

平成30年度
地球環境『自然学』講座
第7回

テーマ

「昆虫ミメティクス:驚異の生理・形態・生態から学ぶ」

講師

京都大学名誉教授
藤崎 憲治 先生

平成30年7月14日

認定NPO法人・シニア自然大学校

講師プロフィール

藤崎 憲治 (ふじさき けんじ)



1. 経歴

1947年福岡県生まれ。京都大学大学院農学研究科博士課程修了。農学博士。沖縄県農業試験場主任研究員、岡山大学農学部教授、京都大学大学院農学研究科教授を経て、京都大学名誉教授。専門は、昆虫生態学、応用昆虫学、個体群生態学。これまで個体群生態学会会長、日本応用動物昆虫学会会長、日本昆虫科学連合代表、日本学術会議農学委員会応用昆虫学分科会委員長などを歴任して、昆虫科学や生態学の発展と普及に努めてきた。

2. 現職

京都大学名誉教授

アスクネイチャージャパン アドバイザー

3. 著書・発行物 (年代順)

伊藤嘉昭・法橋信彦・藤崎憲治 (1980) 動物の個体群と群集 (生物学教育講座七巻)、東海大学出版会。
伊藤嘉昭・藤崎憲治・斎藤 隆 (1990) 動物たちの生き残り戦略。NHK ブックス、日本放送出版協会。
中筋房夫・藤崎憲治・内藤親彦・石井 実・甲斐英則・佐々木正巳 (2000) 応用昆虫学の基礎、朝倉書店。

藤崎憲治 (2004) 昆虫における飛翔性の進化と退化。飛ぶ昆虫と飛ばない昆虫の謎、藤崎憲治・田中誠二編著、東海大学出版会。

藤崎憲治・鳥飼否宇 (2008) 群れろ！昆虫に学ぶ集団の知恵。エヌ・ティー・エス。

藤崎憲治 (2009) 昆虫から学ぶ科学。昆虫科学が拓く未来、藤崎憲治・西田律夫・佐久間正幸編、pp. i-ix. 京都大学学術出版会。

藤崎憲治 (2009) カメムシはなぜ群れる？離合集散の生態学、学術選書、京都大学学術出版会。

藤崎憲治 (2010) 仮想温暖化装置を用いたミナミアオカメムシの発生予測。地球温暖化と昆虫、桐谷圭治・湯川淳一 編著、全国農村教育協会。

藤崎憲治 (2010) 昆虫未来学―「四億年の知恵」に学ぶ。新潮選書、新潮社。

藤崎憲治 (2011) 生物多様性がもたらす技術革新。次世代バイオミメティクス研究の最前線―生物多様性に学ぶ―、下村政嗣 監修、シーエムシー出版。

藤崎憲治・大串隆之・宮竹貴久・松浦健二・松村正哉 (2014) 昆虫生態学、朝倉書店。

藤崎憲治 (2015) 絵でわかる昆虫の世界 進化と生態。講談社。

など多数

昆虫ミメティクス：驚異の生理・形態・生態から学ぶ

京都大学 名誉教授 藤崎憲治

昆虫は分かっているだけでも100万種余り、種の同定が進めば将来的には500万種、あるいは1000万種にも達すると言われている。現時点で生物の中で2/3、動物の中では3/4の種数を誇る、種多様性がもっとも高い、進化的に成功した生物群である。また種多様性だけでなく形態や生活様式の多様性にも目を見張るものがあるし、バイオマスにしても全人類の約15倍を超えるものと推定されている。

アメリカの科学誌サイエンスに近年発表された論文によれば、昆虫が地球上に出現したのはオルドビス紀の約4億7900万年前に遡ると言われている。陸上植物の誕生が約5億1000万年前と推定されているので、昆虫類は陸上の生態系を作り出した最初の生物群の1つだったと言える。昆虫はかつて、ムカデやヤスデなどの多足類の祖先から分化したと考えられていたが、近年の進化発生生物学は、遺伝子解析の結果から、系統的にもっとも近縁の節足動物はエビやカニなどが含まれている甲殻類であることを明らかにした。

昆虫は出現後、現在に至るまで幾度も地球環境の大変動に見舞われてきたが、その過酷で長大な進化的歴史を通して、環境変動を生き延びるための方策や地球上の資源を有効に利用するためのさまざまな方策を進化させてきた。その中でも最大の発明は翅であり、その結果としての高い飛翔能力であった。昆虫は地球上で最初に空中に進出した生物なのである。昆虫の翅の期限については、かつては胸部の横にある皮膚が外側に発達してできたという説が有力であったが、昆虫の祖先にあたる甲殻類の二枝型付属肢のうちの鰓脚が体の上部に移動して翅になったという付属肢変形説が有力視されつつある。もしそうであれば、昆虫の翅は鰓が変化したものだということになる。昆虫の翅は無から有を生じるような進化的発明などではなく、既存の形態を再利用した結果なのである。逆に言えば、生物の進化というものは、手持ちの遺伝子を様式を変えながら再利用しているに過ぎないことを、このことは物語っている。

昆虫はまた、生態系の中で、植物をはじめとする他の生物たちとの複雑で巧妙な生物間相互作用や共進化を通して、植食者や捕食者などの消費者、花粉媒介者、あるいは分解者として、生態系の存続の上で必要不可欠な存在になっていった。昆虫がこのような繁栄を獲得するために発達させてきたその生命機構は、地球上における生物が究めた一つの到達点であると言えよう。

昆虫の多様性は深海を除く地球上のあらゆる場所に生息していることにも表われている。それは飛翔による高い移動分散性と環境への高い適応能力の所産である。変温動物である昆虫はもともと高温多湿な低緯度の熱帯で誕生したが、やがて高緯度や高標高でより寒冷な地域、あるいは砂漠などの乾燥地域に進出するにつれて、新たな種分化を起こしながら、その地域の気候に適応していったものと考えられている。昆虫は他の生物が棲めないような極端な環境にも進出した。マイナス65℃以下になる南極に生息するトビムシや氷河にのみ生息するセッケイカワゲラなどがいるかと思えば、40℃以上の土地にも生息するトビムシ、ユスリカ、ミギワバエなどがいる。アフリカの乾燥した砂漠にはネムリユスリカがいる。水たまりが干上がると乾眠休眠して仮死状態となり、降雨があるまで何年も生存できるという。海水の水面にはウミアメンボやシオアメンボが生息し、浅い海中にはウミユスリカがいる。塩田にはオオツノハネカクシが、油田にはセキユバエがいる。火山の有毒ガスを放出する硫黄孔にさ

え、ハンミョウやユスリカの仲間が生息している。昆虫は極端で特殊な環境にも適応してきたのである。このような高い環境適応能力により、昆虫は地球上に満ち満ちるようになった。地球が“虫の惑星”と言われる所以である。

このように地球上で圧倒的な存在である昆虫類は、近年、バイオミメティクスあるいはバイオミミクリーという新規工学技術のモデルとして、注目されている。

バイオミミクリーの提唱者の一人、ジャニン・ベニユス女史によれば、それは「生物の天分を意識的に見習う、自然からインスピレーションを得た技術革新」と定義される。バイオミミクリーの基本的な概念は、次の3つである。

1. モデルとしての自然 (Nature as model)
2. 尺度としての自然 (Nature as measure)
3. 師としての自然 (Nature as mentor)

