生物多様性を規範とする革新的材料技術
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity
ニュースレター　Vol. 4　No. 3

生物規範工学

Engineering Neo-Biomimetics

文部科学省　科学研究費　新学術領域
「生物多様性を規範とする革新的材料技術」

CONTENTS

文部科学省　科学研究費　新学術領域
「生物多様性を規範とする革新的材料技術」

****

1)　巻頭言
・　不易流行
亀井　信一（株式会社三菱総合研究所政策・経済研究センター長）……8

2)　評価委員からのメッセージ：
・　生物規範工学の持続的発展に期待をこめて
藤崎　憲治（京都大学名誉教授，日本学術会議連携会員）…… 11

3)　研究紹介
【2015 年 11 月 17 日(火)】
15-2 バイオミメティクス研究会　環境とバイオミメティクス
・　プログラム…… 16

要旨集
・　ISO/TC266 Biomimetics 京都会議（第 5 回）WG1 報告
齋藤　彰（大阪大学）…… 18

・　ISO/TC266 WG2 国際委員会 京都会議の報告
細田　奈麻絵（物質・材料研究機構）…… 20

・　バイオミメティクスの国際標準化～生きた国際標準を目指して～
関谷　瑞木（産業技術総合研究所）…… 22

・　ISO/TC266 Biomimetics WG4 京都会議報告
溝口　理一郎（北陸先端科学技術大学院大学）…… 24

・　環境・CSR 経営からみたバイオミメティクス
白鳥　和彦（積水インテグレーテッドリサーチ）…… 27

・　欧米の環境・技術戦略からみたバイオミメティックス
亀井　信一（三菱総合研究所）…… 29

・ 生物多様性と自然環境評価
平井　規央（大阪府立大学） …… 31

・ フジツボ構造の形成によるプラズモン現象の効率的発生とバイオセンシングへの応用
福田　隆史（産業技術総合研究所） …… 33

【2016 年 3 月 3 日(木)-5 日(土)】
科学研究費「生物規範工学」全体会議／JAMSTEC 合同講演会
公開ジョイントシンポ“海洋資源メッカ沖縄で考えるバイオミメティクス”
・ プログラム…… 37

要旨集
科学研究費「生物規範工学」全体会議／JAMSTEC 合同講演会
< Oral >
・ バイオミメティクス・データベース構築―2015 年度後半の取り組み
A01 班　野村 周平 (国立科学博物館)…… 41

・ オントロジーの拡充と高機能化
A01 班　溝口 理一郎 (北陸先端科学技術大学院大学) …… 43

・ シワ構造のトライボロジー
B01-1 班　大園 拓哉 (産業技術総合研究所) …… 45

・ 流水条件下における生物付着評価方法の開発への取り組み
B01-1 班　野方 靖行 (電力中央研究所) …… 47

・ サブセルラーサイズの生物表面研究の重要性－多機能な生存戦略を学んで，ものづくりに
B01-2 班　針山 孝彦 (浜松医科大学) …… 49

・ 班間連携による魚類の吸盤に関する研究
B01-3 班　細田 奈麻絵 (物質・材料研究機構) …… 51

・ 新しい実装技術に向けたバイオミメティクス表面の開発
B01-3 班　松尾 保孝 (北海道大学)…… 53

・ 生物規範環境応答・制御システム
B01-4 班班長　森 直樹 (京都大学)…… 55

・ 生物羽ばたき飛行の受動的な制御
B01-5 班　劉 浩 (千葉大学)…… 57

・ がん細胞の運動表現型診断のための弾性率可変マイクロファイバーゲルマトリックス
B01-5 班　木戸秋 悟 (九州大学)…… 59

・ 光り輝く未来を創るために
C01 班　石田 秀輝 (東北大学・地球村研究室) …… 61

・ 心豊かなライフスタイルとテクノロジーを繋ぐデータベースの構築
C01 班　小林 秀敏（大阪大学） …… 63

・ 超撥水現象の温故知新-私の研究と生物の超撥水-
特別講演 1　辻井 薫 (元北海道大学教授) …… 65

・ 海洋生物に学ぶセンシングとコミュニケーション
特別講演 2　赤松 友成 (水産総合研究センター) …… 68

< Poster >

・ 魚類に関するバイオミメティクス・データベース構築
A01 班　篠原 現人（国立科学博物館） …… 72

・ 生物微細構造を規範とした材料表面改質とその特性
B01-1 班　小林 元康（工学院大学） …… 73

・ 低環境負荷の構造色塗工プロセス
B01-2 班　不動寺 浩（物質・材料研究機構） …… 74

・ イオン液体を用いた SLUG の開発
B01-3 班　佐藤 知哉，浦田 千尋，穂積 篤（産業技術総合研究所）…. 75

・ ガ類の受容体によるフェロモンブレンド検出機構の解明
B01-4 班　光野 秀文（東京大学） …… 76

・ 昆虫の羽ばたき飛行における胸部構造の変形とその制御
B01-5 班　安藤 規泰（東京大学） …… 77

・ 心豊かな暮らし方のか・た・ち を創るテクノロジー
C01 班　古川 柳蔵（東北大学）…… 78

・ インコ類の混色による非虹色構造色
公募 01　森本 元（山階鳥類研究所）…… 79

・ メラニン顆粒から着想した粒子を用いる構造色材料
公募 03　桑折 道済，河村 彩香（千葉大学）…… 80

・ 珪藻細胞壁の微細構造が生み出
栄養取り込み機能の解明と物質拡散制御材料への応用
公募 04　前田 義昌（東京農工大学）…… 81

・ 環状両親媒性高分子の自己組織化によるベシクル構築とゲスト包摂
公募 05　山本 拓矢（北海道大学）…… 82

・ NanoSuit®法によるリアルな生物表面観察のバイオミメティクスへの展開
公募 06　高久 康春（浜松医科大学）…… 83

・ セミの翅の物理的防御機構を模倣した機能性ナノデバイスの創製
公募 07　安井 隆雄（名古屋大学）…… 84

・ 磁性粒子分散ゴムを用いた人工繊毛の開発
公募 08　津守 不二夫（九州大学）…… 85

・ 好中球（白血球）に学ぶ微粒子の濃度勾配駆動水中推進
公募 09　玉川 雅章（九州工業大学）…… 86

・ 粉体状粘着剤
公募 10　藤井 秀司（大阪工業大学）…… 87

・ カイメン－二枚貝集合体の立体構造解析
公募 11　椿　玲未（海洋研究開発機構）…… 88

・ バイオミメティクスの社会実装に向けた特許と論文発表件数の関係性の考察
公募 12　香坂 玲（金沢大学）…… 89

・ 3D コンフォーカル顕微鏡による生物表面の観察
津留 美紀子（海洋研究開発機構）…… 90

・ 成長に伴うヨワカイメンの濾過機能の変化
保坂 美沙子（海洋研究開発機構）…… 91

・ 海洋生物の持つ切削器官は最適か
山本 美希（海洋研究開発機構）…… 92

公開ジョイントシンポ“海洋資源メッカ沖縄で考えるバイオミメティクス”
テーマその１　海洋資源とバイオミメティクス
・ 海洋生物資源を活用した事業展開
招待講演１　金本 昭彦 先生 (オーピーバイオファクトリー株式会社)… 93

・ 海洋生物の自然史学に学ぶバイオミメティクス
招待講演２　白山 義久 先生 (海洋研究開発機構)…… 96

・ 新種のフグが作るミステリーサークル：魚の「建築」技術を探る
招待講演３　松浦 啓一 先生 (国立科学博物館)…… 100

・ 国立自然史博物館はバイオミメティクスのメッカ！？
招待講演４　西田　睦 先生（琉球大学)，馬渡 駿介（北海道大学）… 103

・ 沖縄美ら海水族館が創り出す多様な資源とその活用
招待講演５　佐藤 圭一 先生 (沖縄美ら島財団　総合研究センター)…. 106

テーマその２　自己組織化とバイオミメティクス　「良い加減さの起源」
・ 生体模倣技術を用いた味と匂いを測るセンサ開発
招待講演６　都甲 潔 先生 (九州大学) …… 110

・ 匂いで良い加減を知る？アリの巣仲間センシング
講演１　尾崎 まみこ 先生 (神戸大学) …… 114

・ フジツボの抗付着に適した「良い加減」な表面微細構造
講演２　室崎 喬之 先生 (旭川医科大学)…… 116

・ 昆虫の表面構造における「良い加減さ」
講演３　吉岡 伸也 先生 (東京理科大学)…… 118

・ 眼の構造における「良い加減さ」　水棲生物の場合
講演４　山濱 由美 先生 (浜松医科大学)…… 120

4)　トピックス (PEN より)
・ バイオミメティクスに対する最初の意識調査
産業技術総合研究所　安順花，関谷 瑞木，阿多 誠文 …… 123

・ カラスの行動にまつわる工学的なエトセトラ
東京大学総合研究博物館　松原 始…… 127

・ カブトムシを極めよう
国立科学博物館　野村 周平…… 131

5)　国内外研究動向紹介
・ 平成 27 年 10 月 19 日(月)-21 日(水)
ISO/TC266 Biomimetics WG4 京都会議報告
香坂　玲（金沢大学）…… 141

・ 平成 27 年 10 月 22 日(木)
Engineering Neo-Biomimetics VI and Satellite Workshop at Lake Biwa
（1 日目 10/22）に参加して
鈴木　航祐（産業技術総合研究所）…… 142
「バイオミメティクス国際会議」レポート
星野　敬子（NPO 法人アスクネイチャー・ジャパン）…… 145

・ 平成 27 年 10 月 23 日(金)
島津新素材セミナー2015　新素材のヒントはここに！「バイオミメティクス」
（京都 10 月 23 日）に参加して
片山　英里（国立科学博物館）…… 146

・ 平成 27 年 10 月 30 日(金)
Conference Report: 4th Nagoya Biomimetics International Symposium (NaBIS)
Raju　Gupta，穂積　篤（産業技術総合研究所)）…… 147

・ 平成 27 年 11 月 17 日(火)
２０１５年度第２回高分子学会バイオミメティクス研究会報告
溝口　理一郎（北陸先端科学技術大学院大学）…… 149

・ 平成 27 年 11 月 20 日(金)
島津新素材セミナー2015　新素材のヒントはここに！「バイオミメティクス」
（2015 年 10 月 23 日および 11 月 20 日）セミナーに参加して
森　直樹（京都大学）…… 151

6) 新聞・報道…… 152

7) アウトリーチ活動…… 157

8) 各種案内…… 159

（1）巻頭言

不易流行

株式会社三菱総合研究所
政策・経済研究センター長
亀 井 信 一

この研究プロジェクトもラストスパートの時期を迎えようとしている。研究成果を総括することはもちろんのこと，次のプロジェクトにスムーズに繋げるような検討も重要な時期である。本研究プロジェクトのように，知的基盤の構築を目指すものは継続してこそ意味がある。正念場である。

私事で誠に恐縮であるが，この一年間，「人間の生き方・働き方の未来」に関して研究を進めてきた。しばしお付き合いいただきたい。本来，人間は多様で多元的な価値観を持っている。それはどのように生き，どのように働くかについても同様である。過去の高度経済成長を支えた工業社会は規格大量生産を前提としたものであり，一ケ所に集まり階層をもつ組織で同時に働くことが最も効率的であった。しかし，多様化や情報化が進み知識産業の比率が高まった現代では，これまでの働き方が時代に合わなくなりつつある。では，未来の働き方はどうなるのであろうか。その解を追い求めてきたのである。

未来の働き方を考えるアプローチとして，働き方に影響を与える外的要因を設定し，その要因の未来予測から，働きから像を導き出した。ここでは，①日本の社会の特性を反映した視点である「家族像と人のつながりの変化」，②世界で最初に迎えることになる「高齢化と人口構成の変化」，③働き方に直接影響を与える「経済環境の変化」，④世界最先端の展開と高いロボット受容性などを特徴とする「テクノロジーの進化とその享受」，⑤弱点から逆転の発想になりえる「グローバル化のインパクト」を据えた。散々検討したが，未来の生き方や働き方に大きな影響を与えるのは，実は，テクノロジーの進化であった。

この研究の過程で，「人は，科学や技術が進歩すると何歳まで健康でいられるものか？」という問いにもぶち当たった。これは，「老化がどのようなメカニズムでなぜ始まるの

か」という本質的問題に通じる。現在，老化のメカニズムは約 100 通りの学説があるといわれている。その中で，2000 年に存在が注目された長寿遺伝子（サーチュイン）をサーベイした。最初にその働きが解明されたのは酵母であったが，長寿遺伝子はほとんどすべての生物が持っている。霊長類も含めて，この長寿遺伝子はカロリー制限（すなわち飢餓）によってスイッチが入り，多様なメカニズムを経て長寿を実現しているといわれる。ある種の飢餓がスイッチということは極めて興味深い。ここに，太古からの生物の生き残り戦略が内在していそうである。

なお，話を元に戻すと，「未来の生き方・働き方は，個人の主体性・自律性のもとで，場所や時間さらには組織に縛られず価値観の多様化にあわせた多元的なものが加速度的に台頭する」と結論付けた。すなわち「フリー・フラット・プルーラル」が，未来の生き方・働き方である。固定的な考えに縛られ，多様性を失うと途端に人間は立ち行かなくなる。

また，研究の中で出会った「危機・飢餓が生き残りのためのスイッチになる」ことも示唆深く受け止めた。これは単細胞生物から霊長類まで続く戦略である。

本プロジェクトも，非常に厳しかった中間報告を転機（スイッチ）として，転換した。今後，次の飛翔に向かって，決して国内に縛られることないグローバルな展開や生物や人類の生き残り戦略なども含めた巨視的な目で捉え多様性のある取り組みの中でさらなる発展を望みたい。

（2）評価委員からのメッセージ

生物規範工学の持続的発展に期待をこめて

藤崎憲治（京都大学名誉教授，日本学術会議連携会員）

新たな年が明け，本新学術領域も4月からいよいよ最終年度を迎えることになった。2014年に実施された中間評価ではきわめて厳しい指摘を受けたことは，記憶に新しい。しかし，それを受けて翌年の7月16日に執り行われた外部評価委員によるサイトビジットでは，下村リーダーをはじめとする領域メンバーの懸命の対応の結果，「指摘事項へ適切に対応されている」との確認結果を受けた。これに甘んじることなく，事後評価では高い評価が得られるよう，より一層の努力を期待したい。

繰り返し言われてきたように，本領域が目指すものは，工学と生物学という全く異質な学問分野の融合的学問領域である「生物規範工学」という，きわめてチャレンジブルな新規学問分野の創生である。下村先生によれば，それは単なる生物模倣ではなく，生物が自らの形態を作っていくやり方である「自己組織化」の機構を解明し，模倣することによって，技術革新を図ることである。生物の在り方の本質に迫る，そのような学問領域が一朝一夕に達成できるほど甘くはなく，中間評価の厳しい結果は何よりもそのことを物語っているだろう。しかしそれは，本新規学問分野が，新たな知の地平を切り拓き，人類の持続的発展に寄与して欲しいという大きな期待の裏返しでもある。わずか数年の間に目標とした成果が得られるような新規学問領域なら，所詮その程度のものであるに過ぎない。生物規範工学はプロジェクト終了後も長期にわたる持続的発展が必要とされ，そして期待される学問領域である。

我が国のバイオミメティクスは周回遅れとも言われたりするが，必ずしもそうとは言えない。2014年に翻訳発行された，ジェイ・ハーマンの『自然をまねる，世界が変わるーバイオミミクリーが起こすイノベーション』（化学同人）の中には，日本におけるバイオミメティクスの成果がいくつも紹介されている。それらは，カワセミの嘴を模倣した新幹線のノーズ，フクロウの羽根の形状を模倣した新幹線のパンタグラフ，ミツバチの湾曲した複眼のデザインを取り入れた自動車のレーザー距離計（日産自動車），モルフォチョウの構造色の発現機構を模した繊維であるモルフォテックス（帝人），菌類の自然のネットワークを模倣した人工知能（北海道大学）などである。これらとは別に，シャープ株式会社は，電化製品に積極的にバイオミメティクスを取り入れている。例えば，アサギマダラという長距離移動を行うチョウの翅にあるくびれや飛翔時の「うねり」を模倣した扇風機が製品化されている。そのほか，トンボの翅，アホウドリやイヌワシの羽根，イルカの高速遊泳機構，ネコの舌などを模倣した数々の電化製品が考案されて

いる。これらの事実からすれば，我が国におけるバイオミメティクスは時代の先端を走っているものも多く，急速に普及しつつあると言えよう。ＮＰＯ法人「バイオミメティクス推進協議会」も立ち上げられ，そこには大手の化学企業や自動車メーカーも加わる予定だというのは，大きな前進である

バイミメティクスあるいはバイオミミクリーという思想や技術は確かに西欧由来であり，我が国では西欧諸国に比べてスタートが遅れたことは事実である。何と最初のバイオミミックスの一人が，自然のらせん構造の模倣であるアルキメディアン・スクリューを発明した，古代ギリシャのアルキメデスというのだから，それは仕方のないことである。しかし，かつて明治維新とともに西欧から導入された科学技術がそうであったように，ひとたび有用であるとの認識がなされれば，それを改良し急速に発展させていく高い潜在能力を我が国は持っている。バイオミメティクスは今後我が国で大きく花開く可能性があるのだ。昆虫生態学を専門とする私は，手前味噌かもしれないが，その中でも昆虫をモデルにしたバイオミメティクス，すなわち昆虫ミメティクスが大きな役割を果たしていくものと思っている。昆虫は地球上でもっとも種多様性に富む，きわめて進化的に成功した生物であることで，バイオミメティクスの宝庫であること，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が，その背景にある。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（分散脳システムや高い移動分散性），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方向であった大型化，集中化，一様化とは真逆の戦略であるからだ。まず，ダウンサイジング技術(古くは扇子や小田原提灯など，新しくは折り畳み傘，電卓，ウォークマンなど)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行うことで，エネルギーを最小にする持続可能な社会を実現することが期待される。次に，人類社会に不可欠な電気を作り出す発電所の分散化も，漏電や電気抵抗によるロスを防ぎ，大災害によるリスクを軽減する合理的な手立てになる。例えば個々の家などで電気を生産するのが理想的であるが，その際にトンボの翅の形状を模倣したプロペラで回転する小型発電機が有効であるだろう。さらに，昆虫たちは4億年という長大な進化的歴史を通して，生活様式を多様化させ，あるいは多様な生物間相互作用（競争や共生）を進化させることで，ニッチを多様化させ（ニッチ分割），生態系のダイナミックな安定性に貢献してきた。このことは人類の採るべき資源配分戦略のヒントになるに違いない。このように，昆虫ミメティクスは人類の持続的発展に貢献する大きなポテンシャルを秘めていると言えよう。

下村先生は，ある講演での冒頭，「動物園や博物館に行きましょう」と述べたようであるが，私はさらに「子供たちを自然のフィールドに連れ出しましょう」と言いたい。詩人で劇作家の寺山修司の言葉「書を捨てよ，町へでよう」をもじれば，「書を捨てよ，自然へ出よう」ということである。バイオミミックスになるための原体験は，子供時代

に育まれた自然に対する素朴な好奇心や畏敬の念にあるのであって，そのようなエモーションはありのままの自然の中でしか醸成されないだろう。自然の中には生物の不思議が溢れている。森や川や海といった自然の中での子供たちを対象にした「バイオミミックス育成教育」が何よりも必要とされる。しかし，エモーションだけでは事は進まない。大学においては生物学と工学を日常的に学ぶバイオミメティクス学部が創設される必要があるだろう。そこでは生物学を工学に結び付ける論理と技術が畳み込まれる。さらには，国立バイオミメティクス研究所のようなものが設立されたらどんなに良いだろうと思っている。

最近，バイオミメティクスの将来にも大きく影響するかもしれない動きがある。それは，国立自然史博物館設立へ向けての動きである。現在，日本学術会議では「国立自然史博物館設立の必要性」という提言を行うべく準備が進められつつある。もし国立自然史博物館が創設されることになれば，保有する莫大な生物標本の微細表面構造を走査型電子顕微鏡で調べ，その機能と関連させることを通して，バイオミメティクスに貢献することが期待される。バイオミメティクス推進協議会としても，最大限のバックアップが必要であろう。偉大な昆虫学者で社会生物学の創始者でもあるハーバード大学のエドワード・O・ウィルソン博士は，バイオミミクリーの提唱者であるジャニン・ベニュス女史が敬愛するバイオミミックスでもあるが，大学において分類学をはじめとする基礎的な生物学に関する教育が，分子生物学などの“先端的生物学”の台頭とともに困難になりつつあることを憂慮している。そのことは我が国においても全く同様である。いや状況はもっと深刻かも知れない。だからこそ，日本学術会議農学委員会応用昆虫学分科会では，「昆虫科学が果たすべき役割とその推進の必要性」という報告（2011年）と「昆虫分類・多様性研究の飛躍的な拡充と基盤整備の必要性」という提言（2014年）を上申し，そのことを訴えた。ぜひご覧になっていただきたい。国立自然史博物館の創設がこのような危機的状況を打開する契機になることを願っている。本新領域は「生物多様性を規範とする革新的材料技術」というタイトルであるが，この領域の発展の鍵を握っているのも，生物多様性研究の基礎となる分類学や博物学の維持・発展であることを，私たちは強く認識するべきである。ともあれ，生物規範工学の一層の持続的発展を期待して，内部評価委員としてのメッセージとしたい。

（３）研究紹介

15-2 バイオミメティクス研究会　環境とバイオミメティクス

趣旨：生物多様性は，長い進化の過程において環境に適応した結果であり，「生物の技術体系」とも言うべき"高炭素世界の完全リサイクル型技術"によって獲得されたものです。バイオミメティクスは，「生物の技術体系」における"生産プロセス"や"作動原理"，"システム制御"を規範とすることで，「人間の技術体系」にパラダイムシフトをもたらし環境調和と持続可能性に資する技術革新を目指す，古くて新しい科学技術の体系です。バイオミメティクスの体系化には，環境と生物多様性に関する生態学的な知見は不可欠であり，また一方で，環境と産業活動に関する経済学的な視点を持つ事が重要になります。京都で開催される国際標準化 ISO TC266Biomimetics 国際委員会における持続可能性の議論や，12 月にパリで開催される国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議と京都議定書第 11 回締約国会合を鑑み，今回は，"環境とバイオミメティクス"を主題にいたしました。

　また，『生物模倣技術と新材料・新製品開発への応用』（技術情報協会刊）からは，センシングの話題を提供して頂きます。

主催：高分子学会　バイオミメティクス研究会，
　　ISO/TC266 バイオミメティクス国内審議委員会
共催：国立研究開発法人産業総合研究所，科学研究費新学術領域「生物規範工学」
協賛：アスクネイチャー・ジャパン，モノづくり日本会議ネイチャーテクノロジー研究会，
　　ナノテクノロジービジネス推進協議会バイオミメティクス分科会
開催日：2015 年 11 月 17 日　13:00～18:00
開催場所：産業技術総合研究所　つくばセンター　共用講堂　2 階　大会議室
　　（つくば市東 1-1-1 中央第 1）

■プログラム■

13:00～13:05　開　会
　　（高分子学会バイオミメティクス研究会運営委員長）下村　政嗣

＜第一部：ISO TC266　京都国際会議の報告＞

13:05～13:25　ISO/TC266 Biomimetics 京都会議（第 5 回）WG1 報告
　　（大阪大学）齋藤　彰

13:25～13:45　ISO/TC266 WG2 国際委員会 京都会議の報告
　　（物質・材料研究機構）細田　奈麻絵

13:45～14:15　バイオミメティクスの国際標準化～生きた国際標準を目指して～
　　（産業技術総合研究所）関谷　瑞木

14:15～14:45　ISO/TC266 Biomimetics WG4 京都会議報告
　　（北陸先端科学技術大学院大学）溝口　理一郎

14:45～15:00　休　憩

＜第二部：環境とバイオミメティクス＞
15:00～15:40　環境・CSR 経営からみたバイオミメティクス
（積水インテグレーテッドリサーチ）白鳥　和彦

15:40～16:20　欧米の環境・技術戦略からみたバイオミメティックス
（三菱総合研究所）亀井　信一

16:20～17:00　生物多様性と自然環境評価
（大阪府立大学）平井　規央

17:00～17:10　休憩

＜第三部：『生物模倣技術と新材料･新製品開発への応用』（技術情報協会刊）から＞
17:10～17:50　フジツボ構造の形成によるプラズモン現象の効率的発生とバイオセンシングへの応用
（産業技術総合研究所）福田　隆史

17:50～18:00　閉会

ISO/TC266 Biomimetics 京都会議（第５回）WG1 報告

（大阪大学大学院 工学研究科 精密科学・応用物理学専攻）齋藤 彰
電話 06-6879-7298　FAX 06-6879-7299
E-mail　saito@prec.eng.osaka-u.ac.jp
http://www-ss.prec.eng.osaka-u.ac.jp/html/member/stuff/saito.html

１．WG1: Terminology, concepts and methodology

開催日時：2015 年 10 月 20 日（会議二日目）13:30〜16:00,
21 日（会議三日目）　9:10〜11:30（WG1 を含む全体総論）
参加者：TC266 関係者全員

２．これまでの流れ

WG1 の規格（ISO 18458）は，Liège 会議（前回 2014.10 月）を受けた修正後，2015.5 月に出版済みで（つまり規格として確定済み），その時点で WG1 は本来，解散の筈である。しかし英国とカナダの２提案（後述）が未決なのと，文書の修正ステージが控えており，それらの議論用に WG 自体は継続していた。これは「出版済み（確定）」の事実と矛盾するようで紛らわしいが，「出版は修正の可能性含み」と考えればよい（或いは，そうまでして出版・確定を急いだ，という見方もできる）。そこで今回の仕事は英国提案，カナダ提案，修正項目，の処理である。前２者は各国の提案次第で対策も限界があるため，国内で事前に準備したのは最後の修正項目である。

なお WG1 の主題は冒頭のとおり「定義，概念と方法論」だが，主な使命は「何を以て Biomimetics となすか」という判断基準の明文化である。これが曖昧だと「正規」と「似非」の境界が揺らいでしまい，「標準」自体が成立しない。しかし，もとより生物・物理・化学・情報などから工学に至る広範かつ膨大な境界領域を必然的に含む Biomimetics は，宿命的に多くの曖昧さを内包する。そこに WG1 の困難がある。

３．議事と当日の様子

予定された上記２議題のうち，英国提案（Sustainability の Work item（WI）立上げ）は，責任者欠席のため当座，延期された。議論の必要性自体は全体の合意があるため，将来の提案を待つ（時期は不明）ことになった。

最も時間を割いたカナダ提案は「成功事例のアセスメント」である。前回の提案時は「Biomimetics の成功例として怪しいものがあるので検証を（特に図１の項目 3.）」の話で，前項の「似非を排除」という「お墨付き」の話に見えた。しかし方向はそうでも，じつは驚くほど大規模な制度提案であった。網羅した説明は紙幅のためかなわぬが，ポイントは，新たな評価プロセスの導入である。

要点は，各 Biomimetics 事例について成否を「採点」「数値化」すること，判定には図１の６原則を使うこと，評価システムは産業界に広く分散し，結果は産業にフィードバックし「使える」ようにすること，である。

判定基準６原則はその半数（図１の 2., 3., 4.）が従来の３原則と同等でマイナーチェンジだが，斬新なのは全体構想である。採点はユーザ（企業）を含む市場自身が行い，各社へフィードバックし，生きたシステムを目指す。そして「神棚上のルー

図１　カナダ提案（の一部である６項）。
Biomimetics　３原則は2.3.4.に相当する。

1. ニーズあっての開発である事。※
2. 「生物機能」からの新たな案に依る事。
3. 生物機能を「モデル化」する事。
4. 元の生物機能の拝借でなく「応用」する事。
5. 全体に建設的成果がある事。※
6. その成果はBiomimetic な部分で得られる事（他の部分で出た成果は×）。

※ 事例のための事例，はNG。

ルブック」でなく，例えば開発の意思決定プロセスやマーケット評価など生産現場での「使えるマニュアル」にする。かつ Triple-Bottom-Line 方式（環境用語。企業評価に収益だけでなく環境・社会貢献も考慮）も導入し，最終的に「Biomimetics 評価システム」を一般化し，各組織で枠組み作りに役立てる。結果として技術実施面での（ゴールに向けた）良否判断が容易になる，その過程で定義や意義の理解・確認もはかどる，等の利点がある。

私見だが，学術における Impact Factor（IF）を Biomimetics 産業に導入するような構想と思えばわかり易い。思い切った提案で，現 18458 文書の不備（後述：肝心の辞書部が貧弱で，成否診断の事例表が幹事国の我田引水など牽強付会）に対し，それを凌駕する「規格」を策定する提案である。たしかに経緯からして，前回第 4 回会議になって突然 P メンバー国（投票権所有）に新規参入した上，従来の経緯をひっくり返す主張を続けたカナダは，最後の投票（2014.7 月）でも唯一，日本と同じ反対票を投じ，WG1 規格へ強い不満を持つ数少ない参加国である。その意味で，カナダ提案は現行 WG1 文書の不備を，実地の応用例（と有効性）と査定で補完する試みともとれ，我田引水でない正確な判定を求める日本としては，尊重したい。ただ，何でも数値化に頼る昨今の（メディアの視聴率，学術の IF 偏重など）思考停止に気色悪さを覚えるのは筆者だけだろうか。なお上記はあくまでアイデア段階で，審査方法やデータ収集，合意形成など問題も山積である。カナダは 2016 年半ばを目途に新 WI を作る予定で，WG1 でもその必要性は合意し，カナダの動きを待つことになった。それが WG1 の枠組で続くのか，WG5 となるか，は今後次第である。

最後に修正項目の処理では，日本は 2 点提案をした。1 つは「Biomimetics 成否診断例」表で，Fin Ray の代表例として独・FESTO 社製品の写真が新たに加わった点である。最終校正の段で，かつ 1 社の利益供与たり得る改変はいかがなものか，の疑義である。しかし Convener（独）は「Liège で合意した」と拒み，日本代表で筆者は「聞いた覚えがない」と述べた。しかし「図があると便利。ISO 本部も宣伝でなければ社名 OK の由」と突っぱねられた。これにも「聞いた覚えがない」旨を言ったが，筆者に同調する声も無く（よほどその場で一人一人に確認するか迷ったがそれは止めた），単身，鉾を収める羽目になった。2 点目は辞書部（第 2 章）の不備である。前回の日本提案（修正）は反映されたが，まだ混乱した類義語で曖昧な境界が不鮮明のままなど，明らかな瑕疵も残ったままである。これも Convener は「既に合意済み」と言うが，筆者の明確な記憶では議論がフェードアウトしただけであり，この主張に対しては「修正用に覚えておく」との話であった。

４．総括

今回は 18458 出版後であり，前回のような 7 時間超の議論にならず冒頭の通りである。筆者は第 3 回プラハ会議の数か月前（2013.6 月）に前任者の代打で，しかし任を完全に引き継いだ。以後 2 年半の限られた間ではあるが，主な成果は，上記にもある「Biomimetics 成否診断」の全項目にわたる大幅修正（Matrix 導入により，牽強付会の阻止）と，辞書部の修正であろう（居城・溝口各委員をはじめご協力に感謝したい）。一方で残念なのは，性急・強引な 18458 出版に，歯止めが効かなかった点である。ただ全力は尽くし，筆者ができる攻防としては，ここが限界である。あとは筆者の本職（科学研究者）の視線で，18458 の影響を今後の予測に基づいて観測してゆきたい。

なお余談ながら重要な話として，ドイツによる性急な ISO 策定と Industry4.0 の関係はこの機会にぜひ確認したく，翌 10/22 の講演会で WG1 Convener の講演時，質疑をした。さらに制限時間で聞けなかった点も個別に話ができた。印象は「直接のお上の指令は無いが，意識は深い」という所である。詳細は省くが，世界情勢の中，我が国の置かれた深刻な状況に思いを深めた次第である。最後に，ホスト側として大変な苦労・工夫をされた平坂・三原両委員を始めとする高分子学会事務局，何より下村委員長に，運営に対する海外参加者各位の絶賛をお伝えするとともに深く感謝を表したい。

ISO/TC266 WG2 国際委員会 京都会議の報告

Biomimetic Materials, Structures and Components

（国立研究開発法人　物質・材料研究機構）細田　奈麻絵
電話 029-860-4529　FAX 029-860-4697
E-mail　HOSODA.Naoe@nims.go.jp

ISO 規格の策定手順は６段階あり（①新作業項目（NP）の提案、②作業原案（WD）の作成、③委員会原案（CD）の作成、④国際規格原案（DIS）の照会及び策定、⑤最終国際規格案（FDIS）の策定、⑥国際規格の発行)、WG2 は現在では④の国際規格原案の照会及び策定の段階まで進んでいる。昨年 WG2 が作成した原案は ISO/DIS 18457 として登録され、全てのメンバー国に回付された後 DIS 承認に対する投票が２０１５年７月２０日から１０月２０日の３ヶ月間行われた。投票結果は、コンビナーを務めるベルギーとフランスとイスラエルが棄権、P メンバーであるカナダ、中国、チェコ、ドイツ、日本、スイス、イギリスが賛成票（カナダとドイツはコメント付き賛成)、0 メンバーであるフィンランドが賛成票を投じ、P メンバーによる投票の２／３以上が賛成、反対が投票総数の１／４以下（非承認国ゼロ）であることから WG2 の原案は ISO/DIS 18457 として承認された。京都会議では、国代表団体により DIS から最終国際規格案（FDIS）の作成作業が行われた。

図１　ISO/TC266 京都会議の様子
（１０月２１日）

【京都会議】

２０１５年１０月２０日午前、京都の三井ガーデンホテル京都四条において、ISO/TC266 作業グループ２(WG2)は、材料、構造、表面、コンポーネント、生産技術に関するバイオミメティクな開発に関する最終国際規格案（FDIS）の作成作業を行った。会議の参加者は、ベルギー１名、フランス２名、カナダ１名、チェコ１名、ドイツ３名、日本１２名、スイス１名、イギリス１名、合計２２名である。

FDIS の作成作業は、まず DIS の投票時に送られたドイツとカナダの５６項目に関するコメント（主にエディトリアルなコメント）及び修正案に対し賛否を取りながら修正作業を行った。続いて図・表の詳細を再チェックし、印刷ミスのある原図（図３）の Ashby の図の書き換え、図４と図５の書き換え、生物及びバイオミメティック製品の分析手法をまと

めた表３及び分析手法について記載された 5.1.1 と 5.1.2 を付録 B へ移動となった。また、今回の会議から参加したオックスフォード大学の Julian Vincent 教授ら新メンバーにより”reverse biomimetics”の概念の否定などの意見も出され予定していた時間を４０分延長するなど活発な議論となった。

【原案で紹介されている日本の技術】

WG2 の ISO/DIS 18457 には付録にバイオミメティクス技術開発と分析技術の紹介が書かれている。１つめは、表面観察に関連した日本発の技術である。表面観察に良く利用される電子顕微鏡は真空を使うため生きた状態で生物表面を観察するにはあまり適していなかった。近年開発された電子顕微鏡の前処理技術である“ナノスーツ法”が生きた状態での生物表面の観察手法として紹介されている。２つめは、生物の機能を簡略的に理解するツールとして既存技術を生物の機能に照らし合わせて理解する手法の例として“三浦折”の理論を葉の展開の理解に役立てた研究の例として日本の研究が紹介されている。

【今後の予定】

WG2 では京都会議での話し合いを基に原案を修正し、１２月７日２２時（日本時間）よりウェブ会議を行う予定である。この会議が原案修正の最終となる。２０１６年１月中に原案は提出され、最終国際規格案（FDIS）として登録される。

バイオミメティクスの国際標準化
～生きた国際標準を目指して～

（国立研究開発法人産業技術総合研究所ナノチューブ実用化研究センター）
関谷瑞木
電話 029-860-5108
E-mail　mizuki-sekiya@aist.go.jp
URL　http://www.pengin.ne.jp/

バイオミメティクスの国際標準化を議論するために国際標準化機構（ISO）に設置された 266 番目の専門委員会 ISO/TC266 Biomimetics はベルリンのドイツ規格協会での第 1 回会合から 4 年目を迎え，10 月に京都で第 5 回目の全体会合が開催された。現在 TC266 Biomimetics に 4 つ設けられているワーキンググループ（WG）のうち，2 つの WG は京都会議で国際標準の発行の一つの節目を迎えることとなった。昨年ベルギーのリエージュで開催された第 4 回の全体会合で生物に学んだ構造の最適化のアルゴリズムを国際標準とする WG3 Biomimetics Structural Optimization は，ISO が迅速な国際標準化のために設けた手続きを経ることに合意されており，国際標準の発行がすでに決められたアイテムとして京都会議では議論は行われなかった。

Fig. 1 自然に学ぶ構造最適化アルゴリズムのひらめきの源となった生物の順応的な成長の例

バイオミメティクスの国際標準化は研究開発と並行して，研究開発の成果を社会へ還元するところまでを見据えて取り組みが進められている。とはいえ，具体的な製品やマーケットへの展開が乏しい，あるいはよく見えてこないなかで議論を進めなくてはならないことに対する懸念はこれまでの国内審議委員会で議論の俎上に載せられてきた。今回，WG やタスクグループの議論の際に，海外の複数の代表からも同様の懸念や不満の声が聞かれた。

京都会議では，国際標準を発行した後について，様々な形で繰り返し議論された。前回リエージュの会合の最後に日本からの提案で設置して活動を行うことが決まったタスクグループ Transparency and Stakeholder Communication の会合においても同様であった。タスクグループは，第 4 回までの会合とその間に開催されるウェブミーテ

ィングの議論の進められ方などから，各参加国内匂いて潜在的なステークホルダーがきちんと掘り起こされておらず，社会からのニーズが適切に発行される国際標準に反映されていないのではないかとの懸念に取り組むために日本から提案したものである。これは，国際標準化のプロセスの透明性の確保やステークホルダーのニーズの把握によって，長く活用される国際標準が作成されるようにとの ISO の期待に応えるものでもある。タスクグループでは，各国が自国のステークホルダーとコミュニケーションのきっかけとできるよう，また，各国が自国でステークホルダーとどのように議論を進めているのかについて京都会議の際に他の参加国と参考になるような情報を共有できるようにとの趣旨で質問票への回答を呼びかけた。

1 年前のリエージュ会議の際に，カナダおよびイギリスから新たに持続可能性の視点を盛り込んだワーキングアイテムを提案したいとの希望が出されていた。京都会議でカナダは発行済みの国際標準を評価する手法を開発し，国際標準化したいとの提案であった。カナダのこの提案に多くの参加国が賛同した背景には，多くの時間や労力をかけて発行まで至った国際標準には，その後活用されないままとなっている国際標準があるとの批判が ISO の内外にあったといえよう。

国際標準は発行することが目的ではない。数年の議論を経て発行される国際標準がきちんと製品の開発や産業の育成・振興に活かされてこそ，ISO の場での議論が実ったといえるであろう。TC266 Biomimetics 設置の提案をし，幹事を務めるドイツでは，そのような「国際標準発行のその後」の戦略がしっかりと練られているようである。前回の会合では WG3 Biomimetics Structural Optimization で議論されてきた Soft Kill Option（SKO）や Computer Aided Optimization(CAO)といった生物の成長をモデルとして構造の最適化を図るアルゴリズムが国際標準として発行することが決められた。ドイツでは事業者に向けて，ISO から新しくバイオミメティクスの国際標準として発行される構造最適化アルゴリズムを用いて製品のデザイン・製造を行うためのセミナーがすでに複数回開催されている。

京都会議では，これまで予備的な審議段階であった日本提案の WG 4 Biomimetic knowledge platform が，新規提案（NP）の投票に掛けられることが合意された。最初の提案は日本が行なっており，多くの事務作業を日本が担っているのではあるが，第 2 回のパリでの会合以降，各国の代表との議論を重ねて参加国が協力し合って形作ってきた原案である。多くの労力をかけて構築されるデータベースであっても，収載されたデータごと活用されないまま死蔵されてしまうとことが多々あると指摘されている。WG4 の成果は TC266 Biomimetics に留まらない貢献が可能なツールになると期待される。

ISO/TC266 Biomimetics WG4 京都会議報告

（北陸先端科学技術大学院大学）溝口　理一郎
電話 0761-51-1787　FAX 0761-51-1767
E-mail　mizo@jaist.ac.jp
URL　http://www.jaist.ac.jp/profiles/info_e.php?profile_id=614[1]

１．WG4: Knowledge infrastructure of biomimetics

本 WG は以下の要領で意見交換を行った．

開催日：2015 年 10 月 19 日(月）（会議初日）
時間：9:30～16:00
参加者：TC/266 関係者全員（今回は Single session）

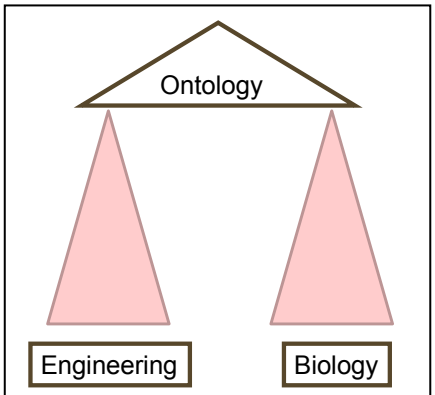


Fig. 1 Ontology-enhanced thesaurus.

2．議事内容

Convener（恒松直幸（JST））による手際の良い司会の下，非常に活発な意見交換が行われた．前回（昨年 10 月）の Liege 会議で WG4 の活動内容に関する合意を得たあと，メンバー委員からのコメントを得て，Preliminary stage であった本 WG を，Proposal stage に進めることを正式に決定することが今回の会議の主目的である．

前回の Liege 会議では，WG4 が扱う問題が，工学者と生物学者の双方が必要とする適切な情報を生物 DB から検索する操作を支援するための Ontology-Enhanced Thesaurus（OET）（Fig.1 参照）を構築する過程の標準化であることが合意された．それは本質的には DB 検索支援という問題であり，従って，DB 検索支援の定番であるシソーラス[1]を強化することで対応可能となる．そこで我々はオントロジーを導入して thesaurus を強化する考えを提案した．オントロジー[2]という抽象的な概念をしっかり整備して，工学と生物科学の間にあるギャップを埋めることによって，両者の間の行き来がスムースになると期待される[3]．このことは WG4 のタイトルである，Biomimetics の(概念的）基底構造を組織化するという考えに繋がる．WG4 では，オントロジーの中でも特に「機能オントロジー」[4]に注目する．機能は工学者が実現したいものであり，生物が既に実現している機能を参考にして新しい発想が生まれることが期待されるからである．

Liege 会議で本 WG の Scope と活動の概要の理解を得た後，将来の公式文書のたたき台となるべきドキュメントを執筆し，ISO/TC266 委員会のサーバーにアップし，メーリングリストを通して意見交換を行って来た．その過程において，Liege 会議後に加入した，Liege での筆者の説明を聞いていない少数のメーンバーから批判的な意見が集中していた．そして，京都会議の直前には Web 会議を開催して京都会議で議論すべき話題を整理した．実際京都会議では彼等からの批判に対応することが主な意見交換となった．以下に論点の概要を示す．

(1) Biomimetics の分野でシソーラスが効果的であったという話は聞いていない．シソーラスを開発する必要性の根拠はどこにあるのか？
(2) 提案している OET が効果的であるという事例はあるのか？

[1] Keyword explorer is available at: http://biomimetics.hozo.jp/ontology_db.html

(3) Knowledge Infrastructure の確立はテーマが大き過ぎるし，実際にやっているのはシソーラスであり，小さ過ぎる．
(4) まだ成熟していない Biomimetics の分野において，信頼性の高い，シソーラスを作るソースとするに値するドキュメントは十分にあるのか？
(5) 生物学者が書く論文は工学者が期待する内容になっていることはほとんどない．それほど両者の文化は異なる．従って，生物学の論文をいくら分析してシソーラスを作っても工学者が用いる用語とは一致しないので，シソーラスとして意味をなすものは得られないのではないか？
(6) ゴミを入力にしてシソーラスを作っても，ゴミが出力されるだけではないのか？
(7) WG4 の成果物としてのオントロジー開発プロセスの仕様は Biomimetics に固有の開発過程になるのか？そうだとすると，どういう所が固有なものになるのか？
(8) 固有になるとすると，何がその要因なのか？Diversity か？
(9) OET の利用として誰がどういうときに使うことを想定しているのか？
(10) オントロジーがシソーラスを強化するということは実際にはどういうことなのか？

このように, 原則論に基づく批判から次第に具体性を求める批判へと変わってきた結果，ドキュメントにも記述されている Motivating example を再度説明して，そこに現れる例題に対して，提案しているアプリである Keyword explorer が OET の上でどのように動作するかのデモを行うこととなった. その結果状況は一変し, 批判は影を潜め, 賞賛と OET を支持する方向の議論へと方向転換された．更に，Keyword explorer の試用の許可を求める声が相次いだ．我々の提案を支持するコメントの後，ドキュメントの書き方の議論に移行した. 現在のドキュメントは Keyword explorer を単なる応用プログラムの一例として位置づけて，OET の内容と必要性を一般論として展開していることが分かりにくい原因であるので，Keyword explorer を前面に押し出して，それを実現するために OET を設計するという具体例主導の記述に変更することとなった.

OET の基本思想は，情報の検索において用いられる Keyword 探索を独立したタスクとして設定し，以下の二段階の支援を行うことにある.

Step 1：シソーラスを用いた通常の Keyword 探索を支援.
Step 2：選択した Keyword が生物側の DB でその概念を用いてインデックス付けされていないが，利用者にとって有用な情報が存在する場合(missing link と概念化)に対処するために，機能オントロジー以外のオントロジーも準備して，その Missing link を補償する[3][7].

そして，Step 2 に関して，モデルケースとして小規模のオントロジーを実装し，その上で動くアプリが Keyword explorer である．WG4 が標準化すべきものはそのようなオントロジーの開発プロセスなのであるが，開発プロセスの標準化を行う前に，そもそもそのようなオントロジーの開発の意義自体を WG メーンバーで共有することが不可欠であるので，その意義を具体的に示すためにアプリを作成した．実際，その意図通りデモは非常に効果的であった. 批判的な発言者を含む全員がデモプログラムの意義を理解しただけではなく，その斬新さと有用性を深く理解することに大きく貢献した. Keyword explorer は, 実現したい機能が入力されると, オントロジーを探索して[5][6], それを実現している可能性のある生物種の候補を表示する. 既に知られている生物種の表示は当然であるが, まだ知られていないが, 可能性が期待できる生物種（Missing link）を表示する能力を持つことが特徴である．Keyword explorer は，適切なキーワードを見つけるための種々の操作をサポートする一種の Workbench として位置づけられ, 表

示された生物種ノードを右クリックするだけで DBpedia や Google，CiNii 等から瞬時に情報を取って来ることができる．それらを総合して，相談すべき研究者名を含む，適切な Keyword を選定して本格的な情報検索を実行することが可能になる．

３．結論

上述の様に，率直かつ緊密な意見交換を通して，WG4 を Proposal stage に移行するための作業を開始することが承認された．Keyword explorer のデモはかなり良い印象を与えたが，重要なことはそれ自体は標準化対象では無いことである．標準化の対象としては，そのような有用なアプリを構築する可能性を持つ，Knowledge infrastructure of biomimetics としての Ontology-enhanced thesaurus の開発プロセスの標準化を行うのが WG4 の活動である．今後は，日本側が主導権を持って，2016 年春を目処に New Work Item Proposal (NWIP)を作成し，その承認を得て，正式に Proposal stage に進むことを目指して活動する．

＜参考文献＞

[1] 國岡，他：JST シソーラス map，情報管理，Vol.55, No.9, pp.662-669, 2012.
[2] 溝口理一郎：オントロジー工学，オーム社，２００５．
[3] 溝口理一郎：オントロジー強化型シソーラス―工学者のための発想支援型情報検索を目指して，情報管理，Vol.58, No.5, pp.361-371, 2015.
[4] Yoshinobu Kitamura, Sho Segawa, Munehiko Sasajima, Shinya Tarumi and Riichiro Mizoguchi: Deep Semantic Mapping between Functional Taxonomies for Interoperable Semantic Search, Proc. of the 3rd Asian Semantic Web Conference (ASWC 2008), Springer, LNCS 5367, pp. 137-151, February 2-5, Bangkok, Thailand, 2008
[5] Takeru Hirota, et al.: Divergent Exploration of an Ontology: Poster & Demo Notes of the 7th International Semantic Web Conference (ISWC 2008), Karlsruhe, Germany, 2008
[6] Terukazu Kumazawa, et. al.: Toward Knowledge Structuring of Sustainability Science Based on Ontology Engineering, Sustainability Science, Vol.4, No.1, pp.99-116, 2009.
[7] Kozaki, K. et al.: A Keyword Exploration for Retrieval from Biomimetics Databases, Proc. of Joint International conference on Semantic Technology, LNCS8943, Springer, pp.361-377, 2014.

