

ロボット工学・AIの進歩と医療の将来

メタデータ	言語: ja 出版者: 公開日: 2020-12-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 勝部, 憲一 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.50818/00000002">https://doi.org/10.50818/00000002</a>

## 【総説】

## ロボット工学・AIの進歩と医療の将来

Progress of the robotics and the artificial intelligence and the future of medicine

勝部 憲一

Ken-ichi KATSUBE

## 要 旨

現在ロボットや人工知能（AI）の開発は急速に進み各種産業にも重大な変革が起きているが、医療もその例に漏れない。医療用ロボットは大きく運動機能補助型と手術補助型があり、いずれも医療全体に与える影響はますます大きくなる。AIの医療への適用として上げられるのが診断補助とコミュニケーション補助で、特に診断は将来人間にとって代わる可能性もある。これらの発展を支える情報科学の発展も重要で、最近急速に展開をみせる量子コンピュータの実用化が進むと人間とほぼ変わらない処理能力を発揮する可能性がある。しかしこれらの機器はすべて電力で動くことを考えると、停電時の対応が今まで以上に重要になる。最近続けて起こる大災害への備えも重要な課題である。

キーワード：ロボット工学, AI, 医療, 電源, 量子コンピュータ

## I はじめに

多くのひとが実感していると思うが、この10年くらいで街で見かける高齢者の数が急速に増えてきた。日本の人口減少と少子高齢化は欧米など他の先進諸国と比べて深刻な状況になっていることは、すでに言われて久しい。今からおおよそ20年後の2040年、もし私が生きていたとすれば80歳に到達していて、堂々たる後期高齢者の一員である。その時代の想定人口構成では2.8人に1人が65歳以上、5.0人に1人が75歳以上となっている<sup>1)</sup>。ここまで高齢者の比率が高くなると、今までのように60歳定年制では退職世代を現役世代が支えられなくなるのは必定である。65歳までフルに働くのが当然、できれば70歳まで働かないと、日本の財務を賄いきれない。政府が今必死に旗振りしている70歳まで働く態勢が実現したとしても、出生数減ともなると若年者人口が減少することは避けられない。しかし退職世代の問題はそれだけでない。私が医学生だった1980年代前半、病理学の講義で「アルツハイマー病」を習い、そういう痴呆症（今でいう認知症）が存在することを初めて知った。当時アルツ

ハイマー病という言葉自体、一般の人々はまったく知らなかったと思う。しかし痴呆症が認知症と名称が変わった2004年以降この病気の患者は増える一方で、アルツハイマー病は医療関係者でなくても普通に知っている言葉になった。しかもそれは単に言葉だけの問題ではない。街中のスーパーのレジで、前の高齢女性がレジ係から言われた金額のお金を財布から出そうとして出せず、呆然としているのに出くわすことも稀でなくなった。厚労省の推計では2025年には70歳以上の高齢者の5人に1人が認知症（軽度認知機能障害を含む）を患うとされており、ますます重要な問題になってくる。がんや脳血管障害で身体や運動機能に深刻なダメージを被らなかったとしても、高齢者が若い時と同じように生活することはきわめて難しい。

減少する生産者人口と増加する退職者・高齢者人口の影響は教育や産業などあらゆる方面に影響を与えるが、その中で医療が受ける影響は特に大きい。医師や看護師といった医療者の中で唯一入学定員が増加してきた看護師も、少子化の影響でその増加も頭打ちになってきた。限られた医療リソースを最大限に活かして医療を維持、あるいは今以上に発展させるためにはどうしたらいいのだろうか。その切り札のひとつが近年急速に進歩してきたロボットや人工知能（AI）の

東都大学ヒューマンケア学部看護学科  
E-mail: ken-tmd@umin.ac.jp

援用である。本論文ではロボットやAIの医療への応用の現状を紹介するとともに、それらの背景にある情報科学の進歩についても論じる。

## II ロボットと医療の現状

いわゆる運動的な機能をおこなえる機械として医療ロボットを定義するなら、その用途は大きく2つに分かれる。1つは身体運動の障害や衰えを補助してくれるパワースーツ型ロボットで、もう1つは外科手術をおこなう際に操作を補助してくれる手術支援ロボットである。

