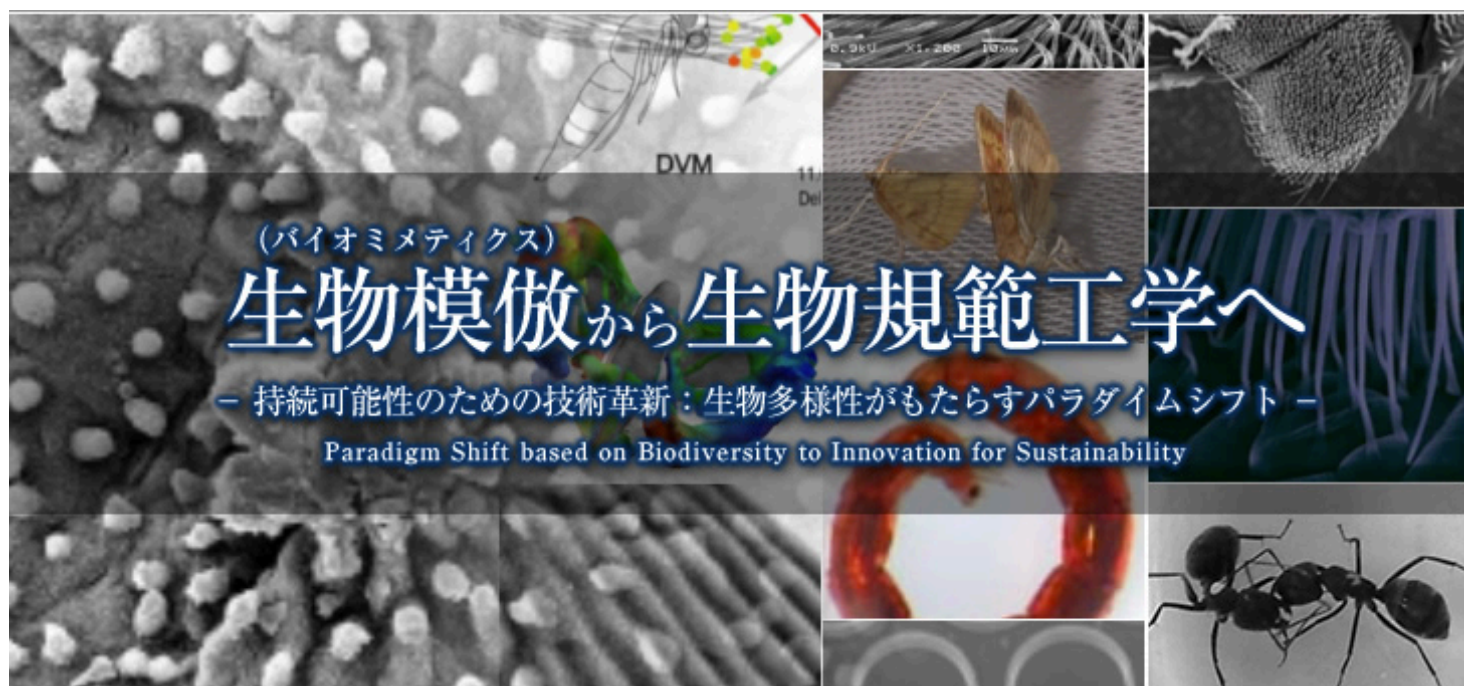


生物規範工学

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	
・ 生物規範工学は何处へ向かうのか 国武豊喜（九州大学高等研究院）	4
2) 特別寄稿	
・ 地球を席卷するヒト、地球を食い尽くすヒトだから— <i>Homo dominatus</i> 針山孝彦（浜松医科大学）	6
3) 研究紹介	
【2017年2月16日(木)】 バイオミメティクス研究会	
・ プログラム	13
要旨集（公益社団法人高分子学会より許可を得て転用）	
・ 第4次産業革命とバイオミメティクス 亀井信一（三菱総合研究所）	14
・ インフォマティクスとバイオミメティクス 宮内昭浩・守谷浩志・宮崎真理子（日立製作所）	16
・ データジャーナルとバイオミメティクス 大原昌宏・越前谷宏紀・村上麻季（北海道大学総合博物館）	18
・ 国外のバイオミメティクスの新しいトレンドとその背景にあるもの 齋藤彰（大阪大学）	20
・ 芸術、建築・デザインとバイオミメティクス～新しい環境創生へ～ 吉田隆（エヌ・ティー・エス）	22
・ エミュレーション生物学 出口茂（海洋研究開発機構）	24

【2017年2月17日(金)】

科学研究費「生物規範工学」国際シンポジウム(Engineering Neo-biomimetics VII)
ならびに全体会議

- ・ プログラム 25

要旨集

< 2月17日(金)10:05~14:20 国際シンポジウム(Engineering Neo-biomimetics VII)

- ・ Functional Surfaces in Biology as Source for Biomimetics: From the Fish Adhesion and the Snake Camouflage
Prof. S. Gorb (Kiel Univ., Germany)..... 27
- ・ Artificial Nucleobases for Designer DNA Nanomaterials
Prof. A. Pike (New Castle Univ., UK) 30
- ・ “Self-lubricating Organogels: SLUGs” Showing Beyond-Biological Surface Functionalities
Dr. A. Hozumi (AIST, Japan)..... 32
- ・ Biomimetic Structural Color Materials from Melanin-like Particles
Prof. M. Kohri (Chiba Univ., Japan)..... 34
- ・ Sponge as a Potential Model of Biomimetics: New perspective
Dr. R. Tsubaki (JAMSTEC, Japan) 36
- ・ Vibration Sensitivity in Longicorn Beetles and Biomimetic Potential for Insect Pest Control
Prof. T. Takanashi (FFPRI, Japan) 38

4) トピックス (PEN より)

- ・ 魚の体表に学ぶ防汚性：高分子電解質ブラシによるアプローチの動向
工学院大学 工学部 小林元康 41
- ・ 魚類分類学は人命を救う：フグ類の分類と毒性
国立科学博物館 動物研究部 松浦啓一..... 46
- ・ バイオミメティクスの海外動向
(株)富士通総研 第一コンサルティング本部 長谷川誠 52



5) 国内外研究動向紹介	
・ 平成28年11月10日(木)	
科学研究費「生物規範工学」公開講演会(仮)	
岸上祐子 (東北大学環境科学研究科/北陸先端科学技術大学院大学)	56
・ 平成28年11月11日(金)	
科学研究費「生物規範工学」全体会議 議事録	
重藤暁津 (国立研究開発法人物質・材料研究機構)	57
6) 新聞・報道	61
7) アウトリーチ活動	64
8) 各種案内	66

(1) 巻頭言

生物規範工学は何処へ向かうのか

九州大学高等研究院 国武豊喜



昨年 11 月に開かれた生物規範工学の全体会議では、ほぼ最終段階にある本領域が今後どこへ向かうべきかの意見交換が行われた。現在、この分野は大きな広がりを見せている。前回のニュースレターでの赤池学氏の巻頭言では、Bio-used, Biomimetic、Bio-inspired, Bio-guided の四つのアプローチにより、生体規範工学の幅広い技術的、社会的な展開が進んでいることを紹介されている。基礎的な学術の立場から見ても発想の転換が必要な時期に来ているようである。生物規範工学の出発点となる Biomimetics は、もともと生物に似た構造や機能を作り出すことを目標としていた。これら目標の具体的な内容については出発点となる学術分野によってさまざまであり、化学であればたんぱく、核酸や骨の働きであり、機械工学であれば飛行メカニズムであり、情報科学であればネットワークとしての脳の機能であった。つまり、物理学や化学、情報学などそれぞれの分野が得意とする概念や方法論を用いて、生物の持つ精妙な構造や機能を理解し、また再現や活用を図ることにあった。つまり、Biomimetics における Bio はターゲットとしての立ち位置にあったのである。そして、そこには基盤的な内容を目指すもの (biomimetics as science) と応用技術を指向するもの (biomimetics as technology) の二つの展開が含まれていた。

この状況は変わりつつある。現状を整理すると、物理学、化学、情報学、生物学が equal footing で学問的な基盤となってそれらの 4 脚の頂点に（または接点に）新しい科学技術の分野が生まれつつある。つまり、biomimetics の規範となる存在から新しい科学技術を支える基盤の一つへと、biology の立ち位置が変化すると考えられる。新しいステージに踏み込んだ Biomimetics は従来の biomimetics を乗り越えようとしているのである。

科学の諸分野の特徴はそれぞれがユニークなキー概念と結びついているところにある。物理学では general principle であり、化学では molecular/atomic variety、生物学では variety/complexity of life をキー概念と考えてよいだろう。これらの異なる概念が新しく発展した情報学／数学と一緒にあって新しい科学技術の分野を作り出し、キー概念の多彩な組み合わせがユニークで豊かな新科学や新技術を生み出すであろう。ここに科学技術の新たな統合のかたちが見えている。

従来、我々は自然科学の階層性に捉われてきた。つまり、物理学が最も基本的であり、その基礎の上に化学が成り立ち、更にそれらの上部構造として生物学が存在するとする（単純から複雑への）考え方である。このような物質の在り方（サイズや複雑さ）のみから見た階層性は、新しい科学技術の可能性を考えるには必ずしも適切ではない。上に述べた四つの学術分野とそれらのキー概念を従来型の階層性で整理することはできない。4 種のキー概念は独立した基盤であり、それらの独創的な組み合わせが “Biomimetics” に代わる新概念を生み出し学術の新時代を切り開くのであろう。

(2) 特別寄稿

【特別寄稿】

地球を席卷するヒト、地球を食い尽くすヒト—だから *Homo dominatus*

浜松医科大学 針山孝彦



日本の中のラテン語一種名の表記法

イタリア人の研究者と、研究の時を親密に過ごす時、研究に対するひたむきさ、そして彼らの底力を感じる時が度々あります。その底力の一つが彼らのもつラテン語能力なのかもしれないと思うようになりました。イタリア人は、高校の時にしっかりとラテン語を指導されます。特に理数系の分野に進む者にはラテン語を学ぶことが不可欠だと考えられています。イタリア語は、名詞に男性・女性という性があるだけでなく、性に引っ張られて形容詞の語尾も変化し、たとえば動詞の格で主語がわかります。私は、ラテン語の入門書を読んだ程度ですが、とても複雑で、お手上げ状態です。おそらく英語やドイツ語、フランス語を流暢に話せる日本人の方も、ラテン語文法は非常に複雑な規則に思われることでしょう。ラテン語をルーツにしているイタリア語を母国語とするイタリア人でも、ラテン語の学習はとても大変だそうです。別の見方をすれば、ラテン語は複雑に見えるしっかりした規則によって「語」を限定できるのでしょう。理数系の学生に、ラテン語を学ばせるのは、自然現象を正確に限定された語を用いて記載する科学の学習効果を狙っているのだらうとすらやましくも感じます。化学式や数式によって現象を記載することと、文字を使うことと同じであることを意識できる科学者を育成しているのですね。

日本では、ラテン語を学ぶチャンスは非常に限られた方々にしかありません。しっかりラテン語を使うことができる方は、もしかしたら国内では名前を列挙できるぐらいの人数になってしまうのではないのでしょうか。ところが、大学の生物学の授業の中で、ラテン語について解説しなければならない場面が必ずあります。生物の名前を記載するために、学名を用いなければならないからです。学名は生物につけられた世界共通の名前であるために、ラテン語を用いることに決められています。「分類学の父」と呼ばれている C. リンネ (Carolus Linnaeus) が二命名法を体系化して以来、人々は多くの生物を発見し今ではおよそ 175 万種が記載種だとされています(種数に関しては種々の説があります)。種の絶滅と新発見が繰り返されるので、常に種の数に変動するので、現存の種の数、記載種の倍だとか、10 倍だとか 100 倍だとかいわれていいいます。137 億年前に始まる宇宙の元素が集まって、生命が創造され多様化していった過程と現在のその姿を、不思議で美しいと思わない人はいないでしょう。そして、研究を深めれば深めるほど、「未見の美」を見てみたいと思います。

二命名法では、属名と種(小)名の2つの語を並べて、一つの種を表します。種・属・科・目・綱・門・界という分類の中の、最も細かく分類される階層の下2つです。属名は名詞、種(小)名は種形容語で形容詞か名詞です。種(小)名だけで、種名とはいえない理由がここにあります。学生に教えるときには、姓名を例えにします。何々家の、何太郎ということで、個人が特定できるのであって、何太郎だけでは同じ名前がたくさん出てきてしまいます。学名はラテ

ン語なので、あくまでローマ字読みの通りで発音しなくてはなりません。

地球上でのヒトの出現―「動的平衡」の崩壊

「動的平衡 (dynamic equilibrium)」という用語は、生命現象ではない「比較的単純な系の中で、逆向きの反応過程が同じ速度で進行することにより、系全体として時間に伴った変化を観察することが無く、平衡に達しているような状態を示すもの」として用いられるようになりました。「定常状態」と同様の用語として用いられることもあり、日本人の感性としては非常に受け入れやすく、拡大解釈もしやすいものです。鴨長明の方丈記にある「行く川のながれは絶えずして、しかも本の水にあらず。よどみに浮ぶうたかたは、かつ消えかつ結びて久しくとどまることなし。世の中にある人とすみかと、またかくの如し。」を動的平衡と結びつける人は多いでしょう。無常観であり、桜を愛で、永遠ではなく移ろいゆくものに美しさを感じる日本文化（日本人の自然観）の基礎であり、自然と一体化して、もしかしたら死生観にも繋がるのかもしれませんが。

46 億年前に誕生した地球は、およそ 10 億年を経て生命を育みました。系が安定した動的平衡状態の中で、生命が多様化（種分化）した結果が現在の地球の状態です。生命は海から誕生し、陸上進出を果たしました。明治時代の初めに生まれたアメリカ人の F.E.Clements (1874-1945) は、植物生態学の研究を進め、植生変化の理論をまとめたことで有名ですが、1916 年に生態系と生物の関係を「作用と反作用」という用語で説明したことも歴史に残っています。Clements は、物理学で用いられる“作用反作用”とは異なり、地球環境が生物に影響を与えることを「作用」、生物が地球環境に影響を与えることを「反作用」といいます。彼は植物遷移の研究の中でこの概念を出したわけですが、この「作用と反作用」の間にも「動的平衡」が存在しないと、バランスが維持できず系の変化（遷移）が生じることになります。

生命史上、一番の変化は、およそ 20 億年前のシアノバクテリア（光合成をする原核生物）の大量発生による地球上への酸素の放出でした。このシアノバクテリアの大量な出現によって、それまで毒であった酸素を効率よく使える原核生物が誕生し、将来の真核生物の誕生の礎ができたといっても過言ではないのです。つまり、このシアノバクテリアが酸素を放出するという「反作用」によって地球環境が大きく改変され、それまで酸素が毒であった生命体が酸素環境の拡大によって隅に追いやられ、酸素を効率よく利用する新しい真核生物が誕生し拡がるという激変を導いたのです。その後、地球上で種々の出来事がありましたが、特筆するような生物が地球環境を改変する「反作用」はありませんでした。人間の先祖の出現は 400 万年前だとか 500 万年前だとかいわれていますが、人間が出現した後も、長い間、作用と反作用を含めた「動的平衡」状態は続いていたのです。

ところが、およそ 1 万年前（日本の三内丸山遺跡では 1 万 5 千年前）に、人々は集落を作り農耕牧畜業を開始したのです。農耕は、根栽農耕と穀物農耕の 2 つに大きく分けられます。根栽には穴を掘るための道具があればいいのですが、穀物農耕では広い面積を耕すために牛や馬などの使役動物と共に種々の道具を用い、多くの人が協力する必要が生じます。穀物は長期の貯蔵に耐え運搬も可能となり、耕作以外の仕事に専心する者たちを養うこともできるようになりま

した。人口が集中する村や都市の形成を促され、穀物の豊作を祈る神官の役割が発達し、さまざまに分業化した人々による階層社会が誕生して都市社会全体が段階的に発展していきました。都市の中で役割を分業化することで各自が考え学ぶ時間が増え、世代から世代へと外面的・内面的な生活様式を伝承することによって高度な文化へと変容していったのです。この農業革命ともいえる一大改革は、生物学的な「ヒト」から、文化を共有する「人」への変身の道を誘ったのです。

野生動物や敵の侵入による被害から自分たちを守るために都市や農作地の周辺には堀が作られ、その結果、安全な生活と食事が保障されました。使役や食料として人の生活に直接役立つ牛や馬はもちろん、鳥や犬や猫などのペットとしての動物も飼育されようになり、これらの家畜動物は、堀の中で保護され餌を安定に与えられるので、食物連鎖のルールからは外れることになりました（詳しくは、PEN October 2011 参照）。

人は、家畜動物を飼育しますが、人がヒトを飼育しているとは全く考えもしませんね。ところが、大規模な集団生活を続けた私たちは、堀の中でのみ生存できる動物になってしまったのです。地球を支配しているかのごとくに見える人は、実は、人々のエリアを拡大していき、そのエリアは堀で囲むことによってヒトを飼育し続けて、自分自身を家畜化してしまったのです。現代のヒトは、自らを家畜化した地球上唯一の動物であるという意味を含めて、*Homo domesticus* だと針山は、10 年ほど前から口にするようになりました。C. リンネは、人間を意味する学名として *Homo sapiens* と名づけています。*Homo* は属名で“ヒト”という意味で、種小名の *sapiens* は“ものを考える”という意味です。ということで *Homo domesticus* という学名は、家畜化した (*domesticus*) ヒトという意味になります。先に述べたように、Clements は無機的环境が生物に及ぼす影響を作用と呼び、逆に生物がその生活の結果として環境に影響を与えることを反作用と呼んだわけですが、無機的环境と有機的環境（生物）との関係だけでなく、有機的環境内部（生物同士）の関係によって家畜という生き方しかできない種が形成されてしまうことにも、*Homo domesticus* という学名造りによって思いを馳せることができます。

大規模な集団生活の中で育まれた文化は、その後あたかも生命の如くの進化を続け各地に拡がり多様化しました。その中でより一層、自らを家畜化していきました。家畜化によって食料と安全が担保される中、種々の文化が創造されました。学術のレベルでは、世界の各地で農耕に関係する数学や天文学の研究が始まり、ヨーロッパを中心に物理学、続いて錬金術にはじまる化学が確立されてきました。19 世紀に入り欧米の世界侵出と時を同じくして、工学が飛躍的發展をしたことにより、現代の我々の生活が支えられています。生活が豊かになることと引き替えのように、地球の「動的平衡」が崩壊したのです。

「動的平衡」の崩壊の行き着く先 - *Homo dominatus* か *Homo dominator* か

工学が飛躍的發展をして、江戸時代の後期には蒸気機関の発明と蒸気機関を利用した列車を走らせる鉄道建設によってヨーロッパでは第一次産業革命が始まりました。その後電気の利用と流れ作業が考案され第二次産業革命とされる

大量生産時代に突入しました。この第一次および第二次産業革命は、人々の暮らしを豊かにしたのと同時に、負の側面も生み出しました。富を手にした列強諸国は、より多くの富を手中に納めるために、帝国主義を御旗に地球の各所に侵出し地球を改変し、「動的平衡」の崩壊に拍車をかけました。人々の貧富の差の拡大や、国家戦略としての富への執着と争奪をもたらし、大規模な世界戦争をも誘引することになったのです。豊かさは、世界的な規模でのコンピュータの普及につながり、コンピュータ革命ともいわれる第三次産業革命が 1960 年ごろから開始されました。これらの産業革命は人口増加を招き、「動的平衡」は完全に消失し、人間は地球を食い尽くしているのが現状です。

