

## 平成 30 年度 第 7 回講演会 記録

日 時	平成 30 年 7 月 14 日 (土) 13:00~16:00	
会 場	此花会館 梅香殿	
講 師	京都大学名誉教授 藤崎 憲治 先生	
演 題	「昆虫ミメティクス：驚異の生理・形態・生態から学ぶ」	
備 考	参加者 164 名 + 聴講者 1 名 記録 花住 繁	

## はじめに

## 【田中克先生】

- ・藤崎先生とは、1990 年代後半に京都大学農学部の組織改革が行われ、10 学科が 3 大学科に改組され、それに伴い教員の所属は大学院に移るとともに、私のいた水産学専攻と藤崎先生の農林生物学専攻、それと畜産学専攻が統合されて応用生物科学専攻となり、同じ組織の中で研究教育に携ったという経緯があります。その中で藤崎先生は“21 世紀 COE プログラム” (注) の昆虫科学に関わるプロジェクトの代表者として活躍されました。
- ・人類は現代人 (ホモサピエンス) の出現はたかだか 20 万年前であるのに対し、昆虫は 4 億 7000 万年の歴史があり長期にわたって地球環境の激変に適応してきました。4 億年以上を生き抜いた ‘環境に対する高い適応能力’、‘昆虫の賢い知恵’ を学び、その昆虫の知恵を技術に活かす昆虫科学の基礎と応用について、聞かせていただくというのが本日の講演の主旨であります。

(注) 21 世紀 COE プログラム：「大学の構造改革の方針」(平成 13 年 6 月)に基づき、平成 14 年度から文部科学省の事業 (研究拠点形成費等補助金) として措置されたもの。我が国の大学が、世界トップレベルの大学と伍して教育及び研究活動を行っていくためには、第三者評価に基づく競争原理により競争的環境を一層醸成し、国公私を通じた大学間の競い合いがより活発に行われることが重要で、このプログラムは、我が国の大学に世界最高水準の研究教育拠点を形成し、研究水準の向上と世界をリードする創造的な人材育成を図るため、重点的な支援を行うことを通じて、国際競争力のある個性輝く大学づくりを推進することを目的としている。(記録者注：日本学術振興会ホームページから転載)

## &lt;講演要旨&gt;

## 1. バイオミメティクスとは？

- (1) 定義：バイオ (生物) + ミメティクス (まねること) ⇒ 生物の持っている形や機能から学び、環境と人間にやさしい技術をつくること。
- (2) バイオミメティクスとバイオミミクリー：同義であるが前者の方がより工学的色彩が濃い。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。
- (3) バイオミミクリーの歴史と思想
  - ①古代ギリシアのアルキメデスによるスクリュウポンプ (巻貝のらせん構造の模倣)
  - ②中国古代のアシナガバチの巣をヒントにした紙の発明
  - ③日本の蓑：昔の農耕雨具 …………… これらは鳥獣の羽毛の機構から学び活かされてきたもの。
- (4) 現代におけるバイオミミクリー：アメリカのジャーナリストであるベニユス女史が NPO 法人「Biomimicry Institute」を主宰し、バイオミミクリーに関する活動を世界的に展開。
  - ①バイオミミクリーの概念
    - ・ Nature as model (モデルとしての自然)：自然 (生物) の形態・振る舞いをモデルにして学ぶ

- ・ Nature as measure (評価基準としての自然) : 持続的な環境に優しい技術として成り立っているか
- ・ Nature as mentor (師としての自然) : 自然とどのように折り合いをつけ共生していけるかを学ぶ

## ② バイオミミクリーの 3 段階

- ・ 第 1 段階…自然の形態の模倣 : アルキメデスの巻貝の模倣など
- ・ 第 2 段階…自然のプロセスの模倣 : 自然ではどのように作られていくのか、その過程を模倣する
- ・ 第 3 段階…自然のシステム(生態系)の模倣 : エコシステム、リサイクル循環系としてのシステムを模倣

## ③ バイオミミクリー革命

- ・ 自然を尊重してまねようとする姿勢は革新的なアプローチであり、まさしく革命である。
- ・ 産業革命とは違って、われわれが自然界から「学べる」ものを重視する時代をひらく先達である。
- ・ 自然破壊をしない、エコロジカルで持続可能な技術革新である。

## (5) バイオミメティクス研究の歴史

### ① 機械系バイオミメティクス :

- ・ コウモリの超音波を模倣したソナー魚群探知機
- ・ カワセミのクチバシを模倣した新幹線の先頭車両の空力デザイン
- ・ コウモリの羽の形状を模倣したパンタグラフの音の軽減

