

# 人工知能そして人工脳

## Artificial Intelligence and then Artificial Brain

茨木 俊秀 (京都情報大学院大学)

Toshihide Ibaraki (The Kyoto College of Graduate Studies for Informatics)

昨今、人工知能 (artificial intelligence, AI) の話題が口の端に上らない日はないという状況ですが、編集長の作花先生から何かエッセイでも書きませんか、と声を掛けられたのを機会に、日ごろ気になっている事柄を、あれこれ思いつくままに書いてみることにしました。人工知能雑感といったところです。

### 将棋と碁

人工知能の凄さが一番目立っているのは、やはり将棋や碁などのゲームでしょう。この前も将棋の電王戦で、人工知能の Ponanza が佐藤天彦名人に勝ったという話題を NHK スペシャルが取り上げていました。私にとって一番記憶に残っているのは、同じ今年の5月に行われた、碁ソフトの AlphaGo (最新版) とヒトの打ち手として最強と目されている中国の柯潔 (カ・ケツ) 九段 (19 歳) との3番勝負です。この勝負も人工知能の全勝で終わりました。私はザル碁もよいところで、この二人が繰り出す一手一手の深遠な意味を理解することはとてもできないのですが、それでも柯潔が人工知能の弱点を見つけようと、意表を突く手を連発していることは理解できました。第1局は人工知能の1目半の勝ちで、差が小さかったので、ヒトもよく戦ったという印象をもちましたが、そうでもなかったようです。局後の解説によると、人工知能は勝負に勝つこと、それだけの目的に作られていて、大勝することは考えていない、この試合でも終局のかなり前にすでに勝ちを読み切っていたらしいとありました。第2局と3局は、人工知能の中押し勝ちで終わったのですが、これは柯潔の自滅だったような気がします。例えてみると、相撲の地方巡業で子供が力士に挑戦するアトラクションがありますが、大きな力士が子供を片手で軽くあしらっている様子が目に浮かびました。これは彼にとってちょっと酷な連想でしょうか。試合後のインタビューで、柯潔は AlphaGo が一段上の力を持っていることを潔く認め、涙を見せたと報道されています。若い彼の無念さは十分理解できます。

AlphaGo を開発したのは、Google 傘下の DeepMind 社ですが、その代表者 Demis Hassabis 氏は、これで目的を達成したので碁は卒業して、次は医療の自動診断など新しい分野へ進むと述べています。以前、チェスの世界で IBM 社のマシン Deep Blue が当時最強とされていたカスパロフ (Garry Kimovich Kasparov) に勝ち越した後、ただちに引退し、やはり次のプロジェクトであるワトソン (Watson) の開発へ進んだことを思い出します。ヒトの最高レベルを超えた後、さらに強くなって何の意味があるのかという主張でしょうか。

### ディープラーニング

AlphaGo をここまで強くしたのは、人工知能の中でもディープラーニング (deep learning) という技術を使ったからだと言われていています。この技術は、人の脳を作っているニューロン細胞に着目し、それに似せた素子を多層に接続したネットワークを用いて、学習を繰り返すことによって性能を向上させるものです。一つひとつのニューロンの動作はどのようなものかという点、そこへの入力線 (多いものでは数百本ある) を通って入ってくる電気化学パルスの重み付け和をとって、その値がしきい値を超えると発火して、出力線を通して他のニューロンへパルスを送り出すというものです。つまり数学的には実数値を非同期的に処理するアナログ素子で、重みには正の値だけでなく、負の値を取ることもできます。各ニューロンはその入力重みを変えることができるので、ネットワークの計算結果に基づいて重みの値をうまく制御すると、いわゆる学習を行うことができます。AlphaGo などのディープラーニングが、どの程度の数のニューロンを使い、何層の回路を用いて、どういう学習を行ったかといった詳細は詳しく調べた訳ではありませんが、相当大規模で、専用のハードウェアを使うことで処理速度を大きく上げていると想像されます。注意しておきたいのは、これらの計算は、あくまでも現在のデジタルコンピュータを用いて、ニューロンの動作をシミュレートすることによって実現していて、ニューロンのようなアナログ素子を直接利用している訳ではありません。

なお、このディープラーニングという技術は現在大流行していて、将棋や碁以外にも、顔や指紋などのパターン認識、音声認識、自動翻訳など多くの分野でそれぞれ画期的な成功を収めていることは、皆さんよくご存知の通りです。