学名は、それぞれの生物分野の命名規約により取り決められています。和名でヒトと表す人間の学名は *Homo sapiens* と表記することと規約にあるわけですが、人間をより正確に表す語はなんでしょうか。家畜化したヒト *Homo domesticus* という人間の状態は、農業革命以来、ずっと続いているものといえます。さて、産業革命以来、地球を食い尽くそうとしはじめた人間を学名表記したらどうなるでしょう。イタリア人の研究者にラテン語の表現を尋ねたところ、"*dominator*"が、誰かあるいは何かを支配することと教えてくれました。とすると、地球を支配している人間ということで、*Homo dominator* という学名が現在の人間を表すのに適当ではないか……。新学術領域「生物多様性を規範とする革新的材料研究」の領域代表を務めていらっしゃる下村政嗣先生と、評価グループの下澤楯夫先生とこの話をしたとき、果たして人間は本当に地球を支配しているのだろうか、支配しているつもりだが、実は被支配者になってしまっているのではないかという意見がでてきました。Clements の定義でいうと、人間（生物）が地球環境に影響を与えるほど地球を支配している日々を過ごしている中で、改変された地球環境が人間（生物）に影響を与えるという「しっぺがえし」を人間は受けている、つまり支配されるヒト "*Homo dominatus*" であるということ……。とても恐ろしい我々人間の現実を踏まえて、*Homo dominatus* SHS, 2017 (SHS は、下村、針山、下澤の頭文字、2017 は命名年) と呼ぶことにしました。

「動的平衡」を取り戻すか、不均衡を少しは改善する手段の模索ーバイオミメティクス

2011 年 3 月に起こった大地震に続く原発事故、そして事故現場をいつまでも収束できない現実、農業革命と産業革命以来、営々と続く巨大エネルギーの必要性に基づく人災だといえます。同じ産業構造で発展しようと人間が活動を続ければ、今以上の巨大エネルギーを必要とし、形を変えた同じような事故が今後も続発することは創造に難くないのです。

個体としてのヒトは、ハードとしてヒトが備えている情報処理装置（脳を中心とした個体）の中に、時代の文化がコンピュータにソフトを組み込む様に入り込むように設計されているために、現状の文化様式を打破することは非常に困難です。*Homo dominatus* は、周辺の同じ情報処理のハードを、ソフトを備えた仲間と共に新しい文化を作り上げるので、文化の中から新しい文化を築きあげることはいまでもしてきましたし、今後も続けていけることでしょう。しかし、これまでの文化を一部改変しているだけでは、地球を破壊し続け、地

球からの「しっぺがえし」を受けることにより Sustainable な世界の構築はできません。世界にいつでも繋がることのできるデジタル革命が新たに第四次産業革命を引き起こすといわれている現在、本当の意味での Sustainable な世界の構築の為の方策探しに奔走しなければならないのです。それは、ラテン語を含めたこれまでの学問の基礎力をしっかりと身につけた上で、新たな学問分野を構築すべく異分野・異業種連携のバイオミメティクス研究を発展させる以外に道はないかもしれません。多様な学問は、一人で勉強しきれないので、基礎力をもった研究者が集まりチームを組織して研究・開発する時代の到来でもあります。

ラテン語文法よりもっと複雑な生物がもつ不思議の世界をしっかりと人間が見つめ、「未見の美」を利用できる社会がやってくることを願いつつ、バイオミメティクスを示したような高村光太郎の詩を引用して本稿を締めたいと思います。

「手紙に添えて」

高村光太郎

どうして蜜柑は知らぬまに蜜柑なのでせう
どうして蜜柑の実がひっそりとつつましく
中にかはいい部屋を揃へてゐるのでせう
どうして蜜柑は葡萄でなく
葡萄は蜜柑でないのでせう
世界は不思議に満ちた精密機械の仕事場
あなたの足は未見の美を踏まずには歩けません
何にも生きる意味の無い時でさへ
この美はあなたを引きとめるでせう
たった一度何かを新しく見てください
あなたの心に美がのりうつると
あなたの眼は時間の裏空間の外をも見ます
どんなに切なく辛く悲しい日にも
この美はあなたの味方になります
仮りの身がしんじつの身に変わります
チルチルはダイヤモンドを廻します
あなたの内部のボタンをちょっと押して
もう一度その蜜柑をよく見て下さい

(3) 研究紹介

我が国におけるバイオミメティクスの現状と課題

16-4バイオミメティクス研究会

＜趣旨＞今世紀になって分類学・自然史学とナノテクノロジーの連携から生まれた「材料系バイオミメティクス」の潮流は、2011年にドイツから提案されたバイオミメティクスの国際標準化の発効によって国際的に定着しました。さらに「生態系バイオミメティクス」とも称すべき新しい潮流は、Industrie4.0やAI、ロボティクスを支えるものとして注目されています。また、日本から国際標準化に提案したKnowledge infrastructure of biomimeticsという考え方は、生物から工学への技術移転のツールであるバイオミメティクス・インフォマティクスの基盤になろうとしています。今回の研究会は、国際ナノテクノロジー総合展・技術会議（nano tech 2017）におけるBiomimetics Network Japan展示に連携することで、我が国におけるバイオミメティクスの現状と課題を考えることにしました。

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 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

日時 2017年2月16日(木) 13:00～16:30

会場 産業技術総合研究所 臨海副都心センター 別館11階会議室
(東京都江東区青海二丁目4番7号 電話：03-3599-8001)

プログラム

13:00～ 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

13:10～13:40 第4次産業革命とバイオミメティクス
(三菱総合研究所) 亀井信一

13:40～14:10 インフォマティクスとバイオミメティクス
(日立製作所) 宮内昭浩・守谷浩志・宮崎真理子

14:10～14:40 データジャーナルとバイオミメティクス
(北海道大学総合博物館) 大原昌宏・越前谷宏紀・村上麻季

14:40～14:50 休憩

14:50～15:20 国外のバイオミメティクスの新しいトレンドとその背景にあるもの
(大阪大学) 齋藤彰

15:20～15:50 芸術、建築・デザインとバイオミメティクス～新しい環境創生へ～
(エヌ・ティー・エス) 吉田隆

15:50～16:20 エミュレーション生物学
(海洋研究開発機構) 出口茂

16:20～ 閉会 (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4次産業革命とバイオミメティクス

(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

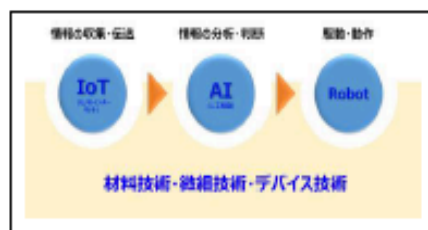
1. デジタルイノベーションの鍵は材料・デバイス

振り返ってみると、2016年はAIやVRなどのデジタルイノベーションにとって記念すべき年であった。人間に勝つことが最も困難であろうと考えられていた囲碁においてグーグル・ディープマインドが開発したアルファ碁が世界のトップ棋士であるイ・セドル九段を4勝1敗で退けた。サザエさんのオープニングでもVRゴーグルを付けたサザエさんが登場する時代になった。今後どこまで進化していくのか計り知れないものがある。

近年のデジタルイノベーションは、IoT、AI、ロボット技術が一体的に語られることが多い。IoTの要は情報の収集と転送、AIはその分析と判断、ロボットは駆動系である。人間に例えると、それぞれが目や耳などの感覚器、脳、筋肉に相当する。これらが一体的に機能することで、自律的に活動する能力を持つことになる。

これらは、実は材料やデバイスが重要な点を担っている。例えば、入り口である情報の収集と転送の未来像に関しては、トリリオン・センサーという概念が提唱されている。毎年1兆個を超えるセンサーを活用して社会に膨大なセンサー網を張り巡らせる構想である。これを実現するためには、単に小型化や低消費電力にするばかりでなく、外からの給電に頼らずエネルギーを自立的に集めるデバイスレベルでの仕組みが不可欠である。また、分析を担うAIの進展にはコンピュータの高速化が必要である。高速マシンの未来像としては、量子コンピュータが挙げられている。従来その実現は今世紀後半と言われて考えられていたが、わが国の研究者が原理を提唱した新しいタイプの量子コンピュータが実用化しつつある。その重要な要素技術の一つは超伝導技術であり、材料、デバイス技術がその実現を支えている。

とかくデジタルイノベーションは欧米が大きく先行しわが国に勝ち目はないのではないかという声を聞く。しかし、ナノテクノロジーや材料、デバイス技術はわが国が最も得意とするところである。デジタルイノベーションの潮流を捉え、ここでしっかりと実をとり覇権を握ることこそわが国のとるべき戦略であろう。



2. 第4次産業革命の本質は何か？

言うまでもなく、材料、デバイスなどのものづくりの使命は、イノベーションである。今、ものづくりの世界では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。

第1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2、第3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2次、原子力エネルギーを利用する現在を第3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2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3次と捉える一派もいる。これまでの産業革命との決定的な違いは、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にある。第4次産業革命は、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（ものをデータ化し、データをものにする）」ということになる。

ところで、わが国のもの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。わが国の工業製品と言えば、メイドイン・ジャパンの高品質なものを思い浮かべるが、品質管理や生産性の向上は、実は数世代前の産業革命時代の考え方である。第4次産業革命の時代は、まさに設計情報のみがものづくりの付加価値を生み出すことになる。さらに、アトムとビットが融合する時代では、設計情報の生み出し方もこれまでとは全く異なるのである。

国家として総力を挙げて、もの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もの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4次産業革命時代の見えざる競争力である。

3. バイオミメティックスへの期待

ところで、科学技術教育の世界では、STEM教育が叫ばれている。STEMとは、Science、Technology、Engineering、Mathematicsの頭文字を取ったものである。2011年に米国バラク・オバマ大統領が一般教書演説の中でその重要性を説いたことで注目された。最近ではSTEAMが注目されてきた。STEMの部分は、前述の通りであるが、新たにArtがこれらに加わった。人間が幸福に生きていくための価値観やグランドデザイン、さらには心の豊かさといったリベラルアーツ分野を融合させようという試みである。

考えてくれば、人間も生物の一種である。STEMからSTEAMの流れは、生物学と工学を融合させて生物の技術体系を解明するバイオミメティックスの展開と軌を一にする部分が多い。バイオミメティックスでは、生物が長い進化の過程で獲得した多様性を持つ生産プロセス、動作原理、システム制御の知見をもとに人間の技術体系を再構築しようとしている。このため、自然史学、生物学、農学、材料科学、機械工学、環境科学などの学際連携により、生物多様性に学び人間の叡智を組み合わせた技術体系を創出することにチャレンジしている。真にArtを取り込みSTEMと融合させSTEAMに昇華させることが、これまでにはない創造性を創出する鍵になるであろう。

インフォマティクスとバイオミメティクス

(株) 日立製作所 材料イノベーションセンタ 宮内昭浩
守谷浩志
宮崎真理子

電話 0294-52-5111

E-mail akihiro.miyauchi.xk@hitachi.com

現代の科学技術の中でもインフォマティクス（情報科学，情報処理など）の進歩は特に著しく，AI やロボットの話題に事欠かない。また，IoT によって様々なドメインを連携させ，都市機能や異業種間での生産最適化を図る機能，生産プラントや内燃機関など燃焼・化学反応や機械的駆動を含む複雑な機器をデジタル空間に再現させて稼働最適化や異状の予兆診断を図る Digital Twin など，インフォマティクスの進展は社会システム全体を変革しつつある。材料開発においても，ベテランの勘と経験に頼るだけでなく，蓄積されている膨大な実験データを自動的に理解・解析することで新たな材料を推定するマテリアルズインフォマティクスが世界的に進展しており，今後は製造プロセスや信頼性評価もデジタル空間での開発が重要になってくると思われる。

生物学でインフォマティクスはゲノムやプロテインの解析などに用いられているが，バイオミメティック（生物模倣）においても，先端計測や情報工学を駆使することで，複雑な生物機能を理解し，工学製品へ応用することが可能となって来た。生物機能を工学応用する際に重要な点は，生物機能を製品実装させる際に，機能発現機構を量産できることである。量産の為にはコストと信頼性の両立が前提となる為，工業的な設計に落とし込む必要がある。我々は生物機能を工業的に再現するための設計を BMD(Biomimetic Design)と呼んでいる。例えば流体制御であれば F-BMD(Flow control BMD)，接着制御であれば A-BMD(Adhesion control BMD)となり，総称して x-BMD と呼んでいる。本稿ではサメの体表構造を流体制御の観点から工業製品に応用する F-BMD に関して述べる。

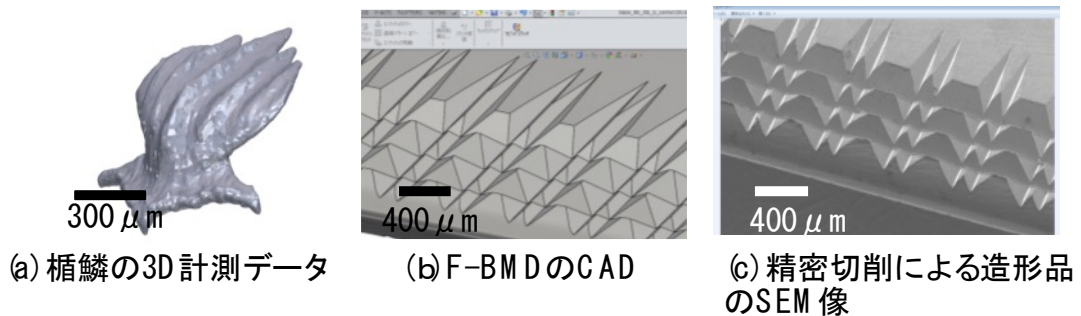


図1 X線マイクロCTから合成した楯鱗の3D構造と流体解析から設計したF-BMDのCADと加工例

サメ体表構造の解析に関しては Harvard 大の Wen らがアオザメの楯鱗を X 線マイクロCT法で断層撮影し，画像合成によって楯鱗の3D構造を構築した後，楯鱗の大きさを12.4倍にして3Dプリンタで楯鱗構造を造形した¹⁾。我々も同様にX線マイクロCT法を用いて4種類のサメの体表構造を解析した。本研究では，製品対象となる遠心圧縮機の動作流速からサメ体表での流れと相似な流れを再現する為には表面構造の大きさ（特性長）を数十 μm 程度まで微細化する必要があった。その為，3Dプリンタでは分解能が足りない為，精密切削法を採用し，加工する構造は切削加工が可能な設計とした。図1は楯鱗の3D構造と切削加工を前提としたF-BMDの設計CADである。流体解析の結果，楯鱗とF-BMDは類似の流れ場を発生することを確認している。また，図1(c)に示すように精密切削でF-BMDを造形可能であることが分かる。

図2はF-BMD構造を組み込んだ流体部品（ディフューザ）のCADと試作品の外観である。ディフューザはインペラーから流れ込むガス流の運動エネルギーを圧力に変換する部品で、静圧の回復率が性能指標となる。ガスは静止翼と呼ばれる部品の間を高速で流れ出る際に圧力回復するが静止翼の先端部は特に流速が速く毎秒100mを超える。そのため、静止翼の先端部にF-BMD構造を造形した。また、F-BMDによる圧力損失を補償する為にリブレット構造を静止翼の中流下流域に造形した。

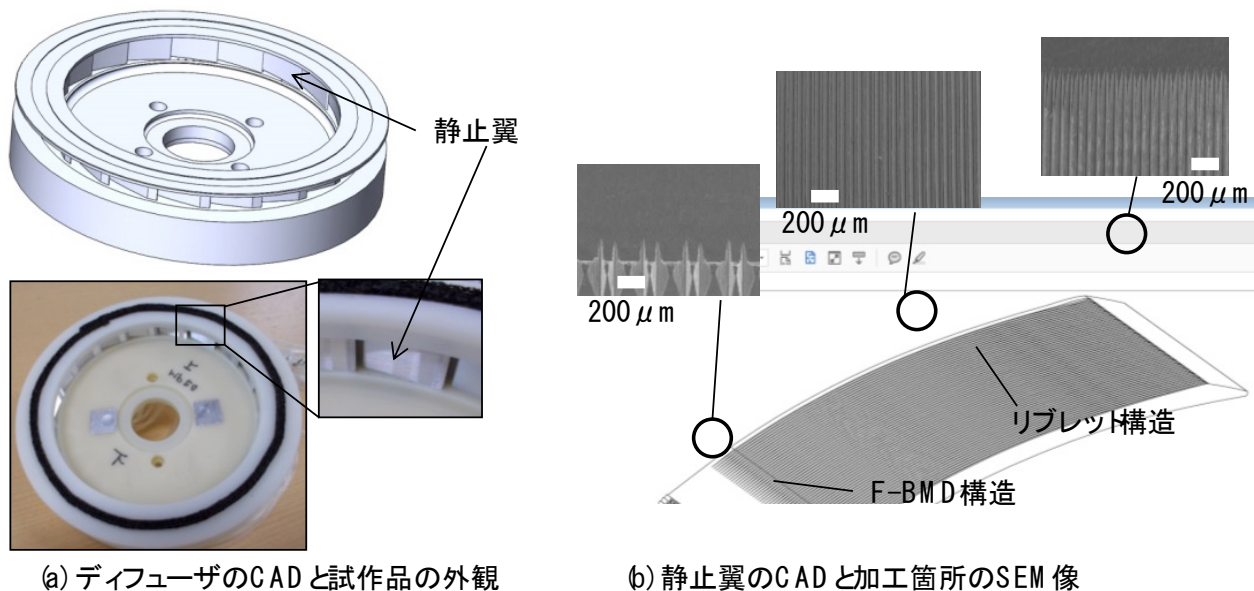


図2 F-BMD付きディフューザのCADと試作品の外観

図3は実際に試作したF-BMD適用ディフューザの流体特性である。静圧回復特性から、従来の表面加工されていないディフューザに比べてF-BMDディフューザは低流量域で失速せずに優れた動作特性を発揮していることが分かる。

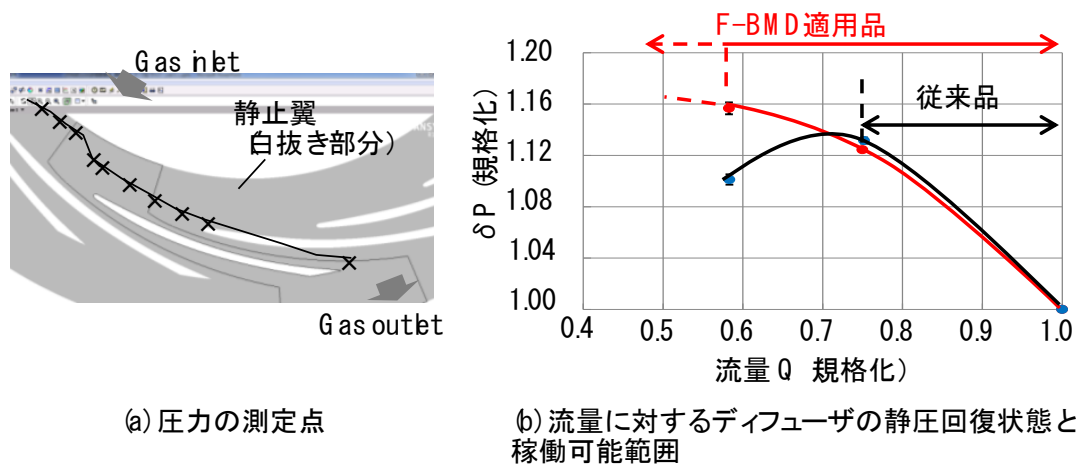


図3 F-BMD適用ディフューザの流体特性の実測結果

本研究は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業「バイオミメティクスによる流体制御に関する研究開発」の成果である。

- 1) L. Wen, J. C. Weaver and G. V. Lauder, J. Experimental Biology 217, 1656-1666 (2014).

