

『現在の人工知能に何ができないか？なぜできないか？』

－科学研究のモデル・イシューとして－

日本学術振興会 人工知能戦略実行会議 安西祐一郎

皆様、こんにちは。お招きいただきました安西でございます。本日は、人工知能とは何か、現在のAIにできることとできないこと、(日本で)なぜできないのか、そしてAIの科学研究とは何か、最後に科学研究のモデル・イシューについて、これまでの私の研究も含めてお話しさせていただきたいと思えます。

1. 人工知能 (AI) とは何か

人工知能とは何か、という問いにはいろいろな答え方があります。

一つは、人工知能とは「人間の持つ知的機能と同様の機能を機械（ソフトウェア、アルゴリズム等を含む）によって実現すること、また実現されるもの」。この答えは、人工知能のもともとの語句である artificial intelligence の語感に比較的適合します。

もう一つは、「人間が実現できない知的機能を機械によって実現すること、また実現されたもの」。今、画像認識によって医療のX線画像をAIで解析することで、新人のお医者さんでは見つけられないような部位を見つかることができる。人間と同じようなことをやってくれるというよりは、人間ができないようなことをやってくれる、これが大事なのではないか、という考え方です。その中で、特に今話題になっているのは学習機能です。AIは学習がどのように学習しているかよくわからない。システムとして考えると、入力に対して想像できなかった出力が出てくる、結果、新しい発見をしてくれるのではないか、ということです。

この2つの考え方は、ともに人間の知的機能が基準になっています。でも、人間の知的機能ってわかっているのか？ 本当を言えばわかっていない。わかっていないことを基準にして定義しても意味がないのではないか、というのは、ここにいらっしゃる皆さん聞いておられる。

私自身は、AIやComputer Scienceの授業をしていましたが、そこでは「(最適解を求めるのに決定性チューリング機械で指数関数時間を要する)最適化問題の近似解を多項式時間で求めるようなアルゴリズム、あるいはそれを実装した機械」、これが実は世間でAIと言っているものなんだよ、と学生には教えていました。なぜかというと、「知的機能とは何か」ということを研究しないで、AIの定義に知的機能を使うのはおかしいのではないか、という意味です。もちろん近似解といってもどのくらいの近似解を言うのかとか実装上の課題はもちろんあるのですが、一応、コンピュータサイエンスのいろいろな成果の上に載った文になっていますが、実は「AIとは何か？」という問いに対する答えがないのです。

<The History of AI >

The History of AI

図表4-2-1-5 人工知能(AI)の歴史

年代	人工知能の置かれた状況	主な技術等	人工知能に関する出来事
1950年代	First Generation	<ul style="list-style-type: none"> 探索、推論 自然言語処理 ニューラルネットワーク 遺伝的アルゴリズム 	チューリングテストの提唱 (1950年)
1960年代			<ul style="list-style-type: none"> ダートマス会議にて「人工知能」という言葉が登場 (1956年) ニューラルネットワークのパーセプトロン開発 (1958年) 人工対話システムELIZA開発 (1964年)
1970年代	Winter	<ul style="list-style-type: none"> エキスパートシステム 	<ul style="list-style-type: none"> 初のエキスパートシステムMYCIN開発 (1972年) MYCINの知識表現と推論を一般化したEMYCIN開発 (1979年)
1980年代	Second Generation	<ul style="list-style-type: none"> 知識ベース 音声認識 	<ul style="list-style-type: none"> 第五世代コンピュータプロジェクト (1982-92年) 知識記述のサイクプロジェクト開始 (1984年)
1990年代	Third Generation	<ul style="list-style-type: none"> データマイニング オントロジー 統計的自然言語処理 	<ul style="list-style-type: none"> 誤差逆伝播法の発表 (1986年)
2000年代	Winter	<ul style="list-style-type: none"> ディープラーニング 	<ul style="list-style-type: none"> ディープラーニングの提唱 (2006年)
2010年代	Third Generation		<ul style="list-style-type: none"> ディープラーニング技術を画像認識コンテストに適用 (2012年)

(出典)総務省「ICTの進化が雇用と働き方に及ぼす影響に関する調査研究」(平成20年)

総務省平成28年版情報通信白書より

©Yuichiro Anzai

6

一番最初に“AI”という言葉が出てきたのは、1956年にアメリカのダートマス大学で開かれたダートマスコンファレンスで、当時、それをリードしていたジョン・マッカーシーというComputer Scienceの学者がArtificial Intelligence にしようと突っ張って、それで“AI”という言葉ができた。周り中が反対した、というのはそこにいた人からダイレクトに聞いたのですが、残念ながら良い代案がなかった。反対

した理由は何かということ、artificial という言葉が artificial だから。今、人工知能の研究をやっている「自分は人工知能が専門だ」と言う人はあまりいないんですね。なぜかということ、自分も含めてかもしれませんけれども、“人工知能”って何となくネガティブな響きがあるんです。

AIの歴史の中では、今、Third Generationの波の上に乗っているとされています。では、また冬になってしぼむのか。これはまだわかりません。私が経験しているのはFirst Generationの終わりごろからなのですが、そのころとはちょっと違って、世界のいろいろなことを巻き込んでいる。そういう意味では、ある程度長く続くと思います。しかし、今、研究としてはですが、マスコミなどに取り上げられているディープラーニングが云々ということだけにこだわっていると、いつかはプラトーに来るというふうな、そういう気がする。次の時代のAI、あるいはその次をどういうふうに研究開発していくかということを考えていくことが大事だと思います。

<AI technology について>

Agendas for the Current AI Technology

1. Fast learning with sparse data, biased data, time-series data, and high-dimensional data
2. Online learning from data, learning from online data
3. Robust learning from noisy data
4. Accelerating the speed of learning
5. Transfer of learning to other domains
6. Bridging pattern recognition and inference technologies
7. Robustness
8. Explainability
9. Interpretability
10. Trustworthiness
11. Algorithmic ethics
12. Others

©Yuichiro Anzai

7

AI Technology について、現場でやるべきことはいっぱいあります。一つ一つは申し上げませんが、私は今大きなプログラムのプログラムディレクターをしているのですが、現場でAIを使っていくときの一番の課題は「データが足りない」ということです。大学関係のAI研究者は「データが少ないからできない」と言います。しかし、少数データでもちゃんとAIというか、

これからの技術が使えるようにしていくことが一番大事なことなので、そのためには社会の現場と研究者がいつも密着しながら研究開発をやらないといけない。それがまだなかなかできていません。

もう一つは、Robustness とか Explainability、Interpretability、Trustworthiness といった機能を実現するための AI の技術です。さっきも申し上げたように、AI というのは何をやっているかわからないから、なかなか信頼できない。出てきた結果がどうなのか、信頼できない。これは日本ではなかなか話はしにくいのでありますが、世界的な AI のパネルのパネリストをやると、当然、軍事の話になる。無人兵器やそれに対するエシックスをどうするかということが議論される。

今、日本では AI 社会に向けての倫理の原則を政府でつくって公表しています。これは世界的に見てもなかなかいいものです。ただ、これは倫理の原則であって、技術とすぐに結びつく形にはなっていない。やはり問われるのは技術の中に倫理をどうはめ込むかということです。理論計算機科学の分野ではアルゴリズムエシックスという言葉がありますけれども、倫理のルールを組み込んだソフトウェアをつくって、むしろそれを売りにしてマーケットに出していくようなことまで考えないと、倫理と言って雲の上みたいにして扱っていても解決しない、ということです。

Hardware: computing resources, devices, sensors, actuators, control devices, distributed storages, networks, embedded systems, dependability, security, energy-saving technologies, etc.

Software: basic software, software for AI machines, network middleware, embedded and real-time systems, dependable systems, cloud and edge computing software, etc.

Networks and communication: wired, wireless, GPS, IoT, sensor networks, 5G communication, satellite Internet, etc.

Algorithms: deep learning, reinforcement learning, Bayesian networks, causal reasoning, stochastic search, knowledge mining, data structure, knowledge representation, security, privacy, authentication, cryptography, ethical algorithms, robustness, interpretability, explainability, trustworthiness, etc.

Interaction and control: pattern recognition, interface design, natural-language and dialogue, translation, VR/AR, user models, multi-agent models, intelligent control, etc.

