

医用画像分野における AI の実際と可能性

ザイオソフト株式会社 西方弘美

はじめに

第3次人工知能（Artificial Intelligence：以下 AI）ブームと言われて久しいが、ここ数年ではビッグデータの普及などの背景から AI はさまざまな分野で実用化され、日常生活の一部となりつつあり、ブームは過熱の一途をみせている。医療分野においても日々 AI に関する研究や実用化のニュースも途切れることがなく、メディアでも頻繁に取り上げられ、いまや AI という言葉を聞かない日はないほどである。しかし、ひとくちに AI といっても、その定義はあいまいでありその範囲も広く、AI 搭載と謳って巷にぎわす機能も、それを実現する技術は多種多様である。弊社製品においても、目的の機能に合わせてさまざまな技術を採用し実装している。

本稿では、いま一度「AI とは何なのか」整理をしつつ、それらの中核をなす技術と弊社製品をはじめとして医用画像分野での応用について解説するとともに、今後の利活用の可能性について述べたい。

そもそも AI とは何なのか

AI、Artificial Intelligence とは何なのか。先に触れたように研究者により解釈もさまざまで厳密な定義はない。そもそも知性や知能の定義がないため、人工知能を定義することが困難であるといわれている。一般的な解釈としては「人間の知的な判断や作業を模倣するための概念や技術」ということになるだろうか。AI の歴史は古く、概念そのものは 1947 年頃に提唱されており、Artificial Intelligence という言葉じたいは、1956 年に米国で開催されたダートマス会議での人工知能に関する提案書のタイトルで初めて使用されたという¹⁾。このあたりが AI の幕開けといえるだろう。そして、現在の AI ブームの中核ともいえる深層学習（Deep Learning）の原型であるニューラルネットワークをはじめ、礎となる研究が数多く行われ、第1次 AI ブームを迎える。ソフトウェアの概念を生んだ「プログラム内蔵方式」が考案されたのが 1946 年。その後真空管からトランジスタ、LSI へ、コンピューターそのもの

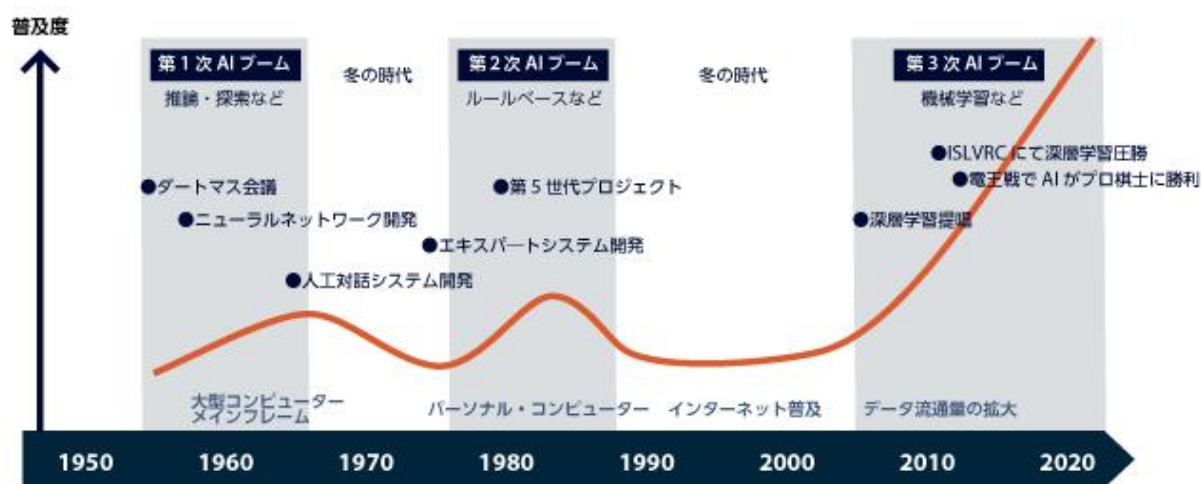


図 1 AI の歴史とブームの変遷

も進化していった時期と重なる。AI はまさしくコンピューターの発展とともに発展していったと思われるが、その研究の発展やブームの隆盛は右肩上がりというわけではなく、過去何度かのいわゆる「冬の時代」があった。だからこそ現在の第3次ブームなのである（図1）。

