

## (4) トピックス (PEN より)

# FEATURES

## 連載 第1回

# 暮らし方を見直す — 利便性追求により失われつつある物事 —

東北大学大学院環境科学研究科 古川柳蔵

### 1. 進行する地球環境の劣化

将来、私たちは厳しい環境制約を受けることになる [1]。近年、最も深刻な問題は、巨大な都市空間が先進国から新興国へ拡大し、新興国では田舎から都会に人々が流入し始めていることである。エネルギーや資源を大量に使用し、環境負荷を与える暮らし方が、先進国から新興国の都市へと広がっている。その結果、近代技術を用いた暮らし方が普及し、新興国では、エネルギーや資源の消費と廃棄が急増している。さらに悪影響として、中国の北京周辺地域では、微小粒子状物質「PM2.5」が問題になるなど、新興国において大気汚染が深刻な新たな問題として発生している。

近年の新興国の急成長は、資源・エネルギーを輸入に頼っている国々にとって脅威となる。地球に存在する限られた資源の配分問題が浮上するからである。これは、日本にとっては極めて深刻な問題である。新興国は、巨大な国の人口を養うために、エネルギーや資源の獲得が国家戦略に位置づけられ、先進国では、拡大する都市空間の人々の生活を、地球上のエネルギーや資源だけで維持することができないという重大な問題に気づき始めた。

これが進行すれば、地球環境全体における生態系の循環や安定的な気候の維持ができなくなる可能性がある。気候変動が起こり、豪雨や干ばつによる影響で、これまでの安定した食料供給が途絶えるリスクが高まる。地球上の食料生産地域で頻繁に豪雨や干ばつが起これば、地球上の食料消費地域への食料供給は不足する。このようなことが数年継続して生じると、急激な食料不足になる地域が発生する。特に、食料生産を他の地域に頼る都市化した国家は危機的状況に陥る。生物多様性の劣化は、地球全体に大きな問題を引き起こす可能性が高い。

では、なぜ、私たちは地球環境の劣化を止めることができないのか。近年、地球環境問題が国際会議で取り上げられ、企業は様々な解決策を考え、数多くのエコプロダクツが登場し、エネルギー消費型の暮らしを緩和する方向に向かった。しかし、いまだ解決にはほど遠い状況である。おそらく、暮らしの一部である自動車、家電製品などの部分を最適にする技術のイノベーションだけでは解決が困難なのである。さらに全体最適な状態に落ち着くために、これまでの技術のイノベーションだけでなく、視点を大きく転換し、有限な地球資源を前提として、私たちの暮らしの最小単位である暮らし方（ライフスタイル）を変革するイノベーションを起こさなければならないところまで来ているので

ある。

## 2. なぜ、暮らし方が変革されないのか

私たちは戦後のインベーションと高度経済成長によって便利な暮らしやすい社会を構築してきた。その間、暮らし方の見直しをしないまま約 100 年が経過しようとしている。なぜ、暮らし方を見直そうとしないのだろうか。戦後、一から社会を立て直すことに、がむしゃらになり、暮らすのが精一杯だったからだろうか。誰かに便利な暮らし方を進められたからだろうか。絶え間なく便利なものが提供される暮らしは素晴らしいことであり、それ自体、悪いことではないので、それを否定することもなかったからだろうか。これらはそれぞれ正しいと思われるが、もう一つ重要な理由が存在する。暮らし方のかたちは自然環境に依存するということである。

これまで日本の各地域における戦前の暮らし方の調査を行ってきた。この調査を「90 歳ヒアリング」と呼んでいる [2]。90 歳前後の高齢者にヒアリングを行い、暮らし方のかたちを明らかにする手法である。本手法は、2013 年グッドデザイン賞で、グッドデザイン・ベスト 100 に選ばれ、特別賞「グッドデザイン・未来づくりデザイン賞」を受賞した。90 歳前後の高齢者は、戦前（1941 年以前）に 20 歳以上であり、一家を支えた経験のある方々である。彼らは自動車や家電製品などが普及し始めて便利な社会になる前の暮らし方を経験している上に、制約の中で如何に心豊かに暮らすかを知っている人々である。

たとえば、かつては、「結（ゆい）」というしくみを使って、茅葺屋根の葺き替えを集落の住民で協力して行ってきた。さらに、この結がどの程度楽しかったのか、どの程度地域の絆を強めることにつながったのか、という心の豊かさとの関係まで 90 歳前後の高齢者にヒアリングすることにより知ることができる。これまでに 300 人を越える 90 歳前後の高齢者へヒアリングを重ねてきた。地域は、青森県、秋田県、岩手県、宮城県、山形県、石川県、埼玉県、栃木県、東京都、大阪府、滋賀県、奈良県、三重県、兵庫県、広島県、島根県、高知県、鹿児島県、鹿児島県沖永良部島、米国・ロサンゼルスである。そこから見えてきた最も大切なことは、暮らし方のかたちは自然環境に依存するということである。

逆に言えば、自然環境が変わらない限り、その暮らし方のかたちが持続可能で心豊かなものであれば、変える必要がないということになる。日本から森が消えると、水がなくな

るので、暮らし方を変えなければならなくなる。日本で食料生産ができなくなれば、暮らし方を変えなければならなくなる。最近では東日本大震災の影響を受けたとは言え、福島第一原発の事故により、福島の人々は人為的にこれまでの暮らし方を維持できなくなっている。これも暮らしの周囲の自然環境が変わってしまったからである。

## 3. 自然環境が変化することなく利便性追求により失われた物事

90 歳ヒアリングを進めるうちに、日本人は、現代人が想像する以上に長い時間を費やして、自然と共に生きる方法を試行錯誤してきたことがわかってきた。そして、この狭い地域の特別な環境の中で最も心豊かな暮らし方にたどりつき、それを後世に伝えるしくみまで地域ごとに築きあげてきたことが明らかとなった。

しかし、それが、現在の高齢者の脳裏に刻み込まれたまま、消えてしまう可能性が高い。戦後に生まれた世代は、利便性を追求した新しいものや技術が海外から導入され、その良さに夢中になって、さらに新しい便利なものを生み出してきた。そのおかげで現代社会は確かに便利な世の中になったのである。しかし、それと引き換えに、自然と共に心豊かに暮らす多くの方法が失われつつある。そして、エネルギー・資源を大量に消費する環境負荷をより与えてしまう暮らし方へと完全に転換してしまおうとしている。

この重大なことはあまり知られていない。唯一、気がついているのが、これらの貴重な知恵や技術が記憶に残っている現在 90 歳程度の人々である。「なぜ私たちに聞きにこないのか」と 90 歳の人々は嘆いている。私たちは低環境負荷で心豊かな暮らしのかたちを、後世に伝えることを怠っているのである。今すぐに、日本各地で 90 歳の人々に昔の話を聞きに行かなければならない。

では、戦前の暮らし方とはどのようなものか、1 例を紹介したい。

<戦前の暮らし—奈良県在住 92 歳 女—>（2013 年 9 月ヒアリング実施）

『井戸端会議が人と人との繋がりをするのにね、大事な場やと思うわ。昔は一つの家の並びで井戸一つやろ。そこに皆、水無しで生活でけんから皆こう寄って、そこで皆もろもろの話をした中で、やっぱりその長屋や通りの親しみというのが湧いたわけやけど。今日ではそんな出て喋

てたら呑気にあんなに喋ったるでっていうようなもんやね。そういうようなやっぱり人の意識というんかね、それも変わりましたな。それで何か人との繋がりを持とうと思おうと、今までだったら自然にスーッと寄ったものが消えて、何というのか 自分が求めやんとそういう場ができないという事ですわ。で、よう皆、本読んでも新聞読んでも、何か皆 60 歳過ぎて、これから第二の人生歩こうと思ったら自分から、色んな自分に合う場を探せと、ほんだらそれは老いの道やて書いてあるから、とにかく今は自分で求めよ、昔は自然にそういう寄る場っていうもの、それがほんまに消えてしもうてね。いわゆるサークルとか市の方で公民館で、ああいう公共の建物の所でそういう自分で、自分はこういう道を歩いたら老い先、幸せに、自分自身で何て言うんかな自分の世界っていうものを築ける、っていう人らは、寄って一つの公共の場を借りて、そういうものを求めてはりますわな、で自分の求める物、満足感を持ってはる。そやけど、そこでは行ける人は良いけど、そんなん寄った者は皆それぞれ自分で、その分もちろんこういう事をすれば、これから充実して生きられるって、考えられる人はいいけど、その他の人達は皆、家でなんぼ一人になったかて一人で引っ込んではりますわな、やっぱりそういう人こそ、何かもっとう、そういう井戸端会議やったら気楽に行けるんねけど、ああいう公共の建物で自分の生きる満足を探している人のいうたら、何て言うんかね。かなり勉強もした人でないし そういう考え方持つ機会っていうの、よう見つけはらしませんわな。せやからそういう人は なんぼでもそういう所いろいろ視野を広げていかはるけど、そやからそれをようせん人をどうするかっていう事が、私は何となくさん色んな市町村いたかて競争で何々教室やとか作ってはるけどね、そやけどそんなんより、やっぱり私らやった

ら、ああいう井戸端会議的な、そういう繋がりの方がね、温かみがあると思います。人情の温かみで言うんかね。そういうものがあるように思いますわ。まだこの辺やから、うちらでも、よう私らこの年になったから畑でもちょっと野菜もんでも、よう作らへんようになったけど、やっぱり皆 農家だから、これちょっと食べて言ってな、持って来てくれはりますわね。やっぱりそういうものの繋がりがまだ私なんか残ってるわけやな、まあやっぱり温かみがまだ失われてないわ、と思いますねんけど。』

ここで語られていることは、戦後に水道が整備され、便利な水利用ができるようになった結果、井戸端会議が減り、人情や人に対する温かみを感じる機会が減ったことを残念に思っているということである。自分から進んで人に会ってやりたいことを実現できる人は、今の便利な世の中でも人と繋がりを公民館なので持つことができるが、そこまでできない人には人と繋がりを持つことができなくなってしまったことを指摘している。昔なら、全ての人が水汲みをするので、誰でも人との繋がりを井戸端の雰囲気で行うことができたが、井戸端の空間が失われた結果、繋がれない人が増えてしまったのである。