### ② 分子系バイオミメティクス :

- ・ ナイロンなどの合成繊維は自然繊維の分子構造を模倣
- ・ 光合成のメカニズムの解明と応用ができれば、太陽光と二酸化炭素から糖を作り出せ、人類の食糧問題は解決される。

### ③ 材料系バイオミメティクス : これが現在の潮流であり、材料設計の宝庫である。

- ・ イカの巨大神経を模倣したシュミットトリガ (電子回路)
- ・ オナモミの実の構造 (形態) をヒントにしたマジックテープ (面状ファスナー)
- ・ ナノテクノロジーの発達と SEM 観察によるサブセルラー構造 (微細構造) の解明、材料技術への応用。  
⇒ 新世代バイオミメティクス材料の成功例 ; モスアイ構造無反射フィルム、サメ肌の水泳着への応用等。

### ④ 人間の技術体系から生物の技術体系へ :

- ・ 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。

## (6) 我が国におけるバイオミメティクス研究のプロジェクト

- ・ 2011 年度に文部科学省の科学研究費補助プロジェクト発足 : 「生物多様性を規範とする革新的材料技術」
- ・ 工学者、昆虫学者、鳥類学者、海洋生物学者が一緒になってプロジェクトを立ち上げた。
- ・ 日本は諸外国に比べ周回遅れであるが、日本の潜在的得意分野でありすぐに追いつくと期待している。  
(ドイツが最先進でイギリス、アメリカなどが続く)

## 2. 昆虫ミメティクス

### (1) 昆虫ミメティクス (Entomomimetics) とは?

- ・ 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。

### (2) バイオミメティクスの基礎としての昆虫の進化的歴史と特性

#### ① 昆虫類の起源

- ・ 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。

・陸上植物の誕生は推定約 5 億 1 千万年前であり、昆虫は陸上生態系を作り出した最初の生物群の一つ。

②昆虫の祖先

- ・昆虫は節足動物で甲殻類（エビ・カニの仲間）ともっとも近縁
- ・昆虫と甲殻類を合わせて汎甲殻類という。

③昆虫類の種数：地球上でもっとも繁栄、種数が多くバイオミメティクスの宝庫である

- ・世界で約 100 万種が知られている（名前がついている種数）。（これは既知の全生物の約 2/3）
- ・毎年約 3000 種が新種登録されている。500 万種は可能な推定値、最終的な推定範囲は 1000 万種に及ぶ。
- ・日本では約 3 万種を記録。実際には 10 万種はいるものと推定。そのうち農作物害虫は 2200 種を超える。

④昆虫類の多様性（大型昆虫～超小型昆虫）

- ・大型昆虫：オオナナフシ（体長 37cm）、インドのアトラスガ（開翅長 30cm）、沖縄のヨナクニサン（30cm）
- ・超小型昆虫：甲虫（0.25mm 北米産ムクゲキノコムシの一種）、タマゴバチ類（0.18mm 寄生バチ）

(3) 昆虫類の繁栄の要因

①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。大きく頭部(6 節)・胸部(3 節)・腹部(12 節)に分化。
- ・昆虫の頭部は感覚の中樞、胸部は運動の中樞、腹部は生殖の中樞として機能分化している。
- ・胸部には各節(3 節)に左右一対で合計 6 脚の脚があり、中胸には 2 対の翅がある。(⇒運動の中樞)

②翅の発達

- ・地球上で初めて空中に飛びだした生物が昆虫である。(石炭紀；3 億 5920 万年前から 2 億 9900 万年前)
- ・昆虫の大々的な空中への進出は白亜紀に起こっている。(白亜紀；約 1 億 4500 万年前から 6600 万年前)
- ・白亜紀には被子植物も出現し昆虫による効率的な花粉媒介を達成でき大繁栄した。昆虫と植物の共進化。
- ・なぜ石炭紀と白亜紀に空中飛翔の昆虫が繁栄したのか ⇒ 地球史の中で古生代石炭紀と中生代白亜紀は大気中の酸素濃度が非常に高くなった。(石炭紀は最大で 35%を超えた。白亜紀は 26%、現代は 21%)
- ・酸素濃度が高いと空気の粘性が高まり浮き(飛び)やすい。また、飛翔筋の代謝には大量の酸素が必要。
- ・したがって、大気中の酸素濃度が高い時代(石炭紀と白亜紀)に昆虫の飛翔性の進化が起こった。
- ・爬虫類で空中を飛翔する翼竜、始祖鳥の出現もこの時代(白亜紀)である。
- ・昆虫の翅の起源：二枝型付属肢の鰓脚(甲殻類では鰓(エラ)として機能)。それは一種の再利用である！
- ・節足動物の鰓脚の進化、さまざまな適応：甲殻類(エラ)、昆虫(翅)、カブトガニ(鰓書)、クモ(書肺)

