



## 生物をまねた新素材

竹本喜一\*

### Bio-Imitative New Materials

Key Words : Functional Polymers, Bio-Imitative Materials

#### はじめに

二十世紀の後半、私たち人類は石油化学やその工業を基盤としてプラスチック、ゴム、合成繊維をはじめ接着剤や塗料など、はなやかな産業を育てて今日に至った体験をしみじみと述懐することができる。さらにこれら素材にとどまらず、鋼鉄のような固いプラスチック材料から金属レベルの導電性をもつ高分子をはじめ、今では実に多彩な高性能、高機能の材料も人間の手で自在に合成できるようになって来た。最近では肌に心地よい弾性繊維や、柔軟で不燃性の有機プラスチックまでが登場し、高分子合成化学の技術も質、量ともに最高のレベルにまで到達した感がある。

しかしながら今世紀の冒頭に当って、これら人間のつくって来た高分子材料にも副生物やリサイクル、さらには生物との競合性など様々な問題点が指摘されはじめ、より高度な複合材料や高機能材料を開発すればするほど、化学構造が厄介で大地に還元して容易に循環できない材料が増えて来ている。

二、三の例をあげて見よう。高分子機能材料の中には、エレクトロニクスやオプトエレクトロニクスなどに関連した、すぐれた材料が数多く出現し始めている。また一つの分子が他の分子を認識できる、といった高度に知的な分子も知られるようになった。確かに分子間の認識挙動も、分子の活性よりもそれら分子の形や大きさが似ているとか、似ていないと

かの問題が重要であって、記憶材料の合成も今では生化学との関連で大きい進展を見るに至っている。

一方で生物の体を構成したり、生物が生きていくための様々な機能を発揮するための材料は、同じ高分子材料であっても、人間が近年に開発して来た石油化学系のものとはずいぶん違っていることに気付く。生体を構成している材料は確かに、種類から見て植物系の多糖類や、動物系のタンパク質など、ごくわずかな種類の化合物しか使われていないが、あらゆる角度から見て理想的な機能を備え、それをうまく実現しているように見受けられる。人間の80年も休まない心臓系、熱をほとんど使わないホタルやヤコウチュウなどの発光系、そして超微細なゾウリムシの、効率の極めてすぐれた鞭毛運動、など。このような動植物の仕組みの不思議な例は、身近なところにいくらでも見られる。

生物に学ぶことは多いが、生体をつくり上げている材料、とくにその進化との関連に目を向けた学び方、いままではほとんど考えられて来なかったように思う。化学の世界では、生体内の化学反応を極めて特異的かつ選択的に触媒作用する酵素だとか、遺伝情報の鍵をにぎる核酸とかの、余りにもすぐれた理想的な反応系や高機能の姿に魅きつけられて、それをフラスコの中、常圧常温下で実現しようとする。いわゆる生物有機化学への研究熱が急速に高まり、これらのモデル研究も花盛りの現状である。しかし何故、このような生体の高機能がセルロースやポリアミノ酸といった、ごくわずかな種類の高分子材料に盛られねばならないか、と言った根本問題はあまり考えられて来ていないように思う。このあたりをカバーする、未知に近い学問を私は材料生物学と呼んでいるが、研究のまだあまり見られないこの領域にも興味をもつ人たちが増えはじめて来ている。すでに私はここ十年ほどの間に若干の総説や成書を書き、多くの講演も行って来ているが、紙面の関係も



\* Kiichi TAKEMOTO  
1930年2月生  
現在、(元)工学部・(元)応用精密化学科・化学系、大阪大学  
名誉教授、工博  
TEL 072-695-6411  
FAX 同上

あり、最近のごくわずかな例をご紹介したいと思う。詳細については引用文献1),2)をぜひご参照頂きたいと思う。

### 1. アリヅカの話

エチオピアやオーストラリアには、高さが4メートルにも達する、塔とも呼ぶべきアリヅカが存在し、おどろかれた方も多いと思う。日本の北部に住むヤマアリも枯葉や小枝を材料にして、粘着性の分泌物で大きい巣を作ることが知られている。

この巨大な巣では、内部の湿度や温度がほぼ一定に保たれ、調節されているのである。アリヅカを構築する方法は有史以来、人間の考えて来たワインゲラーや住宅産業のアイデアもとても及ばないところであろう。

さらにこのアリヅカの材料を考えると、驚くべきことに巣の材料は、枯葉や土をわずかな量の分泌物で固めたものにすぎないことである。それはうまく設計された粘着性のポリアミドなのかも知れないが、人間のように金属やセラミックス、それに各種の機能材料を用いて築き上げたものでは決してないはずである。このアリヅカを破壊するには、強力なダイナマイトが必要なほど強固に仕上げられた建造物だということである。

私もオーストラリア北部、ダーウィン郊外の大平原でいくつものアリヅカに出合ったことがある。触れてみた感じでは、ただの土を固めただけのものに過ぎなかった印象がある。土と樹脂、つまり分泌物の配合はどんなものなのであろうか。

京大の井上教授によれば、植物は自分の体を守るために樹脂をはじめ、いろいろな物質を作り出すことができ、たとえばハリナシバチはアリのように高度な社会をきづいて来たが、その「賢さ」は巣の材料として特殊な植物がつくる樹脂を集めて巣の回りを固め、出入り口に気を使って、室内の温度や湿度を一定に保っているところにあるという。樹脂はコハク状でやはりハンマーで叩いて、やっとなることができるときの立派な重縮合系の樹脂であるという。これらを分解して再構築するときのシステムはどのように工夫しているのだろうか。これら進化のある段階に位置する生物の高粘性、高強度な複合材料を無数の生物個体の共同作業でつくり上げる技術はぜひ彼等から学びたいものである。