パワースーツ型ロボットに関しては軍事方面ではすでに広範な実用化が各国でおこなわれており、医療用も最近開発が進んできた。日本でも筑波大で開発された装着型の歩行機能補助ロボットがよく知られている。今はサイバーダイナミクス社という筑波大発のベンチャー企業が開発にあたっている<sup>2)</sup>。HALと呼ばれるロボットだが、最近までは運動機能障害があるひとへの装着よりは、機械が持てる大きい力を利用して健常者の運動機能補助の側面が強かった。介護や看護の現場は女性が多いが、身体が自由が効かないひとの介護をするには力が必要である。そういった場面で装着型の補助ロボットは非常に大きな役割を果たすと期待されている。現在HALは検知器の開発と装着で新たな段階に進んでいる。皮膚に装着させる微弱電流の検知器を用いて、末梢神経の活動電位を解析してその指示に従った運動をおこなうことができるようになったのだ。その結果装着者がイメージした神経興奮に従った運動補助ができるようになってきている。微弱でも末梢神経に活動電位が生じることが前提となるので、筋萎縮性側索硬化症や脊髄性筋萎縮症などの進行性筋・神経変性疾患が治療対象となっている。ところが脊髄損傷の患者でもこの改良型HALが適用され、自力で歩くことができるようになったという報告もされている<sup>3)</sup>。これは驚くべき成果で、運動を補助することで得られる筋運動から感覚信号がフィードバックされた結果と考えられている。つまり運動・感覚の反射弓が支援され、最終的に自発的な運動が引き起こされたと思われる。しかも運動能の回復だけでなく、排尿・排便といった自律神経系の調節機能まで回復したとされており、HALが単なる運動機能回復にとどまらず神経系全体の再生治療の側面にも入っていったことになる。高齢者の老化では運動機能と知的機能は密接な関

係があり、どちらも片方だけでは改善が図れない。運動機能に関してもっとも重要なのは、歩行である。筋力そのものを完全に補助してしまえば車いすと変わらないが、姿勢や左右のバランスを保ちながら歩行を促すという意味でロボットの支援は重宝されるはずだ。運動障害はその程度や部位は個人個人で異なり、スタンダードの規準だけでは扱えない。その意味でやはりAIの導入は非常に重要な要素になると考えられる。そのためにはまず正常な歩行を機械だけで再現できるかが課題となる。歩行というとき普通のイメージでは大腿を左右交互に前方に押し出す運動だが、実はそう簡単ではない。股関節を中心に左右に交互傾きながら重心を変えており、複雑な制御がある。歩行するロボットの開発はかなり進んでいるが、人間の歩行を完全に再現することにはまだ成功していない。

もう1つの医療用ロボットは手術支援型ロボットである。この種のもので開発が先行したのが、アメリカのインテュイティブサージカル社である。この会社の成立は1991年の湾岸戦争でアメリカが負傷兵の手術を遠隔操作でおこなえないか研究を進めたことが起源である。湾岸戦争が当初の予想より早く終結したためにこの研究で進んだ技術を使うあてがなくなり、それが民間転用されてできたのがこの会社である。現在この会社が開発を進めたダヴィンチ (Da Vinci) と呼ばれる手術支援ロボットが世界的に有名である。発祥地のアメリカでは2000年アメリカ医薬局で承認されて、その後EU各国でも20年前から導入が進んだ。日本では2001年には慶應義塾大学附属病院の消化器外科での治験が始まった<sup>4)</sup>。しかしながら2005年フランス・リモージュ大学医学部外科学の教授を日仏研究交流助成 (日仏会館主催) で来日し、慶應義塾大学でも講演をおこなった時思いがけないことがあった。リモージュ大のMuriel Mathonnet教授がダヴィンチがヨーロッパ各国の病院で導入されていることを紹介した。リモージュ大病院の各種外科手術でも積極的に援用されていることを紹介し、その有用性を力説した。日本の病院での導入状況の質問があった。しかしまだ導入していないという教室が多く、今後の導入検討にも「あまり必要性を感じない」と消極的な発言もあった。同じ大学内でも手術ロボット導入に関して随分温度差があったことがうかがえる。ちなみに2001年慶應の消化器外科で使用されたダヴィンチは同大・外科学教室の古川俊治が個人的にアメリカから輸入したものである。1億円以上する機器をいち早くアメリカから導入