データジャーナルとバイオミメティクス

(北海道大学総合博物館) 大原 昌宏

[共同研究者: 越前谷宏紀・北海道大学総合博物館]

[共同研究者: 村上麻季・北海道大学総合博物館]

電話 011-706-4506 FAX 011-706-4506

E-mail ohara@museum.hokudai.ac.jp

URL <http://sv2011.museum.hokudai.ac.jp/ohara/>

バイオミメティクスの研究は、生物の形態デザインやその機能を模倣するところから始まる。自然史博物館には膨大な生物標本が保管されており、その標本を利用することで、ほぼ無限にバイオミメティクス研究の模倣対象を探索することができる。博物館の収蔵庫は、バイオミメティクス研究にとってはアイディアの宝庫、宝の山である。

北海道大学総合博物館では、2011 年より生物標本の、主に昆虫類の体表面構造を走査型電子顕微鏡で撮影し SEM 画像を集積してきた。集めた画像は画像検索システムデータベース（長谷山システム）に収納し、バイオミメティクス研究のセレンティビティを期待する一連のプロジェクトを遂行してきた。多分野の研究者が集まって、画像を直接見ながら意見交換をする、「画像検討会」も毎月開催し、新しいバイオミメティクスの研究テーマを創出する、研究者間のネットワークとコミュニケーションを構築してきた。しかし、生物情報（特に SEM 画像）の集積の加速化とその利用の活性化については課題を残しており、解決策が検討されていた。

生物学分野においては、自然史博物館の生物標本について、地球規模生物多様性情報機構 (GBIF) を中心に、標本データの集積とデータベースの構築と公開が進められてきた。その過程で、ある属性でまとめられるデータ情報のセットを、メタデータとして分類し、そのメタデータ情報のプロフィールを「データペーパー」(10 ページ程度の論文)として出版する動きが、2010 年頃から始められた。これは生物標本のデータベース構築が生物学の基礎となる科学インフラであることは認めながらも、それに従事する研究者がデータベース構築のみでは業績(論文)を残すことが難しく、優秀な研究者が生物標本データベース構築の分野に関心を示さなくなっていた事情がある。そこでデータペーパーという独特な論文形態が作り出され、データベース構築そのものを客観的に業績として評価するシステムができあがった。さらにデータペーパーを大手の科学国際誌も扱う状況になり、データジャーナルが発刊され、データベース構築の社会的な位置づけも明確になってきた。一例としては、英国自然史博物館に所蔵されている英国国内の 18 万件のチョウ類のデータが、画像付



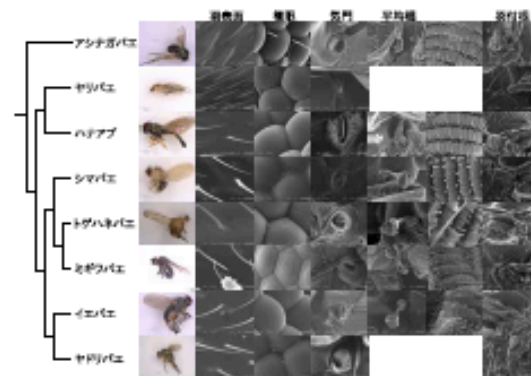
きで集積され、データの電子化の整理を完成させた後、データペーパーとして報告されている (Paterson *et al.*, 2016)。内容は、18 万件の標本データの年代的分布、地理的分布、採集日の年内での傾向など、どのような性格の属性をもったメタデータなのかが分かるように記されている。さらにそのメタデータが、どのような研究に利用される可能性があるか (地球温暖化、環境破壊と保全、移入種の歴史と予測など) を明確に記すことで、データの利用を促進させる機能も果たしている。データペーパーには公開データベースの url が載せられており、データそのものの利用が可能のように紹介されている。データを利用した研究の発表には、データペーパーの引用が義務づけられることから、データベースの利用結果が副次的な論文業績として蓄積されていくことになる。

このようなデータペーパーのシステムを、バイオミメティクス SEM データベースに応用することで、バイオミメティクス研究に利用できる生物情報 (特に SEM 画像) の集積の加速化とその利用の活性化を促進させようという試みが、本講演での発表の趣旨である。

北大総合博物館での最近の試みは、バイオミメティクス研究の一環として、ハエ類の体表の構造を網羅的に SEM により撮影し画像を集積することを行っている。目的は、ハエ類

の体表には、超撥水性、平均棍に見られる擬じれ感覚器、モスアイ状の複眼、吸水用の特殊な口器などがあり、種や科を変えてさまざまなハエを見ること (比較形態) で、一定の機能に対する多様な形態をもつ変異や、機能への制約としての一般性を見いだすことにある。また生物学者は 1 個体のハエを数千倍にまで拡大してその形態を網羅的に細かく SEM で撮影することは今までしてこなかった。新たな超微細形態・構造の発見が多くあり、その発見は生物形態学の成果となる。この一連の研究で、すでに 5,000 枚近い SEM 画像が集積されており、これらを「ハエ類の体表面における超微小構造の形態と比較、そのバイオミメティクス応用に関する SEM 画像メタデータ」と題して、データペーパーの作製を行いつつある。

ハエの体表面の SEM 画像のデータセットを、データペーパーとして出版することで以下のような研究の発展が期待できる。1) 生物分類学の利用: ハエ類の超微細構造の画像による記載、2) バイオミメティクス研究の資源探索の利用: 昆虫体表面の機能と形態の関係性の解明、3) 未公開 SEM 画像の公開・利用促進: データペーパーによる未公開画像の公開とデータの利用促進の効果。



Paterson, G. *et al.*, 2016. iCollections - Digitising the British and Irish Butterflies in the Natural History Museum, London. *Biodiversity Data Journal*, 4: e9559. doi: [10.3897/BDJ.4.e9559](https://doi.org/10.3897/BDJ.4.e9559)

国外のバイオミメティクスの新しいトレンドとその背景にあるもの

(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

URL <http://www-ss.prec.eng.osaka-u.ac.jp/html/member/stuff/saito.html>

1. はじめに

バイオミメティクス (BM) の国際動向は現在、激しい動きの渦中にある。象徴的な一例が ISO (国際標準化) における国際規格の成立である。ドイツが極めて周到な準備のもと、性急とも言える先導を行い、TC (Technical Committee) 266 の下で規格 3 種がすでに発行された¹⁾ (筆者は 3 年間、ISO/TC266・WG1 (定義・概念を担当) で日本のまとめ役を仰せつかり、その国際的なかけ引きから交渉のプロセスを実体験してきた²⁾)。

他方、ドイツとまた異なる独自の立ち位置で欧州の一翼を担うフランスは、パリ近郊の古都サンリス (Senlis) 市を拠点に、「バイオミメティクスシティ」とも言える個性的かつ強力な活動を展開している (後述)。ISO 委員としてフランスと交流を続けるうち、じつは独仏を中心とする欧州の BM 推進の背景に、共通の土壌 (さらには活動) があること、それらは長期かつ広汎な視野で文明の持続性を見る思想に根差すこと、またそうした流れはドイツで推進される Industrie 4.0 と同根であること、さらにはそこに、科学をその手で (輸入でなく) 創ってきた欧州文化 (大衆の科学リテラシーや学際的「知」) が底流すること、がわかってきた。

2. ドイツと ISO

ネジや家電ならいざ知らず、まだ市場も小さい BM でなぜ ISO か。委員会でも immature という言葉が飛び交った TC266 の発端は、ドイツ規格協会 (DIN: 日本で JIS 規格を司る JISC に相当) の ISO への提案による。DIN はすでに、国内諸団体・協会と連携のもと、BM の基本概念、関連機能をもつ表面構造・物質・機構、建築・設計、情報・システムまで、早期に草案を完備していた。BM の「ドイツ指標」をたたき台に、ISO/TC266 による工業標準を掌握する意図である (経緯から TC 議長はドイツ人、幹事国も同国)。そもそも端緒は国連「生物多様性条約」(1992~ やはり議長国は同国) にさかのぼり、要するに「ドイツ政府による、将来の人類社会に向けた生物多様性戦略」である。そこには地球規模の環境・エネルギー問題への切迫した意識がある。石油依存から離れ、エネルギー消費も環境負荷も少ない生物機能に活路を見出す思想である。

持続性への切り札として BM を考えるなら、性急な ISO (TC266) 策定と Industrie 4.0 の関係は思えば、むべなる哉である。情報網 (IoT) で生産圏において無数の上下流を縦横に「つなぎ」、革命をもくろむ Industrie 4.0 の発想なら、互いの互換性=規格は命綱で、規格の早期制覇が市場掌握の礎なのは必定である。逆に、規格外や出遅れた製品の末路は、性能が優れても、良くてマイナー早晩、消滅の憂き目にあうことは想像に難くない。

3. フランスのイベント

この国で BM 活動の核は、組織 CEEBIOS (Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis) と Senlis 市であり、それぞれ BM 産学官コンソーシアム (2012 年発足) と地主である。彼らは昨夏、Biomimexpo 2016³⁾ なるフランス初の、本格的な BM 展示・講演会を

開いた。その内容は衝撃的で⁴⁾、まず共催・後援リストの充実に驚かされる（政府や地方行政に加え、金融公庫や複数の財団、各種の政令産業拠点、複数の大企業、政府系の環境コンサルや環境協会、仏国立自然史博物館、Biomimicry Europa 等）。

Expo は 2 日にわたり、Senlis 市長と環境・エネルギー・海洋省の生物多様性担当大臣による熱弁で開始。良く練られた構成は、「人選」「個人プレゼン vs パネル討論」「聴衆との双方向性」「テーマ選び」など配慮配置が絶妙で、産・官・学の役者が各所でうまく協働していた。プレナリー 5 件で挟まれたパラレル発表 4 コマ（講演計 20 件）でさえ、1 コマは出色の題で「BM と建築・都市・農業」である。特に「モノ偏重」「単発的」な日本にとって、苦手とする総合視野で参考になった。採光～流通（人・物）、循環～水利・気候・エネルギー効率まで、総合システムの範として生物・生態系を見る感覚には彼我の違いを痛感した。さらにそれらと農業を結ぶ視線は、農業国フランスならではの。

2 日で 40 件超の講演、並行して展示約 30 件、CEEBIOS 施設見学等が行われ、展示は製品・研究や書籍のブース形式で、屋外にも 10 件強のテント展示があった。構成として、初日は少し専門家向け、2 日目は一般市民向けだが、小都 Senlis に一般市民を含む参加者千人近くが訪れ、盛況だった。CEEBIOS では地場の中小企業参画も進み、産学・行政に加えメディア協力も目につく（放送・出版による後援）。2017 年はさらに発展形の Expo が計画されている³⁾。

4. 底流するもの

歴史的にも文化的にも、欧州内の相互相関は、殆どあざなえる縄である。冒頭に述べた裏事情の一端を紹介すると、仏 Expo 開会プレナリー登壇者 5 人のうち、1 人（北仏商工会議所代表）の肩書に「第 3 次産業革命 J. リフキン Master Plan 共同設立者」とある。この含意は深い。リフキン氏は米国の（欧州ではない）著名な文明批評家で、現代のエネルギー消費型社会に早期から警鐘を鳴らし続け、解決の鍵として IoT と BM を掲げる知る人ぞ知る人物である。上記・仏 Expo の中核にこのリフキンの「身内」があり、リフキン計画の実践場が北仏（Nord-Pas-de-Calais）なのである⁵⁾。一方、実はリフキン氏はむしろ「メルケル首相の知恵袋」として著名である。つまり上述の思想面でも Industrie4.0 の産婆役で、かつ仏 Expo の一翼を担い、また ISO もその強い影響下にあった訳である。

詳細は他所でも書いたが^{2,6)}、問題は日本の情報過疎である（恐らく不足は単に情報ではない）。BM といえば、未だ目の「何に使える」「いくら儲かる」「数値いくつ」ばかりで、そこには思想・哲学・ビジョンが無い。学問の場に居ながら、なぜか己の領域も含めて文化・思想・構想といった深い所での深刻な問題を感じるのはいけない事であろうか。

1) http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=652577

2) 齋藤彰：「バイオミメティクス国際標準化 WG1 の状況」，インスツルメンテーションの視点からみたバイオミメティクス（下村政嗣監修，CMC 出版，2016），第 4 編 4 章，253-263.

3) <https://biomimexpo.wordpress.com>

4) 齋藤彰，「Biomimexpo 2016 (7/1~2, France) 参加報告」，新学術「生物規範工学」News Lett. Vol.5 (1) p.86-87 (2016).

5) <http://www.thethirdindustrialrevolution.com/>

6) 齋藤彰：月刊 OHM，コラム，103(7) p. 66 (2016)；103 (8)，p.86 (2016).

芸術、建築・デザインとバイオミメティクス ～新しい環境創生へ～

(株式会社エヌ・ティー・エス) 吉田 隆

電話 03-5224-5410 FAX 03-5224-5437

E-mail t-yoshida@nts-book.co.jp

URL <http://www.nts-book.co.jp>

1. 建築家・デザイナーとの協業のために

バイオミメティクスが生活者に受入れられ、都市計画や街づくりに生かされるためには建築家やデザイナーの理解と協力が不可欠である。彼らの設計思想は基本的に使い勝手や住み心地のよさ暮らしやすさを求めるものであり、それはバイオミメティクスが市民に受け入れられるための条件だからである。

しかし、建築家やデザイナーでバイオミメティクス乃至は生き物についての知識を持つ人は少ない。又、バイオミメティクスや生き物の研究者、技術者で建築家やデザイナーが用いる設計思想を知る人は少ない。

バイオミメティクスや生き物と建築、デザインが現実の世界で出会うため、互いが互いの言葉で理解し共通言語を持つ必要がある。建築家やデザイナーは新たな環境創生に日々取り組み、今、バイオミメティクスが新たな生態系、即ち環境の創生を目指していることを思えば両者が出会う余地がある。そこで建築家、デザイナーがしばしば用いる環境創生の考え方でいわゆる生態系バイオミメティクスにつながると思えるものを2、3取り上げ、両者間の理解の流通を試みたい。

次に両者に共通する表現手法として‘転用’を取り上げる。建築、デザインを含む芸術の領域で何かを何かに転用することは普遍的な表現手法であると同時に生き物の世界でも普遍的な自己表現手法と思えるからである。

バイオテクノロジーは対象となる生物に改変を加える‘応用の学’だがバイオミメティクスは対象となる生物をモデル(比喩・類似物・アナログ)として人工物を創造する‘転用の学’である。少し踏み込むことになるがバイオミメティクスは良く真似ることがメカニズム(ミラーニューロン)として組み込まれたヒトの本能に即した学でもある。‘概念’規定されると真似しようがないが‘記号’として扱われれば多少の遊び、揺らぎが許されるという特徴を模倣が持つことは‘構造主義’が教える所であり、生命の原理でもあり、それが又、建築やデザインとの協業が可能な背景でもあると思えるのである。

更に両者の協業に向け‘模倣(ミメティクス)’、‘擬態(ミミクリー)’の再定義を一考し、最後に協業の結果、垣間見える新たな環境創生の姿を考えたい。

2. 建築家、デザイナーの言葉でバイオミメティクスを考える

(1) プリコラージュ (レヴィ・ストロース)

⇒ 概念に基づき物を作るエンジニアリングとは対照的に寄せ集めた素材を記号として物を作る手法で創造性が期待される。データを記号として扱う情報社会にもプリコラージュ的な側面がある。野生の思考、転用、再利用。

(2) アフォーダンス (J. ギブソン)

⇒ 環境が動物に与える意味。J. ギブソンによる生態工学、生態心理学の概念。情報社会ではユーザーインターフェイスへの応用等。

(3) オートポイエシス (ウンベルト・マトゥラーナ他)

⇒ 自己生成する世界。素材に秘められた力を無理ではなく自然に引き出す技。日本の職人的モノ作りにもみられる。日本的感性。宮大工西岡常一の次の言葉は象徴的。曰く『棟梁は木の癖を見抜いて、それを適材適所に使う』『木も人間と同じ生き物。木組みは人の心組み』。最後の言葉はモデル化へ向う比喩の本質をも表わす。プリコラージュにもアフォーダンスにもつながる。

(4) 自然の人間化 (レヴィ・ストロース)

⇒ 自然と対立せず生活や心身に取込む技。里山、盆栽、石庭、ゆるキャラ他。

(5) 上記の何れも自然を一枚のキャンパスとして向き合い、生態という汎用性を志向するバイオミメティクスの思想と重なる面が多いのではないだろうか。

3. 建築、デザインと生物における‘転用’

(1) 機能の転用 ⇒ 前適応—恐竜から鳥へ

(2) 知覚の転用 ⇒ 心の誕生—ヒトは体の痛みを心の痛みに転用

(3) 言葉の転用 ⇒ 芸術の誕生—認知論、見立て、比喩、アナロジー

4. ‘模倣(ミメティクス)’、‘擬態(ミミクリー)’の再定義

(1) 動植物の擬態は環境との同化 ⇒ 安全・安心

(2) 建築、デザインにおける擬態はヒトの環境との同化 ⇒ 使い勝手、暮らし易さ

(3) コップは手の擬態か? ⇒ ナイフとフォークは指の擬態(欧州)、家はヒトの擬態(西アフリカ) ⇒ 都市は住民生活の擬態であり、生活機能の転写の関係

(4) 形態、機能、知覚の転用の拡張 ⇒ バイオミメティクスからモノ、建築、都市設計へ。VR、AR等の拡張現実感覚は擬態の拡張の考え方が不可欠。

5. 建築、デザインとバイオミメティクスが融合する世界—サステナブル社会実現に向けたプラットフォーム—

(1) 情報社会—AI、IoT、3D

(2) 地域活性化—里山、自然の人間化

(3) 多品種・少量生産型—3Dプリンター、大量生産のプロトタイプ

(4) 博物館・美術館—マテリアル・コネクション(米国・MOA美術館)

エミュレーション生物学

(海洋研究開発機構) 出口茂

電話 046-867-9679 FAX 046-867-9715

E-mail shigeru.deguchi@jamstec.go.jp

URL <http://www.jamstec.go.jp/rcmb/>

生物が有する多様性は、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、「人間の技術体系」とは異なる「生産プロセス」「作動原理」「システム制御」によって獲得されてきたものである。バイオミメティクス（生物模倣）の本質は、幾多の絶滅の危機を乗り越えて生きながらえてきた「生物の技術体系」に学ぶことで、「人間の技術体系」が内包し解決すべき喫緊の課題である環境・資源ならびにエネルギー問題の解決を図り、持続可能な技術社会を実現することにある。

平成24年に発足した科研費新学術領域「生物多様性を規範とする革新的材料技術」（領域略称：生物規範工学）では、“サブセルラー・サイズ構造”とも言うべき昆虫や植物の体表面に形成されたナノ・マイクロ構造が有する特徴的な機能に着目し、その形成過程と機能発現機構をもたらし「生物の技術体系」を解明し、工学応用を図ることで、「生物規範工学」とも言うべき工学分野の新たなパラダイムを打ち立てることを目指して活動を行なった。

自然史学、生物学、情報学、農学、材料科学、機械工学、環境科学など、従前であれば接点もなかったような研究者を結集した、我が国初の異分野研究者ネットワークを構築して進めた過去5年の活動によって、古くから知られていたバイオミメティクスの現代的な意義は、単に生物の構造や機能を模倣して新しい材料やシステムを開発することではなく、ヒト社会の技術体系の根本的な健全化を目指すものであるとの認識を持つに至った。

生物の観察から導きだされた物理・化学の法則・原理をどのように組み合わせれば、持続可能性に資する技術革新がもたらされるのか、という工学系の課題に答えるためには、生物多様性の実現において、物理・化学の法則・原理がどのように使われているのかを明らかにすることを目指した生物学のさらなる展開が不可欠である。

そこで本年度、新たな新学術領域「工学に規範を示す生物学：エミュレーション生物学」を提案した。“emulate”には、“（尊敬する人・立派な物）を見習う、まねる、匹敵する”という意味がある。情報学の分野では“ソフトウェアや OS の互換性のもとに、あるコンピュータが他のコンピュータの機能を模倣するための装置やプログラム”をエミュレータと称している。「エミュレーション生物学」が体系化しようとする生物学のさらなる展開とは、“物理・化学の法則・原理の共通性にもとづき、人間が、生物の機能を模倣するための生物学”をエミュレータとしての『規範生物学』と定義し、ナノテクノロジーや情報学との連携を通して持続可能性に資するバイオミメティクスの指導原理を示すことである。

本講演では、「工学に規範を示す生物学：エミュレーション生物学」提案の概要と研究戦略を紹介する。

※ 「生物規範工学ホームページ」<<http://biomimetics.es.hokudai.ac.jp>>

科学研究費「生物規範工学」国際シンポジウムならびに全体会議

日時：2017年2月17日(金)

場所：産総研臨海副都心センター 別館 11 階会議室

(東京都江東区青梅二丁目4番7号)

公開 科学研究費「生物規範工学」国際シンポジウム

The International Symposium on Engineering Neo-biomimetics VII

10:00~10:05 Opening remarks

10:05~10:50 Plenary Talk, Prof. S. Gorb (Kiel Univ., Germany)

“Functional Surfaces in Biology as Source for Biomimetics: From the Fish Adhesion and the Snake Camouflage”

10:50~11:35 Invited Talk, Prof. A. Pike (New Castle Univ., UK)

“Artificial Nucleobases for Designer DNA Nanomaterials”

11:35~12:00 Dr. A. Hozumi (AIST)

“「Self-lubricating Organogels : SLUGs」 Showing Beyond-Biological Surface Functionalities”

12:00~13:00 Lunch

13:00~13:25 Prof. M. Kohri (Chiba Univ.)

