

意識の進化と遺伝子進化

齋藤成也

総合研究大学院大学遺伝学専攻／国立遺伝学研究所

生物はモノ(物質)から成り立っているが、動物の脳神経系はコト(情報)中心になってしまったようだ。われわれの意識は、これらモノとコトの接点に深く関わっているのではないだろうか？心身一元論の立場に立って、遺伝子DNAの進化から意識の進化を探る共同研究が行われた。

モノとコト

ローマのヴァチカン美術館の一角に、ラファエロの描いた作品がある。私の大好きな絵だ。当時までに知られていた古今東西の哲学者が多数描かれていて、その中央にプラトンとアリストテレスが立っている。プラトンは手を上に、つまり天上のアイデアを重視したのに対し、アリストテレスは手を下にしている、地上の現実の世界を重視したことを示している。アイデアとは、われわれ地上の存在にはその本体を直視することが不可能な存在である。現代風に言えばモデルであり、「コト」、つまり論理構造にあたる。一方、現実の世界は、「モノ」、すなわち物質である。

東洋の思想を考えてみると、仏教では「これ生じればあれ滅す」という因果関係、つまりコトを重視してきた。仏教経典のひとつ『ミリンダ王の問い』から引用しよう。ここでは、仏教者ナーガセーナがミリンダ王と対談している。たとえば、「智恵の所在」ではこんな感じだ。ミリンダ王が智恵はどこにあるかと問うたのに対して、ナーガセーナは「どこにもない」ととぼける。それでは智恵は実在しないのかと言う王に対して直接には答えず、「風はどこにありますか。どこにもありません。それでは風は実在しないのですか」という対話がなされ、ミリンダ王が「もっともです」と降参する

(平凡社東洋文庫「ミリンダ王の問い」に基づく)。

ナーガセーナが属していたアビダルマという学派が繁栄した後、大乘仏教では「空」の思想が展開された。中観派を代表とする空の思想では、いわゆる「色即空」、すなわち「色(森羅万象)には本体がない(空)」として、コトの論理である相互依存関係を徹底的に追及した。ただし論理といっても、通常の形式論理ではこの世界を把握できないとしているのがおもしろい。このあたりは、表面的には非論理的とも受け取れる論理展開がなされる禅の世界を思い出させる。西洋哲学でも、論理構造だけでは倫理を生み出すことができないと喝破した初期ヴィトゲンシュタインの考えは空の思想に近いのではないかと私は考えている。

コトとところとクオリア

南方熊楠も、そのロンドン書簡のなかでモノとコトの関係を論じている。彼にとってコトとは、「心界が物界とまじわりて生じる事」であり、それは「人界の現象と見て可なり」であった(河出書房新社河出文庫「南方マングラ」より)。つまり、物質世界と精神世界の出会うところが、コトすなわち情報であるという。彼のこの考え方にヒントを得て、私は最近、以下のように考えている——モノとコトとのあいだに深刻なずれが生じる原因は、脳神経系にあるのではないかと。

生命はモノである。しかし10億年以上

前の動物の誕生とその進化に中心的役割を果たしている脳神経系は、コト中心になってしまったのではなかろうか。もしこの仮説が正しければ、モノとコトの対立はすべての動物に大なり小なり内在することになる。

自然のこのふたつの側面をつないでいるのが、クオリア(絶対質感)ではなかろうか。クオリアは聞き慣れない片仮名言葉なので一見わかりにくそうだが、実はとても簡単な概念である。私は「論理マッピング」をすり抜けるものとして、クオリアをとらえている。論理マッピングとクオリアの具体例をあげてみよう。

木々の葉を見て視覚系が緑色を認識する始まりは、まず緑色の光が目の網膜の細胞中にある分子の構造を変えることである。詳しくいうと、オプシンというタンパク質の中にあるレチナル分子の構造をトランス型からシス型へ変えるのが出発点だ。これによってGタンパク質(トランスデュシン)の活性化などの一連の反応が個々の神経細胞(視細胞)の中で生じ、網膜内で他の神経細胞とのシナプス連絡を数回経たあと、網膜から脳に向けて「緑色をキャッチした」という信号が送られる。脳では、多数の感覚がいったん集まる「視床」でのシナプス連絡を介して、さらに大脳後頭葉などにこの信号が伝達され、視覚の認知が生じる。

