

科学は人間の「夢」を実現する道具。
わたしたちは科学と人間のあいだで
「夢」の実現に貢献します。

SR (Synchrotron) は大きく分けて、「電子銃」で、
電子を加速する「線型加速器」「シンクロト
ロン」、電子を貯蔵する「ストレージリング」、
放射光を実験機器まで輸送する61本の
「ビームライン」の5つから構成されていま
す。日製産業はストレージリングの超高真
空装置と偏向磁石、シンクロトロンの中
核電源などの「Core」をトータルにサ
ポート。放射光をはじめとした、日本の科
学研究の基盤づくりに貢献していきます。

ハイテク・クリエイティブ 商社

 **日製産業**

日製産業株式会社 〒105 東京都港区西新橋1-24-14 TEL. 03-3504-7058(総務部広報課)

国内事業所：27カ所 海外事業所：20カ国48カ所 [主要取り扱い品目] ●情報システム ●科学機器 ●産業設備 ●電子部品 ●工業材料

ロボットは地球を受け継ぐか

人間は機械の肉体と脳を実現し、長寿と新しい知能を手に入れるだろう

M. ミンスキー

人間は他の生物と同様に、いずれ肉体が尽きてしまう。死をもたらす原因は、事故や毒などの外的要因を除けば、主に遺伝子である。では、遺伝子を作り替えれば、寿命を引き延ばせるだろうか。多少の効果はあるだろうが、結局、老化の問題に直面せざるを得ない。

命を短くしている原因を克服するには、機能を失いつつある器官を機械で代替すればよい。将来には、身体のすべての部分と脳のあらゆる部位が置換可能になるだろう。

これは機械が私たちに取って代わるという意味だろうか？ 多くの学者は機械が私たちのように理解することは決してないと強固に主張している。感性、意識、精神、魂といったエッセンスが欠落しているからだという。しか

し、私たちが思考できるのは、これらの不思議なひらめきの才能が与えられているからではない。複数の表現プロセスが存在して、互いに協調しながら次に何をすべきかを記述し、予測し、説明し、抽象化し、計画することを助けてくれるからである。これができる機械は意識を持っていると言えるだろう。こうした未来の知的機械は私たち自身の「心の子供たち(mind-children)」である。ダーウィンが言う進化の仕組みとは異なる“非自然淘汰”と呼べる仕掛けを発明して、それに基づいたシステムの設計を始めてもいいところまできているのではないだろうか。

本稿は以上のように、人工知能の父である著者が、将来の知的生命像について独特な考えを述べたものである。

「早寝早起きは人を健康にし、富ませ、また賢くする」——ベンジャミン・フランクリン

人はだれしも賢く、金持ちになりたい。ところが、往々にしてそれを手に入れる前に肉体が尽きてしまう。寿命を延ばし、知力を向上させるには、身体と脳を入れ替える必要があるだろう。それを考える前に、まず、私たちが伝統的なダーウィンの進化によってどのように現在の段階まで到達したかを考えてみなければならない。続いて、身体の消耗した部分を新規に置換することにより、衰えの問題を解決する手法を考える。その次に必要なのは私たちの脳を改造し、さらなる知力を手に入れる方法を考案することである。

最終的には、微小工学（ナノテクノ

著者 Marvin Minsky

人工知能とロボット工学の産みの親である。その輝かしい経歴はハーバード大学とプリンストン大学で数学と物理学、生物学、心理学を研究することから始まった。1951年に仲間とともに最初の神経回路網を作り、50年代のうちに、現在も広く使われている共焦点顕微鏡を発明した。61年にはハーバード大学からチャールズ川の下流のマサチューセッツ工科

大学(MIT)に移った。MITでは人工知能研究所の共同創立者となり、現在もMITメディア研究所で研究をしている。1990年日本国際賞の受賞者で、現在の肩書きは東芝の冠がついたメディア芸術・科学教授である。多くの論文や本を著しており、近刊は87年発表の『心の社会』(安西祐一郎訳、産業図書、1990年)と、92年にハリソン(Harry Harrison)と共著のSF小説『The Turing Option』である。

Cog マサチューセッツ工科大学(MIT)で開発されているロボット Cogの目と耳と腕は、脳のように機能するマイクロプロセッサのネットワークに接続されている。Cogの製作者たちは、このシステムが周囲とのやりとりを通じて顔を識別したり、対象を目で追ったりするなどの視覚的、聴覚的刺激応答を幼児のように学んでいくことができるかと期待している。このプロジェクトが成功すれば、Cogはこれまで製作されたロボットの中でいちばん進化したものになるだろう。

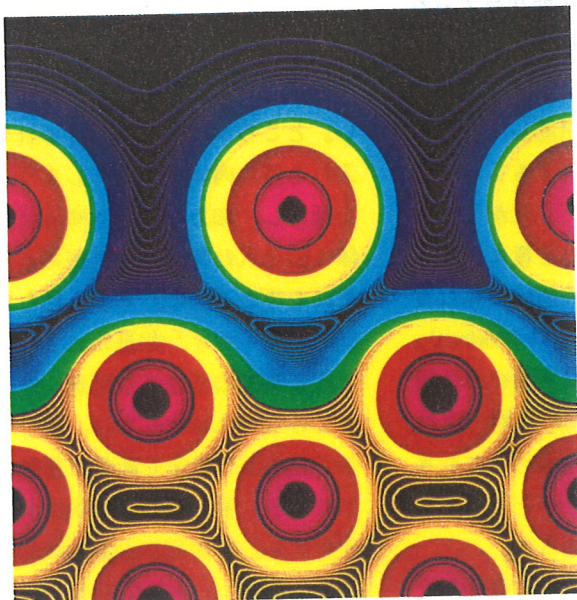
SUPERCOMPUTING AND THE TRANSFORMATION OF SCIENCE

スーパーコンピューターと科学

CGが描く先端科学の世界

ウィリアム J. カウフマン / ラリー L. スマール 著

早野龍五 / 高橋忠幸 訳



細胞の中でタンパク質が折りたたまれる様子を超高速度マシンが再現！ブルドーザーの設計に応用、視界が広く操作しやすい新型ができた！太古から未来まで、大陸移動や気候変動など「地球の進化」を追跡！超新星の爆発や星の衝突など宇宙の大イベントを「仮想実況中継」！科学研究の姿を一変させたコンピューターシミュレーションの成果を200点余の図版を使ってやさしく解き明かす。

