

2. かたちの着眼点

自然界にみる構造形態

渡邉邦夫 構造設計集団<SDG>

「構造技術」は、力学や物理学、幾何学、材料学、解析学、それに生産論、工法論などの理論的な理論展開と研究成果をもとに発展してきた。現在の技術情報の急速な拡がりは、構造のあり方についての選択肢を無限に拡げる原動力となっている。それは今までの建築構造技術の領域に留まらず、航空、造船、橋梁、車輛などの他の多くの先端技術、工学、工業にまたがる再編成が促進されつつある。

一方「構造設計」は、これら多様な構造技術を背景にして、個々の構造設計者の個性や価値観、美学などの感性的な要素が大幅に参入してくる。先の「構造技術」の理論的な要素とこの感性が融合したとき、筆者はそれを「構造デザイン」と呼んできた。

その「構造デザイン」に立脚すれば、動物とか植物、魚介類の生み出した力学と造形との見事な一致は、自然の摂理に従った構造であり、永い試行錯誤で育まれた進化の過程の結果であり、誰にとっても永遠に感嘆の対象であり続けるだろう。想像力の宝庫としての自然をさまざまな角度から観察することは、「構造デザイン」を考えると、欠かすことのできない立脚点である。

しかし、ロマン溢れる自然との付き合いの時代はすでに終焉した。現在では、人間と自然環境との相互関係が深刻に関わり始めたばかりでなく、現実環境破壊による現象として現れてきた。最もわかりやすいの

が気象異常である。異常気温、台風、地震、ハリケーン、津波、集中豪雨、どの災害も極端に異常だ。明らかに、地球のもっていた自己完結型自浄作用が破綻している。美しい花びらを観察しながら独特な構造空間を夢想することよりも、いまやエンジニアは、個人の力ではどうしようもない恐怖感を憶える場面が、やたら多くなってきたのである。気象異常は、根本的に地球上の生態秩序を狂わせ、もう二度と元には戻れないのである。

「生物物理学」へ

生物の進化の過程で見られる、その生命維持システムと環境との調和と融合、種の保存や継続に対する食欲な意欲、それが結果として織りなす形態は、不可思議な、神秘的な世界として認識されがちである。しかし、そこにも毅然たる論理的必然性があることが19世紀中頃から証明されてきた。

「生物学」は広義には、生物の構造、特性、行動が対象とされ、形態学、生理学、解剖学、細胞学、病理学、生態学、遺伝学などの広範な研究で成り立っている。20世紀初頭までは、「生物学」は「物理学」の反語として使われてきた。生命を対象にした「生物学」に対して、「物理学」は生命をもたないものを対象にする学問であるとみなされてきた。

「物理学」では、力学、熱、音、光、磁性、電磁気、原子構造など各種の専門分野に分類されてきたが、科学の進歩に伴って各分野の境界は消滅しつつある。天文学は19世紀後

半から天文物理学となり、原子物理学や核物理学と頻繁な交流が行われているし、気象学は、現在では主として大気を扱う物理学である。化学と物理学とは両者が絶えず寄与しあってきたという意味で、すでに不可分である。

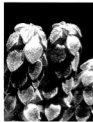
生命に関連する諸科学を広範囲に扱う「生物学」と、宇宙そのものの秩序を扱う「物理学」の境界さえも、現在は消滅しつつある。それらは統合されて「生物物理学」として成長してきた。

したがって、地球の生態系を考えるとときには、グローバルな「生物物理学」に立脚しなければ、その謎を解き明かすことができない。さらに、現在進行中の地球生態系の破壊から、どう脱却すべきかという命題に対しても「生物物理学」が基本となる。

生態系を考えると、常にこの相反する二つのアプローチが必要になる。すなわち、われわれは生態系から何を学び取るかと、生態系の維持保存はどうあるべきかの二つのテーマである。この両者を論じるには膨大な紙数が必要で、ここでは、前者だけに絞ることにした。本当は、後者の問題の方が遥かに深刻にして重要だと思うが、相応の特集テーマのときに寄稿したいと思う。