“Biomimetic Structural Color Materials from Melanin-like Particles”

13:25~13:50 Dr. R. Tsubaki (JAMSTEC)

“Sponge as a Potential Model of Biomimetics: New perspective”

13:50~14:15 Dr. T. Takanashi (FFPRI)

“Vibration Sensitivity in Longicorn Beetles and Biomimetic Potential for Insect Pest Control”

14:15~14:20 Closing remarks

非公開 科学研究費「生物規範工学」 全体会議

14:30 出口茂（海洋研究開発機構）

工学に規範を示す生物学：エミュレーション生物学（『規範生物学』）

14:45 野村周平（国立科博）

エミュレーション生物学のためのサイバー自然史博物館：生物データ収集・保管

15:55 山内健（新潟大）

エミュレーション生物学のためのサイバー自然史博物館:発送支援型展示・教育

15:05 針山孝彦（浜松医大）

エミュレーション生物学：細胞外物質の形態形成

15:15 森直樹（京大院農）

エミュレーション生物学：生物界面の制御

15:25 出口茂（海洋研究開発機構）

エミュレーション生物学：伝達・輸送

15:35 穂積篤（産総研）

エミュレーション生物学の社会実装：材料工学

15:45 田中博人（東工大）

エミュレーション生物学の社会実装：機械工学

15:55 意見交換

Functional Surfaces in Biology as Source for Biomimetics: From the Fish Adhesion and the Snake Camouflage

Stanislav Gorb and Emre Kizilkan

Department of Functional Morphology and Biomechanics,
Zoological Institute of the Kiel University,
Am Botanischen Garten 9, D-24118 Kiel, Germany
E-mail : sgorb@zoologie.uni-kiel.de, Tel. +49-431/880-4513

Keywords: adhesion, friction, surfaces, mechanical properties, biomimetics

Biological surfaces represent the interface between living organisms and the environment and serve many different functions. (1) They may delimit dimensions, often give the shape to organism, and provide mechanical stability to the body. (2) They are barriers against dry, wet, cold or hot environments. (3) They take part in respiration and in the transport of diverse secretions, and serve as a chemical reservoir for the storage of metabolic waste products. (4) A variety of specialised surface structures are parts of mechano- and chemoreceptors. (5) The physical coloration pattern may contribute to thermoregulation and is often involved in diverse communication systems. (6) A number of specialised surface structures may serve a variety of other functions, such as air retention, food grinding, body cleaning, etc.

The biological world is part of the physical world and, therefore, physical rules are also applicable to living systems. Living creatures move on land, in the air, and in water. There are complex motions inside their bodies to provide fluid circulation or to generate forces for locomotion. The resistance against motion mediated by surrounding media and by mechanical contact with various substrates was an evolutionary factor which contributed to the appearance of many surfaces adapted to reduce such resistance. On the other hand, some surfaces bear different mechanisms related to optics: reflection reduction, generation of colour due to a particular micro- and nanostructure pattern. A living motion system becomes optimized when it is capable of modifying either surface forces or light properties at the interface. Small surface structures at the micrometer and nanometer scales are often vitally important for a particular function or a set of diverse functions.

Because of the structural and chemical complexity of biological surfaces, exact working mechanisms have been clarified only for some systems. Since all biological surfaces are multifunctional, it makes them even more interesting from the point of view of biomimetics. In the present talk, we discuss our recent results in studying functions of biological surfaces and their relationship with the micro- and nanostructure. We demonstrate also our newest developments inspired by studies of biological surfaces.

For example, inspired by combination of biological adhesive systems and biological actuators, which are capable of switching adhesion *on* and *off*, we produced azobenzene LCE freestanding films with different porosities. While the porosity provided macroscopic morphological changes, at the same time, it induced modifications in alignment of liquid crystal azobenzene units in the films. We found that a high porosity increased the photoresponse of the LCE in terms of bending angle with high significance (Fig. 1A) [1]. The porous LCE films supplemented by previously developed insect inspired adhesive material resulted in design of devices with switchable adhesion that are capable of pick-and-drop process and transportation of little objects (Fig. 2) [2].

References

- [1] E. Kizilkan, J. Strueben, X. Jin, C. F. Schaber, R. Adelung, A. Staubitz, S. N. Gorb, Roy Soc. Open Sci. 3, 150700 (2016).
- [2] E. Kizilkan, J. Strueben, A. Staubitz, S. N. Gorb, Sci. Robot. 2, eaak9454 (2017), DOI: 10.1126/scirobotics.aak9454.

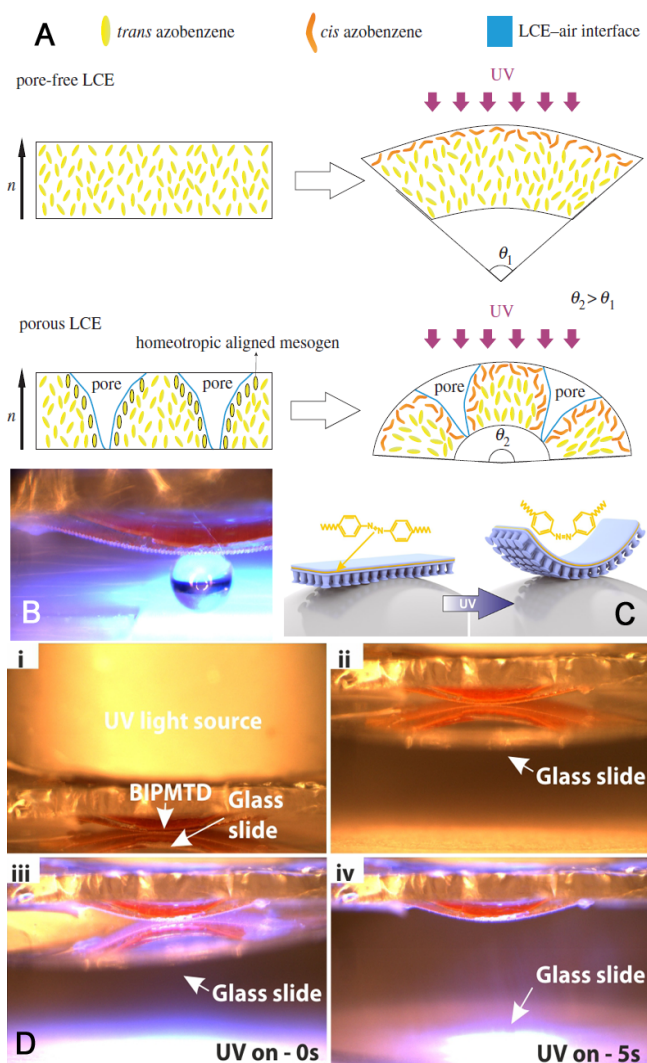


Fig. 1. A. Schematic of bending of pore-free (upper line) and porous (lower line) LCE films by UV illumination. Note that the porosity provides a relatively bigger illumination area and enables the absorption of the UV light deep into the film. Thus, for porous films the proportion of photoisomerized volume to non-photoisomerized volume is bigger compared with pore-free films. B. When illuminated with UV light, the intelligent material with the adhesive surface bends. This way it can lift, transport and put down flat and three-dimensional objects (here, a 1 millimetre diameter glass ball). C. The new composite material consists of two substances: an adhesive material (blue) and an elastic LCE (liquid crystal elastomer) plastic (yellow). LCE is made up of azobenzene molecules which bend - thus bending the whole material - when they are irradiated with UV light. The curvature causes the adhesive elements to detach from the object. D. Precisely remote controlling micro-transportation using light: the new composite material (BIPMTD) adheres when laid on a glass slide (i). The glass slide can thus be picked up (ii). When UV light with a wavelength of 365 nm is switched on (iii), the glass slide detaches itself and can be put down (iv). From Kizilkan et al., 2016; 2017 [1, 2].

Acknowledgements

This work was partially supported by the Federal Ministry of Education and Research, Germany (BMBF) within the BIONA program (01 RB 0812A), by the DFG Priority Programme 1420 'Biomimetic Materials Research: Functionality by Hierarchical Structuring of Materials' (grants

GO 995/9-1, GO 995/9-2), and by DFG SFB 677 „Function by switching“.

Short BIOGRAPHY



Prof. Dr. Stanislav Gorb is a group leader at the Zoological Institute of the Kiel University, Germany. He received his PhD degree in zoology and entomology at the Schmalhausen Institute of Zoology of the Ukrainian Academy of Sciences in Kiev, Ukraine. Gorb was a postdoctoral researcher at the University of Vienna, Austria, a research assistant at University of Jena, Germany, a group leader at the Max Planck Institutes for Developmental Biology in Tübingen and for Metals Research in Stuttgart, Germany. Gorb's research focuses on morphology, structure, biomechanics, physiology, and evolution of surface-related functional systems in animals and plants, as well as the development of biologically inspired technological surfaces and systems. He received the Schlossmann Award in Biology and Materials Science and was the BioFuture Competition winner for

his works on biological attachment devices as possible sources for biomimetics. Gorb has authored five books; more than 300 papers in peer-reviewed journals; and four patents.

Artificial nucleobases for designer DNA nanomaterials

C. J. Whitfield,¹ R. C. Little,¹ E. M. Tuite,¹ K. Ijio,² B. A. Connolly¹ and A. R. Pike^{1*}

¹Newcastle University, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, UK

²Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan

*E-mail : andrew.pike@ncl.ac.uk, Tel: +44-191-2087061

Keywords: DNA, artificial nucleobases, functional nanomaterials

The enzymatic synthesis of long DNA with a controllable sequence, length and functional content will be presented. A modified PCR protocol using the key components of a repeating sequence oligo-seed (ca.20 bases), the deoxynucleotide triphosphates (dNTPs), and a DNA polymerase is reported. Using a thermostable *Thermococcus gorgonarius* Family B DNA polymerase exonuclease minus variant, Z3, and 20 heat-cool cycles, long DNA up to 20,000 base pairs bearing repeating units between 1 to 40 bases can be produced.

Incorporation of artificial nucleotides, with modifications ranging from single atom exchanges, 5-I-dCTP, 7-deaza-I-dATP, 5-Br-dUTP and 6-S-dGTP, to long chains, 5-C₈-alkyne-dCTP, was demonstrated. Modifications situated in the major groove have little effect on the DNA polymerase efficiency but reduced enzymatic processivity is observed if the modification lies in the hydrogen-bonding region. By tailoring the oligo-seed, it is possible to synthesise long designer DNA to include modifications at user-defined positions. The modified DNA product lengths are similar to the unmodified DNA products.

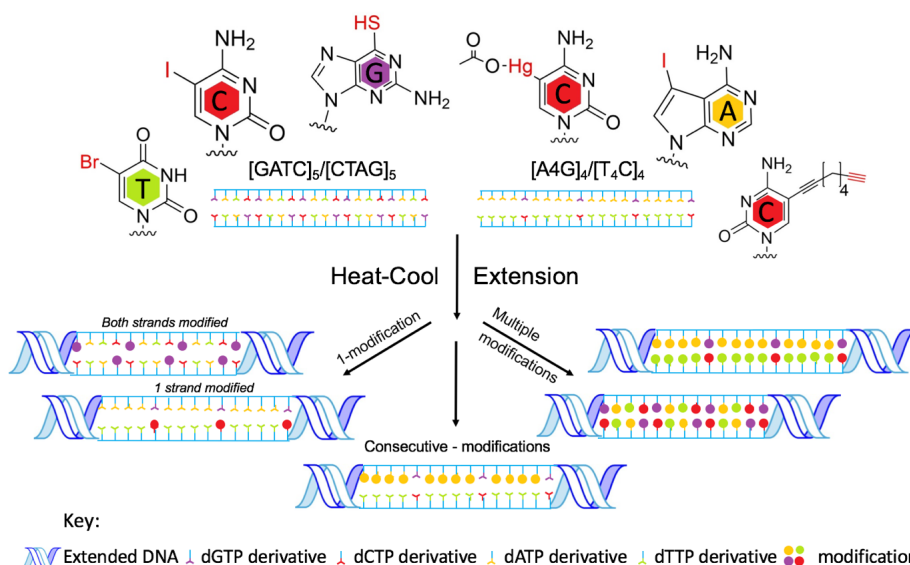


Figure 1: DNA extension by heat-cool cycles to produce modified DNA. 6-S-dGTP is renowned for strong metal interactions, and was exploited for the specific localisation of Au⁺, Ni²⁺, Cd²⁺ and Au³⁺ at repeating G positions. As the final 6-S-DNA product is limited in length, an alternative thiol modification was investigated. Using phosphorothioate dNTPs, sulfur bearing DNA products similar in length to the unmodified DNA were produced after 30 heat-cool cycles. This enabled the specific positioning of Au-nanoparticles through careful oligo-seed design. DNA bearing the 5-C₈-alkyne-dCTP provides alkyne anchors at sites sitting in the major groove. To demonstrate the ability to add a second layer of design, click chemistry with azide-fluor-545 was investigated. This opens up potential routes to more complex modifications via organic synthesis at precise sites within the designer DNA.

Reference

[1] Whitfield CJ, Turley AT, Tuite EM, Connolly BA, Pike AR. *Angewandte Chemie International Edition* **54**(31), 8971-8974 (2015)

Acknowledgements

This work was partially supported by the BBSRC Doctoral Training Partnership in Biosciences, the School of Chemistry, Newcastle University and the Cooperative Research Program of "Network Joint Research Center for Materials and Devices"

Short BIOGRAPHY



Andrew Pike received a PhD in Biofunctionalised Silicon Surfaces from Newcastle University, UK, in 2002. Previously he received an MSc in Functional Chemistry from Hokkaido University, Japan (1998) and a BSc in Medicinal Chemistry from Newcastle University, UK (1994). After finishing his PhD, he then worked in the lab of Prof. Bernard Connolly followed by a year in industry working on rapid response systems for biological and chemical biothreat detection. Since 2005 he has held academic positions at Newcastle University where is now Senior Lecturer in Chemical Nanoscience. His research interests are in methods for the synthesis of bio-inspired materials, the integration of biomolecules with inorganic substrates and the development of biosensing platforms for integration in POC devices.

“Self-lubricating Organogels : SLUGs” Showing Beyond-Biological Surface Functionalities

C. Urata,¹ T. Sato,¹ L. Wang,¹ M. W. England¹ and A. Hozumi^{1*}

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
2266-98, Anagahora, Shimoshidami, Nagoya 463-8560, Japan
*E-mail : a.hozumi@aist.go.jp, Tel: +81-52-736-7388

Keywords: SLUG, organogel, syneresis, superhydrophobicity, self-healing

Formation of functional coatings, which exhibit outstanding surface properties, such as super-liquid-repellency and low friction/adhesion, has generally relied on a combination of surface structures and low surface energy materials (typically long-chain perfluorinated compounds, LPFCs). However, the chemical and physical effects of the LPFCs on human health, and the environment, have been lately viewed with suspicion. In addition, once such man-made surfaces are physically/chemically degraded, they permanently lose their surface properties. In contrast to this, there are living creatures that sustain their surface properties through continuous secretion of waxes or mucus. To realize long-lasting surface functionalities, similar to those observed in nature, we have particularly focused on “syneresis” of organogels, which is the release of liquids from inner gel matrices to their outer surfaces. In this study, organogels were prepared, based on a cross-linking reaction of 2 types of polydimethylsiloxane (PDMS) with a Pt catalyst, and several organic guest fluids, which have named “Self-lubricating organogels (SLUGs)” [1]. When compatibility between the low-surface-tension guest fluids and PDMS matrixes is decreased beyond a certain critical point, the guest liquids begin to gradually leach out to the outermost SLUG surfaces. By taking advantage of the syneresis behavior of these guest fluids, we can successfully achieve various dynamic/durable surface functionalities, similar or beyond those of biological surfaces.

For example, as shown in Fig.1 A and B, viscous emulsions can flow on the surface of our SLUG more freely than those on a non-syneretic organogel surface. For anti-icing applications, we can tune the syneresis temperature to achieve reversible thermo-responsive properties (Fig.1 C). In this case, the syneresis gradually begins as the temperature is cooled below 0°C, and the syneresis fluids returns back into SLUGs again by heating it to room temperature. Thanks to this smart thermo-responsive

property, an ice-pillar formed on SLUGs at -15°C can easily slide off without any external force. Moreover, we can successfully demonstrate spontaneous formation of superhydrophobicity, artificially mimicking lotus leaves using *n*-octadecyltrichlorosilane as an active guest fluid (Fig. 1 D and E). Some of the samples can even survive long-lasting plasma/UV etching/oxidation.

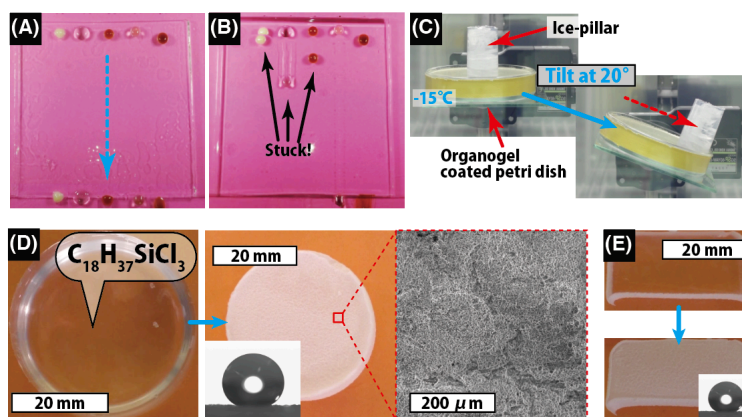


Fig. 1. Viscous liquids (mayonnaise, liquid glue, ketchup, honey, and worcester source) on (A) SLUG and (B) non-syneretic organogel surfaces. (C) Sliding motion of an ice-pillar at -15 °C on the thermo-responsive SLUG surface. (D) Superhydrophobic SLUG surface. (E) Regeneration of superhydrophobicity after cutting and then leaving in air.

