

比較神経科学からみた進化にまつわる誤解と解説

理化学研究所脳機能総合研究センター 研究員
篠塚一貴 (しのづか かずたか)

Profile—篠塚一貴

2007年、慶應義塾大学大学院社会学研究科心理学専攻博士課程単位取得満期退学。博士(心理学)。2014年より現職。専門は生物心理学、比較認知科学。



南フロリダ大学 教授
清水 透 (しみず とおる)

Profile—清水 透

メリーランド大学大学院博士課程修了。Ph.D (Psychology)。専門は比較神経科学。著書は *How animals see the world* (編著, Oxford University) など。



ヒトの脳は自然が産みだした最高傑作などと呼ぶ人がいます。他の動物と比べものにならないほど複雑だと言う人もいます。たしかに我々は脳を使って他の動物にはなしえない文明を産みだしてきました。それを可能にしたヒトの脳の特殊性はどこにあるのでしょうか？ 他の動物との違いは単に量の問題で、ヒトは比較的小さい体のわりに、脳神経細胞が非常に多いからとも考えられます。それとも我々だけに特有の神経回路や構造があるのかもしれませんが。

ヒトと動物の脳の本質的な相違に迫るためには、脳の進化の系譜をたどる研究が必要です。それはつまり、ヒトと動物の脳の違いの由来を明らかにすることであり、ヒトの脳が出現した過程を把握することです。研究の結果、すでに多くの事実が明らかになってきました。ところが一方で、動物の脳の進化について、それどころか進化そのものについても、重大な誤解が広まってしまっている現状があります。しかも残念なことに、そういった間違いが一般の人々の間だけではなく、専門家の書いた学術書や教科書にすら多見されます。本稿では、特に普及してしまっている大きな間違いについて、四つのナイーブな誤解に答える形で説明してみます。

Q. 私たち人間は、他の下等な動物とは比較にならないくらい優れた知能を持っています。だから、人間は進化の頂点に立っているといえるのではないですか？

A. 違います！ 進化についての大きな誤解の一つが、「生物は進化によって複雑で高度なものに変化していく(=最も知能が高いヒトこそが進化の頂点にいる)」という考え方です。

チャールズ・ダーウィンは、『種の起源』の中で、様々な動植物の種内に形質の「変異」が見られることを、多くの例を挙げて示しました。そして、「(前略) たとえわずかなものであれ、他の個体よりも有利な変異を備えた個体は、生き延びて同じ性質の子どもを残す可能性が大きいと考えられないだろうか。その一方で、少しでも不利な変異は確実に排除されることもまた、確かなような気がする」と述べ、このような過程を自然選択(あるいは自然淘汰)と呼びました。

自然選択は、ある環境下で生存に有利な変異を持つ個体がより多くの子孫を残すことで、そのような形質を持つ個体が増加するということを説明しています。しかし、有利であるとは言っていますが、より複雑であるとか、より高度であるとは言っていないことに気をつけなければなりません。さらに言えば、ある環境下で有利な形質が、別の環境下でも有利であるとは限りません。

雪原では、茶色い毛の動物よりも白い毛の動物のほうがカモフラージュに有利だから、白い毛の動物が増えるかもしれません。しかし、そうやって進化した白い毛の動物を草原に置いたら、とても目立つことでしょう。一方、草原で

は白い毛よりも茶色い毛のほうが目立たないから、茶色い毛の動物が増えるかもしれません。だが、茶色い毛の動物は雪原ではすぐに見つかってしまうことでしょう。さて、白い毛の生物と茶色い毛の生物、より優れているのはどちらでしょうか？

自然選択による進化によって、ある環境によく適応した生物が誕生するかもしれませんが、それはその生物の複雑性や本質的な優劣と一概に結びつけることはできないのです。

Q. 魚やサルなどは、私たち人間の先祖だと聞きました。サルがチンパンジーに進化して、チンパンジーが人間に進化したんでしょう。サルからだんだん人間に進化していく図を見たこともあります。

A. 違います！ 一般的に言って、あなたと血のつながった兄弟姉妹は、あなたと同じ両親から生まれたはずです。あなたのいとこは、あなたと共通の祖父母から生まれた子（おじ、おば）から生まれたことでしょう。現生のヒトとヒト以外の動物も同じ関係にあります。つまり、チンパンジーからヒトが進化したというのは、あなたの兄弟姉妹やいとこからあなたが生まれたというようなもので、大きな誤解です。ヒトは現生の魚やチンパンジーから進化したのではなく、共通の祖先種から枝分かれして、それぞれの種が現在に至っているのです（図1）。

哺乳類の中で、ヒトに至る系統と最近になって枝分かれした現生生物が、チンパンジーの系統というわけです。ヒトとチンパンジーの系統は、およそ500～700万年前に分岐したと考えられています。その後、チンパンジーの系統は、100～200万年前にチンパンジーとボノボの2種に分岐しました。ヒトに至る系統は、様々な種が出現したのち、20万年ほど前に現生人類が登場したと考えられています（ただし、このような分岐の年代には諸説あります）。

