

# 海洋深層水中の微生物資源とその利用

榎本 恵一\*

(受領日：2015年5月7日)

高知工科大学 環境理工学群  
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

\* E-mail: enomoto.keiichi@kochi-tech.ac.jp

要約：我が国における海洋深層水の利用は、1989年に高知県に海洋深層水取水施設が設置されたときに始まる。筆者は1997年の高知工科大学の創立とともに大学に着任し、3年間室戸海洋深層水の研究事業に従事した。この間、海洋深層水中の懸濁粒子数および細菌数についての調査を行い、室戸海洋深層水の清浄性と安定性について明らかにした。引き続き海洋深層水中の微生物資源の調査を行い、室戸海洋深層水中に多様な細菌類が存在することを示した。同時に海洋深層水中の有用細菌として色素産生細菌の研究を行ったが、ここでは青紫色素ヴィオラセインの実用化のための生産法の開発について述べ、その課題を提示した。

## 1. はじめに

我が国における海洋深層水の利用は、高知県と富山県に海洋深層水取水施設が置かれたことから始まっている。高知県では1989年に「アクアマリン計画」の一環として室戸岬に取水施設が設置された。この施設はその後高知県海洋深層水研究所に引き継がれ、今日に至るまで海洋深層水の産業利用への研究が行なわれている。

筆者は1997年に高知工科大学の創立と同時に大学に着任したが、まもなく科学技術庁（当時）が主管する事業として「室戸海洋深層水の特性把握および機能解明」の計画が持ち上がってきた。筆者が所属していた工学部物質・環境システム工学科の学科長がこの事業のプロジェクトリーダーを務めたことで、筆者もこの研究プロジェクトに加わるようになった。これが契機となり、海洋深層水中の有用微生物の研究が筆者の研究テーマの1つとなった。しかし、当時海洋深層水の研究に携わった教員も次第に大学を離れ、高知工科大学と室戸海洋深層水の関わりが始まりについて知る人も学内に少なくなったため、高知工科大学における海洋深層水研究開始の経緯をここに書き記すこととしたい。また、筆者が研究対象とした色素産生細菌を例として、その有効利用にあたっての課題についても述べたい。なお、この分野になじみのない読者のために、専門用語については本文中、または脚注に説明を加えた。

## 2. 海洋深層水とは

### 2.1 定義

ここで言う「海洋深層水」は資源の利用の立場から使われる用語であり、海洋学等で使用される学術用語とは意味が異なる。（海洋学における「深層水」とはおおむね水深1,000m以深の海洋水を指し、水深300m程度の「海洋深層水」は海洋学では「中層水」に相当する。）中島<sup>1)</sup>によると、「海洋深層水」は「光合成による有機物生産よりも有機物分解が卓越し、かつ、鉛直混合や人為の影響が少ない、補償深度以深の資源性の高い海洋水」と定義され、現在もこの定義がおおむねそのまま踏襲されている。太陽光は海水に吸収され深度とともに弱くなるため、植物性プランクトンによる光合成は深度と共に減弱する。光合成による有機物生産が呼吸による有機物分解とつり合い、有機物の増減が差し引きゼロとなる深度を「補償深度」と呼ぶ。海水の透明度はそれぞれの海洋で異なるから、補償深度も海洋によって違っている。また、冬期には表面の海水が冷却されて沈み込み、深部の海水と入れ替わる鉛直混合が起きる。補償深度以深で鉛直混合がないという上記の定義を満たす海水は約200m以深の海水である。したがって「海洋深層水」として利用されているのは水深200m～1,000m程度の海洋水である。

## 2.2 特徴

海洋深層水は海水の1つであるが、産業への利活用の観点から、表層海水と比較して次のような特徴を持つとされている。(1) 低温性 (2) 清浄性・安定性 (3) 窒素、リン、ケイ素等の栄養塩に富む。

