

人工知能の現状と将来動向 (2) 人工知能の歴史と問題点



松田宏コンサルティング事務所
代表 松田 宏

今回は「人工知能の現状と将来動向」の第2回として、人工知能の簡単な歴史と問題点についてご紹介する。とはいっても歴史が短く、黎明期であるため合意された定義もなく諸説紛々の状態なので、厳密なお話はできないことをお断りしておきたい。

実はこの連載をお引受けして少々後悔している。企画段階で人工知能に対する関心が高まるはずだと予想はしていたものの、これほどのブームになるとは思っていなかったからである。マスコミやネットでも盛んに取り上げられ、今さら解説などは要らない状態だろう。そのうえ、実用システムの可能性が高まり、一部は既に実用化されているので、官民共に多数の研究者を集め、巨額の研究開発費を投入している。学術レベルで細々と研究していた時代と比べると進歩が非常に速く、目に見える成果も次々に発表されているので、連載の内容が世の中のスピードに追いつけるかどうか心配でもある。

それでも、できるだけ全体を俯瞰的に眺め、興味深いエピソードなども盛り込み、楽しくお読みいただける工夫をしようと思う。厳密さは失われても「気軽に読める楽しい読み物」を目指しているので、詳しくご存知の方は目をつぶっていただきたい。

今は人工知能の第三次ブームと言われているが、以前の二回は期待が大きかった分だけ失望も多かつ

た。二度あることは三度あるのか、今回が三度目の正直なのかはわからないが、個人的には今のブームがやや過熱気味ではないかと懸念している。

目次

- ▷ コンピューターの出現
- ▷ データ・情報・知識・知恵
- ▷ データ処理の手順 (アルゴリズム)
- ▷ 知識ベース+推論機構による人工知能
- ▷ ニューラルネットによる深層学習
- ▷ 記憶容量と処理速度のネック

= コンピューターの出現 =

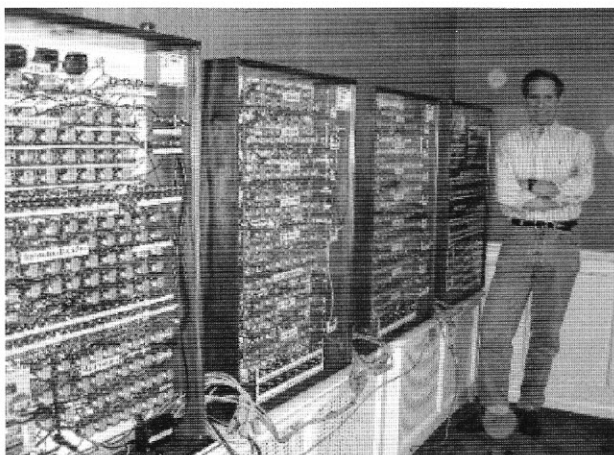
前回もご説明したように、人工知能の主流はコンピューター (computer) で人間の知能を実現しようとするものである。ここでは先ず、コンピューターの仕組みを歴史を遡りながら復習しておこう。

現在は、コンピューターという言葉がデジタル式電子計算機の意味で用いられる。電子計算機を構成する入力装置、演算装置、記憶装置、出力装置の大部分は半導体素子により電圧を on/off するデジタル電気回路である。具体的には膨大な数の半導体素子を小さなシリコン片に圧縮した大規模集積回路 (Very Large Scale Integration : VLSI) がたくさ

ん使われている他、磁気による外部記憶装置、各部に電源を供給するための電源装置、機器の温度を下げるための冷却装置などが組み込まれている。

しかし、世の中にはアナログ式電子計算機も存在する。昔は真空管だったが今は半導体式オペアンプ (operational amplifier: OP Amp / 演算増幅器) が使われており、入出力は電圧で表し、加減算ができる。乗除算は入力をログアンプ (logarithmic amplifier: Log Amp) で対数に変換し、対数どうしの加減算によって計算を行う。