2009 年から 2011 年にかけて、筆者らの研究グループは、宮城県に在住の 90 歳前後の人々に対する 90 歳ヒアリングを 65 名以上継続して実施してきた。それらは詳細にヒアリングメモとして保存され、時間をかけてヒアリングメモを繰り返し読み込んだ。90 歳ヒアリングメモを分析した結果、およそ 70 種類の暮らし方や価値観、すなわち暮らし方のかたちが抽出された [3]。

これらは、現代社会にあっては多くのものが失われつつあ



90 歳ヒアリングの実施先の風景 (左)、洗濯などを行う水場 (右)

る価値観である。多くの現代人にとっては、その価値観に懐かしさを感じると思う。それは日本人が長い期間にわたって築き上げてきた持続可能な社会には不可欠な暮らし方だからではなからうか。

### <戦前の暮らしから比較して、現在失われつつある物事>

- |                      |                      |                 |
|----------------------|----------------------|-----------------|
| 1. 自然のリズムに合わせる心地     | 26. 半年先を考えて今の行動を考える  | 51. エンタメ商店街     |
| 2. 自然のサインを読む         | 27. 使い切る、マルチに使う、代々使う | 52. 小さな商い       |
| 3. 自然を活かす            | 28. なおしてつかう          | 53. 専門店化・職人     |
| 4. 自然災害への備え          | 29. 食、燃料、木材などの地産地消   | 54. 出前商売        |
| 5. 生き物との距離が接近している    | 30. 循環させる            | 55. 量り売り        |
| 6. 生き物と遊ぶ            | 31. 採集する             | 56. いくつもの生業     |
| 7. 水・農業・屋根づくり共同作業    | 32. 自給的生活            | 57. 勤勉          |
| 8. 大事なことでつながる地域      | 33. おやつが庭にあり、景観になる   | 58. 転職、引越、生活変動  |
| 9. 地域住民のよりどころ(神社・祭)  | 34. 役立つ庭             | 59. お金に換算しない価値  |
| 10. 地域で楽しむ           | 35. 小屋や蔵がある          | 60. 異なる時間感覚     |
| 11. 行事が大事            | 36. 家のかたちが暮らしのかたち    | 61. 地域は自分たちでつくる |
| 12. 山、燃料、水の共有        | 37. 体も道具             | 62. 水を大事にして感謝する |
| 13. 家族内の思いやり         | 38. 自分で工夫する          | 63. 物に感謝する      |
| 14. 家族以外も助け合う        | 39. 暮らしの中の歌          | 64. 自然を敬う       |
| 15. 家族以外と同居、家族が多い    | 40. 生活の中に音があった       | 65. 先祖を敬う       |
| 16. 暮らしながら次世代に伝える    | 41. 見立てる文化           | 66. 異なる養沢       |
| 17. 子供に役割がある         | 42. 家は生産の場           | 67. ゆるさ、おらかさ    |
| 18. 年寄りに役割がある        | 43. 家で人をもてなす         | 68. ちよどよい加減     |
| 19. 家長の役割がある         | 44. 火とつきあう           | 69. ハレとケがはっきり   |
| 20. 家の中の仕事と地域の仕事     | 45. においを消す工夫         | 70. 生と死が身近      |
| 21. 子供は自分で見てやりかたを覚える | 46. 歩く時間が多い          |                 |
| 22. 子供の世界            | 47. 異なる移動運搬手段        |                 |
| 23. 生活品は育てて保存する      | 48. 出会うしくみと場がある      |                 |
| 24. 手入れする(庭、道具、衣服)   | 49. 都市と農山村の行き来       |                 |
| 25. 持たない             | 50. 外の世界とのふれあい       |                 |

次稿より、持続可能で心豊かな暮らし方について、さらに具体的に分析する。

### References :

- [1] 古川柳蔵著、『環境制約下におけるイノベーション力を持ち始めた環境ニーズー』、東北大学出版会、183p (2010)
- [2] 古川柳蔵、佐藤哲著、『90歳ヒアリングのすすめー日本人が大切にしたい暮らしの知恵をシェアしようー』、日経BP社、188p (2012)
- [3] 石田秀輝、古川柳蔵著、『地下資源文明から生命文明へ人と地球を考えたあたらしいものつくりと暮らし方のか・た・ちーネイチャー・テクノロジーー』、東北大学出版会、164p (2014)

## 連続コラム 沖永良部島から考える 『心豊かに暮らすということ』

### I 新しいテクノロジー・サービス価値

(合) 地球村研究室 代表社員、東北大学 名誉教授 石田秀輝

#### 1. 沖永良部島に移住する

2014年3月末、東北大学を退職し、奄美群島の沖永良部島に移住した。沖永良部島は、九州本島から南へ536km（沖縄本島の北60km）に位置する、周囲約50kmのサンゴ礁が隆起した島である。2つの町からなり、人口は合わせて約1万3千人ほど、おもな島の収入はサトウキビ、ジャガイモ、花卉などの1次産業であり、観光にはあまり積極的ではない歴史を持っている。1609年薩摩藩の侵攻により薩摩の直轄領となるまでは、琉球の北山王国に属し、今でもその文化を濃く残している。

この島を始めて訪れたのは1998年。当時は会社勤めをしていて、今でもそんな有難いルールがあるかどうかは定かではないが、会社の福利厚生でリフレッシュ休暇制度というのがあった。45歳になった社員は全員、その年のうちに1週間の休暇を取り、家族と旅行に行かねばならないというルールで、会社からはかなりの額の旅行費用の負担であった。

その休暇制度を使って、鹿児島から離島伝いに沖縄まで出かけようというのが我が家の計画であった。その島巡りのなかで、どういう訳か、沖永良部島に嵌まってしまった。以来16年間、毎年3～4回は島に出かけ、島人（しまんちゅ）に勤められるままに夕日が美しく見える小さなジャングルを手に入れ、10年前にはそこに「風の家」というコンセプトで小さな庵『酔庵』を建て、そして今年から住人になることにした。

どうして沖永良部島なのか？ 必ずと言ってよいほど聞かれる質問である。当初は、自分でもその答えがわからず、酒（黒糖焼酎 - 奄美群島のみに製造が認められている）が旨く、人が好いからと答えていた。無論これは間違いなく正解である。初めて飲んだ、サトウキビを原料にした黒糖焼酎は、ほのかに甘い香りがし、その香りが妙に忘れられず、飽きることなく今でも毎日のように楽しんでいる。島人は笑顔が豊かで、本当の仲間になるにはきっと色々あるのだろうけれど、お節介りで、親切で、それは都会暮らしの人には信じられないほどである。小学生はもちろん、高校生でも、我々のような大和（本土）から来た人と会うと立ち止まって大きな声で挨拶してくれ、こちらが驚いてしまうこともよくある。島に来ると、毎晩酔っ払っていて、ついで空など見たこともなかったが、ジャングルを手に入れ、そこで島人らと一杯やりながら見た空の圧倒的な迫力は今でも忘れられない。星が落ちてくるのではないかと思うほどの数で、どれが天の川かさえ解らなくなってしまいそうだった。流れ星はビュンビュン落ちてきて、とても願い事をする余裕もない。海は20年前の沖縄が残っているという、高い交通費にも拘らず、多くの経験豊富なダイバーたちがやって来る。ほぼ毎月、東京から潜りにやって来るというダイバーもいるくらいだから、海も相当に上質なのだろう。自然が豊かで、ハブも居らず安全で、酒が旨く、笑顔あふれる素敵な島であることは、間違いのないのだが、最近この島に惹かれてくる理由がやっとわかってきた。

#### 2. 確かな未来は懐かしい過去にある

何故沖永良部島に惹かれるのか？ 詳細は改めて紹介するが、心豊かな暮らし方のかたちを考えるために、一つの手法として90歳ヒアリングを続けている。『便利になったけど今の人たちは可哀想だねえ、昔の方が楽しかったねえ』という90歳前後のお年寄りたちから、昔の暮らしを引き出し、それを改めて整理しようというプロジェクトである。すでに海外2か所、国内14か所で300人近い方々から貴重なお話を伺い、それから得られた暮らしのためのキーワードは、まさに『確かな未来が懐かしい過去にある』ことを確信させるが、その懐かしい過去が沖永良部島には、まだ、色濃く残っていたのである。私が、この島に惹かれ続けたのは、どうやらこれだったことが最近わかってきた。私はこれから、この島で『確かな未来がなつかしい過去にある』ことを具体的に体感し、そこから現実解としてのビジネスや研究課題を



夏の海は鮮やかです

生み出す『間抜けの研究』を開始しようと思っている。ライフスタイルに関わる今までの我々の研究から、多くの人が自立型のライフスタイルを望んでいるにも関わらず、現実のテクノロジーやサービスは、快適性・利便性を追及する依存型ライフスタイルを助長するものばかりである。これも、コラムの中で詳しく説明しようと思っているが、この自立と依存の間にある『間』が完全に抜け落ちているのである。だから、『間抜けの研究』が必要であり、ここは新しいビジネスの宝庫でもある。この『間』の部分に新しい可能性が山ほど眠っているのに、多くの企業やあるいは研究者は、従来型の『依存』価値に固執し、少子高齢化でますます小さくなるパイをみんなで奪い合い、まさに消耗戦に陥っているように見えてくる。

### 3. 新しいテクノロジーやサービス価値の創出に向けて

何故、このようなアプローチを考えなければならないのか？ それは、現在の延長に新しいテクノロジーやサービス、あるいは企業価値が存在できないのではないかと思い始めたからである。2011年3月11日に起こった東日本大震災は、最先端だと信じていたテクノロジーが自然の前では、何とも弱いものであることを我々に自覚させた。知の集積が文化であり、テクノロジーの集積が文明であるなら、まさに音を立てて崩れ落ちる文明の崩壊を、目の当たりにしたのである。

