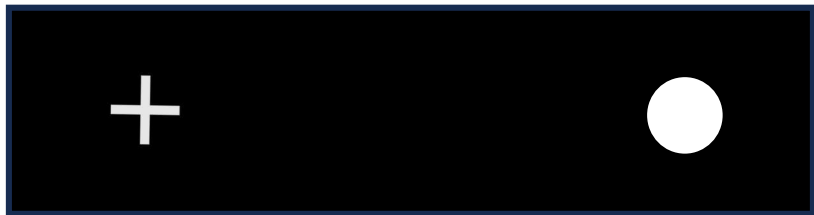


ISBN978-4-86795-057-9 発行所：オリンピア印刷株式会社

## 生物の進化と進化論の盲点をときほぐす

小澤幸重  
歯と骨の訪問教室



左目を閉じ、右目で約 25cm はなれて+をみると約 5cm離れた○がみえなくなります。これをマリオットの盲点といいます。網膜の○の部位は神経線維が脳へ入る部位で視覚の細胞がないためです。

## 目次

はじめに 動機 1

### 第一章 盲点

- 1 盲点に入る前に 立ち位置 ……3
- 2 最大の盲点は進化 ……5
- 3 いろいろな進化論からみえてくる系統発生と個体発生の盲点 ……7
- 4 時間の錯覚と反復説の意味 ……9
- 5 遺伝子神話 ……11
- 6 生命(生物)とはなにかの盲点 古生物学的細胞観 ……14
- 7 生物の進化の方向の盲点 変異と放散と多様性 ……17
- 8 種の盲点 ……19
- 9 適応の盲点 ……22
- 10 獲得形質の盲点 ……24

### 第二章 生命の原則(体制の原則)

- 11 生物界の階層と法則、相補性と調整 ……26
- 12 定向進化と特殊化、嗜好性 ……28
- 13 絶滅の盲点 時間の錯覚、周期性 ……30
- 14 生物(生命)の特徴の盲点 変異と適応……32
- 15 化石からみた生命の特徴 進化の法則 ……34
- 16 安定性をもたらす体制の原則 変異の定着 時空を超える鍵 ……37

### 第三章 体の盲点

- 17 人体の安定性 分節、階層、対称、移動 ……40
- 18 頭殿の対称 最先端はどこか? ……46
- 19 鰓弓の盲点 対称 消化管の骨格 ……50
- 20 歯の分布の盲点 ……53
- 21 歯の交換と歯数減少の盲点 多生歯生から二世歯生への空白 ……58

- 22 教科書神話 歯式と歯種など ……62
- 23 歯の進化の盲点 歯は歯冠だけではない ……72
- 24 宇宙からながめる歯 体制の原則の抽出 ……76
- 25 反省 進化と進化論には哲学が必要 医学の根拠としての進化 ……78

## はじめに 動機

生命の起源から進化の過程、進化の原因を解明する研究や理論は、「種の起源」のダーウィン以来、いやそれ以前から数多くなされてきています。その一つ一つが貴重なものです。が、しかし、私自身が自分の研究結果から、改めて進化の法則をまとめようとした時、これまで提起されていない問題、あるいは錯覚ではないか考えられる点が多々あることに気づきました。これをまとめたのがこの小冊子「進化と進化論の盲点」です。

筆者の歯の研究から生物の進化まで記述したのが「歯の形態形成原論」と「歯の形態形成原論補遺」ですが、これはあまりにも専門的で詳しくすぎて専門外の方々には煩わしい本です。そこで、盲点のなかでも大切と考えられる二十数点を抜き出し、盲点を補い、誰にでも分かりやすいように心がけて書いたつもりです。できるだけ専門にはしらず中学校ないし高等学校のレベル内に収めるように努力したつもりです。しかし無意識に難解な説明になっているかもしれません。ご容赦ください。

小冊子の題に「進化」と「進化論」としたのは、進化が化石によって示される実際の進化の経路であり、化石あるいは現在生きている生物をしらべて進化の原因や法則を推定したのが進化論だからです。

私の考えは師匠の井尻正二さん(先生とよばれるのを嫌っていましたが)につよく影響されています。というのは、この小冊子のもとになった考えの多くは、研究の指導を受けた井尻さんのお宅へほぼ月一回お邪魔し、いろいろお教えをうけ、ほんのちょっと議論させていただいた点をまとめてカルトンへとじておいたものです。なぜ師事したかという、井尻さんは古生物学出身でありながら、人体解剖学を収め、当時の歯に関する最先端の研究と学説を出された方だからです。歯の移植実験をおこない、歯の形は顎の部位の影響をうけることを立証し(これを「場の理」論といいます)、歯の形態形成の仮説を立てられています。そして未完ながら「古生物学的進化論の体系要旨(化石研究会双書 1 号、2011)」をまとめています。この進化に関する考えは、自然弁証法という哲学にそっています、それは「進化には哲学が必要」という項で触れさせていただきました。

というわけで、この小冊子は師匠の井尻さんにつよい影響をうけ、それゆえ数多く引用させてもらっている、ということをお記しておきます。

この小冊子の構成は、第一章の盲点で問題点、第二章の生命の原則で研究から導き出した法則、第三章の体の構成で具体的な問題、となっています。第三章の歯の項目は筆者の専門において盲点を解く試みをしています。そのため冗長になっていますので読みにくければ飛ばしてください。

学問には議論が必要です。ぜひご批判と忌憚のない意見を頂ければ幸甚です。

2024年5月31日

## 第一章 盲点

### 1 盲点に入る前に 立ち位置

どのような凄い理論でも、それを築き上げた研究が大切です。つまり理論をつくりあげるための基礎となった研究です。これを立ち位置といっていますが、同じ結論でも立ち位置によって見え方が違うことはしばしば経験します。ですから私は、本でも論文でも書いた人の経歴や研究のもととなる基盤をまず確かめた上で読むことにしています。ということで、筆者の基盤をご紹介します。

専門領域は、解剖学の一つである歯学です。解剖学と言っても目と素手でヒトの体を調べる肉眼解剖学から、顕微鏡や電子顕微鏡で細胞をしらべる細胞学、人体発生学から細胞分化まであります。私の仕事をした東京医科歯科大学の解剖学教室は、マクロからマイクロまで(肉眼解剖学から細胞まで)！というかけ声でしごとを進めていたため、一応この全てをこなしてきました。ですから進化についても人体解剖学から歯をみる視点が強くなっています。

歯に関しては、比較解剖学を専門として、ホヤから哺乳類まで、化石から現生の動物までの歯を、それも形から歯を構成している原子配列まで調べました。(研究しているときは無我夢中だったのですが、いまはこれだけの幅の広い仕事が出来たことについてちょっと誇らしい気分もしています)。

これが出来たのは主に二つの原因が考えられます。当時の東京医科歯科大学の解剖学教室は世界に誇る第一線の方々が研究していて、いつでも教えていただけるという素晴らしい環境だったことがまずあげられます。つぎに、師匠の井尻さんの援助で、化石から現在の動物の歯まで研究できたことです。

当時の教室を紹介すると、解剖学教室は、医学部と歯学部、さらに附属研究施設を含めて合計7講座(1講座の教員は基本4名ですから28名以上いたわけです)でした。ひとりひとりが各分野で活躍し、恐ろしいほどの気迫が満ちていたのを思い出します。

個人的な研究目的の師匠は井尻正二さん(古生物学、解剖学、哲学、地質学等々の専門家)でしたが、研究室の先生は一条尚先生とその師匠の桐野忠大先生でした。充分師匠の考えや仕事を消化しきれないまま薫陶をうけていました。

研究のテーマは、井尻さんからは長鼻類(ゾウの目の正式名称)と束柱類の歯

をいただきました。前者は世界的で世界的な研究、後者は日本的で世界的な研究、どちらも世界の誰も知っている対象ということでした。教室は比較解剖学を標榜していて、初めに魚の歯、あとでイヌの歯の組織と形態形成を分担しました。

このような研究環境と研究テーマで研究をすすめ、やっとうとうかこうにか 200 種弱の歯の構造の比較、十数種類の歯の発生の観察を行うことができました。これらの研究の結果がこの小冊子に色濃く反映していることをご承知おき下さい。

## 2 最大の盲点は進化

生物の進化において最大の謎は、「何故、約 40 億年もの間進化が続いてきたのか」です。これは何度も強調しますが、他でもない進化そのものです。進化の原因や進化の経路はいろいろ研究されているのに、この謎は解けていません。いや、問題にする研究者も少ないのです。まったく不思議です。

ところが物理学では「宇宙はなぜ進化したのか」という問題が検討されています。かの相対性理論を提唱したアインシュタインは「宇宙は安定している」と考えましたが、現代物理学ではこの考えは否定され「宇宙は不安定な存在である」よって変化し進化するというのが定説になっています。もしかしたらこれが生物の進化の鍵になるかもしれません。

そこで、生物は不安定な存在である、として自分の仕事を反省してみました。私の専門は歯の発生や細胞、化石の歯の構造なのですが、論文にするとき一番はじめの状態を「不規則な状態から・・・」あるいは「原始的な状態から・・・」とよく表現しています。この不規則や原始的が不安定と同じなのです。生物が発生や発達、あるいは進化するとより規則的な状態になります。いろいろ他の現象も検討するとおなじであることが分かってきました。つまり生物は宇宙と同じように不安定な存在なのだ、といえます。

「なぜ進化するのか」つまり進化する原因と原動力もここから分かります。不安定がより安定化するの物質界の基本原則だからです。

物質界と言っても反物質などいろいろありますが、地球上の現象に限定してこの法則が当てはまるか、が問題となってきます。安定化するというのは変化ですから、変化しない状態はないのかという問題に置き換えることができます。我々の知っている変化しない状態は絶対温度の世界です。だから、絶対温度の状態では進化しないことになります。ところが量子力学では絶対温度でも変化があること、つまり運動状態があることが分かっています。それは「零点振動」という現象で、たとえばヘリウムは絶対温度でも分子運動をしていて凍らないのがこれです。

つまり、生物の世界はほぼ安定へ向かって変化するといつてよいでしょう。つまり進化すると考えて許されるのです。この安定化への原動力が不安定性なのです。しかし完全な安定状態はありません、したがって進化はつづくのです。

ところで、ここまで変化と進化とを混同したように使ってきましたが、じつは進化



は変化なのです。これは時間からみると理解できます。変化は時間の推移の意味なのです。変化は物質が変わることですが、これは古くから哲学の課題となってきました。これを「時間は物質の質的变化」とするとレーニンが哲学ノートで明快に書いています(時計で時刻を測る原理は物質の変化なので、哲学の凄さを感じることができます)。また私の師匠の井尻さんも「物質は全て変化する。その変化の一つが生物の進化である」といっています。

ということで、生物の進化とは、不安定な状態から安定化へ変化することで、不安定性と時間の二つの面から捉える事ができます。生物の進化のより厳密な意味と定義は「進化とは何か」で説明することにします。

### 3 いろいろな進化論からみえてくる系統発生と個体発生の盲点

進化論と言えば、自然発生説をはじめいろいろありますが、なんといってもチャールズ・ダーウィンの「種の起源」がピカールでしょう。1868年に出版されてこの方絶えることなく世界的に認められています。しかし、生物の進化の理論や法則はペトロニヴィクスのまとめ(井尻正二;科学論下、1977、国民文庫に詳しく書かれています)にあるとおり、たくさんあります。その後もどんどん提案されているのです。そして他の進化の理論を否定することもままあります。

生物は目の前にあまたいるのに、どうしてこのように幾多の考えが提案されるのでしょうか。どれが正しいのか迷ってしまいます。

そこで立ち位置で書いたようにどのような研究から進化論や法則を提案しているのかという点からざっとこれまでの理論を整理してみます。

進化論の根拠となる研究から区分すると、いま生きている生物つまり生物学から、化石を研究する古生物学から、そして生物以外の物質界も含めた共通の法則から、とほぼ3とおりになります。

生物学の現象からの学説は、使われる部位が進化するという用不用説、自然環境によって選択されるという自然淘汰説、遺伝子に突然変異がおこるという突然変異説、遺伝子の変異はおおいがその中で進化に結びつくものがあるという中立説、発生の初期に進化が起こるというネオテニー説などです。近年ではちょっとした変化が進化に結びつくという説もでてきています。それ以外にも沢山ありますが、これをみると進化の原因を提唱する説が多いことに気がつきます。つまり進化の要因論です。

では古生物学はどうでしょう。体軀巨大化(大型化)、定向進化、平衡進化、絶滅、特殊化、あるいは進化には波があるという断続平衡説などたくさん提唱されています。これらは化石を時代ごとに並べて比較するので、当然と言えば当然の考えです。つまり進化の経路や進化の特徴を法則としたものですから、進化の様式(型)論といえます。

第三の進化論は、エネルギーによるとするもの剰余エネルギー説、いまの生物の発生が古生物の反復だという反復説、これにはネオテニー説なども入るかも知れません、などです。

ここで忘れてならないことは、どの進化の理論もかならず根拠がある、という点

です。間違っていないのです。

以上の分類から、進化の原因(要因)は生物学から、進化の様式(型)は古生物学から、第三の説はより共通の法則からという図式がみえてきます。しかし、これらの説では、進化とは何かで記述した、何故進化が起こるか、さらに重要な万年あるいは億年の超長期に進化がつづく原因は何か、が問題にされていません。これが進化論の盲点です。

この盲点に挑んで、いま生きている生物の現象と古生物とをつなごうとしたものが反復説です。反復説で一番有名なのはヘッケルです。かれは「種の起源」つまり進化の論拠として、発生の過程はだいたい進化過程を反映し、繰り返す現象をしめしたのです。現在の飛躍的にすすんでいる進化生物学とか進化発生学、進化遺伝学も基本的には同様です。しかし、進化(過去)と発生(現在)関係の類似する現象の根拠は明らかになっていません。

これを一步も二歩も進めたのが井尻さんです。井尻さんは、化石の事実を必然性、現在の生物現象に偶然性をみて、「個体発生は系統発生によってあたえられ、系統発生は個体発生を通じて展開する」としました。ストーンと腑に落ちる説明です。進化の現象を哲学的に整理し、必然性と偶然性とわけ、進化と発生と関連させたのです。

ストーンと腑に落ちるのですが、偶然性はいまの生物の変異あるいは多様性で分かるような気がしますが、化石を並べて必然性だといってもしっくりときません。やはり化石の連続の原因をしめす根拠が必要です。それが最初に示した系統発生と個体発生の盲点としたもので、進化が万年や億万年単位でつづく理由です。

#### 4 時間の錯覚と反復説の意味

前節で化石と現在の生物をつなぐ鍵、根拠として反復説が提唱され、その流れで進化生物学とか進化発生学という分野で精力的に数多くの成果があがっていることを記しました。

この状況を作り出したのがグールドの進化論です。彼の断続平衡説は、進化には進む(平衡)ときと停滞するときがあり、全体として進化する、とおおまかに要約できます。つまり進化の周期性と捉えることができるのです。

彼は「断続平衡説」を1977年に提唱しましたが、その後20年も費やして進化論の歴史を分析して自分の説を強化するために「進化論の構造」という大著(邦訳で約2000頁)を書き上げました。彼はそれ以前に、これまた大著の「個体発生と系統発生」(邦訳で約1000頁)を書いています。両書は古生物(化石)と現在の生物の繋がりほどのようなものを進化論の歴史を検討し体発生と系統発生の繋がり愁眉の問題だとして、哲学的考察を加え自説を強化したものです。

断続平衡説はその通りだと考えられます。その根拠のひとつは、人間の一生の周期性という概念で系統発生と対応させた三木さん(三木成夫)の「生命形態学序説」(うぶすな書院、1992)です。周期性は、人間の臓器それぞれが周期性を持ち、個体全体として調和して代謝します。この周期性は細胞にもあります。よくいわれるメラトニンによる概日性は周期性の一つに過ぎません。これらは生物全体が周期性をもって進化をすることを推測させます。これを進化のデータから示したグールドはやはり凄い研究者です。

しかし、結論から言えば、それでも地球上で40億年もの進化が続いた理由は解明されていないのです。まえにこの原因は「不安定」がだと書きましたが、これを井尻さんは「矛盾」といっています。この問題は他には検討されていませんので、あとで触れることにします。

さて過去と現在の問題について、卑近な例をあげれば、チンパンジーの赤ちゃんと人間の赤ちゃんはよく似ているので、日本人ならほぼ共通の先祖から進化したという印象を持つとおもわれます。これは、ヘッケルの反復説の影響なのです。現在でもこの学説は、学会ならず日常生活にまで無意識に浸透しているとみることが出来ます。いかに反復説が凄いか分かります。

しかし、ヘッケルは胚の発生の類似現象を提示しましたが、なぜ系統発生が個

体発生に反映するのかの根拠は解明していません。ですから、発生学者のドベアなどに胚の時期の類似だけでは進化とはいえないというような反論がでるのだと考えられます。

これを解決したのが、前に紹介した、哲学的思考(必然性と偶然性)を進化へ応用した私の師匠の井尻さんです。さらに具体化したのが「体制の原則」です(16節 安定性をもたらす体制の原則)。

体制の原則は、古生物と今生きている生物の共通の法則を歯の研究からみちびきだしたものです。たとえば、多細胞生物の細胞は集合する(群れや塊をなす)、この細胞同士あるいは集合同士、集合と細胞の間に調和関係がうまれる。これが安定化(適応)である、というものです。集合や調和は全ての生物にみとめられますので生物の普遍的法則です。これは物質界の原子と分子、鉱物と岩石と同様の関係とみなしうるもので、いふならば体制の原則は物質界と生物界との共通の法則です。生命は物質界から生じたのでその性質が残っていると考えても良いでしょう。このような法則を「体制の原則」としました。

生物では、体制の原則が多いほど安定的(必然的)であり、少ないほど不安定で変化しやすい(偶然的)ということが出来ます。これはどのような動物も頭部を持つ(必然性)、しかし容貌はそれぞれ異なる(偶然性)と比喩的に表現することも出来ます。

ここで付け加えたいことは、生物界の普遍的現象は原始的だという考えと「体制の原則」は似ていますが違うということです。

## 5 遺伝子神話

まず進化の原因と言えば遺伝子の突然変異です。これが進化の盲点になっているのです。

遺伝子が突然変わることは、ド・フリースのオオマツヨイグサの観察でよく知られているし、転移、転座などの遺伝子の変化も知られています。だから突然変異や中立説が提唱されるのです。

しかし、進化でもっと大切なのはこの変化がどのようにして進化に反映するのか、つまり遺伝による変化が万や億年にわたって長時間維持される機構です。変化が進化へ反映する過程を「変異の定着」(一般的には生物の変化を変異といいます)といいますが、これはほとんど問題にされていない進化の盲点です。

巨大化した恐竜の進化や絶滅の原因の議論はたくさんありますが、進化の原因が維持される問題はまな板の上にもものっていない、といえます。

自然淘汰あるいは種内闘争などによって変異の定着へ到ることも考えられます。しかし、それは思考の上では可能であっても、生物も環境も変化するのに同じ淘汰が万年続いて進化に結びつくと考えるのは時間の錯覚による希望的観測です。変化するのは日常的に実感できますが、万年億年単位の変化は実感することがむずかしく、いきおい期待に頼る、とみられます。