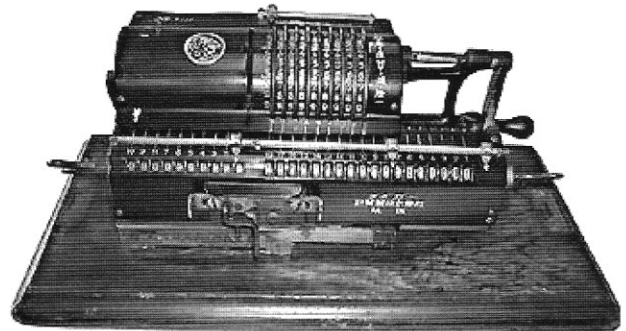
また、コンピューターが電子式だとは限らない。真空管やトランジスターによる電子式のものが出現する前は、電流の on/off で回路を on/off する電磁リレーを使ったリレー式計算機が使われていたからだ。なお、シーケンサー (sequencer) と呼ばれる制御装置や電話の自動交換機もリレー式 (後に接点を十字型交差式にしたクロスバー式に進化) で、同じ原理で動作するコンピューターの親戚であった。



国産のリレー式計算機 (写真: Wikipedia)

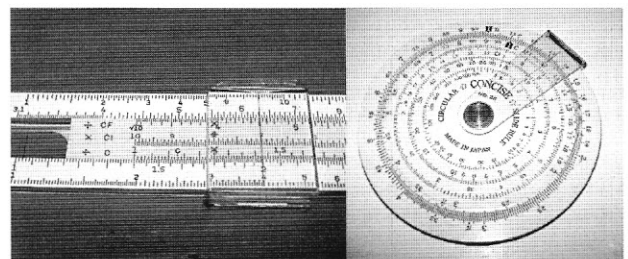
さらに時代を遡れば、歯車を組み合わせた機械式計算機もあった。小型のものは机の上に載り、桁をずらしながらハンドルを回して加減算を繰り返すことで乗除算ができた。私は学生時代に実験レポート

作りに父の宝物だった骨董品のな手回計算機を愛用したが、計算尺では精度が足りない桁数の多い計算をするのに非常に重宝した。



手回し計算機 (写真: タイガー計算器)

計算尺をご存知ない方が多いと思うので簡単にご説明しておこう。対数目盛の固定尺と滑尺 (すべりじゃく)、カーソルとから成り、乗除算や三角関数、平方根、立方根などの計算を行うアナログ式の計算用具である。棒状のものと円盤型のものがあったが、小型で安価な科学技術用電卓 (関数電卓) の出現で絶滅した。概数を知る際や条件を変えながら最適値を求める場合は便利だが精度は低い。皆様ご存知の航法計算盤 (フライト・コンピュータ: flight computer) も円盤型計算尺の一種である。前述のアナログ式電子計算機は、計算尺をアナログ電子回路の電圧で置き換えて実現したものともいえる。



棒状と円盤型の計算尺 (写真: Wikipedia)

人類最古のコンピューターか、といわれる謎の機械がある。1901年にギリシャのアンティキティラ

島沖の沈没船から引き上げられた金属の塊である。正体不明なのでアテネの国立考古学博物館の倉庫の隅で忘れ去られていたが、20世紀末になって再発見された。X線分析を行ったところ、多数の歯車から成る時計のような機械だとわかった。銘版はギリシャ語で、紀元前150～100年頃に作られた天文計算機だろうと推定されている。天動説に基づく惑星の運動や日食や月食の予測も正確にできる優れたものだ。ここでは機械式計算機に分類しておきたい。



アンティキティラの謎の機械
(写真：ギリシャ国立考古学博物館)

＝データ・情報・知識・知恵＝

次に、コンピューターが取り扱う対象についても復習しておきたい。最初はデータ処理、次は情報処理であった。人工知能はその上のレベル、つまり「知識」や「知恵」の実現である。

初期のコンピューターは数値を計算だけの機械で、世界初の真空管式コンピューター ENIAC は砲兵将校のための弾道計算早見表を作成するのが目的だった。文字通り”compute”したり”calculate”したりするだけの機械だったのである。

その後、データの分類や並べ替え、比較、検索、

更新などの複雑な処理もできるようになり、電子的データ処理 (Electronic Data Processing : EDS) システムに進化した。なお、「システム」とは、多数の構成要素からなるひとつの体系 (例:太陽系)、制度 (例:料金システム)、あるいは複数の異なる要素が連携してひとつの機能を果たす仕組み (情報処理組織) などのことである。

