慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	脊椎動物の眼に潜む不合理性
Sub Title	An irrationality involved in the vertebrate eye
Author	坪川, 達也(Tsubokawa, Tatsuya)
Publisher	慶應義塾大学法学研究会
Publication year	2014
Jtitle	教養論叢 (Kyoyo-ronso). No.135 (2014. 3) ,p.185- 189
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	エッセイ
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00062752-00000135-0185

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

エッセイ

脊椎動物の眼に潜む不合理性

坪　川　達　也

私は，メダカなど魚類を実験動物として用いているが，研究テーマはヒトの脳であると思っている。社会的存在である「人間」に対して，その一面である生物学的な存在を「ヒト」として分けている。魚類の脳を研究することにより，ヒトの脳，特に生得的な機能（生存に必須な情動など）につながる研究ができると考えているのである。

ヒトの祖先について遡って，まず観察を主とする形態系統学的に考えてみると，霊長類，さらには齧歯類というような哺乳類であり，その先に爬虫類，両生類，魚類であったことを知ることができる。更には，頭索類の先祖動物（ピカイア）につながる。ピカイアは，約 5–6 億年前の古生代カンブリア紀の海にいた生物である[1)]。

顕微鏡を用いれば，生物が「細胞」でできており，多細胞生物を構成する細胞は，真核生物の細胞であって，他に群体や単細胞レベルの真核生物もいることが分かった。細胞生物には核を持たない原核生物もおり，真核生物に比べてサイズが圧倒的に小さく，形態も比較的単純なことから，別の系統ではと考えられたこともあった。多細胞生物，単細胞真核生物，原核細胞のすべてが一つの細胞生物（最終普遍共通祖先細胞 Last Universal Common Ancestor, 通称 LUCA 細胞）から派生したと推定されるようになったのは，分子生物学が発展してからである。

分子生物学の基本概念（中心教理）は，主に原核生物の大腸菌で確定された。DNA が遺伝子，タンパク質が機能を担当するというその基本概念は，原核生

図１　脊椎動物の眼球の模式図
（黒い矢印が光の伝わる方向）

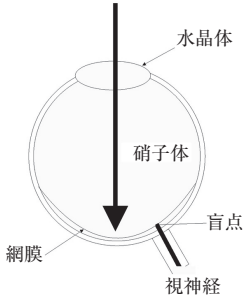
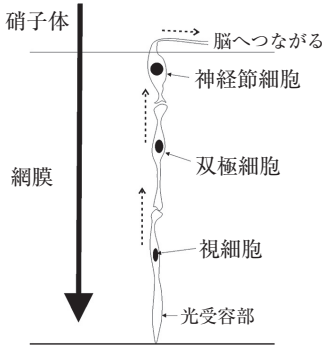


図２　網膜内の模式図
（黒い矢印が光，点線の矢印が神経伝達の方向）



物のみならず，真核生物や多細胞生物においても応用できた。このことは，これらの生物すべてに遺伝子としての DNA が存在することを示し，その配列を比較することで，生物の分岐（種が分かれること）の年代も計算できるようになった。ここに分子系統学が誕生する。

最初に原核生物大腸菌ですべての DNA が解読された後，ヒト（ヒトゲノム計画は終了したことは大きなニュースになった），主要な実験動物であるマウス，ゼブラフィッシュ，ショウジョウバエ，線虫など，そして主要な実験植物であるシロイズナズナや作物としてのイネなどの遺伝子としての DNA（ゲノム）が解読され，さらに多くの生物で進んでいる。現代は遺伝子研究全盛時代である。いろいろな疾病に関連する遺伝子が，毎日のように新聞の紙面を騒がしニュースになっている。

このようにすべて生物には共通の要素である遺伝子としての DNA が存在するが，魚からヒトまで，脊椎動物のほとんどに共通して存在する感覚器官としては，眼がある。退化して眼を亡くした種もあるが，今回は言及しない。

脊椎動物の眼の基本構成は，光を集める「水晶体」，眼球内を満たす「硝子体」，眼球の底面に存在する光を感知する感覚器官である「網膜」である（図 1）。

この構成は脊椎動物を通じて変わらない。さらに網膜を組織学的にみると，三層の細胞構造が存在する。光を受ける「視細胞」，視細胞と次の細胞の神経伝達をつなぐ「双極細胞」，そして，視神経をつくり脳に情報を伝える「神経

