



『ゾウの時間ネズミの時間』サイズの生物学

1992年8月初版、2009年5月61版、本川達雄著（東工大大学院生命理工学研究科教授）

カバーの折り返し、より

動物のサイズが違うと機敏さが違い、寿命が違い、総じて時間の流れる速さが違ってくる。行動圏も生息密度も、サイズと一定の関係がある。ところが一生の間に心臓が打つ総数や体重あたりの総エネルギー使用量は、サイズによらず同じなのである。本書はサイズからの発想によって動物のデザインを発見し、その動物のよって立つ論理を人間に理解可能なものにする新しい生物学入門書であり、かつ人類の将来に貴重なヒントを提供する。

2010年6月に読書して要点と思ったところを引用編集 鈴木弥栄男

第一章「動物のサイズと時間」

(5ページ) 私たちは、ふつう、時計を使って時間を測る。あの、歯車と振子の組み合わさった機械が、コチコチと時を刻み出し、時は万物を平等に、非情に駆り立てていくと、私たちは考えている。ところがそうでもないらしい。ゾウにはゾウの時間、イヌにはイヌの時間、ネコにはネコの時間、そして、ネズミにはネズミの時間と、それぞれ体のサイズに応じて、違う時間の単位があることを、生物学は教えてくれる。生物におけるこのような時間を、物理的な時間と区別して、生理的時間と呼ぶ。

(6ページ) 寿命を心臓の鼓動時間で割ってみよう。そうすると、哺乳類ではどの動物でも、一生の間に心臓は20億回打つという計算になる。

物理的時間で割れば、ゾウはネズミより、ずっと長生きである。ネズミは数年しか生きないが、ゾウは100年近い寿命をもつ。しかし、もし心臓の拍動を時計として考えるならば、ゾウもネズミもまったく同じ長さだけ生きて死ぬことになるだろう。

(7ページ) 時間とは、もっとも基本的な概念である。自分の何にでもあてはまると、なにげなく信じ込んで暮らしてきた。そういう常識をくつがえしてくれるのが、サイズの生物学である。

第二章「サイズと進化」

(8、9ページ) ある系統の動物の化石を時間を追って調べてみると、はじめは小さなサイズのものからはじまり、だんだんと時代が進むにつれ大きくなっていく例がよく目につく。進化におけるこのような傾向は「同じ系統の中では、大きなサイズの種は進化の過程で、より遅れて出現する傾向がある」と書き表され、発見者の名をとってコープの法則と呼ばれている。・・・コープは定向進化説の強力な支持者であった。定向進化説とは、ある仲間の動物には、特定の方向に進化しようとする性質が本来備わっているのだ、とする考えである。・・・現在の進化学では、定向進化説は受け入れられていない。突然変異によって生じた形質が、自然淘汰にかけられて進化が起こるが、現在では変異そのものには方向性はないとされている。

(22ページ) 島国という環境では、エリートのサイズは小さくなり、ずばぬけた巨人と呼び得る人物は出てきにくい。逆に小さい方、つまり庶民のスケールは大きくなり、知的レベルはきわめて高い。「島の原則」は人間にもあてはまりそうだ。

＊ ＊第三章「サイズとエネルギー消費量」＊ ＊

(25ページ) 動物は呼吸により体の中に酸素を取り込む。この酸素を使って食物を酸化する。酸化の過程で発生するエネルギーは ATP (アデノシン三リン酸) に蓄えられ、この ATP という物質が必要な時に必要な所で、蓄えたエネルギーを放出して、体内のエネルギー需要をまかなっている。