Our SLUGs undoubtedly show great potential for applications in dynamic, multifunctional, and self-healing coatings and have possibilities beyond those of biological surfaces.

Reference

- [1] C. Urata, G. J. Dunderdale, M. England, and A. Hozumi, *J. Mater. Chem. A.*, **2015**, 3, 12626.

Acknowledgements

This work was partially supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP24120005 in Scientific Research on Innovative Areas “Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity”.

Short BIOGRAPHY



Atsushi Hozumi received a PhD in Material Processing Engineering at Nagoya University, Japan, in 1997. After finishing his PhD, he then worked at the National Industrial Research Institute of Nagoya (NIRIN) and the Ministry of Trade and Industry, Japan. Since 2007 he has belonged to Thomas J. McCarthy's group at the University of Massachusetts Amherst as a visiting professor with an ongoing collaboration. At present, he is the group leader of the Advanced Surface and Interface Chemistry Group, Structural Materials Research Institute, at the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Nagoya, Japan. His research interests are wettability/dewettability, biomimetic materials, micro/nanofabrication and self-assembled monolayers.

Biomimetic structural color materials from melanin-like particles

Michinari Kohri,^{1*} Ayaka Kawamura,¹ and Gen Morimoto²

¹Division of Applied Chemistry and Biotechnology, Graduate School of Engineering,
Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

²Yamashina Institute for Ornithology, 115 Konoyama, Abiko, Chiba 270-1145, Japan

*E-mail: kohri@faculty.chiba-u.jp Tel: +81-43-290-3393

Keywords: melanin, polydopamine, structural color, bird feathers

Nature creates beautiful structural colors, and some of these colors are produced by nanostructural arrays of melanin. Polydopamine (PDA), an artificial black polymer produced by self-oxidative polymerization of dopamine, has attracted extensive attention because of its unique properties [1]. PDA is known as a melanin-like material, and recent studies have reported that photonic materials based on PDA particles showed bright structural colors by enhancing color saturation through the absorption of scattered light [2].

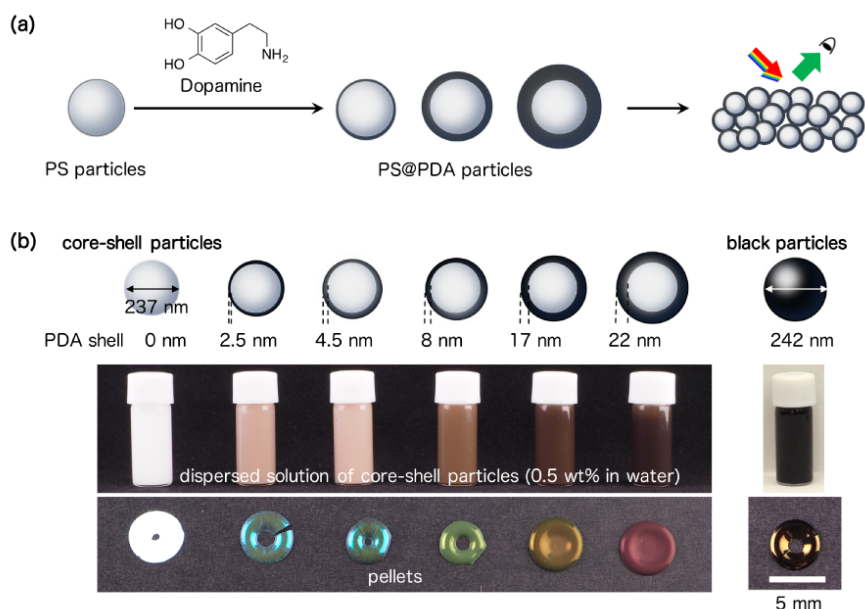


Fig. 1 (a) Schematic representation of the preparation of PS@PDA particles. (b) Photographs of dispersed solutions (0.5wt% in water) and pellets from PS(237 nm)@PDA(0-22 nm) particles.

In this study, we prepared core-shell particles composed of a polystyrene(PS) core and PDA thin layers (PS@PDA) to create high visibility structural colors (Fig. 1 (a)). The PDA shell thickness, which was measured by SEM, gradually increased with an increasing feed amount of dopamine(DA) monomer, giving rise to PS(237 nm)@PDA(0-22 nm) particles with various blackness (Fig. 1 (b)). When conventional PS particles were used as a component, milky white color pellets were obtained. In contrast, PS@PDA particles produced bright structural color pellets. It is a noteworthy fact that only 2.5 nm of PDA shell layers dramatically increased the visibility of structural colors in naked eyes. This simple and novel process of using core-shell particles containing PDA shell layers can be used in basic research on structural color materials and practical applications [3].

References

- [1] H. Lee, S. M. Dellatore, W. M. Miller, P. B. Messersmith, *Science*, 2007, 318, 426.
- [2] M. Kohri, Y. Nannichi, T. Taniguchi, K. Kishikawa, *J. Mater. Chem. C*, 2015, 3, 720.
- [3] A. Kawamura, M. Kohri, G. Morimoto, Y. Nannichi, T. Taniguchi, K. Kishikawa, *Sci. Rep.*, 2016, 6, 33984.

Acknowledgements

This work was partially supported by JSPS KAKENHI Grant Number 15H01593 in Scientific Research on Innovative Areas “Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity”.

Short BIOGRAPHY



Michinari Kohri received his PhD from Tohoku University in 2007 under the supervision of Professor Shin-ichiro Shoda. He then moved to Tohoku University (the Professor Tokuji Miyashita laboratory) as a research assistant professor. From 2008, he worked as an assistant professor of Chiba University. At present, he is an associate professor of Chiba University. His research interests focus on the development of functional and biomimetic materials based on the understanding of surfaces and interfaces. He received the Selected Lectures by Young Chemists (The Chemical Society of Japan, 2013) and the Award for Encouragement of Research in Polymer Science (The Society of Polymer Science, 2013).

Sponge as a Potential Model of Biomimetics: New perspective R. Tsubaki^{1*}

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology,
2-15 Natsushima, Yokosuka, Kanagawa, 237-0061, Japan,
*E-mail: tsubaki@jamstec.go.jp, Tel: +81-46-867-9661

Keywords: sponge, canal system, morphology, structure, network

Circulatory system is essential to distribute gas and nutrient throughout body for all organisms. Sponges (Phylum Porifera, Fig 1a) have long been considered to occupy the basal position of multicellular animals. As sponges entirely lack specialised organ such as digestive tract, sponge's circulatory system called "aquiferous system" is solely responsible for feeding, breathing and ejecting waste. Water is introduced into the aquiferous system through numerous tiny pores on body surface, distributed through the body via channels, and expelled from large aperture have vast network of water-filled channel, called "aquiferous system" instead (Fig. 1b). They continuously flow ambient water through a vast aquiferous system inside their body, and feed suspended organic particles by filtering water. Despite its critical importance, there are few studies on the sponge aquiferous system and thus its fundamental information still remains unclear. Their dependence on the canal system suggests that the sponge canal system should be optimized for efficient water transportation, which would potentially serve as a model system for designing a water transportation system with high energy efficiency. To elucidate how sponges accomplish efficient water transportation, I investigated the development process and network structure of sponge canal system.

The sponge aquiferous system is formed at the early stage of development by fusion of several empty cavities emerged inside the body, and its formation is completed when the water outlet is formed on the body surface. However, how the water pumping function emerges during the early developmental stages of sponges remained unclear. We found that that sponges started to circulate water even before the aquiferous system was completed by peristalsis-like behaviour of the cavities. After completion of the canal system, however, sponges started to use beating of flagella to actively flow water through the canal. The results suggest that the sponges autonomously switch water circulating mechanism depending on the developmental stage.

The peristalsis-like behaviour allows sponges to distribute water throughout their body even before the circulatory system is completed. Peristalsis is common among higher animals that have nerve systems and plays a key role in digesting food or ejecting waste products. It is surprising that sponges display coordinated peristalsis-like behaviour even though they do not have any nerve systems.

By analyzing image data obtained by X-ray CT (Fig 1C), we found interesting characteristic of sponge canal network structure. Fig. 1D shows the distribution of canal thickness. The histogram follows power-law distribution. This result clearly shows that the sponge canal system has scale-free structure, because the scale-free network is characterized by the power-law degree distribution. The scale-free structure might play important role in network robustness.

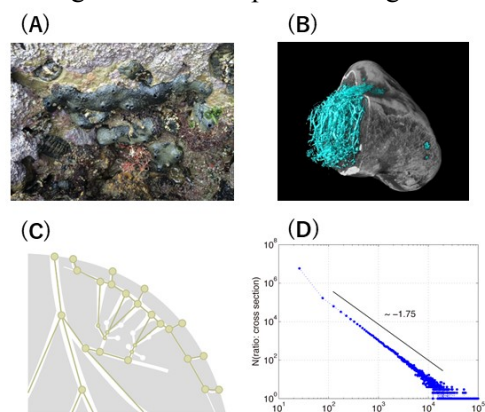


Fig. 1. (A) A picture of sea sponge *Halichondria okadai*. (B) An Image of 3D computed tomography of freeze-dried sponge specimen. Blue region indicate canal system. (C) Schematic image of sponge canal system. (D) Distribution of canal thickness.

Acknowledgements

This work was partially supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP24120005 in Scientific Research on Innovative Areas “Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity”.

Short BIOGRAPHY



Remi Tsubaki received a PhD in Human and Environmental Studies at Kyoto University, Japan, in 2013. After finishing her PhD, she then worked at the Forestry and Forest Product Research Institute (FFPRI), Japan. Since 2014, she is a postdoc researcher of the Frontier Research Group, Research and Development Center for Marine Bioscience, at Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Kanagawa, Japan. Her research interests are life history trait, 3D morphology, functional biology of marine invertebrates.

Vibration sensitivity in longicorn beetles and biomimetic potential for insect pest control

T. Takanashi^{1*}, H. Sakamoto², N. Skals^{1,3}, S. Fukui⁴, Y. Matsui⁵, T. Koike⁶ and H. Nishino⁷

¹Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba 305-8687, Japan

²Ibaraki University, Ibaraki, Japan

³The University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark

⁴Shimane Prefecture Mountainous Region Research Center, Shimane, Japan

⁵Shonan-Metaltec Corporation, Kanagawa, Japan

⁶The University of Electro-Communications, Tokyo, Japan

⁷Hokkaido University, Sapporo, Japan

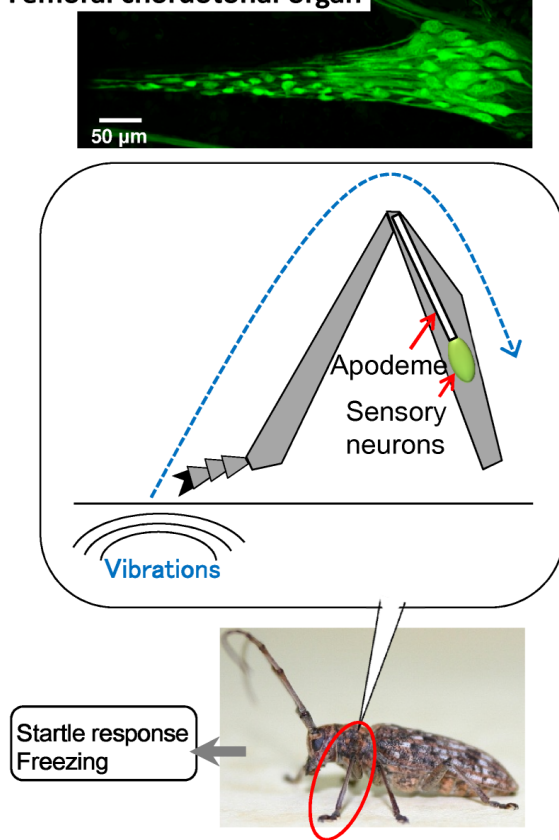
*E-mail : takanasi@affrc.go.jp, Tel: +81 29 873 3211

Keywords: interactions, sense organ, vibrational information

Vibration sensitivity is adaptive in many insects because substrate-borne vibrations carry information on approaching predators and conspecifics. For instance, males of the leafhopper pest produce vibrational signals for sexual communication [1]. However, little is known about how beetle pests show behavioral responses to vibrations. Here, we investigated the responses and the associated sense organs in two longicorn beetles, *Monochamus alternatus*, which is the vector of the pine wilt disease, and *Moechotypa diphysis*, which is a pest of mushroom bed logs [2].

The two longicorn beetles demonstrated startle responses, such as small bodily movements and freezing, in response to vibrations below 1 kHz, indicating that they detected low-frequency vibrations. The sense organ involved in freezing behavior was identified in *M. alternatus*. The femoral chordotonal organ (FCO), located in the mid-femur, contained 60–70 sensory neurons and was distally connected to the proximal tibia via a cuticular apodeme. *M. alternatus* beetles with ablated FCOs did not freeze in response to low-frequency vibrations during walking, whereas intact beetles did. The findings suggest that the FCO is responsible for detecting low-frequency vibrations and mediating behavioral responses in the two cerambycid beetles. Vibrational stimuli could be applied to manipulate various behaviors of insect pest in order to reduce damage of their host plants. Based on our new findings of vibration sensitivity in the beetles, we are currently developing a pest control method for environmentally friendly alternatives to pesticides. The ecological significance of the vibrational sense and biomimetic potential for pest control applications of the vibrations will be discussed.

Femoral chordotonal organ



Reference

- [1] A. Eriksson, G. Anfora, A. Lucchi, F. Lanzo, M. Virant-Doberlet, and V. Mazzoni, *Plos One*, **2012**, 7, e32954.
- [2] T. Takanashi, M. Fukaya, K. Nakamuta, N. Skals, and H. Nishino, *Zool. Lett.*, **2016**, 2, 18.

Acknowledgements

This work was partly supported by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology KAKENHI Grant Nos. 80332477 and Council for Science, Technology and Innovation, Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program.

Fig. 1. The femoral chordotonal organ detecting vibrations and mediating behavioral responses in *Monochamus* beetle.

Short BIOGRAPHY



Takuma Takanashi received a PhD of Agriculture at University of Tokyo, Japan in 2001. After finishing his PhD, he was JSPS research and postdoctoral fellow at Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden and National Institute of Agrobiological Sciences, Japan. Since 2004, he has worked at Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), Tsukuba, Japan. At present, he is Chief Researcher at Department of Forestry Entomology. He received Japan Prize in Agricultural Sciences, Achievement Award for Young Scientist in 2011. His research interests are insect bioacoustics, sensory ecology and applied entomology, especially for insect sounds and vibrations.

(4) トピックス (PEN より)

FEATURES

寄稿

魚の体表に学ぶ防汚性：高分子電解質ブラシによるアプローチの動向

工学院大学 工学部 小林元康

1. 魚の体表と防汚表面

フジツボや藻類に代表されるような海洋付着生物は岩礁だけでなく、船舶や漁網、水面に浮かぶブイ、臨海にある発電所の冷却水取水口、その他人工的に建設した海洋構造物などに付着し、様々な経済的損失、いわゆる汚損を与えている。このような海洋付着生物の付着を防ぐ試みは長い間検討されているが、未だに決定的な解決法が見いだされていない課題である。例えば、船底塗料を例に挙げれば、以前はフジツボの付着を阻害する有機スズを含む船底塗料が用いられていたが、環境汚染や人体への有毒性などの問題が生じるため現在では使用されていない。海洋構造物を利用する人間からみれば海洋付着生物は汚損をもたらす厄介者であるが、彼らにとって水中で何かに付着することは生き残るための術であるから、彼らと共存できるような解決策が望ましい。そのような課題の解決法を模索するなかで、同じ海洋生物でありながら海洋付着生物が付着しない魚の体表に関心が持たれ、魚類の体表を模倣した材料表面を創り出す試みが行われるようになってきた。もちろん魚の種類によっては体表に海洋付着生物が付着している例もあるが、魚類の体表が持つ様々な機能を知り、これを模倣する研究は生物汚損だけでなく防汚機能やセルフクリーニング、水と油の分離プロセス、バイオマテリアルなど工学



図1 マダイの体表を覆う鱗

的な応用に広がる潜在的な可能性を秘めている。

多くの場合、魚類の体表はリン酸カルシウム（主にハイドロキシアパタイト）で形成された鱗で覆われており、このおかげで体表の力学的強度が保たれ、外傷が付きにくいように体が保護されている [1]。さらに、鱗の表面は数 μm ～数百 μm の階層的な微細凹凸構造を有しており、これらが体表から分泌される粘液を保持することに役立っている。魚の体表を触るとヌルヌルしているが、その原因はまさにこの粘液にある。粘液は皮膚の粘液細胞とよばれる細胞から分泌され、レクチンという糖鎖タンパクや免疫グロブリンなどの様々な生体防御因子が含まれていることが知

られており、病原体等の体内への侵入を未然に防いでいる [2]。また、魚の中には鱗を持たないものもいる。アンコウやナマズ、マンボウには鱗がない。これらの生物にとって粘液こそが体表を保護する重要な物質となっている。

鱗自体の表面は必ずしも親水性が高いとは限らないが [3]、表面を覆う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んでいるため、魚類の体表は超親水性を示す。これが水中において油污れおよび海洋付着生物の付着を抑制していると考えられている。そのため、人工的に高分子電解質で覆われた表面を調製し、その防汚性を実証する研究が行われている。

2. 高分子電解質ブラシによる防汚性

高分子電解質とは多数のイオン性官能基を結合した巨大分子であり、一般的に水によく溶解する。したがって、単純に高分子電解質を材料表面に塗布しても、その材料を水中に入れたら高分子電解質は溶出してしまい、表面被覆を維持することができない。そこで、最近では高分子鎖の一端を材料表面に結合させ（グラフト化という）、あたかも歯ブラシやヘアブラシのような分子集合体、すなわち「ポリマーブラシ」を構築する表面改質法がよく行われている。高分子鎖は共有結合で材料表面につなぎ止められているため、洗浄や摩擦に対して剥離せず、表面の改質効果が長期にわたって保持される。

ポリマーブラシの調製方法にもいくつか種類があるが、表

面開始重合法が用いられることが多い。これは材料表面に重合開始剤となる化学種を結合させておき、これを基点として重合反応を行い、モノマーという低分子化合物を連続的に結合させることで高分子鎖を生長させ、ブラシ状の薄膜を得る方法である（図 2a）。図 2b に示すように、高分子電解質ブラシに限定しても最近 10 年以内に多種多様な官能基を持つポリマーブラシが合成され、その表面の防汚性の評価が試みられている。その多くが水の接触角測定や水中における油滴の接触角測定、あるいは細胞付着特性を検討している。

例えば図 3 は、シリコン基板上に種々の高分子電解質ブラシを調製し、その大気中における対水接触角と水中における気泡や油滴の接触角を示している [4]。スルホベタイン (PMAAPS) やホスホリルコリン (PMPC) を結合した高分子電解質ブラシは水との親和性が高いため、水滴を接触させると水は表面に濡れ広がろうとして、対水接触角は極めて低い値を示す。一方、このブラシ基板を水中に入れ、水和状態の表面に基板の下方から気泡を接触させても、気泡は球状のままブラシ基板に付着しない。また、水より比重の大きな 1,2-ジクロロエタンを油滴とみなして水中で接触させると、1,2-ジクロロエタンはブラシ表面で真球に近い形状を保ち、基板表面に付着しない。これは高分子電解質ブラシの表面自由エネルギーが水と同様に高く、気泡や油滴との接触による界面自由エネルギーの増加を最小にするためである。逆にテフロンなどの撥水性の材料を水中に入れ同様の実験を行うと、気泡や油滴は球状にならず材料表面に付着したままになる。水中ではむしろ撥油性が低下するのである。従って、水中においては超親水性表面であることが撥油性をもたらし、油などに対する防汚性を発揮