### 2. モルフォ蝶の色彩

中南米を中心として、モルフォチョウと呼ばれる大型のチョウが30種ほど生そくするといわれているが、このきれいな金属性の光沢を放つ青らん色の羽根は過去に民芸品として利用されていた。多くの美しい蝶の中でも、このモルフォ蝶は、その発色の仕様が大人気な面白さで知られ、とくにレテノールモルフォ蝶の羽根の表面は、リン片状の特殊な分子構造をもっており、光が羽根の表面に当たって屈折、反射して外へ出るときに、光が干渉して強く発色するといわれる。

もう十数年も前の話だが、クラレ中央研の平野博士らはこの点に着目して、扁平な断面をもつ繊維の長軸を織物の表面に垂直な方向に並べた構造の織物をつくることを世界に先がけて成功したことは有名な話である。デフォールと名づけられたユニークな繊維が、その着想をモルフォチョウから得た点が大へん興味深いと思われる。

タマムシ独特の発色も解明が加えられているし、カメレオンのような光や温度の変化によって巧みに体色を変える生物にも関心が集まっている。

### 3. 年輪の学ぶ

日本の樹木には、一般に年輪が見られる。年輪は木が大きく生長する春から夏への時期に肥大し、また逆に冬場にかけての時期には細い1本の線が生ずるに過ぎない。年輪のつき方は、木の種類や土壌、風土にもよるが、生長のはげしい夏と、そうでない冬とで、2枚の性質を異にする合板ができるように積み重ねられ、樹木の強さやしなやかさ、硬さ、色合い、比重などのまったく異なる層を形成することは興味深いことである。

一方人間の世界では、複合材料のサイエンスが近年大きく、進展して来た。たとえば2枚のまったく性質の違った板から合板をつくるとしよう。その合板の強さは、2枚の板の性質に応じて、複合材の性質も加味されて仕上げられる。さてわれわれ人間の作る合板と、樹木の作る年輪をもった材料とは、どちらもうまくできているようであるが、天然の樹木と人間の作る材料とでは、その考え方や作業の仕方に大きい差異のあることに気づかされるであろう。

樹木の方は、夏材とか冬材とか、異なる材質のも

のを貼り合わせて人間の生活に役立つ建材を作ろうとは毛頭考えてはいない。樹木では年輪を沢山取り巻いて、よい材料を作っているように見えるが、実はどの部分をとっても、化学的には全く同じ材料であることに気づかされるのである。

人間は材料を複合化させるとき、必ずといっていいほど、違った種類の木材やプラスチックを、それもフィルム、合板、スポンジなどの形ではり合わせていく。材料間の形態はともかく、化学的組織を一定にすることなどは一向に頓着しないように見える。近年、人工皮膚はじめ特殊な建造物に傾斜材料といった新しい考え方が出され始めたが、このアイデアこそは、実に太古の時代より動植物が体の中で生み出し、築き上げて来た材料合成の手法なのであった。傾斜材料の考え方は、現在ようやくセラミックスやプラスチックの分野で興味をもたれているが、近い将来には年輪をまねて、もっと奇抜ですばらしい材料設計ができるかも知れないと思う。

#### 4. 電気魚の話

一方、世の中には実に面白い生物がいるものである。電気魚もその一つで一たび怒ると、普通では考えられない強さの電気を発生する。不思議と電気に関係ある「植物」は存在しないようである。

一般に、生物は生きているときには大なり小なり、わづかながら電気を出しているものだが、しかしその強さはせいぜいミリボルト台の弱いものといわれている。

生物が死ぬと、この電圧は完全に停止してしまうので、電気が発生しているかどうかは生死の一つの表現にもなる。動物の場合、それも電気魚では電気板といわれる、おそらくタンパク質やニカワでできた規格単位を、一方向にうまく積み重ねたものを発電器として備えている。体長2メートルにも達するデンキウナギなどでは、起電力650ないし850

ボルトの強力な発電によって、大型の馬でも倒すといわれている。

ここで特筆すべきことは、こんなに強力な発電が水の中で行われ、また魚自身、つまり自分はその電気でまったく感電しないことである。放電をくり返すと電圧は低下するが、体の材料自体は損傷を受けたり、こわれたりもしない。この強靱な材料がふつうの魚や、電気魚の体の他の部分と同じなのか、どこが化学的にちがうのか、知りたいものである。しかし、電気魚が電気をおこすのは単に餌を取ったり、相手をびっくりさせるだけのことなら、大規模な発電量は不要だろうが、まだよくわかっていない。

電気を作る理屈は、水素と酸素から電気と水をつくる、いわゆる燃料電池と同じである。人間とちがってこの魚はずっと昔からこの原理を用いて生きて来たのである。人間がこの原理を用いて火力発電を行った歴史ははるかに浅いものといえる。それにしても何度もの大きい発電にびくともせず、もちこたえられる高分子材料には、一体どんな分子設計の謎が秘められているのだろうか、電気魚に質問してみたい問題は多い。

「生物をまねた新素材」の表題のもとに最近興味をもっている、「生体材料の視点からの材料化学」とでも言える学問を提唱し、今回は紙面の都合もあって、ごく表面的で、あまり化学に片寄らないお話しをつづってみた。以下の成書およびそれらの引用文献を参照して頂ければ幸である。

- 1) 竹本喜一、「生物をまねた新素材」(講談社ブルーバックス)(1995)
- 2) 竹本喜一、三乃基郷、「接着の科学」(講談社ブルーバックス)(1997)
- 3) その他  
NHKテレビ、国の内外における講演ほか。