©Yuichiro Anzai

8

このスライドで言いたいことは AI の技術は AI だけやってもだめだということです。赤で書きましたが、computing resources、つまり極めて大量の計算を必要とします。日本では、東大柏キャンパスのところの産総研柏センターに AI 専用のスーパーコンピュータ (ABCI) があって産総研と東大が一緒にやっておられますが、これは性能がかなりいい。ただ、一方で、ベンチャーの若い人たちがこういう高性能

のマシンをなかなか使えない。日本全国としてはそれだけ計算資源が足りない環境になっているので、そういう状況を解決していかないといけないということがあります。

あと、Hardware、Software、Networks、Algorithms 等々書いていますが、これらは結局のところ、Computer Science 全般でありますし、5G やコミュニケーションテクノロジー、インターネットテクノロジーも大事になっていくので、結局、総合技術なのです。だから、AI が流行っているから AI を勉強しようというのでは、将来はなかなかつぶしがきかない。これら全体として向上させていくことがこれからのデジタル・トランスフォーメーションの時代では大事になっていくと思います。

<AI に関する日常的質問>

AI に関して、よく聞かれる幾つかの質問があります。

「AI はいつ人間を超えるの？」

「AI が入ってくるとこれからの社会はどうなるんでしょうね？」

「脳の研究が AI の推進に不可欠だと思いますか？」

「AI の流行っていつまで続くんですか？」

「日本の AI はアメリカや中国に勝てるんですか？」

マスコミを筆頭に、コンピュータ関係者、IT 関係者、AI 関係者からさえ、定番の質問です。

技術革新と社会変革の関係 (半世紀の法則)

1. 活版印刷術 (グーテンベルク, 1439) ⇒ 宗教改革 (ルター, 1517) ⇒ 近代国家
 2. 大陸横断鉄道の開通 (1869) ⇒ 第一次大戦 (1914) ⇒ 国際社会
 3. DNA構造の発見 (ワトソン&クリック, 1953) ⇒ 遺伝子改変作物 (GMO: Flavr Savr 1994) ⇒ 生命の技術化
 4. 人工知能 (ダートマス会議, 1956) ⇒ 深層学習 (ヒントン, 2006) ⇒ 機械による知の支援
 5. パケット通信技術 (ARPA-Net) (1969) ⇒ グローバル企業の出現、プラザ合意 (1985) ⇒ ベルリンの壁崩壊 (1989)、冷戦構造終焉 ⇒ インターネット商用化、デジタル携帯普及 (≒1995) ⇒ グローバル社会
 5. デジタル技術、デバイス、アーキテクチャ、ネットワーク、クラウド、センサー、ロボティクス、資源・環境・エネルギー技術、遺伝子操作・ゲノム編集技術、3D印刷等 ⇒ 人工知能、ビッグデータ、IoT、サイバーセキュリティ ⇒ 情報技術を基盤とする産業構造・就業構造への転換 ⇒ Industrie4.0・Society5.0・超スマート社会・Connected Industry
 6. 知的社会基盤、デジタル社会革命 ⇒ データ基盤の横断的整備、諸法律、知財権、国際標準、個人情報の覇権競争 ⇒ 社会システム・経済システム・医療・介護・教育・宗教・交通運輸・センサネットワーク・人間と人間のインタラクションの支援・その他の転換
- 物質・心・社会・環境の境界をなくす技術の研究開発競争と
社会統治の変貌

情報技術と資本主義の結合がもたらす社会の不安定性の克服、情報技術とテロリズムの結合の克服 ⇒ インタラクション技術と新たな社会統治システムの結合の実現 ¹⁰

これらの質問のバックグラウンドとして、みんなが何となく不安に思っているのは、“心”まで入ってきたー “知的機能” といいますが、そういう技術が巷に出てきたということです。何となくイヤだなという気もあり、期待もあり、何かわからないものだなという、そういうことがある。

物質・心・社会・環境の境界がなくなってしまうような、そういう技術の研究開発がもう行われつつある。それが“社会統治”

の問題に直結する。とりわけ、経済のイノベーションが起こるというだけではなく、社会全体の構造が本当に変わっていく社会変革が技術革新によって起こる、そういうことがあり得るといえることです。

“半世紀の法則” というのは私が付けたのですが、一つだけ例を言うと、グーテンベルクが活版印刷を発明したのは 1440 年ごろですが、これによって聖書やその種の文書が大量に印刷できるようになり、庶民にも行き渡るようになった。そして、1517 年、マルティン・ルターの宗教改革が起こった。もちろんこれだけが要因ではないですが、宗教改革というのは経済のイノベーションだけではなく、ヨーロッパの社会をひっくり返す大きな社会変革だったわけですけれども、技術革新がそれにつながった。この間、当時で 70 年しかかかっていません。

このように、ざっくり言って本当の技術革新が出てから経済だけではなくて社会全体が変わっていくのに、大体、半世紀ぐらいしかかからない。今年インターネットの元祖であります ARPA ネットのプロトコルが開発されてからちょうど 50 年ですし、人工知能は 1956 年ですから 63 年たっています。大体 50 年かそのくらいでいろいろなことが変わり始めている。

「社会統治の変貌」と書いたのは、先般のアメリカ大統領の選挙においていわゆるリコ

メンデーションテクノロジーが使われたといわれる。情報の受け手に関心のある情報を送り手が察知してそれに類する情報を送ってくる、それが潜在意識のレベルで受け手の心の中に入ってくる。それを選挙権を持つ人たちにやったという話があります。それが本当かどうかは別として、一般的に言って、人々がある人に投票しやすいように情報を流すということができるようになったというのは、技術としては十分あり得る。そういう意味では1票とは何か、ということが問われつつある。

民主主義の根幹に関わることですが、監視社会と言われ、国がデータを握り、いわば国家資本主義を指向しているように見える国がある。他方、ボトムアップの民主主義を積み上げて、みんなで議論しながら社会を運営していくように見える国もある。その両方のバックにデジタル・トランスフォーメーションがあり、その先端にAIがある。

これが私の見ている構図です。先ほどのような定番の質問をいただくのも結構なことだと思のですが、これはもっと大きな話です。戦後70年を超えて、今の時代にデジタル技術の革新が社会の変革を起こしつつあるということは、ちょっと大げさに聞こえるかもしれませんが、やはり理解しておかなければいけない。皆さんの関連でいえば、サイエンスの研究手法自体が変わりつつあるし、ジャーナルの扱い方自体も変わりつつある、いろいろなことが同時に変わりつつあるということでもあります。

AIの普及とデジタル・トランスフォーメーション

- 民主主義と独裁主義の相克「一票」とは何か？
- データ資本主義の進展
- データ変換・セキュリティ・暗号資産などを軸とした主要国の覇権争い
- デジタル・ギャップと所得・雇用・生活・教育などの二極化
- 【国内】産業構造の転換、雇用構造の転換、教育構造の転換 ⇒ 社会構造の転換
- 上記を乗り越える国際・国内社会の統治システムの模索、制度整備・多様なコミュニケーション基盤の確立

これが今申し上げたことですが、日本国内を見ても産業構造が変わり、雇用の構造も変わる。今、初任給一律はもうだめとか、終身雇用のしくみも崩壊していて、雇用や就業の構造が当たり前が変わっています。経団連も変わりつつある。教育は変わりにくいのでありますけれども、昔ながらの教育のしくみや方法は崩れつつあります。こういうことが国内では起こっていく。これらがAIの普及と関係しているということは、一応、申し上げて

おきたい。

2. 現在のAIにできること・できないこと AIの「現在の波」と「過去の波」

<現在の波が過去の波と似ている点>

現在の波と過去の波について、似ている点としては、人間の知的機能を技術屋は低く評価しすぎる。人間の心あるいは脳の機能は本当に複雑で豊かでありまして、まだまだそれを全部機械で代替できるというところまで、とてもしかない。

それから、AIの技術予測も、例えばディープラーニングがどこに行くかとかいうことを

言っていてもよくわからない。まず、AI 自体の輪郭がわからない。どこまでを AI と言うのか、ということもなかなかわからない。

あるいはハードウェアのボトルネックが最大の課題だということはさっき申し上げたとおりですが、computing resources が足りない。これらは昔と同じことが起こっている。

<現在の波が過去の波と異なる点>

一方で、今の波が過去の波と違う点もあります。

一つはビッグデータ基盤に目が行っている。昔は、コンピュータが足りなくて何にもできなかつたわけですが、今は実用的なことができるようになりつつある。それにはビッグデータが必要になるから、基盤の整備が大事になっている。私も、今、内閣府でそういうことに関わっているのでありますけれども、特に日本の場合、データ基盤が今まであまり整備されてきていなかった。これが大きな課題として挙げられていることは昔の波とは違う。

それから、アメリカと中国が突出しているというところは、やはり昔とは違う。昔は世界の主要な大学で研究したり、企業で研究開発のところをちょっとやっていたということだったのでありますが、今やアメリカと中国が突出して世界を変えている。ただ、突出の仕方はまったく違う。アメリカは、いわゆる GAF A というか、IT のビックインダストリーが主導するという、民間が主導する形で進んできている。中国はむしろ国絡みで若い人たちのベンチャーもものすごく出てきていて、それを国が政策として持ち上げながらやっている。中国は応用分野が強く、アメリカは応用分野と特に基礎研究が強い。この狭間で、日本がどうやっていったらいいのかということはまた別の課題であります。