海洋深層水の温度は取水地域や深度によって異なるが、水深320mから取水する室戸では約10°Cである。海洋深層水の低温性は建物や園芸施設の冷房、冷水を好む水産物の飼養に利用されている。沖縄の久米島では小規模であるが、表層水との温度差を利用する海洋温度差発電が行われている。

清浄性・安定性は海洋深層水の工業的利用や水産業に役立っている。海洋深層水を脱塩して製造する現場では、海洋深層水に懸濁物が少ないため脱塩膜の目詰まりが少なく、したがって脱塩膜を長期間使用できる。また、魚介類に感染症をもたらす病原性細菌やウイルスが少ないことも魚介類の飼育や養殖に重要である。取水地の立地に依存するが、人為的な有害化学物質による汚染が少ないことも利点となっている。海洋深層水の水質が1年を通じて安定していることもその利用にとって重要である。

また、海洋深層水が栄養塩に富むことは藻類の生育に有利であり、室戸では海洋深層水を利用したスジアオノリの生産が行なわれている。これ以外にも海洋深層水の多くの利活用例があるが、それについては成書等<sup>1-3)</sup>を参照されたい。

## 2.3 室戸海洋深層水と取水施設

高知県室戸岬での海洋深層水利用の研究は、室戸が科学技術庁(当時)の「アクアマリン計画」のモデル地域に指定されたことに始まり、その実証研究として科学技術振興調整費「海洋深層水資源の有効利用技術の開発に関する研究」(1986年～1991年)が室戸で実施された。1989年、紀伊水道に面した室戸岬町三津に、取水管長2,650m、取水深度320m、1日あたり取水量460トンの海洋深層水取水管が完成した。同年、この取水設備を核として高知県海洋深層水研究所が設立され、取水設備を利用した研究が現在まで続けられている。その間1994年に2本目の取水管(取水深度344m、日量460トン)が設置され、1995年頃から地元企業による試験研究のための分水が始まっている。一方、室戸岬より近い高岡に二つ目の取水施設であるアクアファーム(取水深度374m、日量4,000トン)が2000年に開設された。この取水設備は商業用分水のためのものである。

これら2つの取水施設は室戸岬の東岸、紀伊水道

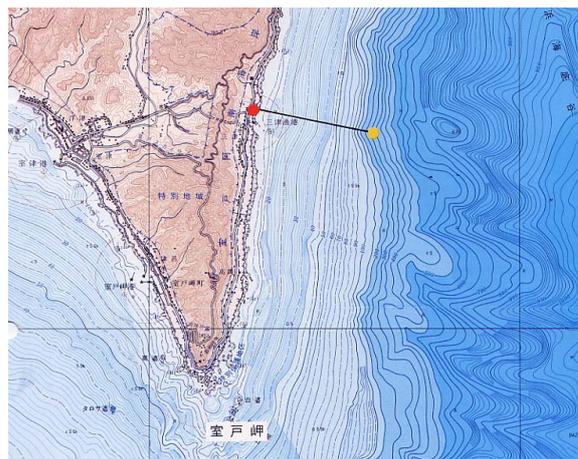


図1. 室戸岬周辺の海底地形(高知県海洋深層水研究所パンフレットより)黄色の印は取水地点を示す。

側に設置されている(図1)。室戸岬の東西では海底地形が大きく異なっている。西側(土佐湾側)は緩やかな傾斜であるが、東側(紀伊水道側)は急峻な傾斜の海底であり、海岸より6~7km沖合で水深約1,000mに達する。ここでは、海流がこの斜面に沿って上昇する湧昇流が生じている。深部より湧昇する栄養塩を豊富に含む海水によって植物プランクトンが発生するため、湧昇流のある海域は好漁場であるとともに、海洋深層水取水の適地となっている。