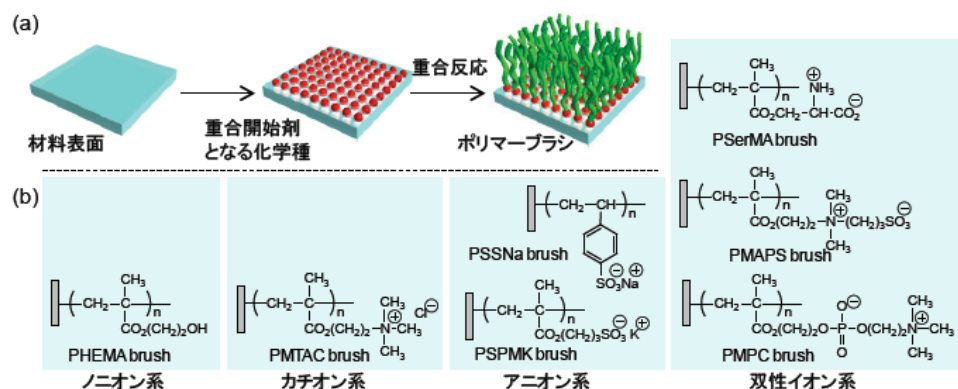


図 2 (a) 表面開始重合法によるポリマーブラシの調製の概略と、(b) 高分子電解質の化学構造

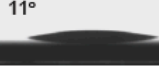
	PSerMA brush	PMAPS brush	PMPC brush
Water in air	9° 	11° 	1~3° 
Air bubble in water	156° 	155° 	170° 
1,2-dichloroethane (DCE) in water	164° 	144° 	168° 

図3 高分子電解質ブラシブラシにおける対水接触角、水中における気泡および1,2-ジクロロエタンの接触角

することになる。双性イオン型の高分子電解質ブラシの他にカチオン系高分子電解質のPMTACブラシやアニオン系のSPMKブラシも水中において撥油性を示すことが確認されている[5-7]。筆者らはアミノ酸の一種であるセリンに着目し、セリン含有高分子電解質(PSerMA)ブラシも超親水性を示すことを明らかにしている[8]。また、血清蛋白の接着が抑制できることも報告されている[9]。

また、シンガポール大学のTeoらはガラス基板に種々のポリマーブラシを付与し、その表面におけるグラム陽性菌およびグラム陰性菌、フジツボのキブリス幼生の付着試験を行っている。ブラシを付与していない未処理ガラス基板における付着量を基準としたときの各ポリマーブラシ基板における相対的な付着量をまとめると表1のようになる。なお、正確な付着量および試験条件は原著論文[6]を参照いただきたい。

一般に生物汚損は、(1)有機物の吸着によるコンディショニングフィルムの形成、(2)バクテリアや珪藻類の蓄積によるバイオフィルムの形成、そして(3)フジツボやその幼生、ムササギガイなどの着生による汚損、の順に起こる。表1においてグラム陽性・陰性菌の付着実験は(2)バイオフィルム形成を、キブリス幼生の付着試験は(3)のプ

ロセスを想定した実験である。いずれの付着試験においてもポリマーブラシを付与した基板は未処理のものに比べて付着量が少ないのであるが、特にノニオン系および双性イオン型ブラシ基板への付着量が低い結果が得られている。ブラシ基板の中ではポリアニオンブラシだけがバクテリアもキブリス幼生も比較的付着量が高かった。各ブラシ基板の対水接触角はPHEMAブラシが最も高く(40°以上)、PSSNaブラシが最も低い(14°)ことから、親水性の高さだけで付着量の序列を議論することはできないようである。ただし、ポリアニオンブラシ表面にキブリス幼生が多く着生したのは、キブリスが着生時に分泌するセメント物質にカチオン性のリジンが含まれているため[10]、ポリアニオンと引力相互作用が働いたのではないかと考えられている。また、双性イオン型ブラシはノニオン系ブラシに比べ水中における撥油性が優れているため有機物の吸着抑制効果が高いことが期待されているが、キブリス幼生が全く着生しない訳では無く、日数単位の時間が経過すればいずれ生物汚損が発生すると予想される。今後もポリマーブラシの化学構造や、表面の微細構造などを工夫することで改善を図る必要がある。

さて、ポリマーブラシによる防汚性を実用化し、幅広く展開するには2つ大きな課題がある。1つ目は大面積にポリ

表1 ポリマーブラシを付与したガラス基板における細菌およびキブリス幼生の付着量の比較^{a, b}

ポリマーブラシの種類	グラム陽性菌 ^c	グラム陰性菌 ^c	キブリス幼生 ^d
なし (未処理)	+++++	+++++	+++++
ノニオン系 PHEMA	+	+	+
カチオン系 PMATC	++	++	++
アニオン系 PSSNa	+++++	+++	+++++
双性イオン系 PMAPS	++	+	+

a「+」が多いほど付着量が多いことを意味する。b 未処理基板への付着量を基準としたときの相対的な付着量を示す。c 24時間/バクテリア分散液に浸漬した後、表面に存在した細菌数を比較。d 48時間以内に着生したキブリス幼生の数。

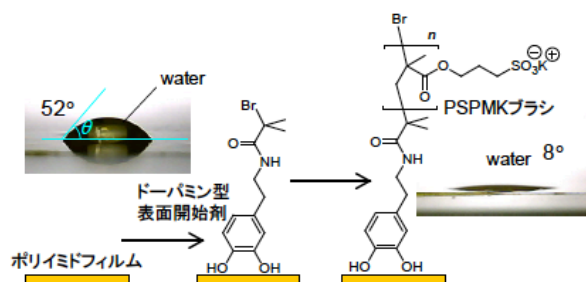


図4 ポリアミドフィルム表面にドーパミン系表面開始剤を用いてアニオン系高分子電解質ブラシを調製する概略と、調製前後の対水接触角

マープラシを生成させる技術であり、2つ目は多様な材料にプラシを固定化する方法である。前者の表面積化は、今のところある特定の種類のポリマープラシの場合にのみ実現できているが、より一般化するにはポリマープラシのグラフト密度（単位面積当たりの高分子鎖の本数）を低くするか、その他の技術的な革新が必要である。一方、後者は分子設計を工夫することで達成されつつある。

図1で示したようにポリマープラシを生長させるには重合の開始点となる化学種を材料表面に導入する必要がある。表面改質を行う材料がシリコン基板やシリカ、ガラスであればシランカップリング剤が、金であればチオール化合物、金属酸化物であればアルキルリン酸などを用いることで重合開始剤を固定化することができる。しかし、ポリエチレンに代表されるようなポリオレフィンやゴム、ポリエチレンテレフタレート（PET）、耐薬品性に優れた材料のポリイミドやテフロンなどに対して、重合開始基を導入する方法は限られている。現在、筆者らはポリイミドフィルムに対してドーパミン誘導体を用いた重合開始基の導入を行っている。海洋付着生物のイガイが分泌する接着タンパクにはアミノ酸であるL-DOPAが多数含まれており、ドーパミンと類似の分子構造を有している。これが塩基性条件下で金属酸化物をはじめ多様な材料に接着し、二次元方向に架橋した被覆膜を形成することが知られている [11-12]。筆者らは、ドーパミン由来の表面開始剤をポリイミドフィルム表面に固定化し、表面開始重合によりイオン性ポリマープラシを生長させることで疎水性表面を超親水性へと改質することに成功した。数カ月の長期にわたって親水性を安定に保持できることも確認している。ポリイミドフィルムは化学的に安定で、折り曲げたり巻き上げることができるだけでなく表面微細構造も構築できるため、大面積表面にポリマープラシを調製するのに適した材料である。今後、ポリマープラシの応用展開を図る上で重要な技術であると考えている。

3. 今後の課題と展望

魚類の表面を覆う粘液が超親水性を示すことで、水中において油污れを付着させない効果をもたらしていることはこれまでの実験結果などから考えても確かであろう。しかし、これが海洋付着生物の付着を防ぐためにどの程度貢献しているのか、またその詳しい仕組みは明らかになっていない。例えば、体表に分泌されるレクチンについては、今日までにいくつかの魚種の体表粘液から単離精製されているものの、その詳細な構造や機能は必ずしも明らかとなっていない。感染症などを引き起こす病原体からの生体防御機能と、海洋付着生物への防御を分けて検討しなくてはならないし、それらを決定づけている分子構造を特定する必要もある。また、この粘液はムコ多糖類を含む高分子電解質であり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考えられている。しかし、これが流体抵抗の低減にどの程度寄与しているのか実験的に証明した例はない。このように様々な機能を潜在させている魚類の鱗や粘液について科学的な知見を積み重ね、工学へ応用することで新たな防汚表面の構築法を提案できるのではないかと期待されている。

References :

- [1] 吉富友恭、魚のウロコのはなし、成山堂書店、p17-42、2007
- [2] S. Tsutsui, S. Tasumi, H. Suetake, K. Kikuchi, Y. Suzuki, Dev. Comp. Immunol., 29, 243 (2005).
- [3] M. Kobayashi, Y. Terayama, H. Yamaguchi, M. Terada, D. Murakami, K. Ishihara, A. Takahara, Langmuir, 28, 7212 (2012).
- [4] A. Plummer, T. -C. Tang, C. -Y. Lai, M. Chiesa, ACS Appl. Mater. Interfaces, 6, 16320 (2014).
- [5] X. Zhao, W. Chen, Y. Su, W. Zhu, J. Peng, Z. Jiang, L. Kong, Y. Li, J. Liu, J. Membrane Sci. 441, 93 (2013).

- [6] W. J. Yang, K. -G. Neoh, E. -T. Kang, S. S. C. Lee, S. L. -M. Teo, D. Rittschof, *Biofouling*, 28, 895 (2012).
- [7] Y. Liu, S. Zhang, G. Wang, *Desalination*, 316, 127 (2013).
- [8] M. Ikeda, K. Yamaguchi, M. Kobayshi, *Polym. Prep. JPN*, 63, 6883 (2014).
- [9] Q. Liu, A. Singh, L. Liu, *Biomacromolecules*, 14, 226 (2013).
- [10] K. Kamino, *Mar. Biotechnol*, 10, 111 (2008).
- [11] X. Fan, L. Lin, P. B. Messersmith, *Biomacromolecules*, 7, 2443 (2006).
- [12] W. Ma, H. Xu, A. Takahara, *Adv. Mater. Interfaces*, 1, 1300092 (2014)

FEATURES

寄稿

魚類分類学は人命を救う：フグ類の分類と毒性

国立科学博物館 動物研究部 松浦啓一

1. はじめに

魚類分類学は地球上にどのような魚類が存在し、どのようにに区別され、どのようなグループにまとめられるかを研究する学問である。現在、地球上には約 32,000 種の魚類が生息しているが、いまだに年に 300 種くらいの新種が発見され、報告されている。魚類は脊椎動物の仲間であり、その半数を魚類が占めている。つまり、魚類は脊椎動物最大のグループである。魚類は哺乳類、鳥類、ワニやヘビなどの爬虫類およびイモリやカエルなどの両生類と比べると極めて変化に富んだグループである。最大の魚はジンベエザメであり、全長 12m を超えることは確実である。一方、最小の魚はスマトラ島にすむ淡水性のコイの仲間です。全長約 1cm である。つまり、最大の魚は最小の魚の 1200 倍ということになる。男性の身長は通常 160cm 以上あるだろうから、身長 165cm の男性を最小の魚にたとえると、最大の魚は身長 1980cm の男性に匹敵することになる。まさに、山のような巨人である。魚類の多様性は大きさばかりではなく、形や生息場所、習性など様々な側面で見られるが、体内に毒をもつ変わった魚もいる。しかし、実は日本人の多くがこの毒魚を知っている。それは、フグである。



図1 カワハギ科のハクセイハギ（上）とカワハギ（下）。
写真：鹿児島大学総合研究博物館。

PEN October 2014 3

2. フグ類の特徴

フグ類とはフグ目に属する魚のことである。フグ目は400種以上を含む分類群であり、広い意味ではマンボウやカワハギなどもフグ類（フグ目）である（図1、2）。しかし、狭義のフグ類とはフグ科に属する魚のことを指す。フグ科は全世界に約180種が生息しているが、日本からは60種が知られている（図3）。つまり、世界のフグ類のうち、22%が日本に分布していることになる。魚類全体を見ると、全世界の魚類の約13%が日本から報告されている。二つの数字を比べると、日本のフグの多様性が高いことが分かるであろう。

さて、フグと言えば高級料理の食材として有名であり、フグ中毒を引き起こす魚としても知られている。昔から「フグは食いたし、命は惜しし」と言われているように、フグは危険な魚として知られていた。しかし、一方で、フグは美味しい魚としても名を馳せており、そのため、前述の言葉が生まれたのであろう。関西ではフグを「テッポウ」と呼ぶこともある。「当たることがある」というわけである。「当たった人」がどうなるかが問題であるが、最悪の場合

には中毒死することになる。残念なことに日本では平均すると年に約30人がフグ中毒にかかり、そのうち数人が死亡している。フグ中毒の犠牲者は古くから知られており、フグ中毒で死んだと思われる人の骨が遺跡から発掘されたこともある。

しかし、現在の日本では厚生労働省がフグの利用に関する指針を出しており、フグのどのような種の、どの部位を食用に利用できるかを示している（表1、2）。フグ調理師免許をもった料理人がいる店でフグを食べれば、何の問題もなくフグ料理を楽しむことができる。フグ料理が高価なためか、自分でフグを入手し、料理して食べる人がいるのは残念なことである。生半可な知識でフグを料理すれば、命にかかわる。素人がフグを料理することは絶対にやめるべきである。日本ではフグ中毒件数が少ないため、フグ中毒が起こればマスコミで取り上げられるニュースになるが、南シナ海沿岸諸国では、フグをめぐる信じられないような状況が起こっている。



図2 三陸沖の定置網で漁獲されたウシマンボウ。写真：相良恒太郎。



図3 フグ類の体は側面から見ると楕円形を呈する。腹鰭がないこともフグ類の特徴。上から順番に、トラフグ、コモンフグ、スジモヨウフグ。

表1 厚生労働省によって指定された利用できるフグ類の種類と部位。○は可食部位。

科名	種類（種名）	部位		
		筋肉	皮	精巣
フグ科	クサフグ	○	—	—
	コモンフグ	○	—	—
	ヒガンフグ	○	—	—
	ショウサイフグ	○	—	○
	マフグ	○	—	○
	メフグ	○	—	○
	アカメフグ	○	—	○
	トラフグ	○	○	○
	カラス	○	○	○
	シマフグ	○	○	○
	ゴマフグ	○	—	○
	カナフグ	○	○	○
	シロサバフグ	○	○	○
	クロサバフグ	○	○	○
	ヨリトフグ	○	○	○
	サンサイフグ	○	—	—
ハリセンボン科	イシガキフグ	○	○	○
	ハリセンボン	○	○	○
	ヒトヅラハリセンボン	○	○	○
	ネズミフグ	○	○	○
ハコフグ科	ハコフグ	○	—	○

注 本表は、有毒魚介類に関する厚生労働省の検討委員会における検討結果に基づき作成されたもので、ここに掲載されていないフグであっても、今後、鑑別法及び毒性が明らかになれば追加されることもある。本表は、日本の沿岸域、日本海、渤海、黄海及び東シナ海で漁獲されるフグに適用する。ただし岩手県越前湾及び釜石湾並びに宮城県雄勝湾で漁獲されるコモンフグ及びヒガンフグについては適用しない。まれに、いわゆる両性フグといわれる雌雄同体のフグが見られることがあり、この場合の生殖巣はすべて有毒部位とする。筋肉には骨を、皮にはヒレを含む。フグ類には、トラフグとカラスの中間種のような個体が出現することがあるので、これらのフグについては、両種とも○の部位のみを可食部位とする。

表2 ナシフグについては、利用できる漁獲海域と部位が厚生労働省によって限定されている。

科名	種類（種名）	可食部位
フグ科	ナシフグ（有明海、橘湾、香川県及び岡山県の瀬戸内海域で漁獲されたものに限る。）	筋肉
	ナシフグ（有明海及び橘湾で漁獲され、長崎県が定める要領に基づき処理されたものに限る。）	精巣

注 有明海とは、漁業法（昭和24年法律第267号）第109条第4項に規定する海面のうち、長崎県及び佐賀県の県境から熊本県及び福岡県の県境に至る直線より南側の海面をいう。橘湾とは、長崎県瀬崎崎から熊本県天神山に至る直線、長崎県脇野南端から南に樺島に至る直線、樺島南端から熊本県魚貴崎に至る直線及び陸岸によって囲まれた海面をいう。香川県及び岡山県の瀬戸内海域とは、愛媛県土居町仏崎から愛媛県魚島東端見通し線、香川県と徳島県の境界から兵庫県上島灯台見通し線及び陸岸によって囲まれた海面のうち香川県及び岡山県の漁業者が操業できる海面で漁獲されたものであること。筋肉には骨を含む。

3. 東南アジアにおけるフグ中毒

ベトナムではフグ中毒の犠牲者数が日本と比べると桁違いに多い。ベトナムでは1999年から2003年の期間に737人がフグ中毒にかかり、127人が死亡している。1年当たりの死亡者は32人となり（日本のフグ中毒事件数の1年あたりの総数に匹敵）、いかに多くの人が犠牲になっているかが分かる。ベトナム政府は2004年にフグ類を市場で扱うことを全面的に禁止したが、実際には水面下でフグ類は依然として取引されている。フグ中毒はフィリピンやタイなど、東南アジアの他の国々でも生じている。それではどうして、これらの国々でフグ中毒が頻発しているのだろうか。その原因としてフグ類の適切な管理の基礎となる、フグ類の分類や毒性に関する知見の不足を指摘しなければならない。

フグ類を他の魚類から区別するのは簡単である。体全体が丸みをおびており、側面から見ると楕円形を呈し、体の横断面は円い。さらに、水や空気を胃に飲み込んで、体を大きく膨らませることができる。そして、顎には鳥の嘴のように大きな板状の歯がある。上顎に2枚、下顎に2枚、合計4枚の歯板があるため、学名は4枚の歯をもつという意味のTetraodontidaeとなっている。通常の魚には左右一対の腹鰭があるが、フグ類には腹鰭がない。このような顕著な特徴をもっている魚はフグ類しかいない。つまり、誰でも科レベルまでなら、フグ類を分類できると言ってもいだろう。

ところが、属や種の識別となると事情は大いに異なる。他の魚では鱗の数や鰭条数、あるいは体各部の体長に対する比率などが分類に用いられる。ところが、フグ類には通常の魚に見られるような鱗がない。また、フグ類の鰭の条数には属間や種間で大きな相違がないことが多い。このため他の魚で多用される鰭条数も有力な分類形質にならない。さらに、他の魚では体の部位を測定して、体長との比率を割り出し、体形を数値として表示して比較することができる。しかし、フグ類の体は柔らかな皮膚におおわれているため、ホルマリンで固定する際に変形することが多い。このため体の部位を測定しても分類に役立たないことが多い。このように通常の魚とは異なる事情があるため、フグ類の属や種の分類は難しいと言われており、魚類研究者にとって侮りがたい難敵となっている。実際、国内外の自然史系博物館を訪問してフグ類の標本調査をした私の経験によると、かなりの数の同定間違いがあった。しかし、フグ類を詳細に観察すれば、頭部の形態や側線の走り方、小棘の分布に違いがあることがわかる。さらに、体色は種ごとに異なる。ただし、似た種が多いため、微妙な違いを識別



