

生命を迫る

生物多様性の世界 1

リンネが生物の分類体系を整備してから 300 年近い歳月がすぎた。この間、分類学者の営々とした努力で、現在約 140 万種の生物が記載されている。そのなかでもっとも多いグループが昆虫で 75 万種、ついで植物の 25 万種ということになる。私たち人類が属するほ乳類は 1 万種たらずと小さいグループであるが、これを含め、すべてが森林という生態系の構成要素である。

地球の歴史をふりかえると地球は多様性を好むらしい。生命が地上にあがったのは 4 億 5 千万年前のことであるが、それ以後地上植物の種数は増加している。石炭紀（約 3 億年前）の裸子植物の森林よりも白亜紀中期（約 1 億年前）以降の被子植物の森林のほうが 3 倍以上種数が多くなっている。昆虫の科数もほぼ一定の率で増加している。

もちろん、この間絶滅するものもあったが出現するものもあり、結果的に純増している。また海産動物では過去 5 回大絶滅がおこったが、植物と昆虫ではこの影響は検出できない。なかには、恐竜のように絶滅したグループもあるが、鳥とほ乳類におきかわったと考えれば、全体として増加しているようだ。

なぜ、これだけ途方もない数の生物が進化してきたのだろうか。こうした単純な疑問は子供のころだれもが一度は思うものであるが、答えるのはとてもむづかしい。なぜ、一種類だけの樹木で世界中の森林が構成されていてはいけなのだろうか。この疑問は生物学のなかでも最近 50 年無視されてきたテーマであった。

20 世紀後半は生命現象の統一原理が解明された輝かしい時代であった。遺伝情報システムはすべての生物で共通であり、その物質的基盤が DNA にあることが解明された。細胞レベルでは植物と動物といった生物の大系統間で差が少しでくる。

しかし、昆虫と人類の個体はおなじ構造の細胞の集合である。L・マーギュリスなどによってこれらの細胞の進化の道筋も解明されている。細胞内小器官はもともと独立の生物であったが、それらの共生によって細胞が進化してきたという。以上の発展を担ってきたのは分子生物学の分野である。

これに対し、博物学や分類学は記載的羅列的な学問分野であり、社会的使命をおえたものとして扱われてきた。博物学の伝統がしっかりしている欧米でも、こうした分野はどんどんつぶされ、時代の動向に敏感な学生からも見放されてきた。分類学ほどでないものの生態学も同様の運命をたどってきた。

ところが、21 世紀の生物学は生命現象の統一原理を追求してきた分子生物学

の時代から「生物多様性の科学」の時代に入るという予測が多くの人によって
だされるようになった。そのための国際プログラムも始動している。本連載で
はこうしたマクロ生物学の最近の動向を紹介したい。

京都大学教授 井上 民二 1997/1/4/土 掲載記事より転載

生物多様性の世界 2

データ不在 対応難しく

現在の国際政治において地球環境問題の重要性が高まっている。ひとつは温暖化であり、もうひとつが生物多様性の減少問題である。前者については二酸化炭素(CO₂)の急激な増加がデータとして示されているし、炭素税などの具体的な対策がすでに議論されている。ところが生物多様性の方はどうしてそんなものが国際政治のうえで大事なのかについての理解が得られていないようだ。日本は戦後工業で稼ぎ続けてきたので、特にその傾向が強い。

1992年にブラジルで開催された地球サミットで生物多様性条約が締結された。これは生物学(特に生態学)の専門用語、概念で書かれた初めての国際条約で、生態系、生息場所、遺伝資源などの言葉がたくさん出てくる。この条約は、生物多様性の保全と持続的利用と、利用から生じる利益の公正かつ公平な配分を目的としている。なかでも第十五条の「遺伝資源へのアクセス」が重要で米国がサインしないのもそのためであった。これまでは、たとえば、日本の民間会社がアマゾンの植物を無断で持ち出し、画期的な医薬品を開発しても、倫理上はともかく国際的には罰する規定がなかった。この条約ではそうした場合、日本国政府が責任をとることを義務づけ、その遺伝資源を保有していたブラジルにも利益の配分を請求する権利を認めている。保全へのインセンティブを高めようというのが条約のねらいである。保全のために各国が具体的行動計画の作成と実行を行うことをこの条約は義務づけている。95年秋に環境庁がまとめた「生物多様性国家戦略」はこれにあたる。

また、第二十条では、先進国が発展途上国に保全のための資金援助をすべきであると明示されている。多様性がきわめて高い熱帯林をもっている発展途上国は積極的にこの条約を利用しようとしている。

では、生物の多様性はどの程度減少しているのだろうか。これについてはCO₂のように明確なデータが存在しないのが現状だ。地球上の全生物種の半分以上が生息する熱帯林は90年に50%まで減少した。このままの率で伐採が進むと2030年には10%になってしまうと推定される。もしすべての生物が一様に分布しているなら、残った10%の地域が「ノアの箱船」となりすべての種が残るだろう。逆にすべての生物がごく狭い地域に土着しているなら面積に比例して

10%しか残らないことになる。

ところが森林面積の減少率も後者の種ごとの土着率も信頼できるデータが存在しない。科学的にみて正しいことが確認されてから行動がとれる状況は対処しやすい。しかしこうした地球規模の現象は一度それが起こってしまえば、取り返しがつかない可能性もある。国際政治も固有の力学で動いていることは捕鯨問題で日本も十分に経験している。生物多様性の問題もこうした視点からとらえておかないと、日本としても進路を誤ることになる。

(京都大学教授 井上 民二) 1997/1/11/土 掲載記事

生物多様性の世界 3

生態系の生産性に影響

陸上生態系で種多様性の分布がもっともよくわかっているのは樹本である。緯度方向にみると温帯林にくらべ熱帯林は単位面積あたり数十倍の種が分布している。マレーシア・サラワクの低地林では50ヘクタールあたり1200種という記録もある。熱帯林での単位面積あたりの個体数は温帯林の約1.5倍なので、熱帯林では種ごとの密度が極端に低いことがわかる。

こうした多様性のマクロな分布パターンを説明するアプローチにはさまざまなものがあるが、歴史的なものと現在の環境から説明するものとに大別できる。後者の例としてD・J・キュー・リらの仕事を紹介しよう。多様性のパターンは樹木の一次生産量ともっとも高い相関をしめす。一次生産は無機環境から生態系へのエネルギーと栄養塩類の取り込み口にあたる。一次生産量と単位面積あたりの生物体の現存量（大半は樹木の幹、枝、葉）は直接的にむすびつくが、多様性との関係を説明するには別の論理が必要になる。これをうまく説明したのが甲山隆司（北大地球環境研究科）である。彼は森林のもっとも重要な構造として光をめぐる競争がおきる垂直構造に着目した。

熱帯では十分な光が一年中あるため高木層の下の中木層、さらに下の低木層というふうに垂直方向に多種が共存できる。高本になる種も幼木時代には薄暗い林床近くでくらしている。これらの種では「稼ぎ」を幹に投資し、高木に達してから大量の種子をつける。

これに対し、低本層の種は稼ぎをすぐに種子にまわすという別のやり方をとっている。生産性が高い所では戦略の異なる種が共存できるというわけである。多層構造である熱帯林では光は順に利用され、地面には太陽光の1%しか到達しない。種多様性を実験的に操作して、種多様性が生態系の生産性に与える影響をD・ティルマンらは直接測定した。米国の草原プレーリーには約30種の草が生えているが、実験的にこの種数を低下させると、単位面積あたり生産量が

低下し、土壌中の栄養塩類の有効利用率も低下した。

単純に考えると、光合成効率のもっともよい草だけを植えるのが生産量が最も高いと思うがそうではないのだ。熱帯林には 1200 種という樹木が同じ所に分布していることはすでに述べた。草原で得られた結果がきわめて多様な生態系でも成立するかどうかはわからないが、種多様性が生態系レベルで重要な機能をもつのは確かなようだ。だとすれば、草原や森林の多様性の喪失は地面に保持されている炭素が二酸化炭素として大気中に放出されることを意味する。温暖化と生物多様性の減少はけっして別の問題ではないのだ。

(京都大学教授 井上民二) 1997/1/18/土 掲載記事

生物多様性の世界 4

貴重なアジアの海・森林

シベリアから東南アジアをへてオーストラリアにいたる連続した森林は「グリーンベルト」と呼ばれている。このグリーンベルトは以下の三要因によって支えられている。まず、肥えた土。ユーラシア大陸に太平洋プレートが沈みこみ、火山活動によって栄養塩類が地上に返される地帯である。短期的には地震や火山爆発という災害をもたらすが長期的には生産性の高い土壌が供給される。二つ目は巨大灌漑（かんがい）装量。西太平洋には地球の自転によってセ氏 28 度を超える温かい海水がたまっており、チベットには高原が広がっている。両者の間に吹く風、モンスーンが全域に雨をもたらす。三つ目は安定した気候。ヒマラヤ山脈が東西にのびて、大気の南北移動を妨げるため、氷期にもアジアの熱帯域は森林であり続け、多様性の揺りかごとになった。これに対しアフリカや南米では氷期には乾燥し、森林は島状に孤立化した。

陸上だけでなく、アジア東岸の浅海域は海産生物の宝庫である。サンゴ礁の多様性がもっとも高いのもアジア東岸である。これはすでに述べたように西太平洋にもっとも温かい海が広がっているためである。この地域を私たちは「ブルーベルト」と呼んでいる。

生物多様性条約をめぐる国際的な動向についてはすでに紹介した。その科学的側面をささえるために、ユネスコと国際生物学連合などの国際機関は「ディベールシタス」（多様性を意味するラテン語）という国際プログラムを 1991 年に開始した。このプログラムでは生物多様性の収集整理とモニタリング、創出・維持機構の解明などをめざしている。また、このプログラムでは世界をユーロアフリカ、南北アメリカ、アジア太平洋の三地域に分割し、それぞれの地域ごとに活動をおこなうことになっている。アジア地域の生物多様性を保全するための国際プログラム「西太平洋アジア生物多様性国際ネットワーク」（DIWPA）が

93年に開始された。DIWPAは多様性保全のために具体的な四つの行動をとっている。野外ステーション網の構築 国際共同研究の促進 市民教育 市民ボランティアによる保全活動 - - である。DIWPAには現在36地域310人の研究者が参加している。西太平洋アジア地域のほとんどすべての地域から参加がある。また、太平洋の諸島はほとんど参加している。これはこれらの島々の生物がアジア由来のものだからである。

これまでのこうした国際プログラムでは欧米がほとんどの枠組みを決め、日本はその一部を担うという形がほとんどであった。DIWPAは京都大学生態学研究センターが中心となってまとめ、提言した最初のものだと国際生物学連合のT・ユネスさんにおほめの言葉をいただいた。また、この地域のほとんどの国を議長の小那部浩哉・前京大生態研センター長以下が直接まわり、提言に各国の意見を組み込んだ。

(京都大学教授 井上 民二) 1997/1/25/土

生物多様性の世界 5

学生集い国際野外実習

地球環境問題は二二 年ごろから顕在化するといわれている。私たち団塊の世代は「幸いにも」この世からおさらばしているところである。そのころ社会の中核に座っているのが現在の十代から二十代である。地球環境問題の対策の中で最も重要なのは優秀な人材の育成である。

生物多様性の問題を扱うには生物が実際に生きている野外生態系に慣れ親しんでいることが不可欠である。日本人の大半が都市生活をしている現任、こうした経験が子供のころにできるチャンスが激減している。わたしの所属する京大生態学研究センターにやってくる大学院生はこの方面をめざしているはずだが、やはり自然体験が少なすぎる。

西太平洋アジア生物多様性国際ネットワーク(DIWPA)では次世代育成のために国際野外生物学実習を始めた。第一回は一九九五年八月、東南アジアのなかでも最もすばらしい熱帯雨林が残っているマレーシア・サラワク州で、サラワク林野庁と共同で行った。韓国二人、台湾五人、マレーシア五人、日本六人の計十八人の学生が参加した。

マラヤ大学のH S ヨンさんからは「日本が呼びかけて、仲の悪いといわれていた隣国からも参加して、マレーシアでこんな実習ができる時代がきたんですね。それだけで十分価値があります」と開校式のときに言っていた。

実習はランビル国立公園の施設を借り切って、学生と講師が一カ月間泊まりこんだ。最初の一週間はレクチャーで、熱帯林研究に必要な知識とテクニック

を十六人の講師から学んだ。代表的なものをあげると、S・アパナ氏（マレーシア森林研究所）による森林生態。J ラフランキー氏（スミソニアン熱帯林研究センタ - ）による植物分類の講義

などである。

そのあとの二週間は四チームに分かれて熱帯林に入り、着生植物やアリ植物などの野外調査を行った。チームには講師がひとり以上入って、単に実習というよりは本番の研究とはどんなものかがわかるようにした。そのあと一週間はデータ整理と論文書きにあてた。自然に接するには漠然とみるよりは、目的をはっきり絞って、それに関してはとことんやるのが一番の近道である。

一九九六年八月にはバイカル湖でロシア極東科学アカデミーの協力で第二回が行われた。このときは一隻の調査船に全員が乗り込み、バイカル湖全体をまわった。わたしも講師として参加したが、水のきれいさ、まわりの陸地に車道が全然ない世界がいまだにのこっていることに感激した。