自然の必然性と生物進化の理論

自然が生み出すさまざまな形態、それに生物の秘密、それらは神が創造したのではなく、ごく自然の摂理の中で進化したものだ。その必然性を学ぶことが、生物物理学を経由



01



02-a



02-b



03-a



03-b



04



05-a



05-b



06



07



08



09



10



11

01 ベペロミア (多肉植物)

多肉植物とは栄養器官が多汁で、乾燥に耐える植物群を指す。このベペロミアは、葉の長さが約1cmで、表面は半透明のレンズ状である。

02-a, b オオオニバス (水上植物)

アマゾン川のよどみに浮かび、その葉面に発達した強固な構造をもつ。葉脈には中空になっている部分があるので、葉を浮かせておくことができる。

03-a, b オジギソウ (可動植物)

いつもは太陽に向かって葉を広げ光合成で成長しているが、外敵からの刺激を受けると、接合部に水圧が働き葉は閉じる。さらに、葉全体を垂れ下げ茎に生えたトゲをむき出しにして対応する。

04 ウツボカズラ (食虫植物)

ウツボカズラは、つるの先に水の入ったカップ状のつぼをもち、雨の滴りて昆虫を誘う。虫が

入るとずべて水に落ち、やがて消化する。

05-a, b シメコロシノキ (寄生植物)

寄生植物であるシメコロシノキは、最初は茎に巻き付けた樹の周囲に集積した植物のクズから養分をとりながらゆっくりと成長するが、根葉に根が固いて土壌から養分を摂れるようになると、急速に成長は促進され、宿主の樹木を根で巻くようにし、やがては宿主を締め殺してしまう。宿主が枯れた後も、シメコロシノキは中空の塔となって自立する。

06 デイジーの花のクローズアップ (ミクロの粒子、花粉)

花粉も異質的な造形の一つで、サイズは150,000-14,000nmで、形状もさまざまだが、その表面は幾何学的模様で覆われている。

07 ハネフクベ (飛ぶ種子)

植物の種子は、親の根元に落ちて発芽したところで十分な養分や日光が得られるとは限らないので、より遠くへ飛ぶ技術を開発した。ハネフクベの種子は幅15cmくらい大きさ

でグライダーのような形状をもっており、大きな円を描きながらゆっくりと落ちていく。

08 キヌガサタケ (運ばれる種子)

レースのような傘から悪臭を発するが、ハエはこの匂いに引き寄せられ、傘の表面の粘着質の中に含まれる糖分を食べにやってくる。ところが、この粘着質の中には胚子が含まれているため、ハエは胚子の運び屋として利用されるのである。

09 バードケージプラント (動く種子)

砂漠の中の比較的よい環境に生息するバードケージプラントであるが、日ごとに悪化する砂漠の環境下で生き延びることは難しい。枯れたバードケージプラントは、オレンジくらい大きさのカゴ状になり、そのサヤの中の種子が育つ場所を見つけるべく、風に吹かれて砂漠をさまよう。

10 ミツバチの巣 (巣と技術)

巣は貴重なハチミツを材料としてつくられる

して、われわれの構造論へと広がっていく。

ある新しい種が生じるときには、その構造や機能や行動は、それがその環境の中で生存していくように特別に調整されている。その調整は、現に作用している物理的影響と、すでに確立された生物的要因の両方に適応するものでなければならない。新しい種は環境に完全に適応するか、他の環境に移住するか、または死滅するかは三つの選択肢しかない。

自然界から構造デザインに関する多くを学びとろうとすると、生物進化の理論を理解する必要がある。イギリスの博物学者C.R.ダーウィン(1809~1882)が記した種の変遷についての初期のノートに、生物の生存競争には選択作用が働き、「ある環境のもとでは都合のよい変異は保存され、都合の悪い変異は絶滅しやすい。その結果として新しい種が形成されることになる」とある。1859年11月にダーウィンは、「種の起源」(自然選択による種の起源。すなわち生存競争において有利な種族が存続されることについて)を出版した。その前年の1858年7月に、A.R.ウォレス(1823~1913)はリンネ学会で、「変種が原型から無限に遠ざかっていく傾向について」という論文を発表した。ここでは、生存競争、動物の増加率なども論じられ、結論として次のように述べている。「最も健康で強壮なものだけが生存を続けることができ、最も弱くかつ不完全なものは常に落伍することになる。自然選択の考えは明快である。ハヤブサやネコ族の強力で伸縮自在な爪は、それらの動物の意志によって生育したものである。かつてまだ体つきの発達していなかったころのさまざまな変異のうち、餌を捕まえるのに最も都合よくできていたものがいつも最も長く生き残った。同じよ