したという話を聞いていたが、今回この文を書くために調べるまでそれがダヴィンチのこととは知らなかった。古川は筆者の同級生で多方面で活躍しているが(2020年現在参院議員)、彼の慧眼には改めて敬服した。前記のような事情があったものの、その後2020年現在日本でも日本でもかなり普及してきた。ダヴィンチの有用な点は人間には得られない視野から細かい手技を正確に繰り返しおこなえる点である。また人間の手のふるえを補正することができることも大きい。外科医の場合年齢がある程度いくと手ぶれが大きくなることは避けられないからだ。手術用ロボットの開発をおこなう会社は欧米に数社あるが、ダヴィンチはその中で圧倒的にシェアが大きい。しかし実はダヴィンチが持つ特許の期限が目前に迫っている。ダヴィンチが持つ特許は多数あるが、それらが2020年から順に期限切れとなる。そのためこの10年ほどは新興のロボット開発会社が続々と新機能開発で名乗りを上げると予想されており、今後手術用ロボット開発はさらに進むだろう。しかし弱点もある。日本での手術用ロボットの保険適用は2012年の前立腺に始まって2018年は胸部・腹部の手術8種類に拡大した。しかし血管走行が複雑で変異が多彩な肝臓などでは依然として手術用ロボットが進出していない。そのような変異が多い臓器の手術では単に手術補助機能だけでなく、後述するAIによる解析能力も必要になる可能性がある。現時点でダヴィンチ後のロボット開発がどう進むか予測するのは難しいが、そういう複合的機能を一体化したロボットがひとつの目標になることは間違いない。

人口の高齢化は患者だけの問題でなく、医療者の方も年々高齢化が進む。介護や手術など身体を使う医療現場で、高齢になった医療者の働ける側面はどうしても狭くなる。そういう時ロボットの補助は大きな意味を持つと期待されており、現在非常に高額な手術用ロボットの費用対効果の問題があるにしても導入がますます進むと考えられる。

### Ⅲ 人工知能(AI)と医療の現状

最近人工知能(AI)の発展がめざましく、ニュースでもよく紹介されるようになった。その中で囲碁や将棋でAIが世界的な強豪を相手に互角に戦い、特に囲碁ではプロですら圧倒する強さを示したのは記憶に新しい<sup>5)</sup>。人間の場合記憶を完全に保持することは困難だが(実は忘れる機能こそが人間の思考力を支えると

する説すらあるが)、機械の場合壊れることがない限り忘れることはない。某大な過去のデータを完全に記憶することが、コンピュータの強みである。ただしこれだけでは単なるハードディスクの性能で、従来のパソコンでも十分備えている機能である。AIのもうひとつの重要な特徴が深層学習(deep learning)と言われる推理力を含む演算の自己学習プログラムである。普通のコンピュータに組み込まれるプログラムは決められた演算をおこなうことしかできない。無論プログラム更新はできるが、それは外部から人為的に操作して改変を植え込むだけで、コンピュータ自身が内部のプログラムを改変することはできない。しかしAIのプログラムは与えられるデータの解析を通じて自身を変えるように仕組まれたプログラムである。ゲームの場合過去の対戦データを記憶し、その結果の勝敗と付き合わせて勝つことができる選び方を繰り返し検討することで、もっとも勝率が高い選び方を選んでいくことになる。人間である場合対戦時の個人的なくせが当然あり、勝率が高い選び方をランダムに選ぶわけではない。どこまでをデータとして取り扱うかで変わってくるが、推論機能とはその部分を指している。