1は自然の優れたデザインや機能などをモデルとして模倣し、人間生活に役立てること、2は革新的な技術の正しさを生態学的な物差しで測ること、そして3は、自然と人間とのあるべき関係を師としての自然から学ぶことを意味している。「バイオミミクリー革命」とも呼ばれるこの思想は、産業革命とは異なり、自然界から搾り取るのではなく、学ぶことを重視する時代を拓こうとするものである。このバイオミミクリーには3つのレベルがある。まず生物のパターンを模倣すること。そのモデルとなるのは生物たちが長い進化の結果として形作ってきたさまざまな形態、すなわちデザインである。次は、形成過程の模倣。すなわち、そのデザインがどのようにして作られるかということである。そして、最後が生態系の模倣。すなわち自然のデザインを模倣して作られた技術がいかに生態系に適合しているのかということである。バイオミミクリーは人類が生態系の中で持続的に存続していくための環境調和型技術なのである。

さて、バイオミミクリーはベニユス女史によってその名称と理念が提唱された新規学問分野であるが、類似の言葉としてバイオミメティクスがある。バイオミミクリーとバイオミメティクスはほぼ同義であるが、後者の方がより工学的な意味合いが強い。バイオミメティクスという言葉は、既に1950年代後半にドイツ系米国人の神経生理学者であるO・シュミット博士が提唱したものである。シュミット博士はイカの神経システムにおける信号処理を模倣して、入力信号からノイズを除去して矩形波に変換する電気回路「シュミット・トリガー」を発明した。材料としての生物模倣はもっと古く、服や犬の毛などについてオナモミの実をヒントに開発されたマジックテープ、猫などの網膜の後ろにあるタペータムと呼ばれる光全反射装置を模倣した、交通標識などに使われるキャッツアイなどがそうである。

さまざまな生物がバイオミメティクスのモデルになっているが、近年におけるバイオミメティクスの発展の中でも、昆虫の優れた形態や機能を模倣したバイオミメティクス、すなわち昆虫ミメティクスは新たな世代のバイオミメティクスとして大いに期待されている。それは、ナノテクノロジーの大きな発展のお陰で材料科学が著しく進歩したことで、昆虫のような小さく複雑な仕組みとその機能をナノメートルスケールからマイクロメートルに至る微細な領域において再現できるだけの技術的力量がついてきたことによる。走査型電子顕微鏡SEMによる生物の表面構造の観察が容易に行えるようになってきたことも、この分野の飛躍的発展に貢献している。昆虫こそが将来のバイオミメティクスの発展の鍵を握る“救世主”となる可能性が強い。

昆虫ミメティクスの具体例としては、モルフォチョウの翅やタマムシなどの甲虫の翅が放つ青色などの美しい構造色を発現する独特な微細構造を模倣した繊維や自動車の塗装、ガの複眼の表面などにあるモスアイ構造を模倣した無反射フィルム、カの口器の構造を模倣した痛くない注射針、長距離飛翔性のアサギマダラというチョウの翅の形態を模倣した扇風機のファン、ミツバチなどの正六角形の巣の構造を模倣した、アルミ製の建築材料であるハニカムパネルや航空機の翼などの輸送機器材料、オオキノコシロアリの巣の構造を模倣した冷却システムを採用した省エネの建築物など、枚挙にいとまがない。

さらに、私が昆虫ミメティクスに期待するのは、昆虫が繁栄する進化的基盤になったと思われる、小型化（体サイズや付属器官の小型化）、分散化（分散脳システムなど）、多様化（高い種多様性と生活様式や形態の多様性）が、ひたすら効率を追求してきた人類文明の必然的ベクトルであった大型化、集中化、一様化とは異なる戦略であるからだ。まず、ダウンサイジング技術（古くは扇子、盆栽、小田原提灯など、新しくは折り畳み傘、電卓、ウォークマン、ミニロケットと超小型衛星など）の伝統に見られるように、小さきものを愛し志向する日本文明は、さらに昆虫のような小さくて高精度な生物を規範にした技術開発を加速させることで、エネルギーを最小にする持続可能な社会の実現に貢献するものと期待される。

福島第一原発事故は、20世紀型の「集中メインフレーム型」システムにとって代わる、新たな分散型発電と送配電網システムの構築が必要であることを示した。すなわち、人類社会に不可欠な電気を作り出す発電所の分散化は、漏電や電気抵抗によるロスを防ぎ、大災害時のリスクを軽減する合理的な手立てになる可能性がある。例えば個々の家庭や施設において自前で電気を生産するのが理想的であるが、そこでは再生可能エネルギーの使用が鍵となる。ソーラーパネル発電のみならず、微風でも飛翔できるトンボの翅の独特な形状を模倣したプロペラで回転する小型発電機など、昆虫ミメティクスの新規技術も有効であるに違いない。

昆虫ミメティクスは昆虫をモデルとしたバイオミメティクスとしてこれからの発展が大いに期待されている。このことを保障しているのが、すでに述べたような、4億年を超える進化的歴史、およびその結果としての種と生活様式の著しい多様性である。モデルになる種やそれらの形態と機能はほとんど無尽蔵と言える。しかし、いま無尽蔵であるはずの昆虫種が熱帯降雨林の破壊などにより激減しつつある。地球温暖化もそのことに拍車を掛けている。バイオミメティクスの発展はその基となる生物多様性の保全にかかっている。このことは工学者や工業に携わる人々に生物多様性の保全の大切さに眼を向けさせるものであるといえる。

自然の素晴らしさは、電気・熱・圧力といった大きなエネルギーを使わずに、自己組織化という他からの指令を受けずに自ら組織や構造を作り出す基本的性質により自らの形を作り出すことである。バイオミメティクス材料やその技術は、エネルギー消費と廃棄物量の削減を図るものでなければならぬし、自己組織化などを使って生産工程の簡略化と省エネ化を志向するものでなければならぬ。このようなものづくりができるようになれば、石油に依存した地下資源文明から太陽と自然の恵みを活かす“生命文明”の創出が可能になるかもしれない。それは、高機能化と環境調和の両立を可能にする技術として展開されることが期待される。さらに、バイオミメティクスは、私たちの生活様式のあり方を見直すことにつながることで、真にその価値が発揮されるのかも知れない。それは、生物が進化の中で用いて来たリユースという方策や、生態系というシステムの根幹をなすリサイクルという方策であると言えよう。

参考文献

- 赤池 学 (2006) 昆虫力. 小学館.
- 普後 一 (2008) 人が学ぶ 昆虫の智慧. 東京農工大学出版会.
- 藤崎憲治 (2010) 昆虫未来学—「四億年の知恵」に学ぶ. 新潮選書、新潮社.
- 藤崎憲治 (2011) 生物多様性がもたらす技術革新. 次世代バイオミメティクス研究の最前線—生物多様性に学ぶ—, 下村政嗣 監修、シーエムシー出版.
- 藤崎憲治・大串隆之・宮竹貴久・松浦健二・松村正哉 (2014) 昆虫生態学. 朝倉書店.
- 藤崎憲治 (2015) 絵でわかる昆虫の世界 進化と生態. 講談社.
- 藤崎憲治・鳥飼否宇 (2008) 群れろ! 昆虫に学ぶ集団の知恵. エヌ・ティー・エス.
- 石田秀輝 (2009) 自然に学ぶ粋なテクノロジー なぜカタツムリの殻は汚れないのか. DOJIN 選書, 化学同人.
- Janine M. Benyus (2006) 自然と生態に学ぶバイオミクリー. 山本良一 監訳, 吉野美耶子 訳, オーム社.
- ジェイ・ハーマン (2014) 自然をまねる、世界が変わる—バイオミクリーが起こすイノベーション—. 小坂恵理 訳, 化学同人.
- 木下修一 (2005) モルフォチョウの碧い輝き. 化学同人.
- ピーター・フォーブズ (2007) ヤモリの指—生きもののすごい能力から生まれたテクノロジー—. 吉田三知世 訳, 早川書房.
- 下村政嗣 (2016) とことんやさしいバイオミメティクスの本. 下村政嗣編著、高分子学会バイオミメティクス研究会編、日刊工業新聞社.