図4 マレーシアのサバ州で売られていたモヨウフグ属のフグ。上：モヨウフグ、サザナミフグおよびワモンフグの3種；下：皮をはいで売られていたモヨウフグ。肌色の臓器は肝臓。

する眼力が必要となる。

このようにフグ類の種を識別することは難しい。そのため、東南アジアの一般の人々にとっては「フグ」はフグなのであって、それ以上詳しく分類されていないことが多い。ところが20年ほど前からフグ類がベトナムやマレーシア、タイなどで利用されるようになってきた。ベトナムにおける悲惨な状況は前述したとおりであるが、フィリピンでもフグ中毒によって死者が出ており、タイやマレーシアでも犠牲者が出ているようである。しかし、どの国でどのくらいの犠牲者が出ているのか、データが少ないため実情がはっきりしない場合が多い。

そこでベトナム、タイ、フィリピンおよびマレーシアでフグ類の分類と毒性調査を実施した。マレーシアのサバ州北東部にある魚市場では、東南アジアの他の地域では目にしないような光景に遭遇した。それは大量のモヨウフグ属のフグたちであった（図4）。モヨウフグ属のモヨウフグ、ケショウフグ、サザナミフグ、ワモンフグなどは全長60cmを超える。これらのフグたちが大量にサバ州の魚市場で売られていたのがあった。しかも、驚くべき事に皮をはいだモヨウフグが肝臓付きで売られていた。通常、フグ



図5 ベトナム南部で見かけたサバフグ類。中央の大きなフグはカナフグ。



図6 タイのソンクラ魚市場で売られていたドクサバフグ。

類は内臓に毒をもち、その中でも卵巣や肝臓には極めて強い毒がある。一緒に魚市場を調査したマレーシアの魚類研究者に通訳してもらったところ、魚市場の人達は「モヨウフグ類の筋肉や肝臓を食べても問題ない」と言っているということであった。しかし、フグ毒の専門家である日本の研究者が調査したところによると、南シナ海のもヨウフグ類の中には有毒な個体がいることは確かである。同じモヨウフグ類であっても種によって毒の強さは異なるが、非常に毒性の強い個体が確認されている。ただし、やっかいなことに、中には毒性が低く、食べても中毒しない個体もある。このような現象はフグ類全般に見られる。理由は明らかになっていないが、フグ類の毒性は種によって、あるいは地域や季節によってかなりの変異を示す。このため同じ種類のフグを食べてもある時には中毒し、別の時には中毒しない場合がある。まことにやっかいであるが、中毒する場合があるのなら、食用にできないことは言うまでもない。そのためサバ州の調査が終わった時点で、マレーシアの研究者に地元政府にフグ類の利用を取り締まるよう助言するべきではないかと提案した。しかし、サバ州には州独自の政治システムがあるので、マレー半島側の研究者が助言しても無駄だろうと取り合ってもらえなかった。

確かにサバ州はマレー半島とは異なり、中央政府の完全な管轄下にあるわけではなく、かなりの自治制を有している。クアラルンプールからサバ州の空港に着くと、外国人はもちろんのこと、マレー半島側のマレーシア人もパスポートを入管窓口提出してスタンプを押してもらわなければならない。逆にサバ州のマレーシア人がクアラルンプールなどのマレー半島側に行くときにはパスポートを提出する必要はない。このような事情があるためフグ類の販売規制も

難しいのかもしれないが、このまま放置しておくわけにもいかない。フグ類の危険性を一般人に周知徹底するため、フグ類の分類ガイドなどを作成してマレーシア国内に配布して、なんとか状況を改善したいと考えている。

前述したようにベトナムにおけるフグ中毒の被害はさまざま。そのため、2004年にフグ類の利用を禁止する通達が出された。そして、フグ類は大きな都市にある食料品市場や魚市場からは姿を消した。2005年にフグ類調査のため、ベトナムを訪問したことがあるが、都市部ではまったくフグ類は見られなかった。しかし、現地の研究者に問い合わせると、都市から離れた魚の水揚げ場では、相変わらずフグ類が大量に扱われているとのことであった。ベトナム南部にニャチャンという観光地があるが、そこから60kmほど離れた水揚げ場を早朝に訪問してみると、大量のサバフグ類が水揚げされていた(図5)。しかも、現場で皮をはぎ、内臓を取り出していた。そこで、現場の漁師やその家族達にフグ類をどこに送るのかと質問したところ、魚やエビの養殖場へ送って餌にするとのことであった。ベトナムの研究者に通訳してもらったのだが、養殖場で餌にするのなら、皮をはぎ、内臓を取る必要はないだろうと言ったところ、「あまり詳しく質問するのはよくない」とのことであった。よそ者が首を突っ込むことはできない雰囲気であった。

マレーシアやベトナムと同様に、タイ南部でもフグ類の調査を行った。タイ南部のマレーシア半島東岸にソンクラという大きな町がある。ここには巨大な魚市場があり、毎日、大量の魚が水揚げされている。多くの魚に混じってサバフグ類を見かけたので、近寄って見てみると、それはドクサ



図7 ドクサバフグ（上）とシロサバフグ（下）は類似しているため一見すると同種に見える。背中にある小さなトゲの分布状態を見れば区別できる。

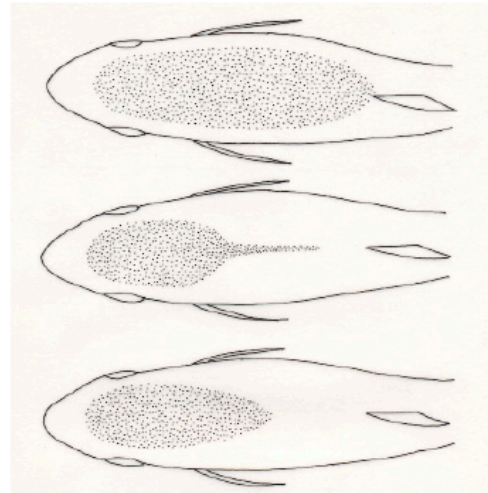


図8 ドクサバフグ（上）とシロサバフグ（中央と下）の背中を見ると小さなトゲの分布状態が異なることが分かる。ドクサバフグではトゲが背中に広がり、楕円形を呈し、背鰭の付け根まで届く。シロサバフグではトゲは決して背鰭の付け根に届かない。

バフグであった（図6）。ドクサバフグはシロサバフグによく似ているフグであるが（図7）、背中にある小さなトゲの分布状態によって区別することができる。ドクサバフグでは、小さなトゲが両眼の間から背鰭の付け根まで広く分布している。一方、シロサバフグでは、小さなトゲは背鰭の前方面まで（背鰭の付け根には届かない）しか分布しない（図8）。シロサバフグの日本近海や東シナ海の個体群は食べることができる（表1を参照）。しかし、ドクサバフグは猛毒である。ドクサバフグは西部太平洋やインド洋の熱帯域を主な生息場としているが、最近、四国南部や九州南部に出現し、シロサバフグと見誤って食べた人が中毒している。日本では地方自治体や厚生労働省によって、ドクサバフグに対する注意喚起が行われている。ところが、タイでは魚市場で取引されていたのであった。タイの研究者によると、フグ類を取り扱うことは禁止されているとのことであった。ベトナムと似た状況がタイでも見られたのである。では、どうしてタイの魚市場でドクサバフグが扱われていたのだろうか。実は南シナ海のドクサバフグには毒性の弱い個体がいるのである。毒性が弱い個体の場合、食べても中毒にかからない場合がある。タイの漁師は経験的にこのことを知っている。そのため、ドクサバフグを魚市場で扱っているのであろう。しかし、だからと言ってすべての個体が安全なわけではない。我々の調査によるとド

クサバフグには数多くの毒性の強い個体が見いだされる。決して食用にすべきフグではない。

このように南シナ海のフグ類の毒性は日本周辺のフグ類とは異なることが判明しつつある。残念なことに従来、南シナ海をはじめとした熱帯の海産フグ類の分類や毒性に関する研究は遅れていた。そのため、熱帯性フグ類の分類を適切に行える研究者は東南アジア諸国にはいないのである。また、毒性研究を実施できる研究機能や研究者も不足している。しかし、ベトナムの状況を見ると多くの人命が危険にさらされていることは確かである。このような状況を改善するため、日本のフグ毒研究者と協力して、東南アジア諸国におけるフグ類の分類学的研究と毒性研究を推進していきたいと考えている。

FEATURES

寄稿

バイオミメティクスの海外動向

(株) 富士通総研 第一コンサルティング本部 社会調査室
シニアコンサルタント 長谷川誠

1. はじめに

筆者は、バイオミメティクスの国際標準化を議論している ISO/TC266 Biomimetics WG4 (Knowledge Infrastructure for Biomimetics) の国内委員として、バイオミメティクスにおけるデータベースに関する標準化活動に携わっており、その一環として、バイオミメティクスの海外動向の調査を行っている。本稿では、その成果を交えて、国際標準化を主導しているヨーロッパと、現時点では積極的に国際標準化には参画していないが研究開発が進んでいるアメリカにおけるバイオミメティクスの研究開発動向、産学官連携動向、データベースの動向を紹介する。

2. 研究開発の動向

昨年度まで実施されていた、ヨーロッパ連合 (EU) の最も代表的な研究開発支援プログラムである第 7 次フレームワークプログラム (FP7) では、バイオミメティクスというテーマで一括りにされた予算枠はないものの、バイオミメティクスに関連すると見られるプロジェクトが 114 件 (総額で約 2 億 4350 万ユーロ) あった [1]。

応用先は、細胞培養の足場材料や骨代替材料等、再生医療

に関連するものが多く、また、太陽光発電の材料や船舶・海洋設備のための生物付着防止材料等、環境・エネルギー分野のものも見られた。

ナノテクノロジー・材料分野では、「バイオミネラライゼーションによる階層的なナノ構造を持つスマートデバイス」[2]、「生物に着想を得た階層構造を持つスーパーナノマテリアル」[3]、「階層的なナノマイクロ構造と極端な湿潤性を持つ自然界の機能表面へのバイオミメティックなアプローチ」[4] 等のプロジェクトがあり、階層構造による機能発現が研究テーマのトレンドであった。

国別では、ドイツ、イギリス、フランスが多くのバイオミメティクス関連プロジェクトを実施している。中でもドイツは、「持続可能なプロダクトと技術のためのバイオニクイノベーション」(BIONA)、「バイオミメティック材料の研究：材料の階層構造により発現する機能」(SPP 1420: Biomimetic Materials Research: Functionality by Hierarchical Structuring of Materials) 等、バイオミメティクスの研究開発のためのプログラムを設けており、ドイツがヨーロッパをリードしている状況である。さらにドイツでは、バイオミメティクスの産学官ネットワークである BIONIKON とドイツ技術者協会 (VDI) が、FP7 の後

PEN September 2014 17

継プログラムである Horizon 2020 において、バイオメティクスの国際標準化活動への予算措置を行うこと、および、バイオメティクス研究の予算枠を個別に設けることを提言しており、予算獲得に向けて動いていると見られる。Horizon 2020 におけるバイオメティクス関連のプロジェクトについては、現在、調査を行っているところである。

アメリカ国立科学財団 (NSF) が助成を行っているプロジェクトは、ナノテクノロジー・材料分野が中心で、応用先は、骨の 3 次元構造のモデリングやその構築、再生医療のための足場材料の開発、ドラッグデリバリーシステムの開発等、医療分野が多い。また、アメリカ国防高等研究計画局 (DARPA) が助成を行っているプロジェクトには、ヤモリの指先の構造を模倣した特殊接着シート「GeckSkin」の開発 [5]、ハチドリ型の超軽量小型飛行体「ナノエアービークル」の開発 [6]、脳神経系を模倣したコンピュータの実現を目指す SyNAPSE [7] 等がある。

3. 産学官連携の取り組み動向

ヨーロッパでは、ドイツの BIONIKON がよく知られているが、ドイツではその他に、バーデン＝ヴュルテンベルク州の Kompetenznetz Biomimetik [8]、ヘッセン州の Bionik-Netzwerk Hessen[9]、バイエルン州東部の Bionik Netz Bayern[10] 等、各地でバイオメティクス関連の産学官ネットワークが形成されている。また、フランスでは昨年からのバリの 50km 北にあるサンリス市で、バイオメティクスの研究開発拠点 Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis (CEEBIOS) [11] の整備が進められている。CEEBIOS については、平坂 (2013) [12] を参照されたい。

アメリカでは、サンディエゴ動物園が中心となって、2009 年に、サンディエゴ動物園、サンディエゴ市、カリフォルニア大学サンディエゴ校、サンディエゴ大学、サンディエゴ州立大学、ポイント・ロマ・ナザレ大学、サンディエゴのイノベーション支援機関である CONNECT の 7 機関からなるバイオメティクスの地域ネットワーク Business, Research, Innovation, Design, Governance, and Education (BRIDGE) を構築、クリーンテックとしてバイオメティクスを位置付け、クラスター形成を進めている [13]。2012 年には、バイオメティクスの産業化をさらに推進するため、サンディエゴ動物園にバイオインスピレーションセンター [14] が設立された。当センターはレポート [15] の発行やグローバルカンファレンスの開催等を行って

り、バイオメティクスの産業化のハブになりつつある。

4. データベースの動向

我が国では、文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「生物多様性を規範とする革新的材料技術」において、大容量画像データ検索技術とオントロジーにより、生物学のデータベースと材料科学のデータベースを連携させ、研究者の発想を支援する「バイオメティクス・データベース」の構築が進められている [16]。一方、現状、海外ではバイオメティクスに関するデータベースはほとんどないが、2つほど見られた例を以下に紹介する。

ドイツにおいては、氷点近くの海水中や高温といった極限環境に生息する生物のバイオミネラリゼーションのプロセスを解明し、特殊な温度環境や化学物質に対して耐性を有する新規材料を開発することを目指すプロジェクト「バイオミネラロジーと極限環境のバイオメティクス」で、フライベルク工科大学が極限環境生物のデータベース“BIOMIN-GLOBE”を作成している [17]。ただし、生物のデータベースに留まっており、バイオメティクス・データベースのような、生物学と材料科学をつなぐという考えは入っていない。

アメリカでは、バイオメティクスに関するコンサルティング、トレーニング、教育プログラム開発等を行っている Biomimicry3.8 が、“Ask Nature”[18] というデータベースを構築・運営している。Ask Nature では、求める機能をキーワードとして入力すると、その機能をもつ生物の詳しい情報や写真、元にした論文の書誌情報、研究者のホームページへのリンク、応用事例・商品化事例等を検索できる。また、キーワード検索の補完として、“Biomimicry Taxonomy”[19] という分類体系を作成しており、生物の戦略 (Strategy) によっても検索が可能となっている。ただし、Biomimicry3.8 自身も「現状は情報提供という側面が強く、実用化に結びつけるという点において弱い」[20] と認識している通り、過去情報を整理したライブラリに留まっている。新たな発想を促すという点で、我が国のバイオメティクス・データベースが先行している。

5. おわりに

バイオメティクスの産学官ネットワーク形成で先んじているヨーロッパやアメリカが行っている政府への働きかけや、レポートの発行、グローバルカンファレンスの開催等

の活動は我が国も参考にすべきである。しかし、日本でも今年、NPO 法人バイオメティクス推進協議会が立ち上がっており [21]、今後の活動が期待される。また、研究開発の側面ではドイツがバイオメティクスをテーマとしたプログラムを設けているものの、EU やアメリカでは、まだ個別のプロジェクトのままでプログラム化されていない。我が国が優位性を発揮できるバイオメティクス・データベースを中核に、ナノテクノロジー・材料、ロボティクス、ICT 等、各分野の取り組みを連携させ、バイオメティクスを大きなうねりにしていくことが重要であると考え。

謝辞

本稿の内容は、文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「生物多様性を規範とする革新的材料技術」（代表：下村政嗣 千歳科学技術大学教授）において実施した調査研究の成果である。

References :

- [1] 長谷川誠. 生物模倣材料・技術のデータで見る研究動向：生物模倣技術と新材料・新製品開発への応用. 文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「生物規範工学」・高分子学会バイオメティクス研究会・エアロアクアバイオメカニズム学会監修. 技術情報協会, 2014
- [2] http://cordis.europa.eu/projects/rcn/106205_en.html
- [3] http://cordis.europa.eu/projects/rcn/100837_en.html
- [4] http://cordis.europa.eu/projects/rcn/103579_en.html
- [5] <http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2014/06/05.aspx>
- [6] <http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2011/11/24.aspx>
- [7] [http://www.darpa.mil/Our_Work/DSO/Programs/Systems_of_Neuromorphic_Adaptive_Plastic_Scalable_Electronics_\(SYNAPSE\).aspx](http://www.darpa.mil/Our_Work/DSO/Programs/Systems_of_Neuromorphic_Adaptive_Plastic_Scalable_Electronics_(SYNAPSE).aspx)
- [8] <http://www.kompetenznetz-biomimetik.de/>
- [9] <http://www.bionik-hessen.de/>
- [10] <http://www.bayonik.de/>
- [11] <http://ceebios.com/>
- [12] 平坂雅男. フランスにおけるバイオメティクス. PEN. 2013, Vol.4, No.3, p.7-11
- [13] <http://www.usgbc-sd.org/event-917148>
- [14] <http://bioinspiration.sandiegozoo.org/>
- [15] http://www.pointloma.edu/sites/default/files/filemanager/Fermanian_Business_Economic_Institute/Economic_Reports/BioReport13.FINAL.sm.pdf
- [16] <http://biomimetics.es.hokudai.ac.jp/Information/a01/>
- [17] <http://tu-freiberg.de/exphys/biomimetics-and-extreme-biomimetics>
- [18] <http://www.asknature.org/>
- [19] http://www.asknature.org/article/view/biomimicry_taxonomy

[20] <http://www.asknature.jp/project/1872>

[21] <http://www.nikkan.co.jp/news/nkx0820140404cbad.html>

(5) 国内研究動向紹介

所属班：C01 班

所属機関：北陸先端科学技術大学院大学／東北大学大学院環境科学研究科

氏名：岸上祐子

科研費「生物規範工学」公開講演会（2016 年 11 月 10 日）に参加して

11 月 10 日（木）の科学研究費「生物規範工学」公開講演会は、よい意味で異色の講演会だったのではないだろうか。滋賀経済同友会研究会と合同で開催され、会場は滋賀県の老舗和菓子屋「たねや」の本社を要するラコリーナ（近江八幡市）。近江八幡駅からバスで約 10 分とはいえ、そのバスが 1 時間に 2 本となると不便さを感じてしまう。

しかし、講演会最初に登壇した山下昌仁氏（たねやグループ CEO）は「不便でもお客さんに来てもらう仕組みづくり」を目指してのものだと言われる。甲子園球場 3 つ分の敷地には藤森照信氏が設計したことが一目瞭然の芝生の屋根の店舗、そしてそこにつながる社屋は地元の材を使い社員たち自ら建築にも携わり愛着を持ったもの。敷地内に水田まで作り背後の山ともつながる風景となっているといった話を講演会前に実施されたエクスカージョンでうかがった。商品の魅力に加え人を引き付ける仕組み、しかもそれは「生態系へどうお返しをするか」に配慮されたものであるというたねやの方針を、それを体現した環境にある会場で聞くことで、非常に説得力を持ったものとなった。

山本浩司氏（ニイガタ株式会社）の、研究者や企業の解決策を装置として提供する企業として、「生物に学ぶ中小企業のモノづくり」と題した課題と解決策をつなぐオントロジーの有用性についての講演では、私も関わるオントロジー工学が実用につながる様を実感した。また、科学技術の振興ならびに関西産業発展のための事業を行う（財）大阪科学技術センターの石田倫也氏が紹介した「自然の叡智を活用した研究を支援」とし財団の活動や若手研究者支援のイベントについての話は、関西での産学の連携を知るよい機会となった。