### しきい論理

ここで余談になって恐縮ですが、単体のニューロンの機能を論理数学の立場から解明する研究が盛んになされたことが

あります。今から半世紀ほど前の話で、しきい論理と呼ばれていました。当時私は大学院の学生だったのですが、この分野の研究をしたらどうかという指導を受け、いくつかの結果を発表したりしていました。それが縁になって、しきい論理の創始者の一人である室賀三郎先生にイリノイ大学へ呼んでいただき2年余り過ごすことができました。イリノイから帰国後、室賀先生と当時大阪大学におられた北橋忠弘さんと三人の共著で、「しきい論理」という本を産業図書から出版したのですが、これは私が執筆に加わった最初の本です。大変懐かしいのですが、この種の本がベストセラーになる訳はなく、出版後何年もたたない内に絶版になってしまいました。

## 人工知能とヒトの知能

さて、人工知能の性能がこのように向上してくると、我々人間から仕事を奪ってしまうのではないかという心配がでてきます。これまで生産ラインの作業がロボットに置き換えられるといった変化は、ある意味歓迎されていましたが、ホワイトカラーの知的作業までが次第に侵されつつあります。今では会計などの定型的事務処理だけでなく、人事や経営判断など企業の中核部の仕事、さらには医者や弁護士などきわめて人間的と思われていた仕事にまで、人工知能が進出してきています。この状況に対して、その内すべての仕事が人工知能に乗っ取られるだろうという悲観論もありますが、いやいやそう簡単にヒトがキカイに負けることはないという意見もあります。物事の全体を見て総合的に判断すること、おかれた環境に即座に対応すること、新しい考え方を創り出すことなど、ヒトが得意にしている能力は、人工知能といえども簡単に獲得することはできないだろうというわけです。

そういえば、国立情報学研究所が中心になって、「ロボットは東京大学に入れるか」というキャッチコピーで進めてきた「東ロボくん」のプロジェクトですが、数年前、センター試験の模試で偏差値57を実現して、関西の大学だと、関関同立に入れる程度の実力をつけたというニュースがありました。このまま行くと間もなく東大も征服するのではという期待を抱かせましたが、昨年秋には、東大の入試を突破するのは現状のままではやはり無理だという結論になり、開発を断念したようです。その理由は、各科目の記述式の問題を解くには文章の意味を理解しなければなりません、ロボット（＝人工知能）にはそれは難しいということです。以下は、ネットに載っていたそのような例題の一つです。「A.彼は報告書をまた出し忘れた」「B.おまけに会議に遅刻した」という文章のあとに、続く文として3つの選択肢

- (1) 私は寝坊した。
- (2) 会議には報告書が必要だ。
- (3) 彼は社会人として自覚がない。

から一つを選ぶことを求められたとき、人工知能は正解の(3)を選ぶことはできないだろう、なぜなら人工知能には人間の生活全般に関する常識がないからである、と説明されていました。言われてみるとたしかに難しいでしょうね。このような問題に正しく答えるには、一人の人間が生まれてから経験するすべてのことを取り込み、それらの繋がりや意味を理解しておかなければなりませんから。

## 脳 vs. デジタルコンピュータ

ヒトの脳とコンピュータを比べると、この二つは全く異なる原理によって動作していることに注意しなければなりません。いわゆるデジタルコンピュータ、つまりフォン・ノイマン型のコンピュータは、内部ではすべて0か1のデジタル信号に変換されていて、中心にあるCPU（中央処理装置）が、記憶装置に置かれているプログラムに従って記憶されているデータを同期をとりながら処理する、という機械です。これに対し、ヒトの脳を形作っているニューロンは、先ほども書きましたが、アナログ信号を処理する素子です。多数のニューロンを結びあわせたネットワークは、脳全体に広がっていて、全ニューロンが並列かつ非同期的に処理を実行しています。もともとの動作原理が異なりますから、それぞれが得意とする分野が異なっても当然でしょう。

ヒトの脳がすごいと感じる最大の点は、頭蓋骨という小さな容積の中に、 $10^{11}$ （1000億）個以上のニューロンを格納していること、さらにそれらを働かせるためのエネルギーがごくわずかでよいことです。だって、1日3度の食事から得られるエネルギーで、脳だけでなく体全体の運動まで面倒を見ているわけですから。これに対し、デジタルコンピュータはどうでしょうか。その最高峰の一つであるスーパーコンピュータ「京」を例にとり、そのデータをネットで調べてみました。「京」は約9万台のCPUをもつ並列コンピュータで、トランジスタ数は約 $10^9$ （10億）個と書いてあります（記憶装置の半導体を含めるともっと多くなるでしょう）。脳のニューロン数に比べるとまだ少ないですが、それでも図体は随分デカくて、神戸のポートアイランド線の「京コンピュータ前駅」から見える大きなビルを占有しています。その使用電力は何と一般家庭の3万軒分に相当するそうです。もちろん大規模なシミュレーションなど、得意分野における京の計算能力は極めて高く、ヒトの脳では全く歯がたちません。しかし、そうかといって、我々の脳に取って代わることができるかという、そうはいかないところが面白いところです。