2018.7.14 地球環境自然学講座講演会(大阪)

昆虫ミメティクス

—驚異の生理・形態・生態から学ぶ—

藤崎憲治

(京都大学名誉教授)

バイオミメティクスとは？

バイオ(生物のこと)
+
ミメティクス(まねること)

生物の持っているかたちや
機能から学び、環境と人間に
やさしい技術をつくること

バイオミメティクスとバイオミミクリー

- ・バイオミメティクスとバイオミミクリーは同義であるが、前者の方がより工学的色彩が強い
- ・日本語ではいずれも「生物模倣」と訳される
- ・ミミクリーは生物学では「擬態」のことである

バイオミミクリーの歴史と思想

☆世界では何も発明されてないんだ。発明家の幸運は神が全人類の前に置いたものを見たに過ぎない。何千年も前からハエは飛んでるけど、人間が飛行機を作ったのはつい最近になってからだ。

☆創造的であろうとして、意味の無いものを付け加えてはいけない。自然の原理をよく観察し、それをよりよくしようと努力するだけでいい。

アントニ・ガウディ

☆余談ではあるが、先日田舎で農夫の着ている蓑を見て、その機構の巧妙さと性能の優秀なことに今さらに感心した。

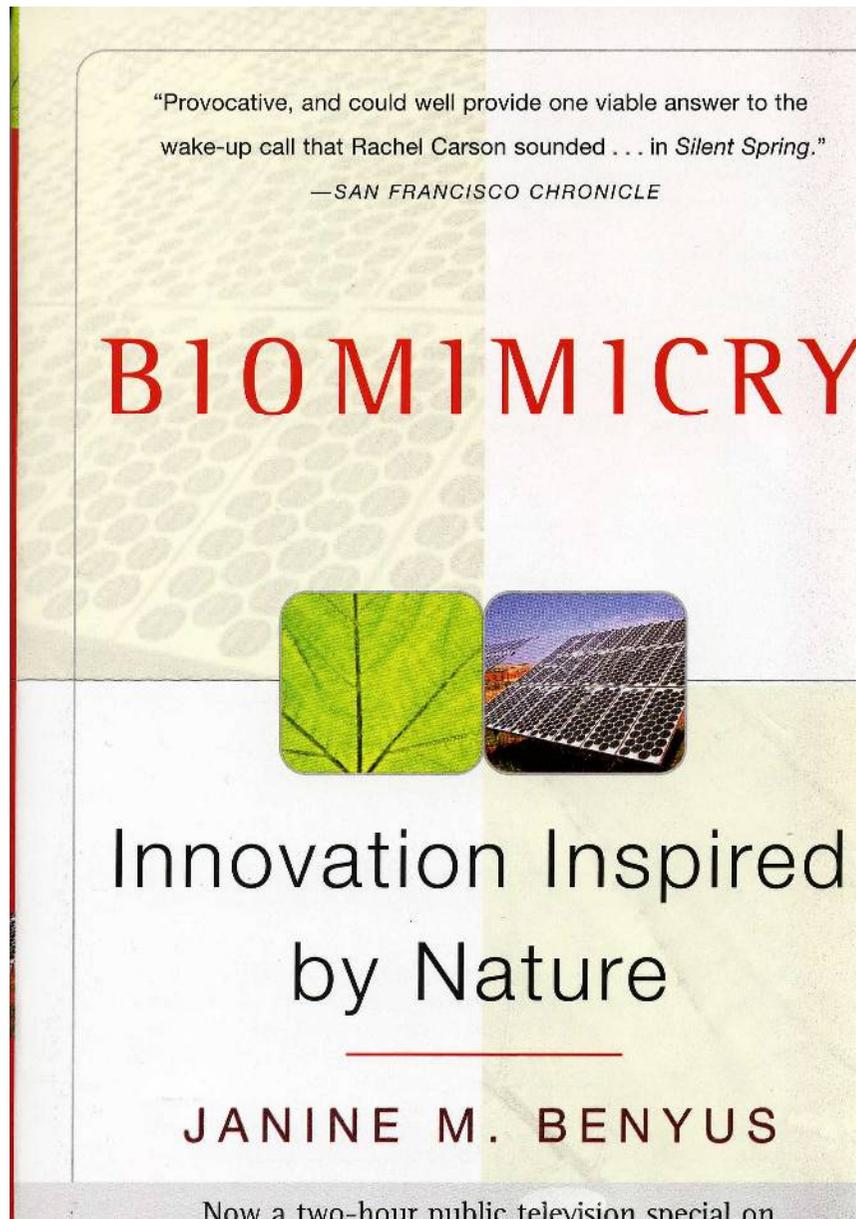
☆空気の流通がよくてしかも雨やあらしの侵入を防ぐという点では、バーベリーのレーンコートよりもずっとすぐれているのではないかという気がする。あれも天然の設計に成る鳥獣の羽毛の機構を学んで得たインジェニュイティーであろうと想像される。

寺田寅彦

(昭和10年10月 東洋思潮)

バイオミミクリーの概念

(Benyus, 1997)



- Nature as model
(モデルとしての自然)
- Nature as measure
(評価基準としての自然)
- Nature as mentor
(師としての自然)

バイオミミクリーの3段階

(Benyus, 1997)

- 第1段階・・・自然の形態の模倣
- 第2段階・・・自然のプロセスの模倣
- 第3段階・・・自然のシステム（生態系）
の模倣

自然の法則と戦略

(Benyus, 1997)

- 自然は太陽の力で働く
- 自然は必要とするエネルギーしか使わない
- 自然は形態を機能に合わせる
- 自然はあらゆるものをリサイクルする
- 自然は協力に報いる
- 自然は多様性に投資する
- 自然は地域の知恵を働かせる
- 自然はおのずから過剰を抑える
- 自然は制約の力を活かす

☆自然を征服し、「改善する」ことに慣れている社会にとっては、自然を尊重してまねようという姿勢は革新的なアプローチであり、まさしく革命です。

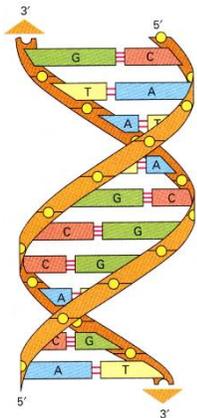
☆バイオミミクリー革命は、産業革命とは違って、われわれが自然界から「搾りとれる」ものではなく、「学べる」ものを重視する時代をひらく先達なのです。

『自然と生体に学ぶバイオミミクリー』
(ジェニユイン M. ベニユス, 2006)