医療にAIを適用する場合、人間の能力を確実にしのぐと考えられるのが、診断である<sup>6)</sup>。現在の診断はほとんどの方法で数値化が可能である。つまり規格化されたデータとして処理することができるため、AIが最も得意とするゲーム勝率を高めることと共通性が高い。なおかつ人間と違って膨大な過去のデータを間違いなく記憶しているため、そのデータ収集力と保持に関して人間は絶対になかない。血中濃度や身体各スライスでの画像診断など規格化可能なデータなら、AIの診断の方が人間より遥かに速くなると予想できる。しかしながらすべてAIに任せて診断することが可能かと言われると、難しい部分もある。病理組織診断では正常組織を含む病変から診断をおこなうことになるが、どこの部位から診断をおこなうか人間ならおおよその感覚で選べる。またははっきりと病変と認定できないような検体と判断して再度の採取を依頼することもできる。人間なら特に問題ない普通の診断能力だが、この「問題と思われる部位を検出する」能力が今のAIには非常に難しい作業なのだ。つまり「問題がある可能性がある部位」の判定ができない。従って今のところ病理診断に関しては人間がおこなう診断の補助としての働きが限界と思われている。前記した囲碁や将棋のようなゲームでは盤盤あるいは棋盤のような

「枠」があるから、AIの能力が最大限発揮できる。

#### IV 医療従事者の教育とロボット・AIの活用

以上で述べてきたように、ロボットやAIの活用は今後の医療で重要な地位を占めるのは確実である。人口高齢化の圧力もあり非常に速いペースで開発と導入が進むと考えられるが、医療従事者の教育がどのような対応だろうか。実は心許ない状況である。まず大病院ではダヴィンチの導入が進んでいるが、その機器利用のためにトレーニングを体系的におこなうところはまだまだ多くない。現在藤田医科大・富山大など限られたところしかない。ダヴィンチを利用する場合開発会社と学会で共催する講習会に出席してトレーニングを積むことが義務になっているが、実際に使用する場合経験者が現場で助言や介助をおこなうことは義務でない<sup>7)</sup>。その結果医療過誤が起きて患者が術後に死亡してしまった例もある<sup>8)</sup>。この事例の問題はダヴィンチのロボットアームには圧迫などの感覚を術者に伝えるシステムがないことで、術医は他臓器の圧迫に気づけなかった。有用な方法だが、事故がないように十分な教育環境を整えていく必要がある。特に今後ダヴィンチ以外のロボット機種開発が続々と始まることを想定すると、安全性確保のための開発ガイドラインの作成は急務であろう。

AI利用に関してはロボット以上に未知の部分が多い。まずAIが医療のどこで活用されるかがまだはっきりしない。大量データの処理を得意とするので診断学での活用は間違いないが、それにどの程度依存できるのかははっきりしない。もし医師の代わりにAIが診断を務めることが可能ならば、その診断をもとに看護師のような他の医療職でも適切な医療をおこなうことができる。医療人材が不足する現在、そのような分業で活用できればとても有用である。しかし機器である以上誤作動などのエラーをゼロにすることは人間同様に不可能で、解析結果を適切に理解する能力も求められる。日本の教育では基礎的アルゴリズムの作成はすでに義務教育でおこなうように進められている。しかしAIのような高度プログラムについての教育は医療系学部ではおこなわれていない。今3年制教育の看護師教育でもそのような高度な計算科学の教育の時間を充てることは非常に難しい。現在の状況なら大学院あるいは専門職教育課程でおこなうことが妥当と考えられるが、どの程度の経験や知識レベルに合わせて教育

をおこなうのが妥当か今後早急に検討する必要がある。AIの活用が今後期待されるもうひとつの分野は臨床工学である。臨床工学技士は臨床で扱うさまざまな医療機器を総合的に管理する専門家で、呼吸・循環管理装置、人工透析装置など複雑な機器の管理者である。そのニーズは手術管理だけでなく術後管理など広範にわたっており、きわめて重要な職種である。しかし臨床工学技士の数はあまり多くない。一つには臨床工学技士になるには数学や物理を中心として理数系科目に関して学力が求められることにあって筆者は考える。高校レベルの理数系科目の知識を十分学び、その上で微分方程式や波動についても深い理解が求められる。

