

# 進化情報学 Evolutionary Informatics

## 遺伝子からミームへ From Genes to Memes

石川 幹人

### 一 はじめに

「情報 information」という言葉は、広範囲の概念を指示表象する。情報の記録・伝送・処理を議論するときの「情報」とは、「データ」といった形式的情報を表し、情報の収集・活用・解釈を議論するときの「情報」とは、「知識」といった意味的情報を表している(1)。おおよそ前者についての学問は、「より多く、より速く、より正確に」を追求する理工学の学問対象となり、後者については、「より豊かに、より幸福に」を追求する社会科学の学問対象となっていると言えよう。情報についての学問体系は、個々のいくつかの領域では深く掘り下げられているものの、こうした情報概念の幅広さによって、全体的な統一性、相互関連性が薄いものとなってしまっている(2)。

しかし近年、「進化 evolution」の考え方でもって情報学の分野に横断的な関連性を与えようとする動きが見えてきた。この学問分野は、まだはっきりと確立したものではないが、あえて名前を付けるとすると「進化情報学 Evolutionary Informatics」と呼べる、情報学の主要な一分野をなすものである。本稿では、この進化情報学の中核概念を明確化し、学問分野の学際的な広がり、実学的な応用可能性を論じる。

### 二 進化とは何か

「進化」という言葉は、よく知られるように、チャールズ・ダーウィンが一八五九年に出版した『種の起源』に端を発する。この中で彼は、生物は下等動物から高等動物へと「進化」してきたと論じた。生物の歴史を神による創造から開放し、生物とは遺伝と変異によって祖先の特性を引き継ぎながら徐々に変化するとしたのだ。その後、遺伝と変異の生物学的メカニズムは、遺伝子DNAの発見によって、分子レベルの遺伝情報の発現と複製として精緻化される。一九七六年には、生物学者のリチャード・ドーキンスが『利己的な遺伝子』(後述)の中で、生物の遺伝情報と同様なメカニズムが概念情報のレベルにも存在する可能性を指摘し、その概念情報の単位をミームと名づけた。進化するミームの集まりが人間の心にすみ付き、人間集団の文化や社会制度を形成するという。

すなわち進化の概念は生物学から誕生したが、その原理は情報伝達と情報表現の原理であり、人間行動から社会動態までを広く射程におさめるものである。認知哲学者のダニエル・デネットは大著『ダーウィンの危険な思想 生命の意味と進化』(山口泰司監訳・石川幹人ほか訳、青土社、95)の中で、進化の原理を次のように抽象的に定義し、広範な分野への有効性を議論した(3)。

一、変異[多様性]: さまざまな要素が一貫して豊富に存在する。

- 二、 遺伝もしくは自己複製： もろもろの要素は、みずからのコピーもしくはレプリカを生み出す力を持っている。
- 三、「適応度」の差： 一定の時間に生み出されるある要素のコピーの数は、その要素の諸特性とその要素が巣くっている環境の諸特性との交流いかんによってさまざまに変化する。

デネットは議論にあたって、その語義の不明瞭さのためか、「情報」という言葉を使用しなかった。ここでは、「情報」という言葉をあえて使って上述の進化の定義を書き換えることで、進化が情報に関する一般的原理であることを明示したい。

- 一、 情報の変容と多様性： 情報は、おのおのわずかな変化を伴いながら、豊富に多数存在する。
- 二、 情報の伝達と複製： 各情報は、情報を伝送する仕組みに対して影響力をもち、みずからのコピーを生産させる。
- 三、 適応度による情報の評価： 一定時間に生産されるある情報のコピーの数は、その情報の影響が、その情報の外部環境といかに適合しているかによって増減する。

現代生物学における進化は、「突然変異と自然淘汰である」と端的に表現されるが、情報の進化へと一般化した上の定義は、「環境に対する情報の競合的適応である」と表現できよう。後の章では、この進化の定義について、生物学・心理学・社会学から多面的に理解を深めていく。

ここで、「進化」という言葉の通俗的な使われ方の問題点を指摘しておく。通俗的に「進化する」というと「良いものへ変化する」といったニュアンスを含意して使われる傾向がある。学術的な場面での「進化」とは、上の諸定義に見られるように価値中立的な「環境適応」である。つまり、「退化」でさえも「進化」のひとつなのである。不要な器官が環境に合わせて競合的に失われていくのは、ある種の「進化」である(4)。通俗的に「進化」という用語が使われている場合、個々に反省して「進歩」などの他の用語に置き換えるべきである(5)。

### 三 進化生物学

先に述べたように、遺伝情報にもとづいて生物が進化していくプロセスは、近年の分子生物学の発展によって、分子レベルでの精緻化が進んだ。一九五三年にワトソンとクリックがDNA分子の二重らせん構造を特定して以来、分子生物学は飛躍的な進歩をとげた。二重らせん構造によって遺伝情報が複製され、次の世代へと情報が引き継がれることが、物理化学的プロセスとして具体的に判明したのである。DNAは長い紐状の高分子で、そこに四種類の塩基が多数順序よく配列している。生体の各細胞には長大なDNA分子が格納されており、細胞分裂のたびに情報が次々とコピーされていく。DNA上の塩基配列は、数百から数千の単位ごとにひとつのタンパク質に対応しており、その一単位を「遺伝子(ジーン gene)」と呼ぶ。各遺伝子は、生体の特定の状況下で活性化し、その遺伝情報に基づいて特定のタンパク質を生成する(6)。そうした一細胞に格納されている全遺伝情報をゲノム genome(「ジーンの総体 gene + omnis」を意味する)という。分子生物学では、生物の身体の構造や機能を決定している情報は、すべてその生体のゲノム、すなわちDNAにあるとされる。これを「セントラルドグマ」と言う。

セントラルドグマに従えば、遺伝情報はDNAからタンパク質へ、そして生体の構築へと一方的に流れ、いわゆる「獲得形質の遺伝」といった逆の流れはないことになる。このセントラルドグマが、進化

のメカニズムに一定の制約を課し、ダーウィン進化論と分子生物学とを融合した進化の「現代総合説」となった。現在のところ、この現代総合説に基づいて、生物を進化論的に議論する学問領域を「進化生物学 Evolutionary Biology」と言う。

進化生物学において、進化のプロセスは次のように説明される。DNA上の塩基配列に無作為に突然変異が起き、それが従来のタンパク質に構造や機能上の変化を引き起こす。その変化が偶然にも従来の個体の環境適応能力よりも高くなると、その個体はより多くの子孫を残すようになる。結果として、他の個体が自然に淘汰され、集団規模の変化を遂げる(7)。先の進化の定義を生物学の用語を使って書き換えてみれば、次のようになる。

