

Biomimetica

Journal of Biomimetics Network Japan

2018 January

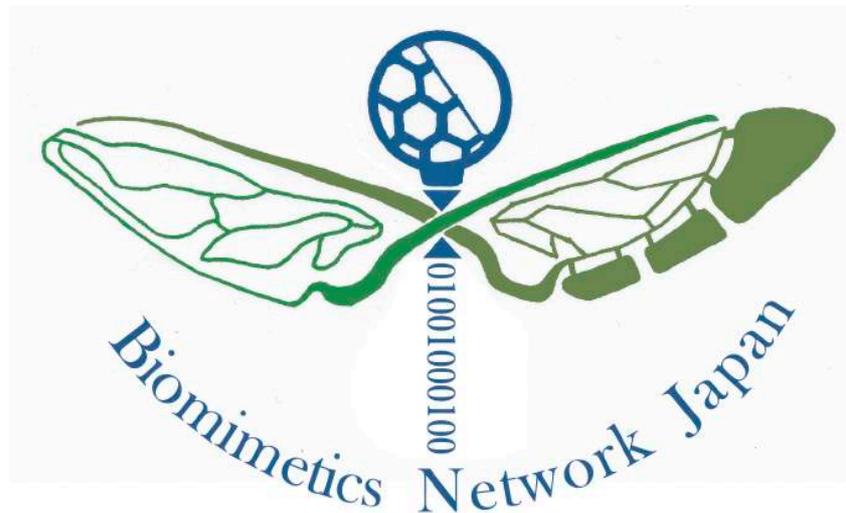
**特集：バイオミメティクスこそが持続可能な
イノベーション**

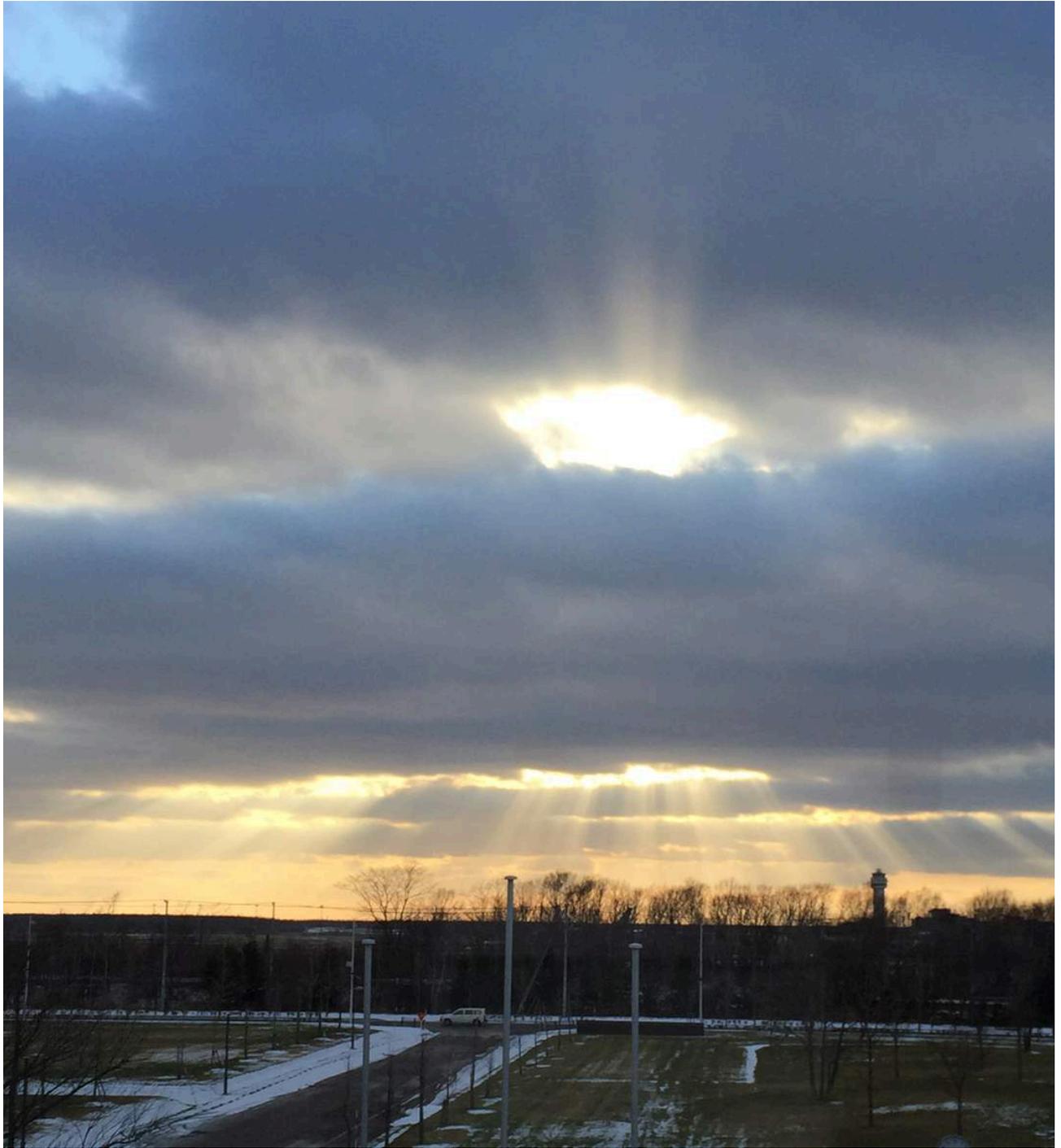
**文部科学省科学研究費新学術領域「生物規範工学」
プロジェクト終了公開講演会要旨集**



Biomimetica

Journal of Biomimetics Network Japan





日本の人々が過去の伝統と現在の革新の間の得がたい均衡をいつまでも保ち続けられるよう願わずにはいられません。それは日本人自身のためだけにではありません。人類のすべてが学ぶにあたいする一例をそこに見出すからです。(クロード・レヴィ=ストロース、「月の裏側」より)

Table of Contents

巻頭言	1
特集　バイオミメティクスこそが持続可能なイノベーション バイオミメティクスは、持続可能な技術革新をもたらす生態系サービスである	2
文部科学省科学研究費新学術領域「生物規範工学」プロジェクト終了公開講演会 プログラム	5
TEEB、SDGs、都市設計、地域創生とバイオミメティクス	6
エコ村が拓く持続可能な社会　～近江八幡 小舟木エコ村～	8
我が国の企業動向とバイオミメティクスに期待するもの	10
海洋からの生態系サービスとバイオミメティクス	12
持続可能な農業とバイオミメティクス	14
省エネルギーとバイオミメティクス	16
生物多様性データベースとバイオミメティクス	18
バイオミメティクスの国際標準化と国際動向	20
バイオミメティクス推進協議会による SDGs 宣言	22
海外動向	
ISO TC266 Biomimetics ベルリン会議の報告	24
海外動向：フランスが発信する生存戦略	26
国内外ニュース	28
「生物規範工学」アーカイブス	
生物規範工学は何処へ向かうのか	31
Study nature, not books	32
産業と社会を考える「生物隠喩実学」の提案	34
「自然化社会」の実現に向けて	36
「生物の科学」連載コラム“生物に学べ　バイオミメティクス最前線”から	38
行事案内	42
特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会について	43

たね也
CLUB HARIE

La Collina


taneya.jp

巻頭言

バイオミメティクスの基盤は、言うまでもなく生物の多様性です。生物多様性は、長い時間をかけて様々な環境において生物が生存してきた進化適応の結果です。生物多様性を可能とした『持続可能な高炭素世界の完全リサイクル型技術』ともいべき生物の生き残り戦略は、どこにでもあるユビキタス元素を使い、再生可能エネルギーを用いた自己組織化プロセスによるモノづくりであり、産業革命以来の“人間の技術体系”とは作動原理や製造プロセスのパラダイムが異なっています。バイオミメティクスは、生物の生き残り戦略に学ぶことで、資源やエネルギー、気候変動等の現代社会が抱える喫緊の問題を解決し、持続可能性のための技術革新のヒントをもたらすものと期待されています。

バイオミメティクスを生物多様性に基づく“生態系サービス”と捉えることで、自然と調和した持続可能な人間活動を支える基盤技術になり得るものと期待しています。生物の進化適応の結果である生物多様性は持続可能性の証拠であり、その背景にある“生物の生き残り戦略”を明らかにし、人間活動である工学に“技術移転”することによって、“持続可能性に向けた技術革新”を可能とするパラダイムシフトがもたらされます。そのためには、生物学と工学の異分野交流が不可欠になります。

さらに重要なことは、資源、エネルギー、環境など、現代社会が抱える喫緊の問題は様々な課題を抱えており、科学技術だけで解決することは不可能です。そのためには、社会と科学が一緒になって問題を解決しようとするトランス・サイエンスという考え方が不可欠です。

社会エコシステムであるバイオミメティクスを確立するためには、生物科学、材料科学、機械工学、建築学、都市工学、情報科学、環境科学、経済学、社会学、芸術などの諸科学間の異分野連携、産官学連携、地域連携、国際連携など、様々なステークホルダーのためのプラットフォームが不可欠なのです。特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会は、**Biomimetics Network Japan** として我が国のナショナルセンターを目指し、学協会、大学、博物館、研究機関、NPO 法人、産業界などとの連携を深めて参ります。生物学と工学の異分野交流、社会と科学の交流を図ることで、“自然と調和した持続可能な人間活動”を考える場にしたいと考えています。

特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会
理事長 下村 政嗣

特集：バイオミメティクスこそが持続可能なイノベーション

バイオミメティクスは、持続可能な技術革新をもたらす生態系サービスである

下村政嗣

千歳科学技術大学

m-shimom@photon.chitose.ac.jp

人類喫緊の課題である『持続可能な開発目標』(SDGs :Sustainable Development Goals)に対し、『生態系と生物多様性の経済学』(TEEB: The Economics of Ecosystem and Biodiversity) という考え方は有効である。しかし現状の TEEB では、生態系サービスは生物(自然)そのものを使うという考えから脱していない。“生物”の生き残り戦略に学ぶバイオミメティクスは、課題を抱える“人工物”に対してパラダイム変換ももたらすものであり、バイオミメティクス(=リバーズ・エンジニアリング)を生態系サービスとして捉え直す、という新たな概念を導入する必要がある。森、里、海、における生態系サービスの課題、バイオミメティクスへの技術移転など、生物学的な視点から生態系サービスを捉え直す“エミュレーション生物学”とも云うべき学術体系の再構築が必要である。そのためには、X線マイクロCTによる3次元画像、ナノスーツ法によるSEM画像などを含むデータベースの構築と検索・発想支援システムを統合したバイオミメティクス・インフォマティクスの早急な確立が不可欠である。SDGsを意識した異分野連携のもとに、分子レベルから都市設計にいたる幅広い領域においてバイオミメティクスの社会実装を実現することで、TEEBとしてのバイオミメティクスを確立する。

生物多様性は、長い時間をかけた生物の進化適応の結果であり、環境を構成する生態系の根幹である。『生態系と生物多様性の経済学』(TEEB: The Economics of Ecosystem and Biodiversity)においては、生物多様性がもたらす生態系サービスを「供給サービス」、「調整サービス」、「文化的サービス」、「生息・生育地サービス」の4つに分類している。産業構造の観点からすると、食料の供給は農林水産に関わる一次産業へのサービスであり、木材や遺伝子資源の供給は製紙、建築、エネルギーや創薬等に関わる生物資源をベースとする二次産業へのサービスであり、エコツーリズムなどの観光資源として三次産業へのサービス、と捉えることができる。

TEEBが成立する背景には、“再生可能資源”としての生態系サービスが不可欠あり、その保全が持続可能性を維持することになる。一方で、産業革命以降の技術体系は、“枯渇性資源”を前提として展開しており、主要な二次産業を支えてはいるものの、持続可能性においては重大な課題を抱えている。さらに、国連サミットで採択された『持続可能な開発のための2030アジェンダ』の中核である『持続可能な開発目標』(SDGs :Sustainable Development Goals)においては、“持続可能な都市”と“持続可能な消費と生産”が課題化されており、“再生可能資源”系に依拠する経済と“枯渇性資源”系に基づく経済が調和する循環経済(欧州連合: <http://eumag.jp/feature/b0517/>)

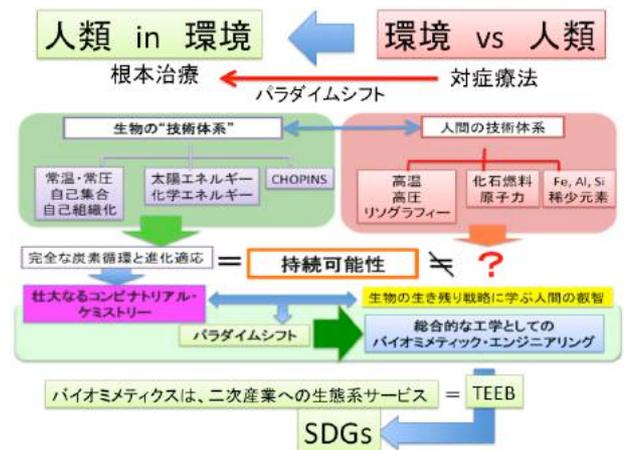
Biomimetica

や、「農山漁村と都市の環境・経済・社会の統合的向上を目指す地域循環共生圏」（環境省：<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h27/html/hj15010103.html>）の提言もある。



一方、「生物に学ぶ」という考え方は古くからあり、特に日本人には馴染み易い考え方である。レオナルド・ダ・ヴィンチが鳥の飛翔に学んで飛行機械の設計をしたことは有名である。海綿を模倣した洗浄スポンジ、絹糸を真似た合成繊維、植物の種子をヒントにした面状ファスナー、カワセミの嘴に似せた新幹線の形状など、我々の身の回りには多くの生物模倣（バイオミメティクス、Biomimetics）がある。今世紀になって、バイオミメティクスに対する世界的な関心が高まり、すでに国際標準化が発効されるに至っている。蓮の葉に学んだ“フッ素を使わない撥水材料”、モルフォ蝶を真似た“色材を使わない発色繊維”、サメ肌を模倣した“航空機の流体抵抗低減塗装”、魚群に学ぶ“自動運転アルゴリズム”、アリの社会性を模倣した“IoTを支える自律分散制御型ロボット”、アリ塚のパッシブクーリングにヒントを得た“省エネ空調ビル”などが開発され、居住性、流通性、レジリエンス、フェールセーフ、ロバストネスなどを生態系システムに学ぼうとする”Biomimetic smart city”と称される環境都市設計構想も始まっている。今やバイオミメティクスは、分子レベルの材料設計から、機械工学、建築、環境都市設計に至る総合的な技術体系となりつつある。

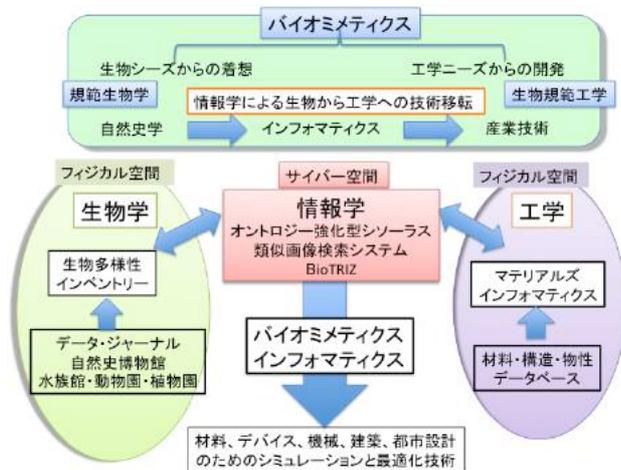
バイオミメティクスの基盤は、生物の多様性である。生物多様性は、長い時間をかけて様々な環境において生物が生存してきた進化適応の結果である。生物多様性を可能とした『持続可能な高炭素世界の完全リサイクル型技術』ともいべき生物の生き残り戦略は、どこにでもあるユビキタス元素を使い、再生可能エネルギーを用いた自己組織化プロセスによるモノづくりであり、産業革命以来の“人間の技術体系”とは作動原理や製造プロセスのパラダイムが異なっている。バイオミメティクスは、生物の生き残り戦略に学ぶことで、資源やエネルギー、気候変動等の現代社会が抱える喫緊の問題を解決し、持続可能性のための技術革新のヒントをもたらすものと期待されている。



バイオミメティクスを「生物規範工学」ともいべき持続可能な総合的技術体系として実現するためには、我が国が最も不得意とする異分野連携が不可欠である。“生物の技術体系”が、持続可能な炭素循環型社会を可能としている背景には、“壮大なるコンビナトリアル・ケミストリー”とも称すべき進化適応のプロセスがある。長い時間をかけ、多様な環境条件下において、物理・化学の法則・原理の組み合わせを最適化することで、生産プロセスや機能発現のパラダイムが決定されたのである。つまり、自然界には何億年にも亘る試作と評価を終えた技術が、生物の生きる仕組みとして使われ続けているのだ。壮

Biomimetica

大なるコンビナトリアル・ケミストリーの結果である膨大な生物学の知見を工学に技術移転する必要がある。工学の規範となるべき生物学＝エミュレーション生物学という視点が求められる。さらに、生物と工学の異分野連携のためには、ビッグデータである生物多様性からのリバース・エンジニアリングを可能とする“バイオメティクス・インフォマティクス”とも言うべきデータベースの整備とテキストや画像を対象とした多様な情報検索システムが求められる。



バイオメティクスの社会実装に求められるもう一つの異分野連携は、生物多様性と生態系サービスの価値を認識しその保全と持続可能な経済活動を目指す TEEB に代表される、“自然の循環と経済社会システムの循環の調和”を求める社会系科学分野との文理融合である。バイオメティクスを生態系サービスと捉えることにより、制約された環境の下で持続可能な“モノづくり”と“街づくり”の技術革新をもたらす切り札になり得るのである。SDGs に向けたパラダイムシフトとイノベーションをもたらす社会エコシステムであるバイオメティクスを確立するためには、生物科学、材料科学、機械工学、建築学、都市工学、情報科学、環境科学、経済学、社会学、芸術などの諸科学間の異分野連携、産官学連携、地域連携、国際連携など、様々なステークホルダーの