第1次ブームと言われる1950年代の後半から60年代にかけては、コンピューターにより「推論」や「探索」が可能となり、ルールやゴールの定められた特定の問題に解を提示できるようになった。たとえば単純な数式を解いたり迷路で経路を探索してゴールにたどり着いたりといった知的な行動ができるようになった。さらに、機械学習やニューラルネットワーク、自然言語学習など多くの研究が始められ、AI への期待も大きく高まっていくなか、巨額を投じた当時の最新鋭のコンピューターをもってしても明確なルールが定義された簡易な問題にしか対応できず、AI に対する失望感も生まれブームは終焉を迎える。コンピューターの黎明期、コンピューターそのものが目新しかった時代、これら多くの知的な成果は未来の可能性に大きな期待を募らせ、そのぶん反動も大きかったに違いない。こうして最初の冬の時代となる。

その後、専門的な知識をルールとして記述しておくことで、それに基づき専門家の意思決定を再現する「エキスパートシステム」²⁾ が研究開発され、コンピューターの性能向上と普及に伴い、ブームは再び訪れる。日本においても当時の通産省による第5世代コンピュータープロジェクトにより巨額の予算が投じられた。伝染性の血液疾患を診断して必要な抗生物質を推薦する「Mycin」など、医療分野での応用にも期待が寄せられた。しかしながら、正確性を期すために必要とする膨大な専門知識をインプットすることは非常に困難であり、また想定外の内容にも対応できないなどの限界も明らかとなり、実用化には至らず、こと日本においてはバブル崩壊による資金不足も影響し、再び長い冬の時代を迎えることになるのである。

機械学習は大量のデータから特徴を抽出して得られたパターンにより予測や識別をするものだが、2000年代に入りビッグデータが活用できるようになり、加えてコンピューターの処理性能の向上といった背景のもと、大きく進化していった。一方でニューラルネットワークの研究も同様に冬の時代を経験し

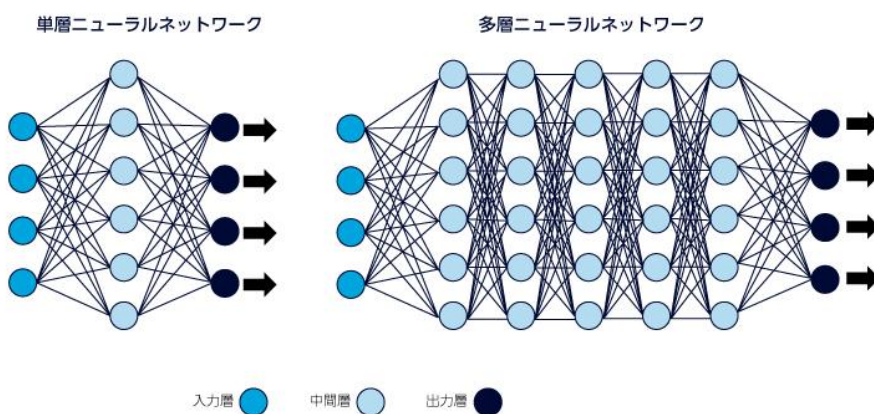


図2 多層ニューラルネットワーク

ニューロンと層が増えることで情報伝達や処理も増加し精度が向上する

ながらも進められていた。ニューラルネットワークは、脳神経系を数理モデル化したもので、複数の入力に対して1つの値を出力する素子（ニューロン）を多数配線したものである（図2）。当初のコンピューターの性能では脳の神経回路の階層構造とはほど遠い入力層と出力層のみの単純な構造で、学習できる内容にも限界があったが、単層から多層化することで当初の問題が解決できることが明らかになったものの、学習データの不足などから十分な精度を上げることができずにいた。しかし、2006年にこの多層ニューラルネットワークを用いた機械学習技術である深層学習が提唱され³⁾それが火付け役となり、