さて、日常生活においてわからないことを遺伝子や DNA のためだ、と説明すると納得する人がおおいことを経験します。たとえば、子育てや空腹、睡眠と本能の遺伝子などは特定されていないのに、遺伝子に刻まれているといわれると疑問に感じないわけです。ところが、生命の物質で一番大切な細胞膜の遺伝子でさえ分かっていないのです。なにかにつけて遺伝子で説得される傾向を「遺伝子神話」と言います。

しかし、遺伝学、分子生物学は著しく発展し、いまや生物の系統樹をつくり進化の速度を推定するまでに到っています。誠に驚嘆する進歩です。そこで、誰でも知っていると思われる遺伝学研究史のポイントを振り返ってみることにします。

遺伝子を立証したのはメンデルです。ついで遺伝子を DNA 鎖として特定したのがワトソンとクリックの論文です。さらに進化にかかわらない遺伝子の変化もあるという中立説を提唱したのが木村です。中立説は遺伝子も常に変化(変異)することを集団遺伝学で立証した点にその意味があります。

さて進化ですが、遺伝子が変わると形が変わることが確かにあります(人間では遺伝病ともいう)。問題はこれが化石で立証されている様々な進化に結びつくことが可能かという点です。たとえばゾウの鼻が長くなる進化(定向進化)はどのような遺伝子なのでしょう？ここに変異が長期的に維持され進化に結びつくという「変異の定着」の壁が横たわっています。

この変異ですが、いまや生物の遺伝子を含むすべての代謝過程に変異があり、細胞相互や遺伝子ともつねに影響し合っていることが明らかになっています。その一端が近年めざましく発展している遺伝子修飾(エピゲネシス)です。これは遺伝子以外の要因が遺伝子へ影響して、遺伝に作用する原因になることです。例えば植物の生長周期は遺伝子以外の作用にあることも報告されています(Nature, 626, 611-616, 2024)。つまり、変異や遺伝が遺伝子以外の要因もあるこということをしめしています。

振り返って、人間の遺伝子のDNA鎖は約1.6メートルと推定されていますが、これが直径 $1\mu\text{m}$ ( $1\mu\text{m}$ は1000分の1mm)の核に封じ込められ、折れ曲がりつづいています(三次元構造といいますが、折れ曲がり方は分かっていません)。遺伝の因子はそのあちこちに分散していて、必要なときに働くと考えられています。この大量のDNA鎖には自然から受け継いださまざまな形質が封じ込められていて、複雑に組み合わせれば無限とも言える遺伝子となるため、そこから進化を推定できると考えるのはしごく普通の考えです。しかし、推定した変化がたとえ一時的に環境と適応するとしても、環境も変化するため、万年いや億万年変化が維持される保証はありません。

いっぽう、遺伝子治療やミトコンドリアDNAを用いた系統の推定、DNA判定をして男女の判別など様々な遺伝子が用いられています。そこで立ち止まって考えて欲しいことは、必ず危険率があること、つまり完全ではないことです。

生物は、基本的に集団で生活します。この集団での行動は個々の行動とはしばしば異なることが確認されています。これは集団遺伝学にもあるとおりで、生物の集団(階層)では働く法則が異なることをしめしています。これは我々の社会では集団心理としてよく知られているとおりです。また民族の特徴などもこれに当たります。これ以外にも子孫の保護や摂食の好みなども遺伝するのですが、遺伝子は特定されていません。

これらは、生物の様々な集団(目や科や属などの階層のこと)でも記憶があることを示しています。そして、遺伝子としては特定できにくい複雑な構成をもつ遺伝であって、遺伝子以外の要素(エピゲネシス)も含まれることをしめしています。

このようなことから、生物の進化に対する遺伝は、遺伝子や DNA で議論を終わらせるのではなく、階層性や化石との対応をもとにして時間の錯覚を乗り越える姿勢が大切です。

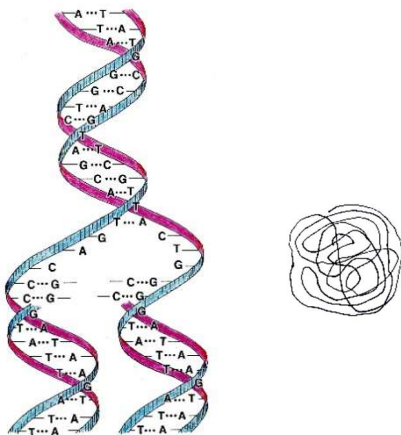


図 DNA 鎖と核の中の DNA の想像図。



## 6 生命(生物)とは何かの盲点 古生物学的細胞観

生物の進化には、生物(生命)とは何か、生物の定義が大前提です。いま盛んに、宇宙への探索がすすみ地球外生命のニュースが流れています。はたして地球外に生物はいるのでしょうか？ なにをもって生命＝生物というのでしょうか？ 生命＝生物とは何かははっきりさせておく必要があります。

かつてエンゲルは「生命はタンパク質の存在様式である」(自然弁証法)と記述し、この生命の定義に学生時代には感心し夢中になったものです。いまでも脈々とこの流れはつづき、生命の起源としてタンパク質の痕跡の存在が大きく報道されます。これは生命の基本物質の解明としてとても大切であることはいうまでもありません。しかし、これは生命なののでしょうか？

教科書では、生命とは、細胞が分裂し、増殖し、代謝を行うなどがあげられています。生命はやはり細胞が基本なのです。なにしろ細胞を持たない生物はいません。地球上には生物と無生物の中間といわれるウイルスもありますが、コロナウイルスの写真でわかるように細胞に似た構造です。

では、細胞とはどのようなものでしょう。細胞はいろいろな構造からできていますが、すべて細胞膜を持っていることが特徴であり、ここに秘密があります。

この秘密は、細胞膜は細胞と外界との境界となっていること、細胞膜がなければ細胞が形をなさないことです。我々の体でいえば、体の表面(内面も)をおおう上皮のことです。上皮がなければ体は個体となりません。ですから生物の進化では細胞膜は欠かす事ができない重要なもので、かつて旧ソ連のオパーリンという研究者が実験でコアセルベートという疑似細胞を作ってみせ、世界中を興奮に巻き込んだことがあります。生命の起源は、細胞膜を最大のテーマの一つとして探索するべきでしょう。

ところが、全ての生物、我々の体の隅々まで構成している細胞膜の遺伝子や形成分化がよく分かっていないことは前に触れたとおりです。やっと細胞内の不要物を処理するアウトファゴゾーム(自己消化胞)の膜遺伝子が特定された、という論文が出たところです。実は細胞内にはミトコンドリアをはじめいろいろな構造(細胞小器官)がありますが、それらは全て同じ細胞膜を持ち、細胞小器官は膜系とも呼ばれています。細胞膜はすべて同じ構造なのです。いかに生命には細胞膜が重要かわかります。

今日では、遺伝学や分子生物学を駆使して、進化を解明する研究がもの凄い勢いで進んでいます。細胞膜がどのように遺伝するのか解明していません。生物の進化の盲点といえます。

細胞膜の重要な秘密は、リン脂質の2層の膜、という点です。リン脂質の疎水部を内側に、親水部を外にして向かい合った二重膜の構造をとる、ことが分かっています。この膜はタンパク質と接すると包み込む性質があるので、水の中にアミノ酸が合成されタンパク質となるとこれを包み込み、細胞へと進化することは十分に考えられます。

ところで。最古の生命体としてはバクテリアなどが報告されていますが、直接化石として細胞膜が確認される最古の生命体は先カンブリア紀の細胞が連続している藍藻でしょう。

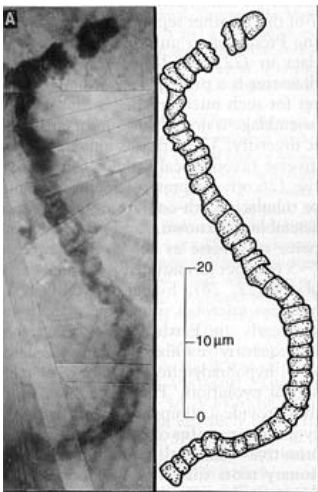


図 藍藻の化石 (J. ウィリアム ショップ、1998、失われた化石記録、講談社現代新書、342 頁)。

藍藻の化石からは、接着する部分の細胞膜が接着するように変化して、一方へ成長することが読み取れます。そこから、当然ながら多細胞生物への進化は細胞膜の変化が基本にあることも理解できます。このような細胞膜を通して細胞外物質とやりとり(膜移動あるいは運搬)していたのです。

ちょっと余談ですが、この細胞膜を通過する移動は百万通り以上あることが推定されています。細胞膜は変幻自在なのです。細胞の外は膜の表面に糖分(糖鎖あるいは糖衣)が付着していて細胞の性質の特徴をあらわす原因となること、細胞内も同じような構造で物質移動あることが分かっています。ですから細胞は裸ではありません。

なぜ細胞膜は細胞の境界となり、物質移動をして、細胞の代謝を成り立たせることができるのでしょうか。その最大の秘密は、リン脂質の膜の対称性にあります。細胞内外に向かって対称的なのです。このような対称性は体全体にあって体が安定的に働く作用をします。細胞膜はこの安定性をもとに細胞内外ともに対処することができるのです。

これが生命(生物)の基本形態であり、生命(生物)は細胞によって形成されているのです。

先に記したアミノ酸や炭水化物の発見は、生命の起源の研究に重要であることは変わりありません。これは生物つまり細胞が出現する前の時代のことで化学進化の時代といわれています。化学進化の時代にはさまざまな有機物質や細胞膜が出現したと考えられます。よく水に浮いている膜です、リン脂質もそれ以外のさまざまな膜も当然あったことでしょう。このような膜化石の報告はありません、また見つけるのも大変なことでしょうが、見方を変えればみつかるかもしれません。最古の化石をまとめた文献をここにあげておきますので調べてください(Schoph, J.W.: Fossil evidence om Archaean life, Phil. Trans.R.soc.B, 361, 869-885, 2006)。

生命(生物)の起源は、たまたまリン脂質の膜ができ、二重の膜へと進化して細胞が出現し、より安定な代謝へと進化した、と考えるのが自然の流れのようです。藍藻の化石はこのような進化経路を示していると推定できます。このように化石資料から生命を考えるのが「古生物学的細胞観」です。

## 7 生物進化の方向の盲点 変異と放散と多様性

生物進化の最大の盲点、それは生物の進化であり安定化することだと書きました。ここでは安定性を、もっと具体的にどのような現象でどのように定義されるのか、みていきます。これには、進化論の盲点で検討したように、さまざまな進化論を区分すると分かりやすいでしょう。

まず、なんと言っても進化は古生物学で実証されます。そこから進化の経路、進化の様式は大型化や平衡進化、定向進化、想像に絶する特殊化、あるいはほとんど変化のない種など、実に様々であることがわかります。そして化石がある地層で途絶えると絶滅ということになります。

これにたいして現在の生物(学)は、進化の結果としての地球上の現象です。現在の地球上の生物は、地球上の表面のほぼ全てに分布するといっても差し支えないものです。地上1-2万メートル、地中数千メートル、海中6ないし8千メートル、約、80度の高熱環境から零下数十度の世界までの環境にいちおう適応して生活しています。これが生物の生活圏であり多様性です。

これらの多様化した生物は、進化の結果として、それぞれの環境に一応適応している、つまり安定状態だといえます。ただし個体も種も全体としても変異があるため、一応の適応と表現したわけです。不安定を含んだ安定なのです。ということで生物の進化の結果は、化石と今生きている生物で示されることになります。化石は進化経路を示すと書きましたが、ここでは化石が生きていた時点までの進化です。

ここから生物の進化は、化石あるいは現在の生物までの歴史、と定義することができます。この進化では、地球上の生物の分布にみられるように非常に多様になってきていることです。この多様になることを放散性あるいは拡散性といい、生物の進化の特徴の一つです。

ここには変化(変異)すること、つまり進化が多様性の原因であることも示されています。よく自然は多様だから・・・という議論を耳にします。しかし、生物が変わるように自然も変わります。自然が多様性の原因ではなく、自然と生物に共通の多様性の原因(根拠)は変化です。生物における多様性の原因は進化することにあるわけです。

この多様性のもう一つの側面は、生物の遺伝を含むあらゆる代謝には変異が

あることです。この変異こそ不安定を示すもので、代謝に於けるたった一つの酵素の変異でも死に到る可能性もあるのです。変異は進化に結びつくことも、絶滅に結びつくこともあります。そして生物の多様性の原因なのです。ただし、わずかな変異は確認することが非常に困難です。これを念頭に置かなければ進化は理解できません。進化に結びつく、長期的に維持可能な変異は、適応的であり安定的な状態なのです。

## 8 種の盲点

生物の進化に不可欠の適応を取り上げるまえに、生物の進化(変化)の実体、単位ともいわれる「種」を検討します。

ダーウィンの「種の起源」にあるように、生物の進化でいつも問題になるのは「種」なのです。井尻さんは、「生物の進化を実現する主体(自立体)は、生物の個体ではなく種である」とし、個体を「個体はあくまで一物(一つのもの)として、生物の存在(生命)を維持する単位であって、いわば生物における定有といった存在である」としています(井尻 1983)。難しい表現ですが、生物分類の種の単位で進化するのだとということです。

もうすこしみてみると、進化の要因である変異について「変異は、生物体の(否、生物界の)あらゆる次元(階層)で起こる。例えば個体・器官・細胞・染色体・遺伝子とうとうである。」(井尻 2001)ともいっています。ここでいう次元は、系統分類の界、門、綱、目、科、属、種などで、一般的には生物の階層といえます。このどの階層でも進化する、ということにとれます。

ちなみに解剖学では個体の階層として、個体—器官系—器官—組織—細胞とわけ、細胞より細かく細胞小器官—分子—原子と分けています。この分け方は専門領域でちがいますが、階層によって法則がことなるのです。これは体制の原則で説明を加えます。

井尻さんは、新種の出現については「新しく繁栄にむかう変異は、外因または内因によってその変異性が生殖機能までおよび、もとの種や他の変種とのあいだの生殖機能を失うと、もとの種および他の変種とは区別隔絶された種、すなわち新種となる」としています(井尻 1983)。(一般的に内因と外因は階層によってわかりやすさがちがいが、個体の階層だと見分けやすく考えやすいのですが、組織、細胞の階層では明確に区別できないことが多くなります)。

つまり、生物の全階層に変異が生じるが生物進化は「種」が単位で、それは生殖集団であり隔絶されているからである、と理解できます。いっぽうでは井尻さんは、種と種は移行的である、境界が不明瞭で異種交配もあるとしています。ひとつひとつは妥当だと考えられるのですが、全体としてどのように理解すべきか迷ってしまいます。

実際には、種間交配などが頻繁に報告されています。たとえば、人為的には

近縁種の交配として有名な例が、ラバ(ウマとロバ)であり、ライガー(ライオンとトラ)で、異種交配の可能性をしめしています。自然状態でも、海棲、陸生の生物でも、鳥などでも、いくつかの例が報告されています。そのひとつが鳥のムネアカイカルとアカフウキンチョウの交配をしめす形態と DNA の報告で、この鳥は 1000 万年以上前に分岐したとされている鳥です。また、ナツゲはイッカクとペルーガの異種間交配といわれています(Nitonal Geographic ニュース 2022)。近年では、ネアンデルタールとデニソワ人の混血の可能性もあるとされています(Viviane et.al. 2018)。

これらは、異種間の交雑があること、それが新種に進化する可能性を示しています。種は生殖集団ですが決して隔絶されたものではありません。生殖集団はおおまかな種の定義なのです。ですから井尻さんも種は移行的だといっています。では、実際に種はどのようにしてきめられるのでしょうか？

古生物学では、ある地域の地層の一つの化石で種や属を代表させることがあり、一つの化石で一属一種を構成することもあります。むろんこの前提には、化石の成立過程が検討され、同じ生物が存在した様々な可能性を推定しています。これを化石化(タフォミー)といい、化石の成立過程を明らかにしする専門領域です。

一方、生物学では生息域あるいは、形態、生理、DNA などによって種を区別するのです。そして逆に、形(主に骨などの化石に残りやすい異物)の共通性から、古生物にも同じような生理や、DNA などがあったと推理します。著者の歯の仕事からは、歯の特徴が目や代表する形質であることも、属のことも、科や種のこともあります。ここから動物の種類によって進化の特徴をしめす階層が異なるのではないかと、との感想を持っています。

つまり、古生物学的種と生物学的な種は、実際は違う面がある、と言うことです。ではどうして進化の議論には種がでてくるのでしょうか。古生物学でも生物学でも捉えやすい集合あるいは集団を種としているからなのです。

進化では特定の特徴を同じ階層で議論しますが、古生物学と生物学それぞれ暗黙内に階層の違いを分かって議論している、ということです。ここから引き出される教訓は、例えば生物の分類においても自然に近い自然分類といいつつ、人間が分類する限り分類する側の主観が入り、人為分類である面が強いと

ということです。種はこのような性質をもつものなのです。

これを反省すると、私たちが身近(我々の階層)で捉えやすい、把握しやすい群れあるいは集合体を「種」としている、と結論できます。

たしかにいろいろ種を決めるための研究や生殖集団の面もありそれらは重要ですが、「進化は全階層で生じるが、把握しやすいのが種である」といえば、より理解しやすいのではないのでしょうか。

蛇足ですが、種と同じような問題は個体についてもいえます。例えば、世界最大(東京ドームの600-700倍)といわれているオニナラタケは、キノコ(子実体)は普通のキノコと同じ大きさですが、菌糸体が地中で広がり、キノコの部分が同じDNAであるため一個体とされているのです。これと同じ例は海藻などにもみられます。これらは、将来、個体をどうきめるのかの問題に発展する可能性があるかもしれません。



## 9 適応の盲点

生物の進化で必ず問題になるのは、適応と獲得形質です。ある生物が環境に適応して、適応した形質を獲得し、進化する、というような説明です。これはストンと腑に落ちる説明であって問題はありません。しかし、適応とは何のことでしょうか、環境からある形質を獲得するとはどのような現象なのでしょう、と考えるとたんに曖昧になってしまいます。これが盲点です。

適応は、環境と生物がちょうど双方に都合の良い状態であること、つまり安定的な関係と理解できます。安定的といえば、一般に一定の状態を維持するものですから変化が起こらない、起きにくい状態ととれます。しかし、生物は代謝の全てに変異があり、常に変化し多様性が生じるのです。ということは、一定の変化を含む状態が維持されることが適応ということになります。

これを、現在生きている生物現象から具体的に安定性をみると、環境との物質のやりとり(交換)において相互に極端な異常がでない関係です。細胞ですと、膜電位とか、モル濃度、人体だと血球の数、血圧、呼吸数など、種のレベルでは種内、種間の関係です。ある程度の種内闘争とか種間闘争はつねにありますが、全体として相互関係が変わらない、変わりにくいのが安定的状態です。

つまり、適応状態とは、生物の全ての階層において、変異はあるが全体としてみれば安定的な関係の状態です。だから種のレベルも維持されるのです。

では各階層内ではどうでしょう。これも同じで、細胞相互、組織相互、器官相互、器官相互に刺激や物質のやりとりはありますが、それが一定の状態で維持されることが、安定であり、適応の側面を構成しています。