生物進化はプ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ただくことである。プリコラージュ；「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。

③完全変態の発達

- ・昆虫類の変態：完全変態(アゲハ；卵→幼虫→蛹→成虫)と不完全変態(カメムシ；卵→幼虫→成虫)。
- ・完全変態の利点：一幼虫と成虫の棲み場所を変えることにより絶滅しにくくなる(危険の分散)。  
一幼虫と成虫の餌をめぐる競争を少なくする。(幼虫は葉、成虫は蜜を餌にする等)

・種数の多い昆虫目トップ 5：右表

一このことは完全変態の有利さを示している！

・完全変態の方がより進化した形である。

④多様な環境や生活への高い適応性

1. コウチュウ目	(370,000種)	(完全変態)
2. チョウ目	(138,000種)	(完全変態)
3. ハチ目	(130,000種)	(完全変態)
4. ハエ目	(110,000種)	(完全変態)
5. カメムシ目	( 39,000種)	(不完全変態)

- ・昆虫の多様な口器：多様な食性に対応するために変形進化。(バッタ類の咀嚼型口器、カ類の刺吸型口器、チョウ類のサイフォン型口器、ハエ類の舐吸型口器、ミツバチ類の咀嚼と吸収の両用型口器 など)
- ・昆虫類の肢は機能に合わせて形態を進化。(バッタ類は跳躍に有効な形態 など)
- ・昆虫は深海を除くあらゆる環境に生息する。  
低温(-65°C)、高温(40°C以上の温泉)、有毒ガス(火山硫黄口)、海水、塩田、油田内、乾燥砂漠 に生息。
- ・ネムリユスリカ幼虫のクリプトビオシス(乾眠休眠)：乾燥時体内にトレハロースを合成蓄積し休眠する。

#### ⑤他の生物との共進化

- ・訪花性昆虫：花粉媒介(ポリネーション)により花(植物)と昆虫は切っても切れない共生関係になっている。
- ・シャクヤクのつぼみに群がるクロヤマアリ(共生関係)：アリは蜜を得て、つぼみを他の虫から守っている。
- ・消化共生：シロアリの腸内に共生している原生動物(べん毛虫類)⇒セルロースを消化分解(消化共生)
- ・昆虫は内部共生の宝庫：腸内共生細菌は重要な機能を担う。⇒吸汁性昆虫(必須アミノ酸を供給) など。

### (4) 昆虫の脳と知能

#### ①コロニーの統制：昆虫はコロニーの中で統制の取れた社会システムを作っている。>>> 自己組織化

- ・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)

#### ②昆虫の脳は分散脳(はしご形神経系)；頭部(脳・触覚神経)、胸部(胸部神経節)、腹部(腹部神経節)

- ・各部の神経節が、頭部(脳)の判断・指示を待つことなく、俊敏に各部の機能をコントロールできる。
- ・緊急時は脳がなくても対応ができる。

#### ③体重に占める脳の重さ(脳重量/体重比)：霊長類と他の哺乳類、昆虫(トンボ・バッタ・ミツバチ)の比較

- ・哺乳類の中では霊長類は脳重比が高くヒトは突出する。イルカの脳重比は霊長類より高くヒトに近い。
- ・トンボやバッタなどの昆虫は哺乳類に比べ脳重比はかなり劣るが、ミツバチはヒトに近い脳重比である。
- ・ミツバチは色、形状(縞模様)、匂いの「同じ」「違う」の概念(識別)認識ができる。

#### ④アリの群知能：アリの道は「道しるべフェロモン」による。

- ・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。  
⇒ 最短経路探索に有効：電話回線網の調整、顧客への請求書作成や発送、予測不能なインターネット経路など、幅広い分野での応用が期待

#### ⑤自己組織化(self-organization)：社会性昆虫の社会や群知能

- ・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。
- ・トップダウンではなく、ボトムアップで構築される。