そしてさらに処理が高度化して業務全体を処理するようになると情報処理 (Information Processing : IP) システムと呼ばれるようになった。その技術が情報技術 (information technology : IT) である。通信技術 (communication technology : CT) と融合して情報通信技術 (Information Communication Technology : ICT) となり、広く利用されている。

JIS X0001「情報処理用語 - 基本用語」の定義によれば、データ (data) とは「情報の表現であって、伝達、解釈又は処理に適するように形式化され、再度情報として解釈できるもの」、情報 (Information) とは「事実、事象、事物、過程、着想などの対象物に関して知り得たことであって、概念を含み、一定の文脈中で特定の意味をもつもの」である。

コンピューターはかつて「電子頭脳」(中国語では今も「電脳」)とも呼ばれた。それはデータや情報について「頭脳のような」働きをする電子機器だと認識されているからである。しかし、コンピューターは計算や記憶など、人間の頭脳の働きの「一部」を高速で正確に代行することができるが、メカニズムが脳とは全く異なる。完全に同じことができるかといえば、まだまだ前途遼遠である。そもそも人間の脳の構造や働きには未知の部分が少ないし、知能のメカニズムもよくわからないのだから、同じ

ものも似たようなものも、作るのは無理なのである。

人間の頭脳は、千数百億個ともいわれる膨大な数の脳神経細胞による巨大で複雑なネットワークで、血液によって供給されるブドウ糖をエネルギー源としている。また脳内物質の分泌によって、緊張や弛緩、快感や嫌悪感、食欲や意欲などが制御される生化学的 (bio-chemical) なシステムでもある。

人間の頭脳には錯覚や思い込み、妄想、酩酊、忘却などの弱点があるが、教育訓練や生活体験などを通して一般的な法則性、つまり知識 (knowledge) を身に付けることができる。そのうえ、知識そのものを抽象的な形で学習し、それを個別の異なる状況に応用したりすることもできるのである。

知識とは、体験を通して得られた個々の情報に共通する法則性や認識された一般化された概念、考え方、スキルであり、抽象概念として学習が可能である。朝日は東から昇る、完熟したトマトは赤い、電車は鉄のレールの上を走る、などは個々の情報をルール化した「知識」であり、広範囲に適用できる。

さらに、個人的行動の判断基準になる価値観、集団の長期的な秩序や安全、生存にかかわる社会的な規範など (知恵) を身に付けることができる。

人間が生まれながら持っている先天的能力と、その後の学習や体験によって得られる後天的能力の区別はいろいろ研究されているが、まだ完全にわかっていない。しかし、心理的な誘導や圧迫、薬物などによって人間の記憶を消したり別な内容にすり替えたり、行動様式を変えさせたりすることはできる。認知行動療法は、患者の認識を変えさせることでうつ症状や問題行動を軽減させる。「洗脳」や「マインド・コントロール」は、悪意の支配を目的とする価値観や認知の強制的な改変である。