実習に参加した学生はとても親しくなり、実習以後も何度も会っているようだ。先日もバイカル仲間が予告もなしにセンタ - にやってきた。韓国からキム君が遊びにきたのでみんな集まったとのことだった。サラワク仲間からはマレーシアの大学院に進学する人や国内でも環境科学を選ぶ人が輩出している。一九九七年はタイの季節熱帯林で行われる。

（京都大学教授 井上 民二）1997/2/1/土 掲載記事

生物多様性の世界 6

花と昆虫の蜜月

恐竜はなぜ滅びたのか。こうした大進化に関する疑問は私たちを魅了するテーマである。約一億年前に起きた裸子植物から被子植物への切り替わりも同じく大進化に関するテーマであるが、現在の陸上生態系の多様性を考えるうえでは恐竜よりも切実である。

三十四億年前に海で誕生した生命が陸上にあがったのは五億年前のことである。それは水中の植物プランクトンが光合成により大気中に酸素を放出し、オゾン層が形成され、遺伝子にとって有害な紫外線が地表に達しなくなったことによって可能になった。約三億年前の石炭紀には陸上に広大な裸子植物の森林が広がり、それが化石となって現在燃料として利用されている。石炭は光合成の産物である植物遺体が地面下にとじこめられて分解されない状態であるから、結果的に空気中の二酸化炭素が減少し、酸素が現在の値の二倍になった。

白亜紀中期一億年前に被子植物への転換が急激に起こり、六千五百万年前には被子植物の比率は現在とほぼおなじ約九割を占めるようになった。この意味

で私たち人類は被子植物の森に住んでいることになる。

なぜ被子植物への転換が起こったのだろうか。それを考えるうえで生命の空への進出という出来事に注目する必要がある。最初に空を飛んだ生物はトンボなどの昆虫で、生命が上陸してから一億年後と、水から陸への進出にかかった時間に比べると比較的すぐに起こった。この時代の飛び方はグライダーと同じ滑空であった。

翼竜と始祖鳥が出現するのはジュラ紀末一億五千万年前であり、これらもはじめ滑空であったが次第に羽ばたいて揚力を得る飛行様式が出現してくる。昆虫でもこの時期飛行を採用するものが増えてくる。

飛行は単位時間あたりのエネルギー消費量が高いが、一定距離を移動するための総エネルギーは少なく済む。特に小型の昆虫が木から木へ移動するには効率のよい方法である。

植物は固着生活をしているが、繁殖のためには遺伝子の交換をする必要がある。これが植物にとっての最大の制約になっている。裸子植物は大量の花粉を生産し、風まかせで花粉が他個体まで運ばれることを期待する風媒花である。これに対して被子植物は、空に進出した昆虫に花蜜（かみつ）という飛行燃料として適した報酬を提供することで花粉を花から花へ運んでもらうことを「発明」したのである。目立つ色や香りはこの空の宅配使に間違いなく配達してもらうための「表札」になっている。イネ科やブナ科などで二次的に風媒花になった被子植物もあるが熱帯林ではすべて動物媒花である。

このように昆虫と共生することで被子植物は系統の制約を一億年前に解消したのである。被子植物が適応放散するとき、まだ鳥やコウモリが出現していなかった。そのためであろう、九割以上の被子植物は昆虫によって送粉されている。花にはやはり虫が似合っている。

(京都大学教授 井上 民二) 1997/2/8/土

生物多様性の世界 7

1 対 1 の特殊な共生

イチジクの果実を食べるとき、先端にへそのような突起があることに気づく。花のステージでも果実よりも小型であるがほぼ同じ形をしている。イチジクでは個々の花は内部に隠れていて、へそが入り口になっている。菊などの皿状花の集合花序がシュウマイのように内側に巻き込まれたものと考えればよい。

この入り口はジグザグの狭い通路になっており、これを通過できるのはイチジクの種ごとに特殊化した一種類のコバチだけである。コバチの頭部は通路をこじあけるためにくさび型になっている。入り口という錠にあったカギ(頭部)

をもったコバチしか入れない。また、数匹のコバチがはいると入り口は閉じられる。

入り口を通り抜けると空洞がある。空洞の表面はめしべの柱頭でびっしりと覆われている。コバチはすべての柱頭に花粉を付け受精させ、同時に産卵管を差し込んで子房に産卵しようとする。花粉は特別の容器である花粉かごに入れている。柱頭の長さは二種類ある。産卵管よりも短い柱頭の子房にはコバチは産卵でき、幼虫は子房を食べて成長する。受精していないと子房はふくれず、えさにならない。長い柱頭をもつ子房には産卵できないため、成熟して種子になる。コバチが成虫になるころめしべが成熟し、コバチは花粉を花粉かごに集めたあと外へ飛びだし、入り口の開いているイチジクを探す。

イチジグとコバチは先全に一对一に特殊化した共生の例として有名である。コバチにとって子供を育てるにはイチジグの子房が不可欠である。イチジグにとっても特定のコバチがいなければ、種子を作ることができない。子房の一部をコバチのえさに提供するかわりに送粉してもらっているのだ。こうした共生の進化の道筋は以下のように考えられる。

イチジクの祖先種は皿状花であった。当初コバチは子房の寄生者で一方的に産卵をするだけであった。祖先種は特殊化していず、さまざまな昆虫がやってきて送粉していたのだろう。イチジクの送粉者であるコバチはすべてイチジグコバチ科に属するが、この科には現在でも寄生者の方が多い。彼らは長い産卵管をもち、イチジクの外側から産卵している。そこでコバチの寄生を避けるためにイチジクは入り口を狭くし、寄生者の排除を目指した。しかし、少数のコバチはこれをすりぬけ、他のコバチが排除されたために有利な状況に達した。ここでイチジクがおしべを入り口の

周りに集中させて、コバチにすこしでも花粉を付着させるようになれば、送粉の役割を果たすようになる。受精を自分でやることはコバチにとってえさの確保にもつながるので、こうした相利関係は一気に進化しうるのである。

イチジグ属には現在 750 種が知られていて、近縁属に比べてきわめて多様な系統群である。この多様化には相互に不可欠な共生関係が寄与していることが実証されつつある。

(京都大学教授 井上民二) 1997/2/15/土

生物多様性の世界 8

生物が作る熱帯の「季節」

熱帯について、一年中温暖で、植物がいつも花を咲かせている季節のない世界であると想像される方が多いのではないだろうか。確かに東南アジアは一年

中十分な雨が降る、季節がないところである。ところがおもしろいことに、この季節のない地域で植物の活動に、最もはっきりした周期性が存在する。平均五年間隔でおこる一斉開花現象がそれである。

この現象自体は地上に落ちてくる花や実によって昔から知られていた。一斉開花が始まると数カ月間にほとんどの植物が開花するという。私たちはマレーシア、サラワク州で一九九二年以来植物の開花と結実を観測してきた。九六年年三月末、フタバガキ科が咲きはじめたとの、待ちに待った連絡が現地から入った。フタバガキは東南アジアの熱帯雨林に優占する樹種であり、一斉開花のときにのみ咲く。開花は七月末まで続き、五百種以上の植物が咲いた。閑散としていた森があでやかな花で彩られ、濃密な花の香りが森を満たした。

温帯林では森林の骨格をつくるブナや杉などの樹木は風媒花であるが、熱帯林ではすべてが動物（送粉者）によって花粉を媒介してもらっていた。主要な送粉者はハナバチと甲虫だったが、ムササビやゴキブリなどこれまで送粉者になるとは思われていなかった動物を利用する植物もあった。

種ごとの開花は約二週間と短く、離れている個体間でも驚くほどみごとに一致していた。同一の送粉者に媒介してもらう植物は重ならないように順に咲きわけていた。たとえば、オオミツバチ媒花はフタバガキ科リョウノウジュ属からはじまりマメ科まで順に咲いていった。

明りょうな季節のない環境で約五年間隔の一斉開花現象がなぜ進化してきたのだろうか。これまでもっとも有力視されていたのは「種子捕食回避説」である。動物がいつでも活動できる熱帯のような環境で、種子のような栄養に富んだものをいつでも作るとほとんど食べられてしまう。そこで一斉に結実させて、捕食者を飽食させるとする。

ところが調べてみるとすべての種子を利用する共通の種子捕食者が存在しないことがわかった。私は「送粉者共有説」が有力でないかと思っている。種ごとの密度が低い熱帯では、一種の植物だけでは一種の送粉者を養えないが多数が順に咲くことで養えるようになるこの説では考える。

もうひとつ、どのような刺激を感知して植物は花をつけるのかという疑問がある。さまざまな仮説が出されている。もっとも有力視されているのが低温の引き金である。放射冷却がおこるような降雨量の減少はエルニーニョの年におこりやすい。エルニーニョは平均五年に一度おこるので一斉開花の周期とみかけ上一致する。ところが九六年はエルニーニョはおこっていなかった。生物の活動がとぎれることがない熱帯では、彼らの間の相互作用が自律的な季節をつくりだしているらしい。

京都大学教授 井上 民二 1997/2/22/土 掲載記事

生物多様性の世界 9

動植物間の複雑な「軍拡」

熱帯雨林の林冠を構成する巨木が倒れると、太陽光の約1%しか届いていなかった林床に、明るいギャップが突然出現する。ギャップのみを利用するパイオニア植物は急激に生長し、数年で繁殖し、枯れていく。繁殖が終わったころ、遅れて伸びてきた、林冠へ達する樹木に追い抜かれる。

オオバギ属（トウダイグサ科）の植物はパイオニア植物の一員である。熱帯植物の大半は休眠しないが、例外的にオオバギの種子は休眠する。ギャップができたときの急激な環境変化によってオオバギの種子は休眠からさめる。葉が四枚になるころには、幹の先端部がふくらみ、中に空洞ができる。

シリアゲアリ属の女王アリはやわらかい幹に穴をあけ、この空洞に入る。女王アリはそこで産卵し、飛翔（ひしよう）筋を消化してそれをえさとし、最初の働きアリを育てる。働きアリは一頭だけが通過できる小さな穴をあけ、巣から出てくる。彼女たちは妹を育てるためにたんぱく質などの栄養分と活動エネルギー源である糖を集めなければな

らない。

多くのアリは肉食性で他の昆虫を捕食する。しかし、オオバギにすむアリは狩りの必要がない。オオバギが葉や葉柄の裏側の分泌腺から栄養分を分泌してくれるのだ。

このように、オオバギはアリに住と食を提供している。アリの方は葉を食べようとする昆虫や巻き付こうとするつる植物からオオバギを守る。植物にとって葉は光合成のための工場である。他の植物より一歩でも先に伸びるためには、葉がかじられたり、他の植物に遮へいされたりすることはオオバギにとって致命傷になる。

アリはオオバギに触れようとする動物に攻撃をしかける。何かの原因でアリがいなくなったオオバギの葉や新芽は昆虫に食べられてぼろぼろになっている。巻き付こうとするつるをアリは根気よくかみ、枯らす。アリはカイガラムシを巣内で「牧畜」している。カイガラムシはオオバギから吸汁する。樹液には糖が多いが他の栄養分が少ないため、糖分を排せつする。これが甘露であり、アリはこれをエネルギー源としている。カイガラムシが増えすぎるとアリは間引き、幼虫のえさにしている。

カイガラムシはいつアリの巣内に入るのだろうか。また牧畜されることでどんな利益を得ているのだろうか。これらについてはまだ解明されていない。熱

帯では動物は一年中活動できる温暖な環境にあるため、植物は何らかの防衛手段を発達させないと動物にどんどん食べられてしまう。

植物の中には毒物質による化学的手段などに頼るものもある。オオバギ属のなかにも化学防衛を行っている種類も存任する。いずれの手段をとるにしても、植物とそれを食う動物、その天敵の三者間には複雑な「軍拡競争」がおり、それが結果的に多様な植物と動物が進化してくることの原動力になっているようだ。

(京都大学教授 井上 民二) 1997/3/1/土 掲載

生物多様性の世界 10

アジアの熱帯雨林で繁栄しているフタバガキはもともと Gondwana 大陸起源で、その破片であるインド亜大陸にのって、アジアにやってきた。アジアに分布するフタバガキ亜科とは別の亜科、モノテスガアフリカに、パカライマエアが南米に分布する。アフリカと南米では種数も全部で 41 種と少なく、また低木として森のなかでほそぼそとくらしている。アジアのフタバガキは 530 種と種レベルでも繁栄し、また 50 メートルを超える巨大な樹木となり、林の骨格をつくっている。どのようにしてフタバガキはアジアで繁栄するようになったのだろうか。

インド亜大陸にのってアジアに上陸したフタバガキの祖先種は北上し、東南アジア北部で外生菌根菌と出合った。高等植物は、光合成能力はすぐれているが、栄養塩類の処理は不得意であり、土壤微生物が分解してくれたものしかとりこめない。菌糸が根をとりまく外生菌根菌は被子植物が出現してから、それと共生する形で進化した。比較的あたらしい、Gondwana 時代にはなかった菌類である。

現任では、森林の優先樹種となるブナ科、マツ科などはすべて外生菌根と共生している。フタバガキはアジア北部で外生菌根菌と出会い、それから貧弱な土壤条件の東南アジア熱帯に南下していった。現在のフタバガキの繁栄は菌根菌とくんで両者の長所をもちよる形で可能になった。

この壮大な仮説はフタバガキの分類を長年おこなってきた P. アシュトン(ハーバード大学教授)した。この仮説の検証は、フタバガキと菌根菌をアフリカ、南米をふくむ分布固全域から採集し、系統解析することで可能となろう。林冠部に達する、森林の骨格を形成する樹木は好適な光条件下で光合成しているため、十分な糖を生産する。