<人間と人工知能の類似点・相違点（違うのは当たり前だが、それを踏まえたうえで）>

人間と人工知能の類似点・相違点(違うのは当たり前だが、それを踏まえたうえで)

人間と人工知能の相違点

- ・ (深層学習やベイズ学習などに基づく)人工知能は、大量データの多数回反復計算、大量データの中に隠れた規則的なパターンの認識、大量の時系列データからの予測をする能力が高い【パターン認識・パターン予測能力】。
- ・ 人間は、きわめて複雑な内部表現(新しい目標構造を含む)を自分で新たに構成し、さらにそれを再構成していく能力が高い【内部表現の構成能力】。
- ・ 人間は、「同種の他者」の信念 Belief、知識 Knowledge、欲求 Desire、目標 Goal、意図 Intention、行為 action などやそれらの間の関係を組み合わせた内部表現(心の理論 Theory of Mind)を、推論する能力が高い【社会的推論能力】。
- ・ 人間は、言語・非言語の記号体系を用いて内部表現を「共有する」能力が高い【内部表現の共有能力】。
- ・ 人間も人工知能も「思考能力」はある。しかし、ざっくり言って「思考のしかたが違う」この違いは(おそらく)進化の過程の違いによる。²⁴

AI のできることとできないことを考える前に、では、人間と人工知能はどう違うのか。

人工知能は、パターン認識・パターン予測能力は相当あると思ってい。もちろん、いろいろセットして、人間がたくさんボタンを押して、それでコンピュータを実行させないと動きませんが、いずれにしてもパターン認識・パターン予測の能力は人間を超える。非常に複雑なデータの中から規則的なパターンを見つけ出すことについては、むしろ人間より

り勝っている場合もかなりある。

2 番目からは人工知能ができないことが書いてあって、できないことのほうがおもしろいと思いますが、「内部表現の構成能力」。システムであれば、入力があって、出力があつ

て、内部状態がある。その内部状態を推論する能力は、やはりまだまだ AI はこれからです。こういう入力とこういう出力に対してこういう内部表現を考えるといいのではないか、ということは AI はもうやれるようになっているのですが、内部表現の構造自体をつくりだすのは人間の能力に比べると、できないとはいわないけれども、まだまだです。個人的な見解は入りますけれども、そういうふうに見える。ただし、AI が生成する内部表現が人間の内部表現と似ていなければならないということはもちろんない。AI にとって自分に役立つ内部表現であればいいわけです。

それから、特に、「社会的な推論能力」という、人間同士が相手の心を読む、これを AI ができるかという、顔の表情を読むとか、ジェスチャーから人間が何を思っているかを推論するという事は世界的にも AI 技術の視野に入っているのですが、人間の能力のほうが圧倒的に高い。

それから、「内部表現の共有能力」。人間は、何も言わなくてもお互いの気持ちを共有する、みたいなことは普通にやっている。このことは、例えば AI 搭載のロボットと人間の間のインタラクションを考えたとき、人間とロボットの間で気持ちを共有できるか。それは、なかなか難しい。

どういうことかという、人間の意図を読み取るとか、人間が何を思っているかを読み取るとか、そういうところが難しいということに当然なります。

もう一つ難しいのは、これは哲学になりますが、「AI 自体が目標を持つことが難しい」ということです。これはかなり大きな話題になるので、今回は入れていませんが、相当深い話です。

<現在の AI に何ができないか>

現在の AI に何ができないか

1. 「複雑な」内部表現の構成 (Construction of 'complex' internal representations)
2. 社会的推論 (Social reasoning)
3. 内部表現の共有 (Sharing of internal representations)
4. 少数データからの推論 (Reasoning from small data)
5. 仮説生成と発見的推論 (Hypothesis formation and abductive reasoning)
6. 類似性の発見のための、目標指向の部分マッチング (Goal-directed partial matching for discovering similarities)
7. 柔軟な言語処理 (Flexible language processing)
8. その他 (Others)

©Yuichiro Anzai

15

経験と知識があるからできるわけです。では、その経験と知識というのは、AI にとって何なのか。同じようなパターンを何万も見せられれば、それはできる。しかし、人間の場合には、いろいろな違った情報をいっぱい詰め込んでいて、そこから推論があつという間にできる。この違いは一体何なのかということは、まだまだ解明されていません。

それから、「仮説生成と発見的推論」と書きましたが、これは何かの仮説を立てること自体だと思っていただいてもいいのですが、適切な仮説を立てていくということ自体が AI にはまだまだ難しい。できないとは言わないですけども、なかなか難しい。

それから、「類似性の発見」。先ほども言いましたように、人間の場合はいろいろな経験をしますが、その経験というのはまったく同じではない。同じようなパターンをいっぱい覚えているということもない。いろいろな違ったことを経験しながら、その間の類似性をどこかで見つけている、と考えられるわけです。コンピュータサイエンスのパターンの類似性の発見はパターンマッチングとって、いわゆる NP-hard というか、指数関数オーダーの計算時間が要る。莫大な時間を要するということは理論的にわかっています。ところが、人間の場合には「ここが似ている」ということがあつという間にわかる。目標指向の推論が人間は得意だということが効いていると考えられますが、そのギャップをどのように埋めるかということは、AI の研究開発の課題です。

それから、「柔軟な言語処理」。お互いに柔軟な対話をする、これが AI にはまだまだ難しい。関係者がいたら申し訳ありませんが、ロボットホテルというのができた。従業員は全部、ロボットです。人件費が浮かせるとか、評判にもなるとかいろいろあります。掃除などはできるのですが、何ができなかったかという、受付ができない。いろいろな人、いろいろな場面に柔軟に対応する、ということができずに、結局、人に戻しています。

グーグル翻訳とか使う方は多いと思いますが、ある程度できるんですね。翻訳はニューラルネットワークで基本的にはやっていますが、ある程度はできる。けれども、そういう柔軟な、人が普通にやっているような対話処理はまだまだできない。なぜ、柔軟な対応処理ができないか、どういう技術を開発していけばできるようになるのかということは省略させていただきますが、このようにできないことだらけなのです。

パターンの認識とパターンの予測はできる。翻訳もある程度はできる。それから、ロボットの運動制御等々のいわゆるインテリジェントコントロールもある程度は AI が支援できる。しかし、それ以上のところはなかなかうまくいかないという状況があります。

<次世代 AI は脳がもたらすか？>

「脳の研究が AI の推進に不可欠だと思いますか？」という質問がありますが、脳の研究をすれば、次の世代の AI ができるようになるのではないか、というのはよく言われることで、完全に嘘というわけではない。けれども、きちんと理屈で考えてみると、そもそも「知的機能」というのは脳の機能なのか。脳から出ていることは間違いありません。しかし、脳の機能が全部わかれば知的機能はわかるのか、ということになると、これはクエスチョンマークです。

なぜかといいますと、「知的機能」と我々が呼んでいるのは、勉強ができるとか、言葉がしゃべれるとか、何かができることです。言葉がしゃべれるというのは脳のいろいろなところを使っています。他方で、脳の 1 カ所――例えば前頭前野は思考だけではなくて感情

の制御にも使っているということがわかっている。脳の1カ所が心の感情や思考、こういうファンクションのいろいろなことに対応している。その一方で、心の1つの機能が脳のいろいろなところに対応している。

つまり、心の機能と脳の機能の間というのは、many to many の対応なんですね。哲学では昔から言われていますが、脳と心の間関係というのはそれほど簡単ではない。「脳がわかれば心がわかるか」と聞かれば、わからないとは言わないけれども、極めて難しい。今、脳神経科学においても、ある部位が、例えばこの辺は感情ですよとか、この辺は思考ですよ、と言っている人はあまりいない。もっと分散的ないろいろなところでいろいろな働きがあって、それが総合的にネットワークとして働いて、それが心の機能としてはたっているのだということは大体普通に言われるようになってきています。

これは余談ですけども、いろいろな部位を電極やMRIなどいろいろな方法でデータをとって、さらにそれらのデータ間の関係をビッグデータ解析するというやり方が今出てきていますし、これからはそうなるのではないか。脳のモデルをつくっていくことで神経機能に接近することはできるかもしれないけれども、それを待っていてどうなるの、という、そういう状況だと思います。

ですから、「脳の研究をしていけばAIはつくれるのか？」という、つくれそうなんだけれども、よくよく考えると本当にできるのかな、ということになります。柔軟な言語処理を発現する脳の研究は大事です。ただ、これがAIの実現に直につながるかという、なかなか難しい。

AIにできること・できないことをかなりざっくり申し上げたので、AIを専門にしておられる方にとっては物足りないのではないかと思います。そういう方向けに言えば、例えば、「AIの技術として、1つのドメインについてラーニングをしたAIのラーニング結果を他のドメインにすぐ使えるか」という問いに対しては、これはナレッジトランスファーあるいはラーニングトランスファーといますが、Googleをはじめいろいろな研究機関が成果を発表しています。Google系のディープマインド社のAI（アルファゼロ）が囲碁でトップになり、同様のアルゴリズムをラーニングトランスファーして将棋とチェスでも名人に勝ったという結果があります。