ここで大切なことは、一個体が正常の範囲で維持されるためには、細胞から器官系まで全体の関係が安定的であることです。つまり各階層内とともに階層間の関係も安定であることです。

これが生物全体の状態にまで及ぶ理想的な安定状態であり、適応です。しかし現実には、一部の器官や組織、あるいは細胞が異常になることもしばしばあり、それでも体全体は安定的な状態をしめしていることは普通です。これは階層間あるいは階層内において異常を補う相補性、ないし調整、調和によるものです。

以上をまとめると、適応を理解するには、階層を意識することが大切でどの階層での、あるいは階層間での安定性かという分析が必要なのです。

もうひとつ踏み込むと、安定性とは釣り合いがとれることで、つりあいを対称性といえます。安定性は対称性によって保証されるのです。

## 10 獲得形質の盲点

生物の進化では、新しい器官つまり、シカの角やゾウの鼻などの新しい形質ができます。この原因を環境の影響でできたと考えるのが獲得形質です。これに対し、変異が一方向へ向かう積み重ねでできたとするのが変異説です。現在は小さな変異が環境との相互関係で一方向へ進んだ、とする考えが多いようです。

井尻さんは、獲得形質を「獲得性遺伝は、生物の個体および種(属または群衆でもよい)において、環境の変化で獲得した形質がその生物の遺伝形質になること」といい、酸素呼吸の獲得、水中から陸上性への進化、変温から高温動物、環境に応じた動物の進化などをあげています。いずれも長時間的な歴史の中で、環境の変化が生物へ影響した結果であることを否定できません。しかし、環境の変化に適応した変異が進化の要因となったという推定も成り立ちます。

では、獲得形質は否定されたかという点とそうではありません。我々の遺伝子を考えると、DNA 鎖は約 1.6mあり、僅かに直径 1  $\mu$  m の核の中に封じ込められています(遺伝子神話を参照)。これを他の原始的といわれる生物と比較すると圧倒的に長いのです。ということは、DNA 鎖は進化において少しずつ増えた(取り込まれた)と考えるのがスムーズです。問題はどのような機構で増えたか、DNA は自分で変異して増える性質があるのか、はたまた他の DNA をとりこむのか、です。どちらも可能です。

ところで現在の生物学では、変異は全ての階層、すべての代謝過程に起こることが分かっています。その原因は様々ですが、ある一つの酵素の変異でも死に到る可能性があり、反対に変異があっても相補性によって異常とならないこともあります。さらに、DNA の変異は、外からの影響でおこることも分かっています。しかし、細胞や核への影響は、個体としてみた場合、環境の影響か、あるいは他の組織や器官の変異の影響かははっきりとしません。それが分かるのは極端な環境からの影響の時だけ、たとえば細菌性の病気、火傷や打撲などです。

つまり、代謝は常に変異があること、それは常に DNA へ影響をあたえているのです。

一方、獲得形質は進化の上での現象であり、万年億年の長期の問題です。これには DNA の変化を長期に維持する機構、ある方向へ進化する要因などの分析が必要です。現在の生物によると、最初に書いたように、環境からの影響は間

違いなくあり、変異もまたあり、相補性もあることが分かりますが、それらを長期的に維持する問題は解決されていないのです。

つまり、変異と獲得形質の問題は、遺伝的要素が変化することと、それが長期に維持される機構の問題の違い、現在生きている生物と古生物の時間のちがいの問題なのです。時間の違いは、進化とはなにかで書いたように法則の違いをしめします。ここでは、この壁を乗り越えるのは「体制の原則」だということだけ指摘しておきます(16節 安定性をもたらす体制の原則を参照)。

## 第二章 生命の原則(体制の原則)

### 11 生物界の階層と法則、相補性と調整

生物には、いや自然界には、階層があり教科書は階層ごとに記述されているのですが、その意味はほとんど書かれていません。これが盲点です。

生物の分類は、生物界、植物と動物の門、これに相当するバクテリアあるいはウイルスの門、門を綱、綱を目、目を科、科を属、属を種に区分しています。これを階層といいます。研究を進めるとこの分類では不十分となり、亜や上、下などをこれに付けて分類します。たとえば亜目、上目、下目などです。

この分類の方法は、前に書いたように古生物学では主に化石、それも化石として残りやすい、植物の樹皮、動物なら歯や骨の形、発見された地層と地域などによって分類されます。これにたいして生物学では、生息地域や生活様式つまり生態学、代謝の様式、遺伝子(DNA 鑑定など)、毛並などの解剖学や生理学、遺伝学的特徴なども動員して分類されます。

両者の共通の基準をもとに、現在生きている生物に当てはめて、できるだけ自然界にできるだけ近い分類を自然分類といいます。これにたいして、特定の目的に沿った分類は人為分類として区別されます。

しかし、研究は人間の行うものですから、決めるにはかならず意思がはいります。ですから自然分類と称しても完全な自然の状態ではなく、人為性が入っていること、それゆえ研究の進展によって変わることがあるのです。たとえばツパイという霊長類にも、食虫類にも似ている動物がありますが、その分類の位置は、ときに食虫類、または霊長類にと入れ替わってきた歴史があります。これは遺伝子による分類が発達した現在でも変わりません。完全はあり得ないのです。

生物の階層に戻ります、この階層は生物界より大きい世界、地球、太陽系、星雲、宇宙という階層になり、また種より小さい個体、器官系、器官、組織、細胞、細胞内の小器官(膜系)、タンパク質などの分子、原子等々につながります。個体の階層は一般的に使われている人体解剖学のもので、しかし、医学領域でも手術や治療に適した区分として専門によってべつの区分を使うことがしばしばあります。つまり階層があることは事実なのですが、目的によっても変わる、つまり人為的な性質の強い区分なのです。

つぎに階層性の意味を考えてみます。「死の判定基準」はどうか、よく新聞などの記事にのります。呼吸が止まった、心臓が停止した、瞳孔が開いたなどなどのどの特徴が「死」を意味するのか、裁判にまで発展することがあります。脳死といっても個体は生きているのです。あるいは亡くなって方の一部(腎臓や目など)を移植する医療などがあります。これは個体と器官の生きている作用、つまり代謝の法則が違うことを示しています。

個体の問題だけではありません、集団心理などや集団遺伝学の問題でおなじです。これは人間だけの問題ではなく、バクテリアでは集団になると個性をすてるという報告もあります(Hammerschmidt et al.:Nature, 515, 75-79.)。つまり、階層によって法則が異なる、という関係は生物全体の共通の法則なのです。

各階層にはそれぞれの法則がありますが、階層間、あるいは階層内の調整作用の一つに「相補性」があります。ある機能が故障しても他の機能で補うという機能です。その簡単な例が、別々の動きで一つの目的をたつする左右の手の動きです。対立遺伝子は劣性遺伝子を補います。生物は進化に沿って集団が多様となりますが、生物の集団が多様になると相補性を持つことが報告されています(Nature,515,44-45,2014)。

個体では、器官系、器官や組織の間あるいは中の、相互調整や調和というバランスをとる作用をする「調整系(自律神経、ホルモンなど)」があり、相補う働きをする「相補性」による作用があります。これは生物の特徴であり、階層による法則の違い、階層間および階層内の相補性と調整系があるのです。

視点を変え比喩的に言えば、人間の社会の「きまり」やは「法律」も、個人と社会の調整ならびに相補であり、同じであると言えるでしょう。

## 12 定向進化と特殊化、嗜好性

定向進化は古生物学的な事実による法則です。たとえば、馬の足の指が減少する傾向、あるいはゾウの鼻が長くなって現在の形になるなどの現象です。つまり一度獲得した進化の方向はつづくという進化の説です。しかし、環境との関係に関わりなく一方向へ進化することもあり、反対論も少なくありません。しかし、現実的にはゾウの鼻やキリンの首など徐々に進化したことが化石でわかります。

もう一つの見方は、ここであげた例は特殊化であるというものです。必要以上に進化が進んだ現象という捉え方です。このように特殊化という用語には否定的な意味を含みます。井尻さんは、適応は特殊化である、と言いひろい意味でつかっています。実際、ゾウは牙の長さで困っていないようにみえるし、キリンの長い首は高い木の葉を食べるのに適しています。いちおう適応し、安定しているとして差し支えありません。問題はどのようにして定向進化や特殊化が生じるのか、その形成機構と、何万、何億年維持する機構の問題です。

特殊化や定向進化を、生物の階層からみると、各階層で認められます。たとえば恐竜などの大型化は、恐竜全体の傾向で生物の階層としては目以上の現象です。キリンの首、ゾウの牙や鼻、アンモナイトの隔壁などは、目かあるいはそれ以下、器官の現象です。勿論、これらの階層の決め方は恐竜とゾウなどでは必ずしも同じとはいえませんが、だいたいこのように捉えて差し支えないでしょう。

つまり、各階層に特殊化は生ずるし、それは定向進化によるものです。特殊化の過度の状態を過進化ということがありますが、それでも化石は残るし、今生きている生物でもそのようにみることが出来るものもあります。ということは、これらは安定して状態であり、過進化とか不利だというのは人間側からの見方と判断なのです。やはり問題は、特殊化、定向進化が決まる機構とそれを維持する機構ですが、これは残念ながら現代の遺伝学では手に負えません。

井尻さんは、定向進化は特殊化の一つとしましたが、その原因として環境と生物の関係、生物体の様々な要因を検討し、「そうなる傾向」つまり「指向性」(弁証法をどう学ぶか、大月書店、1991)をあげています。しかし時代の制約もあるためか、環境も変わるなかで一定の方向を維持する要因については今一つはつきりしません。

この要因は「嗜好性」(指向性でもよいのですが、より選択の範囲が自由という

いみを含ませました)です。嗜好性という科学的根拠がないと反対があります。しかし、好み(嗜好性)を分析すると、生物の固有の性質(個性)におおもとがあり、個体でも、種の単位でも、目の単位でも嗜好性があることがわかります。

ゾウの牙が巨大になる傾向は長鼻目全体の嗜好性です。種より細かい階層の鳥の集団飛翔の群れによる違い、あるいはバクテリアの集団発生や消滅、たとえばキツネが富士山の頂上まで登るなど個体の単独行動など、あるいは味の嗜好など身近な問題でも嗜好性があることが理解できます。つまり、固有な性質(個性)から嗜好性が生まれるのです。

嗜好性は原子にもあるという論文がでました(Nature:608,477,2022)。つまり、物質界とも共通の法則です。また、生物においても個性の根源が、脳の機能の一部にあるという報告もあり、個性や嗜好性の研究は今後発展が期待されます。ということで嗜好性は体制の原則の一つです(16節参照)。

嗜好性の問題を整理すると、生物の各階層における、「固有性(個性) → 嗜好性(指向性) → 記憶 → 定向進化 → 特殊化」となります。

ここで付け加えるべき点は、安定であることは対称となる現象が必ずあることです。器官の階層で、ゾウの牙を例にとると、巨大化とその歯冠の構造の単純化、象牙質の構造の複雑化には、臼歯の巨大化とエナメル質の複雑化、象牙質の単純化、個体では大型化などの対称性があげられます。対称は釣り合いのとれる構造や機能のことで、1対1だけではなく、1対多のことも、多対多のこともあります。このような安定要因としての体の対称性は第三部体の盲点で触れます。



### 13 絶滅の盲点 時間の錯覚、周期性

恐竜の絶滅は非常にセンセーショナルな問題です。なぜ突然絶滅したのか？この突然が盲点なのです。

恐竜の絶滅の突然は、化石が産出される地層の問題なのです。同じ地層は地球上全体を覆うことはなく、カンブリア紀といってもある地方の地層の名前なのです。そこで時代や時間を計る基準はいろいろ考えられていて、同じ種類の化石は同じ時代に生きていたとして、古生物学的に地層の時間をはかる化石時計もあります。ですから爬虫類化石の地層名や哺乳類の化石の地層の名前がつけられることもあります。これとは別に絶対年代といって同位体などで年代を調べることも行われています。たしかに精密さは増していますがそれでも絶対ではありません。すべての時代をはかる方法がないのです。

恐竜の絶滅は中生代の末に生じました。恐竜の発見される地層の上には発見されない地層があり、恐竜に関しては、地層上では不連続なのです。それゆえ、この不連続の理由が、星が地球に衝突したためだ、という考えが主流となっています。しかし、この不連続の時期、つまり絶滅と言われる期間を他の地層との比較や絶対年代などによる数値で推定すると百万年以上の単位なのです。ですから星が衝突して環境が変わり、それに適応できない恐竜が絶滅したというように修正が加えられているのです。つまり絶滅の理由が恐竜側にあることになります。

この問題は、古生物学的な、つまり地層による突然と、私たちが日常生活で感じている突然とのギャップ、つまり時間の錯覚です。私たちは、身近な現象で考えるため、突然と言うと昨日か今日の変化と考えてしまいます。そのうえ、何万年や何億年と数値化すると分かったような錯覚におちいります。それが遺伝子の突然変異説です。遺伝子が変わると形質も変わることがあるのは確かですが、進化にいたるには、変わった遺伝子が万年億年の年代維持されるという保証が必要です。突然変異説には維持継続の考えはどれも意識外のようです。時間がわかったようで実感されていないという「錯覚」です。

進化は維持継続の問題です。井尻さんは、生物の進化は、生成、発展(変化)、繁栄、絶滅の4段階で進むとしています。用語は違いますがほかの研究者も同じように考えています。いっぽう、グールドは断続平衡説において生物の進

化は停滞と均衡を繰り返すといえます。三木さんは、ヒトの生涯を、発生、成長、成熟、死の波＝周期と捉え、次の世代に引き継がれ、系統発生の周期性につながる、としています(三木成夫:生命形態学序説、うぶすな書院、1997)。

器官レベルでも体の器官ごとに老化速度が違う、つまり周期性がことなる報告もあります。そして歯の形態発生に関与する細胞は、発生、分化、機能、退縮あるいは停止の時期に分けられています。この機能期にも周期性があり、成長線が刻印されます。さらに歯を作る細胞の DNA の発現に周期性があることも証明されています。DNA 以外の周期性に関与する要因として、植物の根の生長周期に遺伝子以外の記憶による(遺伝子修飾)ことが報告されました。

生物以外に目を転じると、地球と月、太陽系、星雲にもそれぞれ特徴的な周期があります。

ここから言えることは周期性が普遍的にある、つまり体制の原則の一つだと言うことです(16 節参照)。そして生物の周期性についていえることは、第一に、周期性は多様で、記憶の因子は DNA 以外にもあることを示唆しています。第二に、グールドは生物全体の周期性を、井尻さんはある種類の、三木さんは個体の周期性をいい、細胞などもすべて周期性があります。つまり、すべての階層、すべての階層の構成要素にそれぞれの周期性があることを示しています。第三に、進化的にみると生物の階層は時間差の変化をも示しているので、周期性の違いは法則の違いを示唆していることです。

このような視点、つまり周期性から恐竜の絶滅を展望すると、地球の環境が変わるなかで適応できなかったこと、環境変化の原因は星の衝突にある、このようなことはあったでしょう。しかし、絶滅にも百万年単位がかかっています。それゆえ最大の絶滅の原因は、恐竜の進化の周期性の最終段階であったことが大きいと考えられます。

地質時間の感覚、地球の 40 億年の歴史からすれば 100 万年はホンの一瞬で突然の範囲なのです。他方で現生の生物学の視点から見れば 100 万年は途方もなく長い期間であり、新しい種が出現する可能性があるのです。

以上が時間の錯覚と周期性です。錯覚の上に立つ議論は科学ではありません。

#### 14 生物(生命)の特徴の盲点 変異と適応

生命＝生物とは何かについてまとめておきます。生命とは何かをはっきりと定義して書かれた中学や高校教科書はすくないようですが、だいたい次の3点を読み取ることができます。第一に細胞が基本単位であること、第二に自己複製をすること、第三にエネルギーの代謝をする、です。その上で、細胞、代謝や生殖、遺伝、発生、環境との反応、生態系、進化を詳しく説明しています。

ここで気になるのは、生命とは何かという基本的な定義がないことです。その答えは、6 生命＝生物とは何かで示したように、生命体とは細胞膜をもつ細胞構造です。生命の基本は細胞膜の対称性です。これは現在の生物だけではなく化石の特徴からも導かなければなりません。これが生命＝生物の盲点です。以下に、生命の特徴の盲点をあげてみます。

第一には拡散性あるいは拡大性の問題です。これは化石と現在の生物の分布と多様性からわかります。この拡散性は、物質界と共通の原則である変化に由来し、生物では変異といわれています。

変異を進化の視点からみると、拡散だけではなく、変化が少ない平行性(例えばシャミセンガイはほとんど形態も生息域も変化していない)、退縮(人間の影響を含めて生息域が減少している種)に大きく分けられます。そしてまえに示したように、代謝や遺伝も大切ですが教科書には正常例のみです。それはそれで非常に重要ですが、いっぽうで無数の変異があることは書かれていません。変異は多様性の原因であり根拠なのです。これも盲点です。

第二に、遺伝に関しては、遺伝要因は DNA が最も重要ですが、DNA のみではなく、遺伝子以外の要因があることや、遺伝現象は階層全体にあることを忘れてはなりません。そして発生では、まず系統発生との関連性つまり反復説が検討されなければならないのです。なぜならばこれは再生医療に関連するもので、臓器移植における移植先と臓器の親和性の根拠は系統発生(歴史性)に求められるのです。井尻さんはこれを必然性といっています。

第三に、環境との関係は、まだまだ未解明の事項が沢山ありますが、多様性や生命への影響、調和と整合など、過去(化石)から現在の姿をとおして将来をみとおすことが必要です。その意味でも化石が重要性です。

第四に、生物の多様性、たとえば体の対称性について、体制として一軸対称

から、鏡面对称、多軸対称などが教科書に列記されていますが、これは我々の体にも認められ安定性にかかわる重要な役割を果たしていることは書かれていません。これが盲点です。生物を含む世界は関連している、と言っても過言ではありません。

第五に、生物のすべての階層間、階層内、そして環境(物質界)と調和し相補して生物が存在していること、これこそ安定的要因の最も大切なもので、適応することなのです。

まだまだ問題点は山積していますが、これらの生物に特徴的で大切な要因を分析すると、基本的には生物全体あるいは物質界と共通の法則であることがわかります。それが 16 節に紹介する「体制の原則」です。

## 15 化石からみた生命の特徴 進化の法則

生命の起源について藍藻の化石から、細胞が二層性の膜であり、膜の特殊化によって多細胞生物が進化する可能性を読み取れることはすでにみえています(7節 生命とは何か)。ここでは、ペトロニイヴィクス Petronievics, B のまとめた進化の二十四法則(新版 科学論(下)51-62 頁、井尻正二、大月書店、1977 年)を挙げておきます。これは主に古生物学的な進化の法則と捉えてよいでしょう。