うに、キリンにしても、より高い木の葉に届きたいと思って頭が長くなったのではない。祖先の中に普通のものより長い頭をもった異変が現れると、それらは、より短い頭をもった仲間と同じ土地に住んでいても、新しい範囲で植物の葉を確保できるようになり、食物不足の時期にも彼は生き延びることができたからである」

ダーウィンやウォレス以前にも「進化」を考えた者はあったが、彼らに匹敵するほどその証拠について綿密に調査し、それを分析し、整理するものはいなかった。ダーウィンは、神秘的なものや根拠もない空想を交えることなしに、進化がいかんにして起こるかを科学的に説明したのである。ダーウィンが行った指摘の最も重要な点は、動物や植物の進化、それらの適合が、超自然的なものを考えなくても、普通の自然法則だけで説明できるという点にある。

しかし、ダーウィンにとって唯一不可解だったのは、かくも多くの変異がどうして起こるかを正確に説明できないことであった。それを正確に、論理的に解を発見したのが、オーストリアの植物学者、G.J.メンデル(1822~1884)である。粒子的で他に影響されることなく過去の変化を保持し、さらに、ときおり突然変異によって変化する「遺伝因子」によって説明されることになる。

膨大な時間をかけて進化したさまざまな現実から、何を飲み取り、そこにわれわれの構造デザインとの共通性をどう見出すかは、まさに構造設計者の感性に根ざした個性の部分である。実感としていつも思うのだが、「力学」に忠実に構造形態を追跡していくと、最後に到達する私たちは、自然の造形物に酷似して行く。「生物物理学」の必然性を感じるのである。(わたなべ くにお)

ため、最小限の材料しか使わずに、安全で揺るぎない構造をもたらすことが要求される。これに対してミツバチは、蜜蝋の壁に三方向に120度の角度で集まる角形の基本配列を用いて、巣穴の大きさ、壁の厚さもほぼ一定につくる驚くべき技術によって解決している。

11 クモの巣(巣と技術)

クモは最初に1本の糸の端をかける。これを繰り返して放射状に骨組をつくり、巣の中心から外側に向かって、仮の足場の螺旋をかけたかたちを固定する。その後、巣の外側から中心に向かって、螺旋を描きながら糸を張る。この作業の中で、最初の1本の糸をかけるのが最も難しく、小さい巣であれば、適当な場所に固定してから、糸を後ろに引きずったまま次の固定場所に行けばよいのだが、大きい巣では、クモは短しおろ糸を出し、塵に吸かれて糸が木の枝かほかの支持物にまとわりつくまで待っているのだ。その位置は風の方角によって決まってしまう。1本の糸がええ決まってしまうえば、その後は30分かつ1時間程度で巣は完成する。

12 ハシブトハタオリドリ(巣と技術)

ハタオリドリの巣は、クチバシだけで極長い葉を結び合わせて巣をつくる。結び方もさまざまで、半結びや引結びなど人間発達の結び方を駆使する。

13 アメンボ(昆虫の行動と技術)

体が軽く、その足の先が毛に覆われているために水をほしくアメンボは、表面張力を利用して水上に浮くことができる。

14 a、b オニヤンマとカモメ(機能と形態)

鳥類は、羽ばたきや流線型の断面をもった翼の形状を微妙に動かして、翼の下側の気流の速さをコントロールし、その圧力差によって揚力や推進力を得て飛ぶが、昆虫の場合は、その大きさにわりに軽い体重や強い弾力性を活かして、軽いながらも膜によって補強された羽を速く8の字に羽ばたかせることによって、揚力と推進力を得て飛ぶ。トンボの場合は、その羽ばたきは毎秒20~40回である。

15 カエル(機能と形態)