では自然とテクノロジーやサービスはどのような関係にあるべきか、そもそもテクノロジーやサービスはどのような役割を持っているのか、改めて考えてみる必要がある。

紀元前200～800年頃、人類史に多くの影響を与えた思想家がインドに、ギリシャに、インドに次々と生まれた。ヤスパースはこの時代を枢軸の時代と呼び、現代の文明がこの時代に強く影響を受けているとした[1]。だが、その賞味期限は、そろそろ切れ掛かっているのではないのだろうか？ 大思想家と云えど、『どれほどの数の人間をこの地球上に養うことが出来るのか』などが真剣に議論される時代が来るなど予想だにしないだろう。文明が地下から化石エネルギーを掘り出し、あっという間に使い切り、地球温暖化や資源、エネルギーの枯渇など、たくさんのリスクを生み出し、『地球環境問題が文明崩壊の危機を招く』など予想だにしないだろう。

枢軸の時代に基盤が創られた現代文明（物質文明）は、そろそろ賞味期限を迎えている。今、我々が考えなくてはならないことは、『限られた資源やエネルギーで心豊かに暮らすことが出来るくあたらしいものづくりや暮らし方のかたち』であり、そのためには従来の延長でなく、大きく足場を変えることが重要なのである。それこそが、新しい文明創出（私はこれを『生命文明』と呼んでいます）に繋がり、それこそが、次の世代にしっかりと手渡さなければならない新しい価値観なのだと思う。

Reference :

[1] カール・ヤスパース、歴史の起源と目標、理想社（1964）

# FEATURES

寄稿

## タマムシ色の微妙で重要な工夫

大阪大学生命機能研究科 吉岡伸也

昆虫の翅や鳥の羽根が持つ鮮やかな色は、光の波長サイズの微細構造によって生み出されている。構造色と呼ばれるその色の仕組みは、色を生み出す構造が周期的である場合には理解しやすい。コンパクトディスクのトラックや宝石オパールのごく微小球のように、等間隔で並んだ物体から散乱された光は、特定の波長の光で強め合う干渉を起こす。その波長選択反射の結果として色がつくのである。しかし、実際の生物が発色に利用する構造は、周期的なものばかりではない。モルフォチョウの青い翅では不規則な構造要素が発色に役立っているし、一見すると全くランダムな構造が発色を生み出すカミキリ虫もいる。さらには、光の波長よりもずっと大きな形状が発色に効いているケースや、色素との協調によって効果的に色を生み出す種類もいる。生物の構造色は、光の干渉を発色の基礎原理として利用しつつ、



そこにいろいろな要素を付け加えて実現されている。そのバリエーションが豊富なことが、古くから研究されてきた構造色がいまだに注目を集め、毎年多くの論文が発表されている理由の一つだろう。ここでは、構造色の代表例であるタマムシに注目して、その“微妙だけれど重要”な発色の工夫について紹介したい。

タマムシが発色に利用する微細構造は多層膜構造である(図1) [1]。多層膜構造は、積層した膜の屈折率と厚さの組み合わせによって、様々な波長依存性の光学特性を実現できる。そのため、光学薄膜は幅広い光学部品に応用されてきた。特に、ある波長で反射率を高くする設計には、1/4波長スタック(Quarter Wave Stack、QWS)と呼ばれるデザインがよく知られている。この構造をモデルにしなから、タマムシの多層膜干渉について考えてみよう。QWS構造では、全ての層が同じ光学距離を持ち、その距離は反射率を高くしたい波長( $\lambda_p$ とする)の四分の1になるように積層される。光学距離は屈折率×厚さで、たとえば、500nmの波長を反射させるQWS構造を屈折率が2.2と1.5の材質でつくる場合には、それぞれの層の厚さは57nm(=500/4/2.2)と83nm(=500/4/1.5)になるように交互に積層する。

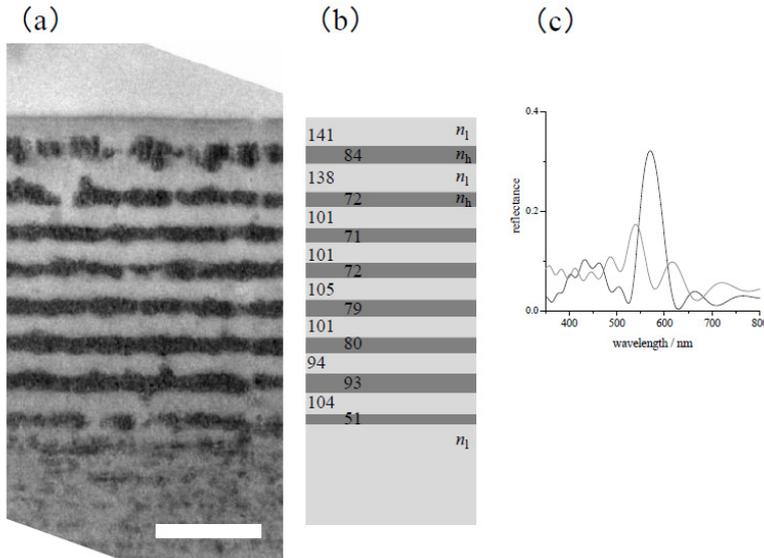


図1 タمامシの多層膜構造。(a) 電子顕微鏡写真[1]。黒く写っている部分の屈折率が高く ( $n_h$ )、明るい部分の屈折率が低い ( $n_l$ ) ことは実験的に確かめられている[2]。写真中の白線は 500nm。(b) 画像解析によって得られた各層の平均的な厚さ。(c) 反射スペクトル。黒線は (b) の構造に基づく計算結果。灰色の線は一番目と三番目の低屈折率層 (厚さ 141 と 138nm の層) を厚さ 101nm にして計算した場合の計算結果で、位相調整機能が失われ、黒線の強い反射ピークは凹みに変わってしまう。屈折率の値は文献[2]に報告された値を用いている。波長 550nm において複素屈折率の実部はそれぞれ 1.56 と 1.68 である。

図2aはQWS構造を基本にして、タمامシの構造色を模すために試作した二種類の基板である。片方は鮮やかな緑色だが、もう一つはほとんど黒にしか写っていない。実はこれらの基板は、ほとんど同じ多層膜構造を持っている(図2b)。黒の基板は、低屈折率層 ( $n_l$  層) と高屈折率層 ( $n_h$  層) を交互に 15 層重ねた QWS 構造で、それぞれの層の厚さは光学距離がおよそ 136nm になるように調節してある。この数字を 4 倍して得られる波長 (およそ  $\lambda_p=550\text{nm}$ ) で反射率が高くなるはずだった。しかし、ほとんど黒く写ってしまったように、実際には反射率は低く、スペクトルには  $\lambda_p$  で凹みができてしまっている (図2c)。一方、右側の基板は一番上の  $n_l$  層が、内側に比べて二倍の厚さである点が左側の基板との唯一の違いである。こちら基板はタمامシに似た鮮やかな緑色を持ち、反射スペクトルには明確な反射ピークが表れている。このように一番上の層の厚さは、層構造全体の光学特性に支配的な影響を持っているのだ。

QWS 型の周期構造を持つ左側の基板は、なぜ光をうまく反射しないのだろうか？ちょっと面倒なのだが、反射される光の位相を一つ一つ調べてみよう。光は垂直に入射すると考えて、鞘翅の一番外側の表面に達したときの波の位相を 0 として基準にとる。表面で反射される光を考えると、屈折率 1 を持つ空気から、それよりも高い屈折率を持つ  $n_l$  層に光は入射するので、屈折率の大小関係から反射光の位相は逆転する。すなわち、入射光に対して反射光の位相は  $\pi$  である。次に、一つ内側の界面で反射される光を考える。その界面は  $n_l$  層と  $n_h$  層の間の境界なので、反射による位相のずれはやはり  $\pi$  である。それに加えて  $n_l$  層を往復距離だけ伝搬することによる位相のずれがある。その距離は、

片道が四分の一波長なので、往復だと半波長、すなわち位相に換算すると  $\pi$  ずれる (波長が  $\lambda_p$  の光を考えた)。反射と伝搬の二つの位相のずれを足し合わせると、合計で  $2\pi$  になるから、反射波の位相は 0 である。もう一つ内側の界面からの反射を考えると、今度は  $n_h$  層から  $n_l$  層に入射する場合の反射なので位相のずれは 0 となり、伝搬の位相差は  $n_h$  層と  $n_l$  層の往復なので  $2\pi$  である。合計すると  $2\pi$  なので、反射波の位相 0 である。このようにして、一つ一つ確かめていくと、一番外側の表面で反射された光だけが位相  $\pi$  を持ち、内部から反射されてきた光は全て位相 0 を持っている (図2b)。すなわち、最も外側の表面で反射された光と内部の界面で反射された光では、打ち消し合う干渉が起きてしまっている。

この打ち消し合いを深刻にしているのは、一番外側の表面が最も大きな振幅反射率を持っていることである。実はタمامシの多層膜構造を形成する二種類の材質は、あまり大きな屈折率差を持っていない。実験によって決定された屈折率 (の実数部) は、波長 550nm において 1.56 と 1.68 であり、その差は 0.12 でしかない [2]。図2の基板ではタمامシに似せるため、比較的近い値を持つ材料 ( $n_l=1.62$  と  $n_h=1.76$ ) を選んで作製してある。フレネルの公式を用いて表面での振幅反射率 (空気と  $n_l$  層の界面) を計算すると、その値は膜構造内部の反射率 ( $n_l$  層と  $n_h$  層の界面) よりもおよそ 6 倍も大きい。したがって、波長  $\lambda_p$  の光の干渉は、大きな振幅を持つ表面から反射された波に、逆位相の小さな波が複数足し算されているような具合になっている。この打ち消し合いが反射スペクトルに凹みが表れる理由である。