これらは今まさに文章で説明したように、論理的に記述できる。論理(コト)

の世界なので、ラングとパロールやシニフィアン／シニフィエという概念を持ち出すまでもない。恣意的な言葉を使っている以上、「緑色」をgreenと呼び変えてもかまわないし、「視床」を「中継ステーション大核」と言い換えても、相互依存関係がかわらない限りなんの問題もない。これが「論理マッピング」である。

しかし、色や音、におい、てざわり、さらには、たとえば緑を見たときに感じるさわやかさや幸福感といった最終的な主観はかえることができない。幸福な感覚を不幸な感覚に自由に変えられるとしたら悲惨だろう。この最終的な主観の生じる場がクオリアである。定義からいって、クオリアを記述することは不可能のように思われる。私には、論理マッピングが最後の最後に主観にかわることにこそ、心身一元論を基盤としながらも心身二元論者をも納得させるような、モノとコトの接点があるように思えてならない。

「生氣論＝心身二元論」対 「機械論＝心身一元論」

長いあいだ、生命には無生命とは異なる原理が働いていると考えられていた。この考え方を「生氣論」と呼ぶ。生物学の研究者のなかにも、以前には生氣論を強く主張する人がいた。1世紀以上前の発生学者ハンス・ドリーシュがその代表だろう。しかし生氣論は現代生物学では完全に否定されている。DNAやタンパク質といったモノの集まりが生命を形作っているということが、現代生物学の核心なのである。これを「機械論」と呼ぶ。別の表現で言えば、生物にも無生物にも同じ物理化学的原理が適用できる、ということだ。

20世紀以降、生命現象は分子レベルで研究されるようになった。その結果、機械論の立場がますます強くなっている。ある意味で、生物学の歴史は「生氣論」に対する「機械論」の勝利の記録とみなすことができるだろう。とはいえ、いまだに生氣論が大手を振って歩いている領域がある。それは「心身二元論」だ。人間の精神や意識が肉体とは異なった原理



①ゲノム・バルーンの概念図。
ゲノムというデジタルな配列情報から意識へとつなげる、現代流心身一元論の図式。

の上にあると主張する点で、姿を変えてはいるがこれまでの生氣論の延長とみなすことができる。もし、機械論を押し進めてゆけば、当然「心身一元論」に帰結する。これは、この宇宙全体と自分を直接つないでくれる考え方だ。なぜなら、素粒子や原子、分子から私たちの意識に至るまで、同じ原理でずっとつながっているというのだから。

そのつながりを与えてくれる物質的存在の中心が実は「遺伝子」だ。人間を含めたすべての生物は、遺伝子の進化でつながっているのである。35億年以上にわたる生物進化は、宇宙の始まりであるおよそ150億年前のビッグバン以来、現在まで続いている宇宙の歴史の一部といえる。私たち自身が、生物進化の長い長い歴史の賜物なのだ。さらには、生命を持たない山にも河にもそれなりの歴史があることは、地質学がまさに地球の歴史を研究していることから明白だろう。すべては歴史なのだ。なかでも生命現象はすぐれて歴史的な存在である。

この歴史性の根底には遺伝子DNAの持つ性質がある。DNAという「モノ」のなかに遺伝子という「情報(コト)」が

蓄えられ、親分子から子分子へ受け継がれて行く。そしてそのとき、突然変異によって少しずつ変化してゆくことが、生物進化の中心に位置している。

となれば、意識にも遺伝的基礎があるはずだ。遺伝情報はゲノムの中に書き込まれた4種類の文字がずらりと並んだデジタル情報であり、それらはコトとして明確に記述できる。このDNA上に載っている情報がRNA分子に転写され、さらにリボソームを介してタンパク質が生成される。これらのタンパク質の持つ酵素の働きから糖や脂質など多種類の高分子が生成され、こうして「細胞」が出現する。ここまで来ると、はじめのゲノム情報はどこかへ飛んでいってしまった感がある。多細胞生物では、細胞の上には「組織」が、「器官」があり、そして「個体」がある。ヒトの場合、それぞれの「個体」に意識が宿っている。

この階層構造を私は「ゲノム・バルーン」と呼んでいる(①)。ヒトゲノムの30億個という塩基配列は膨大な文字列ではあるが、とにかく明確に記述できる。ところが、生命全体はゲノムのデジタル構造よりもはるかに複雑な状態を有してい