人類のフロンティアとは何か

人類にとっての真のフロンティアは、地球上の生命なのである。地球上の生命を調査し、そうして得た知識を、科学や芸術、実用に役立てることこそをまず考えるべきだろう。

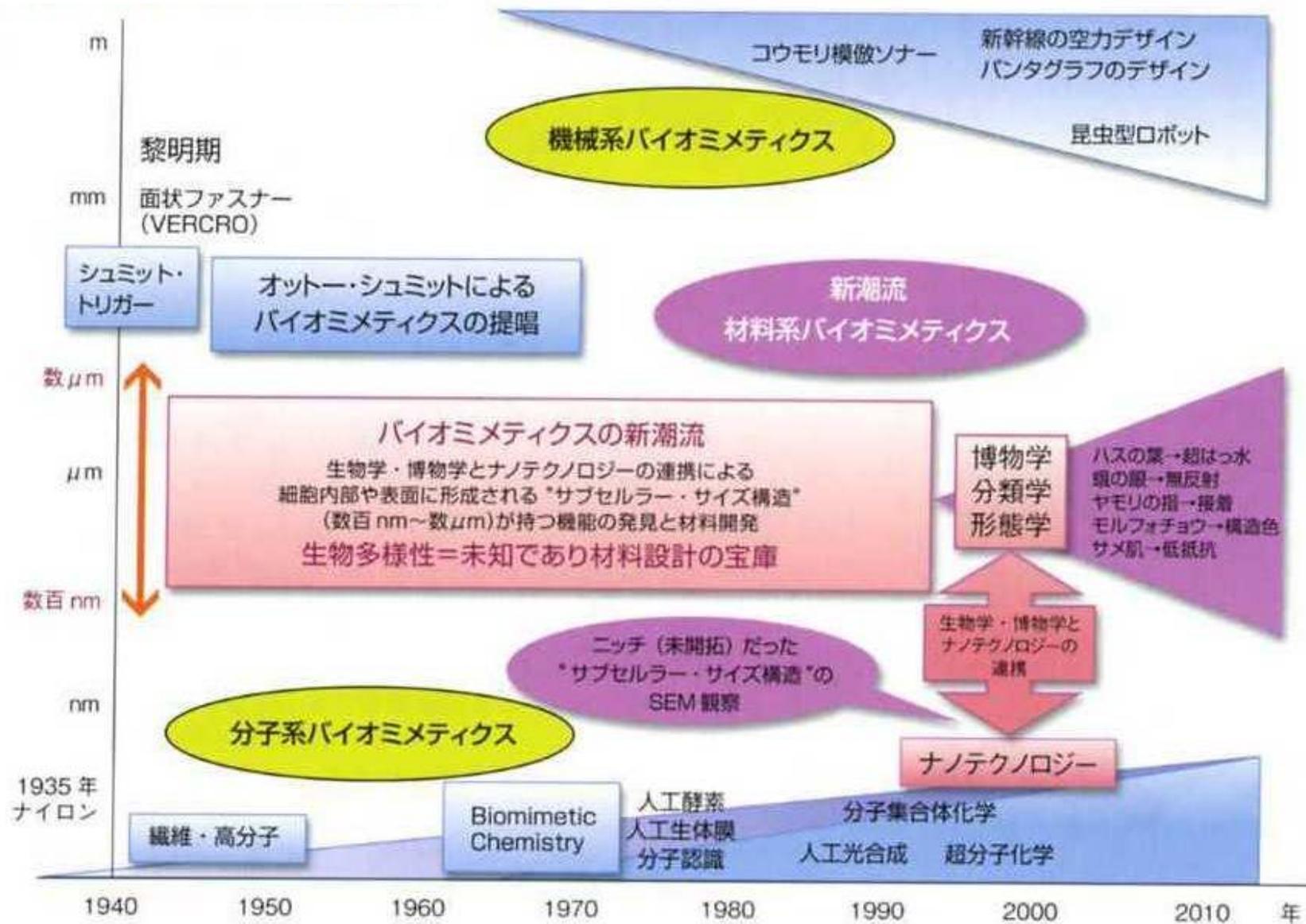


DNAの二重らせん構造

『生き物たちの神秘生活』
(エドワード・O・ウィルソン, 1999)

バイオミメティクス研究の歴史

(下村、2010)



人間の技術体系から生物の技術体系へ

- ・産業革命以降の「人間の技術体系」は石炭や石油などの地下資源をエネルギーとし、また森林などの多くの生物資源を浪費し、自然環境を破壊してきた。
- ・バイオミメティクスなどの「生物の技術体系」は、これまでの技術の反省の下に、石油に依存した地下資源文明から脱却し、環境にやさしく、かつ持続的な人類の発展を意図するものである。

昆虫ミメティクス (entomomimetics)

- バイオミメティクスの一種で、とくに昆虫をモデルにしたもの。
- きわめて多様性に富むことで、バイオミメティクスの宝庫である。
- ナノテクノロジーの発展により、小さな生物の複雑な仕組みと機能を解明し、再現できる技術的力量がついてきたことで注目されるようになった。

(藤崎, 2005)

昆虫類の起源

- 最新の説では、昆虫の起源は約4億7900万年前のオルドビス期初期にまで遡ると推測されている。
- 陸上植物の誕生が約5億1千万年前と推定されているので、昆虫は陸上の生態系を作り出した最初の生物群の一つであると言える。

