

スマートシティにおける AI の役割と活用



今、様々な分野や業界で、AI (Artificial Intelligence : 人工知能) を活用する動きが活況を呈している。専門家以外の方が AI と聞けば、機械が人間の知能と同等あるいはそれをも上回る存在になることを想像する人は少なくないであろう。一方、専門家による AI の定義やイメージでは、それぞれが置かれている立場により様々である。そのため、AI とスマートシティ (スマートコミュニティを含む) との関係性を考えるに当たり、まずは、現在ブームにある AI とは何か理解することが必要である。

本稿では、現在ブームにある AI とは何かを考察しながら、その AI がスマートシティの実現においてどのような役割があるのか、また、どのように活用していくべきなのか等、筆者なりに考えてみたい。

1. AI の歴史

現在は、第3次ブームの真っ只中

AI の歴史感には様々な見解があるものの、今から 300 年以上遡る 1694 年にドイツの数学者ライプニッツ (Gottfried Wilhelm Leibniz) が「四則演算計算機」を発見したことが起源ではないかと考える。その後、1936 年に英国の哲学者エイヤー (Sir Alfred Jules Ayer) が「人間と機械の区別方法」について哲学的に考察し⁽¹⁾、1947 年 (論文発表は 1950 年) には、英国の数学者チューリング (Alan Turing) が「機械が人間を模倣できるか」という AI の基となる概念を構想した⁽²⁾。そして、1956 年のダートマス会議 (人工知能に関するダートマスの夏季研修会 : The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence) において、ハンガリー出身の米国の数学者ノイマン (John von Neumann) が初めて AI と

という言葉を活用したことで⁽³⁾⁽⁴⁾、その後のAIブームが到来した。

第1次ブームは、おおよそ1956年～1960年代である。この時代は、「コンピュータに探索や推論させるアプローチ手法」に注目が集まった。いわゆる「探索・推論」の時代である。これは、専門家が持つ知識や経験則などをデータベース化し、処理手順に基づいて、機械に処理させる方法である。しかし、この方法では単純な仮説検証にしか適用できず、現実社会の課題解決に活用できなかつたことから、そのブームは終焉を迎える。

第2次ブームは、おおよそ1980年～1990年代半ばである。この時代は、「推論に必要な専門的な知識を大量に抽出しコンピュータに記憶させる」ことに注目が集まった。すなわち、「知識表現」の時代である。しかし、専門知識の大量抽出には限界があること、また、そのデータメンテナンスの負担が大きいこと、そして、幾ら知識量を増大させても単なる計算処理に過ぎず、現実社会での意味付けができないという「シンボル・グラウンディング問題 (Symbol grounding problem)」がここでも表面化し⁽⁵⁾⁽⁶⁾、再びブームは終焉する。

第3次ブームは、2000年代以降もしくは2012年代以降から現在まで続いているという見方が多い。この時代には、「膨大なデータから相関性や規則性などの特徴的なデータ (特徴量) を抽出しコンピュータに情報蓄積させる手法 (アルゴリズム)」に注目が集まった。言い換えれば、「特徴表現と学習」の時代である。2006年には、人間の学習能力と同等の機能をコンピュータに再現させようとする「機械学習 (Machine Learning)」が、そして2012年には、機械学習の確度を高めるうえで、人間の脳機能を模倣した神経回路網 (Neural Network) が着目され、特徴量の抽出作業を何層にも亘り多段階処理することで、最も確率が高い重要要素に絞り込んでいく「深層学習 (Deep Learning)」が脚光を浴びる。

身近な例では、1997年の世界チェス競技大会においてIBM社製「Deep Blue」が機械学習により⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾、また、2016年の世界囲碁対戦ではGoogle (旧 DeepMind : 英国 AI ベンチャー企業) 社製「AlphaGo (アルファ碁)」が深層学習により⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾、当時の人間の世界王者に圧勝している。すなわち、ある特殊作業においては、人間の考えが及ばない特徴を機械が抽出できる域にまで技術が既に到達していると思えることができる。また、このようなブームの背後には、データ処理を高速化する半導体デバイスやコンピュータの仮想化技術の存在、そして、確度の高い特徴量を抽出するため、膨大なデータ取得を可能とするIoT (Internet of Things : モノのインターネット) の進展等が大きく関係していることも、AIを理解するうえでは、重要なポイントではないかと考える。