いまでも続く第3次ブームとなる。2012年に画像認識コンテスト ILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge) で深層学習が圧勝しその精度の高さが脚光を浴び⁴⁾、ブームは加速化する。その後の盛り上がりは既知のとおりであるが、2015年には囲碁 2017年には将棋において AI がプロに勝利したことは記憶に新しい（手前味噌であるが、2017年に電王戦において名人に勝利した将棋ソフトを翌年打ち負かした最後の電王トーナメント王者は、弊社社員の開発したソフトウェアである）。

AI は深層学習だけではない

これまで簡単ではあるが AI 技術の変遷をブームの隆盛を背景に説明させていただいたが、ひとくちに AI といっても多くの技術が内包されるものであることがおわかりいただけただろうか。いま私たちの生活を便利にしている AI 技術も、ブームの中心にある深層学習だけではなく、目的に応じたさまざまな技術によってその快適さを実現している。本項では、それらを整理しながらもう少し詳しくご紹介する。

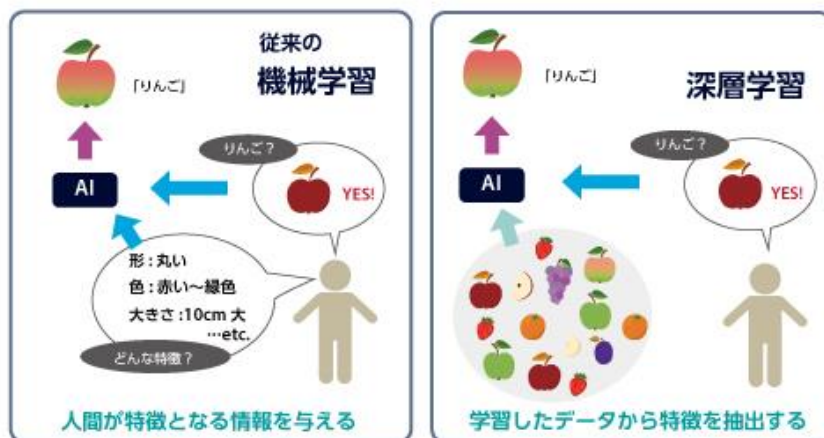


図 3 機械学習と深層学習の違い

さて、前項でも述べたように機械学習は、大量のデータから規則性や類似性などを抽出し予測や判断を行うものである。機械学習の先駆者であるアーサー・サミュエルは「明示的にプログラミングすることなくコンピューターに学ぶ能力を与えようとする研究分野」だとした⁵⁾。つまり、人間がすべてをプ

ログラムすることなく、データをAIが解析し自立してルールや法則性を見出し判断するというものだ。これにより、人間が自然に行っている学習能力を実現しようというものである。そのためには、まず何に着眼して判断をするか、何をもって正解とするか、人間が設計する必要がある。

たとえば、いくつかの果物の画像からりんごの画像を正解として示し、そのうちどの特徴に着目するかを設計しておく、別のりんごの画像を見ても自らの学習によりりんごを判別することができるというものだ。

そして深層学習は、どの特徴に着目するかといった設計を、多くのデータからその特徴を解析し人の手を介さずに行う。深層学習では人の手を介さないぶん、その精度を高めるためには、より多くのデータが必要になり、またそのデータの選定も慎重になる必要があるが、データは多ければ多いほど精度が高まるということである。だからこそビッグデータ時代に加速度的に精度を上げることができたといえるだろう。

機械学習も深層学習もそれぞれ個々に進展してきたものであるが、深層学習は機械学習の手法のうちの1つにすぎない。表1⁶⁾はAIの代表的な研究テーマを整理したものだが、見ていただければわかる

