



【特別寄稿】

バイオテクノロジーの夢の実現

松永 是

学生の頃からたくさんのお話をコツコツ覚えておくことがあまり性に合わず、一定の公式とその使い方を知っていれば解答を得ることができる数学が好きになり、いつの間にか理系志望になった。そして都内の中高一貫の私立である開成学園に6年間通い、首都圏で生まれ育ったこともあり、都内にある理系の国立大学への進学を希望し、1969年に東京工業大学へ入学した。別に特定の大学を希望していたわけではなかったが、当時は大学紛争が社会問題化して一部の大学が入試中止に追い込まれたため、選択の余地が狭められた結果である。現在の個別入試などなく、全員が一括して入学後、2年生の時に専門を選ぶというシステムだった。当時は環境問題に興味があったので、合成化学科を選択した。

資源化学研究所生物資源部門の研究室へ

合成化学科はこの分野の最先端で活躍している先生や大御所の先生の講義が多かった。しかしだんだん興味を失い、学問以外に時間を使うことが多くなり、将来の進路もまったく決められずにいた。そして4年次の卒論配属先を決めなければならない時期に、生物学や生態学の研究がしくて学科主任の先生に相談したところ、学科にはそのような研究室はないということで資源化学研究所生物資源部門の鈴木周一教授（元資源化学研究所長、元埼玉工業大学学長）をご紹介いただき、鈴木研究室に配属されることになった。研究室には教授の他に助教と2名の助手がいて、当時の助手の軽部征夫博士（東京工科大学学長）と相澤益男博士（元東京工業大学学長）には特に親身にご指導いただいた。これが学問の分野に入ったきっかけである。研究室の生活は朝から晩まで長時間にわたったが、毎日大変充実した生活だった。

そして大学院に進学したてのある日、鈴木教授がアメリカNASAの宇宙開発関係資料を持って実験室に現れた。その日から突然テーマを変更して微生物電池の研究を行うと言う。微生物電池の研究は、土壌から水素を出す微生物を探したり近隣の研究所から水素産生菌を譲渡

してもらったりするところから始まった。水素産生菌は長期間使用できないので、当時アミノ酸産生菌で使われ始めた微生物固定化技術を使った。水素産生菌をポリアクリルアミドゲルに閉じ込めると安定化し、1か月以上にわたり連続的にグルコースから水素を生産することができたのである。この固定化水素産生菌を利用して燃料電池を構成することにより、長期間にわたりグルコースを電気エネルギーに変換することが可能になった。そしてこの結果を醗酵工学会（現在の生物工学会）で発表したのが、私にとって記念すべき最初の学会発表である。大阪の中之島で毎年開かれた醗酵工学会は当時から大盛況で、その年も大きな会場に300人以上の人が詰めかけていた。大変緊張し、声を絞り出すのにも苦労したが、多くのマスコミの人々も取材に来て、翌日の新聞に恩師の写真と成果が大きく紹介され大変うれしかったのを覚えている。

これがきっかけでますます研究が面白くなり、大学院博士課程に進学することにした。博士課程では、日々の実験、学会発表、論文執筆を繰り返し、忙しい毎日が過ぎていった。研究室はすずかけ台キャンパスの資源棟の8階にあったのだが、同じ階では後にノーベル賞を受賞する白川英樹博士が助手として毎日精力的にポリアセチレンの研究を行っていた。真空ラインの中で大変精密な実験が行われているのを傍目で見ている時の感動は忘れがたい。また在学中にハワイで行われた国際会議において初めて英語で学会発表を行ったことも、鮮明な記憶として残っている。

博士取得後は、すぐにポストが見つからないので、1年間日本学術振興会の特別研究員として研究を続けた。その後、先輩の助手の栄転や昇進に伴い助手に採用された。大学院時代ずっと塾の講師や家庭教師のアルバイトをしながら研究を続けていたので、国家公務員として初めて給料をもらった時は非常にうれしく、常勤で落ち着いて研究・教育に携われることはなんと素晴らしいことかと思ったものである。しばらくして、アメリカのフロ

著者紹介 東京農工大学大学院工学研究院（特別招聘教授、前学長）、早稲田大学理工学術院（研究院教授）

E-mail: tmatsuna@cc.tuat.ac.jp

リダ州にあるマイアミ大学海洋大気研究所に留学する機会を得た。ボスは海洋微細藻類や光合成細菌の研究で大変著名であり、特に光水素生産で多くの実績を上げた三井旭教授である。私の第2の師匠ともいべき先生で、留学後も毎年マイアミを訪れ、多岐にわたり指導を受けた。