ためのプラットフォームが不可欠になる。

分子系から生態系にいたる Biomimetics を総合的な科学技術体系として確立することで、Economics と Ecology とが整合する、つまり、“自然の循環と経済社会システムの循環の調和”に寄与できる Engineering が構築され、制約された環境の下で持続可能な“モノづくり”や“街づくり”への技術革新の切り札が人類にもたらされることになる。さらには、『森・里・川・海が繋がった循環共生系』としての農山漁村と地方都市を繋ぐことは、人口減・少子高齢化が問題となっている我が国の地域創生に寄与するところは大きい。

—独創力とは思慮深い模倣以外の何ものでもない (ヴォルテール) —

文部科学省科学研究費新学術領域「生物規範工学」 プロジェクト終了公開講演会要旨集

バイオミメティクスこそが 持続可能なイノベーションである

文部科学省科学研究費新学術領域「生物規範工学」プロジェクト終了公開講演会

「バイオミメティクスは生態系サービスである」との基本コンセプトに基づき、TEEB=『生態系と生物多様性の経済学（The Economics of Ecosystem and Biodiversity）』の視点から、制約された環境の下において自然の循環と経済社会システムの循環の調和を目指す持続可能な“モノづくり”と“街づくり”に向けたパラダイムシフトとイノベーションをもたらすことで、持続可能な開発目標（SDGs : Sustainable Development Goals）について議論を始める異分野連携の場であるNPO法人バイオミメティクス推進協議会の発足を記念した講演会を開催し、SDGs宣言を行う。

開催日：2018年2月2日（金）

場所：野村コンファレンスプラザ日本橋

主催：NPO法人バイオミメティクス推進協議会、文部科学省科学研究費『生物規範工学』

協賛：高分子学会バイオミメティクス研究会

参加費：無料

プログラム

13:00 開会の挨拶 下村 政嗣（千歳科学技術大学）

【基調講演】

13:05 TEEB、SDGs、都市設計、地域創生とバイオミメティクス
馬奈木 俊介（九州大学都市研究センター）

【招待講演】

13:45 持続可能な街づくりの先進的とりくみ：近江八幡 小舟木エコ村のとりくみ
飯田 航（NPO法人エコ村ネットワーク）

14:15 招待講演「我が国の企業動向とバイオミメティクスに期待するもの」
今泉 雅裕（NBCI バイオミメティクス分科会）

【持続可能な社会に向けて 「生物規範工学」の成果と今後の展望】

14:45 海洋からの生態系サービスとバイオミメティクス
出口 茂（海洋研究開発機構）

15:10 持続可能な農業とバイオミメティクス
森 直樹（京都大学農学研究科）

15:35 省エネ技術とバイオミメティクス
穂積 篤（産業技術総合研究所）

16:00 生物多様性データベースとバイオミメティクス
野村 周平（国立科学博物館）

16:30 バイオミメティクスの国際標準化と国際動向
平坂 雅男（高分子学会）

16:50 バイオミメティクス推進協議会によるSDGs宣言
下村 政嗣（千歳科学技術大学）

17:00 閉会



特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会はSDGsを支援しています。

TEEB、SDGs、都市設計、地域創生とバイオミメティクス

TEEB, SDGs, Urban Design, Regional Plan, and Biomimetics

[要旨] 今住んでいる地域がどのように今後も良いと言えるかの指標が提案されている。将来の世代の豊かさや幸せを如何に確保しているか、金銭単位の単一指標で示した指標が新国富指標である。国連「富の計測プロジェクト」の成果では、新国富指標は人工資本、教育資本、健康資本、自然資本と呼ぶものを足し合わせ、気候変動による被害、原油価格の上昇で得られるキャピタルゲイン、技術進歩などを反映する全要素生産性などで調整したものである。本研究では TEEB、SDGs、都市設計、地域創生とバイオミメティクスを関係付ける指標と価値そして今後について提案する¹⁻¹¹⁾。

国内の生活基盤、産業基盤、農林水産、国土保全目的を考えると、いかにインフラを効果的につくっていくかが大事になる。このインフラ投資が現状維持される場合をベースラインとして、今後の深刻な社会現象である人口減少を考慮した場合、さらに少子高齢化まで考慮したシミュレーションを実施した。今後の投資の選択・集中を考える際にマクロ的な視点での優先順位を考える結果である。

しばしば、インフラ投資の資金調達においてPFI (private finance initiative) により民間の資金やノウハウの活用をすれば良いという意見もある。実際に、PFIはインフラの維持・更新への有効な解決策ではある。しかし、あくまで事業性(地域としての持続性)がある場合に限るのであって、事業性がない場合には、使えない。その公的な関係での事業性が新国富の面から持続的かどうかということである。限られた予算の中で、いかににより福祉を高めるという視点から優先順位を立てていくことに今後はなるといえる。この新国富の総合的な豊かさのことを考慮して、地域ごとのインフラ整備を今後は進めていく必要がある。

馬奈木俊介 Dr. Shunsuke Managi

所属：九州大学主幹教授・都市研究センター長
Distinguished Professor of Technology and Policy
Director, Urban Institute
Urban Engineering & Economics Laboratory
Departments of Urban and Environmental Engineering
Global Environmental Engineering Program
School of Engineering, Kyushu University

744 Motooka Nishi-ku Fukuoka
819-0395, Japan
Tel. 81-92-802-3429
E-mail: managi.s@gmail.com

学歴/職歴

1999年 九州大学大学院工学研究科修士課程
2002年 ロードアイランド大学博士後期課程修了 博士(経済学)
2014年 九州大学主幹教授・都市研究センター長
2014年 東京大学客員教授(兼任)
2008年 経済産業研究所フェロー(兼任) (現在、人工知能の経済学プロジェクト代表)



参考文献

- 1) Managi, S. (Eds.) 2016. "The Wealth of Nations and Regions." Routledge, New York, USA.
- 2) Managi, S. (Eds.) 2015. "The Routledge Handbook of Environmental Economics in Asia." Routledge, New York, USA.
- 3) 馬奈木俊介（編著）『豊かさの価値評価—新国富指標の構築』中央経済社，2017年
- 4) 馬奈木俊介・池田真也・中村寛樹『新国富論—新たな経済指標で地方創生』岩波ブックレット，岩波書店2016年
- 5) Managi, S., Z. Zhang and S. Horie 2016 "A Real Options Approach to Environmental R&D Project Evaluation", Environmental Economics and Policy Studies 18 (3): 359-394.
- 6) 馬奈木俊介（編著）『エネルギー経済学』中央経済社，2014年
- 7) 馬奈木俊介（編著）『環境・エネルギー・資源戦略：新たな成長分野を切り拓く』日本評論社，2013年
- 8) 馬奈木俊介，IGES（編著）『グリーン成長の経済学—持続可能社会の新しい経済指標』昭和堂，2013年
- 9) 馬奈木俊介『環境と効率の経済分析—包括的生産性アプローチによる最適水準の推計』日本経済新聞出版社，2013年
- 10) 馬奈木俊介・林良造（編著）『日本の将来を変えるグリーン・イノベーション』中央経済社，2012年
- 11) 馬奈木俊介，豊澄智己『環境ビジネスと政策—ケーススタディで学ぶ環境経営』昭和堂，2012年

エコ村が拓く持続可能な社会 ～近江八幡 小舟木エコ村～

The Eco-village Project in Kobunaki to open up Sustainable Society

[要旨]エコ村構想は、環境ビジネス発展についての議論を出発点にしている。環境分野を新たな成長経路とする考え方ではなく、産業システム全体を再構築しようとする考え方をコミュニティから実現しようとするものである。本講演では、SDGs に関連する持続可能なまちづくりの観点からエコ村を概説し、最初の事例である「小舟木エコ村」を紹介する。

エコ村とは、NPOエコ村ネットワーク(以下、エコ村NW)が2000年に提唱した、生活質改善の意欲を推進力として自然資本と社会資本を豊かにする財・サービスと消費のシステムが具現化された社会を、小さなコミュニティから創造しようとする「持続可能なコミュニティモデル」である。

順調に発展している工業社会では、自然資本と社会資本に支えられて経済が発展することで生活に物質的豊かさをもち、豊かな生活を求めることが経済を発展させる好循環が生まれる(Fig. 1)。

しかしこの発展は持続しない。経済の規模が拡大し、社会資本と自然資本を傷つけられることで生活質の劣化が進むと、経済の発展と生活質の改善はうまく結びつかなくなる(Fig. 2)。

失われた社会資本や自然資本を代替する財・サービスを市場で賄おうと経済を拡大する方法を選択しても、自然資本と社会資本の充実に寄与するものではなく対処療法にすぎない(Fig. 3)。

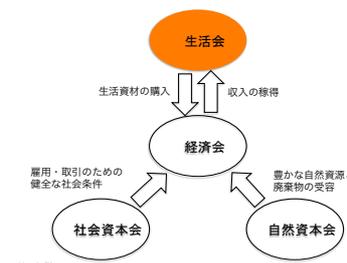
このことは今日の社会が地球規模で直面している課題の解決を、経済の発展に委ねるのみでは困難だという本質的理解を助けるものでありSDGsと共通する問題意識である。経済に主導されるシステムから、生活が経済を主導するシステムへの転換が必要なのである。

生活質を改善する意欲は、それを充足しようとする財・サービスを提供する機会を経済活動に創出し、新たな雇用と所得を生み出すコミュニティにおける人間同士の結びつきを取り戻すことで社会資本は強靭さを回復する。更に生態系を豊かにし、健全な物質循環を築いていく限り自然資本は充実し、社会全体が持続的に発展するための基盤となりうる(Fig. 4)。

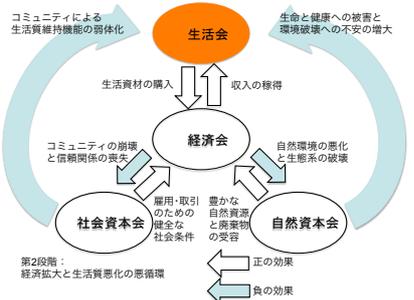
生活質とは貨幣の量や財・サービスの消費量で測られるようなものではなく、人間同士の助け合い、人間と自然の触れ合い、自発的に働きかける行動の結果として得られる感動や感謝、成長、幸福感などが総合されたものである。経済は重要かつ大きな位置を占めることは明らかだが社会全体をリードする総体性を持っていない。総体性から考えれば、経済と社会、自然のすべてをつなぎ持続可能な社会へ導く力を持っているのは生活質の改善において他にない1)。

生活質の改善を模索し実践するプロセスは持続可能な社会システムをデザインする方法をより良くすることにつながる。つまり生態系という多様な生命の総合的で強靭な関係性について理解を深め、意識的に生態系と人間生活との関係性を構築しようとするイノベーションの場がエコ村の本質である。

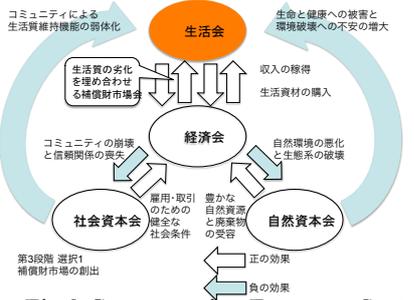
その具体化プロセスは創造性に富んでいる。「自考自築」の精神のもと企業、行政、大学、市民、金融機関が参画するエコ村NWが中心となり「産官学民金」が連携。国内外の第一人者を招聘したセミナーやワークショップを精力的に開催し、2002年にエコ村国際シン



第1段階：経済拡大と生活改善の好循環
Fig.1 Virtuous Circle of Economy and Life



第2段階：経済拡大と生活質悪化の悪循環
Fig.2 Vicious Circle of Economy and Life



第3段階 選択1 補償財市場の創出
Fig.3 Compensation Economy System



第3段階 選択2 生活質からライフスタイルと社会システムの再構築
Fig.4 Quality of Life oriented system

ポジウムにて基本理念となる「エコ村憲章」制定と候補地選定を果たす(近江八幡市小船木町)。2003年には事業法人株式会社地球の芽(以下、地球の芽)と地域連携組織である小舟木エコ村推進協議会を設立。2004年には水、エネルギー、物質循環と社会の健全性についての具体的なプロジェクトを取組主体別に整理した「エコ村で取り組む23の課題」(以下、23の課題)(Fig. 5)とそれに対応するマスタープランを描き出すなど、延べ3000名を超える有志によって成果をあげていった。

小船木エコ村はその後3年に及ぶ許認可手続を経て、約15haの敷地に370世帯1400人が暮らす環境共生型コミュニティとして2008年に地球の芽によって事業化された。官民が連携した計画段階から一転、民間事業を許可するものとされるものという担当部局との協議は難航。有機的に計画された道路、浸透性舗装、電柱地中化、生物汚水処理、街路樹などは維持管理優先の行政指導によって断念することとなり、ビオトープ調整池、緑あふれる公園も更地に。地域農業連携型菓子工房や事業所や共同住宅などの用途混在も認められず、様変わりしたマスタープランに対する関係者の落胆はとりわけ大きかった。

しかしエコ村の本質は美しいマスタープランではなく、主体的なイノベーションである。地球の芽は再び「23の課題」に立ち返り、新たな住民組織と公共空間の維持管理の仕組みをつくり、行政に寄付した後にシンボルツリーや街路樹の植樹、浸透性舗装、電線地中化を一部で実現。私有地となる各区分には近隣の農村集落を参考に家庭菜園の設置を発案し、食べられる景観によるビオトープ化、生ゴミ循環利用、雨水活用など「農」を中心とした生活のストーリーへと展開。苦心の末「小船木エコ村風景づくり協定」というコミュニティづくりの仕組みを整えた。単なる制約条件として映ることを防ぐ配慮から、取り組む理由や具体的な手法を明記したライフスタイルデザインコード「小船木エコ村 風景づくりの手帖」を作成。各項目はA, B, Cの3段階にレベル設定することで入居者の意識や関心の違いをある程度許容したうえで、達成度や継続性が一定レベルで保たれるようにした。協定は計画地全体に制定され、市の認定を受けた公の約束事として地権者組織である小船木エコ村風景づくり協定運営委員会によって運営されている。

一貫して配慮したことは住民自身が「できるようになる」、エコ村に「なっていく」ために不可欠な「主体的な意識変化」を促すハートウェアの充実だ。住民が自考自築し、コミュニティにつながる機会創出に努めた。開村から10年。家庭菜園は世代間交流の場となり、オーガニックカフェの立地や子育てサロン、寺子屋活動など社会的活動も生まれ、エコ村らしい風景が育まれている。小船木エコ村はエコ村の可能性を現在も拓きつづけている。

エコ村で取り組む23の課題



Fig.5 23 projects for Eco-village

謝辞: バイオミメティクス推進協議会の下村政嗣先生と会員の皆さま、エコ村NWの滋賀県立大学仁連孝昭先生、株式会社秋村組秋村田津夫会長と理事の皆さま、株式会社地球の芽のメンバーとエコ村関係者の皆さま、そして小船木エコ村の住民の皆さまにこの場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献:

- 1) 仁連孝昭, 環境技術 2003, Vol. 32, NO. 10 762-768.
- 2) NPOエコ村ネットワークキング, 小船木エコ村ものがたり, 116-120

飯田 航 Wataru Iida

所属: 特定非営利活動法人エコ村ネットワークキング 副理事長

Vice Chairman, NPO Eco-mura Networking

住所: 滋賀県近江八幡市小船木町733-21 小船木エコ村 近江八幡エコハウス内

Omi-hachiman Eco-house, 733-21 Kobunaki, Omi-hachiman, Shiga 523-0083, Japan

電話: +81 (0)748-38-7594

E-mail: wataru.iida@akimura.co.jp

学歴/職歴

2002年 東京農工大学農学部地域生態システム学科修了

2002年 株式会社秋村組 入社

2006年 株式会社地球の芽 取締役 (2011年~株式会社プラネットリビング)

2008年 特定非営利活動法人エコ村ネットワークキング 副理事長



我が国の企業動向とバイオミメティクスに期待するもの

Trend of domestic industry and expectation for the biomimetics

[要旨] ナノテクノロジービジネス推進協議会(NBCI)¹⁾の会員企業において、バイオミメティクスへの関心が高まったことから、2015年にバイオミメティクス分科会が発足した。分科会では主に、ロードマップ作成や人脈形成を進めている。本講演では、分科会活動から見えてきた国内企業の動向と会員企業の具体的な製品化事例に関して述べる。

生物がもつ機能を学び、構造を模倣することから発想のヒントを得て、技術開発やものづくりに生かすバイオミメティクス研究が注目されている。このようなプロセスを経て実用化に至った製品が、市場には多数登場している。これらの製品開発では、最初から生物が持つ機能性に着目して製品化を試みたものや、製品化してみたら生物がもつ構造・形状に似ていたものなど、様々なケースがある。いずれにせよ、生物が自然環境の下、進化を重ねて獲得した機能を参考に、従来からの製品開発における課題解決のヒントとしたことは間違いない。

我々、NBCIは、「日本のナノテクビジネスを早期に立ち上げるとともに、世界を牽引できるナノテクビジネスの基礎を築く」ことを目的に2003年に設立され、2008年に一般社団法人となった。参画組織の過半は民間企業で構成されている。NBCIには、テクノロジー委員会の下に分科会、研究会、ワーキンググループが組織され、バイオミメティクス分科会は、その1つである。

バイオミメティクス分科会における活動を、幾つか紹介する。技術ロードマップに関しては、2016年度のNEDOのバイオミメティクスロードマップの策定活動と連携し、NBCI会員企業の意見をロードマップに反映させた。また、人脈形成においては、年5回程度の会合の際に、アカデミアなどから専門家をお呼びし、講演会を開催している。これまでに文科省新領域「生物規範工学」の関係者や特許庁等から14名の講師にご講演いただいた。参画企業は、バイオミメティクス製品を既に創出している先行企業とは限らないため、これらの活動は、人脈形成の他、知識の共有という点でも有効な活動となっている。

また、分科会活動として、参画企業へバイオミメティクス実用化上の課題をアンケート調査し、北陸先端大学溝口教授のバイオミメティクスオートロジーシステムへ要望を出すなどの活動を実施している。