とおり、ここに挙げただけでもその種類は多岐にわたり、機械学習と深層学習に限らずそれぞれ相互に関与するものも多い。さらに実用化にあたっては、複数の技術を組み合わせて用いられていることから、単に「AI を用いた〇〇」と言ってもどの技術が利用されているかは一言で説明するのは難しいものもあるだろう。

名称	概要
推論・探索	「推論」は、人間の思考過程を記号で表現し実行するものである。「探索」は、解くべき問題をコンピュータに適した形で記述し、探索木などの手法によって解を提示する。探索の手法は、ロボットなどの行動計画を、前提条件・行動・結果の 3 要素によって記述する「プランニング」にも用いることができる。
対話システム	コンピュータが人間と対話するための技術であり、古くは 1964 年に MIT で開発された「エライザ (ELIZA)」が知られる。現在のボット (bot) の原形である。その後、米国防高等研究計画局 (DAPRA) の資金提供を受けて SRI インターナショナルが 2003 年から開発に取り組んだ対話システムが、アップル社の「Siri」へと結実している
エキスパートシステム	専門分野の知識を取り込んだうえで推論することで、その分野の専門家のように振る舞うプログラムのこと。1972 年にスタンフォード大学で開発された「マイシン (MYCIN)」という医療診断を支援するシステムが世界初とされる。その後、エキスパートシステムが保有すべき知識をいかに多く保持させるかが課題となり、1984 年には一般常識を記述して知識ベースと呼ばれるデータベース化する取り組み「サイクプロジェクト」が開始された。
オントロジー	オントロジーとは、概念化するための明示的な仕様と定義される。コンピュータが必要とする知識について人がすべてを記述することは困難であるとの立場から、知識の記述方法を研究する。IBM による「ワトソ (Watson)」は、このようなオントロジーの仕組みをも搭載したエキスパートシステムの例である
データマイニング	ビッグデータのような大量のデータから、知られていなかった意味のある情報を抽出する技術である。オントロジー研究のうち、コンピュータがデータから概念間の関係性を自動で見つけるアプローチをとる場合、データマイニングと相性がよい
機械学習	コンピュータが経験からルールや知識を学習し、タスクを遂行する能力が向上する技術であって、分類・回帰・特徴選択・異常検出といった用途に用いられる。データを生成する確率分布を推定することで解析する生成的アプローチと、2000 年代に脚光を浴びた、データを生成する確率分布を推定せずに直接パターンを認識するサポートベクトルマシンのようなタスク特化型アプローチがある
ニューラルネットワーク	機械学習におけるアルゴリズムのひとつであり、ディープラーニングの基礎となっている。1940 年代から続く研究であり、人間の脳神経回路を情報処理の階層によって模倣する。ニューラルネットワークをあらかじめ構築する学習フェーズと、問いに対する解を提示する予測フェーズに分かれる。伝統的な学習方法に、誤差逆伝播法がある。当初は入力層と出力層の 2 階層だけで構成されたため、線形分離しかできないとの限界が指摘された。その後、間にある隠れ層を構成することで複雑な処理が可能になり飛躍的に発展した。
深層学習	ニューラルネットワークを用いた機械学習における技術のひとつである。情報抽出を一層ずつ多階層にわたって行うことで、高い抽象化を実現する。従来の機械学習では、学習対象となる変数 (特徴量) を人が定義する必要があった。ディープラーニングは、予測したいものに適した特徴量そのものを大量のデータから自動的に学習することができる点に違いがある。精度を上げる (ロバスト性を高める) 手法と、その膨大な計算を可能にするだけのコンピュータの計算能力が重要になる

表 1：人工知能 (AI) の代表的な研究テーマ

※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 28 年)⁶⁾より抜粋一部改変

今後研究がさらに進んでいくなかでデータは増え続け、コンピューターも進化し続けることを考えると、機械学習や深層学習の精度の向上にともなう応用範囲は計り知れず、期待が強まることは無理もないが、それぞれが単独で機