自分の研究室スタート

このアメリカに留学中に、東京農工大学工学部に新設された資源応用化学科で助教授を公募しているのでどうかと連絡があった。首都圏にある理系の国立大学で、しかも独立して研究室を持てるポジションということで喜んで応募することにした。一時帰国して面接を受け最終的に採用されることになり、1982年にいよいよ自分の研究室をスタートさせることになった。やっと30代になったばかりで、最初に配属された卒論生は10歳も変わらない兄弟のような学生だったが、彼らと一緒に情熱を持って新規の微生物を探索する研究から始めた。当時はちょうどバイオテクノロジーのブームに火がついたところで、新しい研究室にもかかわらず、いろいろな会社がアプローチしてくれ、化学、食品、化粧品からエレクトロニクス、機械関連の会社まで共同研究をすることになり、これらの会社と新しい微生物や微細藻類の応用を模索しながら研究を進めた。

特に磁性細菌の研究は、研究室が始まったばかりの時に見つけ、今日まで30年以上継続しているテーマである。磁性細菌は、体内に合成した50~100 nm程度の磁気微粒子が10~20個ほど連なったチェーン上のマグネトソームと呼ばれる構造を保持している(図1A)。マグネトソームで地磁気を感知しそれに沿って泳ぐことにより、水面の好気的な環境から逃れ底面の嫌気的な環境で生存するのである。磁性細菌の培養は難しく、最初の頃は環境中から磁石を用い磁性細菌を集め研究に用いた。その後、培養可能な微好気性と偏性嫌気性の磁性細菌を見つけることに成功した(1993年Natureなどに掲載)^{1,2)}。これにより磁性細菌の研究は飛躍的に進んだといえる。そして2000年以降、世界に先駆けこの2種の磁性細菌の全ゲノムを決定することができ、オミックス解析への道を開くことができた^{3,4)}。また、マグネトソーム形成遺伝子は100 kbぐらいの領域に約30個の遺伝子がまとまっており、その領域が細菌間で水平移動することも明らかになった。日本、ドイツ、アメリカなどの科学者が競争でマグネトソーム形成遺伝子やタンパク質の解明を行い、内膜を陥没させ小胞を形成させるタンパク質、鉄

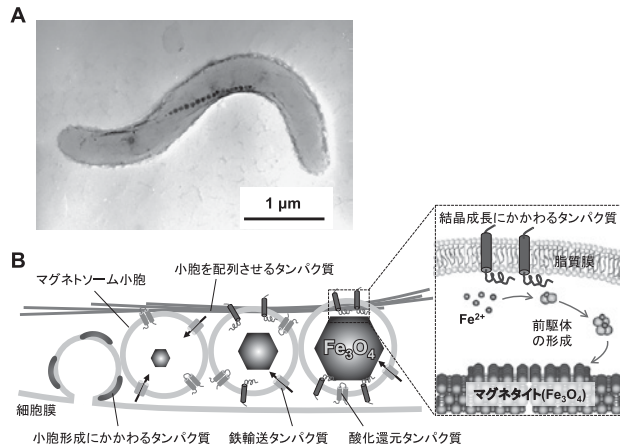


図1. (A) 磁性細菌の電子顕微鏡写真, (B) 磁性細菌内でのマグネトソーム形成機の概要。小胞には酸性アミノ酸に富むタンパク質が存在し、マグネタイトの結晶成長と粒子形態を制御する。

輸送や酸化還元にかかわるタンパク質、小胞を直線状に配列させるタンパク質などが明らかになった(図1B)。さらに我々は結晶の形態を制御するタンパク質を見出すことに成功し、これらのタンパク質がマグネタイトの表面で結晶成長を制御した⁵⁾。そして応用技術も進展し、遺伝子組換え技術を用いて酵素や抗体などの有用タンパク質を表面にディスプレイした磁気微粒子を磁性細菌に作らせることに成功し、バイオセンシングやドラッグデリバリーなどの計測・医療に応用した。そしてこれらの磁性細菌の研究が基となり、2004年に「生物磁石の利用に関する基礎的研究」という課題で生物工学賞を授与されたのである。生物工学会には初めての学会発表をさせてもらったり、学会賞をいただいたりして感謝している。こうした磁性細菌の研究は主に科研費で行った。基盤研究B, A, Sを中心に行ったが、磁性細菌の全ゲノムの決定など一番重要なときに5年間特別推進研究をいただいたのは、有難かった。

また、生物工学会、化学会、電気化学会の先生方との共同研究も刺激になり大いに鼓舞された。特に、名古屋大学の小林猛教授を代表者とする特定領域研究「バイオターゲティングのための生体分子デザイン」で、大阪大学の今中忠行教授、京都大学の田中渥夫教授(いずれも当時の肩書)とともに班長を務めたことは大きく、その時の経験を基に、その後、神原秀記日立製作所フェロー(当時)を代表者として特定領域研究「生体分子群デジタル精密計測に基づいた細胞機能解析: ライフサーベイヤをめざして」を立ち上げ、単一細胞解析分野に展開することができた。この時の班長は、京都大学の浜地格教