- 一、遺伝情報の変容と多様性：遺伝子は、突然変異によっておのおのわずかな変化を伴いながら、豊富な種類の塩基配列が多数存在する。
- 二、遺伝情報の伝達と複製：遺伝子の集合はゲノムを構成し、生物個体を発生させ、子孫を残すことで、みずからのコピーを生産させる。
- 三、適応度による遺伝情報の評価：生物個体が外部環境に適合している度合いによって、その生物個体が生き残る可能性が決まり（自然淘汰）、その個体の子孫数が増減する。

また、進化生物学の原理を用いれば、進化の歴史を定量的に解明することができる。DNAの塩基配列を生物間で比較すると、塩基配列のある程度の違いが見つかる。突然変異が無作為に起きるとすると、塩基配列の違いの度合いを歴史的な経過時間として判断できる。すなわち、DNAが「分子の時計」のように働くのである。この分子時計を使って、人間とチンパンジーがそれらの共通祖先から分岐したのは、人間とゴリラが分岐したのよりもどの程度古い時代かなどを推定できる。配列解析の詳細には、石川幹人分担執筆の『分子進化実験法』第二章（日本生化学会編、東京化学同人、93）を参照されたい。

さらに現代総合説は、進化は生物個体のレベルで起きるというよりも、遺伝情報のレベルで起きると見る視点を提供する。この視点を明示的に示したのは、リチャード・ドーキンスである。彼は『利己的な遺伝子』（日高敏隆ほか訳、紀伊国屋書店、76）の中で、遺伝子自身が利己的なまでに自分の情報が複製され、存続するようにプロセスが進むと、結果的に生物個体の利他性までが生まれること(8)を根拠に、遺伝子中心主義の視点を展開した。我々自身は、遺伝情報の複製と伝達のために作られた消耗品の「遺伝子の乗り物」に過ぎないというのだ。

進化生物学のもっとも実用的な応用は、生物個体と、その個体の生活環境との相補性の利用である。進化の原理によれば、生物個体（あるいはそれを決定づける遺伝情報）は、生活環境に適応しているので、生物個体がわかればそれを手がかりに生活環境がわかり、逆に生活環境がわかれば生物個体がわかる。魚の体色の例で説明しよう。一般に魚は、その背側は暗色であるのに対し腹側は白色である。それは、捕食者からのカモフラージュの結果である。暗い海底を見下ろす上部からの捕食者から見れば背側が暗いほうが目立たないし、明るい海面を見上げる下部からの捕食者から見れば腹側が明るいほうが目立たない。だから、背側は暗色で腹側は白色の魚ばかりが多く存在するのである。この原理から、網で魚を捕った中に背側も腹側も同色の魚がいれば、たとえば、直立して泳ぐ魚ではないかと推測できる。また、捕食者がいない、閉鎖された湖で古くから生活している魚は、背側も腹側も同色ではないかと推測できる。

生物個体と生活環境の境界はどこであるかは若干の議論がある。生物体のボディだけでなく、遺伝情

報で規定される行動によって操作される範囲は、生物個体に含まれると考えられている。たとえば、クモの巣網やビーバーのダム型住居などは、遺伝情報で規定されたものである。それは外的な環境というよりも、生物個体の延長と見なされる。すなわち、川などの外的環境に対してダム型住居を造り上げるビーバーの技能が、競合的に環境適応するのである。あたかも身体性がボディから拡大したかのようである(9)。リチャード・ドーキンスの言葉では『延長された表現型』(日高敏隆ほか訳、紀伊国屋書店、82)となる。

さらに他個体や、その集団が環境としての働きをする場合がある。たとえば、雄クジャクの尾羽が豪華になるのは、「ランナウェイ(止めどもない)性淘汰」が起きていると解釈される。豪華な尾羽に魅力を感じる遺伝子がいったん蔓延すると、雄クジャクにとってはそれが環境になり、豪華な尾羽を備えて雌クジャクの目を惹かない限り子孫に遺伝情報を引き継がないこととなる。その結果、雄クジャクの尾羽は正のフィードバックを受けて、生き残るに可能な限り豪華になる。こうした点もまた、リチャード・ドーキンスによって議論(『ブラインド・ウォッチメイカー』、中嶋康裕ほか訳、早川書房、93)されている。後述するが、他個体に取り巻かれる集団環境に対して適応的な行動戦略は、メイナードスミスによって議論されている。

#### 四 進化心理学

進化生物学の議論を人間の認知行動に応用した学問領域を、進化心理学 Evolutionary Psychology と言う。進化心理学とは、一九九〇年代に入ってから確立した極めて若い学問領域である(10)。進化心理学の出現は、人間の認知行動のモデル化を研究対象とする認知科学に生じてきた問題点に端を発すると見ることにもできる(11)。その問題点とは、心の機能の生得性とモジュール性である。

認知科学の基盤は「機能主義 functionalism」と呼ばれる哲学的考え方にある(12)。機能主義は、コンピュータをモデルに、脳はハードウェアに対応し、心はソフトウェアに対応すると考える。心の動作自体は脳の機械的メカニズムに依存するものの、心の機能は脳のハードウェアから自由であり、多くの部分は後天的学習によって、そのソフトウェアが中央集権的に実行されているというのである。

一九八〇年代に入ってコンピュータモデルには問題が現れてきた。計算論的学習理論が、学習によって後天的に知識を形成するには、問題の規模に比べて経験が少なすぎるという現実を明らかにした。すなわち、心が機能するには、生得的な仕組みを多く備えていなければならない(13)。次に、心の機能は、課題の種類ごとに扱う機能主体が分離していることも明らかになってきた。つまり、心とは、固有の情報に応じて動作する独自のモジュールの集まりなのだ(14)。たとえば、ハワード・ガードナーによれば、知能は九種類の異なる次元をもつとされる(15)。認知科学者のマーヴィン・ミンスキーは、『心の社会』(安西祐一郎訳、産業図書、85)の中で、ひとつの課題の解決でも複数の認知モジュールが競合的に動作することを示した。

コンピュータモデルに揺らぎが見えてきたところで、さらに心の機能の「適応性」が示され、進化心理学の基盤が確立した。ここで中心的役割を果たしたのは、コスミデスとトゥービーである。彼女らは、論文集『適応した心』(オックスフォード大学出版、92)の中で、「裏切り者検知モジュール」の適応的進化を主張した。この主張は、人間が広く裏切り者検知モジュールを保持していることと、裏切り者検知モジュールが協力社会の中で適応的意義があることから導かれる(16)。