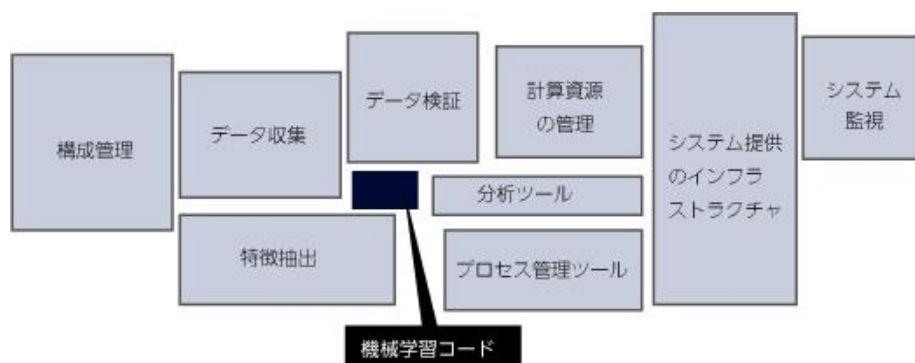


図 4 機械学習システムをとりまくさまざまな要件

能を実現できるわけではなく、これらをはじめとする多くの技術が複合的に使用されていることも多い。またこれら機械学習を有用なシステムとして成り立たせるためには、機械学習コードやデータだけではなく、図4に示す通り、重要な要素が数多くあり、それらが密接に関わって実用的なシステムとなりうるのである⁷⁾。

実際のサービスにおいて AI が活かされる機能には、「識別」「予測」「実行」という大きく 3 種類があるといわれる⁸⁾。たとえば、車の自動運転では、画像認識や音声認識から得られた情報に、地図情報や運行情報その他の状況を「識別」し衝突の可能性を「予測」し最適な目的地までの経路を考慮して運転を「実行」する。このようにさまざまな機能やそれぞれの領域に適した形で複合的に実用化されているのである。機械学習や深層学習により、特に画像認識における識別や予測の精度があがることで、その実用の可能性の幅が大きく広がった。画像だけでなく動画や音声といった情報を組み合わせたマルチモーダルな認識やまた

数理最適化などその他の技術と組み合わせることで、複雑な現実的な多くの問題への対応も可能になると思われる。そしてより私たちの生活に AI が密接に



図 5 AIの実用化における機能領域 ⁶⁾

関わりあうことで必要とされるデータもさらに蓄積されさらに拡大していくと思われる。

医療分野における AI 技術

さて、医療分野においてはさまざまな領域で AI が応用されつつあるが、得られる情報の多い医用画像解析が特に早く進んでいる領域であるといえるだろう。AI と呼ばれるものには多くの技術が内包されるものであることは前述のとおりであるが、本項ではそのうち現在も成果を上げており医療分野でも応用されているいくつかの技術について実例を挙げながらご紹介させていただく。



図 6 人工知能(AI)の種類

AI には多種多様な技術が内包されている

1) ルールベース

求める結果を得るために「どのような条件が成り立つとき何をすべきか」人間がルールを設計し記述しておき、そのルールに従いコンピューターにより処理させるもので、第2次 AI ブームの説明の際に挙げた、「エキスパートシステム」の考え方を継承するものと考えられる。複雑な条件から適切な回答を導きだすルールベースでは、当社製品をはじめとするソフトウェア製品をはじめ日常

的にも多くの技術で活用されており、現在のブームのなかにおいては旧来の技術であると思われるが、ある程度定められたルールがあるものであれば、ルールベースのほうが機械学習などよりも適しているものは多く存在する。たとえば、レシートだけで自動で仕訳する経理会計ソフトやエアコンの自動温度制御など私たちの日常で定番となっている身近なもので実用化されている。弊社製品である「Ziostation2」においても、冠動脈や大腸の抽出、MRI 画像による脳抽出など多くの解析ソフトウェアに活用されている。