一方、熱帯の土壤は高温多湿で分解がどんどん進み、エネルギー源が不足している。樹本は余分な糖を毛根から外生菌根にわたし、毛根のまわりで栄養塩

類の分解を促進する。分解された栄養塩類を植物は吸収するというバーター取引が成立しているらしい。

お互いの得意な能力を利用しあうことが両者の繁栄につながることになる。多様性を維持するためには栄養とエネルギー問題を解決しなければならない。生物間共生は生態系レベルでの栄養とエネルギーの循環を円滑化するのに不可欠なのである。

キノコは菌根菌の繁殖器官、子実体である。フタバガキの林でも雨が降り続くと一斉にキノコが出てくる。そのころになると市場にもいろんなキノコが並べられる。いためたり、スープにしたりして食べるとうまい。キノコが傘をひらくとショウジョウバエなどたくさんの昆虫がやってきてさかんに胞子を食べている。風も吹かず、一日中湿度が高い林床で、どうやらキノコは昆虫に胞子を散布してもらっているらしい。フタバガキ菌根菌 - 昆虫、ここにも共生のネットワークがみられる。

(京都大学教授 井上 民二) 1997/3/8/土 掲載

生物多様性の世界 11

社会を構成するメンバー数やメンバー間の分業の複雑さを基準に比べると、昆虫ほど多様な社会システムが発達している生物はないであろう。セイヨウミツバチでは一匹の女王と数万匹の働きバチがコロニーとよばれる社会を作っている。女王は産卵のみを行い、それ以外の四つの仕事（巣作り、えさ集め、育児、防衛）はすべて働きバチが行っている。女王も働きバチも単独では次世代を残すことができない。ダーウィンの自然選択説ではより多くの子孫を残す形質が進化すると考える。自分の子供を残さない働きバチの存在は自然選択説では説明できなかった。

W D ハミルトン（オックスフォード大学教授）が血縁選択説によって見事にこの問題を解決した。働きバチは単独で子育てして自分の子供を残すより、自分の母などの血縁者の子供を育てる方が自分の遺伝子をより多く残せる場合、血縁者と共同社会を作る方を選ぶと考えた。この血縁選択説が研究者の間で受け入れられた一九八〇年代以降、さまざまな種の社会が系統的に調査され、きわめて多様な社会システムの存在が明らかになった。

ミツバチに近縁のハリナシバチでは、女王がメスを産み、働きバチがオスを産む種もいる。また、セイヨウミツバチでは女王が死ぬと働きバチの卵巣が発達し産卵するが、働きバチが完全に卵巣を退化させた種もいる。働きバチの産む卵を複雑な儀式の後に女王に提供する種も存在し、繁殖をめぐる分業にかぎってもシステムはきわめて多様だ。

以上、社会システムの種間の多様性について紹介してきたが、ひとつの種の社会を構成するメンバー間にも多様な個体が共存しており、多様な個体の共存によって社会がうまくまわっていることがわかってきた。セイヨウミツバチの働きバチは同じ遺伝組成をもった個体の集まりであり、若い個体は巣内で育児に、それから入り口で防衛に従事し、最後に巣外でえさ集めを行うというふうに、年齢によって分業しているとかつては考えられていた。ところが累代飼育によって、防衛や女王の育児などの仕事が遺伝的に決まっていることが判明した。防衛行動の強いコロニーのみを選択的に残すときわめて攻撃的なコロニーを作りだすことができるのだ。ミツバチでは複数のオスと女王が交尾することで遺伝的多様性が維持されている。こう書くとなんかすべてが遺伝的に決まっているようだが、実際はもっと複雑で、まわりの個体が何をしているかという社会的状況も加味して、各個体は自分の行動を決めている。遺伝的であれ、後天的であれ、多様な個体の共存が社会の維持に不可欠であることは以下の例で明らかである。

ミツバチの偵察係はよいえさ場をみつけると 8 の字ダンスで仲間に知らせる。偵察係は全体の数割以下でほかは巣でぶらぶらしている。ぶらぶらしていて、偵察係のメッセージを聞く個体がいないと情報伝達できないのは自明のことである。

(京都大学教授 井上 民二) 1997/3/15/土 日経新聞夕刊連載記事

生物の多様性の世界 12

生物の多様性の「価値」とはなんであろうか。一言でいえば、それこそが 34 億年の生命の歴史そのものである点につくる。

生命の進化は多様性を好む。植物も昆虫も種多様性は一定の率で増えてきた。もし熱帯林を完全に失えば、過去一億年かけて被子植物が作り上げてきた歴史を失うことになる。そこは私たち人類が属する霊長類の故郷でもあるのだ。私たち二十世紀の人類は近代資本主義という効率的な経済システムを手にいれ、都市という快適な空間で暮らすようになった。都市をささえているのは、過去の生物活動の遺産である化石燃料と、熱帯林から切り出す木材、森林や草原を切り開いた農地からの食料などである。消費した資源は廃棄物となって大気、海洋へ捨てられる。近代資本主義の思想は開放系を前提とした発展の論理である。

ところが気付いてみると地球の環境容量は意外に小さく、人類活動の規模はその容量を超えつつあるらしい。生物の多様性の喪失を加速化している力は同時に、人類という社会的動物が過去一千万年かけて作り上げてきた社会システ

ムや文化、文明の多様性の喪失をもたらしている。

熱帯林の奥まで国民と国家が浸透し、すべてを「公平な」国際市場に直結させた。狩猟採集や遊牧、伝統的焼き畑などというに及ばず、農村の社会システムも都市に侵食されている。地球が完全な閉鎖系になるであろう二十一世紀、人類はどんな生き方を選ぶことになるのだろうか。それを考えるとき、自然生態系において多様性が創出され、維持されているメカニズムは私たちに多くのことを教えてくれる。

なぜならば、自然生態系は口 - カルに閉鎖系であるからだ。生物種は昆虫がピンにさされ標本箱に並べられているように静的に存在するのではなく、複雑な相互作用の網目のなかでなんらかの機能をはたしながら存在する。相互作用のなかで、種内種間の競争が従来注目されてきた。光をめぐる植物間の競争のように競争的關係が自然界にたしかに存在する。

しかし競争的側面だけでは多様な生物の共存を説明できない。今回の連敏でいくつか例をあげたように、種間の共生關係が多様性を促進している。共生は本来双方の利己的な利益追求から始まったと考えられるが、両者の長所があわせることで、物質と情報のリサイクルループが完成する。

フタバガキとキノコは糖と栄養塩類のバーター取引によって、花と送粉者は報酬と運搬サービスの交換によって。これらが統合されて、多様性の高い生態系のほうが豊かな生態的機能を持つことになる。種内でも社会が出現すれば個体間分業によって、個体の仕事の総和よりも大きい利益を各個体にもたらす。

そこでも競争的側面と協調的側面のバランスによって多様な社会システムが出現する。さまざまな個性をもった個体が存在するからこそ社会を共有する価値が出てくるのだ。(京都大学教授 井上 民二)

生物の多様性の世界 13

これまでの連載でなぜ生物多様性を保全しなければならないかについて私なりの考えを紹介してきた。しかし、生物多様性を急激に減少させているのは人間の経済行為である。これに対処するためには具体的な社会政策として実行しないかぎり机上の空論で終わってしまう。中米コスタリカは社会政策の成功例として世界的に有名である。

私はこの三月、八年ぶりに同国を再訪し、その現状をみてきた。首都サンホセの飛行場に夜遅く着き、最初の目的地ラセルバにむけて走りはじめた。前回の経験からでこぼこ道を五時間はかかると覚悟していたが、ハイウエーが完成して一時間半で着いてしまった。

ラセルバには米国とコスタリカの大学連合が共同で組織する熱帯研究機構（ITS）のフィールドステーションがある。今回は G・ハートション所長に同行し、年次総会にゲストとして出席して日本の生物多様性への取り組みを紹介した。また、エコツーリズムの人類学的調査にきていた池田光穂さん（熊本大学）と出会え、貴重な情報を得ることができた。

驚いたのは、昨年、コスタリカのエコツアーによる収入は六億ドルを超え、バナナやコーヒーを抜き、外貨獲得の第一位に躍り出たことだ。政府はエコツアーの対象として魅力的な地域を国立公園や自然保護区としているが、その総面積は国土の 11%にあたる。これ以外にも ITS などの国際機関が運営するフィールドステーションがある。

エコツアーにも様々な形態があるが、平均的には 10 人たらずの客にガイド 1, 2 人がつき、一日森のなかを歩き回る。私も生物学者と名乗らずに一つのコースに参加したが、ガイドの教育レベルの高さに感心した。

エコツアーに従事している人の職種も多様である。サンホセの旅行ガイドから始まり、バスの運転手、国立公園のレンジャーなど、たくさんの人がエコツアーから直接収入を得ている。また、単に自然を保護してその中を歩くだけでなく、大規模施設も建設されている。サンホセから一時間のところにある全長五キロの「空中軌道」がその例である。スキー場のリフトのように、六人乗りのゴンドラが森の中を縫うように走っている。手の届く距離で着生植物やその花にやってくるハチドリをみることができる。これだと森の中を歩けない老人でも自然を楽しむことができる。入場者年間 8 万人、入場収入が 300 万ドルを超えるとのことだ。

エコツアーを成立させているのは皮肉なことに人類活動による自然破壊にともなう自然の希少資源化である。コスタリカはこの資源をうまく管理しながら、他国にさきがけて有効利用する政策を実施している。

エコツアーには地元住民に対する悪影響など検討すべきマイナス面も出てきている。しかし、生物多様性を保全するため、即効性のあるカンフル剤の役割を果たしていることは確かだ。（京都大学教授 井上 民二）

生物の多様性の世界 14

中米コスタリカを有名にしたもう一つの取り組みは、国立生物多様性研究所（INBIO）による生物資源の積極的な探索である。首都サンホセ郊外にあるこの研究所を訪問してまずびっくりするのは、自動車の組み立て工場を思わせる整然とした設備と警備の厳重さである。

はじめに私の専門である昆虫部門を見学した。野外から標本を採集して INBIO という「工場」に搬入するのは、「パラタクソノミスト」(地元の分類学者の意)というあらたに設けられた職種である。彼らは昆虫の分類や採集方法などの基礎知識を学んで、各地の調査地に定住している。地元住民の中から自然をよく知っている人を教育しているとのことだ。アルコール漬けになって搬入された標本に一匹ずつピンをさしラベルをつけ、分類群ごとにわけ、棚に整理していく。

これはちょうど自動車工場の逆で、生態系という自動車を分解して部品棚に戻す作業とたとえることができる。生物に関するこうした全工程はインベントリー(本来の意味は文字通り在庫管理)とよばれている。

この全工程はコンピューターで管理していて、実際の標本とはバーコードで結びつけている。棚は分類群ごとに整理されているが、ある日時、ある場所で採集された標本群がどこに入っているか、たちどころにわかる。昆虫は科レベルに分類しているが、この作業は博士号を持ったプロの分類学者が従事している。

昆虫以外にも植物、菌類、貝がこれまで対象となってきたが、今年からすべての生物を対象とする計画が始まる。これは長年コスタリカで研究を続けている世界的に著名な D・ヤンツェン教授(米ペンシルベニア大学)の提唱によるものである。彼は INBIO のバックボーンでもあり、ゴア米劇大統領など環境グループとの関係が密接だ。

INBIO を社会的に有名にしたのは上記のインベントリー部門よりも生物資源探査部門である。この部門も丁寧に案内してくれたが、写真はとらせてもらえなかった。現在、メルクなどの数社以上と契約を結び、化学物質と DNA の探索、スクリーニングをおこなっている。

植物や菌類は言うに及ばず、昆虫やその糞まで対象となっている。冷凍して持ち込まれたサンプルをいったん真空乾燥し、そこから様々な溶液で成分抽出している。成分はこの形で製薬会社に渡すが、独自の分析システムも持っている。これまでヘルペスに有効な物質などいくつかの成分をスクリーニングしているとのことだった。

コスタリカはエコツアーで日銭を稼ぎながら、生物資源で大きなホームランを狙っているようだ。これを米国が全面的にバックアップしている。こうした資源探査は東南アジアでも始まっていると、シンガポール大学の友人が教えてくれた。

「生物多様性の現在」は基礎科学から応用まで、野外からラボまで、生物学の再編成の過程といえる。

(京都大学教授 井上 民二) 1997/4/5/土 掲載記事

知と情の科学第二部

進化の中で 1

脳の進化は屋上屋の積み重ねにみえる。古い構造を保持したまま、新しい機能や組織をそれに上乗せして発達してきた。過去を切り捨てる更新ではなく、歴史を丸ごと抱え込む拡大戦略である。脳シリーズの第二部は、脳に刻まれた進化の筋書きを探る。心はいつ生まれ、知性はどこに行きつくのか - -。

作業記憶が原形に

ヒトの脳は単なる情報処理装置ではない。多くの脳研究者は、心がそこに宿っていると考えている。愛も尊敬も、せん望やねたみも、それぞれ脳の特定部位と関連しているという仮説だ。いつ、どんな理由で、脳に心が生まれたのだろうか。

それを解くカギは、目的や意図と関係して心を動かす「意識」にある。意識を定義するのはむずかしいが、北海道大学の沢口俊之・助教授は「言葉を伴わない意識は、三千五百万年前、真猿類というニホンザルやアカゲザルの祖先の誕生までさかのぼれる」という。