### 1) 放散の法則

生命の進化の基本(生物全体の原則)です

### 2) 特殊化漸増、あるいは指向性特殊化の法則

同一の方向に特殊化する。

### 3) 特殊化交替の法則

もし一系統樹の特殊化があまり進みすぎていなければ、新しい部分が一つの新しい方向に特殊化する

### 4) 特殊化追増の法則

一系統樹の特殊化があまり進みすぎていなければ、同じ部分があらたに同一方向に特殊化することができる。

### 5) 非特殊化の法則

生物の上級の群(種属・類)はつねに下級の群の特殊化していない亜群から生じる。

### 6) 躯体大化の法則

一系統樹の諸種は、進化にともなって漸次体躯がおおきくなる。単細胞生物から多細胞生物への進化はこれが原則となっています。

### 7) 収斂の法則

種々異なった群に属している系統樹の枝は、しばしば同一の方向に特殊化する。

### 8) 平行の法則

同一群に属する系統樹の枝は、しばしば同一の方向に特殊化する。

### 9) 単系統進化の法則

一つの生物群は、つねに一つの単独の起源をもつ。

### 10) 多系統進化の法則

一つの生物群は二重の、あるいは多様な起源をもつことがある。

11) 移動の法則

一生物群の進化は、ほとんど、けっして地球上の同一地点でおこなわれな  
いで、時にひじょうに遠くへだたった地点でおこなわれる。

12) 変異漸減の法則

一系統樹の特殊化が増大するにしたがって、その変異の数と範囲が減少す  
る。

13) 進化限局の法則

特殊化しすぎた生物の型(種類)は、その子孫をのこさずに滅びる。

14) 進化無限局の法則

種は無限に変異し、つねに新しい種に変遷することができる。

15) 系統進化の速度不同の法則

異なる系統樹の枝の進化の速度は一様ではない。

16) 時代(段階)の法則

生物の各群は、その進化にあたり、幼年期、壮年期および老年期をへて、  
ついに絶滅する。

17) 痕跡器官消失の法則

痕跡的となった機能を営まない諸器官は、一生物群の進化にあたってぜん  
じ減少し、ついに完全に消失する。

18) 相関進化の法則

生物の諸群の進化は、その過程で相関の法則に従う。すなわち、進化する  
一生物の全器官(および器官の諸部分)は同時に比例的に変化する。

19) 非相関進化の法則

生物の諸器官(および器官の諸部分)は、一群の生物の進化の過程で相関  
の法則にしたがわない。しかし、いくつかの部分は急速に進化して、ひじょうに  
進むようになるのに反して、他の部分は徐々にしか進化せず、あまり進まない状  
態にとどまる。そして、ほとんど進化せずに、原始的なままにとどまる部分さえも  
あることがある。

この法則は、局部的変位の一つとして他の機関とのバランスという視点も必  
要でしょう。

## 20) 上昇進化の法則

一群の器官の進化の過程で、諸器官の前進的進化には、その反面、からならず退化をとまなう。

## 21) 進化不可逆の法則

一生物群の進化にあたって、一生物体、一器官あるいは一部分の構造が失われると(すなわち変化すると)それは、その群の新しい(反対の)進化においてはふたたび獲得されることがない。

## 22) 連続進化の法則

一系統樹の連続する種の進化は、ゆっくりした、漸進的な変異によっておこなわれる。

## 23) 不連続進化の法則

一系統樹の連続する種の進化は、突然変異によっておこなわれる。

## 24) 指向性、あるいは、定向進化の法則

一生物群の進化の連続した推移は、ある定まった方向にしたがう。

この定向進化は環境と個体、種など、体内条件が調和した時に進むのです。外因と内因と区別するのは一見理解しやすいのですが、平衡と調和、対称と相補、階層などを総合的に検討する必要があると、私は考えています。

## 大進化と小進化

この法則は、ペトロヴィクスには入っていませんが、大進化とは生物の種類を大きく区別したとき、小進化は小さく区別したときの進化です。例えば目の進化を大進化とすると属や科などの進化は小進化になります。きまった区別の方法はありません。

これ以外にも化石からいろいろな法則や進化の理論がありますが、以上の法則をむくめて解説をホームページ(<https://odontology.sakura.ne.jp/>)に載せてありますので参照下さい。

## 16 安定性をもたらす体制の原則 変異の定着 時空を越える鍵

生物進化の大きな問題として、個体発生と系統発生との関係があります。断続平衡説を提唱したゲールドが、古生物学者でありながらもっとも心を砕いて解明しようとした課題です。簡単に言えば過去と現在とはどのようにむすびつけることができるか、そこに進化の鍵があるからです。遺伝子の変異が形の変化となり、それが万年億年つづいて安定化し、変異が定着し、進化するための盲点です。

化石あるいは今生きている生物は長期に維持された結果ですので、これを一応安定しているとして、ここから進化という長期的に維持する要因を分析することになります。

具体的な歯の例をしめします。歯の形は、見方にもよりますが、同じ種類では歯の形も構造も同じ、と考えることが一般的です。しかし、異なることもあります。歯の形と構造は、同じ種類でも歯の形が異なる場合も、同じ形の歯でも構造が違うことがあり、違う形の歯でも同じ構造を持つこともあります。つまり、種類、歯の形及び構造は別の階層でそれぞれ別の法則があることです。

エナメル質を例にとると、エナメル質の構造にはシュレーゲル条という模様があり、これはエナメル質を作る細胞集団の交錯した動きによって形成されます。歯の形に関わらずシュレーゲル条は同じことも違うこともあります。共通する点はエナメル芽細胞が集団になることと集団で律動的に動くことです。これをグルーピングとダンシン(集合的で律動的動きの意味)といいます。これはどのような人体の組織にも普通にみられるものです。

たとえばいつも目にしている皮膚は表面がケラチン産生細胞からできています。これが古くなり堅くなって剥げ落ちる現象を「垢」といいます。角質化して死んだ細胞が皮膚の表面から脱落することです。皮膚はどこもこれと同じで、毛や爪も同様です。毛や爪は細胞が集合して離れにくいのです。つまり皮膚と毛と爪はグルーピングの様式が違うのです。

目を転じると、星雲、太陽系、地球と月などの動きにも同様の現象があります、つまり物質界でも同じ法則があるのです。このような物質界と生物に共通の原則で、特に私の研究領域の歯の構造と発生、人体などに認められるものを検討して抽出したものが「体制の原則」です。



生物は物質界から生まれてきました。ですから最初は物質界の法則でほとんど生きていました。しかし細胞膜ができ細胞が生まれると、生物的な進化が進みます。生物の進化に沿ってどんどん物質界の法則はデフォルメされ生物特有の法則となります。比喩的に表現すれば、石ころを暖めると温度がある程度維持される現象が、生物の進化によって生物独特の維持代謝機構として遺伝子が生まれ遺伝するようになった、というものです。基本は物質界の法則です。

このような「体制の原則」を次に列挙しますが、これは今後の研究の進展で増えると考えられます。

1変異と適応、2集合と分節、3階層と法則(集団心理や個体は死んでも爪は伸びる、細菌は集団になると個性を捨てる)、4対称と平衡、5律動と調和、6嗜好性と特異性(藍藻の接続など。長鼻類の牙、鼻など。種の特異性を生み出す)、7記憶(遺伝)と定向性、8相補性と親和性(Tilman et al は生物の集団が多様になると相補性を持つことを報告(Nature,515,44-45,2014.)。これは、相補性は固体内だけではなく生物の普遍的原則であることを示します)、9能動性と放散(拡散)性、10大型化、成長と螺旋などです。

「体制の原則」は生物あるいは個体などの安定性をもたらす要因です。安定性を生物学では適応といいます。適応は個体など生物体と環境とが調和する状態と一般的には理解されていますが、生物体内の調和もふくめるのがよりの確です。

例えば、スムーズな代謝と排泄がそれで、体外(環境)から食べ物が円滑にとりこまれ、順調に溶かされ栄養となり吸収されて細胞まで達し、老廃物が速やかに排泄されることです。この過程には、生物体の内外に調和のとれた状態、つまり適応があり、安定性が必要なのです。器官や組織および細胞同士の安定性のことを調和性とか親和性などと表現することもあります。同じ安定性、適応性と同じ意味です。安定状態は体制の原則が働いてもたらされ、安定であるが故に長時間維持される可能性が高い、とうことです。

換言するなら、進化は長い時間を要し、そこでは生物と環境ともに変化します。この変化においても進化に繋がる変異は維持されなければなりません。それには安定性が必要です。この安定性つまり適応には、物質界と生物の共通の法則である体制の原則が重要な働きをします。体制の原則がより多い変異ほど当然

ながらより安定し、進化する可能性が高いのです。

それゆえ体制の原則は現在と過去を結ぶ鍵なのです。つまり体制の原則が「個体発生が系統発生に反映し、系統発生が個体発生に反映する」ための保証となるのです。このことを、井尻さんは、必然性は生物進化の系統発生、偶然性は個体発生にあるとし、グールドは系統発生と個体発生の拘束、と表現しています。

現在生きている生物はこの安定性に優れている結果だといっても過言ではありません。ですから体制の原則は、現在の生物の現象から安定をもらす要因を抽出する作業によりますが、それだけではなく、化石から根拠となる証拠を裏付けてはじめて十分となります。化石を忘れると遺伝子でつくった系統樹が正しいと一方的に主張するようなこととなります。

ここからいえることは、適応(安定)は、すべての階層に於いて生物体の内外に安定であり、それは体制の原則による、というものです。ここで注意したいことは、安定状態でも生物のすべての代謝過程に変異が生ずることです。

### 第三章 体の盲点

#### 17 人体の安定性 分節、階層、対称、移動

進化の基本として安定の要因が大切であることを盲点として強調してきました。ここでは人体で安定性を作り出す要因としての階層、分節、対称などをとりあげます。

体の基本構造の一つとして階層性は、生物界の階層でとりあげた「個体—器官系—器官—組織—細胞」があげられます。これは大まかな区分で研究者によって違いがありますが、階層があることは事実です。

固体はだいたい次のような構成でなりたっています。

体(個体) = 植物性器官 + 動物性器官 + 保護・防衛器官 + 調整器官

このうち保護・防衛器官と調整器官は用語自体ほとんど用いられていません。この機能は、一般的には器官や組織の階層に含まれることが多いようです。しかし、体を一体として維持し機能するためには保護と調整が重要な作用をします。つまり植物性器官と動物性器官を調整し、保護しなければならないという理由から同じ階層として区分したものです。ただし、保護と調整作用は各階層においても存在し作用しています。

これを具体的にみると、植物性器官は栄養に関する、摂取、運搬、排泄の流れとして捉えられます。栄養摂取に関するのは消化器系と呼吸器系、栄養と老廃物およびホルモンの運搬に関する循環器系、排泄に関与する泌尿器系(水溶性排泄)と生殖器系(細胞性排泄)におおきくわかれます。ただし、呼吸器系は炭酸ガスの排泄(ガス性排泄)もするし、皮膚や消化器からも老廃物(汗、垢など)が排泄されるため、これは代表的な例です。ちなみに植物は、根で栄養を吸収し、維管束系でその運搬、葉で呼吸をして同時に葉が落ちることによって排泄します。もちろん植物によっていろいろ違いますが、ここから植物性器官の名称が由来したようです。

動物性器官は、刺激の取り込み、伝達と統合、行動の流れで捉えられます。刺激を取り込むのは感覚器系、刺激を伝達し整理統合するのが神経系、整理統合した刺激を行動に移す実施系としての骨・軟骨・靭帯系と筋系、です。

保護・防衛器官は、皮膚、リンパ系など、調整器官は、内分泌系と自律神経系です。内分泌系の分泌するホルモンはおもに循環器系で運搬され、刺激による調整は、自律神経系(植物性神経)です。人体解剖学では自律神経は神経系の一部に組み込まれています。

以上の器官系をさらに階層として組織と細胞に区分するのですが、体全体では非常におおくなるため記述に合わせて口や歯に関するもののみ細かく表に表してみました。

個体	器官系	器官と中間区分 臓器ともよばれる	歯に関する細胞 などの
植物性器官	消化器系	口腔(歯、歯肉、 歯槽骨、口蓋、 舌、頬、口唇な ど)、咽頭、食道、 胃、小腸(十二指 腸、空腸、回 腸)、大腸(盲腸、 虫垂、結腸)、直 腸、肛門、 塊状の器官:大 唾液腺、膵臓、肝 臓、胆嚢 歯の発生過程: 歯堤、歯胚:エナ メル器(内エナメ ル上皮、外エナメ ル上皮、星状網、 中間層)歯乳頭、 歯小嚢など	歯と周囲の構造: エナメル質、象牙 質、歯髓、象牙 芽細胞、歯髓細 胞、セメント質、 歯根膜、線維芽 細胞、破骨細 胞、骨芽細胞、 骨細胞、歯肉の 粘膜上皮細胞 (ケラチン産生細 胞の一種)など 歯の発生過程: 歯胚と構造:、エ ナメル芽細胞、 象牙芽細胞、セ メント芽細胞など
植物性器官	呼吸器系	省略	省略

	循環器系 泌尿器系 生殖器系		
動物性器官	感覚器系 神経系 実施系：骨・軟骨・靭帯系、筋系	省略	省略
保護・防衛器官	保護・防衛系	上皮組織（皮膚、粘膜など）、表皮、真皮、皮下組織、 リンパ系組織（リンパ節、扁桃、虫垂、パイエル板など）	リンパ球 角質化細胞（ケラチン産生細胞） リンパ球など
調整器官	調整系	内分泌器（系）、自律神経：副交感神経、交感神経（神経系の一部）	内分泌細胞 神経細胞、神経膠細胞など

組織の階層として一般的な区分は次のようなものです。

組織	組織の細分	細胞など
上皮組織	上皮（表皮、粘膜上皮など） 中皮 内皮	表皮細胞（ケラチン産生細胞など） 中皮細胞（一般的に上皮とよばれている、卵管や精管、腎細管の上皮） 内皮細胞（血管の裏打

		ちする)
結合組織	繊維性結合組織:強靱性結合組織、疎性結合組織、細網組織	線維芽細胞 膠原繊維 細網繊維など
骨組織 軟骨組織	骨膜、骨層板、骨頭(関節軟骨、海綿骨、骨単板など)、骨単位	軟骨細胞 骨芽細胞 骨細胞など
血液	造血組織	各種の血球
リンパ	リンパ小節	各種のリンパ球

図 体の階層の表

次に人体の分節をみます。これも無数にあるので基本的なものと、口腔、歯に限定してみることになります。

体は胴体つまり体幹、これから上(動物は前)へ突出するのが頭と首(頸)、下(動物は後)へ出るのが尾です。ヒトでは尾は極度に小さくなってしまっています。体幹から左右へ飛び出すのが、上が上肢(動物は前肢)、下が下肢(動物は後肢)です。頭は脳、目、耳、鼻、口といった分節、首は7個の頸椎の区分がありそれぞれに関係する筋肉、血管、神経があり、これも分節です。(18節の図参照)

体幹は椎骨の区分がそのまま分節になりこれを体節とよび、体節ごとに様々な器官がありそれも分節です。上肢と下肢は骨と同じように分節します。骨に関連して筋肉、血管、神経があるので当然これらも分節することになります。

体は基本的に左右対称の構造ですが、歯の並び方は口を開けば中心点から放射対称です。これは腸の断面をみたときに、平滑筋や神経、血管の放射対称(あるいは多軸対称)の配置と同様で、口腔を含む消化管全体が基本的に同じ対称性を持つことを示しています。この分節が腸に沿って繰り返されるのです。これは繰り返しの対称です。これによってミミズの動きとおなじ「蠕動運動」という周期的な腸の基本的動きを保証します。つまりこのような対称構造が腸の安定的働きを担っているのです。

対称性の点からからだの様々な器官などをみると、一軸対称から多軸対称、繰り返しの対称など多様な対称性が体の器官に観察されます。生物界の多様

な対称が体にあると言うことです。

骨格筋は分節が明瞭ですが、この分節は拮抗筋という対称構造からできています。例えば上肢や下肢の筋肉は、曲げ伸ばしする筋が、曲げる側の筋(屈筋)と伸ばす側の筋(伸筋)が拮抗筋で、腕を曲げる力こぶのできる上腕二頭筋と、伸ばす上腕三頭筋です。下肢では、伸ばす大腿四頭筋と曲げる大腿二頭筋が拮抗筋です。それ以外の動き、頭を前後左右に、あるいは体幹を前後、左右に動かす、あるいは回転させる筋なども同様に拮抗筋で構成されています。

この対称性は異なる作用によって目的を達成する筋もあります。左右の上肢や下肢の筋などがその代表です。左右対称の筋がそれぞれ異なる動きで相補い一定の動作となります。このような相補性もまた体の至る所にみられます。上下顎の並んだ歯列や腸の蠕動運動は対称的な相補作用を行います。交感神経と副交感神経、あるいはホルモンの拮抗作用も対称的補償作用です。

相補性は、各階層内あるいは階層間にも認められ、その基本となるのが分節の対称性です。これが体の安定的機能の保証となります。

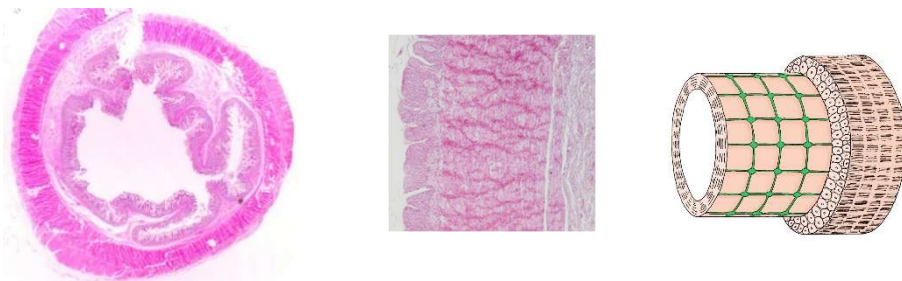


図 中左図は腸の断面で平滑筋や神経などが中心から対称に位置する。中央図は腸の一部で平滑筋や神経節が分節する。右図は腸の筋層と網状の神経の三次元模式図 (Komuro2004 を改変)。

ここで注意したいことは、解剖学の教科書には筋の構造と機能に関して、筋原繊維(アクチンとミオシン)や筋小胞体の配列や変化、すなわち収縮と弛緩について詳しく説明されていますが、もう一つ大切な筋の作用、つまり伸展いわゆるストレッチについてはほとんど触れていません。筋自体では伸展できませんが、伸展することによって筋が発育し

強化されるのです。筋が伸展の自動能を持たないことは肺と同様です。肺の呼吸運動は呼吸筋（おもに肋間筋と横隔膜）によって肺の周囲を陰圧として拡張し、陽圧となって肺を圧迫し縮小します。筋は、拮抗筋によって伸展し、自力で収縮するのです。

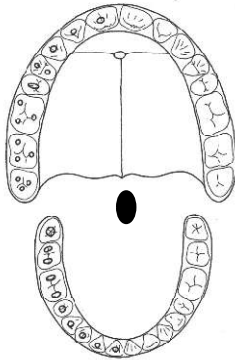


図 歯と咬頭(歯冠の上の小さな○)などが、口を開いたとき中心(●)から放射対称に位置する。

これは骨格筋だけではなく平滑筋も同様です。消化管の蠕動運動において伸展をより強くするのが食塊であり、血管では血流です。

筋の対称性は、このように安定性によって筋の発育と強化に寄与しています。このような例は筋だけではなく、体を構成する器官に沢山あります。教科書の記述を実際に即して理解することが大切です。



## 18 頭殿の対称 最先端はどこか？

頭殿の対称という「やや？」と思うかも知れません。まず頭殿が対称などと記述した教科書はありません。一般的には頭尾といますが、頭尾は方向性の対称であり、体の構造としては頭殿が対称なのです。これが体の盲点です。