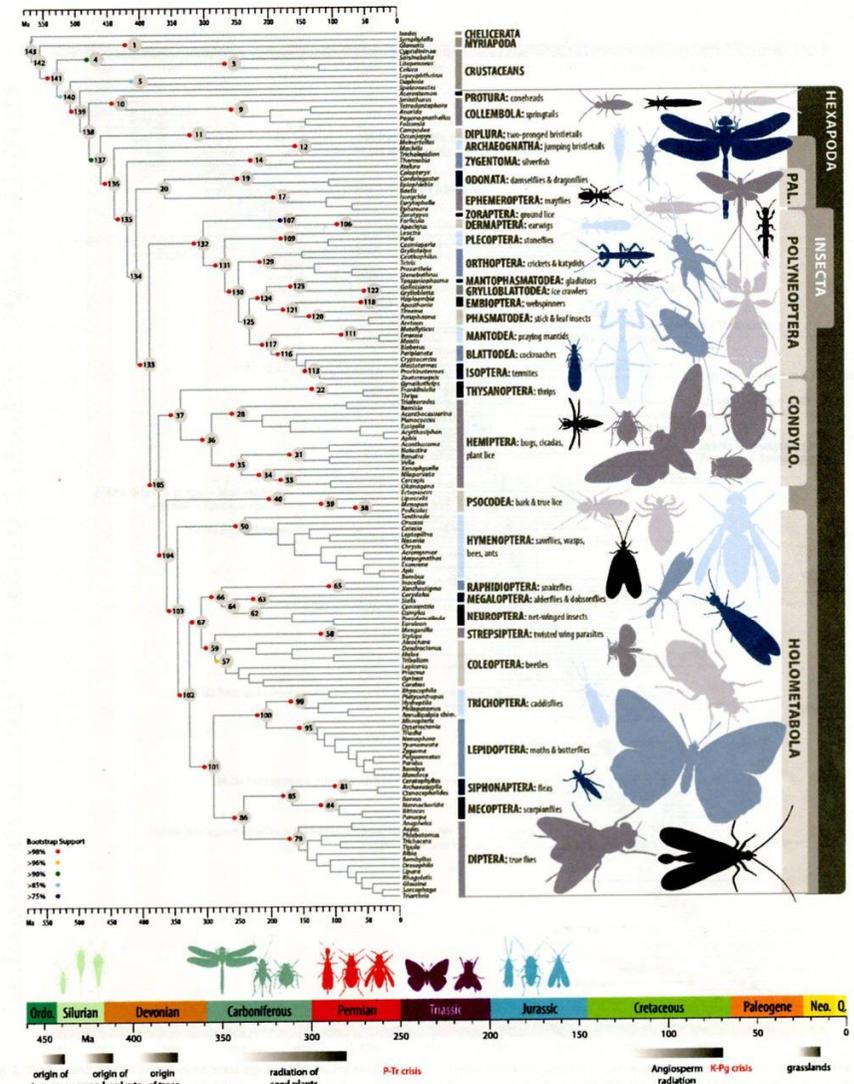


Fig. 1. Dated phylogenetic tree of Insect relationships. The tree was inferred through a maximum-likelihood analysis of 413,459 amino acid sites divided into 479 metapartitions. Branch lengths were optimized and node ages estimated from 1,050,000 trees separately generated for 105 partitions that included all taxa (5). All nodes up to orders are labeled with numbers (gray circles). Colored circles indicate bootstrap support (5) (left key). The time line at the bottom of the tree relates the geological origin of insect clades to major geological and biological events. CONDYLQ, Condylognatha; PAL, Palaeoptera.

節足動物と葉脚類の系統樹

(キャロル, 2007)

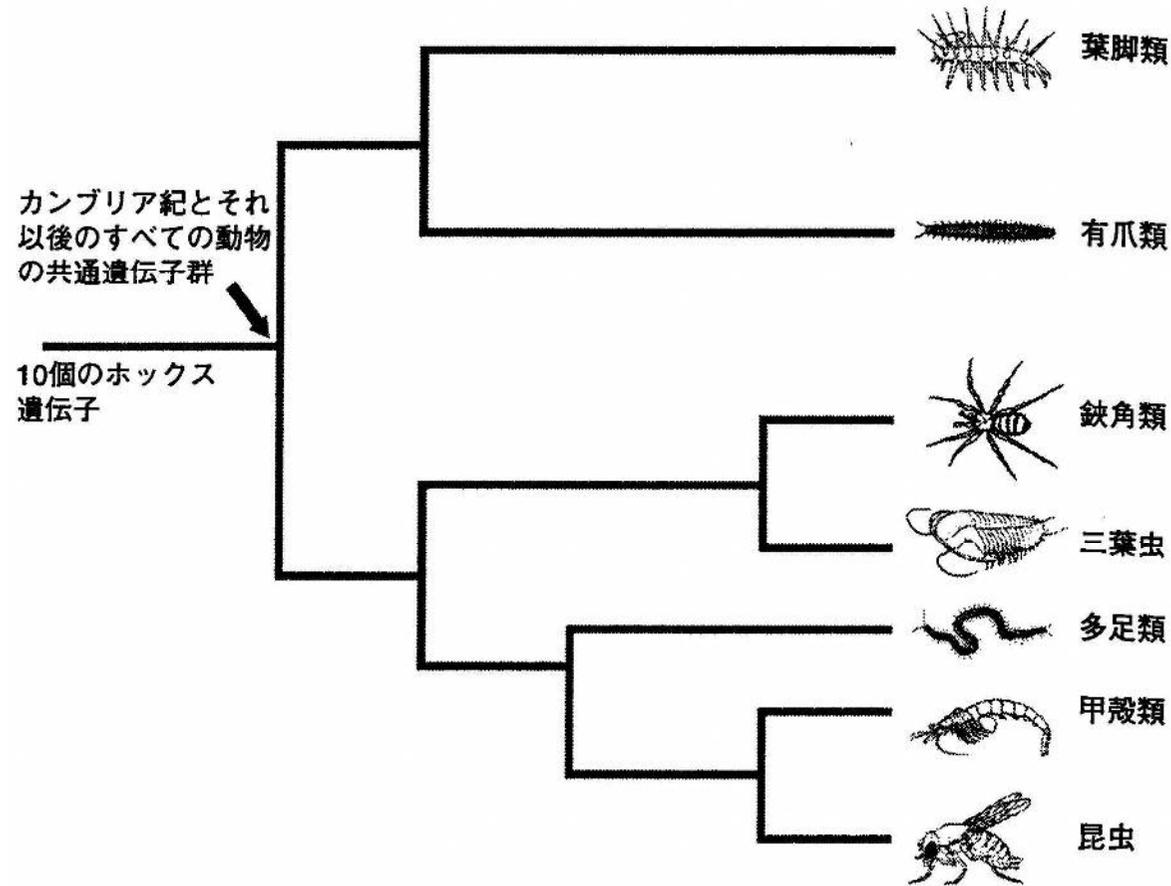


図6-5 節足動物と葉脚類の系統樹 現生するグループと絶滅したグループの関係を表している。両グループの共通祖先の大半はカンブリア紀の前にいたもので、少なくとも10個のホックス遺伝子をもっていたはずである。そう考えられる理由は、現生するすべての子孫が、少なくとも10個のホックス遺伝子をもっているからである。(ジョシュ・クライス画)

昆虫は甲殻類にもっとも近縁

昆虫類の種数

【世界】

- 約100万種が知られている(既知の全生物の約2/3)
- 毎年約3000種が新種として追加
- 500万種は可能な推定値、1000万種も推定範囲の値
- 調査が進めば全動物の4/5以上を占めるようになる