たとえば、木に赤いリンゴがなっているのが見えたとする。それをもいで食べようとする目的があれば、リンゴの位置や形を情報として活性化した状態で脳内で保持する。こうした作業記憶（ワーキングメモリー）が意識の原形だ。知的活動の場といわれる脳の前頭連合野に、この作業記憶や自由意思と関係する 46 野という部位がある。ヒトでは良く発達している。ニホンザルやアカゲザルなど真猿類の脳にも 46 野はきちんとある。一方、同じ霊長類でも六千五百万年前に誕生した原猿類の子孫であるギャラコという小型のサルの脳には前頭連合野がほとんどなく、46 野も欠けている。従って、人間と同じような意味での意識は、彼らにはないという推測が成り立つわけだ。

非言語的な意識という意味では、顔や表情を読み取り、個体やその状態を識別する能力も、アカゲザルなどは持っている。相手の顔を読むという一見高度な作業が、側頭葉の特定の部位で行われていることもわかっている。

これらの意識は、おおむね右脳で生まれる。論理よりも感性が先行する右脳

的意識ともいえる。

左脳的な意識に差

しかし、現実のヒトの意識のほとんどは言葉に依存している。人間の精神活動は言葉という優れた抽象能力を持つソフトウェアで満たされている。その影響を排除して、心を語ることはできない。この左脳的な意識に関して、ヒトとサルは決定的に違う。ニホンザルやアカゲザルには、47 野、ブローカ野、ウルニケ野など、言語に関する領野がない。チンパンジーやボノボなどの類人猿も、言語野はあまり発達していないとみられている。カギでドアを開けて、室外散歩としゃれこんだ京都大学霊長類研究所のチンパンジー「あいちゃん」も、モノと抽象概念である言葉を一対一で結びつけることはできても、抽象概念同士を自由に組み合わせることは苦手だったという。

人間だけが言葉を駆使して概念を操るすべを身につけた。五百万年前の人類の最初の祖先アウストラロピテクス（猿人）は、頭がい骨から言語野はなかったと推定される。言語意識が芽生えたのは、次のホモ・ハビリスかその次のホモ・エレクトス（直立原人）だと、頭がい骨の化石が示唆している。

屋上屋方式で進化

爬虫類（はちゆうるい）の脳、ほ乳類の脳など、屋上屋を重ねて進化してきた脳は、言葉という基本ソフトを得て、概念をいくつも積み上げ、意識を多層・多重にする思考の屋上屋方式を編み出したようだ。

激しい競争と複雑な社会関係が、ヒトの脳と言語を飛躍的に進化させたようだ。皮肉にみれば、官僚たちが天下り先や利権を次々に生み出すのも、意識の進化のある種の帰結なのかもしれない。

（編集委員 塩谷 喜雄）

進化の中で 2

人間は最も大きな脳を持つ生き物ではない。脳体積、大脳新皮質の表面積とも、鯨やイルカが人類をしのぐ。しかし、彼らがその大きな脳でどのような情報処理をしているかはまだ十分には解明されていない。

重さは人間の 3 倍

「これがシャチの脳です」。

神谷敏郎筑波大学名誉教授が指し示したのは一抱えもある巨大な脳だ。重さ四キログラムは人間の脳（平均 1.4 キログラム）の約 3 倍。地球上で最大の脳の持ち主はマッコウクジラであり、9.2 キログラムという記録がある。知能のバロメーターとされる脳のしわでも人類の分は悪い。イルカの脳は人間とほぼ同じ 1.5 キログラムだが、しわはより細かく深い。高度な情報処理をつかさどる大脳新皮質の面積は人間が新聞 1 ページほどであるのに対し、イルカは 1 ページ半相当である。脳皮質の単位面積当たりの神経細胞数は人もイルカも変わらないので、ハードウェアとしての脳の潜在能力は、人より鯨類の方が大きいともいえる。

問題は彼らがこの脳を使って何をしているかだ。脳は非常に多くのエネルギーを必要とする器官で、進化の中で無駄に大きくなったとは考えにくい。何らかの必要性があって大きな脳ができたはずなのだが、鯨類はどんな必要があって大きな脳を得たのか。そこがよく分かっていない。

聴覚能力に優れる

イルカたちは優れた聴覚情報処理能力を持つことで知られている。狭いプールの中を決して壁にぶつからず泳ぎ回り曲芸をやっているのは「聴覚で見る」（神谷名誉教授）と表現される認知能力があればこそだ。彼らが互いに会話することもほぼ間違いないらしい。岩手県三陸海岸にある東京大学海洋研究所大槌臨海センターの宮崎信之教授は野生のイルカの群れの中にぶかぶかと浮かんで生態を観察する。教授が海に入るとイルカは距離を取って遠巻きにする。あたかも群れに瞬間的に緊張感が走ったかのようなのだという。じきに一頭が偵察に訪れ、危害を加えないと分かると群れ全体が何もなかったように行動し始める。この間、イルカたちはしきりに声を発する。偵察した一頭からの情報を確認し合っているらしい。

こうした情報処理・伝達によって巨大な脳が進化したかということ、どうも十分な理由ではない。イルカよりはるかに小さな情報処理系しか持たないミツバチやコウモリでも複雑な情報処理を実現しているからだ。イルカの世界で「より知能の高い個体がより多くの子孫を残す」ことを示す証拠は見つかっていない。サルなどの社会と違って、特定のオスにメスやエサの独占権が集中するといった事実はない。宮崎教授は「調べれば調べるほど平等社会であるとの印象が強くなる」という。

環境の変化で発達

宮崎教授は「そもそも人間の物差しでクジラやイルカの知能や社会を論じること自体が間違っているのかもしれない」とする。例えば、米ハワイ大学などの研究グループが人間の文法をイルカに教えることを試みているが、これなど「英文表記の問題で日本人の数学力を試験するのに似た限界があるのでは」とみる。人類は森林から草原へという環境の激変に適応するために脳を発達させたとされる。鯨類が経験した陸から海への環境の変化の大きさは人類の比ではない。神谷名誉教授は、海という慣れない環境で食物連鎖の最上位にまで上っていった努力が大きな脳を作ったとみる。

脳の本質は未知への挑戦なのかもしれない。

(科学技術部 豊川 博圭) 1996/5/27/月

知と情の科学第二部 3

視覚の巧みな仕組み

人間の視覚系はコンピューターなど及びもつかない高度なデータ処理をあっさりやっけてのける。これは進化の過程で脳に刻み込まれた機能で、取り込んだデータを即座に組み立て直して、全体的な認識にまとめ上げ、定着させる。その巧みな仕組みが今、少しずつ分かってきた。

情報を分解・再層成

下図のように円の一部が欠けた図形を三つうまく配置すると、輪郭線などないのに、まるで白い三角形がそこに描かれているように見える。もう一度眺めてみよう。三角形は本当にあるだろうか。実在を示す証拠はない。これは「カニッツアの三角形」と呼ばれる図形で、実際には存在しない三角形が、この図形を見る人間の脳には投影される。脳は見たものを単純に写し取っているのではなく、カメラとはひと味もふた味も違うデータ処理機構を持っていることを示している。

この三角形を認識するのに、「ヒトは必ずしも経験に基づく推論を働かせているわけではない」と、立教大学の長田佳久助教授は指摘する。生後四カ月の赤ん坊でも実際には存在しない輪郭を知覚できる。サルが同じ機能を持つことも分かっている。

現実には描かれていない輪郭が知覚できるのは、脳が目に入った像をいったん「形」「色」などの要素に分解した後、再構成しているためだ。入力された情報をうのみにするのではなく、分解・再構成のプロセスをたどることで、脳は

自分が認識する世界を自分で編集して作りだす。

輪郭の知覚だけではない。実際には透明ではないのに配色によってある種の透明感を感じる「透明視」と呼ぶ見え方も、同じ仕組みで起きていることがわかっている。

組み合わせで認識

ものを見るのと同時に、見たものが何であるのか見極める作業でも人間やサルは巧妙な仕組みを発達させてきた。夕方の薄暗がりの中で遠望した山を、翌朝に陽光の中で眺めても同じ山に見える。明るさなど物理的な条件が違ってても同じものだと認識できるのはなぜか。

視覚系の脳神経細胞は、網膜に映る画像を単純な図形の組み合わせとして認識しているらしい。理化学研究所の田中啓治主任研究員は興味深い実験をした。まず指を開いた手の画像をパソコン画面に出しサルに見せ、その時に反応する脳細胞を見つけ出した。そして画像処理によって手の姿をどんどん単純な図形に変えていったときどこまで細胞は反応し続けるかをみた。その結果、細胞は三つの長方形を見せても同じように反応することが分かった。細胞は手を長方形の集まりとして認識しているらしい。

田中主任研究員によると、文章におけるアルファベットのように、画像の世界には組み合わせによって森羅万象をつづることができる基本図形があるという。どんな条件で見ても同じ基本図形の組み合わせの画像は同じものとして認識されているとみる。「視覚の仕組みは、現在の工学システムをはるかに超えており、その能力は半端なものじゃない」と田中さんは話す。

脳の秘密解くカギに

ほ乳動物の祖先はモグラのような夜行性の小動物だとされている。かつてはきゅう覚や聴覚のほうがエサを探したり配偶者を見付けるときに頼りになったに違いない。だが、霊長類は進化の途上で視覚を急速に発達させた。

「ヒトという奇妙な動物」が、地球に君臨するに至るなぞを解くカギを握っているのは、案外視覚かもしれない。見えないものが見えてしまう、あるいは見えているものが見えないという目くらましのカラクリが脳の秘密を見いだす足掛かりになっている。

(科学技術部 奥野 由美子) 196/6/3/月

知と情の科学 4

脳には二つの状態がある。「起きている」か「眠っている」かである。生理的な機能の単純な停止に思える眠りも、その様式や内実は脳と共に複雑で劇的な進化を続けているらしい。

目の動き、夢と運動

例えば、同じ眠りでもよく夢を見る「レム睡眠」と呼ばれる眠りは、起源をさかのぼると二億五千万年以上も前の古い眠りで、あまり夢を見ない「ノンレム睡眠」はその後に生まれた新しい眠りであることがわかってきた。

睡眠に詳しい井上昌次郎東京医科歯科大学教授によると、レム睡眠の原型は生命が両生類から爬（は）虫類へと進化するとき、それ以前の「原始睡眠」から分かれる形で生まれたという。

レム睡眠中、手足はぐったりしているが、目玉は閉じたまぶたの下でキョロキョロ動き、夢をよく見る。急速眼球運動（REM＝ラピッド・アイ・ムーブメント）というのが、レム睡眠の語源だ。この目の動きはよく夢と連動する。例えばテニス試合を観戦する夢を見ている人の目はボールを追うように左右へ動き、階段を下りる夢を見ている人の目は足元を見る事例が報告されている。

人間以外の動物も夢を見ているらしい。徳島大学医学部の森田雄介教授らは睡眠中でも筋肉に力が入るようにしたネコで実験をした。レム睡眠に入り、目玉が動き出すと、ネコは歩いたり、跳び掛かるなど様々な動作をし始めた。特にさっと首を動かして物を探す動作をするとき、目と首の動きはよく連動した。脳は夢という仮想現実を作り、自分自身の内なる目で「見て」いる。なぜ、こんな凝ったことをするのだろうか。

橋渡し役のレム睡眠

手掛かりとなる研究がある。井上教授らが脳波を多点同時計測する新装置で被験者をレム睡眠中に調べたところ、記憶の貯蔵庫といわれる「海馬」にシータ波という脳波が表れたり、脳中心部にある間脳や橋などの「眠らせる脳」と海馬とが相互に信号をやり取りする現象を見つけた。

「レム睡眠には情報を再編成して記憶を整理する役割がある」と井上教授は見る。ただ、眠りは基本的に情報処理に向いてないので、記憶の整理は副次的な効果でしかなく、「むしろ重要なのは覚せい状態とノンレム睡眠とを結ぶ橋

渡しの役割」という。

ノンレム睡眠の原型は二億年ほど前、鳥類やほ乳類の誕生とともに登場したと考えられている。人間は胎児期から乳幼児期にかけて古い眠りのレム睡眠が大部分を占めるが、少年期から成人になると新しいノンレム睡眠のほうが長くなる。

層報処理で帯びる熱

ノンレム睡眠中は、目は動かず眠りは静かで安らかだ。夢はあまり見ない。レム睡眠では脳の一部に活動が見られるが、ノンレム睡眠に入ると活動は脳の中心部の「眠らせる脳」に限られる。こうした二つの睡眠の特性を踏まえて朝の目覚めを考えると、脳はノンレム睡眠からレム睡眠、そして覚せいへと段階的に移行することで、自身を無理なくスタートアップさせていると理解できる。ではノンレム睡眠はどんな役割を果たしているのだろうか。

一つの役割として研究者が指摘するのは「頭を冷やす」働きである。人間の脳は生命が四十億年かけて作った精緻（せいち）なシステムだ。血液から酸素をどんどん取り込み、スーパーコンピューターがおよびもつかない膨大な量の情報処理をする。しかし、長時間計算し続けると脳は熱を帯び始め、今度は計算能力がダウンしてくる。普通のコンピューターは冷房や送風などで熱を冷めますが、脳はそんな芸当はできない。そのため計算量を減らす、つまり眠ることで温度を下げようとしているという解釈だ。これが本当かどうかはまだ検証されていない。人は、あるいは脳はなぜ眠るのか――。この答えを見いだすには、あとどれくらい眠りを重ねればいいのか。