る。ゲノム配列がわかったからといって、生命のすべてがたちどころにわかるわけではないのは、ある意味で当たり前だろう。それでも、機械論と心身一元論は、ゲノム情報が意識にまで連なっていることを明示している。ちなみに、個体の外側には「環境」があることを忘れてはいけない。

意識の進化に関する学際的研究

このような問題認識のもとに、意識の遺伝的基礎を中核とする「意識の進化に関する学際的研究」を総研大における共同研究として、2000年度から2002年度までの3年間実施した（共同研究のホームページ＝<http://sayer.lab.nig.ac.jp/~saitou/>）。もとより短い期間で意識の謎が解けるわけではないが、なにか新しい視点を提示できればと考えた。

この共同研究には、生命科学研究科遺伝学専攻からは代表者の私のほかに、五

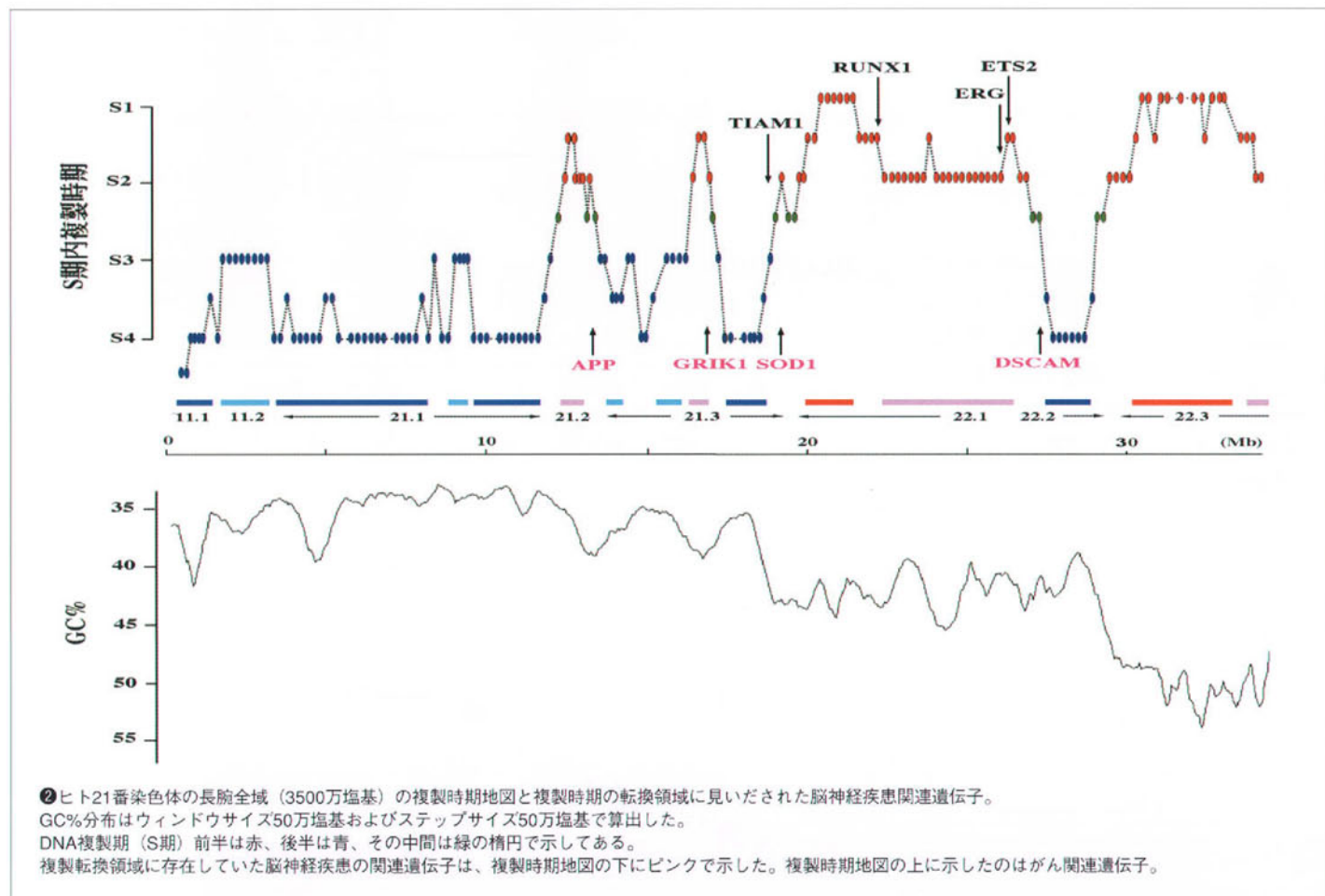
條堀孝教授と池村淑道教授が参加した。

五條堀教授は最も原始的な脳構造を持つと言われる扁形動物のプラナリアに注目した。扁形動物などを除く大部分の動物は大きく「新口動物」と「旧口動物」の2つに分けることができる（発生段階で最初にできる穴が、将来、口になるタイプが旧口動物で、肛門になるのが新口動物）。つまり、扁形動物の系統はこれら二大グループが分かれる以前に分岐した、きわめて古い系統なのである。このプラナリアの脳で、どのような遺伝子が発現しているかを調べたところ、遺伝子発現が7種類のパターンに分類できることがわかった。このような発現パターンの違いは脳の機能的な領域分化に対応しているのかもしれない。