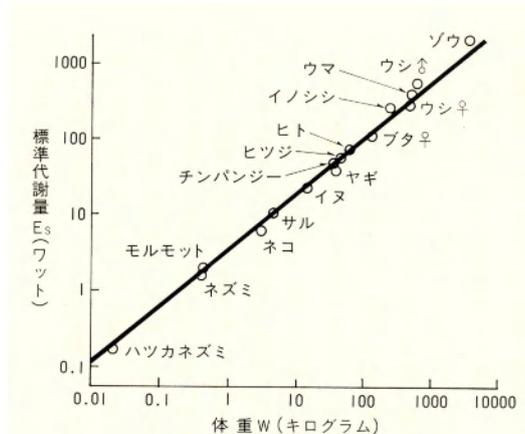


図3-1 代謝量と体重の関係(哺乳類)。標準代謝量の単位はワット。1ワットとは1秒間に1ジュールのエネルギーを使うことに相当する。(Schmidt-Nielsen, 1984をもとに描く)

(26、27ページ) 標準代謝量は、ふつう、単位時間あたりにして、どれだけ酸素を消費したか、つまり代謝の速度(代謝率)にして表す。重い方はゾウから、軽い方ではネズミまで、いろいろなサイズの恒温動物の標準代謝量を調べ、横軸に体重、縦軸に標準代謝量をとって、グラフに書き表してみよう。体重4トンのゾウから40グラムのネズミまでの値を一つのグラフに描くには、普通のグラフ用紙ではうまく描けない。・・・両対数グラフ用紙を用いて「ネズミーゾウ曲線」を描いたのが図3-1である。不思議なことに、どの点もほぼ一本の直線の上ののってくる。・・・「標準代謝量は体重の3/4乗に比例する」と簡潔に言い表ならわしている。

(46、47ページ) 日本人の一次エネルギーの消費量が4274ワット。これに食料の消費量の127ワットを加えた4400ワットが、日本人の平均的なエネルギー消費量である。標準代謝量は平均値の半分と見積もれるから、2200ワットが現代日本人の「標準代謝量」と言えないこともない。ちなみに2200ワットの標準代謝量をもつ動物を「ネズミーゾウ曲線」にあてはめて求めてみると、体重は4.3トン、つまりゾウのサイズとなる。エネルギー消費の上からみれば、現代人はかくも巨大な生き物になってしまったのだ。

＊ ＊第四章「食事量・生息密度・行動圏」＊ ＊

(56ページ) 全体のサイズが変わったら、機能や各部分のサイズがどのように変化するのだろうか。この変化の様子を記述するとき、部分を全体のサイズの指数関数として近似して書き表すやり方を、アロメトリーと呼ぶ。そしてその指数式アロメトリー式という。・・・一生の間に心臓が何回打つかなど、だれも測り続けようとはしないだろう。ゾウの心拍総数など測りはじめたら、こっちが先にまいてしまう。寿命のアロメトリー式と心拍の時間間隔のアロメトリー式とを組み合わせると、一生の間の心拍総数のアロメトリー式を導き出せ、総数はサイズに無関係だという結論が得られた。これが第一章で触れた「心拍一定の法則」である。アロメトリーというものは、たいへん便利な、予測力のある道具である。

＊ ＊第五章「走る・飛ぶ・泳ぐ」＊ ＊

(57ページ) 動物の、いちばん動物らしいところは、動くことである。走り、飛び、泳ぐことと、サイズとの関係は、どうなっているのだろうか。・・・すぐ気づくことは、大きいものほど速い、ということだ。

(59ページ) 動物たちは、ふだんは最高速で走ったり泳いだりしているわけではない。哺乳類がふつうに歩く速度は、最高速度の3%程度だといわれている。・・・なんといっても、速いのは鳥である。同じ体重で比べれば、地上を行くものの、40倍も速く飛ぶ。

第六章「なぜ車輪動物はいないのか」

(74ページ) 技術というものは、次の三つの点から、評価されなければならない。1) 使い手の生活を豊かにすること、2) 使い手と相性がいいこと、3) 使い手の住んでいる環境と相性がいいこと。・・・これらの技術がわれわれの暮らしを豊かにしてきたのは、間違いのない事実である。しかし、使い手を豊かにするという観点ばかりに重きをおいて技術の評価する従来のやり方を、考えなおすべきところにきているのもまた事実である。