環境・ＣＳＲ経営からみたバイオミメティクス

（株）積水インテグレーテッドリサーチ　白鳥和彦
電話 075-662-8604　FAX 075-662-8605
E-mail k-shiratori@sekisui.com

自然界は基本的に，太陽のエネルギーを受けて植物が光合成を行い，食物連鎖によってさまざまな生物が生まれては死んで次の栄養源となるといった具合に，循環システムが効率的，相互作用的に働いている。植物も動物も，限られた資源，エネルギーで生命の営みを続けられる機能を備えている。

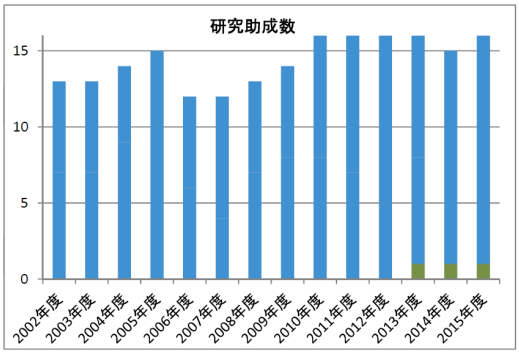
これからのテクノロジー開発では，あらためて「生物」が生きるために身につけた知恵や，省エネルギーで環境負荷のない生産技術に学ぶことがさらに重要になっている。こうした地球上の生物は，誕生以来 38 億年という長い時間を生きてきて，その進化の結果，人の叡智やハイテクも及ばない驚くべき「智恵」の体系を持っている。このような生物の構造や機能，生産プロセスなどから着想を得て，新しい技術の開発やものづくりに活かそうとする科学技術は持続可能な社会実現への技術革新をもたらすものとして重要である。この認識から「積水化学 自然に学ぶものづくり」研究助成プログラムはスタートした。

このプログラムは下記３点から構成される。また，研究費助成に関わる運営は，積水化学工業の子会社である積水インテグレーテッドリサーチが事務局を担当している

(1)積水化学 自然に学ぶものづくり研究助成：自然に学んだ基礎サイエンスの知見を活かし，自然の機能をものづくりに活用する研究に対し，研究費を助成する

(2)自然に学ぶものづくりフォーラム（年 1 回開催）：同分野の研究者のネットワークを作り，技術の融合，産学の融合を通じて総合科学の発展に貢献することを図る

(3)コミュニケーション・啓発活動：21 世紀型の環境ビジネス領域である生物模倣学の最新情報を発信し，その重要性を広く社会に訴える



研究助成については，本年度 292 件の応募

から 16 件の助成を行った。これまで 14 年間の累計で４千件近い応募があり，そのなかから 201 テーマに助成を行った。助成総額は３億円を超える。応募される研究分野は大きく(1)生物機能に学ぶ，(2)天然資源を生かす，(3)生体（生命の営み）に分けている。研究内容は，エコマテリアル，環境修復技術，ナノテクノロジー，バイオテクノロジー，メカトロニクスなど多岐に渡る。研究者の専門分野も，工学・理学だけでなく，農学や薬学，医学など幅広い研究者が集まっている。この多様性が本プログラムの大きな特徴である。

大学や研究所の研究はどうしても論文優先になり，世界で誰もやっていない研究や試験管レベルでの検証など地道な研究を，最新の設備がない環境のなかで，あるいは限定され，かつ制約の大きい予算でこつこつ行っている。したがって，どうしても具体的な成果が出るまで時間がかかるうえ，自分の専門分野に閉じこもりがちになる。

一方，企業は利益を出さなければいけないため，短期間に成果の出る研究を求める傾向が強くなり，(1)テクノロジーが（コストを含めて）本当に卓越しているか，(2)対象となるマーケットサイズが十分に大きいか，(3)実用化されるタイミングが市場にマッチしているかといったことを考えながら事業を進めているため，大学や研究所の学術的研究とは大きな乖離がある。

本分野の研究者への助成支援，環境や生物模倣学の重要性を社会に発信することについては，これまでの活動である程度達成されたと認識しているが，本分野の研究や技術開発が進み事業を生み出すことまで出来て社会に貢献することであると考えている。それに向けて今後は産学の連携・共同で成し遂げられるような助成支援や連携のスタイル・仕組みを図りつつ研究助成を継続していきたい。

欧米の環境・技術戦略からみたバイオミメティックス

（三菱総合研究所）亀井　信一
電話 03-6705-6087　FAX 03-5157-2126
E-mail　skamei@mri.co.jp

１．我が国が置かれている状況分析－歴史科学的な視点から－

日本のモノづくり産業に元気がない。わが国を代表する企業が赤字に陥り，世界ブランド価値評価の上位 100 位以内には 7 つのブランドしか入っておらず，しかも，そのいずれもがランキングを年々落としている。さらには，近年，「モノづくり終焉」という言葉も出てきた。モノづくり不要論は，本当であろうか。

言うまでもなく，わが国は極端に資源の乏しい国である。すなわち，エネルギーや資源を海外から輸入しなければ直ちに立ち行かなくなるきわめて不安定な先進国である。東日本大震災は，改めてその厳然たる事実を突きつけた。燃料，食料，鉱物資源の輸入だけで約39兆円にのぼる。必需品といえるこれらの輸入を賄うためには，相当分を海外に売り外貨を獲得しなければならない。現在，日本の輸出製品の90％は工業製品である。したがって，モノづくりの競争力の確保は，わが国の存在を左右しかねない極めて重要なテーマなのである。

しかしながら，1990年代以降，国内の製造業の付加価値は頭打ちになっており，国際的なシェアや存在感が薄れつつあることも事実である。このままで進めば，製造業の付加価値ランキングは，現在の世界3位から，2030年までには5位まで低下すると予測している。これを打ち砕くためには，これまでとは全く異なる発想の転換が求められる。

これまでのモノづくりには，外から熱を加えて鎔かし固めたり，削ってのばしたりする工程を経るものが多かった。特に半導体製造プロセスの多くは，大規模な真空装置を用いた製造法がとられてきた。これらのプロセスでは，多大なエネルギーと資源の投入が必要であり，省資源や省エネルギーとは掛け離れた世界が展開されてきた。21世紀型のモノづくりは，サステイナブルで環境調和型のものが求められる。その期待が，自己組織化ナノテクノロジーに向けられている。究極のモノづくりとは，モノの持っている本質的な性質を最小のエネルギーで取出すことであろう。近年，出口志向が声高に叫ばれ，ともすると基礎研究が軽視されそうになるが，自然を愛でるという哲学に基づくモノづくりの実現は，産業的な期待のみならず，新しいサイエンスの世界をも切り拓くことが期待されている。

２．第三の産業革命（インダストリー4.0）とは何か？

モノづくり（製造業）の使命はイノベーションである。今，モノづくりの世界で大きな革命が始まっている。インダストリー4.0とは，ドイツの産業政策であるが，メイカーズ・ムーブメントを捉えた次世代の産業革新である。

昨年末に，私どもは，「第3の産業革命（メイカーズ・ムーブメントが資本主義を変える。ものづくりを変える。あなたの働き方を変える。）」の概念を提唱した（PHRONRSIS,Vol.6, No.1，ダイヤモンド社(2014)）。第一の産業革命は，1760年代の英国に始まった機械生産，製鉄技術の発展，工業と分業の拡大，水力と蒸気機関という動力源の獲得などの一連の技術

イノベーション連鎖による生産性の飛躍的向上である。第二, 第三次の産業革命に関しては, 諸説ある。一つは電気や石油による重化学工業への移行後を第二次，原子力エネルギーを利用する現在を第三次ととらえる見方がある。また，20世紀初頭のフォード生産方式を始まりとする大量生産の時代を第二次，20世紀後半のITおよびインターネットとそれに続くメイカー革命をひとくくりにして第三次と捉える一派もいる。われわれは，IT革命やインターネット革命と呼ばれるものまでを第二次産業革命とする立場をとっている。これと第一の産業革命の決定的な違いは, 巨大な生産資本を持っていなくてもIT武装すれば事業的な成功を収めることができる点である。個人へのパワーシフトをもたらしたとみることもできる。

いま起こりつつある第三の変革は，デジタル・ファブリケーションの急速な進歩と普及によって，個人でも高度なモノ作りを可能とするメイカーズ・ムーブメントが拡がっていることである。第三の産業革命は，第2の産業革命の延長線上で語られることが多いが，ビットの世界で起こったIT革命が，実態のあるアトムの世界に広がった点が決定的に異なる。MITメディアラボのニール・ガーシェンフェルド教授の言によれば「アトム（現実）とビット（デジタル・情報）の融合（モノをデータ化し，データをモノにする)」ということになる。

ところで，わが国のモノづくり産業の衰退の原因を，的確な設計情報を創出できないことに帰着させる見方が定着してきた。市場を拓き利益を創出するモノを見出せないのである。わが国の工業製品と言えば，メイドイン・ジャパンの高品質を思い浮かべるが，品質管理や生産性の向上は，実は第一次産業革命時代の考え方である。大量生産の時代の付加価値の考え方はとうの昔に終わっていたことに早く気付くべきであった。

第三の産業革命（インダストリー4.0）の時代は，まさに設計情報のみがモノづくりの付加価値を生み出すことになる。さらに，アトム（現実）とビット（デジタル・情報）が融合する時代では, 設計情報の生み出し方もこれまでのそれとは全く異なるであろうことは容易に想像できる。それでは，その具体的な未来像はどのように描かれるのであろうか。メイカーズ・ムーブメントは，ICT とデジタル・ファブリケーションによって武装された個々のメイカーたちが，デザイン，設計，製造，果てはリサイクルや電力源までのバリューチェーンを担うことになる。究極の自律分散型社会であり，多様性を前提とした社会でもある。

３．欧米のモノづくり革命の真の意味

国家として総力を挙げて，モノづくり革命に取り組んでいるのは，ドイツである。基本コンセプトとして「つながる工場」を掲げ，通信ネットワークを介して工場内外のモノやサービスと連携させることにより, 今までにはない新しい価値やビジネスモデルを創るとともに種々の社会問題を解決しようとしている。一般的には，ドイツの強みは，古くから州や都市での産業クラスター単位での産業構造を有するとか, 世界的な研究所が地域に点在し各研究拠点が州立大学と連携し地域ごとに強い R&D 分野が推進されているとか，人を通じた産学一体での取り組みがなされている点などが指摘されてきた。それだけであろうか。実は，ドイツは，博物館や美術館の数が我が国やほかの欧州諸国と比べて桁違いに多い。小さい時から自然やアートを愛でる文化が根付いていそうである。第三の産業革命（インダストリー4.0）時代の見えざる競争力である。

生物多様性と自然環境評価

大阪府立大学大学院生命環境科学研究科　平井　規央
電話 072-254-9413　FAX 072-254-9694
E-mail　n_hirai@envi.osakafu-u.ac.jp
URL　http://www.envi.osakafu-u.ac.jp/entomol/index.html

46 億年の地球の歴史の中で，生命は約 38 億年前に誕生したといわれている。現在地球上には数千万種もの生物がいると考えられているが，これらは時間とともに常に増加してきたわけではなく，何度かの大絶滅と呼ばれる時期を経験してきた。近年は，人間活動の影響を受けて，6 度目の大絶滅と呼ばれる時期を迎えている。ここでは，生物多様性の概要を述べるとともに，自然環境評価の視点からその保全について考察する。

生物多様性 biodiversity という言葉は，生物学的 biological と多様性 diversity を組み合わせた造語で，1985 年頃から使われ始めたといわれている。1992 年にリオデジャネイロで開催された「地球サミット」（国連環境開発会議）で採択された「生物多様性条約」以降は特に関心を集めるようになった。生物多様性には「生態系の多様性」，「種の多様性」「種内の多様性（遺伝子の多様性）」3 つのレベルがあると捉えられている。この中で，生物多様性と聞いて素直にイメージできるのが種の多様性で，それぞれの地域にどれだけ多くの生物種が生息しているかということである。生態系の多様性は，森林，草原，砂漠，河川，湖沼，海洋などさまざまな生態系が存在することで，それぞれに生息する生物の構成種も異なり，多様となる。種内の多様性は，遺伝子の多様性または遺伝的多様性といった方がわかりやすい。例としてはテントウムシの模様が有名であるが，外見には表れなくても高い遺伝的多様性を維持している集団は病気の流行や環境の変化を乗り切る個体が含まれる可能性が高いことになる。

このような生物多様性を基とする生態系から私たちはさまざまな恩恵を受けており，これらは次の 4 つに大別される。「供給サービス」は，衣・食・住にかかわる材料や医薬品など，生態系からもたらされる生物資源とその利用を指す。「基盤サービス」は，植物による二酸化炭素の吸収や酸素の放出，分解者による分解などすべての生命が存立する基盤を支えるものである。「調整サービス」は，森林による土壌の流出防止，気候の緩和など地域の環境や暮らしの安全性に関わるものである。最後に「文化的サービス」

は，野生生物や生態系が文学，芸術，教育，研究などの対象となり，豊かな文化の根源となっていることを指す。これらのことから，生物多様性の損失は私たちの豊かで快適な生活を脅かすことにつながってしまう。

日本において生物多様性の低下をもたらす要因として，「4 つの危機」が挙げられている。①開発など人間活動による危機（開発や乱獲など），②自然に対する働きかけの縮小による危機（里地里山問題など），③人間により持ち込まれたものによる危機（外来生物や化学物質の影響など），④地球環境の変化による危機（地球温暖化や海洋の酸性化による影響など）である。このような背景から，生物多様性保全を目的とした生物調査では，特に絶滅危惧種と外来種の把握が不可欠となっている。

絶滅のおそれのある種をリストアップし（＝レッドデータリスト RDL），その生息状況などをまとめたレッドデータブック（RDB）は，環境省が 1991 年（当時は環境庁）から発行し，5〜10 年に一度見直しが行われている。2012〜2013 年に公表された第 4 次リストでは，動物 1,388 種，植物 2,337 種，計 3,725 種が掲載され，ニホンオオカミやカワウソなど 828 種が絶滅種とされている。都道府県，市町村でも同様の資料が順次発行されている。最近では，RDB 掲載種（レッド種ともいう）が特に多く生息する地域を「生物多様性ホットスポット」と呼んで（もともとの言葉の定義は異なる），特に保全上重要な場所として指定する取り組みも各地で行われている。

本講演では，生物多様性について概観し，絶滅危惧種や外来種問題，生物調査の実際について実例を挙げながら紹介する。生物がもたらす資源の多様性や，その循環，また，生物多様性保全の重要性などでバイオミメティクスの参考となる事例があれば幸いである。

出典：福田隆史 「第 11 節　フジツボ構造の形成によるプラズモン現象の効率的発生とバイオセンシングへの応用」，
監修 文部科学省科学研究費新学術領域「生物規範工学」・高分子学会バイオミメティクス研究会・エアロアクア
バイオメカニズム学会，『生物模倣技術と新材料･新製品開発への応用』，(株)技術情報協会，2014，第 7 章 pp. 469-472

第 11 節　フジツボ構造の形成によるプラズモン現象の効率的発生とバイオセンシングへの応用

はじめに

筆者らは感染症や各種疾病の早期・迅速診断を簡便に行うためのバイオセンサーとして局在プラズモン現象を利用することを検討している。プラズモン現象とは金属表面の自由電子が特定の波長の光によって励振されることを指すが，特に，金属の微細構造に生じるプラズモンを局在プラズモンと呼ぶ。

特定の波長の光のエネルギーによって金属表面の自由電子が励振されると言うことは，すなわち，当該波長の光が金属によって吸収されることであり，金属本来の吸収スペクトルには見られない新たな吸収ピークが生じることを意味する。したがって，この新しい吸収ピーク（プラズモン共鳴ピーク）は金属表面の化学的・物理的状況に強く依存して変化する。この変化が鋭敏であるものほど高感度なセンシングに好適であり，これまでに様々な微細構造について報告がなされている[1-3]。

このような中，筆者らは，独自の製造方法によって特徴的なサブ波長構造が安価・簡便に形成できることを見出し，そのバイオセンサー応用（局在プラズモンチップの開発）を進めている。以下にその概要を紹介させて頂く。

1.　光応答性高分子材料における自発的構造形成（フジツボ構造の形成）

筆者らは光応答性材料を対象として，光一括処理可能・安価な微細構造の形成技術の開発について従来より取り組んできた[4-6]。そして，それらの知見を土台としつつ，種々の検討を（株）カネカと共同して進めた結果，新しい自発的構造形成現象を発見した。当該現象は図 1（A）～（C）に示すように，光応答性高分子材料の薄膜上に水層を介在させた状態で青色 LED 光を照射することで発現する。形成された微細構造の電子顕微鏡観察像を図 2 に示す。

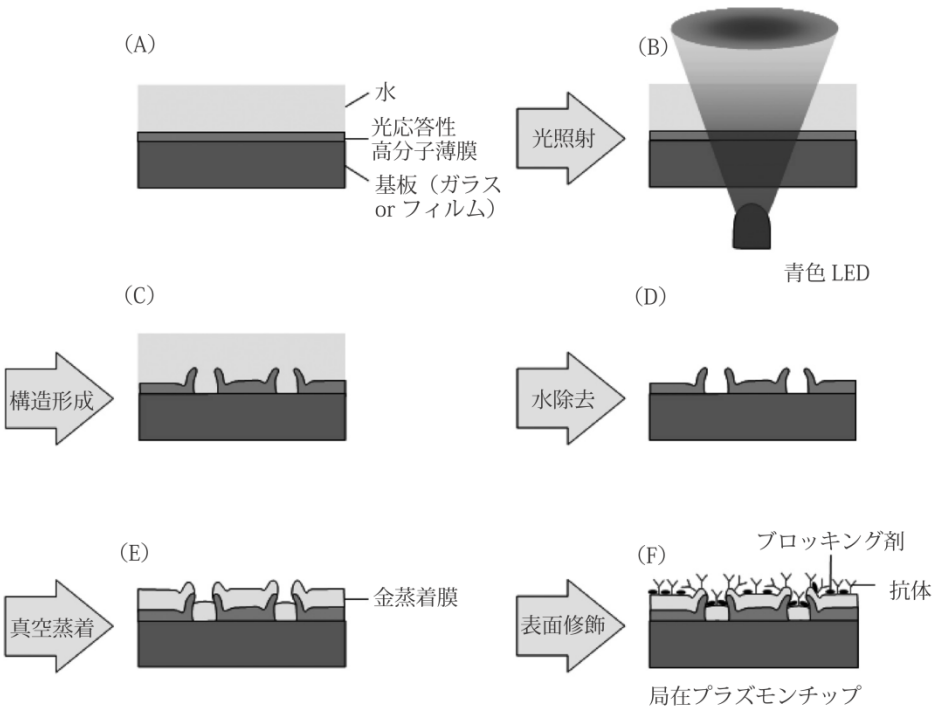


図 1　光応答性材料における自発的構造形成現象と局在プラズモンチップ

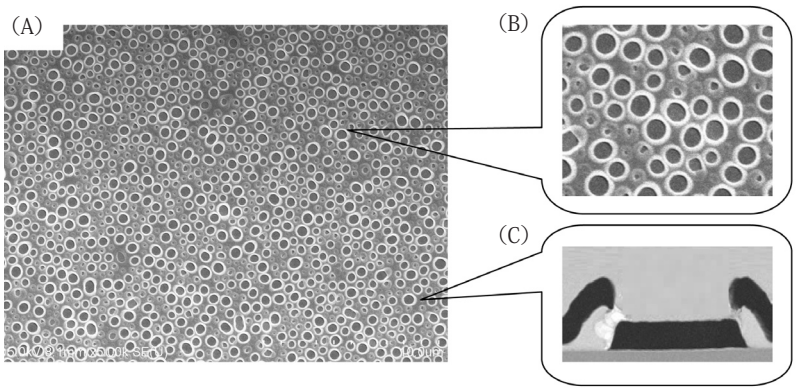


図２　形成された微細構造（フジツボ構造）の上面，及び，断面観察図

図２（A）は膜を上面から観察したものであり，サブミクロンサイズの輪状の構造が光応答性材料薄膜の全域にわたってランダムに生成されていることが分かる。図２（B）は一部分の拡大像である。さらに，図２（C）に一つの構造の断面を観察した結果を示す。基板から斜めに立ち上がっている白い部分が光応答性材料薄膜であり，黒い部分はその上に真空蒸着によって堆積された金薄膜である。図２より形成された微細構造が円形開口を持った凸部からなることが理解されると思うが，この形状から海洋生物の“フジツボ”が連想されたため，筆者らは当該構造を『フジツボ構造』と命名した。

フジツボ構造をバイオセンシングチップにするためには図１（D）～（F）に示すように，金の蒸着を施した上で，その表面に検出対象となるバイオマーカーを捕捉する能力を有する抗体を修飾する。したがって，抗体の種類を適切に選ぶことによって，同一のプロセスで製造されるバイオチップを多様なターゲット（特定ウィルス，タンパク，ホルモンなど）にカスタマイズすることができる。なお，チップの基板は青色光に対して透明なものであれば特に種類を問わない。現在の研究段階ではスライドガラスなどを基板として用いているが，製造・廃棄コストの低減，ならびに，チップの取り扱い上の安全性への寄与を期待して，透明な樹脂フィルムの適用も検討中である。

2.　フジツボ構造を有する局在プラズモンチップのバイオセンシング性能

さて，図１に示すプロセスによって作製される局在プラズモンチップであるが，これまでに，インフルエンザウィルスを含む数種類の代表的なバイオマーカーに対して（精製試薬を用いた実験レベルではあるものの）性能評価を実施してきた。表１に示す通り，筆者らのチップの検出可能範囲（検出下限濃度）は，現在臨床現場で行われている一般的な検査法の検査濃度に比べていずれも３桁（1000 倍）以上に相当することが明らかとなっており，ターゲットをラベル化するなどの前処理を必要としない方法にもかかわらず，高感度な検出が期待できることが分かる。

このような高感度なセンシングが達成されている要因として，フジツボ構造による特有の電場増幅効果が考えられる。図３は，フジツボ構造に垂直に光が入射する場合を仮定した場合の数値シミュレーション（時間領域差分法（FDTD 法））

表１　現在普及している一般的な検査法による検査濃度とフジツボチップの検出下限濃度の代表的な検査対象における比較

マーカー （関連のある疾患など）	一般的な検出法による検査濃度	フジツボ構造チップ による検出下限濃度
Fibrinogen （血液凝固因子）	1.5-4mg/mL （トロンビン時間法）	10pg/mL
CRP （各種炎症（肝疾患，癌，感染症など））	3 μg/mL 以下 （ラテックス免疫比濁法）	1ng/mL
Leptin （肥満，高血圧，動脈硬化，糖尿病など）	規程なし （RIA2 抗体法） （化学発光法では 100pg/mL の報告有り）	100pg/mL
不活性化 H1N1 ウィルス （インフルエンザ）	50ng/mL 程度 （イムノクロマト法）	100pg/mL 以下

を行った結果である。図は特定の波長における電場強度分布を示しているが，フジツボ構造の開口付近に入射光のエネルギーが集中し，局所的な光密度が最大 70 倍まで増幅されることが予想されている。このため，強い光吸収が起こるが，局在プラズモンの共鳴条件は金属膜表面の状態に非常に敏感に影響を受けるため，センサーチップの抗体がバイオマーカーをわずかでも捕捉すれば吸収スペクトルのシフトとしてその結果ははっきりと捉えることが出来る（図 4）。

スペクトルシフトの値は概ねバイオマーカー濃度の常用対数に対して線形に変化する傾向が認められる。不活性化された H1N1 インフルエンザウィルス精製試薬溶液を対象として行ったセンシング実験の結果を図 5 に示す。

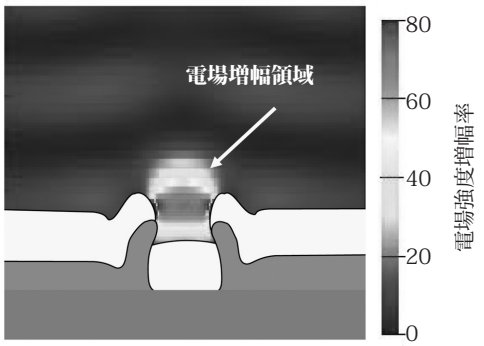


図 3　時間領域差分法（FDTD 法）による電場増幅効果のシミュレーション結果

※カラーの図は巻頭ページ参照

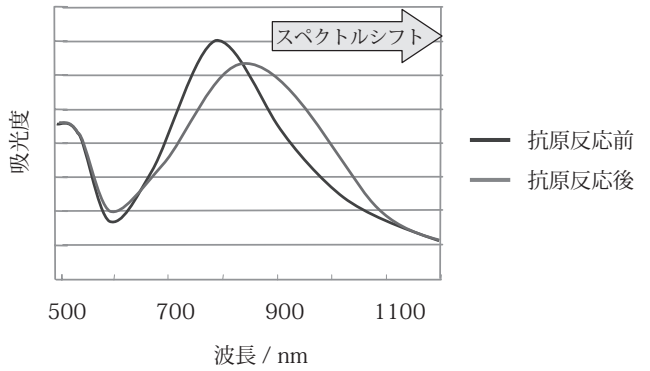


図 4　バイオマーカーに反応させる前後におけるスペクトルシフトの例

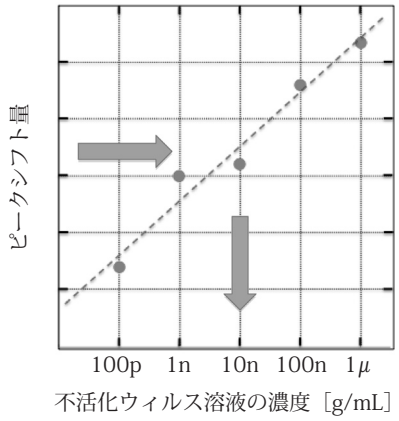


図 5　サンプル中のインフルエンザウィルス濃度とスペクトルピークシフト値の測定例

3.　局在プラズモンを利用するもう一つのメリット

局在プラズモンは高効率な電場増幅を実現するため，簡便に非標識の高感度センシングが達成できることは既に述べたが，それ以外にも局在プラズモンをセンサーの検出原理として利用する大きなメリットがもう一つある。それは，局在プラズモン効果が，光の入射角に対して比較的小さな依存性しか示さない点である。通常の表面プラズモンの場合，プラズモンが励振される（共鳴する）入射角を角度スキャン測定によって計測し，その変化をセンサーの検出原理とする。一方，局在プラズモンの場合，光の入射角を一定とした（例えば垂直入射の光学配置に固定するなどの）測定によってスペクトルシフトを検出する方式であるため，光計測系から機械的稼働部分を排除し，検出機構を大幅に小型化できるメリットがある（図 6）（なお，図にはスペクトルを測定するための分光器が 2 台描かれているが，実際には反射配置，または，透過配置のいずれかに光路を選択すれば良く，設置するのは 1 台で良い）。この点は，ポイントオブケア検査（Point of Care Testing : POCT）分野への適用を考える上で極めて重要な点である。図 7 は筆者らが開発したポータブル計測システム[7] の外観である。計測器の重量はわずか 600g 程のパームトップサイズであり，スマートデバイスが無線操作端末となっている。

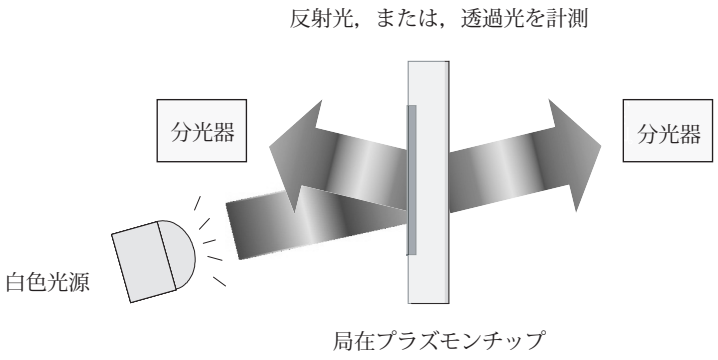


図 6　小型化を容易に行うことが出来る単純なスペクトル測定系

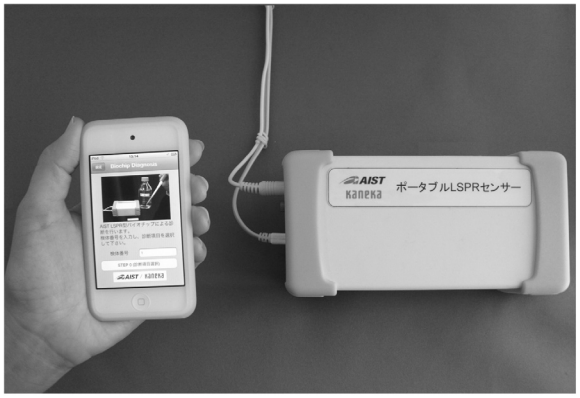


図 7　試作した手のひらサイズのポータブル計測器（右）と無線操作端末（スマートデバイス）（左）からなる小型バイオセンシングシステム

おわりに

筆者らは光応答性材料のユニークな特性を利用して，独自のフジツボ構造を簡便に，かつ，安価に製造する方法を見出し，その構造が生み出す局在プラズモン効果を利用したバイオセンサーの試作に成功した。チップのコストは現在市販されているイムノクロマトキットと比較しても遜色のないレベルに抑えることが出来ると期待しており，今後の更なる研究開発を通じて『非標識（特殊な前処理なし）で・どこでも・誰でも簡単に高感度なバイオチップ，及び，センシングシステム』の実用化に結びつけたい。

謝辞

本研究開発の一部は，科研費 基盤（B）（平成 23 ～ 25 年度）による支援の成果として得られたものであり，ここに感謝致します。

文　　献

1）P. N. Prasad : *Nanophotonics*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA (2004)
2）*プラズモニクス－光・電子デバイス開発最前線－*，（株）エヌ・ティー・エス（2011）
3）岡本隆之，梶川浩太郎：*プラズモニクス－基礎と応用－*，講談社（2010）
4）福田隆史：「光による表面レリーフ形成」，O plus E，第 24 巻 第 3 号（2002）pp. 287
5）福田隆史：「光誘起による表面レリーフ形成現象」，高分子論文集，第 60 巻 第 8 号（2003）pp. 428
6）福田隆史:「第 13 章 アモルファス高分子の光誘起物質移動」, 新規クロミック材料の設計・機能・応用, シーエムシー出版（2005）
7）http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2013/pr20130117/pr20130117.html

３月３日（木）　　非公開

科学研究費「生物規範工学」全体会議／JAMSTEC 合同講演会

会場：沖縄県市町村自治会館　４階 第７会議室
（沖縄県那覇市旭町 116-37）

09:15-09:20　領域代表　**下村 政嗣** (千歳科学技術大学)
09:20-09:35　A01 班班長　**野村 周平** (国立科学博物館)
「バイオミメティクス・データベース構築―2015 年度後半の取り組み」
09:35-09-50　A01 班　**溝口 理一郎** (北陸先端科学技術大学院大学)
「オントロジーの拡充と高機能化」
09:50-10:05　B01-1 班班長　**大園 拓哉** (産業技術総合研究所)
「シワ構造のトライボロジー」
10:05-10:20　B01-1 班　**野方 靖行** (電力中央研究所)
「流水条件下における生物付着評価方法の開発への取り組み」
10:20-10:35　B01-2 班班長　**針山 孝彦** (浜松医科大学)
「サブセルラーサイズの生物表面研究の重要性
ー多機能な生存戦略を学んで，ものづくりに」
10:35-10:45　　休憩
10:45-11:00　B01-3 班班長　**細田 奈麻絵** (物質・材料研究機構)
「班間連携による魚類の吸盤に関する研究」
11:00-11:15　B01-3 班　**松尾 保孝** (北海道大学)
「新しい実装技術に向けたバイオミメティクス表面の開発」
11:15-11:30　B01-4 班班長　**森 直樹** (京都大学)
「生物規範環境応答・制御システム」
11:30-11:45　B01-5 班班長　**劉 浩** (千葉大学)
「生物羽ばたき飛行の受動的な制御」
11:45-12:00　B01-5 班　**木戸秋 悟** (九州大学)
「がん細胞の運動表現型診断のための
弾性率可変マイクロファイバーゲルマトリックス」
12:00-13:00　　昼食
13:00-13:15　C01 班班長　**石田 秀輝** (東北大学・地球村研究室)
「光り輝く未来を創るために」
13:15-13:30　C01 班　**小林 秀敏**（大阪大学）
「心豊かなライフスタイルとテクノロジーを繋ぐデータベースの構築」
13:30-14:10　特別講演１　**辻井 薫 先生**（辻井先生の古希祝いを記念）
「超撥水現象の温故知新-私の研究と生物の超撥水-」
14:10-14:50　特別講演２　**赤松 友成 先生** (水産総合研究センター)
「海洋生物に学ぶセンシングとコミュニケーション」
14:50-15:20　　休憩（会場設置・ポスター発表準備）
15:20-16:50　ポスター発表を中心にした JAMSTEC と合同の成果発表会
18:00　懇親会
ヘリオスパブ国際通り店（那覇市牧志１丁目２−２５）

ポスター発表を中心にした JAMSTEC と合同の成果発表会

01　A01 班　篠原 現人（国立科学博物館）
「魚類に関するバイオミメティクス・データベース構築」

02　B01-1 班　小林 元康（工学院大学）
「生物微細構造を規範とした材料表面改質とその特性」

03　B01-2 班　不動寺 浩（物質・材料研究機構）
「低環境負荷の構造色塗工プロセス」

04　B01-3 班　佐藤 知哉，浦田千尋，穂積　篤（産業技術総合研究所）
「イオン液体を用いた SLUG の開発」

05　B01-4 班　光野 秀文（東京大学）
「ガ類の受容体によるフェロモンブレンド検出機構の解明」

06　B01-5 班　安藤 規泰（東京大学）
「昆虫の羽ばたき飛行における胸部構造の変形とその制御」

07　C01 班　古川 柳蔵（東北大学）
「心豊かな暮らし方のか・た・ち を創るテクノロジー」

08　公募 01　森本 元（山階鳥類研究所）
「インコ類の混色による非虹色構造色」

09　公募 03　桑折 道済，河村 彩香（千葉大学大学院工学研究科）
「メラニン顆粒から着想した粒子を用いる構造色材料」

10　公募 04　前田 義昌（東洋農工大学）
「珪藻細胞壁の微細構造が生み出す
栄養取り込み機能の解明と物質拡散制御材料への応用」

11　公募 05　山本 拓矢（北海道大学）
「環状両親媒性高分子の自己組織化によるベシクル構築とゲスト包摂」

12　公募 06　高久 康春（浜松医科大学）
「NanoSuit®法によるリアルな生物表面観察のバイオミメティクスへの展開」

13　公募 07　安井 隆雄（名古屋大学）
「セミの翅の物理的防御機構を模倣した機能性ナノデバイスの創製」

14　公募 08　津守 不二夫（九州大学）
「磁性粒子分散ゴムを用いた人工繊毛の開発」

15　公募 09　玉川 雅章（九州工業大学）
「好中球（白血球）に学ぶ微粒子の濃度勾配駆動水中推進」

16　公募 10　藤井 秀司（大阪工業大学）
「粉体状粘着剤」

17　公募 11　椿　玲未（海洋開発研究機構）
「カイメンー二枚貝集合体の立体構造解析」

18　公募 12　香坂 玲（金沢大学）
「バイオミメティクスの社会実装に向けた特許と論文発表件数の関係性の考察」

19　JAMSTEC　津留 美紀子（海洋開発研究機構）
「3D コンフォーカル顕微鏡による生物表面の観察」

20　JAMSTEC　保坂 美沙子（海洋開発研究機構）
「成長に伴うヨワカイメンの濾過機能の変化」

21　JAMSTEC　山本 美希（海洋開発研究機構）
「海洋生物の持つ切削器官は最適か」

3月4日（金）　　公　開

公開ジョイントシンポ“海洋資源メッカ沖縄で考えるバイオミメティクス”

会場：沖縄県市町村自治会館　4階 第4〜6会議室

09:15-09:20　領域代表　**下村 政嗣**(千歳科学技術大学)

テーマその1　海洋資源とバイオミメティクス

09:20-10:00　招待講演1　**金本 昭彦 先生** (オーピーバイオファクトリー株式会社)
「海洋生物資源を活用した事業展開」

10:00-10:40　招待講演2　**白山 義久 先生** (海洋研究開発機構)
「海洋生物の自然史学に学ぶバイオミメティクス」

10:40-10:50　休憩

10:50-11:30　招待講演3　**松浦 啓一 先生** (国立科学博物館)
「新種のフグが作るミステリーサークル：魚の「建築」技術を探る」

11:30-12:10　招待講演4　◯**西田 睦　先生**（琉球大学),
馬渡 駿介 先生 (北海道大学名誉教授)
「国立自然史博物館はバイオミメティクスのメッカ！？」

12:10-13:10　昼食

13:10-13:50　招待講演5　**佐藤 圭一 先生** (沖縄美ら島財団　総合研究センター)
「沖縄美ら海水族館が創り出す多様な資源とその活用」

テーマその2　自己組織化とバイオミメティクス　「良い加減さの起源」

13:50-14:30　招待講演6　**都甲 潔 先生** (九州大学)
「生体模倣技術を用いた味と匂いを測るセンサ開発」

14:30-14:50　講演1　**尾崎 まみこ 先生** (神戸大学)
「匂いで良い加減を知る？アリの巣仲間センシング」

14:50-15:00　休憩

15:00-15:20　講演2　**室崎 喬之 先生** (旭川医科大学)
「フジツボの抗付着に適した「良い加減」な表面微細構造」

15:20-15:40　講演3　**吉岡 伸也 先生** (東京理科大学)
「昆虫の表面構造における『良い加減さ』」

15:40-16:00　講演4　**山濱 由美 先生** (浜松医科大学)
「眼の構造における『良い加減さ』　水棲生物の場合」

３月５日（土）　　非公開

フィールドワーク

会場：漫湖水鳥・湿地センター (沖縄県豊見城市字豊見城 982)

漫湖というラムサール条約にも登録された湿地で，観察用の施設を併設しているため安全に観察できます。さらに小規模ながらマングローブもあるため，マングローブ特有の貝類や魚類なども観察できます。那覇中心部からも 3km 程度と非常にアクセスが良く，水鳥の飛来地としてよく知られている湿地ですので，おそらくほぼ確実に本州では見られない野鳥を観察できると期待されます。
http://www.manko-mizudori.net/

10:30 漫湖水鳥センター集合

鳥類に関するセミナー
10:30-11:00 「鳥類の飛翔」　東工大　田中博人先生
11:00-11:30 「渡り鳥の生態」山階鳥類研究所　森本元先生
11:30-12:00　ディスカッション
12:00-13:00　テラスまたはレクチャールームで昼食
14:00　　終了予定

所属班：A01-1班
所属機関：国立科学博物館動物研究部
氏名：野村　周平
所属機関住所：〒305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1
e-mail：nomura@kahaku.go.jp
研究キーワード：データベース，SEM画像，生物多様性，ナノスーツ，昆虫

A01-1 班：バイオミメティクス・データベース構築 —2015 年度後半の取り組み

Part A01-1: Database Building for Biomimetics -Works in the later half of 2015

1. A01-1 班研究の概要

当研究計画班における研究内容は，バイオミメティクスを推進する工学系研究者に「気づき」をもたらす可能性のある生物構造に関するデータを収集し，初学者でも容易に必要な情報を取り出すことのできるデータベースを構築することである。そのために，当班は大きく生物系と情報系に分かれ，生物系は昆虫を担当する野村小班と，魚類を担当する篠原小班，情報系は画像検索を担当する長谷山小班と，オントロジーを担当する溝口小班とに分かれて，それぞれ研究内容を分担している。

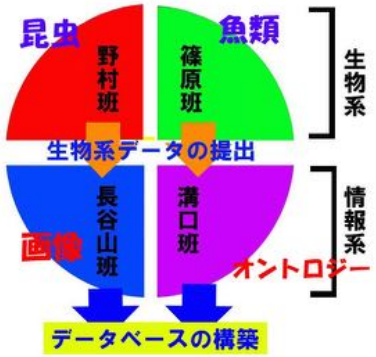


Fig. 1. Composition of the A01-1 team in 2015-2016.

生物系では 2012～2014 年度において，合計約 20,700 点（昆虫 16,000 件，鳥類 1,500 件，魚類 3,200 件）の生物 SEM 画像，デジタルマイクロスコープ画像約 600 件（魚類のみ），X 線 CT 画像約 600 件（鳥類のみ）およびマルチスペクトル画像約 600 件（鳥類のみ）を収集し，情報系担当小班に提出した。また，テキスト情報についても約 450 分類群（昆虫 160，鳥類 160，魚類 130）について収集した。

2012～2014 年度において，当班は５小班体制で，生物系は３小班（昆虫，鳥類，魚類）であったが，鳥類担当の山崎小班が B01-5 班へ移動となるに伴い，2015 年度以降は，生物系２小班体制にて活動を継続している。

2. 2015 年度後半の取り組み

今年度 A01-1 班では，これまでに集積した生物系データに加え，昆虫では 98 サン

プル 2,762 件の画像データおよび，約 90 タクサのテキストデータを追加した。魚類では 54 サンプル 1,417 件の画像データと，102 タクサのテキストデータを加えた。

長谷山小班では，これまでに集積された生物系データを元に画像検索システムを製作し，領域内各班から参加者を募って，このシステムを使ってみる演示会を２回実施した。溝口小班でも生物系用語のオントロジーを製作し，データベース機能の強化を図っている。

来年度初頭（2016.4.19-6.12）に国立科学博物館上野本館で企画展「生き物に学び，くらしに活かす―博物館とバイオミメティクス」を開催すべく，領域内各班及び関連の企業等の協力を仰ぎ，準備を進めているところである。また国立科学博物館叢書での一般向け関連書籍『生物の形や能力を利用する学問―バイオミメティクス―』（東海大学出版会）の出版に向けて作業を進めている。

3．生物画像データの高度化

当計画研究班の生物系２小班では，昆虫や魚類の SEM 画像や CCD 画像を集積して，バイオミメティクス・データベースのデータ面での充実を図っている。しかし，これらの画像については生体機能との関連が重要であり，画像自体の質的な高度化が不可欠である。そのため当班では，千歳科学技術大学のナノテク支援事業を利用して，当大学所有の FE-SEM を用いた高倍率 SEM 画像，およびナノスーツ法を用いた，軟弱あるいは生体組織の SEM 画像を集積して，画像データの高度化を図っている。今期においては，アブラゼミのワックス状分泌物の分泌口（下図Ｂ）や，乾燥による変形のないデカトゲトビムシの鱗片（下図Ｄ）の SEM 画像の撮影に成功した。

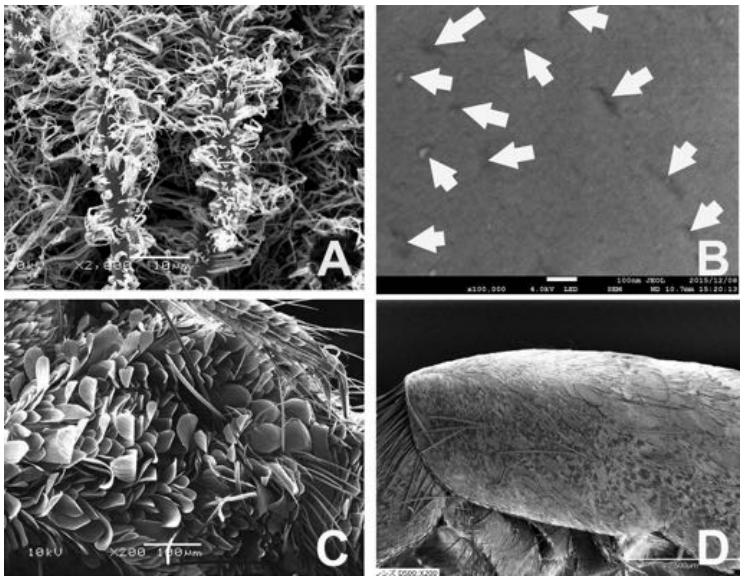


Fig. 2. A, B: cicada, *Graptosaltria nigrofus-cata*; C, D: springtail, *Tomocerus cuspidatus*. A: wax secretion in thorax, x2,000; B: wax secretory pits (white arrows), x100, 000, by FE-SEM; C: thorax dried, x200; D: ditto, by nano-suits,x200.

所属班：A01-1班
所属機関：北陸先端科学技術大学院大学
　　サービスサイエンス研究センター
氏名：溝口　理一郎
所属機関住所：〒923-1292　石川県能美市旭台１－１
e-mail：mizo@jaist.ac.jp
研究キーワード：オントロジー工学，知識処理，オントロジー開発，産業応用，知的学習支援システム

オントロジーの拡充と高機能化

Extension and refinement of the biomimetics ontology

１．　はじめに

オントロジーを担当する溝口小班では，A01-1 班で扱っている生物に関するテキスト情報のオントロジー開発とそれを用いたバイオミメテックスデータベースの高度利用法に関する研究，並びに C01 班との共同研究を行っている。以下では，前者に重点を置いてその成果の概要を述べる。

２．　オントロジーの自動構築技術

以下の２つのアプローチによるオントロジーの自動構築技術を開発した。１）専門書の全本文を対象とし，テキストマイニング（自然言語処理）技術により，オントロジーに追加する「用語，および用語間の関係性」を自動抽出する技術。２）既存のオープンなデータベースから関連する情報を自動抽出する技術。また，C01 班と連携して，機能分解木を用いたバックキャスティング法の体系的分解によって，必要な技術要素の洗い出しをする方法の提案と試行を行い，有効性を確認した。

３．　オントロジー強化型シソーラス

オントロジー強化型シソーラス(以下，OET)は，生物に倣って新材料設計をしようとしている工学者が，生物が関連する機能を実現している巧妙なやり方などの有用な情報を見つける作業を支援するために開発されたツールである。工学と生物の世界はかけ離れているが，オントロジーという，物事の本質的な構造を高い抽象レベルで表現した言葉を使って，工学と生物のように大きく異なるドメインの谷間を埋めようとしている。

OET は人間が連想しながら考える方法に似た動きをする。Fig. 1 に実行例を示す。中心にある「防汚，抗菌塗料」を入力として，その実現に貢献する可能性がある生物種が外周に描画されている。利用者はこの様にして得られた生物種やそれに行き着くまでの連想過程自体をヒントにして，更に良いキーワードを得ることができる[1-2]。

参考文献

(1) 溝口，他：オントロジー強化型シソーラス―工学者のための発想支援型情報検索を目指して，情報管理，Vol.58，No.5，pp.361-371，2015.

(2) K Kozaki, R Mizoguchi: A Keyword Exploration for Retrieval from Biomimetics Databases, Semantic Technology, LNCS 8943, Springer, 361-377, 2014.

謝辞

ここに記した内容は，立命館大学 來村教授と大阪大学産業科学研究所 古崎晃司准教授との共同研究の成果であることを記して感謝致します．

Fig. 1 Snapshot of OET.

所属班：Ｂ０１－１班 生物規範界面デザイン
所属機関：国立研究開発法人産業技術総合研究所
氏名：大園　拓哉
所属機関住所：〒305-8565 茨城県つくば市東１－１－１
e-mail：ohzono-takuya@aist.go.jp
研究キーワード：表面構造，シワ，摩擦，
自己組織化，形状変化

シワ構造のトライボロジー

Frictional Properties on Wrinkled Surfaces

1．はじめに

柔らかく変形可能な凹凸構造のある生物表面は多い。しかし，元来，その構造と摩擦などのトライボロジーに関する性質が，どのように結びついているのかは一部の例（ヤモリの接着機能等）を除き自明ではない。その解明のためには，各個別の生物系をしらみ潰しに調査し，その活動環境（例えば水中なのか空気中なのか等）や力学的機能（相互作用力の程度等）を解明していく地道な戦略が有効であろう。一方で，その柔らかく変形可能な凹凸構造という特徴を一般化し，抽象化したモデル系においてそのトライボロジー機能に対するより一般的な理解とその機能のチューニングの指針を得ることも，工学的目的においては有効である。そのモデル表面として，自己組織化によって作成できる表面シワ構造を活用し，摩擦挙動や防汚機能を調査してきている。今回は，そのシワ構造や，摩擦させるもう一方の表面などの形状を変えることで，これまで分かってきたこと[1-2]を中心に紹介し，班内でより共同的に取り組んでいる防汚機能解明への取組状況にも触れたい。

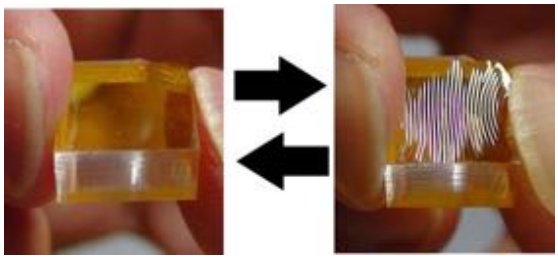


Fig.1 Shape-tunability of wrinkles.

2．シワ表面での摩擦の結果例

一般にシワ（リンクル）というと，肌や布地など平坦な表面が変形して生じた凹凸が思い浮かぶ。しかしここでは，柔部材表面が側方圧縮ひずみによって座屈を起こすことで発生した自己組織化凹凸構造をシワ（Fig.1）として扱う。この構造は動植物表面でも定常/非定常的に関わらず見られる構造であり，印加ひずみの状態に応じた形状可変性が大きな特徴である[3]。この表面をモデル表面としてその摩擦挙動を調査している。

主な定性的結果として，詳細な部分で違いはあるが，リンクルの周期が摩擦させる圧子のサイズと同程度の場合は，リンクルによって摩擦が上がる（System 1）[(1)]が，圧子のサイズが大きい場合は，リンクルによって摩擦が下がる（System 2）[(2)]という結果が得られた（Fig. 2）。今後さらに網羅的に実験を進める必要があるが，リンクル構造を発生させ，対向する摩擦面に対して適切な相対サイズを選択することで，平均の摩擦力を数 10% 程度，上げ下げ可能であることが示唆される。すなわち，摩擦性能をスイッチングできる表面として，構造可変リンクルのトライボロジー分野での応用可能性を示している。今後はそのような応用を見据え，圧子サイズや表面材質，摩擦速度，液体の潤滑作用など，更に流体抵抗や海洋生物の付着特性への影響等を含め調査を進めている。

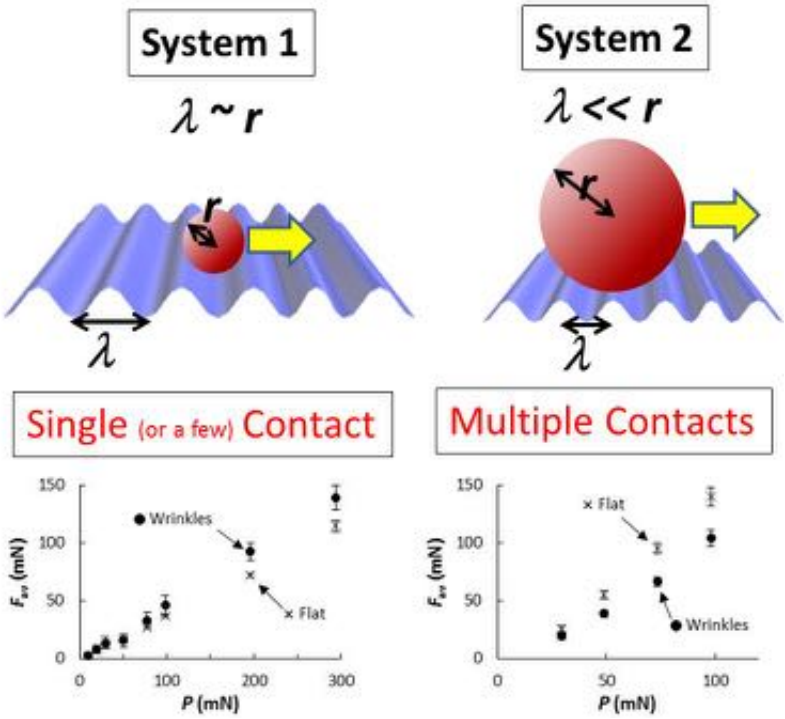


Fig. 2. Contact-state-dependent frictional systems and average friction force F_{av} vs. normal load P on wrinkled and unrwrinkled (flat) surfaces. (left) System 1. (right) System 2.

参考文献

(1) Suzuki, K., Hirai, Y., Ohzono, T., *ACS Appl. Mater. Interface*, **2014**, *6*, 10121-10131.
(2) Suzuki, K., Hirai, Y., Shimomura, M., Ohzono, T., *Tribol. Lett.* **2015**, *60*, 24.
(3) Ohzono, T., Monobe, H., *J. Colloid Interface Sci.* **2012**, *369*, 1. (Review)

謝辞

本研究成果は，鈴木航祐氏，B01-1 班およびその他共同研究者との研究実施に基づきここに感謝する。また，科研費新学術領域「生物規範工学」（No.24120003）の支援を受けて行われた。

所属班：B01-1：生物規範設計　生物規範界面デザイン
所属機関：一般財団法人　電力中央研究所
氏名：野方　靖行
所属機関住所：〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646
e-mail：noga@criepi.denken.or.jp
研究キーワード：付着生物・生物試験・付着珪藻・フジツボ

流水条件下における生物付着評価方法の開発への取り組み

Development of bioassay methods for evaluation of fouling organisms under flowing water

1．背景

防汚物質や防汚塗料等の開発にあたり，ラボ条件下における生物付着の評価は，初期的なスクリーニング試験として広く行われている。一般的には，フジツボの付着期幼生であるキプリス幼生，ムラサキイガイ，海藻の胞子などが使用される事が多いが，それらの試験は動きの無い止水条件下で実施される場合がほとんどである(Fig.1)。しかし，自然条件下において止水条件と言うのは存在せず，海水は常に何らかの動きをしている。そのため，様々な材料の防汚性能の評価においても，流水条件下で行う方がより現実に近い結果が得られると考えられる。これまでにもいくつか流水条件下での付着評価試験(Fig.1)が提案されており，また，塗料メーカーなどでは実際の海域にテストピースを浸漬し，経過時間ごとの評価などが行われている。これまでに提案・実施されている評価においては，一定時間後の付着量や付着後の剥がれやすさなどにより材料の評価が行われているが，材料そのものの特性により，付着生物の付着挙動にどのような影響を及ぼしているのか，生物がどのような過程を経て付着に至っているのかなど詳細な解析は困難であった。今回，微細構造やゲルなど様々な材料の防汚性能を評価するにあたり，流水条件下での付着生物試験方法の検討を行っており，検討中の方法について紹介する。

2．方法・結果

流水下での付着を評価する際に生物の挙動も同時に観察できるように，アクリル製の水槽とし，サンプル観察部分は取り外しができる構造とした。これらの水槽内に付着生物の幼生を収容し，ビデオカメラ等で観察する事により付着生物の材料に対する挙動を

観察するとともに，付着性の珪藻類などを投入した際には，付着珪藻を粒子とみなした粒子イメージ流速計測 (PIV)も行えるようにすることで，材料の摩擦性などの情報も取得可能なものとした（Fig.2)。試作した装置を用い，付着珪藻を模擬粒子として YAG レーザー照射時の画像(Fig.3)を取得した所，珪藻を粒子とした場合においても粒子移動量の算出が可能であると考えられた(Fig.3)。今後，付着珪藻やフジツボ幼生を用いて, 材料に対する流れの特性にも着目しつつ, 防汚性能の評価を行って行く予定である。

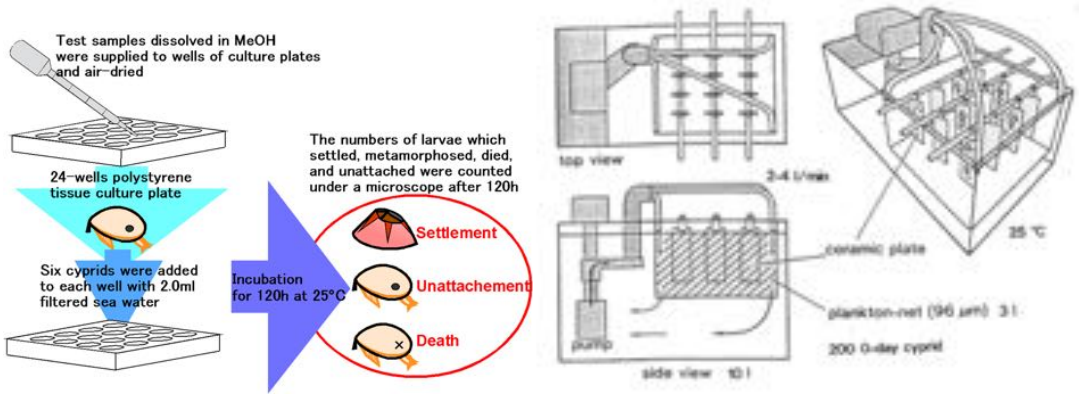


Fig.1. Antifouling test methods using barnacle larvae.
Left: still water condition, Right: water flow condition.

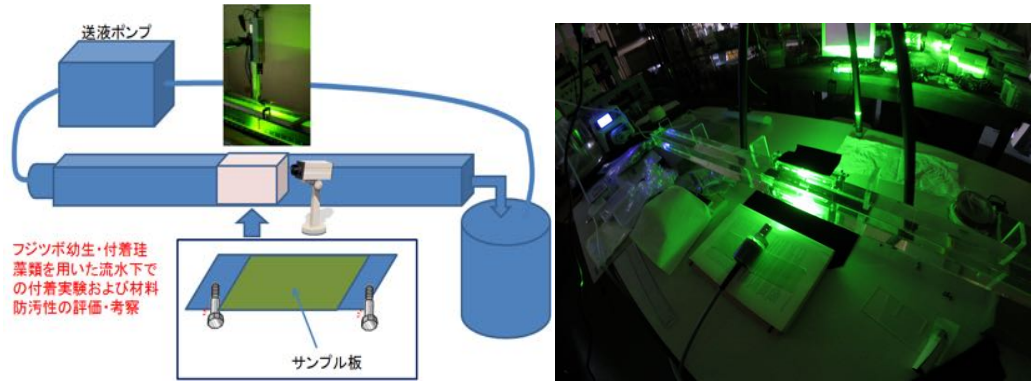


Fig.2. Antifouling test and PIV tank using diatoms and barnacle larvae.

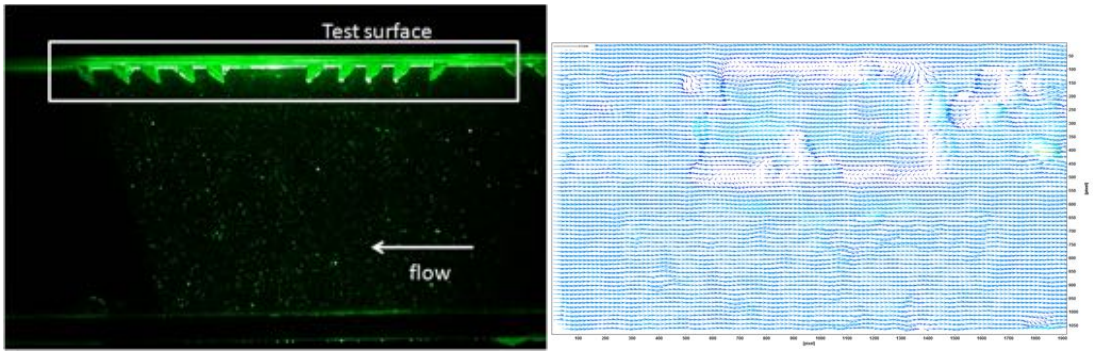


Fig.3. Velocity vectors around test surface.

所属班：生物規範機能構造・形成プロセス (B01-2)
所属機関：浜松医科大学医学部
氏名：針山　孝彦
所属機関住所：431-3192 浜松市東区半田山1－20－1
e-mail：hariyama@hama-med.ac.jp
研究キーワード：NanoSuit®法，SEM観察，モスアイ，多機能性

サブセルラーサイズの生物表面の重要性
ー多様な生存戦略を学んで，ものづくりに

The sub-cellular size structure of biological surface and its importance in design and manufaturing

1．はじめに

多様な生物の表面構造がもつ光学的特性は，世界的に着目され数多くの研究報告があり，サブセルラー・サイズレベルの解析によって人間が利用できる光学機器の提案もなされている。しかし，これらの報告はそれぞれの生物がもつ特徴をそのまま技術としているのが現状である。我々は，欧米各国の研究・開発レベルにとどまらず，生物表面がもつ機能を研究し人間が利用可能にすること，生物素子の形成過程を学び自己組織的形成過程を規範としてトップダウンおよびボトムアップ型の工業製品として制作できる新産業構造の提案を目指して研究推進をしている。

2．サブセルラーサイズの生物表面の NanoSuit®法による観察の重要さ

生物表面の微細構造の観察／解析には，走査型電子顕微鏡が有効不可欠な機器だが，高倍率・高分解能で表面微細構造を観察できる電界放出型走査電子顕微鏡では，試料を高真空環境（10^{-5}～10^{-7}Pa）に曝さなければならない。そのため，生物試料に様々な化学的前処理を施した後に予備乾燥するなどの観察技術の改良，あるいは真空度を下げた低真空 SEM を用いるなどの機器側の開発が行われてきたが，前者は微細構造が崩れ，後者は解像度が下がってしまうなどの問題がある。NanoSuit®はこの問題を解決し，サブセルラーサイズの生物表面の生きたままの観察を可能とした[1]。

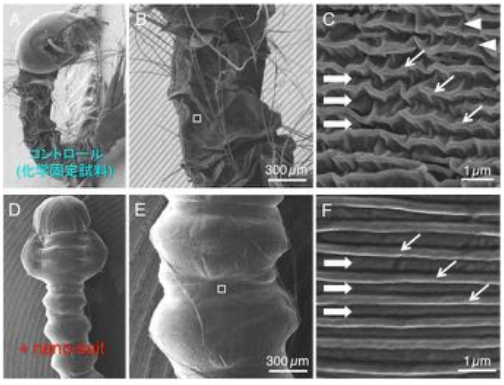


Fig.1 SEM image of mosquito surface. After chemical fixation (A-C), Using by NanoSuit method (D-F).