同じく遺伝学専攻の池村教授は、ヒトゲノムのDNA複製時期がゲノム領域によってずれることを調べていて、この複製時期が転換する境界領域には、脳神経系の疾患関連遺伝子が集中する傾向にあ

ることを発見した⁽²⁾。このような複製時期の転換領域は、染色体バンド（特定の染色をして得られる縞模様）の境界によく対応しており、ゲノム上で組み換えや変異を起こしやすい部位と考えられてきた。池村教授は、この転換部位が、個体にとってはハイリスクであるが、集団にとっては進化的にはハイリターンを可能にするゲノム部位であるとの仮説を提唱した。さらに、ゲノムの全体像に関係するこれらの性質を効果的に視覚化し、そこからの能率的な知識発見を支援する目的で、『Genome Documentary Theater』を構築している。

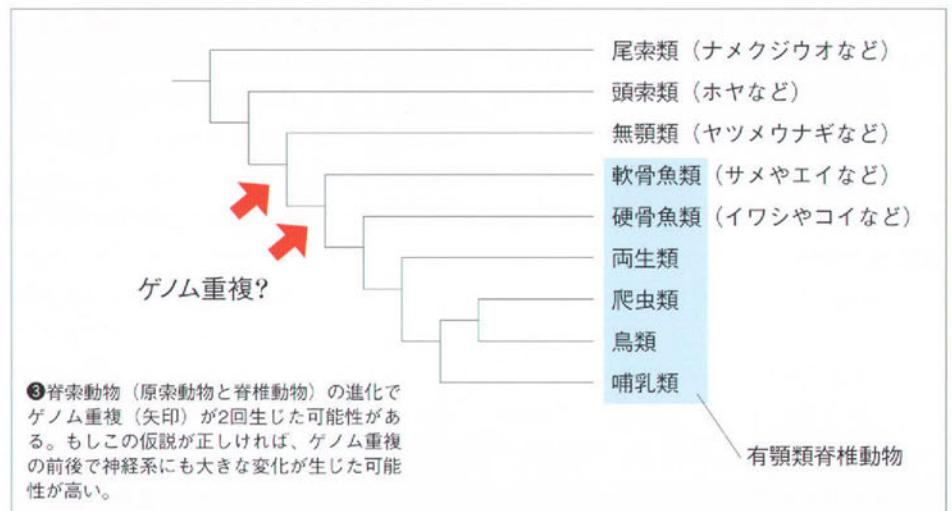
生命科学研究科の分子生物機構論専攻から参加した山森哲雄教授は、記憶形成を担う神経回路の変化と、それを引き起こすシナプス結合の変化について、ラットを使って調べている。ラットに課題を与えて、そのときの脳の視覚野と聴覚野の遺伝子発現を調べたところ、c-Fos



というタンパク質が興味深い発現パターンを見せることを明らかにした。c-Fosはさまざまな遺伝子の発現を促す転写因子で、ニューロンでこのタンパク質が発現していれば、それはそのニューロンが活動していて、シナプスで情報伝達物質を放出していることを示している。このc-Fosの遺伝子発現は「課題依存的」だった。つまり、ラットにどのような課題を与えるかによって発現パターンが変化していたのだ。このようなシナプス結合の変化は記憶の形成に、ひいては意識の発生に重要な役割を果たすと思われる。