続く、尾崎まみこ氏（神戸大学）からは「アリの敵・見方識別ケミカルセンサの機能性とロバストネス」と題したアリの嗅覚によるコミュニケーション、藤井修司氏（大阪工業大学）からは「アブラムシのリキッドマール技術に学ぶ粘着着材の創出」と題し接着材の形状を変えることによる用途の広がりについての講演がなされた。こうして研究内容について拝聴する機会は、純粋に興味をかきたてるばかりか、お互いの連携についての示唆を得られる機会となり得る。現にその後、C 班のメンバーの中でも話題となった。

齊藤彰氏（大阪大学）の「バイオミメティクスの世界動向」は、フランス、ドイツにおけるバイオミメティクスの状況が報告され、当国の社会へ浸透度の深さが大変印象に残った。この講演は、翌日の下村研究グループ代表の、バイオミメティクスは低環境負荷のテクノロジーのみならず生物多様性減少への配慮をもつ社会への足掛かりにもなり得るであろう、という大きなビジョンを裏付けとなったように思う。地球環境と共にあり、それを持続可能的に利用するためのバイオミメティクスとして、新たな印象が加わった全体会議となった。

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：重藤暁津

科学研究費「生物規範工学」全体会議（2016. 11. 11）

今回の全体会議では、各班の研究進捗に加えて 5 年間の総括的報告，ならびに新学術領域第二期提案についての解説があった。各班とも概ね当初計画通りに研究が進展しており、今後の生物規範工学の社会実装可能性の高さが示された全体会議であった。各班の報告概要などを以下に示す。

1. A01班 野村班長

A01 班の役割であるオントロジー検索を可能にしたバイオメディクスデータベース開発についての研究報告がなされた。博物学的見地を経たデータ収集、検索エンジンの開発、ならびにオントロジーによるキーワード検索システムの開発と連携、を主な柱として研究開発が行われた。その結果、2011 - 2015 年においては総数 20000 件超の画像を収集し、分類は 5 約 00 分類群を終了した。2016 年はさらに 5000 件超の画像を追加した。現在は魚類についてもデータ収集が進行し、約 800 件の整理を終了している。キーワード検索エンジンは企業ユーザーの利便性を高めるために各種工業規格に則ったシステム構築がなされており、NBCI コンソーシアムの仕様検討において高評価を獲得するなど、「発想を支援するデータベース」が試用段階に達したことが示された。さらに、各種博物館イベントなどのアウトリーチ事例紹介がなされ、数十万人規模の観覧者を獲得するなど、世間の興味の高さが照明された。これら成果に対し、今後は検索可能な生物の対象分野を拡げることや、画像収集方法の改善、検索の正当性を確保するための画像収集数の明確化、班間連携のさらなる促進、具体的利用成果の明示などが必要であるなどのコメントがなされた。

2. B01-1班 大園班長

生物のサブセラー凹凸構造が有する動的特性に学び、トライボロジー制御ならびに付着制御を達成するための要素技術開発事例が報告された。研究は、各種生物が有する特殊な凹凸構造の情報を収集し、機能を発現している構造因子を特定し、人工系でその構造を模倣・比較し、一般的な工学指針を設計する、という手順で行われた。トライボロジー制御に関しては、表面の形状や潤滑剤の有無などによる摩擦制御の指針が完成しつつあり、付着制御については、今までになかった流水系における付着解析手法の開発がなされている。代表的な成果として、フナムシに学んだ高分子ブラシの構造制御による摩擦制御技術開発、キプリス幼生の経時的な付着力変遷観察や、特定のトポグラフィを可逆的に再生可能な皺構造の開発が報告された。また、領域内連携としてウバウオの吸着構造理解や皺構造と流体抵抗の関係解析事例なども

紹介された。これら成果に関し、論文 14 件以上、特許 4 件以上などの対外公表がなされている。今後は、動的・連続的な形状制御の具体的手法の開発や、より生物学的な知見の獲得などが課題とされた。

3. B01-2班 針山班長

機能的サブセルラー表面構造の形成過程と学理に関する報告がなされた。生物学、数理物理学、発生学の 3 つの異なる系統で解析を行い、サブセルラー構造が有する機能の定量化や模倣手法の開発などが行われてきた。前回評価で、数学的な解析により、ナノパイル構造が一定のゆらぎを許容する構成になっていることが明らかになったことを受け、次期プロジェクトへの続行が検討されていることが紹介されたほか、nanosuit のベンチャー立ち上げや CREST 化が要求されていることなどが報告された。前者の研究に関しては、蛾・セミや深海魚の目などを事例として、前述のゆらぎは少規則性構造の積層であり、乱れにロバストであることが示された。さらに、そのロバスト性を形成するための発生機構について解説がなされた。また、ナノパイル構造が光学的のみならず、摩擦制御など複数の機能を有することも述べられた。さらに、mamosuit の医学応用事例についても紹介がなされた。これに対し、ゆらぎ構造の形成が能動性の可否についてなどの議論があった。

4. B01-3班 細田班長

低環境負荷な製造技術を指向した着脱自由でリサイクル可能なアセンブリ手法開発について、その技術背景と経緯が解説された。生物の接着機構は、ウエット、ドライ、吸盤に別れる。特に、工業応用性が高いドライ系の中でのハムシの微細毛を持った機構について述べられ、表面のコンタミに対する自浄性や、吸着対象物体の表面形状に対するロバスト性、気泡吸着を利用した水中接着技術への応用などが詳述された。また、社会実装への検討として、接着非着が自由に制御可能で、かつ微細配線の自己アライメント性も有する電子実装技術開発について、その要素技術ならびに基礎的なアライメント性能確認実験内容などが紹介された。また、生物の表皮が有する防汚効果（物体の非着）の具現化事例として、ナメクジの湿潤ゲルの離漿に学んだ液浸潤制御技術が挙げられた。さらに、これらを生物規範設計として適用可能にするために行われている国際標準化（ISO）の動向について解説があり、2016.09 に ISO18457 として発効済であることが報告された。これらの成果に対し、部分的なリサイクル技術開発にとどまらず、循環系を模したような全体的なビジョンも提供することが求められた。

5. B01-4班 森班長

構造農薬などへの応用を指向した、生物の有する化学・物理受容体に関する研究成果報告がなされた。まず、バイオセンサ（CHCs）にむけた生物機能の解析研究に関する報告があった。蟻などを例に挙げ、その嗅覚による固体識別に着目し、化学受容体の分布や構造が解説された。これらの成果により、嗅覚細胞などのサブセルラーサイズ構造から予想される情報処理機構が明ら

かになり、これらを実システムに搭載するための構造設計や性能評価が今後行われる。次に、カミキリムシの振動刺激による行動制御研究においては、領域内連携で論文化された成果が獲得されていることに加え、若手育成実績も得られたことが報告された。さらに、今後の気候温暖化に伴い増加が予想される大豆の害虫対応技術開発においても、工学分析技術との連携によって、害虫抵抗性の高い植物表面構造の詳細が明らかになったことが報告された。いずれも、多様な異分野連携につながることを期待される。聴衆からは、構造“農薬”の定義の明確化、開発した物質の環境対応性の議論、各要素技術アプリケーション化のための手法・手段の具体化についてなどの質問がなされた。

6. B01-5班 劉班長

生物マルチスケールメカニクス・システムの学理探求に関する研究報告がなされた。生物飛行力学のロバストネス研究においては、世界唯一の生物飛行統合力学シミュレータが開発されたことや、飛行力学挙動の解析結果が、細胞運動などのマイクロメカニクスシステムにおける力学挙動発現メカニズムの解明にも有用であることが示された。これらの生物流動波の波動・振動スケリング法則を明確にするために、データ収集と解析がなされている。さらに、優れた力学挙動を発現させるための骨格設計について、運動性を確保するための主要な要素が明確にされてきている。これらの成果により、様々な測定システム・シミュレータの構築や、省エネバイオミメティクスデザインの提案が可能になると期待された。聴衆からは、同様の飛行性能を獲得していながら、飛行形態が多様に分かれている原理についての質問などがあった。

7. C01-1班 石田班長

社会的インプリケーションによる生物規範工学体系化に関する研究報告がなされた。社会学的見地に立った検討は複雑性が高く完成にはいたらなかったが、ライフスタイル創出に必要なテクノロジーを明確化する手法として、データからバックキャスト手法を用いて分析を行った。事例として高齢者のライフスタイルを挙げ、多様性よりも豊かさを追求する傾向を明らかにした。今後のビジネスチャンス抽出するためには forecast 思考でバックキャスト受容を読み取る必要があるが、それを可能にするために“予兆”を抽出するアプローチが開始され、先日第一回目の研究会が開催されている。その他、BioTriz データベースによる自然原理の抽出事例なども紹介された。これらの成果により、限られた環境の中で心豊かに暮らすための構造を明らかにでき、論文数も 50 本を超えた。今後ライフスタイルから具体的なテクノロジーを創出する具体例の創製に務める。また、A 班のオントロジーと BioTriz のリンクも進める。

8. 総括班評価委員会からの総評と事後評価対応

- a) バイオミメティクス分野の発展はめざましく、一定の社会定着を得ていると考えられる。今後はより詳細に技術を掘り下げ、生物と工学の境界が薄め、柔軟に研究活動を継続展開していくことが望まれる。その際には、狭義のバイオミメティクスではなく、「生物多様性に帰る」循環的技術開発を試みるべきである。
- b) 冒頭挨拶にもあった通り、本新学術領域は来年6月に事後評価が計画されている。また、第二期提案の採択可否がその直前に判明するため、事後評価への対応は年度明けから早急に行う必要がある。事後評価にはやはり具体的成果の数が重要なので、今後半年で論文数の増加やアウトリーチ活動の可視化を試みてほしいとの意見があった。

(6) 新聞・報道

【新聞・報道】

総括班

1) 2016 年 11 月 15 日 (The Japan Times)

Japanese engineer sees evolution guiding next wave in robotics と題する記事において平坂雅男氏の談話が掲載されました。

<http://www.japantimes.co.jp/news/2016/11/14/business/tech/japanese-engineer-sees-evolution-guiding-next-wave-robotics/#.WDQSdmWklWy>

2) 2016 年 12 月 20 日 (日刊工業新聞)

朝刊 10～11 面 第4回 2030 年の「心豊かな」ライフスタイルコンテスト入賞作品 において下村領域代表、石田秀樹 C01 班班長の講評が掲載されました。

A01 班

1) 2017 年 01 月 01 日 (可視化情報 vol. 37, no. 144)

バイオメティクス画像検索エンジン-発想支援型画像検索の応用-

B01-1 班

1) 2017 年 01 月 14 日 (NHK 総合テレビ)

「超絶 凄ワザ!」(1月14日20:15～20:45放送)の「夢かなえますSP 汚れがすぐ落ちる!究極のまな板編」に総括班実施グループB0-1班の小林元康先生(工学院大学)と大学院生2名が出演しました。番組では九州大学の近藤哲男先生のグループがセルロースナノファイバーを用いた木のまな板を、工学院大がのチームがポリマーブラシを施したプラスチック製まな板を用意し、どちらのまな板が汚れが落ちやすか競いました。工学院大チームはカタツムリの殻の優れた防汚性のしくみに発想を得て、プラスチックのまな板に超親水性ポリマーブラシを付与した結果、洗剤もタワシも使わず水だけで瞬時に油污れが落ちる様子を番組で紹介しました。

司会: 千原ジュニア・池田伸子・浜谷健司・神田伸一郎

出演: 小林元康・小林佳弘・塩本昌平(工学院大)、近藤哲男・宇都宮ひかり・古賀秋絵(九州大)、平川辰男(平川木材工業)、坪井国雄・山本創大(中越パルプ工業)

<http://www4.nhk.or.jp/sugowaza/5/>

B01-2 班

1) 2016年11月15日 (TEDx)

See what we cannot see -Hints of our life learnt from creatures

ナノスーツ法を中心にしたバイオメティクスの紹介がYouTubeから視聴できます。

<https://www.youtube.com/watch?v=-CEukakNrB4&sns=em>

C01 班

1) 2016 年 12 月 20 日 (日刊工業新聞)

朝刊 10～11 面 第4回 2030 年の「心豊かな」ライフスタイルコンテスト入賞作品 において下村領域代表、石田秀樹 C01 班班長の講評が掲載されました。

公募班

1) 2016 年 12 月 01 日 (日経産業新聞)

「次世代の先導者 海洋研究開発機構 椿玲未氏 海綿の水路組み替え探る」と題する記事において、公募班海洋研究開発機構椿玲未の海綿の水路構造に学ぶバイオメティクスの取り組みが紹介されました。

(7) アウトリーチ活動

1) 2016 年 11 月 5 日 (土)

齋藤裕 (北海道大学 名誉教授)

バイオメテックス市民セミナー (第 59 回) - 『糸の匠、すごもりはだに』

ハダニは植物の葉に寄生する微小な (0.5mm 以下) 節足動物です。しばしば、作物や樹木に大発生して、甚大な被害をもたらすので、農林業の大害虫として嫌われものです。ただし、ハダニ類は大きな動物群で、世界で約 1200 種が知られています。その中には、害虫になる種以外に様々な種が、独特の生活様式をもって多様な植物に生息しています。

このハダニ類の中に、ササ・タケに寄生するスゴモリハダニ属というグループがあります。絹糸で密な巣網をつくり、その中で社会生活を営むので、この名前がつきました。いわゆる「引きこもり」のハダニです。そのような生活が、なぜこのグループに進化したのでしょうか。糸が、巣材以外にも様々な機能を持っていることが明らかになってきました。今回は、糸を操るクモに匹敵するような巧みな糸の利用方について紹介し、本グループの進化にせまってみたいと思います。

2) 2016 年 12 月 3 日 (土)

浦木康光 (北海道大学 農学研究院 教授)

バイオメテックス市民セミナー (第 60 回) - 『樹木細胞壁の形成過程を模倣したもの作り』

地球上で、最も大きく (重量、高さ)、最も長寿な生き物は、“樹木”です。この大きな個体を支えているのが、植物の中でも特に発達した細胞壁であります。細胞壁はセルロース、ヘミセルロース、リグニンといった高分子物質で構成されておりますが、それらの細胞壁中における機能が完全に解明されたとは言い難いです。我々は、細胞壁の形成過程を模倣した“人工細胞壁”を実験室 (試験管内) で作ることを試み、各構成成分の機能解明に取り組んでいます。

今回の講演では、人工細胞壁を創製するための戦略や、この研究を通して得られた知見を紹介すると共に、人工細胞壁を人類に役立つ材料へ変換しようとする試みについても、お話ししたいと考えております。

3) 2017 年 1 月 7 日 (土)

菊池基弘 (サケのふるさと千歳水族館 館長)

バイオメテックス市民セミナー (第 61 回) - 『サケ - 謎に満ちた生命の旅』

北海道を代表する魚ともいえるサケは、北洋海域を数年回遊した後、産卵のため生まれた川 (母川) に戻ってきます。母川の識別は、生まれた川の水の匂いによることが分かってきました。しかし、遠く北洋海域において日本の方向をどうやって知ることができるのかなど、未だ母川回帰の詳しいメカニズムは謎に包まれています。

現在、日本では 4 千万匹を超えるサケが来遊していますが、そのほとんどは、人工ふ化放流事業によるものだと考えられています。しかし近年、生物多様性の観点から野生魚の重要性が再認識され、野生サケの実態解明に向けた研究も盛んに行われるようになってきています。

身近でありながら、未だ多くの謎に包まれたサケの不思議な生態と、近年変化しつつあるサケを取り巻く状況についてご紹介します。

4) 2017 年 2 月 4 日 (土)

水波誠 (北海道大学 大学院生命科学院 教授)

バイオメテックス市民セミナー (第 62 回) 「昆虫の学習と微小脳: ヒトの脳のしくみとは違うのか?」

5) 2017 年 3 月 4 日 (土)

高久元 (北海道教育大学 教育学部札幌校 教授)

バイオメテックス市民セミナー (第 63 回) 「ダニの話: 形態, 生態, 多様性」

(8) 各種案内

BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

浦木 康光 (北海道大学 大学院農学研究院 教授)



ウツクサの花
Photo by Stan Shultz (2007)
/ Adapted, CC BY-SA 3.0

樹木細胞壁の形成過程を 模倣したもの作り

2016年12月3日 (土)

会 場：北海道大学総合博物館 / 1階「知の交流」
札幌市北区北10条西8丁目

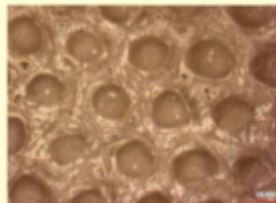
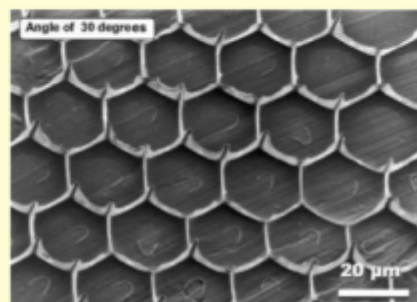
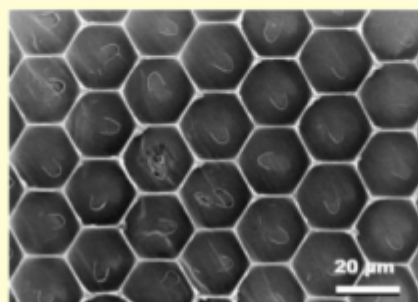
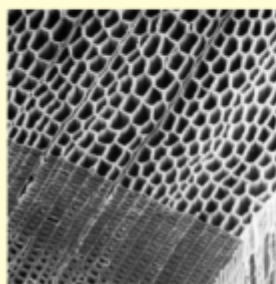
時 間：午後1時30分から 午後3時30分

地球上で、最も大きく（重量、高さ）、最も長寿な生き物は、“樹木”です。

この大きな個体を支えているのが、植物の中でも特に発達した細胞壁であります。

細胞壁はセルロース、ヘミセルロース、リグニンといった高分子物質で構成されておりますが、それらの細胞壁における機能が完全に解明されたとは言い難いです。我々は、細胞壁の形成過程を模倣した“人工細胞壁”を実験室（試験管内）で作ることを試み、各構成成分の機能解明に取り組んでいます。

今回の講演では、人工細胞壁を創製するための戦略や、この研究を通して得られた知見を紹介すると共に、人工細胞壁を人類に役立つ材料へ変換しようとする試みについても、お話ししたいと考えております。



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

菊池 基弘 (サケのふるさと千歳水族館 館長)

サケ 謎に満ちた生命の旅

2017年1月7日 (土)

会 場：北海道大学総合博物館 / 1階「知の交流」
札幌市北区北10条西8丁目

時 間：午後1時30分から 午後3時30分



ウマノアズミ
Photo by Stan Shultz (2007)
/ Adapted: CC BY-SA 3.0

北海道を代表する魚ともいえるサケは、北洋海域を数年回遊した後、産卵のため生まれた川（母川）に戻ってきます。母川の識別は、生まれた川の水の匂いによることが分かってきました。しかし、遠く北洋海域において日本の方向をどうやって知ることができるのかなど、未だ母川回帰の詳しいメカニズムは謎に包まれています。

現在、日本では4千万匹を超えるサケが来遊していますが、そのほとんどは、人工ふ化放流事業によるものだと考えられています。しかし近年、生物多様性の観点から野生魚の重要性が再認識され、野生サケの実態解明に向けた研究も盛んに行われるようになってきています。

身近でありながら、未だ多くの謎に包まれたサケの不思議な生態と、近年変化しつつあるサケを取り巻く状況についてご紹介します。



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-jmu@museum.hokudai.ac.jp



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



「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. 5 No. 3

発行日 2017年2月22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>