【日本】

- 約3万種を記録
- 実際は10万種はいるものと推定
- 農作物害虫は2200種を超える

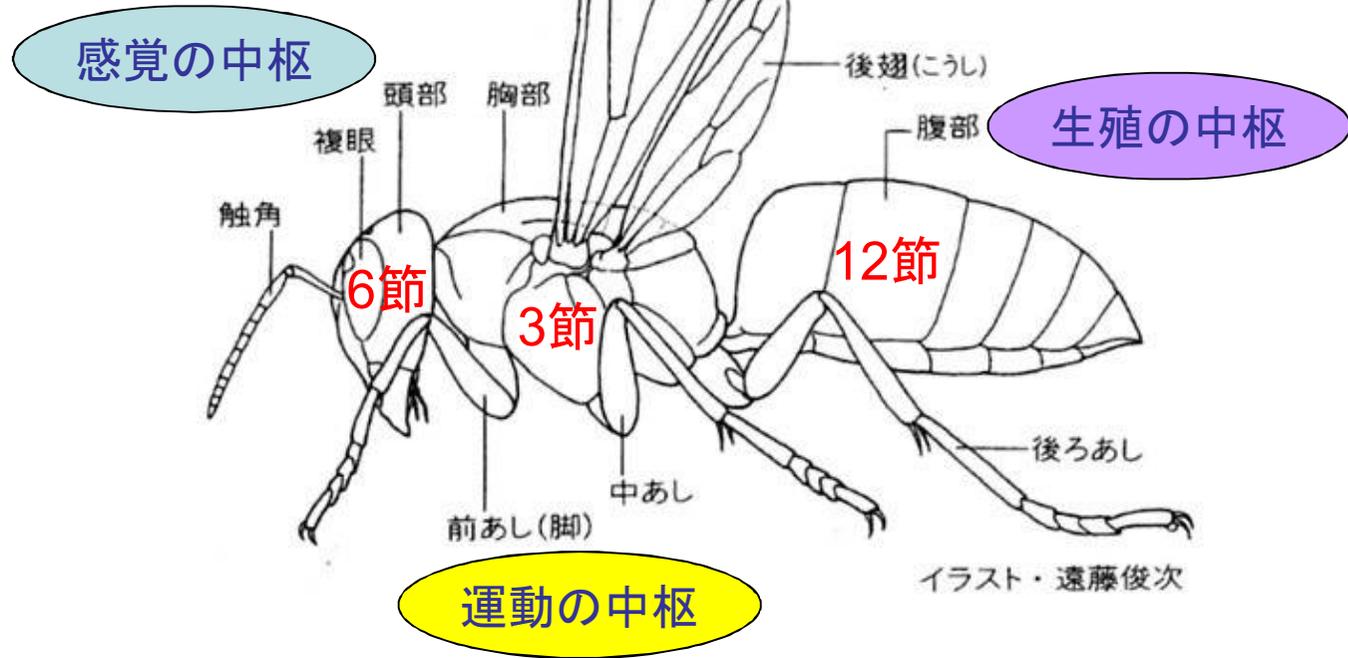
昆虫はバイオミメティクスの宝庫である！

昆虫類の繁栄の要因

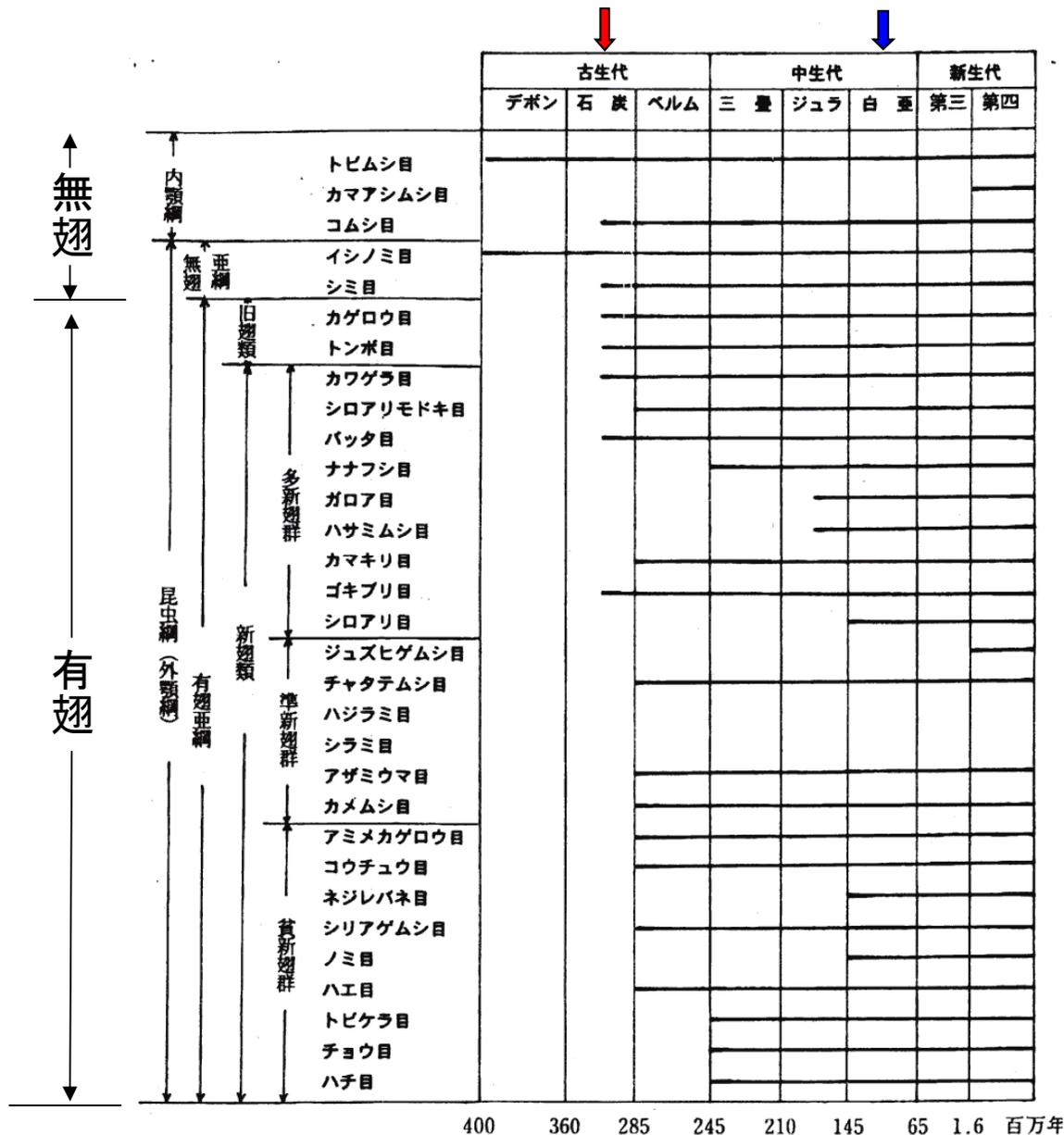
- 頭部・胸部・腹部の機能分化
- 翅の発達
- 完全変態の発達
- 多様な環境や生活への高い適応性
- 他の生物との共進化

昆虫の頭部・胸部・腹部の機能分化

昆虫は体節動物の、**21体節**からなる祖先から進化。これは昆虫の卵の胚発生をみると、細胞分裂を繰り返した胚がミミズのような形になり、そのときの体は21節に分かれていることによる。



現存昆虫目の大分類と化石の出現記録



飛翔する昆虫が初めて出現したのは石炭紀であると考えられている。その時期に多くの目への適応放散が起こっている。また、大々的な空中への進出は白亜紀に起こっており、その時期に被子植物も出現した。

すなわち、被子植物は昆虫による効率的な花粉媒介を達成できた、より進化した植物である。

図 1.1 現存昆虫目の大分類と化石の出現記録(森本, 1989, 笹川, 1984 および Kukakiva-Peck, 1994 を改写)