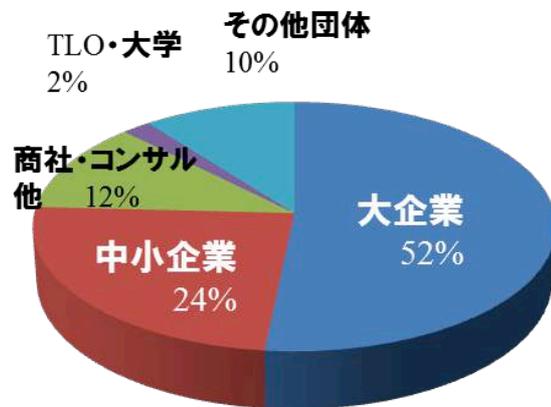


Fig.1 Breakdown of NBCI members



Fig.2 NBCI Organization

更に、企業において「標準化」は事業化の際に、機会にも脅威にもなり得る。とりわけ近年では、研究開発、知財、標準化等の整備が並行して進行するため、その動向を常にウォッチすることは非常に重要である。バイオミメティクス分野においても、国際標準化の動きがある。そのため、各国の動向や国内状況の把握は、研究開発や事業戦略の面からも大変重要な情報となり得ている。

一方、バイオミメティクス活用上の課題の分析も行った²⁾。バイオミメティクスの製品化が先行している企業においては、学会情報の入手や、既にバイオミメティクス製品を出した企業との共同開発で生物的な知見を導入した上で、自社開発した事例が多いことがわかった。反面、バイオミメティクスの面白さは理解できても、何から手を付けてよいのかわからない、とっかかりや着眼をどこに得るかが難しい等、課題も抽出された。

このような課題の解決にあたり、文科省新領域「生物規範工学」で構築したツール（データベース）の活用は、生物の機能を見出だしやすくなるため、上述したハードルを下げる可能性が高い。企業内においても、バイオミメティクス研究の活性化につながるものと期待される。

また近年我が国において、持続可能な開発目標（SDGs）実施指針が示された。これを受けて、国内の主要企業、業界団体等においても、SDGsに対する関心も高まっている。企業においては、具体的な取り組みも始まっているが、「社会貢献」に留まらず、継続的な取り組みに繋がるよう心がけることが重要と考える。バイオミメティクスの活用が、持続可能な開発の一助となり、事業機会と関連付けられることを期待する。

参考文献：

- 1) <https://www.nbci.jp/>
- 2) https://www.mizuho-ir.co.jp/publication/report/2017/mhir13_bio_01.html

今泉雅裕 Masahiro Imaizumi

所属：日本化薬（株）機能化学品研究所
（一社）ナノテクノロジービジネス推進協議会
Functional Chemicals R&D Laboratories, Nippon Kayaku Co., Ltd.
Nanotechnology Business Creation Initiative (NBCI)

住所：東京都北区志茂3-31-12
31-12, Shimo 3-choume, Kita-ku, Tokyo 115-8588, Japan

電話：+81 (0)3-3598-5096
Fax：+81 (0)3-3598-5431
E-mail：masahiro.imaizumi@nipponkayaku.co.jp

学歴/職歴

1993年 群馬大学大学院工学研究科材料工学専攻博士前期課程修了
1993年 日本化薬（株）入社 化学品研究所 配属
2008年 日本化薬（株）研究開発本部 研究企画部
2009年 東京農工大学大学院工学府応用化学専攻博士後期課程修了 博士（工学）
2011年 日本化薬（株）機能化学品研究所

海洋からの生態系サービスとバイオミメティクス

Ecosystem Services from the Ocean and Biomimetics

[要旨]1972年にローマクラブが発表した「成長の限界」と題したレポートは、人口増加や環境汚染などの傾向が続けば100年以内に地球上の成長は限界に達すると予測し、人間社会のあり方に警笛を鳴らした。それから半世紀近くが経過したが、持続可能社会の実現に向けた状況は悪化の一途をたどっている。このような強い危機感のもと、2015年秋の国連総会で採択された「持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals, SDGs）」では、2030年までに達成すべき17の個別目標が具体的な行動指針として掲げられた（図1）。



Fig. 1. Sustainable Development Goals

持続可能社会の実現に向けた技術的方策を、誕生以来、幾多の絶滅の危機を乗り越えて豊かな多様性を維持して来た生物に学ぶという考え方は極めて理にかなっている。生物が有する多様性と持続可能性は、40億年以上にわたる進化という名の壮大なる試行錯誤の産物であり、そこには「生物の技術体系」とも言うべき、「人間の技術体系」とは根本的に異なる技術パラダイムが存在する。バイオミメティクス（生物模倣）とは、生物が豊かな多様性を維持し続けてきた仕組みを解明・模倣することによって、持続可能社会の実現に向けた新たな技術を生み出そうとするものである。

平成24年度に下村政嗣教授（千歳科学技術大学理工学部）を代表として発足した科学研究費補助金新学術領域「生物多様性を規範とする革新的材料技術」（平成24年度～平成28年度、領域名称『生物規範工学』）では、生物表面のナノ・マイクロメートルサイズの構造を模倣して優れた材料を開発することを目指して活動を行った。自然史学、生態学、動物学、農学、発

出口 茂 Dr. Shigeru Deguchi

所属：国立研究開発法人海洋研究開発機構 海洋生命理工学研究開発センター長
Director, R&D Center for Marine Biosciences,
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

住所：神奈川県横須賀市夏島町2番地15
2-15 Natsushima-cho, Yokosuka 237-0061, Japan

電話：+81 (0)46-867-9679
Fax：+81 (0)46-867-9715
E-mail: shigeru.deguchi@jamstec.go.jp

学歴/職歴

1996年 京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了 博士（工学）
1997年 科学技術振興事業団 長期在外若手研究員（スウェーデン、ルント大学）
1999年 海洋科学技術センター（現 海洋研究開発機構）入所。研究員、グループリーダー、チームリーダーなどを
経て2014年より現職



生学、材料化学、機械工学、物理学、情報学、社会学など、専門分野がきわめて多岐に渡る研究者ネットワークを構築して研究を進めてきた成果として、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総合的なエンジニアリング体型であるとの認識を持つに至った。それを基に生み出されたのが、生物世界の最も高次の階層である「生態系」に学んだバイオミメティクス（生態系バイオミメティクス）という考え方である。

SGDs に掲げられた目標の一つに「包括的で安全かつ強靱で持続可能な都市及び人間居住の実現（ゴール 11）」がある。20 世紀初頭以来、世界人口は急激に都市化し、2005 年の時点で世界人口の 49%（32 億人）が都市に暮らしている（『国連世界都市化予測』報告）。さらに 2050 年までには人類の 3 分の 2 にあたる 60 億人以上が都市に住むと予測されている（国際連合人間居住計画 2006 年年次報告）。つまり都市を持続可能な形へと転換することは、持続可能社会を実現するために極めて重要な課題である。生物とそれを取り巻く非生物的環境から構成される生態系は、まさしく持続可能な都市の姿そのものである。このような生態系の維持に関わる生物の仕組みを解明・模倣した新たな技術体系を創出できれば、それを基に都市設計、デザイン、建築、材料、部材、施工、維持・管理、リサイクルなど、都市の基盤となる生活インフラ（住居、オフィスビル、車など）や社会インフラ（道路、通信、電気、ガス、水道など）に関連した様々な“ものづくり”技術を持続可能な形で実現できると期待される。

海洋には「生態系バイオミメティクス」の規範が多く存在する。例えば深海の熱水噴出孔周辺には、場所によってはサンゴ礁に匹敵するほど多くの生物が生息している（図 2）。光が届かず光合成ができないこの生態系を 1 次生産者として支えているのは、熱水に含まれる還元的化学物質を酸化した際に発生するエネルギーを使って物質生産を行う化学合成微生物である。これは自然界に生態系を支える多様なエネルギー獲得手段が存在することを意味する。またアマミホシゾラフグは、海底にミステリーサークルのような見事な幾何学模様の産卵底を造り上げる¹⁾。その造り方には、従来技術とは全く異なる建築施工のヒントがあるであろう。



Fig. 2. Chemosynthetic ecosystem around a hydrothermal vent

生態系から人間社会が受けている恩恵を生態系サービスという²⁾。生態系サービスの代表例は食料の確保に代表される「供給サービス」である。また生態系の保全には、観光の場と機会を提供するなどの「文化的サービス」の側面もある。これを産業構造の視点で捉え直してみると、生態系から恩恵を受けていたのは主として第 1 次産業と第 3 次産業ということになる。「生態系バイオミメティクス」は、生態系と製造業、つまり第 2 次産業を結びつける新たな生態系サービスと考えることもできる。

参考文献：

1) Matsuura, K. *Ichthyol. Res.* **2015**, *62*, 207-212.

2) 生物多様性と生態系サービスの経済的価値の評価

<<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/valuation/index.html>>.

持続可能な農業とバイオミメティクス

Biomimetics in sustainable agriculture

【要旨】 作物保護技術として、病害虫に対する作物の抵抗性の付与や化学農薬の利用が主に検討されてきた。一方、これらの保護技術を打破する病害虫が出現してきたのも歴史的事実である。したがって、安定的な食料生産には全く異なる方法論を効果的に用い、「いたちごっこ」を回避する技術が強く望まれる。その技術の一つがバイオミメティクスである。

昆虫－植物相互作用

広食性のチョウ目ハスモンヨトウ幼虫はダイズの大害虫である。ダイズにはハスモンヨトウに食害されにくい抵抗性品種がある。しかし、抵抗性品種がどのようにして幼虫の食害を退けるのか、その抵抗性メカニズムは十分解明されていない。本研究では、幼虫によるダイズ葉の摂食量を経時的に定量する手法を確立し、葉表面の毛茸の物理性および毛茸に含まれる化学成分に着目した。その結果、ある品種では物理性に加えて、毛茸に蓄積されるフラボノール類がハスモンヨトウ幼虫の摂食阻害活性を持つことを認めた。食害で傷ついた毛茸から摂食阻害物質が滲出し、これにより幼虫の食害が退けられる機構が明らかになった。また、これらのフラボノール類は幼虫のだ液により、毛茸に蓄積された¹⁾。

きこの栽培用の原木の害虫であるカミキリムシにおいて、特定周波数の振動に対する行動反応の閾値を得た。また、超磁歪素子を用いた振動発生装置の試作機を用いて室内評価試験をおこなったところ、本種は振動によって歩行の停止等の行動反応をひきおこした。さらに、果樹の害虫であるチャバネアオカメムシの脚に内在する弦音器官2種、腿節内弦音器官ならびに膝下器官を特定した。両者とも少数の感覚細胞からなり、構造から振動受容性の特徴を持つ。これらの弦音器官は、他種のカメムシにも存在した²⁾。これらの害虫に対して、振動による行動制御は、新たな作物保護技術として適用可能となる。

森直樹 Dr. Naoki Mori

所属：京都大学大学院 農学研究科 応用生命科学専攻 教授
Professor, Division of Applied Life Sciences, Graduate School of Agriculture
Kyoto University

住所：京都市左京区北白川追分町
Kitashirakawa Oiwake, Sakyo, Kyoto 606-8502, Japan

電話：+81 (0)75-753-6307
E-mail: mori.naoki.8a@kyoto-u.ac.jp

学歴/職歴

1988年 呉羽化学工業株式会社勤務
1996年 京都大学大学院農学研究科博士課程（農芸化学専攻）修了 博士（農学）
1997年 京都大学大学院農学研究科応用生命科学専攻 助手
1998年
－2000年 米国農務省研究所（United States Department of Agriculture, Center for Medical, Agricultural, and Veterinary Entomology）博士研究員（京都大学と兼任）
2004年 京都大学大学院農学研究科応用生命科学専攻 助教授
2007年 京都大学大学院農学研究科応用生命科学専攻 准教授
2016年 京都大学大学院農学研究科応用生命科学専攻 教授



昆虫－昆虫相互作用

2成分系フェロモンブレンドを利用するヒメアトスカシバ (*Nokona pernix*) からPR遺伝子を単離し、アフリカツメガエル卵母細胞を用いて成分選択性を解析した。NpOR1、NpOR3はそれぞれEZ体、ZZ体のフェロモン成分に特異的に応答することが分かった。また、*in situ*ハイブリダイゼーションを用いて、触角における局在様式を明らかにし、PRの選択性と局在様式（嗅覚受容細胞の割合）に基づき検出モデルを構築した。さらに、4成分系フェロモンブレンドを利用するキマエホソバ (*Eilema japonica*) から、RNAseqによりオス優勢的に発現するPR候補遺伝子を単離した。RNAseqによる遺伝子発現量解析の結果、触角において各候補遺伝子が異なる割合で発現していることが分かった (Fig. 1)。

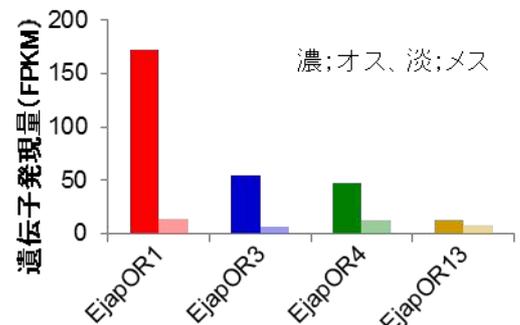


Fig. 1 Expression levels of PR candidate genes in antennae by RNAseq analysis.

昆虫の表面構造

昆虫の微細な表面構造として、ナノパイル構造（直径50 nm、高さ200-250 nmの微小突起が集積する構造）が知られている。ナノパイル構造が高い反射軽減効果を示すこと、さらには高い撥水性を示すことが知られている。興味深いことに、このナノパイル構造が他種の昆虫の攻撃を避ける機能も有することが新たに見出された³⁾。実際、同様のナノパイル構造を持つシートを作成し、農業害虫種を含む20目100種を垂直に立てたシート上で歩かせたところ、全てが滑落した。昆虫の脚先は微細な突起構造や袋状の構造が見られ、この構造が高い接触性を示す。ナノパイル構造のシート上ではこの構造の実効接触面積が下がり、ファンデルワールス力が低下した結果、昆虫は滑落すると考えられる。本素材は“構造的な害虫制御基剤（構造農薬）”と位置付けられ、農業だけでなく害虫の行動制御が必要な幅広い分野での応用が期待される。

謝辞：

本研究は、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）の研究プロジェクトの支援のもと、主にB01-4班で得られた成果である。特に、振動を用いた害虫制御と受容器の特定は高梨琢磨博士（森林総研）、西野浩史博士（北海道大学）、フェロモンブレンドの受容機構の解明は光野秀文博士（東京大学先端科学技術研究センター）、ナノパイル構造による昆虫の滑落研究は針山孝彦博士（浜松医科大学）による成果である。

参考文献：

- 1) Nakata, R.; Kimura, Y.; Aoki, K.; Yoshinaga, N.; Teraishi, M.; Okumoto, Y.; Huffaker A.; Schmelz, E. A.; Mori, N. J. *Chem Ecol.*, 2016, 42, 1226-1236.
- 2) Nishino, H.; Mukai, H.; Takanashi, T. *Cell Tiss Res.*, 2016, 366, 549-572.
- 3) 針山孝彦、魚津吉弘、向井裕美、山濱由美、弘中満太郎、高久康春、石井大祐、大原昌宏、野村周平、長谷山美紀、原滋郎、下澤盾夫、下村政嗣 *日本応用動物昆虫学会誌*、2014, 58, 79-91.

省エネルギーとバイオミメティクス

Biomimetics is the Only Way for Saving Energy

[要旨]平成 24 年度科学研究費補助金 新学術研究領域「生物多様性を規範とする革新的材料技術（生物規範工学）」の支援を得て開発してきた、表面/界面制御に特化したバイオミメティック材料を紹介するとともに、これらのシーズ技術を持続可能な“モノづくり”や“街づくり”に生かし、どのようにしてSDGs（持続可能な開発目標）や省エネルギーを達成していくかについて演者らの将来展望を述べる。

演者が生物の持つ特異な濡れ性を模倣したバイオミメティック材料に関する研究をライフワークにするきっかけとなったのは、1997年、博士課程の学生の時、プラズマCVDの成膜条件ミスで偶然にできてしまった超撥水薄膜に遡る¹⁾。くしくもこの年は、ドイツ、Bonn大学のWilhelm Barthlottらが蓮の葉効果の論文を発表した年でもあり²⁾、日本では辻井薫ら（当時、花王）が既に超撥油材料（アルミニウムの陽極酸化皮膜をフッ素化合物で処理）を開発した年でもあった³⁾。それから20年たった今、世界的なバイオミメティクスブームの追い風も受け、超撥水/撥油材料に関する研究分野は再び活況を呈している。しかしながら、旺盛な基礎研究とは対照的に、蓮の葉模倣のバイオミメティック材料の実用化は一向に進んでいないのが現状である。この主たる要因は、人工材料には自己修復機能がないことに尽きる。これに対し、生物は、常温・常圧という極めて温和な条件下で、汎用元素を利用し、その表面構造を最適化することにより、必要な表面機能（超撥水性や防汚性）を発現させている。また、表面からプラントワックスや粘液を分泌することで表面を再生/修復し、表面機能を持続させている。このような生物の持つ機能発現、自己修復メカニズムに倣い、機能性物質（例えば、撥液剤、補修剤、防錆剤など）が何らかの外部刺激により徐放されるような機能を材料に導入することができれば、基材耐久性の飛躍的な向上、表面機能の長期に渡る持続が期待できる。演者らは、このような生物の分泌に倣ったバイオミメティック材料を「分泌系バイオミメティクス材料」として位置づけ、その開発に注力してきた。下記に、生物規範工学で開発した分泌系バイオミメティクス材料の概略を示す。

1. 多機能性透明防錆皮膜

テトラアルコキシシランとアルキルシランとのゾル-ゲル反応と自己組織化反応により生成する層状構造を有する透明ハイブリッド皮膜に着目し、その層間に、機能性分子（防錆剤）を導入することにより、生物のように一つの表面構造で複数の機能（優れた撥液性、自己補修機能、撥液性の再生、長期防錆性）を発現させることが可能となった。⁴⁾

穂積 篤 Dr. Atsushi Hozumi

所属：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 構造材料研究部門 研究グループ長
Group leader, Structural Materials Research Institute,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

住所：名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞2266-98
2266-98 Anagahora, Shimoshidami, Moriyama, Nagoya 463-8560, Japan

電話：+81 (0)52-736-7388
Fax：+81 (0)52-736-7406
E-mail：a.hozumi@aist.go.jp



学歴/職歴

1997年 名古屋大学大学院 工学研究科 博士課程後期課程修了 博士（工学）
1999年 通商産業省 工業技術院 名古屋工業技術研究所入省
2007年 （独）産業技術総合研究所 サステナブルマテリアル研究部門 環境セラミックス研究G 主任研究員
2010年 同部門 高耐久性材料研究G 研究グループ長を経て、現在に至る。