## 3. 海洋深層水研究プロジェクト (1998~2000)

### 3.1 プロジェクトの始まり

筆者は1997年に高知工科大学の創立と共に赴任したが、その当時、高知県海洋深層水研究所では地元企業への試験分水が始まっており、飲料水や食品等への海洋深層水の利用が図られていた。その後の海洋深層水関連の売上高を見ると、1999年の39億円から2000年には105億円となり、その後は多少の変動はあるものの100億円程度を維持し、2011年には136億円となっている<sup>3)</sup>。このように急速な海洋深層水の利用が進む中で、その機能の科学的検証は後回しにされていた。このあたりの事情は後述する1998年度~2000年度の研究プロジェクト報告書の緒言に次のように述べられている<sup>4)</sup>。「高知県の深層水利用として際立った特徴は、飲料、醸造用水、練り製品等々、生活関連領域への直接的な利用が盛んなことである。発酵が加速される、練り製品の弾力がます、アトピー性皮膚炎の治療に効果があ

る、など多様で定性的な報告が数多くなされている。しかし、その安全性、厳密な条件下における効果の検証、効果の由来については、ほとんど報告がない。」ここには海洋深層水の機能やその効果の厳密な検証なしに実用化に突き進んで行くことに対する危機感を見て取ることができる。

このような状況の中で、海洋深層水の特性と機能を科学的に見直そうとするプロジェクトが立ち上がった。科学技術総合研究委託費地域先導研究「室戸海洋深層水の特性把握および機能解明」（1998年度～2000年度）である。本研究プロジェクトは、県内の教育機関（高知女子大学、高知大学、高知医科大学、高知工科大学、高知工業高等専門学校）、研究機関（高知県工業技術センター、高知県海洋深層水研究所、高知県水産試験場、高知県衛生研究所）、国の研究機関（産業技術総合研究所、食品総合研究所）、民間企業（けんかま、シュウウエム化粧品）及び高知県産業振興センターが研究推進役として参加し、3年間の総予算2億4455万円の大規模なものであった。この研究プロジェクトにおける研究分野は次の通りであった。

1. 海洋深層水の特性把握
2. 食品分野での機能解明
3. 生物利用分野での機能解明
4. 健康・安全分野での機能解明

創立間もない本学もこの研究プロジェクトに参画し、筆者が所属した工学部物質・環境システム工学科の福富元学科長がこの事業全体のプロジェクトリーダー（中核オルガナイザー）として研究を推進することになった。期せずして当学科からも筆者と南一郎助教授（当時）がこの研究プロジェクトのメンバーとして加わることとなった。筆者は室戸海洋深層水中の「細菌類に関わる安全性の評価」を担当し、細菌類の分離・同定をおこなうことになった。

しかし、前任地の佐賀医科大学でラットの脳の細胞内シグナル伝達酵素について研究していた筆者にとって海洋深層水は全く未知の分野であり、一体何から手を付けてよいものか、また実用面はともかく、この研究が果たして大学での学問として成り立ち得るのかについてもよくわからなかった。この心配は半ば当たっており、海洋深層水中の有用細菌についての英文論文を学術雑誌で発表できるようになったのは10年ほど後のことである。

### 3.2 海洋深層水の清浄性

まず、海洋深層水の性質を自分自身で納得のいくまで知る必要があると考え、表層水と比べることに

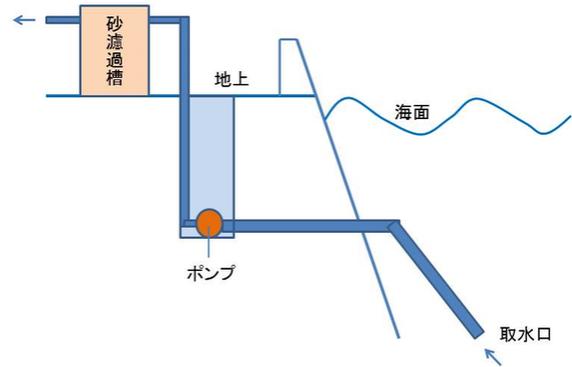


図2. 海洋深層水取水施設

よってその特徴を明らかにしようとした。しかし、海洋深層水的主要な性質はすでに調べられていたので、詳細なデータがない海水中の懸濁粒子数とそのサイズの分布を調べることにした。季節変化を観測するため、毎月海洋深層水を採取し、同時に海水中の細菌数の計測も行った。