＝データ処理の手順 (アルゴリズム)＝

コンピューターに「知能」を持たせようとする、従来の方式には大きな弱点、つまり限界があった。処理の内容がプログラムに依存するからである。

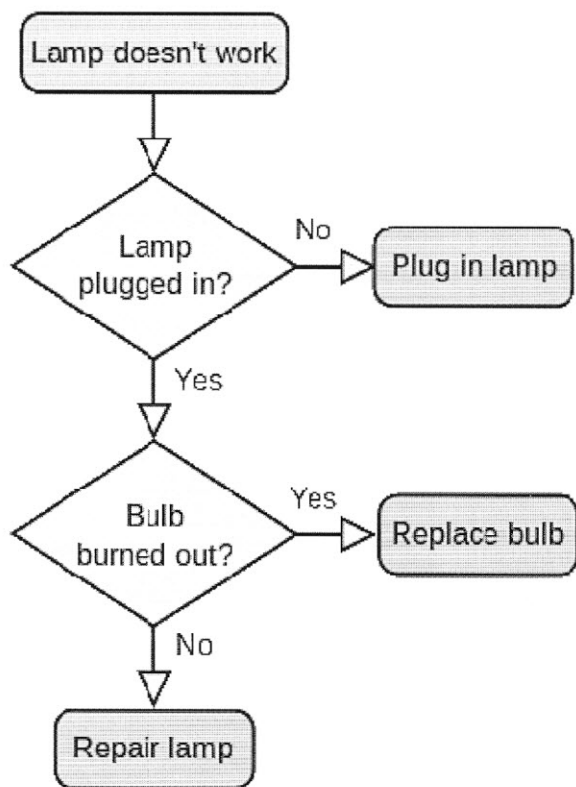
現代のコンピューターのほとんどが、考案者の名前からフォン・ノイマン (von Neumann) 方式と呼ばれるプログラム内蔵方式の逐次処理型である。つまり、コンピューターはあらかじめプログラムで指示された手順に従って処理を実行し、指定された条件を満たす場合にはその指定に従って処理の順序を変える。プログラムを変えればいろいろなことをさせることができるので便利である。しかし、逆にいえばプログラムされたことしかできない。また、プログラムが間違っていれば、その通りに間違っただけの処理をしてしまう。プログラムがなければ「ただの箱」だし、プログラムに無いことは一切できないという「気の利かない」「石頭的な」存在なのである。

初期のプログラムは"01010110"といった2進数(0か1)または8進数(0～7)、ときには16進数(0～9、A～F)で表現する「機械語」で記述されていた。しかしそれでは人間が理解しにくいので、演算装置の動作命令(instruction)を"MOVE"とか"ADD"といった略語で、データ項目はわかりやすい名前を付けて記述し、コンピューターで機械語に翻訳させる「アセンブラー(assembler)」が開発された。しかし、それでもコンピューターの構造や動作原理を理解していないと記述はできず、一般的ではなかった。

やがて普通の英文に近い記述ができる事務処理用言語(Common Business Oriented Language: COBOL)や計算手順を数式で記述できる科学技術用言語(Formula Translation: FORTRAN)、

アルゴリズム研究用の命令型言語 (Algorithmic Language : ALGOL)、構造化可能な汎用言語 (Programming Language One : PL/1) などが開発された。これらはプログラムのソースコードを一度アセンブラー言語に翻訳し、更に機械語にアセンブルするコンパイル型の高級言語である。他に BASIC など、プログラムの記述を解釈しながら実行するインタープリター (interpreter) 型の言語もある。

現在使われているのはそれらの子孫に当たる Java、C 言語、PHP、C++、Perl、Ruby、Python、Objective-C、JAVA-Script、Ada などのオブジェクト型 (object oriented) 言語である。しかしこれらの名前は開発プロジェクトの暗号名や、頭文字をとると宝石や大蛇になる語呂合わせなので、どのようなものなのか



フローチャートにより視覚化したアルゴリズム (写真 : Wikipedia)

具体的にイメージすることができない。それぞれの家系図や特徴などを説明すると長くなるし、本質ではないので、ここでは省略させていただく。

プログラムは「もし A が B と等しければ C の処理をなさい。そうでなければ D の処理に進みなさい」というような手順や条件を順に記述する手続型と、表計算にある三角関数や平均値を求める関数と同様の関数型がある。手続型でも条件が多数ある場合は、対応する処理との関係を表にした「判断表 (decision table)」を参照することもある。こうした処理の手順を「アルゴリズム (algorithm)」といい、フローチャートはそれを図式化したものである。

コンピューターのプログラムは、人間の仕事を記述した業務マニュアル、あるいは料理の材料と調理手順を記述したレシピと同様な内容構成である。

ハンバーガー店などでは業務を科学的に分析し、最適化した標準的な手順を適切にマニュアル化して教育を徹底している。だから定常状態ならアルバイト店員が中心でも店舗全体が効率よく回り、お客様に好感を持たれる形式的な接客ができるのである。大事なことを忘れないよう「ニッコリ笑顔」とか「飲物も勧めましょう」など書いたカードをカウンターの内側に貼って補足してあるのを見かける。