このように、AIの歴史とは、「探索・推論」を自律化する様々な要素をコンピュータに付与しつづけている歴史そのものと言えるのではないだろうか。

2. 現在のAIブームを徹底解剖

現在、多段階処理による重要要素の抽出や処理結果をデータベースにフィードバックして情報を蓄積する仕組み等から、あたかもコンピュータ自らがあらゆる判断軸を創出し、自己学習していると考えられる人も少なくない。そこで、AIの定義付けや研究開発等も踏まえ、現在ブームにあるAIとは何かについて、次に考えてみたい。

現状は特定作業にしか対応できない

AI の定義付けの一つに、コンピュータが自己処理できるレベル感で示す方法がある。具体的には、「Narrow AI (特化型人工知能)」と「General AI/AGI (汎用人工知能)」とに区別する方法⁽¹²⁾⁽¹³⁾や、「Weak AI (弱いAI)」と「Strong AI (強いAI)」とで区別する方法⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾などがあり、これらは互いにほぼ同様の考え方であると考察する。

「Narrow AI」／「Weak AI」とは、特定用途や特定作業に特化し、機械処理するAIを意味する。認識、探索、予測等を人間に代わり機械に処理させ、人間の能力や活動等のサポートや拡張を行うためにAIが活用される。このタイプのAIには、機械学習や深層学習が活用されており、現在の事例のほとんどはこのタイプではないかと考える。

例えば、世間一般にAIと認識されているものにIBMの「ワトソン (Watson)」がある。IBMでは、単に人間の手順通りに機械に処理させ、特徴を認知させているに過ぎない点から、このワトソンをAIとは見なさず、「コグニティブ・コンピュータリング (Cognitive Computing)」と称しているが⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾、大別すると、「Narrow AI」／「Weak AI」に整理することができる。

一方、以前からある、数値制御工作機械 (Numerically Controlled Machine Tools) や産業ロボットに代表される「FA (Factory Automation)」、そして倉庫ロボットや物流ロボットに代表されるソフトウェアロボットの「RPA (Robotic Process Automation)」なども、人間を介さず、自動制御することができる。これら技術は、今後、AIを組み込むことで更に機能が向上すると考えるが、現時点では、処理手順に基づき自動制御しているに過ぎないことから、AIには該当しないと整理する。すなわち、AIは、機械に「探索・推論」させることが最大の目的であり、ルーチンワークを自動化することが目的ではない。

本当のAIの実用化はまだ遠い

他方、「General AI」／「Strong AI」とは、特定用途や特定作業に限定されず、様々な分野や領域をも自律的に処理するAIを意味する。このタイプのAIは、人間の頭脳と同様、現実社会のあらゆる事象を認識し、臨機応変に対応するものである。現時点では、深層学習がこのタイプのAIを実現する最も近い手法と考えられているが、

[I] あらゆる事象に適用できる汎用性のあるアルゴリズム開発の問題

[II] コンピュータの処理速度の問題

[III] 精度を高めるための膨大なデータ取得方法

などの諸課題も依然として残っている。例えば、コンピュータの処理速度では、インテルの創設者の一人であるゴードン・ムーア (Gordon E. Moore) が1965年に提唱した、集積回路の集積密度が2年で2倍になるという「ムーアの法則 (Moore's law)」⁽¹⁷⁾に従えば、AIが人間の思考能力を超える「技術特異点 (Technological Singularity)」は2045年頃であるという見方も業界内にはあり⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾、「General AI」／「Strong AI」の実用化には、もう暫く時間を要するものと考えられる。

研究開発から見ても、今のAIは過渡期状態

現在、AIの基礎研究は、確度が高いあるいは汎用性のある解析手法（アルゴリズム）の開発などが主流であり、深層学習だけでなく、深層学習の基本となる機械学習もまだまだ研究対象である。一方、AIの活用範囲として、現在、「認識・理解」、「予測・推論」、「制御・最適化」の3つが主に想定されており、応用研究では、「認識・理解」において、「画像認識」や「音声認識」、「自然言語処理」等の研究開発が、現在、盛況を呈している⁽²¹⁾。

表1 AIの研究領域

| 区分 | 基礎研究 | 応用研究 |
|------|---|---|
| 研究対象 | <ul style="list-style-type: none"> ・汎用性のあるアルゴリズムの開発 機械学習、深層学習 等 | <ul style="list-style-type: none"> ・「認識・理解」 画像認識、音声認識、自然言語処理 ・「予測・推論」 ・「制御・最適化」 等 |