図2は海洋深層水の取水設備を示す。地上から立坑を10mほど降りると海面下に位置するポンプ室がある。水深320mの取水口からの海水は、海面とポンプ室の落差に相当する水圧により動力を使わずとも自然にポンプ室内へ流入する。ポンプはこの海水を地上の砂濾過槽まで送るために使われ、砂濾過層を通過した海水が一般の試験研究に供されている。しかし、砂濾過槽を通ると元の海水の性質が変わってしまうため、海水はポンプ室内で採取した。

海洋深層水1mL中の粒径1～50 $\mu\text{m}$ の懸濁粒子は334～844個/mL（年平均549個/mL）であり、そのほとんどは粒径10 $\mu\text{m}$ 以下の懸濁粒子であった。また、季節による明瞭な変動はなかった。それに対して表層海水中の懸濁粒子は海洋深層水の場合の約8倍（年平均4,416個/mL）に上り、明らかな季節変動を伴って夏期に増大した。このように海洋深層水は懸濁粒子数から見る限り、表層水に比べて清浄性が高く、周年を通して安定した海水であることがわかった<sup>5)</sup>。懸濁粒子数が少ないことは実用面でも重要であり、海洋深層水から脱塩水を得るための逆浸透膜の寿命を延ばすのに役立っている。

### 3.3 細菌数の測定

懸濁粒子数と同時に海洋深層水中の細菌数についても測定した<sup>4)</sup>。細菌数の測定にはいくつかの方法があるが、ここでは、顕微鏡で観察しながら細菌を直接計数する方法と、細菌を平板寒天培地上で培



図3. 寒天培地上の細菌のコロニー

養し、増殖した細菌がつくる「コロニー」と呼ぶ細菌塊を計数する方法を用いた。平板寒天培地とは、栄養物と寒天を溶かした海水をシャーレに流し込んで固化させ、この上で細菌を増殖させるための培養器材である。

アクリジンオレンジ等の蛍光色素で細菌のDNAを染色後、蛍光顕微鏡で観察しながら細菌数を直接計数すると、海洋深層水1 mLあたりの細菌濃度は年平均値  $4.69 \times 10^4$  個/mLであった。これは海洋深層水中に多数の細菌が生息すること示していた。次に海洋深層水中の細菌を特殊なフィルターで濾過することによりフィルター上に濃縮した。このフィルターを寒天培地に密着させ、20°Cで数日間培養し、形成されたコロニーを計数した。図3に海洋深層水を塗布した寒天培地上のコロニーを示す。さまざまな形態、色、大きさのコロニーが見られる。コロニー数の年平均値は59.3個/mLであった。

コロニー計数から求めた細菌濃度は、蛍光染色による細菌濃度の約1000分の1である。この大きな差を不審に思われる読者がおられると思うが、土壌や海水等の自然界の試料に生息する細菌は、そのごく一部しか培養できないことがよく知られている。培養条件（培地の組成、温度、圧力、酸素濃度、海水濃度、培養時間等）を変えることによって培養可能な細菌は多少増えるであろうが、依然として培養困難な細菌が多数存在する。その中には他の生物との共生や寄生によって生存する細菌も含まれると考えられる。培養できない細菌は人畜に危害をもたらさないかもしれないが、その細菌に有用な性質があってもそれを利用することができないわけである。そこで最近ではメタゲノム解析<sup>1</sup>による、