こういうのを日本で先に出してほしいなと思ったのですが、やはりGoogleからまず出てくる。ラーニングトランスファーはAIのラーニングにおける昔からの課題なのでありますけれども、どうしても日本の場合には研究テーマがキャッチアップ型になってしまって、ラーニングトランスファーを突っ込んでやっている人はほとんどいなかった。「まだまだだ」と言っている間にGoogleがバツと発表したという、そういうことでもあります。

3. 日本でなぜできないか？

では、なぜできないのか？

「1. 未解決のテーマへの関心と理解の不足」

これがなかなか足りないのではないか、という気がする。理解が足りないというのは、未解決のテーマは何なのかが掴めないということです。そのためには、世界でトップレベルの研究環境にいる必要があります。誰かがわかっている、世界全体で未解決のテーマはだいたいのところこうなんだ、ということを見せてもらわないと、特に若い方はなかなかわからない。それを教えてあげられる、あるいは教えてもらわなくても、一緒に研究室にいれば、何となく世界で未解決のテーマはこっちの方向だ、ということがわかるような研究室がある。ここにいらっしゃる先生方の研究室はそうだと思いますけれども、そういうところがまだまだ日本の AI では層が薄い。

「2. 未解決のテーマに挑戦するパイオニアの不足」

いないというわけではありませんけれども、不足している。

「3. 新しいテーマに挑戦しにくい科学技術政策」

「4. 新規分野への研究予算・創造的研究への援助の不足」

これらは、やっぱりある。どういうことかといいますと、科学技術の予算をつけていくに当たって、声の大きいほうがどうしても強くなるというふうに見えます。私はマイナーでやってきているから被害者意識もあるのではないかとと言われると困りますけれども、いくら声を上げて、やはり大きな流れというのがあって、それはどちらかというとも多数派から出てくる。政策担当者は、本当の新しい流れを感じ取れるだけの知識や経験があるわけではないから、どうしても多数派の偉い先生方の情報を鵜呑みにしてしまいがちになる。そうすると、特に若い人たちはいつまでたっても新しいテーマになかなか挑戦しにくい。日本学術振興会は、組織ではなくて研究者個人が自分の考えで応募できる草の根研究をバックアップしています。自分から新しいテーマに挑戦していく、志ある人たちの研究予算を持続的に確保することが本当に大事だと思います。

「5. 走りながら考える」分野のための手続き整備の遅れ」

いわゆる重厚長大型の実験研究はがっちり実験計画を立てて、実験装置を作って、それでやっていく。ところが、AI の場合には「何だかわからないけれども、まずやってみましょうね」――こここのところが大事で、それで「走りながら考える」と書いてあるのですが、「走りながら考える分野」が今や出てきた。これに対して、そのための予算付けをはじめ諸々の手続きが追いついているかということ、追いついていない。単年度予算でどうするの？とか、そういうことを今やっているわけでありましてけれども、研究者の給与の問題もありますし、いろいろなことが追いついていない。

「6. 科学技術政策立案の構造の脆弱性」

「7. できることをさらにできるようにする研究の隆盛」

「できることをさらにできるようにする」研究が推進される傾向が強い。それだと、本来に新しい研究の芽を日本が生み出していくことはなかなかできにくい。実際、日本からは新しい分野が生まれにくいという調査結果もあります。

「8. 大学の閉鎖的な構造」

「9. 失われた 20 年」

「10. 報道の責任と視聴者/購読者側の理解不足」

AI に関しては報道の責任もあるし、視聴者/購読者の理解不足もある。

「11. 科学と社会の関係についての研究者の誤解」

科学と社会の関係については、いわゆる AI 関係で本当に世界をリードしてきた人たちは基礎研究者なのです。しかし、そういう基礎研究者が社会について関心がないかという点、そんなことはありません。世界をリードした多くの研究者とお付き合いさせていただきましたが、分野や人によってもいろいろ違うと思うのですが、やはり社会の大きな流れに関心を寄せながら基礎研究をやっている方がほとんどでありました。

「“Computer Science” はなぜ日本に根付かなかったのか」

“Computer Science” という言葉は日本にほとんど根付かなかった。Computer Science Department とか School of Computer Science というのは、日本にはほとんどありません。大体、情報工学科と言うんですね。情報工学科というのはエンジニアリングの学科で、Computer Science はサイエンスです。そこが非常に大きく違うのですが、日本の中では Computer Science と言っても通じないという状況があります。Computer Science 以外の分野の先生方、また大多数の政策担当者は、コンピュータやコンピューティング自体がサイエンスの対象になるとは考えたこともないように見えます。

4. AI の科学研究とは何か？

「AI の科学研究」とは何か、AI は技術なのか科学なのか。ここは自己紹介を兼ねてお話しさせていただきたいと思います。

科学としての AI は Computer Science の一部だと考えてよいと思います。特にアメリカやイギリスでは Computer Science について、School of Computer Science、Department of Computer Science、いろいろカリキュラムがあり、その中にほぼ必ず AI は入っています。

では、日本の場合はどうか。先にも言いましたように AI は情報工学科などでやっている。サイエンスではなくて技術として教えているし、コンピュータサイエンスの他の領域とあまり関係なく教えている。最近は人工知能学科というところもありますけれども、私はあまりそういうふうにシャープに AI を詰めすぎると、将来、つぶしが効かなくなるのではないかと思います……。

いずれにしても「AI を科学する」というのはどういうことなのか。結局のところ、知能や知性という、そこを掘り込んでいくということにどうしてもなります。

科学とは何か？

- (いろいろな見方があり、時代背景によって異なるが、ここでは) **対象**を何らかの**概念**(複数可)、**法則・原理**(複数可)、および特定の**推論方法**(観察方法を含む)に基づいて**理解する**(あるいは、しようとする)活動、あるいはその成果。
- 1. 合理主義と経験主義、演繹主義と機能主義(Plato, Aristotle, Continental rationalism, British empiricism)
- 2. 経験科学と理論科学
- 3. 哲学と科学の違い(Copernicus, Kepler)
- 4. 観察、検証、操作、反証、シミュレーション
- 5. 記述と説明
- 6. 論理実証主義とその批判(Popper, Ayer, Kuhn, Hanson)
- 7. 概念、法則・原理、推論方法は時代・社会背景に依存する。(ex. C.S.Peirce)

©Yuchiro Anzai

22

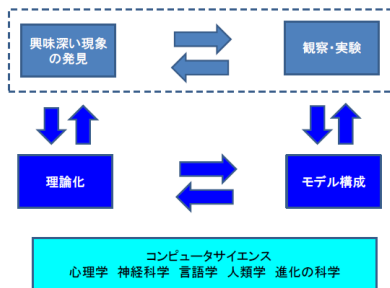
のかというと、本物の火山は実験できない。そういうことをシミュレーションでやっているわけですが、それでも科学と言う。

では、科学とは何か。

この辺はパッとお見せするだけにしますけれども、いろいろな言い方があるし、時代によっても違いますが、いろいろな概念や法則、原理などを明らかにし、特定の推論方法でもって理解していく、これを科学と言うのだと。例えば、再生産できることが大事なのか、実験で再現できることが大事なのか、いろいろなことがありますけれども、あまりここには書いていない。

では、火山学は科学なのか。実験で再現できる

科学研究の方法



©Yuchiro Anzai

23

<科学研究の方法>

科学研究にはいろいろな方法がありますが、ざっくり言うと、興味深い現象を発見すること、あるいは観察や実験をすること、理論化すること、モデル化すること、いろいろなことがグルグル回る。おそらくサイエンティストというふうに自分を位置付けておられる方は、ざっくり言ってこういうことをやっておられるのではないかというふうに思われる。

では、AI をこのところへはめ込むことができ

るのか。

つまり、人の知的機能にはどういう現象があるのか、その現象を理論的にも観察によっても明らかにしていく。そして、それをAIの技術に持つていくためにコンピューショナルなモデルにする。コンピューショナル、あるいは手続き的、というところは一般のサイエンスとは少し違うかもしれませんが、物理学や化学でも現象の発見、観察、理論化やモデル化、現象の説明、という方法論自体はほぼ同じです。Computer Science という枠組みの中で、Computer Science のいろいろな展開と連動しながら、人間の知的機能を超えるアルゴリズム、あるいはいろいろなシステム、モデル、理論を現実の人間の知的機能を観察・実験をしながら明らかにしていくことがAIのサイエンスだと。そう考えて基礎研究をしてきた人たちがいるということです。