授、植田充美教授、大阪大学の民谷栄一教授であった。

1989年には、新たに工学部にバイオテクノロジーの学科（物質生物工学科、後に生命工学科）を新設するので先頭になって働くようにと、まだ30代だったにもかかわらず教授にいただいた。この頃から積極的に大学院の博士課程の学生を指導し、一緒に研究をしながら育成した。卒業生は次々と大学、研究所、民間企業に就職していき、大学関係では東京農工大学、京都大学、東京工業大学、早稲田大学などで現在教授として活躍している。

国際マリンバイオテクノロジー学会の立ち上げ

1970年代後半に遺伝子組換え・解析および生物応用技術の開発によりバイオテクノロジーが勃興し、1980年代には驚異的な進歩を遂げた。バイオテクノロジーがさまざまな分野に広がりつつある中、我が国は四方を海で囲まれている国として、海の生物のバイオテクノロジー、すなわちマリンバイオテクノロジーを発展させるべきであるという気運が高まっていた⁶⁾。そこで恩師のマイアミ大学の三井教授と同門の東京大学の宮地重遠教授（当時応用微生物研究所長、のちに海洋バイオテクノロジー研究所長）に代表になっていただき、何人かの先生方と一緒に、1989年第1回国際マリンバイオテクノロジー会議を東京で開催した。欧米をはじめ世界中の著名な研究者を招聘し、短い準備期間にもかかわらず500名を超える参加者が集まった。今後この分野が重要になることを実感した会議だった。さらに、日本発の国際学術雑誌を作ろうということでSpringer社（現在のSpringer Nature社）から『Journal of Marine Biotechnology』を発刊し、初代Managing Editorを務めた。この雑誌は後にアメリカで発刊した『Marine Molecular Biology and Biotechnology』を吸収して『Marine Biotechnology』になり、日本、ヨーロッパ、アメリカのマリンバイオテクノロジー学会の公式ジャーナルになった。私の研究室の助手、助教授をつとめたGrant Burgess教授（イギリス、ニューカッスル大学）が現在Editorとして采配を振っているが、当時のアメリカでこの分野のリーダーだった先生方は、「マリンバイオテクノロジーを立ち上げる時、日本にリーダーシップを取られ、国際会議や国際学術雑誌を始められ大変悔しい思いをした」と今でも述べているそうである。国際マリンバイオテクノロジー会議は3年ごとの開催で現在も続き、最近では中国の青島、オーストラリアのブリスベン、アメリカのボルチモアなどで開催され、一層の盛会を見せている。また2010年か

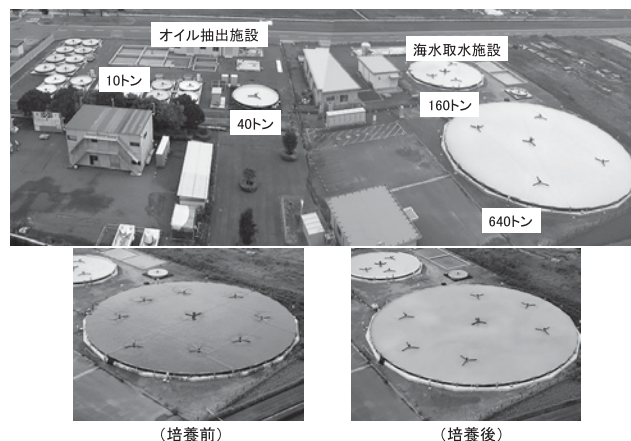


図2. 海洋珪藻を用いたバイオディーゼル生産のパイロットプラント

ら2013年まで国際マリンバイオテクノロジー学会の会長も務め、マリンバイオテクノロジー研究の国際化に注力してきた。

マリンバイオテクノロジーは魚類、大型藻類、微細藻類、微生物などの応用が主な分野であるが、私自身は主に海洋微細藻類の研究を中心とし、バイオディーゼルからサプリメントや化粧品などの有用物質生産を行っている。最近では電源開発の松本光史博士、東京農工大学の田中剛教授らと珪藻 *Fistulifera solaris* を見だし、藻体の約60%のオイルを体内に蓄積することを明らかにした。マルチオミックス解析により、オイルボディと呼ばれる油の塊が存在し、そこにトリアシルグリセロールとしてためていることを示したのである。さらに野外大量培養に挑戦し、10トンから始めて現在は640トンというレベルで珪藻を育て、バイオディーゼルの生産を行っている（図2）。2010年からは、JST（科学技術振興機構）のCREST、さきがけ「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」の研究総括としてCREST（5年間）13チーム、さきがけ（3年間）28人の研究者（PI）とともに将来のバイオエネルギー創成につながる革新的技術の実現につながるような基盤研究を行っており、生物工学会の多くのメンバーにも研究者やアドバイザーとして参加していた。