(77、78ページ) 人間の使ってきた技術は、石、焼き物、青銅、鉄という、かたいものに基礎を置いてきている。それに対して動物の特性は、しなやかでやわらかいところがある。しなやかな素材は、ひれや、羽ばたきに相性がいい。かたい素材は車輪に相性がいい。われわれは、かたい技術と大きなサイズに慣れっこになってしまった。だからこそ、動物界に車輪がないと、奇異な感じを抱いてしまうのだろう。なぜ生物に車輪がないのかの、いまひとつも説明として従来からあげられてきた理由がある。車輪と軸受けとの間は、必ず途切れていなければ回転しつづけられないが、この途切れた空間を越してエネルギーを軸に与えるには、かなりの工夫がいる。つまり、回転しているものに、どうやって外からエネルギーを供給しつづけるかの問題である。この問題はバクテリアでは解決済みである。バクテリアは鞭毛をくるくる回転させて泳ぐが、このモーターは水素イオンの流れがエネルギー源となっている。バクテリアは体の内と外との間に水素イオンの濃度差を作り、この濃度差によって、濃い方から薄い方へと水素イオンがモーターを通して移動していく。つまり拡散の原理を使ってエネルギーを供給しているわけである。

第七章「小さな泳ぎ手」

(79ページ) シロナガスクジラは動物のうちでもっとも大きいもので、体長25メートル、体重は150トンにもなることがある。一方のバクテリアは直径が0.2~5ミクロン、体重が約100億分の1グラムなので、長さにしておよそ1000万倍、体重で10の18乗倍の違いがある。・・・大きいものは筋肉を収縮・弛緩させて泳ぐ。・・・さらに小さいものは鞭毛を使う。

(87、88ページ) 体長1ミリをほぼ境にして、生き物の生きている世界ががらりと変わる。小さい世界と大きい世界とでは、働く物理法則が違って来るからである。大きい世界はニュートン力学が支配する世界であり、慣性力が主役となる。小さい世界では慣性力は主役とはなり得ない。慣性力は質量に比例しており、質量は長さの3乗に比例するから、サイズが小さくなれば急速に質量が減少して、慣性力が非常に小さくなってしまふからである。小さい世界では、慣性力に代って分子間の引力が主役になってくる。環境がべたべたと粘りついてくる世界である。また、熱運動による分子の揺らぎが無視できなくなり、統計力学が支配する世界でもある。

第八章「呼吸系や循環系はなぜ必要か」

(102ページ) 循環系とは、体じゅうの水をかき回して酸素や栄養物の濃度を一定にするための攪拌装置である。従って、サイズが小さければ循環系は必要ない。サイズが小さければ、呼吸系もまた必要ない。動物は、外界から、栄養物や酸素を取り込む。これらは体の表面から入ってくるので、入る量は表面積に比例するだろう。一方、それを消費する方というのは、体の組織が使うのだから、消費量は組織量に比例し、これはまさに体積に比例する。サイズの小さいものでは<表面積/体積>は大きい。サイズが増え

るにつれ、この比は小さくなっていく。だから、サイズの大きいものほど、需要が増える割には供給が増えないことになる。そこで酸素を取り込むために特別に表面積を増やす必要が出てくる。これが呼吸系である。・・・サイズの問題は、つきつめていくと、＜表面積/体積＞の問題に多くのものが帰着する。

(112ページ) こう見てくると、肺、血管、ミトコンドリアと、おのこのステップでサイズが大きくなって、無駄なく酸素が伝わるように動物は設計されている、と言えそうである。