しかし、何か通常とは異なる事態が起きた場合、マニュアル頭のアルバイト店員では対応できない。あらゆる事態を想定した詳細なマニュアルを作ることとは理論的には可能でも実際にはできないし、それを全員が理解し、適切に実行できる状態を維持するのは不可能に近いからである。だから、何か対応方法がわからない事態が起きたら、すぐに店長に報告・連絡・相談するように指導している。

ベテラン店長なら社会人としての常識が豊富で、

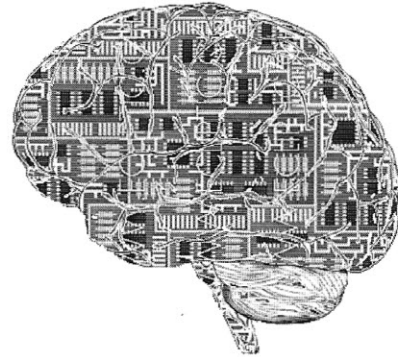
管理職として経営管理や業務遂行に関する豊富な知識と様々な難しい状況に対処してきた経験があり、会社の経営理念や基本方針も熟知している。全く同じことが繰り返される訳ではないが、長年の間には似たようなことがときどき起こるので、その経験を応用すればたいの事態に適切に対応できる。それでも問題を解決できなければ、地域統括マネージャーに連絡して相談すればよい。どんな難問でも見事に解決してくれるはずだ。

これと同様な状況をコンピューターで実現しようとすると、起こり得る条件をすべて考慮した膨大なプログラムと精緻な判断基準のデータが必要になる。それでも想定外のことが起きる可能性があり、人間なら何等かの対応ができてコンピューターはお手上げになることが少なくないだろう。

人工知能 (Artificial Intelligence) という言葉が最初に使われたのは 1956 年に開催された国際会議だが、17 世紀のライプニッツなどから始まった人間の思考は数学的な論理で記述できるはず、という楽観的な期待の延長にあった。プログラミングにはポーランド記法による高水準プログラミング言語 LISP (list processor) などが使われた。その後 1970 年代の半ばまでは第一次人工知能ブームと呼ばれる熱狂的な時期が続いたが、やがて「第一次冬の時代 (1974 ~ 1980 年)」とよばれる失望の時代が来た。それまで膨大な資金を提供していた政府系研究所が、期待した成果が出ないからと支援を止めたからである。

初期の人工知能の研究では、いかにコンピューターを「賢く」して人間に近づけるかという数学的なアルゴリズムの開発に注力したが、それだけではごく限られたことしかできなかったのだ。また、当

時のコンピューターの処理能力と記憶容量では、実用にはほど遠いという状況もあった。たとえばある自然言語処理プログラムはわずか 20 の語彙しか扱えなかったというから、学者の基礎研究としては貴重だが、ものの役には立たないことが明らかである。



＝知識ベース＋推論機構による人工知能＝

その後、さまざまな「知識」つまり定式化された「ルール」をコンピューターが扱える形で記述して蓄積し、「推論」を行わせることで答を出す「エキスパート・システム」が有望であることが明らかになった。1980 ~ 1987 年という短い期間だが、第二次ブームと呼ばれるブームが起こったのである。

背景には、1960 年代初期に提唱された「論理学が人工知能に応用できるはず」という考え方が単純な定理を証明するだけのプログラムでも天文学的なステップ数 (プログラムの行数) を必要としたのに、ルールの考え方によれば容易に実現できることがわかったからである。1970 年代に開発された PROLOG (programmation en logique : フランス語で「論理を使ったプログラミング」の意) という論理プログラミング言語が突破口になった。なお、エキスパート・システムという名前は、特定の領域における知識を専門家から聞き出して抽出した論理ルールを使い、推論することから来ている。

推論には、一般的な法則から結果を導く「演繹法」

と、多くの事実から法則性を導く「帰納法」がある。「ソクラテスは人間である」という事実と「人間は死ぬ」という法則性から「ソクラテスは死ぬ」と予測するのが演繹法、「人間ソクラテスは死んだ」「人間ナポレオンも死んだ」といった事実から「人間は死ぬ」という法則を導くのが帰納法である。