頭部と殿部の対称は、成体と発生の双方からみなくては分かりません。対称は、17 人体の安定性でみたように、構造と機能の面があり、ありとあらゆる対称的形態、機能的対称は体のバランスをもたらします。これがどのようなもので、どのように形成されたかを、発生の面からもときほぐしてみることになります。

一般的な動物の体は、体幹から頭頸部が前(ヒトでは上)に、尾部が後(ヒトでは下)に、左右には上下肢が飛び出します。これを内部構造と関連させると、頭部は動物性器官の神経系の一部の脳が膨らんだものです。その一部から目、耳、鼻、口がさらに伸び出します。これらは神経の一部とも言える感覚器系です。口は味の感覚が伸び出したもので舌があります。

いっぽう、植物性器官の消化器系や排泄系は後(下)へ移動し、最終的に膀胱、子宮、直腸が骨盤内臓となります。卵巣は体腔に止まりますが、精巣はヒトなどではさらに体外まで下降します(卵巣下降、精巣下降)。

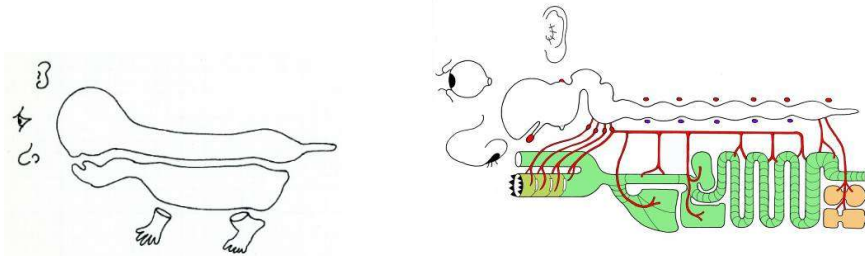


図 頭殿の対称。左図が外形 前(ヒトでは上)に頭が、後(ヒトでは下)へ尾が飛び出す。体幹から左右に四肢がでる。右図が体の内容。頭は脳が大きくなり、さらに耳、目、鼻、口が更に出る。色を付けたのは植物性器官(消化器系、呼吸器系、泌尿器系、生殖器系)で全体として後(ヒトでは下)へ成長し、骨盤では膀胱、子宮、前立腺、直腸が集積する。赤い線が植物性神経(神自律神経)の副交感神経で、頭と骨盤は中枢神経から直接由来し、腹部の内臓まで頭から由来し、植物性器官の発生と関連する。

頭部の自律神経をみると、副交感神経は脳神経から直接出て(脳神経に含ま

れる)、交感神経は胸部の幹神経節から由来し、神経節(毛様体神経節、翼口蓋神経節、耳神経節、顎下神経節、頸動脈神経叢)を介して分布します。ほとんどの腸を含む内臓の副交感神経は脳神経の迷走神経が分布します。

骨盤内臓は、迷走神経が入らず、副交感神経が腰神経あるいは仙骨神経からきて、交感神経は幹神経節の腰部から由来し、神経節(下腸間膜神経叢)を介して分布します。このように頭部と骨盤部への神経支配の分布はよく類似しています。

脈管系も大動脈弓から腕頭動脈(ヒトでは左は消失)を介して総頸動脈と鎖骨下動脈そして内頸動脈と外頸動脈へ分岐します。この様式と、腹大動脈から総腸骨動脈からの骨盤内臓や下肢へ分岐(内腸骨動脈と外腸骨動脈)する分布様式は似ています。ちなみに大動脈弓と腹大動脈は心臓から出る同じ血管です。

むろんこの類似性は、頭部も骨盤内臓も前後(上下)の終点だからという位置的状况のためもあります。しかし類似していることは確かです。

筋肉の分布と作用も頭部と骨盤では類似しています。頭部での食べる作用(捕食、咀嚼、嚥下)に関する筋は随意性の骨格筋で体表から食道の上半分まで達し、自律性の平滑筋(食道の筋層)と協調してなかば無意識的な自律的作用をします。一方、膀胱や肛門の排尿や排便に関する筋も、随意性の骨格筋(尿道括約筋=尿生殖角膜と肛門挙筋=骨盤隔膜)であり、平滑筋(膀胱の筋、内肛門括約筋)と協調して半ば無意識的な自律的作用を行います。

このようなことから、頭と骨盤=殿部を機能的にも形態的にも対称とみなせるわけです。

次にヒトの体の基本的な発生をみてみます、むろん動物によって多種多様の発生を示しますが、基本は同じです。

背中側(成体の方向を基準にして)には外胚葉(羊水を含む羊膜腔を作る膜のうち胎児側の名称)という皮膚と神経になる組織ができ、腹側には卵黄囊という消化器系になる組織ができます。様々な経過をたどりこの二つの間にできるのが中胚葉で、骨や筋、腎臓や生殖器などをつくります。この卵黄囊を中に外胚葉が前後左右から覆い被さります。卵黄囊の前と後に穴が開き、管状(消化管)となり、前が口、後が肛門となります。ここから前に頭が、後に尾が、左右に上下

肢が膨隆します。これが体幹の基本形で、それには内部の色々な器官の発生が伴います。

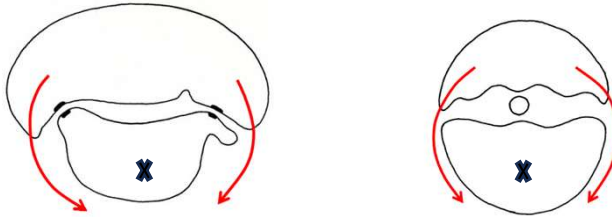


図 最初の体の発生。左が縦断面、右が横断面。左図の太くなっているのが将来の口と肛門の位置。上側が外胚葉で羊膜腔を形成、下が内胚葉で卵黄囊(X)を形成する。卵黄囊の上の空間が羊膜腔。赤矢印は成長方向。全体として卵黄囊を包むように矢印のように成長する。右図の○は中胚葉の脊索(背骨の前駆構造)。



図 断面図。発生が進むと植物性器官(下の○)を包むように動物性器官(灰色)が発達する。矢印が発生の方向。四肢は動物性器官から左右に派出する。

体の発生では、このような成り立ちに加えて、細胞の移動と形の変化が生じます。ここでは口を中心にみることにします。

口は消化管が開口する場所で、外から入って来る細胞と内側から出て行く細胞が交錯する部位なのです。出て行く細胞は、脳、目、耳、鼻、口の形成で代表されます。入ってくる細胞は、下垂体や唇、歯、唾液腺、下垂体(前葉)などに分化します(これを外胚葉性器官といいます)。この動きは消化器の殿部方向への移動発達と連動し、上皮小体、甲状腺、胸腺、肺や横隔膜、消化管の発達、さらに泌尿器(腎臓の発生)、これに伴う生殖器の発生、卵巣下降、精巣下降、こ

れに分布する神経や血管の走行などに関連します。

以上のから発生学的に頭殿が対称であることがわかります。この対称は形と機能の安定を保つ要因なのです。

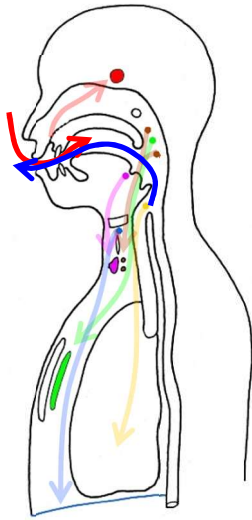


図 腔領域から胸部へかけての細胞の移動。赤線が外からの移動、他は内胚葉の臀部方向への移動。一番上の赤丸が下垂体、下の青の横線が横隔膜。

### 19 鰓弓の盲点 対称 消化管の骨格

口から肛門までを消化管と言いますが、魚などでは最先端に消化管を取り巻く肋骨のような骨、いわゆる鰓(えら)があります。これを鰓弓(さいきゅう)といい、ヒトでは骨はなく発生過程で一過性に現れます。鰓弓は、体の外から見ると消化管を横切るように盛り上がっています。その間を鰓溝(体表からみた名称、消化管の内側からみると咽頭溝、咽頭嚢ともいう)といい、ヒトでは耳の穴などができます。

ヒトの鰓弓に骨格はないのですが、他の動物や化石では骨(鰓蓋骨、鰓把)があり、これには相同の筋肉や血管、神経が伴う分節構造です。これを口から順に第一鰓弓、第二鰓弓、第三鰓弓、・・・と後ろへ向かって番号を付けています。この番号の付け方は研究者によって違い、ヒトの顎を顎骨弓といたり第一鰓弓といたりします。また顎骨弓より前に唇軟骨がある動物もいます。

鰓弓がある領域は紛れもない消化管の一部で、ヒトでは口腔と咽頭に相当する領域です。この部位の比較解剖学的ないし分子生物学的研究は非常に進展し、形成因子や神経、血管、筋の構成が明らかになっています。ちなみにヒトの胎児期には第四鰓弓くらいまで現れ、それ以降は消失すると説明されています。

ヒトの鰓弓の神経と筋の関係は次のようなものです。

第一鰓弓 三叉神経 上下顎骨、砧骨、鎚骨など 咀嚼筋など

第二鰓弓 顔面神経 鐙骨、舌骨の一部 表情筋、鐙骨筋など

第三鰓弓 舌咽神経 茎突咽頭筋 舌骨の一部

第四鰓弓以降 迷走神経その他 口蓋帆張筋、咽頭収縮筋など

\* 血管は分布先の変化に応じて変化するが、心臓から大動脈弓をへて総頸動脈、それから先は鰓弓動脈のデフォルメとして説明されています。

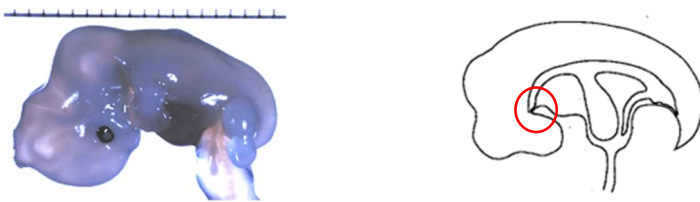


図 8 ヒトの胎児と断面の模式図。○の部位に口と鰓弓がある。

ここから分かるように私たちの顎の骨は第一鰓弓の骨の一部なのです。顎の骨の他の部分は耳の構成要素となります。

このように詳しく鰓弓の消長が調べられているのに対し、なぜ消化管の一番先端に骨格があるのか、についての説明はどこを探してもありません。これが鰓弓の盲点です。

まず考えられるのは、消化管にも体の肋骨などをつくる体節とおなじような遺伝子があるだろう、という推定です。これには腸の発生からの研究(Sakiyama, J et.al. Dev.Bio.227,12-27,200, Mech.Dev.101,233-236,2001, Kawazoe, K. Dev. Growth Diff. 44,77-84,2002 など)で Hox 遺伝子があると報告されていますがその後の研究が行われていません。しかし、分節に関与する遺伝子があることがわかります。

腸の蠕動運動を保証するのは、分節状のアウエルバッハの神経叢(神経節)とそこから出る神経が網目状のとネットワーク(対称構造)をつくり、消化管を取り巻く分節状の筋を制御している、ことによるです。発生でもこれらの筋や神経がつくられる過程が明らかにされています(Nishiyama, C. Nature Neuroscience,15, 1211-1219,2012 など)。それは消化管に沿って集団で分節状に移動し形成するものです。

鰓弓は、頭部に形成され、鰓の領域独自の因子によって鰓が形成されることが明らかにされ、その結果を踏まえで下垂体が最先端だ、という考えがだされています。頭は脳を収容する骨の形成が盛んなところですので、なんとなく理解できるような気がします。しかし消化管の最先端に骨格がある理由ははっきりしません。

これを体制の原則、対称性によって理解してみます。顎骨を考えるまでもなく、鰓弓由来の骨は頭蓋骨の一部で外胚葉と内胚葉という対称的要因が交錯する領域にあります。ここから、頭の一領域で消化管の最先端に形成される鰓弓は、発生的には外から消化管にそって入ってくる細胞などの影響(19 頭殿の対称を参照)が作用し、かつ呼吸や摂食に適した構造として骨格が形成される、と推定できます。

ここで外から入ってくる外胚葉の影響とはどのようなものか、が問題です。これは神経堤細胞です。この細胞は外胚葉から神経系が分化する途中で別れる神

神経と同根の細胞群で、脊索と神経管の両脇に分節を作ります。神経堤細胞は神経以外にも、神経性のメラニン産生細胞、心臓の一部、内分泌細胞などさまざまな細胞に分化し、頭部では頭蓋骨などの分化に携わり、中胚葉性の細胞と同じような働きをします。そのため外胚葉性中胚葉などと言われることもあります。この細胞群は歯の形成にも携わる、といわれています。

つまり、鰓弓の骨格は、外胚葉が直接消化管に沿って侵入するわけではないのですが、デフォルメした神経堤細胞の関与のもとに間接的に形成される、ということが出来ます。これには当然アウエルバッハの神経叢などの分節の形成要因と同じ分節の因子も影響しているはずです。

そして、体の形成から見ると、動物性器官が前(上)へ、植物性器官が殿部方向へ対称的に伸びることに伴い各器官の配置が決まることと関連して鰓弓が形成される、と理解できます。

しかし、別の視点からの検討も可能です。その一つが鰓弓は体幹の分節(体節)が頭部でデフォルメしたものであるというものです。これは基本的に上の考察と同じです。このように書くのは、頭部の分節と体幹の体節を異なるという教科書の記載をそのまま受け入れ疑わない傾向があるような印象を受けるからです。別の視点からも検討が可能だし、検証する必要があるのです。

ここから体の最先端は頭部であり、その対称として殿部が最後端なのです。頭尾は方向のみの用語なのです。そして下垂体は細胞の交錯する結果の一つというものです。

## 20 歯の分布の盲点

歯の分布は、そもそも歯とは何かという問題が大前提です。歯の歴史をさかのぼる研究でだいたいの起源や進化経路は判明しています。しかし、どうもそれは歯の一部の姿のようなのです。歯がどうして出現したのかもはっきりしていません。これが盲点です。

まず、ヒトの歯とほぼ同じ構造と成分をもつ起源と考えられている歯は、脊椎動物の先祖に近いナメクジウオの仲間と推定される化石のコノドント動物、そしてヤツメウナギのような口が開きっぱなしで吸着して栄養をとる(円口類)の甲皮類、あるいはサメの先祖に近いと考えられている板皮類などのものです。

コノドントのドントは歯の意味で、最初に歯だけ見つかって、どのような動物か長い論争があったのですが、全体の姿が発見されコノドント動物と命名されたのです。歯だけ見つかったのは理由があります。胃の粘膜にあった歯で骨に付着していなかったのです。このような歯を遊離歯といいます。遊離歯は今生きている魚の口の中に普通にみられる歯です。コノドント動物の歯は、体の胃の部分に集中して見つかったため胃歯と判定されたのです。

甲皮類や板皮類は、甲冑魚の名称があるとおり体(実際には頭側)の表面にも歯のような突起があります。口の周りにももちろん歯があります。これらの構造と成分がヒトの歯に似ているのです。歯の表面には白い光沢のあるエナメル質のような構造、その内側には象牙質と同じような構造があり、これが内側の骨に付着しています。これをコスミンといいます。今の魚の鱗とは出来方も構造も違います。コスミンは小さな歯といえるので小歯とも言われています。

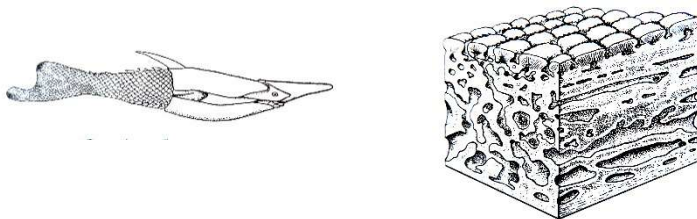


図 左は甲皮類の一種 右は甲皮のコスミンの構造、上の小さな突起が小歯で下の骨に付着する(Kiser 改変)。



このような歯の分布は、皮膚だけではなく、化石や今の魚では口の縁、口蓋、舌、咽頭から食道、胃まで到り、それぞれ口蓋歯、舌歯、頬歯、咽頭歯、鰓歯（鰓把歯）、胃歯などといいます。食道は食道歯、われわれの顎の歯は顎歯です。ただし、口や食道、胃の粘膜では骨に付着していない歯のため、化石でわかりにくいのです。

哺乳類の歯が他の動物の歯と違うのは、歯と顎骨が歯根膜という構造によって接続している点です。一部の爬虫類にもこのような接続方法がありますが、ほとんどは骨で顎骨に直接付着しています。哺乳類の歯は、複雑な咀嚼機能と関連して歯の複雑な構造が形成されるために、発生期間が長くなり、歯の交換が少なくなったもの、と推定されます（この根底には味覚の進化があります）。

歯の起源を明らかにするために視点を変えて脊椎動物以外の歯を見渡せば、例えば甲殻類では体の外面から腸まで甲殻や棘が分布しています。甲殻類の甲殻や棘はカイチン（キチン質）というヒトでいえば毛や爪をつくるケラチンに近い成分で出来ています。これが十二指腸の開口部領域を除く消化管の表面を裏打ちし、脱皮するときに皮膚と一緒に剥がれ落ちます。ただ胃では哺乳類と同じような形の歯になります。

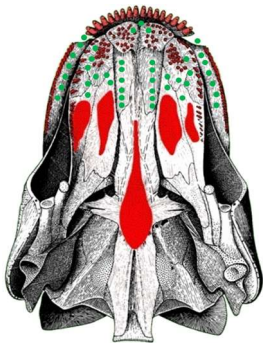


図 古生代の総鱗類の口腔の歯の分布。赤が骨に付着する歯とその領域（緑が顎歯、後は口蓋歯）、緑が遊離歯（推定）。

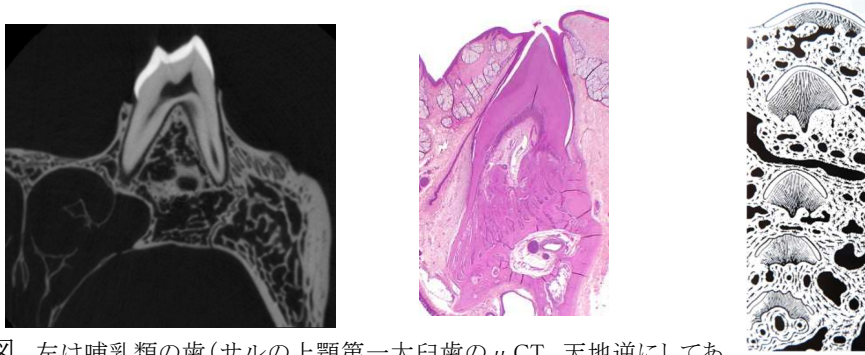


図 左は哺乳類の歯(サルの上顎第一大臼歯の $\mu$ CT 天地逆にしてある)は白い部分がエナメル質、やや薄い灰色が象牙質、スポンジのような部分が顎の骨。骨との間に狭い隙間がある。ここが歯根膜で歯と骨は直接接しない。中は爬虫類の尖った歯(オトカゲの下顎歯)、上部の一番上の隙間にはエナメル質があったが溶けて失われている。紫色がエナメル質の下部の象牙質で、さらに下部のやや薄い紫色の顎の骨と癒着している。右はコスミンの模式図。表面のエナメル質、その下の象牙質、徐々に骨に埋もれ吸収(消失)している様子が描かれている(Ovig1968より)。