人間が広く裏切り者検知モジュールを保持しているのは、次の認知実験の解釈から支持された。その認知実験は四枚カード問題(ウエイソン・カード・テスト)と呼ばれ、「母音のカードの裏は奇数であ

る」といった規則が満足されていることを確認するには、どのカードを裏返しすればよいかを被験者に判断させる、論理的思考を検査する実験である。四枚カード問題は「未成年のカードの裏はビールではない」といった裏切り者検知（未成年はビールを飲んではいない）の文脈に置くと、飛躍的に正答率が上がる。人間は単純な論理的思考よりも、裏切り者検知が得意であることになる。

裏切り者検知モジュールが協力社会の中で適応的意義がある理由は、端的に言えば、協力を続けるには、相手側の搾取を防ぐために裏切り者を検知する必要があるということである。これを厳密に示したのは政治学者のアクセルロッドである。彼は、協力状況は、ゲーム理論でいう「繰り返しのある囚人のジレンマゲーム」(17)であり、「しっぺ返し戦略」がもっとも簡便で効果の高い戦略であることをコンピュータ・シミュレーション・コンテストの形で明示した。効果的にしっぺ返しを行なうには、裏切り者であることをすぐに察知しなければならない。さらに、メイナードスミスは、裏切り者を検知できる状態で協力活動を行なうしっぺ返し戦略が、進化的に安定した戦略であることを理論的に示した(18)。

これらの議論から、裏切り者検知モジュールは適応的に進化し、それを構成する情報は遺伝子に埋め込まれていると推定される。つまり、人間は一般的に、裏切り者検知モジュールを実現する遺伝情報を生得的に保持していることになる。

あるモジュールが生得的に保持されているかどうかの推測には、「一万年ルール」が役に立つ。二百万年ほど前に原人から進化して出現したとされる我々ホモサピエンスは、十万年ほど前にアフリカから移住を開始して、一万年前までに狩猟採集の生活をしながら地球全体の陸地に広がって行った。一万年前以降、農耕が生まれ、定住生活が定着し、村や町ができて、文明が発達してきた。ホモサピエンスの生活環境は急速に変化したのである。ところが、一万年前以降の進化の歴史をみると、我々ホモサピエンスは五百世代ほどしか経過してなく、脳の構造はほとんど進化上の変化を遂げていないと考えられる(19)。すなわち進化論から、一万年前までの狩猟採集の生活環境に適応的なモジュールのみが、生得的に保持されやすいという「一万年ルール」が成立する。

狩猟採集の生活環境では、大勢の人間を一箇所で養うほどの食料が確保できないために、我々はせいぜい百人ほどの集団で（ときには移動しながら）生活していたと考えられている。少人数の集団であるものの、狩猟採集には、協力活動や助け合い、情報伝達が欠かせないので、すでに我々には基本的な社会性が備わっていたのだ。それらの社会性は、数十万年におよぶ狩猟採集の生活環境のもとで進化的・適応的に獲得されてきた。その獲得機能の中に裏切り者検知モジュールがあると考えるのは、しごく妥当なことである。

ここで使われている論法は、先に述べた生物個体と生活環境との相補性であると指摘できる。一万年前の狩猟採集の生活環境がわかれば、我々の心の機能の生得的傾向がわかり、逆に、我々の心の機能の生得性が示されれば、一万年前の生活環境が推定できるのである。よく知られている例をさらにあげれば、我々の脂質と糖に対する好みがそれである。我々は脂質と糖に対して強い嗜好性を持っており、現代人の肥満と成人病の根源となっている。この嗜好性は生得的であり、一万年前までの生活環境に対して適応的に作られているとみられる。狩猟採集では食料が十分に確保できないため、我々は断続的な飢餓状態にさらされていた。そこで、生存に必要であり、かつ体内に蓄積できる脂質と糖に対して強い嗜好性を持っていると、その個体は優位に生き残ることができるのである。その結果、その嗜好性の遺伝情報は進化論的に維持され、現代に引き継がれている。一方で、その嗜好性の抑制機構は、進化上の必要性がなく獲得されていない。

## 五 心の進化とミームの発生

一万年前までの狩猟採集の生活環境に適応して、我々は心を身に付けた。心は社会生活を円滑に維持するのに欠くべからざる器官であったのだ。しかし、それにとどまらず、心は道具を発明し、言語を操作することで、情報進化の新たなる水準を形成した。本章では、心の研究を進化論の視点から概観しながら、遺伝子からミームへの展開を論じる。

遺伝子進化の原理に基づけば、個体の生存率が高まる特性は獲得されやすいのであった。その意味で心は、個体の生存率を上げるのに貢献する、進化論的に効力のある器官であると言える(20)。なぜならば、前章で議論したように、協力活動を行なえる個体集団は進化論的に有利であり、その協力活動を維持するには心の働きが不可欠であるからである。

良好な集団活動には、協力者の探知が必要であり、その探知には「他者を知る」ことと、「自分を知らせる」ことが重要となる。ニコラス・ハンフリーは、類人猿の研究を通して、社会的集団行動を行なう個体は生まれながらに「心を研究する姿勢」を持つ「天性の心理学者」であると指摘した(『内なる目』、垂水雄二訳、紀伊国屋書店、75)。集団の中で各個体を識別し、自分自身も集団のメンバーの一員として相対的に捉える能力が、我々や類人猿に適応的に身に付いたと言えるだろう(21)。

他者の心を推測する度合いは、一連の誤信念課題と呼ばれる簡単なテストである程度判定できる。典型的な誤信念課題は、次の「サリー・アン課題」である。「サリーがお菓子をクッションの下に隠して出て行った後で、アンが入ってきてお菓子を見つけ自分のポケットに入れる。しばらくすると、サリーが帰ってくる」といったビデオ画像を見せられた子供に、「さて、サリーはお菓子がどこにあると思っているでしょう」と聞く。なんと四歳以下の幼児は「アンのポケット」であると答える。チンパンジーも「サリーはアンのポケットを探す」と確信している行動をとることが知られている。幼児やチンパンジーは、自分の内的信念と他者の内的信念の相違を想定するのが難しいとみられる(22)。このような、他者の心のあり方を推測することを、「心の理論」を持つと言い、こうした機能を実現するモジュールも進化的に獲得されたとされる(23)。