一般的な推論の例として、医師による虫垂炎の診断を考えてみよう。虫垂炎になると、初めにみぞおち付近に痛みが出て、時間が経つと右下腹部に移動することが多い。圧痛点と腹膜刺激兆候に特徴がある。また、食欲不振や吐き気、発熱がある。白血球数が増加し、CRP値が上昇する。超音波検査やCT検査で診断できる。進行すると穿孔して腹膜炎を起こす、というのが医学的な知識だとする。虫垂炎だとわかった患者の今後の症状の進行を予測するのが「順推論」である。

逆に、右下腹部の痛みを訴える患者を診察する医師は、経過と体温、白血球数、腹部の触診などにより虫垂炎の可能性が高いと判断し、超音波検査やCT検査で診断を確定する。このように結果から原因を推定するのが「逆推論」である。

わが国では、通商産業省（現・経済産業省）が1982～1992年に570億円をついやして「第五世代コンピューター」を開発する国家プロジェクトを実施した。第一世代が真空管、第二世代がトランジスター、第三世代が集積回路（IC）、第四世代が大規模集積回路（VLSI）によるものと定義されていた時代である。しかし、この第五世代コンピューターは「述語論理による推論を高速実行する並列推論マシンとそのオペレーティングシステムを構築する」というものであった。プロジェクトの検討は1979年に開始され、当時の電子技術総合研究所（略称「電

総研」。現・産業技術総合研究所）で進められていた述語論理によるプログラミングの研究チームが中心になり、国産コンピューターメーカー各社の研究所から研究員が出向する形で（財）新世代コンピューター開発機構（ICOT）が設立された。

私は当時、大手シンクタンクのシステム部門に勤務していて、同じ企業系列のコンピューターメーカーに部下の3名の若手研究員を出向させる形で間接的に参加した。とはいっても、その際の研究メンバーの条件が年齢30歳未満で、頭の固くなったオジサンは要らないという方針だったので、週に一度、工程進捗会議に出席するだけであった。もっとも、もし私が30歳未満だったとしても能力不足でメンバー候補にはなれなかつただろうと思う。

このプロジェクトではまず、個人用逐次推論マシン PSI (Personal Sequential Inference Machine) とそのオペレーティングシステム SIMPOS (SIM Programming and Operating System) を開発した。SIMPOS は PROLOG にオブジェクト指向プログラミングを取り入れた ESP で記述されていた。その後、複数の PSI を相互接続した並列推論マシン PIM (Parallel Inference Machine) が構築され、核となる言語 LK1 による POIOS も開発された。

このプロジェクトは「当初の目標を達成した」として、予定より1年延長して1992年に完了した。しかし、学術振興と人材育成には寄与したが、成果が産業界に影響を与えることは無かった、という厳しい評価もあった。人工知能の応用の進展が妨げられているのは十分な知性を持った人工知能ソフトウェアが存在しないからで、強力な推論マシンが無いからではない。技術面では成功したかもしれないが、市場での応用につながらなかったのだからプロ

プロジェクトは失敗だったという批判もある。専門雑誌「日経コンピューター」がこのプロジェクトを総括した特集記事で失敗だったと断定し、同社の記者は通商産業省に出入り禁止になったという、まことしやかな噂が業界を駆け巡ったことが印象に残っている。

私に関わった人工知能システムはもうひとつある。大手造船会社による共同研究で試作した「超自動化船シミュレーションシステム」で、(財)日本船舶振興会(現・公益財団法人日本財団)から競艇の収益金による補助金をいただいた研究であった。造船会社の方々の人工知能に関する勉強会の講師をお引受けしたのがご縁の始まりで、16～18名の乗組員がいる大型タンカーを2名で運航できる人工知能システムを研究し、シミュレータを試作したのだ。

実は「超自動化船」という用語や概念は1970年代から使われており、ミニコンピューターを使った航法システム(衝突予防を含む)や荷役システム、機関制御システムなどを搭載した船のことだった。