#### V 今後の展望

ロボットやAIの利用が医療に与える一番大きな影響は、「規格化」だと考えられる。つまり高度な技術をそのような機器で実現するというより、医療者の能力を支援してどのような者であっても標準的な医療を実施できるようにすることである。無論高度な技術や莫大な情報利用といった機械でないといけない能力もあるが、現在の機器の水準ではあくまでも医療者の補助機能としての側面が大きい。医療者は人間である以上、能力のある程度の差が存在することは当たり前である。また国や地域によって医療者の質や量が大きく異なる。日本のような先進国はともかく、開発途上国では医療の格差はその国の中であっても非常に大きいのが実情である（都市と地方など）。そういった差を埋めていくと考えられるのがロボットやAIの活用である。今日本では少子高齢化が大きな問題になっているが、いずれ世界のほとんどの国々で共通した問題になるはずである。このようにロボットやAIが医療を支える場は今後ますます拡がり、欠くことができない存在になっていくと予想できる。しかしそうなればなるほど人間の機器への依存度は増していく。ここで忘れてはならないのは、こういった機器はすべて電子機器で演算や運動機能のすべてが電気動力によっておこなわれることである。2019年は災害の多かった年で、特に度重なる大型台風の来襲は地球温暖化の顕れだと言われている。台風15号では千葉県をピンポイントで襲い、電柱などの倒壊で長期間の停電に見舞われた（令和元年房総半島台風と命名された）。また2011年の東日本大震災では福島第一原発の事故に起因して、

東京電力の管内では長期間の計画停電が実施されたことも思い出す。2018年の北海道胆振地震では道内全域の停電で、数日とはいえスマホなどのネット機器が使えなくなり深刻な情報遮断が起こったことも記憶に新しい。世界には西ヨーロッパのように自然災害が少ない場所もあるが、日本の場合今後も災害とは切っても切れない関係にある。そのような環境で電気への依存度が増す一方となると、万一の場合のリスクや不自由さが計り知れない規模になるだろう。災害時にいかに電源を確保するかは過去と比較にならないくらい重要な課題になっている。病院では規模が大きいところでは非常電源設備があるが、ガソリンなどで起動する場合、燃料を補給できないとせいぜい2日程度しか確保できないことが露呈した。また非常電源設備の定期点検をきちんとしてなかったために故障して使えなかった施設もあった。こういう状況下で注目されたのが自動車である。自動車のバッテリーを電源として使えば、電源車のような特殊な仕様でなくても電子機器使用程度なら十分長時間充電に使えることが証明された。また自動車なら移動して給油することができる。ロボットのような運動機能としては不十分だが、数台を共有する方法もあるだろう。またアフリカのような電気確保が難しい地域では小型の太陽電池の利用によるスマホの普及も検討されている。今やや下火であるが燃料電池の普及を図る発想も重要でないだろうか。いずれにしても孤立した状態で電源をどう確保するかを検討するのは、ロボットやAIの開発と同じくらい、いや産業インフラ面ではそれ以上に重要な課題が非常時の電源確保である。

現在コンピュータの世界では量子コンピュータという革命的な変化が起きつつある<sup>10)</sup>。量子というのは物質の最小単位の素粒子の世界だが、不確定性原理という独特の性質がある。つまり素粒子は測定によって特定の位置が決まるが、現実には雲のような形である確率で一定空間に存在している。現在のノイマン型コンピュータでは演算装置は全か無かに従って0101という二進法の積み重ねで計算をおこなっている。しかし量子を基盤においた演算装置を設計すると、確率的に0と1の中間状態が生まれてくるのでそれによって演算をおこなうと無限に細かい区分がなされてくる。膨大な計算をおこなうのに適した構造になり、しかも高速でおこなうことができる。2020年現在ではgoogleが初期段階の量子コンピュータ開発に成功したに過ぎないが、中国ではすでに国家的に大規模な予算がその

開発に投入されている。今後20年といったかなり近い将来で量子コンピュータは実用化されると予想されており、そうなる今今のスパコンレベルを遥かにしのぐ計算量と速度になる。今までロボットの制御やAIの診断にかかっていたデータ計算速度の制限が事実上なくなる可能性があるのだ。そうなった時に器械がおこなう医療にも革命的な変化が生じている可能性が高い。そのような将来我々はどうのような生活をしているのだろうか、現在の我々よりも幸福なのかどうか知りたくなる。序言で述べたような認知症をわずらう人々の一瞬の動作や言葉を人間以上の速さで理解し、それに対応した反応ができるようになるかもしれない。それどころか認知症のひと自身の意思を読み取り、さらにそれを補助して社会的な不都合さを改善していくことも可能だろう。そのようなことを実現した時、果たして目の前にいるひとが自分自身の意思を示しているのか、それとも器械が最適と考えて提示した言動・行動を示しているのか識別できなくなっているかもしれない。そのような想像をすると、今後のロボットやAIに主体性を持たせなければならないケースについては、適宜人間によるチェックポイントを設定するということが課題になるかもしれない。アシモフがロボット3原則で掲げた「ロボットは人間に危害を加えてはならない、ロボットは人間に与えられた命令に服従しなくてはならない、それらに反しないかぎりロボットは自らを守らなくてはならない」の実行が危うくなるような事態は避けなければならない。