この棘が十二指腸の部分(肝臓と膵臓の開口部)だけないのは、そこが内胚葉からできているためです。それ以外の消化管は外胚葉からできているのです。だから脱皮のときに外殻と同時に腸の棘も抜け落ちるのです。

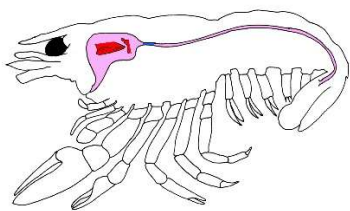


図 昆虫の消化器官 ザリガニ(甲殻類)の腸の青の部分が十二指腸に相当する内胚葉(黒)、それ以外は外胚葉で脱皮する。胃の中にカイチンよりできている歯がある。ヒトの腸は全体が青の内胚葉だけでできている。

哺乳類の外胚葉は、口腔の歯のあたりまでは侵入するのですが、そこから肛

門まで内胚葉によってできています。歯は口の外胚葉の部位に形成されるのです。脊椎動物の外胚葉と内胚葉はほぼ哺乳類と同じと考えられていますが、口のみならず胃まで歯が分布します(十二指腸から肛門まで歯はありません)。なぜでしょう。

脊椎動物の歯の分布は、頭部領域の細胞の動きに関係します。植物性器官の骨盤方向への移動に伴って歯を形成する要因を分泌する外胚葉の影響が消化管へと及び、鰓の骨格などの形成要因になります(18、19 節を参照)。

外胚葉の影響をみると、歯のエナメル質は外胚葉からつくられますが、それ以外の象牙質や歯髄は、直接外胚葉からではなく、外胚葉から分かれて神経などを作る細胞からさらに分かれた神経堤細胞から出来られるのです。つまりエナメル質と象牙質・歯髄などは同じ外胚葉系の同根由来の構造なのです。

脊椎動物の歯の分布の可能性のある領域は口から胃までですが、生きている魚類などをみると歯の分布は動物の種類によってそれぞれ違います。これは、ちょっと複雑ですが、外胚葉がデフォルムして体内へした侵入(神経堤細胞など)する様式が各動物に様々であるため、歯の分布が種類によって特有となると考えられます。

つまり歯の形成能は口から胃までであるのですが、動物によってそれぞれ進化の経路が異なるため歯の分布がそれぞれ固有になった、といえます。そのおおもとは食べ物の嗜好、それを摂取する様式の違いによります。

動物の固有の性質が食性を、食性が摂食形態を、摂食形態が歯の分布と形態の固有性を生むのです。

もう一つ重要なことは、コノドントを除くこれまでの歯の議論には遊離歯がほとんど入っていない、ということです。遊離歯は化石では区別できにくく仕方がない面もあります。しかし、これまでの議論はあくまでも骨に付着した歯についてのものなのです。歯の全体の様相を明らかにするには、現在の魚類の遊離歯を含めた歯の分布の全容の解明が必要です。

歯の起源の問題として、脊椎動物の体の表面から腸(胃)まで歯が形成されたのは何故かという疑問があります。脊椎動物の歯が最初に現れたデボン紀に環境にカルシウムが多量に蓄積され、当然これが体内に摂取され、このカルシウムを体から排泄する機構の一つが歯や骨だという説明があります。これは、私たち

の毛や爪に金属などを沈着して排泄する機構があることが参考になっています。これだけでは複雑な歯の構造となることは説明できません。歯の起源には、食べ物の摂取機構の進化があり、これに歯の形態と構造が関連しているのです。

## 21 歯の交換と歯数減少の盲点 多生歯生から二生歯生への空白

歯は脊椎動物の体では堅い鱗や骨より硬く化石としてのこりやすい器官です。そのため進化を証明する材料として大切です。しかし歯の謎はいろいろあり解決されていないのです。

これを列挙してゆくと、歯数や世代交代の減少、ついで歯式といわれる歯の顎の部位による形の違いはどうして生じたか、また犬歯は上下顎と左右それぞれに1本しかない謎、さらに変型といわれている退化的形や矮小歯、喪失などがどうして生ずるのか、などです。ここでは、歯数減少と交換の問題、多生歯性から二生歯性へ、そして一生歯性への移行の盲点を検討します。

歯の減少や移行をはっきりしめすような古生物あるいは今生きている動物はいません。比較解剖によって比較して減少が推定されているのです。その結果、多生歯性から2生歯性、1生歯性へ移行する、ヒトの歯は退化する傾向にある、とはっきり色々な本に記述されているのです。しかしそこには、移行形が無い理由も原因も示されていません。盲点のままです。

歯の構成をみると、ヒトをはじめ多くの哺乳類の歯は、乳歯と永久歯の2世代(二生歯性)ですが、奥歯(臼歯、ヒトでは大臼歯)、歯鯨類やアザランなどでは1世代で交換しません(一生歯性)。一生歯性の動物の歯の数は多くなるのが多く、形が単純化する傾向があります。この変化はクジラの化石から分かっています。しかし三生歯生や四生歯生と断言できる化石は発見されていません。歯の世代の減少によって一生歯性となったと推定されている歯クジラは、次世代の交換する歯の原器が減少したためと説明されていますが、証拠はありません。ヒトの奥歯は、交換しないこと、退化形とされる変形が認められることから、退化傾向であると説明されています。歯の退化は顎骨(正確には歯の生えている歯槽の領域)の退化と連動していると言われていています。気になるのは、ここには退化以外の原因について歯以外の要因を疑う視点がみられない点です(矯正学などの臨床では逆に顎の要因と歯の関係を分析しています)。つまり歯の作られる顎の上の空間の成長による変化と歯の形の変化の関連などの検討があまりないのです。これは後で検討します。

さて歯の減少の問題ですが、そのおおもとは、サメの歯からきています。鮫肌というサメの皮膚にある小さな歯のような盾鱗(じゅんりん、楯鱗とも書きます)は、口の中にある歯と同じ構造をしています。同時に、これは歯の起源と考えられている甲皮類などの小歯と類似しています。サメの歯は口の内側から皮膚のある外へ移動して抜け落ち、次に移動してくる歯と交代します。ここから、歯は皮膚の一部だと推定されているのです。

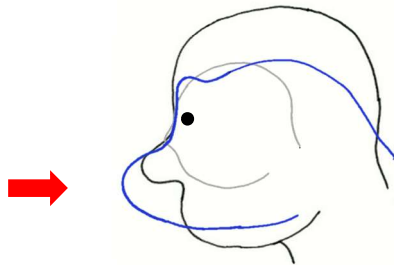


図 ヒト(黒線)の側面から見たオトガイと額、歯の形成領域(矢印)の減少し、歯の形成領域が減少した結果、額とオトガイがでた、という解釈もある。青線が霊長類、細い黒線が子供の頭。

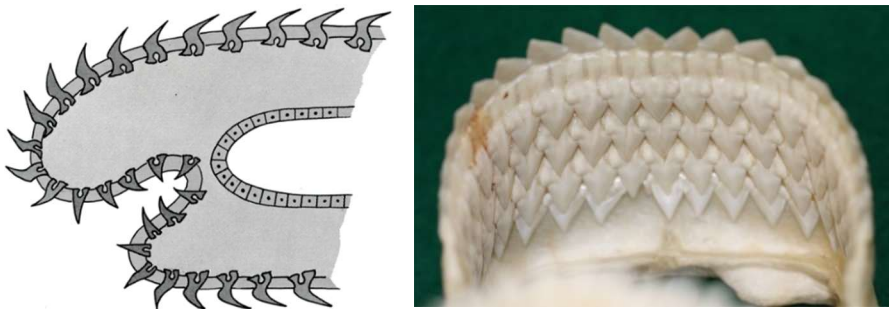


図 右図は歯が外側(上)の皮膚にむかって生えてゆくというPeyer(1968)の模式図。左図はマダラトビエイの口の中の歯と後継歯の配列。

サメの歯と歯の後継歯の配列は斜走していて、鮫肌の楯鱗の配列や歯の起源をもいわれるヤツメウナギの歯の配列に似ています。ただし、ヤツメウナギの歯は角質歯といって、毛や爪とおなじ組成からできていて、脊椎動物の歯の構

造とはちがいます。ちなみにヒトの体の毛の配列(毛流)をみると、ある程度一定の配列をしています。頭髮がそれで、旋毛(ツムジ)は毛流の起点です。

飛躍しますが、象牙質にあらわれる成長周期を表す縞模様も同じものです。このようなことから、皮膚の毛流と歯の配列や成長の周期性などの関連性がいえま(22 節参照)。

ちなみにヤツメウナギの歯の配列を、開いた口の中心からみると成長曲線のフィボナッチ数になります。歯の配列の起源はこのような様式だったのかも知れません。

毛の加齢変化をみると、老化により白髪となり、毛が細くなって、やがて毛がなくなり(禿髪症)。これは、次の世代の毛の原基(毛包)が徐々に分可能(毛を作る力)を失いやがて消失する、つまり後継世代が退化消失することが主な原因です。むろん毛包の周囲の組織の加齢変化も影響します。ここから歯も体の成長や老化に伴い交換世代が退化消失する、と推定できます。よって後から形成される一番奥の大臼歯の変形と欠損(完全に原基が消失するかどうかは確認できない)が多いことなどの理由がここに求められているのです。

しかし、ヒトの歯の退縮と言われている現象は最後の大臼歯のみではありません。各歯種、切歯と犬歯、犬歯と小臼歯、小臼歯と大臼歯などの歯種と歯種の間にも変形や退化型が現れます。また逆にそのような部位には過剰歯という余分な歯も出現します。それゆえ歯の減少は、上下顎をかみ合わせた歯列の各歯種の端から退縮する、という考えもあります。歯種を一纏めにした端から減少するという考えです(歯種については 22 教科書神話を参照)。

これらの現象からは最後に形成される歯から退化減少するとは断言できません。そして、なにより三性歯性や四性歯性などの中間の型がみつからない理由の答にはなっていません。

歯の退縮は、最後の代の歯から起こることは老化などから当然としても、どこからでもどの世代でも生ずるのです。どこから歯が消失するかは、動物の種の特異性によるのです。ここでも、動物の固有性からくる特徴、つまり嗜好性が作用します。つまり歯の退縮(歯の分布も)は、画一的な進化様式ではなく、個々の目や科、種など毎に明らかにしなければならぬ課題なのです。これは次の 22 節で紹介しますが、切歯が同じ位置に 1 本、あるいは犬歯がない、または歯が無

い、そうでなければ数多くの歯になるなど、様々な歯の特徴が種類ごとに現れる原因と同じなのです。

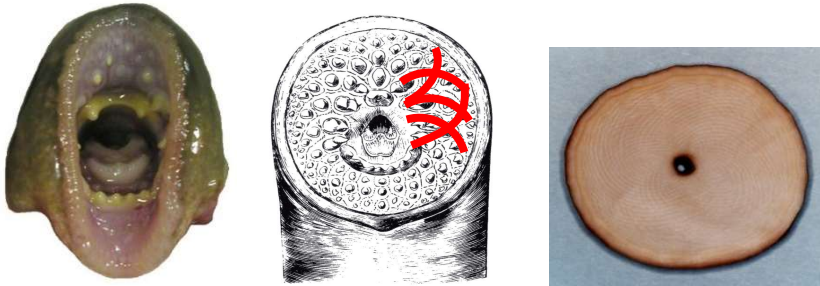


図 左はヤツメウナギの歯の配列、中央は左の模式図 右はカバの牙の様様。

三生歯性や四生歯性は化石などで報告があるのですが、それで世代が終わると断定することが非常に難しく、断言できません。歯の後継歯がない証拠は、生きている動物なら歯堤から歯の原基(歯胚)が出来ないことを証明しなければなりません。残念ながら化石でも生きている動物でも、その証明は現段階ではまだ証明されていません。

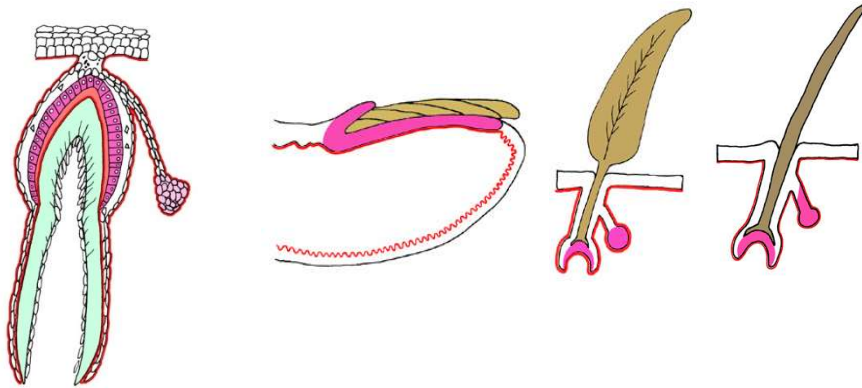


図 左は形成中の乳歯を右の塊が永久歯の原基(赤線より上が歯堤と歯胚)、右が爪、羽毛、毛の交換様式、次の世代の原基が途中から右へ伸び出す。



## 22 教科書神話 歯式と歯種

哺乳類の歯は、種類によって数と形がある程度決まっています。歯式であらわします。これはどのような歯の教科書にも最初に書いてあります。ここに盲点があります。

歯は形によって顎骨上の位置でだいたい区分されます。その区分とは、最初に生え抜け落ちる乳歯では、乳切歯、乳犬歯、乳臼歯、この後に生える永久歯では前歯(ヒトは切歯)、犬歯、前臼歯(ヒトでは小白歯)、さらに乳歯の奥に生える臼歯(ヒトは大臼歯)です。臼歯は永久歯で生えかわりません。これを歯種あるいは歯群といいます。この用語はいろいろな区別にも使われるので注意が必要です。ここでは上のような歯の区別として使います。

### 歯式

哺乳類の歯の数は、永久歯では前歯3本、犬歯1本、前臼歯4本、臼歯が3本の11本(いずれも片方の顎の上また下顎の数のため総数はこれに4倍の44本です)が基本だとされています。これを  $3 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 3 = 44$  (または分母を下顎、分子を上顎の歯として、 $3/3 \cdot 1/1 \cdot 4/4 \cdot 3/3 = 44$ ) と書きあらわし、基本歯式といいます。分母と分子として上下顎の歯数を表すのは動物によって上顎と下顎の歯の数が異なることがあるためです。ヒトの永久歯の歯式は  $2/1/2/3 = 32$  です。

乳歯は、哺乳類の基本歯式が  $3/1/4(3/3 \cdot 1/1 \cdot 4/4) = 32$ 、ヒトでは  $2/1/2(2/2 \cdot 1/1 \cdot 2/2) = 20$  となります。歯式から歯のグループつまり歯種、数、交換などの違いがあることが分かります。

哺乳類では、基本歯式が動物の種類の判別や進化・特殊化の基準として扱われることがおおく、これを基準にして進化が推定されることもあります。しかし基本歯式でない哺乳類もたくさんいます。基本歯式なのはブタなどですが、イルカは  $20 \sim 30(?) / 20 \sim 30(?) = 80 \sim 120(?)$ 、現生しているゾウは、臼歯は同じ位置で5回交換し6本。前の3本は前臼歯か乳臼歯か判定できないため、 $0/0 \cdot 1/0 \cdot 0/0 \cdot 3/3 = 26$  あるいは  $0/0 \cdot 1/0 \cdot 3/3 \cdot 3/3$  です。このように、動物によって、基本歯式と全く違うものから、歯がないものまで多種多様です。

基本歯式は、哺乳類の頸椎は7個、指は5本などの基本数とおなじで疑う人はほとんどいません。基本歯式がさまざまな動物の歯の研究結果から類推して

導かれたものだからでしょう。しかし、どの程度の信頼性があるのでしょうか、進化の上ではどこから来たのでしょうか？そのような問に答える本はほとんどありません。誰もこの基本数から考え始めるのです。これが教科書神話であり、盲点です。ちなみに井尻さんは、基本歯式など無い！という意見でした。

この問題を化石と現在の生物、発生の比較の視点で検証してみます。

ヒトを例にすると、ヒトが属する霊長類で一番原始的と言われているツパイ(食虫類と霊長類の起源に近く、現在は食虫類に分類する意見が多い)の歯式は、永久歯が  $2/3 \cdot 1/1 \cdot 3/3 \cdot 3/3 = 38$ 、歯が  $2/3 \cdot 1/1 \cdot 3/3 = 26$  です。基本歯式にはすこし足りません。しかし化石と今の霊長類によって徐々に歯が減少したことが分かります。ここから、ヒトの歯の起源は基本歯式であり減少傾向にある、という一つの推論がきています。

歯が沢山ある鯨のイルカは、歯種の区別がつかない同じ形の単純な円錐形の歯を 100 本以上持っています。しかし先祖(といってもかなり進化している)には歯種があり、基本歯式です。歯のないヒゲ鯨の胎児の顎の中には歯の原基(歯胚)が多数並んでいて、そのうえ咬頭のような膨らみがあります。それゆえ鯨目の歯は、基本歯式を経由して、歯が単純化し、数が増加すると、推定されています。

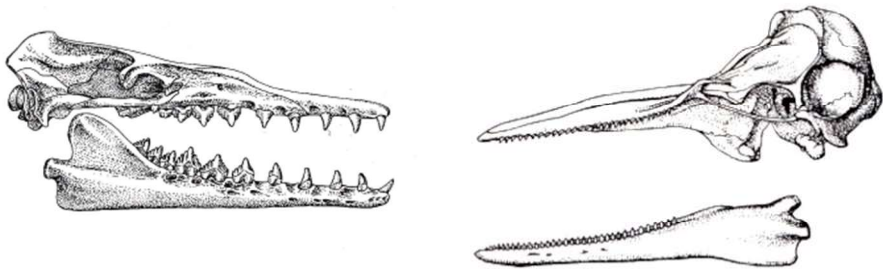


図 左が鯨の先祖の一種で  $3 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 3 = 44$  の歯をもつ。右図がイルカ沢山の歯をもつ。

これらのことから、歯は歯種を形成し、進化に沿って数と形が変化する中で基本歯式が生まれ、多くの哺乳類はそこを経て進化したらしい、ということが分かります。しかし哺乳類すべてが基本歯式ではないのです。さらに、歯種の歯の数や形、交換数などは盲点のままです。

## 歯種

視点を変え、歯を全身から眺めてみます。というのは、大まかに言えば歯と皮膚は同根の構造だからです。つまり外胚葉が口腔内に入ってきて、その上皮が歯堤となりその先に歯の原基が分化する、と考えられるからです。

われわれの皮膚の表面には稜や紋という皺(しわ)があり、皮膚小稜、指紋や足底紋、掌紋、などを形づくっています。この区分ごとに汗腺、毛あるいは垢の剥離、真皮の神経終末などがあります(哺乳類の毛並みはまた別のグループです)ので、これを皮膚の分節とみなすことができます。この皮膚の毛、羽毛の発生と分化と交代の様子と、歯の原基である歯胚分化と交換は基本的におなじです。その上、毛や爪の成分であるケラチンと歯のエナメル質の主成分のアメロゲニンの遺伝子上の位置が近いことが報告されています。これは毛と歯の近縁性を示し、歯種は皮膚の稜や紋とおなじ分節であるという考えを補強することになります。