人間の心の特徴付ける要素のひとつに感情がある。怒ったり、悲しんだりする感情は、非合理的なものとなされやすいが、ロバート・フランクは、感情の合理性を示した。彼は『オデッセウスの鎖 適応プログラムとしての感情』(山岸俊男訳、サイエンス社、88)の中で、古代の英雄オデッセウスがセイレーンの誘惑から逃れるために、自分の身体をマストに縛り付けたように、感情がその場限りの自己利益を超えて、行動を合理的に方向付けていると主張した。憤りの感情は、短期的に見れば戦いを誘発して損失を招くが、長期的には(あるいは社会全体としては)裏切り者を排斥して協力者同士の信頼関係を成立させる。さらに、経済学者のグートらは「最後通告交渉ゲーム」という実験で、感情の合理的役割を実証した。また、大脳生理学者のダマシオは、感情の働きが実は合理的思考の実現の要になっていると主張している(『生存する脳』、田中三彦訳、講談社、94)。

意識も人間の心の特徴付ける大きな要素であろう(24)。当然ながら、意識の進化的意義もいくつかあげることができる。一貫した自己像を形成し、維持することは、社会的協力活動に有効に働く。自分は信頼のおける人であると表明できる。また、意識する部分が心の中でただひとつであることは、すみやかな判断をするのに有効に働く。実際、多重人格症という病気もあるが、判断主体が多数存在すると、意見の調整をしている間に捕食者に食われてしまうだろう。我々が感じる「痛み」や「赤み」などの感覚質(クオリア)も、意識の代表的な特性であると見なされる(信原幸弘『心の現代哲学』、勁草書房、99)。クオリアの適応的意義は「現在を知らせる」ことにある(25)。我々は、記憶や想像によって過去

や未来を心に描くが、その印象が必要以上に強ければ、現在体験している外界の印象と混同してしまうだろう（現にサイケデリック麻薬はこのような症状を引き起こす）。現在体験中の感覚印象のみを強調するのがクオリアの機能であり、それはまさに、知的な思考の内部にあっても外界への適応性を常に維持するのである。

心は社会を形成する生物に適応的に現れたのだが、そこに道具を作るような知能が発達し、さらにその成果を言語によって伝達する術までが形成された。言語が発生した起点を掘り下げて探求すると、興味深い可能性も指摘できる。ロビン・ダンバー『ことばの起源』（松浦俊輔ほか訳、青土社、96）によると、言語はサルの毛づくろいの代用として発展したという(26)。サルの毛づくろいは、サル社会の個体関係を確認する儀式として重要な役割を担っている。しかし、毛づくろいは同時に一対一の個体間の社会的関係を確認できるにすぎない。集団が大きくなってくると、もっと効率よく社会的関係を確認する手段、すなわち言語が必要であったのだ。言語による会話であれば、一度に四人（一対三）の個体間の社会的関係を確認できるという。ダンバーは、パーティなどの場における人間行動の例を観察し、密な会話は四名以下で行なわれ、会話の内容のおよそ七割は、各自の社会的関係を確認する「ゴシップ」であると報告している。また、サル社会が最大でおよそ五匹の集団であるのに対し、階層構造を導入しない人間の社会は一五人までの集団であると調査報告し、この事実は、言語によって（毛づくろいよりも）三倍のコミュニケーション効果が上がるからであると結論付けている。

つまり、それまで情報とは、遺伝子を介して親から子へと引き継がれていくものであったが、言語が現れると、個体間での情報交換が行なわれるようになり、生活上の知識をすばやく学び取って行動を臨機応変に変えられる個体が進化上有利になった。さらに、人類において文字が現れると、社会集団の中に広く情報を頒布・蓄積できるようにもなったのである。

ここで新たな情報進化の水準が現れた。社会集団の中で適応的に意義のある概念情報が、その社会に競争的に広まるという現象である。リチャード・ドーキンスが『利己的な遺伝子』（日高敏隆ほか訳、紀伊国屋書店、76）の中でミームと呼んだのは、この概念情報の進化単位である。ミーム meme とは、遺伝子 gene と模倣 mimeme との合成語である。模倣によって伝達するので、「模伝子」とも言えよう。生物は遺伝子の乗り物であったが、我々人間はさらにミームの乗り物でもあるのだ。

先の進化の定義をミームの情報進化の用語を使って書き換えてみれば、次のようになる。

- 一、概念情報の変容と多様性：ミームは、人間の社会において、いつもわずかな変化を伴いながら、豊富な種類が多数存在する。
- 二、概念情報の伝達と複製：ミームは人間の心に影響し、言語による伝達を介して、そのコピーを生産させる。
- 三、適応度による概念情報の評価：社会的環境に適合している度合いによって、そのミームが伝達される可能性が決まり、そのミームを保有する人間の割合が増減する。

次章では、この進化の新しい水準と古い水準との相違や、それらが影響を及ぼし合う相互作用の諸形態について議論していく。

## 六 遺伝子とミーム

遺伝子とミームの性質を対照表にまとめると次のようになる。

	遺伝情報	概念情報
情報単位の名称	遺伝子（ジーン）	ミーム（模伝子）
情報の格納場所	細胞内のDNA分子	脳内に心的に記憶される言語
情報解釈系の総体	ゲノム、および生体の生化学系	メノム、および人間の認知系
情報伝達時期	生殖時に一気に伝達	言語を介して常時徐々に伝達
情報伝達の担い手	親から子へ一方的に伝達	人から人へ相互に伝達
情報の表現形態	生物の身体、生得的行動	人間の文化的行動、思想
情報の変化	DNA配列上の無作為な変異	概念の思考による変容・創造
情報の消滅	生物個体の死亡	人間による忘却、複製の停止
適応先の環境	個体が生息する物理世界	人間のコミュニティ集団
副次的な情報流通	ウイルスによる感染、遺伝子工学	文書・コンテンツの頒布

ミームの視点を中心にこの対照表を説明しよう。ミームは脳内に記憶される情報であり、それは絵・イメージ・パターンなども含む広い意味の言語(27)によって表現される。脳内にはたくさんのミームがやってくるが、人間の認知系によって心的に体系化がなされ、ある程度整合的なミームの集合体が形成される(28)。本稿では、この一人の人間のミームの総体を、ゲノムという用語に対応させて、「メノム menome」と呼ぶことを提案する。メノムの一部のミームは、人間の営みに応じて、言語を介して人から人へと伝達複製される。伝達複製されたミームが他の人間のメノムに組み込まれると、その人間の文化的行動や思想に影響を与える。一部のミームは、人間の主体的な判断や、創造的思考によって変化を受ける(29)。また、一部のミームは、関心が失われて忘れ去られたり、記憶には残るものの他人には伝達されなかったりして、結局のところ消滅する。こうして、人間のコミュニティ集団に適応するミームのみが、構成員の脳から脳へと急速に広まっていく。ときには、紙に書かれた文書の形態や、人工的設計物(30)、メディアに流れるコンテンツ（番組などの内容）のかたちで拡大する。