第九章「器官のサイズ」

(115、116ページ) 胃と腸を合わせた消化管の総重量は体重に比例する。・・・外から空気や食料を取り込んだり、それを運んだりする器官の重量や体積は体重に正比例しており、サイズが変わっても、体の中で占める割合は変わらない。・・・骨格筋の重量も体重に比例し、体重の45%と、ほぼ体の半分を占めている。・・・こう見てくると、体積に関係するものは体重に比例し、時間は体重の1/4乗に比例し、それゆえ、体積変化率(単位時間内にどれだけ体積が変化するか)は＜体積/時間＞ということで、体重の3/4乗に比例する、と言えそうである。

(117ページ) 脳や内分泌器官は、体の機能を制御しているものである。制御する方の重さが、制御される方の重さに正比例しないことは、車の鍵を考えてみれば見当がつくだろう。・・・一つの機能を制御するには、サイズにかかわらず、一つの制御系があればすむことが多いだろう。

第十章「時間と空間」

(133、134ページ) 動物では、時間が体重の1/4乗に比例する。体長の3/4乗に比例すると言ってもいい。これはたいへん重要な事実だと私は思う。学校にあがってまず習ったことの一つに、時間とは時計で測るもので、腹がへったから勝手にお昼、とはならないということがあった。自分がどう思う、どう感じるなどとは関係なく決まった時間があって、これには人間のみならず、虫も花も獣も、そして無機の自然も、すべてが従わねばならぬものである。そういう超越的絶対者が時間というものだ、と教え込まれた気がする。始業のベルは、なんとなく権威の響きがあった。ところが、時間は唯一絶対不変なものではない、と動物学は教えている。動物には動物のサイズによって変わるそれぞれの時計があり、我々の時計では、ほかの動物の時間を単純には測れないのである。動物においては、時間は体長の3/4乗に比例する。動物はそのようにデザインされていると言ってもいいだろう。動物には基本的な設計図が進化の中で出来上がっており、その設計の原理の一つが、ここで明らかになってきた体長と時間の関係である。長さというのは空間の単位だから、この関係は時空という、存在の根本にかかわるデザインである。だから、これを「動物の根本デザイン」と呼んでもいいだろう。これほど根本的なことなのにもかかわらず、このデザインについては、まだそれほど多くの人に知られているわけではなく、また、なぜそんなデザインになるのかの理由も分かっていない。

(136~138ページ) レイノルズ数は慣性力と粘性力との比であった。この比を等しくすると、サイズが変わっても幾何学的に相似な物体のまわりの流れは同じ状況になり、物体のいろいろな部分に働く力の相対的な大きさは、サイズによらず同じになる。このような状態を力学的相似と呼ぶ。レイノルズ数は＜長さ×速度＞に比例する。速度は時間が入っているわけで、レイノルズ数は同じだと状況がサイズにかかわらず同じになるということは、流体力学の世界でも、時間と空間とは相関していると言えないこともない。そして、レイノルズ数がサイズと時間とをつなぐ式である。生物におけるレイノルズ数にあたるものが見つからないだろうか。・・・つまり、力学的相似に対応するような何らかの相似関係を見つけられ