■著者紹介

ウィリアム J. カウフマン

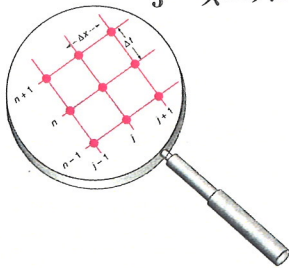
サンディエゴ州立大学物理学教授。ブラックホールの専門家として世界的に知られている。*Black Holes and Warped Spacetime, Universe, Discovering the Universe*など多数の著書がある。

ラリー L. スマール

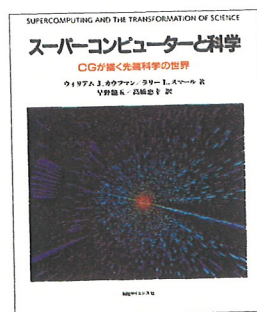
国立スーパーコンピューター応用センター(NCSA)所長で、イリノイ大学物理・天文学科教授でもある。計算天文物理学の開拓者で、産業、医学、環境などにおけるスーパーコンピューター活用も強力に推進している。

内容

- 1 デジタル科学の出現
- 2 スーパーコンピューターの進化
- 3 スーパーコンピューターの計算法
 - 4 量子の世界
 - 5 生物の内部
 - 6 工業デザインと解析
 - 7 躍動する地球
 - 8 宇宙を探る



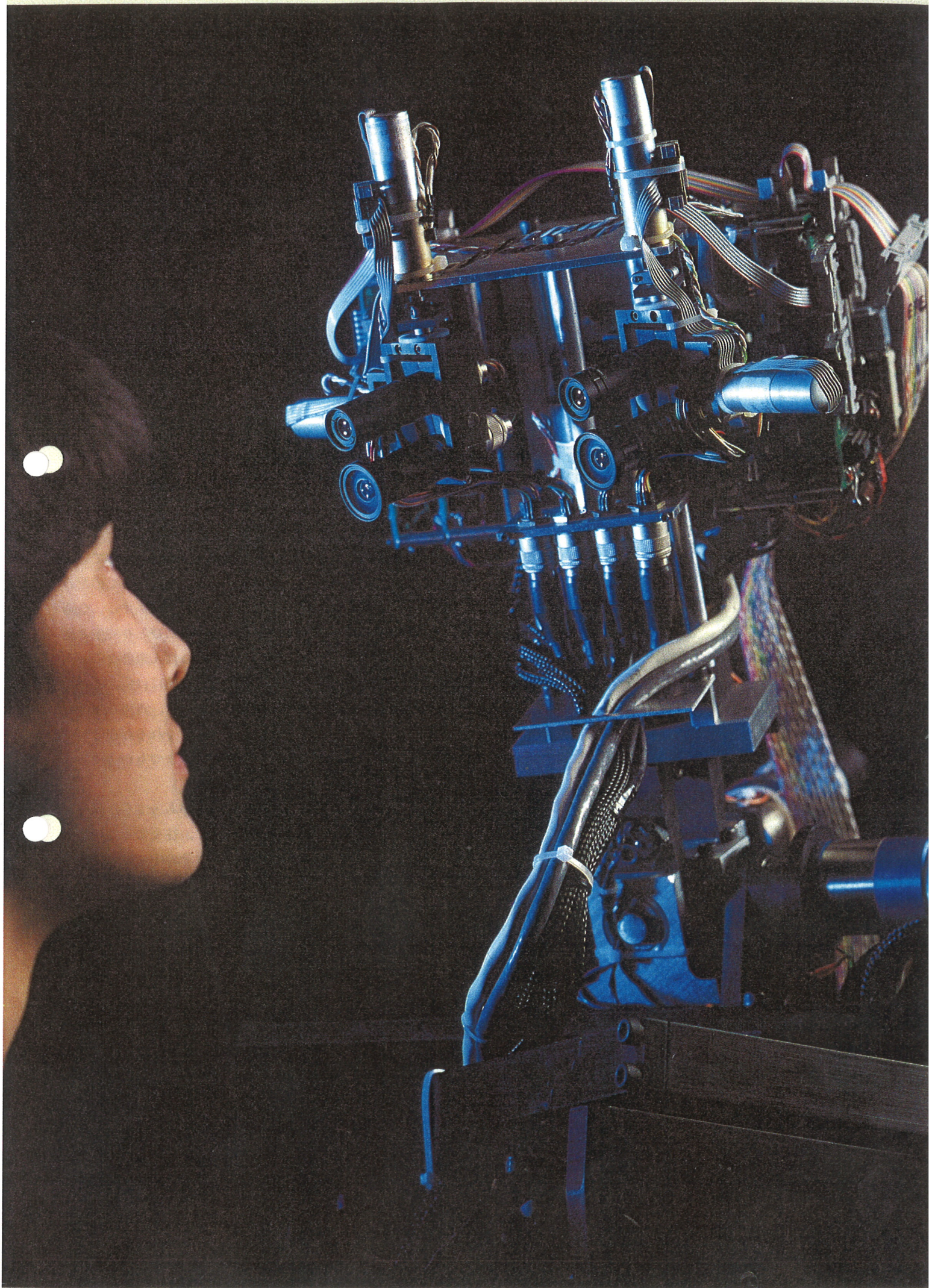
参考文献、図版・写真出典一覧



■ A4変型判(25.5×21.5cm)
 ■ 上製・カバー装
 ■ 226ページ
 定価4,980円(税別)450円

発行/日経サイエンス社 発売/日本経済新聞社

〒100-66 東京都千代田区大手町1-9-5 ☎03(3502)8009 (定価は税込み。)