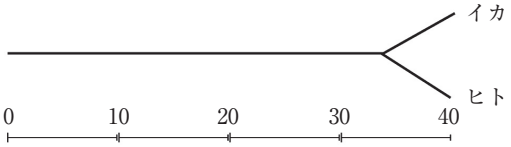
節細胞」である（図 2）。ところが，この脊椎動物の眼には，驚くべき欠陥ともいうべき構造がある。網膜の神経伝達の方向性のことである。網膜は角膜，水晶体，硝子体を抜けて眼球に入ってきた光を受け取るのだが，各細胞の配置が，光が入ってくる方向から，神経節細胞，双極細胞，視細胞と並んでおり，視細胞の光を受ける部分（光受容部）が一番奥にある。つまり，三層の細胞層を抜けた光を受容し，光と逆方向に神経伝達をするという配置になっているのだ（図 2 の黒い矢印）。合理的に考えるならば，視細胞が水晶体の方に最も近く，光の方向に光受容部を向けているのが最適な構造であろう。だが，実際には逆の配置になっている。この配置の必然的結果として，視神経が眼球の内側に伸び，眼球の一点で外に出ないと脳に接続できなくなっている。その結果，脊椎動物の眼には，視神経が網膜内を抜ける点があり，ここには視細胞が存在できないため，そこが「盲点」となる（図 1 の盲点）。しかし，もし片目をつぶって視野を確認されても，視野の欠けた点は認識できない。これは，脳が視野を補っているためである。

実は，脊椎動物以外では，合理的な目の構造をもつものがいる。軟体動物頭足類（イカやタコの仲間）である。「水晶体」から，網膜に光が至るのは同じだが，網膜には光を受ける面にむかって光受容部を向けた視細胞が最初に配置されている。そのため，頭足類の網膜には，盲点が存在しない。

なぜ，そのような違いが生まれたのか。それは発生過程の違いによって生じた。脊椎動物の眼球がそのような不合理な構造になった理由には，脊椎動物の網膜が発生過程で，脳から作られるのに対して，イカなどでは，皮膚から作られることが挙げられる。この発生過程が，脊椎動物に特有の不合理な網膜の配置を生み出している。

ちなみに，脊椎動物の眼を形成するマスター制御遺伝子（pax6）と，無脊椎動物の眼を形成する遺伝子（ショウジョウバエの eyeless）は非常に相同性が高く，入れ替えても機能が保持される（pax6 はハエの複眼を形成する[2)]）。pax6/eyeless の相同遺伝子はイカにもあり，おなじく眼に関わる機能が推定されている。ヒトとハエ・イカが眼を作る同じ遺伝子をもっているのに，脊椎動物の眼だけが，なぜ「盲点」をもつ不合理な網膜をもっているのかという仕組みを理解するに

図３　遺伝子の分岐時間（単位：億年）



は，遺伝子だけでなく眼球の構造上の問題を，発生過程の違いまで遡及して知る必要があった。

遺伝子は，地球上に生物が誕生以来存在していると言える。それは，45 億年前に地球ができて数億年以内のことだとされている。最初の生物は原核生物だったが，そこから真核生物が分かれるのが約 15 億年前，さらに多細胞生物（脊椎動物と無脊椎動物）が分岐するのは約 5−6 億年前である。地球上の生物の歴史が 40 億年としても，脊椎動物と無脊椎動物の分岐は約 5 億年前で，これを直線状に示すと図 3 のようになり，ヒトとイカやハエは一般の感覚では，遠い動物と思われるが，生物の長い歴史からするとそう遠い存在でないのが分かる。遺伝子の存在が 40 億年前とするなら，それに比べれば，脊椎動物と無脊椎動物の分岐時間はそう昔のことでもないと言える。つまり遺伝子研究によって非常に多くのことが分かるのは，ほとんど自明の理であるが，遺伝子が誕生してから遥か後に起きた脊椎動物と無脊椎動物の違いを説明するのに，当初考えられたより遺伝子の共通性が高かったために遺伝子だけでは説明できない違いもあるということである。

脊椎動物の眼が不合理な網膜の配置をもつこと，これは遺伝子の配列からでは分からないことである。現在のような遺伝子研究全盛時代になっても，医学・生物学にとって，発生・解剖といった対象の観察が重要であるのは，間違いない。多くの動物の発生を比較し，その遺伝子カスケードの理解を考える進化発生学（Evolutionary Development：通称 evo-devo）は，このような問題を考える 21 世紀の新しい研究分野であるが[3)]，進化発生学や遺伝子研究が互いに補い合って多角的に研究を進めていくことで，ヒトの心身の解明が進んでいくと私は考える。

参考文献

1）　リチャード T. J. ムーディ，アンドレイ ユウ ジュラヴリョフ著，小畠郁生監訳，生命と地球の進化アトラスⅠ，朝倉書店（2003），p82−3.

2）　G. Halder, P. Callaerts, W. J. Gehring, Science 267（1995），p1788−92.

3）　佐藤矩行，野地澄春，倉谷滋，長谷部光泰，発生と進化，進化学 4，岩波書店（2004），p55.