ないだろうか。動物は動くから動物というのであって、動くことがもっとも動物らしいところであろう。そして、動くということで、動物のデザインが決定されている可能性が高い。動きを理解するためには、時間と空間と力の三種の量を測らなければならない。そして動物においては、時間も力も、サイズ（空間）が変わるち、ある関係をもって変わるようになっていっていると思われる。つまり、何らかの相似関係が存在するのではないか。・・・人間は存在を三次元空間と時間とを用いて認識している。そしてこの際、時間軸は、空間の軸とは独立なものとして取り扱い、それを当然のことだと思っている。そこに突然、動物では時間と空間とは相関すると言われると、おや？と奇異な感じをもたれるかもしれない。しかし、落ち着いて考えてみれば、力学的相似の例のように「相似」という概念を持ち込めば、時間と空間とは、ある関係をもってきてしまうものであろう。だから、そう奇異に感じる必要もない。「相似」ということで一言付け加えておこう。人間は、何らかの相似性をもとにしなければ自然を理解できないのではないかと私は思っている。自然科学とは自然の内にパターン（相似性）を見つけ出す作業ではないだろうか？もしそうだとすれば、時間と空間とは、いつも相関関係をもっていると考えた方が実際的だと言えるだろう。動物をよく理解するためには、空間と時間と力、この三つに対する感覚がなければいけない。ところが、ヒトというものは視覚主導型の生き物である。空間認識はよくでき、サイズの違う生き物がいることは十分に分かる。だが、時間間隔はあまり発達してはいない。自分の時間でさえ時計を目で見ても定量的に分かる程度のものである。力の感覚は、あるにはあるが、ほとんど駄目だ。・・・多分、頭の中の時間軸は、自分に固有の時間軸だけしかないのであろう。時間に関しては、ヒトは外部には閉ざされた存在だと言えるのではないか。だからこそ、時間は絶対不変なものだと信じ込みやすいのであろう。もしヒトがもっと時間感覚の発達した生き物だったら、対象物にあわせていろいろな時間軸を設定でき、世界をもっと違った「目」で「見ていた」はずである。時間と空間の関係式も、簡単に「発見」できたに違いない。

** 第十一章「細胞のサイズと生物の建築法」 **

(140ページ) 核は遺伝情報をもっているのだから、生物のもっとも重要な部分だといっている。重要だが、遺伝情報は1セットあれば用は足りるように思われる。ところが生物の体は細胞ごとに核があり、どの核も、まったく同じ遺伝情報をもっている。たとえば、ヒトには100兆個の細胞があるといわれているから、その数にほぼ等しい核があるわけで、そんなに同じ情報のコピーを大量に持っている必要が、どこにあるのだろうか。

(142ページ) たぶん細胞のサイズは、核の「情報」の生産能力と拡散の速度によって決まる。ある上限の値をとっているのだと思われる。それが10ミクロンなのだろう。

(143ページ) 動物細胞にも、例外的にサイズの大きいものもある。神経細胞は、情報を速く遠くへ伝える役目をもっているため、必然的に細長い形をとる。

(144ページ) 動物の細胞と植物の細胞とでは、実はサイズが違う。動物細胞は10ミクロンなのだが、植物細胞はもっと大きくて、50ミクロンもある。5倍もサイズが大きいものだから、拡散だけではやっていけず、細胞内を積極的に攪拌してやる必要があり、それが原形質流動であろう。植物細胞内にはアクチンで出来たレールが敷かれており、これに沿って原形質は流動している。・・・植物細胞には、細胞のいちばん外側に立派な細胞壁がある。これは動物にはない。・・・細胞壁と液胞をもつところが、植物細胞の大きく違うところである。

(146ページ) 動物が柱と梁とを組み合わせた骨組み建築だったのに対し、植物はレンガ積み建築である。・・・このような建築法の違いは、動くか動かないかということと深く関係してくる。骨組み建築なら、柱と梁とのつなぎ目を関節にしてやれば、そこで折れ曲がったり回転できるので、体が変形して動く

ことができる。レンガ積みでは、レンガ同士すべてが貼り合わされているので、まったく動きがとれない。

(150ページ) 動物においては、細胞内の物質の拡散速度が制約となって細胞のサイズが決まっている。植物では力学条件が制約となり、サイズが決まる。制約する条件がまったく違う。これが動物と植物とで細胞のサイズが、かくも異なる理由であろう。そう私は考える。

(151ページ) 植物と動物とでは、なぜこのように輸送系の作り方に違いがあるのだろうか？植物細胞には細胞内を攪拌する輸送系が備わっているが、動物細胞にはない。細胞内輸送系があれば、それを利用して全身の輸送系を作ることができるだろう。細胞の天井と底に穴をあけて、細胞同士をつないでいけばよい。輸送される物質は細胞内の輸送系で運ばれ、次の細胞の輸送系の穴を通して手渡されていく。・・・一方、動物細胞の場合には細胞内輸送系をもっていない。そこで細胞の外側に、ポンプで体液を循環させる輸送系を別に作っているのであろう。