さてヒトの歯の発生をみると、乳歯の歯堤はほぼ歯種ごとに形成されます。ほぼというのは、上顎の乳切歯は別々に歯堤ができ、乳犬歯の歯堤は乳臼歯と接して分化するためです。一応歯堤の分節として歯種が分化するといっておいてよいでしょう。



図 右は体の毛流 中は体の稜 左は指紋

ここで、先祖の歯堤を類推するためちょっと飛躍し爬虫類のワニの歯と歯堤

をみてみます。ワニの歯は大きさによる集団(大きな歯を中心にして順次小さくなる)があり、これが顎の奥へ何回も繰り返します。ワニの歯堤は、この歯の集団に対応して膨らみを繰り返しながら、顎が奥へ成長するのに合わせて伸びてゆきます。この膨らみにあわせて歯胚が出来、歯の集団が形成されます。歯堤の膨らみと歯の集団は分節なのです。

つまり皮膚の分節と歯堤の分節と歯種の分節が相関するという事です。これは爬虫類の歯の大きな歯を中心とするグループが顎の上で繰り返すのは、皮膚の分節に由来すること、さらに歯堤の分節ごとに類似した歯の形、つまり歯種形成することを示しています。

注意したいことは、ヒトの器官や組織の発生では、新しく分化し分裂することも、癒合することも、はたまた退縮し消失することも普通に認められる現象であり、歯堤の分節にも同じだということです。つまり歯堤の分節も同様に発生過程において新しく分化することも、癒合することも、分離することも、退縮することもあるのです。ただし、実際の観察でこの区別は非常に困難なのです。

これはヒトの乳歯の歯堤の発生において、上顎乳切歯歯堤が別々に分化すること、乳犬歯歯堤が乳臼歯歯堤に接して形成されることが二次的な形質であることを示しています。

以上により、皮膚の分節と歯堤の分節、歯種が相同であること、この分節は癒合、分離また消失することもあることがわかります。

これを進化の点からみると、多生歯生から基本歯式を経て進化する種類もありますが、それ以外の進化の道を辿った種類もまた多く、進化経路はそれぞれ基本的に固有だということです。これは、各種類の固有性でもあり、歯種をつくる分節それぞれに固有の特徴があることです。同時に、歯種の進化の特有性は、それぞれの種類の固有性に基づく嗜好性で、つまり食生の嗜好、咀嚼機能の固有性と深く関連して決まることも示しています。

基本歯式にとらわれず、教科書を鵜呑みにせず、現象をできるだけ素直に観察し、理解することが大切なのです。

このようにみてゆくと井尻さんの「基本歯式など無い！」が納得できます。同時に、進化発生学で Body plan として体の原型を求めています。井尻さんは「原型など無い！」ともいつていたことを思い出します。その精神を見習いたいと考え

ています。

さらにこれを発展させると、食性の固有性からくる咀嚼機能は、顎の進化、つまり歯の数も歯の形態と構造すべてが関連し、これらは顎の中の歯の成長するスペースと関連する、のです。

### 歯数

歯式にみられるように、歯の数は、一般的には基本歯式をもとにして、一つの歯種において同世代が2-4本あります。この数は、世代の減少、数の減少として、進化により少なくなったと説明されています。しかし、犬歯は1箇所につき1本しか無いことが多いので、歯種に複数あったという考えの瑕疵となっています。

しかし、恐竜などでは犬歯の位置に何本かの大小の歯があることが確認されます。さらに、原始的な哺乳類である化石のリコスクスには一カ所に2本の犬歯があり、犬歯という歯種も爬虫類からの進化過程で歯が減少したことが立証されています。これらの結果は、多生歯生からの進化に於ける歯の減少が、歯列全体でもまた歯種内でも生じたことを示しています。

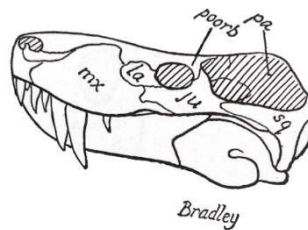


図 リコスクスの2本ある犬歯(左は <http://en.wikipedia.org/wiki/Lycosuchus> 左 Gregory より)

歯式にみられるように哺乳類の歯は、全体の歯数でも歯種による歯数でも各種類によってそれぞれ固有であり多様です。これは、各種類の固有の性質(嗜好性)にもとづく固有の食性からくる咀嚼機能、顎の形態に深く関与すること、またこれは組織構造とも関連する、ということです。

### 歯の変異

すべての歯種のなかで犬歯は、大型の牙となったり、欠如したり、隣の歯と同じ形になったりと特に多様に変化し変異します。多くの哺乳類の犬歯は一カ所に一本ですが、動物毎に特徴があり、肉食性では大型の牙となり、またゾウやセイウチ、イッカクなどでは巨大な牙となります。ただ、シロウの牙は、化石によって前歯が犬歯化(牙化)したとされています。反対にラットなどでは犬歯がありません。このように犬歯は種によって特殊な発達をする歯種です。

変異は犬歯以外の歯種でも、変形、退縮、消失、増加(過剰歯)、癒合あるいは融合など多岐にわたって認められます。

ヒトを例にとると、永久歯より原始的特徴を持つといわれる乳歯にも欠損や癒合など沢山の異常が報告されています。歯の変異が多いのは、例えば永久歯では、上顎の第二切歯、下顎の第二小臼歯、下顎の第三大臼歯に変異や矮小化、消失が多く報告されています。しかし同時にこれらの位置には過剰歯もあらわれます。

この、歯の退縮や減少、過剰などの原因を、上下顎を噛み合わせた対向歯種における端、つまり歯種と歯種の境から生じる(上下の歯を噛み合わせて同じ歯種とする理由はないことに注意)、あるいは歯列の一番奥の歯(つまり第三大臼歯)から減少あるいは変異する、とされています。

そのひとつが左右の上顎第一中切歯の間に生じる過剰歯の正中歯であり、左右の切歯の歯種の端であるためである(多生歯生の痕跡)だ、と説明されています。過剰歯の原因は、新しく歯が分化するという考えや、副咬頭が分離するとも言われます、しかし実証はされていません。

歯や歯胚が形成途中で退縮するなどの異常現象は、爬虫類でも、哺乳類でも確認されています。ヒトの歯でも、ほとんどどの歯に欠損などの異常がおこります。これらは、歯の異常が歯列のどこにでも生じる可能性があることを示しています。しかし、分離するか癒合するか、新しく分化するか、の判定はまず無理なのです。

では何が歯の異常の原因となるのでしょうか。これは各種類の歯の進化傾向が(食性、咀嚼機能、顎の形、歯の組織構造などの関係)影響し、最終的に直接的に顎の成長による歯の形成スペースが影響する、とみる方がより自然です。スペースは歯の植立(ヒトの乱ぐい歯(叢生))や歯の形態と関連します。つまり、歯

の異常は進化や顎の成長と歯の分化の関係にも求められるのです。

その意味でヒトの歯の減少は、歯槽領域の減少に関与する(21 節)とされていることは納得できます。このヒトの歯槽領域の減少は、脳の発達とのバランス(対称性)という歯と顎以外の対称的要因に原因がもとめられ、体全体のバランスから総合的に見なければならぬのです。

大切なことは、これらの異常が、動物の種類毎に特有であり、それぞれの進化経路をたどる、つまり嗜好性による、体全体から観なければならぬ点です。

## 場

ワニの歯は数十回も交換しますが、ほぼ同じ位置(顎も成長することなのですが)の歯は同じ形と大きさの歯によって交換します。これは顎の位置によって歯の形がある程度きまらることを意味しています。これを顎の「場」、あるいは「位置の遺伝」といいます。

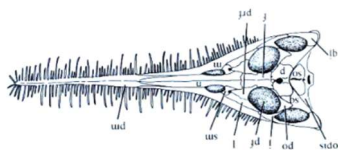


図 左はメソザウスの上顎歯列、極端な例だが歯が大きさを繰り返して歯列をつくる(von Huene より)。右図はワニの歯列。

哺乳類の一般的な歯の変化では、前歯(切歯)に似ることを前歯化(切歯化)、犬歯に似ることを犬歯化、前臼歯(小臼歯)に似ることを前臼歯化(小臼歯化)、臼歯(大臼歯)に似ることを臼歯化といいます。これ以外にも矮小歯、巨大歯、樽状歯、栓状歯、円錐歯などと言う名前がついた異常もあります。

異常の原因のうち、たとえばウシの下顎の犬歯は前歯とほとんどおなじため犬歯が前歯化したと説明されています。ちなみにウシの上顎の切歯と犬歯は失われています。これは基本歯式を基にした推定です。これとは別に切歯が基本歯式より多いという推定も可能です。これを解決するには、詳しい歯堤の発生を明らかにする必要があります。つまり、ウマやウシの前臼歯と臼歯(大臼歯)はほぼ

形がおなじで、前臼歯が臼歯化したとの説明がなされていますが、むろん別の推定(仮説)も可能なのです。

このように哺乳類の歯種(歯の形)はだいたい顎(顎骨)の位置できまり、それが前歯、犬歯、前臼歯、臼歯の歯種の「場」です。この場の基本は上顎の切歯骨(上顎骨の前にある骨、ヒトの成体では上顎骨と癒合している)に植立するのが切歯で上顎骨上の歯が臼歯(小臼歯と大臼歯)、両者の境に犬歯が植立する、というものです。

問題は、上顎の切歯骨が歯種を決める基本になっていますが、下顎骨には切歯骨のような構造がないことです。これはほとんど議論がない盲点です。

この顎の場を井尻さんは、発生途中の前と後の歯を交換すると交換した位置の歯の形になるという実験によって実証しました。これを「場の理論」といいます。これにはむろん発生時期の問題等々が含まれますが、それはいまでも解決されていません。井尻さんの研究はなお最先端であることを記しておきます。

哺乳類の中でもっとも特殊化している現生のゾウ(長鼻類)の牙は、先祖の前歯の側切歯が大型化していたため、これが牙に進化したと考えられています。それなら前歯の歯堤が犬歯化(牙化)し、さらに巨大化する因子を分泌するように進化したことになります(これとは反対に犬歯は消失する)。これは場の要因が進化でも発生でも変わることを意味しています。一方、ゾウの臼歯領域の歯堤は、複雑化と巨大化する因子を分泌するような進化をしたことになります。少なくともこのような推定(仮説)のもとに歯を研究する必要があります。

歯の形態は、裂肉歯などの例を挙げるまでもなく、歯ごとの形質、よくて上下の歯のセットでの議論が多くなされています。しかし、歯の場は、動物の種類の固有性に基づく食性の嗜好、咀嚼機能の進化と深く関与する、そこから歯列全体を関連させて検討する必要があります。

## 大臼歯

臼歯(大臼歯)は乳臼歯の奥に最初に生えるため、ヒトでは後から加わる歯と言う意味で加生歯と呼ばれています。臼歯は交換しないので、乳歯と同じ第一世代の歯です。ところが、ヒトの大臼歯の歯堤は第一大臼歯の歯堤から顎の中へ伸びるため、同世代か交換世代かはっきりしないのです。これが大臼歯の盲点です。



筆者は幸運にも、臼歯が4-5回交換するインドゾウの胎児を解剖しました。

今生きているゾウの臼歯は、ほぼ同じ場所で交換するため、同じ歯が交換するのか、多くの哺乳類と同じように前臼歯と臼歯か、乳臼歯と臼歯か、決められないのです。ヒトの大臼歯と同じ問題を抱えているのです。

ゾウの化石からは、前臼歯の交換時に、臼歯は最後の前臼歯の斜め後方から次々と現れる進化の様子が分かっています(基本的に代生歯は生え換わる乳歯の歯根の間(直下)から生えてくるため、斜めに位置することは違う歯種とみなせる)。インドゾウの解剖の結果は、臼歯の歯堤が口の上皮の裏側を奥へ進みながら歯胚を次々につくるのです。これは化石の結果と合わせると、乳歯と同様の第1世代で永久歯だということを示しています。

これを大胆にヒトの大臼歯に当てはめるとすべて同じ乳歯ということになります。しかし、ヒトでは歯肉の上皮に接して大臼歯の歯堤が伸びるわけではなく、小臼歯の歯堤が歯肉と離れて奥へ伸び、そこに大臼歯の原基(歯胚)が分化するのです。残念ながら、ヒトとゾウが同じだという決め手にはなりません。つまりヒトの第二及び第三大臼歯が第一大臼歯の後継歯である可能性も依然として否定できないままなのです。臼歯も歯種と同様に、各動物の種類毎の特徴と進化経路があるようです。

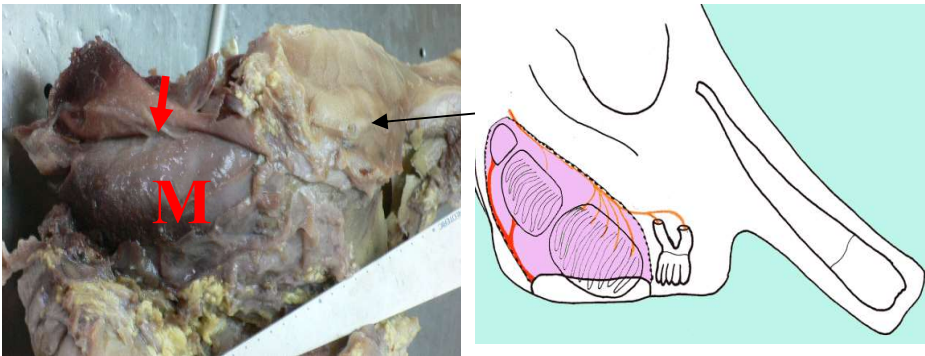


図 インドゾウの胎児の解剖、M が臼歯歯胚、うえが口腔の上皮、そのしたに赤矢印の歯堤がのびている。右はその模式図で赤い筋が歯堤。

### 上皮と間葉のズレ

歯の「場」、歯種はどのようなものなのでしょう。歯の場として、上顎の切歯骨に植立するのが切歯で、下顎の歯はこれに相応する、と一般的に説明されています。しかし、下顎骨に切歯骨は痕跡もなく、上下顎の相応はどのようにして成り立つのでしょうか。この問題は教科書には書かれていない盲点です。

問題は、歯種は外胚葉(上皮)の歯堤の分節であり、顎骨は中胚葉の分節である、と言う点にあります。歯の発生では、歯冠形成は上皮の影響下におこなわれます。これに対し、象牙質、セメント質は中胚葉領域に形成されるため顎骨(中胚葉)の分節の影響が強くなると推定されます。つまり、歯と顎骨の連結は二次的なものなのです。

これは歯胚形成と歯胚が顎骨に囲まれ結合する時期とに成長の差(ズレ)が生じることを意味しています。この差(ズレ)の影響で歯の形の特徴、ミュールライターの三徴(歯根が奥へ傾くなどの特徴)などが説明できます。つまり切歯は上皮の分節であり、切歯骨との結びつきは二次的であるということです。下顎に切歯骨がないことは、顎骨の分節の問題であり、早期に消失したと考えられます。じじつ、原始的な動物の下顎骨は複数で構成され、下顎のオトガイは軟骨性の骨化であり、骨の痕跡といえます。

このような、上皮と間葉を分節として分析する研究はあまりありません。盲点のままなのです。井尻さんの「歯式などない!」「原型などない!」なのです。

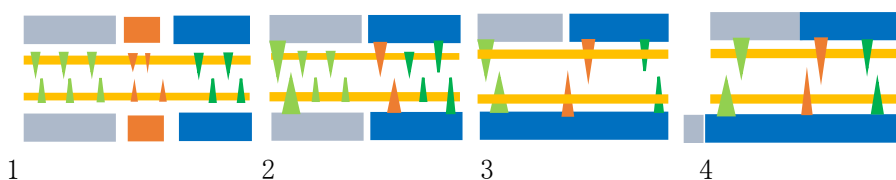


図 1 から 4 への進化の様式。外胚葉性の上皮の分節の歯と中胚葉性の顎骨の分節の成長のズレの模式図。仮に顎骨を切歯骨(グレー)、犬歯骨(オレンジ)、上顎骨(青)とする。1 図の歯は上皮(黄色)の歯種であり、骨と関連がない。2 図は犬歯骨が消失、3 図は遊離歯が消失、下顎は下顎骨のみとなる。4 図はヒトで、切歯骨と上顎骨が癒合し、下顎の一部に切歯骨相当の軟骨(オトガイ軟骨)がのこる。遊離歯の消失、歯と骨が二次的に結びつくこと、顎の骨が減少することをしめす。

### 23 歯の進化の盲点 歯は歯冠だけではない

歯は、化石に残りやすく、種類の決め手になるという理由で詳細に調べられ進化が明らかにされています。その研究から Cope-Osborn-Gregory という米国の古生物学者の師弟が「三結節説」という歯の進化学説をだしました。この学説はダーウィンの「種の起源」とヘッケルの「反復説」を視野に入れ歯の進化を説明したものです。この学説は、多少の手直しはありましたが、今日に到るまで界中で歯の進化や発生の説明につかわれています。というより進化の前提とされているのです。

たとえば、ゾウやイボイノシシの臼歯は同じ大きさの咬頭がものすごく沢山ありますが、一番手前の目立つ 3 つの咬頭を三結節として、あとは奥に付け加えられた副咬頭(距錐といいます)だと説明します。Kuraus は、ヒトの胎児の歯の発生を観察した研究者ですが、三結節説をもちいてヒトの歯の発生を説明している、というような具合です。

ところがこの説には重大な盲点があるのです。その一つは、大白歯だけの説明で他の歯について、むろん乳歯についてもほんの少ししか触れていないことです。第二の盲点は、ヒトの歯では治療のために歯根が大切でよく調べられています。歯根についてもほとんど記述がありません。これは彼らが古生物学者で、化石から種の特徴を比較し、進化を探求するというものなので仕方がない面もあります。比較には臼歯の歯冠の特徴がもっとも区別しやすいからです。

ですから、この学説にたいして、発生学者の Bolk が、歯の癒合説をだしたのです。この説は、当初は歯冠に 3 つの突起が出来、二つの歯が癒合して、ヒトなどの歯になるというものです。合計 6 つの突起となるわけですが、これでヒトの切歯を含めたすべての歯冠のかたちを説明したのです。しかし、発生学は今も昔も分化説(例えば細胞が二つに分化するなど)が主流で癒合などは余り問題とされません。また当時は進化論が巷間を圧倒していました。そのためか今でも振り返る人は余りいません。しかし、ヒトの体全体を俯瞰すると、発生途中の癒合はごく普通に生ずる現象なのです。

三結節説の盲点に気づいた研究者もほんの少しいました。井尻さん、桐野さんという私の師匠に当たる方々です。桐野さんは形がどうできるかの根拠が必要だということで、三結節説を大白歯の説明に、癒合説はそれ以外の歯の説明に使

っていました。井尻さんは、まったく別の古生物学的視点から「陥入説」を提案しています。井尻さんの学説は歯冠の咬頭は上皮の陥入によるものだというもので、体制の原則の分節にこの一つ一つの咬頭が当てはまるしごく妥当なものです。しかし、残念ながら歯根については触れていません。時代の制約とはいえ画竜点睛を欠く、のです。