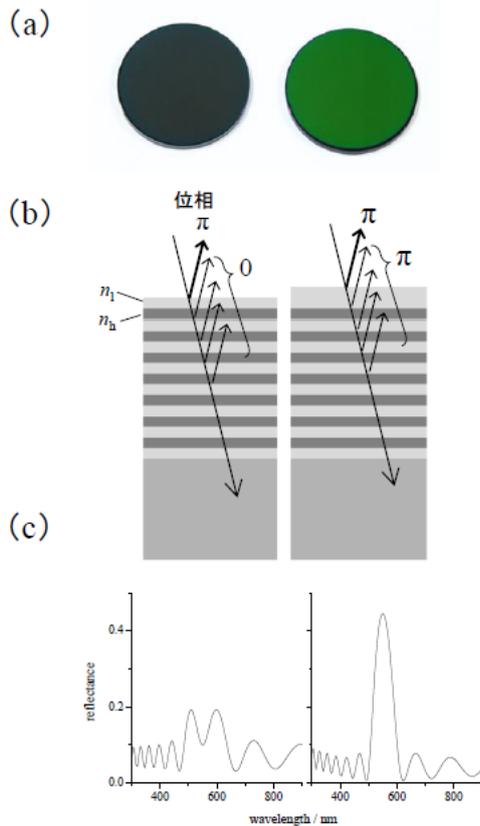


図2 タمامシに似せた多層膜構造を持つ基板の (a) 写真、(b) 構造、(c) 反射スペクトル (理論)。低屈折率層には Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $n_l=1.62$ 、厚さ 84nm)、高屈折率層に Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $n_h = 1.76$ 、厚さ 79nm) を用いた。右側の基板では、一番上の低屈折率層が内部の倍の厚さ (168nm) を持っている。基板には光学密度の高い ND フィルターを用いた。

それではこの打ち消し合いを解消するにはどうしたらよいのか。一つの簡単な方法は、図 2b 右のように、一番外側の層だけを二倍に厚くすることである。厚くなることで、内部から反射される光に、伝搬の位相  $\pi$  が新たに加わるので、表面で反射した光と位相を一致させることができる。その結果、図 2 右の基板は波長  $\lambda_p$  でスペクトルピークを持ち、鮮やかな色を呈するのだ。打ち消し合いの問題を解決するもう一つの方法は、一番外側の層を  $n_h$  層にすることであるが、この方法はタمامシとは状況が違ってしまふ。

さて、問題はタمامシである。図 1b の多層膜構造と実験から決定された屈折率の値 [2] を用いて反射スペクトルを計算すると、図 1c の黒線のスペクトルが得られる。明瞭な反射ピークがあり、実験から得られたスペクトルもおおよそ似た形状を持つ [1]。実際タمامシは鮮やかな緑色に見えるだから、この一致は当然のことだろう。しかし、電子顕微鏡写真では一番外側の層が二倍の厚さを持っているようには見えない。上述の打ち消し合いの問題は起きていないのだろうか。このような疑問を抱きながら、もう一度タمامシの多層膜構造を観察すると一番目と三番目の  $n_l$  層が、深い部分にある  $n_h$  層に比べて厚いことに気が付いた。五番目より深い層から平均の厚さを計算すると  $\bar{d}_l=101\text{nm}$  という値になる。確かに一番目と三番目の層の方が、数十

nm 厚い。この厚みが位相を調節する働きを持つのではないかと考え、次のような解析を行った。一番目と三番目の厚さ ( $d_1$  と  $d_3$  とする) から平均値  $\bar{d}_l$  を差し引いて、二つの層が持つ追加分の厚みを  $\Delta d=d_1+d_3-2\bar{d}_l$  計算する。そして、その厚みが引き起こす位相のずれをピーク波長 (570nm) で計算すると、 $4\pi n_l \Delta d / \lambda_p = 0.87\pi$  の位相変化となり、期待通りに打ち消し合いをほぼ解決していることが分かった。三番目よりも深い層から反射された光に関しては、少し厚くなった一番目と三番目の層が位相を調整するので、表面で反射された光と位相がほぼ一致するのである。もし、 $d_1$  と  $d_3$  の厚さが  $\bar{d}_l$  と同じであったなら、打ち消し合いによってスペクトルには凹みが出てしまう (図 1c の灰色)。これは位相の調整がなくなり、黒い基板と似たような状況になってしまうからだ。

膜の微妙な厚さの違いに注目する上の解析は、電子顕微鏡写真の質に影響されるだろう。上の議論の再現性を確かめるため、鞘翅の異なる場所から準備した切片や、異なる個体から準備した試料においても同じ解析を行った。その結果、確かに表層付近の三層が内部よりも厚く、位相を調節する働きを持っていることが分かった [3]。この位相調節効果は、斜入射の反射スペクトルにおける特徴的な形状からも確かめることができる。図 3 は s 偏光と p 偏光で測

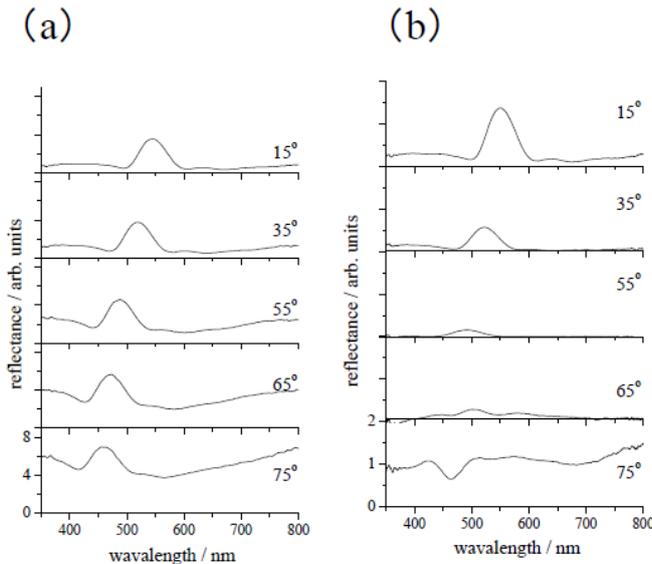


図3 反射スペクトルの角度依存性 [1]。(a) は s 偏光、(b) は p 偏光の測定結果。θ-2θ スキャンと呼ばれる配置での測定結果で、入射角度 θ の値を右側に記している。

定した反射スペクトルの角度依存性である。s 偏光で角度が大きくなるにつれて、反射ピークが徐々に短波長シフトするのは、“玉虫色”と呼ばれる多層膜干渉の一般的な特徴である。p 偏光では反射率がどんどん小さくなっていくが、これは、入射角度がブリュースター角度に近づくために、表面での反射率がどんどん下がるからだ。そして注目してほしいのは、p 偏光でさらに角度が大きくなったとき（入射角度 75 度）、スペクトルに凹みが現れることである。この特徴は、位相調整効果の裏返しとして説明ができる。入射角度がブリュースター角度よりも大きくなると、フレネルの振幅反射係数の符号は逆転する。θ が小さいときには、表面と内部から反射した光は強めあう干渉を起こしてピークを作っていたのに、角度が大きくなると表面から反射された光の位相だけが逆転してしまうために、打ち消し合いになってしまったのだ。

タマムシの多層膜構造を形成する材質は、あまり大きな屈折率差を持っていない。このことは、反射の波長幅を狭くして色を鮮やかにする目的に適している。一方、屈折率差が小さいことは、多層膜内の界面の反射係数を小さくしてしまうために、相対的に表面反射の寄与が大きくなる。これが、表面反射光と位相を合わせる必要性が生じた理由である。その調節を、タマムシは表層付近の層を少しだけ厚くすることで実現している。タマムシは薄膜光学をとってもよく知っているかのようだ。

一方、タマムシの多層膜構造は欠陥だらけでもある。図 1 に示すように界面は完全に平滑ではないし、一つの層が二つに分離するような欠陥も散見される。そもそも、鞘翅を

顕微鏡で観察すると、表面には無数の穴があって、およそ反射鏡と呼べるような状況ではない。さらに鞘翅全体は湾曲してしるので、マクロなサイズみると、鏡と言うよりは拡散反射板に近くなる。生物が長い進化の過程で得た構造色は、何かの目的に最適化されているはずだ。それは、波長選択反射を利用した種内のコミュニケーションなのか、あるいは木の葉の緑色に似せて隠ぺいする役割なのか、それともその両方か。生物が構造色に利用する微細構造は、その目的を達するのに必要な部分はコストをかけてでもきっちりと作る。一方で、きっちりとしていなくても良い部分は適当に作ってしまう。巧妙だけれどもいい加減でもあるのだ。このような視点で眺めると、構造色はまだまだ分からないことばかりである。

#### References :

- [1] Phase-adjusting layers in the multilayer reflector of a jewel beetle , S. Yoshioka, S. Kinoshita, H. Iida, and T. Hariyama, J. Phys. Soc. Jpn. 81, 054801(2012).
- [2] Direct determination of the refractive index of natural multilayer systems, S. Yoshioka and S. Kinoshita, Phys. Rev. E 83, 051917 (2011).
- [3] Elucidation and reproduction of the iridescence of a jewel beetle, S. Yoshioka, S. Kinoshita, H. Iida, and T. Hariyama, Proc. SPIE 8480, 848005(10pages) (2012).