ロギー)を駆使して、脳をそっくり入れ替えることになるだろう。いちど生物としての限界から解き放たれば、私たちは命の長さを自分で決めることになる。そうすると、不死が選択肢の1つとなる。また、これまで考えられてもいなかったような能力も選択肢として新たに付け加わるだろう。

そのような未来では、富を手に入れるのはたやすいことで、むしろその管理のほうが厄介になるだろう。確かに、これほどの変化を思い描くのは難しい。多くの有識者はいまだにこういった進歩は不可能であると考えている。特に、人工知能の分野でその傾向が根強い。しかし、こういった変化を引き起こす科学はすでに生まれつつあり、そんな新しい世界がどのようなものかを考えるべき段階がきている。

このような未来は生物学を介してでは実現することはできない。近年、私たちは健康と健康維持の方法について多くの知識を得た。また、さまざまな病気や障害に対して何千もの個別の治療法を生み出してきた。とはいうものの、寿命の長さの限界を延ばすには至

っていないようである。フランクリンは84歳まで生きたが、その2倍生きた人間は伝説や神話の世界を除けばいない。カリフォルニア大学ロサンゼルス校医学部病理学教授のウォルフオード(Roy L. Walford)の推定によれば、古代ローマ人の平均寿命は約22歳、1900年当時の先進諸国では約50歳だったが、現在の米国の平均寿命は約75歳である。このように寿命は延びてきてはいるものの、延びは115歳あたりで急激に落ちるようである。何世紀にもわたって続いてきた医療の進歩も、この寿命の上限には効果がなかったのである。

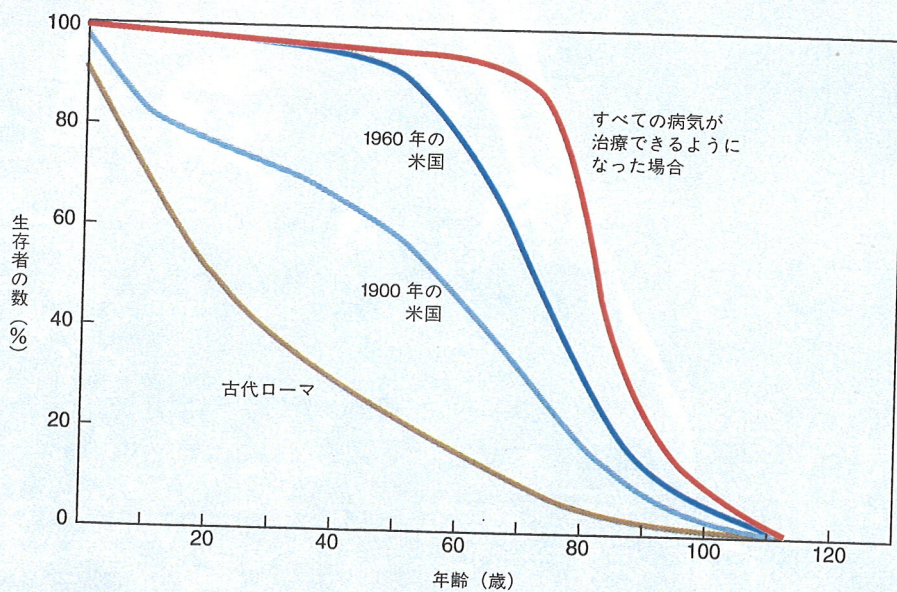
なぜ人間の寿命はこのように限られているのだろうか？ 答えは簡単である。自然淘汰はいちばん多くの子孫を持つ生物の遺伝子に有利に働く。その個体数は世代数とともに指数関数的に増加する傾向にあるため、どうしても自然淘汰はより若いときに繁殖する生物の遺伝子に有利となる。進化は通常、親が自分の子育てに必要な期間より長く寿命を持たせるような遺伝子を守らない。実際、生きている親と生存

競争をしなくてもよいようにと子孫に有利に働くこともあるほどである。そのような生存競争は、死の原因となる遺伝子の増加を促進すると考えられる。例えば、地中海にいるある種のタコは、産卵がすむとすぐに摂食を止めて餓死する。特定の腺を取り除くと、このタコは食べるのを止めずに、通常の2倍も生きるのである。その他にも生殖期間を終えるとまもなく死ぬようにプログラムされている動物は多い。このような現象の例外となる動物は、私たち人間や象であるが、これらの動物において子孫は、代々蓄積されてきた多くの知識を社会的に学習しているものである。

私たち人間は温血動物の中でいちばんの長寿のようである。今日の人間は他の霊長類のほぼ2倍は生きるが、どのような進化の淘汰圧が作用してこのように長生きするようになったのだろうか？ 答えは知能に関係する。全哺乳類の中で、幼児期にひとりて生き延びていく能力がいちばん未熟なのが人間である。私たち人間には生きていくための世話をし、また、貴重な生き抜くための助言をしてくれる存在として、親のみならず祖父母までもが必要となってくるのである。

そのような助言があっても、死をもたらす要因は多く、往々にして私たちは屈してしまう。その中には感染症に起因する死がある。私たちの免疫システムは、このような病気の多くに対応できるように発達してきた。不幸にも、その同じ免疫システムが身体のさまざまな部分をまるで感染性の侵入者のように扱い、私たち自身を傷つけることが多々ある。この無分別な自己免疫によって、糖尿病や多発性硬化症、慢性関節リウマチなどの病気が生じてくるのである。

また、私たち自身の身体では治せないような損傷を受けることもある。すなわち、事故、偏食、化学毒、熱、放



人間の寿命 人間の平均寿命は経済状態の改善とともに上昇している。古代ローマ人(茶色)は22歳、1900年頃の先進諸国(薄い青色)では50歳だった。現在の米国(濃い青色)では75歳である。それでもこれらの曲線の上限は同じである。あらゆる病気の治療法を発見したとしても(赤色)、私たちの身体は115歳くらいで尽きるだろう。

射線などの影響により、細胞の分子が機能不全となるほどまでに変形させられたり、化学変化させたりすることがある。こうした損傷のいくつかは、傷つけられた分子を置き換えることにより修復されるものもある。しかし、置き換え率があまりに低いと、損傷が蓄積する。例えば、眼球の水晶体のタンパク質が弾力性を失うと、焦点を合わせる能力を失い、複焦点眼鏡が必要となる。——フランクリンが発明したいわゆる眼鏡が必要となるのである。