3．サブセルラーサイズの生物表面の多様な機能

夜行性の昆虫のオオタバコガの複眼（Fig.2A）は，多数の個眼の集積であり（Fig.2 の A と B の間の挿入図），その 1 個眼の角膜表面を SEM で強拡大すると多数のナノパイル構造が並んでいる（Fig.2B）。エゾハルゼミの翅の透明な翅膜を SEM で観察すると，ガの角膜表面に似たナノパイル構造があり（Fig.2C），その翅膜部分の透過率をスペクトル測定すると紫外部（300〜400 nm）でやや吸収があるものの，可視部帯域では 100%に近い高い光透過性である（Fig.2D）。翅に色素が含まれていて光透過性をほとんど示さないアブラゼミにもナノパイル構造が存在していることを見つけた。アブラゼミの前翅を切り出したままの試料と，ゴムなどで表面をラビングし（擦り）ナノパイル構造を破壊した試料を用意した。Fig.2F の SEM 像のように，ラビング処理後のものではナノパイル構造が潰れて乱れており，ラビング処理したものは反射光が増えて表面が輝き（Fig.2E），ラビング処理前の前翅の翅膜の a〜c に対応する処理後の a’〜c’に微小液滴を落とすと，処理前のものの接触角は 146°前後の超撥水性を示すが，処理後では 103°と大きく減少することがわかった（Fig.2F）。また，アブラゼミの翅に他の昆虫を歩かせると滑落することも分かった。ナノパイル構造はモスアイという語句に代表される「高い光透過性」を生み出すだけでなく，「撥水性」，「セルフクリーニング作用」，「滑落性」などの多用な機能を一つの構造で生み出していることが分かった[(2)]。

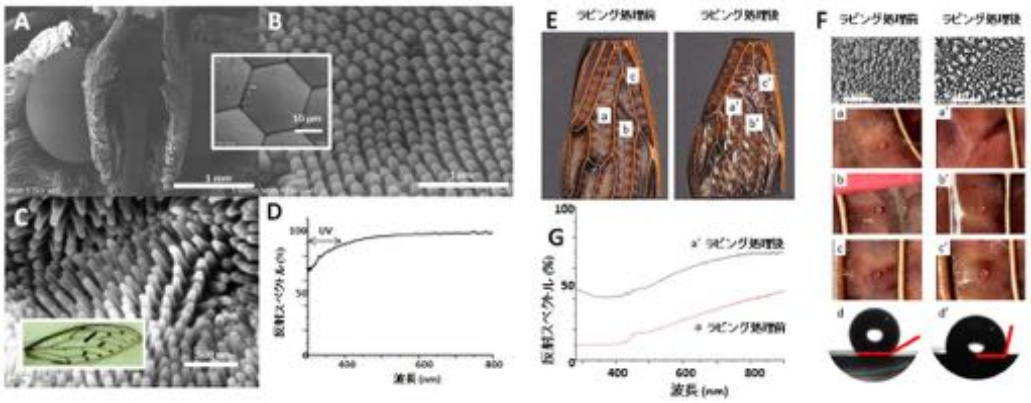


Fig.2 Multifunction of sub-cellular size structure.

参考文献

(1) Yasuharu T.; Suzuki K.; Ohta I.; Ishii D; Muranaka Y.; Shimomura M.; Hariyama T. *PNAS.* **2013**, *110(19)*, 7631-7635.

(2) 針山　孝彦,魚津　吉弘，向井　裕美，山濱　由美，弘中　満太郎，高久　康春，石井　大佑，大原　昌宏，野村　周平，長谷山　美紀，原　滋郎，澤　楯夫，下村　政嗣，日本応用動物昆虫学会誌(応動昆).　**2014**, *53*, 79-91

謝辞

本研究推進に関わる B01-2 班の班員関係者全員と班間連携の皆様に感謝いたします。

所属班：B01-3班
所属機関：国立研究開発法人　物質・材料研究機構
氏名：細田　奈麻絵
所属機関住所：〒305-0044　茨城県つくば市並木１－１
e-mail：Hosoda.Naoe@nims.go.jp

研究キーワード：接合，可逆的インターコネクション，バイオミメティクス，昆虫，魚の吸盤

班間連携による魚類の吸盤に関する研究

Research on sucker of a fish by the cooperation between groups of B01-3 and A

１．はじめに

B01-3 班では生物のサブセルラー・サイズ構造の階層性に起因する動的特性を生物物理・材料/表面科学の視点から解明し，系統的なアナロジーの検証，原理の抽象化，発生学的形成プロセスの解明などをすることで生物規範の基礎を確立し，技術移転を行っている。本稿では，生物の接着に関する研究の推進について紹介する。

生物は，基盤上への体の固着，捕食，移動など様々な目的で接着を利用している。その接着方法は多種多様であるが，大きくは『（半）永久的な接着』と『一時的な接着』の２つのタイプに分類できる。『（半）永久的な接着』は，フジツボやイガイなどによる体の固定や，蜘蛛の巣などに見られる捕食に利用されている。イガイの接着成分は，シアノアクリレート系やゼラチン―アルデヒド系接着剤のような有害な物質を用いる

Fig.1　The group B01-3 and the group A carried out collection of the clingfish and ecology research in Katsuura by the cooperation of the Chiba Prefectural museum.

ことなく強固な接着ができるため，生体接着のモデルとして研究されている。
『一時的な接着』は，昆虫やヤモリなどの歩行（接着と剥離の繰り返し）や，蛸やカメレオンなどによる捕食に利用されている。一時的な接着は，接着後に簡単に外せるという特徴があるで，可逆的な接着・接合技術開発のモデルとして注目される。
B01-3 班では『一時的な接着』の一種である魚類の吸着デバイスについて A 班と連携し研究を推進している。ここではウバウオなどの魚の吸盤に着目し，①採取，分類学，生息環境調査，②構造解析，力学特性，材料学的評価，③生物学モデル，一般化，④接着機構の設計，作製，⑤応用について研究を行っている。Fig1 は千葉県立博物館の協力によりウバウオの採集・生息環境観察を行った時の写真である。魚の吸盤構造については, 内部構造はマイクロ CT, 表面構造については電子顕微鏡を用いて観察を行った。Fig 2 にウバウオのマイクロ CT 画像を示す。写真の中央部に吸盤を支える骨格が写っている。マイクロ CT 画像は外部構造・表皮構造も描写できるため三次元プリンターにより 3 次元模型を作製し，吸着機構の理解に役立てている。

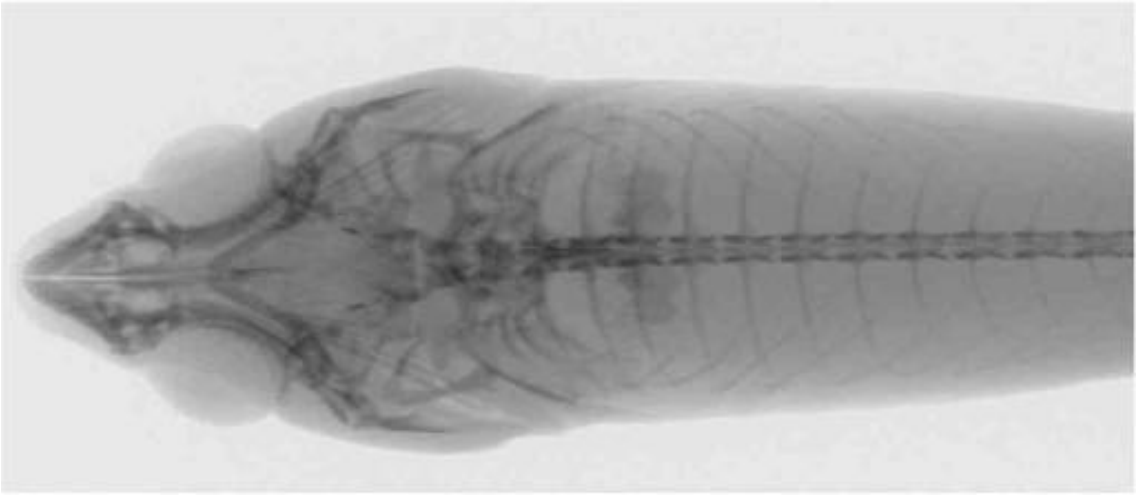


Fig.2 The micro CT image of a clingfish

謝辞
マイクロ CT 撮影に当り島津製作所の協力を頂いた。本研究の一部は若手育成を目的に実施し，インターンシップ学生のラース・ナーゲル氏が参加協力した。

所属班：B-03
所属機関：北海道大学　電子科学研究所
氏名：松尾　保孝
所属機関住所：〒001-0021　札幌市北区北21条西10丁目
e-mail：matsuo@es.hokudai.ac.jp
研究キーワード：ナノ加工、機能性界面作製

新しい実装技術に向けたバイオミメティクス表面の開発

Development of a biomimetic surface to a new surface mount technology

1．はじめに

現在の回路基板上には大小様々な電子部品が装着されており、高密度化が進んでいる。特に、表面に貼り付ける実装部品は高密度化に反比例して微小化が進み、ハンダを塗布する印刷機とチップマウンタと呼ばれる専用装置による位置決め・固定化を行う方法がとられている。現状での位置決め精度は数十ミクロン程度であり、今後のさらなる回路の高密度化の要求に対しては装置の高精度化が必要になってくるが、コストが増大する方向に向かうため、比較的安価に実現可能な新しい実装手法の検討を行っていくことが必要であると考えられる。B-03 班では接着という観点から可逆的接合・セルフアライメントが実現可能なバイオミメティクス表面の研究に取り組んでいる。細田班長の研究から昆虫の足先にある毛状構造が気泡を保持する構造にあり、その気泡の疎水性が壁面への吸着を可能にしていることがわかっている。その点に注目し、アライメント機構に水中の気泡を用いることで特別な薬剤等を用いない、新しい実装技術が実現できるとの考えに立ち研究を進めている。

２.バイオミメティクス表面を利用した実装への応用

気泡を保持する構造は昆虫の毛状構造を類似して作製することで可能になる。毛状構造のサイズはミクロンオーダーであることから、フォトリソグラフィーなどの微細加工技術によってシリコンあるいは SU-8（レジスト）を鋳型とし、ポリジメチルシロキサン（PDMS)へ形状を転写することで構造作製を行った。作製した鋳型を Fig.1 に示す。Si 基板上に孔径 10μm、深さ約 8μm のパターンを形成した。これを鋳型に、PDMS へ構造を転写した。毛状構造作製のみであればここまでで完結するが、可逆的接着や実装というエレクトロニクス分野への技術に応用するためには、（１）セルフアライメント精度とアドレッシング、（２）導電性　の２点については毛状構造への新しい機能を

付与する形となる。そのため、まずは導電性を検討するために、PDMS へのメッキ処理を試みた。PDMS 内にパラジウム触媒を担持させ、銅メッキ液に浸漬した。浸漬後の結果を Fig.2 に示す。基板には銅色を呈し、メッキを行うことに成功した。この構造の抵抗値を測定すると 80Ω～100Ω程度であり、導電性を付与することに成功した。しかしながら、測定電極に荷重をかけると抵抗値が増大した。電子顕微鏡においてメッキ後の基板を観察した結果、メッキが施されてはいるが部分的にクラックが見られた。PDMS は弾力性もあり変形しやすい形状でもある。外部応力によりこのクラックが大きく変形し、抵抗値の変動につながったと考えられる。このことから安定した導電性の付与のためには、触媒核付与やメッキ手法の最適化が今後も継続して必要と考えられる。

なお、このメッキ後の基板の接触角は 140 度程度となっていた。気泡保持に必要な撥水性は確保できているため、表面の化学修飾によるアドレッシング機能の追加などを検討していく。

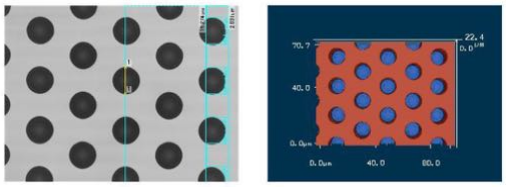


Fig.1 Photograph of Si mold

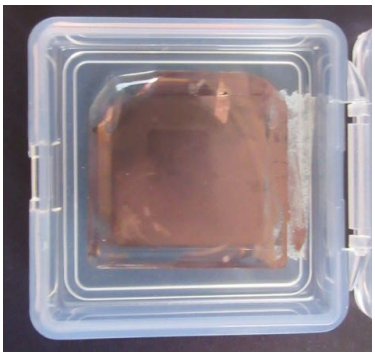


Fig.2 Cu coated PDMS pillar

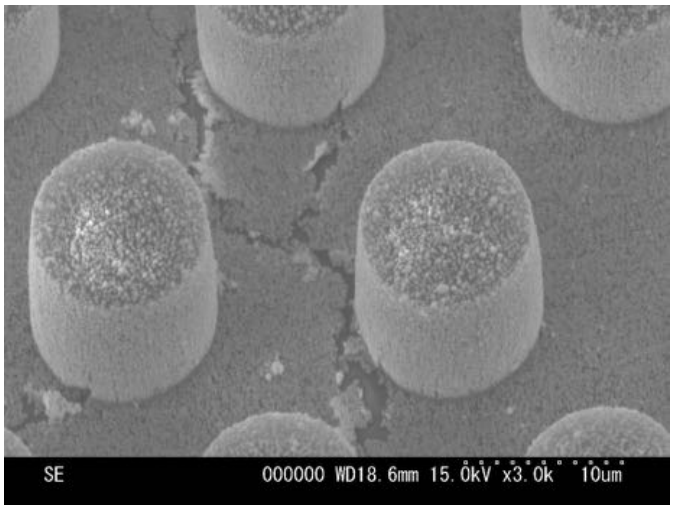


Fig.3 SEM image of Cu coated PDMS pillar

３.まとめ

昆虫の足による接着機構を模倣した構造による新しい実装技術の開発に関して、基本構造作製についての検証を行った。今後は、より簡便な作製手法や最適材料を用いた気泡保持構造の作製について研究を進める予定である。

所属班：B01-4班
所属機関：京都大学農学研究科応用生命科学専攻
氏名：森　直樹
所属機関住所：〒606-8502 京都市左京区北白川追分町
e-mail：mokurin@kais.kyoto-u.ac.jp

研究キーワード：フェロモン，化学受容，聴覚センサ，乾燥耐性

生物規範環境応答・制御システム

Functional analysis of subcellular structures in Insects and Plants

1．昆虫-昆虫相互作用

オスガ類は，メスの放出する性フェロモンを検出することで，同種のメス個体を識別する。性フェロモンは，複数成分が異なる比率で含有するフェロモンブレンドを構成する。オスはその成分と比率を検出しメスを識別している。近年，ガ類から性フェロモン受容体（PR）が発見され，各成分はこれら受容体によって検出されていることが明らかにされてきた。しかし，構成比率が PR でどのように検出されるのかは明らかにされていない。本研究では，ガ類の PR によるフェロモンブレンドの検出機構を明らかにすることで，複数成分から成るガスの新たな検出方法の提案を目指す。

2 成分系フェロモンブレンドを利用するヒメアトスカシバ（*Nokona pernix*）から PR 遺伝子を単離し，アフリカツメガエル卵母細胞を用いて成分選択性を解析した。NpOR1，NpOR3 はそれぞれ EZ 体，ZZ 体に特異的に応答することが分かった。また，*in situ* ハイブリダイゼーションを用いて，触角における局在様式を明らかにし，PR の選択性と局在様式（嗅覚受容細胞の割合）に基づき検出モデルを構築した。

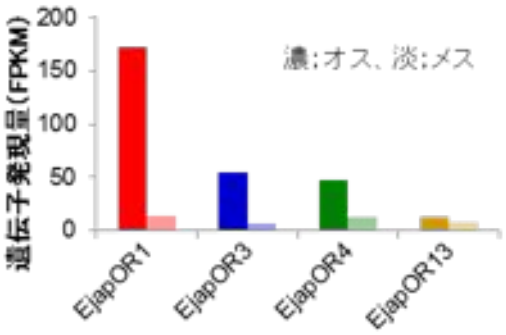


Fig. 1 Expression levels of PR candidate genes in antennae by RNAseq analysis.

4 成分系フェロモンブレンドを利用する

キマエホソバ（*Eilema japonica*）から， RNAseq によりオス優勢的に発現する PR 候補遺伝子を単離した。RNAseq による遺伝子発現量解析の結果，触角において各候補遺伝子が異なる割合で発現していることが分かった（Fig. 1）。現在，卵母細胞を用いた機能解析を進めている。

2．植物-植物相互作用

植物は食害や病原菌感染に対して，テルペンなどの揮発成分や抗菌物質の生産など化学的な応答を起こす。これまでに，植物から様々な生理活性物質が報告されてきているが，同定されている化合物は植物が持つ全化学物質の一部と考えられる。本研究では，イネ *Oryza sativa* を用い，植物ホルモンであるジャスモン酸で誘導される成分の解析から，イネの新規誘導性代謝物の同定を行い，その生理活性を探索した。

ジャスモン酸処理したイネ幼苗（品種：日本晴）から非タンパク性アミノ酸の b-tyrosine を同定した（Fig. 2）[1]。これは植物からb-tyrosine を同定した初めての報告である。安定同位体を用いた取り込み実験から，(3*R*)-b-tyrosine は(2*S*)-a-tyrosine からアミノ基転移によって変換されること，その生合成に関わる遺伝子として日本晴の第 12 染色体上の LOC_Os12g33610 を tyrosine 2,3-aminomutase（TAM）として同定した。また，(3*R*)-b-Tyrosine は日本晴の根から滲出されること，および(3*R*)-b-tyrosine はシロイヌナズナや他の双子葉植物の根の伸長を阻害するが，イネを含めた単子葉植物には活性を示さないことを確認した。

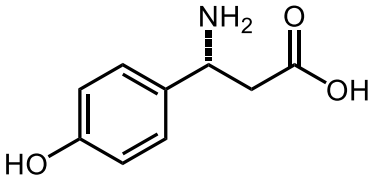


Fig. 2 Structure of (3*R*)-β-tyrosine

参考文献

(1) J Yan & N Mori et al., The Plant Cell, 27: 1-14 **2015**

所属班：B01-5班 生物規範メカニクス･システム
所属機関：千葉大学工学研究科
氏名：劉浩
所属機関住所：〒263-8522千葉市稲毛区弥生町1-33
e-mail：hliu@faculty.chiba-u.jp
研究キーワード：生物規範飛行システム，昆虫飛行の制御，乱流，バイオメカニクス，バイオミメティクス

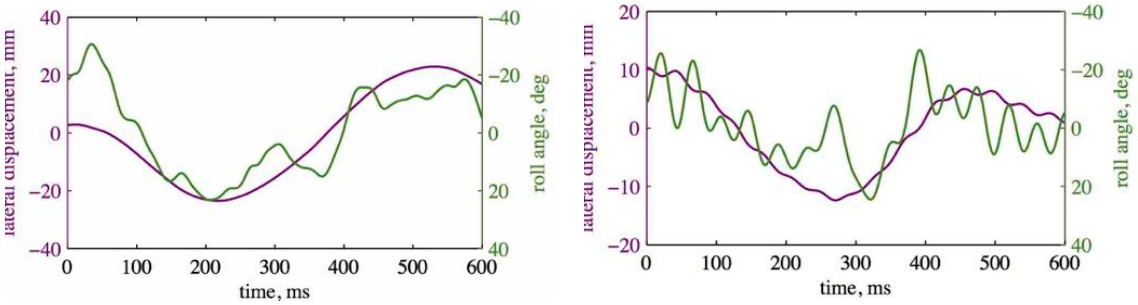
生物羽ばたき飛行の受動的な制御

昆虫や鳥は，突風や雨など，様々な厳しい乱流環境においても，ロバスト飛行制御を巧みにこなすが，その力学的原理が十分には分かっていない。本研究では，風洞実験と空気力学・材料力学･飛行力学･飛行制御を包括する統合力学シミュレーションにより，生物規範飛行メカニクス･システムの能動的及び受動的な力学原理及び飛行制御理論の解明，生物翼を規範としたバイオミメティクス柔軟翼の開発と昆虫型飛行ロボットやマイクロ風車への応用，生物飛行における流動性と波動性に関する新しいスケーリング法則を適用し，「生物マルチスケール･メカニクス」という学理の創出を目指している。

最近生物翼の能動的な羽ばたき運動と受動的な弾性変形が補完的に働き，羽ばたき飛行の空気力学性能を向上することと，能動的な飛行制御と風外乱による受動的な振る舞いが補完的にロバスト飛行を実現することが分かってきた。ここでは，乱流中を飛ぶミツバチの羽ばたき飛行の制御に関して最新の成果[1), 2)]を報告する。

屋外に飛んでいる昆虫は広範囲にわたる時空間様々なスケールにおいて風外乱に遭遇するが，かれらがどのようにこれらの乱流中で翼運動や姿勢を制御し安定飛行を実現するかが解明されないままである。乱流中での昆虫羽ばたき飛行の制御は，生物羽ばたき飛行原理の本質の解明だけではなく，小型化が進んでいる次世代ドローン飛行制御則のブレークスルーにもつながる重要な研究課題である。我々は，風洞の中における一様流と，円柱で引き起こされる不安定なカルマン渦の気流中を飛行するマルハナバチの運動を記録して，かれらの胴体回転運動のロール角度と横すべりの加速度の間に強いポジティブな相関関係（図１）を見つけた。これは，つまりマルハナバチが常に低い周波数（＜10Hz）で能動的にロール運動を行うことを示唆する。一方，より高い周波数（＞10Hz）で受動的に不安定な気流（乱流）と相互作用している間，マルハナバチは依然低い周波数でアクティブなロール制御を実行していることが分かった。我々は，さらにマルハナバチの定常流と不安定な流れにおける羽ばたき飛行に対して大規模な力学シミュレーション（図２）を行い，この現象の力学メカニズムを探求した。そこで，マルハナバチが不安定な乱流中においても，低い周波数での能動的なロール運動の制御とフ

ィードバック修正を実行しているとともに，受動的に高周波数の気流外乱を乗り切るのを可能にする新しいメカニズム（図３）が存在することを突き止めた。 これは，昆虫が複雑な気流での飛行制御チャレンジに取り組むために，異なる時間スケールで受動的および能動的モードを結合することによって飛行安定性を維持する戦略は，今後超小型生物規範型飛行ロボットや次世代ドローンの研究開発に，斬新な制御則や設計指針を提供することが期待される。



一様流中　　乱流の中

図１一様流と乱流の中を飛行するマルハナバチのロール角と横滑り変位

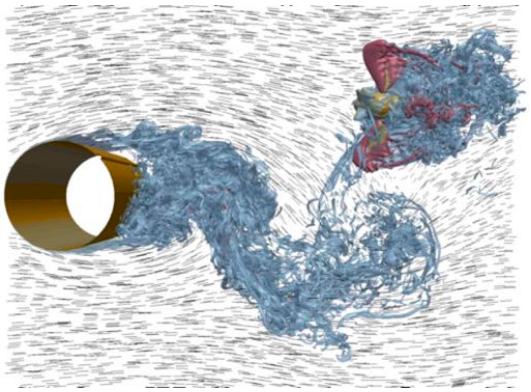


図２乱流中のマルハナバチまわりの流れ

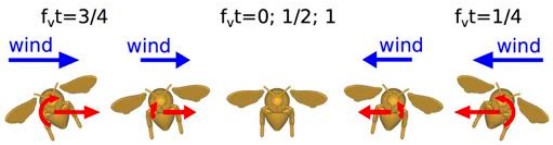


図３乱流中のマルハナバチの受動的な応答

参考文献：

1) H. Liu, S. Ravi, D. Kolomenskly, H. Tanaka. Mechanics and mimetics in bio-inspired flight system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2016. *(invited)*

2) S. Ravi, D. Kolomenskly, H. Liu. Bumblebees minimize control challenges by combining active and passive modes in unsteady winds. 2016. (*submitted*)

所属班：B01-5班
所属機関：九州大学先導物質化学研究所
氏名：木戸秋　悟
所属機関住所：〒819-0395 CE41-204 元岡西区福岡市
e-mail：kidoaki@ms.ifoc.kyushu-u.ac.jp
研究キーワード：間葉系幹細胞，人工幹細胞ニッシェ，培養力学場

がん細胞の運動表現型診断のための弾性率可変マイクロファイバーゲルマトリックス

Phenotypic differences in 3D movement of tumor cells observed in the microfiber gel matrices with tunable elasticity

多くのがんの転移において，がん細胞は原発巣である上皮組織から離脱して間質組織への浸潤を開始する過程で上皮間葉転換と呼ばれる表現型の変化を起こす。すなわち，がん細胞は悪性度の高まりとともに三次元的な運動表現型を獲得することが知られている。このような細胞運動の性質の変化は病態診断･病理解析の重要な指標となり得るため，その差異の検出は直接的かつシンプルな細胞診断の技術となるものと期待される。しかしながら，フローサイトメトリーやマイクロスコピックサイトメトリーといった現存の細胞解析技術は，活動中の生細胞の運動特性を分析するには適していない。この課題に対しては運動表現型の差異を識別する培養基材が必要であるが，当研究室ではこれまでに，弾性率勾配に応答する細胞走性に着目し，弾性勾配パターニング二次元培養基材表面において細胞種により異なる運動性が見られることを見出してきた [1)]。本研究では，生体組織の細胞外マトリックスを模倣した三次元環境における細胞の三次元運動特性の差異の，よりダイレクトな評価による細胞診断・分離技術の開発を目的とし，弾性率・接合度可変のマイクロファイバーゲルマトリックスの構造設計条件の検討を行った。

光硬化性スチレン化ゼラチン (StG) を光重合開始剤スルホニルカンファキノン (SCQ) と共に溶媒ヘキサフルオロ-2-プロパノール (HFIP) に溶解して電界紡糸を行い，得られたメッシュシートに対する光照射固相架橋反応と PBS 浸漬による膨潤により，ファイバー間接合度依存的なシート弾性率とファイバー内 StG 鎖架橋度依存的なファイバー弾性率を制御可能なマイクロファイバーゲルマトリックスを作製した。

個々のファイバー弾性率はメッシュシートに対する光照射時間を変えることでファイバー内 StG 鎖の架橋度調節により，そしてファイバーシート弾性率は光照射時にメッシュシートを圧縮し，ファイバー間接合度を調節することで制御した。低接合条件において異なるファイバー弾性率をもつゲルマトリックスに対する正常乳腺上皮細胞 MCF-10A と強転移性乳がん細胞 MDA-MB-231 の挙動を比較したところ, MCF-10A はファイバー弾性率に依らずゲルマトリックス表面に留まったが，MDA-MB-231 は 16.5 kPa のファイバー弾性率を有するゲルマトリックスにおいて内部への侵入が見られ，細胞種による運動性の差異の検出可能性が示唆された。一方で，MDA-MB-231 は 10.4, 49.5 kPa のファイバー弾性率を有するゲルマトリックスにおいては表面に留まっており，内殖挙動に最適なファイバー弾性率の存在が示唆された (Fig.1)。このような正常細胞とがん細胞の三次元運動特性の差異は, がん細胞の悪性度の差異を示すものであり，in situ 細胞診材料の構築のための細胞外三次元環境の微視的力学場の設計指針を与えるものと考えられる。

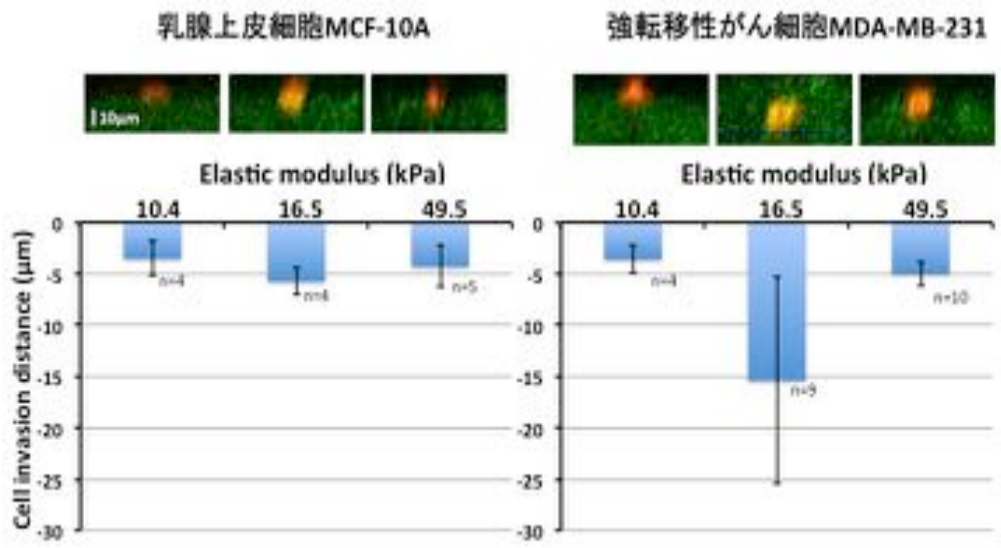
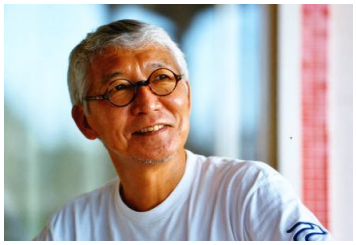


Fig.1 Comparison of 3D migration behaviors of malignant cancer cells with normal epithelial cells on the micro gelfiber matrix with different fiber elasticites.

参考文献

(1) S. Kidoaki, H. Sakashita, *PLOS One*, **8(10)**, e78067, 2013

所属班：C01班
所属機関：合同会社　地球村研究室
氏名：石田　秀輝
所属機関住所：〒891-9222　鹿児島県大島郡知名町徳時910
e-mail：emile.h.ishida@gmail.com



光り輝く未来を創るために

For the Creation of a Radiant Future

1．はじめに

地球環境の劣化は，多くの努力にもかかわらずますます劣化を加速させており，持続可能な社会の再定義が求められている。それは，地球環境と経済成長の両立ではなく，地球環境と生命（いのち）の成長の両立であり，経済的な価値はその結果の一部として表現されるべきである[1)]。すなわち，劣化する地球環境制約の上に存在できるライフスタイルを設定し，それに必要なテクノロジーやシステムを創生する必要があるが，そのライフスタイルは苦痛や我慢を伴うものであってはならない。一方では，人は生活価値の不可逆性という欲の構造[2)]を持っており，地球環境制約の中で，それを肯定できるライフスタイルとそれに求められるテクノロジーやシステムを成立させなければならない。

Fig. 1　Schematic Approach for the Lifestyle oriented technology

そのためには，従来型のフォーキャスト思考からバックキャスト思考を取り入れ，ライフスタイルオリエンテッドテクノロジーを創生する必要がある。筆者らは，2030 年の厳しい環境制約の中で心豊かなライフスタイルを描き，それに必要なテクノロジー要素を抽出し，自然の中にそれを求め，サステイナブルというフィルターを通して，具体的なテクノロジーにリ・デザインすることにより，従来と全く異なるテクノロジーが開発可能であることをすでに明らかにした[3)]。

2．心豊かなライフスタイルの構造

制約の中での豊かさとはどのような構造を持っているのか，その構造を明らかにし[4)]心の豊かさが 70 の要素で構成され[3)]，制約（Positive restriction)を自らの知恵や技で超えることによって得られるものであり，単に利便性や快適性を与えるテクノロジーが持続可能な社会に求められるテクノロジーの解にならないこともすでに明らかにした[4)]。それは，自立型の暮らしに向かうものであり，現在のテクノロジーやサービスの主流で

ある依存型の暮らしの創成とは全く異なる。さらに，この依存型と自立型ライフスタイルの間には大きなギャップ(間)があり，その「間」を埋めるテクノロジーやサービスさらにはライフスタイルの研究が極めて希薄であることも明らかとなってきた。筆者らはこの点に注目し，沖永良部島，豊岡市(兵庫県)，北上市など，いくつかの町でこの間を埋めるための要件を洗い出し，社会実装の試みも開始している。

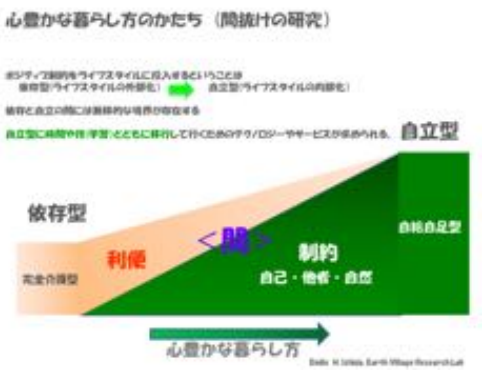


Fig. 2 From dependent lifestyle to self-contained lifestyle

３．オントロジー導入の可能性

オントロジー工学[4]は，人工物について開発されたものであるが，溝口理一郎博士の指導の下，生活行為や感情を含むライフスタイルにも応用の可能性が明らかとなり，ライフスタイルが構造化（行為と方法）でき，データ化可能となれば，コンピュータ処理による機能，技術，課題ワードによる検索が可能になると考えている。

現在，行為分解木に，すでに明らかにしている 70 の心の豊かさが導入可能となり，バックキャスト手法で得られたライフスタイル 15 個，90 歳ヒアリングを主としたライフスタイル 40 個の行為分解木の作成を終了した。この手法により，得られた機能と Bio-TRIZ を結びつけるステップへ展開する。同時に，さらに行為分解木の数を増やす必要はあるが，並行して，それらから，すでに明らかとなっている人工物に関する標準語彙とは異なる標準語彙を明らかにすることで，標準語彙に関するテクノロジーグループが出来るはずであり，標準語彙からライフスタイル分解木を探し，必要なテクノロジーを明らかにするというアプローチについてもこれから議論したいと

Fig.3 Extraction of the technology from lifestyle by ontological approach

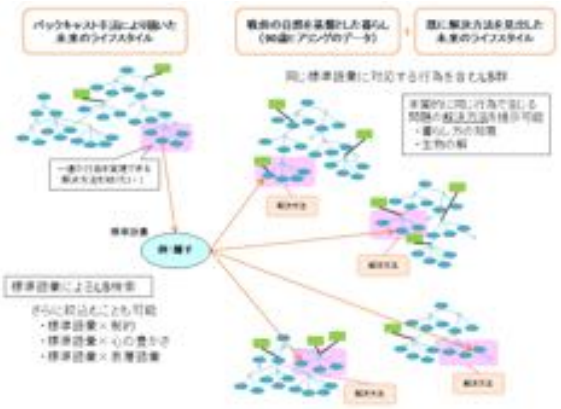


Fig.4 Ontological approach from backcast and 90' hearing lifestyle

参考文献

1） 石田秀輝 「光り輝く未来が沖永良部島にあった」 2016 ワニブックス
2) 石田秀輝，古川柳蔵 「自然に学ぶ粋なテクノロジー」2009 化学同人
3) 石田秀輝，古川柳蔵 「地下資源文明から生命文明へ」2014 東北大学出版
4) Emile.h.ishida, R.Furukawa "Nature Technology" 2014 Springer

所属班：C−01
所属機関：大阪大学 大学院基礎工学研究科
氏名：小林 秀敏
所属機関住所：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘１−１
e-mail hkoba@me.es.osaka-u.ac.jp
研究キーワード：国際標準機構（ISO)、バイオTRIZ、
バイオミメティック製品 和傘

心豊かなライフスタイルとテクノロジーを繋ぐデータベースの構築

Construction of a database supporting development of mental richeness future life

１．はじめに

近年、高効率・高性能な生物機能を材料設計に取り入れる生物模倣工学の研究が活発に進められている。しかしながら、その応用範囲は広く、主にケースバイケースで材料設計が行われており、非常に有用と思われる生物技術の体系化は、極めて困難である。さらに国際標準化機構（ISO）ではバイオミメティックスの概念や手法の標準化が検討されており、国際標準に基づいたバイオミメティック製品の創出が求められている。現在、我々はバイオ TRIZ（トリズ）と呼ばれる手法を利用した、150 万種以上も存在するといわれる多様な生物から有益な生物機能を抽出して、それらを材料設計に取り入れることができるデータベースの構築を推進しており、これにより、ISO 認証に適応したものづくりの解決案を提供しようと考えている。

本研究では、2030 年における心豊かなライフスタイルとテクノロジーをつなぐための技術要素を、バイオ TRIZ データベースから発案した。具体的には、心豊かなライフスタイルとして、岩手県北上市の伝統である口内傘による地方活性化に関連して、生物機能を和傘の機能改善に取り入れて、問題解決の実証を試みた。このような手法で、生物機能に関する情報を工学的な技術矛盾の解決案として提供することが可能となり、新たな特許を創出することが期待できる。

２．ISO 認証対応バイオミメティック製品の開発支援データベースの構築

バイオミメティック材料の開発においては、①既存技術・材料から問題を抽出、②問題解決のための生物機能を探索、③探索した生物機能の原理を抽出・一般化、④材料を創製して最適化を検討、という過程を経る必要がある。図１は、現在開発中のバイオ TRIZ データベースのエントリー画面で、画面上の指示に従うだけで、上記の過程①〜④を経ながら生物機能を工学に移転するためのヒントが得られる点が、本データベースの最大の特長である。技術者の抱えている技術的な問題を簡略化して、本データベース

が、その問題を解決するために適切と思われる解決原理を提案し、さらには生物機能を探索してくれる。ここで提案された生物機能を最適化することで、バイオミメティック製品開発のためのヒントが、短時間で効率的に得られる。さらに、バイオミメティック製品インベントリーも閲覧できるので、先行事例も踏まえた製品開発が可能となっている。

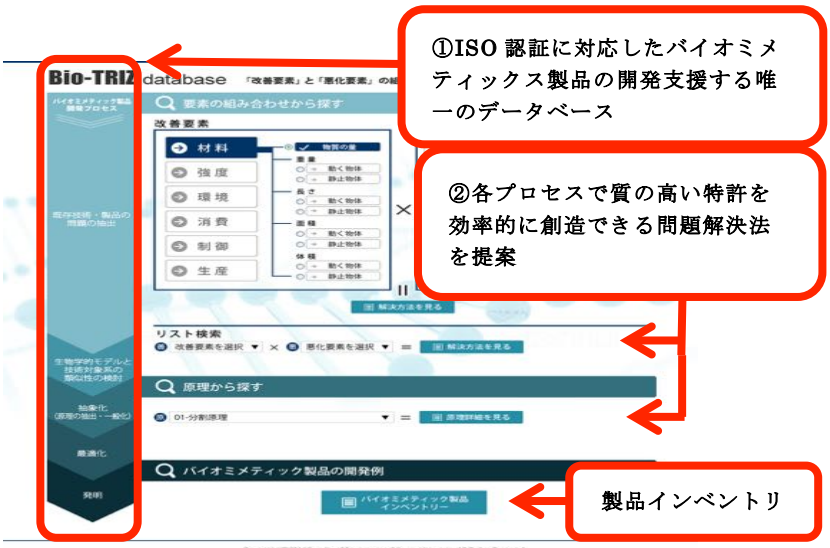


Fig.1 BioTRIZdetabase for development of Biomimetic products.

3．ライフスタイル・オリエンテッド・アプローチの技術支援

近い将来、我々が直面する厳しい環境制約の中で、心豊かなライフスタイルを築くためには、持続可能な社会でのライフスタイルを想定し、そこから技術要素を探索していく手法、即ち、ライフスタイル・オリエンテッド・アプローチーが有効である。この手法で創出されたライフスタイルを実現するためには、既存のテクノロジーでは克服できない課題も多いと想定され、地球にやさしい新たなテクノロジー要素の創出が不可欠となる。ここでは岩手県北上市の伝統品口内傘による「和傘と暮らすライフスタイル」から技術要素を抽出して、バイオ TRIZ による機能性和傘の設計を検討した。

和傘についた雨のしずくは、着物などを濡らしてしまい、不便である。この問題解決には TRIZ の解決原理「事前準備」が有効であり、実登 3058058 で和傘用収納袋が開発されている。これをバイオ TRIZ データベースで検索すると、Fig.2 の様なアサガオの花弁の収納機構が検索され、この機構を応用することで、閉じると濡れ面が傘内部に収まり、袋が無くても着物を濡らさない機能性和傘の設計が示唆された。

このことから、バイオ TRIZ データベースを利用することにより、心豊かなライフスタイルに必要な技術要素を ISO 標準に基づいた開発プロセスで、短時間でかつ簡便に開発することが期待できる。

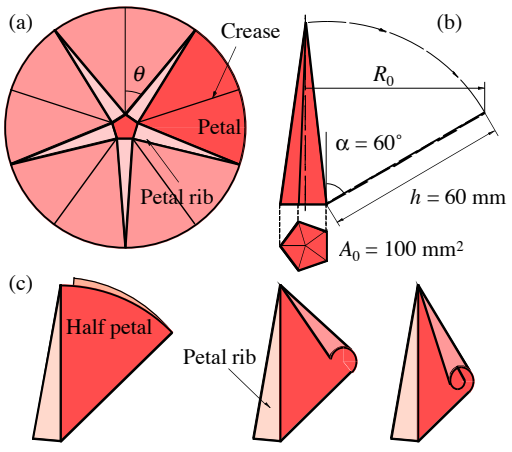


Fig. 2 Deployable petal model of morning glory for product design of waterproof Japanese umbrella by bio-TRIZ database.

所属機関：元・北海道大学電子科学研究所
氏名：辻井　薫
e-mail：tsujik@gc4.so-net.ne.jp（自宅）
研究キーワード：超撥水／濡れ／フラクタル／生物表面

超撥水現象の温故知新　―私の研究と生物の

Finding New from Old Matters in Super-Water-Repellent Phenomena

1．界面科学は濡れから始まった―序に代えて―

どの学問にも，その学問が成立する以前から，その萌芽とも言うべき研究や観察は必ず存在する。界面科学も，勿論，その例外ではない。界面科学の前史と言える観察は，毛（細）管現象である。毛管現象は，レオナルド・ダ・ビンチが 1490 年頃に観察したと言われている様に，大変古くから知られていた。最初に毛管現象の精密な研究を行ったのは G. A. Borelli (1608 – 1679) で，彼は，毛管を上昇する液体の高さが管の直径に反比例することを見出している[(1)]。勿論，この時点では，毛管現象の原因については何も解っていなかったが，界面科学は毛管現象から始まっているのである。

界面科学の成立が，表面張力概念の確立にあるとすることには，ご出席の諸氏にも同意して頂けるであろう。その表面張力概念を，1805 年に初めて導入し，液体の濡れを説明したのが Thomas Young　(1773 - 1829)である。固体表面上の濡れを説明する Young の式は，200 年以上経った今も頻繁に使われる重要な式である。液体がもし純然たる流体であれば，重力下においてはいかなる場合でも，重力方向に垂直な平面となるはずである。然るに，容器中の液体は壁との接触部で湾曲し，固体表面上の液滴は丸く盛り上がる (Fig. 1) 。あたかも，液滴表面に風船の膜の様なものが存在するかの如き振る舞いをするのである。この現象を説明するために，Young は，液体表面上に表面に平行な張力を仮定した[(1)]。また，この張力の釣り合いとして，接触角という概念を導入した。この表面張力と接触角の概念を使って，毛管現象を説明したのである。

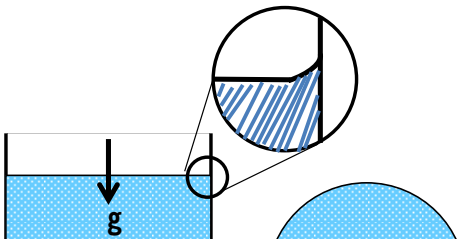


Fig.1 Surface tension originates the curved surface of liquid.

2．濡れの原理と超撥水表面

Thomas Young が導入した表面張力と接触角という概念によって，固体表面上での液体の濡れが説明された (Fig. 2) 。　固体の表面張力(γ_S)，固液の界面張力(γ_{SL})，液体の表面張力(γ_L)の三者が，固・液・気の三相接触線上において，横方向に釣り合うという条件によって接触角(θ)が決まる。つまり，(1)式（Young の式）が成り立つ。

（1） $\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos\theta$

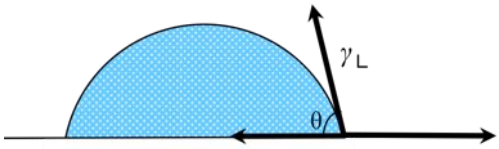


Fig.2 Lateral balance of three surface and interfacial tensions determines the contact angle.

この Young の式によって決まる濡れについては，今もその分子描像が研究課題となっている。また，界面科学の萌芽研究であった毛管現象にも，まだ未解決の基礎的な問題が残っている。

上記の Young の式は平らな表面上の接触角（濡れ）を決めるが，表面に微細な凹凸が存在するとその濡れが強調される。つまり，濡れる（接触角が 90°より小さい）表面はより濡れる様になり，はじく表面はよりはじく様になるのである。比較的凹凸の程度が小さく，液体と固体の表面が完全に接触する場合の理論は Wenzel によって[2]，凹凸が激しくて液体が底まで到達できずに下に空気が残る場合の理論は Cassie と Baxter によって与えられた[3]。Wenzel の理論は 1936 年に，Cassie と Baxter の理論は 1944 年に提出されたが，今も粗い表面の濡れの標準理論である。

表面の微細な凹凸によって濡れが強調されるのであるから，激しい凹凸を付与すれば，完全に液体をはじいたり，完全に液体に濡れる表面ができるであろう。これが超撥水現象の基礎である。超撥水表面の作製とは，つまるところ表面にどのような凹凸を作るかという問題に帰する。因みに，平らな表面では，最も水をはじく表面でも接触角は 120°にしか到達しない。

3．生物の超撥水

本シンポジウムにご出席の諸氏は，生物が示す超撥水についてはよくご存知のことであろう。植物ではハスの葉[4]，動物ではアメンボの脚[5]が典型的な例である。生物表面の超撥水は，勿論，微細な凹凸構造に起因する。Fig.3 に，アメンボの脚の電子顕微鏡像を示す。脚には多数の剛毛が存在し，その直径は 3 μm から数百 nm に亘っている (Fig.3, upper photo)。大部分の剛毛は，50 μm 程度の長さを有しており，脚の表面に対して約 20°の傾きをもって並んでいる。各ミクロ剛毛の表面には，多数の複雑なナノメートルスケールの溝が確認できる (Fig.3, lower photo)。この様に，剛毛はユニークな階層構造を有しているのである。超撥水性を示す生物表面は，サトイモの葉，バラの花，蝶の翅，蚊の複眼等々，数多く知られているが，いずれもμm スケールの凹凸と nm スケールの凹凸の階層構造を有していることが特徴である[6]。

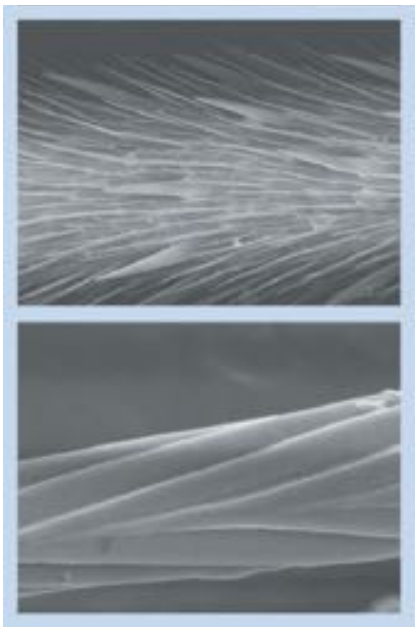


Fig.3 SEM images of leg surface of a water strider. A leg consists of a lot of hard hairs having streaks or trenches of nanometer scale.

生物表面の超撥水性は，研究こそ比較的最近行われたものであるが，現象そのものは大昔から知られていたことである。そして，その構造を真似て，

人工的な超撥水表面を作製した例も多く知られている。生物の超撥水性こそ，正に温故知新ということが出来よう。

4．フラクタル構造による超撥水表面

生物の超撥水に対して，μm スケールと nm スケールの凹凸の階層構造が重要な働きをしていることを述べた。階層構造では，大きな凹凸の中に小さな凹凸が存在し，それ故に表面積が大変大きくなる。それが撥水性を強調する。凹凸の階層構造という意味では，フラクタルはその究極の構造である。何故なら，フラクタル構造においては，凹凸の階層が無限に連続して存在するからである。したがって，固体の表面をフラクタル構造にすることが出来れば，液体が完全に濡れるか完全にはじく表面が作れるはずである。それが実現されたのが，Fig.4 の写真である[6-8]。まるで空中に浮かぶ水球の様であるが，下に影が映っていることから，超撥水表面上の水滴であることが理解できるであろう。この超撥水表面は，アルキルケテンダイマーという一種のワックスで，融液から結晶化させて，２～３日放置すると自然に（自発的に）フラクタル構造になる。この自発的フラクタル構造形成のメカニズムについても，明らかになっている[6]。

もし平らな表面上で油の接触角が90°を超える表面が作れるなら，その表面をフラクタル構造にすることによって超撥油表面も作製できるはずである。アルミニウム表面を陽極酸化してフラクタル構造を作製し，その上に炭化フッ素系のリン酸エステル型界面活性剤を吸着させて撥油処理し，この超撥油表面を実現した[9]。この表面上では，菜種油の接触角は 150°を超え，コロコロと転がった。生物の超撥水構造をヒントにし，その階層性を極限まで進めたフラクタル表面は，正に温故知新である。

Fig.4 A water droplet of ~2 mm diameter on a super-water-repellent fractal surface.

参考文献

(1) 小野周， *表面張力*（物理学 One Point 9）， 第１章－第２章， 共立出版, 1980.
(2) Wenzel, R. N. *Ind. Eng. Chem*. **1936**, 28, 988-994.
(3) Cassie, A. B. D.; Baxter, S. *Trans, Faraday Soc*. **1944**, 40, 546-551.
(4) Feng, L.; Li, S.; Li, Y.; Li, H.; Zhang, L.; Zhai, J.; Song, Y.; Liu, B.; Jiang, L.; Zhu, D.; *Adv. Mater*., **2002**, 14, 1857-1860.
(5) Gao, X.; Jiang, L. *Nature*, **2004**, 432, 36.
(6) 辻井薫, *超撥水と超親水―その仕組みと応用―*, 米田出版, 2009.
(7) Onda, T.; Shibuichi, S.; Satoh, N.; Tsujii, K. *Langmuir*, **1996**, 12, 2125-2127.
(8) Shibuichi, S.; Onda, T.; Satoh, N.; Tsujii, K. *J. Phys. Chem.* **1996**,100, 19512-19517.
(9) Tsujii, K.; Yamamoto, T.; Onda, T.; Shibuichi, S. *Angew. Chem. Int. Ed*. **1997**, 36, 1011-1012.

所属機関：国立研究開発法人 水産総合研究センター
中央水産研究所
氏名：赤松　友成
所属機関住所：〒236-8648
神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4
e-mail：akamatsu@affrc.go.jp

研究キーワード：biosonar, underwater acoustics, vocalization, echolocation

「海洋生物に学ぶセンシングとコミュニケーション」

Sensing and Communication Inspired by Marine Organisms

1．はじめに

海中は光が透過しない特殊な環境であるため，宇宙より見えにくいといわれる。たとえば可視光を放つ星の数を数えることはできるが，太平洋のマグロの総数を数えることは現代の最高レベルの技術を用いても難しい。海中での探索や通信に人類はもっぱら音波を用いてきた。郷に入っては郷に従えのことわざ通り，海中でのセンシングとコミュニケーションでも，海洋生物から学べることは多い。

2．イルカのエコーロケーション

イルカは，エコーロケーションと呼ばれる能力を用いて餌となる魚を探索している。音を発し，対象からのエコーを受信することで，その方位や距離を知る。この仕組みは人間のつくった魚群探知機とそっくりだ。

原理は似ているが，残念ながら機械はまだイルカの能力に遠く及ばない。イルカの音響センシングには，随所に生物らしい工夫が認められる。イルカは，出っ張ったおでこの中にメロン器官と呼ばれる音のレンズを備えており，鼻道の奥にある点音源から拡散していく音波を前方に収束させる(Fig.1)。最近，音響カメラと名付けられた製品(DIDSON, Sound Metrics, USA)で，この音響レンズ機能が実装された。イルカと同じように超音波ビームの照射方向を絞ることで，効率的に音のエネルギーを集中させ，水中物体のイメージングを行う装置である。イルカはしかしその先をいっているようで，頭を動かさなくとも音響ビームの方向を変えることが出来るらしい[1)]。イルカは，必要なところを必要なときに照らすヘッドランプのように，柔軟なソナー能力をもっている。

Fig.1 Mother and calf pair of finless porpoises can find each other using echolocation even in dark or turbid water. They have acoustic lens in the forehead (white arrow) to focuse ultrasonic beam on a target.

イルカは哺乳類なので耳は２つしかない。にもかかわらず，物体の形を知ることができることをハワイの研究者らが明らかにした[2)]。受信点が２つしかないので，原理的には二次元の再構成は不可能に思えるのだが，訓練されたイルカは一度も目で見たことがない物体の形を音だけで識別し，その見ための形を正確に報告することができた[3)]。

この探査能力を真似して，魚の種類がわかる機械を作ることができたらすばらしい。イルカのように様々な周波数成分を含む広帯域音を使い，音の長さ極端に短くして魚からのインパルス応答を見てみたが，当初の目論見は完全に外れた。ある方向だけから音波を当てても，その応答波形に魚の種による違いは見られなかった。そこで，対象となる魚を少しずつ回転させ，音の入射角に対する応答スペクトルを描いてみると(Fig.2)，今度はサバとアジで明瞭な違いが認められた[4)]。

イルカも，多方向からのインパルス応答を調べることで魚の内部構造を知り，これを三次元再構成して形として認識するために使っているのではないだろうか。ただ，工学的に実現するためにはまだ壁がある。魚群探知機の送信機は船の底に装備され，一定間隔でまんべんなく海の中を見るように作られている。このため，一尾の魚から得られる反射音数や入射角度幅がとても小さい。一方，イルカの場合は接近しながら最適な発音間隔を調整し，ビームを絞って対象にあて，さらに近づく角度も変化させることが出来る。最終的にその魚を食べ，大きさや種類や，おいしいかまずいかまでフィードバックを得ることができる。極めて柔軟な広帯域ソナーに，自己学習型のデータベースが備わっているようなものだ。この差を埋めるいくつかのアイデアはあるが，いずれもまだ実現には至っていない。

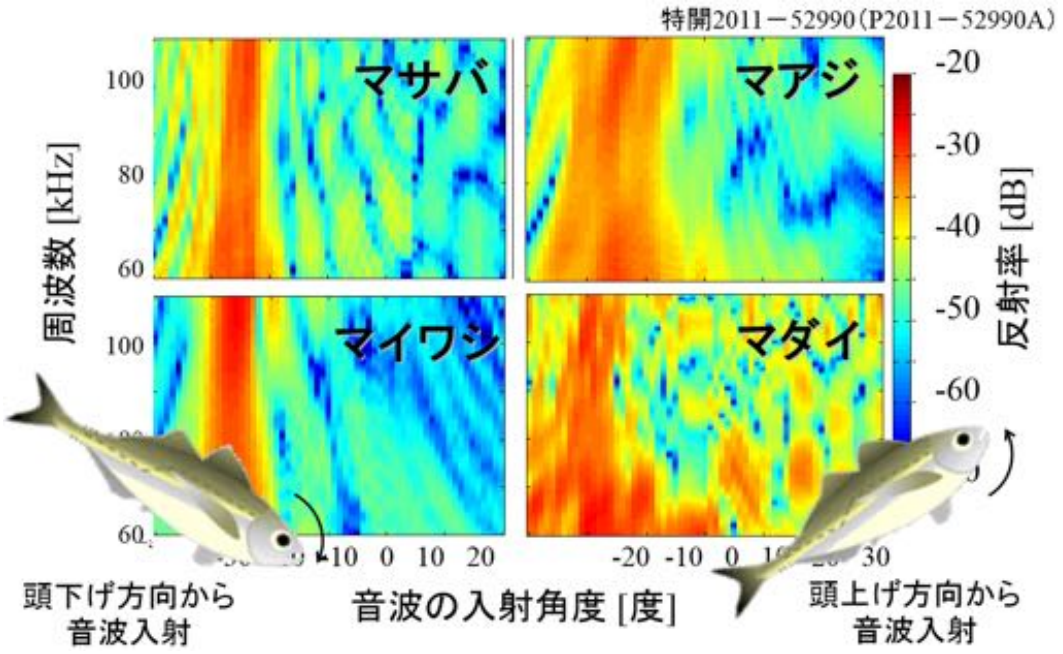


Fig.2 Target strength spectrum patterns of four popular fish species. A broadband impulse responses according to the attack angle of the ultrasonic beam are shown. The target strength spectrum patterns of the Japanese sardine shows simple strong echo at the specific incident beam angle whereas that of the red sea bream indicates complex pattern. A simple long ellipsoid swim bladder of the sardine is the major acoustic reflector. On the other hand, red sea bream has multiple reflectors in the body such as thick skin, bones and a short round shape swim bladder.

