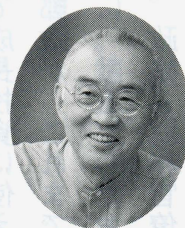


誰かに教えたくなる 科学技術の話 11

人間が誕生させる人工生命



東京大学名誉教授 月尾 嘉男

機械仕掛のオートマタ

ヘブライ神話に「ゴーレム」という粘土でできた人形の伝承がある(図1)。律法学者が断食や祈禱をしてから粘土で人形を製作し、ヘブライ語の「真理(エメス)」という文字を記載した紙片を頭部に貼付けると人形が生命を獲得する。ゴーレムは「胎児」という意味である。このような神話は様々な文化に存在し、ギリシャ神話には「タロース」という名前の青銅の自動人形が登場する。

人間だけではなく、動物も植物もあらゆる生物は方法こそ様々であるものの子孫を誕生させることにより生命を継承していくが、それは人間にとって神秘的な自然現象であった。しかし「ゴーレム」や

図1 ゴーレム



wikimedia commons

図2 茶運人形



wikimedia commons

「タロース」が象徴するように、古代から人間は人工の方法で子孫や分身を製造することを願望し、数多くの自動機械を製作したといわれる古代ギリシャの技師ヘロンは自動人形も製造していた。18世紀になり、歯車を使用する時計の全盛時代になると、その技術を応用して自動人形を製造することが流行し、楽器を演奏する人形やペンで文字を筆写する人形が登場する。日本でも十七世紀には機巧人形が製造され、有名な「茶運人形」は来客の位置まで両手で茶碗を運搬する能力を披露した(図2)。このような機械仕掛の自動人形は「オートマトン」と名付けられている。

情報時代を象徴するA・ライフ

しかし、二十世紀中頃にコンピュータが開発され、社会が機械時代から情報時代に移行しはじめると、この分身も機械から情報に転換した。最初に「生命とは情報の処理過程でしかなく、自己増殖する期待もある」という言葉によって、コンピュータの内部に分身を創造し、それが自身で子孫を誕生させることも可能になると喝破したのはJ・フォン・ノイマンである。

横道になるが天才ノイマンの異常な才能を紹介しておきたい。一九〇三年にハンガリーに誕生し、幼少の時期から驚異の才能を発揮し、二十四歳でベルリン大学の講師になるが、一九三〇年に一家でアメリカへ移住する。アメリカでは数多くの数学理論を発表する以外に、原子爆弾の開発、現在でも主流のノイマン方式コンピュータの開発などに貢献したが、膵臓がんのため五十三歳で死亡した。

これら公式の仕事でも多大の功績があるが、異常な能力の持主であった。ある学者が数ヶ月間かけて解決した問題をノ

イマンに説明しはじめたところ、説明の途中で暗算により結論を証明したとか、アメリカ最初のコンピュータよりも素早く暗算で計算し、世界で二番の計算能力が誕生したとつぶやいたなど無数の逸話があり、地球の間人ではなく、宇宙から到来した生物といわれていた。

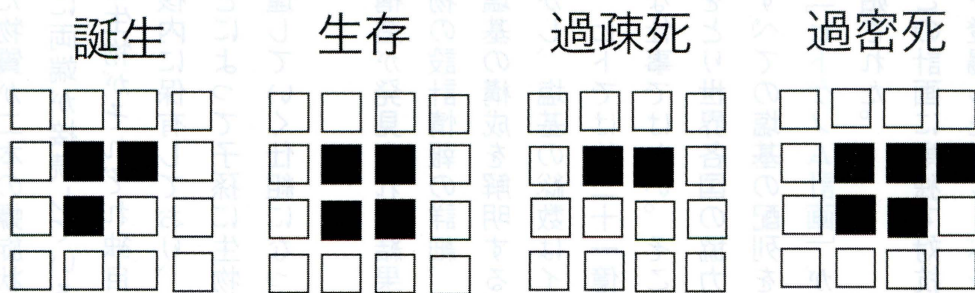
そのノイマンが考案したのが「セル(升目)オートマトン(自動機械)」である。水平方向に展開する升目(セル)には誕生・生存・死亡の状態があり、周囲の四個の升目の状態により一定の時間間隔で升目の状態が変化する。生存状態の升目の周囲の二個以上が生存状態であれば生存のまま、誕生状態の升目の周囲の三個以上が生存であれば、生存に変化し、それ以外は死亡になるという規則である。

これを発展させたのが、一九八六年にアメリカの理論生物学者C・ラングトンが提案した人工生命(アーティフィシャル(A)ライフ)である。ラングトンによれば「地球で進化した特定の生命に限定されず、あらゆる可能な環境において生命を探求する研究」とされる。これは興味ある名称で、既知の生命である生物生

命(バイオロジカル(B)ライフ)に対比した命名である。

翌年にはアメリカのロスアラモスで最初の「人工生命ワークショップ」が開催され、多数の学者が議論した結果、人工生命は世界各国で学者が注目する対象と

図3 ライフゲームの規則



なり、様々なコンピュータ・ソフトウェアである人工生命が誕生してきた。それらのなかで有名な事例がイギリスのJ・コンウェイが開発した「ライフゲーム」やアメリカのT・レイが発表した「ティエラ」である。

内容の一例を「ライフゲーム」で紹介する。ノイマンの「セルオートマトン」に類似して、升目(セル)には誕生、生存、過疎による死亡、過密による死亡の四種の状態が設定され、死亡した升目に隣接する三個の生存した升目があれば生命が誕生、生存した升目に隣接する升目が二個以下なら死亡などの規則(図3)で、コンピュータが次々と全体の状態を計算していくソフトウェアである。