遺伝子の書き換えで死を免れられるか

自然死の主要因は親から受け継がれた遺伝子の影響によるものである。このような遺伝子の中には、二大死因である心臓病とガンの原因であるとみられるものだけでなく、嚢胞性線維症や鎌状赤血球貧血など数えきれないほどの障害も含まれる。新しいテクノロジーは、これらのいくつかの病気を遺伝子の置き換えによって予防できるようにするだろう。

恐らく、どんな生物も老化は避けられまい。確かに、年数の経過に伴う死亡率の増加が系統的に見られないような種もある（何種類かの魚、亀、ロブスターを含む）。このような動物の死の主要因は、捕食者や飢えなどによる外的要因であると見られる。そういったことすべてを考えても、200年以上も生きた動物の記録は見あたらない。もちろん、記録がないからといって、まったくそういった動物が存在していないという証明にはなっていないわけだが。ウォルフォードをはじめ多くの人々は、カロリーを厳密に制限するなどして注意深く設計された食生活を順守することにより、人間の寿命は著しく引き延ばせるが、最終的な死を免れることはできないと考えている。

私たちの遺伝子についてさらに学ぶことにより、私たちの老後を苦しめている多くの疾病を完治できずとも、先

送りにすることはできるだろう。しかし、個々の病気の治療法を発見したとしても、「老化」という一般的な問題に結局、直面せざるを得ない。各細胞の通常の機能には何千という化学作用が関係しているが、それぞれがときどきランダムに間違いを犯す。私たちの身体は、個々の誤りにあわせて無数の修復方法を持っている。とはいうものの、誤りの発生の仕方があまりにランダムであるため、どうしても、細胞レベルの誤り回復ではすべての誤りを修正しきれないわけではない。

問題となってくるのは、私たちの遺伝子体系がもともと長期間の維持・保存に適するように作られていないということである。遺伝子と細胞の関係はあまりに非直接的である。遺伝子が身体を建設したり再建設したりする際に、これらの遺伝子を広範囲にわたって統合的に導いてくれる青写真やマップ情報があるわけではないのである。広範囲にわたる欠陥を修復する際には、どのタイプの細胞がどこにあるべきかを示す何らかのカタログのようなものが必要となるはずである。

コンピューターのプログラムの場合には、そのような重複的ともいえる情報（redundancy）を用意しておくのは簡単である。多くのコンピューターは最も重要なシステムプログラムのコピーを触らずに保持し、また、システム全体の完全性を定期的にチェックしている。同様な機構を進化させた動物は存在しない。おそらく、そのようなアルゴリズムは、自然淘汰を通して発達することができないからだろう。このような誤り回復があったとすれば、突然変異の発生はなくなってしまうため、究極的には動物の進化が遅れ、子孫が環境の変化に適応できなくなってしまうだろう。

遺伝子をいくつか変えるだけで、私たちは何世紀も生きられるようになるだろうか？ つまるところ、私たちの



蟻の群 写真は *Lasius niger* という種のアリの群である。この女王アリは現在 27 歳である。200 年以上も生きた有性生殖動物は記録されていない。捕食や餓死など外的要因だけの影響で死んでいく種もあるようだが、すべての生物個体にとって恐らく老化は避けられない。

親類のゴリラ、チンパンジーとは遺伝子がわずかに数千程度異なるだけだが、私たちはほぼ 2 倍も長生きする。寿命が延びたことに貢献した遺伝子が、それら数千の遺伝子のほんの一部であると仮定すると、その数はほんの 100 程度だろう。もっとも、これが正しいとわかっていても、さらに 100 個の遺伝子を変えるだけでも 1 世紀長生きできるとは限らない。場合によっては、数個の遺伝子を変えるだけでよいかもかもしれないし、もしくは、ずっと多くの数の遺伝子を書き換えなければならないのかもしれない。

身体と脳を機械で代替

新しい遺伝子をつくり、人間に組み込むことについては実現可能なものもだんだん増えてきた。一方で、私たちはすでに生物学的な老朽化を解決する別の方法を開発しつつある。これは、機能を失いつつある器官を生体的、もしくは人工的な代替物に置換することである。こういった代替物にはすでに日常的に利用されているものもあり、

また、そろそろ実用化しようかというものもある。心臓は単なる賢いポンプであり、筋肉と骨は原動機と支柱といえる。消化器官は化学反応器である。将来的には、私たちはこれらすべての部品を移植したり置換する方法を見つけ出すだろう。

しかし、脳となると、移植ではだめである。単に自分の脳と他人の脳とを交換しただけでは、自分であり続けることはできない。自我を形成する知識とプロセスの両方を失ってしまうだろう。とはいえ、脳のいくつかの消耗した部位を、組織培養した胎児細胞を移植することによって置換することは可能となるかもしれない。この処置では、失われた知識を回復することはできないが、私たちが思うほど大きな問題とはならないかもしれない。私たちはおそらく、知識の断片をいくつかの異なる場所に異なる形で格納しているに違いないからである。脳の新しい部位は再訓練されて残りの部分と再統合されるだろうし、また、こういった出来事は脳が自律的に行うに違いない。