３.クジラのコミュニケーション

海中の音響伝搬はとても複雑である。曲げられ反射されるため，距離が離れたところで受信すると元の波形はひどく変形し間延びしてしまう。人間はこれを克服するために受信波形に送信波形を畳み込んで演算し，信号雑音比を上げている。たとえばインド洋のハード島から大西洋のバミューダ沖まで海中を伝搬させた音には M 系列とよばれる規則に従った位相変調がかけられた [5]。ただしこの方法は，送信波形を受信側で完全に把握しているときのみ有効だ。

ザトウクジラのような大型クジラの場合，声の変調パターンは個体によっても年によっても微妙に異なっている。クジラの音声は歌とも呼ばれ，繁殖のためにオスがメスに向けて発する。これを正確に遠くまで伝えることは，かれらにとってとても重要なことだ。クジラは，同じフレーズを何度も繰り返して歌を歌う。正確に相手に届いたかどうかのコールバックは必ずしもないので，送り手は何度も同じ信号を発するしかない。Munk の実験をよく見てみると，かれらは位相変調音以外にも 57Hz の単一周波数連続音も試している。これでもアフリカ大陸南端のケープタウン沖で明瞭な受信ができている。地球史上もっとも質量の大きな生き物であるシロナガスクジラは，最低で 17Hz という狭帯域音をわずかに下降周波数変調して繰り返し発する。伝搬条件がゆるせば，数千 km 届く音波である。

ところが海洋では，水面上で発せられた音は下に沈み込み，水深 1000m 付近にある音響伝搬層にとらえられ遥かかなたまで届くが，音のエネルギーの大部分は二度と水面に戻ってこない。浅い潜水しかしないヒゲクジラは，この遠距離通信チャンネルの恩恵を受けられそうもない。ただし，このチャンネルは島のまわりや高緯度海域では，表面近くまで上がってくることが知られている。ザトウクジラが繁殖のためにハワイ諸島や小笠原諸島にやってくるのも，オスにとっては遠くまで声を届かせ，メスにとっては多くのオスを見定めるために有利なのではないか。もちろん，暖かい海にやってきて繁殖することは，体の小さい赤ちゃんが体温を失わないためにも有効だが，コミュニケーション上の利点もあるのかもしれない。

参考文献

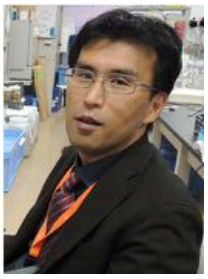
(1) Hoffmann-Kuhnt, M.; Chitre, M.; Mátrai, E. Yeo, K.; Lee, J. *J. Acoust. Soc. Am.* **2012**, *131*, 3362.
(2) Au W.W.L., *The sonar of dolphins*; Springer; New York, 1993.
(3) Harley, H.E.; Putman, E.A.; Roitblat, H.L. *Nature* **2003**, *424*, 667-669.
(4) 松尾 行雄,特開 2011－52990
(5) Munk, W.H.; Spindel, R.C.; Baggeroer, A.; Birdsall, T.G. *J. Acoust. Soc. Am.* **1994**, *96*, 2330-2342.

謝辞

以下の共同研究者および資金援助に感謝する；今泉智人・高尾芳三・安部幸樹・松田秋彦・王勇・小河慎二・西森靖・松尾行雄・伊藤雅紀・生物系特定産業技術研究支援センター異分野融合研究支援事業・戦略的創造研究推進事業

Engineering Neo-Biomimetics
平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)
生物多様性を規範とする革新的材料技術
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity

魚類に関するバイオミメティクス・データベース構築
Building of the Biomimetic Database on Fishes



● 目的

国立科学博物館筑波研究施設に所蔵される魚類液浸標本を主に利用し，北海道大学総合博物館と共同で走査型電子顕微鏡（SEM）画像を集積する．画像に加え各魚種の生態学的特徴をキーワード化し、情報学の研究者とバイオミメティクス・データベースを構築する．

並行して工学系研究者と共同で微細構造の機能についての研究調査を進める．

● 結果

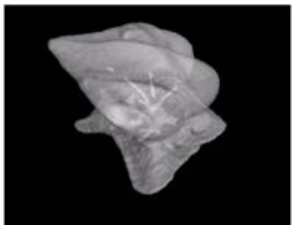
現在までに66科117種の魚類の体表画像をデータベースに集積した．バイオミメティクス・データベースに搭載したデータやキーワードは下記を参照．

所属班：A01－1班
所属機関：独立行政法人 国立科学博物館 動物研究部
氏名：篠原現人・片山英里・松浦啓一
所属機関住所：〒305-0005 茨城県つくば市
天久保4-1-1 国立科学博物館
e-mail：s-gento@kahaku.go.jp
研究キーワード：魚類，多様性，サメ肌，鱗，機能形態

サメ肌（楯鱗＝じゅんりん）の形態とサメ類の生態

サメ：世界に約400種

サメの鱗（1枚）の基本構造

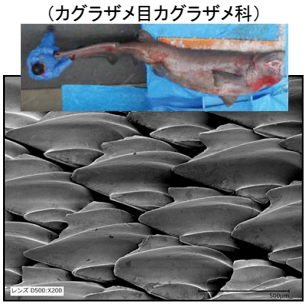


マイクロフォーカスX線CT装置によるオオテンジクザメの楯鱗の撮影画像（島津製作所提供）

●ネズミザメ
（ネズミザメ目ネズミザメ科）

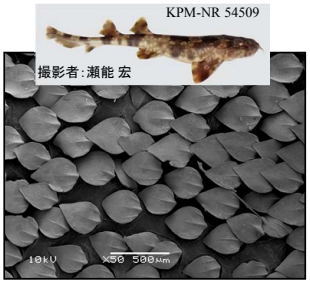
遊泳性・表層性
（活発に泳ぎ回る）

●カグラザメ
（カグラザメ目カグラザメ科）



深海性・遊泳性
（ゆっくり泳ぐ）

● オオセ
（テンジクザメ目オオセ科）



底生性（海底に生息，あまり泳がない）

Fig.1 SEM and CT images of shark skin.

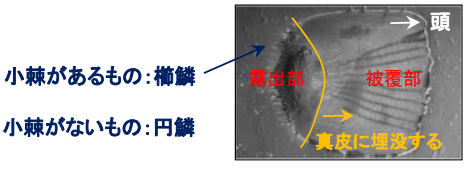
KPM-NR: 神奈川県立生命の星・地球博物館魚類写真資料; FAKU: 京都大学舞鶴水産実験所所蔵標本

板状鱗の多様性

硬骨魚類：世界に約26,000種

・板状鱗は体を保護する役割を担う器官．
・露出部の形状はグループごとにユニークで多様性も高い

真骨魚類における鱗（1枚）の基本構造



クロソイの鱗

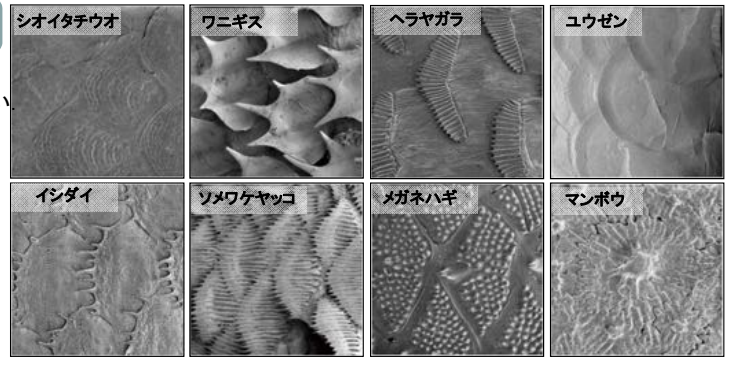


Fig.2 SEM images of scales in teleost fishes.

● まとめ

魚類の体には鱗，鰭，歯，鰓などの多様な構造があるが，これらの形態は魚類の生態や周辺の環境に関連づけられるものも多い．引き続きSEM画像を計画的に集め，B班と共同でさまざまな測定をおこない，形のもつ機能の解明を進めていく（例：サメ肌の摩擦抵抗，吸盤の吸着力）．

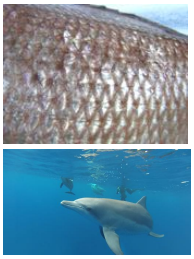
生物微細構造を規範とした材料表面改質とその特性

Surface Characterization and Surface Modification Inspired by Microstructure of Livings

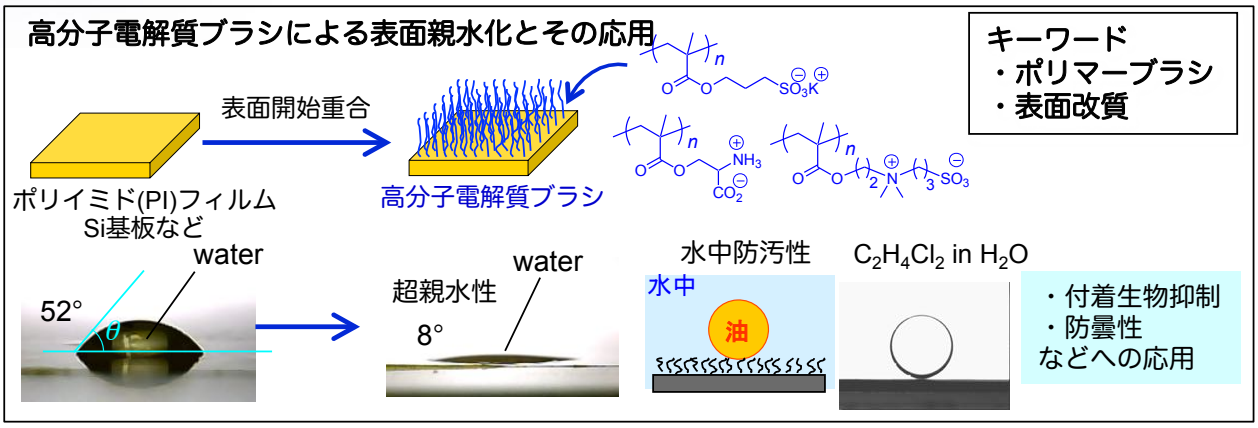
平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)
Engineering Neo-Biomimetics 生物多様性を規範とする革新的材料技術
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity

工学院大学　先進工学部　応用化学科　　小林　元康
motokoba@cc.kogakuin.ac.jp

●研究の背景

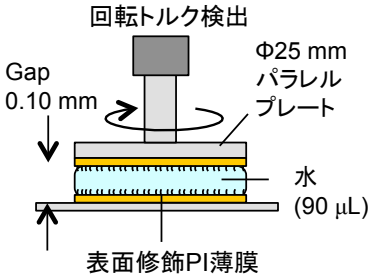


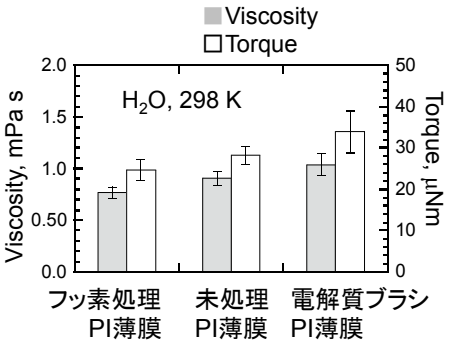
魚類は体表から粘液を分泌し、鱗とともに体表を保護している。粘液は糖タンパクからなる高分子電解質であり多数のイオン性官能基を含むために、魚類の体表は超親水性を示す。これが水中において油汚れおよび海洋付着生物の付着を抑制している。また、粘液は保水性を維持することで水潤滑を促し、摩擦を低減しているといわれている。
本研究では、ブラシ状の高分子電解質で被覆した様々な表面を調製し、その防汚性を検討した。また、流体抵抗に与える影響についても検証した。



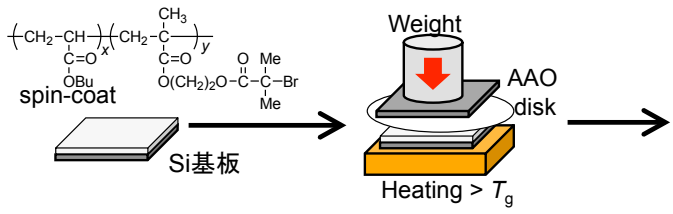
●研究の内容

(1)流体抵抗の評価

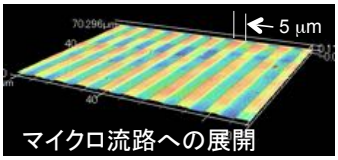




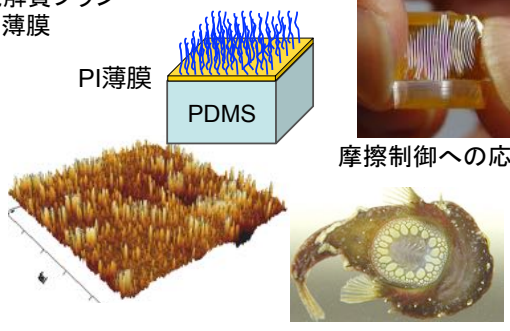
(2)親水性表面微細構造体の接着特性

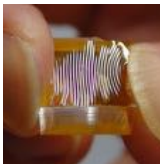


(3)パターン化ブラシによる異方性濡れ



(4)シワによる凹凸可変表面の調製





摩擦制御への応用

ダンゴウオの吸盤の微細構造にモチーフにした構造体

●まとめ

ポリイミド(PI)薄膜に高分子電解質ブラシを調製することで、超親水性表面が得られ、水中では油滴を付着しない等の防汚性を示した。今後、マイクロパターン構造やシワ構造と組み合わせ生物汚損性についても検討する。また、表面修飾PI薄膜に挟み込まれた水の粘度測定から、水の流体抵抗は疎水性表面よりも親水性表面の方が大きいことが明らかとなった。

低環境負荷の構造色塗工プロセス
Structural Color Coating Process with low environmental load

所属班：B01-2班
所属機関：国立研究開発法人物質・材料研究機構
氏名：不動寺　浩
所属機関住所：〒305-0047つくば市千現1-2-1
e-mail：FUDOUZI.Hiroshi@nims.go.jp
研究キーワード：コロイド、オパール薄膜、
構造色、塗工、低環境負荷

● 目的

タマムシの表皮のエピクチクラと呼ばれる最外層に多層膜構造が形成されており光輝く構造色を発現する。当班ではコロイド粒子が自己集積で３次元規則配列した(オパール結晶)の薄膜によりタマムシの構造色を模倣した。タマムシの行動実験の研究に利用してきた[1]。

このオパール結晶薄膜を凹凸を有する表面へコーティングする技術は汎用性があり、飾色分野で新しい構造色として期待されている。一方、既存技術として誘電体多層膜ミラー（dichroic glass）と呼ばれる蒸着あるいはスパッタリングを利用した真空プロセスによる加飾技術が利用されている。エネルギー消費が少ない抵コストな塗工プロセスの可能性を検討する。

● 実験方法と結果

単分散コロイド粒子は乳化重合により70℃で20時間かけて合成した。5000mLのフラスコを用い合成した原液を4倍希釈により粒子濃度(2wt%)　20Lのサスペンションを調整した。著者らは量産可能なオパール結晶薄膜の結晶成長を制御した成膜プロセスを研究してきた[2]。今回、Fig.1左に示した塗工法を利用した[3]。

この方法では塗工対象を親水処理しサスペンションの容器に吊し自然流下によってサスペンションの液面を低下させることでオパール結晶を成膜する。塗工速度は容器面積及び流量に依存する。また、成膜速度を促進するため50℃のオーブン内に設置した。Fig.1右の写真では模倣タマムシの作製の様子である。
サスペンションはフィルターで濾過し、再利用しており塗工膜及び回収による消失量は僅かである。

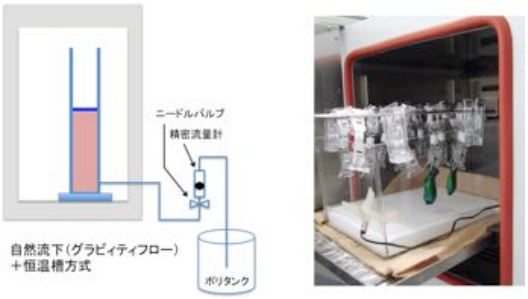


Fig. 1 Gravity flow system for opal film coating with simple, easy and scalable equipment.

表面に凹凸があるＡＢＳ樹脂製の黒色トレイ(15cm×25cm)を塗工対象とした構造色による飾色結果をFig.2に示す。光沢のある構造色が発色しており、コロイド粒子の粒子径を変えることで赤、緑、青の塗工膜の成膜に成功した。コロイド粒子の固定にはポリジメチルシリコーン（信越化学, KE106+Cat-RG）を使用し50℃で架橋させた。

Fig. 2 Structural color of opal films on black color trays. The coloration depends on size of colloids.

● まとめ

コロイド粒子の自己集積による本塗工プロセスは原料であるポリスチレン粒子の合成、コロイド結晶薄膜の塗工、シリコーンによる粒子固定のいずれの工程においても比較的エネルギー消費が少ない。また、今回、塗工プロセスを従来のアクチュエータ方式から自然流下方式に代替することで装置のコストが大幅に削減することが可能となった。本塗工プロセスは環境負荷の少ない新しい飾色技術として多様な分野への応用展開が期待できる。

● 参考文献

(1)不動寺浩; 生物規範工学 ニュースレター Vol.3, No.2, pp.23-24, 2014；B01-2班オパール結晶薄膜塗工による摸倣タマムシの構造色
(2)不動寺浩, 加藤一郎, 澤田勉; “高品質なオパールフォトニック結晶フィルムの 製膜プロセス” ケミカルエンジニアリング 58[10] (2013) 46-54
(3)不動寺浩,加藤一郎,澤田勉; 特開2015-027930 コロイド結晶膜を製造する方法およびその装置

イオン液体を用いたSLUGの開発
Self-lubricating organogels (SLUGs) containing ionic liquids

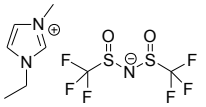
● 目的

我々はこれまでに，“離しょう”という身近な物理現象を利用し，生物の分泌機能を人工的に再現したバイオミメティクス材料「SLUG（なめくじ）：Self-lubricating organogel」を開発した(1)。これまでのSLUGは，内包させる離しょう液にアルカン等を用いていたため，蒸発に伴う表面機能の長期持続性に課題があった。そこで本研究では，不揮発性のイオン液体（IL）に着目し(2)，内包液の離しょう特性，表面機能の長期持続性を目指した。

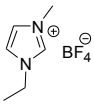
所属班：B01-3班
所属機関：国立研究開発法人 産業技術総合研究所
構造材料研究部門 材料表界面グループ
氏名：佐藤 知哉，浦田千尋，穂積　篤
住所：〒463-8560
愛知県名古屋市守山区大字志段味字穴ヶ洞 2266-98
e-mail：a.hozumi@aist.go.jp
研究キーワード：高分子合成，高分子反応，
ポリマーブラシ，イオン液体

● 実験方法と結果

下記に示すIL1，2と有機材料（ポリマーブラシ，ウレタン）を組み合わせ，IL膜およびIL-SLUGを作製した。



1　Water-immiscible
M_w = 391.31
d = 1.53



2　Water-miscible
M_w = 197.97
d = 1.29

Fig.1 Chemical structure and properties of ionic liquids used in this study.

ポリマーブラシをホスト基材として使用

Poly (dimethylaminoethyl methacrylate) ポリマーブラシ(3)上にIL**1**および**2**を塗布しIL膜を作製した。

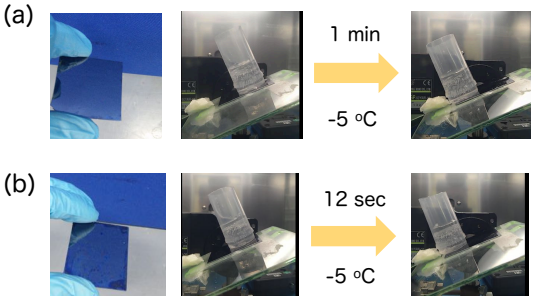
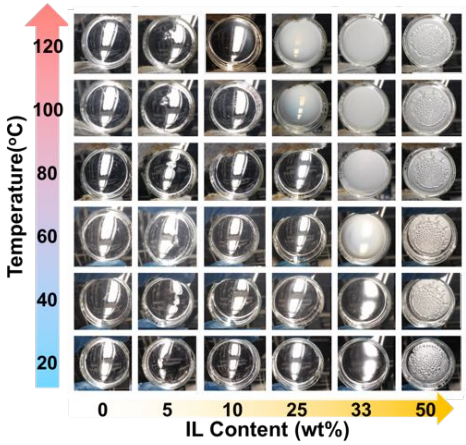


Fig.2 Anti-icing properties of (a) IL **1**, (b) IL **2** films on polymer brush-covered surface.

ポリマーブラシをホスト基材に用いることで安定したIL膜の作製が可能となった。

○ポリウレタンをホスト基材として使用

ウレタンゲル (エクシール，人肌ゲル) にIL**2**を混合し常温で架橋させた。



ILの含有率が高くなるに従い，低温で白濁した。

可逆的な光学特性を示した。

Fig.3 Changes in transparency of the resulting gels under various temperatures.

ポリウレタンをホスト基材に用いることで，加熱-冷却により可逆的な光学特性を示すIL-SLUGの作製が可能になった。

● まとめ

ポリマーブラシやウレタンをホスト基材に用いることで，イオン液体の優れた物理化学的特性を活かした新材料/表面創製が可能となった。

● 参考文献

(1) Urata, C.; Dunderdale, G. J. ; England, M. W.; Hozumi, A. *J. Mater. Chem. A*, **2015**, 3, 12626.
(2) Miranda, D. F.; Urata, C.; Masheder, B.; Dunderdale, G. J.; Yagihashi, M.; Hozumi, A. *APL Mater*. **2014**, 2, 056108.
(3) Dunderdale G. J.; Urata C.; Miranda D. F.; Hozumi A. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2014**, 6, 11864.

ガ類の受容体によるフェロモンブレンド検出機構の解明
Elucidation of detection mechanisms for pheromone blends in moth species

所属班： B01-4
所属機関： 東京大学先端科学技術研究センター
氏名： 光野　秀文
所属機関住所： 〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1
e-mail： misuno@brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp
研究キーワード： ガ類、フェロモンブレンド、嗅覚受容体、嗅覚受容細胞

● 目的

オスガ類は、メスの放出する性フェロモンを検出することで、同種のメス個体を識別する。性フェロモンは、複数成分が異なる比率で含有するフェロモンブレンドを構成する。オスはその成分と比率を検出しメスを識別している。近年、ガ類から性フェロモン受容体（PR）が発見され、各成分はこれら受容体によって検出されていることが明らかにされてきた。しかし、構成比率がPRでどのように検出されるのかは明らかにされていない。本研究では、ガ類のPRによるフェロモンブレンドの検出機構を明らかにすることで、複数成分から成るガスの新たな検出方法の提案を目指す。

● 実験方法と結果

➢ 2成分系

2成分系フェロモンブレンドを利用するヒメアトスカシバ（*Nokona pernix*）（Fig.1）[(1)]からPR遺伝子を単離し、アフリカツメガエル卵母細胞を用いて成分選択性を解析した。NpOR1、NpOR3はそれぞれEZ体、ZZ体に特異的に応答することが分かった。また、*in situ*ハイブリダイゼーションを用いて、触角における局在様式を明らかにし（Fig.2左図）、PRの選択性と局在様式（嗅覚受容細胞の割合）に基づき検出モデルを構築した（Fig.2右図）。

Fig.1 Components and ratio in pheromone of *N. pernix*

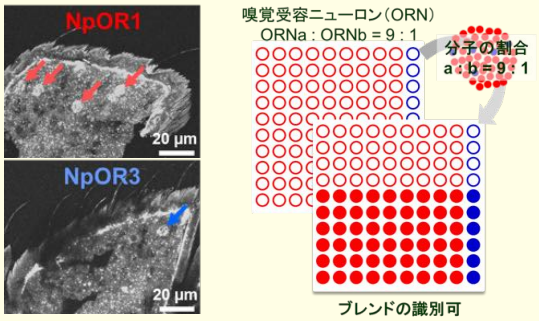


Fig.2 Localization of PR in antennae and one estimated pheromone detection model.

➢ 4成分系

4成分系フェロモンブレンドを利用するキマエホソバ（*Eilema japonica*）（Fig.3）[(2)]から、RNAseqによりオス優勢的に発現するPR候補遺伝子を単離した。RNAseqによる遺伝子発現量解析の結果、触角において各候補遺伝子が異なる割合で発現していることが分かった（Fig.4）。現在、卵母細胞を用いた機能解析を進めている。

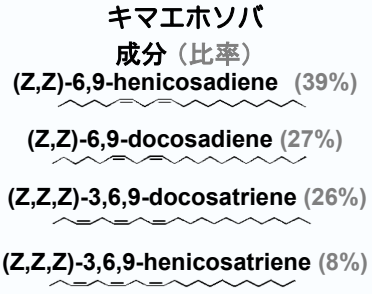


Fig.3 Components and ratio in pheromone of *E. japonica*.

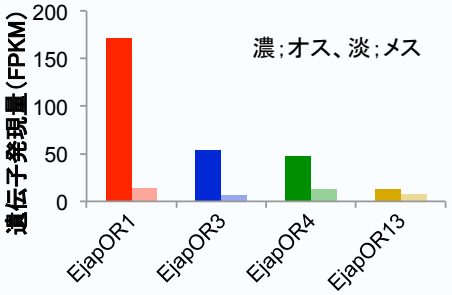


Fig.4 Expression levels of PR candidate genes in antennae by RNAseq analysis.

● まとめ

2成分系フェロモンブレンドを利用するヒメアトスカシバ（EZ体：ZZ体＝9：1）から、各成分に特異的に応答する受容体（NpOR1、NpOR3）を同定した。触角での発現解析の結果、これら受容体を発現する嗅覚受容細胞の割合がフェロモンブレンドの構成比率と相関することが分かり、2成分系を利用するガ類のフェロモンブレンド検出機構の一つの仕組みを示唆した。また、4成分系フェロモンブレンドを利用するキマエホソバからPR候補遺伝子を単離し、RNAseqに基づく発現解析結果から、各候補遺伝子は触角で異なる発現量で発現していることを示した。

● 参考文献

(1) Naka, H. *et al.*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **2006**, *70*, 508-516.
(2) Fujii, T. *et al.*, *J. Insect Physiol.* **2010**, *56*, 1986-1991.

昆虫の羽ばたき飛行における胸部構造の変形とその制御
Flexibility and control of the insect thorax during flapping flight

所属班：B01-5
所属機関：東京大学 先端科学技術研究センター
氏名：安藤規泰
所属機関住所：〒153-8904東京都目黒区駒場4-6-1
e-mail：ando@brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp
研究キーワード：羽ばたき飛行，外骨格，間接飛翔筋，筋電位，スズメガ

● 目的

多くの飛翔昆虫は，胸部外骨格に付着する間接飛翔筋（indirect flight muscle）の収縮で，胸部背面の外骨格（中胸背板: mesonotum）を変形させ，翅の背腹方向の運動を生み出す(1)。スズメガを含むチョウ目の昆虫は，羽ばたきサイクルごとの間接飛翔筋の筋収縮が運動神経の活動によって制御される同期筋（synchronous muscle）であるが(2)，外骨格がどのように変形し，飛翔筋活動でどの程度制御されるかは明らかでない。本研究ではレーザ計測で変形を面でとらえ，その特徴を明らかにするとともに，制御信号である筋電位との対応関係を解析した(3)。

● 実験方法と結果

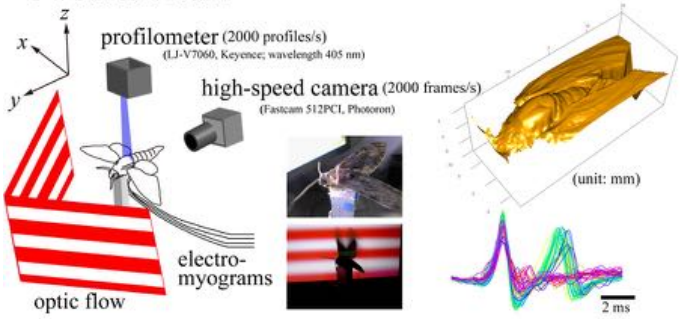


Fig.1 Experimental set-up and sample measurements of body morphology and electromyograms

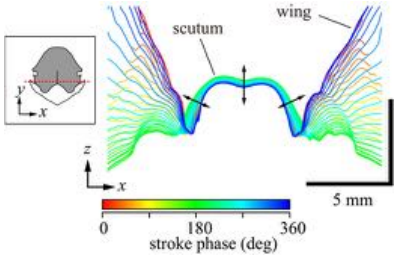


Fig.2 Thorax deformation during wing flapping

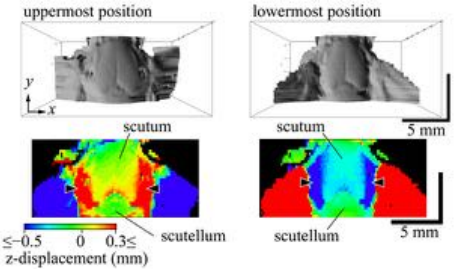


Fig.3 Vertical displacement of the dorsal surface of the thorax (mesonotum)

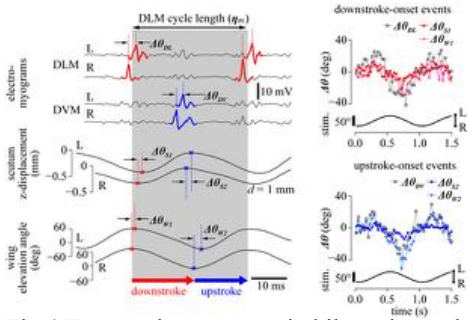


Fig.4 Temporal asymmetry in bilateral muscle activities, thorax oscillations and wing strokes

● まとめ

関節飛翔筋による筋収縮は，中胸背板の単純な上下運動ではなく，楯板（scutum）辺縁部の大きなたわみを生み出し，これが羽ばたき振幅を増大させることが明らかになった。また，中胸背板は左右の翅をリンクする一つの構造であるが，左右の間接飛翔筋の活動タイミングの違いで変形を非対称に調節できることが示された。今後胸部のX線CT像をもとに外骨格の構造モデルを構築して，羽ばたき運動を生み出す構造のメカニズムを解析する予定である。

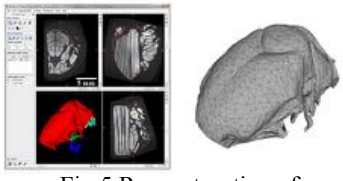


Fig.5 Reconstruction of the mesonotum

● 参考文献

(1) Snodgrass RE.; *Principles of insect morphology*. New York, McGraw-Hill, 1935.
(2) Wang, H.; Ando, N.; Kanzaki, R.; *J. Exp. Biol.* **2008**, *211*, 423-432.
(3) Ando, N., Kanzaki, R.; *Biol. Lett.* **2016**, *12*, doi:10.1098/rsbl.2015.0733.

心豊かな暮らし方のか・た・ち を創るテクノロジー
Lifestyle innovation for sustainability learning from Nature

● 目的

今後、益々厳しくなる環境制約の下、これまでのライフスタイルを続けることは困難である。一方で人々の求めるものは「もの」から「心」の豊かさへシフトしている。本研究では、社会受容性の高い心豊かな暮らし方の構造を明らかにし、それを実現するライフスタイルに必要な技術要素をオントロジー工学を応用し、バイオミメティクスのテクノロジーから抽出する方法論を明らかにするものである。

● 実験方法と結果

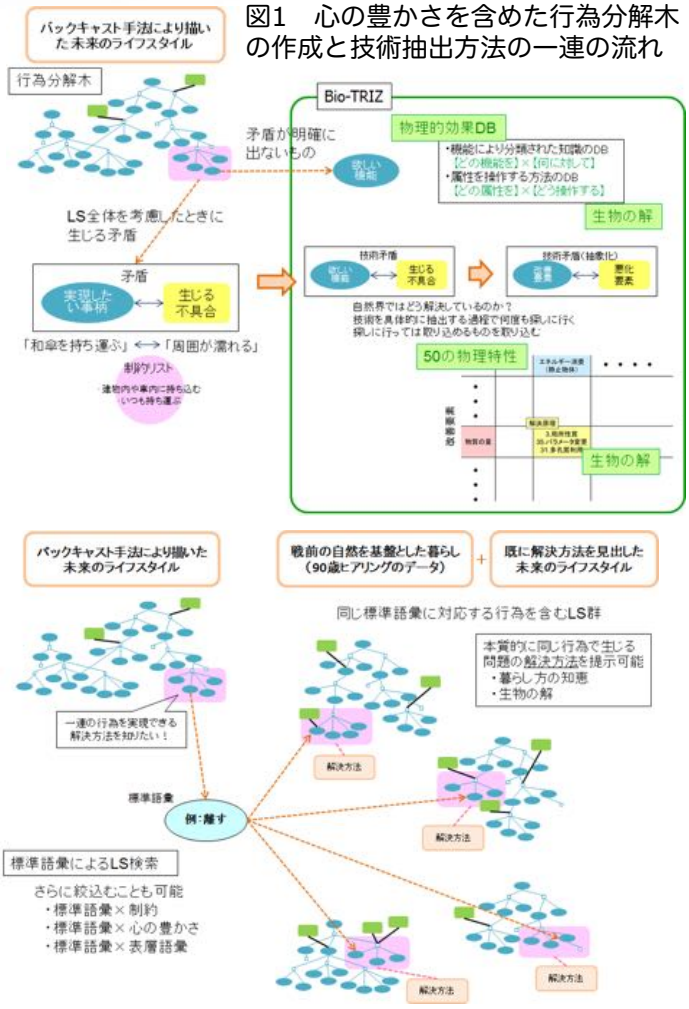


図1　心の豊かさを含めた行為分解木の作成と技術抽出方法の一連の流れ

図2　標準語彙による本質的に同じ行為で生じる問題解決方法をマッチング

所属班：C01班
所属機関：東北大学大学院環境科学研究科
氏名：古川柳蔵
所属機関住所：〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6−6−20
e-mail：ryuzo.furukawa.b1@tohoku.ac.jp
研究キーワード：バックキャスティング、行為分解木、標準語彙、技術抽出、心の豊かさ

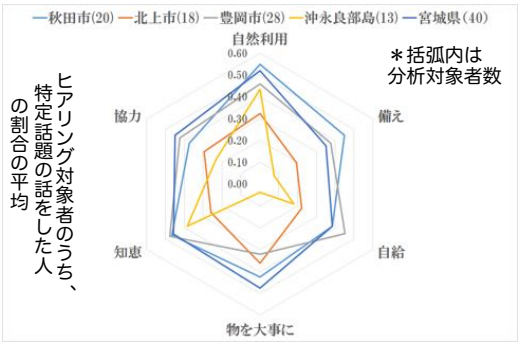


図3　地域独特の制約下の価値観とテクノロジー

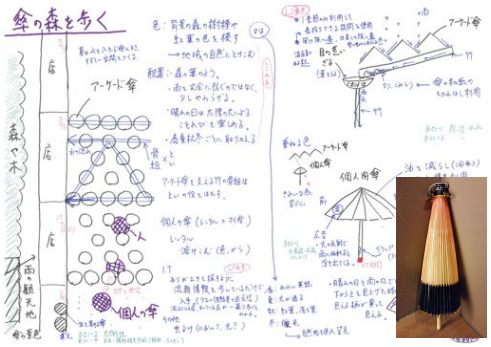


図4　北上市口内地区実装検討開始。地域発祥の唐傘技術を基盤にバックキャスト思考による新LS創出からBio-TRIZで生物解探索

● まとめ

・ライフスタイルを行為分解木で記述し、Bio-TRIZに連動させるための技術矛盾を見出す方法論を確立した。
・バックキャスト思考によるLSD、生物解探索、蓄積データ利用の一連のプロセスの方法論を見出した。
・具体的な地域（北上市）への実装を想定して、LSDから生物解を得られるかの検証、評価方法の検討を開始した。

● 参考文献

(1)石田秀輝、古川柳蔵(2014)地下資源文明から生命文明へ,東北大学出版会.

インコ類の混色による非虹色構造色
Non-iridescent structural coloration of a parrot species

所属班：公募班
所属機関：公益財団法人 山階鳥類研究所
氏名：森本　元
所属機関住所：〒270-1145
e-mail：morimoto@g.nifty.jp
研究キーワード：鳥類，羽毛，構造色

● 目的

構造色は様々な生物だけに限らず，地球上の自然の至る所で見ることが出来る発色様式である．モルフォチョウやタマムシ(1)のきらびやかな輝きの発色メカニズムを探る数々の研究は，日本発の構造色研究としてバイオミメティクス分野でも，その代表例として知られている．生物が作り出す構造色は，常温下で生産されたケラチンやメラニンといった生物由来の素材が作る微細構造で発現し，色素に依存しない発色様式であるため，化石になっても色が残るほど安定性が高い．また，自然界で分解されるため，環境にも優しい．このような構造色素材の基礎研究として，各生物の発色様式を探ることは，構造色への理解の一助となる．本研究では，昆虫とは異なる構造である鳥型の構造色（非虹色）の発色に関わるキーポイントを探る．

● 実験方法と結果

研究対象種として，インコ類の1種であり緑色の羽毛を持つコザクラインコ(*Agapornis roseicollis*)を用いた．インコ類の緑色は，色素色による赤系等の色と構造色による混色と考えられている．このインコでは，稀に羽色が変化してしまう病状が知られており，緑色を失ってしまう羽色変化（大抵は赤色となる）が起こる．この病状は投薬治療で改善できることが，近年の獣医学研究によって明らかとなった(2)．この治療による羽色変化の際，羽毛内部にて発色に関わりうる微小構造がどのように変化したのか，同種について，構造色羽毛（緑色）と非構造色の羽毛の内部構造を，走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて，観察し，比較により差異が生じた構造の探索を試みた．加えて，分光計計測によって，両者の発色の定量評価と比較も併せて行った．

結果，羽毛の繊維内部に存在するスポンジ層と呼ばれる泡状・網目状構造に，羽色の変化前後で違いが見られた．一方，外皮状の構造(Cortex)など，他の構造では大きな違いは認められなかった．

Fig.1 Green color is mixed color (pigment and structural color)

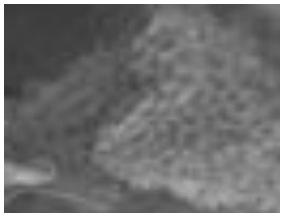


Fig.2 SEM image of sponge layer structure of feather barb.

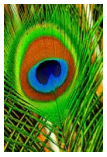
● まとめ (ボールド)

インコの緑色は，非虹色と呼ばれる角度依存性が低い構造色として知られる．これはドバト(*Columba livia*)の多層膜干渉による構造色(3)や，クジャクにおけるメラニン顆粒の配列による構造色(4)などとは異なり，スポンジ層の泡状構造がもつ一見ランダム様ながらも規則的な周期性のある構造（Fig.2）によって発色すると考えられている(5)．これらと本研究の結果を合わせ，色素色と構造色の混色型の緑色とされるインコ類では，病的疾患に伴いスポンジ層の周期性構造の乱れが，構造色を失わせ，色素のみの赤色へ変化していたと考えられた．この結果は，非虹色構造色の発色について，その核であるスポンジ層の泡状構造のどの要素が発色に必要であるかを明らかにする一助となる．

● 参考文献（ボールド）

(1)Kinoshita, S.; Yoshioka, S. *Chem. Phys. Chem.* **2005**, *6*, 1442-1459.
(2)眞田直子; 眞田靖幸. *日獣誌*. **2014**. *67*, 686-690.
(3) Yoshioka, S.; Nakamura, E.; Kinoshita, S. *J. Physic. Soci*. **2007**, *76*, 013801.
(4) Yoshioka, S; Kinoshita, S, *FORMA* **2002**, *17*, 169-181. .
(5) Prum, R. O.; Torres, R. H.; Williamson, S.; Dyck, J. *Nature*. **1998**, *396*, 28-29.

メラニン顆粒から着想した粒子を用いる構造色材料
Structural colors from particles that mimic melanin granules



所属班：公募班
所属機関：千葉大学大学院工学研究科
氏名：桑折 道済 (こおり みちなり)，河村 彩香
所属機関住所：〒263-8522
e-mail：kohri@faculty.chiba-u.jp
研究キーワード：ポリドーパミン，微粒子，構造色，孔雀，メラニン顆粒

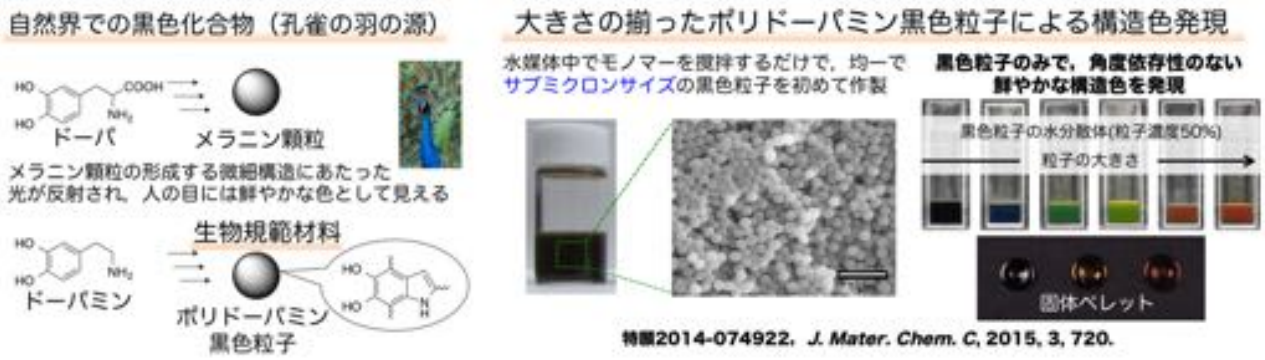
● 目的

孔雀の羽の構造色は，羽に含まれる柱状型のメラニン顆粒（ドーパを前駆体とする黒色化合物）が形成する微細なナノ配列構造にあたった光が反射することで発色している。さらに，自然界におけるメラニン顆粒は重合度や組成により薄茶～黒色の色調を有し，散乱光の吸収度合いを制御することで構造色を際立たせ，視認性の高い発色を実現している。

本研究では，自然界での構造色の発現機構に学び，メラニン顆粒を模倣した「吸収のあるコロイド粒子」を素材とし，通常の環境下でも視認性の高い構造色材料の開発を目的としている。

● 実験方法と結果

1) ポリドーパミン黒色粒子の合成と構造色発現



2) ポリドーパミン黒色層をシェル層とするコア-シェル型粒子の合成と構造色発現

● まとめ

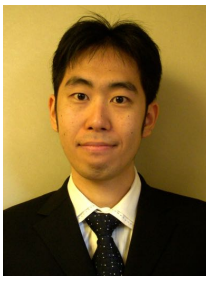
孔雀の羽の構造発色の源であるメラニン顆粒を模倣した吸収のあるコロイド粒子を作製し，構造色の発現に成功した。本系は，大きさが均一な粒子由来の構造色と，黒色による余分な散乱光の吸収を同時に達成することで，添加剤を加えずに1種類の粒子のみでの視認性の高い構造色発現が可能である。

● 参考文献

(1) Kohri, M., Nannichi, Y., Taniguchi, T., and Kishikawa, K., *J. Mater. Chem. C*, **2015**, 3, 720-724.
(2) 桑折 道済，南日優里，谷口竜王，岸川圭希，特願2014-074922
(3) 桑折 道済，河村彩香，特願2015-186195

Engineering
Neo-Biomimetics
平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)
生物多様性を規範とする革新的材料技術
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity

珪藻細胞壁の微細構造が生み出す 栄養取り込み機能の解明と物質拡散制御材料への応用



所属班：公募班
所属機関：東京農工大学　大学院工学研究院
氏名：前田　義昌
所属機関住所：〒184-8588
東京都小金井市中町2-24-16
e-mail：y_maeda@cc.tuat.ac.jp
研究キーワード：珪藻、珪殻、TiO_2、ペプチド

● 目的

珪藻は地球上のあらゆる水圏環境に適応し、20万種以上の多様性を有する生物である。その繁栄を支える生存戦略の一つとして、近年、珪藻の細胞壁（珪殻）が持つ階層的な微細構造が、物質拡散方向を制御し、栄養源を積極的に取り込むことに寄与しているのではないかという仮説が提唱されている(1)。しかし、どのような微細構造がその機能を生み出しているかは全く不明である。そこで本研究では、珪殻が生み出す物質拡散制御機能のメカニズムを解明し、物質を一定方向に拡散させることのできる微細構造の特定を目指す。具体的には、遺伝子組み換え技術を用いて珪殻微細構造内で表面修飾を施し、水溶性チタン化合物を供給することによりTiO_2結晶成長を促した。TiO_2結晶の前駆体化合物の拡散挙動は結晶の成長速度や方向に大きく影響を与えると考えられる。その影響を、珪殻微細構造内で成長した結晶の電子顕微鏡などの手法を用いて解析することとした。

● 実験方法と結果

高濃度チタン塩存在下でも培養可能な海洋珪藻*F. solaris*のゲノム配列から珪殻タンパク質であるFrustulin1を特定し(2)、TiO_2結晶化ペプチド（Titanium crystallization peptide (TCP)：RKKRKKRKKRKKGGW)と蛍光マーカーであるGFPを融合発現した。ペプチド提示形質転換体を、水溶性チタン化合物である2 mM Titanium(IV) bis(ammonium lactato)dihydroxide (TiBALDH)を含むf/2培地を用い、7日間振盪培養した。得られた藻体を5 M塩酸を用いて処理することで、珪殻を得た。珪殻の形態解析には、透過型電子顕微鏡(TEM)を用い、元素分析には誘導結合プラズマ発光分光分析（ICP-AES)を用いた。さらに、TiO_2を結晶化させるため500℃で1時間焼成し、焼成前後における珪殻の結晶性解析を行った。

ICP-AES解析の結果、珪殻上へのチタン化合物の沈着を検出した。一方、高分解能TEM観察の結果、室温でTCP提示珪殻上へ沈着したチタン化合物の結晶化は確認されなかった。そこで、焼成による結晶化を試みたところ、複数のドメイン（<5 nm）をもつアナターゼ型TiO_2微結晶の合成が確認された。また、珪殻の特徴的な小孔構造内にも微結晶が観察された。

● まとめ

遺伝子組み換えにより細胞表層をペプチド修飾した珪藻を作出し、チタン化合物の沈着を行った。室温での結晶化は確認されなかったものの、焼成により珪殻構造内における微結晶の合成を確認した。今後、小孔構造と微結晶成長の相関について、高分解能TEM観察を中心とした解析を行う予定である。

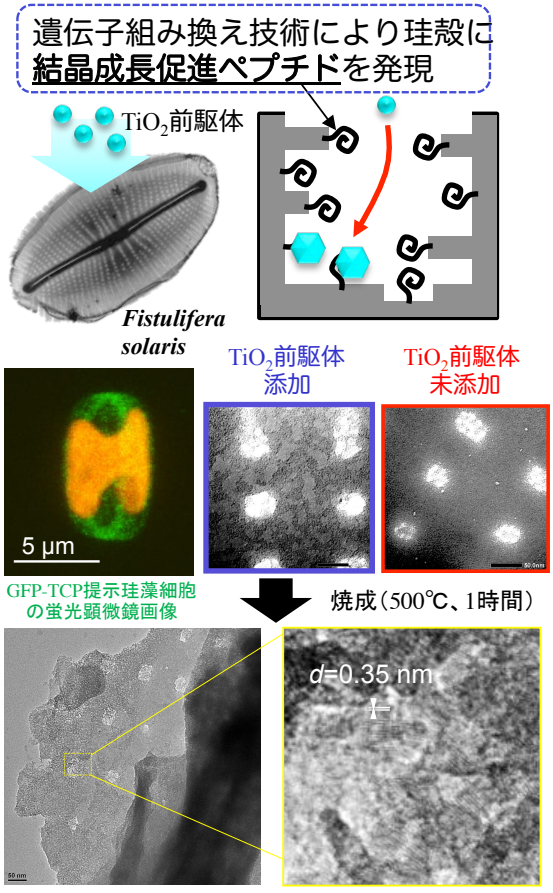


Fig.1 TiO_2前駆体（TiBALDH）をTCP提示形質転換珪藻に添加した際に沈着するチタン化合物の電子顕微鏡観察像

● 参考文献

(1) Mitchell J. G.; Seuront L.; Doubell M. J.; Losic D,; Voelcker N. H.; Seymour J.; Lal R., *PLoS One.* **2013**, *8*, e59548.
(2) Maeda Y.; Tateishi T.; Niwa Y.; Muto M.; Yoshino T.; Kisailus D.; Tanaka T, *Biotechnol Biofuel.* **2016**, *9*, 10.

環状両親媒性高分子の自己組織化によるベシクル構築とゲスト包摂

● 目的

好熱菌と呼ばれる単細胞生物は、細胞膜に環状の脂質分子を有することで海底火山や温泉など高温の環境で生息できる。本研究は、この環状脂質分子を摸倣した合成高分子に自己組織化を誘導し、形成した好熱菌細胞膜モデルとなるベシクルを利用して高安定性獲得のメカニズムの解明を行い、その応用を探求するものである。

所属班：公募班
所属機関：北海道大学
氏名：山本拓矢
所属機関住所：〒060-8628
北海道札幌市北区北13条西8丁目
e-mail：yamamoto.t@eng.hokudai.ac.jp
研究キーワード：自己組織化、環状高分子、ベシクル

● 実験方法と結果

直鎖状PS–PEO–PSトリブロック共重合体（**Linear**, M_n = 4100–2100–4100）（Fig. 1a）及び環状PS–PEOジブロック共重合体[1-2]（Fig. 1b）（**Cyclic**, M_n = 8900–2100）のTHF溶液を水中に滴下することで自己組織化を行った。透過型電子顕微鏡（TEM）観察および動的光散乱（DLS）測定によりベシクル（Fig. 2）の形成を確認した。また、Fluorescein Sodium Salt（FSS）存在下でベシクルの構築を行い、FSSの包摂が構造安定性に与える影響について検討した。

初めに、FSSを包摂していないベシクルを調整しTEM観察を行ったところ、二分子膜構造を持つ中空球状構造体が確認された。DLS測定を行ったところ、**Linear**より形成したベシクルの粒径は約70 nm、一方**Cyclic**を利用したベシクルでは約50 nmとなった。また、FSSを包摂したベシクルのDLS測定を行ったところ、**Linear**のベシクルの粒径は約70 nm、**Cyclic**のベシクルでは約50 nmでありFSSの包摂による粒径の変化は見られなかった。

次に、これらのベシクル水溶液に5 wt%となるNaClを加え、昇温により熱安定性を評価したところ、**Linear**ベシクルでは63 ℃でサイズがマイクロメートルスケールに増大したのに対し、**Cyclic**ベシクルは57 ℃で同様のサイズ変化が生じた。これは、対応する温度でのベシクルの崩壊と凝集を示唆している。一方、FSSを導入すると、**Linear**ベシクルの崩壊温度が45 ℃に低下したのに対し、**Cyclic**ベシクルの崩壊温度は58 ℃とほとんど変化せず、熱安定性の逆転が生じた。

この原因は、高分子トポロジーに由来する二分子膜のパッキングに関係すると考えられる。すなわち、FSSの包摂により**Linear**ベシクルでは高分子鎖の密なパッキングが失われ熱安定性が低下する一方、**Cyclic**ベシクルでは、その高分子トポロジーによりパッキング様式の変化が抑制されていたため、FSS包摂の影響をほとんど受けなかったと考えられる。

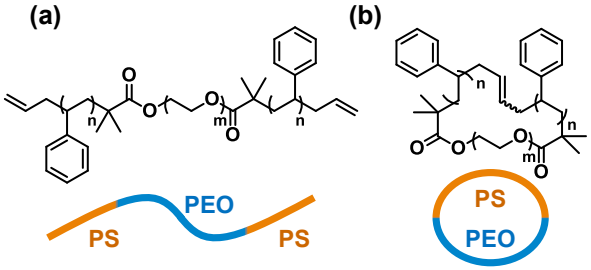


Fig. 1 Chemical structures of (a) **Linear** and (b) **Cyclic**.

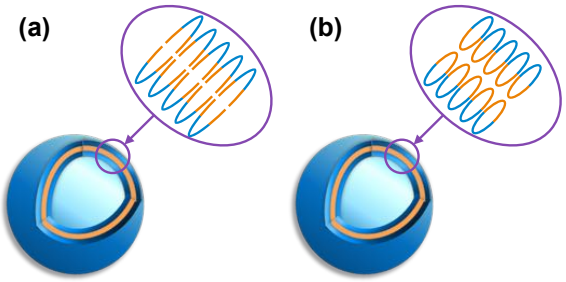


Fig. 2 Schematic illustrations of vesicles formed from (a) **Linear** and (b) **Cyclic**.

● 参考文献

(1) Baba E. *et. al.*; *Polym. J.* **2015**, *47*, 408-412.
(2) Baba E. *et. al.*; *Polym. Chem.* **2012**, *3*, 1903-1909.

● まとめ

直鎖状PS–PEO–PSおよび環状PS–PEOよりベシクルの構築し、FSSの包摂を行った。これらのベシクルの熱安定性を評価したところ、FSSの導入によって安定性の逆転というトポロジー効果を見出した。

NanoSuit®法によるリアルな生物表面観察のバイオミメティクスへの展開

所属班：２０６
所属機関：浜松医科大学
氏名：高久 康春
所属機関住所：〒431-3192 浜松市東区半田山1-20-1
e-mail：ytakaku@hama-med.ac.jp
研究キーワード：FE-SEM・高真空・Nanosuit®

● 目的

電界放射型走査型電子顕微鏡（FE-SEM）は、表面微細構造を高解像度で観察できるが、高真空環境を必要とする為、生物試料を生きたまま観察することは不可能とされてきた。本研究では、生物試料を生きたまま、濡れたままの状態で観察・解析することを目的に技術開発に取り組み、ナノ薄膜で試料全体を覆うことにより、体内のガスと液体成分の漏出を防ぐという革新的技術の開発に成功した（NanoSuit®法）。現在では生物個体だけでなく、組織や細胞まで観察可能になり、これまで世界中の科学者が日常的に行ってきた固定・脱水・乾燥を伴う試料映像とは似て非なる構造を観察している。

● 実験方法と結果

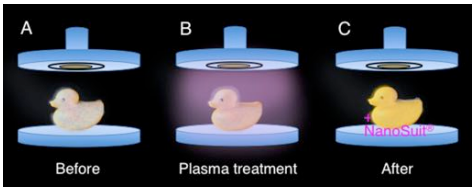


Fig.1 Schematic drawing of surface modification by plasma. Materials covering on the entire specimen are irradiated with plasma for 3 min (B). A flexible NanoSuit® is formed (C).

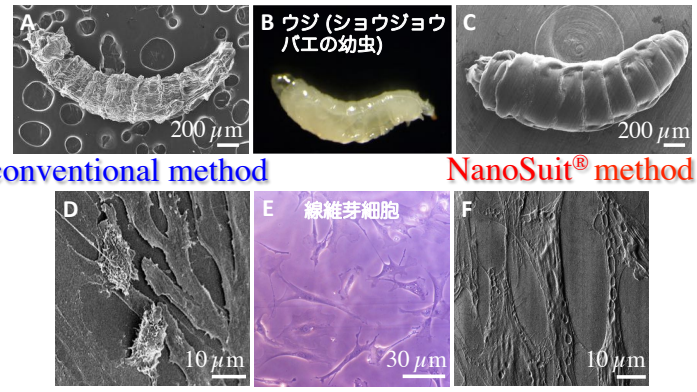


Fig.2 FE-SEM images compare specimens prepared by conventional methods (A, D) and protected with the NanoSuit® (C, F).