以前のAIは、コンピュータが認識しやすいよう人間が予め加工した「構造化したデータ」をコンピュータに読み込ませ、処理することしかできなかった。しかし現在では、コンピュータに学習させるための基本の教材（データ）が必要ではあるものの、画像や音声、動画等、人間が予め手を加えていない「非構造化したデータ」なども処理できるようになってきた点からすれば、「General AI」／「Strong AI」に近づきつつあるように思える。しかし、AIのアルゴリズムに使用するプログラミング言語やAI開発で必要となる複数のプログラミング要素がパッケージ化されたフレームワーク等も数多く存在し、業界内で統一化や寡占化の傾向は現時点ではまだ確認できない。

このように、研究開発サイドから見ても、本来のAIに到達しているとは言い難く、依然として、AIは開発過渡期の状態にあると考えられる。

表2 AIに活用されているプログラミング言語とフレームワーク

| 区分 | プログラミング言語 ⁽²²⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾ | 必要なプログラミング要素がパッケージ化されたフレームワーク ⁽²⁵⁾ |
|----|---|---|
| 種類 | <ul style="list-style-type: none"> ・Prolog、Lisp、Python、C++ 等 | <ul style="list-style-type: none"> ・TensorFlow、CNTK、DSSTNE、Chainer 等 |

以上より、現在ブームにあるAIの特徴を整理すると、以下のとおりとなる。

- (1) コンピュータに「探索・推論」させるうえで、「深層学習」のアルゴリズムが活用されている。なお、現時点では、「深層学習」が派生した基本のアルゴリズムである「機械学習」が活用されることもある。
- (2) 現在のアルゴリズムは、あらゆる事象に臨機応変に対応し得る汎用性（万能タイプ）はなく、個別用途や個別作業に限定されている。
- (3) コンピュータが予め保有するデータベースと取得した新しいデータから、相関性や規則

性等の特徴を抽出し、「認識・理解」、「予測・推論」、「実行・最適化」の何れかが実行されている。

- (4) 処理結果をデータベースに取込み、常に情報更新（学習）を実施している。なお、現時点では、情報更新に人間が介在するものもある。

このように、現在ブームにある AI とは、従来の FA や RPA のような予めコンピュータにセットされたデータベースや処理手順に基づき自動処理するような、単なる機械処理のことではない。

3. 現在の AI とスマートシティとの関係性

現在、社会における AI への関心が、コンピュータによる高度な処理能力や解析力などに集中していることから、一見、スマートシティとは関係なく映るのではないだろうか。しかし 1990 年頃から続く、「持続可能な循環型社会」、「環境未来都市」、「スマート社会」、「超スマート社会 (Society5.0)」等の時流を踏まえると、現在の AI ブームもスマートシティの構築に向けたトレンドと見ることができる。⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾⁽³¹⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾⁽³⁷⁾

AI もスマートシティのコア技術

スマートシティは、置かれている立場により考え方や定義は異なる。しかし、基本的な考え方としては、「エネルギーや地球/地域環境などに配慮しながら、様々な分野や業界に亘り、人間の暮らしや経済活動等を賢く便利にかつ豊かにする街づくり」そのものであると筆者は考える。その街づくりを実現するうえで、現在、日本では、技術革新が著しい「情報通信技術 (ICT)」を活用していくことが、要として位置付けられており、また、社会の隅々に張り巡らされた情報通信網を介して、世の中に広がる“あらゆるモノ”が繋がり、互いに情報連携していくために、現在、IoT の普及が進行しているのであろう。そして、今後は、人間の介在がなくとも、自律的な判断や最適制御あるいは人間の能力や活動をサポートする役目として、“あらゆるモノ”一つ一つに AI が組み込まれ、スマートシティへと昇華していくのではないだろうか。

これを人間の身体に例えて説明すると、IoT とは、脳細胞 (=クラウド・コンピューティング)、神経細胞 (=情報通信網)、そして、手足・臓器・感覚器官などの各パーツ (=情報通信網に繋がる“あらゆるモノ”) の集合体であり、AI は、各パーツに指令を送るための脳の働きや自律神経 (=コンピュータ・プログラミング) などに相当すると考えることができる。そして、IoT と AI が適切かつ効率的に動作することで、人間としての活力の向上、すなわち、都市全体のエネルギー消費の最適化や低炭素化の促進、あるいは、利便性や生活水準の向上などへと繋がり、より良いスマートシティが形成される。