節足動物の鰓脚におけるさまざまな適応

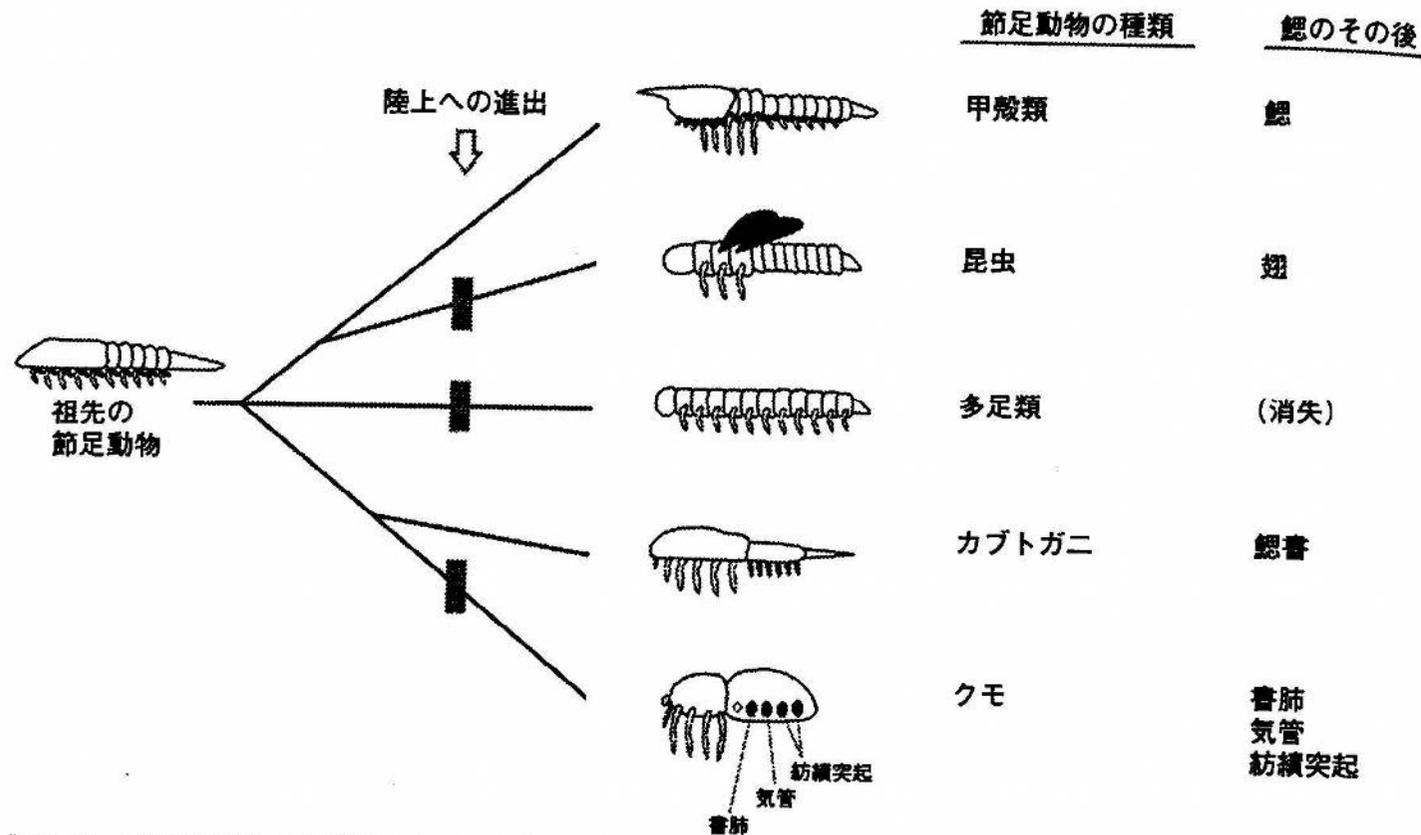


図7-7 節足動物の鰓脚におけるさまざまな適応 水生だった祖先の鰓脚から、昆虫の翅、カブトガニの鰓書、クモのさまざまな器官が進化した。これら驚くほど多様な構造は、連続して繰り返されている構造をもっていたおかげで、それらが別々の仕事に特殊化できた結果である。(ミカリス・アヴェロフの厚意による。ダーメンらの論文を改編)

(キャロル, 2007)

ブリコラージュとしてのバイオミメティクス

- ・ブリコラージュ (bricolage) とはフランス語で「日曜大工」を意味する言葉で、「あり合わせの道具や材料でものづくりをすること」を意味する。

- ・人類学者のクロード・レヴィ＝ストロースが著書『野生の思考』において未開の人たちのものづくりをブリコラージュであるとみなし、近代エンジニアリングと対比させた。

- ・実は、生物進化はブリコラージュであり、手持ちの遺伝子を少しずつ様式を変えながら、繰り返し再利用しているだけのことである。

- ・バイオミメティクスが工業技術にパラダイム変換をもたらすにはブリコラージュの考え方が必要？

昆虫は深海を除くあらゆる環境に生息している！

低温 南極(南緯77°)の-65°C下でも生息するトビムシ
氷河にのみ生息するセッケイカワゲラ

高温 温泉(40°C以上)に生息
トビムシ、ユスリカ、ミギワバエ

有毒ガス 火山硫黄孔
ハンミョウ、ユスリカ

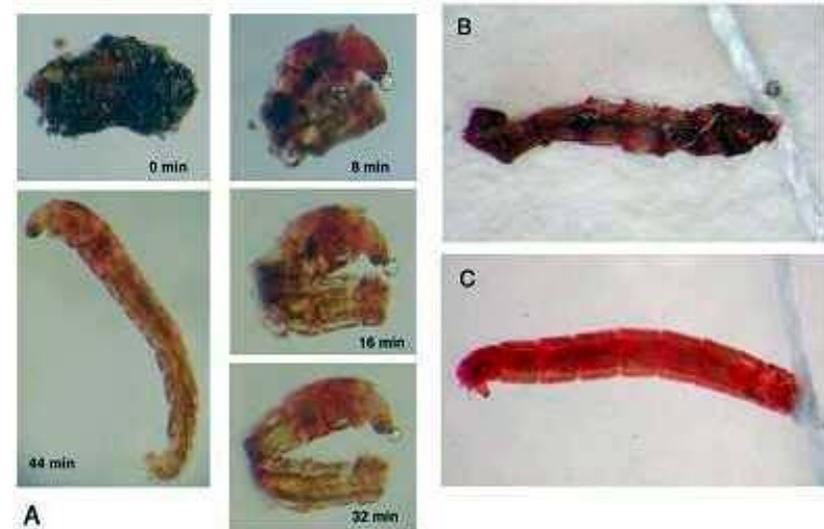
海水 水面 ウミアメンボ
海水中 ウミユスリカ

塩田 オオツノハネカクシ

油田内 セキユバエ

乾燥 砂漠 ネムリユスリカ

クリプトビオシス(乾眠休眠)



ネムリユスリカ乾燥幼虫を水に戻した時の蘇生の様子

自然は、われわれの知性にとっては限りなく驚嘆すべきことを、最高度の容易さと単純さで行っている。

(ガリレオ・ガリレイ)

ひともとの草、一匹の甲虫、一匹のあり、黄金色したみつばち、すべて知性を持っていないこれらのものが、驚かるるばかりおのれの道を心得ていて、神の神秘を証明し、みずからその秘密をたゆみなく行なっているではないか。(フォードル・ドストエフスキー)