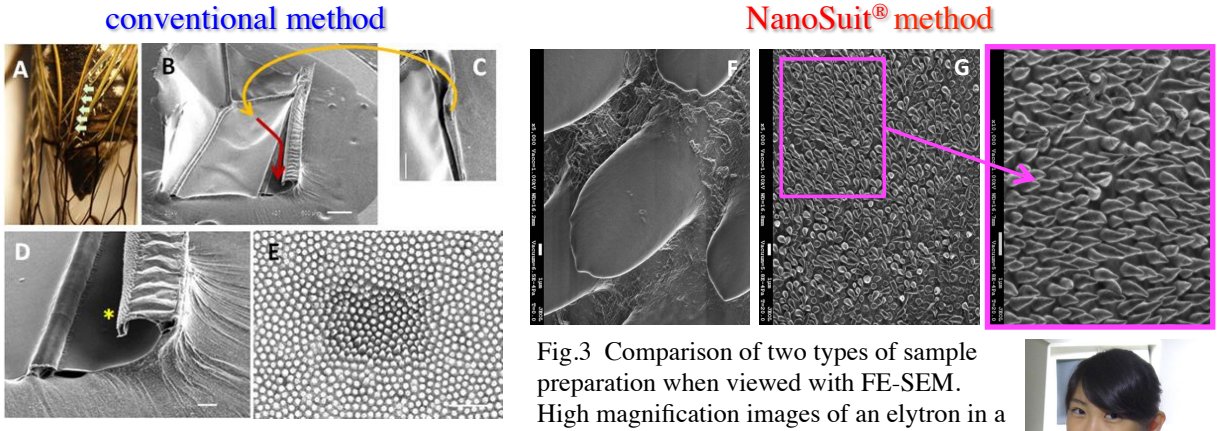


Fig.3 Comparison of two types of sample preparation when viewed with FE-SEM. High magnification images of an elytron in a cicada, *Terpnosia nigricosta*.

● まとめ

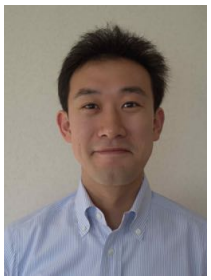
NanoSuit®法を用いると、生体の超微細構造が瑞々しい状態のまま観察可能になる。今後、微細構造と生体の活動を詳細に解明することにより、生物を規範とした新しい医学・工学材料の展開が期待される。

Photo.
Kana Sakaida (Osakana)
Hamamatsu University School of Medicine. B1

● 参考文献

(1) Takaku, Y. et al. *Proc. Bio. Sci.* **2015**, *282(1802)*, Published online.
(2) Takaku, Y. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2013**, *110(19)*, 7631-7635.
(3) 国際出願番号PCT/JP2015/052404 (基礎出願番号 2014-014910/2014-179660).

セミの翅の物理的防御機構を模倣した機能性ナノデバイスの創製



所属班：公募班
所属機関：名古屋大学
氏名：安井隆雄
所属機関住所：〒464-8603
e-mail：yasui@apchem.nagoya-u.ac.jp
研究キーワード：セミの翅、ナノデバイス、ナノワイヤ

● 目的

2013年にクランガーゼミというセミの翅は、物理的な構造だけで細菌を殺すことが可能であるということが発見された[1,2]。このような物理的な構造で殺菌作用を持つ天然の表面構造が発見されたのは世界初のことである。本研究では、(1)クランガーゼミの翅がナノメートルスケールでどのように機能しているのかを解明し、(2)このセミの翅の物理的防御という特性を再現するナノデバイスを創製する。

● 実験方法と結果

-ナノワイヤの作製-
3インチウエハー上に50 mM 亜鉛溶液を1mL滴下してシード層を作製後、25 mM HMTAと25 mM 硝酸亜鉛溶液に浸漬させ、95 ºCで3時間加熱することで、図1のようなZnOナノワイヤを作製した。その後、作製したナノワイヤ基板を4等分し、3インチウエハーの１/４の大きさにした。

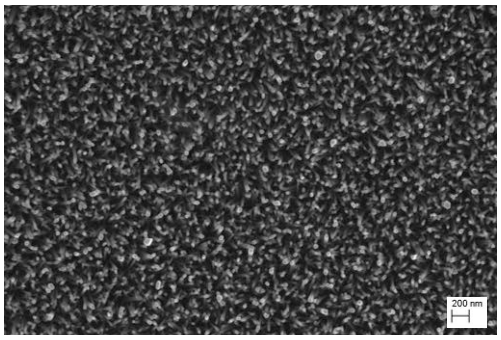


Fig.1 SEM image of ZnO nanowires.

-大腸菌の塗布-
LB培地で1晩培養した大腸菌(DH5α)懸濁液を遠心分離機・洗浄後、プレートリーダー大腸菌懸濁液のODを測定した。ODが0.1になるように希釈した後、さらに1000 倍希釈した。その後、菌懸濁液をLB寒天培地上に滴下し、コンラージ棒を用いて広げた。

-ナノワイヤの大腸菌への影響評価-
寒天培地上に1/4ナノワイヤ基板と1/4Si基板を接触させ、上から100 g分銅を5分間押し付けた(図2)。その後、基板を寒天培地から取り除き、24時間インキュベーターに静置した。インキュベーターから取り出し、コロニーが形成された寒天培地を撮影した。

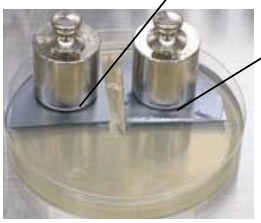


Fig.2 A photo of experimental procedure.

● まとめ

ナノワイヤ基板を押し付けたことにより、形成されたコロニー数に減少が確認された(図3)。この結果より、ナノワイヤにある程度の殺菌作用があることが考えられる。

Fig.3 A photo of agar medium after 24 hours incubation.

● 参考文献

(1)Pogodin, S. *et al*. Biophysical Model of Bacterial Cell Interactions with Nanopatterned Cicada Wing Surfaces. *Biophys. J.* **104**, 835-840, (2013).
(2)Nature News, doi:10.1038/nature.2013.12533.

Engineering Neo-Biomimetics
平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)
生物多様性を規範とする革新的材料技術
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity

磁性粒子分散ゴムを用いた人工繊毛の開発
Development of Artificial Cilia Using Elastomer with Magnetic Particles

所属機関：九州大学大学院工学研究院機械工学部門
氏名： 津守 不二夫
所属機関住所：〒819-0395 福岡市西区元岡744番地
e-mail： tsumori@mech.Kyushu-u.ac.jp
研究キーワード：人工繊毛，磁性粒子，ソフトアクチュエータ

● 目的

繊毛はミクロな領域における優秀なポンプ・搬送機構である．本研究では磁性粒子分散ゴム材料を用い，外部磁場駆動型の人工繊毛を開発する．自然界の繊毛の特徴的な動きである，非対称な動きと，繊毛群の集団的な挙動（メタクロナール波）を再現することを目的とする．

● 作製方法

材料には基材にシリコーンゴムの一種であるPDMS（Poly dimethyl siloxane）を，磁性粒子には純鉄粉（カルボニル粉）を用いた（Fig. 1）．これらを混ぜ合わせ，微細加工技術を用いピラー状の構造を作る．

また，PDMSの硬化時に磁場を加えておくことで，内部の磁性粒子は磁場に沿った鎖状構造を生成する（Fig. 2）．このような粒子鎖により構造に磁気異方性を付与する．

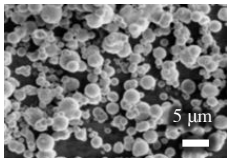


Fig. 1 SEM image of magnetic particles.

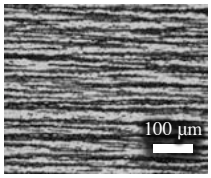


Fig. 2 Chain clusters of particles.

● 非対称的な動き

ピラー構造に回転磁場を加えた際の動きと，先端部の軌跡をFig. 3に示す．往復の行きと帰りで非対称的な動きを示す．これは繊毛が流体を搬送するために重要な挙動である(1)．

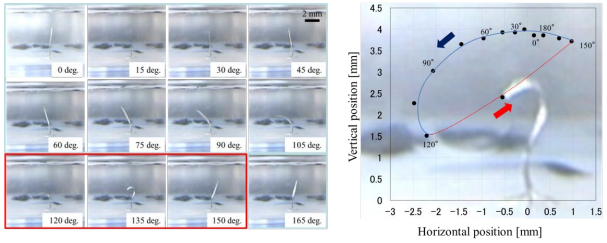


Fig. 3 Actuated cilium in a rotational magnetic field; (left) snapshots, and (right) trajectory of the tip.

● まとめ

磁性粒子を用いた人工繊毛を開発した．今後，送流テスト，および更なる小型化，また，大面積2次元配列化について研究を行う予定である．

● 繊毛群の制御

自然界に見られる繊毛群はすべてが同期しているわけではなく，個々の動きは同じながらも，順送するように位相をずらしながら運動している．個々の繊毛に異なる方位の粒子鎖状構造を付与し，同一磁場のもとでも位相をずらした動きを発現することを試みた．

ここでは１列に並べた5本の繊毛群の例を示す．Fig. 4に拡大写真を，Fig. 5に駆動時のスナップショットを示す．同じ回転磁場のもと，異なる位相で駆動していることが確認できる．このような位相の違いの伝播はメタクロナール波と呼ばれ，送流に効率的と知られている(2)．

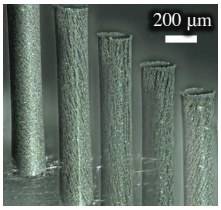


Fig. 4 Artificial cilia with 5 different magnetic orientation.

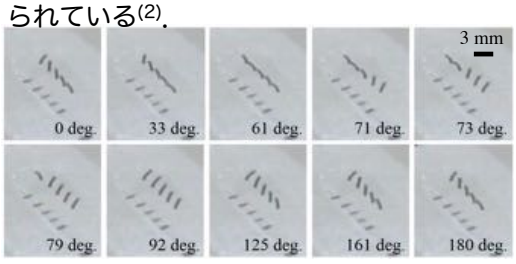


Fig. 5 Propagation of metachronal wave.

● 参考文献（ボールド）

(1) Tsumori, F.; Saijou, A.; Osada, T.; Miura, H.; Jpn. J. Appl. Phys. **2015**, 54, 06FP12.
(2) Tsumori, F.; Marume, R.; Kudo, K.; Osada, T.; Miura, H.; Jpn. J. Appl. Phys. (submitted).

好中球（白血球）に学ぶ微粒子の濃度勾配駆動水中推進

Underwater propulsion of a particulate driven by concentration gradient to learn from neutrophils (white blood cells)

所属班：公募班
所属機関：九州工業大学大学院生命体工学研究科
氏名：玉川　雅章
所属機関住所：〒808-0196
福岡県北九州市若松区ひびきの2-4
e-mail：tama@life.kyutech.ac.jp
研究キーワード：好中球，走化性，サイトカイン濃度勾配，液中移動，濃度マランゴニ効果

● 目的

好中球は，炎症患部付近から産生される走化性因子により活性化され，血流中から患部へ目掛けて移動する機能（走化性）を有している．一般的に濃度勾配のある液体中の微粒子には濃度マランゴニ効果による界面張力が働くが，液体中（血液中）を運動する好中球の駆動機構が同じ現象かどうかは解明されていない(1-3)．

そこで本研究では，好中球を微粒子とみなし，その運動方向への駆動力の発生機構について調べた．具体的には好中球の膜表面におけるレセプターの濃度拡散を仮定して好中球の運動観察と駆動機構の検討を行った．

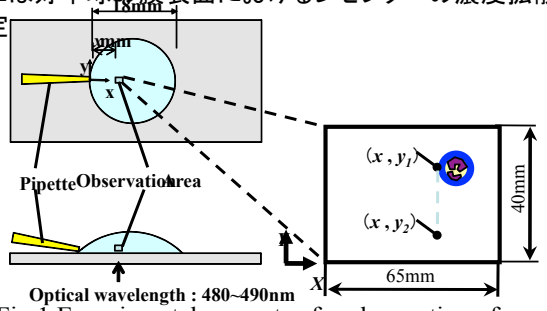


Fig.1 Experimental apparatus for observation of neutrophile motion by concentration gradient.

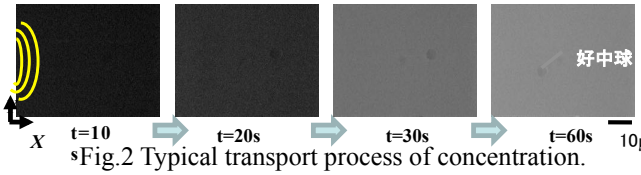


Fig.2 Typical transport process of concentration.

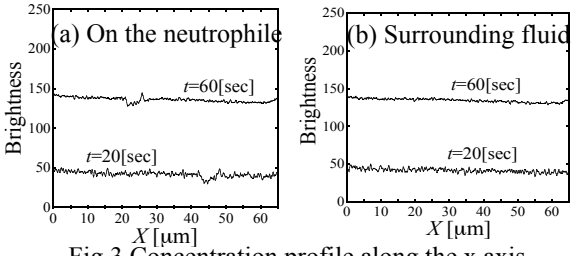


Fig.3 Concentration profile along the x axis

● 実験方法と結果

高感度CCDカメラでスライドガラス上の分散する好中球にサイトカインを滴下し，その拡散と好中球運動を観察した．このときサイトカインは，FITCによって抗体標識されている．蛍光強度から濃度を測り，サイトカインが好中球に到達する際の濃度分布の変化を調べる．Fig.2より，サイトカインが拡散するに伴って観察範囲の輝度が上昇している様子がわかる．また，Fig.3より実験開始より20秒および60秒において移動する好中球が存在しているX座標位置において周囲流体における輝度勾配とは逆の輝度勾配が発生していることがわかる．また，同一場所での好中球膜上での輝度勾配履歴から，サイトカイン濃度が到達した時刻付近から膜上の輝度分布の勾配が正，負の値をとりながら振動していることがわかっている(4)．

したがって，好中球膜上におけるサイトカインの拡散は微粒子に働く駆動力よりも大きな駆動力が発生することが影響しており，また，好中球膜上における輝度分布の勾配が正，負の値を取りながら振動していることがわかる．

● まとめ

サイトカイン濃度勾配による好中球の液中での運動機構をマランゴニ効果起因であることを仮定し，好中球膜上および周囲流体中でのサイトカインの濃度勾配について調べたところ，(1)好中球膜上で濃度勾配と反対の勾配が生じること，(2) 好中球膜上における濃度勾配が振動していたことなどがわかった．

次年度は，数値計算での膜と周囲流体の拡散係数の比による運動機構解明およびマイクロ流路を利用した濃度勾配の形成と観察実験を行い，微粒子表面加工の可能性を探る．

● 参考文献

(1)P. R. Ebrahimzadeh, vol. 67, no.5, 2000, *Journal of Leukocyte Biology*, pp.651-661.
(2)R.A.Jannat, M.Dembo, and D.A.Hammer, *Biophysical Journal*, Vol. 101, 2011, pp.575-584
(3)M.Tamagawa and K.Matsumura, *FEDSM2008(2008 ASME Fluids Engineering Conference)* ,2008, pp. 553191-553194
(4)M.B. Byrne, Y. Kimura, A. Kapoor, Y. He, K.S.Mattam, K. M. Hasan, L.N.Olson , F. Wang, P.J.A. Kenis, C.V. Rao, *PLOS ONE*, Vol. 9, Issue 1, 2014, e85726

粉体状粘着剤/Powdered Pressure-Sensitive Adhesives

● 目的

アブラムシの中に、自ら排出する蜜（甘露：高粘度液体）の液滴表面を固体ワックス粒子で覆うことでリキッドマーブル（LM，気中液滴型分散体）を作製するものがいる(1)。この生物が持つ技術を利用することで、高粘度液体の粉体化が実現可能になり、ハンドリングが容易になることが期待できる。

粘着剤（PSA）は、高粘度液体状高分子であり、瞬間に接着するという特性と、事前に任意の形状に加工しておくことが可能であるという特徴を持つため利便性が非常に高くシール、ラベルとして広範に利用されている。これまでの粘着剤は、フィルム基材に塗布した形態（粘着テープ）およびスプレーによる噴霧形態で利用されているが、そのべたつきが低ハンドリング性の原因となり利用範囲に制限がかかっているのが現状である。

本研究では、高粘度液体である粘着性高分子の液滴表面を固体微粒子で覆ったリキッドマーブルを作製し、粘着剤の粉体化を実現化した[1,2]。

所属班：公募班
所属機関：学校法人常翔学園　大阪工業大学
氏名：藤井秀司
所属機関住所：〒535-8585　大阪市旭区大宮5丁目16番1号　大阪工業大学10号館10階
e-mail：syuji.fujii@oit.ac.jp
研究キーワード：粘着剤、粉体、アブラムシ、リキッドマーブル

● 実験方法と結果

疎水的表面を有する$CaCO_3$ナノ粒子乾燥粉体状でポリアクリル酸ブチル（PBA）粒子水分散体を転がすことで、液滴表面が$CaCO_3$ナノ粒子で覆われたリキッドマーブルが生成した。リキッドマーブルから水を乾燥除去することで$CaCO_3$ナノ粒子で覆われたPBA粒子の作製に成功した。さらに、$CaCO_3$ナノ粒子で覆われたPBA粒子の集合体は、粘着性を示さず粉として振る舞い、漏斗を流下した。

粉体粘着剤にせん断応力を加えると、粘着性が発現した。タック試験器を用いて取得した応力-変位曲線から、応力を加える前ではほとんどタックが測定されないが、加えた後、タックが発現し、粘着させる際に加える圧力の増加とともにタックおよび粘着エネルギーが増加することを明らかにした。

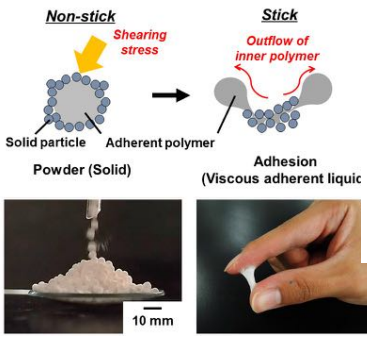


Figure 1 Schematic representation of PSA powder. After application of shearing stress, adhesion property appeared because of outflow of inner soft polymer from the hard particles shell.

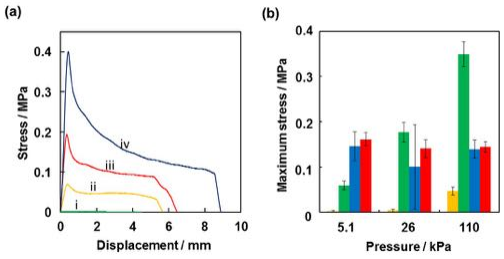


Fig. 2. (a) Stress-displacement tack curves obtained for PSA LM: (i) before and (ii-iv) after kneading. Pressure applied to PSA liquid marbles: (i, ii) 5.1, (iii) 26 and (iv) 110 kPa. (b) Relationship between pressure applied to PSA materials and maximum stress in tack measurement. Samples: Liquid marble PSA (left bar) before and (left center bar) after kneading, (right center bar) PBA latex film with a thickness of 45 μm and (right bar) commercially available PSA tape (Scotch® Magic™ Tape 810)

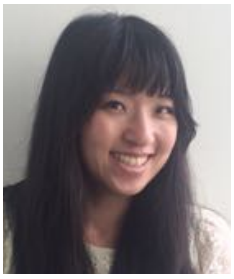
● まとめ

本研究で開発した粉末状粘着剤は、新規の粘着剤の形態であり、これまでの形態では粘着剤を塗布することが叶わない微小空間への粘着剤の運搬を実現し、目的箇所の選択的接着を可能にする。そのため、建築物の微細な亀裂部分の接着や、微小反応容器、マイクロチャネル等の微小部材の位置選択的接着が可能になる。

● 参考文献

1) (a) S. Fujii, S. Sawada, S. Nakayama, M. Kappl, K. Ueno, K. Shitajima, H.-J. Butt, Y. Nakamura: *Mater. Horiz.* **2016,** *3*, 47; (b) *Chemistry World* (http://www.rsc.org/chemistryworld/2015/10/liquid-marble-glue-pressure-sensitive-adhesive); (c) *NewScientist*, 16, 21 Nov. (2015) (https://www.newscientist.com/article/dn28489-powdered-glue-goes-on-dry-and-sticks-when-squished/); (d) 毎日新聞、 2015年11月2日、 26面; (e) 接着剤新聞, 2015年10月1日、 4面; (f) 化学工業日報, 2016年1月13日　6面; (g) *化学* 71(1), 72 (2016)
2) 藤井秀司、竹厚流、中村吉伸, 特願2014-033705, PCT/JP2015/056012

カイメンー二枚貝集合体の立体構造解析



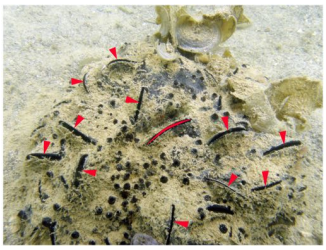
所属機関：国立研究開発法人 海洋研究開発機構
氏名：椿 玲未
所属機関住所：〒237-0061
神奈川県横須賀市夏島町2-15
e-mail：tsubakir@jamstec.go.jp
研究キーワード：カイメン、二枚貝、構造、
マイクロCT

● 目的

モクヨクカイメンの１種には必ず高密度でホウオウガイという二枚貝が共生し、カイメンはホウオウガイの貝殻を骨格として利用することで構造を補強していると考えられている。しかしカイメンは器官の分化がなく感覚受容器も神経系も持っていないので、自身の体構造の強度を知覚し、適切に貝を配置するよう指令を出すことはできない。そこで本研究では本当に貝の配置がカイメンの構造強化に寄与しているのかを明らかにすることを目的とし、カイメン・ホウオウガイ集合体の立体構造の解析をおこなった。

● 実験方法と結果

X線マイクロCTでカイメンー二枚貝集合体を撮影し、得られた画像に基づき立体構築した。



ホウオウガイ
Vulsella vulsella

Fig.1 Photograph of *Spongia* sp. *in situ* and the shell of *Vulsella vulsella*. The red line of the sponge corresponds to that of the shell.

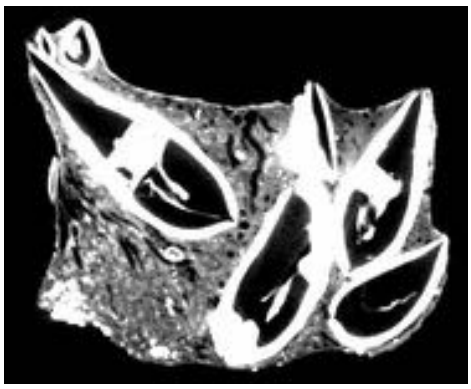


Fig. 2　Cross section of sponge-bivalve aggregation.

撮影: (株)島津製作所

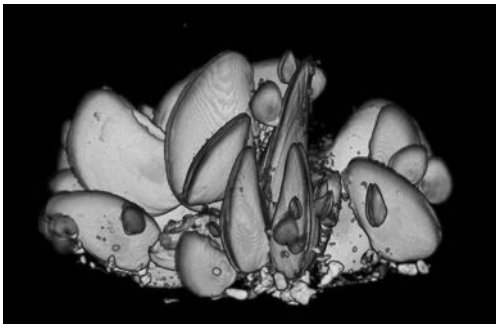


Fig. 3　3D reconstruction of sponge-bivalve aggregation (Upper) and bivalves (Lower) viewing from the same angle.

● まとめ

得られた立体構築像からカイメン体内におけるホウオウガイの分布が明らかになった。ホウオウガイはカイメンの体表付近だけでなく基部にまで深く食い込んでおりカイメンの構造保持にはなくてはならない存在だと示唆されたが、どの程度カイメンの構造強化に寄与しているかを定量的に示すためには今後更なる解析が必要である。

● 参考文献

(1) Tsubaki R.; M. Kato, *Zool. Sci.* **2012**, *29*, 585-592.
(2) Tsubaki R.; M. Kato, *Plos One* **2014**, *e108885*

バイオミメティクスの社会実装に向けた特許と論文発表件数の関係性の考察Comparative Analysis on the Relationships between Patent Application and Academic Paper Publication Towards Social Implementation of Biomimetics

所属班： C01班、公募班
所属機関：金沢大学大学院人間社会環境研究科
氏名：香坂玲
所属機関：金沢大学人間社会研究域
氏名：内山愉太
所属機関：金沢大学大学院自然科学研究科
氏名：藤平祥孝
所属機関住所：〒920-1192　石川県金沢市角間町
e-mail：kohsaka@hotmail.com
研究キーワード： 特許、学術論文、企業、研究機関、社会実装

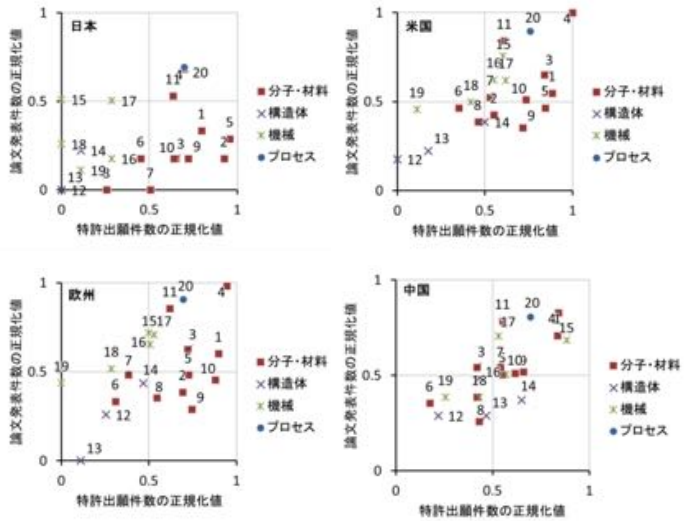
● 目的

生物模倣技術を社会実装するためには、まず、その課題等の把握が必要である。社会実装の課題や難しさは生物模倣技術が応用される対象によって異なる。加えて、その差異は、国や地域によっても異なることが予想される。

本研究では、まず、生物模倣技術の社会実装に向けた動向を捉えるべく、研究開発の動向に関する指標として論文の発表件数に、社会実装に向けた動向に関する指標として特許出願件数に着目する。これまで、特許データベースの分析を通して技術動向の分析を行う試みは行われてきた[1-3]。しかし、特許と論文に着目して研究開発と社会実装の動向について複数の国、地域を対象とした比較分析を行った研究は少なく、生物模倣技術を対象にして考察を行ったものはない。

● 実験方法と結果

・特許出願技術動向調査報告書：バイオミメティクス（特許庁2015）のデータを使用
・特許出願件数と論文発表件数（ 技術区分「応用先」 ）
・対象国は日本、米国、欧州、中国
・調査期間は2001～2012年（特許）、 2001～2013年（論文）
・対数変換してから対象国の中での最大値が1となるように正規化



1	親水性・疎水性材料(分子・材料)
2	構造発色材料(分子・材料)
3	接着性・粘着性材料(分子・材料)
4	医療・生体適合材料(分子・材料)
5	光学材料(分子・材料)
6	電池・半導体材料(分子・材料)
7	高強度・高靭性・耐摩耗性材料(分子・材料)
8	自己修復材料(分子・材料)
9	低抵抗・低摩擦材料(分子・材料)
10	防汚材料(分子・材料)
11	その他(分子・材料)
12	軽量化(構造体)
13	低抵抗・低摩擦材料(構造体)
14	その他(構造体)
15	ロボット(機械)
16	センサー(機械)
17	制御(機械)
18	アクチュエータ(機械)
19	その他(機械)
20	生産プロセス(プロセス)

図1 「応用先」別の特許出願件数と論文発表件数の関係性（日米欧中）

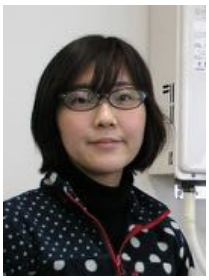
● まとめ

・生物模倣技術の動向を把握するために、特許出願件数と論文発表件数について国別の比較を行った。
・欧米中よりも、日本では論文発表数と特許出願数にギャップが大きいことが分かった。
・日本における課題は、①大学の特許技術開発への参画、②論文発表が行われている研究開発分野と、特許化が進められている特許出願分野のギャップを埋めることなどが考えられる。

● 参考文献

(1)Wilson, R. M., Patent analysis using online databases—I. Technological trend analysis. World Patent Information. 9(1). 18-26. 1987.

3Dコンフォーカル顕微鏡による生物表面の観察
3D Confocal Microscopic Observation of Biological Surfaces



所属機関：海洋研究開発機構
氏名：津留　美紀子
所属機関住所：〒237-0061
横須賀市夏島町2番15号
e-mail：tsudomem@jamstec.go.jp
研究キーワード：3D structure, confocal microscopy, microbial colony growth, real-time measurement,

● 目的

半導体基板検査などで利用されている3Dコンフォーカル顕微鏡は、表面の三次元形状をナノレベルの分解能で非接触計測できる。試料の特別な前処理は必要とせず、大気圧下で簡便に計測できる。コンフォーカル光学系の採用により、広い焦点深度での高解像な像を得ることができることから、生物を生きた状態で観察することも可能である。今回、そこでこれらの特性を利用して、生物試料の表面形状を計測し、3Dコンフォーカル顕微鏡の可能性を検証した。

● 実験方法と結果

1）ハダニの表面微細構造

ハダニをジメチルエーテルを用いて麻酔処理した後、3Dコンフォーカル顕微鏡（レーザーテック社製）を用いて表面形状を観察した。ハダニ特有の皮膚表面の皺模様[1] は明瞭に観察できたが、体表面の毛は一部が消えて見えるなど、うまく観察できない場合があった（Fig.　1)。3Dコンフォーカル顕微鏡は試料からの反射光強度を測定し、それを基準に焦点位置を決定する。ハダニの場合、毛部分よりも胴部からの反射光強度の方が強かったため、焦点位置が誤認識され、毛の部分の情報が消失したものと考えられる。

Fig. 1. 3D confocal micrograph of spider mite.

2）大腸菌コロニーのリアルタイム計測

LB寒天培地に平板塗抹法で大腸菌（*Escherichia coli* W3110）を塗布後、3Dコンフォーカル顕微鏡のステージ上にセットアップしたチャンバー（内部温度は30ºCに設定）内で培養し、コロニーの形成・成長過程をリアルタイム計測した。経時計測で得られた三次元情報を基にコロニーの体積を算出し、培養時間に対してプロットすることで、単一コロニーの増殖曲線を得ることに成功した。
また寒天濃度が異なる（1.5，5%）培地表面でのコロニー成長を比較した実験では、コロニーの形状には著しい違いが見られたものの（Fig. 2)、コロニー体積を指標にした増殖速度には差は認められなかった。従来のコロニーの直径を指標とした増殖速度の推定では、高濃度の寒天を含む培地上では大腸菌の増殖が阻害されると考えられていた。３D計測によってコロニーの「高さ」も含めた情報が得られたことで、寒天濃度は大腸菌の増殖速度に影響しないことが初めて明らかとなった。

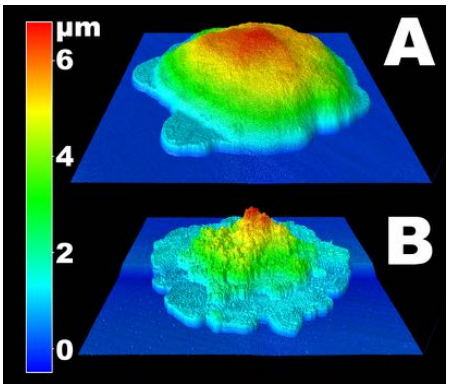


Fig. 2. 3D topographic images of a colony of *E. coli* on LB agar with different agar concentration. A : 1.5% agar, B : 5% agar. Incubated at 30ºC for 9 hr.

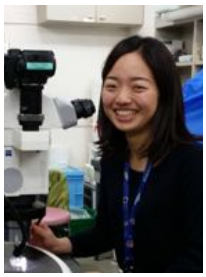
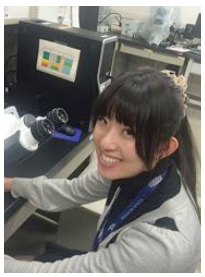
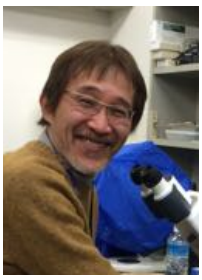
● まとめ

3Dコンフォーカル顕微鏡が、生きたままの生物の表面構造の観察、並びに計測に非常に有用であることがわかった。当日は、昆虫や水性生物など、他の生物サンプルの観察結果も合わせて紹介する。

● 参考文献

江原　昭三, 化学と生物. **1968**, 6, 6, 331-339.

成長に伴うヨワカイメンの濾過機能の変化

所属機関：国立研究開発法人 海洋研究開発機構
氏名：保坂美沙子・椿玲未・出口茂
所属機関住所：〒237-0061
神奈川県横須賀市夏島町2-15
e-mail：mhosaka@jamstec.go.jp
研究キーワード：海綿動物、生態、濾過

● 目的

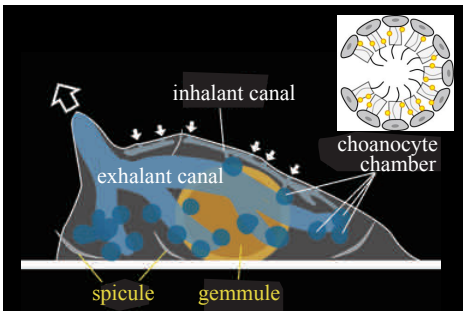
海綿動物（カイメン）は体内に張り巡らされている水路（水溝系）を通じて水中の粒状有機物を濾過摂食する。水路には襟細胞と呼ばれる鞭毛をもった細胞が存在し、襟細胞は数十個が集合し、球状の襟細胞室を形成している。カイメンはこの襟細胞の鞭毛により水流をおこすとともに、鞭毛を取り囲むように環状に並んだ微絨毛で餌となる微粒子をとらえる。

カイメンの濾過システムは非常に優れており、数μmの粒子であれば９割以上を濾しとることができる。カイメンの濾過摂食機能は襟細胞室数や分布と強い相関があると考えられているが、定量的な研究は未だない。そこで本研究では、襟細胞室数やサイズの経時変化を調べることにより、成長に伴うカイメンの濾過捕食機能の変化を明らかにすることを目指す。

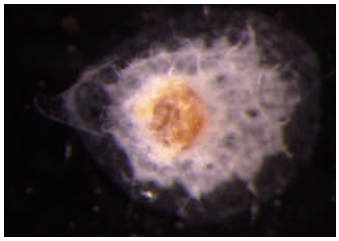
● 実験方法

ヨワカイメン*Eunapius fragilis*の芽球※を播種し、経過日数の異なる個体に、250nmの蛍光粒子を流した。蛍光粒子を捕えた襟細胞室を光学顕微鏡で観察し、襟細胞室密度と大きさを計測した。

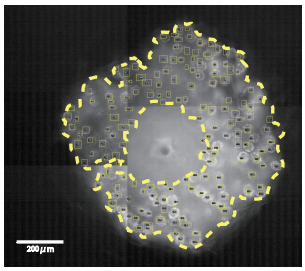
※芽球…カイメンがつくる無性生殖の休眠卵



Schematic image of juvenile sponge. Upper right: choanocyte chamber (yellow circles = fluorescent particles adhering to microvilli).



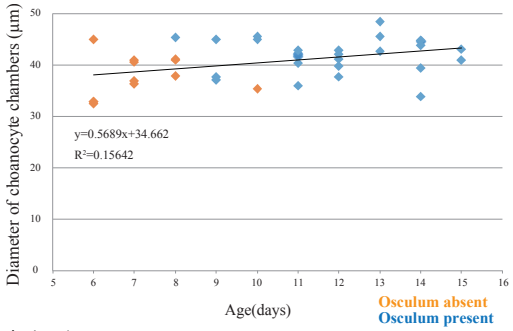
A microscopic image of *Eunapius fragilis*

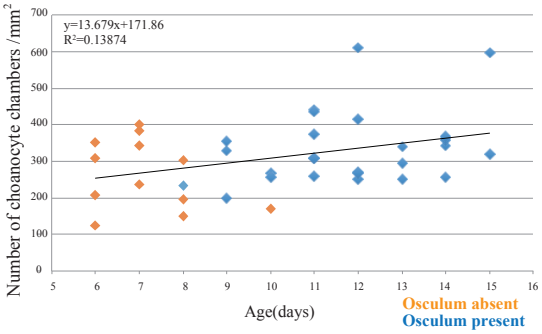


An inverted microscopic image of juvenile sponge digesting fluorescent particle.

● 結果

出水孔が形成され、水路が貫通する前後で有意な襟細胞室数・密度及び襟細胞室のサイズに有意な差はなかった。





● まとめ

ヨワカイメンは、水路が完成するより前に体中の至る所に多数の襟細胞室を形成し、粒子を濾しとる機能が備わっていることが明らかになった。この結果は、カイメンの幼生は出水孔の形成により一方向への水の流れが出来あがる前でも、個体全体の脈動によって水を取り込み濾過摂食できることを示している。

● 参考文献

(1) Glen R. D. Elliott; Sally P. Leys, *The Journal of Experimental Biology*, **2007**, 210, 3736-3748
(2) S. P. Leys; R. W. Meech; *Canadian Journal of Zoology* **2006**, 84, 288-306
(3) 佐々木信男 「淡水海綿の分類と分布」『遺伝』36号、1982年

(海洋生物の持つ切削器官は最適か/
Study on mechanics of cutting tool of marine organization)

所属機関：海洋研究開発機構
氏名：山本美希
所属機関住所：〒2360001
e-mail：mikiy@jamstec.go.jp
研究キーワード：歯舌、数値シミュレーション、
掘削、切削、破壊力学

● 目的

軟体動物が持つ歯舌は硬い舌のような器官であり、岩石を切削し、えさとなる物質が付着したその削りかすを体内に取り込むのに用いられている。生物の器官の特徴的な形状が、特定の機能に対してダーウィン主義的な最適化プロセスを得て決められているとするならば、その形状は切削という目的に最適化されているといってよい。　実際、カサガイ(***Cellana mazatlandica***）の歯舌は生物界最強の硬度を持つとまで言われている[1-2]。

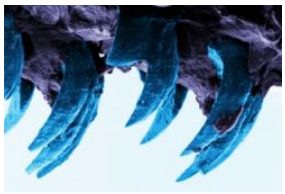
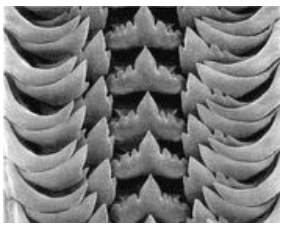


Fig.1: *Cellana mazatlancia* and SEM image of its radula[1-2]

また歯舌には多様な形態種があり、生物の持つ行動様式や生育環境によって適当な形の歯舌を使用していると考えられる[3]。それゆえ人類が現在使用している掘削・切削機器よりも性能の良い切削形態・使用方法が見出される可能性があり、生物規範工学の着目すべきトピックのひとつだと言える。
本ポスターでは、歯舌の持つ特徴を物理的に解析し、その特徴が掘削・切削効率にどのような関係があるかを調べる試みについて紹介する。



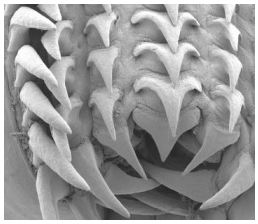
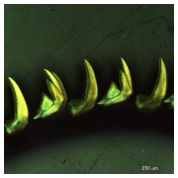
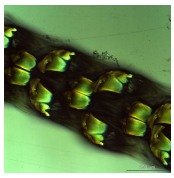


Fig.2:Variability of radula of marine organization.

● 形状解析

三次元顕微鏡により歯舌の三次元情報を取得し、その幾何学的特徴を解析する。





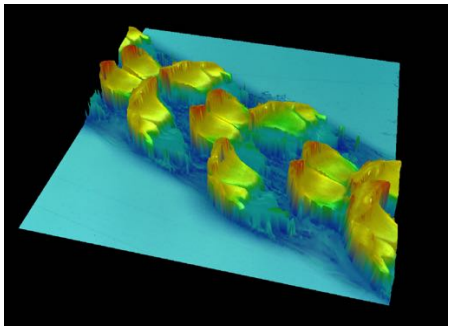


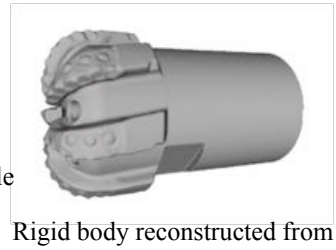
Fig.3 Image of shellfish radula and its reconstructed 3D image.

● 数値実験

生物由来の歯舌および人口の掘削機器に対して取得した三次元イメージをシミュレーション内で剛体として表現し、散逸粒子(DEM particle)の集合体で表現された岩石に対する掘削性能を調べる。

Rock represented as an ensemble of dissipative particles.

Rigid body reconstructed from the 3D image of shellfish radula.



Rigid body reconstructed from the 3D image of man-made drill.

また本ポスターでは歯舌の持つ機能と性能を数値実験での再現に対するプレリミナルな結果を報告する。

● 参考文献

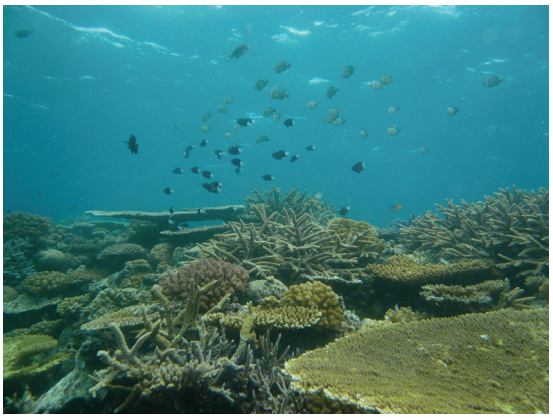
(1) A. H. Barber, D. Lu, and N. M. Pugno, J. R. Soc. Interface, 12: 20141326, **2015**.
(2) D. Lu and H. Barber, J. R. Soc Interface, 9: 1318-1324, 2012.
(3) 貝のミラクルー軟体動物の最新学、奥谷喬司、1997.

所属機関：オーピーバイオファクトリー株式会社
氏名：金本　昭彦
所属機関住所：〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎５－８
e-mail：akihiko.kanamoto@opbio.com
研究キーワード：海洋生物資源，医薬品，化粧品，健康食品，事業化

海洋生物資源を活用した事業展開

Unlocking the Potential of Marine Bio-Resources for Life Science Applications

2015 年ノーベル医学生理学賞を受賞した大村智北里大学特別名誉教授は，ゴルフ場の土から化合物エバーメクチンにつながる微生物を発見，これが画期的な感染症特効薬の創造につながった。世界にはまだ数多く，生物資源由来の未知の有機物・化合物が眠っており，創薬や化粧品開発にイノベーションを起こす可能性がある。そうした期待感が高まる中で，生物資源のフロンティアとして注目される場所がある。それは地球総面積の約７割を占める海洋である。



実際，近年，製薬企業をはじめに食品，化粧品，化学などさまざまな分野の企業が，海洋生物資源の利活用に取り組み始めている。当社は，それら機関にシード探索機能を提供する日本で唯一の営利追求型海洋生物資源研究開発会社である。

私は鹿児島大学大学院でクラゲやサンゴの生態を研究し，修了後は海洋調査会社に入社，環境アセスメントに関する業務に携わる。自身で海に潜り，海洋生物をサンプリング・調査することもあり，その経験から海洋生物を活用した新ビジネスに取り組みたいと考え始めていた。陸上の生物資源を集める企業は存在したが，海洋生物を対象にした企業は世界でもほとんど例はなく，日本では皆無。一部大学が海洋生物資源のライブラリー化を進めていたが，企業の研究開発ニーズに柔軟かつスピード感を持って対応することには限界があることは明白で，そこにビジネスチャンスがあると感じていた。

日本は領海および排他的経済水域の面積で世界第６位の海洋国。世界の海に生息する既知種（微生物を含む）23 万種のうち約 15%が日本の海域に生息する。なかでも亜熱帯域に属する沖縄県は，海洋生物資源の宝庫で，未探索の生物・微生物が多いことは明らかである。

当時，私は沖縄の海洋調査会社・海洋プランニング株式会社に勤務しており，同社の社長の後押しもあって起業準備に入った。その際，ちょうど沖縄県がバイオベンチャーの誘致・創業支援を行っており，そこにビジネスモデルを提案し，創業補助金の採択を受けることに成功した。そこから始まり，2016 年２月で 10 歳を迎えるベンチャー企業である。

ただ，当時，海洋調査のノウハウを活かした生物のサンプリングには自信があったが，創薬・製薬に関しては全くの素人で，どうすれば事業に付加価値が出せるのかわからない。そこで，大手製薬会社ホームページの問合せ欄から『海洋生物を研究開発に使えませんか』とメールを片端に送りました」。この場渡り的体当たり作戦が意外にも上手くいき，ビジネスに興味を持つ製薬会社が複数現れた。そこで顧客のニーズが実際にあることが把握できたことで，事業開発のスピードが加速した。

海洋生物資源のサンプリングでは，魚やサンゴなどのマクロ生物や，微生物を含む泥や海水を採集する。創業当初は沖縄のみでサンプリングをしていたが，現在は全国で採取に協力してくれる漁師とのネットワークを構築，北海道から沖縄まで海洋資源を採集できる体制を整えた。マクロ生物のエキスや，培養した微生物や微細藻類から，抽出物を作製してライブラリー化する。現在，微生物や微細藻類で２万，マクロ生物抽出物を含めると３万のライブラリーを構築している。

創業時はこのライブラリーに登録される抽出物を販売することが主力事業であったが，現在では，企業の目的や希望に応じて，ライブラリーの抽出物を用いてスクリーニングし，医薬品や機能性食品，化粧品の候補物質を選定する受託研究・共同研究が収益の９割を占めている。「製薬会社での創薬経験者など，高度なスクリーニングができる人材を確保した」ことで，新しい成長事業が立ち上がった。

抗生物質ペニシリンが青カビから発見されたように，生物資源は古くから創薬に活用

されてきた。やがて，アクセスのしやすい陸上生物は大方調査が終わり，製薬会社は合成化合物から医薬品を開発するようになった。しかし，人間がデザインした合成化合物には多様性に限界があり，革新的新薬は生まれにくいこともあり，海外の製薬会社を中心に生物資源への回帰が起こっており，順調に受託研究件数が増加している状況が現在である。

アメリカ・サンディエゴにも専属スタッフを配置し，製薬会社やヘルスケア系企業のニーズに対応している。

また，食品業界は健康・機能性食品や調味料の開発に，化粧品業界は美白・保湿・細胞活性化などの成分の探索に，海洋資源ライブラリーを活用している。化学メーカーもバイオベース製品の開発において海洋資源に注目している状況である。

受託研究に加えて，当社独自で新規活性化合物を研究開発し，ライセンス提供する事業も展開している。2013 年には，鹿児島県加計呂麻島の海底砂から採取した微生物から，抗真菌効果を示す新規化合物「カケロマイシン」を発見，現在はライセンス先にて臨床開発を目指して研究を進めている。

今後当社では，化合物など原料の量産や安定供給の支援にも事業領域を広げていく方針である。2015 年 2 月には，化粧品・健康食品原材料メーカーの一丸ファルコス（岐阜県）と資本業務提携を結んだ。

我々の使命は海とお客さまの間を繋ぐことである。創薬や健康食品，化粧品開発の上流から下流まで対応するサービスを提供できるよう，体制を整えていく予定である。

所属機関：国立研究開発法人海洋研究開発機構
氏名：白山 義久
所属機関住所：〒237-0061　横須賀市夏島町2番地15
e-mail：yshira@jamstec.go.jp
研究キーワード：海洋生物学／自然史学／生物多様性／機能形態学

海洋生物の自然史学に学ぶバイオミメティクス

Biomimetics Inspired by Natural History of Marine Life

1．自然史学とバイオミメティクス

生物の「技術体系」は，進化・適応過程における機能の最適化の産物です。生物の進化・適応を促す駆動力は環境の変化に他なりません。つまり生物の「技術体系」を真に理解し，そこからヒントを得るには，単に生物だけを眺めるのではなく，その生息環境も含めた生物の「生き方」，すなわち「自然史」から学ぶことこそが重要だと思われます。その点で，地上とは全く異なる環境に生息する海洋生物の自然史には，陸上の生物には見られない独自の「技術体系」が存在していると考えられます。

2．海洋生物の自然史とバイオミメティクス

海洋生物には，工学から見てきわめて興味深い構造や機能を見ることができます。陸上の生物は，重力に対抗することに体の作りが強く規定されているので，その体制の自由度は海洋生物よりもかなり制約されています。一方海洋生物は，水中に生活するという別の観点の制約を強く受けています。水中生活の特徴として，水という強い粘性抵抗のなかで生活することと，浮力を受けて 3 次元的な構造を作りやすいという 2 点が挙げられます。

前者に関しては，サメ肌のリブレット構造に学んだ流体抵抗の削減技術，ミナミハコフグの形状に学んだバイオニックカーなど，バイオミメティクスの代表例とも言うべき工学応用が生み出されています。後者については，例えば栄養が少ない深海で，最小のエネルギーで最大の力学的強度を得ようとする単体サンゴの骨格をあげることができます。この動物の骨格構造はなんとなく車の高級ホイールを想起させるものです。実際，メルセデスベンツの最新型が採用したホイールのデザインは，似ていると思いませんか？

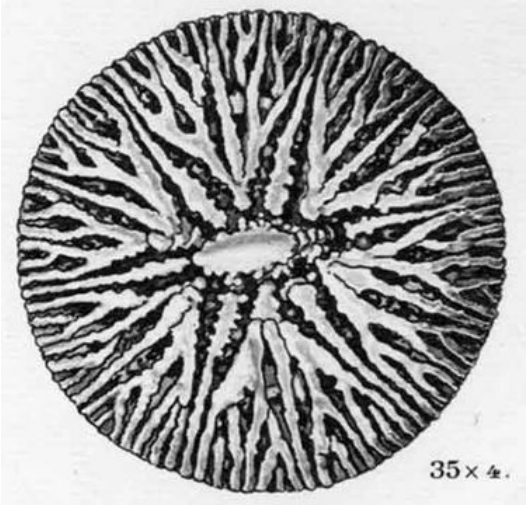


Fig. 1. Skeleton of *Stephanophyllia fungulus*. Taken from Encyclopedia of Life.

Fig.2. Wheel design of recent Mercedes S-class.(From Mercedes web site.)

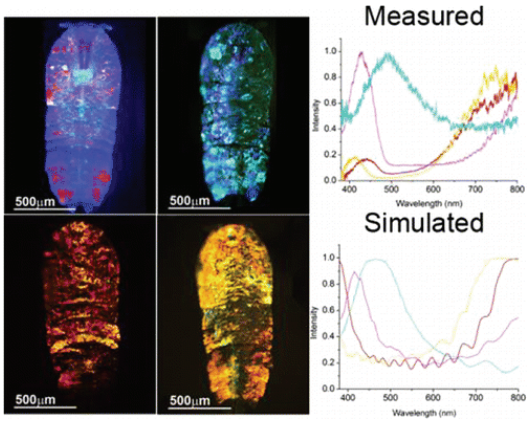


Fig. 3. Optical micrographs and reflectance spectra of Sapphirina.[2)]

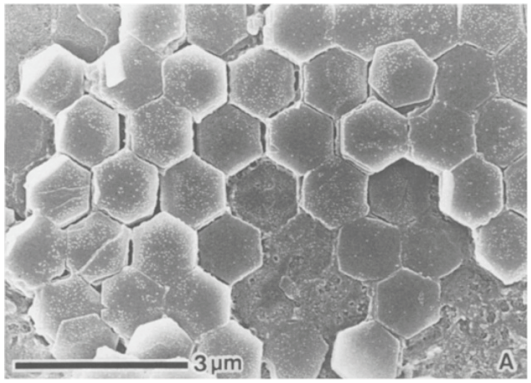


Fig. 4. SEM image of platelets from dorsal integument of *Sapphirina* spp., male.[1)]

水中に生活するということに付随して，水かﾞ光（特に長波長側）を速やかに吸収するのでﾞ，環境には赤かﾞ少なく青かﾞ多い，電磁波よりも圧力波（音波）の方かﾞ遠くまでﾞ届く，などﾞも特徴としてあげﾞられるでﾞしょう。

表層付近でﾞは，それでﾞも光はふんだﾞんにあり，生物は光を重要な情報源として使っています。ほぼﾞすべﾞての魚類かﾞ，背中側の色かﾞ濃く，腹側の色かﾞ薄いのは，上から入射してくる太陽光に対して，カモフラージュすることが目的と考えられます。なかには，積極的に光を使うものもいて，構造色を呈する動物も少なくありません。代表的なのは，サフィリナと呼ばﾞれるカイアシ類のなかまでﾞ，美しい構造色をしています[1)]。この構造色はオスのみにみられるものです。土佐の漁師はこのプﾟランクトンの生息している海域を「玉水」とよんでﾞ，カツオ漁場の指標に使っていました。サフィリナの構造色はグﾞアニンの多重構造を皮膚の下に持つことでﾞ実現されています[1, 2)]。

３．自然史学とのさらなる連携に向けて

今年の１月，*Nature* 誌に掲載された「Bring biologists into biomimetics」と題した記事によると[2)]，直近３ヶ月に出版された３００報のバイオミメティクス関連論文のうち，生物学者を著者に含むものはわずか８％に過ぎないとのことです。またそれらの論文で扱われている生物が，ヤモリ，クモ，チョウに極端に偏っていることも指摘されています。つまりこれまでに蓄積されてきた膨大な「自然史学」の知識のうち，バイオミメティックスでの利用が進んでいるのはごくごく一部に過ぎないということです。海洋生物の自然史となると，その割合はさらに低下するでしょう。

しかしながら逆の見方をすれば，自然史学との連携を深めることによって，バイオミメティクスが一層飛躍する余地が多分に残されていると言えます。そのためには，まず海洋生物の自然史を知識体系として構築することが何よりも重要だと思います。そのような試みの中には，長谷山先生の画像検索エンジンのような最先端の情報技術を活用して知識体系を工学者が使えるようにする努力も含まれます。加えて生物学にとってのバイオミメティクスの意義を認識することも重要だと思います。構造色や表面の濡れ性といった物理化学の原則に基づく生物機能は，遺伝子をいくら調べても決して解明できません。バイオミメティクスを通して得られる生物の「技術体系」に関する知見が，生物学にフィードバックされることにより，次世代の自然史学が生まれることにも期待しています。

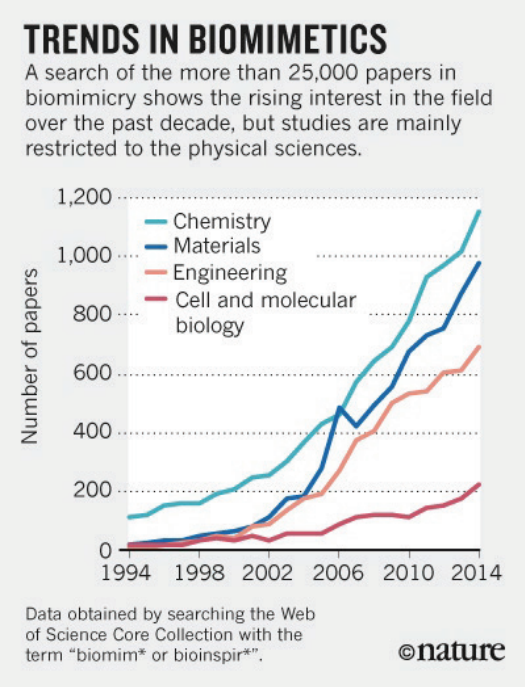


Fig. 5. Recent trends in publications related to biomimetics.[3)]

参考文献

(1) Chae, J., Nishida, S. *Mar. Biol.* **1994**, *119*, 205–210.

(2) Gur, D., Leshem, B., Pierantoni, M., Farstey, V., Oron, D., Weiner, S., Addadi L. *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 8408–8411.

(3) Snell-Rood, E. *Nature* **2016**, *529*, 277-278.