（科学技術部 中島林彦）1996/6/17/月

知と情の科学第二部 5

群抜く 顔の認識能力

脳の視覚処理はビデオカメラとは異なり、あらゆる形に等しく反応するわけではない。脳の神経細胞が感度良く反応する特定の図形がある。中でも顔への反応の鋭さは群を抜く。長い進化と学習の中で「顔認識細胞」の能力が研ぎ澄まされていったようだ。

特定の向きだけに

理化学研究所のフロンティア研究システム思考電流研究チームは、こめかみの後ろにある大脳新皮質側頭葉に妙な

神経細胞群があることを発見した。ニホンザルを使って実験したところ、この細胞群はサルや人間の顔、それも特定の向きの顔だけに強く反応することがわかった。

帯状の皮質領域の中心には正面の顔に反応する「顔正面細胞」があり、隣には「右斜め四五度細胞」「右横顔細胞」などが連続して配置している。左向きの顔を認識する領域は「顔正面細胞」の反対側に対称的に並んでいる。マネキン人形の顔の右斜め三度の顔に反応する細胞は人間の右斜め三度の顔にも、サルの右斜め三度の顔にも反応した。顔の向きを専用に判定する神経細胞であることがわかった。

縦線や丸など単純な形に反応する細胞があることは以前からわかっていた。複雑な図形である顔の向きを判断するという高度な働きをする専用細胞が見つかったのは初めてのことだ。

目に飛び込んでくる情報の種類は無限であり、その一つ一つに反応する専用の細胞を用意することはできない。「敵や獲物、異性の視線の方向などを素早く認識するため、こうした細胞が発達したのではないか」と理研チームはみている。

部品から個人識別

一方、顔から個人を識別する脳の精巧な仕組みも少しずつわかってきた。工業技術院電子技術総合研究所の山根茂大阪ライフエレクトロニクス研究センター長の研究グループは髪の毛、目、鼻、口などいわば顔の「部品」の大きさの比率に反応する神経細胞がやはり側頭葉に存在することを突き止めた。

たとえば「頭頂から目まで」「目から口まで」「髪の毛の生え際から目まで」のそれぞれの距離同士の比率に反応する細胞が見つまっている。サルも人間も、こうした細胞の反応を組み合わせで個人を判別しているらしい。山根博士はこれまでに八百個程度の細胞を調べたが、そのうち十二個が「顔部品」の比率を認識する働きを持っていた。脳全体の中でこうした認識細胞がいくつあるかははっきりしないが「サルでも十万個程度はあるだろう」と推定している。

生後の学習にも左右

十万個の細胞が反応するかしないかの組み合わせは単純計算で二の十万乗、つまり一のあとにゼロが三万個つく膨大な数になる。顔の識別能力は実質的に無限と言える。

顔認識の研究は始まったばかり。同じ電総研の河野憲二首席研究官（筑波大

学基礎医学系教授)を中心に、喜怒哀楽の表情を読み取るためのメカニズムについての研究を開始した。近い将来には「笑顔認識細胞」や「美人にドキドキ細胞」などがみつかるかもしれない。

顔の認識能力は、進化の結果として遺伝子に書き込まれていると同時に、生後の学習にも大きく左右されることは間違いない。「笑顔に囲まれて育った子供は笑顔への感受性を高めるだろうことは十分に予想できる」(理研チーム)との指摘もある。

(科学技術部 豊川 博圭) 1996/6/24/月

知と情の科学第二部 6

言語がもたらす聴覚発達

意味が処理左右

騒がしいパーティー会場でもだれかがひそひそ話す自分のうわさ話だけは聞こえてしまうカクテルパーティー効果。人間の脳は進化の過程でこれほど複雑でやっかいな能力まで獲得した。音声にかかわる高度な聴覚機能はまだほとんど解明されていないが、測定技術の進歩とも相まって聴覚のなぞのベールは少しずつはがされている。

音情報に「地図」反応

世界に広く分布するメンフクロウの耳の形は左右非対称だ。右耳はやや上向きで左側は下向き。暗やみで狩りをするため四方八方から来る音の方向と大きさを正確に知る必要があるからだ。横方向の音の位置は左右の耳に届く時間差で分かるのに加え、左右の音圧差で上下の情報を得る。

脳の中には「高性能の耳」からの情報をフルに生かすため「音の位置に関する立体地図」(森浩一東京大学医学部助手)があるという。どこかで音がすれば即座に地図上のランプが点灯し、獲物の位置を把握できる。夜行性のフクロウは音情報だけで狩りをしたり、外敵から身を守るため高度な聴覚機能を獲得した。左右非対称の耳と脳の中の音地図も進化の過程で得た特質と考えられている。実際、両耳の上下関係が左右逆に進化した種類のフクロウもいる。

ほ乳類はフクロウとは違う戦略をとった。耳の形を複雑にすることで上下から来る音の音色を変え、方向を認識する。しかし聴覚に対する依存性がフクロウほど高くない人間の場合、音の方向や大きさを認知する聴覚機能はフクロウより劣る。

言語性の音に焦点

その代わり人間が獲得したのは音声を使った高度なコミュニケーション能力だ。聴覚研究ではこの側面に焦点が当てられ、言語性の音が人間の脳でどう処理されているのかの解明に力が注がれている。例えば、理化学研究所のアルゴリズム研究チームはサルの脳が言語性の音にどう反応するか調べている。その結果、極めて興味深い現象を見つけている。ニホンザルに「クー」という仲間と互いの位置を確かめ合う声を聞かせ、脳の神経細胞の応答を陽電子断層撮影装置（PET）で測定したところ、大脳側頭葉の聴覚領の前の部分が特に強く反応した。次に「クー」音を時間的に逆転させた意味のない声を聞かせると前の部分は反応しない。脳の中の情報処理が初期的な段階で止まり、それ以上進まないからだ。脳の中で音情報はいくつかの関門を通過した後、聴覚領前部にある上位の聴覚中枢に送られ、言葉の意味や価値の判断をしている可能性が高いという。「こうした構造はおそらく人間の脳にも共通で、進化における言葉の習得に伴い発達した機能だろう」と端川勉・副チームリーダーは推測する。

時間変化を面で把握

PET に代表されるように脳の研究は測定技術の革新と二人三脚で前進する。谷口郁雄東京医科歯科大学教授らはモルモットの脳の表面を光センサーでとらえ、神経細胞の活動を可視化する技術を開発した。聴覚研究で重要な脳細胞の活動の時間的な変化を面的にとらえられるようになった。日立製作所基礎研究所の福西宏有主管研究員はこの技術を使い、個別の神経細胞の働きではなく多数の細胞の反応とその時間情報に注目したシステム論的研究に取り組んでいる。時間的広がりを持った細胞同士の相互作用が音認識で何らかの意味を持っているとにらんでいるからだ。

人間が長い進化の過程で培った音声認識機能を解明するまでの道のりは長い。こうした新たなアプローチが聴覚研究の新局面を切り開くかもしれない。

（科学技術部 平崎 誠司）

知と情の科学第二部 7

世の中にはどうして右利きと左利きが存在するのか。そして、なぜ右利きが圧倒的に多いのか - 。脳の進化の道筋を解く重要なカギの一つがこの非対称性だといわれている。

サルにも「偏り」

聴覚や視覚などの感覚も、左右はまったく同等ではない。目や耳は左右がそれぞれ協調はするが、働きには少し違いがある。知覚や運動など、脳が関与する分野では、完全な対称形、左右均等な構造や機能はむしろ例外である。

利き手のようなはっきりした一方への偏り（ラテラルティー）は、人間に特有のものだとずっと信じられてきた。従来の観察手法では、サルや類人猿の日常行動から、左右の手に主と従の関係があることを示す証拠を発見できなかった。つい最近まで、基本的に「両手利き」と規定されていた。しかし、京都大学霊長類研究所の久保田競教授らが個体を識別しながらニホンザルの群れを観察して、定説はゆらぎ出した。えさをどちらの手でとるかなどを精密に、継続的に調べたところ、個体ごとに使う手に偏りがみられることがわかった。人間とは逆に、どちらかという左手を多用する個体の方が多いという傾向も出た。

また、芋や麦を洗って食べる習慣を持つ宮崎県・幸島のニホンザルについて調べたところ、芋のようにつかみやすいえさをとる時は、左右の偏りはあまり出ないが、砂とまざった麦をつまんで洗うという複雑な動作については、はっきりと利き手があり、左利きがやや多い。

高度な行動ほど明確

次に、同研究所のグループがアフリカのギニアで、道具を使うチンパンジーを調べた結果ラテラルティーが人間の専売特許でないことが決定的になった。ここのチンパンジーは、油ヤシの固い種子を、石の台と石のハンマーを使ってたたき割り、中の胚（はい）を食べる。そのハンマーを持つ手は個体ごとにほぼ完全に決まっており、「両手利き」はほとんどいない。そして、個体数では右利きが多い。

どうやら、高度に洗練された行動ほど、利き手がはっきり出てくるようだ。それにしても、なぜニホンザルは左利きの傾向が強く、チンパンジーになると右利きが多くなるのか。

サルが食物に手を伸ばすリーチングのような単純な動作は、もともと左手主導。その行動が進化して右手での微調整が必要になると、主役は右手に移った。こんな仮説もある。産業構造の変化につれて、親会社と子会社の関係が逆転するようなものだ。

ヒトの脳は右半球と左半球で、機能を分担している。言語をつかさどる方を優位の脳、あるいは利き脳などと呼ぶ。左右どちらが利き脳なのかは、かつて

はけがや病気で失語症になった人の障害部位から推定するしかなかった。今や、片方の半球を短時間麻酔して言語能力のテストをすることで、健康な人の利き脳を知ることができる。九割の人は左が利き脳である。脳と各器官を結ぶ神経は交叉（こうさ）しており、左脳は右手を、右脳は左手を動かす。優位の左脳によって駆動される右手が利き手になるケースは当然多い。

すべてリンクはせず

しかし、利き手と利き脳がすべてリンクしているわけではない。右利きの人の四％は右脳に言語野があり、左利きの人の大半は左脳が優位で右に言語野があるケースは三分の一にも満たない。左利きを右利きに直す「矯正」の影響もあり、脳と手の左右非対称の因果関係、どっちが卵か二ワトリかはまだ不明だ。

京大教育学部の坂野登教授は、指や腕を組む時に右と左のどっちを上にするかが「潜在的な利き手」を表しているとみて研究を進めている。

脳は単調な対称性を自ら崩すことで、高次の機能を獲得して前進してきたかにみえる。非言語的な脳は、実は乱調にありとささやきつづけている。

知と情の科学 第8回

脳と心が挑戦を受けている。最先端の科学は、生き物を遺伝子が後世に伝えるための『遺伝子の乗り物』であると見なし、動物の行動や人間の心さえも体内の物質の働きに依存していると考え。実際に脳や心に作用すると考えられる物質や遺伝子が次々と発見されている。脳は本当に遺伝子の奴隷なのだろうか。

性的傾向も遺伝子で

男性を愛するか、女性を愛するか。性的な傾向は遺伝子で決まるとする研究結果が発表されている。同じ遺伝情報

を受け継いだ一卵性双生児の片方がホモセクシャルである場合、もう片方がそうである確率は52～57%。遺伝的に異なる二卵性双生児だと22 - 24%にとどまるという。またホモセクシャルに共通した特徴が性染色体に見つかったとの報告もある。

DNA（デオキシリボ核酸）の二重らせん構造の発見者であるF・クリック博士は「心は神経細胞の集まりと関連する分子の働き以上の何ものでもない」と断

定する科学者の一人。遺伝子と遺伝子が作る様々なたんぱく質が人間の行動や心理に影響しているとする見方は生物学の世界ではもはや常識といえる。

英オックスフォード大学の R・ドーキンス博士は、生物の体は遺伝子が自らの複製を増やすために利用する乗り物だとする「利己的遺伝子」の考え方を提唱し、動物の行動の解釈を大きく変えた。

例えば親鳥が巣にいるひなを守るため、傷付いたふりをしてキツネの注意をそらす。現在の動物行動学はこの行動を、ひなに伝えた遺伝子を守るために遺伝子によってプログラムされたのものとみる。一見、親が子に寄せる愛情と見える行為も遺伝子の冷徹な計算が背後にあると考え、そうした遺伝子の働きが生物の多様な進化を促したとする。

利己的遺伝子の理論は科学以外の分野でも通俗的に解釈され「幸せになれないのも、郵便ポストが赤いのも、みんな

利己的遺伝子のせいにしてしまう傾向が出てきた」(中原英臣・山野美容芸術短期大学教授) ほどの人気ぶり。

「第3のシステム」

無論、人間を遺伝子からだけ理解することへの反論もある。「人類の脳は遺伝子と独立した発展を始めている」と木下清一郎・埼玉医科大教授は言う。

木下教授は宇宙の始まり以来三つの自律的なシステムが次々に生まれてきたとみる。最初は 150 億年前の宇宙創世。ビッグバンによって物質世界が生まれた。ここで生まれた原子や分子が恒星や惑星など星に蓄積されていった結果、第二のシステムである生命が誕生した。生命は遺伝子による自己複製と繁殖のサイクルを生み出し、様々な生物が誕生した。遺伝子は物質だが、物質世界とはまったく違った世界を生み出す原動力になった。