もう少しさかのぼって、脊椎動物の進化についてヒトに至る方向に大まかにみてみましょう。魚類から四肢動物（両生類、爬虫類、鳥類、

哺乳類）の共通祖先が進化したのがおよそ4億年前です。その共通祖先から、地上に卵を産むことができる有羊膜類（爬虫類、鳥類、哺乳類）の共通祖先が進化したのがおよそ3億年以上前です。有羊膜類は、すぐに哺乳類に至る単弓類という系統と、のちの爬虫類・鳥類に至る竜弓類に分岐していますので、現在の爬虫類と哺乳類は3億年以上の時間をかけて、別々に、独立して、進化してきたのです。単弓類から哺乳類の祖先が現れたのは2億2000万年ほど前、そして霊長類の祖先の出現は約6500万年前と考えられています。

進化について触れている教科書を見ると、「進化の最先端に行くヒト」などという間違った記述をしているものも見かけます。これは原始的な動物から一歩ずつ階段を昇るように高等な動物へ進化していった最後にヒトに至るという考え方です。「自然の階段」とか「自然のはしご」と呼ばれ、アリストテレスの考え方に端を発しているといわれます。しかし、このように分岐を繰り返す系統図として進化をとらえれば、現生の生物はすべてが進化の最先端にいると考えるべきだということがわかります。

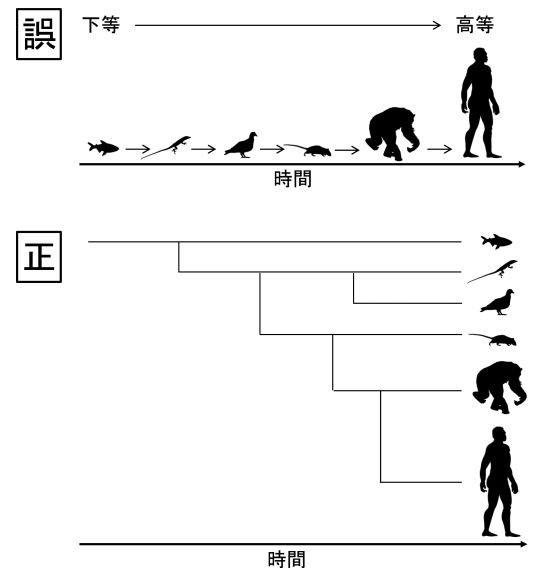


図1 下等な魚から高等なヒトに向かって直線的に進化したという考えは誤りです。全ての現生の動物は、共通の祖先から枝分かれして進化の先端にいます。

Q. 私たち人間の脳は、爬虫類の脳、下等な哺乳類の脳、そして高等な哺乳類の脳の三つからできているって本当ですか？

A. 違います！ この考え方は、しばしば教科書や解説書などで紹介されるだけでなく、一般向けのビジネス書などにも引用されるほど世間に浸透してしまっています。これは、アメリカのポール・マクリン博士が20世紀の中ほどで唱えた「三位一体脳 (triune brain)」と呼ばれる仮説がもとになっています。マクリンは、ヒトの脳が、原始爬虫類の脳、古い哺乳類の脳、新しい哺乳類の脳という三つの基本的構造を保って進化したと考えました。

マクリンの三位一体脳説によれば、原始爬虫類の脳はR-complexとも呼ばれ、爬虫類や鳥類、哺乳類の前脳 (大脳) の底部にある神経核構造、基底核であるとししました。そして、原始爬虫類の脳の周囲を古い哺乳類の脳が取り囲んでおり、情動的な行動を調節しているとししました。ちなみに辺縁系という言葉は、古い哺乳類の脳のことを指してマクリンが導入したものです。そして、新しい哺乳類の脳はヒトで顕著に発達している新皮質のことで、問題解決や記憶・学習に関わっているとしました。

さて、三位一体脳仮説が正しいとしたら、哺乳類以外の脊椎動物には新皮質がなく、古い脳しか持っていないことになります。本当でしょうか？

実は、「新皮質」がないというのは本当です。哺乳類の大脳にはきれいな層 (皮質) 構造があるのに対して、鳥類の大脳には層構造は見当たりません。このため、比較神経解剖学の父とも呼ばれるドイツのルートヴィヒ・エディンガー博士は、鳥類の大脳はほぼすべてが基底核 (線条体とも呼ばれる) でできていると考え、大脳の大部分の領域に線条体の名をつけました。20世紀初頭のことです。その後、神経連絡や化学物質の分布、胚発生時の遺伝子発現などの対応関係の研究が進むにつれ、鳥類の「基底核」のうち、哺乳類の基底核に相当するのは一部分に

過ぎないことがわかってきました。哺乳類の新皮質は、発生的な区分では^{かいとう}外套と呼ばれる構造の一部ですが、鳥類でそれまで基底核と考えられていた領域にも、外套に相当する領域が多く含まれていたのです。このような知見の積み重ねをもとに、2004年に鳥類の大脳領域の名称が改定され、それまで線条体の名がついていた多くの領域が外套と呼ばれるようになりました (図2)。鳥類の名称改定は象徴的ですが、鳥類だけでなく、魚類や両生類、爬虫類の大脳にも外套に相当する領域があることがわかっています。外套という構造自体は脊椎動物に共通していて、哺乳類が新しく獲得した構造というわけではないのです。