所属班：A01班
所属機関：国立科学博物館
氏名：松浦　啓一
所属機関住所：〒305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1
e-mail：matsuura@kahaku.go.jp
研究キーワード：魚類，産卵巣，フグ類，新種，琉球列島

新種のフグが作る海底のミステリーサークル：魚の「建築」技術を探る

Mistery Circles Constructed on Sea Floors by a New Pufferfish: How Fishes Build Their Nests

1．はじめに

多くの魚類は大量の卵を水中へ産卵する。産卵された卵や孵化した稚魚の大半は捕食者の餌食となってしまう。しかし，非常に多数の卵を産めば，少数の子孫が生き残ることができる。つまり，多くの魚類は運にまかせて次の世代を形成している。しかし，生き残る確率を高める戦略を採用した魚類もいる。親が産んだ卵を世話する魚たちである。たとえば，サンゴ礁に生息するスズメダイやクマノミの仲間たちは卵をサンゴや岩の表面に産みつけ，孵化するまで親が保護する。淡水にすむ多くのカワスズメ類やサンゴ礁に生息するモンガラカワハギ類やカワハギ類は砂地に浅い窪みを作り，その中に卵を産んで親が保護する。淡水魚のイトヨやトミヨの仲間は水中植物などを使って産卵巣を作り，その中に卵を産んで，親が保護する。しかし，魚類が作る「産卵巣」は親の体と同じ大きさか，やや大きい程度である。ところがフグ類の中に自分の体の 17 倍もある巨大な産卵巣を作る新種が発見された。しかも，新種のフグが作る産卵巣は複雑で奇妙な形をしているため，発見したスキューバダイバー達は「ミステリーサークル」と呼んでいる。今回の発表では新種のフグが作る「ミステリーサークル」の特徴とフグの産卵行動，そして，他の魚類の「産卵巣」や産卵習性も紹介する。

2．新種のフグが作る巨大な産卵巣

奄美大島南岸で地元のダイバー達が 20 年前に不思議な造形を発見した。海底の砂地に直径 2m もあるサークルが 4 月から 8 月にかけて毎年出現する。サークルの周縁部には土手のような盛り上がりが 2 本あり，多数の溝が中心部から放射状に走る。

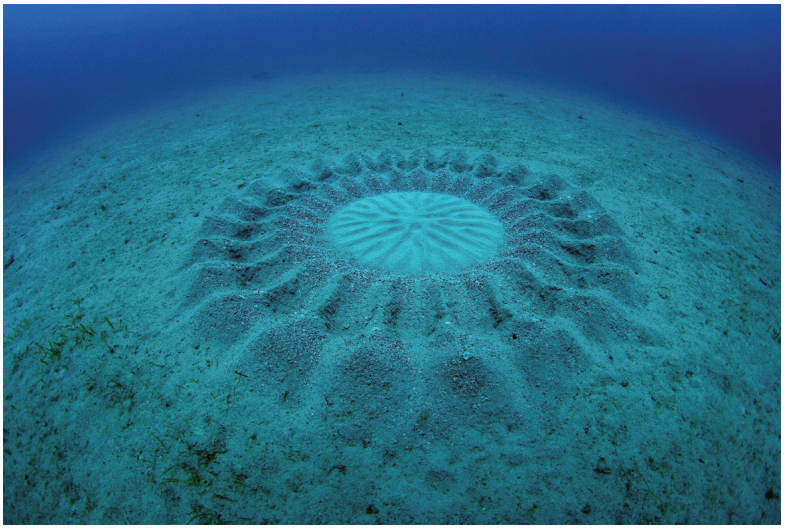


Fig. 1. Spawning site of a pufferfish, *Torquigener albomaculosus*. Photograph by Yoji Okata.

幾何学的な模様をもつ不思議なサークルを地元のダイバー達は「ミステリーサークル」と呼んでいる。しかし，「ミステリーサークル」がどのようにできるのか，あるいは何者が作るのかは長い間謎のままであった。この謎に終止符を打ったのは水中写真家の大方洋二氏であった。大方氏は小型のフグが「ミステリーサークル」を作る様子を観察したのである。このフグの水中写真を検討した結果，シッポウフグ属の新種であることが判明した。そして，演者を中心とする研究グループは新種のフグを 2014 年に採集することに成功した。標本を詳細に調べた結果，頭蓋骨の特徴や下顎の形態，体表面を走る側線の形状，そして体の色彩が既知のフグ科魚類とは異なることが明らかになった。演者はこの新種のフグに *Torquigener albomaculosus* という学名とアマミホシゾラフグという和名をつけて 2014 年に発表した[(1)]。

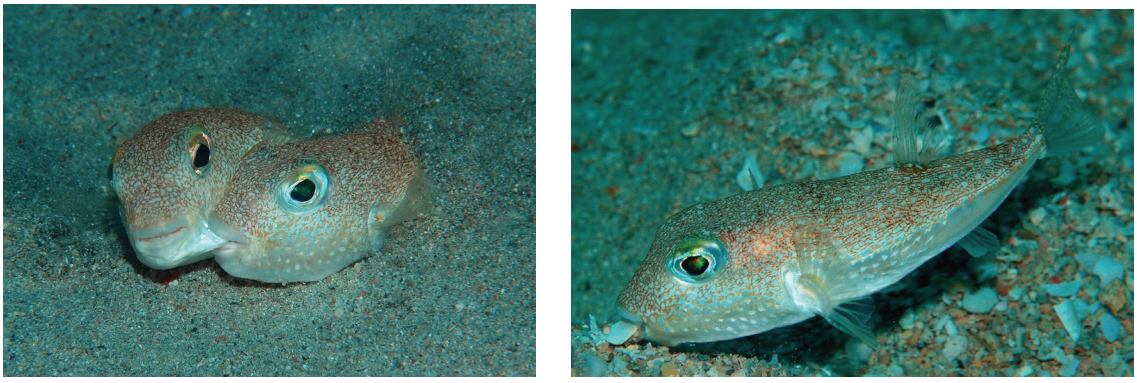


Fig. 2 *Torquigener albomaculosus*: photographed by Yoji Okata on the south coast of Amami-oshima Island, Ryukyu Islands.

アマミホシゾラフグの最大の特徴は巨大な産卵巣を作ることである。アマミホシゾラフグのオスは 1 週間かけて「ミステリーサークル」と呼ばれている産卵巣を作る。産卵

巣の直径はオスの全長の約 17 倍もある。人間にたとえると，32m の巨大なサークルということになる。メスは産卵巣を訪れ，中心部に産卵する。粘着性のある卵は砂の中に入り込む。メスが産卵するのは満月か新月の数日前で，卵は 2 日くらいで孵化する。産卵巣には 24 本から 30 本の放射状の溝があるため，海水が潮流によって中心部に流れ込む[(2)]。

このように複雑で巨大な産卵巣を作る魚類は他に存在しない。アマミホシゾラフグのオスが 1 週間もかけて，巨大な産卵巣を作る理由は未だに分かっていない。フグ目のモンガラカワハギ科やカワハギ科の魚たちは海底の砂地に窪んだ産卵巣を作る。しかし，その形態は単純な窪みであり，複雑な模様はない。また，これらの魚類が作る窪みの直径は親魚の全長の 2 倍程度である。アマミホシゾラフグが作る産卵巣には放射状の溝があるため，どの方向から潮流が流れてきても，新鮮な海水が中心部にある卵に供給される。また，海底の砂地は平坦な地形であるため，メスがオスを探す際に，巨大で複雑な模様のあるサークルは良い目印になると思われる。この推論を確認するためには行動生態学的な操作実験が必要である。しかし，産卵巣が水深 25m の海底にあるため，多数の産卵巣を観察したり，フグを多数観察して行動を比較したりすることは不可能である。

魚類全体を見渡すとトゲウオ科のイトヨやトミヨのように水中の植物の破片を利用して産卵巣を作るグループがいる。また，カワスズメ科やモンガラカワハギ科，カワハギ科のように水底に浅い窪みを掘って産卵する魚類もいる。しかし，魚類全体から見れば産卵巣を作る種類は非常に限られている。卵の生残率は産卵巣があれば高くなるが，親魚が産卵巣を作るためには一定の場所にとどまる必要があり，捕食者によって襲われる危険が増大する。産卵巣を作ることによるメリットがある一方でデメリットもあるわけである。アマミホシゾラフグの産卵巣はこれまでに報告された魚類の産卵巣と比べると，際だって大きく形状が複雑である。フグ目の中で何故このような産卵巣が出現したかを明らかにするためには，フグ科魚類をはじめとするフグ目全体の系統関係や行動生態に関する研究が必要である。

参考文献

(1) Matsuura, K. *Ichthyol. Res.* **2014**, doi: 10.1007/s10228-014-0428-5
(2) Kawase, H.; Okata, Y.; Ito, K. *Sci. Rep.* **2013,** 3 doi:10.1038/srep02106

謝辞

大方洋二氏はアマミホシゾラフグと産卵巣の水中写真を提供して下さった。伊藤公昭氏，大方洋二氏，片山英里氏，千葉悟氏，吉田朋弘氏は標本を採集して下さった。片山英里氏と千葉悟氏はタイプ標本の写真を撮影して下さった。これらの方々に謝意を表する。

氏名：西田　睦（琉球大学）
住所：〒903-0213　沖縄県西原町千原１番地　琉球大学役員室
e-mail：nishida@jim.u-ryukyu.ac.jp
研究キーワード：
　進化生物学，魚類，水圏生物，分子系統，ゲノム進化

氏名：馬渡　駿介（北海道大学名誉教授）
e-mail：shunfm@schi.hokudai.ac.jp
研究キーワード：
　分類学，無脊椎動物，自然史博物館，自然史標本，進化

国立自然史博物館はバイオミメティクスのメッカ！？

The National Museum of Natural History as a Mecca for Biomimetics Researches

1．はじめに

生物を規範として人類に役立つものを作り出す生物規範工学は生物を知らなくては成り立たない。自然史科学は自然を研究することで生物規範工学と自然の中の生物との間を取り持つ。ところが今日，その自然が破壊の危機にさらされている。自然が破壊されれば生物規範工学の飯の種である生物も失われてしまう。そうならないために，あるいはそうなる前に，自然史科学を振興し，自然史研究を加速し，自然を研究しつくさなければならない。学術会議は自然史科学研究のメッカとしての「国立自然史博物館の設立」に向けて活発な活動を展開してきた。その成果の一つとして，「学術会議提言」を社会へ向けて近々公表する。その内容は以下の通りである。

2．提言「国立自然史博物館設立の必要性」作成の背景

日本学術会議は 60 年近く前から，自然史科学の振興と自然史博物館の充実をはかる声明，提言，報告を出してきた[(1)-(6)]。それをさらに実現に近づけるべく，動物科学分科会主催公開シンポジウム「分類学は旧くて新しい－国立自然史博物館の設立に向けて－」の開催準備を進めていた折，2011 年 3 月 11 日に東日本大震災が起こった。東北地方の自然が大きく姿を変え，博物館等施設が被災し，収蔵自然史標本の多くが失われ，我が国の自然史科学研究体制の脆弱性が明らかとなった[(7)]。この非常事態を受け，動物科学分科会をはじめとする 4 分科会は，国立自然史博物館の設立を急務と認識して活動を始め，シンポジウムを開催し[(8)-(13)]，日本学術会議マスタープラン 2014 に応募・採択される[(14)]などの成果を得た。そして，合計 9 分科会＋5 組織による提言を以下のようにとりまとめた。

3．現状と問題点

人類は長い間，地球環境と調和を保ちつつ，かつそれに依存して生きてきた。ところが，農耕牧畜の開始以来，地球環境は徐々に変貌していった。特に過去数十年間は，人

口爆発と工業化により地球環境は急速に悪化し，人類は存続の危機を迎えつつあると言えるだろう[15]。この人類自らがもたらした状況には，地球資源は有限であるにもかかわらず，無尽蔵であるとする誤った自然観が広く共有されてきた背景がある。地球環境の研究を刷新・加速し，地球環境と調和して生きる新しい自然観を提示し，早急に自らの手で地球環境破壊を阻止しなければ，人類存続の危機は深刻さを増すばかりである。地球環境の研究はこれまで，岩石・鉱物学，地質学，古生物学，人類学，分類学，系統学，生態学，生物地理学，進化学などの多様な分野を含む自然史科学が担ってきた。しかし，最近，地球環境破壊は急速に進行しており，その実態の把握と近未来に予想される事態への対応は，現在の自然史科学の研究体制ではおぼつかない。

4．提言の内容

地球環境の人為的破壊が急速に進み，人類の存続が危ぶまれている今日，60 年近く前からの学術会議の主張を引き継ぎ，地球環境を人為破壊から守り，人類の存続を図るという究極目的を果たすために取り得る重要手段として，国立自然史博物館を設立すべきである。国立自然史博物館は，地球環境の変遷を様々な時間・空間スケールで記録している自然史標本を核とし，生物を含む地球環境変遷の研究を担う自然史科学の研究体制を強化して研究を刷新・加速し，その研究成果から地球環境との調和を取り戻す自然観を新しく構築してその普及を図る。さらに，生命進化と環境変遷の証拠としての大量の自然史標本と自然史データを収集・整理・継承・活用し，様々な応用研究や政策に貢献するこれまで類のない新たな研究教育拠点である。設立地は，自然環境が南北で大きく異なる国土と，予想される東南海地震による標本喪失のバックアップを考慮し，南は沖縄，北は北海道か東北が望ましい。

学術的意義　国立自然史博物館では，最新の研究手法に基づき自然史研究を刷新・加速する。たとえば，先進国唯一の生物多様性ホットスポットである我が国の特色を生かして網羅的に自然史標本を収集・保存し，これらを，内部微細構造の非破壊的解析，元素分析，ゲノム解析などの最新の手法で研究する。さらに，既存の自然史系博物館や一般市民の持つ標本やデータから情報を抽出する。自然資源に恵まれながらその解明度が低い東アジア地域を中心に，国際協力によるフィールドステーションを設け，恒常的な自然観測を強化する。このようにして得られた多種類の大量データを，標本を担保した上で情報学を駆使して解析・統合することにより，“ビッグデータ自然史科学”とも言うべき研究を推進する。自然史研究の推進はいわば科学インフラの整備でもあり，その成果は，環境変動の解明，資源探査，工学的応用から地球環境政策の策定まで，さまざまに利用され，人類の持続可能性を高めることに貢献する。

人材育成　国立自然史博物館は，大学や大学院大学との連携の下，大学・大学院教育に参画し，大学生・大学院生に自然史科学を教育する。これにより自然史研究の後継者育成および自然史科学を理解する教員を養成し，自然史科学の普及をはかる。さらに，研究を補助する標本管理者や展示・教育・普及を担当する専門技術職員など多様な人材も育成する。このことは，自然史標本と自然史科学の社会的認知度を上げ，我が国を環境先進国として世界に認めさせるだけでなく，文化国家として一層発展させる基礎となる。

社会貢献　特に地球環境と人類の関わりの歴史と最近の人為的地球環境破壊の歴史に焦点を当て，それらを証拠立てる自然史標本を先端技術を駆使して展示する。これにより，地球環境と人類の危機に対する人々の理解を深め，地球環境との共生を素直に発想できるような教育普及を行い，自然と共に生きる新しい自然観を広める。遠隔地からでも展示内容にアクセスできるように WEB サイト展示を展開し，人々から自然史標本や自然史情報の提供を受ける一方，自然史標本の同定依頼，あるいは教育現場での利用

相談に対応するなど，社会との双方向コミュニケーションを図る。

国際貢献　国立自然史博物館は研究によって世界へ貢献することはもちろん，特に東アジア諸国における自然史研究分野の研究能力向上と若手研究者の育成において国際貢献を果たす。生物多様性条約に起因する遺伝資源の利用から生じた利益の公正で衡平な配分（ABS 問題）に対処するため，対象生物原産国の若手人材育成を行う。同じく生物多様性条約が定めた世界分類学イニシアティブ（GTI）に準拠し，分類学分野の人材を育成する。さらに，地球規模生物多様性情報機構（GBIF）に自然史標本情報を提供するなど，自然史科学研究全般において国際協力の役割を果たす。

参考文献

(1) 国立科学博物館編(1977)「国立科学博物館百年史」第一法規出版, 898 ページ。
(2) 第 19 期日本学術会議動物科学研究連絡委員会・植物科学研究連絡委員会報告（2005 年 8 月 29 日)「自然系博物館における標本の収集・継承体制の高度化」。
(3) 第 20 期日本学術会議学術資料保全体制検討委員会声明 (2007 年 5 月 24 日)「博物館の危機をのりこえるために」
(4) 第 20 期日本学術会議基礎生物委員会・応用生物学委員会・地球惑星科学委員会合同自然史・古生物学分科会対外報告（2008 年 1 月 21 日）「文化の核となる自然系博物館の確立を目指して」。
(5) 日本学術会議（2010）「日本の展望－学術からの提言 2010」60 ページ。
(6) 日本学術会議基礎生物学委員会（2010）「報告　基礎生物学分野の展望」27 ページ。
(7) 米山正寛（2011）「救えなかった三陸の記録－生き物の記録「自然史標本」－」朝日新聞 11 月 3 日(木)朝刊科学欄。
(8) (8)2011/06/06 「緊急集会：被災した自然史標本と博物館の復旧・復興にむけて–学術コミュニティは何をすべきか？」西日本自然史系博物館ネットワーク <http://www.naturemuseum.net/blog/2011/05/20110606.html>。
(9) 馬渡駿介，岸本健雄他（2015）「特集 1　自然史標本の継承－人類の財産を失わないために今なすべきこと－」。学術の動向 20(5):9-51。
(10) 馬渡駿介，岸本健雄他（2015）「特集 2　デング熱と蚊の分類と自然史標本」。学術の動向 20(7):87-104。
(11) 西田治文他（2011）「３．被災した自然史標本と博物館の復旧・復興に向けて」in「特集　東日本大震災への対応―学術フォーラムの成果の概要―」学術の動向 16(11):34-59。
(12) 馬渡駿介，岸本健雄他（2015）特集 1　自然史標本の継承－人類の財産を失わないために今なすべきこと－。学術の動向 20(5):9-51。
(13) 馬渡駿介（2015）「未来へ残すべきモノのレジリエンス」in 特集 1　災害に対するレジリエンスの向上に向けて。学術の動向 20(7):27-32。
(14) 日本学術会議(2014)「マスタープラン 2014」 <www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t188-1.pdf>
(15) Rockström et al. (2009) A safe operating space for humanity. Nature 461(24), 472-475.

所属機関：（一財）沖縄美ら島財団総合研究センター
氏名：佐藤　圭一
所属機関住所：〒905-0206沖縄県国頭郡本部町字石川888
e-mail：k-sato@okichura.jp
研究キーワード：地域性，海洋生物，水族館，観光資源

沖縄美ら海水族館が創り出す多様な資源とその活用

Various resources created by Okinawa Churaumi Aquarium, and their utilization for science, education and local economy

1．はじめに

沖縄美ら海水族館を管理運営する沖縄美ら島財団は，南西諸島に分布する生物の採集飼育と同時に，学術標本の収集を行っている．沖縄美ら海水族館は，沖縄のサンゴ礁，外洋，深海の３つのゾーンにおいて，２万点以上の沖縄産魚類・無脊椎動物を飼育展示しているほか，無料エリアである美ら海プラザでは大型魚類や海生哺乳類など希少生物を標本展示する施設を運営している．また財団研究センターでは，魚類や海産哺乳類標本を中心として約６万点の液浸標本を維持管理し，研究に従事する専門職員が多様性研究や繁殖生理まで幅広い分野をカバーしている．

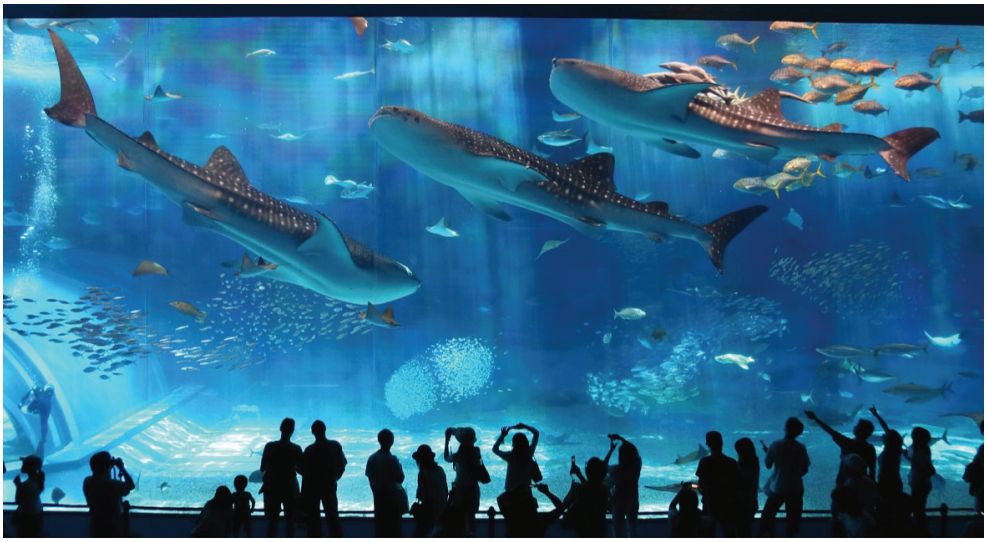


Fig.1. “Kuroshio” Tank in the Okinawa Churaumi Aquarium.

演者は，海洋生物のうち魚類(特にサメ・エイ類)を専門としており，現在は水族館における飼育下繁殖や，野外におけるサメ類の生態学的分野に焦点を当て，他の研究職員

や飼育部門と連携した研究活動を行っている．今回は，サメ・エイ類のほか，財団研究センターが行っている研究を中心として，沖縄が持つ研究フィールドとしての利点や，生物多様性がもたらす様々な波及効果について考えたい．

Fig. 2. “Tropical Fish” Tank (above), “Coral Reef” (below left), deep-sea ruby snapper (below right) in the Okinawa Churaumi Aquarium.

２．沖縄美ら海水族館のコンセプトと特色

現在日本には，62 園館(JAZA 加盟園館として)の水族館があり，それぞれ展示のコンセプトを持っている．近年では，流通や情報通信の発達により，多くの園館が海外からの輸入や，動物商からの購入などにより，自家採集による展示生物の収集を行う園館が少なくなっている．また，マスコミ等で人気のある生物を積極的に導入することにより，各園館の個性が見出しづらくなっていることも多い．

沖縄美ら海水族館は，開館当初より「沖縄の海を切り取る」ことをコンセプトとし，地域性を前面に打ち出した展示が行われてきた．そのため，サンゴ礁・外洋・深海の展

示エリアに飼育するほとんどの生物を沖縄周辺から収集している．生物収集は，主に定置網や釣りなどの漁業者との共同作業，ROV や深海釣り採集など自家採集をのよるため，生息環境の把握や，死亡魚を採集データとともに標本として管理を行っている．

このように，地域性に特化した展示を行う水族館であるがゆえ，職員は地元の自然環境に熟知し，得られた生物を二次的に研究利用することができるため，様々な分野で相乗効果を生み出している．

３．水族館がもたらす“観光資源”

沖縄美ら海水族館の前身である，国営沖縄記念公園水族館は 1975 年の沖縄国際海洋博の開催以来，沖縄近海に分布する大型の海生動物の飼育に取り組んできた．現在では多くの水族館で見られるジンベエザメは，1980 年代初頭に初めて当館で飼育に成功[(1)]したものである．その技術を基礎として 2002 年にオープンした新水族館は，当初から注目を集め入館者が急増し，本島北部のみならず沖縄県全体の入域観光客の増加に寄与した．これは，もともと地域に存在し経済的価値が無いように思われた自然の一部が，水族館と言うフィルターを通して巨大な観光資源となった良き事例である．

４．研究フィールドとしての水族館

沖縄美ら海水族館の成功は，経済面だけでなく学術面においても多大なメリットをもたらしている．特に，これまで不可能とされてきた海洋生物の飼育は，水族館が繁殖生理学的研究や，機能形態学的研究を行う場として，大きく貢献できる可能性を示した．特に，ジンベエザメやマンタの生理学的特性や繁殖周期を長期間モニタリングすることは，野外ではほぼ不可能である．また，大型のサメ類を長時間観察し，その行動を機能形態学的に解析するなど，野外では考えられない研究を行うことも可能である．その他，深海生物の長期飼育技術開発[(2)]，環境 DNA のメタバーコーディング[(3)]など熱帯・亜熱帯域の生物多様性研究の発展に当館が果たした役割は大きい．このように，野生下では不可能な研究の実験場として，沖縄美ら海水族館は様々な可能性を秘めている．

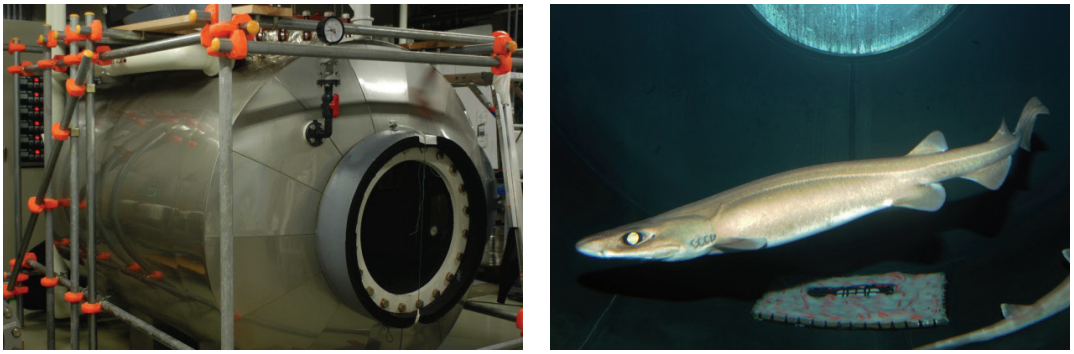


Fig.3. Recompression chamber (left) and deep-sea catshark kept in the chamber (right).

もちろん，この様な研究活動を行うためには，専門性の高いスタッフの充実や，研究を主とする専門部署の設置等が必須である．水族館を管理する沖縄美ら島財団には，総合研究センターが設置されているほか，10 名の学位保持者を有する国内屈指の体制で業務を推進している．

５．教育素材としての水族館

水族館は実物教育の場であり，実際に生物を視覚，聴覚，触覚により観察することが出来る．沖縄美ら海水族館では通常の来館者のみならず，視覚障がい者に対するプログラムの充実を図るため，筑波大学附属視覚特別支援学校と連携した展示開発を行っている[(4)]．また，年間 30 回以上にのぼる福祉施設や離島への移動水族館等を実施することにより，多様な立場の県民に対して，広く沖縄の自然を紹介するよう努めている．

Fig.4. Plastination specimens (left) and examination of specimens by touch (right).

６．参考文献

(1) 内田　詮三，ジンベエザメの形態について；海洋と生物.1983.5(2), 165-173.

(2) Sato K.; A. Kaneko; M. Toda; *Using the SGPT Chamber for Field sampling and long-term captivity of deep demersal fishes from tropical waters: Proceedings of an International Symposium Into the Unknown, Researching Mysterious Deep-sea Animals 2007*, Okinawa, Japan, 2010.

(3) Miya M.; Y. Sato; T. Fukunaga; T. Sado; J.Y. Poulsen; K. Sato; T. Minamoto; S. Yamamoto; H. Yamanaka; H. Araki; M. Kondoh; W. Iwasaki; *MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: Detection of >230 subtropical marine species. Royal Society Open Science,* DOI: 10.1098/rsos.150088. 2015.

(4) 横山　季代子，視覚障害のある人も楽しめる水族館をめざして；視覚障害教育ブックレット 3 学期号, vol.21, 2012.

所属機関：九州大学大学院システム情報科学研究院
氏名：都甲　潔
所属機関住所：〒819-0395　福岡市西区元岡744
e-mail：toko@ed.kyushu-u.ac.jp
研究キーワード：味，匂い，バイオセンサ

生体模倣技術を用いた味と匂いを測るセンサ開発

Development of Biomimetic Sensors for Taste and Odor

1．はじめに

味覚と嗅覚は，化学物質を受け取って生じる感覚であり，五つの感覚（視覚，聴覚，触覚，味覚，嗅覚）の中でも，主観性が強い感覚と思われている．おいしさを構成する要素を図１に描いている．味覚と嗅覚はもちろんのこと，視覚，聴覚，触覚に加え，そのときの体調や気分，そして生まれ育った食環境すらも，おいしさの判定にきいてくる．味や匂いは人がいて初めて意味をもつ．個々の化学物質が味や匂いをもつわけではない．人が味わって，嗅いで初めて味と匂いが認識されるのである．私たちが日常生活で「味」と言うとき，それには注意を有する．その「味」は，味覚はもちろんのこと，他の感覚である嗅覚，触覚，視覚，聴覚も含み統合した感覚のことである．心で思い，感じ，言葉にした瞬間に「味」は複合・融合感覚となっている．

他方，図２に示すとおり，「味蕾で感じる味」は客観性を持つ．味を呈する化学物質は，味細胞の集合からなる味蕾で受け取られる．味細胞を包む生体膜には受容体が存在し，膜電位が化学物質の受容で変わる．その電圧の変化は，味細胞にシナプスを介して接続した味神経へ伝わるが，多くの味細胞や味神経は１つの味質のみを受容し伝える．

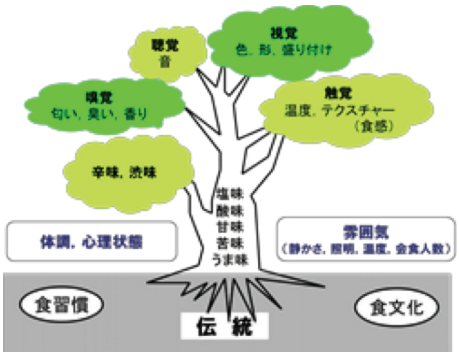


Fig.1 Elements that make up palatability

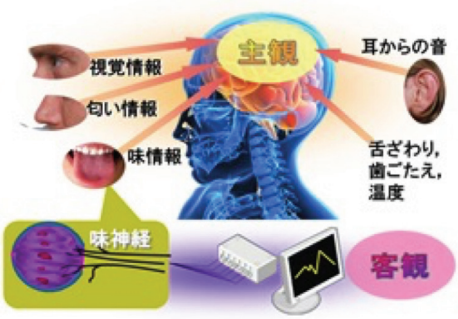


Fig.2 Subjectivity and objectivity

この事実から分かるとおり，舌の味神経に電極を刺し，電位を記録すると，その人がどういった味を感じているかを知ることができる．つまり，味を客観的に把握できる．「舌で感じる味」または「味神経を伝わる味情報」は客観的に捉えることが可能である．味覚センサは「舌で感じる味」を数値化する．

Fig.3 Taste sensing system TS-5000Z (Intelligent Sensor Technology, Inc.)

2．味覚センサ

味覚センサは脂質と可塑剤，高分子をブレンドした膜（脂質/高分子膜）を味物質の受容部分とし，この複数の受容膜からなる応答電位出力から味を数値化（デジタル化）する．味覚の世界に初めて「味の物差し」（scale of taste）が提供されたのである [1-4]．インテリジェントセンサーテクノロジー社から味認識装置 TS-5000Z が開発・販売されており，これまでに 400 台以上の味認識装置（図３：TS-5000Z）が世界各国で利活用されている．その用途は新食品開発ならびに食品の品質確保であることは当然であるが，マーケティングにも威力を発揮している．

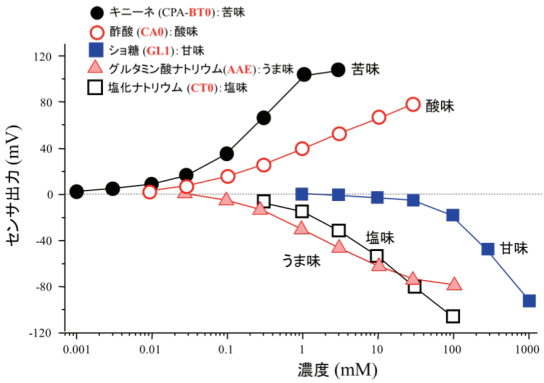


Fig.4 Concentration dependence of five kinds of electrodes on five basic tastes [3,4]

図４に味覚センサの五基本味応答を示す [3,4]．特徴はその応答閾値がヒトと近いこと，また濃度の対数（log）に線形で応答する領域があることであり，これは生体系でよく知られた Weber-Fechner の法則（感覚強度が刺激の対数に比例して変化）と合致する．

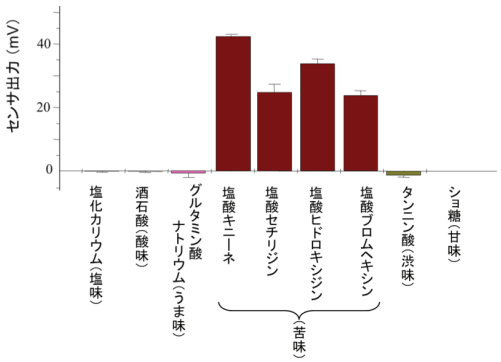


Fig.5 Responses of bitterness electrode (BT0) to six taste qualities [4]

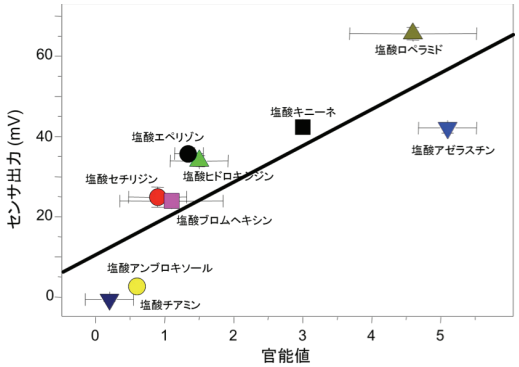


Fig.6 Relationship between taste sensor and human sensory scores [4]

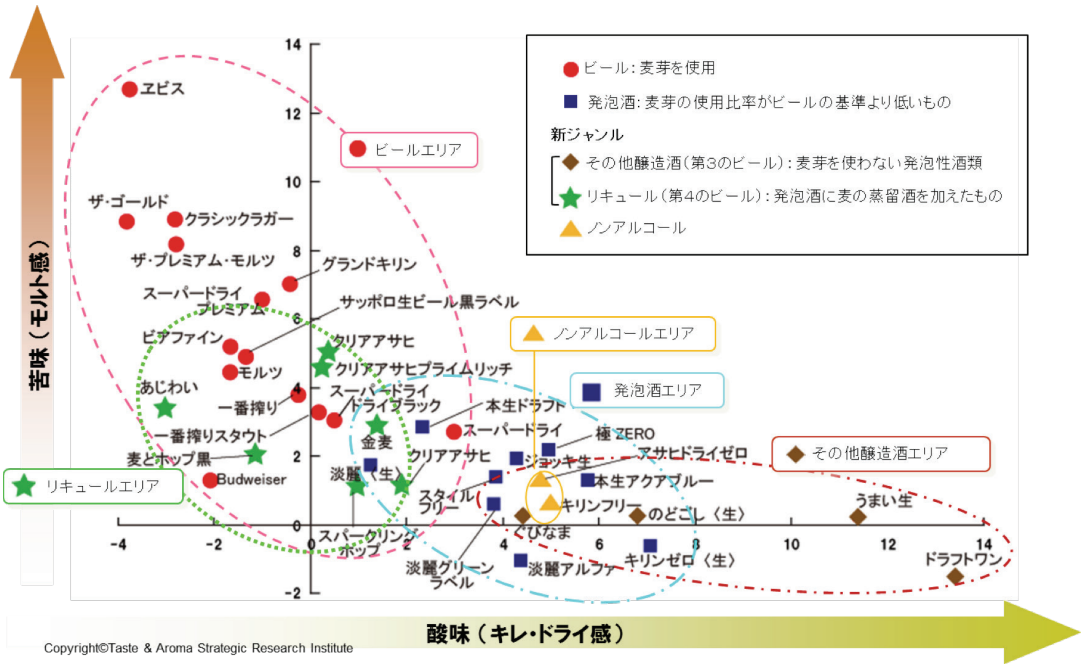


Fig.7 Beer, liquor, and other fermented beverages taste map（Taste & Aroma Strategic Research Institute Co., Ltd.）

図５に苦味用の味覚センサの五基本味と渋味への応答を示す[4]．この苦味用センサは甘味，酸味，塩味，うま味，渋味にはほとんど応答せず，苦味を呈する物質に大きく応答している．また図６に示すとおり，センサは人による官能検査結果と一致する出力を示す[4]．人の苦味を定量化できるのである．他の味質に関するセンサも同様に，味質に高い選択性を有し，人の官能値とも高い相関を示す．味覚センサは種々の食品へ適用され，その味の定量化に成功している．

図７にビール，発泡酒，新ジャンル，ノンアルコールビールの味を苦味（モルト感）と酸味（キレ・ドライ感）の軸で示す．図を見ると，昔からあるエビスビールのようなオールモルトタイプは，苦味が強いことがわかる．それが，1987 年のアサヒスーパードライの登場により，キレとドライ感をもたせた辛口ビールが増えてきた．

3．超高感度匂いセンサ

超高感度匂いセンサは，表面プラズモン共鳴（SPR：Surface Plasmon Resonance）と抗原抗体反応の合わせ技を使っている．SPR センサでは，非特異吸着と特異的結合の区別がつかない．つまり，抗体が金薄膜表面の抗原類似物質に特異・選択的に結合すること（特異的結合）が望ましいわけであるが，現実には，それ以外の部位であるむき出しの金薄膜表面に結合するといった非特異吸着も起こり，どちらも屈折率変化を引き起こすので，測定誤差の原因となる．そこで，正荷電と負荷電のポリマーで中性化し非

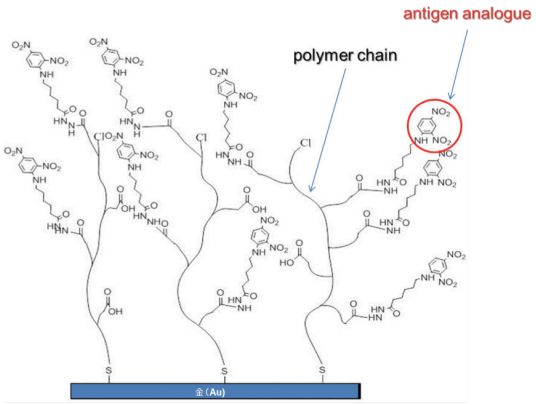


Fig.8 Polymer surface for SPR[5)]

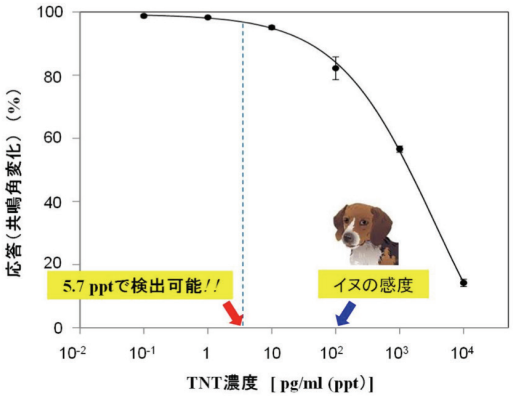


Fig.9 Result of measurement of TNT [5)]

特異吸着を防ぎ，爆薬分子への高い感度を得るため，表面開始原子移動ラジカル重合によりポリマー鎖長も調整したポリマー表面を有する機能膜を作製した（図8）[5)].

トリニトロトルエン（TNT）測定結果を図9に示す[5)]. 検出感度5.7 pptを有することがわかる. イヌのTNT検出感度が約100 pptであるから，イヌより高い感度を有するelectronic dog nose [6)]である.

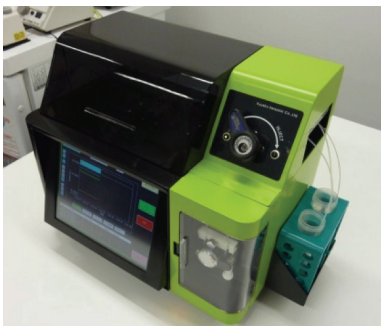


Fig.10 Commercialized ultra-high sensitive odor-biosensor (Kyushu Keisokki Co., Ltd.)

製品化された超高感度匂いセンサを図10に示す. 対象として爆薬や不正薬物，そして食中毒細菌，ウイルス，食品製造ラインにおける着香（移り香）物質等の検出にも適用可能である．こういった超高感度匂いセンサを用いることで，がれきの下に埋もれた人を探し出すことも将来的には可能となるだろう.

参考文献

(1) Toko, K. ed., Biochemical Sensors-Mimicking Gustatory and Olfactory Senses, Pan Stanford Publishing, Singapore, 2013.
(2) 都甲 潔, 飯山 悟, 「トコトン追求　食品・料理・味覚の科学」, 講談社, 東京, 2011.
(3) Tahara, Y.; Toko, K. *IEEE Sensors Journal*, **2013**, *13*, 3001-3011.
(4) Kobayashi, Y.; Habara, M.; Ikezaki, H.; Chen, R.; Naito, Y. ; Toko, K. *Sensors*, **2010**, *10*, 3411-3443.
(5) Yatabe,R.; Onodera,T.; Toko, K. *Sensors*, **2013**, *13*, 9294-9300.
(6) Onodera, T.; Toko, K. *Sensors*, **2014**, *14*, 16586-16616.

所属班：B01-4　生物環境応答・制御システム班

所属機関：国立大学法人神戸大学
氏名：尾崎　まみこ
所属機関住所：〒657　兵庫県神戸市灘区六甲台町1－1
e-mail：mamiko@port.kobe-u.ac.jp
研究キーワード：アリ　嗅覚センサ　多重成分差分分析
SBF-SEM

匂いで良い加減を知る？アリの巣仲間センシング

Olfactory senseing for appropriate decision making in nestmate-recognition of ant

1．はじめに

生物は周囲の環境を的確に知って安心･安全な生き方を選択する。攻撃もまた不安材料となるよそ者，敵対者を除いたのちに安心･安全を取り戻す行動とみることができる。社会性生物であるアリにとっては巣仲間と非巣仲間を区別し，非巣仲間に対して素早く攻撃を決断することが重要である（Fig.1）。アリはその判断を嗅覚に拠っており，相手の体臭を嗅ぎ取って自分や仲間の体臭との違いを知覚している。ここで，異変を感知する環境化学センサの規範として取り上げるクロオアリ働きアリの体臭は 18 種類の体表の炭化水素（CHC）が巣毎に特徴ある比率で混合されてできている[1,4]。

Fig.1 Aggressive behavior of Japanese Carpenter ants

2．多成分混合臭センサユニット

私達が明らかにしたところでは，クロオオアリでは巣仲間識別を司る特有の感覚子で働く嗅覚受容体は全 400 種のうち 100 種類余りと推定された。この小さなセンサユニット（長さ約 20mm 直径 4mm の錘状感覚子）の中で 100 個以上の受容神経が，共同して多成分混合臭を感じ，自分の匂いと比べながら相手の匂いを監視している[1,3]。

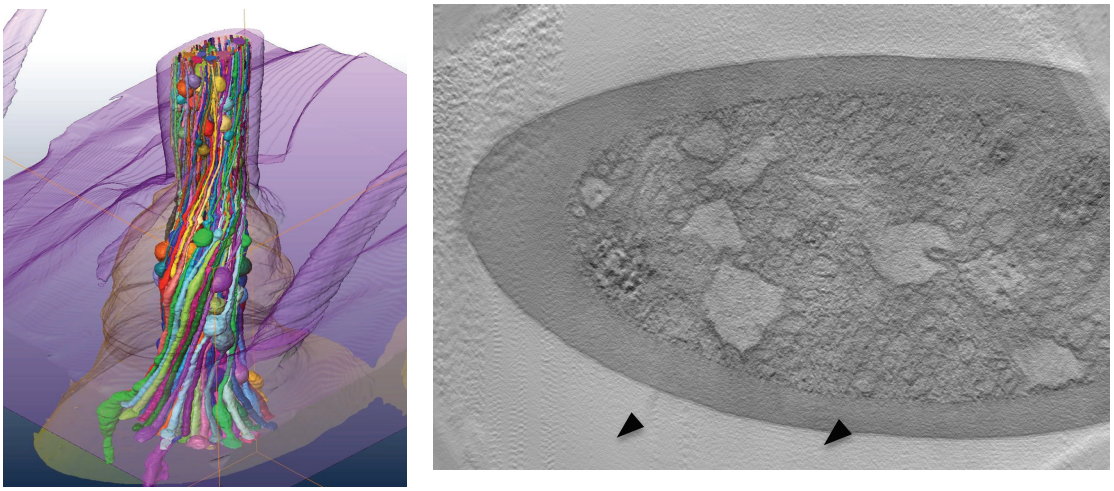


Fig.2 Sensory unit of the CHC sensillum of ant. Left: Structural model based on SBF-SEM data. Right: A tomographic image of cross section of the CHC sensillum by UHV-EM.

感覚子の中で100個の受容神経突起が分岐せず所々で瘤を作って伸びている（Fig.2 Left）。瘤のところで隣接する受容神経どうしが入り組んだ形で絡み合っている像が多くみられた（Fig.2 Right arrowheads）。この受容神経間の相互作用を示唆する構造が匂いで良い加減を知るアリの巣仲間センシング[1-3]に重要な意味を持つと考えている。

参考文献

(1) Ant nestmate and non-nestmate discrimination by a chemosensory sensillum. M. Ozaki, A. Wada-Katsumata, K. Fujikawa, M. Iwasaki, F. Yokohari, Y. Satoji, T. Nisimura and R. Yamaoka *Science*, 309, 311-314, **2005**

(2) Chemical Discrimination and Aggressiveness via Cuticular Hydrocarbons in a Supercolony-Forming ant. Midori Kidokoro-Kobayashi, Misako Iwakura, Nao Fujiwara-Tsujii, Shingo Fujiwara, Midori Sakura, Hironori Sakamoto, Seigo Higashi , Abraham Hefetz, Mamiko Ozaki, *PloSONE.*, 7(10): e46840, **2012**

(3) M.Ozaki, Hefetz A. Neural Mechanisms and Information Processing in Recognition Systems. *Insects*. 5(4):722-741, **2014**

(4) 尾崎まみこ　小林碧　特許　5853703 号 **2015**

謝辞

試料固定は川崎医療短期大学の泰山浩司教授に, SBF-SEM は生理学研究所の村田和義教授と宮崎直幸助手に, UHV-EM は大阪大学超高圧電子顕微鏡センターの井上加奈子博士に師事し竹市裕介学士が行った。受容神経間連絡の役割は北海道大学の久保英夫教授, 電気通信大学の栗原聡教授と理論研究を進めている。科研費課題番号 24120006。

所属班：公募
所属機関：旭川医科大学医学部化学教室
氏名：室崎 喬之
所属機関住所：〒078-8510 北海道旭川市緑が丘東2条1丁目1-1
e-mail：murosaki@asahikawa-med.ac.jp
研究キーワード：表面微細構造、高分子、付着生物、抗付着材料

フジツボの抗付着に適した「良い加減」な表面微細構造

Antifouing microstructured surfaces against barnacles

フジツボに代表される付着生物は、人工の水中構造物に付着し汚損する、汚損生物としても知られている。船底に付着し船の燃費に悪影響を及ぼす、漁網の目を詰まらせ養殖魚を窒息死させる。発電所に冷却水を取り込む取水口を詰まらせる等、付着生物による汚損被害は我々の生活に直結する大きな問題である。近年、生物表面の幾何的性質に着想を得た微細構造表面加工による防汚技術が研究・開発されてきており、バクテリアや藻類に対し抗付着効果を示す事が明らかとなってきている[1)]。しかし既存のエッチングやフォトリソグラフィ等によるトップダウン型の表面微細加工技術はコストが高く、また複雑な作製プロセスを必要とする。

近年、下村らは水滴を鋳型とした自己組織化ハニカムフィルムの作製に成功した[2)]。これは溶媒蒸発時の結露で生じた微小水滴が自己組織化的に規則配列する現象を利用したものであり、規則配列した水滴を鋳型とすることで口径が数μm～数十μm の細孔がハチの巣状に二次元に配置された構造をもつ多孔質のフィルムが得られる（Fig.1）。この多孔質体をベースにピラー構造など様々な構造を持つ表面の作製が可能となっている。本研究では、モデル海洋付着生物としてタテジマフジツボ（*Amphibalanus amphitrite*）を用い、自己組織化表面微細構造のサイズと幾何的性質がフジツボ付着期幼生（キプリス幼生）（Fig.2）の着生に与える影響について調べてきた。

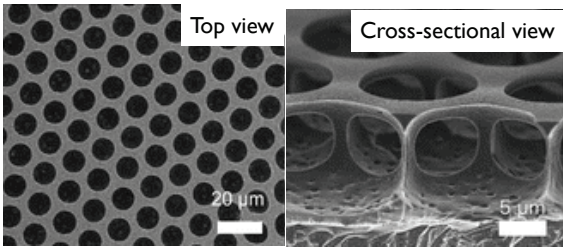


Fig.1 SEM image of self-assembled honeycomb-structured porous film

これまでの研究結果から、ハニカム構造上では他の微細構造に比べキプリス幼生の付着が少なく抗付着効果が認められた。またハニカム構造の孔径が増大するに従ってキプリス幼生の付着が減少する傾向が見られた。また、キプリス幼生が付着・変態の前段階に行う「探索行動」の動態追跡を解析した結果、ハニカム構造上における探索行動は他の基板に比べ少ない事が明らかとなり、キプリス幼生探索行動の“Walking”行動を阻害する事が抗付着効果に重要である事が示唆された。

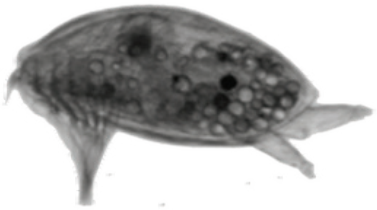


Fig.2 Barnacle's cyprid larva
Body size is about 500μm

さらに、ハニカム構造に特徴的な孔径・リム幅・深さといった幾何的パラメータに注目し、これら幾何的パラメータがフジツボの付着に与える影響について調べた（Fig.3）。その結果、深さが 5μm 程度の場合には、roughness factor （= 基板の真表面積 / 投影表面積）が増加するほど付着個体数が増加する傾向が見られた。これは roughness factor の大きい基板ほどフジツボ接着時の接地面積が増大することが影響しているのではないかと考えられる。一方深さが 15μm を超えるものの場合には、roughness factor との相関性は見られなかった。これらの結果よりハニカム構造の深さパラメータは抗付着効果に関し重要である事が示唆される。

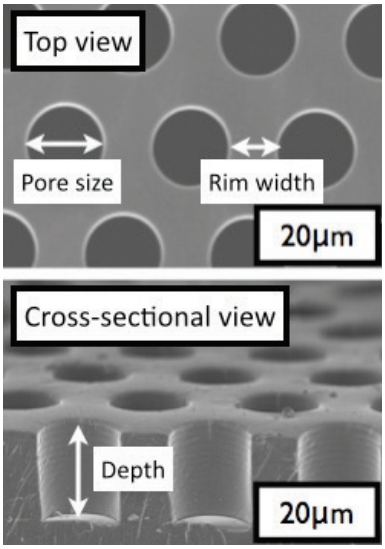


Fig.3 The SEM image of a honeycomb patterned microstructured surface.

参考文献

[1] J. F. Schumacher et al., *Biofouling*, **2007**, 23, 1, 55-62.
[2] N. Maruyama, et al., *Supramol. Sci.*, **1998**, *5*, 331-336.

謝辞

本研究は B01-1 班、B01-5 班との共同研究により実施されており、ここに感謝致します。

所属班：B01-2班
所属機関：東京理科大学理工学部物理学科
氏名：吉岡伸也
所属機関住所：〒278-8510
e-mail：syoshi@rs.tus.ac.jp
研究キーワード：表面構造，規則性，不規則性，いい加減，ロバストネス

昆虫の表面構造における『いい加減さ』

Not perfect but moderate structures on the insect surface

1．はじめに

昆虫の表面構造は美しい。チョウの翅の上に並ぶ鱗粉は，ほとんど同じ大きさで，同じ方向に，しかも等間隔で配列している。その様子はミクロな屋根瓦のようである。昆虫の複眼には，あたかも計算機で描いたかのような正六角形の個眼が観察される。それらが湾曲した表面に配列し全体としてドーム型の複眼を形成している（図 1）。しかし，１０から１００ミクロン程度の大きさを持つこれらの例よりもう一回り小さい構造，すなわち光学特性に重要なサブミクロンサイズの構造になると，話は複雑になる。例えば構造色を生み出すことで有名なモルフォチョウの鱗粉には，周期的な微細構造が含まれており，光の干渉を起こして鮮やかな青色を生み出している。しかし，微細構造は単に周期的なだけではなく，不規則な要素を併せ持つことがわかっている。同様なことはタマムシの構造色にもあてはまり，構造色を生み出す昆虫の構造は，規則的である一方である程度は欠陥や不規則性を含んでいるのである。一方，蛾の複眼の個眼の表面には，モスアイ構造とよばれる無数の突起が配列している。反射防止効果を発揮するその配列は，規則的な結晶状ではなくアモルファス状に乱れている。これらの例は，昆虫の表面構造が，乱れているにもかかわらず，構造色やモスアイ効果といった光学的な機能を持つことを示している。構造乱れは機能に影響を与えない

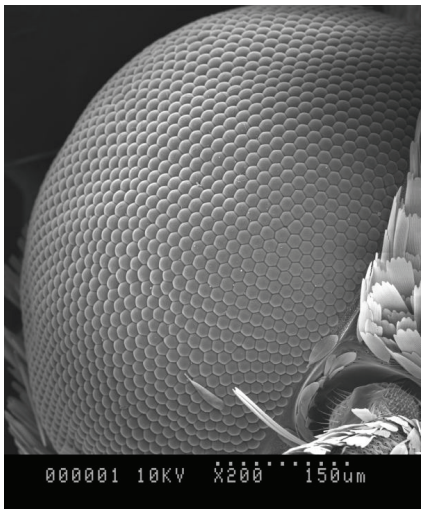


Fig.1 Compound eye of a moth.

のだろうか，形成過程において乱れはどのように制御されているのだろうか，乱れにはどのような意義があるのか，あるいはないのか，といった様々な疑問が湧き上がる。

2．モスアイ構造の場合

B01-2 班ではこれまでモスアイ効果を一例として，微細構造の観察，配列乱れの解析，光学特性の測定，数値計算による光学特性の評価などを行ってきた。例えばクマゼミの翅には図２に示すような突起構造が観察される。この突起位置を母点としてボロノイ分割を用いた解析を行い，配列乱れの定量化を試みた。その結果，乱れの大きさは，突起位置座標の標準偏差として表現すると，平均間隔のおよそ１０%程度であることが分かった。次に，乱れを含んだ突起の配列に対して反射特性の数値計算を行い，この程度の乱れは反射防止効果に大きな影響を与えないことが分かった。実際にセミの翅を対象として実験をすると，反射率は 0.1%程度であり，突起構造がない場合の反射率（およそ８%）と比べて十分に低いことが確認された。すなわち，モスアイ効果は突起の配列乱れに対してロバストであり，そのことを知ってか知らずか，クマゼミの翅はアモルファス状に乱れているのである。

3．乱れの意義

モルフォチョウの微細構造に含まれる不規則性は，反射光を幅広い方向に広げる効果を持つことが分かっている。その意味で，構造の不規則性は積極的な役割を果たしていると言えるだろう。また，仮に不規則さの度合いが大きすぎると，光の乱反射が起きるために，構造色の鮮やかさが減少する。すなわち，鱗粉の微細構造は“いい加減に（適切な度合いで）”乱れていると言える。一方，モスアイ構造に関しては，複数の昆虫で突起構造の観察を行った結果，異なる度合いの乱れが存在することが明らかになった。しかし，乱れ度合いは，いずれも反射防止効果に影響を与えるものではないことが，数値計算の結果からわかってきた。

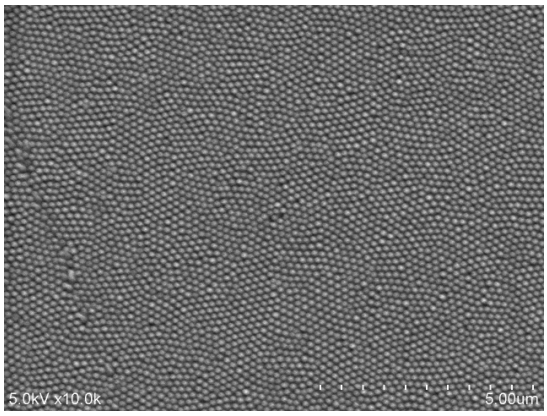


Fig.2 Moth eye structure of a cicada.

