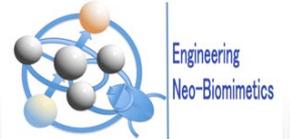


生物多様性を規範とする革新的材料技術

Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity



ニュースレター Vol. 1 No. 2

生物規範工学

Engineering Neo-Biomimetics

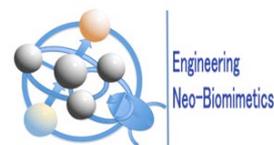


文部科学省 科学研究費 新学術領域
「生物多様性を規範とする革新的材料技術」

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

CONTENTS



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

- 1) 巻頭言
 - ・ 新学術領域 “生物規範工学”の発足を祝う
国武豊喜 (北九州産業学術推進機構 理事長) 5
- 2) 評価委員からのメッセージ
 - ・ 「連携だけなら誰でもできる、クロスボーダ次世代を残せ」
下澤楯夫 (北海道大学 名誉教授) 8
- 3) 研究紹介 (2012年12月10日 神戸国際会議場 文部科学省科学研究費新学術領域
「生物規範工学」全体会議)
 - ・ 生物多様性を基盤とするバイオミメティクス・データベースの構築
A01班 野村 周平 (独立行政法人国立科学博物館) 14
 - ・ 戸田漁港での班間連携深海魚採集
B01-1班 平井悠司 (東北大学) 16
 - ・ 1次元フォトリック結晶中の厳密結合波解析
B01-2班 久保英夫 (東北大学) 18
 - ・ DNAを分子鋳型としたバイオミメティック金属ナノワイヤー作製技術の開発
B01-3班 居城邦治 (北海道大学) 20
 - ・ 昆虫の安全な飛行のしくみを探る
B01-5班 安藤規泰 (東京大学) 22
 - ・ Bio-TRIZを利用したバイオミメティック・デバイスの開発
C01班 山内健 (新潟大学) 24
- 4) 活動報告 (2012年10月2日 上野国立科学博物館 文部科学省科学研究費新学術領域
「生物規範工学」公開講演会)
 - ・ バイオミメティクス・データベースの構築： 発想支援型画像検索システム
A0-1班 長谷山 美紀 (北海道大学) 27
 - ・ 微細界面構造とウェットトライボロジー
B01-1班 平井悠司 (東北大学) 29
 - ・ いい加減かつ巧妙：生物に学ぶ光技術
B01-2班 吉岡 伸也 (大阪大学) 31

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

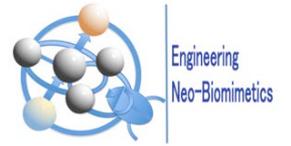


Engineering
Neo-Biomimetics

・虫が手をする足をする：虫から学ぶ接着・非着のナノテクノロジー B01-3班 細田 奈麻絵（独立行政法人物質材料研究機構）	33
・汎用元素による環境に優しいはつ油処理 B01-3班 穂積 篤（独立行政法人産業技術総合研究所）	35
・バイオミメティクスと植物保護 B01-4班 森 直樹（京都大学）	37
・細胞操作材料のメカノバイオミメティクス B01-5班 木戸秋 悟（九州大学）	39
・バイオミメティクスの社会インプリケーション C01班 阿多 誠文（独立行政法人産業技術総合研究所）	41
5) トピックス (PENより)	
・特別寄稿 1 (新連載 生物規範工学 第一回) 大震災後に確信し、そして反省したこと 下村政嗣（東北大学）	44
・生物規範工学 第二回 Homo domesticus - 家畜化したヒト 針山 孝彦（浜松医科大学）	49
・生物規範工学 第三回 私が体験した驚愕の「生物規範工学」in アメリカ 森 直樹（京都大学）	55
・生物規範工学 第四回 自然に学ぶ防汚性：超親水性表面の利用 小林 元康 ¹ 、高原 淳 ^{1,2} （1 科学技術振興機構ERATO 高原ソフト界面プロジェクト、2 九州大学 先端物質化学研究所）	61
6) 国内外研究動向紹介	
・滋賀での実践 - 自然に学ぶものづくり・まちづくり 星野敬子（NPO 法人アスクネイチャー・ジャパン）	66
・麗しくそして懐かしのストックホルム Swedish Biomimetics 3000 訪問記 佐野健三（株式会社 積水インテグレートリサーチ）	69
・12-1バイオミメティクス研究会報告 浦田千尋（独立行政法人産業技術総合研究所）	72
7) 新聞・報道	76
8) アウトリーチ活動	79
9) 各種案内	82