### (5) 昆虫はバイオミクリーの天才

#### ①隠蔽的擬態：背景に隠れて存在をわからなくする。

- ・ショウリョウバッタ、カギシロアオエダシャクなどの隠蔽的擬態。

#### ②食物でないものへの擬態：鳥から捕食されることを逃れる。

- ・枝に擬態したアマミナナフシ、枯葉に擬態したキマエコノハ
- ・鳥の糞への擬態(オジロアシナガゾウムシ成虫、イラガの繭など)
- ・昆虫の糞擬態は発育に伴い変化する。(ナミアゲハ、アカスジキンカメムシなど)

#### ③毒を持つものへの擬態：ベイツ型擬態=有毒な動物(モデル)に無毒の動物(ミミック)が似る

- ・チョウのカバイロイチモンジ(無毒)はオオカバマダラ(有毒；アルカロイドを体内に蓄積)に擬態
- ・ミバエ類のベイツ型擬態：ミバエ類はハチに擬態している。(ミカンコミバエ、ウリミバエ)

- ・ホソヘリカメムシのベイツ型擬態：幼虫時はアリに、成虫時はハチに擬態。(アリとハチは自然界の脅威)
- ④ミューラー型擬態 (有毒なもの同士が似る)：鳥に有毒であると警告し、学習機会を増やす。
- ・ハチは黒と黄の縞模様で有毒であると警告。(オオスズメバチ、キイロスズメバチ、コアシナガバチなど)

## (6) 昆虫ミメティクスの応用

### ①昆虫の形態を模倣したもの

- ・モスアイ型無反射フィルム：ガの複眼の表面構造は光の波長より細かい突起を持ち、表面から突起の基材部まで屈折率を連続的に変化させ、外から取り込んだ光を反射させない仕組みになっている。この構造を模倣してモスアイフィルムがつけられた。
  - ⇒ テレビやディスプレイの無反射表面フィルム、美術館の絵画の保護用無反射フィルムなどに有用。
- ・昆虫の構造色：タマムシ、コガネムシ、モルフォチョウの構造色。表面の微細な凹凸による光の干渉で発色。
  - ⇒ 自動車の塗装、ディスプレイ、セキュリティーとしての偽造防止用ホログラム 等
- ・アサギマダラの翅の超撥水構造：アサギマダラの翅は超撥水性、水との接触角度は実に161度もある。テフロン (人間が作った最高の撥水性の物質) でも100-110度に過ぎない。翅の透明部分表面の特殊な立体構造(鱗粉がやり状に突起している)に超撥水性の秘密が隠されている！
- ・アサギマダラの翅の形態：翅の「くびれ」が飛翔能力の向上になっている。
  - ⇒ アサギマダラの翅の「くびれ」と飛翔時の「うねり」を扇風機の羽根に取り入れ羽根1枚から送られる風が二つに分かれ7枚の羽根で14枚分の風を送ることに成功した。(シャープ扇風機への応用)
- ・トンボの翅の形態：翅表面のギザギザで翅上面と下面に流れる空気の流れを変え揚力を大きくしている。
  - ⇒ エアコン内部のファン構造に応用、ファンの羽根に凸構造をつけることで摩擦抵抗が減少し、消音、省エネを達成した。ファンの羽根1枚はトンボの翅と同サイズ。(生物模倣は大きさ、規模感は重要)
  - ⇒ 小型風力発電の羽根に応用、微風でも発電が可能になり効率upができる。

### ②昆虫の特殊能力を模倣したもの

- ・振動により害虫を駆除する方法：松枯れのマツノマダラカミキリは振動を嫌う。(行動阻害忌避)
  - ⇒ 超磁歪素子による振動発生装置を松の木にセットし害虫を防除。
- ・卵運搬本能を利用したシロアリ駆除技術：ヤマトシロアリが物理的・化学的に擬態した菌核を卵と間違えて運ぶことを発見し、害虫駆除に応用。
  - ⇒ シロアリの卵運搬本能を利用し、巣内に卵認識フェロモンと遅効性殺虫剤を含有する擬似卵を運搬させて、巣の中核に蓄積させ、シロア리를殺虫する。(シロアリが卵の世話、口移し栄養交換を行う習性を持つことで殺虫剤が巣仲間に拡散)

### ③昆虫の産生物を模倣したもの

- ・蜂の巣のハニカム構造：ハニカム構造は非常に軽くて丈夫なため、様々なものに応用されている。
  - ⇒ 飛行機の翼、スペースシャトルの機体、スカイツリーの外壁部と展望台 (アルミ製ハニカムパネル)
- ・シロアリの塚をまねた建物：省エネ冷却効果。(ジンバブエの首都ハラレにあるショッピングセンター)