木下教授によると、脳は遺伝子による進化から生まれた「第三のシステム」。脳は過去を記憶し現在と照らし合わせて判断する心を生み出し、その結果、遺伝子世界からは考えがたい科学や芸術、高度に組織化された社会を作ってきたという。

第二の世界(生命)は第一の世界(物質)、第三の世界(心)は第一と第二の世界の法則に従い制約を受ける関係にはあるが、それぞれ後に生まれた世界は先行する世界にはない機能があるというのだ。

脳と心の発達が「第三のシステム」だという科学的な証拠はない。ただ遺伝子の複製に寄与しない高齢者を大切にする老人福祉制度など、人間社会は利己的遺伝子理論では説明しにくい。出産を望まない若い女性の増加も利己的遺伝子に脳が背く結果のようにみえなくもない。

情報の継承に注目

ドーキンス博士自身も人間社会を進歩させる要素として言語や文化など脳が生み出す情報の継承に注目、遺伝子（ジーン）に対し「ミーム」という名を与えて注意を喚起している。もし脳が生物世界の制約から自由な面を持つ「第三のシステム」であるとしたら、そこで働く原理・法則は何か。その答えを人類はまだ手にしていない。

（科学技術部 豊川博圭）1996/7/22/月

9 発達の原動力

進化、あるいは肥大化したヒトの脳がもたらした悲喜劇を論じると、世界文学全集が出来上がるという。しかし、文学・芸術をこの世に生み出すために脳が変容をとげてきたと解釈するのは、いささかロマンチックに過ぎる。脳進化の背後には、下世話で現実的な動機が見え隠れしている。

霊長類は飛躍的变化

大きさ、形、重さなど外見だけをとってみても、霊長類の脳は他のほ乳類に比べて、ごく短期間に飛躍的に変化している。単純に脳の重量を比べると、マッコウクジラは九キロ、ゾウは五キロ、霊長類はヒトの成人男子が一・四キロで、ずば抜けて重いわけではない。しかし、体重との関係で脳の重さを表す相対脳重を比較すると、霊長類が断然一位となる。その中でもヒトの相対脳重は、他の霊長類と明らかに一線を画すほど重い。また、北海道大学の沢口俊之助教授によれば、最初の猿人アウストラロピテクスの時代からわずか四百万年の間に、人類は脳の面積を百倍にも広げたという。

大脳の新皮質、特に「自我」が宿るとみられる前頭連合野が、三段跳び、四段跳びで発達を遂げた。その動機づけに絡んでいるのは、深遠な哲学でも高邁（こうまい）な理想でもなく、摂食と生殖と栄達という、生な欲求らしい。

霊長類の中でも、葉っぱだけを食べるグループに比べ、果実を中心にいろいろなものを口に入れるグループのほうが、相対脳重は高い。また、オスとメスの体格が違い一夫多妻の社会構造を持つサルのほうが、一夫一妻や一妻多夫のサルに比べて相対脳重が高いという。大脳新皮質も雑食、一夫多妻のサルのほうが相対的に大きいようだ。

葉っぱの陰に隠れた果物や、栄養価の高い昆虫の幼虫を探す食い意地のはっている雑食組は、結果的に食の対象を広げた。味覚の新しい世界が、脳の構造

と機能を進化させたのだろうか。

複雑さもたらず競争

一夫多妻の社会では、一般にオスが厳しい淘汰（とうた）にさらされる。メスをめぐる厳しい競争が、脳の進化にどうかかわったのだろうか。ヒトにはすぐに適用できないが、サルの社会では雌雄の体格差が大きいほど、オスの数が少ない群れほど、脳は大きい。

摂食、生殖と並んで、親子、仲間、ライバルなど、個体同士の関係に気をつかう「気配り」が、脳の飛躍的進化の原動力だという説は根強い。霊長類と他のほ乳類との決定的な違いは、周囲の環境や個体との関係に心を砕くかどうかだという。野生のゴリラの観察でも、相手の表情・顔色を読み、自分より強い相手にはおべっかを使う。親切にされれば恩義に感じ、いじめられれば、一年はそれをおぼえている。単純な親子関係や好き嫌いに加えて、損得、義理、ゴマスリまで、現代の競争社会の原点のような社会関係が、大きくて複雑な脳をつくり上げてきたようだ。

自己のモニター装置

沢口助教授は「脳は自己のモニター装置なのではないか」という。社会の中で、あるいは自然を含めた環境の中で、自分がどこにいて、どんな存在なのかを知るための、情報装置だというわけだ。

感情、心、そして言葉や哲学も、必要な情報を集めて素早く処理して、自己確認するための巧妙な手段といえなくもない。脳は生存の欲求とうっとうしい俗世の付き合いを原動力に進化してきた。理性や論理はその変化を定着させるサブシステムとして機能してきたのかもしれない。多様化した脳組織の細部にそれぞれ小さな心が宿り、真実は人間関係の俗の中にある。

（編纂委員 塩谷 喜堆）1996/7/29/月

この項おわり

知と情の科学第三部

時には迷い、間違いながらも、自ら学習し成長していくわれわれの脳。どんなに素早く計算をこなすスーパーコンピューターも、脳が生む直感やひらめきは持ち合わせていない。電腦はしよせん融通の利かない計算機に退ぎないのか……。シリーズ第三部は、生身の脳にヒントを得た新しい情報処理の研究最前線を紹介する。

接続関係変えて処理

工業技術院電子技術総合研究所で「脳型コンピューター」の研究が進んでいる。実際の神経細胞が行っている信号のやり取りを電子回路でできるかぎり忠実に再現し、脳と同じように学習したり、あいまいで不完全なデータを入力しても最善の答えを見つけ出す「利口なコンピューター」を実現するのが目標だ。

脳には一千億個もの神経細胞があり、複雑なネットワークを形作っている。一つの神経細胞は一万～十万個に及ぶ他の細胞とつながっており、外から入ってきた信号の総和がある水準を超えると、自らも信号を発する。神経細胞同士の接続関係は一律不変ではない。経験を重ねるうちに、ある細胞からの信号はより強く受け止め、別の細胞からの入力は無視するといったように、脳は自分自身の構造を変えていく。これが学習の仕組みなのだと考えられている。

電総研の市川道教主任研究官が設計中のプロセッサは、一千個の神経細胞が時とともに接続関係を変えながら情報を処理していく過程を高速で再現する。本物に比べると細胞の数は少ないものの、文字通りの「人工頭脳」だ。

逆向きの信号伝達

神経回路を模擬するという点ではこれまでのニューロコンピュータ - と似ているが、神経細胞の接続関係を調整する仕方に新しいルール（学習則）を付け加えた。神経細胞が信号を発した時、その少し前にさかのぼってどこからどんな信号を受け取っていたかを調べ、それをもとに接続関係を変える。実際の神経細胞の振る舞いを参考に、電総研の松本元首席研究官らが提唱した学習則だ。神経細胞は出力信号を他の細胞に伝えるとき、自分自身の信号入力部である樹状突起にも同時にその信号を送っていることが、近年の研究で分かった。なぜそんな逆向きの伝達が必要なのか。「逆向きの信号は過去にどんな入力があったかを調べるためで、それによって物事が起きた時間的な順序を学習しているのではないか」と松本首席研究官は見る。一步踏み込んだ学習則を盛り込んだ新プロセッサは、人間がプログラムで手順を指定しなくても、試行錯誤を繰

り返すうちに問題の解法を自分で獲得する。「不明りょうな文字を正しく認識したり、様々な図形パターンから似た者同士を弁別するなどの処理を柔軟にこなすだろう」(市川主任研究官)という。

「古い脳」に宿る直感

これまでに研究チームは脳の中を信号が伝わる様子を映像としてとらえる特殊カメラを開発するなど、実際の脳を

詳しく観察してきた。論理的な判断を担う大脳皮質だけでなく、視床や海馬などの役割にも注目している。これら「古い脳」による直感や好悪の判断が、学習の過程を大きく左右しているらしいからだ。

設計中のプロセッサは脳型コンピューターへの第一歩。直感や好き嫌いの価値基準をコンピューターにどう与えるかは今後の研究にかかる。しかし、「空を飛ぶ鳥にヒントを得て飛行機を開発したように、脳と同じ情報処理の仕方をするコンピューターは必ず実現できる」と松本首席研究官は話す。とことんまで脳を模擬したコンピューターを追求することで、生理学的な研究だけではつかめなかった脳の実像をあぶり出せるのかもしれない。

知と情の科学四部

1

脳機能の解明は、私たち自身の心を科学の対象にすることだ。その研究から生まれる新しい知識は心や社会についての常識的な枠組みに変更を求める。シリーズ最終章の第四部は、脳科学が文化、芸術、心理などの分野に広げつつある波紋にスポットを当てる。

今世紀最後の大型家電商品として注目を集めている DVD (デジタル・ビデオディスク) では、CD (コンパクトディスク) が切り捨てていた超音波音響 (周波数九万六千ヘルツまで) の収録が可能になった。DVD の方がより多くの情報を記録できるという技術的な進歩によって実現したことだが、その背景には人間の耳が知覚できないはずの超音波成分の重要性が認識されてきた事情がある。

強く出るアルファ波

千葉工業大学の大橋力教授は十年以上前から「周波数が二万ヘルツを超える超音波には人間を感動させる効果がある」と主張してきた。

高い周波数成分が豊かなインドネシアの民族音楽を素材にして、そのままの録音と超音波成分をカットした録音を聴き比べる実験をしたところ高い周波数成分を含むそのままの音響を聴いた人の脳にはアルファ波と呼ばれる脳波が強く表れた。アルファ波は快適と感じるときに表れることで知られる。

また京都大学の柴崎浩教授らと共同で、この時の脳の血流を陽電子放射断層撮影(PET)によって調べたところ、高い周波数を含む録音を聴いている時は「視床」や「脳幹」といった脳の奥での血流が増加していることが分かった。

「古い脳」から影響

視床は感覚器からの情報を大脳に分配する「交換機」に似た機能を持つ。脳幹は心臓や肺を動かす自律神経の中樞。どちらも爬(は)虫類の時代から受け継がれてきた古い脳に属する。知覚不可能なはずの音響が確かに脳や心理に影響を与えているらしい。

意識できない音の重要性を説いた大橋教授の主張は当初、専門家から反発を招いた。しかしデータが蓄積するに従い説得力を強めている。「意識は大脳新皮質の前頭連合野と呼ばれる部分に宿っているらしいことがわかってきた」と沢口俊之北海道大学助教授は言う。

ただ「前頭連合野は進化の中で最後に表れた新参者」であり、決して脳全体をコントロールする中樞ではない。むしろ古い脳に基礎を置く意識されない何かに影響を受ける側にあるという。

東京大学の堀田凱樹教授は、神経細胞が結び付きネットワークを形成する過程をコントロールする遺伝子をショウジョウバエで見つけた。同様の遺伝子は人間を含むほ乳動物にも存在する。研究を通じてわかってきたのは、脳の神経回路の主要な部分は胎児の時に出来上がっているということだ。「出生後の回路形成のドラマはその修飾に過ぎない」と堀田教授は言う。連載第一部で紹介したように、人間の行動パターンや嗜好(しこう)の決定に影響を与える遺伝子も見つかり始めた。意識を生むのは脳で、その脳を形成するのは遺伝子という図式になる。

心の目に光当てる

脳科学が意識や心の正体に迫るにつれてわかってきたのはわれわれの意識の意外なほどのはかなさだ。脳科学が見いだす知見は、人間が理性とか学習、自由意思などと呼んできたものの確かさを揺るがせかねない内容をも含む。

近代科学精神の祖であるデカルトは「我思うゆえに我あり」と、意識を科学的思考の出発点とした。脳科学は、この近代科学の出発点を超えて意識の背後に広がる心の闇（やみ）に光を当てようとしている。

（科学技術叢・豊川博圭）1997/1/6/月 掲載記事

知と情の科学 2

体験学習型ロボット 試行錯誤で能力向上

教科書で習ったことや聞きかじりの知識はすぐに忘れるのに、体で覚えた技術や物事は長く残る。当たり前のようで実は不思議なこの経験則の本質が、脳を目指した工学研究の中から見えてきた。脳科学は、教育を考えるうえでも貴重な示唆を与えようとしている。

体との関係を探る

人間のようにサッカー-をするロボットの開発に取り組んでいる大阪大学工学部電子制御機械工学科の浅田稔教授は

「脳や知能は体との関係を研究することが重要だ」という信念を持つ。ロボット開発はこの考えを証明するための手段という。

サッカー-はボールをゴールに入れるゲームである。多くの研究者は「ボール」「ゴール」あるいは「入れる」といった概念をプログラムしてロボットに教える。浅田教授はこうした方法をとらなかった。「人間の脳にプログラムを押し込むことはできない」（浅田教授）との考えからだ。

浅田教授のロボットにスイッチを入れると、前方のテレビカメラでボールを発見し、二つの車輪を操ってゴールに運んでいく。あたかも生きているような動きをする。一体、どうやってサッカーを教えたのだろうか。

「ロボットの頭脳部には、褒美をもらおうと再び褒美をもらおうとするなど、最低限の“本能”を入れた。あとの知識はロボットが体で覚えたもの」と浅田教授は話す。

最初、ロボットはふらふらと床を動き回る。たまたまボールに当たり、たま

たまそのボールがゴールに飛び込むと、思いがけず褒美がもらえる。ここでロボットは目覚める。

伸びぬ「詰め込み型」

試行錯誤のうちに、ボールは押せば転がることや、ゴールの映像の中にボールの映像が吸い込まれると褒美がもらえることなどを体得する。この時点で、ロボットは「ボール」などの概念をつかんだことになる。練習を積み重ねれば積むほど、シュートの技術は向上していく。浅田教授も当初は、シュート姿勢の取り方などをロボッ