<sup>1</sup>培養困難な細菌を対象として、土壌や海水等の自然界の試料あるいは生物に共存する細菌集団からDNAを抽出し、その

培養困難な細菌の有用遺伝子の探索が行われるようになってきている。

## 4. 微生物資源の探索

### 4.1 微生物収集事業

3年間にわたった「室戸海洋深層水の特異性把握および機能解明」の研究事業は2000年度をもって終了した。これは本来なら海洋深層水についての研究を縮小し、新たな研究課題に取り組む良い機会であった。ところが事業終了後、(独)製品評価技術基盤機構から室戸海洋深層水中の細菌の収集についての依頼を受けることになった。同機構はその傘下に生物遺伝資源センター(NBRC, 現バイオテクノロジーセンター)を持ち、ここでは細菌類や菌類(カビ、キノコ)等多数の微生物の収集と保存を行っている。有用微生物を多数保存し、研究者や産業界に随時分譲できる体制を整備することは、その国のバイオテクノロジーの水準を維持し高めるための基盤となっている。NBRCは、米国にある世界最大級の微生物保存分譲機関ATCC(American Type Culture Collection)に相当する国内機関と言える。NBRCでは当時国内各地のさまざまな自然環境から微生物を収集する事業を開始しており、室戸海洋深層水がその一つの候補として選ばれたのである。この「平成13年度産業上有用な微生物等の収集に関する標準株整備事業」の一環として、海洋深層水からの細菌の収集は続けられることになり、また筆者もこれを契機としてこの後長く海洋深層水中の有用細菌の研究に携わることになった。

### 4.2 細菌の分離と同定

海洋深層水中の細菌の収集は、平板寒天培地上に現れたコロニーを採取することから始まる。コロニーは寒天培地上の1個の細菌が分裂によって増殖して形成されたものであるから、コロニー中の細菌の細胞は全く同一の遺伝情報を持つ。同じ遺伝情報をもつ細胞または個体の集団を「クローン」と呼ぶが、細菌コロニーは正にクローンである。このようにして海水中より「分離(isolation)」した細菌にはコロニーごとに株番号が与えられる。「株(strain)」とは同一のコロニーを起源とする細菌の一系統のことである<sup>2</sup>。分離した細菌は寒天培地上での培養

解析により有用遺伝子を発見しようとする「メタゲノム解析」が行われている。

<sup>2</sup>生物の系統分類の最小単位を「種(species)」と言うが、「株」は系統分類上の単位ではない。同じ種の細菌であっても株によってその性質が異なることが多い。産業上はそれぞれの目的に適した性質をもつ株が使用される。

を繰り返し、株として安定した性質をもつことを判定した後、 $-80^{\circ}\text{C}$ の超低温冷凍庫で保存した。(冷凍庫の故障によって多くの細菌株を失う事故を経験したが、研究者にとって長期間研究した材料を失うことになり、致命的である。そのため、重要な株はNBRCに寄託している。)

細菌の分離と保存に引き続いて、それぞれの細菌株がどのような分類群に所属するか決定しなければならない。この作業を「同定 (identification)」と言う。以前は、細菌の形態や生化学的性質、増殖条件(温度、塩分等)を比較することによって分類が行われてきた。現在もこれは重要な分類の基準であるが、筆者のような分類学者でない研究者も含めて第一の分類の指標とされているのがDNAの塩基配列である。地球上のすべての生物は、祖先である生物種から分岐しながらその多様性を増してきた。その進化の過程ではDNAの塩基配列が少しずつ変異し、異なる生物種を生んできた。そのため、近縁な生物種ほどそのDNA塩基配列が類似していることになる。このような共通の祖先をもつ生物同士のDNA塩基配列の類似を「相同性 (homology)」と呼んでいる。相同性の評価は、16SリボソームRNA(16S rRNA)遺伝子という、細菌類に共通な遺伝子の塩基配列を決定し、比較することによって行われている<sup>3</sup>。決定する塩基配列の長さは数百塩基であるが、最初のスクリーニングとして十分役立つものである。

分離した細菌株のゲノムDNAを抽出し、そこからPCR法<sup>4</sup>で16S rRNA遺伝子を増幅した。増幅した遺伝子の塩基配列はDNAシーケンサーで決定した。100株近い分離株について自前のDNAシーケンサーで塩基配列を決定することはかなりの手間と時間を要した。その後DNAシーケンサーの性能が格段に向上したため、現在では塩基配列決定を外注の方が経済的にも時間的にも有利な時代になっている。得られた塩基配列をDNAデータベース<sup>5</sup>に蓄積されている塩基配列と比較し、相同性の