2. SLUG (Self-lubricating gels)

ナメクジの体液分泌による優れた防汚機能に着目し、ゲルから液体が押し出される離漿（りしょう）という現象を利用することで、撥液成分や不凍液を自己徐放する機能を持った新しい撥液材料であるSLUGを開発した。SLUGに充填する液体を用途に合わせて選択することで、難付着性、熱応答型着氷雪防止機能、生物付着抑制機能、自己修復型超撥水性を得ることが可能となった。^{5,6)}

この他にも、魚類体表の多機能性（超親水性、防汚性、水中超撥油性など）に着目した自己修復材料や表面処理技術も開発している。^{7,8)}

SDGsの17目標のうち、演者らの開発した“分泌系バイオミメティクス材料”が貢献できるのは、安心・安全（目標：6,11,12,14）、エネルギー（目標：7,9,11）、資源・リサイクル（目標：9,11,12）の分野であると考えている。特に、持続可能な“モノづくり”には、常温・常圧プロセス、特殊元素に依存しない汎用元素の利用が必要不可欠である。自己組織化を利用した多機能性透明防錆皮膜は、有機フッ素化合物を一切利用していないが、優れた撥水/撥油性、自己補修機能、長期防錆性があるため、橋梁や管渠などの社会インフラの腐食防止、長寿命化に役立つ。また、SLUGは現在、NEDOの支援を受け、雪国における冬季の太陽光パネルの発電効率向上を目指し、改良を進め、社会実装の一手手前まで開発が進んでいる。将来的には住宅用太陽光パネルへの展開も視野に入れている。SLUGは信号機のLED化で問題となっている冬季着雪による信号機の識別不良改善や、雪国の融雪ヒーター代替技術にも貢献できる。その他にも、発電所の機器冷却用海水設備や船底に付着し、冷却効率や速度を低下させるフジツボの付着抑制機能もある。このように、“分泌系バイオミメティクス材料”は低環境負荷で省エネルギーを達成できるため、持続可能な“モノづくり”や“街づくり”に有効な材料であるといえる。

まとめ：

人工材料の最大の課題である表面機能の持続性向上と自己修復機能付与を目指して開発してきた“分泌系バイオミメティクス材料”について紹介した。今後、使用用途に応じ、改良・改善を加え、持続可能な都市及び人間居住に提供できる材料へと進化させていきたいと考えている。また、都市工学や建築といった異分野連携を促進することで、持続可能な“モノづくり”と“街づくり”に貢献できる新しいバイオミメティック材料の開発や、思いもよらない利用法が見つかるのではないかと期待している。

謝辞：

本研究の一部は科研費24120005の助成を受けて行われた。

参考文献：

- 1) Barthlott, W.; Neinhuis, C. *Planta*, **1997**, *202*, 1-8.
- 2) Hozumi, A.; Takai, O. *Thin Solid Films*, **1997**, *303*, 222-225.
- 3) Tsujii, K.; Yamamoto, T.; Onda, T.; Shibuichi, S. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **1997**, *36*, 1011-1012.
- 4) England, M. W.; Urata, C.; Dunderdale, G. J.; Yagihashi, M.; Hozumi, A. *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **2016**, *16*, 9166-9172.
- 5) Urata, C.; Dunderdale, G. J.; England, M. W.; Hozumi, A. *J. Mater. Chem. A.*, **2015**, *3*, 12626-12630.
- 6) Wang L.; Urata C.; Sato T.; England M. W.; Hozumi A. *Langmuir*, **2017**, *33*, 9972-9978.
- 7) Dunderdale, G. J.; Urata, C.; Sato, T.; England, M. W.; Hozumi, A. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2015**, *7*, 18915-18919.
- 8) England M. W.; Urata, C.; Dunderdale, G. J.; Hozumi, A. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2016**, *8*, 4318-4322.

生物多様性データベースとバイオミメティクス

Database of Biodiversity and Biomimetics

[要旨] バイオミメティクスの成果を幅広い科学分野で利活用するためには、生物学、情報科学、工学各分野の連携、すなわち異分野連携が必要である。演者は情報科学の研究者と共同で、科研費新学術領域において、工学研究者の利用を念頭に、昆虫、鳥類、魚類の SEM 画像および 26 項目のテキストデータを統合した、バイオミメティクス・データベースを構築した。

「バイオミメティクスは生態系サービスである」というのは、バイオミメティクスを研究する上での基本的なコンセプトである。しかし地球上の70億年の歴史を経て成立した自然の生態系は、いきなり我々に、誰にでもわかるメッセージを与えてくれるわけではない。バイオミメティクスの場合、生態系が、あるいは生物多様性が我々に与えてくれるヒントを、我々がサービスとして受け取ることができるためには、生物多様性を研究解明し、我々人間側が利用することのできる「情報」に変換してくれるインターフェースが必要である。そのインターフェースの役割を担うことができるのは、実際に野生の生態系の中へ入って行って、生物多様性を研究し、その成果を人間が利用、再利用可能な言語や画像として記録したり、公表したりすることのできる生物研究者である。

このような考えに基づき、平成24～28年度（2012-2016）に実施された科研費新学術領域研究「生物規範工学」において、我々生物研究者は、生物多様性に関するデータ収集とそのデータベースとしての構築を担当した。研究終了時点で約30,000件の生物画像とそれに付帯するテキスト情報を集積した。

このデータベースでは、北海道大学の長谷山美紀教授らによって開発された、「バイオミメティクス画像検索システム」（通称「長谷山エンジン」）（Haseyama *et al.*, 2017）によって、昆虫、鳥類、魚類の走査型電子顕微鏡（SEM）画像の類似検索を行うことができる（図1）。

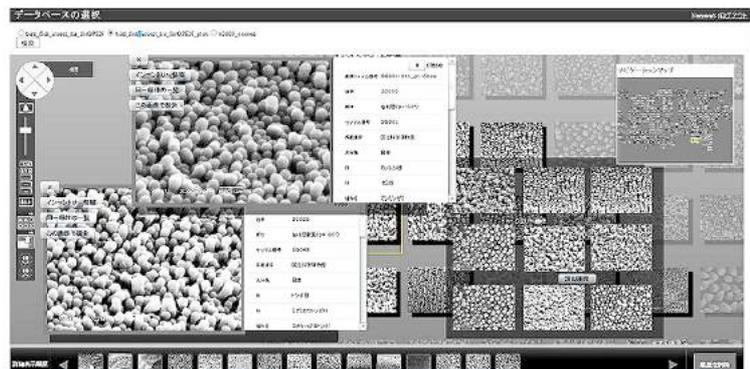


Fig.1 Biomimetics image retrieval platform in which SEM images of organisms and text data were integrated.
(URL: <http://bmireng.ist.hokudai.ac.jp/>)

野村周平 Dr. Shuhei Nomura

所属：独立行政法人 国立科学博物館 動物研究部 陸生無脊椎動物研究グループ長
Chief Curator, Department of Zoology, National Museum of Nature and Science

住所：〒305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1
Amakubo 4-1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0005 Japan

電話：+81 (0)29-853-8901 Fax: +81 (0)29-853-898
E-mail: nomura@kahaku.go.jp

学歴/職歴

1990年 九州大学大学院農学研究科博士課程単位取得退学 農学博士
1990年 九州大学農学部 助手
1995年 国立科学博物館動物研究部昆虫第2研究室 研究官



データベースの中に格納されている生物画像はもちろんのこと、操作するものが任意に選んだクエリ（質問）画像（例えば工業試作品のSEM画像）を入力することによって、それと最も類似する、生物の微細構造の画像を探し出すこともできる。

われわれ新学術領域メンバーは、本データベースを構築するにあたり、格納されている生物SEM画像の1枚1枚すべてに、以下の26項目からなるテキスト情報を付帯させた。

- 1) 画像ファイル番号, 2) 倍率, 3) 部位, 4) サンプル番号, 5) サンプル所蔵場所, 6) 大分類, 7) 目（もく）, 8) 科, 9) 和名, 10) 学名:属名, 11) 学名:種小名, 12) 学名:亜種名, 13) 性別, 14) 採集場所, 15) 採集日, 16) 採集者, 17) 採集環境, 18) 採集法, 19) 生態キーワード, 20) 体長 (mm), 21) 撮影機器, 22) 蒸着, 23) 責任者 24) 備考, 25) 撮影者, 26) データ種別.

これら26項目のテキストデータのうち、19) 生態キーワードの欄に、「水生甲虫、微小、成虫は捕食性」というような生物学的なキーワードだけでなく、「撥水、構造色、モスアイ」などのような、工学的視点からのキーワードも入力した。これは、生物学用語に不慣れな工学者でも、目的の生物種、構造に即座にたどり着くことができるようにするためである。

また、このような工夫によって、新学術領域での共同研究者であった北陸先端大学の溝口理一郎教授や大阪大学の古崎晃司准教授が専攻するオントロジーの分野でも、バイオミメティクスや工学関係の用語とも容易に関連付けができるようにした。古崎准教授らは、バイオミメティクスに関する用語のオントロジーを可視化し、ネット上で検索できるようなサイトをすでに開設している（URL: <http://biomimetics.hozo.jp/>）

（図2）が、「バイオミメティクス画像検索システム」では、この中の用語を使って、絞り込み検索ができるようになっている。

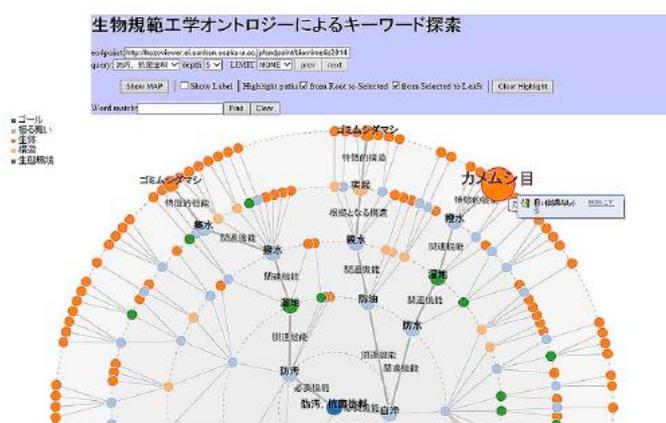


Fig.2. The website of keyword searching by biomimetic ontology opened on internet by Dr. Kôji Kozaki.

以上のような新学術領域「生物規範工学」の5年間の研究によって、生物画像のデータベース構築のノウハウと、それを使った必要情報の検索手法については大枠を立ち上げることができた。今後は、本データベースに格納する画像データとテキストデータをさらに追加して、より確実に、より最適な生物モデルにたどり着くことができる、すなわち本データベースの機能をさらに強化するために、さらなる生物データの収集を計画している。この目的を遂行するため、新学術領域研究終了後、特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会を立ち上げるとともに、バイオミメティクスを対象としたデータジャーナルの運営を企画している。

謝辞：

本研究の一部は科研費24120002の助成を受けて行われた。本研究の内容についてご指導を頂いた、北海道大学情報科学研究科の長谷山美紀教授、小川貴弘准教授、高橋翔准教授に厚く御礼申し上げます。さらに北陸先端科学大学、溝口理一郎教授ならびに大阪大学、古崎晃司准教授に篤く感謝の意を表す。

参考文献：

- 1) Haseyama, M.; Ogawa, T.; Takahashi, S.; Nomura, S.; Shimomura, M. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 2017, *D*, 100 (7) 1563-1573. (doi: 10.1587/transinf.2016LOI0001)

バイオミメティクスの国際標準化と国際動向

International Standardization and Recent Topics on Biomimetics

[要旨] 2012年にISO（国際標準化機構）に新たな技術委員会 TC266（Biomimetics）が設置されてから約6年が経過した。この間、3つの国際規格が発行されている。これまでの国際標準化活動の経緯およびこれらの国際規格の詳細とTC266で議論が行われている持続可能性や環境について報告する。また、国内外の動向について情報を提供する。

バイオミメティクスの標準化は、2007年にドイツ技術者協会（Deutscher Ingenieure: VDI）とドイツ連邦環境基金（Deutschen Bundesstiftung Umwelt: DBU）がバイオミメティクスの技術的なルールとなるガイドラインの作成に着手し、2011年にVDIガイドラインを発行したことから始まった¹⁾。その後、ドイツ規格協会（Deutsches Institut für Normung: DIN）は、2011年5月にバイオミメティクスに関する新しい技術委員会（Technical Committee: TC）の設立をISOに提案した。そして、ISO/TC266 Biomimetics の設置が投票により決定した。ドイツ、フランス、ベルギー、チェコ、日本、韓国、中国、英国、オランダの9ヶ国が参加を表明し、第1回総会が2012年にベルリンで開催された。TC/266には、ドイツ提案に基づく3つワーキンググループ（WG）が設置され、各WGでの審議を経て、ISO 18458: Biomimetics - Terminology, concepts and methodology およびISO 18459: Biomimetics - Biomimetic structural optimizationが2015年に発行され、その後、ISO 18457: Biomimetics - Biomimetic materials, structures and componentsが2016年に発行された。日本は、2013年5月にパリで開催された第2回総会に於いて、「バイオミメティクスのための知識基盤」に関する新たな提案を行い、第4番目のWGの議長国となり活動を行ってきた。

バイオミメティクスの国際標準化の特徴は、市場が形成される前段階での標準化作業であり、発展段階のバイオミメティクスの市場形成を阻害することがないように進められた。バイオミメティクスの概念や方法論について議論がなされ、国際規格にはバイオミメティクスのプロセスとして、Fig. 1に示すように生物の機能からヒントを得てスタートするバイオロジー・プッシュ型と、工学上の問題を解決するアイデアを生物に求めるテクノロジー・プル型が示されている。//

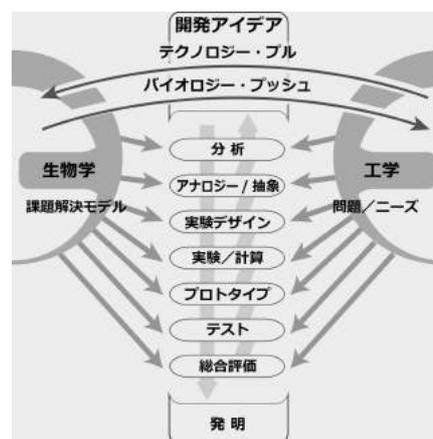


Fig.1 Simplified flow chart of a biomimetic development process.

平坂 雅男 Dr. Masao Hirasaka

所属：公益社団法人高分子学会 常務理事
Managing Director
The Society of Polymer Science, Japan

住所：東京都中央区入船3-10-9 新富町ビル
3-10-9 Irifune Chuo-ku Tokyo, Japan

電話: +81 (0)3-5540-3736
Fax: +81 (0)3-5540-3737
E-mail: m.hirasaka@spsj.or.jp

学歴/職歴

1980年 早稲田大学大学院理工学研究科 修士
1980年 帝人株式会社
1990年 工学博士（北海道大学）
2014年 高分子学会



バイオミメティクスには、3つの重要な要件があり、①生物の機能の解析が行われていること、②規範となる生物の機能やシステムをモデル化していること、③生物そのものを利用することなく工学への技術展開が行われていることである。すなわち、生物を利用するバイオテクノロジーを除外することにより、バイオミメティクスとバイオテクノロジーを区別している。また、製品開発のためにバイオミメティクスの基盤となる生物の機能をどのように活用するかについては、その考え方やプロセスなどがISO 18457に記載され、材料、構造、表面、部品、製造技術の開発のためのバイオミメティクスのフレームワークが示されている。バイオミメティクスを自動車のような構造物の設計と評価に利用する際の構造最適化の手法に関する標準が、ISO 18459である。部品の軽量化のための構造最適化のアルゴリズムの普及を促進することを目的とし、特に、ドイツで用いられているCAO(Computer Aided Optimization)、SKO(Soft Kill Option)、CAIO (Computer Aided Internal Optimization)などが記載されている。

日本が提案した知識基盤の構築は、3つの技術報告書 (Technical Report: TR) で構成されることが2017年のTC/266の総会で決定した。現在、WGではオントロジーの活用、生物学と工学を結び付ける画像検索、発明的問題解決理論であるBio TRIZの素案を作成している。

日本の国際標準化委員会は、TC/266での活動を通して、バイオミメティクスを推進する組織であるドイツのBIOKON (Bionics Competence Network) やフランスのCEEBIOS (Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis) と積極的に関わりを持っている。最近では、CEEBIOSの活動が活発で、ドイツの取組を追い抜く勢いである。最近では、CEEBIOSは、定期的なワークショップを開催すると共に、「バイオミメティクスー未来の創造ー」と題したコンククールやパリの自然史博物館と連携した教育プログラムにも力を入れている。2017年10月にパリで開催されたワークショップでは、LOCIE (環境エンジニアリングと設計のための最適化研究機構) がバイオミメティクスを住環境へ適用して省エネ住宅を実現する研究が紹介され、また、マルセーユに拠点をおくTangram建設が進めるプロジェクトの紹介もあり、建築や街づくりへの関心が高い。一方、米国では、脊椎動物の高解像度のデジタル3次元画像を収集したデータベースの構築がOvert (Open Exploration of Vertebrate Diversity in 3D) プロジェクトとしてスタートしている。脊椎動物の2万以上の液体保存標本をCTスキャンし、オンラインデータポータル (MorphoSource) を介してグローバルに配信される計画である。このようなデータベース化は、バイオミメティクスのデータベース化とも言える。

日本は、世界的にも知られているバイオミメティクスの先行事例を保有していたが、バイオミメティクスの技術や製品開発を支援・推進する組織がないことから、現状では、世界に遅れをとった状況となっている。さらに、バイオミメティクスは学際領域であること、また、幅広い産業応用が期待できることから、研究者や組織間のネットワークの構築が必要とされている。文部科学省科学研究費新学術領域「生物規範工学」プロジェクトにより、バイオミメティクスの学術体系が築かれたこと、また、産業利用に対する期待が大きく、そこで、バイオミメティクスの活用を推進する組織として、特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会²⁾が2017年8月に設立された。この新たな組織は、バイオミメティクスの知識基盤を整備・運用し、産業界、教育機関、研究機関、行政機関および一般市民を対象に、人材育成、研究・開発を支援する事業を行い、環境共生型の社会基盤構築に寄与することを目的としている。バイオミメティクス推進協議会は、バイオミメティクスの知識基盤を整備・運用し、産業界、教育機関、研究機関、行政機関および一般市民を対象に、人材育成、研究・開発を支援する事業を行い、環境共生型の社会基盤構築に寄与することを目的としている。この新たな組織は、当面、①アイデア創出ツールの活用、②製品コンセプトの設計支援、③啓蒙活動や教科書等の出版に注力することになる。