## (5) 国内研究動向紹介

所属班：公募班

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



## 科学研究費「生物規範工学」公開講演会に参加して

8月4日（木）、北海道大学創成科学研究棟5階大会議室において科学研究費「生物規範工学」公開講演会が開催された。この講演会のプログラムは5件の科学研究費「生物規範工学」公募班の研究者の講演、および、海外からの1件の招待講演であった。参加者も56名と盛況であった。また、講演だけでなくその後の議論も活発なものであり、講演者への重要な指摘も多数あり、非常に有益な講演会となった。

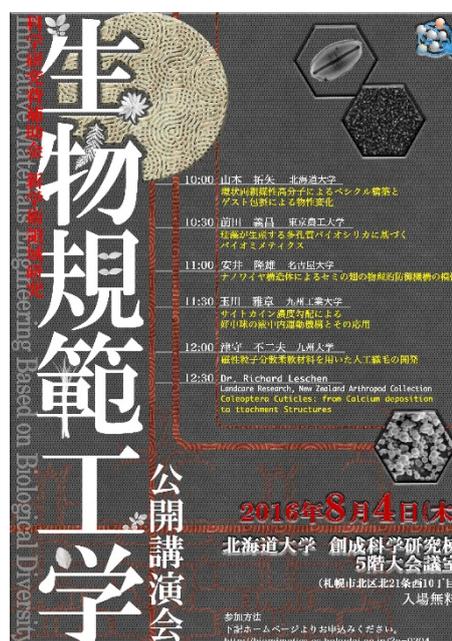


図1：公開講演会案内。

公募班からの講演は下記の通りである；

①北海道大学の山本拓矢先生による「環状両親媒性高分子によるベシクル構築とゲスト包摂による物性変化」、②東京農工大学の前田義昌先生による「珪藻が生産する多孔質バイオシリカに基づくバイオミメティクス」、③名古屋大学の安井隆雄先生による「ナノワイヤ構造体によるセミの翅の物理的防御機構の模倣」、④九州工業大学の玉川雅章先生による「サイトカイン濃度勾配による好中球の液中内運動機構とそ



図2：講演会場風景。

の応用」，そして，⑤九州大学の津守不二夫の「磁性粒子分散柔軟材料を用いた人工繊毛の開発」である。

アカデミックな世界にとってディスカッションは常に重要なものである。特に講演者にとっては，ストレートな指摘ほど身になるものであり，これが生物規範工学領域内部での「当たり前」の姿なのであるが，外部から聴講した一般の参加者は驚いたのではないであろうか。

招待講演はニュージーランド Dr. Richard Leschen (Landcare Research, New Zealand Arthropod Collection) による“Coleoptera Cuticles: from Calcium deposition to Attachment Structures”であった。この講演では多数の美しい昆虫写真に魅了されるとともに，同時に座長を務める国立科学博物館の野村周平先生から，昆虫の日本語名等も含めた解説も交えてもらった。他分野から集まった研究者や一般の参加者にとってはこのあたりの専門英語はなじみが薄いこともあり大変理解の助けになった。

筆者は聴講によりさまざまな分野の研究に刺激を受けるとともに，講演会後にも参加した研究者から多くの助言・コメントをいただくことができた。今後の研究活動にも大いに役立つ実り多い講演会であった。



図3 : Dr. Leschen と日本語による解説を加える野村先生。

所属班:公募班

所属機関:名古屋大学 大学院工学研究科 化学・生物工学専攻

氏名:安井隆雄



## 科学研究費「生物規範工学」公開講演会

(1日目 8/4)に参加して

2016年8月4日(木)~5日(金)に北海道大学(札幌市)にて、公開講演会および全体会議が開催された。本稿では、公開講演会1日目(8/4開催)について報告を行う。

・「環状両親媒性高分子によるベシクル構築とゲスト包摂による物性変化」北海道大学 山本拓矢先生

環状高分子によるベシクル構築とその物性評価についての発表があった。直鎖高分子ベシクルはゲスト分子を包接すると熱安定性が大きく低下するのに対し、環状高分子ベシクルはゲスト分子を包接すると温度安定性の減少率が小さいという利点が報告された。また、環状高分子によりLB膜の作製についての報告もあった。

・「珪藻が生産する多孔質バイオシリカに基づくバイオミメティクス」東京農工大学前田 義昌先生

珪藻についてのご説明から始まり、天然のバイオシリカを基礎として表面に機能性分子を付与する内容のご発表があった。それは、表面にある珪殻タンパク質の遺伝子組み換えによりTiO<sub>2</sub>結合ペプチドを結合させ、Ti含有培地で培養してTiの固定化を行い、最終的に加熱処理によってTiO<sub>2</sub>結晶を担持したバイオシリカの構築について報告された。

・「ナノワイヤ構造体によるセミの翅の物理的防御機構の模倣」名古屋大学安井隆雄

セミの翅の物理的防御機構の説明より始め、これまでに開発したナノワイヤ構造体に基づいたセミの翅の構造の模倣を行ったことについて報告した。

・「サイトカイン濃度勾配による好中球の液中内運動機構とその応用」九州工業大学玉川 雅章先生

好中球の血流中から幹部への移動する機能(走化性)についてのご説明があった。一般的には、濃度勾配のある液体中では、微粒子に濃度マランゴニ効果による界面張力が生じることが知られている。しかしながら、血液中を運動する好中球の駆動機構が同一のものであるかどうかは解明されていない。本発表では、膜面での濃度勾配の時間変化と膜面上での濃度分布について画像解析による結果についてのご報告があった。

・「磁性粒子分散柔軟材料を用いた人工繊毛の開発」九州大学 津守 不二夫先生

微小流路で液体を押し出すために人工繊毛を、柔らかい材料+磁性粒子で作製する内容のご報告があった。繊毛が流れを起こすメカニズムとしては、非対称(有効打+回復打)の動きが引き起こしており、磁石の回転で人工繊毛の動きを模倣できたことを報告した。また、位相をずらしたメタクロナル波を生み出すため、人工繊毛作製時に外部磁場を印加して、方向を変えた人工繊毛を作製し、位相がずれた動きが再現可能であることを報告した。また、繊毛の動きは3次元的な動きであり、ドメインを増やした人工繊毛も開発中であることが報告された。

・「Coleoptera Cuticles: from Calcium deposition to Attachment Structures」Landcare Research, New Zealand Arthropod Collection **Dr. Richard Leschen**

甲虫が自身の体表への微粒子の付着を、受動的あるいは能動的に妨げていることのご説明があった。多くの種は、フィルム状やセメント状の分泌液・油性分泌物を甲虫の分泌腺から生み出していることがわかっているが、その分泌・付着の正確なメカニズムが甲虫に対して特徴付けされていない現状のご発表があった。本発表では、外殻に着目した調査結果が報告された。

所属班: B01-4 班

所属機関: 神戸大学 理学研究科 生物学専攻

氏名: 北條 賢



## 生物規範工学全体会議に参加して

2016年8月4日(木)—5日(金)にかけて、北海道大学創成科学研究棟5階の大会議室にて科学研究費「生物規範工学」全体会議が開催された。4日午前の公開講演会に引き続き、4日の午後から5日のお昼まで各班員の進捗状況が報告された。ここでは5日午前の講演について、その内容を紹介したい。

B01-4班からはまず、東京大学の光野先生よりガ類フェロモンブレンドの受容機構について、発現する受容体の比率に基づくブレンド検出を示唆する報告がなされた。続いて筆者が、クロオオアリ体表炭化水素混合物の差分検出機構について受容体とセンサ内部構造に着目した結果を報告した。京都大学の森先生からは昆虫-植物間及び微生物-植物間の相互作用を媒介する様々なメカニズムが報告された。最後に農業・食品産業技術総合研究機構の奥田先生からネムリユスリカの乾燥耐性機構を追求することで常温保存可能な培養細胞の作成に至る過程の報告があった。いずれの発表も生物学者から生物機能のメカニズムが丁寧に解説され、生物の設計図として工学的にも発展することが期待された

B01-5班からは千葉大学の劉先生より生物の飛行や遊泳と運動エネルギーについて発表があった。九州大学の木戸秋先生からは細胞の運動と培養環境の力学場の関係についてメカノシグナルの動的特性に着目した研究成果が、名古屋大学の小林先生から細胞が場の特性や重力を感知するメカニズムに関する報告があった。東京大学の安藤先生からは昆虫の羽ばたき飛行における外骨格デザインと運動を生み出す仕組みについて報告があった。いずれも生物の構造やそれに伴う運動が様々な環境に応答する力学が体系的に示され、生物と工学の連続性が感じられる大変興味深い発表であった。

C01班からの報告ではまず、東北大学の石田先生からC班の活動の全体象と

自然・バイオミメティクス・ライフスタイルのつながりについての取り組みが紹介された。東北大学の古川先生からはライフスタイルの評価方法やテクノロジーがライフスタイルを変えるかについて、続いて東北大学の岸上先生、須藤先生からはオントロジー工学を用いてライフスタイルの問題点を抽出し、解決策を見出す過程が、北上市の口内地区をモデルに報告された。新潟大学の山内先生からは生物情報のデータベースからものづくりの問題点・解決策を効果的に導き出す技術についての報告があった。いずれの発表も、私たちの生活とバイオミメティクスの関係性について現状と課題が具体的に詳しく報告された。

最終年度の全体会議ということもあり、どの発表者からも豊富な実験データと充実した議論が報告されていた。また、各発表の節々に模倣すべき生物の多様な能力が具体的に紹介され、本領域の魅力を十分に実感できる会議であった。

2016.9.8. 16-2 バイオミメティクス研究会  
「バイオミメティクスにおける生物機能解析と工学的応用」  
開催報告 (JASIS2016)

日時: 2016年9月8日  
場所: 幕張メッセ国際会議場

公募班: 海洋研究開発機構 椿 玲未

2016年9月7日-9日に開催された JASIS(Japan Analytical and Scientific Instruments Show)カンファレンス「バイオミメティクスにおける生物機能解析と工学的応用」において、下村領域代表ほか、領域メンバー7名を含む9名が講演を行った。

開会 (下村領域代表)

講演に先立ち、下村領域代表から、日本最大の科学機器の展示会である JASIS においてバイオミメティクスのセッションを設けた意義と、簡単な趣旨の説明がなされた。



「バイオミメティクスと分析評価技術」(島津製作所 竹内誠治氏・安居嘉秀氏)

島津製作所のイメージング質量顕微鏡やマイクロフォーカス X 線 CT などの最新の計測機器について説明があった。領域メンバーと連携して、従来は観察や定量化が困難であった生物の構造や化学物質の分布等を示した多くの研究事例についてご紹介があった。



「ナノスーツ法が拓く走査電子顕微鏡の新展開」(浜松医科大学 針山孝彦)