大学改革：世界の認知する研究大学へ

こうして大学での教育研究や国内外での学会活動に走り回っていたところ、2011年から東京農工大学の学長を務めることになった。東京農工大学は農学と工学とい

う実学分野の理系国立大学法人で、大部分の学生が大学院に進学するため全学生の約1/3が大学院生であり、博士課程への進学率も高い。明治の初めに内務省で農業と養蚕を指導する部署から現在に至っており、我が国の産業の発展とともに、農業は林業、獣医などを加え農学に、養蚕は繊維、そして工学と名称を変えつつ、第2次大戦後に国立大学東京農工大学としてスタートした。2014年に創基140周年をむかえた歴史ある大学である。

学長就任直後から、世の中では大学改革が強く求められるようになっていた。本学でも、農学、工学それぞれの分野でミッションの再定義が行われ、それに基づき学長ビジョンとして「世界が認知する研究大学へ」を打ち出した。さらにそれを実現するために、「世界に向けて日本を牽引する大学としての役割を果たす」こと、具体的には、

戦略1) 世界と競える先端研究力の強化

戦略2) 国際社会との対話力を持った教育研究の推進

戦略3) 日本の産業界を国際社会に向けて牽引

戦略4) 高度なイノベーションリーダーの養成

をビジョン実現に向けた大学改革・研究力強化戦略とした。

本学ではほとんどの教員は大学院の研究組織である農学研究院と工学研究院に所属している。さらに本学の得意とする食料、エネルギー、ライフサイエンスの分野で世界レベルの研究を展開するために新たにグローバルイノベーション研究院を設置した。このグローバルイノベーション研究院では、14の研究チームを作り、それぞれのチームでクロスポイント制度を活用して世界で著名な研究者をスーパー教授として雇用し、国際共同研究を推進し国際共著論文の増加を図っている。またテニュアトラック推進機構では、年俸制を活用して国際公募で優秀な若手教員をテニュアトラック教員として雇用

し、独立した研究室で教育研究に専念できるようにしている。この制度で採用した若手教員の活躍は目覚ましく、論文数や科研費の採択数は一般教員の倍以上となっている。テニュアトラック教員の採用数は年々増加し、現時点で全体の教員の約2割がテニュアトラック経験者となった。また女性未来育成機構は女性研究者の環境整備と女性教員の新規採用に力を入れてきた。これにより7年間で女性教員数を倍増することができた。さらに、2015年度から大学院生物システム応用科学府に5年一貫博士課程リーディング大学院食料エネルギーシステム応用科学専攻を新設し、国際的に活躍できる博士人材育成を強化している。

生物機能応用という側面から研究生活に入り、40年以上にわたりそのことが頭から離れたことがない。研究を進めるにつれ、生物や生物機能自体があまりに複雑であいまいなものだという認識が年々強くなっており、興味は尽きない。一方、この間の学問の進展はすさまじく速く、生物が組織、細胞、オルガネラ、膜、生体分子という階層構造で理解され、さらにタンパク質、核酸などの分子レベルで解明されるようになった⁷⁾。今後新たに生物の持つ機能や特性が明らかになり、応用の可能性が示されていくが、できるだけ科学者としてささやかでも貢献を続けたいと思っている。

文 献

- 1) Matsunaga, T. *et al.*: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **35**, 651 (1991).
- 2) Sakaguchi, T. *et al.*: *Nature*, **365**, 47 (1993).
- 3) Matsunaga, T. *et al.*: *DNA Res.*, **12**, 157 (2005).
- 4) Nakazawa, H. *et al.*: *Genome Res.*, **19**, 1801 (2009).
- 5) Arakaki, A. *et al.*: *J. Bacteriol.*, **198**, 2794 (2016).
- 6) 松永 是：海からの地球大変革，徳間書店(1997)。
- 7) 松永 是 編著：生命工学への招待，朝倉書店(2002)。

<略歴> 1974年 東京工業大学工学部合成化学科卒業。1979年 大学院博士課程修了，工学博士。1980年 東京工業大学助手，1982年 東京農工大学助教授，1989年 教授，2001年 工学部長，2007年 理事・副学長，2011年より2017年まで東京農工大学学長。この間，電気化学会会長，大学技術移転協議会会長，国際マリンバイオテクノロジー学会会長を歴任，日本化学会学術賞（1994年），カーネギー財団カーネギーセンテナリー教授賞（2003年），日本生物工学会生物工学賞（2004年）などを受賞，専門分野は生命工学。

<趣味> スポーツ全般