参考文献：

- 1) Beismann, H. and Seitz, H. (2011) “Entwicklung des ersten technischen Regelwerkes für den Transfer bionischer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse in ökologisch vorteilhafte industrielle und technische Anwendungen” Az: 25606, Deutschen Bundesstiftung Umwelt.
- 2) <http://www.biomimetics.or.jp>

バイオミメティクス推進協議会 SDGs宣言

バイオミメティクス推進協議会のSDGsへの貢献

SDGsとは

2015年の9月にニューヨーク国連本部において、「国連持続可能な開発サミット」が開催され、150を超える加盟国首脳に参加のもと、その成果文書として、「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択されました。このアジェンダは、人間、地球及び繁栄のための行動計画として、宣言および目標をかかげました。この目標が、17の目標と169のターゲットからなる「持続可能な開発目標（SDGs）」です。

具体的な17の目標は、下記に示す通りです[1]。

- 目標 1. あらゆる場所のあらゆる形態の貧困を終わらせる
- 目標 2. 飢餓を終わらせ、食糧安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する
- 目標 3. あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する。
- 目標 4. すべての人に包摂的かつ公正な質の高い教育を確保し、生涯学習の機会を促進する。
- 目標 5. ジェンダー平等を達成し、すべての女性及び女児の能力効果を行う。
- 目標 6. すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する
- 目標 7. すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する
- 目標 8. 包摂的かつ持続可能な経済成長及びすべての人々の完全かつ生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用（ディーセント・ワーク）を促進する
- 目標 9. 強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る
- 目標 10. 各国内及び各国間の不平等を是正する
- 目標 11. 包摂的で安全かつ強靱（レジリエント）で

- 持続可能な都市及び人間居住を実現する
- 目標 12. 持続可能な生産消費形態を確保する
- 目標 13. 気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる
- 目標 14. 持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する
- 目標 15. 陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する
- 目標 16. 持続可能な開発のための平和で包摂的な社会を促進し、すべての人々に司法へのアクセスを提供し、あらゆるレベルにおいて効果的で説明責任のある包摂的な制度を構築する
- 目標 17. 持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化

国連は、持続可能な開発目標に対する視覚的な認識を高めるため、17のアイコンを作成した。



図1 SDGsのアイコン

バイオミメティクスとSDGs

バイオミメティクスとは、生物の機能を模倣して工学として応用する、または、工学上の問題点の解決策を生物の機能から見出す技術であり、国際規格

(ISO 18458)においても、持続可能なイノベーションシステムを可能にする技術と記載されています。特定非営利活動法人バイオメティクス推進協議会は、バイオメティクスの知識基盤を整備・運用し、産業界、教育機関、研究機関、行政機関及び一般市民を対象に、人材育成、研究・開発を支援する事業を行い、環境共生型の社会基盤構築に寄与することを目的としていることから、バイオメティクス推進協議会の活動を通してSDGs達成に向けて貢献することができると思っています。

科学技術イノベーション



バイオメティクスの研究開発・産業化を推進し、新たなビジネスモデルによる環境に配慮した新たな市場創出をめざします。これらの取組は、SDGsのターゲットである技術向上及びイノベーションを通じた高いレベルの経済生産性を達成や資源利用効率の向上とクリーン技術及び環境に配慮した技術・産業プロセスの改善に貢献できます。さらに、生態系バイオメティクスは持続可能な都市や住環境の実現に貢献できます。

生物多様性、生息環境の保全



バイオメティクスは、生物を規範とした工学体系であることから、生物多様性戦略と古くから関わりがあり、バイオメティクスを推進する上で、生物多様性や生息環境の保全は切り離すことができません。このような観点から、生物多様性の保全及び持続可能な利用のために、動植物が有する構造や機能のデータ収集及び保存などを推進することによりSDGsに貢献することができます。

グローバル・パートナーシップ



バイオメティクスを推進する上で専門家のネットワークのみならず、組織間のネットワークが重要となります。バイオメティクス推進協議会では、英語名称である“Biomimetics Network Japan”に示されるように国内でのネットワーク構築を推進します。また、海外のバイオメティクスを推進する組織とのネットワークも構築し、グローバルパートナーによる科学・技術及びイノベーションに関する情報の共有化を図ります。これらの活動は、市民社会のパートナーシップを奨励・推進することにも展開し、SDGs達成に向けた貢献につながります。

教育



SDGsのターゲットには、持続可能な開発のための教育及び持続可能なライフスタイルの実現に向けた教育があります。バイオメティクスの知識の普及に留まらず、まちづくり及び地域振興に関わる事業をバイオメティクス推進協議会では計画しています。このような観点から、バイオメティクス推進協議会は、教育活動を通してSDGsの達成を支援していきます。

SDGsへの貢献に向けて

バイオメティクス推進協議会は、バイオメティクスを持続可能性のためのイノベーションシステムと位置づけ、持続可能な開発目標を支援していきます。

そして、バイオメティクスの製品開発の推進や知識プラットフォームの整備に加え、バイオメティクスによる環境デザインの普及にも活動の幅を広げていきます。

[1] 「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」(外務省 仮訳)

海外動向

ISO TC266 Biomimetics ベルリン会議の報告

香坂 玲

東北大学大学院 環境科学研究科

E-mail kohsaka@hotmail.com

本報では、筆者が2017年10月に参加した国際標準化機構（ISO）のTC266 Biomimetics ベルリン会議について報告を行う。

ISO TC266 のワーキング・グループは、下記の4つのグループによって構成されている。それらは、言葉の定義、方法論に関わるもの（WG1）から、構造及び素材に関わるグループ（WG2）、生物学、工学等の知識を基にした原理の抽出を経てなされる、構造の最適化に関するグループ（WG3）、加えて、バイオミメティクスの知識の体系化に関するグループ（WG4）となっている。このグループ構成は、バイオミメティクスの製品の開発プロセスと関わり、WG4については、問題の抽出から発明に至るいずれの部分にも関係する。特に、WG4における、バイオミメティクスに関わる異分野の知識の統合に関わる内容については、開発プロセスの初期的な段階である、既存の技術・製品の問題の抽出、生物学的モデルと技術対象系の類似性の検討といった部分の基盤となる標準化の議論がなされている。

今回筆者は、特にWG4に参加した（図1）。そこでの議論の内容等について、以下に概要を記す。

まず、今回は以下に述べる4つの決議について、大筋合意がなされるかたちとなった。最終的な決議、コンビーナーへの就任については、3か国以上の参加が必要ということでコンビーナーは後日決定となった（投票の結果11月に正式に決定した）。各決議の内容としては、まず、アジェンダの採択、前回議事の採択が含まれる。

- WG1 Terminology and Methodology
- WG2 Structures and materials
- WG3 Biomimetic Structural Optimization
- WG4 Knowledge Infrastructure of Biomimetics



図1 ISO TC266 Biomimetics ベルリン会議の風景

そして、3つ目の決議として、現在の技術報告書（TR）について、カナダ代表とプロジェクトリーダーが協

Biomimetica

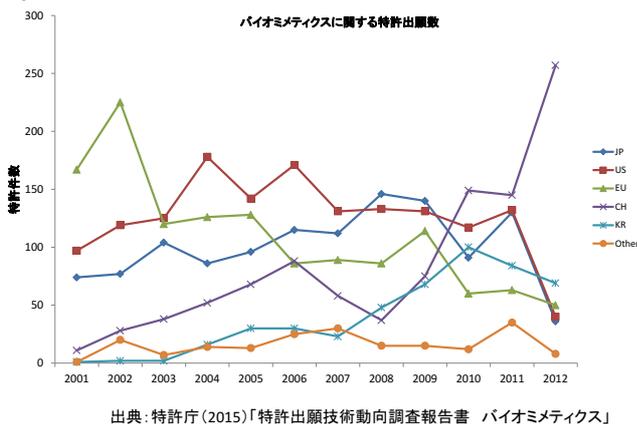
議して修正追加で二つの TR を発行する、という決議内容となっている。このように現在 WG4 では、国際規格 (IS) ではなく、TR を発行する議論が進展している。そして最後の 4 つ目の決議は、以下のタイトルで TR を発行するという内容である。

TR 1: OET for biomimetics

TR 2: Image search engine

TR 3: BIO TRIZ

日本において、バイオミメティクスを産業につなげ、世界に展開していくために、ISO などが定める国際標準では、技術等の評価手法やシステムなども対象となっている。今後の、バイオミメティクスをビジネス戦略上展開するうえで標準化の対応が必要である。また、環境、持続可能性、教育といった文化的背景にも、TC266 での議論がどのように影響してくるのか、十分考え、戦略を練って対応すべきである。



出典: 特許庁 (2015) 「特許出願技術動向調査報告書 バイオミメティクス」

図2 バイオミメティクスに関する特許出願件数の時系列変化 (2001-2012年)

筆者らは、日本におけるバイオミメティクスの社会実装における課題と解決策を探るべく、関連する特許出願の動向や (図2)、企業、一般市民の意識調査等を実施している。調査分析の結果、他国と比較して日本においてバイオミメティクスの社会実装に関する動きがやや鈍い傾向が把握されている。バイオミメティクスに関する認知調査を WEB アンケートにより実施した例では、企業に勤務する 10~60 代の男女 276 人を対象とした調査を行った結果、バイオミメティクスとの関わりによって ISO 化の認知が異なること、分子・材料分野への期待が高いこと、

日本の企業関係者が国際動向について認識できていないこと等が明らかとなった。

日本の企業関係者と学术界 (国際会議等への参加など) との距離が遠く海外の研究動向に触れる機会が少ないこと等が以上の結果の背景として考えられる。異なるセクターをつなぐ有機的な共同研究等により産業界と学术界との連携を深めていくことが重要であろう。

尚、生物模倣の博物館での展示に関する論文が採択となったので、情報を共有する。

Kohsaka, R., Fujihira, Y., Uchiyama, Y., Kajima, S., Nomura, S., Ebinger, F., (2017) Public perception and expectations of biomimetics technology: Empirical survey of museum visitors in Japan. Curator: The Museum Journal, (in press).



フランスが発信する生存戦略

斎藤 彰

大阪大学大学院工学研究科

E-mail: saito@prec.eng.osaka-u.ac.jp

欧州におけるバイオミメティクス展開は「持続可能性を見据えたエネルギー問題への切り札」として生物多様性を考えており、我が国と大きな違いがある。その象徴として、フランスが開催するイベント「Biomimexpo」を中心に具体的に紹介するとともに、彼我の違い、我が国の将来について考える契機とする。

バイオミメティクスといえば、わが国ではまず製品・産業を中心に、個別事例を並べて「どう役に立つか」のアプローチが多い。一方、バイオミメティクスを先導する欧州の視線を知ると、上の見方が「後進国の近視眼」に見えてしまう。彼らの主眼には生物多様性とエネルギー・環境があり、バイオミメティクスにしても生物機能がいかに優れるかを知る、という総合文化・教養的な面が強調される。そして底流するのは「持続可能性」に向けた生存戦略への強い意識である。

バイオミメティクス国際動向は欧州先導の国際標準化 (ISO) を中心に現在、渦中にあり、産業・学術両面で重要な局面にある。しかしその認識は、残念ながら我が国には乏しい。ゆえに国際動向への意識を促すべく、本稿ではフランスを軸にしつつ、欧州発の動きを警鐘として伝えたい。

筆者は3年間、ISO/TC266 (バイオミメティクス国際標準化・技術委員会) のWG1 (言語・定義を司る分科) で日本のまとめ役を担った¹⁾。その折にTC266フランスチームを通じ、パリ近郊サンリス (Senlis) 市の特異な立場をこの目で見てきた。この街は、中世の香る古都ながら「バイオミメティクスシティ」の役割を担う。その象徴が、今年3回目 (2018年6月) となるバイオミメティクス総合展示イベント「Biomimexpo」²⁾ である。核となる組織CEEBIOS (Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis)³⁾ はバイオミメティクス産学官コンソーシアムで、軍の跡地10 haを市が提供し2012年発足した⁴⁾。筆者は第1回に参加し衝撃を受け、何度か報告してきたが⁵⁾⁶⁾、本稿では初回との共通項や詳細は既報に譲り、第2回を中心に紹介する。

開催は例年2日間、6月末である。第2回の特徴は、一言で言って「拡大・充実」である。まず強力な共催・後援者は、初回の実績から前年比4割増の30件超 (政府・地方行政、金融公庫・財団、政令産業拠点・大企業、政府系の環境コンサル・協会、仏国立自然史博物館、等)。出展・出品者は52件 (前年比7割増)、訪問者も千数百人 (同6割増) で、確かに屋内外とも展示ブースは感覚的に倍増した感が

あった。

初日朝、Senlis市長と政府系 (環境省) 要人の挨拶による開幕は初回通りで、行事を通じ、主な司会は主催NewCorpConseil社の理事Alain Renaudinである。そこにCEEBIOS会長、新アキテーヌ地方 (ボルドーを含む地方行政区) 代表など重鎮の挨拶が続く。その後は、順序の違いはあるが初回同様、長め (1時間) の単独講演、4~7人によるパネル討論、2人での討論、オムニバスの連続講演 (ほぼ学会同様)、が散りばめられ、2ヶ所での並行セッションも各日2~3時間設けられた (筆者は片方のみ参加)。単独講演では学術系キーパーソンがバイオミメティクスと直結した専門に根差し、幅広く環境・エネルギーを絡めて語り、文化の深みを醸し出していた。一方、人物ラインアップの優れたバランス感覚は毎年恒例だが (的を得た均衡で産官学から配置)、慣れの問題は大きく、初回のように細心というよりは、余裕をもってリラックスした進行であった。一方、初回とは異なり質疑応答の時間は抑え気味に進行された。



Fig.1 Landscape of the BiomimExpo 2017 site.

テーマは冒頭述べたように特徴がある。まず個別の製品や事例紹介は多数あるが、それが主眼でなく、そこから広げて企業の方針や視線、ひいては開発哲学に至る思想に重点が置かれる。その意味ではまさにBiomimeticsでなく「Biomimetism」であり、この言葉へのフランスのこだわりが (ISOの委員会でもこの点は議論された)、むしろ正しい選択肢であったと今は疑い得ない。そして初回同様、個別の製品でなく、生物機能を広汎な生態系の中でとらえる「建築と都市工学そして農業」の流れが目立つ点も際立っており、ここに至っては文化の違いを痛感せざるを得ない⁶⁾。加えて海洋環境・資源への視線が濃く、クストー以来の伝統を感じさせた。繰り返し強調するが、産学ともに「個別の技術・課題・テーマ」に限定されず、分野横断が自由になされ、文

Biomimetica

(人文歴史)・理はおろか芸術までを包括してかつ生活に密着する(学問が借り物ではない)自然な視線がある。

初回なかった新テーマでは、初日最後の「学生コンペ」が興味深い。事前に世界から募集したバイオミメティクス実践案中、最終選考8件を選び会場でプレゼン(3分)質疑(5分)後、すぐ採点を行いその場で表彰、という催しである。資格は学部～修士のチーム研究で、教官の付帯前提である。各チーム堂々たる発表と質疑応答が展開され、驚いたのはカナダ(Laval大)や米国(Illinois大)が参加し上位3賞を得たことで、本催しは世界に広がっている。もう1つ新テーマで面白かったのが「資金と運営」セッションである。日本にあまりない光景で、投資家(銀行や企業の投資部門)と大・中小企業が互いの異なる体力と、それゆえの経営・運営方針の立場から忌憚なく意見を戦わせるもので、アイデアから基礎研究・プロジェクト、実用化に至る諸々の困難と対策といった、難しくも不可避の課題を論じる場になった。立場ごとに考え方が違い、違った正解があること、ただしバラバラで放置する訳で無く、貴重な意見交換の場となっていた。

あえて催しの欠点を言えば、言語が毎度、あらゆる文書・口頭、Webから現地まで伝語のみ、の点である。しかし先端の学際分野も英語に頼らず、自言語のみで構築できる強さは、むしろ重要かもしれない。もう2018年の日程は公開されており(6月28・29日)、果たしていかなる展開がなされるか、興味が尽きない。なお、フランスの動きは冒頭の通り、一国に収まる話ではなく、ドイツ(特にIndustrie4.0)・米国との連携や背後関係にも深い含意があることが最近わかってきている。こうした背景がISOにおける欧州、特にドイツが主導する事実と共通の根になっていることは疑いない。エネルギー・持続可能性を見据えた未来戦略を考えると、文化・教養に根差した総合視野に欠けがちな、日本の将来に不安を禁じ得ない。

参考文献：

- 1) 齋藤彰: "バイオミメティクス国際標準化 WG1の状況", in "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" (監修: 下村政嗣, CMC出版, 2016) 253-263.
- 2) <https://biomimexpo.wordpress.com>
- 3) <http://ceebios.com>
- 4) 平坂雅男: "フランスにおけるバイオミメティクス", PEN, 2013 Jun, 65-69.
- 5) 齋藤彰: "Biomimexpo2016 報告", 生物多様性を規範とする革新的材料技術Newsletter, Vol.5 No.1 (2016) 86-87.; No.2 (2016) 78-79.; No.3 (2017) 20-21.
- 6) 齋藤彰: "IoTとISO: 産業を眺むバイオミメティクスの国際潮流", 超精密Vol.23 (2017) 44-47.