モスアイ構造は，反射防止だけでなく，撥水効果，滑落効果など多機能であることが分かっている。乱れの意義に関しては反射特性だけでなく，他の機能も含めて考える必要があるだろう。また，モスアイ効果がどうして乱れに対してロバストなのか，その理論的な解釈もなされていない。これらの課題に関して新しくわかったことを発表する。

所属機関：浜松医科大学医学部総合人間科学講座生物学
氏名：山濵　由美
所属機関住所：〒431-3192 浜松市東区半田山1－20－1
e-mail：hamahama@hama-med.ac.jp
研究キーワード：クチクラ，複眼，構造，自己組織化，電子顕微鏡観察

眼の構造における「良い加減さ」水棲生物の場合

Moderately suited structures of the compound eye around their environment - in the case of the aquatic Arthropod

1．はじめに

陸上に生息する節足動物の複眼には，昆虫類ヤガ類複眼の角膜クチクラ表面のように，無反射性の光学特性を備えたナノパイル構造（モスアイ構造）をもつものが知られている。一方，水中に生息するものでは，角膜クチクラの屈折率が水の屈折率 1.33 とほぼ同じであるため，ナノパイル構造などの特殊な構造を必要としないと考えられている。本研究では，水中あるいは水陸両方の環境に棲息する水棲昆虫および甲殻類などの節足動物に焦点を絞り，複眼の表面構造について比較・検討を行った。その構造の比較の結果，およびその研究過程で発見した海浜に生息する甲殻類端脚目 *Talitrus saltator* の複眼内部構造の，光学的損失を起こさせるような個眼の湾曲構造について報告する。

2．水棲節足動物の複眼表面構造における良い加減さ

水中あるいは水面，水陸両方の環境に棲息する水棲昆虫には，トンボやユスリカのように幼虫期の一時期を水中で過ごすものと，生涯を通じて水中に棲息するものがいる。半翅目のチビミズムシやミズムシは，陸上にあっては飛翔することができ，水面下にあっては翅の周囲に空気の層をまとって長時間の潜水にも耐えることができる。このような水棲昆虫において，複眼表面には空気の層は見られず，その表面構造においてもニップル構造のような構造は見られなかった。一方，

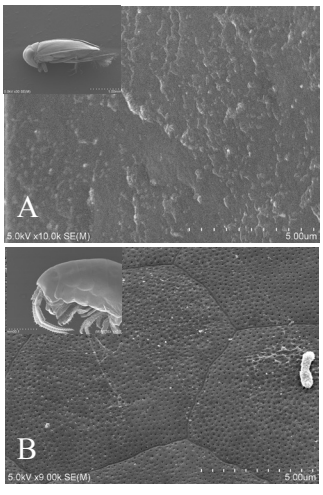


Fig.1 SEM images of compound eye surfaces.
A: Insect eye (*Micronecta sendula*), B: Crustacean eye (*Sinorchestia nipponensis*)

甲殻類はえら呼吸を行うために，生息域は水の環境と密接に関わっている。甲殻類の複眼においては，bristle が不規則に配置していたり，角膜表面に穴が開いていたり，表面に油性の分泌物を付着させている種も見られたが，表面構造に様々なものが含まれていても視覚機能に影響を与える光学特性はないことが示唆された。

３．甲殻類端脚目の複眼内部構造における良い加減さ

地中海の砂浜の潮間帯に棲息する端脚目 *T. saltator* は，太陽や月，天空のグラデーションなど，視覚情報に依存して海と陸の間を直線的に定位することが知られている[1-2]。*T. saltator* の複眼構造は正立像眼(apposition eye)型の個眼構造を持つ。正立像眼型の複眼では，複眼の構成単位である個眼ごとに結像系を持つが，その光学系構造である円錐晶体(crystalline cone)は，一般的に知られているような円錐形ではなく(Fig.2)，角状に曲がったレンズ構造を持ち，光受容部位であるラブドームも長軸方向に曲がっていることが発見された(Fig.3)。このように曲がった構造では，光学的には光受容能の損失が予想されるのにもかかわらず，視覚定位行動には影響しない。内部構造においても，良い加減さをもつことが示唆された。

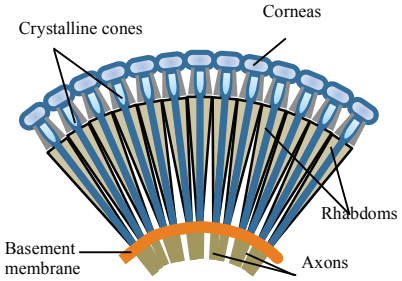


Fig.2 General Model of the apposition eye structure.

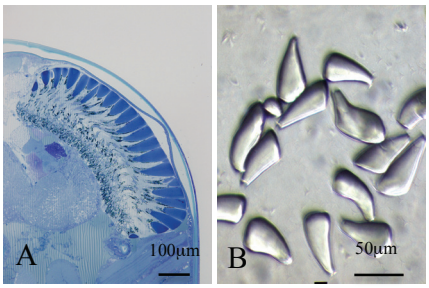


Fig.3 Compound eye structure in the sandhopper *Talitrus saltator*. A: dorso-ventral cross section of left compound eye, B: horn-shape crystalline cone dissected from the ommatidia.

参考文献

(1) Ugolini, A.; Laffort, B.; Castellini, C.; Beugnon, G. *Ethol. Ecol. Evol.* **1993**, *5*, 489–499.

(2) Ugolini, A.; Borgioli, G.; Galanti, G.: Mercatelli, L.; Hariyama, T. *Biol. Bull.* **2010**, *219*, 72-79.

謝辞

本発表の機会を作っていただきました下村政嗣先生，研究のご指導いただきました針山孝彦先生をはじめ，議論に加わってくださった B01-2 班の諸先生に感謝申し上げます。また，電顕試料作製にご協力いただきました浜松医科大学光尖端医学教育研究センター超微形態解析室の大田勲博士に感謝申し上げます。本報告の一部は，浜松医科大学針山先生の研究グループと Firenze 大学の Ugolini 先生の研究グループとの国際研究協力により行われました。

（4）トピックス（PEN より）

バイオミメティクスに対する最初の意識調査

産総研ナノシステム研究部門
ナノテクノロジー戦略室　安順花、関谷瑞木、阿多誠文

産業技術総合研究所（産総研）ナノシステム研究部門ナノテクノロジー戦略室では、平成 24 年度科学研究費補助金新学術領域「生物多様性を規範とする革新的材料技術」プロジェクトの一環として、バイオミメティクスのテクノロジーガバナンス・社会受容の課題に取り組んでいる。

バイオミメティクスは、生物の構造や機能、生産プロセス等から着想を得て、新しい技術の開発やものづくりに活かそうとする科学技術であり、古くより合成繊維や電気回路といった発明をもたらしてきた。今世紀になって、世界的なナノテクノロジーの展開と相まって、ロータス効果やヤモリテープなどの新しい材料が開発され、生物学・博物学と材料科学や工学の緊密な学際融合に基づいた新しい学問体系を生み出すとともに、材料設計や生産技術の新規開発とそれに基づく省エネルギー・省資源型ものづくりなど、持続可能な社会の実現への技術革新をもたらすものとして産業界からも注目されている [1]。

それを受けて、技術の体系化や産業化に向けての研究開発や国際標準化などが進められているが、社会に受け入られるために欠かせないのが、消費者となる市民のバイオミメティクスに対する理解である。そこで産総研ナノテクノロジー戦略室では、市民のバイオミメティクスに対する理解の程度を把握するため、アンケート方式による意識調査を行った。

今回の調査は 2014 年 2 月に、全国の 20 歳～ 69 歳の男女 1000 人を対象としてインターネットで実施された。対象者は性別・年齢代別の 10 セル各 100 人ずつが割り当てられ、抽出された。調査内容はバイオミメティクスに対する、認知・知識、態度、期待、製品の購入意思等である。

1. バイオミメティクスに対する認知・知識

「バイオミメティクス（バイオミミクリー、生物規範工学、生物模倣技術、バイオニクスを含む）という言葉について聞いたり読んだりしたことがありますか」について、「ある」と答えた人は 11％（n=110）であった（図 1）。さらにこの 110 人を対象として、「バイオミメティクスをどのくらい知っていますか」と聞いたところ、図 2 に示すように、回答者の 65％が「あまり知らない（53％）」または、「全く知らない（12％）」と答え、バイオミメティクスに対する認知・知識は極めて低いことが分かった。

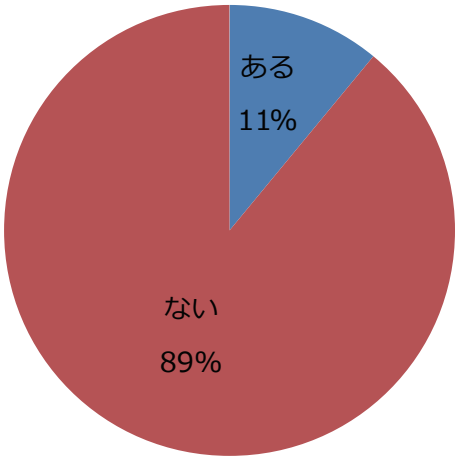


図 1　バイオミメティクスに対する認知度

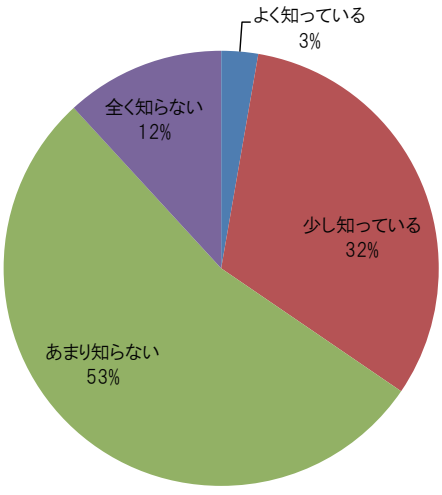


図 2　バイオミメティクスに対する認知度－知識

2. バイオミメティクスに対する態度

「バイオミメティクスという言葉から受ける印象はそのようなものでしょうか」という質問に対する結果をまとめたものが図 3a および図 3b である。図 3a はバイオミメティクスという言葉を聞いたり読んだりしたことがない 890 人を対象としている。回答者の 71％は「どちらとも言えない」と答えた。

一方、バイオミメティクスについて説明したうえでその印象を聞いた結果が図 3b である。「非常に役立つ（40%）」、「どちらかというと役立つ（38%）」とポジティブに答えた人は 78.4％であり、「どちらとも言えない」という判断保留は図 2a の 71％から図 2b の 19.9％へ大幅に減少したことが分かる。

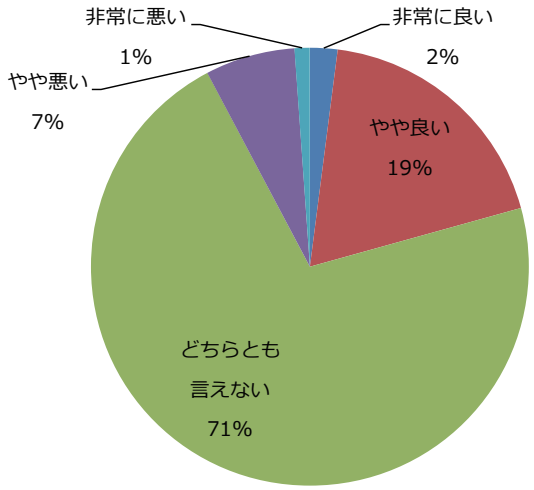


図 3a　バイオミメティクスに対する印象：情報提供以前（Initial Impressions、n=890）

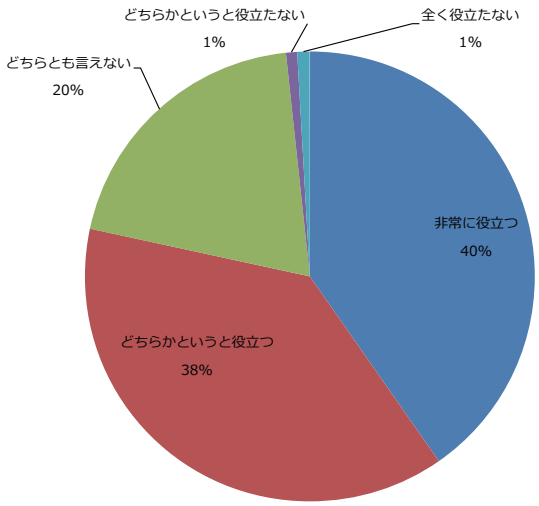


図 3b　バイオミメティクスに対する印象：情報提供後（Informed Impressions、n=1000）

3. バイオミメティクスに対する期待

バイオミメティクスについて、「非常に役立つ」、「どちらかというと役立つ」と答えた回答者（n=784）に対して、具体的に「どの分野に役立つと思いますか」と聞いたところ、図 4 に示すように「性能・機能の向上」が最も多く、省エネルギー、安全性の向上、省資源の順であった。これは冒頭で説明したような、省エネルギー・省資源型ものづくりなど、持続可能な社会を実現することのできる技術としてのバイオミメティクスに対する理解が不足しているためと考えられる。

一方、「どの産業分野への適用を期待しますか」という質問に対しては、図 5 に示すように「医療・薬品（72.3%）」、「環境（54.5%）」、「日用品・家電等（48.6%）」の順で回答があった。

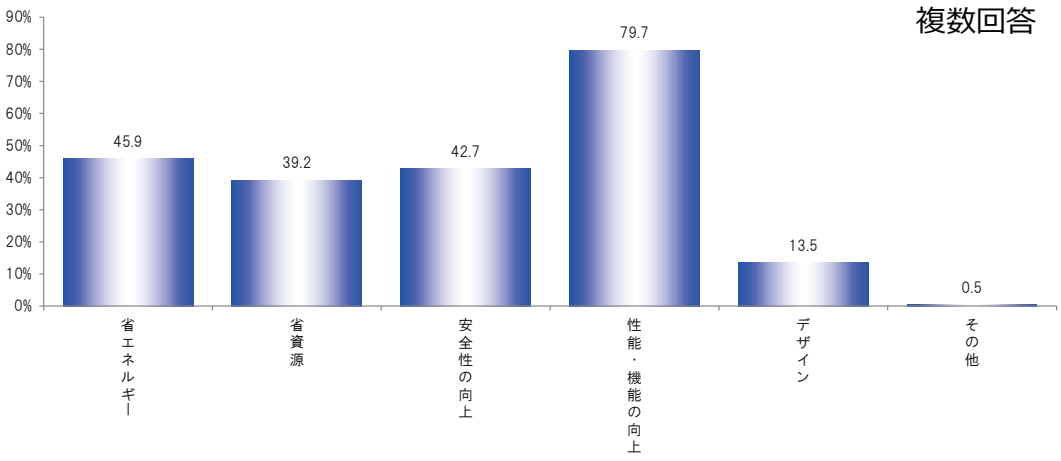


図 4　バイオミメティクスに対する期待（n=784）

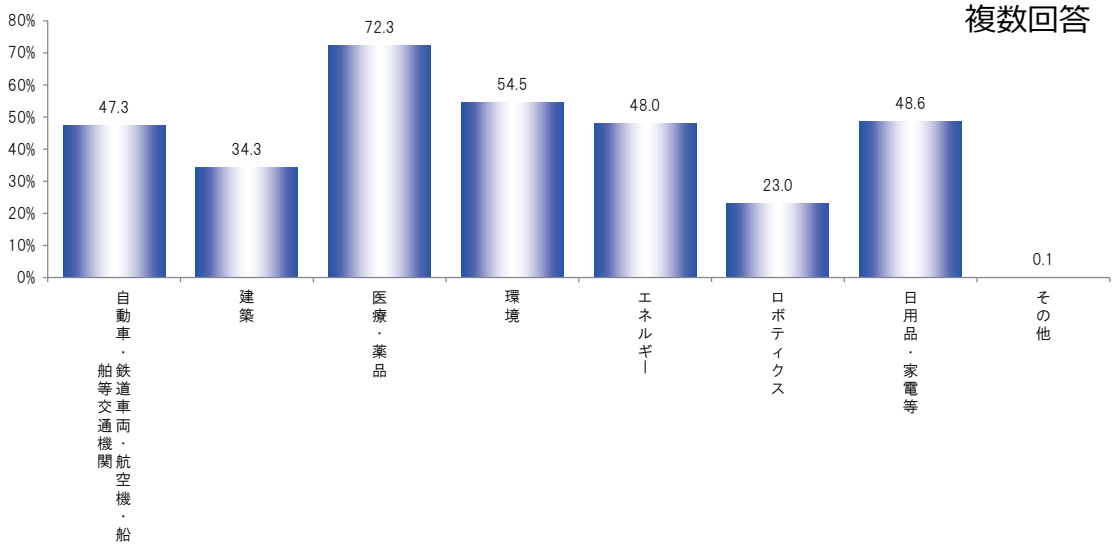


図 5　バイオミメティクスの産業への寄与（n=784）

4. バイオミメティクス製品の購入意思

図 6 は、「バイオミメティクスが使われた製品、あるいはバイオミメティクスと表示された製品を購入したいと思いますか」という質問に対する回答をまとめたものである。「購入したい」28.9%、「分からない」66.6% であり、バイオミメティクスに対する知識や情報の不足が購入意思につながっていると考えられる。

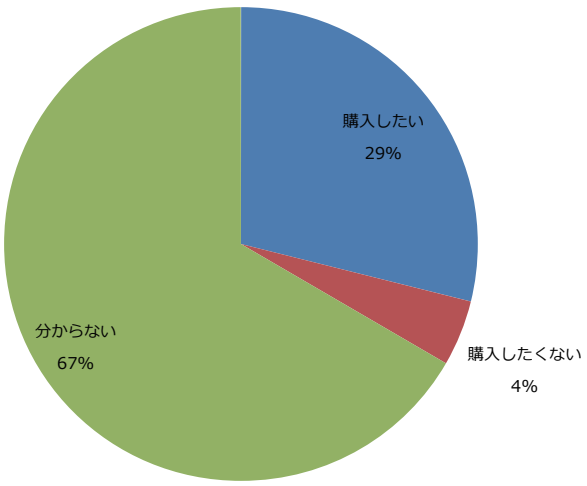


図 6　バイオミメティクス製品の購入意思

References：

[1] 公益社団法人高分子学会バイオミメティクス研究会
126 http://main.spsj.or.jp/c12/gyoji/biomimetics.php

寄稿

カラスの行動にまつわる工学的なエトセトラ

東京大学総合研究博物館　松原始

生物学者は普段、生物学的視点から生物を見ている。しかし、生物は文字通り「生きている物」でもあり、その機能的・物質的な基盤は物理法則や化学に従う。よって、工学的な視点で生物を見ることも、当然、可能である。しかし、現在関わらせていただいている生物規範工学のような形で、積極的に生物学と工学をリンクさせて考えることは、あまりなかった。筆者は動物行動学が専門であるが、工学を意識して鳥類を俯瞰すると、どのようなパースペクティブが得られるだろうか。例えば鳥類の視覚について語る時、我々は光の波長を意識しないわけにはゆかない。人間の眼は三色素型だが、鳥類は四色素型であり、紫外線領域まで見えていると考えられる。これが実際の鳥類にどんな影響を及ぼすのだろう。

筆者の研究対象であるカラス類について言えば、意外なところで紫外線反射がカラスそして人間の生活に関わっている。それはゴミ袋、そして食品の探知である。近年、なにかと話題になっている黄色いゴミ袋がある。これは漠然と「カラスが寄って来ない」と認識されていたり、甚だしい場合は「カラスは黄色が見えない」「カラスは黄色が嫌い」といった都市伝説まで生じさせている。これは明らかな間違いであり、カラスは黄色が嫌いではないし、まして見えないわけでもない。むしろ人間以上に見えている。実際には、この黄色ゴミ袋の効果は二つである。一つは、鳥類は原色に対する感受性が人間より高いことを利用し、「人間にとって半透明黄色のものであっても、鳥には完全な黄色に見えるだろう」という効果である。そのため、カラスの視覚では袋自体の色に邪魔されて、内容物がよく見えないと考えられる。鳥類は一般に嗅覚は発達しておらず、視覚に頼って餌を探すため、視覚刺激を封じられれば採餌行動を起こせない。

もう一つは、このゴミ袋の持つ紫外線抑制効果である。具体的な成分は未公表なので不明だが、恐らく紫外線を吸収しているのだと考えられる。鳥類は一般に紫外線領域まで見えるため、カラスも当然、紫外線反射も含めて外界を認識していると考えられる。従って紫外線反射がカットされた状態では見ている対象を正しく認識することができない。我々もカラーフィルターをかけられてあり得ない色になった食品など、到底うまそうに見えないだろう。よって、識別のために紫外線領域の反射が重要な物品は、この特殊なゴミ袋を用いることで識別されにくくなると考えられる。

もちろん全ての対象物の見え方が変わるわけではなく、最初から紫外線反射の小さい物体の見え方は変わらない。筆

者らは以前、食品サンプルと実際の食品をカラスに提示する実験を行ったことがある。この時、ベーコンの食品サンプルには見向きもしないハシブトガラスが、フライドポテトや目玉焼きのサンプルはつつこうとしたのだった。この理由が何としてもわからなかったのだが、ある時、「紫外線反射ではないか」と気づいた。そこで分光分析機を用いて計測してみると、ベーコンの脂身部分は紫外線を強く反射していたのに対し、食品サンプルの白い部分は紫外線を反射していなかった。つまり、ベーコンの食品サンプルは可視光域では上手に色を再現しているけれども、紫外線領域まで含めれば再現性が悪く、カラスにはベーコンに見えないのだ。同様に紫外線反射を抑制されたベーコンは、カラスにとっては餌に見えないに違いない。一方、フライドポテトは特に紫外線を反射していなかった。だから、可視光線域の反射だけを近似させた食品サンプルであってもカラスを騙すことが可能だったわけである。

また、近年の研究ではカラスの雄は紫外線反射が雌より強い可能性が示唆されている。これは羽毛に含まれる粒状構造および表面構造によるもののようだが、カラスの視覚には、雌雄が違って見えている可能性があるわけだ。紫外線の見えない我々はカラスの雌雄を識別できず、そのために捕獲・標識しない限り行動の性差も調査できないわけだが、もし我々が紫外線領域まで見える「眼」を持っていれば、カラスの野外調査はより簡単になるに違いない。

カラスのペア形成についてはわかっていない部分が大きい。ハシブガラスやハシボソガラスは非繁殖集団の中でペアを作るが、この時、何が異性に対するアピールになっているのかは不明である。カラスは囀りを行わないので、歌によって雌にアピールすることはできない。カラスに近縁と考えられるフウチョウ類のような飾り羽やダンスもない。カラスの場合、異性に対するアピールは順位であり、実力である。だが、本当に見かけは関係ないのか。カラス類の雄はしばしば首を伸ばし、雌に見せつけるような行動を取る。ワタリガラスは喉から胸にかけて、たてがみ状の羽毛を持っている。こういった場所に、紫外線領域で雌にアピールするためのマーカーが隠れていないとも限らないだろう。これもまた、肉眼で見ている観察者には知り得ないことである。

カラスの持つ工学的な特徴について、他にも考えさせられる点は幾つかある。例えば、嘴の構造である。東京の都市部で見かけるカラスはほぼハシブトガラスであるが、ハシブトとは「嘴太」であり、太く長く、アーチ状に曲がった嘴を持つことに由来する。ハシブトガラスはもともと森林性の雑食性鳥類だったと考えられているが、死肉食性でもある。すなわち、森林内でシカ等の大型動物が死んでいれば集まって来て、その死骸を漁る。実際、知床でエゾシカの死骸を食べるために集合して来たハシブトガラスの群れを見たこともある。

さて、ハシブトガラスの嘴は長さが 70mm もあり、猛禽ほどではないにせよ、先端も尖っている。この嘴を用いて肉を引きちぎるわけだが、では、ハシブトガラスの嘴の大きさや形は、どのようにして決まっているのだろうか。肉を切り取るだけならば、これほど大きな嘴は不要である。他の猛禽類を見る限り、カラスほど細長い嘴を持ったものはいない。また、猛禽の嘴はどれも先端部がもっと鋭い。

カラスの嘴は「切っ先」に当たる先端部がそれほど鋭くない事から、「突き刺す」「切り裂く」という機能はそれほど

写真１　ハシボソガラス（左）とハシブトガラス（右）の嘴の違い（筆者撮影）

写真２　ハシブトガラスの骨格（東京大学総合研究博物館研究部所蔵）

高くないだろう。むしろ先端部を用いてピンセットのように「肉をつまむ」という使い方を捨てていないように思われる。一方、つまんで引っ張るだけでは破壊できない対象には、「嘴の先端を叩き付ける」という行動を取る。要するにガッツンガッツンと叩くわけだが、この時、ハシブトガラスは首を中心とする円を描くように頭を動かす。すると、アーチ状にやや下を向いた嘴の先端が、ちょうど円弧の接線方向を向くように見える。つまり、ハシブトガラスの曲がった嘴は、ツルハシを振るうように振り下ろした時に最大の威力を発揮するのではないかと考えられる。

一方、より細く直線的な嘴をもつハシボソガラスは、つつき方もより直線的である。すなわち、頭を平行に動かすようにスラストさせ、対象物に嘴の先端を叩き付ける。どちらが良い、とは単純には言えないが、どうやらカラスが「嘴で何かをつつく」という単純な行動にも、回転式と直動式の２つの方式があるようだと考えさせられる。この方式の違いをもたらしたのは何なのだろうか。生物学的に考えれば、餌品目の違い、そして採餌行動の違いに帰着するのではないだろうか。実際、この２種は食性が微妙に違い、採餌行動もやや異なっている。

そして、そう考えると気になるのは嘴の形状と構造だ。円を描いて動くハシブトガラスの嘴は、折り曲げようとする応力にも耐えなければならないのではないか。一方、ハシボソガラスは前後方向に圧縮する力に耐える方が大事なのではないか。さらに餌品目の違いを加えて考えると、ハシブトガラスの「回転式」はより大きな力を発揮し、ハシボソガラスの「直動式」はより精密な打撃を可能にするのではないか…などとも妄想できる。

航空力学的な観点からカラスを見ることも可能である。カラス類は基本的にみな似通った体をしており、どの種でも体型に大きな違いはない。だが、ワタリガラスは違う。ワタリガラスはユーラシアから北米にかけて広く分布し、様々な民族の神話に登場する鳥だ。日本では冬の間、北海道の一部でのみ見られる。一見すると妙に大きなカラスとしか見えないが、飛行する姿は全く別ものである。ワタリガラスは羽ばたかずに長距離を高速で滑空することができ、まるで猛禽類のように軽々と空を舞う。

ワタリガラスとハシブトガラスを比較すると、ワタリガラスの翼開長（ウィングスパン）は明らかにハシブトガラスより大きい。全長そのものも大きいのだが、体に対して長い翼を持っているように見える。また、翼幅と翼弦の比率すなわちアスペクトレシオ（AR）を見ると、ワタリガラスの AR は恐らくハシブトガラスよりも大きく、細長い翼を持っている。ハシボソガラスと比べても、明らかに AR が大きく見える。

写真３　飛行中の平面形の違い。ワタリガラス（左）、ハシボソガラス（中）、ハシブトガラス（右）。（筆者撮影）

これは飛行機と同じく、誘導抵抗の減少に帰着する問題であろう。ワタリガラスは死肉食に特化しており、長距離の空中パトロールを行いながら死骸を探す。この間、エネルギー消費を抑えるために滑空を多用する。ある高さを落下する間になるべく長い距離を滑空する、すなわち滑空比を大きくするためには、なるべく抗力を小さく、揚力を大きくしたい。するとグライダーのような、細長い翼が有利となる。これを極限まで押し進めれば AR が際立って大きな、アホウドリのような翼になるが、あまりに細長い翼は羽ばたき飛行、特に陸上からの飛び立ちに難があるから、ワタリガラス程度で済ませているのであろう。ワタリガラス以外にも、長距離の渡りを行うミヤマガラスも、翼が長く、独特の平面形を持っているように見える。これもその生態を考えれば納得のゆく形態と言える。だが、アスペクトレシオだけでワタリガラスの滑空の巧みさが説明できるだろうか。翼端や表面構造に何か違いはないか。また、平面形をじっと見るとワタリガラスは他種に比べて尾が短い。この小さな尾羽は無尾翼機のように空気抵抗を低減しているのか、あるいは扇状に広げて面積を稼ぐのか。

さらに、カラスからは少し離れるが、鳥類の翼面荷重（体重 / 翼面積）を並べてみると非常に興味深いことに気づく。まず、ワシやタカなどの猛禽類は翼面荷重が極めて小さい。一般に生物であれ航空機であれ、重量が増えれば翼面荷重が大きくなる傾向がある。だが、体重 300g のハイタカ雌の翼面荷重は、体重わずか 30g のスズメと同程度である。猛禽類では旋回性能や積載量が重要になるのだろう。逆に、着水するだけでほぼ着陸を考えなくてもよいアビ類は翼面荷重が極めて高い。水上飛行機は水面さえあれば滑走距離を大きく取れるため、翼面荷重を気にせず高速化できた時代があった。水鳥もこれと同様に、着水する時は水しぶきを上げながら水面に滑り込んで来る。ところが、アビ類と同じく潜水性であるカワウの翼面荷重は意外にも小さく、鳥類として平均的な値を示す。これは何故だろう。カワウは樹上に営巣するため、安全に枝に着地するには低速で安定して飛べないと困るからか。それともカワウの羽毛は撥水性に劣り、潜水すると羽毛が水を含んでしまうため（一方でこの特徴は予備浮力が小さく潜水しやすい、という意味でもある）、水に濡れて重くなることを見越した大きめの翼を持っているのだろうか。

このような事を考えるには、生物学者だけでは知識もセンスも不足する。是非とも、工学や航空力学といった分野の方のご意見を参考にさせていただきたいところである。

寄稿

カブトムシを極めよう

国立科学博物館動物研究部　野村周平

1. カブトムシは日本固有の文化

前回、本誌に「カブトムシに宿る『匠』」（野村，2014a）を書かせていただいたところ、産総研阿多先生と関谷さんから、是非続編をという大変ありがたいご指示をいただいた。我々虫屋の世界では「書かせてください」とこちらからお願いすることはしょっちゅうだが、「書いてください」と言っていただく機会はなかなかないので、ぜひ書かせていただければ大変光栄である。

さて前回、日本人ならカブトムシ（図 1A）を知らないものはいない、カブトムシはもっとも知られた甲虫である、と書いた。書いては見たものの果たして、読者の皆さんがどれだけカブトムシを知っているのか、こちらも詳しく了解しているわけではないので、こちらの申しあげたことがどれほど伝わったのか、心もとない。

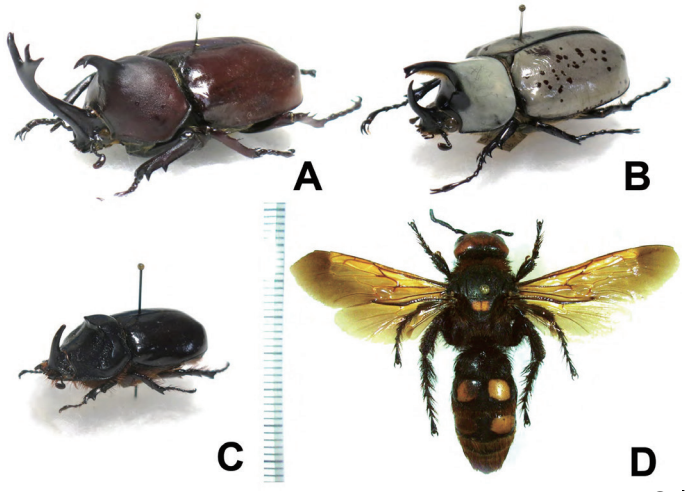


図 1　世界各地のカブトムシとニワツチバチ。A：カブトムシ（日本産）；B：グラントシロカブトムシ（アメリカ産）；C：ヨーロッパサイカブトムシ（フランス産）；D：ニワツチバチ（イタリア産）。A ～ C はほぼ同倍率、D はスケールつき。

そこでまずは、カブトムシがいかに日本人の生活に根付いたものであるか、振り返ってみたい。ちなみに、カブトムシを愛でる文化は日本だけだということにお気づきだろうか？カブトムシは韓国、台湾、中国、東南アジアの一部にも生息するが、これほど全般的に親しまれているのは日本だけである。アメリカの広い国土のほとんどには大型のカブトムシは生息せず、わずかにフロリダのような温暖地にグラントシロカブトムシ（図 1B：*Dynastes granti* 体長約 5 センチ）という白いカブトムシが見られるだけである。

ヨーロッパにはわずかに体長 4 センチほどのヨーロッパサイカブトムシ（図 1C：*Oryctes nasicornis*）が生息するだけで、それも一部の好事家だけが知っている程度である。個人的にはこのカブトムシよりもこの種に寄生する巨大なニワツチバチ（図 1D：*Megascolia flavifrons* 体長約 7 センチ）というハチの方が堂々としていて是非採ってみたい。

たとえ日本の中で非常にたくさんのカブトムシが採れる地域でも、あまり山奥や高山にたくさんのカブトムシがすんでいるわけではない。カブトムシは東京付近では平地から標高 500m 以下の低山域に多く生息する（図 2）。カブトムシは、昔から人が住み、開墾し、農林業を営んできた環境を好む、典型的な里山昆虫である。

だからいつ頃から日本人の生活にカブトムシが入り込み、

図 2　クヌギの樹液に来たカブトムシ（東京都瑞穂町）。

認識されるようになってきたかはもはやたどりようがない。しかし一昔前までの日本人の生活に、カブトムシは密着していた。今でもカブトムシが好んで発生するのは、都心でもなく山奥でもなく、郊外里山の雑木林である（図 3）。それは自然に成立した環境ではなく、石油石炭によるエネルギー革命以前に土地の人間が、燃料とするために植えたクヌギやコナラといった落葉広葉樹を主体とする林である。このような林は「薪炭林（しんたんりん）」とも呼ばれ、人間の生活に必要な「薪（たきぎ）」や「炭（すみ）」の生産現場となっていた。カブトムシはたまたまそのような林

図 3　カブトムシが多く発生する東京郊外の雑木林（東京都青梅市）。

を好んで発生するようになった副産物に過ぎない。

2. ノムラホイホイでカブトムシを採ろう

子供たちは誰しもカブトムシが大好きだ（図 4）。夏ともなれば虫取り網を片手に近所を探し回り、大きなオスのカブトムシを見つけようものなら、友達に大威張りして見せびらかし、ひと夏のスターの地位を手にすることができる。子供たちのカブトムシ体験は、カブトムシの発生シーズンが短く、しかも夏休みにかかっており、カブトムシ成虫の寿命も短いところがミソである。

個人的なことを書かせてもらうのは大変恐縮であるが、私が小学生の夏休みに大変強烈なカブトムシ体験をした。一週間ほど熊本県の伯父の家に泊まり込んだ時のことである。ある朝、伯父が家の裏山のクヌギ林にカブトムシ採りに連れて行ってくれた。山の斜面に生えているクヌギの木をポーンと蹴ると、上の方からカブトムシがボトボトと地面に落ちてきた。一回りするとバケツに一杯のカブトムシが集まった。それまではひと夏に数匹がせいぜいだったので、その量に狂喜したことがいまだに印象深い。伯父はすでに故人であるが、別に昆虫にさほど興味があったわけではなく、農家の普通のおじさんだった。40 年ほど前の話なのでこれは特別な話ではなく、田舎では当たり前の光景であり、当たり前の環境だった。

しかし今ではこんな素晴らしい環境は望むべくもない。東京近郊の里山は切り開かれてこぎれいな住宅地に変わってしまった。石油石炭にとってかわられて不要になってしまった薪炭林は、たとえ伐採を逃れられたとしても、手入れされることもなくなり、タケ類やマント群落がはびこって、厄介者のただのヤブに成り果てている。しかしそんな環境下にあっても、カブトムシはしぶとく生き残っている。東京のような大都市の郊外でもカブトムシは別に絶滅危惧種などではなく、ごくありふれた昆虫として、夏の暑い盛りには出会うことができる。これは私たち日本人にとって、実は本当に幸運なことなのである。

図 4　子供たちはカブトムシが大好き。

このようなカブトムシを効率的に集める方法はないだろうか？伯父さんがやっていたように、クヌギの木を蹴っ飛ばす、揺さぶる、という方法もある。しかし私の経験では、よほど条件に恵まれないと、この方法は徒労に終わる。カブトムシをたくさん採る秘訣は 2 つ、環境と時期である。環境は、クヌギの木が多い雑木林、時期は地域によって若干異なるが、東京付近では 7 月下旬から 8 月上旬である。その 2 つの条件を逃すと、大きな収穫は見込めない。

そのような条件を見定めたうえで、カブトムシ採りに出かけることになるが、これまでにもいろんな媒体で、いろんな採集法が紹介されている。それらはそれなりに効果的であったり、メリットのあるものかもしれない。しかし相当にインチキもあるはずだし、現代では全く通用しない古い方法もあるはずだ。ここでは、1990 年代に他ならぬ筆者の野村が編み出し、20 年以上実践している、「ノムラホイホイ」という方法をご紹介したい（図 5）。

よく知られているカブトムシの採集法に、クヌギの木に、黒砂糖と焼酎を混ぜて作った糖蜜を塗り付ける、というものがある。そうしておくとカブトムシは甘い匂いに誘われて、糖蜜の場所へ集まる。集まってきたところを捕獲する、という、これすなわち「糖蜜法」である。昆虫採集法の一つとしては、ベイト（エサ）トラップの一種に分類される。「ノムラホイホイ」はそのような習性を応用して、糖蜜法の欠点を補ったものである。

ノムラホイホイはまず、清涼飲料水などの 2 リットルのペットボトルの空き瓶を用意し、カッターやハサミ、針金で工作して、「もんどり」のような形にし、入口の部分を開閉できるようにする。それからスプレーラッカーで緑色と茶色に迷彩塗装する（この点非常に重要）。これをよく乾燥して保存しておき、カブトムシの発生時期になったら、バナナを買ってくる。ボトル一本につき、バナナを 1 本程度、皮をむいて、皮も身もボトルの中に入れる（図 5A, B）。カブトムシのいそうな林の近くにボトルを設置する。針金などで固定するとよい（図 5C）。

こうしておいて、夏場ならば 3 ～ 4 日後、バナナが分解した頃にボトルを回収すると、多数のカブトムシをはじ

図 5　ノムラホイホイの設置と回収。A：ノムラホイホイのボトルと中にエサとして入れるバナナ；B：エサをボトルに入れた状態（上から）；C：設置の様子；D：回収例。

め、クワガタ類やカナブンなどの小者がごっそり入っているという寸法である（図 5D）。詳しい説明はハネカクシ談話会のホームページに搭載した以下のサイトを参照されたい ＜ http://research.kahaku.go.jp/zoology/hane/hoihoi/index.html ＞。また、これらの方法は野村（1995, 1996）によって発案され、コガネムシ研究会でも紹介された（野村，2003）ので、これらの文献を探索されると概略が分かるはずである。

ノムラホイホイのメリットは何か？まずはたくさん採れるということである。ボトル一本だけでは大きな成果は期待できないが､5 ～ 6 本､できれば 10 本以上準備しておくと、ひと夏退屈することはない。それから、夜行性のカブトムシの採集のために夜間、行動する必要がないところが非常に良い。昼間設置して、昼間回収すればいいからである。さらに捕獲した虫を殺すことなく、生かしたまま捕獲できるところは、これまでの昆虫トラップにはあまりなかった利点である。

しかもノムラホイホイのいいところは、トラップ容器は同じで、エサをいろいろに変えることによって、さまざまな異なる種類の昆虫を捕獲できる、というところにある。バナナを使うとカブトムシ、クワガタが採集できる。釣りのまきエサである「さなぎ粉」を入れて、ボトルの口が地面に接するようにしておくと、地上を徘徊するオサムシ、シデムシのなかまが採集できる。煮干しを入れて、池の水面に浮かせておくと大型のゲンゴロウが、食用キノコのエリンギを割いて入れ、中で腐らせると大型のハネカクシが集まる。詳しくは前掲のウェブサイトを参照されたい。

3. カブトムシは鳴くか？

ノムラホイホイなどによって採集してきたカブトムシは、子供と一緒にしばらく飼ってみるとよい。ホームセンターで手頃な大きさの（虫を長持ちさせるには大きめの方がよい）プラスチック容器などを買ってきて、それにカブトムシ用のマット（おがくずのような敷材）を入れる。マットもホームセンター等で売っているが、あまりケチって 100 円ショップで買ってきたりしない方がよい。マットは品質と値段がピンキリで、あまり安いものにはカブトムシが嫌がる針葉樹材が混入しており、長期の飼育には適さない。エサはクワガタゼリーでよい。我々が子供の頃にはカブトムシのエサはスイカと決まっていたものだったが、現在ではスイカはカブトムシのエサには不適という説がある。

ノムラホイホイでカブトムシをたくさん採ってきて、一つの容器に入れて飼っていると、「カブトムシとはこんなにうるさい虫だったのか」と驚くに違いない。カブトムシは昼間はマットにもぐりこんでじっとしているが、夜になると外へ出てきて、活発にえさを探したり、翅を開いて飛び出そうとしたりする。夜が更けてくると、それはもう、ぶんぶんごそごそと、にぎやかな限りである。

カブトムシの多数個体を一つの容器で過密状態で飼っていると、カブトムシが互いに鳴き交わしていることに気付くかもしれない。これはぶんぶんという羽音とははっきり違う音で、「じーじー」または「きーきー」というような、やや一本調子の摩擦音のようである。カブトムシは一般に鳴かない虫としてとらえられているが、それが鳴くとはど

ういうことか？

カブトムシは普段はあまり鳴かないが、特定の環境下においてやると、しきりに鳴くようである。筆者の経験では、上に記したように過密な状態で飼っているとよく鳴く。♂同士でも、雌雄間でも、♀同士でも鳴くので、特に性別に依存した習性ではないようである。はっきりしたことは分からないが、どうも複数の個体が、何か食べ物や交尾相手をめぐって競争するときに、相手を威嚇する方法として鳴くようである（図６）。

カブトムシはそもそも何をどうやって鳴いているのだろうか？鳴いているカブトムシを観察すると、腹部を激しく動かしている。どうも腹部と前翅の裏側をこすり合わせて鳴いているようである。その双方を走査型電子顕微鏡（SEM）で撮影してみると、図７のようであった。このカブトムシ発音器の形状はすでに、野村（2011a, b）でも報告している。

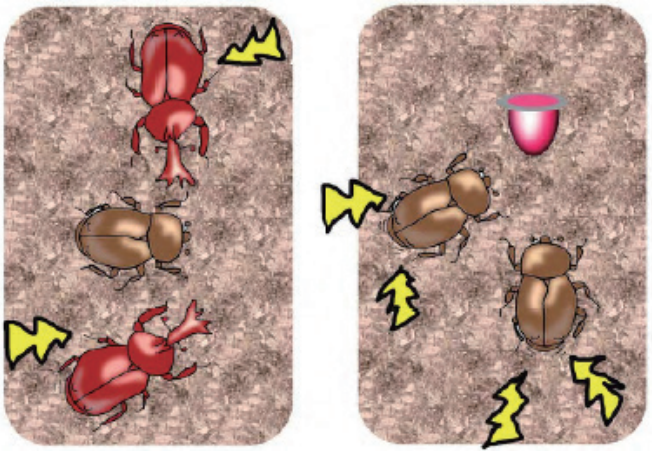


図６　カブトムシがよく発音する状況の模式図。左：少数の♀をめぐって♂同士が競争する；右：少数のエサをめぐって♀同士が競争する。

昆虫の摩擦式発音器は通常、やすりと呼ばれる、一列に並んだ突起群と、爪と呼ばれる一本の突起の一組からなることが多い。しかしカブトムシの場合には、どちらも突起であることには変わりないが、どちらがやすりでどちらが爪、という判断はつかない。未分化な摩擦式発音器と言える。

東京大学の小島氏と森林総研の高梨氏らは、地中におけるカブトムシの発音について調べた（Kojima et al., 2012）。これは上に記述した成虫の発音ではなく、蛹室の中にいるさなぎの発音である。小島ら（2013）によると、カブトムシの幼虫は老熟すると、地中にカプセル形の蛹室をつくり、その中で脱皮してさなぎになる。そのさなぎは蛹室の中で腹部を動かし、体を蛹室の壁に打ち付けることによって、振動音を発生するという。地中でその音を聞いた同種（カブトムシ）の幼虫には忌避効果が認められたという。つまり、カブトムシのさなぎは、同じく土の中で活動している同種の幼虫に蛹室を壊されるのを防ぐために、警戒音を出している、ということのようである。

成虫もさなぎも鳴く、となると、では幼虫は？ということに当然なる。生物規範工学の特集の際、カブトムシに近い仲間であるツノクロツヤムシの幼虫が発音する、という話を書いた（野村，2012）。それに関連してクワガタムシの幼虫も鳴く、ということで参考文献を示した。同じように、実はカブトムシの幼虫も鳴くことが分かっている。カブトムシの幼虫は、ツノクロツヤムシやクワガタムシのように中脚と後脚で鳴くのではなく、左右の大あごの付け根にある発音器をこすり合わせて鳴く（小田，1996）。カブトムシは幼虫、さなぎの時は腐葉土や土の中、成虫になっても夜行性であるので、ほぼ一生を暗闇の中で過ごしている。そのために光や色によるコミュニケーションではなく、音や振動によるコミュニケーションが発達したようである。

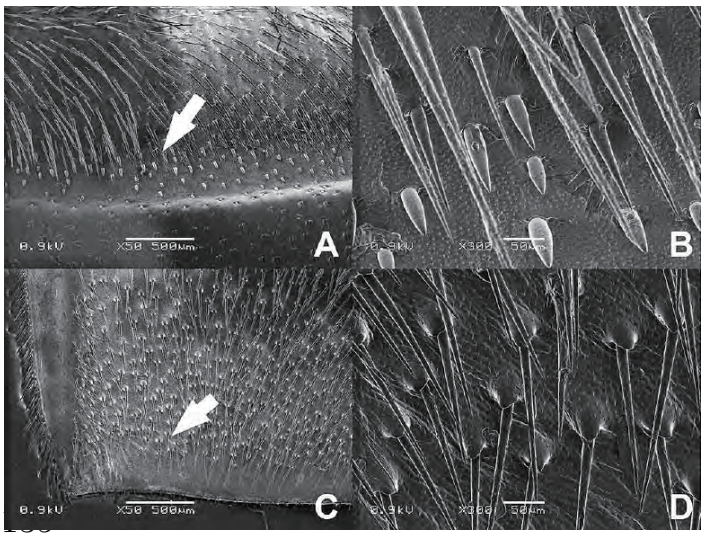


図７　カブトムシ♀の摩擦式発音器。A：前翅先端付近内面；B：同左拡大；C：腹部先端付近背面；D：同左拡大。

4. カブトムシの翼

昆虫という巨大なグループは通常、33 ほどの「目（もく）」に大きくグループ分けされる。チョウやガのなかま（鱗翅目＝チョウ目）、トンボのなかま（蜻蛉目＝トンボ目）というのもそれぞれの目である。カブトムシはコウチュウ目（＝鞘翅目）に分類される。コウチュウ目はあらゆる昆虫の目の中でも最も大きく、全昆虫の種数のおおよそ半分弱を占める。

昆虫の大半は 4 枚または 2 枚の翅をもっていて、空中を飛翔する。空を飛ぶ動物というと誰しも鳥を思い浮かべるだろう。しかし実は、地球の歴史の中で初めて空中に飛び出したのは昆虫であるし、今でも空中でもっとも種数、個体数が多く、もっとも繁栄しているのは昆虫である。

昆虫は飛ばないときには翅をたたんでいるが、多くの昆虫はバッタの後翅のように、扇子状すなわち体軸に対してタテに折りたたむものがほとんどである。しかし甲虫は少なくとも 1 ～ 2 回、ヨコにも折りたたむ。カブトムシもそうである（図 8）。上に記した、33 ほどある昆虫の目の中で、翅を横にも折りたたむのは、コウチュウ目とハサミムシ目のわずか 2 つである。

甲虫類（＝コウチュウ目）には前後 2 対の翅があって、後翅は広く膜状で折りたたまれる。前翅は折りたたまれず、それぞれが貝殻のような形になって、背中で左右が合わさる形になっている。膜状で折りたたまれた後翅は、飛ばないときには前翅の下側にたたみこまれて、外に出ることはない。前翅は後翅に比べて非常に頑丈で、折りたたまれた後翅をガードする役割を演じている。

後翅を広げてみると、薄い褐色半透明の膜状に、放射状に太い濃褐色のスジがいくつも走っている（図 9）。これは

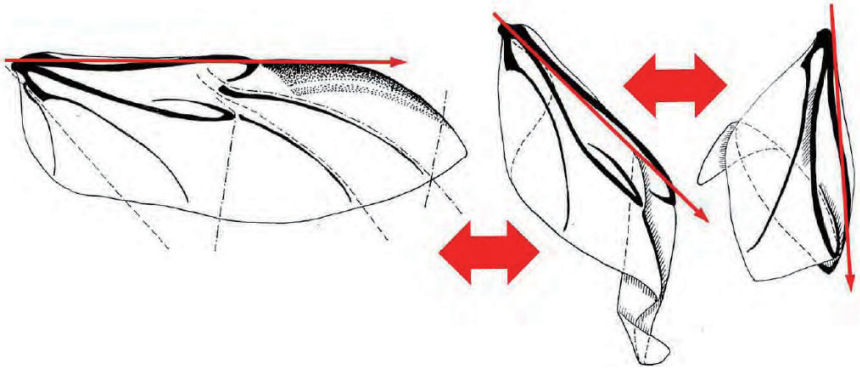
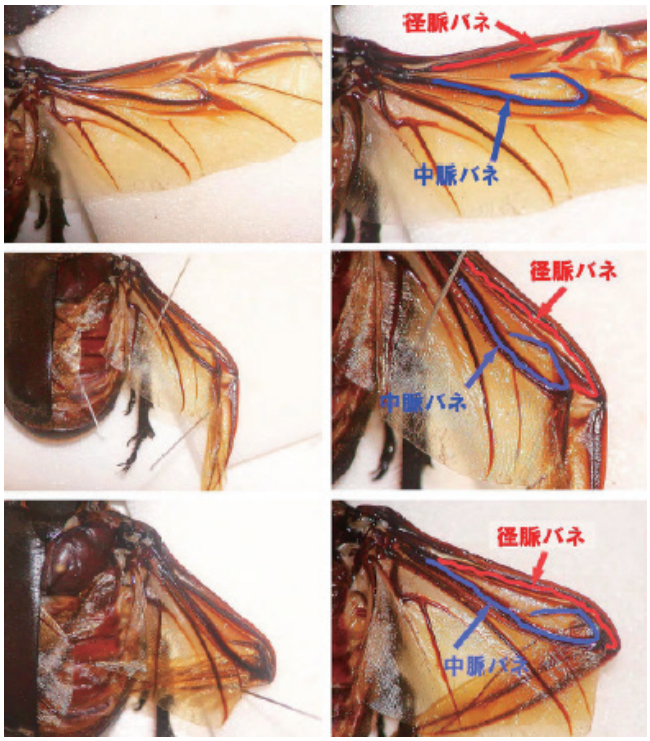


図 8　カブトムシ後翅のたたみ方。



136図 9　カブトムシ後翅の折り畳みと主要な翅脈の配置。

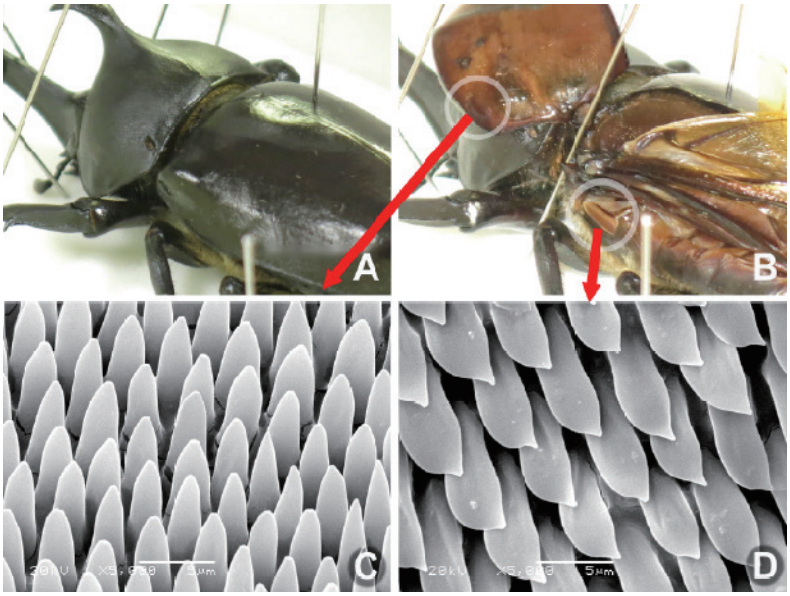


図 10　カブトムシ♂前翅肩部の固定装置。A：前翅を閉じたところ、左後方から；B：前翅を開いたところ、左後方から；C：左前翅肩部内面のパッチ SEM 写真（5,000 倍）；D：左胸部側面のパッチ SEM 写真（5,000 倍）。

「翅脈（しみゃく）」と呼ばれる器官で、カサの骨のような役目を果たす。甲虫の後翅の折りたたみ方は、種によって、厳密に一通りに決まっており、気分によって、あるいは個体によって、たたみ方が異なるということはあり得ない。

翅脈にはすべて名前がついている。カブトムシ後翅基部前方に太い翅脈が前後に 2 本走っているが、前の方を径脈（けいみゃく＝ radius）、後ろの方を中脈（ちゅうみゃく＝ media）という。この 2 本の太い翅脈は先端でかぎ状となり、翅が開いたときにはカギが向かい合う形になり、翅がたたまれているときにはカギが上下に重なる形になる（図 9）。つまりこの 2 本の太い翅脈が、カブトムシ後翅のヨコへの折り畳みをつかさどっている。この 2 本の翅脈はカブトムシに限らず、後翅をもつほとんどすべての甲虫にあり、それぞれ「径脈バネ（radial loop）」、「中脈バネ（medial loop）」と呼ばれている。

昆虫の進化の道筋をたどってみると、非常におおざっぱではあるが、次のような段階が認められるのではないだろうか。1）飛んでいないときでも翅はたたまない（トンボなど）、2）飛んでいないときには、翅は背上に重ねられる（ゴキブリ、セミなど）、3）飛んでいないときには翅はタテにたたまれる（バッタなど）、4）飛んでいないとき、翅はヨコにもたたまれてコンパクトになる（甲虫、ハサミムシ）。つまり昆虫の翅は、飛んでいないときにも翅はたたまない方から、飛んでいないときには翅をコンパクトにたたむ方へ向かって進化している。甲虫はそのような進化が最も進んだ例として認められる。

5. カブトムシはいかにして空を飛ぶか？

昨年（2013 年）、科研費「生物規範工学」のメンバーを対象に当館つくばキャンパスで行った「昆虫の飛翔に関するワークショップ」で分かったことを中心にカブトムシの飛翔メカニズムについて取りまとめた結果を、日本甲虫学会誌「さやばねニューシリーズ」に投稿した（野村, 2014b）。この内容の概略を以下に紹介してみたい。この論文の主題は、「カブトムシはいかにして空を飛ぶのか？」ということである。

カブトムシに限らず甲虫は、前翅を開き、その下に収納されている後翅を広げて、それをはばたくことによって、空中へ飛び出す。前翅を大きく開いて、背上に掲げるのか、それとも前翅は少ししか開かず、後側方のすきまから後翅を差し出すようにして飛翔するかは種類による。カブトムシは典型的に前者である。

カブトムシはいかにして前翅を開くのか？前翅の付け根の多くの部分が前翅自身によって隠されていることと、前翅の付け根が著しくくびれているために観察が困難であった。前翅の開閉メカニズムを調べている過程で、前翅に 2 カ所の固定装置があることを見出した（図 10）。この 2 カ所は固定―解除のタイミングも固定の仕組みも異なる。飛ばないとき、すなわち前翅を開かないときには、前翅は翅基部と肩の部分の 2 点で固定されている。この 2 点の固定装置を今回初めて SEM 撮影し、形態を詳しく記録することができた。つまりこの固定装置は、カブトムシが飛ばないときには前翅が開かないようにつなぎ止めているが、飛ぶときには固定装置が解除され、翅基部前方の筋肉に引き

上げられることによって前翅が開く仕掛けになっている。

まず肩部の固定装置であるが、胸部側面と前翅内面との間で、接触していれば固定され、引き離されることによって固定が解除される（図 11）。この両面には同じような長円形に近いパッチがあって、この表面を拡大して観察すると、特殊な構造が観察された。2 つのパッチがともに、非常に微細な鮫肌構造をもっていることが分かった。しかしその方向が真逆であって、前翅内面のパッチの鮫肌は上向きのトゲであり（図 10C）、胸部側面のバッチの鮫肌は下向きのトゲである（図 10D）。つまり双方のパッチがかみ合っているときには固定されており、離れると固定が解除される。この仕組みはマジックテープ（velcro）によく似ているが、実際にこの部分を切り出して接触させてみたところ、くっつきあう力はほとんどなかった。

前翅基部の固定装置は留め金状であって、前翅を閉じると胸部の突起が前翅基部の窪みにはまり込み、前翅全体を所定の位置に固定するようにできている（図 12）。逆に前翅を開く場合には、筋肉の力である程度の角度まで引き上げられると、固定装置がはずれて、前翅の回転運動が可能になる（図 13 右）。前翅は開きながらわずかに外側へ向かって回転し、いっぱいに開いたところで後翅がはばたいて飛び上がる。このような回転運動によって、前翅は外側（上面）ではなく、内側（下面）を外側へ向けている。したがって、カブトムシの飛翔を側面から写真撮影すると、前翅の内面が写真に写ることになる。

後翅は前章に記したように、折り畳み式になっており、飛翔する際には両翅を側方へ伸ばして羽ばたくことになる。折りたたみの方向は体軸と平行であり、羽ばたきの主な成分は体軸と垂直に近いので、折り畳み式であることがはばたきの強さや効率に大きく影響することはない。昆虫のはばたきのメカニズムとして、直接飛翔筋による場合と関節飛翔筋による場合とにおおきく分かれる。カブトムシが属するコウチュウ目では、基本的には関節飛翔筋方式であるはずだが、カブトムシの後翅基部には後翅を動かす巨大な筋肉盤（muscle disc）がついている。つまりこれは、一部直接飛翔筋方式に変わっている可能性を示している。

そのことも含め、カブトムシ、およびそれに近縁の甲虫のグループでは、飛翔メカニズムについてはまだまだ分かっ

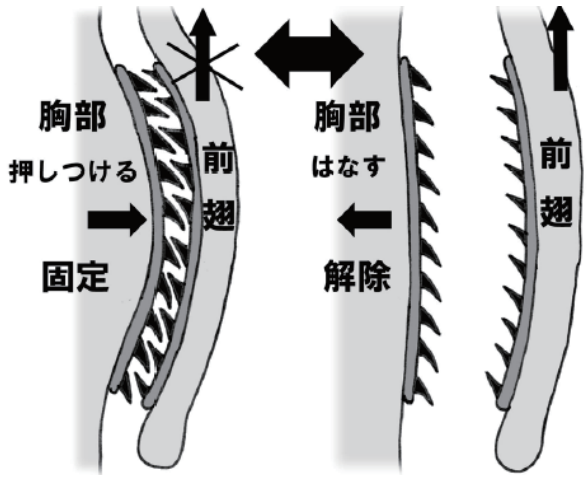


図 11　カブトムシ♂前翅肩部の固定メカニズム模式図。

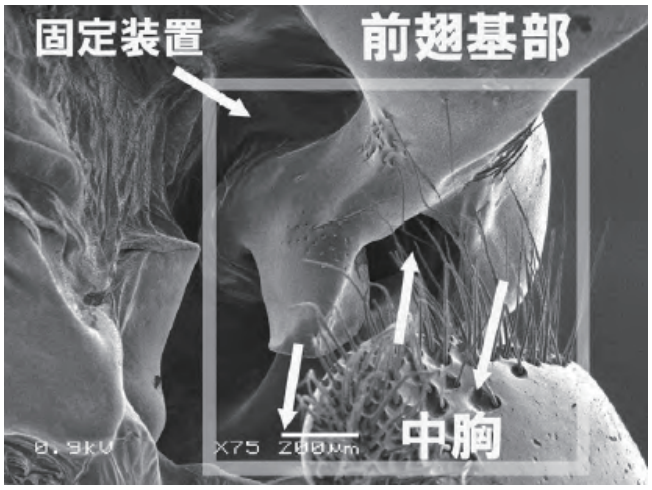


図 12　カブトムシ♂前翅基部の前翅固定装置。

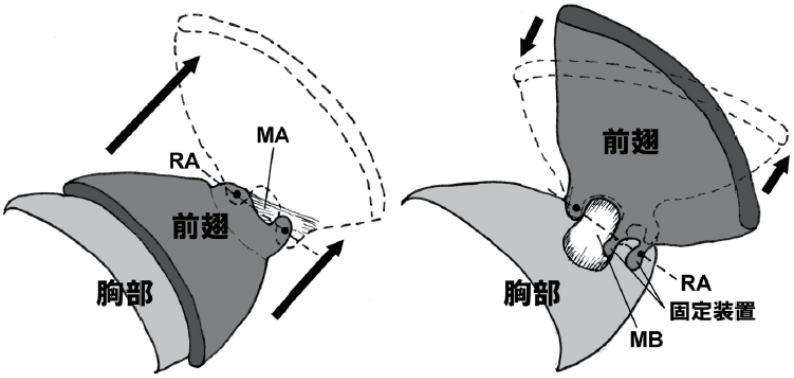


図 13　カブトムシ♂前翅基部の開閉メカニズム模式図。RA: 回転軸；MA: 前翅を開く筋肉；MB: 前翅を閉じる筋肉。

ていないことが多い。これほどよく知られた虫でありながら、わからないところはほったらかしにされ、ただ子供のおもちゃにされていたことが不思議でならない。図 10C, D の SEM 写真をもう一度よく見てほしい。何もかもわかっていたはずのカブトムシに、誰も見たことのなかった、こんな整然とした器官があるということは、驚異というほかはない。願わくば、この神秘に満ちた昆虫に触れる機会が、日本に生まれ育った子供たちから決して奪われることのないようにと思う。末筆ながら、今回の投稿について機会を与えて下さった産総研の阿多誠文様、関谷瑞木様、貴重な文献について情報をいただいた森林総研の高梨琢磨様、日頃よりバイオミメティクスについて多大なご指導をいただいている、東北大学の下村政嗣先生、札幌の下澤楯夫先生、浜松医大の針山孝彦先生に厚く御礼申し上げたい。

References：

[1] Kojima, W., Y. Ishikawa & T. Takanashi, 2012. Deceptive vibratory communication: pupae of a beetle exploit the freeze response of larvae to protect themselves. Biol. Lett. published online 6 June 2012, doi: 10.1098/rsbl.2012.0386

[2] 小田英智，1996. 自然の観察事典①カブトムシ観察事典．偕成社，東京，40 pp.