スマートシティを実現するための AI の活用先

スマートシティには、定められた特定のゴールはない。そこで、スマートシティの実現に

に向けたAIの活用方法として、以下のような可能性を考えてみた。

第一に、住宅・工場・商業ビルなどのあらゆる機器／設備に対してAIを組み込み、エネルギー消費や環境負荷等に配慮しつつ、人間に負担を強いることのない、最適なエネルギー制御を実現するという活用方法である。例えば、上位層にあるクラウド・コンピューティング、中間層にあるエネルギー・コントローラ、そして、下位層にある機器や設備を始めとした“あらゆるモノ”にAIを組み込み、個々の詳細な分析から、全体最適化を図る。特に、「仮想発電所(VPP: Virtual Power Plant)」のような、環境特性や条件が異なる様々な地域に点在した需要家や設備を一つに束ね、既存の火力発電所(調整用火力)並みに需給調整する場合などでは、AIが有効となる可能性もあるのではないだろうか。

第二に、安全や安心、利便性など、社会環境等をスマートで高度化するためにAIを活用する方法である。交通や、建設などのインフラだけでなく、医療、介護、商業取引、防犯対策など、あらゆる分野や業界にもAIを導入し、人々の暮らしや経済活動をスマートで高度化することも、スマートシティの一つの到達点である。例えば、防犯対策では、現在、空港などのセキュリティ対策としてAIを活用した映像解析システムが広がりつつある。今後は更に、街頭の防犯カメラや道路上のカメラ等にも導入し、犯罪行為や不安全行為等の予見検知や危険通知などにも活用できれば、より安全・安心な都市が形成されるのではないだろうか。

第三に、スマートシティを構成する重要要素をAIで抽出し、課題解決型の最適なスマートシティを実現するという活用方法である。国内外で共通のスマートシティを構築するのではなく、それぞれの地域特性や課題等に応じてスマートシティを構築して社会的便益をより高めることを目指し、AIの解析技術を活用し、各地域に応じた最適なコンテンツの組合せや投資先を抽出したり、投資時の費用便益や評価分析などを実施して、費用対効果の高い投資を促進することが、将来のスマートシティの実現には必要ではないだろうか。

このようにAIは、「人工的な頭脳」に留まらず、スマートシティの街づくりでも重要な技術要素の一つと考える。そのため、今後のAIの動向把握では、スマートシティの貢献度やエネルギー需給へのインパクトなどの観点から注目していくことも重要である。

(著: スマートコミュニティーグループ 山本 尚司)

お問い合わせ: report@tky.ieej.or.jp

(参考文献)

- (1) A.J.AYER 「Language, Truth, and Logic」
https://fphil.uniba.sk/fileadmin/fif/katedry_pracoviska/kfdf/Personal/Sabela/Literatura/Ayer.pdf
- (2) A. M. Turing 「COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE」
<https://www.csee.umbc.edu/courses/471/papers/turing.pdf>
- (3) Ray Solomonoff and the Dartmouth Summer Research Project in Artificial

- Intelligence, 1956
<http://raysolomonoff.com/dartmouth/dartray.pdf>
- (4) INDEPENDENT 「John McCarthy: Computer scientist known as the father of AI (1 Nov 2011)」
<http://www.independent.co.uk/news/obituaries/john-mccarthy-computer-scientist-known-as-the-father-of-ai-6255307.html>
- (5) SCHOLARPEDIA 「Symbol grounding problem」
http://www.scholarpedia.org/article/Symbol_grounding_problem
- (6) Luc Steels, Sony Computer Science Laboratory Paris, VUB AI Lab, Vrije Universiteit Brussel 「The Symbol Grounding Problem has been solved. So what's next? (August 13, 2007)」
<http://homepage.univie.ac.at/nicole.rossmanith/concepts/papers/steels2008symbol.pdf>
- (7) IBM 100 「Deep blue」
<http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/deepblue/>
- (8) IBM 「20 Years After Deep Blue, a New Era in Human-Machine Collaboration」
<https://www.ibm.com/blogs/think/2017/05/deep-blue/>
- (9) WIRED 「Did a Computer Bug Help Deep Blue Beat Kasparov? (09.28.2012)」
<https://www.wired.com/2012/09/deep-blue-computer-bug/>
- (10) DeepMind 「AlphaGO」
<https://deepmind.com/research/alphago/>
- (11) nature 「Google AI algorithm masters ancient game of Go. Deep-learning software defeats human professional for first time. (27 January 2016)」
<https://www.nature.com/news/google-ai-algorithm-masters-ancient-game-of-go-1.19234>
- (12) Tech Talks 「What is Narrow, General and Super Artificial Intelligence」
<https://bdtechtalks.com/2017/05/12/what-is-narrow-general-and-super-artificial-intelligence/>
- (13) Stack Exchange 「What is the difference between strong-AI and weak-AI?」
<https://ai.stackexchange.com/questions/74/what-is-the-difference-between-strong-ai-and-weak-ai/171>
- (14) Machine Design 「What's the Difference Between Weak and Strong AI?」
<http://www.machinedesign.com/robotics/what-s-difference-between-weak-and-strong-ai>
- (15) gihyo.jp 「それは AI かコグニティブか — 「BIG DATA ANALYTICS TOKYO」 で見た Watson による次世代アナリティクスのポテンシャル (2017.2.14)」
<http://gihyo.jp/news/report/2017/02/1301>
- (16) Tech2 GO 「人工知能と違うの？コグニティブ・コンピューティングとは (2016.11.15)」
<https://blog.codecamp.jp/post-29758>