私に関わったのは1983～1984年で、家庭用大型冷蔵庫位の大きさのスーパーミニコンでPROLOGによる操船シミュレーションを行うシステムであった。想定したのは日本に原油を運んできた大型タンカーが東京湾の浦賀水道を北上し、川崎港の岸壁に接岸するシナリオで、知識ベースの構築には海外航路で大型船の船長を経験され、パイロット(水先案内人)として活躍中のベテランの方々からご協力をいただいた。これには造船各社の技術者の方々、造船会社から出向して私の部下になっていた航行制御システム開発経験のある方の「通訳」も非常に役立った。エキスパート・システムの構築で一番大切なのは、専門家の知識を抽出して定式化する作業である。航空と共通する部分が多少あったが、船につ

いて素人だった私にはすぐには難しい仕事だった。

この第二次ブームも短期間で終わってしまい、大きな失望感や不信感を残したが、一部の領域では実用的なシステムが開発され、それなりの有効性が認められた。たとえば、オフィス用多機能コピー機の故障診断システムや各種ロボット、医療における診断支援システムなどである。ただし、診断システムについては誤診の場合の責任の所在や医師以外が診断してよいのかなどの法的な問題があり、医学教育のツールの位置づけに留められた。

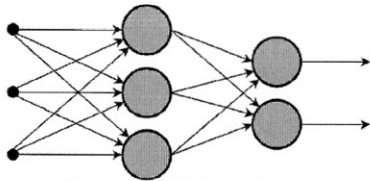
＝ニューラルネットによる深層学習＝

ニューラルネットワーク(neural network: 神経回路網)とは、脳細胞の働きを模擬(シミュレート)する数学モデルである。本来は生体の脳を生物学や神経科学の視点でモデル化したものだが、近年ではデジタル電子計算機でシミュレートする場合が増えたため、人工神経回路網(artificial neural network)と呼んで区別することもある。

ニューラルネットは古くから研究されてきたが、当初はコンピューターの性能が低すぎでごく簡単なことしかできない時代が長く続いた。しかし、最近ではコンピューターの性能が飛躍的に向上したこと、複数のニューラルネットワークの階層化により自動的に学習させる方式が開発されたことにより急速に発展し、実用化の領域に入りつつある。最近の流行語である深層学習(deep learning)という名称は、複数のネットワーク層を重ねた多層パーセプトロンのモデルで自己学習ができる仕組みだからである。

人工知能システムを構築する際の最大の課題は、アルゴリズムや知識ベースを構築すること、つまり

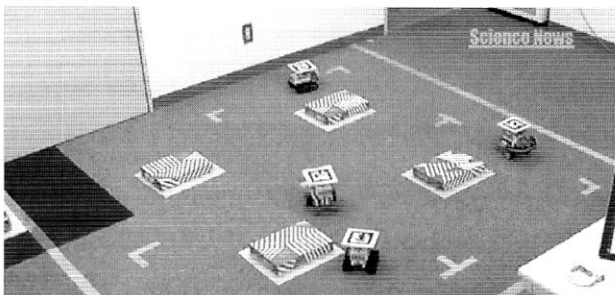
システムに知識を教えることである。そして、知識ベースが根拠の場合、人間が手にあまる複雑な推論は行えるが、知識以上のことはできないのである。



多層パーセプトロンの模式図 (図: Wikipedia)

しかし自動学習には落とし穴もある。世界最大手のネット企業が強力な深層学習機能を持つシステムを開発し、ネット上にあるあらゆる知識を学習するようにと放任したら、システムがいつの間にか過激な人種差別思想に染まってしまったのである。世の中には理不尽なことも悪事も矛盾も山ほどあるので、事柄の善悪を教える必要があるのだ。これは簡単な自動運転システムでも同じで、他の車両と出会ったら減速するか方向を変えて回避するか、あるいは一時停止して衝突を避けるべきなのに、強引に前進すれば相手が減速したり一時停止したりすることを学習してしまうおそれがあるのである。あらかじめ運転マナーを教えておかないと、早く目的地に着くために強引に危険な運転をしたり、全体としての渋滞を増やしたりしてしまうからである。

問題がもっと高度で複雑な場合、個々の効率と全



衝突を防止しながら運転を自己学習する交通シミュレーション (写真: サイエンス・ニュース)