[3] 小島渉・石川幸男・高梨琢磨，2013. だましのコミュニケーションの進化．遺伝 67: 372-377.

[4] 野村周平，1995. 究極のトラップ．新筑紫の昆虫 (4): 87-104.

[5] 野村周平，1996.「究極のトラップ」その後．新筑紫の昆虫 (5): 71-82.

[6] 野村周平，2003. 採集法解説シリーズ [7] ノムラホイホイ．鰓角通信 (7): 45-52.

[7] 野村周平，2011a. 自然史研究とバイオミメティクス．Milsil 4 (2): 13-15.

[8] 野村周平，2011b. バイオミメティック・データベースとしての昆虫インベントリー．バイオミメティクス研究会編 次世代バイオミメティクス研究の最前線．シーエムシー出版，東京，pp. 318-324.

[9] 野村周平，2012. 連載 生物規範工学 第十一回 昆虫の形態研究はバイオミメティクスに寄与するか？ PEN 3(4): 8-12.

[10] 野村周平，2014a. カブトムシに宿る「匠」． PEN 4(10): 12-18.

[11] 野村周平，2014b. カブトムシ（コガネムシ科）前翅の開閉と固定に関与する構造．さやばねニューシリーズ (13): 9-16.

（５）国内研究動向紹介

所属班：公募班
所属機関：金沢大学人間社会研究域
氏名：香坂　玲

ISO/TC266 Biomimetics WG4 京都会議報告

会期
2015 年 10 月 19 日(月）（会議初日）WG4
2015 年 10 月 20 日(火）（会議二日目）WG1 WG2
2015 年 10 月 21 日(水）（会議三日目）TC （WG1 を含む全体総論）

主要点
(1) WG1 は解散 WG1 のドラフト修正を誰が責任を持って継続するか不透明
WG1 の持続可能性（Work item I）は英国提案だが責任者不在のため延期
カナダよりバイオミメティクスの評価に関する「採点」「数値化」の新規の修正提案があり，新WGを提案予定
(2) WG2 は，会議でのドラフト修正版を配布した後，ウェブミーティング（12/7）を経て，来年には最終案が提示される予定
(3) WG4 は，新規提案としてドラフト作成することになり，2016 年の春には新規提案の予定
(4) WG2 および WG4 の Convenor が再任
(5) TG 1 は，各国の調査を実施予定 アンケートの改訂版を提出予定

その他
WG4 等の新規提案に対して，仏など欧州を中心に財政的負担や費用便益より，オブザーバーになる懸念，可能性等が示唆された

前回と比較して，全体として議論は時間内で終わった

担当者が不在等のため議題が延期・変更となった（WG1 Work item I /TG）

次回の会議は，2016 年 9 月 26 日~30 日の予定（スイスもしくはカナダ，候補国がなければドイツのベルリン

所属班：B01-1 班
所属機関：産業技術総合研究所　機能化学研究部門
氏名：鈴木航祐

Engineering Neo-Biomimetics VI and Satellite Workshop at Lake Biwa（1 日目 10/22）に参加して

2015 年 10 月 22 日，23 日に開催された Engineering Neo-Biomimetics VI and Satellite Workshop at Lake Biwa へ参加した。本稿では，22 日に京都市中京区に位置する，島津製作所三条工場内 新本館のセミナーホールにおいて開催されたシンポジウムでの講演の様子を報告する。

下村領域代表の opening remake を皮切りに，シンポジウムでは 13 件の講演が行われた。その内６件が英，独，仏，ベルギー，チェコ，イスラエルからの参加者による講演であり，バイオミメティクス研究の社会還元へ向けた取り組みに重きをおいた内容であった。学会では中々聞くことのできない講演内容であり，生物技術の実社会への応用を目指す生物規範工学あるいはバイオミメティクスのシンポジウムらしいものである。ヨーロッパを中心とした研究者は企業あるいは地域と連携したバイオミメティクスによるイノベーションの大きな役割を担っていることを知るまたとない機会となった。また，もう７件は国内研究者による最新のバイオミメティクス研究に関する講演が主であり，こちらは 17 件のポスター発表も合わせて，注目する対象の生物や技術が多岐に渡り，活発な議論が行われた。これには日本も海外も関係ないと感じた次第である。これら講演を内容で厳密に分類するのには難しい部分もあるが，大きく次の３つに分けられるのではないだろうか。講演内容については末尾で報告する。

・技術のアウトプットや連携を指向したバイオミメティクスに関する講演
・工学者によるバイオミメティクス研究の講演
・生物学者によるバイオミメティクスに関する講演

また会場となった島津製作所様の見学ツアーが設けられており，その研究開発の歴史や現在の取り組みについて知ることができた。ツアーには開発製品や依頼された製品等の品質についての分析が行われるクオリティーセンターの見学も組み込まれていた。品質管理は物質の形状等の他，温度・湿度や振動等の耐久性，さらに大きな遮蔽空間内での電磁障害に関する測定等が行われており，島津製作所様の厳密な品質管理への姿勢が伺われた。

・技術のアウトプットや連携を指向したバイオミメティクスに関する講演
Prof. Dr. Heike Beismann (Westfälische Hochschule, Germany),「Standardization in the Field of Biomimetics An International Challenge」
長谷山美紀教授，北海道大学,「Biomimetics Image Retrieval：Connecting Biology and Engineering」
Dr. Stephan Hoornaert (Morpho-Biomimicry.Be, Belgium),「FungiUp Cities like Forests: From Coffee Waste Recycling to Sustainability!」
Prof. Julian Vincent (University of Oxford, United Kingdom),「Trade-offs, Evolution and Biomimetics」
Dr. Yael Helfman Cohen (Tel Aviv University, Israel),「Introduction of the Structural Biomimetic Design Method」

Dr. Kalina Raskin (CEEBIOS, France),「Bio-inspired Innovation Implementation in R&D Strategies – A French Landscape Overview」

Beismann 先生からは，バイオミメティクスの国際標準化についての取り組み，標準化が企業の製品・技術開発にもたらす効果について講演頂いた。バイオミメティクスの技術・方法は既存のものとは異なり，生物やその機能等，対象が多岐に渡る。そのため標準化による概念の提示, 機能や構造を明らかにする方法の道筋が提示されることで製品開発側のアプローチが容易になり，技術開発を加速すると期待される。

長谷山先生からは生物学者と工学者とを結ぶ画像検索システムの開発についての講演が行われた。これまで画像の特徴の類似した生物画像を検索できていたが，新たに個々の利用者によって着目している類似性, 画像ひいては構造の特徴に対してフィードバックがかけられるようになった。蓄えられた画像に関しても魚類，昆虫，鳥類などの分類と拡充が進んでおり，利用時の利便性の向上が期待できる。

Hoornaert 先生からはリサイクルシステムへのバイオミメティクス技術応用に関する取り組みが紹介された。捨てられるだけのコーヒー殻を処理し，マッシュルーム育成に利用する。さらにその生産物を利用した燃料等の性能試験にも取り組んでおり，低環境負荷のリサイクルシステムの構築を目指している。

Vincent 先生からは，Plenary Talk として，バイオミメティック材料のニッチ開拓に関する講演があった。生物が作り出す材料の力学特性についてご自身の研究を振り返りながら，既存材料との特性の相違点等を概説された。さらに TRIZ とオントロジーを利用することでバイオミメティクスにより生み出された材料の利用可能性を開拓できることを示された。オントロジーの効用は，材料を作り出すまで，または材料を使う環境条件等の関係が明確になることである。関係性を明らかにした上で環境負荷の低減と材料性能との技術矛盾によるトレードオフを積極的に取ることが材料利用のニッチを拓く鍵とのことである。

Helfman 先生からは生物の持つ微細な構造のデザインとそれらが持つ機能を結びつける取り組みが報告された。TRIZ に基づいた手法で生物微細構造の「かたち」の特徴，由来する生物および機能を分類しながら結びつけ，自身らが開設した”findstructure.org”ホームページ上でキーワードによる検索が可能になっている。誰でもキーワードから生物の持つ典型的な形状のデザインと機能を結びつけて探すことができる。長谷山エンジンと合わせて利用すればありのままのかたちと抽象的なかたちを知りインスピレーションを受けることができそうである。今後のさらなる拡充に期待したい。

Raskin 先生からはバイオミメティクスによるイノベーションについて CEEBIOS の取り組みが紹介された。研究開発とイノベーションを推進するため，産官学の人材を集め, ブレインストーミングを行って製品開発等に対しての見通しを育てているそうである。CEEBIOS が中心に産業界に対して積極的に船頭をし，バイオミメティクスによって何をするべきかを決めるところから取り組まれている点は興味深い。

・工学者によるバイオミメティクス研究の講演
細田 奈麻絵博士，物質・材料機構,「Biomimetic Bonding Technology」
小林 秀敏教授, 大阪大,「A Study of Lily Flower Bud from Mechanical Point of View」
田中 博人准教授，東工大,「Aerodynamic characteristics of flat-plate wings with serrated leading edges modeled on an Ural owl’s primary feather」
Prof. Matej Daniel (Czech Technical University in Prague, Czech Republic),「Biomimetic Design of Hip Joint Replacement」
大園 拓哉博士，産総研,「Sliding friction on shape-tunable wrinkles」

細田先生からは，ハムシの足先に学んだ水中接着技術についての研究報告があった。ハムシの足先の微細な接着毛は水中で気泡を蓄えることができる。実際にハムシを水中に入れると，疎水表面に対しては大気中と同程度の接着性だが，親水性表面に対しては，水の接触角が下がり，接着性が向上することが明らかになった。これに学んだゴム製の微細構造表面は，同様に水中での接着性が保たれることが示された。

小林先生からは，ユリの花のつぼみの開閉の力学的機構についての発表が行われた。つぼみの内部形状を X 線 CT によって明らかにし，有限要素法による分析することで花弁には向きによって強度の大きな違いがあり，つぼみの密封性と成長によって芽吹くことができる機能を生み出していることを示されていた。

田中先生からは，フクロウの風切り羽根にある鋸刃構造(serration)の流体への作用に関する研究が報告された。実際の風切り羽根とモデル羽根とを比較すると，serration によって剥離流の速度の揺らぎが低減されることが明らかになった。今後，翼の構造による効果や羽音の発生が小さい羽の開発が期待される。

Daniel 先生からは，古くからの課題である Hip Joint の人工関節への置き換えについての研究発表があった。関節の動きは潤滑現象として扱うことができる。しかし，実際には関節部位以外の脚の骨-人工関節間の接合部にも負荷が掛かっており，脚を支える骨の形状を加味した構造力学も考える必要がある。成長段階にある患者などは成長とともに形状が変わるため，実際の脚形状を考慮した設計をし，段階的に人工関節部を変更する必要がある。生物そのものに工学的にアプローチするという実際的な研究であった。

大園先生からは，生物体表に目にすることのできるシワに着想を得た，形状可変なシワ凹凸構造上での摩擦の制御に関する研究発表があった。ある対向する突起に対し，摩擦するシワ凹凸の数が少ない場合には摩擦力は増え，凹凸の数が大きい場合には摩擦力を減らすことが可能であった。これは摩擦を制御するためには対向面の突起と凹凸のサイズの違いに注目すべきであるという指針を与える。

・生物学者によるバイオミメティクスに関する講演
奥田 隆博士，農業生物資源研，「Challenge to anhydro-preservation of cell line inspired by a desiccation tolerant African insect」
針山 孝彦教授，浜松医科大学，「Biomimetic thin membrane, the NanoSuit®, enhancing surface shield effect for living organism in high vacuo」

奥田先生からは，ネムリユスリカに学ぶ無水保存に関する研究の講演が行われた。ネムリユスリカの幼虫は乾燥状態に長期間曝されても吸水すると蘇生することで有名である。乾燥状態ではグリコーゲンから変換されたトレハロースが水の代わりに生体物質を保持するため乾燥状態での生存が可能になっている。再度吸水を行うと，トレハロースはグリコーゲンに戻り，幼虫は活動することができる。これが個体だけでなくネムリユスリカの細胞レベルでも可能であることを示されており，糖の変換を利用した乾燥保存の技術への展開が期待される。

針山先生からは，Plenary Talk として「ナノスーツ法」の研究についての講演が行われた。これまでに電子顕微鏡の微小圧力下でも生きたボウフラを観察できることが示されてきたが，このようなウジ型幼虫の他にも生きたままの細胞組織などが観察可能になった。さらに表面に塗布してスーツ化するための溶液に関してもバリエーションが増えており，利便性の広がりが伺え，医療現場での実用が待たれる。

所属機関：NPO 法人アスクネイチャー・ジャパン
氏名：星野敬子

「バイオミメティクス国際会議」レポート

当法人アドバイザーで，千歳科学技術大学教授 下村政嗣氏が代表を務める新学術領域研究「生物多様性を規範とする革新的材料技術（略称：生物規範工学）」が主催する国際会議“Engineering Neo Biomimetics VI”が京都で開催された。本会議には，フランス サンリス市のバイオミメティクス研究開発拠点「CEEBIOS（Centre Européen d’Excellence en Biomimétisme de Senlis）」からカリーナ・ラスキン氏がゲストの一人として招かれた。アスクネイチャー・ジャパンは「CEEBIOS」と，自然に学ぶものづくり，環境保全，地域創成などをそれぞれに目指しながら，国際交流を重ねている。そのため，本会議 2 日目に滋賀県でサテライト・ワークショップが行われた。

日　時：2015 年 10 月 23 日（金）
内　容：13:30-15:00 滋賀県立琵琶湖博物館　見学
　　16:30-18:00　会議「バイオミメティクスの国際連携」
参加者：32 名（海外ゲスト 6 名，日本研究者 10 名，滋賀関係者 14 名）

主　催：科学研究費「生物規範工学」
共　催：アスクネイチャー・ジャパン

バイオミメティクスにとって，生物資源の収集や保全は不可欠である。そこでまず，滋賀県立琵琶湖博物館の見学を通じて，バイオミメティクスから見る博物館の役割を考えた。さらに，上席総括学芸員マーク・ジョセフ・グライガー氏に博物館の特徴や展示を解説いただき，琵琶湖の自然や滋賀の暮らしについて理解を深めた。国立科学博物館や海洋研究開発機構（JAMSTEC）の研究者も出席し，博物館間の交流の機会にもなった。

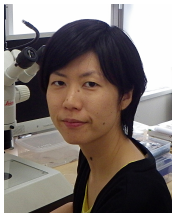
その後，たねやグループの施設「ラ コリーナ近江八幡」に場所を移し，「バイオミメティクスの国際連携」をテーマに会議を行った。はじめに，バイオミメティクス研究会を主宰する高分子学会事務局長 平坂雅男氏からバイオミメティクスの国内動向を，最新の製品開発，メディア報道，産業系コンソーシアム設立などの事例を交えて紹介いただいた。

その後，2 つの視点からディスカッションを行った。まず，生物学と工学の専門領域にあるギャップに焦点を当て，情報格差や技術矛盾を超える手段としての「バイオ TRIZ」などについて議論した。2 つ目のトピックスは産業化とし，ビジネスとして成立させるための要件，企業に必要な人材などについて意見を交換した。海外ゲストから，フランス，アメリカ，イスラエル，ベルギーにおけるビジネス化の事例やアイデアも紹介された。

この他，教育の重要性についても議論が及んだ。若い世代が学際的に学び，あらゆる分野に興味を持ち，日常的に多様な人とディスカッションする場をつくること，その結果が技術革新を生み出す土壌となる，という意見も出された。

本会議は，バイオミメティクスという多様な連携を必要とする新領域に対して，国籍も分野も所属も異なる研究者，事業者，行政，教育者が集い，意見を交わす機会として実りあるものとなった。引き続き，バイオミメティクスを実社会に応用していくための議論を深めてゆきたい。

所属班：A01-1 班
所属機関：国立科学博物館動物研究部
氏名：片山　英里



島津新素材セミナー2015　新素材のヒントはここに！「バイオミメティクス」（京都 10 月 23 日）に参加して

京都の島津製作所で新素材セミナーが三条工場内 新本館 1F セミナーホールで開催された。企業や技術者に新素材のヒントを提供し，現在の研究の最先端を紹介するものであった。本セミナーは，下村政嗣先生（千歳科技大）の新学術領域研究の目指すものとして，バイオミメティクスの意義と研究の新局面とその課題についての講演から始まった。石田秀輝先生（東北大）のバイオミメティクスが人の暮らしに与える心の豊かさについての講演があり，環境制約の中でのネイチャーテクノロジーやオントロジー工学によるこれからのライフスタイルついてのお話があった。その後，島津製作所の枝廣雅美氏によって，マイクロフォーカス X 線 CT による生体試料の 3 次元観察について紹介された。島津製作所のマイクロ CT の解像度とカブトムシの内部構造や，ピラニアの内部にある歯，海綿動物のスポンジ状構造など，非常に精度の高い画像が紹介されており，非破壊で生物の構造を明らかにするうえで非常に重要なツールとなりうるであろう。試料の CT 画像前処理についても紹介され，生物の形態データを収集している筆者にとって，有益な情報を得ることもできた。次に，椿玲未先生（JAMSTEC）は海綿動物の水輸送システムについて説明された。海綿は古くからスポンジとしてその構造が模倣されてきたが，海綿の「スカスカ」な構造の中にある輸送システムを，実験的に検証し，また CT 画像による構造の解析を行うことで，水輸送システム構造の解明と可視化を行っているところが興味深かった。そしてデータベース班の古崎晃司先生（大阪大）によるオントロジーに基づくキーワード探索システムについての講演があった。画像データベースとともに重要となるキーワードによる探索システムは，語彙を抽象的に体系化することで，画像だけでは理解し難い生物知識が十分ではない研究者が，素材のヒントまでを導いてくれるものと考えられる。その後，藤井秀司先生（大阪工業大）による粉末状粘着材リキッドマーブルの研究についての講演があり，粘着性のある粉体として振る舞う接着剤についての研究が紹介された。これまでとは形状の異なった粘着剤で，接着についての今後の発展が期待されるものであった。最後に（株）LIXIL の井須紀文氏によるカタツムリの殻の特性を利用した住宅についての講演があり，今回の講演の最後を，まさに自然に学ぶものづくりについての興味深い実例が紹介されて，セミナーが終了した。

ポスター発表は講演の間に行われ，バイオミメティクス研究班による 18 題と，島津分析技術ポスターの 12 題が提示され，ポスターの前でそれぞれの発表者による説明や議論が約 1 時間にわたって活発に行われた。

企業と研究班が共同でこのような場を持つことで，バイオミメティクス研究と産業を新たに結ぶきっかけになるとともに，結びつきもまた実感できたのではないかと感じた。今後も，こうした情報交換や交流の場によって，より活発な議論が行なわれることを期待する。

所属班：B01-3 班
所属機関：産業技術総合研究所　構造材料研究部門
氏名: Raju　Gupta，穂積　篤

Conference Report: 4th Nagoya Biomimetics International Symposium (NaBIS)

4th Nagoya Biomimetics International Symposium (NaBIS) was organized on October 30, 2015 at Nagoya. The conference started with talk by Prof. Todd Emrick (UMass, USA) titled “Merging synthetic polymers with functional groups from Nature”. His talk focussed on building of libraries of macromolecules to synthetic polymer backbones for therapeutic applications. Examples include encountering of flexible microcapsules filled with a solution of nanoparticles to a damaged surface and release of nanoparticles into damages sites. In another example zwitterions were incorporated in polymer units resulting in droplets having varied interfacial surface tension. Next talk by Dr. Shigeru Deguchi (JAMSTEC, Japan) titled “Soft Materials Under Extreme Conditions Mimicking Deep-sea Hydrothermal Vents” was on formation of 50-100 nm sized oil nanoemulsions using flow reactor operating at process conditions similar to hydrothermal vents in sea. Next talk by Prof. Yusuke Yamauchi (NIMS, Japan) titled “Synthesis of Novel Nanoporous Materials Based on a Self-assembly of Functional Molecules” was on preparation of novel mesoporous materials using polymeric micelle assembly approach. Synthesis of various nanostructured materials such as mesoporous TiO_2, SiO_2, Au/Pt and C were shown and such nanostructured materials were used for sensing, catalysis and energy applications. Next talk was by Prof. Lei Jiang (Chinese Academy of Sciences, China) titled “Smart Interfacial Materials from Super-Wettability to Binary Cooperative Complementary Systems”. He gave a very nice overview of

super-wettability system. “Cooperative effect of micro/nano-structures and surface energy are the key of super-wettability” was the take home message from his talk. He presented various nature-inspired binary cooperative complementary nanomaterials for super-wettability applications. Based on this concept, he talked about various examples towards energy conversion systems, oil/water separation and anti-biofouling applications. The next talk was by Prof. Heashin Lee (KAIST, Korea) titled “Mussel-inspired Adhesive Polymers: Five-year Story of Chitosan-catechol”. In this talk, he talked about development of polymeric catecholamines based wet-resistant adhesives similar to muscle adhesive proteins. Next talk was by Prof. Tom McCarthy (UMass, USA) titled “Do you know what PDMS is?”. He explained audience about difference between silica, silicon and silicone. He gave a very nice fundamental talk about PDMS and explained reaction chemistry during PDMS formation. Next talk was by Prof. Masanobu Kamitakahara (Tohoku University) titled “Potential of Hydroxyapatite as a Scaffold Material for Microorganisms for Water Purification”. He presented potential of hydroxyapatite (HA) as adsorbent. Scaffold made of HA was prepared and microorganisms were adsorbed over such scaffolds. Final talk of the conference was by Prof. Kaori Kamata（TITech, Japan）titled “Biotemplated 3D Microstructures for Unique Electromagnetic Responses”. She presented formation of air core helix structures utilizing spirulina, blue-green algae as biotemplate and usage of such helical microstructures for absorption of tetrahertz waves.

All the posters presented during the conference were interesting especially by Dr. Michinari Kohri (Chiba University) on preparation of structural color pellets core-shell particles prepared using polystyrene core and polydopamine shell. All the conference chairs adhered strictly to the allocated schedule leading to smooth running of the presentations.

所属班：A01-1班
所属機関：北陸先端科学技術大学院大学
　　サービスサイエンス
研究センター
氏名：溝口　理一郎

２０１５年度第２回高分子学会バイオミメティクス研究会報告

高分子学会バイオミメティクス研究会と ISO/TC266 バイオミメティクス国内審議委員会の二つの組織の主催で，15-2 バイオミメティクス研究会が下記の要領で開催された．今回の主題は「環境とバイオミメティクス」であり，今後ますます重要となる環境問題との接点を意識して設定された．

日時 平成27 年11 月17 日(火) 13:00～18:00
会場 産業技術総合研究所

プログラムは以下の通りである．バイオミメティクス研究会運営委員長である下村教授からの開会の挨拶のあと，第一部ではISO/TC266バイオミメティクス国内審議委員会を中心としてISOにおいて活動している，バイオミメティクス技術の標準化に関するISO/TC266全体会議が京都で開催されたこと受けて，その活動の概要報告が４つのWG関係者からあった．休憩の後の第２部では，環境との接点と言うことで，企業からのご意見を二つ，大学からの意見を一つ，合計３件の報告があった．短い休憩の後，第３部では，産総研から生物模倣技術と新材料･新製品開発への応用という観点で，フジツボを題材にしたバイオセンサーに関する報告があった．各報告の後，活発な意見交換があり，聴衆の関心の高さがうかがえた．

13:00～13:05 開 会
（高分子学会バイオミメティクス研究会運営委員長）下村 政嗣

第一部：ISO/TC266 京都国際会議の報告

13:05～13:25 ISO/TC266 Biomimetics 京都会議（第5回）WG1報告
（大阪大学）齋藤 彰

13:25～13:45 ISO/TC266 WG2国際委員会 京都会議の報告
（物質・材料研究機構）細田 奈麻絵

13:45～14:15 バイオミメティックスの国際標準化～生きた国際標準を目指して～
（産業技術総合研究所）関谷 瑞木

14:15〜14:45 ISO/TC266 Biomimetics WG4京都会議報告
（北陸先端科学技術大学院大学）溝口 理一郎

14:45〜15:00 休 憩

第二部：環境とバイオミメティクス

15:00〜15:40 環境・CSR経営からみたバイオミメティクス
（積水インテグレーテッドリサーチ）白鳥 和彦

15:40〜16:20 欧州の環境・エネルギー・技術政策からみたバイオミメティクス
（三菱総合研究所）亀井 信一

16:20〜17:00 生物多様性と自然環境評価 （大阪府立大学）平井 規央

17:00〜17:10 休憩

第三部：『生物模倣技術と新材料･新製品開発への応用』（技術情報協会刊）から

17:10〜17:50 フジツボ構造の形成による
プラズモン現象の効率的発生とバイオセンシングへの応用
（産業技術総合研究所）福田隆史

17:50〜18:00 閉会

所属班：B01-4 班
所属機関：京都大学農学研究科応用生命科学専攻
氏名：森直樹

島津新素材セミナー2015
新素材のヒントはここに！「バイオミメティクス」
（2015 年 10 月 23 日および 11 月 20 日）セミナーに参加して

2015 年 10 月 23 日（金）に京都，11 月 20 日（金）には東京において，上記のセミナーが開催された。それぞれ，48 名と 96 名の参加があった。化学系製造業以外にも，自動車，家電，化学，印刷，スポーツ用品などと幅広くの方々が参加され，多くの業種においてバイオミメティクスへの関心の高さが伺えた。

京都では，島津製作所シニアフェローの田中耕一氏がわざわざ会場に来られ，「今後のバイオミメティクスに大きく期待したい」とのご挨拶をされた。「バイオミメティクス」と云う言葉を挙げた点に，田中先生の強い期待感を感じたのは著者だけではなかったと思う。当初このような予定はなく，サプライズな出来事であったと聞き及んでいる。その後，石田秀輝先生，島津製作所技術者の方，椿玲未先生，古崎晃司先生，藤井秀司先生，そして伊須紀文先生の発表があった。東京では，下村先生の基調講演後，森，島津製作所技術者の方，長谷山美紀先生，穂積篤先生，日立製作所の宮内昭浩先生，そして関谷瑞木先生の講演があった。講演後，京都では「元素ブロック」研究班，東京では「バイオミメティクス」研究班のポスター発表も開催された。

それぞれの先生方の発表内容は島津製作所のレポートに譲りたい。著者がここで強調したいのは，ポスター発表後にセミナー参加者と講演者とで行われた懇親会の雰囲気である。至る所で，発表者を囲んだ輪ができ，活発な議論が行われている様子が良く分かった。著者が所属する学会では，一般企業の研究者と大学の研究者がこのように自由闊達に議論を交わす機会は少なく，非常に驚いた。その様子を横目で見ながら，農学系の私には話しかけてくる企業の方はいないであろうと高を括って，この雰囲気を著者が所属する学会にどのようにしたら持ち込めるかに思いを巡らせていた。ところが，幾つかの企業の方から声を掛けられた。そのうち 2 つは社内に農薬部門があり，農薬開発に対しても疎遠ではない企業の方だった。驚いたのは，全く農薬開発とは関係のない数名の方から声を掛けられたことであった。島津製作所だけでなく多くの企業研究者の方々が「バイオミメティクス」に興味を持ち，その可能性に期待していることが実感できた。私にとっても有意義なセミナーであった。このような機会を作って頂いた島津製作所の関係者の方々に御礼を申し上げたい。

（6）新聞・報道

【新聞・報道】

総括班

（1） 化学工業日報（2015 年 10 月 27 日）
「京都で新素材セミナー　島津製作所　生物模倣をテーマに」
１０月２３日に島津製作所で開催された，”第３回島津新素材セミナー2015(京都)
新素材のヒントはここに! 「バイオミメティクス」～生物の多様性に学ぶ新造材の
創出~”が紹介されました。

（2） 朝日新聞　朝刊（2015 年 12 月 1 日）
北海道版に連載の「知の達人たち」に,”生き物から技術をとりだす”という表題で下
村領域代表が紹介されました。

（3） 北海道新聞　日曜版（2015 年 12 月 13 日）
「ほっかいどう知究人
　バイオミメティクス　生物に学ぶモノづくり　異分野連携で大きな成果」
下村政嗣先生(総括班)，長谷山美紀先生(A01 班)，下澤楯夫先生(評価委員)，平井悠
司先生(B01-1 班)らが紹介されました。

（4） 神戸新聞　夕刊（2016 年 1 月 5 日）
「生き物の特性　技術に生かせ ナノテク普及が後押し」
下村政嗣先生(総括班)，尾崎まみこ先生（B01-4 班）らが掲載されました。

（5） 毎日新聞（2016 年 1 月 21 日）
「科学の森
　『生きたまま』超薄膜で実現　真空でも試料の水分保持, 電子顕微鏡で観察可能に」
針山孝彦先生（B01-2 班），下村政嗣先生（総括班）らが掲載されました。

A01 班

（1） 北海道新聞　朝刊　地方　函館・渡島・桧山（2015 年 11 月 14 日）
長谷山先生(A01 班)が講師を務めた，第 24 回先端科学移動大学 2015 での講義の
様子が掲載されました。

（2） 北海道新聞　日曜版（2015 年 12 月 13 日）
「ほっかいどう知究人
　バイオミメティクス　生物に学ぶモノづくり　異分野連携で大きな成果」
下村政嗣先生(総括班)，長谷山美紀先生(A01 班)，下澤楯夫先生(評価委員)，平井悠
司先生(B01-1 班)らが紹介されました。

B01-1 班

（1） 北海道新聞　日曜版（2015 年 12 月 13 日）
「ほっかいどう知究人
　バイオミメティクス　生物に学ぶモノづくり　異分野連携で大きな成果」
下村政嗣先生(総括班)，長谷山美紀先生(A01 班)，下澤楯夫先生(評価委員)，平井悠
司先生(B01-1 班)らが紹介されました。

(2)　日刊工業新聞（2016 年 1 月 22 日）
「第 4 回　ネイチャー・インダストリー・アワード ～若手研究者からの発信～
　受賞者の研究概要」【日刊工業新聞社賞】「自己組織化を利用した無反射・超撥水/超親水シリコン微細構造の作製」
千歳科学技術大学　平井　悠司氏（B01-1 班）

B01-2 班

(1)　化学工業日報（2015 年 11 月 13 日）
「毛管力で液体輸送 マイクロ流路デバイス 鋳型法用い微細突起」
石井大佑先生（B01-2 班）の記事が掲載されました。

(2)　毎日新聞（2016 年 1 月 21 日）
「科学の森
　『生きたまま』超薄膜で実現　真空でも試料の水分保持, 電子顕微鏡で観察可能に」
針山孝彦先生（B01-2 班），下村政嗣先生（総括班）らが掲載されました。

(3)　日刊水産経済新聞（2016 年 2 月 12 日）
「生きた細胞見える顕微鏡　体調測定できる機能素材　ナノテク展示会」
針山孝彦先生（B01-2 班）らが掲載されました。

B01-3 班

(1)　日刊工業新聞（2016 年 1 月 22 日）
「第 4 回　ネイチャー・インダストリー・アワード ～若手研究者からの発信～
　受賞者の研究概要」【技術開発委員会賞】「魚の鱗に倣った超撥油性表面の創製～水/油連続分離システムの開発～」
産業技術総合研究所　　穂積　篤氏（B01-3 班）

B01-4 班

(1)　神戸新聞　夕刊（2016 年 1 月 5 日）
「生き物の特性　技術に生かせ ナノテク普及が後押し」
下村政嗣先生(総括班)，尾崎まみこ先生（B01-4 班）らが掲載されました。

C01 班

(1)　NHK エデュケーショナルズ（2015 年 4 月 29 日）
「ピカイア　カンブリアの海へ！」
石田秀輝先生（C01 班）がアニメ『ピカイア！』（NHK 科学アニメ）監修されました。

(2)　NHK エデュケーショナルズ（2015 年 5 月 4 日）
「ピカイア　今こそバイオミメティクス」
石田秀輝先生（C01 班）がアニメ『ピカイア！』（NHK 科学アニメ）監修されました。

(3)　NHK エデュケーショナルズ（2015 年 5 月 5 日）
「ピカイア　断崖のハルキゲニア」
石田秀輝先生（C01 班）がアニメ『ピカイア！』（NHK 科学アニメ）監修されました。

(4)　NHK エデュケーショナルズ（2015 年 5 月 6 日）
「ピカイア　激流を乗り越えろ！」
石田秀輝先生（C01 班）がアニメ『ピカイア！』（NHK 科学アニメ）監修されました。

(5)　日刊工業新聞（2015 年 6 月 25 日）
「モノづくり体感スタジアム 2015」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

(6)　日刊工業新聞（2015 年 7 月 10 日）
「第 3 回 2030 年の『心豊かな』ライフスタイル」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

(7)　南海日日新聞（2015 年 8 月 13 日）
「沖永良部シンポジウム」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

(8)　奄美新聞（2015 年 8 月 16 日）
「沖永良部シンポジウム」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

(9)　南海日日新聞（2015 年 8 月 30 日）
「持続可能な島目指して」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

(10)　日刊工業新聞（2015 年 10 月 9 日）
「第 12 回　2015 年超モノづくり部品大賞」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

(11)　日刊工業新聞（2015 年 11 月 6 日）
「地方創生-課題先進国の先頭に」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

(12)　南海日日新聞（2015 年 11 月 12 日）
「『地方化』視座に」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

（13）日経新聞（2015 年 11 月 21 日）
「節約の中に豊かさ求める」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

（14）KAI Presents Earth Radio（2015 年 11 月 24 日)
『100 年先の未来』を創る番組 KAI Presents Earth Radio
石田秀輝先生（C01 班）が出演されました。

（15）神戸新聞（2015 年 11 月 26 日）
「『自然に学ぶ暮らし』解説」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

（16）読売新聞（2015 年 12 月 3 日）
「アリ塚をヒントに空調　耳より講座」
石田秀輝先生（C01 班）が掲載されました。

公募班

(1) 毎日放送 Voice（2015 年 10 月 29 日）
「大阪工業大学が開発　アブラムシがヒント・・・新しい粘着剤」
藤井秀司（公募班）の成果が放送されました。

(2) yahoo ニュース（毎日新聞）（2015 年 11 月 1 日）
「＜大阪工業大＞粒状の粘着剤を開発　工業分野で応用広く」
藤井秀司（公募班）が掲載されました。

(3) 毎日新聞（2015 年 11 月 2 日）
「べとつかない粘着剤 大工大開発　虫の蜜ヒント，電子機器などに応用期待」
藤井秀司（公募班）が掲載されました。

(4) 化学工業日報（2016 年 1 月 13 日）
「アブラムシに着想　粉末状粘着剤を開発」
藤井秀司（公募班）が掲載されました。

(5) 日刊工業新聞（2016 年 1 月 22 日）
「第４回　ネイチャー・インダストリー・アワード ～若手研究者からの発信～
受賞者の研究概要」
【ＯＳＴＥＣ賞】「メラニン顆粒を模倣した吸収のあるコロイド粒子を用いる多彩な構造発色の実現」千葉大学　桑折　道済氏（公募班）

（7）アウトリーチ活動

【アウトリーチ活動報告】

(1) 2015 年 10 月 14 日，北海道総合研究プラザ　セミナー室にて HoPE10 月例会が開催され，下澤楯夫先生(総括班)，長谷山美紀先生(A01 班)らが生物の構造や機能，さらに生物が生きる仕組みなどから着想を得て，ものづくりに活かす「バイオミメティックス」について講演を行いました。

(2) 2015 年 10 月 17 日，佐賀ワシントンホテルプラザ 1F「カフェ・ド・パリ」にて，第 27 回サイエンスカフェ in SAGA が開催され，穂積 篤 先生（B01-3 班）が「濡れを極める　～生物から着想を得た人工表面の開発～」の講演を行いました。

(3) 2015 年 11 月 13 日～14 日，長谷山美紀先生（A01 班）が，函館にて第 24 回先端科学移動大学 2015 を行いました。

(4) 2015 年 11 月 25 日，千歳科学技術大学 本部棟にて，特定非営利活動法人ホトニクスワールドコンソーシアム(PWC)バイオミメティクス研究クラスター講演会が開催され，大阪大学大学院工学研究科　齋藤 彰先生を招き講演を行いました。

(5) 2015 年 12 月 1 日(火)～2016 年 3 月末日，文部科学省　情報ひろばにて，企画展示『NanoSuit®法ー生きたままの生体の電子顕微鏡による“生態”観察』が開催されました。
2015 年 12 月 22 日　サイエンスカフェ　第一弾
2016 年 2 月 18 日　サイエンスカフェ　第二弾
NanoSuit®法や，医学・生物学，材料科学およびバイオミメティクスによる“ものづくり”について紹介され，サイエンスカフェ「高真空環境で生命維持を可能にした秘密のお話」も開催し，NanoSuit®開発についての説明や走査型電子顕微鏡を使った観察も行いました。

(6) 2016 年 1 月 11 日～12 日，旭川医科大学にてクロスボーダーシンポジウムが開催されました。

(7) 2016 年 1 月 26 日～29 日，東京ビックサイトにて開催の nano tech 2016 第 15 回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議に出展しました。
期間中，バイオミメティクス・ネットワーク・ジャパン”という展示ブースを展示します。新学術領域関連の展示でもあり，今後の日本の産業界への貢献の一つとなることを目指します。
2016 年 1 月 29 日　11：30～13：45　バイオミメティクス研究会「『ものづくり』をかえる，バイオミメティクス」という題名のカンファランス・セミナーが，メインシアター会場にて開催されました。
また，3 日間の期間中，ナノスーツ法のデモンストレーションを JEOL の卓上 SEM の NeoScope をお借りしてブースにおいて公開しました

（8）各種案内

BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

出川洋介（筑波大学 菅平高原実験センター 助教）

「昆虫腸内菌の生き様に学ぶ」

2015年11月7日（土）

会　場：北海道大学人文・社会科学総合教育研究棟 / W102
札幌市北区北9条西7丁目

時　間：午後1時30分から 午後3時30分

学生時代、菌類の研究をはじめて間もない頃に、不思議なカビに出会いました。いかなる図鑑にも論文にも掲載されておらず未記載種に間違いありません。しかし、何といっても特徴的なのは、このカビの胞子の形です。非常に特徴的な表面構造をもっており、一度見たら決して忘れられない奇妙な胞子でした。何とかしてこのカビを培養しようと、あの手この手を尽くしたのですが、当時、どうやっても胞子を発芽させることができませんでした。その後、何度も、この奇妙なカビと遭遇してきたのですが、20年を経て、最近、ようやくその謎が少しずつ解けてきました。この胞子は、昆虫に食べられると発芽するようなのです。実は、この奇妙な胞子の形態には、昆虫の腸内に留まるための秘密が隠されていたのです。この胞子の秘密の謎解きをしながら、昆虫の腸内で生活する菌が発明した巧みな生き様についてご紹介いたします。

主　催：北海道大学総合博物館
共　催：科学研究費 新学術領域「生物規範工学」
　　高分子学会北海道支部
協　賛：千歳科学技術大学バイオミメティクス研究センター

北海道大学総合博物館
060-0810 札幌市北区北10条西8丁目
問合せ先：TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029
E-mail: museum-jimu@museum.hokudai.ac.jp

BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

木村 - 須田 廣美（千歳科学技術大学 理工学部 応用化学生物学科 教授）

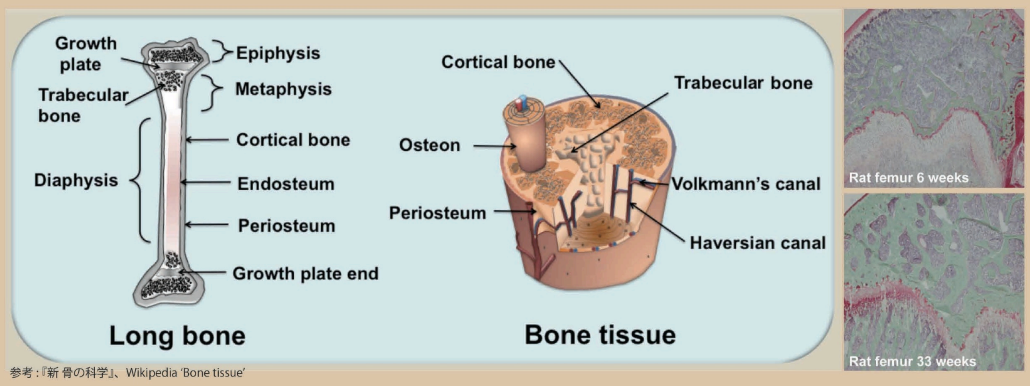
「骨粗鬆症の病態から学ぶ 強い骨の構造と質」

2015年12月5日（土）

会　場：北海道大学学術交流会館／第３会議室
札幌市北区北８条西５丁目

時　間：午後１時30分から 午後３時30分

骨粗鬆症は、骨密度の低下と骨組織の微細構造や質に異常をきたし、骨強度の低下を招きます。その結果、骨折が起きやすくなり、いわゆる老人の寝たきり状態を生み出す原因となっています。骨粗鬆症の原因には、加齢、性ホルモン分泌の減少、糖尿病、腎臓病、喫煙など様々なものがあげられます。骨強度は７０％が骨密度、残りの３０％が骨質によるものと考えられています。これまで私たちは、光を使った計測技術を用いて骨質の研究を行い、骨粗鬆症の原因によって骨質が異なることを示してきました。今回の講座では、原因の異なる骨粗鬆症の構造と骨質を示しながら、強い骨と骨の健康について考えて行きたいと思います。



参考：『新 骨の科学』、Wikipedia 'Bone tissue'

主　催：北海道大学総合博物館
共　催：科学研究費 新学術領域「生物規範工学」
協　賛：高分子学会北海道支部
千歳科学技術大学バイオミメティクス研究センター

北海道大学総合博物館
060-0810 札幌市北区北10条西８丁目
問合せ先：TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029
E-mail: museum-jimu@museum.hokudai.ac.jp

BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

室﨑 喬之（旭川医科大学 医学部 化学教室 助教）

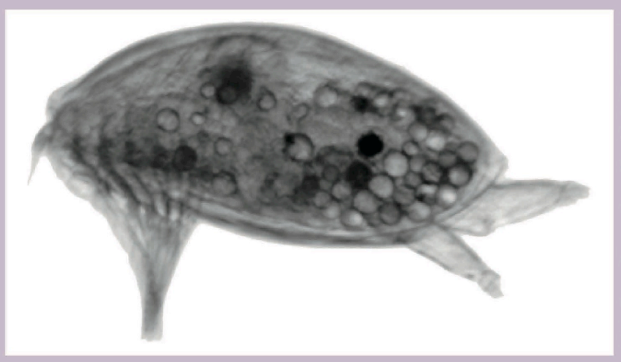
「人間とフジツボ」

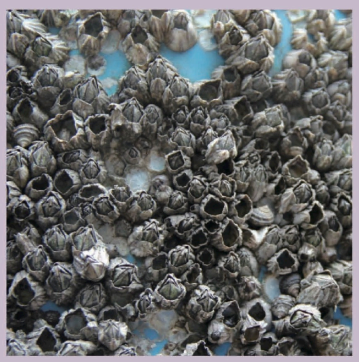
2016年1月11日（月）

会　場：北海道大学学術交流会館/第3会議室
札幌市北区北8条西5丁目

時　間：午後1時30分から 午後3時30分

フジツボに代表される海洋付着生物は自然界では岩場などに固着して生活しています。しかし船舶や漁網などの人工物にも付着することから、人間が海に進出した時より付着生物との戦いは続いてきました。これまではフジツボなどの付着生物に対し高い殺生作用を示す有機スズ化合物が使用されてきましたが、強い内分泌かく乱作用があることがわかり使用できなくなりました。その為、近年では海藻やサメなどの表面に生物が付着しないことにヒントを得て、その表面構造デザインを利用した環境負荷が低い付着防止の技術が研究され始めています。一方でフジツボには人間との関わりにおいて汚損生物以外の側面もあります。大型のフジツボは食用になり、最近は養殖の研究もされ始めました。また水中で強い接着力を示すことから、フジツボが持つ接着剤を研究することで夢の水中接着剤が作れるのではと期待されています。本セミナーでは、このような人間とフジツボの関わりを様々な角度から見てお話したいと思います。





主　催：北海道大学総合博物館
共　催：科学研究費 新学術領域「生物規範工学」
協　賛：高分子学会北海道支部
千歳科学技術大学バイオミメティクス研究センター

北海道大学総合博物館
060-0810 札幌市北区北10条西8丁目
問合せ先：TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029
E-mail: museum-jimu@museum.hokudai.ac.jp

BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

藤井 秀司（大阪工業大学工学部応用化学科　准教授）

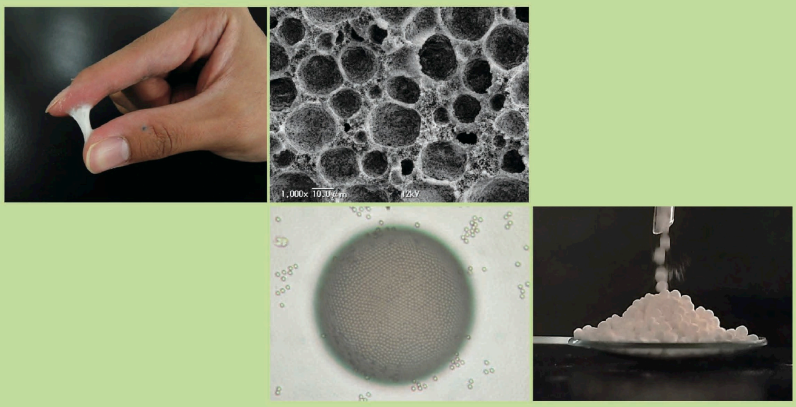
「バイオミメティック材料の開発：微粒子が拓く省エネルギー型ものづくり」

2016年2月6日（土）

会　場：北海道大学学術交流会館／第3会議室
札幌市北区北8条西5丁目

時　間：午後1時30分から 午後3時30分

空気と液体の界面に微粒子を吸着させることで気泡や液滴を安定化させる、省エネルギー型のしくみを利用している生物がいます。例えば、胞子や種子を泡の表面に吸着しやすい微粒子状にし、泡に吸着させ、より遠方まで運ばせるしくみをもった植物がいます。また、自らが排出する液滴の表面を固体粒子で覆うことで、ねばねばの液体を団子状にして、自身の体や巣の内壁に液体が濡れ広がらないようにし、巣の中を清潔にたもち溺死しないようにする昆虫がいます。本講演では、生物が創り上げたこのしくみと工学を融合することで機能性材料の創出を行う研究について紹介させていただきたいと思います。

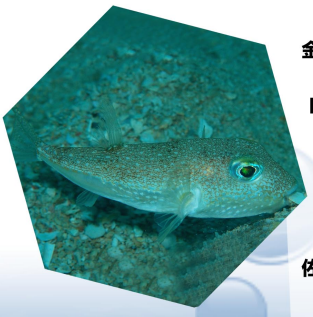


主　催：北海道大学総合博物館
共　催：科学研究費 新学術領域「生物規範工学」
　　高分子学会北海道支部
協　賛：千歳科学技術大学バイオミメティクス研究センター

北海道大学総合博物館
060-0810 札幌市北区北10条西8丁目
問合せ先：TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029
E-mail: museum-jimu@museum.hokudai.ac.jp

公開ジョイントシンポジウム

沖縄で考える 海洋資源メッカ バイオミメティクス



テーマその1　海洋資源とバイオミメティクス

金本 昭彦 先生（オーピーバイオファクトリー株式会社）
「海洋生物資源を活用した事業展開」

白山 義久 先生（海洋研究開発機構）
「海洋生物の自然史学に学ぶバイオミメティクス」

松浦 啓一 先生（国立科学博物館）
「新種のフグが作るミステリーサークル：魚の『建築』技術を探る」

西田 睦 先生（琉球大学）・馬渡 駿介 先生（北海道大学名誉教授）
「国立自然史博物館はバイオミメティクスのメッカ！？」

佐藤 圭一 先生（沖縄美ら島財団　総合研究センター）
「沖縄美ら海水族館が創り出す多様な資源とその活用」

テーマその2　自己組織化とバイオミメティクス「良い加減さの起源」

都甲 潔 先生（九州大学）
「生体模倣技術を用いた味と匂いを測るセンサ開発」

尾崎 まみこ 先生（神戸大学）
「匂いで良い加減を知る？アリの巣仲間センシング」

室崎 喬之 先生（旭川医科大学）
「フジツボの抗付着に適した「良い加減」な表面微細構造」

吉岡 伸也 先生（東京理科大学）
「昆虫の表面構造における『良い加減さ』」

山濱 由美 先生（浜松医科大学）
「眼の構造における『良い加減さ』 水棲生物の場合」

参加費 **無料**

参加方法
下記ホームページからお申し込みください。
http://biomimetics.es.hokudai.ac.jp/?p=7903

開催日時　平成28年 3月4日（金） 9:15-16:00

会場　沖縄県市町村自治会館
4階 第4～6会議室
那覇市旭町116-37
モノレール旭橋駅から徒歩5分

主催：科学研究費補助金 新学術領域「生物規範工学」
国立研究開発法人 海洋研究開発機構

写真提供：大方洋二

「生物多様性を規範とする革新的材料技術」ニュースレター Vol. 4 No. 3
発行日　2016年2月24日
発行責任者　下村政嗣（千歳科学技術大学）
編集責任者　穂積　篤（国立研究開発法人　産業技術総合研究所）
制作　「生物規範工学」領域事務局
北海道大学電子科学研究所内
〒001-0021　札幌市北区北21条西10丁目
電話　011-706-9360　FAX　011-706-9361
URL　http://biomimetics.es.hokudai.ac.jp/index.html