まず生物観察と顕微鏡開発の歴史を概観した後、生物を生きのまま電子顕微鏡で観察できる画期的なナノスーツ法についてご紹介いただいた。ナノスーツ法開発初期は昆虫の観察にとどまっていたが、ヒトの培養細胞や植物などにもその応用先は広がってきていることをご紹介いただいた。



「構造色材料の電子顕微鏡観察」(帝人 広瀬治子)

モルフォ蝶の翅の構造色から着想を得て帝人が開発したモルフォテックスと、構造色フィルムについての紹介があった。これらの製品開発の中で、電子顕微鏡や分光光度計が果たす役割についてもわかりやすくご説明頂いた。



「X線マイクロフォーカス CT による海綿動物の水路解析」  
(海洋研究開発機構 椿玲未・出口茂)

X線マイクロフォーカス CT 装置をバイオミメティクス研究に用いた事例として、海綿動物の水路のネットワーク構造解析の紹介があった。CT から得られたデータを可視化に用いるのみにとどまらず、入力データとして活用することの重要性が強調された。



「生体微量成分の組成分析－

ハスモンヨトウ食害によりダイズに誘導される化学成分－」  
(京都大学 森直樹)

生態系の複雑な機能と食糧問題の紹介を通じて、害虫管理の重要性とその難しさをご紹介いただいた。効果的な害虫管理手法の開発に向け、化学分析はもちろんのこと、葉の硬さなどの物理的な指標も吟味する必要があると指摘された。



「貝殻模倣素材の強度試験」(京都工芸繊維大学 中健介)

貝殻が炭酸カルシウムと少量のタンパク質から構成される有機無機ハイブリッド材料である。貝殻を模倣した材料開発と、開発した材料の強度試験の手法と結果が報告された。



「バイオミメティック表面材料のトライボロジー」

(工学院大学 小林元康)

生物が環境中で思い通りに動き回ることができる背景には、それぞれの環境に適した体表面の摩擦制御機構がある。特に水生生物では、体表面の高分子電解ブラシが摩擦低減に大きな役割を果たしていることが知られており、それを模倣した材料開発について紹介された。



「構造色材料の分光分析」(物質・材料研究機構 不動寺浩)

構造色材料評価のためには、分光分析は必要不可欠である。様々な構造色材料の開発と分光分析の手法について紹介され、特に変形により色が変わる構造色ゴム材料については応用面での期待が高く、フロアからも多くの質問があがった。



JASIS での開催ということもあり、バイオミメティクス研究会メンバー以外の参加者も非常に多く、バイオミメティクスの注目度の高さを感じさせた。

2016.9.23.

第 67 回 コロイド及び界面化学討論会

「コロイド・界面化学が拓くバイオミメティクス」

開催報告

日時: 2016 年 9 月 23 日 (討論会二日目)

場所: 北海道教育大学旭川校

公募班: 海洋研究開発機構 椿 玲未

2016 年 9 月 22-25 日に北海道教育大学旭川校で開催された第 67 回 コロイド及び界面化学討論会において「バイオミメティクスにおける生物機能解析と工学的応用」が開催された。セッションオーガナイザーは下村領域代表と海洋機構の出口茂氏が務め、領域メンバー 9 名を含む 10 名が講演を行った。

開会 (下村領域代表)

講演に先立ち、下村領域代表から簡単な趣旨の説明がなされた。

【基調講演】「自己組織化とバイオミメティクス」

講演者 産業総合技術研究所 山口智彦

自己組織化研究の歴史を概観した後、熱力学的視点とメカニズム的視点の双方から自己組織化を捉える重要性を強調された。



【依頼講演】「フナムシに学ぶ液体輸送デバイス」

講演者 名古屋工業大学 石井大佑

フナムシは肢の表面にある微細突起構造を利用して、肢末端から体まで自発的に水を輸送している。この微細突起構造を模倣した液体輸送デバイスの開発と、形状の異なる突起構造における水輸送機能比較などの説明があった。



【依頼講演】「フジツボが教える防汚表面材料」

講演者 旭川医科大学 室崎喬之

近年海洋生物の付着を防ぐための表面材料の開発が活発化している。本講演では自己組織化ハニカム状微細構造表面を用いた材料のすぐれた防汚性能が紹介され、更に防汚効果を評価に付着生物の行動解析も取り入れることの重要性も指摘された。



【依頼講演】「コロイド結晶薄膜による構造色材料の新展開」

講演者 物材機構 不動寺 浩

常温常圧下で成膜する構造色材料を開発し、構造色の鞘翅を持つことを知られるタマムシの表皮構造を模倣したタマムシレプリカの表面に塗装した。この模倣タマムシは実際のタマムシと非常に類似した光学特性を示すことが確認され、この材料の有用性が示された。



【依頼講演】「モスアイ構造の乱れと光学効果」

講演者 東京理科大 吉岡伸也

蛾の複眼やセミの翅表面などで見られる微小な突起子が配列した構造はモスアイと呼ばれ、光の反射防止や防汚機能などを示すことが知られている。この構造は生物の自己組織化によって形作られるため完全に規則的な配列ではないが、それでも規則的な配列と比べても遜色ないほどの十分な光反射防止を示すことが紹介された。



【依頼講演】「海綿動物に学ぶ水輸送システム」

講演者 海洋研究開発機構 椿玲未

海綿動物は体内に水を輸送するためのネットワークが張り巡らされている。発生時のこの水路の自己組織化的形成プロセスの紹介と、そのネットワーク特性が紹介された。



【依頼講演】「昆虫の体表面摩擦力測定」

講演者 千歳科学技術大学 平井悠司

摩擦低減は産業的に大きな課題であり、近年は鮫肌に代表されるような表面微細構造に注目が集まりつつある。本講演では畳などの細かい隙間に入り込み生活している無翅昆虫のシミ類に着目し、その表面微細構造の詳細な観察および摩擦力測定をおこなった結果が報告された。



【一般講演】「バイオミメティック高分子『ポリドーパミン』を基盤とする新規材料」

講演者 千葉大学 桑折道済

イガイ等の二枚貝類は足糸と呼ばれる接着器官を持ち、水中での接着を可能にしている。この足糸を模倣して作られたポリドーパミンは昨今注目を集めており、その材料開発の新展開と応用可能性が紹介された。



「コロイドを使うバイオミメティクス:アリマキから学ぶリキッドマーブル材料」

講演者 大阪工大 藤井秀司

アブラムシの一種であるアリマキは、自ら排出する蜜を固体ワックス粒子で覆うことにより液体を団子状にして保存することが知られている。このような固体微粒子に覆われた液滴から着想を得て、応力印加により粘着性を示すリキッドマーブルを人工的に開発し、その構造や接着機能解析について説明があった。



「Anti-X 機能を備えたバイオミメティクス：SLUGs (Self-libricating Organogels)」

講演者 穂積篤

生物が防汚などの機能を維持し続ける背景には体表面は自己修復機能がある。そこで生物体表の自己修復機能から着想を得て、外部からのダメージに対して自己修復可能な離漿現象を利用したバイオミメティクス材料 SLUGs が紹介された。



本シンポジウムは従来のコロイドおよび界面化学討論会の枠には収まらないシンポジウムであったにもかかわらず、学際的なバイオミメティクス研究への関心は本討論会でも高く、会場には多くの聴衆が詰めかけた。

## 5th Nagoya Biomimetics International Symposium

日時：20-21 Oct. 2016

場所：名古屋工業大学

公募班：海洋研究開発機構 椿 玲未

NaBIS は今年で 5 回目を迎え、6 名の海外からの招待講演者を含む 16 題の口頭発表と 17 題のポスター発表が行われた。

各分野をリードする研究者が一堂に会し、2 日間にわたって闊達な議論が交わされた。

Smart interfacial materials from superwettability to binary cooperative complementary systems

講演者：Prof. Lei Jiang (Beihang Univ.)

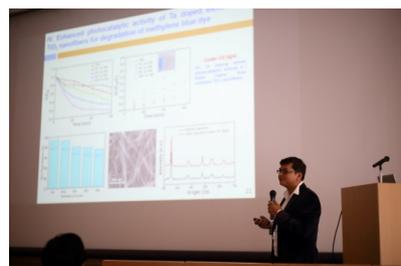
21 世紀に入ってから急激に発展した超撥水研究の流れを概観し、自然界にはナノからマイクロに至る広いスケールでの超撥水機構があることを様々な具体例を挙げて紹介された。さらに液体分離や空気中からの集水などの重要な課題に対して超撥水材料が有望であることを説明し、講演者等が開発した Binary Cooperative Complementary Nanomaterials について紹介された。



Biomass wastes-derived carbon nanostructures and their metal oxide composites for waste water treatment applications

講演者：Prof. Raju Gupta

生物由来の廃棄物に含まれるカーボンナノ材料が十分に活用されていない現状を説明し、その分離抽出技術が紹介された。そして抽出されたカーボンナノ材料の活用事例として酸化チタンの光触媒作用を利用した浄水技術が紹介された。



Biomimetic structural colors inspired by bird feathers

講演者：Dr. Michinari Kohri

鳥類の鮮やかな構造色はメラニンが形成する粒子構造に起因する。そこで講演者等は鳥類のメラニンによる構造色から着想を得て、ポリスチレン粒子をポリドーパミンで被覆した粒子を作成し、ポリドーパミン被膜の厚さを制御することによってさまざまな色の発現に成功したという成果を報告した。



Nature inspired nanosurface and beyond  
講演者：Dr. Hyuneui Lim

超撥水やセルフクリーニング、自己修復な様々な機能性を実現している生物の体表面についてレビューし、それらを模倣した人工の機能性表面の作成手法や性能評価の結果が紹介された。



Anti-sticking properties of self-lubricating organogels (SLUGs) inspired by slug's skin