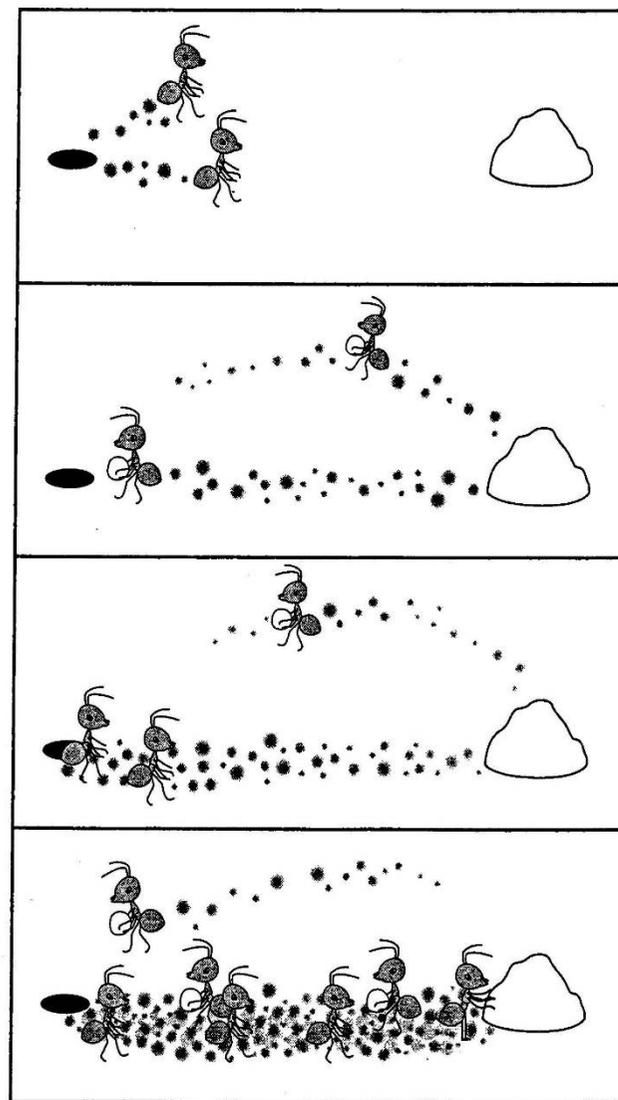
ここを取り仕切っているのはいったい何か。いったい誰が、命令し、先を見通し、計画し、コロニーのバランスを保っているのか。(モーリス・メーテルリンク)

アリの群知能

最短経路探索に有効

フェロモンというコミュニケーション手段をインターフェイスとした自己組織化の産物

電話回線網の調整、顧客への請求書作成や発送、さらには情報の行き来の量が予測不能なインターネットなど、幅広い分野での応用が期待



アリの最短経路探索方法。近道ルートと遠回りルートとを比較すると、行きも帰りも同じ近道を通ったアリは先に巣に戻りしかもそのルートには2倍のフェロモンが塗られていることになる。他のアリもその強いフェロモンに誘引されて近道ルートをたどるので、そこにはますますフェロモンが蓄積し、結果最短ルートとして選ばれていく。あまり利用されない遠回りルートのフェロモンは、もともと量が少ない上に時間が経つと蒸散して消えてしまうので、アリは誘引されなくなる。

(E. ボナードとG. テロラス、2000をもとに藤崎・鳥飼、2008が描く)

自己組織化 (self-organization)

- 他からのコントロールを受けずに自ら組織や構造を作り出す、自然が持つ基本的性質
- 高熱や高圧で処理することなく作成

具体例：

- 生物がDNAを設計図として機能を持たない原材料から機能を持つ組織を作り出すこと
- 脳内で起こる神経回路の構築
- 雪の結晶
- 分子による高次構造の構築
- 社会性昆虫の社会や群知能

目的は、自然のデザインの角度や構造を単純にコピーしたり、材料をそれらに近い形で作くりあげることではない。

本当にやりたいのは、たとえば、生物体がいかに完全な結晶を成長させ、それらを役に立つ構造につくりあげるかという、製造のプロセスを見習うことである。

ポール・カルバート(セラミック研究者)

自然は、われわれの知性にとっては限りなく驚嘆すべきことを、最高度の容易さと単純さで行っている。

(ガリレオ・ガリレイ)

ひともとの草、一匹の甲虫、一匹のあり、黄金色したみつばち、すべて知性を持っていないこれらのものが、驚かるるばかりおのれの道を心得ていて、神の神秘を証明し、みずからその秘密をたゆみなく行なっているではないか。(フォードル・ドストエフスキー)

ここを取り仕切っているのはいったい何か。いったい誰が、命令し、先を見通し、計画し、コロニーのバランスを保っているのか。(モーリス・メーテルリンク)

昆虫ミメティクス

1. 昆虫の形態を模倣したもの
2. 昆虫の特殊能力を模倣したもの
3. 昆虫の産生物を模倣したもの

未来の建築は自然のイミテーションに基づいたものになるだろう。なぜならあらゆる手法の中でそれが最も合理的で、長持ちし、経済的だからだ。

アントニ・ガウディ

昆虫型ロボット

1. 昆虫の形態や動きを模倣したもの
2. 昆虫の感覚機能や情報処理を模倣したもの

昆虫ミメティクスの実例

- モルフォチョウの翅・・・構造色の繊維や塗装
- 蛾の複眼の構造・・・スーパー反射防止フィルム
- アサギマダラの翅・・・なめらかな風を送る扇風機
- 蚊の口吻・・・痛くない注射針
- ミツバチの巣・・・ハニカム構造
- キノシロアリの巣・・・省エネのエアコン
- トンボの翅・・・手軽な風力発電
- 蝶や甲虫の翅、アメンボの肢・・・撥水性の塗料
- ナガヒラタタマムシ・・・高感度赤外線センサー
- ゴミムシダマシの翅・・・空気から水を得る集水材料

日本における主な昆虫産業とその市場規模

個体の利用		
	天敵農薬（天敵昆虫・ダニ）	35 億円 ¹⁾
	受粉昆虫（マルハナバチなど）	16 億円
生産物の利用		
	ハチミツ	200 億円
	ミツバチ関連副産物（プロポリス、ロイヤルゼリー）	200～300 億円
	カイコ（絹の国内需要）	60 億円 ²⁾
昆虫関連微生物の利用（微生物農薬）		
	<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt)	9.4 億円
	Bt 以外の微生物農薬	1.9 億円
昆虫機能の利用		
	バキュロウイルス-カイコ系による有用物質生産	15～20 億円 ³⁾
	絹の非医療用途（化粧品、エステ製品など）	非常に小さい
	遺伝子組換えカイコ関連	未市場化
	スポーツドリンク（VAAM 明治乳業）	不明
	構造発色繊維（モルフォテックス 帝人）	不明

1) 2007版『農薬便覧』より

2) 平成18年の絹内需と平成18年1月の国内生糸価格より算出((社)日本生糸問屋協会
<http://homepage1.nifty.com/nittonkyo/index.htm>)

3) ペット治療薬インターキャット、インタードッグの合計(東レ)。

(日本学術会議応用昆虫学分科会
 報告書, 2011より)

ダウンサイジング技術への昆虫の活用

- 大型化ではなく小型化、すなわちダウンサイジング技術こそがエネルギーを最小にする持続可能な社会を実現する。
- 日本人は世界の中でも一番、小さきものを愛する民族であり、古くは扇子、小田原提灯、幕の内弁当、盆栽、新しくはウォークマン、電卓、折り畳み傘など、日本発のすばらしいダウンサイジング技術を発明してきた。
- 一方、昆虫は小型化することで進化的に成功した節足動物である。
- 小さきものを志向する日本文明は、さらに昆虫のように小さくて高精度な生物をモデルとした技術を展開していくことで、世界の文明のモデルとなる可能性がある。

ポケモンの生みの親は昆虫少年だった！

「ポケモン」の生みの親であるゲームクリエイターの田尻智氏は、少年時代を過ごした東京郊外の町田市で昆虫をはじめとした生きものの観察や採集を楽しみ、クラスで一番の「昆虫博士」だった経験が、「ポケットモンスター」を生み出す上で大きな力となったと、後に語っている。

参考図書

- 『昆虫科学が拓く未来』 藤崎憲治・西田律夫・佐久間正幸編著、京都大学学術出版会(2009)
- 『昆虫未来学』 藤崎憲治著、新潮選書、新潮社(2010)
- 『絵でわかる昆虫の世界』 藤崎憲治著、講談社(2015)