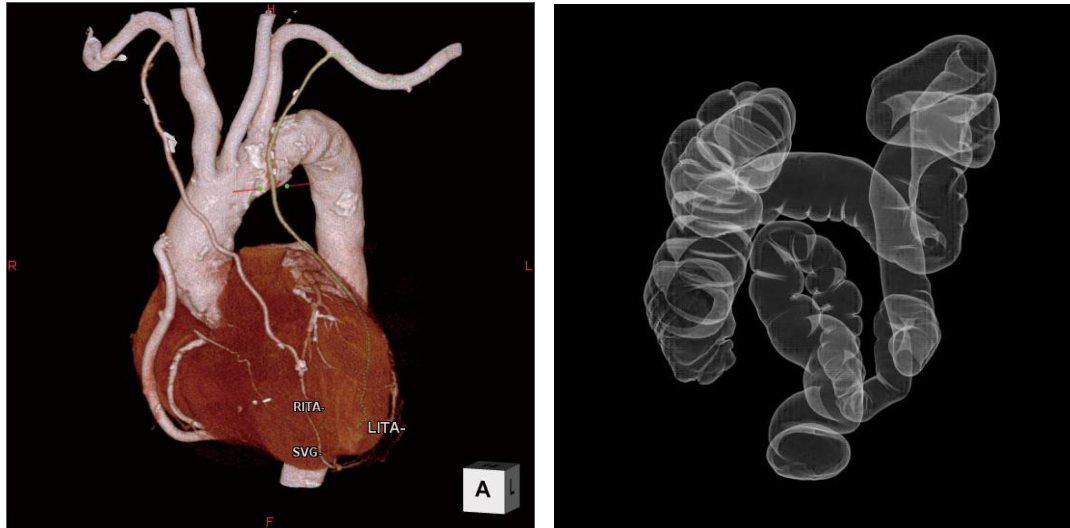


図7 冠動脈や大腸などの自動抽出

2) 数理最適化

さて、機械学習や深層学習に隣接する数学的なアプローチとして、数理最適化という技術がある。こういったものかという、ある条件下での最適な状態を数理的に求めるもので、複数ある解の候補から特定の目的にとっての最適解を見つけ出すものである。よく挙げられる例に席替え問題がある。席替えにおいて個々のさまざまな希望や条件をできるだけ満たす席の配置を求めるというものがある。個々の生徒の座席への希望や教室運営上望ましい状態を点数化し、また必ず満たすべき制約を定式化し、その範囲内で適合度（点数の合計）が最大となる解を導く。たとえば、近くに座ると喧嘩をしてしまう生徒同士や後ろに座ると居眠りをする生徒など、希望以外の条件も定式化して追加していけば、そうした条件にも柔軟に対応することができる。このように現実に行う可能な制約条件を考慮したうえで具体的な目的に即した最適解を出すこの技術は、非常に実用的であり、一般的には、限られた制約のなかで最大限の成果をあげる業務の効率化であったり、最大限の利益を生む販売方法であったり、多くのシーンで活用されている。数理最適化は、人間では単純に計算しきれない大規模で複雑な制約や条件があればあるほどその真価を発揮するものであり、高度なプログラムに基づいた処理だからこそその確度がありながら、ルールベースにはない柔軟性がある。緻密な観察に基づく立式とその効率的な計算方法により、膨大な 4D 画像情報から診断・治療に有用な物理パラメーターを正確に抽出する「PhyZiodynamics」は当社独自の数理最適化応用の最たる例であり、当社の高い技術開発力なくしてはなし得ないものであると自負している。また、機械学習や深層学習は、学習データのもとでの適合性を最大化するような数理最適化の問題とみることでもできる。