ミームが貯えられる場所は「ミームプール」と呼ばれ、心の中とか、図書館、データベースがそれに当たる。しかし、ミームプールのうちでも、心の中は別格である。なぜならば、心は能動的にそのミームを複製するかしないかを判断し、ミームの増殖に決定的な寄与をするのに対し、他のミームプールはそれを行わないからである。そのため、心の中のミームの総体をメノムとして把握し、メノム内のミーム群の組織構造を分析することには、大きな意義がある。

一般的に、遺伝子が適応的な状況とミームが適応的な状況とは一致することが多い。それは個体の生存と繁栄が、遺伝子を増やすとともに、ミームが増殖する場も提供するからである。たとえば、農業のノウハウに対応する一連のミームは、食糧生産によって個体の生存を助け、一万年以前以降、多くの個体に伝播したのだろう。また、自殺を容認するタイプのミームは、あったとしても、個体を死滅させ広まることがないだろう。社会的性格を特徴付ける遺伝子があったとすると、それは協力集団を形成しやすいので子孫繁栄につながると同時に、個体の接触率を上げ、ミームの伝播速度を上げるだろう。利他性も同様に、思いやりの性格が遺伝子で特徴付けられていたとしても、親切にふるまう行為をよとするミームが蔓延していたとしても、社会集団としての繁栄をもたらさだろう。

一方、遺伝子とミームが対立的関係になる場合もある。たとえば、避妊のミームは、先進諸国で現在広く蔓延しているが、遺伝子が子孫に引き継がれない作用をなすので、遺伝子とは対立する。また、独

身隠遁生活を奨励する宗教のミームも、同じように遺伝子と対立する。隠遁生活のミームは、それだけではミームの繁栄にも悪影響があるが、伝播力の高い他の宗教ミームと組み合って広まるのだろう。宗教のミームはさまざまなミームが複合体(31)になっており、人助けのミームや、勧誘のミーム、不安をあおるミーム、あるいは慰めのミームが宗教の強力な伝播力を形成していると分析できる。

どんなミームが広まるか、ミームの持続期間はどのくらいで、どんなきっかけで衰退するかなどの検討は、「ミーム学 memetics」として探求されている。現在国際ミーム学会がインターネットでオンラインジャーナル(32)を発刊している。

## 七 進化情報学の展望

進化情報学は、進化生物学や進化心理学のような遺伝情報を扱う研究分野から、ミーム学のような概念情報を扱う研究分野までを、横断的に把握する学問分野と言えるだろう。前者が長い時間的スパンを対象にする歴史学的・博物学的な分野であるのに対し、後者は短い時間で変化する社会システム論的な分野である(33)。遺伝子がどちらかという静的な環境に適応するのに対し、ミームはミーム自身が環境を作り変えて動的に適応する。当然ながら、後者のほうが予測や制御が難しく、複雑適応系の理論などを駆使して取り組む分野となっている。

こうした広い分野を視野に入れた、これからの進化情報学の展開にはどんな方向が考えられるか。本稿では、次の三つを指摘したうえで、各々説明しよう。

- 一、遺伝子と調和のとれたミームのデザイン
- 二、遺伝子にヒントを得たミームのデザイン
- 三、進化原理の他の対象への応用

第一に、現在までの社会制度や政策上の問題には、遺伝子(人間の生得的な傾向性)に対する認識が低いための発生しているものが多々ある。たとえば、教育問題があげられる。教育制度には、「人間は生まれたときは等しく白紙であり、教育によっていかようにも作られ得る」という古い思想の残滓がある。遺伝子と進化の観点に立てば、「人間は生まれながらに平均的に得意とする能力があり、また人によってその得意な点は多様化している」という前提で教育制度は作られねばならないだろう。カリキュラムについてもそうである。進化を振り返れば、人間は歴史の年号を憶えるようには作られていないが、他人の性格を推測し記憶するようには作られているはずである。こうした遺伝子による生得性を基礎にして、その上に調和のとれたミームを教育で積み上げる方策が望まれる(34)。

倫理問題についても同様な認識が必要である。協力活動を維持する行動傾向が遺伝子レベルで人間に刻印されているだろうと先に述べたが、この原理は互惠的利他主義(トリュヴァース)である。すなわち、互いに助け合う者同士は他者への恩恵が自分へと戻ってくるので、コミュニティ内での倫理観が維持されるのである(35)。すると、原理的にコミュニティ外への倫理観は遺伝子からは要請されないのであるから、必然的にミームによる何らかの仕組みが必要である。典型的なコミュニティ外の倫理は、環境問題である。地球規模の環境問題は、極端に言えば、遠い将来の人類に対する倫理観を要請する。遺伝子進化の原理からすると、人間はこうした倫理観を持ち合わせていないのである。だから、宗教ミームや経済ミームに環境問題の解決法を組み込んで、ミームのデザインの観点から対処しなければならない。

最近の情報社会の仕組みにも遺伝子の認識の低さが目立つ。そのひとつが、個人による情報発信である。いかにネットワークが発展して情報流通が効率的になったと言っても、情報発信はコミュニケーションの構図の中で捉えられるべきものである。先の議論に従えば、人間が密に交流できる最大人数は一五人程度である。進化論的に言って、それ以上の規模の人数とコミュニケーション可能なように我々は作られてない、と認識すべきである。何百人ものメンバーを抱えてしまっかえって活力を失ったメイリングリストが、ネットワーク上に多数存在する。ここには、伝統的な社会組織（企業や学会など）が開発してきた組織階層のミームを導入すべきであろう。漠然とした個人による情報発信は、単なる自己満足で終わってしまう。

第二に、遺伝子の働きから学んで、ミームのデザインへ活用していく方向がある。遺伝子は、決して単独ではなく、その総体であるゲノムとして身体形成や行動発現などの働きをする。個々の構造や機能の実現には多数の遺伝子がかかわっているが、そこに欠けている遺伝子があれば、ときには遺伝子治療で補うことも不可能ではなくなっている。ミームについても同様な把握が可能である。個人の心の中にあるメノムはどのような構造をなしているか、そこではどのミームとどのミームが対立しているか、どんなミームを加えると行動が是正できるか。これらを個人レベルで対処しようとするれば、臨床心理学の研究となるが、大勢を相手に考えれば社会心理学の研究となる。遺伝子治療を行なう時には、新たに埋め込みたい遺伝子断片を、ウイルスに忍ばせて患者に投入するが、それと同様な発想がミームの移植技術に使えるだろう(36)。つまり、多くの人間に移植したいターゲットとなるミームを、伝播しやすいミーム（不安をあおるミームなど）や、メノムに取り込まれやすいミーム（儲け話ミームなど）と組み合わせさせてミーム複合体を作り、それを噂としてばら撒くのである。場合に応じたミーム複合体のデザイン法の開発が、今後の課題だろう。