1956 年以降、特にアメリカ、イギリスにおいてそういう流れがあった。例えば MIT の AI Lab は Computer Science の一環として AI をやっていた。つまり、Computer Science として、人の知的機能あるいはそれを超えるようなシステム、あるいはモデル、アルゴリズムを発見できるか、ということの研究していた。カーネギーメロン大学やスタンフォード大学もそうです。

科学的説明のレベル

- ・ 行動レベル
- ・ 心のレベル
⇒ このレベルの現象をどう説明するか
- ・ 物質レベル

- ・ 機能レベル
- ・ 構造レベル

- ・ 一人称レベル
- ・ 二人称レベル
- ・ 三人称レベル

©Yuchiro Anzai

<科学的説明のレベル>

では、科学的説明とは何か。

マテリアルサイエンスを研究しておられる方は物質を相手にしているし、バイオ、医学系の方でも、例えば脳神経系の科学で、解剖学的な構造を扱っているか、生理学的なファンクションを扱っているかということで境界がある。科学的説明のレベルと言うか、いろいろな見方があります。

知的なファンクションについては、物質レベルというのは脳のレベルですが、脳といっても解剖、生理などいろいろあります。解剖学は主に構造、生理学は主に機能、ファンクションを扱う。それから心のレベル、その上に行動レベルがある。その中でも、特に心のレベルでもって知的機能を明らかにしていこうという取り組みが、1956 年、あるいはその前から MIT やカーネギーメロン等で行われていた研究開発です。

<心とは何か？>

「心のレベル」といいましたが、では、心とは何か。

心を情報処理のシステムと考える、という見方をする。

心というのは、得体が知れない。だって、物質としてはないのですから、物質としてないものをサイエンスとして扱うという、非常に不安定なところがある。そのときに一つの概念として有効だと考えられるのは“情報”という概念です。心を情報処理のシステムと見なして、その土台の上で研究をしていく。

そして、心を情報処理システムとみなすとき、情報処理システムの一つの特徴は学習するということにある。つまり、自分の構造を自分で変えていくことができるということにあるわけで、そこから「学習とは何か」ということを本格的に考えられるようになる、ということです。

例えば、赤ちゃんの行動をビデオで観察することはできる。でも、赤ちゃんの心の中のプロセスをサイエンスとして扱うということはそんな簡単ではないですね。AI のサイエンスというのは、そういう対象を科学として扱うことです。

8 カ月くらいの赤ちゃんが玩具のところに行きたい。それは、こちら側の推測で、赤ちゃんがそう思っているかどうかわかりません。机の下にいる赤ちゃんからは玩具は机の上にあって見えないのです。見えないにもかかわらず、あの玩具のところに行こうとするということは、あの玩具のイメージが赤ちゃんの心の中にあるということではないか、というふうに推論するわけです。そうやってモデルを立てていく。

まったく違う分野ですけれども、物理学だって素粒子が見えるわけではない。けれども、素粒子の研究をやっているわけですね。「見えないものを研究する」ということにおいては、似ていると言えないことはない。概念をきちんと立てて、その間の関係を明らかにしていくということができるだけ精密にやっていく。概念というのは情報ですけれども、情報とその間の関係でもってモデルをつくり、理論をつくり、その理論のもとで、モデルによって、赤ちゃんの心のプロセスがどうなっているかを説明していく。さらに、赤ちゃんは発達していきますので、発達の過程それぞれでモデルを立てていったときに、そのモデルがどう変わっていくかということを明らかにしていく。

そういうことによって、この赤ちゃんがどのように発達したり、学習していくか、その心のプロセスがどう変わっていくかということの研究していく。それは極めて地道な研究ですが、それが AI のサイエンスということです。それを地道に 1950 年代からずっとやっていたのがマサチューセッツ工科大学の Marvin Minsky です。それから、知能ロボティクスで有名になったスタンフォード大学、エジンバラ大学は知覚のサイエンティフィックな研究から始まって AI 研究では一つの拠点になってきましたし、カーネギーメロン大学や、ヒントンのいるディープラーニングのトロント大学、ベイジアンネットワークのジュディア・パールがいる UCLA などがメッカになっています。

<1970 年代半ばの日本>

私は慶應義塾大学にいましたが、こういう分野に首を突っ込んだ 1973 年当時の東横線日吉駅の写真です。皆様、当時のいろいろな記憶がおありになると思うのですが、私にとってはこれです。極めて懐かしいです。

当時、慶應義塾大学の大型コンピュータは、日吉キャンパスにあって、私がいた矢上キャンパスには端末がなくて、日吉から有線でつながったテレタイプでその大型コンピュータにアクセスしていました。そのときには自分で作ったコンピュータのプログラム「と」ゲームで対戦するというのをやっていたのでありますが、それ以来、四十数年になります。

カーネギーメロン大学のキャンパスにて 1976.6~1978.6, 1981.8~1982.8



CMU Campus
in early spring, 1977



In Wean Hall (Science Hall),
in early spring, 1977

いろいろなことがありまして、私自身は 1976 年にカーネギーメロン大学のポスドクになりました。その当時の写真でありますけれども、皆様もいろいろな思い出がおありになると思うので

すが、どこかで何かはじけるときがある。それが私はこのときで、このときのことは、本当に空気の匂いまで覚えている、そのくらい貴重な時間だった。ほとんど24時間、寝たという覚えがない。それでも楽しくてしょうがない、そういう時間を過ごしました。

その理由は、世界のトップランナーの人たちの中に自分がいるのだという感覚です。今でも、あの環境はすごいと本当に思います。それを日本で実現したい、日本がそういう拠点をバイオ、マテリアル、環境等々、いろいろなところで持っていてほしい。若い人たちにとってワクワクする、そしてここで研究をやっているならば、絶対に世界で誰もやっていないということがわかる雰囲気がある。自分がセミナーで発表すれば世界のトップランナーがちゃんと聞いてくれる。そういう場にいられたというのが今の自分の原点であります。

思考と学習の研究

Psychological Review
1979, Vol. 36, No. 2, 124-140

The Theory of Learning by Doing

Yuichiro Anzai and Herbert A. Simon
Carnegie-Mellon University

This article proposes a theory of the processes that enable a student to learn while engaged in solving a problem. It gives a microscopic account of learning in a specific situation, based on a detailed analysis of a single human problem-solving protocol. It proposes general mechanisms, however, that make no specific reference to an individual subject or task, and it shows how these interact with specific task information gained during the problem-solving process. The adequacy of the mechanisms for producing the learning is guaranteed by a computer simulation of the process in the form of an adaptive production system.

©Yuichiro Anzai

33

回行ったんですが、この2度目のときはSimonが招いてくれました。1度目に帰ったその秋のある日の朝、カミさんが「大変、大変。Simon先生がノーベル賞をとっちゃった」と新聞を持ってきたんですが、ノーベル賞の候補にあがっていた当時、私は日本からポストドクで行ったということになります。2度目に行ったときに、Simon先生が「ノーベル賞のメダルがあるよ」と見せてくれましたが、実はコピーで、本物はどこかにしまっていると言われておられました。研究についてはいろいろなことが運良くうまくいって、『The Theory of Learning by Doing』という論文をSimonと共著で1979年に出すことができました。これが私の研究者としての本当のデビューであります。

新しい問題解決法は 経験を通してどのようにして学習されるのか？

Theory of Learning by Doing

1. 選択的探索方略(Selective Search Strategy)
 2. 後ろ向き方略(Working-Backward Strategy)
 3. 前向き方略(Working-Forward Strategy)
 4. マクロオペレータ方略(Macro-Operator Strategy)
- の順に学習される。

©Yuichiro Anzai

35

＜思考と学習の研究 1976.8～ カーネギーメロン大学ほか＞

私のメンターはHerbert Simonですが、それまで一度も会ったことがなかったのですが、思いきって手紙を書いた。会ったこともない、博士課程を出たばかりの無名の若い研究者から舞い込んだ手紙に真摯に向き合っていたいたのは、今の年齢になってみると本当に偉いと思います。この手紙一本を頼りに太平洋を渡りました。私が行ったのは1976年、一度帰ってきてもう一

The Theory of Learning by Doingとは、問題解決における学習の研究ですが、人間が問題をどう解くかではなくて、問題を解く「方法」を自分で発見するプロセスを情報処理の観点から

説明する理論です。そういうことを人間に対して観察、実験をやって、それで一方で説明のためのモデルを作る。ただ、箱が並んで線でつながっているフローチャートのようなモデルを作ってもしようがないので、実際にコンピュータが、つまりこのアルゴリズムですが、問題を解く方法を自分で発見するコンピュータのプログラムを作るということをやりました。複雑なマシンラーニングの一種です。機械が自分で学習をする、しかもパターンをただ予測するのではなくて、アルゴリズムを自分で作り出す、そういうコンピュータのプログラムを作る。これは、今でも相当ハードルが高い。カーネギーメロン大学には世界最高峰のコンピュータ設備がありましたけれども、それでも計算時間を使い過ぎて、管理者から「なにやっているんだ」と怒られました。そのくらいコンピュータを回して、徹夜でやっていました。

