誌, 133 号 (2013-12), pp.796-799.
- (2) D. A. Norman, “The Invisible Computer”, The MIT Press, (1998).
- (3) 清川清, 栗原聡, “特集「アンビエント情報基盤」にあたって”, 人工知能学会誌, 28 号 (2013-2), pp.184-185.
- (4) 竹村治雄, “アンビエントインタフェース技術の動向”, 人工知能学会誌, 28 号 (2013-2), pp.186-193.
- (5) 村田正幸, “アンビエント情報ネットワーク技術の動向”, 人工知能学会誌, 28 号 (2013-2), pp.193-200.
- (6) P. F. Drucker (上田博生 訳), “ネクスト・ソサエティ”, ダイアモンド社, (2002-5).
- (7) “小特集 サービス・サイエンスの出現”, 情報処理学会誌, 47 号 (2006-5), pp.457-472.
- (8) “特集: サービスサイエンス”, 情報処理学会デジタルプラクティス, 1 号 (2010-1), pp.1-54.
- (9) “特集: サービスエンジニアリング”, 電気学会 C 部門誌, 128 号 (2008-4), pp.525-568.
- (10) “新サービス創造に向けたサービス工学の取り組み特集号”, システム/制御/情報学会誌, 53 号 (2009-9), pp.1-46.
- (11) 秋吉政徳, “サービスエンジニアリングの動向”, 電子情報通信学会 ソフトウェアインタプライズモデリング研究会, (2011-2), pp.29-31.
- (12) S.J. Russell, P. Norvig (古川康一 訳), “エージェントアプローチ人工知能 第2版”, 共立出版, (2008-7).