第三に、情報の進化原理自体を他の対象に応用することにより、生産的な発想が得られる。実は、従来からこうした発想はいくつかあった。市場社会の中で商品価格を適正に低下させるために、競争関係にある企業の「多様性の維持(37)」を行なう独占禁止法や情報公開法などの仕組みがそうである。また、進化の原理を計算機プログラムに実現し、最適化問題を解く「遺伝的アルゴリズム」も、その例に挙げられよう。最近では、ジェラルド・エーデルマンが、進化理論に従った、脳神経の機能モジュールの競合的発達が起きているとし、ニューラルダーウィニズムという考えを提起した（『脳から心へ』、金子隆芳訳、新曜社、92）。今後とも多くの分野への応用が期待できるが、本稿では、情報社会における応用例として、ネットワークエージェントの進化を挙げよう。

ネットワークエージェントとは、ネットワークにおいて人間の代理人の役割を担う未来のソフトウェアであり、ネットワーク上のサイトを徘徊しては、企画や交渉などの仕事をこなす。たとえば旅行企画エージェントは、飛行機会社サイトでフライトを予約し、ホテルサイトで部屋を予約する。ときには予算内におさまるように交渉もするのだ。ネットワークエージェントが実現されればたいそう役に立ちそうであるが、問題もある。ネットワークエージェントが的確に動くように設計するのが難しいうえに、エージェント同士が相乗効果で暴走したときの影響が計り知れない。コンピュータ同士による株取引（システム売買）が、売りに売りを呼んで暴落するのと同じである。そこで進化原理の適用である。多数のネットワークエージェントを競合的に動作させ、そのうちで一番うまくいった企画を評価採用するのである。採用されるまでの動作は仮の動作とみなし、正式な確定は採用後とするのだ。そして、エージェントにとっての外部環境である評価採用は堅固なものとし、エージェント同士で評価が下されないよう管理する。そうすれば、複雑系で問題となるような制御不能なカタストロフ現象は生じない。すな

わち、環境を制御することにより、間接的にエージェントの挙動を管理するのである(38)。

以上のように、情報進化の原理に基づき、生物学・心理学・社会学などの広範な学問分野を横断的に考察することが可能である。この原理を基本とする進化情報学は、社会諸制度の制定や、情報社会の環境デザインなどに対し、実用的な知見を供する有望な研究分野である。

## 注

- (1) 筆者は、情報の伝達モデルを図式化することで、形式的情報が、データの流れにのみ着目するのに対し、意味的情報が、送受信者が共有している背景知識を含めた全体系に着目しているのを明確化した。石川幹人『人間と情報』(培風館、99)第一章を見よ。
- (2) たとえば、一九五〇年代に通信技術者のシャノンが確立した情報量(ビット)の概念と、一九六〇年代にマクルーハンが確立した(マス)メディア論とは、同じ情報学の中に含まれるものの、双方を関連付けた議論の展開は難しい。前者は情報の符号的特長に注目しているのに対して、後者は情報の提示方法や、提示されたときの状況や文脈に注目している。
- (3) 「ダーウィンの危険な思想」とは、ダーウィンの思想を非難するのではなく、逆に、ダーウィンの思想は危険なまでに切れ味が鋭い(何でも説明してしまう力を持っている)という主張を表している。また、ここで引用した進化原理の抽象記述は、デネットの前著『解明される意識』(山口泰司訳、青土社、91)にもすでに現れている。
- (4) たとえば、モグラの眼が退化した事実は、進化(=競合的な環境適応)で次のように説明される。地上で生活していたモグラの祖先は眼が必要であったので、眼の機能が維持されていた。しかし、いったんモグラが地中で生活するようになると、眼の機能は必要がなくなる反面、地中を掘るための強い爪などの他の機能が必要となる。つまり、爪を作る遺伝子に突然変異が起き、たまたま強い爪をもつ個体が選択的に勝ち残る必要がある。これだけでは、何も眼の機能が失われなくともよいように思われるが、強い爪をもつまで突然変異が積み重なる進化の歴史の間には、確率的に言って、眼の機能を実現する諸遺伝子のどこかに別な突然変異がほとんど確実に起きてしまい、眼の機能が失われてしまうのである。
- (5) 最近の「進化」という用語の誤用を助長したのは、アニメ「ポケットモンスター」である。「ピカチュウ」は「ピチュー」の進化形であり、「ライチュウ」は「ピカチュウ」の進化形である、といった表現は、競合的な環境適応という観点からは適当ではない。なぜなら、ピカチュウをポケモントレーナーがうまく訓練する(雷の石を使用する)と必ずライチュウになるので、そこには多数の個体による競合性は見られない。学術的には一個体における「発達(ディベロップメント)」に相当するが、ポケモンの個体機能の飛躍的な向上を考慮すれば、昆虫の「変態(メタモルフォシス)」に相当すると見るのが妥当だろう。だが、「変態」をアニメで使用するのは日本語の語感からして無理がある。
- (6) 人間の場合、異なる四六種類のDNAをもち、その上に並ぶ塩基数は総計で約三億にのぼる。そして、その中には約一万種類の遺伝子が存在すると推定される。しかし、意味ある遺伝子として遺伝情報が表現されているのは、総塩基数のうちのわずか数パーセントにすぎない。それら以外の部分は、ジャンク(ゴミ領域)と見なされているが、何か重要な情報が潜んでいるという推測もあ