Biomimexpo2016で閉会挨拶をするパスカル・ロワズルール (Pascale Loiseleur) サンリス市長



国内外ニュース

バイオミクリーはマテリアルイノベーションの波を拓ける (2018年1月9日)

Financial Times の世界を変える 50 のアイデアの記事に、バイオミクリーの話が掲載されています。

“Biomimicry unleashes wave of materials innovation”
(2018/1/8 Financial Times)

<https://www.ft.com/content/8d09584a-ccc8-11e7-947e-f1ea5435bcc7>



コウモリ、藻類、カブトムシ、カメ：自然からのアイデア (2018年1月8日)

Evolution News & Science Today (2018/1/8) にコウモリのエコロケーションなどの話題が掲載されています。

“Bats, Algae, Beetles, Turtles: Cool Design Tricks from Nature”

<https://evolutionnews.org/2018/01/bats-algae-beetles-turtles-cool-design-tricks-from-nature/>

Franchise Freedom (2017年12月15日)

BMW がスポンサーとなって Studio Drift (アムステルダム) が製作した 300 機のドローンの飛行 (鳥の飛行を模倣) がマイアミビーチで公開されました。

“In Miami, It’s a Bird. It’s a Plane. It’s ... a Flock of Drones?”
(New York Times)

<https://www.nytimes.com/2017/12/05/arts/flock-of-drones-art-basel.html>

3M Worldwise: Biomimicry (lessons from nature) (2017年12月15日)

3MWorldwise のウェブサイトでは、STEM (Science, Technology, Engineering and mathematics) Ambassadors の活動において、Biomimicry を取り扱った学生向けのリソース (PowerPoint 等) を配信しています。

<http://www.3m.co.uk/intl/uk/3Mworldly-wise/STEM-2-biomimicry.htm>

デンキウナギから発想した電源 (2017年12月14日)

陽イオン選択性ヒドロゲル膜とアニオン選択性ヒドロゲル膜との繰り返し構造体により電源を作製し、生存系と非生存系の次世代ハイブリッドインプラント材料に電力を供給することをめざしています。

“An electric-eel-inspired soft power source from stacked hydrogels” (Nature)

<https://www.nature.com/articles/nature24670>

SHIFT Zurich 2018 (2017年12月14日)

自然の知恵を活用して、持続的成長をめざす SHIFT の SHIFT Zurich が 2018 年 8 月に開催されます。Bioinspired Innovation and Finance のサミットとして位置づけられ、今回の開催は 4 回目となります。

“BIOINSPIRED INNOVATION AND FINANCE SHIFT Zurich 2018”

<http://shiftzurich.ch>



ネックデバイス Q-Collar (2017年12月11日)

キツツキは、なぜ脳しんとうを起こさない？ キツツキから、Q-Collar コンセプトが生まれました。

“Borrowing from nature to solve human problems with design” (Plastic News)

<http://www.plasticsnews.com/article/20171206/NEWS/171209939/borrowing-from-nature-to-solve-human-problems-with-design>

<http://q30innovations.com/q-collar/>

ウニの棘からヒントを得たセメント (2017年11月30日)

Helmut Cölfen 教授 (University of Konstanz) の研究チームは、ウニの棘の構造設計を模倣して、ナノレベルのセメントを合成に成功しました。

“Nature's blueprint for fracture-resistant cement” (Science Daily)

<https://www.sciencedaily.com/releases/2017/11/171129150927.htm>

伸縮性センサー技術 (ニュージーランド) (2017年11月28日)

ZOZOTOWN を運営する (株) スタートトゥデイは、Biomimetics Lab of the Auckland Bioengineering Institute の開発の伸縮性センサー技術を母体する StretchSense 社に投資し、ZOZO SUIT を開発しました。

<https://www.stretchsense.com>

<http://www.abi.auckland.ac.nz/en/about/our-research/biomimetics.html>

「MOVE 生きものになれる」展 (2017年11月

24日)

日本科学未来館で2017年11月29日(水)~2018年4月8日(日)の間、体験型の展示を通して、生きものの知恵や技術を学ぶイベントが開催されます。(講談社、NHK)

<http://www.miraikan.jst.go.jp/info/170831121855.html>

<http://zukan-move.kodansha.co.jp/nareru/>

白山市の県ふれあい昆虫館 「人間とイイ関係の虫たち」展 (2017年11月19日)

白山市の県ふれあい昆虫館で11月18日から開催されている「人間とイイ関係の虫たち」展にバイオミメティクスが取り上げられています。(中日新聞)

<http://www.furekon.jp>

東京モーターショー2017 コンセプトカー・デザイン (2017年11月9日)

生物模倣として蜂の巣の六角形の造形模倣のいすゞ FD-Si や、グットイヤーの球形コンセプトタイヤ Eagle-360 などが展示され、各ウェブサイトでもニュースとして取り上げられています。

バイオミメティクスと持続可能性 (2017年10月31日)

2017年11月14日にリヨンで開催される“すばらしき時間”フォーラムで、Gilles Bœuf (元 パリ国立自然史博物館館長) が、自然から発想したイノベーションが持続可能を実現するとして、バイオミメティクスの可能性を講演します。このフォーラムは、Acteurs de l'économie-La Tribune 主催で、経済や社会的問題を明らかにするために、著名な社会学者、哲学者、科学者、ビジネスリーダー、ジャーナリスト、政治学者などが登壇します。

“Biomimétisme : s'inspirer de la nature pour rendre l'innovation plus soutenable”

<https://theconversation.com/biomimetisme-sinspirer-de-la-nature-pour-rendre-linnovation-plus-soutenable-86164>

生態系バイオミメティクス (2017年10月19日)

フランスの建築設計会社が共同で進めるアルクイユ地域

Biomimetica

の ECOTON プロジェクトが、パリを中心とした地域の自治体間連合（メトロポール・デュ・グラン・パリ）の都市構想コンクール「Inventons la métropole du grand paris」で受賞しました。ENTON では、生物の生息地環境に触発された建築を通して、都市と自然の境界線を消滅させることをテーマとしている。CEEBIOS やパリ自然史博物館も関与しています。

“Biomimétisme, économie circulaire, végétalisation urbaine, donnent le ton de la future Métropole du Grand Paris”

<http://up-magazine.info/index.php/urbanisme-architecture-3/7019-la-future-metropole-du-grand-paris>



バイオミメティクスによる次世代ドローン開発 (2017年10月19日)

“Next-Generation Drones Inspired by Nature”

<https://www.rdmag.com/article/2017/10/next-generation-drones-inspired-nature>

ホイールブランド「ZIPP」がノコギリ形状の新型リムを開発 (2017年10月18日)

ザトウクジラの尾ヒレの形状を参考にしてノコギリ形状のリムを採用することで、空力性能の向上をはかりました。

<https://cyclist.sanspo.com/364637>

3Dプリンタで橋をつくる、大林組が実証に成功 (2017年10月16日)

生物の骨格構造や骨の構造などを模倣した構造最適化の手法と3Dプリンタの特徴を生かした建築構造物製造を検討しています。

<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/171016/news039.html>

メディカルバイオミメティクスの市場は 2024 年に 344 億円(2017年9月22日)

“Medical Biomimetics Market will secure 5.5% growth to surpass \$34.4 bn by 2024” (IndustryToday)

https://industrytoday.co.uk/health_and_safety/medical-biomimetics-market-will-secure-5-5-growth-to-surpass-34-4-bn-by-2024



nanotech 2017 における Biomimetics Network Japan の展示ブース

「生物規範工学」アーカイブス

生物規範工学は何処へ向かうのか

国武 豊喜

九州大学高等研究院特別主幹教授 九州大学名誉教授

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。

（「生物規範工学」ニュースレター Vol. 5 No. 3 2017 巻頭言より転載）

Study nature, not books

下澤 楯夫

北海道大学名誉教授

中間評価で厳しい裁定を受けた。要約すると、『新学術領域としての成果が出ていない。様々な研究成果を出してはいるが個別の研究活動の加算和に過ぎず、領域内での工学と生物学の協働作業(相互作用)で生み出した成果は少ない。これでは基盤研究 A が 7 つ併走しているのと同じことで、新学術領域を組んでいる意味がない。新学術領域には、内部での相互作用によって新奇な研究活動(加算和+アルファ)を生み出すことが期待されている。相互作用を作り出せる体制に組み替えて、3年目の再審査を受けよ。』と言われたのである。

組み替えた班構成で走る残りの 2 年では、工学者は足繁く生物学者を訪ねて生物に触れて測り、生物学者も自ら工学者の技術に触れて、積極的に相互作用を生み出さねばならない。社会から付託された異分野連携(相互作用)とは、研究者集団の単なる併走状態(ヤッタフリ連携)ではなく、二人三脚(運命共同体)を構成することである。縛ってしまった二人の脚を前に進めるには、自らが相手に合わせるしかないのだから。

さて、話は跳ぶ。昨年「ピダハン」(ダニエル・エヴェレット著、屋代通子訳、みすず書房)という本を読んだ。最近、NHK E テレの地球ドラマチックでも「ピダハン：謎の言語を操るアマゾンの民」が放送されたから、ご覧になった方もいるだろう。

西欧文明との接触が殆んどないピダハンと呼ばれるアマゾン原住民にキリスト教を伝道するべく、現地に住み込んで、伝道に必要なピダハン語の習得と記録・解析を進めたエヴェレット氏は、とんでもないことを発見するに至った。それは、ピダハン語にはリカージョン(recursion、再帰)がないことである。つまり、「斉藤さんが新しい論文を出したと佐藤さんが言っているのを加藤さんが聞いた。」という伝聞表現(入れ子状の間接話法)がない。ピダハンの人々は、自分で直接体験したことしか他人に伝えない。伝聞(又聞き)は話さない。他人から聞いたこ

とを別の他人に伝える語法を持たない。伝聞との比較がないから、自分の過去を悔いたり未来を心配したりすることもなく、現在のみを生きている。ピダハンの人々に、伝道者すら会ったことも声を聞いたこともない遠い過去の人と言ったという聖書の記述を説く努力は、徒労に終わった。現在のみを生きているピダハンと暮らしたエヴェレット氏は、ついに伝道を捨て、無神論者となってピダハン語の言語構造についての論文を出すに至る(筆者の上の記述も全て伝聞であることに注意されたい)。

現代言語学の権威ノーム・チョムスキーの普遍文法(生成文法)説によれば、リカージョンはヒト言語の基本構造の一つであり、地球上のあらゆる言語はリカージョンを持つとされている。普遍文法説は、ヒトの言語はゲノムに依拠した本能であり、言語が異なってもその基層には生物学的に生成される普遍文法構造があると説く。チョムスキーはアメリカ合衆国政府にさえ公然と楯突く批判精神の持ち主として知られている。しかし、ピダハン語にはリカージョンが無いとするエヴェレット氏の論文はチョムスキーをひどく不愉快にさせたようで、「そんなことは有り得ない。エベレットは間違っている。」と切り捨てに掛かっている。こんな大家でも、権威主義に陥る危険はあるのだ。リカージョンの有無については、MITの研究チームがピダハンの人々の話し言葉の録音テープから文法構造を割り出すコンピュータシステムを開発し、解析を続けている。今のところ、リカージョンは発見されていない。

話はさらに跳ぶ。46年前、工学部電子工学科の博士課程を中途退学して理学部動物学教室で神経生理学研究の真似事を始めた頃、幾度となく“Study nature, not books”と諭された。通信工学系の言葉で神経系を語ろうとする「頭でっかち」の筆者へ、せっかく生物に触れているのだから生物そのものを体験して欲しいとの、生物の先生方からの教えであった。これはルイ・アガシー(Louis Agassiz、古生物学者、

Charles Darwin の進化論に強く反対したことで有名)の言葉だそうだ。自然科学としては当たり前過ぎるほど当たり前のことに聞こえる。しかし、上に述べたピダハン語の特徴と考え合わせると、少し別のことに思い至る。

現在の科学は非常に多くの伝聞(間接体験=books)で成り立っており、我々はこれを当然のことと思っている。一方、個別の研究作業(study)の根幹は、研究者個人が(nature)を直接体験することである。直接体験で引き起こされる心理的感動(の記憶)が、困難な検証作業を乗り越えるための原動力ともなっている。我々が今棲んでいる科学の世界は、伝聞(間接体験)無しでは成り立たないように見える。では、ピダハンの人々に「科学」は存在しないのだろうか? そんなことは無い。エヴェレット氏の著述(これも筆者にとっては間接体験だが)によれば、ピダハンの人々は人間集団として一定の文化を継承しているし、自分たちを取り囲んでいる自然の性質や構造をかなり正確に理解している(だから集団として存続している)。エヴェレット氏の本の原題は **Don't sleep, there are snakes** である。これは、直接体験のみに基づいてピダハンの人々がエヴェレット氏へ与えた極めて論理的な忠告文の英訳である。伝聞が許されなくとも、個人の内での複数の直接体験の集積も集団内の複数の人の直接体験の共有(集積)も起こる。集積した直接体験からの帰納によって、科学(否定可能性を持った自然の合理的理解や法則化)も起こり、その法則からの演繹も可能であろう。即ち、ピダハン語を話す人々は我々のそれとは異なるかも知れないが、明らかに科学を持っている。

そうすると、圧倒的に多くの伝聞に頼ってしまっている我々の科学とは一体何なのか? という疑問に突き当たる。現時点では、この疑問への明確な答えは筆者自身も出せてはいない。全く伝聞(間接体験)のない科学を想像することは難しい。しかし、伝聞のみで作上げられた科学が極めて危ういことも、昨今世間を騒がせている科学(論文捏造)事件の数々からも明らかである。

ここで、中間評価の話に戻る。生物学と工学の連携と融合は、社会から強く望まれているにも拘らず、

なかなか進まないのが我が国の実情である。それが「縦流れ」のみを善とし横流れを厭う日本の社会風土に起因するのではないか? という筆者の疑問はニューズレターVo.1 No.2 に書いた。中間評価では、「理由はどうあれ、この新学術領域を組んだ当事者には生物学と工学の融合へ向けた具体的な連携作業が要求されているのに、この2年半でなされた作業は少なすぎる」、と判定されたのである。

我々の世界には、工学の基盤に関する膨大な教科書・解説書(books)があり、生物学の学問体系を伝える books も膨大な量に上る。しかし、科学の諸分野はそのどれをとっても著しく分業化しており、一体としての自然から大きく偏っている。生物学者と工学者は、互いに自然の異なる部分しか見ていない。一方、伝聞表現を持たないピダハンの人々は、健全な科学(一体としての自然そのものの理解)を作り出せている(世代を越えて伝承できるかどうかは別として)。今の我々の科学がその対極にあるのは、際限なく伝聞知識に頼ってしまい、直接体験を殆んど欠いているからではないだろうか? 理解したいと願う対象そのもの(nature)を直接体験することなく、間接体験(books、知識、法則)からの演繹で済ませているせいではないだろうか?

生物学と工学という知識基盤(books)が異なる分野の研究者が、books(間接体験)に頼って「融合」を唱えても、上手く行かないだろう。Booksを更に積み上げても、分業が進むだけで、偏りを是正する力は生じない。異分野の連携や融合を目指すなら、それぞれが対象としている自然(nature)の直接体験を共有すべきだと思う。本領域のこれからの2年間は、工学者は足繁く生物学者を訪ねて生物に触って測り、生物学者も足繁く工学者を訪ねて工学技術に触れ、互いが対象とする nature の直接体験の共有に努めて欲しい。異分野の nature を直接体験した感動からは、必ずや何か新たな世界像が湧き上がって来るに違いない。

(「生物規範工学」ニューズレター Vol. 3 No. 2 2014 巻頭言より転載)

産業と社会を考える「生物隠喩実学」の提案

妹尾 堅一郎

NPO 法人産学連携推進機構 理事長

生物規範工学の可能性

「技術で勝るが、事業で勝てない」状況が陥った日本の産業が、どのようにして産業競争力の再生に向かえば良いか。俯瞰的な産業生態系の話やビジネスモデルと知財マネジメントの関係を研究している筆者にとって、その一つの起点として「生物規範工学」に大いに期待したい。その理由は、「生物規範工学」が、プロダクトイノベーションとプロセスイノベーションの双方の発想源泉になるからだ。

一方で、生物を規範として置くことによって、画期的な高機能構造の形態が生み出される可能性があることは言うまでもない。つまり、プロダクトイノベーションである。他方、その形態生成（多くは自己組織化）する場合、従来の工学では多大なエネルギーを使わざるをえないが、生物は省エネで行う。この生成メカニズムを規範とした生産手法が開発できれば、それは強大なプロセスイノベーションとなるだろう。

ユニバーサルな工学とユニークな自然観

ところで、生物規範工学を2つのU (Universality と Uniqueness) という観点からみてみよう。その技術・システムはユニバーサルなものであるが、他方、文化的にはユニークな自然観に関わる。生物規範工学は、実は、西洋的な自然観よりむしろ東アジア的な自然観に近いのではなからうか。特に、八百万に神が宿るといふ我々日本人が持つ自然観や、あるいは日本的思考の古層の上に根付いた「雑種文化」は生物規範工学と親和性があるように見えるのだ。

少々極端な話をしよう。たとえば、やなせたかし氏の名作「アンパンマン」には、「自己犠牲・他者貢献」と、バイキンマンを完全にはやっつけないという「生態学的共生」の2つのコンセプトが含まれており、それは日本人の食と農と自然観を体現しているのではないか。生物規範を深めていくと、技術・システムだけでなく、我々が持っている価値観や思

想、文学的・詩的なものまでをも含めた議論に展開できそうである。

生物の世界をメタファーとして人間社会を考え実践する「生物隠喩実学」

さらに、筆者は、自然の生態系をメタファーとして、産業の生態系、社会の生態系、思考の生態系など、いろいろな生態系を再検討できるのではないかと考えている。そのためには、個体と集合体や群体などの関係を整理し、また哲学的背景をしっかりと押さえておきたい。

個体の機能構造的形態だけでなく、生物の多様な個体行動・集合行動や社会形態と運営等に学び、そこから次世代の社会やビジネスのあり方へのヒントが得られそうである。つまり、生物の世界をシステムとしてとらえ、それを産業生態系と照らし合わせることによって、我々は多くのことに「気づき・学び・考える」ことができるのではないかと期待できるのである。

筆者も、従来から事業や産業について、生物学の概念を援用して議論を行ってきた。たとえば、成長 (growth)・発展 (development)・進化 (evolution) の概念をメタファーとしてイノベーション論を整理し、また「産業生態系」といったメタファーを使って産業俯瞰的なビジネスモデルのあり方を議論してきた。

こういった分野を、「生物規範工学」に対応して、「生物隠喩実学」と呼んでみてはどうだろうか。新たな学際的知見が得られそうである。まずその研究会を立ち上げてみたいものだ。

さて、この6月、生物規範工学を支援している科学技術ジャーナリスト・赤池学氏の新著『生物に学ぶイノベーション～進化38億年の超技術～』(NHK出版新書)が上梓された。この新書は、分かり易く、かつポイントが明確に示されている優れた啓発書で

Biomimetica

ある。多くの人に「生物規範工学」の可能性を知ってもらうためには超お奨めである。また、白石拓編集『バイオミティクスの世界』(別冊宝島 2199)も出版された。図解が豊富で読みやすい。これらの啓発書が切掛けになって、多くの人々がさまざまなヒン

トを得てくれることを期待したい。

(「生物規範工学」ニュースレター Vol. 3 No. 1
2014 巻頭言より転載)