< 試行錯誤（木探索） 方略 → マクロオペレータ方略 >

試行錯誤(木探索)方略 → マクロオペレータ方略

```

def depthFirstSearch( start, goal ):
    stack = Stack()
    start.setVisited()
    stack.push( start )
    while not stack.empty():
        node = stack.top()
        if node == goal:
            return stack # stack contains
                           path to
        solution
        else:
            child = node.findUnvisitedChild()
            if child == none:
                stack.pop()
            else: child.setVisited()
                stack.push( child )
    
```

©Yuichiro Anzai 36



```

def hanoi ( n A B C )
    if n=1:
        move (1 A C):
    else:
        hanoi (n-1 A C B)
        move (n A C)
        hanoi (n-1 B A C)
    
```

中身は何かというと、左側は木探索のアルゴリズムで、右側はハノイの塔のパズルを解くりカーブなプログラムです。左の知識を持っているコンピュータのプログラムが自分で問題を解いている間に、右側のアルゴリズムを自分で見つけ出すにはどうすればいいか、こういう問題です。多少誇張していますが、実際には両方のプログラムのシンタックスが同じでなければ無理ですが、概念的にはこういう問題です。

これはそんなに簡単ではない。人間に対する実験は2、3カ月で、本当にうまくいった、偶然ですが。

しかし、実際にアルゴリズムを発見するコンピュータのプログラム、しかも人間が新しい方法を発見するプロセスの実験結果をシミュレートするプログラムを作るのに2年かかっています。丸2年かけて、コンパイラとは言わないけれども、プログラミング言語からインタプリタから全部作る、それから自己学習可能なプログラムを書いて実行させる。そういうことをやっておりました

< Examples for the Theory of Learning by Doing >

次に、理論がパズルだけでなく他の領域にも適用できることを示す研究を続けました。日本に帰ってきてからの研究ですけれども、例えば船の操舵について、学習によってどんどんうまくなるけれども、単に操舵が上手になったということだけではない、どういうやり方だから賢くできるのか、そのやり方をどうやって見つけていくのか。あるいは、初等

物理の問題について、学んでいる間に解き方が変わっていくのですが、その解き方の変わり方、船の操舵の方法の変わり方、ハノイの塔のパズルの解き方の変わり方、これらがその理論で説明できるということを見つけていく、これを全部やるのに大体 15 年かかっていますが、これが私の一つの研究成果であります。

これだけ申し上げてもなかなかわかりにくいとは思いますが、今の AI を見ていて、まだ追いついていないなど。今申し上げたような学習はやっていないわけですね。こういう構造を持った表現、つまり問題解決のアルゴリズムを自分で見つけ出すような AI というのは、そんなに簡単ではないと思われまます。

< 認知的インタラクションの研究 (1985～ 北海道大学) >

その後、私は北海道大学に移籍しまして、コミュニケーション、インタラクションの問題に移るようになりまして、認知科学、AI 関連としてはこういう顔の表情の問題とか、それを使ったインタラクティブなシステムの設計とか、いろいろなことをやるようになりました。

< ヒューマン・ロボットインタラクションの研究 (1991. 4～ 慶應義塾大学) >

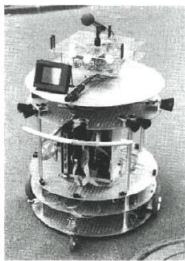


Figure 11.15 Active-interface robot ASPIRE-II (Yamasaki and Anzai, 1996)

ヒューマン・ロボットインタラクションの研究 (1991.4～ 慶應義塾大学)

モジュール構造自律移動ロボットアーキテクチャ

(Yamasaki and Anzai, 1995; 1996)

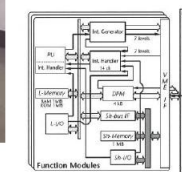


Figure 11.2 A functional module on ASPIRE-II (Yamasaki and Anzai, 1995)

これは人間とロボットの間のインタラクションです。今になって技術としても急上昇している分野ですが、例えばアメリカの NSF がこれからの研究課題というのを 9 個出した中の 2 番目です。人間とロボットの間のインタラクションをむしろ認知や AI のほうから研究するというのを 20 年余りやってきています。

ここ 10 年余りは、以前の Learning by Doing の理論から、今度は人間と

ロボットとか、さらに、こちらがむしろ本命ですが、人間同士のインタラクションですね。お互いに情報を共有するというのはどういうことか、内部表現を共有するということの理論化の研究を続けてきております。

情報の共有



T.Kashiwabara, H.Osawa, K.Shinozawa and M.Imai, Proc. of the 30th ACM International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2012), May, 2012.

©Yuichiro Anzai



©Yuichiro Anzai

ということかというのと、片方はロボットとか AI だと思っていただいてもいいのですが、例えばお母さんとその子どものインタラクションがある、これを理論化する、あるいはモデルでもいいのですが、2 つの情報処

出典: Michael Tomasello and Josep Call, Methodological Challenges in the Study of Primate Cognition, Science, Vol.334, 1227-1228, 2 December, 2011.

理システムがお互いにインタラクションしている。行動のインタラクションだけではなく、さっき申し上げたように心の中のプロセスのインタラクション、これをどういうふうに定式化するか、ということが今私の関心事であります。このインタラクションの理論のもとでコンピューテーショナルなモデルができれば、それを機械で実現していくということはできないことはないだろうと思います。ですから、これをやはり「AIのサイエンス」というふうに呼びたいということでもあります。

<From Information Agent to Social Agents -In Memory of Herbert Simon - >

Simon 先生が亡くなって 10 年後の記念のシンポジウムがフランスのリヨンであって、基調講演を頼まれました。日本学術振興会の理事長になるとき、この基調講演の日に面接をやると言われてしまったので、面接の日を変えてくれと言ったら、だめだと。それでしかたがないから、国際会議の主催者に無理を言って基調講演の日を一日ずらしてもらった。そういうこともございました。面接が終わってからそのまま成田に行って国際線に乗った記憶があります。演題の中の Social Agents というのは、今申し上げたように私自身が社会的インタラクションの研究をしてきたことと、Simon がもともとはシカゴ大学の政治学科出身で、さらに行政学から経済学に及ぶ社会学者だったことから来ています。

<論文／講演要旨>

Psychological Review
1979, Vol. 85, No. 1, 124-140

The Theory of Learning by Doing
Yuichiro Anzai and Herbert A. Simon
Carnegie-Mellon University

Modern work on skill acquisition began with a 1979 article by Y. Anzai and H. A. Simon at Carnegie-Mellon University (CMU). ...The hiatus in theorizing came to an end with a 1979 Psychological Review paper by Simon and Yuichiro Anzai. (From S. Ohlsson, *Deep Learning*, Cambridge University Press, 2011, pp.191.)

Keynote lecture, The 1st IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, Tokyo, September, 1992.

Towards a New Paradigm of Human-Robot-Computer Interaction
Yuichiro Anzai
Department of Computer Science
Keio University

Keynote lecture, The 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, New York, August, 2016.

Human-Robot Interaction by Information Sharing: What Were Gained for These 25 Years and Will Be Gained in the Future?
Yuichiro Anzai, JSPS

The earliest scientific meeting, which started in 1992 and continues annually, is the IEEE International Symposium on Robot & Human Communication (RoMan). (From M. A. Goodrich and A. C. Schultz, *Human-Robot Interaction: A Survey, Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 1(3), 203-275, 2007, pp.211)

『The Theory of Learning by Doing』と下にあるのはヒューマン・ロボットインタラクションの 1992 年に開かれた国際シンポジウムでの講演のプロシーディングズですが、この 2 つが自分として世界的にも、彼はこれを行っている、と言えるものであります。

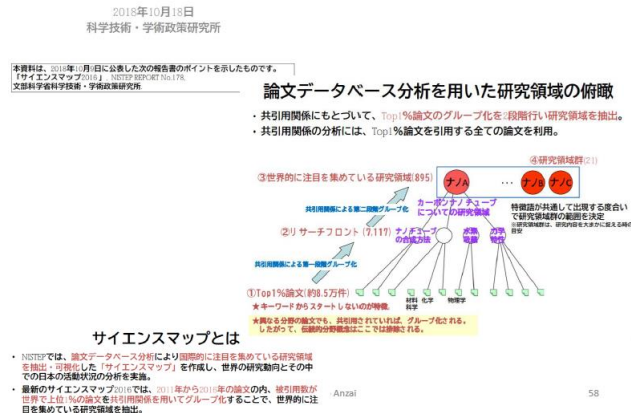
Human-Robot Interaction については同じ国際会議が 2 年ほど前に、ニューヨークのコロンビア大学で 25 周年の記念大会をしました。その 25 年前の