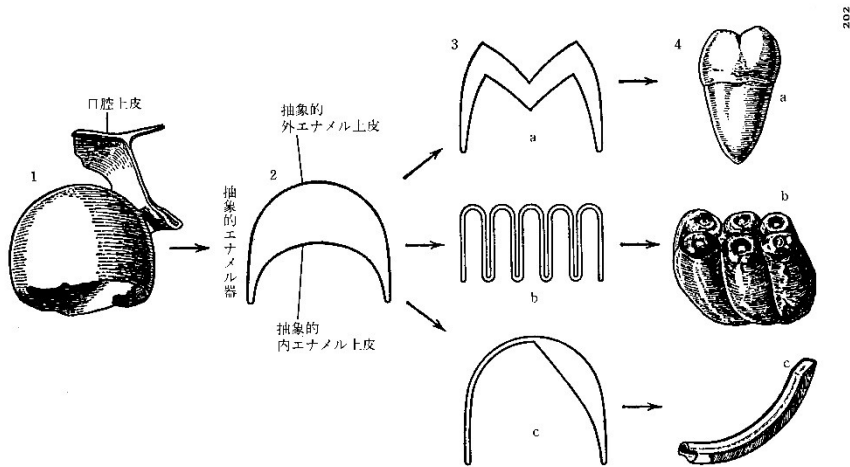


図 井尻さんによる陥入説図のb。a がヒトの歯、bがデスマスチルスの臼歯、cがラットなどの切歯。これは色々の歯を説明したものだが生歯冠のみの節である。bの一つ一つの褶曲が上皮の分節とすると納得できる。

このように歯冠は脚光をあびるのですが、歯の全体がどのようにしてできるのかの研究や学説はほとんどありません。筆者は、幸運にもヒトの歯の発生をはじめ、動物の発生を観察する機会がありました。その結果は「歯の形態形成原論」「歯の形態形成原論補遺」に詳しく書きましたが、要約すると次のようなものです。

歯冠のはじめにできる部位が、一番大きくなる部位(咬頭)で小臼歯や臼歯では主咬頭、切歯や犬歯では中心切縁結節や尖頭といわれる構造です。ここから咬頭形成が全方向へ対称的に増加するが、顎の成長によるスペースによって制御される。

歯冠から歯肉へ向かって膨らみ膨出するが、これと対称的に顎骨方向へ入る

(陥入)するのが歯根である。つまり歯冠と歯根は対称的構造である。さらに咬頭は歯冠から大きな膨らみがとして膨隆するが、これと対称的に顎骨方向へ陥入し形成されるのが咬頭に対する歯根であり、各咬頭と各根は対称的に形成され、咬頭とは歯根を持つのです。

ここから「歯冠と歯根の対称性」「各咬頭は歯根があり、歯根には咬頭がある」「各咬頭と各根の対称性」の定義がうまれます。歯根のない歯冠の膨らみは結節や副咬頭といい、咬頭のない歯根は副根なのです。これはだいたいどのような動物の歯にもあてはめられる定義です。

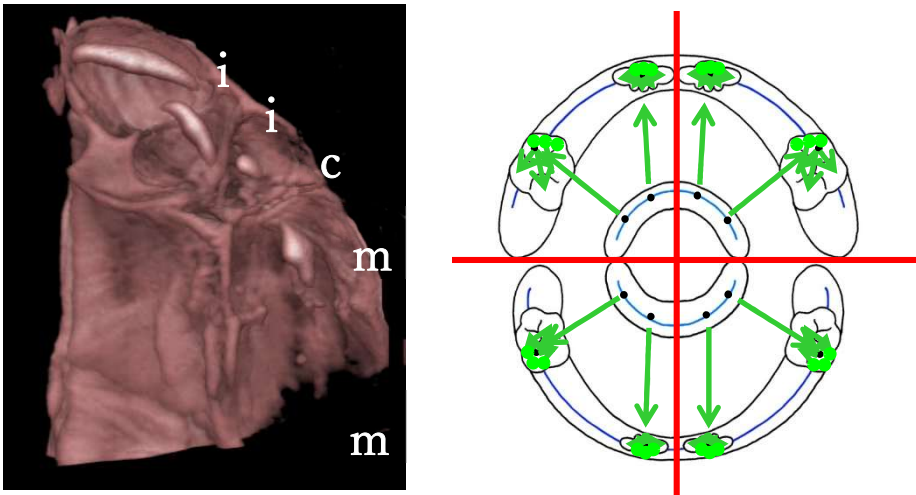


図 左図はヒトの胎児の上顎の歯冠のでき方(上顎、白い点が出る途中の乳歯、i は乳切歯、c は乳犬歯、m は乳臼歯)。右図は顎の成長と歯の成長部位を緑の矢印と点でしめしている。赤の線は上下顎、左右側の対称軸。歯は多軸対称で位置する。

しかし、これは歯の基本的な形で、歯の細かい構造や、イッカク、セイウチ、ゾウの巨大な牙、ゾウやイボイノシシの複雑な臼歯、ラットの切歯の鉄の沈着による着色などはまた別です。生物には「固有の性質」がありそこから「嗜好性」によって特徴がうまれるからです。原子など、細菌の集団、鳥の集団行動なども、固有の性質によるという報告がなされています。固有の性質がどのようにして生まれるかについては今後の研究に待たねばなりません、これは確かなようです。

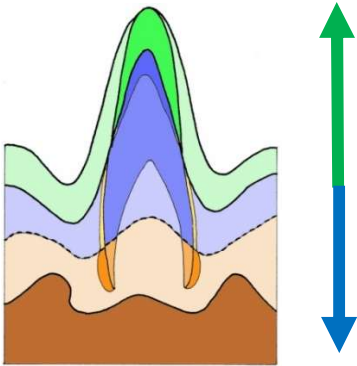


図 歯冠と歯根の対称的成長の模式図(緑の歯冠を作るエナメル質が顎の表面へ、青の歯根を作る象牙質が茶色の顎の骨へ伸びる。顎の近くの薄茶の歯根の先はセメント質などができる部位)。薄緑が上皮、薄青が真皮、薄茶が皮過疎危機。右の矢印は成長方向。

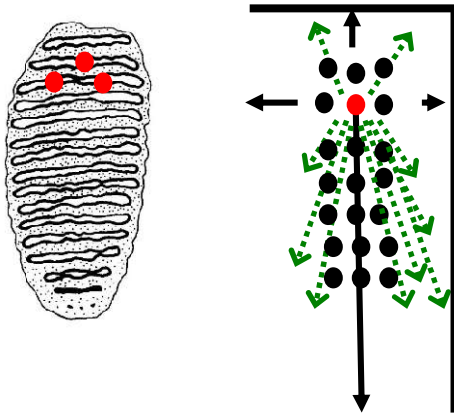


図 左がインドゾウの臼歯の咬合面。赤丸が Cope-Osborn-Gregory による最初の三結節。これ以外は距錐という。この臼歯の発生をしらべ、左図のような成長の様式がわかった。右が左のような形への成長 点は臼歯の膨らみ(咬頭)で、赤丸が最初に形成され、上(画の手前)と下(顎の奥)、右(顎の舌側)と左(顎の外側)に対称的に咬頭が増加する、しかし顎の骨(黒線、上が口の手前、左の線が顎の外側)によって成長が阻まれ、右図のような形となる(緑の点線は顎の成長に伴う咬頭の増加方向)。横長の輪は沢山の咬頭が集まって列になった咬板。

## 24 宇宙からながめる歯 体制の原則の抽出

進化を解明するためには、進化の原因と進化を保証する要因が解明されなければなりません。そのためには進化の足跡がはっきりととどれることができる化石が必要です。それは脊椎動物においては最も化石として残りやすい歯となります。

進化の原因は、現在生きている生物の変異の原因からいろいろ明らかになりつつあります。生物側の原因は、遺伝子をはじめ、代謝のすべてに現れる変異の中にあります。その中から進化に結びつく変異を特定する研究が進化発生学などとして精力的に行われています。もう一つが環境の解析です。環境と生物とは常にお互いに影響し合っています。環境の生物への影響と言っても、どのようにして代謝系へ反映し、遺伝するのか問題は山積していますが、研究は進展しています。

しかし、進化の最大の問題は、変異が進化に結びつくために、変異が万年あるいは億年間の長期に維持し保存されるのかという「変異の定着」がなければならぬということです。この変異が定着する要因、つまり保証はなにかという問題はほとんど手が付けられていません。このようななかで、歯の研究から進化の定着を保証する条件を提案したのが「体制の原則」です。体制の原則とは生物の中で、環境そして地球、その歴史とに共有するする法則であり、これに沿った変異は長期に維持される可能性が高い、というものです。

体制の原則の一つに、星雲と歯の細胞の類似性から抽出し推定した集団、周期性がありますので紹介します。

私たちの歯の歯冠はエナメル質で覆われています。エナメル質はエナメル芽細胞によってつくられますが、この細胞は太さが約  $5\mu\text{m}$  ( $1\mu\text{m}$  は 1000 分の 1mm) ですから、エナメル質全面をつくるエナメル芽細胞の数は膨大です。哺乳類の非常に複雑なエナメル質の構造は、このエナメル芽細胞が一度にエナメル質を均一に作るのではなく、エナメル芽細胞がそれぞれの種類に特有な集団(分節)をつくり、集団が互いに周期性を持って動きながら、リズムカルに織りなしてエナメル質をつくるのです。ですからエナメル質には無数の模様や、その表面に無数の皺が形成されます。この動きを「グルーピングとダンシング」といいます。

このようなエナメル芽細胞の集団と周期的動きは、歯の膨らみ(咬頭)のてっ

ペンから眺めると渦巻き状となります。この渦巻きは、NASA がとらえた星雲の渦巻きとよく似ています。このような生物の物質界と共通する普遍的法則、この場合には集団性(分節性)と周期性が体制の原則なのです。この二つの法則は物質界および生物界の各階層の安定に寄与しています。それだけではなく、一般的に、かつ長期的に観察される現象です。

これが実際の現象から抽出した、環境と体に共通の体制の原則です。

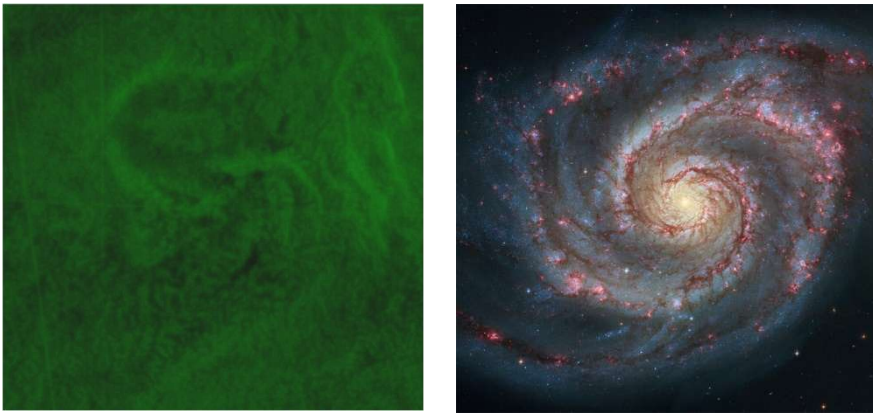


図 左図は咬頭(歯の膨らみ)から観察したエナメル芽細胞のグルーピングとダンシング(細胞の動きの原因となるアクチンを染めて観察した)、右図は星雲(M51Nebula NASA/JPL-Caltech/University of Arizona)、ともに渦状の動きをしめしている。



## 25 反省 進化と進化論には哲学が必要 医学の根拠としての進化

哲学というと身構えてしまいますが、実は切実で身近な問題です。生物の進化論は実に様々に提案されていますし、その根拠となる事実も膨大な研究結果から導かれそれぞれに根拠を持って提案しているわけです。ではどうして多様な進化論がでるのでしょうか。これは、それぞれの研究成果が、どのように偉大な研究者であっても、地球上の全生物の過去と現在の姿に比べてまったく些細なものだから、ということに尽きます。

かの「種の起源」のチャール・スダーウィンも同様です。ビーグル号に乗って地球をめぐる際に大量の採集と観察を行った結果は、確かに私どもの研究結果に比べれば膨大です。しかし、地球上の化石を含む全生物と比べれば「大海の一滴」に満たないのです。無論ほかの偉大な研究も同様です。

では大海の一滴から、大海を望むにはどうするか、これには人間が編み出した考える学問をたよるしかありません。考える学問とは哲学です。しかし哲学といっても様々な分野がある上、哲学書を読み解くのは難解です。そのため著者は自然に沿って考えるという「自然の弁証法」を応用してみました。

哲学にこだわるも理由は、井尻さんも、三木さんも、かの「断続平衡説」を出したグールドも哲学の重要性をすごく説いているのです。ドイツの医学物理学研究所において結晶学で師事した Höhling さんは、学問から生活までの哲学の大切さをつねに話していました。先達の言うことにはまず従ってそれから考えよう、ということでした。

自然の弁証法を採用した理由は単純です。「自然」という名前は進化という学問にしっくり合うし、「弁証法」には組みたてるという学問的な香りがして捨てがたいと考えたわけです。しかし、具体的に自然の弁証法を応用しようとすると、対立物とか矛盾とか相互浸透とか、残念ながら研究の現場の問題と照らし合わせると分らないことが続出します。

そこで自然の弁証法という内容をひとまずおいて、できるだけ自分勝手な解釈をしないで、研究対象に沿って整理し、理解する、ということを中心とします。問題は自分の勝手な解釈という点ですが、どの学問にも共通の問題なのであつて検討します。

さて、井尻さん、三木さん、グールドの進化についての哲学は、哲学によって

過去と現在を結びつけようとした点にあります。

井尻さんは何事によらず哲学の必要性を説いていましたが、生物の進化論においては自然弁証法を特に重要視し、生物進化の系統発生と個体発生(過去と現在の関連性のこと)を、過去(歴史性＝必然性＝論理性)と現在(偶然性)として「個体発生の合法則性(論理性)は、系統発生の必然性(歴史性)によってあたえられ(獲得され、刷り込まれ)、系統発生の合法則性(論理性(＝必然性)は、個体発生の偶然性(変異性)を通じて展開(生成発展)する」とまとめています(第5節参照)。

一方、「断続平衡説」を提案したグールドは、自分の説を強化するための2000ページ(邦訳)に及ぶ大著「進化論の構造」で哲学の分析をし、個体発生と系統発生との拘束関係として、くどいほど力説しています。三木さんは、発生学ですが、ヒトの一生を波(周期性)にたとえ、個体の周期性と系統発生の周期性が照合できる、としています。3人ともこのようにして時間の壁を突破しようとしているのです。むろんヘッケルも発生の比較による反復説で時間のハードルを超えようとしていたのです。

井尻さん、三木さん、グールド、そしてヘッケルに共通する点は、過去と現在のつながりこそ進化の鍵であり、歴史の法則のもとに現在がある、としている点です。しかし様々な進化論、とくに進化発生学や遺伝学にはこの点が欠けているようです。これは時間について「分かっている」という錯覚です。遺伝子の変化を進化の時間と対比する研究が数多くありますが、数値にすると理解していると錯覚するのです。やはり進化遺伝学にしても化石による実証がつねに求められるのです。

論をすすめると、現在は偶然つまり変異もある、ということですが、過去にも偶然是然あるということです。過去というのは化石が生きていた時代の現象です。では、進化を示す証拠、つまり化石の意味はどのようなものかという、化石の成因の研究は化石化(タフォにノミー)で明らかにされています。現在の生物学を研究している人が、「化石は進化の経路を示すには不完全だ」とよく言うのを耳にします。しかしそれは化石(歴史)を知らない人の言葉で、逆に生物学は完全なものでしょうか?と問いかけたい衝動にかられます。不完全だからこそ化石になる環境を調べ、化石の進化に関する意味を分析しているのです。

次に、自分勝手な解釈に関する問題です。自分の知らない領域の知識はいきおい文献に頼ることになります。しかし、文献の内容は書いた研究者の目と考えで表現されています、読む方もまた自分の考えで読み解きます。そこには二重三重のバイアスがかかっているということをまず念頭においておきたいのです。たとえば、Haeckel の反復説の「個体発生は系統発生急速な繰り返しである」というのが一般にいきわたっている翻訳です。そこから類似する現象が反復かあるいは否かという議論になっています。原文の訳は「系統発生を要約した繰り返しである」とも訳せるのです。この方がしっくりきます。

では自分の直接関わっていない現象を素直な事実として認識するにはどうするか？これには哲学、つまり自然な目が必要なのです。時間とは何か、進化とは何か、などに関して錯覚が起きないようにしっかりした問題意識が必要です。これを取り上げているのは井尻さん以外いないようです(悟性の問題としていました)。

この点に関しては、井尻さんの本の絵を描いていた画伯の金子三蔵さんから貴重なお話を伺いました。こどもの絵は自然を素直に映している、大人になるとゆがむからデッサンの繰り返しが必要なのだ、とのことでした。我々の領域では、さしずめ観察の重要性でしょう。

進化と生物について井尻さんは、進化つまり系統発生を「発展的弁証法」とし、個体発生を「展開的弁証法」として、個体発生は輪(円環)、系統発生は螺旋に例えています。これはストンと腑に落ちる説明です。しかし、個体発生は、子と親、つまり個体としても、あるいは集団の種、属の階層でも元に戻るかと言うと、微妙に違うと言わざるを得ません。井尻さんの表現は比喩なのです。ここに時間を入れ、系統発生と個体発生は時間の単位が異なる、ゆえに法則が違う、と解釈すべきです。時間の単位が異なるのは、階層が異なることと同様に法則が異なるわけです。

それゆえ系統発生と個体発生を結びつけるのは、時間を超えた普遍的な法則、つまり「体制の原則」(第 17 節参照)なのです。体制の原則こそ生物の必然性だということになります。これに外れるのが偶然性です。個体発生において偶然が一部に生じて、それが体制の原則に一致する場合やか、はたまた全体的に必然性の要素が多い場合には長期的に維持される可能性が高く、進化に結

びつく可能性もまた高い、ということです。

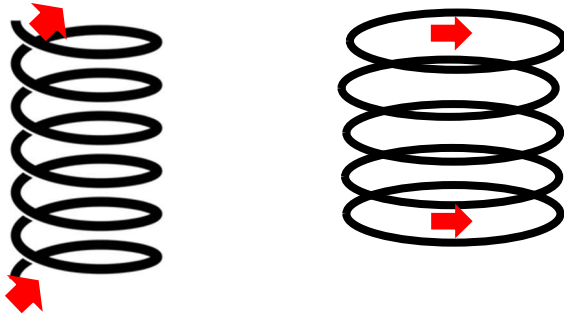


図 螺旋(発展する)と円環(もとへ戻る)。

このように生物の進化を理解すると、今の最先端医学といわれている、臓器の再生工学、臓器移植、あるいは遺伝子治療などが成功するか否かの問題は、必然的かどうかは鍵だということになります。臓器の大きさはもとより、機能の点でも親和性といわれるのは偶然性をできるだけ少なくし、必然性をおおくする努力といえらると思われます。その意味で生物の進化は医学、先端医療にも密接し必要なのです。

2024年5月31日

歯と骨の訪問教室 (小澤幸重)

<https://odontology.sakura.ne.jp/>