### ④昆虫型ロボット

- ・昆虫の形態や動きを模倣したもの：昆虫型六脚ロボット (六脚歩行はいつも3点で支えられて安定する。)
- ・昆虫の感覚機能や情報処理を模倣したもの：匂い源探索機能を有する圃場内移動脚ロボット

### ⑤昆虫から学んだことの医療・健康への応用例

- ・痛くない注射針：「蚊」刺しても気づかれない口針を応用
- ・脂肪を早く燃やす飲み物（明治乳業の VAAM）：「スズメバチ」長時間飛び続けられる・・・脂肪を高速で燃焼
- ・病原菌を殺す薬：「タイワンカブトムシ」汚い所でも幼虫が育つ・・・病原菌を殺す成分分泌

#### ⑥ダウンサイジング技術への昆虫の活用

- ・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。

以上で私の講演を終わらせていただきます。ありがとうございました。

【Q&A】質問なし。

【田中克先生 コメント】

1. 今日のお話を聞いて、基礎的な研究が本当に大事であると思った。大変残念なことに、現在の日本の科学・学術政策では直ぐに技術に結びつくものにしか研究費が付きません。今日の話のような昆虫の基礎的な研究には十分な研究費がつかないのが現状です。そのような中で何の役にもたないと思われるような基礎的な研究として、昆虫の分類、彼らの所属、発生の起源を明らかにするといった地道な研究を積み重ねられています。じつはそれが非常に重要で、本当に基礎を突き詰めれば必然的に新しい技術に結びつくことが無数に生まれてくるということが示されました。今求められるのは本当に基礎的なことは何か、何が底辺を支える基礎になっているのか、何が一番根源的なのかを見つめ直すことであり、研究の方向性(政府の学術政策)についても見直す時期に来ているのではないかという問題提起にも繋がっています。
2. 昆虫の社会は **Top down** ではなく **Bottom up** である。今の我々の人間社会では逆になっており、この点についても社会のありようを見つめ直すヒントになるのではないのでしょうか。また、昆虫が進化、発達していく中で他の生物との共生が大きく関わっているという話がなされたが、現在の人間社会では何事につけ共に生きるという考え方から大きく離れてきているのではないかと懸念されます。これからは共生という考え方を持てば、持続的な社会を可能にするような様々な技術が出てくるのだらうという印象を強く受けました。
3. 私は 10 数年前に藤崎先生とともにある研究会に所属していました。その研究会を主宰されていたのが、国際日本文化研究センターの安田喜憲先生で「環境考古学」という新しい分野を作られた方です。その研究会の中で、当初は環境と経済と文明は相対立しそれらに重点的に資源配分をしなければ経済が成り立たなくなると考えていましたが、いろいろな角度からこの問題を議論し、資源配分とともに環境と経済と文明は上手く折り合いをつけていけば持続可能な社会が構築出ると考えられるようになりました。藤崎先生と私はその研究グループのメンバーでした。
4. 最後に昆虫少年の話ですが、残念ながら昆虫少年はこれからは絶滅するのではと案じています。先ほどの同じ研究会の仲間に環境省の中井徳太郎さんがおられました。中井徳太郎さんは環境省のエリートで将来的には事務次官なられるような方ですが、現在は「つなげよう、支えよう、森里川海プロジェクト」を主導されています。そのプロジェクトの一環として、養老孟子さんが委員長になられて「森里川海大好き」という本が編纂されました。この本の中に昆虫少年を甦らそうという主旨の寄稿が掲載されています。藤崎先生の跡を継ぐような昆虫少年が数多く出てくることを願っているところです。

5. 今日の話の中で藤崎先生は、日本はバイオメティクスの後進国と言われたのですが、じつは日本は世界のトップを行く「モノづくり大国」であり、今までに培ってきたモノづくりの技術と、今日のお話のバイオメティクス・昆虫メティクスの研究を融合させていけば、日本はこの分野でも世界のトップランナーになっていけるのではと感じながら話を聞かせていただきました。

藤崎先生、本日は本当にありがとうございました。

以上

## 昆虫から学ぶことはたくさんある

みんながそれに気づき、考え、応用していく  
ことで、未来が変わっていくかもしれない！

昆虫は、一番身近な自然の先生なんだ！