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



卷頭言

新学術領域“生物規範工学”の発足を祝う

北九州産業学術推進機構
理事長 国武豊喜



このたび、本領域の評価グループの一員として加わることとなった。生物を規範とする材料、Biomimetic Materials、は、近年、国際的に大きな注目を受け、活発な研究開発が先進国の多くで行われている。化石資源に頼り従来型の生産方式による材料開発が、資源や環境、エネルギーの面で様々な課題を抱えていることが明白となり、それに代わる学術や技術が求められているからである。

領域代表である下村教授の解説にあるように、機械系バイオミメティクスは、ロボティクスやセンサーの分野で 1960 年代から興味の対象であり、一方、分子系バイオミメティクスは、1970 年代から 1980 年代にかけて体系化された。前者は主にミリメートルサイズ以上の構造を対象とし、後者ではナノメートル程度の大きさの構造体を対象であった。この状況はナノテクノロジーの立場からは、極めて興味深い。ナノ構造体を作製する手法には、大きいものから削り込むトップダウン方式と分子・原子から組み上げて作るボトムアップ方式がある。従来、トップダウン方式で 3 次元デバイスを効率的に作り込む限界はミクロン程度であり、ボトムアップ方式で 3 次元構造を作る上限は数十ナノメートルであった。従って、10 ナノメートルから 1 ミクロンに至るサブミクロンサイズの構造やデバイスを作製する一般的な手法は、まだ、実現していない。ところが、生物に見られるユニークな材料構造は、このサイズ領域にあることが多い。おそらくこの事情が、生物の多様性を規範とする材料作製技術の開発をこれまで阻んできた、のであろう。

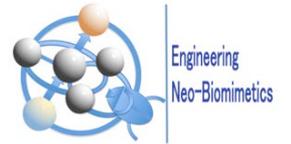
最近になってこの状況にも新しい展開が見えてきた。ボトムアップ側からは、ミクロン以下の精度をもつ複雑な構造が、自己組織化の手法を使い可能となってきた。また、トップダウン側からは、rapid prototyping の方式に基づく 3 次元プリンターにより、ミクロン精度

までの複雑な構造が比較的容易に製造できるようになった。サブミクロン領域の構造に対しては一般的に有効となる方式が見出されていないとは言え、ギャップはずいぶん埋まってきた。これらの技術の進展がバイオミメティック材料の開発を促進することは間違いない。

最後に、本領域が「生物模倣（バイオミメティクス）から生物規範工学へ」を標榜することの意味に触れたい。従来のバイオミメティクスは、分子系であれ機械系であれ、生物の挙動を化学または力学の知識で切り取り、単純化したモデル系を作製することが主流であった。それに対し、「生物規範工学」では、生物の作動原理をあるがままに観測し、生物の技術体系を出来るだけそのままの形で活用することが求められているようである。そこには基礎となる多様な科学や技術が含まれるであろうが、それらの統合化こそが本質である。このパラダイムシフトがどのようなイノベーションを生み出すか、今後が楽しみである。

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



評価委員からのメッセージ

「連携だけなら誰でもできる、
クロスボーダ次世代を残せ」

北海道大学 名誉教授 下澤 楯夫



生物規範工学の必要性を提唱してから、20年近くが経ってしまった¹⁾。この言葉を冠した新学術領域の発足を心から嬉しく思い、大いなる成果を期待している。キックオフ会議（10月2日東京上野国立科学博物館）では、下村領域代表が「持続可能な社会を実現する基盤としての工学と生物学の連携」を謳った。しかし、我が国で医工連携（医学と工学の連携）や生工融合（生物学と工学の融合）を掲げた活動が真に実りある形をなした例はきわめて少ない。それで、「生物学と工学の境界を越えた（Across-bordered）次世代」を育成し学術領域としての持続性を確保するよう、評価グループの一員として要望したのである。

そもそも「連携」とは何か？工学者と生物学者が連名で論文を書けば連携か？そんなコトは誰でもできるヤッタフリ連携に過ぎない。真に新しい学術は、既存の境界線上にではなく、境界を越えた処で当事者として生きることから始まる。勿論、40代50代の研究者が脳みそを入れ替えて、訓練を受けたこともない異分野に移り棲むことなど出来る訳がないし、社会もそう短兵急に付託している訳でもない。ただし、10年後20年後には実際に世の中を変えている人材を育てるのが教育研究機関の役割だ。それで、「生物系の班員は工学出身の若者をポストドクとして鍛え、工学系の班員は生物学出身の若者をポストドクとして鍛えて、生物の技術（生きる仕組み）を我々の技術に転化する人的基盤としてのクロスボーダ次世代を確実に残せ」と提案したのである。これは、「少しでも変異した次世代を残し続ければ、環境に適応した新しい種の分化さえ起る」、「生物進化は生きる仕組みの転用の歴史である」という生物の存在原理そのものの実践を要請したことになる。