- (17) intel 「Cramming more components onto integrated circuits by Gordon E. Moore」
http://hasler.ece.gatech.edu/Published_papers/Technology_overview/gordon_moore_1965_article.pdf
- (18) MIT Technology Review 「Paul Allen: The Singularity Isn't Near (October 12,2011)」
<https://www.technologyreview.com/s/425733/paul-allen-the-singularity-isnt-near/>
- (19) Futurism 「Kurzweil Claims That the Singularity Will Happen by 2045 (October 5,2017)」
<https://futurism.com/kurzweil-claims-that-the-singularity-will-happen-by-2045/>
- (20) Udemy メディア 「シンギュラリティとは？2045年に人工知能がロボットを超える！？ (2017.12.6)」
<https://udemy.benesse.co.jp/ai/singularity.html>
- (21) 総務省 「平成 28 年度版 情報通信白書」
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/pdf/index.html>
- (22) 神戸大学情報基盤センター 田村直之 「Prolog 入門 (Oct 11 2010)」
<http://bach.istc.kobe-u.ac.jp/prolog/intro/>
- (23) 神戸大学情報基盤センター 田村直之 「Lisp プログラミング入門」
<http://bach.istc.kobe-u.ac.jp/lect/ProLang/org/lisp.html>
- (24) A.I.lab 「人工知能は何のプログラミング言語で書くのが良いのか？ (2016.08.28)」
<http://ailab.hatenablog.com/entry/2016/08/28/artificial-intelligence-programming-lang>
- (25) Deeplearning4j 「フレームワークの比較 : Deeplearning4j、Torch、Theano、TensorFlow、Caffe、Paddle、MxNet、Keras、CNTK」
<https://deeplearning4j.org/ja/compare-dl4j-torch7-pylearn>
- (26) 矢口克也 「「持続可能な発展」理念の実践課程と到着点」
<http://www.ndl.go.jp/jp/diet/publication/document/2010/200904/03.pdf>
- (27) 経済産業省 「循環型社会形成推進基本計画 (平成 15 年 3 月)」
http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/admin_info/committee/d/20/youri20_comall.pdf
- (28) 環境省 「平成 29 年度 環境・循環型・生物多様性白書」
<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h29/pdf.html>
- (29) 内閣府 「環境モデル都市・環境未来都市・SDGs 未来都市」
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/kankyo/index.html>
- (30) 経済産業省 「エコタウン事業」
http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/3r_policy/policy/ecotown.html
- (31) 国土交通省 「コンパクトシティ形成支援」
http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_machi_tk_000054.html
- (32) 国際東アジア研究センター主席研究員 今井健一 「日本のエコシティ推進における特徴と課題」
http://shiten.agi.or.jp/shiten/201406/shiten201406_1-14.pdf

- (33) 経済産業省「スマートグリッド・スマートコミュニティ」
http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/smart_community/
- (34) 経済産業省「スマート社会における競争優位の確保（平成 23 年 5 月）」
http://www.meti.go.jp/committee/summary/ipc0002/027_03_00.pdf
- (35) 内閣府「科学技術イノベーション総合戦略」
<http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/index.html>
<http://www8.cao.go.jp/cstp/stmain.html>
- (36) 内閣府「科学技術基本計画」
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>
- (37) 文部科学省「平成 28 年度版 科学技術白書」
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa201601/1362981.htm