両生類であるカエルの後足が、よく発達した強力なつま先をもつことは、上手に泳いだり、よく跳躍したりする能力に関係している。動物のもつ筋力は、時間とともに変化するエネルギーの推移を連想させる。

16 イルカ(機能と形態)

一生泳いで暮らす魚類に比べて、泳ぐことによるエネルギーロスは、少ないが望ましい魚は流線型の体をもつことで、摩擦抵抗を減らしてきた。特にイルカは、皮膚の表面のスポンジ層で圧力変動をコントロールし、秒速8m(時速30km)のスピードを制御する。



13



14-a



15



16



14-b



19-a



19-b



17



18



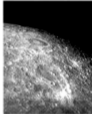
20



21



22



23

17 輝コバルト鉱の結晶 (鉱物の造形)

長い年月の間に、高い圧力や熱を受け続けることによって、岩石や地層はその性質を変化させる。鉱石に形成したものの中には、その鉱石の結晶が見られることがある。輝コバルト鉱は、立方体や90°角12面体に結晶する。

18 輝安鉱の結晶 (鉱物の造形)

日本を代表する美しい柱状の鉱物。鉱物の生成には人物のスケールを遙かに超える長い年月を必要とする。

19-a, b ヒマワリ、マツカサなど (自然に現れる螺旋パターン)

自然界には、多くの螺旋(ターン)が見られる。ヒマワリやマツカサの場合では、現存するものと同じ要素が中心から増加することで、螺旋を形成する。

20 オウムガイ (自然に現れる螺旋パターン)

オウムガイや多くの巻き貝の構造は、殻の中に住む本体が成長するに従って自分のサイズに合う相似形のスペースを足し続けることによってできた対数螺旋である。

21 雪の結晶 (自然の現象と造形)

水は一面平上で六方向に成長する特性をもち、雪の結晶は、過冷却の水蒸気が結晶に降りつ

ていくことによって成長する。突起の先端がどのように成長するかは、そのときの気象条件によって微妙に影響され、さまざまな美しいかたちで成長する。

22 樹木 (自然の現象と造形)

樹木の形態は、外力や気象条件によって左右される。幹は受けた応力に従って成長し、枝は葉が日光を得られるように成長する。

23 月 (星)

太陽光を浴びて輝く地球唯一の衛星。古くは月の照明としてきわめて重要であったし、月の観測がニュートンの万有引力の法則の発見の鍵になったのを始め、物理学の発展に重要な役割を果たしてきた。地球上の現象で、月の重力の影響によって起こる現象は潮汐現象である。

【図説出典】

01: 日本多肉植物の会編: 原色多肉植物写真集, 誠文堂新光社, 1984年
02-a, b, 13, 14-b: ヘルムート・トリプツナー著, 渡辺正訳: 動物たちの生きる知恵, 工作舎, 1996年
03-a, b, 04, 05-a, b, 06, 08, 09: デービッド・アッテンボロ著, 門田祐一監訳, 手塚勲・小坂民志訳: 植物の私生

活, 山と溪谷社, 1998年
07: フェリックス・パトリック著, 土田元義訳: 驚異のデザイナー 植物の織りなす不思議な世界, 白揚社, 1980年
10, 19-b, 21: 三井秀樹: フラクタル造形, SD選書235, 丸善出版会, 1996年
11: 志村史夫: 生物の超技術, 講談社, 1999年
12: 岩合光昭: ANIMALS 地球の野生動物, 山と溪谷社, 1998年
14-a: 湯野和男: 昆虫 身近な昆虫347種, 成文堂出版, 1993年
15: 松井正文: 両生類の進化, 東京大学出版会, 1996年
16, 20: THOMAS A. McMAHON・JOHN TYLER BONNER著, 木村武二・八杉貞彦・小田多恵子訳: 生物の大きさとかたち—サイエンスの生物学—, 東京化学同人, 2000年
17, 18: 湯野和男: 美しい動物図鑑, 草思社, 1992年
19-a: 高木隆尚: 「かたち」の探究, デイヤモンド社, 1978年
22: P・オットー—ほか著, 岩村和夫訳: 自然な構造体, SD選書210, 丸善出版会, 1996年
23: 松井孝典: 宇宙史, 徳間書店, 1999年