1 回目ときの基調講演が私だったのですけれども、25 回目にまた私を基調講演者として呼んでくれた。とても嬉しかったし、たいへん楽しくやらせていただいた覚えがあります。

5. 科学研究のモデル・イシューとして

時間も迫ってきたので手短かに申し上げますけれども、新しい分野を立ち上げていくということは、日本はやはり弱いのではないかと思います。これはずっとマイナーな分野でやってきた私の思いかもしれませんが。

サイエンスマップ2016



<サイエンスマップ 2016>

JST に関連している科学技術・学術政策研究所 (NISTEP) がいろいろなデータ分析をやっておりまして、ここに持ってまいりましたのは、世界中のいわゆる被引用回数でトップ 1%論文、これが大体 8 万か 9 万ある。この間のリファレンスの共引用関係だけを取り出して、それで関係づけをし、研究テーマを抽出するというをやっている。

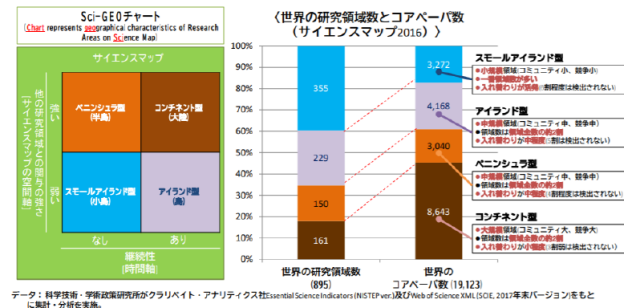
く。

何年かごとにこういう抽出が行われていて、その推移を見ると 598、647、895 とだんだん研究テーマが増えてきている。つまり世界ではいろいろな新しいことをやるようになっていて、ということです。

ところが日本の研究者がその新しい研究テーマに参画しているかというところ、その割合が減ってきている。日本と比べると絶対数でもドイツのほうが上にくるくらいですけども、ドイツは日本より人口が少ない。それにもかかわらず、やっぱり新しいテーマへの参画のスピードはドイツのほうが明らかに上がっている。

<Sci-GEO チャートに見る世界の状況 (領域数とコアペーパー数) >

- Sci-GEOチャートに見る世界の状況 (領域数とコアペーパー数)**
- スモールアイランド型領域の数は355領域と全体の4割。他方、コンチネント型領域の数は161領域であり、全体の2割程度。
 - 研究領域の中に含まれるコアペーパー数に注目すると、コンチネント型領域に約5割の論文、スモールアイランド型領域には約2割の論文が含まれている。



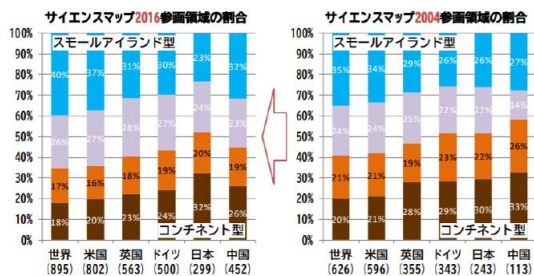
右上はコンチネント型といって、今までいっぱいやっている研究と同じようなところでやっている大陸型。それから、左上のペニンシュラ型は、みんながやっているんだけども新しい。右下はアイランド型といって、新しいんだけども、わりと大型。

さっきから申し上げていることに直接関わるのは左下のスモールアイランド型で、まだまだ新しく、人があま

りやっていない。だから、概念マップを作ると小さく出てくる。そのこのスモールアイランドに引っかけている数を国ごとに比較いたしますと、日本はいまいちということになる。

Sci-GEOチャートに見る主要国の参画状況（領域数）

- 日本は、スモールアイランド型が23%、コンチネント型が32%であり、世界のバランス（スモールアイランド型40%、コンチネント型18%）とは違いが存在。
- サイエスマップ2004との比較 英国やドイツではスモールアイランド型の割合が増加。日本の研究領域タイプのバランスについては大きな変化は見られない。



データ：科学技術・学術政策研究所がクオリタティブ・アナリティクス社とScientific Data Indicators (NSTP-ver.1)及びWeb of Science (R&D, GDI, 2017年最新バージョン)をもとに集計・分析を実施。

中国、日本、ドイツ、イギリス、アメリカ、世界とあつて、この青いのがスモールアイランド型であります。スモールアイランド型が少ないのが日本。右側が2004年、左側が2016年ですが、これを比べると、2004年から2016年の間、他国と比較して明らかに日本は新規テーマに手を出していないということがわかる。2004年にはドイツと同じくらいだった。ところが、2016年ではドイツは新しいところへ手を出

しているんだけど、日本はそうではないということがわかる。ざっと申し上げたのでわかりにくいとは思いますが、また、もちろん断定はできないし個々の研究者によってまったくパターンは違いますけれども、全体としては、日本の研究者は新しいテーマに手を出そうとしない、これまで世界で多く研究されてきたテーマにこだわる傾向が強い、そういうことが言えるのではないのでしょうか。

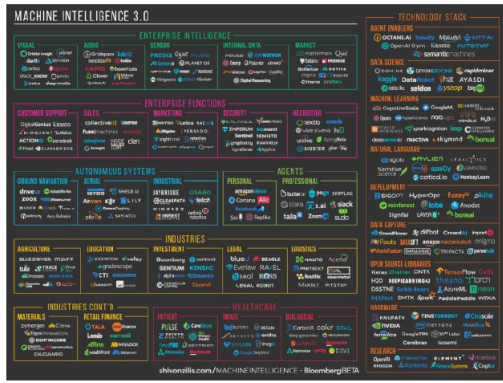
他にも、例えば工学分野のIEEEの論文の領域がどう変わってきているのか。それもデータがありまして、日本の場合は、半導体とかそういうテーマの論文は昔からずっと多いのでありますけれども、他国では論文数が急速に増えているソフトウェア関係、コンピュータサイエンス関係がなかなか伸びていません。

<分野別研究開発費の推移>

企業とかエンジニアリングの研究開発になりますと、企業の研究開発費は情報通信関係が多く、健康医療関係は少なかった。これが、2008年、いわゆるリーマンショック以降、企業の情報通信関連の研究開発費がガタッと落ちてくる。大学のほうは健康医療系が強い。大学の情報通信分野の研究費は健康医療系に比べるとずっと少ない。その一方で大学関連の研究予算はリーマンショックの影響をそれほど受けなかった。こういう研究開発費の構造になっておりまして、リーマンショック以降、企業の研究開発費が、キャノンとは別として全体としては落ちている。そういうことが特に情報通信系というか、情報分野が米中に大きく水をあけられてしまった現在の状況に響いているのではないかという気がいたします。

<The Current State of Machine Intelligence 3.0>

The Current State of Machine Intelligence 3.0 <http://www.shivonzills.com>



(originally published by O'Reilly; here, it is in collaboration with the MIT Center for Advanced Urbanism; James Chan; If you're interested in enterprise implications of this chart please refer to Harvard Business Review's The Competitive Landscape for Machine Intelligence)

66

これは4年前のアメリカのAI系のベンチャー企業の名前です。AIの中でも分野別になっています。もちろんベンチャーすべてを書き出しているわけではありませんが、いずれにしても4年前にAI関連だけで相当のベンチャー企業が活動していた。今、ベンチャー企業と、ノーベル賞クラスのいわゆる基礎研究だけでも社会と関係のある研究とをどのように結び付けるかという、いわゆるオープンイノベーション

の時代になっていますが、その中にAIがもちろんあります。そのオープンイノベーションの中でAIの基礎研究や開発研究、また社会への応用や産業応用が進んでいます。

基礎研究、いわゆるサイエンスとしてのAIについていろいろ申し上げましたが、AIについては、今日申し上げたことを含めて、狭い意味でのAIだけでなく時代の潮流や国際情勢、国内事情、また情報科学技術全般の進展を全体として理解しながら、日本はどうしていったらいいのかということを考えていく必要があるのではないかと考えています。ご清聴ありがとうございました。(拍手)

質疑応答

東口 宇都宮大学の東口と申します。おもしろい話、ありがとうございました。幾つか授業の中でわかったかのようにしゃべろかなというネタがありまして(笑)、AIについて話をする機会があったらちょっと勉強させてもらってしゃべろうかと思います。私から非常に下手な質問かもしれませんが、AIがいろいろなことを予測するということができるようになったというのは非常におもしろくなってきていると思うんですけども、AIの研究がどのくらいでウィンターに入るかという話が最初のころにあったんですけども、その予測自体はAIができるんですか。

安西 考え方としては当然できないことはない。ただ、さっきもちょっと言いかけたのですが、AIというのはどこまでAIと呼ぶのかというのがはっきりしないんですね。AIについての定義がなかなかはっきりしないという問題のほうが大きい。だから、そこがちゃんとしているんだったら、AIの予測をAIでやるというのはそれはできると思います。