「Ziostation2」では、「PhyZiodynamics」による各種位置合わせや分離、自動骨除去機能など、操作性を向上する機能で多く応用されている。

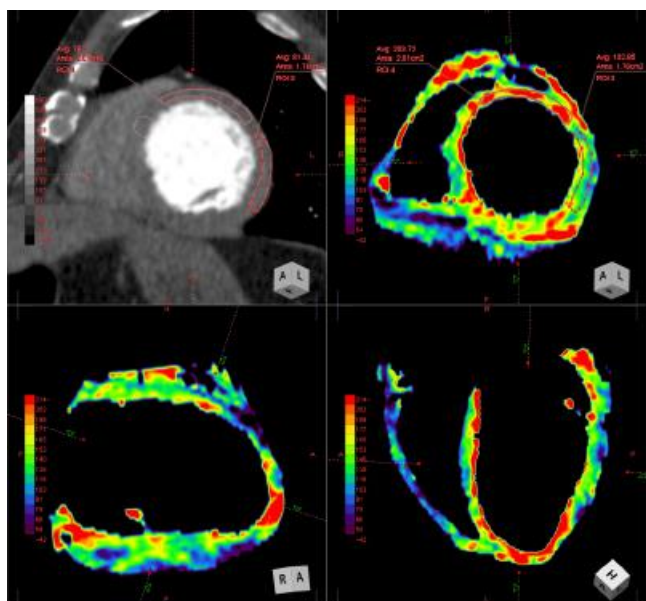


図 8
パフュージョンの複数位相の位置合わせなど
多くの解析アプリケーションで応用

3) 機械学習・深層学習

前述したように、機械学習や深層学習では、ルールベースや数理最適化のようにプログラムにより明確に記述するのではなくデータから学習することによって予測するものである。利用できるデータの増大とあいまって、特に深層学習においては医療分野、こと医用画像解析において多くの成果が報告されている。^{8,9)}

「Ziostation2」においても機能に機械学習や深層学習を応用した独自の認識技術 Realize

(Recognition of Exact Anatomical Landmark Information with Ziosoft Enhancement) として多くのアプリケーションに実装している。これにより、これまでCT値などに依存していた抽出やセグメンテーションが非造影の血管や組織でも行えるようになった。今後さらに多くのアプリケーションに実装し活用の幅を広げていく予定である。