る。

- (7) この進化のプロセスを計算機上の手順に抽象化したものを遺伝的アルゴリズムと呼び、最適化問題を解く代表的な計算技術となっている。また遺伝的アルゴリズムを計算機上に実現して進化のプロセスをシミュレーションするものを「人工生命 Artificial Life」という。しかし、これらの情報工学上の実効性は十分ではないことから、進化モデルとしての再検討が期待されている。石川幹人「生物進化と人工知能設計における構造の役割」(明治大学教養論集第三一八号、99)を見よ。
- (8) 生物学上、利他性を初めて合理的に説明したのは、ハミルトンである。一九六〇年代に彼は、血縁淘汰を示すハミルトン則を提唱した。ハミルトン則とは、血縁個体において利他的行動が発生する条件を規定するもので、利益享受個体の恩恵に血縁度(遺伝情報の類似率で、たとえば親子では五割)を掛け合わせた値が、利益提供個体のコストを上回れば利他的行動が発生するとされる。これにより、働きアリやミツバチの援助行動は、その遺伝情報の保存の点から説明できる。またこの議論は、継子いじめ(ウィルソン&デイリー)などの社会的行為が起きる可能性をも示唆する。
- (9) ボディと一致しない身体感覚を感じさせる手法が、ラマチャンドラン(『脳のなかの幽霊』、山下篤子訳、角川書店、98)によって提案されている。我々の通俗的な信念に反して、身体感覚はかなり可塑的である。筆者らは、特殊な視覚環境に被験者を置くことによって、ボディを離れた身体感覚の形成を試みている。水本・竹林・石川「情報メディアによる身体性の変容」(情報文化学会誌、第八巻、01)を見よ。
- (10) 英語ではすでに数年前に、一般向け啓蒙書『Introducing Evolutionary Psychology』(Icon Books UK, Totem Books USA, 1999)が出版されている。日本では、長谷川寿一・真理子『進化と人間行動』(東京大学出版会、00)が、この分野の大学レベルの教科書となっている。また、石川幹人ほか編著『心とは何か』(北大路書房、01)にも、蛭川立による進化心理学の解説がある。
- (11) 認知科学を広く、心の構成論的理解と捉え、進化心理学自体を認知科学の一部として考えることもできる。石川幹人「構成論的心理学考」(明治大学教養論集第三二七号、00)を見よ。
- (12) 機能主義は、歴史的には多少異なる意味合いで使われることもあったが、現代哲学に最初にこの用語を導入したヒラリー・パトナム(『理性・真理・歴史』、野本和幸訳、法政大学出版会、81)によると、脳は、「脳の物理学や脳の化学には言及しないような用語によって定義可能な」非物理的な属性をもち、それが、心理学的かつ機能的な属性であるとされる。
- (13) 言語機能については、ノーム・チョムスキーがいち早く生得性を指摘していた。言語の文法の複雑さを、オートマトンの階層性に対応づけ、人間のように複雑な文法をあやつるには生まれながらに「普遍的文法」が必要だと主張した。そして、後天的な学習によって形成される表層構造が、英語や日本語などの個別の言語習得を実現させているとした。『言語論 人間科学的省察』(井上和子ほか訳、大修館書店、75)など、彼の一連の著作を見よ。ただし彼は、その構造が進化によって形成されたという点には反対の意見を表明している(『言語と知識』、田窪行則ほか訳、産業図書、88)。
- (14) モジュール性を最初に提唱したのは、記号計算に基づいた機能主義の立場を主張したジェリー・フォードである。しかし、彼のいうモジュール性は、感覚器官に対応する部分に限られており、むしろ、思考に対応する機能部分の中央集権的動作を擁護するためにモジュール性を導入したと見られる。彼の『精神のモジュール形式』(伊藤笏康ほか訳、産業図書、83)を見よ。
- (15) ガードナーによる九種類の知能とは、言語能力、論理数学能力、空間能力、音楽能力、身体運動能力、対人能力、自己制御能力、自然認識能力、哲学宗教的能力である。最初の三つのみが伝統的な

IQテストの対象となっている。対人能力、自己制御能力は、最近『EQ』(ダニエル・コールマン、土屋京子訳、講談社、95)として注目された能力でもある。ハワード・ガードナー『MI:個性を生かす多重知能の理論』(松村暢隆訳、新陽社、99)を見よ。

- (16) 「裏切り者検知モジュール」の適応的進化に関する議論の詳細は、別途拙書『人間と情報』(培風館、99)第六章にまとめているので、そちらを参照されたい。
- (17) 囚人のジレンマとは、二人の共犯者が警察に捕まって別々の部屋で取り調べられ、相手を裏切って自供すると刑を軽減してやると言われる状況である。一回限りのジレンマであると裏切って自供するのが数学的に合理的行為であるが、何回も繰り返しがあると裏切らないでいるのが合理的行為となる(ロバート・アクセルロッド『つきあい方の科学』、松田裕之訳、ミネルヴァ書房、84)。こうした行動の数学理論を「ゲーム理論」として定式化したのは、コンピュータの原理をも提唱したフォン・ノイマンである。ウィリアム・パウンドストーン『囚人のジレンマ』(松浦俊輔ほか訳、青土社、92)に、彼の伝記がある。
- (18) 進化的に安定な戦略(ESS: Evolutionarily Stable Strategy)とは、端的に表現すれば、同じ戦略をもつ個体が蔓延したときに、その他の戦略を寄せ付けない(その他の戦略をもつ個体が生き残れない)ような戦略を指す。ジョン・メイナードスミス『進化とゲーム理論』(寺本英ほか訳、産業図書、82)を見よ。
- (19) 進化論にもとづく動物行動学的考察には、リチャード・バーン『考えるサル』(小山高正ほか訳、大月書店、95)を、考古人類学的考察には、ステュアート・ミズン『心の先史時代』(松浦俊輔ほか訳、青土社、96)を見よ。また論文集『心の進化』(松沢哲郎ほか編、岩波書店、00)も参考になる。
- (20) もちろん、心の進化を考えるには、物理的器官としての脳の進化をともに考える必要がある。そうした観点の議論には、ジョン・モーガン・オールマンの『進化する脳』(養老孟司訳、日経サイエンス、01)や、グレアム・ケアンズ=スミスの『<心>はなぜ進化するのか』(北村美都穂訳、青土社、96)を参照されたい。
- (21) 集団行動を行なう動物にとっては、各個体の顔が識別可能なことが必要である。そうでなければ、協力者や裏切り者を探知しても見失ってしまう。こうした点から、情報発信の重要性や、情報発信の内的衝動を論じることにもできる。この議論については、拙書『人間と情報』(培風館、99)第四章を参照されたい。
- (22) 「サリー・アン課題」のみで、他者の内的信念を想定する能力の有無を判定すべきではないだろう。身分の上下関係のある群れで暮らすサルでは、実際、相手の誤信念を利用して「騙す」行動が見られている。ドゥ・ヴァール『政治をするサル』(西田利貞訳、平凡社、82)を見よ。
- (23) サイモン・バロン=コーエンは、『自閉症児とマインド・ブラインドネス』(長野敬ほか訳、青土社、95)の中で、健常児やダウン症児との比較実験から、自閉症児は、注意共有の機能モジュールと、心の理論の機能モジュールに欠陥があると主張している。
- (24) 本稿での意識とは、自己意識を中心とした精神のあり方としておく。こうした意識は霊長類に固有のものであり、ダニエル・デネットの『解明される意識』(山口泰司訳、青土社、91)で議論されている。一方、感覚に近いものとして意識を捉える見方もある。その考え方によると、下等生物であっても意識をもつことになる。コリン・マッギン『意識の<神秘>は解明できるか』(石川幹人ほか訳、青土社、99)を見よ。