東口 すると、一番の問題というのは、“AI”という言葉そのものも含めてですけども、いまいはっきりしない定義のまま走っているということですけども、その定義をどのよ

うに今決めていこうとしているのでしょうか。その流れというのは、何かありましたら教えていただきたいなと思います。

安西 内閣府がまとめている AI 戦略があって、それに関わっているのでありますけれども、そのドキュメント「AI 戦略 2019」では「AI の定義を無理やりしない」。それは、いろいろなイノベーションをむしろ制限してしまうということになるので、今の時点ではやりたいことをやっていっていいのではないかという、そういうスタンスで現在はやっていきます。

東口 ありがとうございます。

中川 石川県立大学の中川です。先生がおっしゃられていた、日本の意識とか研究に対するスモールアイランドが少ないとか、そういった部分に関して、我々は若手じゃないですけど、40代、50代の脂の乗った研究者だと自負しているんですけど、今まで大陸型で育てられて、ちょっとペニンシュラ型になってきていて、でも、やっぱり独立できないというか、アイランド型にシフトできないような、そういう雰囲気が今研究の世界、流れていると思うんです。先生目から見て、どういうところに意識を持てば研究者がアイランド型になるとか、ご意見があればお聞かせいただきたいと思います。

安西 多少真面目に言うと、スモールアイランドをつかっていく、そういう研究室。これはここにおられる先生方がやっておられます。若い方々の場合には、そういう研究室にちゃんと行くかどうか、そこに身を置くかどうかが大変なことで、例えば卒論でどこへいったらそこにずっといなければいけないのではないかと、とか、そういう流動性のない日本の研究環境をはねのけていく実行力を持たなければ、オリジナリティを持った研究者としての自分を拓いていくことはできないのではないかと思います。

やはり、一流の研究室に身を置くということが大変なことではないかと、そういうふうに思います。

中川 もう少し年代のいった研究者は何をしたらいいのでしょうか。

安西 それだったら、自分でやればいい（笑）。あまり周りを気にしないで。

ただ、サイエンスというのは競争ですから、その中で世界でやっていないもの。それもただ奇をてらってやっていないというよりは、本流だけでも、これからというのをきちんと自分でテーマとして持つことが大事ですので、そこが人から教えられてできるんだったら、もうそれは研究者のなんていうか……。まあ、頑張ってください（笑）。これはほんとに。

上原 群馬大学の上原と申します。私も先ほどのペニンシュラ型と大陸型というのに非常に興味を持ったんですけども、自分が何型かなというふうに思いながら見ていたんですが、スモールアイランド型がそのままビッグアイランドになって、次はコンチネンタルになるというふうに私は受け取って見ていたんですが、そういう流れのものと、たぶん分野

にもよるので、先生がおっしゃったのはスモールアイランドがずっとスモールアイランドで居続けることが輝いているという分野もあるというお話のように私は受け取ったんですが、分野の違いとか国別の違い。私は材料をやっているのですが、材料の場合はスモールアイランドからどうも大きくなっているように私は先生方を見ていて思うのですが、先生方、皆さん、スモールアイランドとは私はあまり思えなくて、コンチネタルの先生が集まっているように見えるんですが、その辺はどういうふうに？

安西 これは分野ごとにそれぞれ違うので、スモールアイランドがコンチネタルに何年もかけてなっていった分野もあり、あるいはスモールアイランドのまま消えていった分野もあると思います。それはそれぞれいろいろだというふうに思いますので、一概には必ずどうなるとは言えない。

上原 国別の何か違いとか。

安西 それは申し訳ないけれども、私が分析したわけではないからわかりません。あと、ついでに申し上げておくと、中国が伸びているんですけども、この中に中国の方がおられたら申し訳ありませんが、中国の場合には国の中で共引用している。そういうケースも特に新しい分野の場合にはあり得ますので、これだからすぐそのままどうだということではないです。もう一つ申し上げておきたいのは、こういうデータ分析というのは昔のデータを使って分析しているわけなので、参考にはなりますが、だからこそ違うことをやっていけないといけないという、そういうふうに見るべきですね。

小早川 関西医科大学の小早川といいます。私は生物学者で脳の研究をやっているのですが、先生が脳の研究が AI に関係はあるけど、脳の研究は重要だけれども、それでどうなんだというお話をされていましたが、世界的に見ても脳の研究と AI の研究はかなり距離があって、その研究者が触れ合うところはほとんどないです。

先生が今日おっしゃられたことは、僕は個人的にはおもしろいなと思ったんですけども、脳の研究者とコンピュータの研究者が話し合うこともあまりないし、言語体系が全然違うんです。例えば、ビッグデータといったときに、新しいアルゴリズムをつくって今まで 10 万のデータが必要だったのが 1 万に減りましたとか、そういうことをおっしゃる先生がいて、でも我々はデータはどう頑張っても 6 くらいなので、6 で抽出してほしい。だからもう全然話が合わない。こういったところで、もっとお互いが接近するようなことがあったら新しいアイデアが出るのかなということを今考えたんですけども、そこら辺って新しい分野になりますか。

安西 先ほど申し上げたように、一つの大きな課題は、少数データに適用できる AI のアルゴリズムがないということです。

それから、脳の研究—おっしゃることはわかるつもりなのでありますけれども、今日お話ししたのは、AI が人の知的なといえましょうか、外から見える行動ではなくてむしろ脳の中でやっていると思われるファンクションで、脳のごく一部ではなくてかなりの部分

を使っているようなファンクションですね。大体、言葉をしゃべるなどの機能はみんなそうですから、そこをチャレンジするには脳の研究だけやっていたのでは難しいかと。

今のおっしゃるやり方はあると思うんだけど、ちょっと道具が。だから、そこをチャレンジするのはありだとは思いますが、けっこう難しいかなと。

小早川 おっしゃるように、いろいろなところのネットワークとかいろいろなところのファンクションで高次機能ができているし、今、脳研究も膨大にデータがたまっていますけれども、やや迷走気味でして、そこから何を次にいこうかという、みんな、あまり考えていないのか、悩んでいるのか、なんです。

安西 私自身も自分の研究室で脳神経科学のドクターを何人か出しています、電極を用いた実験神経科学の特に海馬系です。そういう経験を経て、言い方は気をつけなければいけないのですが、これからブレインリサーチがどういう方向で何をするのか。遺伝子のレベルで認知症の解明といった方向は十分あり得ると思うのですが、神経回路の研究をやって、それでAIに結び付けるとするのはなかなか難しいというのが自分の感覚です。言葉に気をつけなければいけないというのは、そういう研究をやっている方が随分たくさんおられるし、素晴らしい研究もたくさんあります。今申し上げたのは個人の経験による見解で、だめと言っているわけではありません。みんな、それぞれチャレンジだから。

安藤 産総研の安藤といいます。全然分野が違うんですけど、最近、AI、すごいなと思っているんですけど、確かに社会的インパクトがあって、昔のことを考えると第5世代コンピュータとかいう話もあって、推論をやって、それでAIをつくろうということをやっているのを見ていたんですけど、どちらかというと難しく、それは諦めて、それでパターンマッチングでやっていこうというのが今の世界かなと思っているんです。

ただ、今日のお話では、一応、推論はそれなりにできてきたと言われたので、推論もかなり進んでいるのかなと思って、その推論関係のような方向のAIというのは、これから伸びるようなきっかけというのが出てきているフェーズなのか、今のディープラーニングと違う方向があり得るかなと思ったんですけど、その辺、ちょっと教えていただければ。

安西 私は医療については完全な専門家ではないので、ずれたら申し訳ありませんけれども、心電図の解析をディープラーニング系のツールでやるというのは、これはもう普通にやっていることですし、どのくらい役に立っているかわかりませんが、やっていることは十分言えると思います。その先の循環器の機能や構造のどこにどういうふうにAIが関わるかというのは、これはちょっとまだわからない。何が課題か。私の理解では、課題はやはりデータの数になると思います。

安藤 やはりパターンマッチングが基本で進むような話と理解していいですか。

安西 心臓の場合はちょっとわかりませんが、医療のデータも私どものプロジェクト

トで扱っていますが、データを寄せてこようと思っても病院によってデータのとり方が違うとか、いろいろなことでなかなか、何万というデータは集まりにくいというのが現状なのです。

そこをどうするか。例えば、10個とか20個のデータでは、データに埋もれた規則性や共通性は目の子で大体わかる。AIを使うためにもっと大量のデータを集めるには、一つの医局というよりはもっと広く集めなければならない。それとデータが集まらないというより、データのとり方が違うということが課題として大きいということがありますね。ただ、健康医療の分野はAI関連の応用としてはもちろん成長分野で、多くの大学医学部、大学病院、研究所、厚労省等も一所懸命やっています。

司会 それではこれで終了にさせていただきたいと思います。安西先生、大変ありがとうございました。

—以上—