(153ページ) 倍数化は植物における進化の主要な機構なのである。ところが、この機構を動物は使わないし、使えない。そしてこれには細胞のサイズが関係している。細胞のサイズの進化の機構とも深くかかわっているのだ、と私は考えている。

第十二章「昆虫—小サイズの達人」

(155ページ) 身近で目につく動物といえば、なんといっても昆虫であろう。現在までに100万種ほどの動物が知られているが、その70%が昆虫である。種類の多さからいけば、地球を支配しているのは昆虫の仲間である。このような繁栄は、どうして可能になったのだろうか。非常に多くの種類がいることには、サイズに関係するだろう。昆虫のように小さければ多くの変異を短時間で生み出すことができる。これは小さいことの長所だが、短所として、外の環境に左右されやすいという点があった。

(156ページ) 昆虫は体の表面を殻ですっぽり覆うことにより、乾燥の問題を解決した。この殻はクチクラと呼ばれ、その表面にはワックスがかかっている、水が通らないようになっている。

(158ページ) 昆虫のように、体の外側をすっぽりと覆う構造物によって力を支えている場合を、エンジニアはモノコック構造と呼ぶ。モノコック構造は、柱や梁を組み合わせて造った建物や脊椎動物に見られる骨組み構造とは、ひと味違った特色ある構造である。モノコック構造は大きな荷重を支えるには適さないが、ずりやねじりの力には強い。

(161ページ) そこで昆虫は気管を発明した。昆虫の体には、体表面に何対もの穴があいている。これが気管の開口部で、ここから細い管が枝分かれしながら体の奥まで入っており、組織の中に潜り込み。細胞の表面まで達している。これが気管系と呼ばれるものである。気管はクチクラで内張りされており、管壁を通して水分が逃げることはない。・・・気管の先端の方で細く枝分かれして組織に入り込んでいるが、この部分の太さは、昆虫のサイズによらず、直径0.3ミクロンである。これは空気中の酸素の平均自由行程の2倍。この事実の意味することは、これ以上直径が細ければ、酸素分子は壁に衝突する頻度が高くなり、拡散速度が遅くなる恐れがあるということである。

(162ページ) 昆虫の血液中には、哺乳類の何10倍もの濃さで糖類が含まれているが、これはあまり性能の良くない循環系で、激しい運動をする飛翔筋に燃料を供給する一つのやり方かも知れない。

(163ページ) 昆虫は成長のたびに脱皮する。かたい殻ですっぽり覆われているのだから、体を大きくしようにも、そのままでは出来ない。・・・脱皮というのは費用と危険を伴うものである。・・・極めつけが、体の奥深くまで入り込んでいる気管を脱ぎ捨てることだ。

(164、165ページ) だから、サイズが大きくなればなるほど、脱皮はますます難しくなると想像でき、そのため、あるサイズ以上には、昆虫は大きくなれないのではないかと。気管を脱皮する難しさが、

昆虫のサイズの上限を決めていると私は考えている。・・・昆虫は気管系があるから、小さいサイズにかかわらず、陸上という乾燥した場所で、飛翔というエネルギーを短時間にたくさん使う運動法を駆使して生きている、という話をしてきた。ところが、昆虫は生まれたときから飛んでいるわけではない。芋虫から蝶へと変身して、はじめて大空へ舞い上がるのである。昆虫の大きな特徴は、この変身（変態）である。なぜ、こんなことをするのだろうか？

（168ページ） 昆虫は変態（羽化）を節目として、食性と運動法を切り替える。幼虫期は、あまり動かさず、ひたすら食う。このときには胃袋が重くてもいい。羽化して成虫になると、飛び回ることが最優先になり、消化のいいものだけを食べる。なかには成虫になったらまったく食事をしないものもいる。このように昆虫は変態することにより、小さいサイズの短所を解消した。昆虫の生活は、まさにサイズと密接にかかわっているものなのである。