<sup>3</sup>リボソームとは細胞に存在するタンパク質合成装置のことで、数十種のタンパク質と数種のRNAからなる複雑な複合体である。細菌のリボソームは23S, 16S, 5Sの3種のrRNAを含んでいる。16S rRNA遺伝子の塩基配列が細菌の分類に用いられている。

<sup>4</sup>PCR (Polymerase Chain Reaction) は、DNA合成酵素を用いて特定のDNA領域(この場合は16S rRNA遺伝子)を増幅する技術である。1サイクルの増幅でDNAを2倍に増やすことができる。通常20~30サイクルの反応を行うので、理論上百万倍程度まで目的のDNA領域を増幅することも可能である。DNA塩基配列決定法とともに遺伝子工学の基盤技術の一つである。

<sup>5</sup>GenBank/EMBL/DBJは、それぞれ米国、欧州、日本に置かれているDNA塩基配列データベースである。これら三者はデータを互いに共有しているため、DBJに登録されたデータをGenBankやEMBLで検索できる。

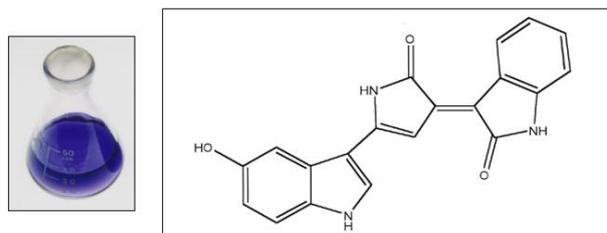


図4. ヴィオラセインとその化学構造

高い塩基配列をもつデータベース中の細菌を決定していった<sup>6)</sup>。

データベースを利用した相同性検索の結果、思いもかけない細菌との高い相同性が明らかとなり、得られたデータは大変興味深いものであった。分離株の「種 (species)」を決定することは16S rRNA遺伝子の比較だけでは難しいが、大部分の細菌株について種の1つ上の分類階級である「属 (genus)」を決定することができた。塩基配列の決定された85株のうち75株は、*Vibrio*属、*Pseudoalteromonas*属、*Shewanella*属、*Alteromonas*属など12属に分類され、冷水性細菌、深海性細菌、石油分解菌、発光細菌、色素産生細菌と高い相同性を示す細菌株が含まれていた。残り10株については既知の塩基配列との相動性が低く、属を決定することはできなかった。しかし、その中でも北極洋、グリーンランド、日本海溝等で分離された細菌の塩基配列と比較的高い相同性を示した。これは室戸海洋深層水に未知の深海性、冷水性細菌が多数含まれていることを示唆しており、深層水の由来を考える上で興味深いデータである。

## 5. 色素産生細菌の利用

筆者は、上記の分離細菌株のうち色素産生株についての研究を行ってきた。そこで、細菌が産生する色素の有効利用にあたって筆者が直面した課題について若干触れておきたい。これは他の分離微生物株の利用についても当てはまる普遍的課題であろうと考える。

分離株 *Pseudoalteromonas* sp. 520P1 株はヴィオラセイン (violacein) と呼ばれる青紫色色素を産生する<sup>7)</sup> (図4)。また *Pseudoalteromonas* sp. 1020R 株はプロディジオシン (prodigiosin) と呼ぶ赤色色素を産生する<sup>8)</sup>。どちらも *Pseudoalteromonas* 属の細菌である。これらの色素は *Pseudoalteromonas* 属以外の数種の細菌によっても産生される。ヴィオラセインは抗菌作用、抗原虫作用、抗黴作用、抗がん作用を持つとされる。また、プロディジオシンは抗がん作用の他、

赤潮プランクトンに対する殺藻作用を示すことが報告されている。細菌がこれらの色素を産生する理由は明らかでないが、細菌を捕食する生物に対する自己防衛手段ではないかと推測されている。植物がもつアルカロイドの生理活性が同様な自己防衛の役割を果たすことはよく知られている。