トにプログラムしていた。「ボールがゴールの右側にある場合には右車輪を強く前進させる」といったたぐいのルールである。ところがこうした「詰め込み教育」をしたロボットより「体験学習派」のロボットの方が多くの局面でシュートの成功率は高くなった。

大学入試や公務員試験などのペーパーテストが必ずしも能力を反映しないことは、現実の社会でしばしば指摘される。受験勉強は、出来合いのプログラムを脳に書き込むような作業になりがち。ロボットの実験は、その有害性を訴えているようでもある。浅田教授は訓練したサッカーロボットの前にゴールキーパーを置いてみた。ロボットは例によって体験学習をし、キーパーが邪魔者であることなどを学習していく。ただ、その学習の効率は、キーパーの性能の設定によって変わることがわかった。

次はチームで研究

最初からうまいキーパーを置くと、とたんにゴールが決まらなくなる。「ロボットはまるで自信を失ったようにゴール力を低下させる」(浅田教授)。ロボットが最も進歩したのは、最初は静止したキーパーを置き、徐々にキーパーの能力を高めていった場合だった。やや難しいが達成可能な目標を与え続けることの大切さは、教育関係者が長年の経験から体得してきた知恵だ。それが簡単なロボットシステム中に再現された。

浅田教授は今後、サッカーロボットの台数を増やしてチームを作りたい考え。そこにはチームワークや権力構造などの社会構造が自然発生すると期待される。体験学習ならではの意外な知恵が生まれるかもしれない。

(科養技術部、豊川 博圭)

知と情の科学 3

絵画は脳の実験リポート 視覚のしくみ映す

生まれつき目が見えなかった人が、ある日視力を取り戻しても、最初は光のモザイク模様のようなものが見えるだけだという。人間の「見る」という作業には脳の複雑な情報処理が不可欠だ。そのしくみを脳生理学的な手法で解明する動きがある一方、絵画など人間の創造した「脳の外側の世界」から脳のなぞに迫る試みも注目されている。

モネかピカソか

「ハトはモネの具象画とピカソの抽象画を区別できるようだ」。慶応大学の渡辺茂教授らは絵画を利用して動物の視覚やところをさぐる実験を進めている。研究グループはハトにモネとピカソの絵を見せて両者を見分けるように訓練した。うまく見分けられればえさを与える。繰り返すうちに、初めて見せる絵でもモネが描いた絵かピカソが描いた絵かを区別するようになった。しかもモネに反応するように訓練を受けたハトは、モネに作風が近いセザンヌの絵にも反応し、ピカソの絵に反応するハトは同じキュビズムのブラックにも反応した。渡辺教授は「ハトの脳はモネのような具象画の中に現実の世界を見ることができらしい」と話す。

「モネの絵は網膜の働きそのものをクローズアップして表現したものだ」。元東京大学医学部助手で作家の布施英利氏はこう分析する。人間の目の奥にある網膜には一億を超える視細胞が敷き詰められ、ひとつひとつが光と闇（やみ）と色を点でとらえている。この無数の点の集まりが百万本の神経のケーブルを通じて大脳の視覚野に送られ、複雑な処理を経て「見える」という段階に至る。

モネの「睡蓮」は鮮やかな色の点の集まりで構成されている。「これは大脳に伝わる前の、網膜が受けた純粋な視覚情報そのもの」（布施氏）。モネは無意識のうちに網膜の機能だけを視覚から切り取り、これを活用して自然を表現したというわけだ。

一方、ピカソが描く顔がひしゃげたような抽象画は「脳の視覚」を表した絵画だという。網膜で知覚した単なる点の集まりの画像情報は大脳の視覚野に送られ、何段階にもわたる複雑な処理を受けて奥行きや動きを伴った物体として構成される。脳の奥で行われるこの処理過程を視覚化して示すとピカソの抽象画のイメージができる。「絵画は脳の働きをキャンバスの上に視覚化した実験

リポートのようなもの。絵画を突き詰めれば脳の視覚のしくみに迫れるかも知れない」と布施氏は話す。

無数の情報を統合

一方、脳を直接観察する手法で、大腦が視覚情報を処理する「脳の知覚」のしくみの解明も進みつつある。東京都神経科学総合研究所の佐藤孝行副参事研究員らは、赤い丸を注視する訓練を受けたサル的大脑には、赤い丸を見たときにだけ反応する特定の神経細胞が出現することを見付けた。

脳細胞には特定の傾きを持つ線を見た時にだけ反応する細胞などが無数に並んでいることが知られているが、「赤い」「丸い」といった要素が組み合わさった図形に反応する神経細胞もあるらしい。網膜でとらえた無数の点は、こうした細胞の働きによって統合され、奥行きや動きを持つ画像として認識されるようになる。

絵の右側まず注視

人が絵を見るときは、まず絵の右側にあるものの方を注視する癖がある。金沢美術工芸大学の北原靖子助教授らが同大学の学生を対象に調査したところ、ほとんどの学生が絵を描くときにはこの癖を利用して構図を組むことがわかった。最新の脳研究ではこの癖には右脳と左脳の分業が関係していることもわかってきた。

画家たちは脳の働きを知らなくても無意識に利用してきた。画家は絵を通じて見るものの脳に働き掛け、美や悲しみや感動を訴えようとする。脳の働きや視覚のしくみの解明は、絵画芸術にも大きな影響を及ぼすことになるかも知れない。

(科学技術部 古谷茂久) 1997/1/27/月 掲載記事

知と情の科学 4

仮想現実で新たな感覚 現実との違い逆手

立体映像を映し出す眼鏡をかけると前方にドアが見える。取っ手をつかもうと手を伸ばしても、うまくつかめない。手ごたえもなく、取っ手に手を伸ばしたつもりでも手の位置はずれてしまう - - 。本物だったら簡単な動作も仮想現実感 (VR) だとなかなか思うようにはいかない。

情報の入り方に差

心理学者の佐々本正人東京大学助教授はその理由として「両目の視差だけで奥行きを作り出す方法には限界があるため」と話す。立体眼鏡は、右目と左目に映る映像を微妙にずらし、その視差から奥行きを感じさせている。奥行きのある映像を動かすことで、仮想の環境の中で動いていると感じさせる。しかし、現実の世界で動く時の奥行きの感じ方はもっと複雑だ。

一歩動いただけでも、目に映る物の形や陰影、床や壁の表面のきめの粗さの感じ方は微妙に変化する。部屋の中なら、壁までの距離によって足音の聞こえ方まで変わってくる。人は自分の手足を実際に動かすことで、こうした多様な情報を探り出し、それを動きに反映させている。

VRの世界では、感じ取れるのがごく限られた情報で、しかも情報の入り方が現実の世界とはかなり差がある。例えば振り返った時に画面の変化が一瞬遅れたり、あるはずの物にさわれなかったりする。このため、脳が視覚と連動した的確な動きを指示できなくなってしまう。ただ、脳には感覚のずれを慣れで修正してしまう能力もある。東京大学の石川正俊助教授らは、ある動作を自分で試みるうちに視覚と動きを一体のものとして把握するようになることを見付けた。

環境に対応する能力

被験者に VR で机の上にばらまいた仮想の箱に触れてもらう実験をした。画面では特定方向の距離を引き伸ばして映し出すようにしてあり、通常感覚で箱に触れようとしても手の位置がずれてしまう仕掛けを施した。箱の見える位置と触った位置が一致しないので最初は戸惑うが、数分もすれば脳が視覚と手の動きの新しい対応関係を見付け、確実に触れるようになる。

ところが自分で手を動かして位置を探るのではなく、ほかの人に手を取って位置を教えてもらおうと、対応関係をつかむのに時間がかかってしまう。つまり自分で動き、試すことが感覚との動きの一致には重要らしい。

これに似たものに、1960年代に行われた逆さ眼鏡の実験がある。上下が逆さに見える眼鏡をかけると、当初は見え方が違うので歩くこともできない。しかし、一日三十分この眼鏡をかける生活を一カ月続けると、眼鏡のかけはずしの度にスイッチのように脳の認識機構が切り替わり、的確な動作が可能になる。経験したことの無い環境でも、動きを通してその環境に働き掛けるうちに脳は対応できるようになる。だから「将来もし一日数時間 VR の中で仕事をするよう

になったら、脳がそれに合わせ、VRの世界にリアリティーを感じるようになる可能性はある」とある研究者は予測する。

頭の中を「触る」

VRの分野では、現実の感覚を再現する研究ばかりか、現実には無い感覚を作り出す研究も進められている。

筑波大学の岩田洋夫助教授らは、VRで人間の頭の中の脳や骨の密度を手で触れて感じ取れるシステムを開発した。頭の立体映像に手を差し入れてそれぞれの部分に触れると、例えば歯や骨など密度が高い場所では手に強いねじれの力を感じ、口の中など密度が低い場所では力を受けない。

頭の各部の密度を「触る」のは未知の経験だけに、最初は手ごたえと位置の対応が分からない。しかし、数分で頭がい骨の形まで感じ取れるようになる。現実の感覚とかけ離れているのがVRの欠点だが、この研究はそれを逆手にとれば知覚できないものも感じさせることができることを示している。VRは、脳が新たな感覚を獲得する一歩かもしれない。

(科学技術部 古田 彩) 1997/2/3/月 掲載記事

知と情の科学第四部 5

男らしさ女らしさ

あなたは男なのか女なのか、本当のところは脳を調べてみないと分からないのかもしれない。肉体だけでなく脳にも性差があることが、最近の研究でわかってきた。男女の性による差をより深く考える手掛かりにもなりそうだ。

心・体、食い違う例

心と肉体の性が一致しない人がいる。「性同一性障害」を持つとされる人たちだ。自分の肉体に違和感を持ち、公衆トイレや浴場に入れなかったり、自分の体の特徴を隠したりする。家に閉じこもりがちになるケースもある。

米国やカナダなど海外ではこの障害を持つ人を対象とした性転換手術が行われている。肉体を心に合わせる手術だ。国内でも昨年、埼玉医科大学の倫理委員会が手術を認めたことを受け、日本精神神経学会で手術に必要なガイドライン作りを進めている。

なぜ心が認識する性と肉体の性が異なるのか。はっきりとした原因は分かっ

ていないが、何らかの事情で脳の働きが肉体の性と一致しなくなった可能性がある。「胎児期のホルモンや生まれてからの環境などが要因と考えられている」と埼玉医大精神医学講座の山内俊雄教授は話す。

性差が脳にもあることは、動物実験で明らかになってきた。早稲田大学人間科学部の山内兄人教授のネズミを使った実験によると、雄と雌の脳の違いが性行動のパターンを決めていた。

去勢した雄に雌の性ホルモンを注射しても背中を反らす雌特有の性行動が表れるものは少ない。ところが脳の中隔という部分を破壊してから雌の性ホルモンを注射すると雌の性行動が現れた。

ホルモンが引き金

脳の性差が表れるのはネズミの場合、生まれて間もない時期。性分化の引き金になるのは男性ホルモンのアンドロゲンだ。雄の赤ん坊ラットの脳は精巣が分泌するアンドロゲンの作用で雄型に、精巣を持たない雌の赤ん坊ラットの脳は雌型になる。

順天堂大学医学部の新井康允教授のネズミを使った研究では、アンドロゲンが神経細胞の自殺（アポトーシス）を引き起こし、雄、雌に特徴的な脳ができることが分かった。

こうした実験は倫理上、人間ではできない。しかし脳に性差が存在することや、アンドロゲンが性分化の引き金になるという仕組みは基本的には同じだ。ただ、人間の場合、最初の性分化は胎児期に起きる。

例えば、ネズミの雄の性行動を制御する細胞群の大きさは誕生直後のアンドロゲンの濃度で決まる。似た細胞群は人間にも存在し、男性のほうが発達している。同性愛の人はこの細胞群があまり発達していない。研究例は少ないが性同一性障害で男性から女性に性転換した人も同様だという。

個人差も大きく

性行動だけでなく、脳が得意とする作業にも男女差があることも分かってきた。男性は概して頭のなかで立体を回転させて考えたりする空間認知能力が高く、女性は言葉の豊かさや流ちょうさを試すテストの成績がいい。

ただ、こうした能力は個人差も大きく、男性型と女性型との間に明確に線を引くことはできない。埼玉医大の山内教授も、「脳が男らしいか女らしいかを区別する指標にはできない」とみる。

胎児期のホルモン状態だけでなく生まれてからの育ちかたも、脳の特徴を作

り出す要因とされる。男の子は男らしく、女の子は女らしくというという風潮がなくなってゆけば、将来、脳の性差が少なくなる可能性もある。

肉体の性は性染色体が「xY」か、「XX」かによってほぼ決まる。これが「神の決めた性」だという考え方もある。しかし、脳の性差の研究は、性がもっと複雑である可能性を示している。

(科学技術部 奥野 由美子) 1997/2/17/月

知と情の科学第四部 6

言語は「認識用ソフト」

生物の個体同士の情報伝達に言葉は不可欠とはいえない。求愛には化学物質のフェロモンを出して異性を誘えば十分かもしれない。顔色から相手の怒りの程度を読み取ることも可能だ。