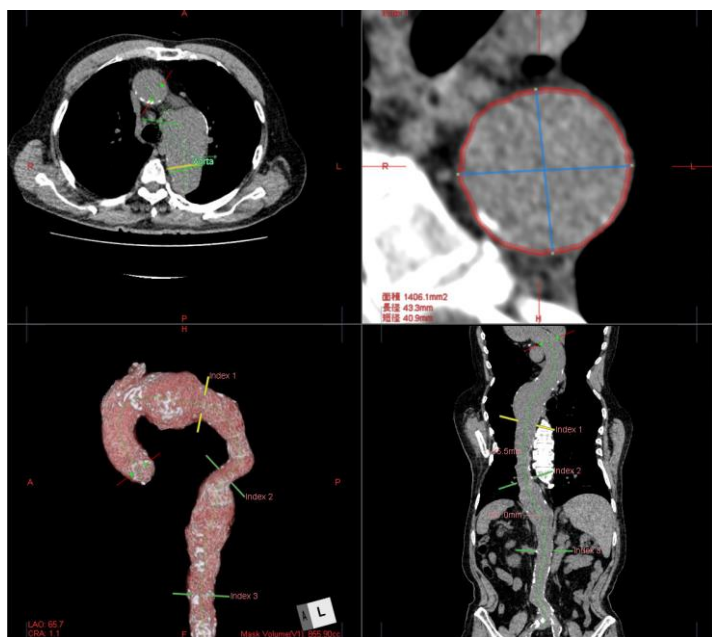


図 9 非造影血管解析

非造影データでの血管抽出を実現

ここまで述べたように医療分野における AI 活用の事例はまだまだ増え続けその応用範囲や可能性への期待も大きい。こと深層学習においては、今後さらに技術が進みデータが蓄積されていけば、さらに進展し続けていくことだろう。今後一層期待が高まる領域はコンピューター医用画像診断支援システム（いわゆる CAD）の領域である。しかしながら、多くの研究により有用な成果をあげている深層学習であるが、ことさら医用画像診断支援システムとして製品化を目指していく場合には依然として課題は残る。現状では深層学習においてデータから結果が導かれるまでのプロセスはブラックボックスと言われ、なぜそのような結果となるか解き明かすことが非常に困難だとされる。昨年厚生労働省より公表された「人工知能技術を利用した医用画像診断支援システムに関する評価指標」¹⁰⁾によれば、学習や評価に用いたデータの詳細を医療機器としての申請時に記述することを規定しており、過学習などの問題もあり、学習と評価では別データを用いる必要があるため、より多くのデータを必要とする。また、医療機器製品として承認時の機能が事後の学習によって変わってしまう可能性など、実際の実用にいたるまでの課題は残されている。

おわりに

先日、テレビ番組でプロの歌手と AI が対決するという番組を観た。声を発することを覚えるところから始まり、多くの情報から学習により実現したその歌声は、所詮は機械の出す音だとタカをくくっていた筆者の予想に反して、非常にテクニカルで、かつ抑揚もあり抒情的ですらあると感じるほどで、当然音程やテンポが狂うことはなく、完璧なようにも思えた。しかし、いざ人間である歌手の歌を聴くと、歌う人の想いが息づかい、盛り上がりでのほんのわずかなピッチの乱れとなって、AI では表現しきれない”人間ならではの”魅力にあふれていた。東京大学の松尾豊准教授によれば、AI には、一見すると専門家（すなわち大人）が行うことを実現できるが人間による作りこみを要するものを「大人の AI」、子供のできることを実現する「子どもの AI」があるという。深層学習は後者である。80 年代当初よりいわれていた「高度な推論よりも感覚運動スキルのほうが多くの計算資源を要する」という、モラベックのパラドックスが深層学習の登場で実現できるようになった。子どもに無限の可能性があるので、深層学習を中心とした AI にも無限の可能性があるのであるだろう。AI が“歌声”という非常に人間的なものを再現できるようになっても、人にしか出せない魅力の再現にまでいたっていないように、人だからこそできるものがある。そして今後より進展を遂げ、AI で実現できることがさらに拡大していったとしても、それを扱い利用するのは“人”である。当社では、AI をはじめとする技術を“人”が有用に活用できる実践的なソフトウェアをこれからも開発し続けていく所存である。

<参考文献>

- 1) J. McCarthy, M. L. Minsky, N. Rochester and C.E. Shannon, A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, 1955
- 2) Jackson, Peter, Introduction to Expert Systems, Addison Wesley, ISBN 978-0-201-87686-4, 1998
- 3) G. E. Hinton, R. R. Salakhutdinov, Reducing the dimensionality of data with neural networks, Science, Vol. 313. no. 5786, pp. 504-507, 28 July 2006
- 4) Q.V. Le, M.A. Ranzato, R. Monga, M. Devin, K. Chen, G.S. Corrado, J. Dean, and A.Y. Ng. Building high-level features using large scale unsupervised learning. In ICML, 2012

- 5)神蔦敏弘:シリーズ「人工知能と物理学」 変わりゆく機械学習と変わらない機械学習,日本物理学会誌 74: 5-13,2019
- 6)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28年)
- 7)D. Sculley et al,Hidden technical debt in machine learning systems. InNeural Information Processing Systems (NIPS). 2015
- 8)Poplin, R. et al. Webster. Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. Nat. Biomed. Eng. 2, 158–164,2018
- 9)A. Esteva et al., "Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks", Nature, vol. 542, no. 7639, pp. 115-118, 2017.
- 10)厚生労働省：次世代医療機器評価指標の公表について,別紙4 人工知能技術を利用した医用画像診断システムに関する評価指標,薬生機審発 0523 第2号,2019