自然の神秘とその威力を知ることが深ければ深いほど人間は自然に対して従順になり、自然に逆らう代わりに自然を師として学び、自然自身の太古以来の経験をわが物として自然の環境に適応するように務めるであろう。私は、日本のあらゆる特異性を認識してそれを生かしつつ周囲の環境に適応させることが日本人の使命であり存在理由でありまた世界人類の健全な進歩への寄与であろうと思うものである。世界から桜の花が消えてしまえば世界はやはりそれだけさびしくなるのである。(寺田寅彦 「日本人の自然観」より)

「自然化社会」の実現に向けて

赤池 学

ユニバーサルデザイン総合研究所 所長

近代以降信奉されてきた無限に続く右肩上がりのモデルは、物質的な豊かさを自動制御的に供給する「自動化社会」を定着させ、その一方で環境破壊に象徴される負の遺産を蓄積してきた。こうした反省を踏まえ先進国は、エネルギーのベストミックスに象徴される「最適化社会」を模索していた。「東日本東大震災」は、まさにこうした最中に起こった。

放射能被害に関わる統制的報道が流れるなか、人々はFACE BOOKの情報やYou Tubeの映像で、真実の放射能汚染の実態を知った。そこにおいて多くの人々は、そもそも中央依存の「最適」が、信ずるに足りないものであることを確信したように思える。

こうした虚の中央報道と、実を伝える情報技術の成熟は、妄想としての最適化社会幻想を打ち砕き、これから我々を「自律化社会」へと導くだろう。情報技術が普遍化し、個人や企業が学習能力を大きく高めることで、より正しい個人的な判断を行なうことが可能になる。人々は、自分や地域に合った価値基準により、自ら計画し、行動し、地域の地政学や、個々人の経験や関係性のなかで、能動的な自律化を目指していくことは確実である。

さらに、それぞれの自律的な行動を通じて、新たな秩序を形成してゆくことが可能であることに気づけば、科学や技術、経済や社会のなかに、生態系サービスや自然のメカニズムを組み入れ、人間を自然な存在に改めて回帰させることが可能なのだという認識が共有化された「自然化社会」へとさらなる移行を果たすように思える。「生物規範工学」の活動は、こうした社会形成の観点からも、これから熱い注目を浴びるものと確信している。

しかし、そこには課題もある。第一は、生物模倣工学の多くの成果が、X線構造解析やナノテクノロジーなどの先端科学技術の進展を通じてもたらされたものであることは言うまでもないが、研究領域を「先端」に求めるだけでなく、ローテク技術や伝統技術

の再考や革新を、その視野に入れて欲しいということだ。

例えば、ステンレス表面の酸化膜の膜厚をメッキの技術で制御すると、光の屈折干渉が起きて、化学塗料を用いない様々な発色が形になる。リサイクルすれば、ムクのステンレスに戻ってしまうこの「酸化発色」の原理は、積層構造がもたらす構造色である。環境負荷のないステンレスメッキは、決して真新しいものではないが、溶媒、溶剤双方の環境影響が問題視されている、例えば自動車のボディ塗装など、広範な産業領域に拡大する可能性を秘めている。

また、屈折干渉による発色技術は、例えば伝統的な漆器にも用いることが可能である。漆の塗膜表面にレーザーやイオンを照射すれば、同様の干渉色を発する構造色漆器が誕生する。生物を規範とするノウハウを是非、伝統産業の復興にも援用して欲しいと思う。

第二は、バイオテクノロジーとの境界を取り払って欲しいということだ。新しい学術領域である生物規範工学は、「生物模倣」に基づく材料開発に主眼が置かれ、生物そのものを活用する研究開発は、従来のバイオテクノロジーの範疇に位置づけられている。

しかし、UV-Aを遮断する家蚕、UV-A、Bの双方を遮断する野蚕のシルクが、紫外線によるシミや皮膚癌予防、繊維芽細胞を活性化するシルク化粧品や、シルクタンパクが持つ中性脂肪の代謝促進効果による脂肪肝や糖尿病予防の機能性食品としてすでに様々な商品化が進んでいるように、シルクタンパクの微細構造や化学組成を解析し、高分子の人工設計に応用するだけでなく、シルクそのものを使うこと、その合理的な生産技術を開拓することを含めて、生物規範工学を発展させて欲しいと考えている。

同様のことは、抗癌性が認められているモズクなどの海藻や、鶏卵、昆虫卵の卵黄に含まれるフコイダンなどの機能性多糖類についても言えることである。生物が生産する機能性高分子の解析は今後、新

しい医薬開発の重要な研究領域として注目されることは確実である。さらに、白樺の木のスベスベの皮も、ベチュリンという高分子が作った自然のプラスチックだ。植物が分泌するプラスチックも、生物規範工学で捉え直すと、生分解性プラスチックに留まらない、様々な可能性が生まれてくるはずである。

生物規範工学が、生物模倣と生物利用の相補的な研究を戦略的に行えば、素材ビジネスは大きな飛躍を遂げるだろう。貝類が生産する水中接着剤、それらによる生物付着に導電性ポリマーを活用する試み、磁性材料や凍結材料を生産する微生物など、模倣工学者がこうした生物素材の世界に目を向ければ、そこから新しい生物模倣型の機能性素材を無尽蔵に設計開発することが可能になるように思える。こうした研究は、高圧下や有機溶媒の中など、人工条件下で働く機能性酵素の人工合成などにも将来的には結実していくことだろう。「生物に学び、生物を活かす」という二眼レフの研究活動を是非、期待したいと思う。こうした生物規範工学の研究と実用化を推進していくためには、生物学者を中心とする基礎科学者との連携が言うまでもなく不可欠である。そのためには、応用工学者のみを優遇してきたこれまでの対応を改め、理学部の研究者層を厚くしていく政策が求められる。また、こうした基礎研究の高度化を図るためには、生物規範工学の実用化を目覚めた企業とともに進める、国家的な研究クラスターを早急に立ち上げるべきである。昆虫や藻類など、ヒト以外の生物の生理、生態、品種、遺伝子の研究知見は、地道ながら日本には豊富な蓄積がある。あるいは、昆虫に代表される未利用の生物資源も、日本を中心としたアジアの固有資源でもある。この部分でデファクトスタンダードを取るといふ戦略には、アジア諸国の科学者たちや企業も賛意を示すはずである。石油資源と水資源の危機が叫ばれる 21 世紀において、再生可能な生物資源の知的活用を促す生物規範工学は、「自然化社会」の最もわかりやすいシンボルとなり、社会周知の観点からも、生活者に対して大きなメッセージやインパクトを与えるはずである。地球社会システムを持続させるためにも、生物模倣と生物活用を両輪で進めていく技術開発は、日本が

そのリーダーとなるべき戦略領域だと確信している。

(「生物規範工学」ニュースレター Vol. 3 No. 1
2014 評価委員からのメッセージより転載)



生物に学ぶイノベーション
進化38億年の超技術
赤池学 著
2014年7月 NHK出版新書

バイオミメティクスは世界を救う

下村 政嗣

千歳科学技術大学 教授 北海道大学名誉教授 東北大学名誉教授

バイオミメティクスをして“目から鱗”と詠嘆したのは産学連携推進機構の妹尾堅一郎理事長である。嘗て、氏の名著『技術力で勝る日本が、なぜ事業で負けるのか—画期的な新製品が惨敗する理由』を拝読した著者は、バイオミメティクスの真髄はパラダイム変換であると即座に解悟した。パラダイム変換とは、時代や分野における支配的規範が非連続にシフトすることであり、天動説から地道説への宇宙観・世界観の変革（コペルニクスの転回）がおこり、真空管から半導体への技術革新（イノベーション）がもたらされた。バイオミメティクスがイノベーションをもたらすであろうことは、第一回で紹介したジャンニ・ベニユス女史の著作『Biomimicry: Innovation Inspired by Nature』の標題からも見て取れる。



そもそも、パラダイム変換には、新規性が求められ、新規であるがゆえに独創的である。“独創”は、研究開発に携わるものにとっては常に問われるものであり、“模倣”はその対義である。

ちなみに、“模倣”を意味する *mimic* や *mimetic*、*mimicry* や *mimetics* は、“真似る”という動詞 *mime* の形容詞・名詞形であり、その語源はギリシャ語のミメシス (*mimesis*) である。プラトンによると、「宇宙創造の永遠不変の本質であるアイデアの範型

(*paradeigma*) を模倣 (*mimesis*) したのが世界である」らしい。*paradeigma* は、まさにパラダイム (*paradigm*) の語源である。アリストテレスは「芸術は自然を模倣する」と言ったそうで、つまり、そもそも人間は自然のパラダイム (規範) を模倣するものなのである。余談であるが、バイオミメティクスという言葉が日本人にとっては発音しづらいこともあり、また、“生物模倣”という和製漢語表記に些かのためらいもあって、筆者が代表を仰せつかっている文部科学省科学研究費新学術領域のプロジェクト名は“生物規範工学”とした。(妹尾理事長には、プロジェクトの内部評価委員をお願いしている。)

“独創”の対義である“生物模倣” (バイオミメティクス) が、なぜパラダイムを変えるのだろうか。それは、産業革命以降、人間が自然を模倣することを潔しとしなくなったからのように思える。

浜松医科大学の針山孝彦教授は、「野生の中で生きられなくなり、自然から切り離された高度な物質・情報世界の中で自らを「家畜化」してしまった人類」を称して「ホモ ドメスティカス」(*Homo domesticus*) と名付けた。特異な進化の結果、考えるヒト「ホモ・サピエンス」(*Homo sapiens*) となった人類は、“文明”によってその「環境収容力」(*carrying capacity*) を際限なく膨張させてきた。その結果、

「原始時代、ヒトは狩猟や採集をして、食物連鎖を代表とする地球の自然均衡系の中にいた。しかし農耕の始まりは、家族や集団の定住生活を可能にした。文明の発展と共に、ヒトのための人工均衡系が築かれていく。近世の欧州ではルネサンスによる学問芸術が盛んになり、近代は自然科学が発達した。産業革命は人々の生活に恩恵をもたらしたが、やがて貧富の差が拡大した。ついには世界戦争が繰り返され、いま化石燃料や原子力などの巨大なエネルギー消費が問題になっている。しかも残念なことに、放射性物質を出す事態にも陥った。これまで作り上げてき

た人工均衡系の「均衡」は破綻したと言わざるをえない。」

(第3回北海道大学総合博物館バイオミメティクス・市民セミナーから、SciencePortal 特派員 成田優美氏による要約より)

http://scienceportal.jst.go.jp/columns/highlight/20120426_01.html

生物学者の視点からすると、「ホモドメスティカス」が築いてきた「人工均衡系」である「物質文明社会」は、大量生産化・大量消費化をすることによって「自然均衡系」を破壊し始めており、もはや地球の持続可能性にとっては「不都合な真実」となっているのである。

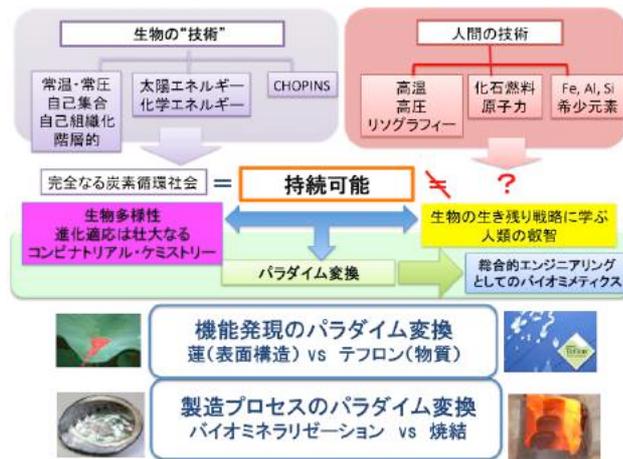


図1 バイオミメティクスはパラダイムシフトをもたらす

図1は、エンジニアの視点から、「人工均衡系」である“人間の技術”と、「自然均衡系」の一部である“生物の技術”を比較したものである。産業革命以来、人類は、鉄で構造物を作り、アルミで移動し、シリコンで情報を司り、(希少元素も使いながら)豊かな生活を満喫してきた。これらのクラーク数は大きいものの、酸化物として存在するために還元するためのエネルギーが必要であり、さらに、加工プロセスは、大きくするにしろ小さくするにしろ、エネルギーの集約を必要とする。一方、生物は、炭素を中心とするユビキタス元素 (CHOPIN とすると単にゴロが良い。I は、ゴロあわせのために無機物を総称する inorganic の意味で使ったが、針山先生から、ヨウ素？

と尋ねられた。ヨウ素でも悪くはないが、アイロニーが過ぎるかもしれない。) を用い、太陽光エネルギーを植物が化学変換したのを使い、少々時間はかかるものの、常温常圧における自己組織化プロセスによって分子・原子を積み上げて大きくする階層的なモノづくりをしている。それは、“完全なる炭素循環型社会”であり、そして、持続可能である。

工学的な視点からすると、生物の多様性は、進化適応という壮大なるコンビナトリアル・ケミストリーの結果である。“生物の技術”とも言うべき生き残り戦略は、“人間の技術”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。つまり、生物のモノづくり、機能発現のパラダイムは、人間のそれとは違っている。例えば、蓮の葉の表面には細胞よりも小さな凸凹がある。ナノ・マイクロスケールの凸凹構造が撥水性を高めることは良く知られた現象である。凸凹構造を使えばテフロンコーティングは不要なのである。蓮の葉の撥水機構は、持続可能性に寄与し得る“汎用元素を利用したセルフクリーニング材料技術”のパラダイムを示している。ヤモリは壁や天井を這い回ることができる。その指先には、分岐した微細毛が密集しており、表面積の大面積化によって弱い力である van der Waals 力を集積することで自重を支えるまでの力を得ている。これは、接着剤フリー、溶剤フリーの接着技術であり、建材、エレクトロニクス実装のリサイクル可能な省エネプロセスが可能となる。骨やアワビの殻などの硬組織は、常温常圧での自己組織化プロセスであるバイオミネラリゼーションで作られた“軽くてしなやかで強靱なハイブリッド材料”であり、焼結で作製する焼き物では及びもつかない材料強度を示す。

“生物の技術”に学べば、「人工均衡系」である「物質文明社会」から、持続可能な炭素循環型社会を目指した「環境・生命文明社会」(第4次環境基本計画の中心的な理念) に変身することが可能かもしれない。生物に学ぶというと、進化の頂点にいる人間としてはプライドが許さないかもしれないが、“生物の技術”を明らかにし、その生き残り戦略に学ぶことは、“人間の技術”が宿命的必然として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」の解決に寄与するパラダイムシフトと技術革新をもたらすのではないだろうか。“生物の生き残り戦略に学ぶ人類の叡智”こそが、バイオミメティクスなのである。

それでも、模倣や真似るという言葉には、イミテーション、偽物、にも通ずる響きがあり、オリジナリティーの欠如すら感じてしまう。そこで、模倣を潔しとしない御仁の誤解を解くために、著名人に“模倣への応援演説”をお願いすることにした。

オーデッド・シェンカー氏の『コピーキャット 模倣者こそがイノベーションを起こす』は、ビジネスにおいて模倣はイノベーションと同様に重要であり、イノベーションを生み出すのに不可欠である、という主張のもとに、イノベーションとイミテーションを足したイモベーションという言葉が提唱されている。日本語版では、特別寄稿として翻訳者である井上達彦氏と共同執筆した「日本企業のイモベーション」の章が新たに設けられ、章の最後に生物模倣というコラムが掲載されている。



「本書では「イノベーションは模倣から」ということが何度も強調されているが、勘の良い読者であれば、最初のイノベーションはどのようにして生まれたのかと疑問に思うはずだ。盗む相手がいない時代のイノベーターはどうしていたのか。(中略)一つの答えは自然界にある。飛行機のお手本は言うまでもなく、鳥にある。(中略)最近では自然界からの模倣も高度になってきている。生物模倣、バイオミメティクスと云って、工業製品を開発、設計するとき、生物の性質、構造、機能を模倣して役立てているのだ。」

また、大前研一氏監修の『プロフェッショナルシンキング 未来を見通す思考力』では、アナロジー思考という節において、



「バイオミメティクスという模倣手段が、最近注目されています。バイオミメティクスというのは、昆虫や魚などの生体の持つ優れた機能や形状を模倣（アナロジー）して、工学や医学分野に応用することを指します。(中略)このようなアナロジーを見つけるには、日ごろから「どうして昆虫は壁をやすやすと登れるのだろうか?」「なぜマグロは高速で泳げるのだろうか?」など問題意識をもつことと、「当たり前」に思っていることの多くは、実のところほとんど解明されていない」という謙虚な心を常にもつことがポイントになります。」

さらには、クレイトン・クリステンセン氏が提唱した「破壊的イノベーション」の可能性にまで言及し、

「身の回りの当たり前のことの中に、未来はすでに存在している」

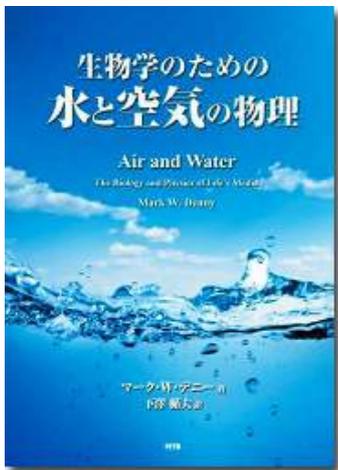
という名言で纏めている。

ところで、最近とみに、『製造業が日本を滅ぼす』（野口悠紀雄著）、『日本型モノづくりの敗北 零戦・半導体・テレビ』（湯之上隆著）、『技術大国幻想の終わり これが日本の生きる道』（畑村洋太郎著）、など“危機警鐘”の出版物が目につく。クリステンセン氏も『イノベーションのジレンマ—技術革新が巨大

Biomimetica

企業を滅ぼすとき』において日本企業への警鐘をならしていた。大手電機メーカーの凋落が象徴するように、「日本型モノづくり」は閉塞的状况にあるようだ。その原因として、韓国や中国の“追い上げ”が取り上げられる。日本のモノづくりは、本当に“追う側”から“追われる側”になったのだろうか？