筆者がまず直面した課題はこれらの色素の生産量である。色素に限らず、有用物質を微生物から抽出し、利用しようとするときの最大の問題は生産量である。十分な量を適正なコストで生産・供給できなければ、その物質を実際上利用することはできない。有用物質の構造が決定され、その人工的な合成が可能なのはそれが解決策になるかもしれない。筆者の場合の問題は、色素合成が細菌自身によって巧妙に制御されていることであつた<sup>9)</sup>。

例としてヴィオラセインの生産を取り上げよう。ヴィオラセインは、アミノ酸の一種であるトリプトファンを前駆体とし、それに5種類の酵素が作用することによって生合成される。この5種類の酵素の遺伝子はDNA上で一列に並び、ヴィオラセイン合成酵素遺伝子群を形成している。この遺伝子群が発現する、すなわち遺伝子をもつ遺伝情報をもとに合成酵素が作られるには、遺伝子群の片端にある調節部位に細菌自身が作る誘導物質が作用することが必須である。520P1株にとってヴィオラセインは常時必要な物質ではなく、コロニーを形成する過程で細菌が密集した際、誘導物質によって生産が開始される二次代謝産物<sup>6</sup>である。

大量の細菌を培養するには、寒天培地ではなく、液体培地に菌を接種して振盪培養<sup>7</sup>を行う。ところが520P1株を振盪培養すると、細菌はよく増殖するにもかかわらず、細菌自身もつ制御機構のためにヴィオラセインは全く生産されなかった。細菌を用いた工業的規模の生産では、液体培地を攪拌しながら培養するタンク培養が行われるが、現状ではタンク培養による生産は実現困難に思われた。

この問題を解決する方法が2つ考えられた。その一つはヴィオラセイン合成酵素遺伝子群を単離し、その発現を人為的に制御できる大腸菌に組み入れることである。もう一つは振盪培養でもヴィオラセインを生産できる突然変異体を分離することである。

<sup>6</sup>生物の生存や増殖に直接関与しない代謝産物を二次代謝産物と言う。色素の他、毒素や生理活性物質がある。放線菌は二次代謝産物として各種の抗生物質を産生する。二次代謝産物の生合成は特別な機構によって制御されていることが多い。

<sup>7</sup>増殖に酸素を要求する好気性細菌の大量培養には、細菌を接種した液体培地を入れたフラスコ等の容器を振盪する台座をもつ装置に載せ、旋回あるいは往復運動しながら培養する。こうすることによって培地に十分な酸素が供給され、細菌の増殖が促進される。

前者の組換え大腸菌は、単離した520P1株のヴィオラセイン合成酵素遺伝子群を大腸菌に組み入れることで作製することができた。実際にこの大腸菌は、組み入れた遺伝子群を人為的に発現させることによって、ヴィオラセインを短時間のうちに生産することができた<sup>10)</sup>。もう一つの問題解決法はヴィオラセインを振盪培養条件下で生産できる突然変異体を分離することである。色素を生産できなくなった変異体は理論上得られやすいが、その逆は困難を極めた。ところが偶然にも目的の変異細菌に出会うことができた。ある朝、振盪培養では本来ヴィオラセインを生産しないはずの520P1株の培養液の1本が青色に着色していたのである。直ちに培養液中の520P1株のコロニーを平板寒天培地上から分離すると、元の520P1株に混じって、振盪培養でもヴィオラセインを生産できる変異株が存在していた。現在はこの変異株が研究室でのヴィオラセイン生産の主力となっている。今後この変異株がヴィオラセイン実用化のための重要なツールとなることを期待している。残念なことに、どの遺伝子に起きた変異がこのような性質の変化をもたらしたのかは未だ不明である。そのため、520P1株のゲノムDNAの全塩基配列(5.25×10<sup>6</sup>塩基対)を次世代シーケンサー<sup>8</sup>で決定することによってその原因を究明しようとしている<sup>11)</sup>。