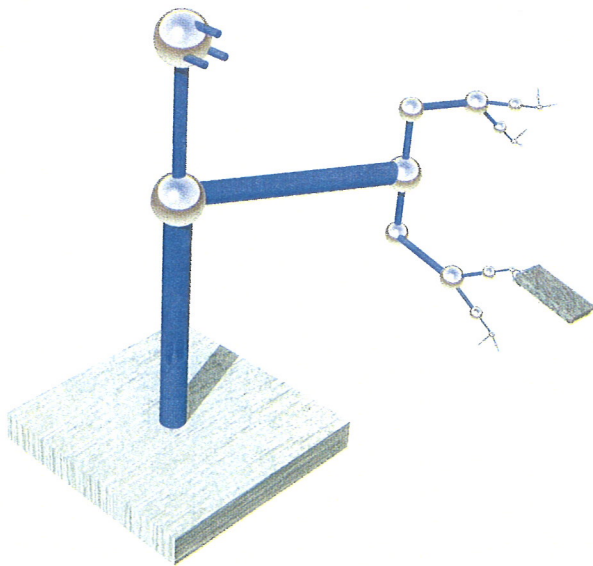
身体が消耗してしまう前にも、私

たちは脳の能力の限界にしばしばつきあたるだろう。種として、私たちは知的発達がこれ以上進まなくなるところまで来たようである。私たちがますます賢くなっていっているということを示す兆候はどこにも見あたらない。アインシュタインはニュートンやアルキメデスよりも優れた科学者だったのだろうか？ 最近の劇作家でシェークスピアやエウリピデスを越えた人がいるだろうか？ 私たちはこの2000年間で多くのことを学んできたが、たくさんの古代の知恵には今でも通用するものが少なくない。こう考えてみると、私たちは大して進んでいないのではないだろうか。私たちはまだ個人の目標と世界の利益との対立をどう解決していくかを知らない。また、重要な決定を下すことが非常に不得手なため、何かを決定できたとしても、不確かなことは運に任せてしまうのである。

なぜ私たちの知恵はこれほどまでに限られているのだろうか？ 多くを学ぶだけの時間が私たちにはないのか、それとも能力が足りないためだろうか？ 一般によく言われるように、私

たちは脳のほんの一部しか利用していないためだろうか？ 教育が改善されれば助けになるのだろうか？ それはもちろんだろうが、ある程度までだと思われる。神童といわれるほどの人といえども、学習の速さは普通の人の2倍程度にすぎない。私たちの脳の処理速度はおそろしく遅く、何を学ぶにしても時間が足りることはない。確かに、時間は多い方がいいが、学習は時間がいくらでもあれば良いというのではない。脳もその容量が有限である以上、学習できる量には限界がある。私たちはまだその限界を知らないだけである。場合によっては、私たちの脳はもう何世紀か学習し続けることができるかもしれない。しかし、どこかの時点で脳の容量を増やさなければならないときがくるはずである。

脳について学べば学ぶほど脳を改造していく方法が見つかっていくだろう。脳には何百もの特化した領域がある。私たちはそれぞれの領域が何をどうしているのかについてわずかししか知らない。しかし、特定の領域がどう働いているのかを解明するにつれて、研究者たちはその部分の能力を拡張していく手法を考えようと努めるだろう。また、生物学が一度も与えてくれたことのないまったく新しい能力をも考えよう。こういったことが当たり前になるつれ、私たちは発明したものを脳に接続しようとするだろう。例えば、脳内の最大のデータ結合部（バス）である脳梁と呼ばれる大神経束に、顕微鏡レベルの極小電極を何百個も挿入する方法などが考えられる。さらに進歩すれば、新型周辺機器が付かない脳の部位はないというほどになるだろう。最終的には、身体すべての部分と脳のあらゆる部位を人工的に置換する技術が開発されることになるだろう。こうして、私たちの生命を今のように短くしているあらゆる欠陥や損傷を修復できるようになるだろう。



ロボットのツリーハンド 著者のミンスキーとカーネギーメロン大学のモラベック (Hans P. Moravec) は木構造の手を持つロボットを別々に設計した(まだ作っていない)。これは、サイズの異なる同種のユニットを数多く使って構成されている。この均一性のため、未来にはこの種のロボットは容易に製作されるだろう。各サイズのスケールのレベルを1つ下げると、ユニットの数は2倍になっており、人間の骨格パターンに似ていないわけではない。

いうまでもなく、こうすることによって私たちは自分自身を機械に変えていくことになる。これは機械が私たちにとって代わるという意味だろうか？私には「私たち」と「彼ら」という形でこのことを考えることが意味のあることとは思えない。私は、カーネギーメロン大学のモラベック (Hans P. Moravec) のあり方に好感を持っている。彼はこのような未来の知的機械を私たち自身の「心の子供たち (mind-children)」と考えるべきだと提唱している。

過去に、私たちは私たち自身を進化の最終的産物と見なす傾向にあった。しかし、私たちの進化は止まったわけではない。実際には、おなじみのダーウィンのなゆつくりした進化のテンポに比べて急激な速度で現在も進化し続けている。私たちはそろそろ、新しく生み出されつつある私たちの新しいアイデンティティーについて考えるべき時期にきている。行動プランや目標をあらかじめ設定することができ、なおかつ習得した特徴を遺伝することさえできる仕掛け、つまり“非自然淘汰”といえるものを発明して、それに基づいたシステムの設計を始めてもいいところまできているのではなかろうか。

進化論者たちは一世紀もかけて知的訓練を積み、こういった考え方をさけるようになってきている。生物学者たちはこういった考え方を「目的論」、もしくは「ラマルク説」と呼びならわしてきたが、ここへきてこういったあり方を変えなければならないだろう。

脳を製造する微細工場

私たちが蓄積するほとんどすべての知識は、脳内のさまざまな神経網に実体化される。神経網は莫大な数の小さな神経細胞と、神経細胞から別の神経細胞への信号の伝達を制御するシナプスと呼ばれるもっと小さな組織とで構成されている。人間の脳の代替物をつ

くるには、シナプスとそれが結合している2つの神経細胞とがどうかかわっているかをすべて知る必要がある。また、こうした構造体のそれぞれが、周辺で活性化している種々の電場や脳内ホルモン、神経伝達物質、栄養素などにどう反応するかも知らなければならない。人間の脳には何兆個ものシナプスがあるため、これは容易なことではない。

幸運にも、微小な細部をすべて知る必要はない。もしも詳細が重要であるのなら、私たちの脳はそもそも機能していないはずである。一般に、生物器官として機能するシステムはどれも、それ自身が依存するより小さなサブシステム内での出来事の多くに対して、進化の過程であまり敏感ではなくなってきた。したがって、脳の機能を複製するには、それぞれの部位で、他の部位に重要な影響を与える必要最低限の機能を複製すれば十分ということである。