講演者：Dr. Chihiro Urata

ナメクジなどの生物は、体表から絶えず分泌されている粘液によって防汚機能を実現している。講演者等はこの粘液による防汚機能に着想を得て、離漿によって液成分が染み出すオルガノゲルを開発し、その性能評価を行った結果高い防汚機能が確認されたことが報告された。



Sliding friction on shape-tunable wrinkles

講演者：Dr. Takuya Ohzono

生物表面における摩擦制御には体表の変形によるしわの形成が関わっているケースが少なくはない。そこで講演者等は異なる間隔のしわを形成する材料を作成、トライボロジーに与える影響を検証し、トライボロジー制御可能な表面開発への応用可能性を展望した。



X-ray CT observation of living things

講演者：Mr. Takashi Kushibiki

はじめに X 線 CT システムの概要を説明した後、本領域メンバーが提供した生物サンプルを実際に X 線 CT で撮影し三次元再構築した像を紹介され、生物の構造解析における非破壊観察の重要性が強調された。



Water and its affinity to hydrophobic surfaces

講演者：Thomas J. McCarthy

接触角の測定におけるヒステリシスの重要性を指摘するなど、著者らのこれまでの超撥水性に関わる広範な研究が紹介された。



## AFM friction measurements of insect scale surface

講演者：Dr. Yuji Hirai

狭い隙間を素早く移動するというシミの特性の着目し、著者らは低摩擦を実現するような体表構造があるのではないかと考えた。電子顕微鏡や原子間力顕微鏡などを用いて微細構造や摩擦力を測定した結果、体の部位によって異なる結果が得られたことが報告された。



## Mechanically tunable adhesion/friction of PDMS wrinkles

講演者：Prof. Krishnacharya

力を加える方向や強さを変化させることで、PDMS上に形成されるしわの間隔だけでなくパターンも制御できることが示された。そしてそのしわパターンの違いが摩擦力に与える影響についても紹介され、しわ制御によって摩擦力制御可能な材料への応用について議論された。



## Particle stabilized soft dispersed systems as a platform towards adhesive materials

講演者：Prof. Syuji Fujii

アリマキという昆虫は、排出した蜜をワックス粒子で被覆することにより、団子のような状態で虫こぶ内に貯蔵する。この機能を模倣し、保管時は非粘着状態だが、練るなどの圧力を加えると粘着力を発揮する「リキッドマール」を開発した。



## Effect of fibrous skeleton at clingfish suction pad

講演者：Prof. Takayuki Kurakawa

ウバウオは岩礁域の岩などに引っついて暮らす体長数センチ程度の底生魚である。ウバウオの腹鰭は付着生活に適応したと考えられるブラシ状の特殊な形態を持つが、その機能についてはこれまで知見がなかった。そこで講演者らはウバウオの腹鰭を模した構造を作成し、その機能を解析した。



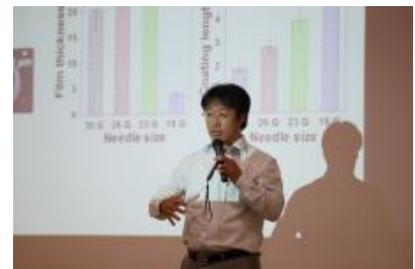
Thermal management using diatom shells  
講演者：Prof. Hirotaka Maeda

昨今バイオ燃料として珪藻類が注目を集めており研究が進んでいるが、その廃棄物であるバイオシリカの有効利用についての研究は乏しい。講演者らは珪藻殻の多孔構造に注目し、熱管理システムに応用できる可能性を示した。



CATECHOL batteries: Improvement of battery performances by catechol and its derivative adhesion molecules  
講演者：Dr. Haeshin Lee

イガいの足糸に含まれるカテコール化合物に関する研究が近年盛んに行われている。講演者らは特殊な酸化条件下はカテコールは即時的な接着を可能にすることを解明し、それを利用して作られた自己接着する注射針などが紹介された。



## (6) 新聞・報道

## 【新聞・報道】

### 総括班

- (1) 日経産業新聞（2016年6月27日）  
朝刊 1面 “進化の扉 バイオミメティクス 上”において、“生命力こそ突破力”“技術革新 模倣から”という見出しで、清水建設、シャープ、帝人など、国内企業のバイオミメティクスへの取り組みが紹介されました。
- (2) 日経産業新聞（2016年6月28日）  
朝刊 3面 27日に引き続き、“進化の扉 バイオミメティクス 下”において、“生物学 x 工学で技術”という見出しで、群れのバイオミメティクス、日産、の紹介があり、バイオミメティクス・データベースの重要性についてNBCIバイオミメティクス分科会主査を務める日立製作所の宮内昭浩氏（総括班 産学連携 G）からのコメントと、北陸先端大学溝口理一郎教授（A01班）からの国際標準化提案についての紹介が掲載されました。
- (3) 化学経済（2016年8月1日）  
特集「バイオミメティクスの新たな展開」において、下村領域代表、平坂雅男高分子学会事務局長（総括班評価 G）、宮内昭浩 NBCIバイオミメティクス分科会主査（産学連携 G）の記事をはじめとし、産業界におけるバイオミメティクスの取り組みが紹介されました。
  - ・ バイオミメティクスの現状と将来展望 下村 政嗣
  - ・ NBCIバイオミメティクス分科会の活動とバイオミメティクスの実用化に向けての課題 宮田 明, 宮内 昭浩
  - ・ バイオミメティクスの国際標準化の動き 平坂 雅男
  - ・ バイオミメティクス技術を活用したコンクリートの美観向上技術－「アート型枠」の開発（清水建設） 辻埜 真人
  - ・ 蛾の眼（モスアイ）の構造を応用した低反射フィルム－連続製造プロセスの開発－（三菱レイヨン） 編集部
  - ・ 超多層フィルム「MLF」 積み重ねた技術の結晶（帝人デュポンフィルム） 編集部
- (4) NHK 総合テレビ（2016年10月16日）  
日曜討論「ノーベル賞3年連続受賞 どう育てるニッポンの科学技術」において、総括班評価グループの亀井信一先生（三菱総合研究所）が出演されました。番組の内容は、「日本人が3年連続でノーベル賞を受賞。ニッポンの科学技術の水準をどうみるか？世界に認められる研究をどう生み出すか？ノーベル賞受賞者や各界の有識者が徹底討論します。」で、出演者は、江崎玲於奈、上山隆大、亀井信一、佐藤大吾、寺門和夫、柳沢幸雄でした。  
<http://www4.nhk.or.jp/touron/x/2016-10-16/21/3408/1543299/>

### A01 班

- (1) 日経産業新聞（2016年6月28日）  
朝刊 3面 27日に引き続き、“進化の扉 バイオミメティクス 下”において、“生物学 x 工学で技術”という見出しで、群れのバイオミメティクス、日産、の紹介があり、バイオミメティクス・データベースの重要性について

NBCI バイオミメティクス分科会主査を務める日立製作所の宮内昭浩氏（総括班 産学連携 G）からのコメントと、北陸先端大学溝口理一郎教授（A01 班）からの国際標準化提案についての紹介が掲載されました。

- (2) 化学経済（2016 年 9 月 1 日）  
「発想支援型検索と異分野連携がもたらす可能性」について  
長谷山美紀先生（A01 班）の研究成果が紹介されました。

## B01-2 班

- (1) 中日新聞（2016 年 7 月 29 日）  
「人間が利用 生物模倣技術」 生物の仕組みをものづくりに応用する「バイオミメティクス（生物模倣技術）」について針山孝彦先生（B01-2 班）の研究成果が紹介されました。
- (2) 化学経済（2016 年 8 月 1 日）  
特集「バイオミメティクスの新たな展開」において、下村領域代表、平坂雅男高分子学会事務局長（総括班評価 G）、宮内昭浩 NBCI バイオミメティクス分科会主査（産学連携 G）の記事をはじめとし、産業界におけるバイオミメティクスの取り組みが紹介されました。
- ・ バイオミメティクスの現状と将来展望 下村 政嗣
  - ・ NBCI バイオミメティクス分科会の活動とバイオミメティクスの実用化に向けての課題 宮田 明, 宮内 昭浩
  - ・ バイオミメティクスの国際標準化の動き 平坂 雅男
  - ・ バイオミメティクス技術を活用したコンクリートの美観向上技術－「アート型枠」の開発（清水建設） 辻埜 真人
  - ・ 蛾の眼（モスアイ）の構造を応用した低反射フィルム－連続製造プロセスの開発－（三菱レイヨン） 編集部
  - ・ 超多層フィルム「MLF」 積み重ねた技術の結晶（帝人デュポンフィルム） 編集部

## B01-3 班

- (1) 中日新聞（2016 年 10 月 11 日）  
「簡単に自己修復ができ透明で曇らない環境を作り出す自己修復型透明防曇膜を開発」した件について、穂積篤先生（B01-3 班）の研究成果が掲載されました。
- (2) 日経産業新聞（2016 年 10 月 13 日）  
「ガラス表面の曇りを防ぐ 産総研、ゲル状皮膜で覆う」件について、穂積篤先生（B01-3 班）の研究成果が掲載されました。
- (3) 日本経済新聞（2016 年 10 月 25 日）  
「曇り防止、水滴・傷に強く、産総研が技術、ガラスにゲル皮膜」の件について、穂積篤先生（B01-3 班）の研究成果が掲載されました。

- (4) CBC ラジオ (2016 年 11 月 2 日)  
曇りを防ぐゲル皮膜開発の件について、穂積篤先生 (B01-3 班) が CBC ラジオに電話出演されました。

## 公募班

- (1) El Hormiguero (スペイン) (2016 年 7 月 6 日)  
藤井秀司先生 (公募班)  
光駆動型微小物体運搬技術について、スペインのテレビ番組でデモを行いました。
- (2) 読売テレビ (2016 年 8 月 27 日)  
「そこまで言って委員会 NP」  
最近のクマ出没被害のニュースを入り口に、生物多様性の議論について、香坂玲先生 (公募班) が出演されました。