エディンガーもマクリンも、原始的な単純な脳に徐々に新しい脳部位が付け加わることで、最終的にヒトの複雑な脳ができあがったと考えました。これは原始的な動物から高等な動物、そしてヒトに至るという直線的な進化を仮定しているわけで、つまり「自然の階段」の考え方と一致しているといえます。「三位一体脳」のような考え方が直感的に受け入れやすいのは、脳の進化についても「自然の階段」の概念が人々の意識の深くにまで浸透しているためかもしれませんね。

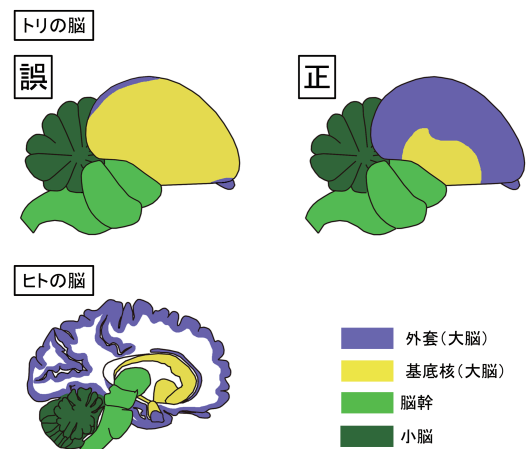


図2 ヒトの脳が、爬虫類の脳、下等な哺乳類の脳、高等な哺乳類の脳からできているという考えは誤りです。大脳皮質は外套という領域に含まれますが、哺乳類以外の脳にも外套があることがわかってきて、鳥類の脳については名称の改定が行われました。

Q. 魚などの下等な動物の脳には新皮質がないから、嗅覚の処理しかしていない。何かを記憶したりすることはできないと習いました。

A. 違います！ 脊椎動物の脳の基本的な構造は共通しています。魚類などの脳が嗅覚しか処理していないというのは誤りです。

日本で最初の比較心理学者である増田惟茂博士は、1915（大正4）年に『心理研究』誌上に「魚類の『学習』の実験」と題した論文を発表しました。序説では、エディンガーの説を引用して「比較解剖学の大家エディンゲル教授は、脊椎動物の脳を、古脳と新脳との二部分に分ち、前者即ち古脳（大脳皮質以下の脳部）は、動物により多少の相違はあるが、大体全ての脊椎動物に同様に存在するが、これに反して新脳（大脳皮質）は、これを欠如せる硬骨類から、これが偉大な発達をなしている人間に至るまで、非常に違っていることを説明し、そうして大脳皮質の機能を明にする上に、これのない魚類の行動即ち氏の所謂古脳行動の研究の必要なことを力説している」と述べています。そして、海外で発表されている魚類の学習実験を多数概観した後、キンギョとコイを対象に、罰の学習ができることを報告しました。魚類が学習をする能力を持っていること自体は、エディンガーが脳の研究を行っていた当時から示されていたわけです。

では、魚類の学習はどのような脳部位で行われているのでしょうか？ 現在では、やはり大脳が関与していることが明らかになっています。光刺激の提示を手掛かりとした電撃の回避反応をゼブラフィッシュに学習させ、カルシウムイメージング法（広範囲の神経細胞の活動を生体内で可視化する手法）で脳を観察すると、訓練から24時間後に、光刺激の提示に対して大脳の背側部分（外套に相当する）で神経活動が認められるようになります。そしてこの部分を損傷したゼブラフィッシュは、回避反応を学習すること自体はできるが、学習から24時間

後に再びテストをすると回避反応の成績が下がります（Aoki et al., 2013）。このことは、この領域が長期的な記憶に関わっていることを示しています。この領域は、間脳から視覚や聴覚などの感覚情報の入力を受け入れています。つまり、魚類の脳が嗅覚の処理しかしていないというのは、機能的に見ても解剖学的に見ても誤りだということがわかります。魚類の脳は鳥類と同様に層構造は持たないものの、嗅覚以外にも各種の感覚入力があり、学習などに関与しているのです。

文 献

- Aoki, T., Kinoshita, M., Aoki, R., Agetsuma, M., Aizawa, H., Yamazaki, M., Takahoko, M., Amo, R., Arata, A., Higashijima, S., Tsuboi, T. & Okamoto, H. (2013) Imaging of neural ensembles for the retrieval of learned behavioral programs. *Neuron*, 78, 881-894.
- Darwin, C. (1859) *The origin of species*. London: John Murray. [C・ダーウィン／渡辺政隆（訳）（2009）『種の起源』光文社古典新訳文庫]
- MacLean, P. D. (1990) *The triune brain in evolution: Role in paleocerebral functions*. New York: Plenum Press.
- 増田惟茂（1915）魚類の「学習」の実験。『心理研究』7, 160-171, 336-343, 544-556, 771-778, 8, 454-461.