## 脳の解明

ヒトの脳がどのような仕組みでどのような動作をしているかは、ごく最近まで謎として残されていました。しかし今では、fNIRS（近赤外脳機能計測法）やfMRI（磁気共鳴機能画像法）などの新しい測定法の助けを得て、謎はゆっくりですが解明されつつあるようです。脳のどの部位が、視覚や聴覚、運動、また記憶や感情などにどのように関連しているかが次第に明らかになってきています。その結果、ディープラーニングは脳の働きのごく一部分を具体化しているだけで、実はもっと多様な構造と働きが隠されていて、その理解が残されていると言われていています。脳の十分な解明までには、まだまだ長い期間の研究が必要だと思われます。

そのディープラーニングですが、問題点の一つは、大変高い性能を示すものの、それがどのようなアルゴリズムで動いているのかが、外部の我々にはわからないことです。ブラックボックスの中に何があるか見ることはできないのです。これはある意味で当然だと思います。デジタルコンピュータとニューロコンピュータは動作原理が全く違うわけですから。デジタルコンピュータのように、プログラムを解読することでその動作を分析するといった手法は使えません。そもそも陽に書かれたプログラムは存在しないのです。ディープラーニングの動作を理解するには、脳科学が新しい測定法を利用して脳内部の理解に迫っているように、これまでとは違った手法でアプローチしなければならないと思っています。計算理論の研究者にとって、チャレンジすべきテーマになるでしょう。

## 人工脳を作る

さて、ヒトの脳とデジタルコンピュータは本質的に異なる計算機械であることを述べてきました。脳がどの点で優位に立っているかも述べました。この状況にあって、コンピュータ科学者たちの興味が、脳そのもの、つまり人工脳を創り出す方向に進んだとしても不思議ではありません。実際、脳内部のニューロン・ネットワークの微細構造を、最初はごく一部分でしようが、最終的には完全に読み取るという研究も始まっているようです。また、ハードウェア面では、現在のコンピュータのようにAND、OR、NOTゲートを組み合わせたデジタル回路ではなく、アナログ素子であるニューロンの機能そのものをシリコンチップ上に実現する研究も進んでいます。最近読んだ専門誌の記事では、素子のサイズと消費エネルギーの両面で大きな進歩が得られていることが書いてありました。

## そしてシンギュラリティへ

人工知能と人工脳の研究が今のペースで進むと、ヒトとキカイの勝負は間もなくつきそうです。残念ながらキカイの勝ちでしょうね。ヒトの脳の機能をそのまま実現する人工脳ができれば、姿は似ても似つかぬものであっても、より高速に動作することは間違いありませんから、東大に入ることはもちろん、それ以外の仕事でもヒトに取って代わることができるでしょう。未来学者たちはその時を、数学の特異点という用語になぞらえて、「シンギュラリティ」と呼んでいます。さらに、シンギュラリティがやってくる時期は2045年頃だろうと予言している研究者もいます。意外に近い時期であることに驚かされますが、その時我々人類はどうなるのか、誰にも確かなことはわかりません。半世紀以上前にフォン・ノイマン（John von Neumann）がその可能性を数学的に証明したように、いずれキカイは自己増殖するようになるでしょう。その結果、最も悲観的な予想では、人類はそのように増殖した新しい生命体に滅ぼされてしまうのです。でも反対に最も楽観的な予想では、食料やエネルギーの生産はキカイにまかせ、人類はそれらから解放されて、有り余る時間を自由に使うことができるというユートピアが想定されています。仮にヒトの脳を超える装置が実現しても、その時はそれを脳に埋め込んで我々の脳力をアップすれば対抗できるという理屈です。

でも、私はそのようなサイボーグになるのは御免こうむりたいですね。幸い後期高齢者である私はシンギュラリティを迎えずに済みそうですが、若い皆さんはそうではありませんよ。シンギュラリティの時代をどう生きるか、そろそろ考えておく必要があるのではないのでしょうか。

---

### ◆著者紹介

茨木 俊秀 Toshihide Ibaraki

京都情報大学院大学学長、京都大学名誉教授  
京都大学大学院工学研究科修士課程電子工学専攻修了、京都大学工学博士  
元京都大学、豊橋技術科学大学、関西学院大学教授  
ACM、電子情報通信学会、情報処理学会、日本応用数理学会などフェロー  
日本オペレーションズリサーチ学会名誉会員、  
日本スケジューリング学会名誉会員  
専門分野は離散最適化、計算の複雑さ、アルゴリズムなど