## (7) アウトリーチ活動

## 【アウトリーチ活動報告】

- (1) 2016年9月3日(土)～4日(日)にあしびの郷ちな(鹿児島県大島郡知名町瀬利覚)にて「第7回沖永良部シンポジウム『孫が大人になった時にも光り輝く美しい島づくり』」が開催されました。  
<http://suianjuku.com/symposium2016/>
- (2) 2016年9月8日(木)に幕張メッセ国際会議場 106会議室にて「16-2 バイオミメティクス研究会 バイオミメティクスにおける生物機能解析と工学的応用」が開催されました。  
趣旨：バイオミメティクスは生物を規範とする工学であり、新たな技術開発のプラットフォームとして着目されています。ナノテクノロジーの進歩とともに、その基盤となる生物の形態観察や機能の解析は新たな局面を迎えています。さらに、その機器分析による生物の形態観察や機能解析が工学的応用に新たな展開をみせています。本研究会では、JASIS (Japan Analytical & Scientific Instruments Show) 2016 に併設される JASIS コンファレンスとして、バイオミメティクスについて機能解析の観点から深掘りするとともに、最近のバイオミメティクスの研究成果を報告いたします。
- (3) 2016年9月14日(水)～16日(金)に神奈川大学横浜キャンパスにて「第65回高分子討論会」が開催され、S14.生物模倣による新規機能性材料・次世代型プロセスの創成”セッションが企画されました。  
<http://main.spsj.or.jp/tohron/65tohron/theme.html#tokutei>
- (4) 2016年9月22日(木)～24日(土)に北海道教育大学旭川校にて「第67回コロイドおよび界面化学討論会」が開催され、23日(金)に“シンポジウム1 コロイド・界面化学が拓くバイオミメティクス”のセッションが企画されました。  
[http://colloid.csj.jp/div\\_meeting/67th/program\\_j.html#S79](http://colloid.csj.jp/div_meeting/67th/program_j.html#S79)
- (5) 2016年10月10日(月)～13日(木)に札幌コンベンションセンターにて「AsiaNANO 2016 : Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology」が開催されました。  
本領域の協賛事業で、国武豊喜先生(総括班)が基調講演をされました。  
<http://asianano2016.org>
- (6) 2016年10月17日(月)に産業技術総合研究所 臨海副都心センター 別館11階会議室にて「16-3 バイオミメティクス 研究会国際標準化から見たバイオミメティクスの国際動向」が開催されました。  
趣旨：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は、ドイツ提案の3つの国際標準が発効し、本年9月28～29日にベルリンで開催される国際委員会において日本から提案した Knowledge infrastructure of biomimetics が議論されます。今回の研究会は、標準化国際委員会の報告と、標準化発効後の動向について考えてみます。また、7月にフランスで開催されたバイオミメティクスの展示会の報告もいたします。

(7) 2016年10月1日(土)～2017年3月4日(土)に北海道大学総合博物館/1階「知の交流」にて「バイオミメティクス・市民セミナー 2016年度後期」が開催されます。

バイオミメティクス(Biomimetics)は、生物模倣技術と訳します。

「カの口を模倣した痛くない注射針」「サメの皮膚を模倣した水抵抗の少ない水着」「ヤモリの指先を模倣した粘着テープ」、さまざまな分野での新技術の応用と商品開発がなされています。

生物は、5億年の自然選択によって、人が頭で考えるデザインよりも優れたデザインを獲得しています。

博物館には多くの生物標本が収蔵されていますが、標本を工学者の設計デザインの視点から見直すとどうなるでしょう。

生物学者では解けなかった自然の造形美の意味が解き明かされるかもしれません。そして生物のデザインからアイデアを得て新しい技術が生まれるかもしれません。

動植物の持つ能力や形・機能などの特性を把握し、そこからヒントを得て人工的に設計・合成・製造するのが「生物規範工学」です。

生物学と工学と博物館を結ぶ、バイオミメティクス市民セミナーでは、生物学者と工学者が、新しい視点で生物の見方を紹介します。

## (8) 各種案内

# BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

大越 研人 (千歳科学技術大学 理工学部 応用化学生物学科 教授)



## 液晶～分子の 「かたち」が決める構造

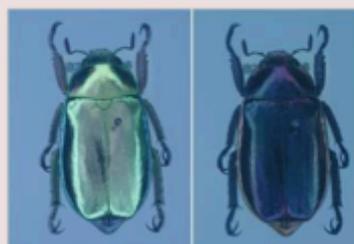
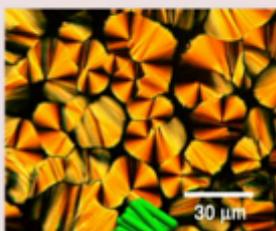
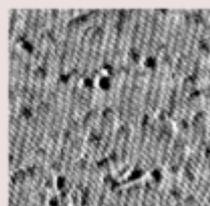
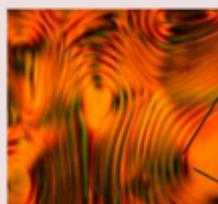
2016年8月13日 (土)

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

私たちが日頃目にしている液晶ディスプレイで使われている液晶分子は、基本的にはその細長い形に由来する「ネマチック相」と呼ばれる液晶相を形成しています。化学構造よりむしろ「細長い」とか「平べったい」という、分子の「かたち」が、液晶の構造を決めています。実は同じような構造は、生き物の骨格構造にもたくさん存在します。例えば、美しい金属光沢をもつカナブンの羽の色は、色素によるものではありません。硬くて細長い高分子が、特定の波長の光を反射する液晶構造を形成しているために色づいて見えるのです。

このような自己組織化による生き物の構造形成は、我々人間にとっては低エネルギーの材料合成の参考になります。本講演では、硬い高分子がその「かたち」によって形成する様々な液晶構造と、モノづくりへの応用を紹介します。



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」  
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-jmu@museum.hokudai.ac.jp

# BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

高久 康春 (浜松医科大学 医学部 総合人間科学 特任助教)

## NanoSuit®法によるリアルな生物表面観察

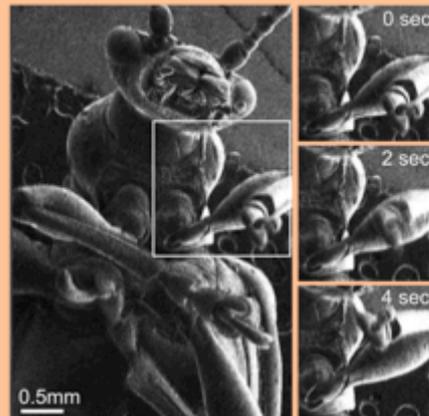
2016年9月10日 (土)

会場：紀伊国屋書店札幌本店 / 1階インナーガーデン  
札幌市中央区北5条西5丁目7番地 sapporo55ビル

時間：午後2時から午後4時



私たちは、ショウジョウバエ幼虫などが体表にもつ粘性物質に、電子線またはプラズマ照射することで得られるナノ薄膜が、超高真空下でも体内の水分やガスの放出を抑制する表面保護効果を生み出すことを見だし、生きたまま電子顕微鏡観察に適用することに成功しました (NanoSuit®法)。本手法を用い、多様な生物の生きた状態での微細構造やその機能を解明できれば、生物学、農学や医学などの生命科学分野での発展のみならず、近年世界的に注目されているバイオミメティクス (生物模倣技術) をはじめとする「ものづくり」の分野へも大きく貢献できると考えています。



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-jmu@museum.hokudai.ac.jp

# BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

佐藤 圭一 (沖縄美ら島財団 総合研究センター 動物研究室 室長)



クマノアザミ  
Photo by Stan Shabo (2005)  
/ Adapted. CC BY-SA-3.0

## サメの多様性と 生存戦略

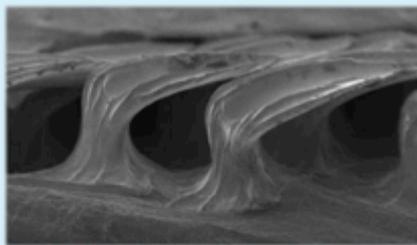
2016年10月1日 (土)

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

サメは最も人間によって誤解され、かつ研究が進んでいない生物です。世界的に見ても、サメによる被害は極めて稀で、その危険性は低いにもかかわらず、危険生物として象徴的な生物になっています。一方、生物学的にサメを見た場合、彼らのもつ形態や生態はとても洗練されており、長い歴史を生き抜いてきた知恵が凝縮されています。例えば、「サメ肌」として知られる楯鱗や、サメの象徴である鋭い歯も、外洋性種と底生性種では形態的にも機能的にも全く異なっており、さまざまな機能的側面を持ち合わせています。

私たちは、標本を観察するだけでなく、世界的にも珍しい飼育下での研究に取り組んでいます。セミナーでは、サメの多様な形態や生態的特徴のほか、最近の研究トピックであるサメの繁殖戦略についても、詳しくご紹介します。



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



# BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

齋藤 裕 (北海道大学 名誉教授)

## 糸の匠、 すごもりはだに

2016年11月5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

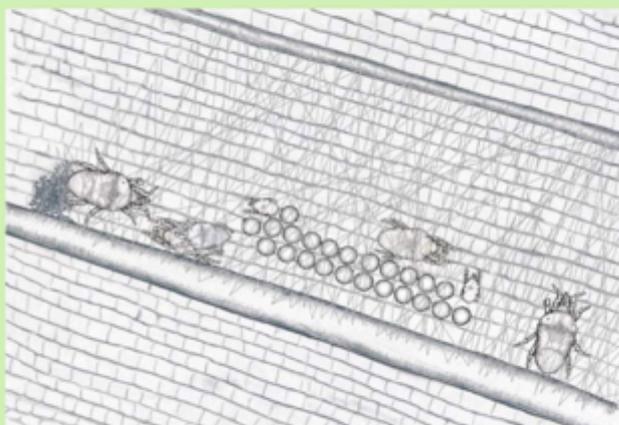


つま、アリの巣  
Photo by Stan Shebs (2005)  
/ Adapted CC BY-SA 4.0

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。



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. 2

発行日 2016年11月4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>