体の効率をどうバランスさせるのかといった価値観、他に犠牲を強いることのないマナー、場合によ

ては社会全体の倫理感や道德感に関わる問題が起きてくる。安全性やリスクに関係する問題の場合は、宗教や哲学などの本質的な議論が必要なこともあるだろう。そうした判断基準を教えるお師匠さんの機能(人間かシステム)が関与せず、役に立つ(儲かる)行動を自己学習に任せると、自己中心で身勝手な行動をするわがまま人間のような人工知能システムが育ってしまう恐れがあるのである。

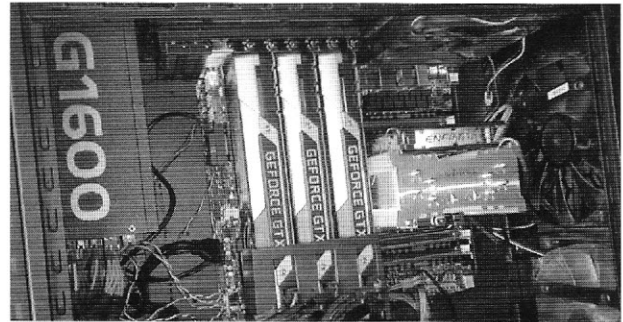
人間でも判断に迷うことがある。刑法には、緊急時には人命や財産を守るために違法なことをしても罪に問わない、という「緊急避難」の規定がある。倒れている人を助けようと人工呼吸をしたら肋骨を折ってしまった場合、人命救助を目的とした行動なので傷害罪には問わないというようなことなのだが、中には危険を恐れて救急車が到着するまで何もせず、見守っているうちに死なせてしまう場合があるかもしれない。数年前に、重体の患者さんを治療したが助けられなかった産婦人科医が業務上過失致死で起訴される事件があり、産婦人科の医師のなり手が激減したり、重症患者の受け入れを拒否する救急病院が増えたりして大きな問題になったことがある。人間に起こり得るこの種の問題は、人工知能システムでも大きな問題になるが、今のところ社会的な合意は成立していない。例外的に法律的な視点で検討が進んでいるのは、自動運転している自動車が事故を起こした場合の責任の所在である。現時点では自動車とは運転手が運転するものであるという国際条約上の定義があるので、運転手が必要な注意を払い、危険な状態になったら回避措置をするというレベルで、完全に無人の場合については議論中とのことである(道路交通法の適用外である私有地構内での無人運転車両は既に実用化した事例がある)。

＝記憶容量と処理速度のネック＝

コンピューターの性能は過去何十年もの間、1年半～2年で2倍という驚異的なスピードで向上してきた。この計算によれば、控えめに見ても10年で32倍、20年で1,024倍、30年で32,768倍、40年では百万倍である。人工知能の発達はそうした性能向上に助けられた部分が多いが、囲碁や将棋で何百手も何千手も先まであらゆる可能性を計算しようとするときすぐパンクしてしまう。過去に行われた膨大な数の試合の棋譜をすべて記憶させることはできるが、その中から今の盤面の参考になる場面を探し出すには時間がかかる。だから、効率よく必要なデータを探し出し、必要最小限の計算をする特別な工夫（検索技術）が必要なのだが、やはりコンピューターそのものの性能も欲しいところである。

対策のひとつに、コンピューターをたくさん並べて同じ処理を並行的に実行することがある。スーパーコンピューターを使う科学技術計算では、同じ計算を並行して行っても同じ結果になるもの、つまり結果が処理順序に左右されないものが多いので、数百、数千の演算装置を並べて高性能を実現している。ニューラルネットワークによる人工知能のように特定の処理に限定される場合なら、何でもできる汎用のコンピューターを使っていちいちプログラムを読みだして順に解釈しながら実行する必要はなく、特定の処理専用の演算装置を作れば実行が桁違いに速くなる。そして、それを多数並べて並行処理させれば全体としてもう何桁も速くなるはずである。最近、そうした発想で設計されたディープラーニング専用チップや、そうしたチップを複数個搭載した専用機が出現している。量産によって価格も手

頃（高級乗用車よりも安い！）、机の上に置ける小さなものである。皆様もおひとついかがだろうか。



ディープラーニング専用機（写真：NVIDIA）

次回は人工知能の実現を支える理論と関連する技術についてご紹介する予定である。



（続く）