遺伝学研究者としてもうひとりこの共同研究に参加したのは、先導科学研究科・生命体科学専攻の笠原正典教授である。笠原教授は、免疫系で重要な役割を果たしているMHC（主要組織適合性抗原遺伝子複合体）とよばれる領域を研究している。MHCはヒトゲノムでは6番染色体の短腕に位置するが、このMHCと遺伝子の並びが似かよった領域がヒトゲノム中にはほかに3カ所も存在することを発見した。これと似た状況がいわゆる“体づくり遺伝子”として知られるHox遺伝子群でも見だされている。これらの遺伝子を比較することにより、有顎類脊椎動物（ヤツメウナギなどの無顎類を除く脊椎動物で、魚類、両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類を全部含む）の共通祖先が出現するまでにゲノム全体の重複が少なくとも2回起こったのではないかという仮説が提唱されている(②)。ゲノム重複では一挙に遺伝子数が倍増する。これによって、脊椎動物は無脊椎動物に比べて大きな遺伝子進化の可能性が広がり、脳神経系もずっと複雑になっていったと考えられている。この意味で、脊椎動物の「意識」は、それまでの無脊椎動物の「意識」から大きく跳躍しただろう。

研究代表者である私の研究室では、ヒトの系統だけで独自に起きた変化をDNAレベルで見出すべく、1999年から「類人猿ゲノム計画Silver」を開始した(③)。現在までに、脳神経系で重要な遺伝子を中心に30個について比較したほか、頭から腰までのからだの前後軸（頭



③類人猿ゲノム計画Silverのホームページ。http://sayer.lab.nig.ac.jp/~silver/

Silver = Ag

類人猿ゲノム計画: Silver

This page is written in Japanese. ---> [HomePage in English](#)

Hot Topics

- 1/21/02: Pan troglodytes (チンパンジー) が塩基配列を決定されたトップ10生物に踊り出る (第9位: 145,434,393 bp & 159,212 entries; DDBJ Release 48 on January 2002)
- 1/4/02: チンパンジー BAC-end 配列に関する論文が *Science* (Fujiyama et al.) に発表される
- [Copy of Silver database at spinner](#) で検索ができます

== Silver Projectの主要データベース ==

- [Silver計画で塩基配列を決定したものを含む遺伝子](#)
- [DDBJ databaseにあるヒトと類人猿の塩基配列比較](#)
- [DDBJ databaseにあるチンパンジーの塩基配列データ](#)
- [DDBJ databaseにあるゴリラの塩基配列データ](#)

- [類人猿ゲノム計画Silverへようこそ!](#)
- [Silverプロジェクトに関連した発表物: 英語 日本語](#)
- [Silverプロジェクトに関連した講演: 英語 日本語](#)
- [Silverプロジェクトをどう動かしているのか](#)
- [DDBJ/EMBL/GenBankデータベースに格納されている類人猿とヒトの塩基の統計 \(2/4/02 更新\)](#)
- [Silverプロジェクトに関連したwebサイトのリンク集](#)
- [All About Apes \(類人猿のすべて\)](#)

Silver計画に関連した研究集会

- [進化ゲノム学に関する国際シンポジウム \[November 4-6, 2001, Atami, Japan\]](#)
- [GEMINI 類人猿ゲノムに関する国際ワークショップ \[2001年3月14-15日, 東京\]](#)

〒411-8540 静岡県三島市 国立遺伝学研究所 進化遺伝学部門 斎藤研究室
(email: nssaitou@genes.nig.ac.jp) FAX: 0559-81-6789 TEL: 0559-81-6790

尾軸)の決定に関与しているHox遺伝子群の一部を比較している(⑥)。Hox遺伝子群は最初はショウジョウバエでからだの前後軸を決定するのに重要な遺伝子群として発見されたが、その後ネズミやヒトでも発見された。私たちは、2万1300個の塩基を比較して、ヒトとチンパンジーでは0.7%、ヒトとゴリラでは1.0%、ヒトとオランウータンでは2.0%の違いが生じていることを明らかにした。これらの違いは、ゲノム全体を比較した時の違いよりも小さいので、進化的に保存されていると考えられる。このことは、Hox遺伝子群の領域では遺伝子そのものだけでなく、遺伝子と遺伝子の間にも重要な働きをしている部分があることを示唆している。誌面が限られているので、類人猿ゲノム計画についての詳細は、末尾の参考文献3を参照されたい。