例えば、脳のような、1兆個もの部品からなるマシンの複製を作りたいとする。今日では、このようなことは、たとえ必要な知識があったにしても、すべての部品を個々に作らなければならないとしたら、不可能である。しかし、もし毎秒1000個の部品を作ることができる工作機械が100万台もあれば、仕事はたった数分で終わる。今後何十年かすれば、新しい製造機械がこれを可能とするだろう。現在の製造技術の基本は、原材料を加工して成形するという方法である。これに対して、微小工学者が目指しているのは、それぞれの原子や分子を思い通りの場所に正確に置くことによって素材や機械を作っていくというやり方である。

このような方法を使えば、真に同一の部品を作ることができ、既存の方法で作られる機械の弱点となっている非均一性の問題を回避できよう。今日では、例えば非常に小さな回路をエッチ

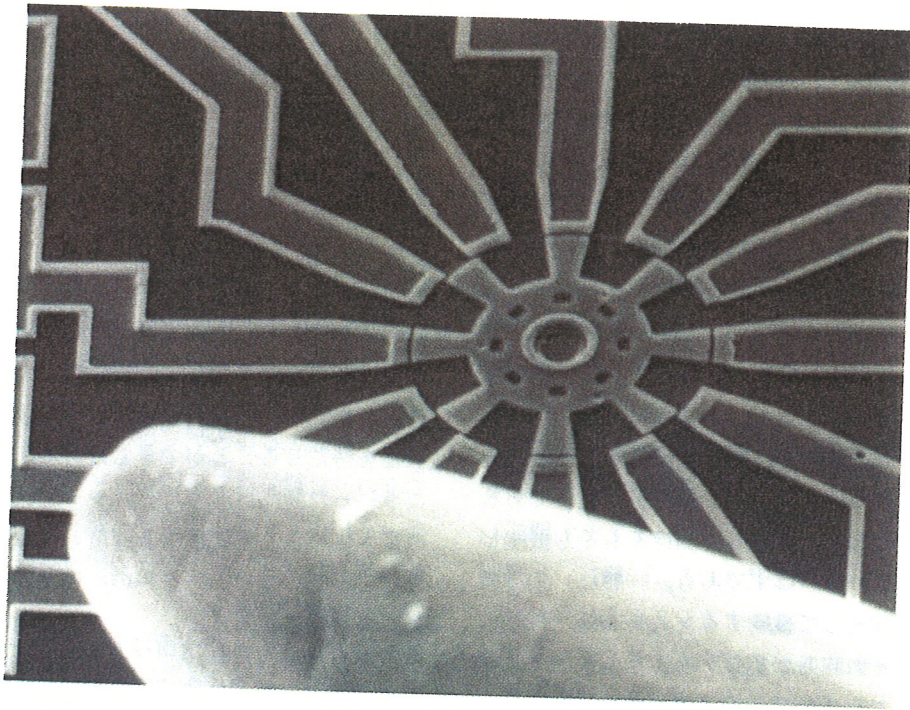
ングしようとする場合、配線の幅が非均一であり、回路の電気特性を予測することができない。しかし、もしそれぞれの原子を正確に配置することができるならば、それぞれの配線の差異はまったくなくなる。

この可能性は、現在のテクノロジーでは絶対に作ることはできない新しい素材の開発につながる。強度を飛躍的に向上させたり、まったく新しい量子特性を持たせることができるだろう。こういった製品はさらには、シナプスのように小さくて比類なき速度と効率性を持ったコンピューターの出現に結びつく可能性がある。

いちどこういった技術によって原子サイズのレベルで作動する汎用組立機械が作られれば、さらなる進歩が急速に起こるだろう。もしこのような機械が自分自身のコピーを1週間で作ることができるとすれば、1年以内に10億のコピーができる計算となる。これらの装置は私たちの世界を一変させるだろう。たとえば、これらの装置をプログラムし、効率的な太陽エネルギー収集装置をどんどん製造させて、それらをどこでも近くの表面に取り付けるようにさせれば、これらの汎用組立装置は自ら動力を供給できる。そして、微小工場の田畑を、現在私たちが植物を育てているのと同様に育てることも可能となる。そんな未来には、富を得ることにほとんど努力はいらぬ。問題はそれをどう管理するかを学ぶことである。特に、自ら再生産可能でありそのようなもの(例えば、私たち自身)の管理を維持していくように常に注意しなければならないのである。

脳の情報処理量

もし私たちの脳を強化していくことを考えるならば、今日の人間がどの程度物を知っているかをまず考えてみる必要があるだろう。ベルコア (ベル・コミュニケーションズ・リサーチ) の



マイクロモーター 図では針先の下にマイクロモーターが見える。微小工学者たちはもっと微小な装置の工作手法を開発するにつれて、工場そのものをマイクロ化するだろう。それぞれの工場は光エネルギーを利用して自分自身のコピーを分単位で自律的に製造するだろう。

ランダウアー (Thomas K. Landauer) は、被験者が文字列を読んだり、絵を見たり、単語や文章や音楽の短い部分や無意味な音節などを聞いたりする多くの実験報告を調査した。被験者たちは、後からどの程度覚えていたかを調べられた。どの状況においても、被験者たちは1秒間に約2ビット以上の情報量を学習したり、学習後の期間にかかわらずそれを思い出すことができなかった。もし、その率を毎日12時間、100年間維持できたとしても、合計は約30億ビット程度であり、これは現在の通常の5インチCDに入る情報量よりも少ない。10年もすれば、わずかコンピューターチップ1個に収まってしまうだろう。

こうした実験が私たちが実生活で行っていることにあまり似ていないとしても、人間がもっと速く学習できるという確たる証拠もない。「フォトグラフィック・メモリー」を持つと言われる人々についてよく話は聞くが、わずか

本100冊、あるいは百科事典1冊の内容を一語一句間違えずにマスターした人はいないようだ。シェークスピアの全作品は約1億3000万ビットになる。ランダウアーが言う能力の限界によれば、これらを暗記するのに少なくとも4年はかかることになる。絵画やスキーといった技能にはどれだけの情報量が必要なのかについては、根拠ある推計はない。しかし、これらの活動についても同様の制約が存在しているわけではないという理由も見あたらない。