（169ページ） 私は植物の命は細胞壁だと思っている。もちろん葉緑体も命の源なのだけれど、これは共生体だという説が有力なので、借り物として除外すると、植物を特徴づけ、植物の存在基盤をなしているのは細胞壁だと考えたい。セルロースの細胞壁を作れたからこそ、植物は海から陸へと進出できた。つまり、細胞壁は乾燥を防ぎ、重力による体の重さを支えることができた。そしてなおかつ、動かないにもかかわらず、陸上に上がってきた動物たちを食い尽くされもせずに、今でも、この地上を緑に覆っている。セルロースは多糖類だから、分解されれば大変いい栄養になる。しかし、ちょっとやそつとで分解できないほど巧妙なしかけを、セルロースに施していることの証ではないか。そう私は考えたい。

＊ ＊第十三章「動かない動物たち」 ＊ ＊

（176ページ） サンゴと木とを並べて考えると、1本の木とは、果たして個体なのだろうか、という疑問が起きる。もしかしたら、木では細胞1個が個体で、1本の木は個体的細胞の集まった群体かも知れない。・・・植物は群体的な個体と考えると理解しやすい。人参の細胞1個を取り出して、うまく培養すると、それから1個の人参を再び作ることが出来る。サンゴの群体から1個体を取り出して飼育すると、無性生殖をつづけ、新たな群体となる。しかし、ネズミから細胞一個取り出しても、それからネズミを作ることには出来ない。動物細胞は、体を支持する機能は支持系に任せてしまって、他のいろいろな機能を果たすために特殊化している。それに対し、植物や珊瑚のように同じユニットが集まって出来ているものは、個々のユニットが小さいながら全能だから、その1個をもとに全体を新たに作ることが出来るであろうし、失ったユニットを再生する能力も強いのだろう。

（178ページ） 貝は幾何学をよく知っている。サイズが変わっても形は一定に保たれるのはどんな形か？という質問に、ちゃんと正解を出したのだから。しかし、正解はこれしかない、ということは、他の形をとりたくてもとれないということである。・・・脱皮や等角ラセンという手の込んだ成長方法を用いずに、しかも外骨格を持つ。これがサンゴや木のやり方である。つまり、個体としては成長しない。そのかわり、個体を沢山作って群体として成長する。

（180ページ） 個体には寿命があるが、群体としては、新しい個体が付け加わっていくので、寿命はない。固着性の生物にとって、土地というものは最大の財産である。

＊ ＊第十四章「棘皮動物—ちょっとだけ動く動物」 ＊ ＊

（217ページ） われわれ自身も含めて、普段目にする動物は、よく動くことを第一に考える「運動指向型」の動物である。すばやくダッシュして餌を捕え、また捕食者から逃げる。これらは、よく発達した

筋肉系と、それを巧みに操る神経系とを持ち、その支持系はしなやかで軽い。サンゴをはじめとする動かない動物たちは、「防御指向型動物」と呼んでいいだろう。動かないのだから、よい防御がなければ、捕食者にやられてしまう。そこで、分厚くかたい殻を持つ。だから支持系は重く、しなやかさに欠け、動こうにも動けなくなってくる。動かなくていいので、運動系や神経系は発達していない。

あとかき

(221ページ) サイズを考えるとということは、ヒトというものを相対化して眺める効果がある。私たちの常識の多くは、ヒトという動物がたまたまこんなサイズだったから、そうなっているのである。その常識を何にでもあてはめて解釈してきたのが、今までの科学であり哲学であった。哲学は人間の頭の中だけを覗いているし、物理や化学は人間の目を通しての自然の解釈なのだから、人間を相対化することはできない。生物学により、はじめてヒトという生き物を相対化して、ヒトの自然の中での位置を知ることができる。今までの物理学中心の科学は、結局、人間が自然を搾取し、勝手に納得していたものではなかったか？