残念ながら、クロスボーダは我が国の一般風潮とは合っていない。理学部生物学科の助教授として昆虫神経生理学の教育と研究に携わっ

ていた35年前、「学術研究の新しい動向」を高校教員の研修会で紹介する機会が与えられた。筆者の講演が終わってから聴衆の一人が、「下澤君、下澤君だよ。同姓同名の別人かと思ってた。あなた確か、工学部の電子工学科へ進学したんじゃないの？どうして理学部で生物の助教授なんかやってるの？なんかヤラカシタの？」と話しかけられた。母校の教師が研修会に来ていたのだ。「なにかをヤラカシタ訳ではありません。これからの世の中が健全な科学を持つためには、工学技術を使って生物の仕組みを調べたり、生物の生きる仕組みを工学技術に取り入れたりする必要があります。神経系は情報通信系ですから電子通信工学と同じです。今は生物学の助教授として次の世代を育てて給料を貰っています。」と、工学と生物学とは自然科学として一体で相互乗り入れ可能であることを説明したが、理解して貰えた訳ではない。万世一系を貴ぶ我が国では、高校教員ですらこうなのだ。人生も「縦流れ」が美しく全うな生き方で、「横渡り」は邪（ヨコシマ）で忌むべきことなのだ。横に流れた教え子は、きっと何か「社会的非行をヤラカシ」て罰を受けたに違いないのだ。同じ趣旨の「なにかヤラカシタのか」詰問は、その後の高校の同窓会でも複数の教師や同期生から受けた。

このように、高校教師を含めて一般市民の多くは、学科や学部など「大学の縦割り教育」構造を、学術の根本的・本質的な構造に由来しているかのように誤解している。我が国の高等教育における縦割り構造は、「社会の要望に合った人材を高効率で供給する作業」と「学術（人類としての知的生産）の高度化と次世代への伝達作業」との妥協の産物に過ぎない。にも拘らず、あたかも神が規定した自然界の構造であるかのように誤解されているのである。これは重大な問題である。さらに残念なことに、この間違いに気付かない「科学者仲間」もまた多いのである。自然は一体で、自然の中が「数学、物理、化学、生物学」に分かれている訳ではない。人間が、何かの観念に囚われて勝手に自然を分割し、便宜上の名前を付けたに過ぎない。少なくとも、自然の中にこれら科学の諸分野の境界線を見出すことは出来ない。

我が国の行政はポストドク制度の設計に見事に失敗したままだ。そもそも担当省庁にポストドク経験を持つお役人はいない。昔、ポストドクと大学院生の違い（大学院生は訓練すべき対象、ポストドクは共

同研究者)すら理解していない担当係長の欧米研究開発体制視察記を読んで、暗澹とした。しかし、嘆くだけでは状況は変わらない。新学術領域を自認するなら、研究費を次世代の育成にも投入して自前でクロスボーダポストドクを養成して人的学術基盤として次世代へ遺すべきなのだ。さもなくば、ただの「ヤッタフリ連携」で終わる。

太平洋を東へ渡った国のポストドク制度は、異分野融合が自発的に進む仕組みとして、良く出来ている。ポストドクを雇うボスは、資金と装置と床と(自らの失敗を含めた)多くの知識と大受けしそうなテーマを持っている。しかし、年寄りで指先も震え顕微鏡も霞んでデータを上手く集められず、頭も硬く固執から抜け出せない。ポストドクとなる若者は、金も装置も床もなく知識も少ないが、3-4日は徹夜で実験を続ける体力と器用な指先と良く見える眼、柔軟な発想が出来る最新型の脳みそ、そして人生の夢と勇気を持っている。ポストドクとは、前者と後者が手持ちの富を交換トレードする制度である。前者は後者から若い体力と指と眼と脳みそと勇気を手に入れ、後者は実験費用と装置と床、そして当面の生活費を手に入れる。こうして共同生産した研究成果が高い評価を受ければ、両者共に人生が豊かになる。ここで重要なのは、ボスは自分には出来ない異分野の作業をしてくれるポストドクを必要としており、ポストドクは自分の人生を掛けてボスとは異なる分野を開拓しなければ評価されないことである。世代交代を通して必然的に異分野融合が進むのである。彼の国は「人種の坩堝(ルツボ)」と形容されるが、「科学の坩堝」でもあるのだ。科学の坩堝による異分野融合が高い産業競争力を支えている。本領域の班員には、このまま万世一系の縦割りバラバラ科学の列に並び続けるか、クロスボーダポストドクを養成する科学の坩堝作りになるか、選択が問われている。