- (25) 筆者はこの考えを、一九九九年のツーソン意識科学国際会議における、著名な心理学者リチャード・グレゴリーの講演で初めて耳にした。彼は、Flagging the Present と表現していた。
- (26) 言語の進化については他に、デレク・ビッカートン（『ことばの進化』、笈寿雄訳、勁草書房、90）、スティーブン・ピンカー（『言語を生み出す本能』、棕田直子訳、NHKブックス、94）、テレンス・ディーコン（『ヒトはいかにして人になったか』、金子隆芳訳、新曜社、97）などによる、数々の議論がある。
- (27) 認知心理学の分野では、情報の心的表象が「記号」であるか「イメージ」であるかが、長年の論争の的となっている。しかし、ここではそれらを含めて広義の言語としておきたい。また、ミームの伝達を考えれば、絵の描画やジェスチャーなどの手段もなくはないが、圧倒的に狭義の言語によって媒介されるので、一律に言語という言葉を用いてもそれほど問題ではないだろう。
- (28) 本稿におけるミームの定義は、（広義の）言語によって後天的に学習される概念情報である。スーザン・ブラックモア（『ミーム・マシーンとしての私』、垂水雄二訳、草思社、99）は、ミームを模倣によって伝達されるものとしたが、本稿とほぼ同様の定義対象となるだろう。リチャード・プロディ（『ミーム 心を操るウイルス』、森弘之訳、講談社、96）や、アロン・リンチ（『思想の伝染』、ベイシックブックス、96）はミームを、個体間で伝播する行動形態として広く捉えたが、生得的に秘められていた行動が触発される場合を含めてしまうので、遺伝情報と分離する観点からすると問題が残る（この点はブラックモアが指摘している）。
- (29) この情報の変化の項目が、遺伝子とミームの大きな違いと見る向きもある。つまり、遺伝子の変化は「偶然」で、ミームの変化は個体の思考による「必然」であるという見方である。しかし、遺伝子の変化自体に「適応変異」などの「偶然」とは言えない作用を積極的に認めようという動きもある。複雑系による創発にはスチュアート・カウフマンの『自己組織化と進化の論理』（米沢富美子訳、日本経済新聞社、95）を、量子力学的効果にはジョンジョー・マクファデンの『量子進化』（ノートン社、00）を見よ。
- (30) デネットは『ダーウィンの危険な思想』の中で、車輪やアーチやハサミなどの人工物は、その物を示すだけで、その使用法や設計法を伝えるので、優れたミームであるとしている。けれども、本稿では、こうしたミームは副次的ミームと考えたい。なぜならば、人工物の使用法などの理解は、人間側に他の関連した知識（ミーム）があることによって成立するのであるから、人間、すなわち「心というミームの場」を離れて確固たるミームがあるかのように把握するよりは、心の内のメノムを中心にして把握するほうが生産的である、という立場とるからである。
- (31) ミーム複合体に対しては、memplex という造語が使われている。宗教ミームとは、宗教としての効果を及ぼすようなミームの複合的組織体である。避妊ミームとは、結果的に避妊という行動に至らせる効果を及ぼすようなミームの複合的組織体である。 ミームと端的に書かれるときには、その本来の意味を解釈する必要がある。この点は将来的には、用語法の改善の余地がある。またメノムの中には、ミームも、ミーム複合体も含まれるが、ときには互いに矛盾した不整合なミーム同士も同居しているので、メノムをミーム複合体と呼ぶには無理があろう。
- (32) ミーム学のオンラインジャーナルは、マンチェスター大学政策モデリングセンターによって運営されている。次のアドレスを見よ。 <http://www.cpm.mmu.ac.uk/jom-emit/>
- (33) スペンサーは、生物有機体と社会有機体とを比較し、進化のプロセスをアナロジーにして「社会進化論」を打ち立てた。しかし、社会進化論は一種の進歩史観を含み、ナチのユダヤ人迫害にもつな

がる優生思想の基盤となった。価値中立的な環境適応を問題にする現代進化論とは、一線を画すのは言うまでもない。

- (34) 佐倉統はミームの観点からの教育を重視し、それを教育社会学的視点と社会心理学的視点とを橋渡しするものと位置付けている（『遺伝子 v s ミーム』一四二頁、廣済堂出版、01）。
- (35) 進化論と倫理の関連性は、すでにダーウィン自身が指摘している重要な論点である。デネットの『ダーウィンの危険な思想』では、第三部がまるまる倫理の問題に当てられている。日本では内井惣七が『進化論と倫理』（世界思想社、96）で深く議論している。
- (36) ここには、いわゆる「洗脳」と呼ばれる行為を可能とする危険性がひそんでいるが、悪意をもって使われる前に（すでに実践的に使われているかもしれないが）、理論化して警鐘を鳴らすことが肝要であろう。
- (37) 進化、すなわち環境変化への適応に、多様性が不可欠であることをもう一度明言しておこう。たとえば、我々人間は誰もが、ビタミンC（アスコルビン酸）を体内で合成できない遺伝病にかかっているとされる。他の哺乳類には、ビタミンCを体内で合成できる種も多いからだ。ビタミンCは柑橘類に多量に含まれており、そうした環境に生きる動物は取り立てて体内で合成する必要がないので、これは環境に適応した進化とも考えられる。しかし、もし柑橘類植物が絶滅してしまったならば、そうした環境変化に対応できなくなってしまう（現在ではビタミンCは化学合成できるから安心だが）、環境に過度に適応してしまって多様性を失うと、危険性は大きい。この意味で、優生思想や、遺伝子の工学的改良には歯止めが不可欠である。
- (38) かつてマイケル・ポラニーは下位レベルに対して上位レベルが行なう制御原理として「周縁制御の原理 the principle of marginal control」を提案した（『暗黙知の次元』、佐藤敬三訳、紀伊国屋書店、66）。本稿のここでの議論は、進化原理とこの周縁制御の原理との組合せと考えてもよい。拙稿「中心／周縁モデル 問題解決の認知モデル」（人工知能学会研究会、H I C G 第四巻第六号、88）も参照されたい。

いしかわ・まさと（文学部助教授）