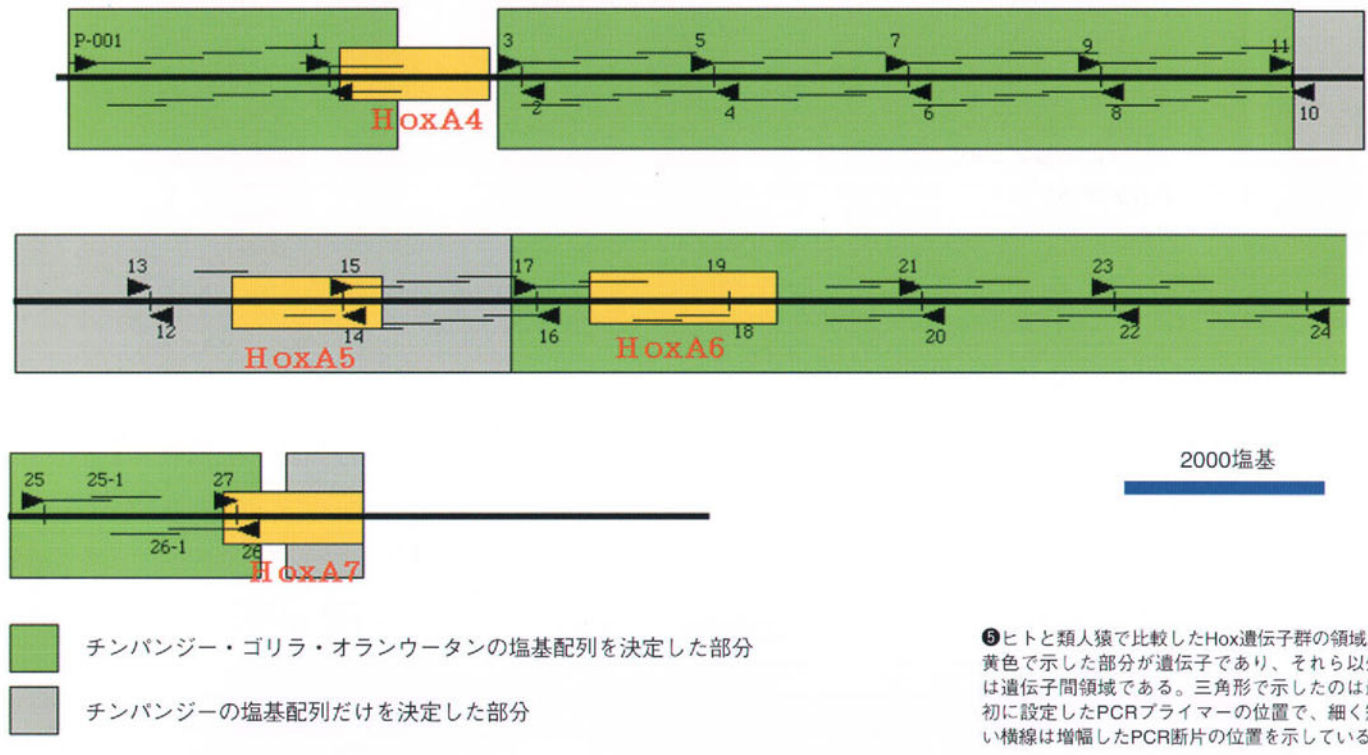
意識の進化は、もとより遺伝子からのアプローチだけでわかるわけではない。

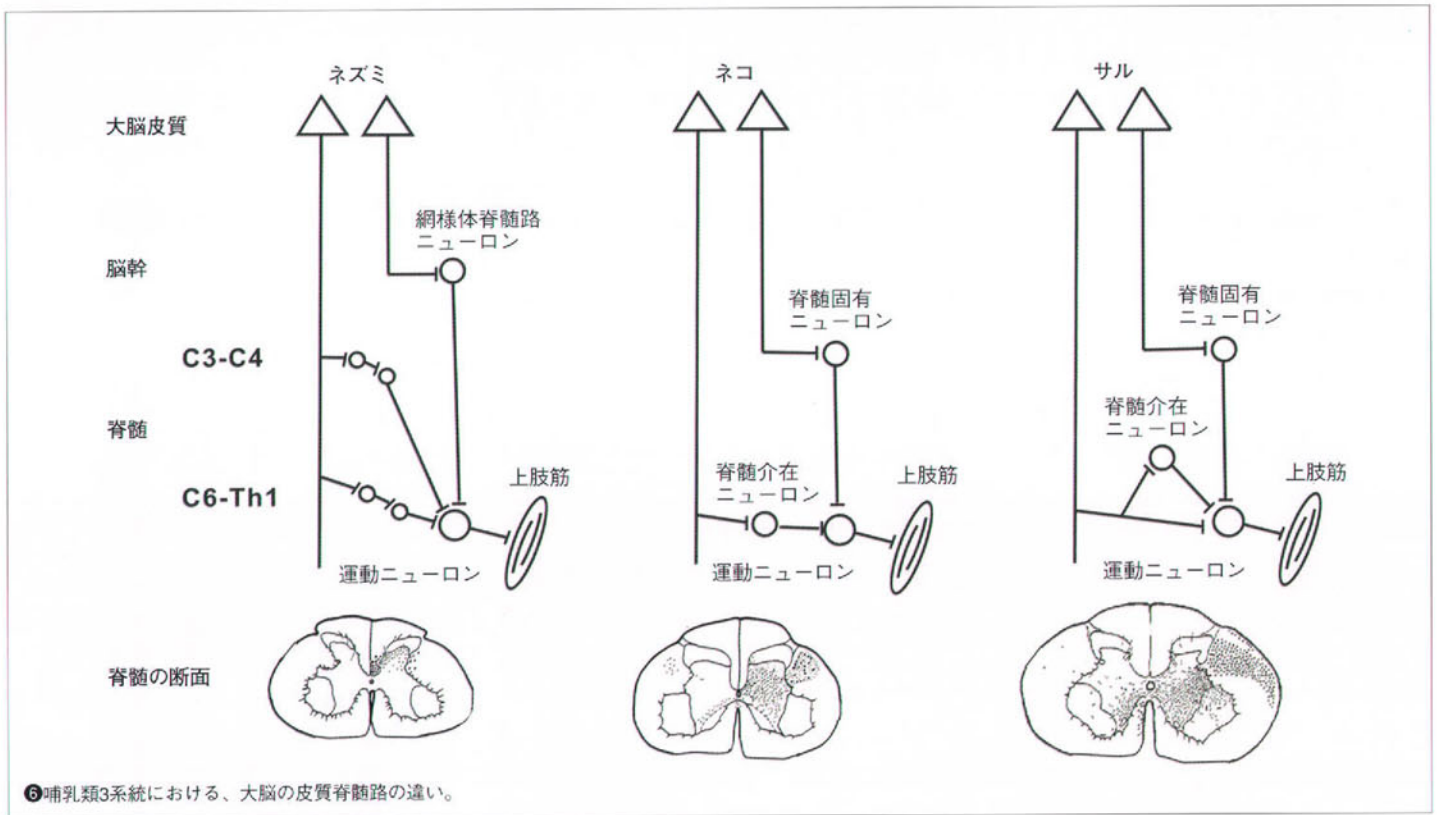
というより、むしろ脳神経系の電気生理学的な研究の方が正統派である。正統派としてこの共同研究に参加した生命科学研究所・生理学専攻の伊佐正教授は、意識の発生に重要な役割を果たしていると考えられている大脳の「皮質脊髄路」の働きを電気生理学的手法で研究している。大脳はこの経路を通して運動を制御しているが、哺乳類では霊長類になって初めて筋運動を直接制御する脊髄運動神経細胞との直接結合を獲得した。それに対してネコなどの食肉類やラットなどのげっ歯類では皮質脊髄路は脊髄介在ニューロンを介する経路で運動神経細胞の活動を制御する(⑥)。伊佐教授は、霊長類においては皮質=運動神経細胞直接結合が発達するとともに、脊髄介在ニューロンを介する経路も発達していることを発見した。