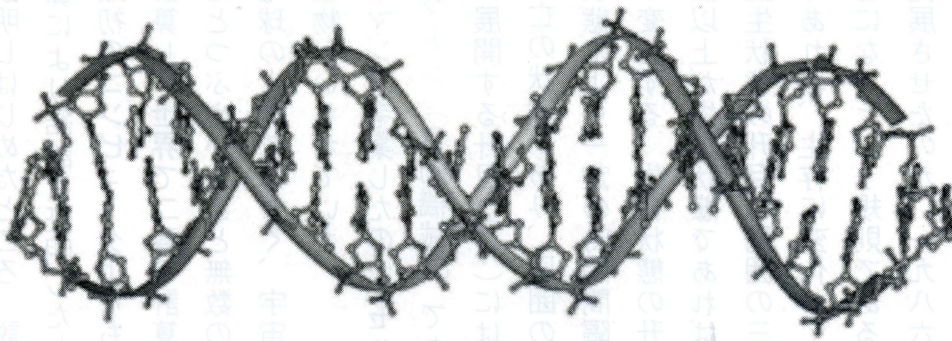
DNAの構造が解明された衝撃

これらは自然環境での生物の増殖や消滅を情報で再現しているだけであり、人工の生物自体を誕生させたことにはならない。それを新規の方向に転換させたのが一九五三年の偉大な発見である。J・ワトソンとF・クリックという二人の生物学者が「デオキシリボ核酸(DNA)の

分子構造」という論文で、大半の生物の遺伝情報を記憶し継承するDNAの構造を解明したのである。

DNAは生物の設計情報で、四種の塩基、A(アデニン)、G(グアニン)、C(シトニン)、T(チミン)のいずれか二種

図4 DNAの二重螺旋構造



wikimedia commons

が一对となった物質が二本の螺旋状態になったテープに両端が接続している(図4)。あらゆる生物がそれぞれ独自のDNAを細胞の核内に保有しており、それを複製することによって子孫に生物としての特徴を伝達していく仕組みになっている。

設計情報の構造が発見された結果、目標は様々な生物の設計情報の詳細、すなわちDNAの塩基の構成を解明することになった。しかし、塩基の総数はイネで約三億七千万、ヒトでは約三十一億にもなるから容易な仕事ではない。そこでアメリカが音頭をとり世界各国の協力でヒトのDNAのすべての塩基の配列を解読しようという「ヒトゲノム計画」が一九九〇年から開始された。

ところが、この計画に単独で対抗しようという人物が登場した。C・ベンダーという異端の生物学者が民間資金の支援で会社を設立し、DNAを断片に分断して、それぞれを自動解析装置で並行して解読し、その解析結果をコンピュータで合成するというショットガン方式で国際計画に対抗しようとした。しかもベンダ

ーは解読結果について特許を取得しようとしたので、騒動となった。

ヒトの遺伝情報は人類の共有財産というのが一般の理解であり、最初に解読したというだけの理由で特許を取得して独占し、利益を獲得することに批判が集中したのである。その後、紆余曲折があったが、現在では解読されたDNAの塩基配列情報はデータベースとして蓄積され、インターネット経由で公開されている。しかし、ベンダーの挑戦が解読を加速したことは確実である。

人工生命の誕生

生物の設計情報が解明されれば、古代から開発された機械仕掛のオートマトンや、二十世紀になって開発されたコンピュータ内部の情報だけのアーティフィシヤル・ライフではなく、タンパク質を材料とした本物の人工生命を製造することが可能になる。この究極の人工生命に果敢に挑戦したのもベンダーであり、まず二〇〇三年に約五三〇〇塩基対を持つ人工ウイルスの合成に成功する。

しかし、ウイルスは生物かどうか曖昧

な存在であるため、ベンダーはさらなる目標として一般の生物の合成を目指す三組の研究組織を研究所内に設置して研究を開始する。そして二〇〇八年には自然の世界に存在する生物としては最小の遺伝情報で構成されている「マイコプラズマ・ジェニタリウム」という極微の生物のDNAの合成に成功したという衝撃の発表をする。

さらに二〇一〇年には、ベンダーの実験施設で細胞の培養皿上に青色の細菌の集団が発見された。調査してみると「**世界最初の人工の遺伝情報をもつ細胞**」であることが判明した。ここまで十五年間の年月と四十億円の資金を投入して到達したが、最後の一步が「**ミニマルセル**」の作製である。これは既存の細胞を改造するのではなく、最初から人工のマイコプラズマ細胞を作製することである。

技術の詳細は省略するが、試行錯誤の結果、三時間毎に一回の速度で分裂して増殖する「ミニマルセル」が誕生し、二〇一六年に雑誌『サイエンス』に発表された。地球のすべての生物は祖先から遺伝情報を継承して現在に到達しているが、

ここに祖先が存在しない最初の生物が地球に誕生したのである。大半の宗教には人類を創造した神々が存在するが、その神々の地位に人間が着座したのである。

この快挙には複雑な意味がある。まず軍民転換、すなわち民間で開発された技術が軍事に利用される問題である。アメリカでは人工生命の研究に多額の軍事予算が投入されてきたし、ソビエトでは生物兵器製造のために人工ウイルスが研究されてきた歴史がある。人間が生物を自由に操作できる時代が到来すれば、現状では防御手段のない人工の生物が戦場に投入されることも予想される。

さらなる問題は人類の存在の規範への影響である。ベンダーは「今後の科学は人工生物を創造し、生命を操作する能力が定義する」と記述しているが、ゴールムやタロースが想像や憧憬の対象ではなく現実の存在となったとき、人間を超越した存在である神々によって秩序を維持してきた社会が崩壊することが想像される。そのとき人類はどこに基準を設定するかという巨大な転換に直面する。