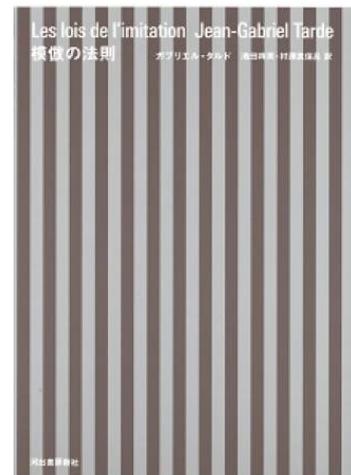
韓国の“追い上げ”の背景にはリバース・エンジニアリングがあるとされている。リバース・エンジニアリングとは、分解工学とか逆行分析とも訳されており、他社の製品を分解することでその設計思想を読み解き自社の製品設計図を描くことを意味している。まさしく模倣であり、そして、戦後日本の奇跡的な経済復興の背景にある技術戦略でもあった。我が国におけるバイオミメティクスのパイオニアの一人であり、『水と空気』（原書は Mark W. Denny の “Air and Water: The Biology and Physics of Life's Media” 1993 年)の翻訳者でもある下澤楯夫北海道大学名誉教授は、1991年に北海道新聞の連載コラムにおいて生物模倣がリバース・エンジニアリングであることを指摘していた。



「科学のレベルが低ければ、たとえ手本があってもその設計を読みとることはできない。逆向き工学は順当な工学より高いレベルの科学を必要とする。日本は昔からこの能力に優れ、種子島に流れ着いたポルトガル銃をたちまち国産化した。最近では、お手本よりも安く製品を提供したため、基本設計に費用をかけた欧米から、日本はただ乗りしていると非難を受けている。物まねは人類共通の特質であり、文明を広げる原動力である。(中略) 自然から設計を盗

んでも、自然は人を非難しない。これまでの工学は、この自然がどんな材料でできているかを調べる物理と化学に頼ってきた。自然の中にどんな設計があるかを調べるのは生物学である。われわれは今、しなやかな機械や話ことばの分かる機械を作るため、生物の体や神経系をリバースエンジニアリングしている。」

今、世の中は、AI や IoT、第 4 次産業革命、で盛り上がっている。しかし、我が国は未だに、ドイツが提唱した Industrie 4.0 や米国発の「インダストリアル・インターネット」を“追う側”に居るようである。欧米を“追う”のは止めて、いっそのこと、生物を追ってみてはどうだろう。バイオミメティクスは、究極のリバース・エンジニアリングなのである。この夏、ガブリエル・タルド著『模倣の法則』の翻訳が新装出版された。“バイオミメティクスへの応援演説”を読み取ることにする。



Jean - Gabriel Tarde、(翻訳) 池田祥英、村澤真保呂、河出書房新社; 新装版 (2016)

独創力とは思慮深い模倣以外の何ものでもない (ヴォルテール)

模倣は独創の母である (小林秀雄)

(本稿は、NTS 出版「生物の科学 遺伝」vol. 70 No.6 2016、に掲載した“連載コラム 生物に学べ バイオミメティクス最前線 第六回”を基に加筆したものである。)

行事案内

BIOMIMETICS

バイオミメティクス市民セミナー・対話篇

生物の進化適応の結果である生物多様性は持続可能性の証拠であり、その背景にある“生物の生き残り戦略”を明らかにし、人間活動に技術移転することによって、持続可能な社会を可能とするパラダイムシフトがもたらされます。博物館は、自然史のみならず、科学史や芸術、民俗を含む人間活動の歴史に関わる資料を収集・保管、展示することで、それらを広く社会に供する場であるとともに、社会と科学の交流を可能とする最適にして不可欠な“社会装置”です。そこで、2017年度後期から、新たな試みとして、“バイオミメティクス市民セミナー・対話篇”をスタートすることにいたしました。資源、エネルギー、環境など、現代社会が抱える喫緊の問題は様々な課題を抱えており、科学技術だけで解決することは不可能です。博物館における対話を通して、生物学と工学の異分野交流、社会と科学の交流を図ることで、“自然と調和した持続可能な人間活動”を考える場にいたします。



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

セミナー70：2017年10月7日(土)

“長〜い生き物”の話

柘原 宏 (北海道大学理学研究科)
「海産の無脊椎動物である長い生物、
“紐形動物”の一種であるヒモムシについて」
黒田 茂 (北海道大学電子科学研究所)
「ミミズやムカデなどの長い生物の移動方法である
“這行(しゃこう;這う移動)”について」



セミナー71：2017年11月4日(土)

サメとアザラシ、生態と動態

小林 万里 (東京農業大学生物産業学部)
「アザラシの生態を通して海を考える」
宮崎 真理子 (日立製作所)
「サメの遊泳に学ぶ、省エネ設計」

セミナー72：2017年12月2日(土)

黒が大事！ イカスミと鳥の構造色

松浦 俊彦 (北海道教育大学函館校)
「イカ墨を使った太陽電池?!」
桑折 道済 (千葉大学工学研究科)
「孔雀の羽は、黒が命」

セミナー73：2018年1月6日(土)

形は機能？ 植物プランクトンと無生物の形

堀口 健雄 (北海道大学理学研究科)
「植物プランクトンの多様な形態」
三友 秀之 (北海道大学電子科学研究所)
「金属ナノ粒子がつくる多様な形」

セミナー74：2018年2月3日(土)

働かないアリと粘菌生活

長谷川 英輔 (北海道大学農学研究科)
「働かないから、持続可能？」
高木 清二 (公立ほこだて未来大学)
「持続可能な、粘菌生活?!」

セミナー75：2018年3月3日(土)

鳥と魚、したたかな求愛

相馬 雅代 (北海道大学理学研究科)
「歌とダンスでつむぐ鳥の愛」
山家 秀信 (東京農業大学生物産業学部)
「魚だって、匂いで惹きつける」



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」
北海道大学 電子科学研究所
特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会
共催/協賛：高分子学会北海道支部
協賛：千歳科学技術大学バイオミメティクス研究センター
北海道大学総合博物館
060-0810 札幌市北区北10条西8丁目
問合せ先：TEL.011-706-2658 FAX.011-706-4029
E-mail: museum-jimu@museum.hokudai.ac.jp

特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会について

特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会

(BMNJ : Biomimetics Network Japan)

代表者名 : 下村 政嗣

所在地 : 東京都

URL : <http://www.biomimetics.or.jp>

1. 概要 (設立時期、経緯、会員数と属性)

当協議会は、バイオミメティクスを推進するために2017年8月15日に設立した特定非営利活動法人である。バイオミメティクスは、生物模倣技術として古くから知られているが、今、生物学と工学が融合した新たな技術開発のプラットフォームとして、ものづくりから環境設計まで幅広く注目されている。文部科学省新学術領域研究「生物規範工学」プロジェクトにより、学術領域が体系化されことを機に、バイオミメティクスの産業展開を推進するための組織として発足するに至った。本協議会は、バイオミメティクスの知識基盤を整備・運用し、産業界、教育機関、研究機関、行政機関および一般市民を対象に、人材育成、研究・開発を支援する事業を行い、環境共生型の社会基盤構築に寄与することを目的としている。バイオミメティクスは、生物の構造やプロセス模倣からスタートしたが、現在は、環境や持続的成長に貢献できる技術として着目され始めていることから、本協議会の英語名称「**Biomimetics Network Japan**」が示すように国内での中核組織になることをめざしている。

2. 活動内容

当協議会の主たる活動は次のとおりである。

① 調査および研究

国内外のバイオミメティクスの動向調査を行い情報提供すると共に、ホームページや出版物を通して情報を提供する。また、研究開発に役立つ発想支援ツールの運用を企画する。

② 研究開発支援

バイオミメティクスの産業利用のための研究開発について、コンサルティングを含めた支援活動を行う。また、国際標準化の普及と事業での活用についての支援を行う。

③ 人材育成

研究者や事業企画を担当する企業のスタッフとのネットワークを構築すると共に、バイオミメティクスに関する講演会・講座を通して、人材育成を図る。

④ その他

持続可能な社会実現のために、バイオミメティクスを社会環境整備や街づくりなどに適用するための啓蒙活動を行う。

3. 最近の課題

欧州では、持続可能な社会基盤を構築するイノベーションとしてバイオミメティクスへの関心が高く、環境設計などに適用の幅を広げようとしている。研究面では、米国の博物館で所蔵する剥製の3次元骨格データベースの構築が始まり、バイオミメティクスに活用する知識基盤として活用する

Biomimetica

取組がなされている。そして、これまでの生物の構造や機能を単に模倣する時代から、プロセスや生態系を模倣する新たな時代へと、バイオミメティクスのパラダイムシフトが始まっている。

一方、このような新たな時代の到来に対して情報不足や危機感の認識不足もあり、日本のバイオミメティクスがさらに周回遅れの状況となっている。日本は、バイオミメティクスの発想支援ツールを保有していることから、これらのツールによる製品開発の基盤づくりやバイオミメティクスの市場拡大策が喫緊の課題である。さらに、生態系バイオミメティクスの取組みへの推進が必要な時代となっている。

4. 今後の活動

バイオミメティクスの社会実装では、生物多様性と生態系サービスの価値を認識し“自然の循環と経済社会システムの循環の調和”を求める社会系科学分野との文理融合が必要となる。そのためには、様々なステークホルダーのためのプラットフォームを構築する活動が必要であり、最終的には、当協議会は、持続可能な開発目標（SDGs）に向けたパラダイムシフトとイノベーション

を促したいと考えている。

5. ロゴマークについて

デザイナーのアキタマイさんによるデザインコンセプトは、以下の通りです。

「昆虫の羽根を模倣してメカを作ることモチーフにし、また研究する上で観察する事が重要だと考えたので、虫眼鏡も取り入れました。自然界には六角形ないし6で構成されているものが多いように感じたので、複眼や蜂の巣といった何かをレンズで拡大して見ているイメージを用いています。両の翅がそれぞれ自然と工学を表し、双方が一方通行ではなく繋がりが合っている様子を示してあります。さらに、実際の目に見える情報とコンピューターによって解析された情報が行き来する（繋がっている）イメージも三角の矢印により加えてあります。」

また、2枚の翅の形状は“無限大”を意味する ∞ にも似せており、循環がもたらす持続可能性（Panta Rhei—Everything Flows）を象徴するものです。



ンをもたらす社会エコシステムの確立に貢



今日からモノ知りシリーズ
トコトンやさしいバイオミメティクスの本

編集：下村 政嗣（編著）
高分子学会 バイオミメティクス研究会
文部科学省科学研究費新学術領域
「生物規範工学」
発行：2016年3月
出版社：日刊工業新聞

- 第1章 生物の形や仕組みはテクノロジーにいかせる
- 第2章 生物表面の多機能性や高機能性に学ぶ
- 第3章 情報の受信と発信の仕組みに学ぶ
- 第4章 生物の構造とメカニズムに学ぶ
- 第5章 生物の設計とものづくりに学ぶ
- 第6章 生物の相互作用やシステム、生態系から学ぶ
- 第7章 様々な分野や学問が融合するバイオミメティクス
- 第8章 バイオミメティクスとこれからの社会

バイオミメティクス研究会の紹介

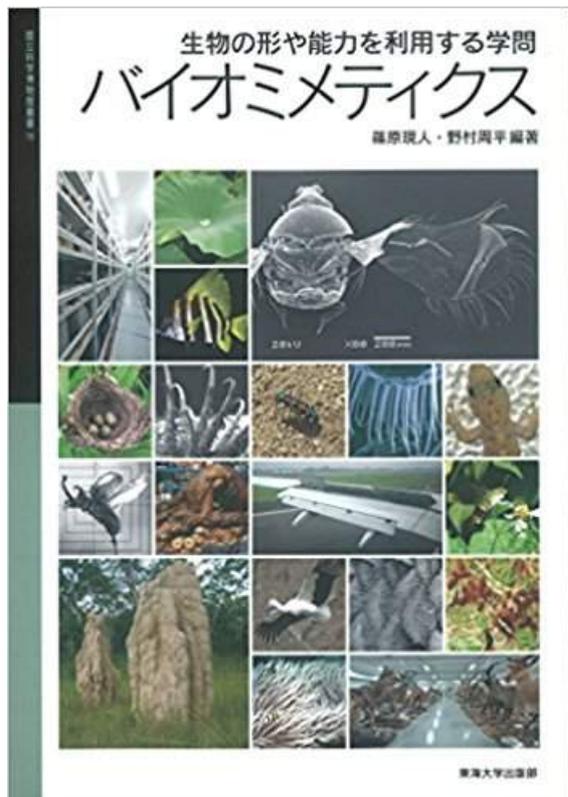
Research Group on Biomimetics



研究会の主旨

バイオミメティクス（生物模倣）は、生物の構造や機能、生産プロセスなどから着想を得て、新しい技術の開発やものづくりに活かそうとする科学技術であり、古くより合成繊維や電気回路の発明をもたらしてきました。今世紀になって、世界的なナノテクノロジーの展開と相まって、ロータス効果やゲッコテープなどの新しい材料が開発され、生物学・博物学と材料科学や工学の緊密な学際融合に基づいた新しい学問体系を生み出すとともに、材料設計や生産技術の新規開発とそれに基づく省エネルギー・省資源型モノづくりなど、持続可能性社会実現への技術革新をもたらすものとして産業界からも注目されています。本研究会は、大学、博物館、研究機関、企業、科学技術政策など様々な立場からの問題提起と意見交換を行うプラットフォームとして、高分子学会を中心に関連の学協会との連携のもと2012年に発足しました。大津市民会館で開催した設立記念講演会の主題は、『生物多様性がもたらす持続可能性社会に向けて』でした。また、バイオミメティクスの国際標準化（TC266）に対応する国内審議機関として、関連学協会の協力を得ながら国際標準化機構（ISO）への認証と提言を行います。年に複数回の研究会、講座、国際シンポジウム等を開催するとともに、博物館などを利用したリカレントなどを通じて、産業界と大学・研究所、生物と工学の融合と連携のための橋渡しの場を提供します。

<http://main.spsj.or.jp/c12/gyoji/biomimetics.php>



生物の形や能力を利用する学問
バイオミメティクス
(国立科学博物館叢書)

編集： 篠原現人、野村周平
発行：2016年3月
出版社：東海大学出版部

- 第1章 バイオミメティクスとは何か？
- 第2章 歩行する生物に学ぶ
- 第3章 遊泳生物にみられる工夫
- 第4章 飛翔からわかること
- 第5章 科学や人の生活に役立つ生物学情報



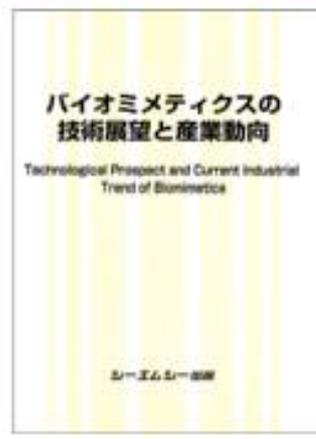
生物模倣技術と新材料・新製品開発への応用
監修：文部科学省 科学研究費新学術領域「生物規範工学」
高分子学会 バイオミメティクス研究会
エアロアクアバイオメカニズム学会
発行：2014年7月
出版社：技術情報協会



インストルメンテーションの視点から見たバイオミメティクス
監修：下村政嗣
発行：2016年7月
出版社：シーエムシー・リサーチ



次世代バイオミメティクス研究の最新動向 - 生物多様性に学ぶ -
監修：下村政嗣
編集：バイオミメティクス研究会
発行：2011年8月
普及版：2017年11月
出版社：シーエムシー出版



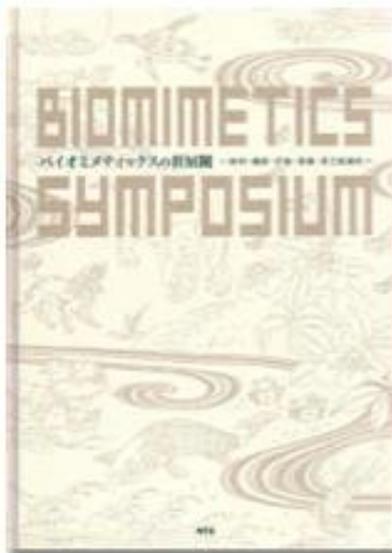
バイオミメティクスの技術展望と産業動向
発行：2016年6月
出版社：シーエムシー出版

バイオミメティクスシリーズ（株式会社エヌ・ティー・エス）

株式会社 **エヌ・ティー・エス**
理工系専門書出版



バイオミメティクスハンドブック
2000年



バイオミメティクスの新展開
2002年



プラントミメティクス
2006年



ファイバー
スーパーバイオミメティクス
2006年



昆虫ミメティクス
2008年



昆虫に学ぶ新世代ナノマテリアル
2008年

編集委員会

居城邦治

齋藤彰

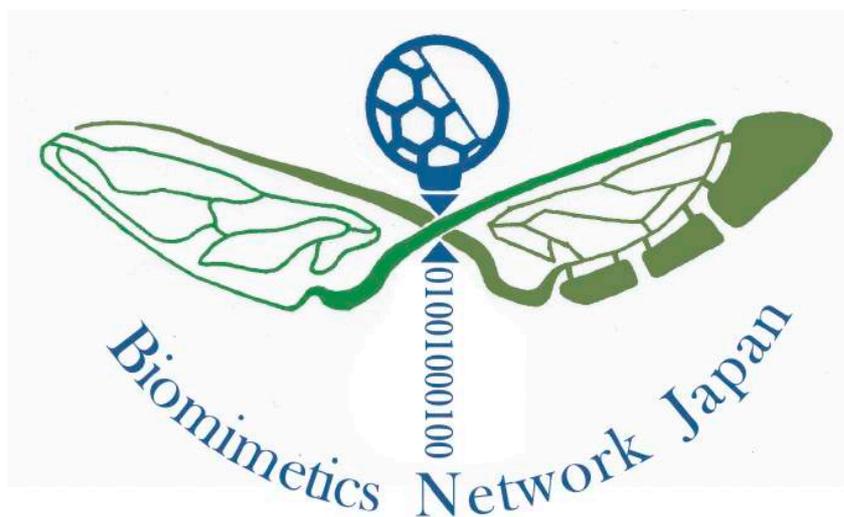
下村政嗣

出口茂

平井悠司

平坂雅男

穂積篤(委員長)



Biomimetica

発行：特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会

発行日：2018年2月2日

編集：機関誌 Biomimetica 編集委員会

<http://www.biomimetics.or.jp/index.html>

E-mail：office@biomimetics.or.jp

ロゴデザイン：アキタ マイ

Copyright 2018 Biomimetics Network Japan All Right Reserved

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS
世界を変えるための17の目標



特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会は、持続可能な開発目標を支援しています。



発行元：特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会
発行日：2018年2月2日
編集：編集委員会
ロゴデザイン：アキタ マイ