このほかに、この共同研究には、総研大葉山キャンパスにある教育研究交流セ

ンターの湯川哲之教授(物理学)、東京大学大学院理学系研究科の植田信太郎助教授(分子人類学)、京都大学霊長類研究所の正高信男助教授(発達心理学)、花園大学文学部の佐々木閑助教授(仏教学)、および理化学研究所脳科学総合研究センターの谷淳チームリーダー(電子計算機学)が参加し、意識をいろいろな側面から議論することができた。また、この共同研究とは別だが、2001年3月には、理化学研究所と国立遺伝学研究所(遺伝学専攻の基盤研究機関)の共催で、類人猿ゲノム研究のための国際ワークショップGEMINI(Genes and Minds Initiative)を東京で開催した(会議のホームページは<http://sayer.lab.nig.ac.jp/GEMINI/index-j.html>)。遺伝子の研究者と脳の研究者が一堂に会するという意欲的な試みで、異分野から刺激を受けるという意味で大いに成功した会議だった。

Hox遺伝子のDNA塩基配列決定 (HoxA4~HoxA7)





感覚の時間統合による意識の一体感

意識に関して、重要だがあまり顧みられない視点がある。ミリ秒以下のレベルでの感覚入力の同期だ。私は、この同期が統一的な覚醒感覚を得るのに不可欠なのではないかと考えるにいたった。この統合は、中枢神経系のみならず、広く全個体を形成する細胞のかなりの部分において達成されている可能性がある。この場合、この統合は受精卵が卵割するときから出発していると考えるのが自然なので、発生における細胞周期の調節にかかわっている可能性がある。いずれにせよ、各細胞の働きの「同期」をとることは、動物が一体として行動するために重要なので、意識の原型は動物進化のごく初期から存在していた可能性がある。

最近になって、NEC基礎研究所の長野正道氏は、細胞性粘菌という非常に興味深い生物を使って細胞間の同期を調べている。細胞性粘菌は普段はひとつひとつの細胞がアメーバのように生活する単細胞生物だが、状況によっては、個々の細胞が1カ所に集まって、あたかも多細胞生物であるキノコのような振る舞いをする。長野氏はこのときの細胞同士の同期は、拡散性の小分子とその受容体タンパク質との相互作用によって巧みになされていることを示した。これは、動物が出現するよりもっと前の進化の段階で同期現象が出現したことを示しており、意識の根源がきわめて古いという可能性を与えるものだと思う。粘菌といえば、あの南方熊楠を思い浮かべる方もいるだ

ろう。熊楠の研究対象は真菌類に属する「真性粘菌」であり、細胞性粘菌はそれとは別系統の生き物だが、不思議な動きをする共通性から、どちらにも「粘菌」という名称がついているようだ。熊楠もあの奇妙な振る舞いから何かインスピレーションを得ていたのかもしれない。

意識の研究は、このような他生物との「連続性」と、人間独自の意識という「断絶性」の両面から進めてゆくべきだろう。



斎藤成也 (さいとう・なるや)

学生のときに「進化の中立論」に出会って以来、理論の美しさ、具体的事実に基づいた説得力、そしてその思想性に深く惹かれてきた。一方で子供時代から「自分とは何か」ということをずっと考えてきたので、意識の進化は両者の興味の交差点にある。また進化を研究していると、この有限世界の一回限りの現象という歴史性がいかに重要かを痛感する。再現性重視の従来科学の対極にあるこの観点を、私は今後も貫徹して行こう。

[参考文献]

- 1) 斎藤成也『遺伝子は35億年の夢を見るーバクテリアからヒトの進化までー』大和書房(1997)
- 2) 斎藤成也『生命現象の二面性ーモノとコト』『FINIPED』91号、31-34(1999)
- 3) 斎藤成也『ヒトと類人猿の違いをゲノムから探る』『日経サイエンス』1月号、36-43(2002)
- 4) 榎住之・小原雄治編『ゲノムから個体へ』中山書店(2001)
- 5) E.ベッセル『意識の中の時間』(田山忠行、尾形敬次訳)岩波書店(1995)
- 6) V.S.ラマチャンドラン、S.ブレイクスリー『脳の中の幽霊』(山下篤子訳)角川書店(1999)
- 7) 長野正道『粘菌に見る生物の生存戦略とその工学的応用の可能性』『応用物理』70巻8号、941-947(2001)