## 文献

- 1) 山本幹枝, 和田健二: 認知症有病率の時代的推移—洋の東西の比較, 日本老年医学会雑誌55巻4号, p.547-552, 2018
- 2) 木村元紀, 広重隆樹: 特集2035年には10兆円規模にまで成長する「サービスロボット市場」最前線—安川電機/パナソニック/サイバーダイナミクス/ヴィストン, Fole/みずほ総合研究所株式会社編 (99). 12, p. 4-13, 2010
- 3) 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志: 慢性期脊髄損傷に伴う完全四肢・対麻痺患者に対する随意的歩行訓練, リハビリテーション医学56巻7号, p.560-564, 2019
- 4) 中嶋博之, 小林順二郎, 八木原俊克, 田鎖治, 庭屋和夫, 船津俊宏, 中谷武嗣, 北村惣一郎: 手術ロボットと低侵襲化対策: PD-1ダヴィンチ・システムの低侵襲

- 心臓手術への適用, 人工臓器35 (2), S52-S52, 2006
- 5) 加藤英樹: コンピューター囲碁 アルファ碁ゼロの衝撃 (特集AIの新潮流), 日経サイエンス48 (2), 36-41, 2018-02, 2016
  - 6) 大江和彦: 保健医療介護分野におけるAI・IoT・ICTの動向と課題 (医療・介護分野におけるAI・IoTの進展と活用の方向性), 病院羅針盤10 (148), 11-16, 2019
  - 7) 家入里志, 小西晃造, 田上和夫, 荒田純平, 高橋弘樹, 清水周次, 中島直樹, 岡村耕二, 山口将平, 吉田大輔, 藤野 雄 一, KIM Young Soo, HAHM Joon-Soo, NAVICHARERN Patpong, CHOTIWAN Pornalong, 割澤 伸一, 中島秀彰, 光石衛, 橋爪誠: 国産低侵襲手術支援システムによる国内外を結んだ手術実験: 臨床応用へ向けたロボット手術による遠隔医療実現の可能性と問題点, 日本外科学会雑誌108, 182, 2007
  - 8) 松尾剛行: 保健医療介護分野におけるAI・IoT・ICTの動向と課題 (医療・介護分野におけるAI・IoTの進展と活用の方向性), 病院羅針盤10 (148), 11-16, 2019
  - 9) 大江和彦: 医療分野におけるAI及びロボットに関する民刑事責任: 手術用ロボットを利用した手術における医療過誤の事案を念頭に, Law and practice (12), 83-106, 2018
  - 10) 古田彩: グーグルが作った量子コンピューター (特集量子超越), 日経サイエンス50 (2), 30-35, 38-39, 2020

受付日: 2020年2月7日 受諾日: 2020年3月8日
-------------------------------

[Review]

## Progress of the robotics and the artificial intelligence and the future of medicine

Ken-ichi KATSUBE

### Abstract

The development of robots and artificial intelligence (AI) is now advancing very rapidly and has led to large changes in many fields, including medicine. Medical robots are basically classified into those that support movement and those that support surgical procedures, and both are expected to strongly affect future medical practice. In addition, in the future, AI will be applied to medical diagnosis and communication, and may even completely surpass the ability of humans to perform diagnoses. It is also important to achieve further developments in information science, to allow practical applications of quantum computers that can rival human processing capabilities. However, considering that the devices involved completely depend on electric power, implementing safeguards against power failure will be crucial, particularly since such power interruptions are becoming more and more likely in the face of ongoing climate change.

Key words : robotics, artificial intelligence, medicine, power supply, quantum computer