脳の仕組みが解明されるにつれて、人間の言葉が持っている情報伝達以外の本質的な役割についての議論が深まっている。言葉は伝達のためのソフトではなく、本質的には認識・理解のためのソフトだという説もその一つだ。文明や文化の基本ソフトでもある。

サルもある程度理解

チンパンジーなど、類人猿はヒトの言葉のある程度理解したり、時にはそれを操ることもできる。京都大学の霊長類研究所のグループなどが、そうした言葉の「移植」の可能性を証明した実験の意味は大きい。

ただ、類人猿は残念ながら言葉で抽象的な概念を扱うことはできない。ヒトの言葉の持っているもっとも豊かな部

分、客観化・抽象化という思考の深みに足を踏み入れるには、人間を対象にしたデータの蓄積が必要になる。

語彙(ごい)が脳のどこに収納されているかなど、最新の脳科学は、言葉の迷宮に迫る成果を次々に生み出している。北海道大学の沢口俊之助教授は、そうした成果を、言葉の起源や、進化の道筋を探る研究とどう結び付けていくのが課題だという。

起源は原人時代

長い進化の歴史の中で、人間の祖先が言葉を獲得したのは、原人の時代だと

いわれている。アウストラロピテクスなど猿人たちの頭がい骨の形と容量からは言語をつかさどる特定の場所の存在を示唆するものはみつかっていない。一方、ジャワ原人などでは、頭がい骨の左側がわずかにふくらんでいる。そこに現代人の言語活動を支えているブローカ野など言葉を操るための領野が存在していたと推定できる。森から出てきた猿人が原人へと進化する過程で、心の座である脳に言葉が宿ったのである。

ヒトは聞いたことや知ったことを言葉にして語りたい衝動を持っている。相手は他人である必要はない。自分に話し掛けてもいい。大事な話や鮮烈な体験を言葉としていったん出力することで、整理されたストーリーの記憶という形で、心に深く刻みつける。原人たちにとっての言葉の役割は、仲間とのコミュニケーションのほかに、整理して認識する、体験を客観化するという意味も大きかったに違いない。

もとは一つの言葉

現在、世界には多様な言語があるが、人類の起源と同じく言語も同一起源であるという説が有力なようだ。遺伝子によって決められた人類共通の言葉の台座」が脳に備わっていて、英語を話すかドイツ語が母語になるかは、幼児の環境によるという説だ。

母語のように言葉を習得するには、十歳までの学習がものをいうとされる。二十歳を過ぎてからいくら頑張ってもネイティブのように外国語を操るのは難しい。ただし、言葉を駆使して論理的に物事を考え、抽象的な概念を使って、事物を客観化する勉強は二十歳から二十五歳の間が最後のチャンスだという。この年代の若者が言葉をぞんざいに扱い始めた今、知性も衰退しつつあるのかもしれない。

(編集委員 塩谷 喜雄) 1997/2/24/月

知と情の科学 7

意識操作の恐ろしさ

地下鉄サリン事件から間もなく二年。ある意識を強制的に植え込む洗脳や、いつのまにか外部から植え付けてしまうマインドコントロールの恐ろしさは、人々の心に焼き付いている。事件の風化を心配する声もあるが、意識の操作技術の持つ危うさが世の中から消えたわけではない。

「意思支配する魔術」

朝鮮戦争当時、捕虜になった米軍パイロットが釈放された後もしばらく「私は帝国主義の手先だった」と発言し続け、西側社会に大きな衝撃を与えた。人間の自由意思を支配できる魔術的な技術として、洗脳はやや大げさに西側メディアに伝わった。

この当時、研修医だった小田晋・筑波大学社会医学系長は、担ぎ込まれた米軍パイロットに外科処置をするため静脈麻酔を打とうとしたところ、薬の名前を聞いた途端、おとなしかった患者が血相を変えて暴れだしたことを鮮烈に覚えている。「パイロットは捕虜経験があり、洗脳の記憶がよみがえったらしい。洗脳が現実のものであることを初めて実感した」と小田教授は振り返る。この時の注射薬チオペンタールは、オウム真理教が東京・目黒公証役場事務長の飯谷清志さん監禁致死事件で使ったとみられている薬である。

すべての技術を活用

これまでに効果が確認された洗脳の技術は七つある。

第一は感覚の遮断。独房に監禁するなどして脳へのインプットを絞り込む。自隠しをして防音室に入ると、健康な人でも七時間から八時間で幻覚が現れることがある。足の立たないぬるま湯の中に入れるなどの「補強」をすれば二十分から三十分で幻覚が出る。

第二は眠らせないことだ。三十六時間連続して眠らないと判断力が鈍り、洗脳されやすくなる。

第三は飢餓。空腹で血糖値が下がると意識水準も下がり、食事を与える人に従いやすくなる。ペットの調教にも似ている。

四番目が徹底的なプライドの破壊。大勢で口々に非難するなどして自尊心を打ち砕いて絶望させ、その上でわずかな救いの道を示す。この方法はしごき、特訓などに今でも使われることがある。

これらの手段で意識水準を下げ、精神状態を混乱させただけで、同じメッセージを反復して聞かせる。これが第五の技術。それが間抜けなうそでも人は信じ込んでしまう。オウム真理教の場合、これらの伝統的な洗脳技術に、さらに薬物とバーチャルリアリティ（仮想現実感）という近代科学の果実の二つの技術を導入した。小田教授は「それぞれの技術はセールスや一部の宗教などで意識的もしくは無意識的に使われているが、そのすべてを使ったのはオウムが最初だろう」とみる。大熊輝雄国立精神・神経センター名誉総長は「マインドコントロールで暗示を受けている時の脳は、アルファ波が増え、脳の活動が幾分低下している」と語る。意識が混濁しているわけではなく視野が狭くなった状態で、暗示を与える人間に意識が集中する傾向があるという。

継続的な補強で定着

しかし、それ以上の科学的な分析は難しい。日本生理心理学会運営委員長の藤沢清福井大学教授は「洗脳もマインドコントロールも言語を介した意識操作技術であり、動物実験ができない」と、研究の限界を指摘する。

洗脳から身を守る手段はあるのだろうか。小田教授は「本拠地に行かないなど、相手のペースを外すことで、洗脳の力は相当に弱くなる」と語る。オウムのビデオも、自分の家で普通の精神状態の時に見ている分には、まず洗脳される心配はないという。

洗脳の効果は時間とともに弱くなっていく。逆に言えば、洗脳された人々が集団を作り、修行などの名目で洗脳を継続的に補強していくと、いつまでも洗脳は解けない。妄信や非常識な組織内論理に大勢が染まってしまう悲劇は、いつこうに滅らない。いつの時代にも、ヒトの心の中には、思考を凍結させる闇（やみ）があるのかもしれない。

（福井支局長 豊川情圭）1997/3/3/月

知と情の科学第四部 8

だれでも一度は、「どちらの線が長い？」と問われ、これと思う方を答えると「実は同じ」とやられた経験があるだろう。定規を持ち出して確認しても、まだ納得できない。実はこうした錯覚の大部分は、知覚の限界というよりも、むしろ人間が生物として生き残るのに必要な意義のある現象であることが、最近明らかになってきた。

同じ現象として認識

薄曇りの月夜に空を見上げると、月が動いて見えることがある。本当は動いているのは月にかかった雲なのだが、月の方もまるで、雲と反対方向に移動しているように感じられる。

背景の動きのために止まっている物が動いて見える現象は「誘導運動」と呼ばれる。日本大学医学部の酒田英夫教授らは、なぜ誘導運動が起きるのかを、サルを使って調べた。

ある方向に動いている物を目で追うと、特定の脳細胞が電気信号を出す。酒田教授らは豆電球の光を目で追うよう

に訓練したサルの脳に細い電極を差し、この脳細胞の反応を調べた。まず豆

電球を左上から右下に動かし、反応する細胞を見付ける。次に部屋を暗くして、豆電球を固定したまま、後ろで光る額縁のようなものを逆に右下から左上に動かしたところ、同じ細胞が反応した。「物が動く」「背景が逆方向に動く」という二つの現象を、脳は同じ現象ととらえたことになる。

限定情報から把握

こうした錯覚が起きる理由は、動物が物を「見る」状況を考えると説明がつく。動物が動く物を見るときは普通、空飛ぶ虫を捕まえようとするなど、何かの目的を持って見ている。目標は視界の一点に固定され、その背景が網膜の上で変化していく。動物はそれを目標の動きと知覚する。「錯覚の大部分は知覚の誤作動ではなく、むしろ限られた情報から世界を把握するという知覚の有能さを反映している」と、心理学者である東京大学の下条信輔助教は指摘する。

例えば、頂点で接する二本の線の内側に、同じ長さの線を真横に二本引く(図右)。上に引いた線の方が、下の線より長く見える。有名な錯覚の一つだ。しかし現実の世界でこういう像が網膜に映ったとすれば、それは普通、目の前に延びていく道の上に、棒などが落ちているといった状況だろう。網膜上で棒の長さが同じであれば、奥にある方が長いのは明らかだ(図左)。網膜の上での上下方向のずれは、平面上の距離でなく、奥行きと考える方が自然だ。こうした分かりやすい例だけでなく、最近では、これまで知覚の誤作動と考えられていた錯覚も、実は生物学的に意味があったことが分かってきている。

能力を最大限に利用

黄色い色が入ったスキーのゴーグルをかけると、最初は世界がその色に染まって見える。しかし数十秒で元通り、雪は白、空は青と感じるようになる。「順応」と呼ばれるこの現象は、人間の色の識別能力を最大限に引き出す戦略だとの見方が有力だ。

人間は白と淡い黄色は敏感に区別するが、黄色の濃淡を見分けるのは苦手だ。世界が一様に黄色くなると、どこに何があるかを認識する力が落ちてしまう。そこで網膜に映った色から黄色を少し差し引いて視覚機構を調節し、元の能力を取り戻す。こうした働きが程の生存に寄与してきたことは想像にかたくない。

人間の直観的な判断の「誤り」を生物学的な長所として評価しなおす試みは、近年、視覚だけでなく、社会現象に対する判断の仕方などにも広がっている。

「錯誤の認知科学」と呼ばれるこの領域は今後、人間の知能を解明する有力な手掛かりになりそうだ。

知と情の科学第四部 9

脳を一種のコンピューターとみなすことができるのか。脳科学の基底に流れるこの問いに、まだ答えは出ていない。

言語は応用ソフト

かつて脳は言語主導のコンピューターと呼ばれた。ヒトの脳は確かに言語に関係する部分が飛び抜けて発達している。国際的な理解の難しさを、「日本語で考えるのと、英語で考えるのでは結論が違う」などと表現する。

言語は思考までを支配する脳の基本ソフトなのだろうか。だとすれば、バイリンガルの人、二種類の基本ソフトをどう使い分けているのだろうか。

英語とフランス語の二つを「母語」として話す人が多いカナダ・ケベック州は、バイリンガル研究が盛んだ。ここで失語症の患者を調べたところ、どちらか一方の言葉だけが強く障害になる例はほとんどなく、大抵は英語もフランス語も同程度に失われることがわかった。これは、二つの言葉が脳の同じような回路で扱われていることを示唆している。脳の全域を分担して支配しているとはいいがたい。失語症の治療と研究をしている東京女子医大の岩田誠教授は、「言葉を失っても理解力や思考力は衰えない」という。

言語は基本ソフトではなく、進化の過程で脳が生み出したきわめて優れた応用ソフトといえる。この出現でヒトは他の生物種を抑えて文明を発達させることに成功した。人類にとっては「初めに言葉ありき」というより、「ついに言葉現れり」というべきかもしれない。

AI に否定的見方

ニューロン（神経細胞）の回路形成や、情報伝達の仕組みが明らかにされるにつれて、同じような電子回路を人工的に組み上げることも不可能ではなくなった。脳をモデル化して、高機能のコンピューターをつくる試みも続いている。

かつては人工知能（AI）という名前で、人間に似た判断や連想のできるコンピューターシステムが注目を集めた。脳のニューロンの総数である百四十億のトランジスタを集め、並列処理など効率的な計算法を採用すれば、いつかは人間と同じように考える機械ができるという思想である。

しかし、猛烈な勢いで進展した脳研究は、逆に AI の可能性について否定的知見をもたらした。電子回路に比べて演算速度は百万分の一という遅いニューロンが、コンピューターの数万倍の仕事をさりとやっけてのけるのは、意欲、反省、快感、思い込みなど、「心」という機械にはない強力な仕組みを内蔵しているからだ。もちろん AI の推進側も、素早く心の要素を取り込んで、人工頭脳(AB)なる新語を作り、脳機能や脳の情報処理システムのコンピュータへの移植を目指している。

コンピューターに使われる論理ゲートは、一つにせいぜい三、四本の配線がついているだけだが、ニューロンの中には、一個の細胞が八万の接点を持つ例もあり、脳に近いコンピュータを実現するのは、かなり厄介な仕事だ。

「理解」はできない

英国の数学者ロジャー・ペンローズは自著の「皇帝の新しい心」の中で、機械に意識や理解を求めることの論理的な矛盾を指摘している。コンピューターにできるのは理解ではなく、理解をしているようにふるまうことだという。

日本でも今年から、脳研究に膨大な予算が投じられようとしている。玄妙にしてナゾが多い脳という迷宮の探索はまだほんのとば口にさしかかったばかりだ。

潤沢な研究費が脳への理解を深めるのに活用されることを期待したい。活用しているようにふるまうだけでは足りない。

(編集委員 塩谷喜雄) 1997/3/24/月 掲載記事

おわり