今や工学の現実は、「行き詰まり・閉塞」状態にある。数学・物理・化学に頼った古典的な設計論理で出来ることはやってしまった。どうすれば設計できるのかさえ分からないことが山積している。工学に「真の合成理論」は存在しない。人間は分析しか出来ない。上手く行った場合の分析経路を逆に辿ることを合成理論と呼んでいるに過ぎない。学習機械(NeuralNet、誤差逆伝搬)、最適化制御(Fuzzy理論、Genetic Algorithm)、Combinatorial chemistryなど、どれも条件を少しづつ

シラミ潰しに変えて上手く行った結果を拾っているだけの、完全敗北主義・設計放棄状態にある。そんな膨大な試行錯誤のコストに何時まで耐えられるのだろうか？

膨大な試行錯誤なら、自然界は既に終えた膨大な試行錯誤の結果で満ちている²⁾。生物の進化（変異と選択、工学用語なら試作と市場評価）は構造と機能の転用の歴史である。多くの工学者はそれすらも知らない（知ろうとしない）。現実の世界に在るものに目をつぶり続けるのなら、工学は科学の資格を失う。

18世紀は数学の時代、19世紀は化学の時代、20世紀は物理学の時代、そして21世紀は生物学の時代と呼ばれている（図1）。最初の三つは「この世界は、どんな物で出来ていて、どんな力が支配しているかを教えてくれた科学」で、現在の科学技術の基盤をなしている。そして、生物学は「この世界にはどんな設計があり得るのか」を教えてくれるのである。工学とは「積極的に人工物を設計して自然と相互作用する人間活動」なのだから、工学は生物の技術（生きる仕組み）から学ばざるを得ない。現実の世界には生物が満ち溢れており、我々自身が生物なのだから。

確かに、かつての物理学や化学は生物現象を脇に置いて対象から外すことで、身軽になり大きく発展し、現在の科学技術の基盤としての地位を確立した。生物学は数学、化学、物理学の発展の後でなければ開花できなかつたし、数学・化学・物理学の理解なしに生物現象を深く理解出来ないことも事実である。しかしこの歴史上の発展の順は、これらの科学諸分野の単純さの順をも証明していることに注意してほしい。現在の工学は、単純な科学にしか頼ってこなかったのだ。複雑な現実に対処可能な技術を単純な科学に頼って作り上げる、というのも不思議な信仰である。

現実の世界に満ち溢れる生物現象の科学をも基盤に据えた、健全な工学体系を創り出して欲しい。

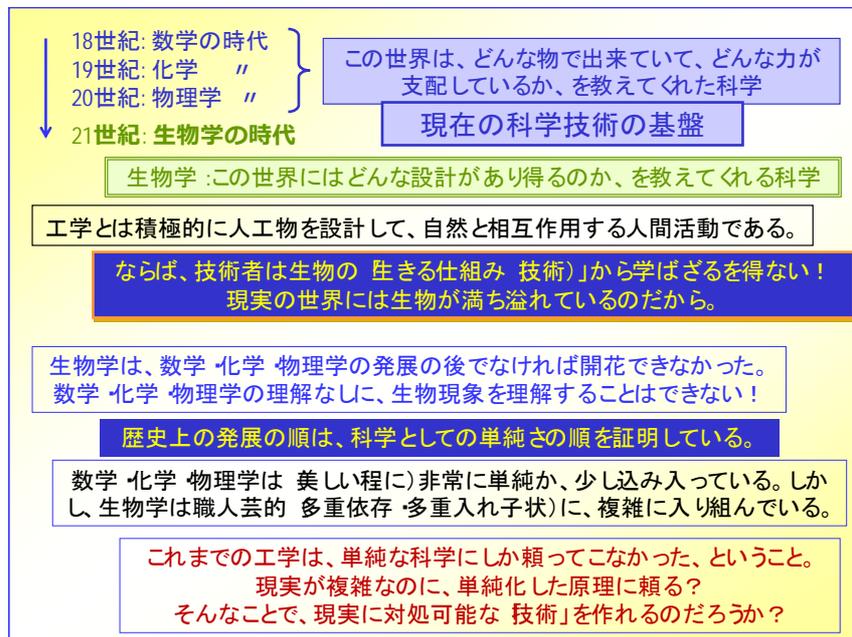


図1. 自然科学諸分野の発展の歴史と役割および単純さの度合い

- 1) 下澤 楯夫「生物規範工学への道 (Towards Bionormal Engineering)」: 日本機械学会第72期全国大会講演論文集(V)、p59-60、1994-8.17-19, 北海道
- 2) リチャード・ドーキンス「進化の存在証明」、垂水雄二訳、早川書房、東京 2009