脳には100兆のオーダーのシナプスがあると信じられており、数十億ビット程度の再生可能なメモリーの容量としては十分なサイズだろう。そのうち、微小工学を利用して、その程度の格納スペースを豆粒大のパッケージに組み入れることも可能になるだろう。

いちど必要とされる要素が解明されれば、微小工学を利用することによって、“実時間”という這うような動作速度に制限されない代替肉体と代替脳を

製作することが可能となる。私たちのコンピューターチップ内で起きている出来事はすでに脳細胞内の場合の何百万倍の速さである。したがって、私たちの「心の子供たち」を私たちより100万倍速く考えるように設計することも可能なはずである。そのような存在にとっては、30秒が私たちの1年に、1時間は私たちの一生の長さぐらいに感じられるかもしれない。

理解するとは

しかし、そのような存在は本当にあり得るだろうか？ さまざまな分野の多くの学者は確信をもって、機械が私たちのような思考を決して持つことはないと主張している。どのように作ってもある重要な要素が欠落し続けるからであるというのがその主張の理由である。欠落するエッセンスとしてこうした有識者たちが言っているものには、いろいろな名前がついている。例えば、感性、意識、精神、魂などと呼ばれているものである。哲学者たちは、この欠落により機械は絶対に人間のように感じたり、人間が理解するようなものを理解したりすることはないと主張し、それを証明するための本を何冊も著している。

しかし、これらの本の証明のどれもが、本来その存在を証明すべきものを何らかの形であらかじめ前提とするところで共通して誤っている。すなわち、検知不能という特性を持った魔法的な存在を前提としているのである。私はこのような議論には我慢がならない。何か1つの欠落した部品を探索してもしようがない。人間の思考はたくさんの要素を持っており、私たちが作ってきたすべての機械には、何十も、何百ものこれらの要素が欠如している。

コンピューターが今日行っていることと、私たちが「思考」と呼んでいるものを比べてみるとよい。明らかに、

人間の思考ははるかに柔軟性に富み、大量の情報を持っており、適応性の高いものである。一方、今日のコンピューターは、プログラムにほんの少しでも誤りがあれば停止するか、無意味な結果を出力する。人間が考えるときも、常に誤りは生じ続けているが、そういった誤りのために私たちの思考が停止することはまれである。代わりに、私たちは単に違う考え方を試すだけである。私たちは問題を別の角度からとらえたり、他の思考戦略に切り換えたりすることができる。いったい何が働くと、こんなことができるようになるのだろうか？

私の机の上に脳に関する教科書が1冊ある。この本の索引は約6000行にわたって、数百の分化した脳組織を掲げている。たまたまこれらの構成部分のどれかが損なわれると、動物の名前を記憶する能力を失うかもしれない。別の部分が損傷すると、長期的な計画を立てられなくなるかもしれない。また、別の部分が障害を受けると、突然卑猥な言葉を連発するようになるかもしれない。その種の表現をふだん検閲してくれるメカニズムが損傷を受ければそうなるだろう。私たち何千もの同じような事実から、脳には多様なメカニズムが内蔵されていることを知っている。したがって、あなたの知識はさまざまな形態で表現されて脳の異なる領域に格納され、異なるプロセスにより利用されているのである。これらの表現の形態はどういうものだろうか。私たちはまだそれを知らないのである。

しかし、人工知能の分野では、研究者たちはいくつかの知識を表現するのに、便利な手法をいくつか見つけ出し、それぞれを合目的的に利用している。最も多く使っているのは、「if-then」ルールの集合を利用した手法である。その他のシステムでは、フレームと呼ばれる記入式の書式に似た構造を利用する。また、他のプログラムでは蜘蛛の

巣状のネットワークを利用したり、木構造的な手法を利用したり、計画書のようなスクリプトを使ったりする。いくつかのシステムでは知識を言語のようなセンテンスや数理論理学の式で格納する。プログラマーが最初に行うのは、扱うタスクを実現するのにどの表現手法が最もふさわしいかを決定することである。典型的には、コンピュータープログラムはたった1つの表現手法を利用する。その手法でうまくいかないと、システムが落ちてしまう。この欠点が一般によく言われる、コンピューターは本当に自らがしていることを「理解」していないという苦情が正当であり得る由縁である。

理解するというこの意味は何だろうか？ 多くの哲学者たちは、理解(あるいは意味、意識)は基本的かつ根元的な能力であり、生きている心だけが持つことができると宣言してきている。私にとっては、この主張は「物理学嫉妬」の兆候であると見える。つまり、彼らは物理的科學がほんのわずかな原則で多くのことをうまく説明してきたことに嫉妬しているのである。物理学者は複雑すぎると思える説明は排除して、単純な説明を捜し求めて成功したのである。とはいっても、この方法は脳の複雑性の全貌に迫るには使えない。以下の文は、私が『心の社会』と題する本の中で、理解する能力について語ったときの要約である。

「もしもあなたが何事かを一通りにしか理解していなければ、本当はそれをまったく理解していないのである。なぜなら、もし何かがうまくいかなければ、行く当てもなく心の中に居座ってしまう考えにひっかかったままになってしまうからである。何かが私たちにあってどういう意味を持つかということの秘密は、それを、私たちの知っているその他すべてのものにどう結びつけたかの内にある。だからこそ、『機械

的に』覚えても、本当は理解していないのだといわれるのである。しかし、あなたがいくつかの異なる表現論を持っていれば、1つのアプローチが失敗しても、別のアプローチを試すことができる。もちろん、あまりに多くの見境のない連結を行うと、心は支離滅裂になる。しかし、うまく結合された表現主体は、心の中でさまざまに思い巡らすことを可能とし、物事を多くの視点から見つめ、そのうち自分に役立つものを見つけることを可能とする。これが私たちが思考ということの意味である。」

現時点で思考は私たちにとって易しいのにコンピューターにとって難しいのはなぜか。私は柔軟性というものがこれを説明すると考えている。『心の社会』の中で、私は脳がたった1つの表現を利用することはまれで、逆に常に複数のシナリオを並列的に走らせて複数の視点をいつも得ていると示唆した。さらに、それぞれのシステムは、他のもっとレベルの高いシステムによって絶えずその活動を追跡されるだけでなく、必要に応じて問題が再構築されているのである。それぞれの脳の部位やプロセスは誤りを持っていることがあるので、他の部位がその誤りを検知し、そうしたバグを訂正しているというのが私の考えである。

効率的に思考するには、あなたの心が次に何をすべきかを、記述し、予測し、説明し、抽象化し、計画することを助けてくれる複数のプロセスが必要である。私たちがこのように上手に思考できる理由は、私たちが摩訶不思議なひらめきの才能を与えられているからではなく、私たちが思考の立ち往生をしないように協調的に働きあっているエージェンシーからなるいくつかの社会が利用されているからである。これらの社会がどのように働いているかを解明すれば、これらをコンピューター

ターの中に入れることも可能になる。そうすれば、もしプログラムの1つの手続きが引っかけなくても、他が別のアプローチを指示する可能性もある。もしもあなたがこのようなことをする機械を見れば、あなたはきっとその機械には意識があると考えてだろう。

個人よりもスケールの大きな存在

この論文は、子供を持つ権利、私たちの遺伝子を変える権利、望めば死ぬことのできる権利に則ったものである。現在普及している倫理体系はどれもまだ、それが人道主義によるものであれ、宗教に基づくものであれ、私たちがいま対峙している難問に直面できるだけのものであるとは示されていない。何人の人間で地球を占有するべきか？ 彼らはどういった人たちであるべきか？ 私たちは現在ある空間をいかに共有するべきか？

明らかに、私たちはさらに子供をつくっていくことについて考え方を改めなければならない。現在、個人は偶然により受胎される。そのうちそうではなく、各個人が考慮された欲求と設計に基づいて「合成される」日がくるだろう。さらに、私たちが新しい脳をつくるにあたって、私たちの脳のように世界についてほとんど何も知らないまま生み出される必要はない。どんなことを私たちの「心の子供たち」は知っているべきだろうか？ 何人の「心の子供たち」を生み出すべきだろうか？ そして、この子供たちの属性を誰が決めるべきだろうか？

伝統的な倫理思考体系は個人に主に焦点を当てている。それはまるで個人だけが価値ある存在であるかのようである。明らかに、私たちは同様にもっと大きなスケールの存在、例えば私たちが文化と呼ぶ超人 (superperson) や科学と呼ぶ現在成長しつつある体系など、私たちの世界の理解を手助けしてくれる存在の権利や役割をも考えなけ

ればならない。いくつのそういった存在を私たちは望むのか？ それらのうちのどの種類が、私たちにとって最も必要であるのか？ 私たちはさらなる成長をすべて拒むような形に固定化された存在には気をつけなければならない。いくつかの未来の選択肢はまだ一度も経験されたことがない。例えば、あなたの心的内部と私の心的内部を映し出すことができたり、それにより共有される体験を利用してそれらを融合した新しい心をつくり上げることができるといような方法を、将来、私たちは経験していくことになるだろう。

そのまだ知らぬ未来が何をもたらすにしても、私たちはすでに、私たち自身をつくったルールを変えつつある。私たちの多くは変化を恐れるが、現在の限界から逃れたいと思う者も確実にいる。私がこの論文を書くことを決定したとき、私は本稿の考え方をいくつかのグループに試してみた。私が驚いたのは、私が話した人たちの3/4以上が私たちの寿命は長すぎると考えていることである。「どうして500年も生きたいのか？ 退屈しない？ 友達みんなに先に死なれたとしたらどう？ そんなに長い時間をどう過ごすの？」と彼らは質問した。密かに彼らは自分たちがそんなに長く生きるに値しないと恐れているかのようだった。私はそれほど多くの人が死を甘受していることがいささか心配である。失うものが大してないと感じているような人たちは危険な存在であるということにはなかるうか？

友人の科学者たちにはそのような心配はほとんど見られなかった。「発見したいことや、解決したい問題が数え切れないほどあるのだから、命は何世紀あってもいい」と彼らは言った。確かに、精神的にも肉体的にも弱り続けていき、他人への依存が続いていくのであれば、不死も魅力のないものになってしまうが、私たちが想定しているの

は完全な健康状態の維持である。何人かの人たちは理にかなったかのような懸念を示していた。それは、若者たちが年老いた人たちの古くさい考えを払拭していくためには年をとった人たちは死んでいかなければならないというものだった。

しかし、もしも、私が恐れているように、私たちが知力の限界に近づいているというのが真実であったとしたならば、彼らの返答は正しくはない。古い考えを取り除いていったとしても、英知の大海原にあるもっと大きな知からは触れることさえできずに切り放されてしまうことは、どちらにしても避けられないのだから。

ロボットは地球を受け継ぐか？ 答えはイエスである。しかし、彼らは私たちの子供たちである。進化と呼ばれる闘いに参加したすべての生物の死と生のおかげで、私たちの心はある。これらすべての出来事が無益な浪費として終わらないようにすることが、私たちの務めである。 ■

訳者 苔米地英人 (とまべち・ひでと) カーネギーメロン大学研究員, Ph. D. 専門は知能情報工学で、心理物理学、脳内イメージング、認知神経科学、人工生命、仮想現実、超並列処理を研究している。

原題名 Will Robots Inherit the Earth?

参考文献

MAXIMUM LIFE SPAN. Roy L. Walford, W. W. Norton and Company, 1983.

『心の社会』M. ミンスキー著、安西祐一郎訳、産業図書、1990年

MIND CHILDREN: THE FUTURE OF ROBOT AND HUMAN INTELLIGENCE. Hans Moravec. Harvard University Press, 1988.

NANOSYSTEMS. K. Eric Drexler. John Wiley & Sons, 1992.

THE TURING OPTION. Marvin Minsky and Harry Harrison. Warner Books, 1992.

原論文掲載誌

SCIENTIFIC AMERICAN October 1994