## 6. おわりに

定年まであと1年を残すだけとなり、高知工科大学での研究の一端をまとめるように編集委員会から声をかけていただいた。海洋深層水研究は、自発的というよりある流れにまかせて始めた研究であるが、長年従事していると、おのずと方向性が定まってきたように思える。筆者の研究に関係していただいた方々をはじめ多くの読者に読んでいただくには、純粋な研究論文よりもう少し自由で一般的なテーマが良いと考え、高知工科大学における海洋深層水事始めについて書いてみた。筆者の意図を汲み取っていただければ幸いである。

## 謝辞

高知県海洋深層水研究所の歴代所長はじめ所員の皆様のご助力に心より感謝申し上げます。また、研究とその成果の活用に関わってくださった関係各

<sup>8</sup>従来のDNAシーケンサーに比べ、はるかに大量のDNAの塩基配列を短時間で決定できる、新しい原理に基づくDNAシーケンサーを次世代シーケンサー(NGS: Next Generation Sequencer)と呼んでいる。生物の細胞のゲノムDNAの全塩基配列決定等に使用される。

位、学生諸君にも深く感謝申し上げます。

## 文献

- 1) 中島敏光, “21 世紀の循環型資源 海洋深層水の利用.” 緑書房, 2002.
- 2) 藤田大介, 高橋正征, “海洋深層水利用学 基礎から応用・実践まで.” 成山堂書店, 2006.
- 3) 高橋正征, “海洋深層水の利活用の現状と今後の展開について.” 海と港, No. 31, pp. 2–23, 2013.
- 4) 財団法人高知県産業振興センター, “『室戸海洋深層水の特性格調および機能解明』平成 10~12 年度成果報告書.” 2001.
- 5) 矢田修一, 榎本恵一, “懸濁粒子数から見た「室戸海洋深層水」の清浄性と安定性.” 海洋深層水研究 Vol. 5, pp. 1–6, 2004.
- 6) 矢田修一, 大場雅行, 榎本恵一, “「室戸海洋深層水」中の細菌種の分析.” 海洋深層水研究 Vol. 4, pp. 47–56, 2003.
- 7) S. Yada, Y. Wang, Y. Zou, K. Nagasaki, K. Hosokawa, I. Osaka, R. Arakawa and K. Enomoto, “Isolation and characterization of two groups of novel marine bacteria producing violacein.” Mar. Biotechnol. Vol. 10, pp. 128–132, 2008.
- 8) Y. Wang, A. Nakajima, K. Hosokawa, A. B. Soliev, I. Osaka, R. Arakawa and K. Enomoto, “Cytotoxic prodigiosin family pigments from *Pseudoalteromonas* sp. 1020R isolated from the Pacific coast of Japan.” Biosci. Biotechnol. Biochem. Vol. 76, pp. 1229–1232, 2012.
- 9) Y. Wang, A. Ikawa, S. Okaue, S. Taniguchi, I. Osaka, A. Yoshimoto, Y. Kishida, R. Arakawa and K. Enomoto, “Quorum sensing signaling molecules involved in the production of violacein by *Pseudoalteromonas*.” Biosci. Biotechnol. Biochem. Vol. 72, pp. 1958–1961, 2008.
- 10) X. Zhang and K. Enomoto, “Characterization of a gene cluster and its putative promoter region for violacein biosynthesis in *Pseudoalteromonas* sp. 520P1.” Appl. Microbiol. Biotechnol. Vol. 90, pp. 1963–1971, 2011.
- 11) H. T. Dang, K. Yotsumoto and K. Enomoto, “Draft genome sequence of violacein-producing marine bacterium *Pseudoalteromonas* sp. 520P1.” Genome Annouc. Vol. 2, e01346–14, 2014.

# Utilization of Microbial Resources in Deep Seawater

**Keiichi Enomoto\***

(Received: May 7th, 2015)

School of Environmental Science and Engineering, Kochi University of Technology,  
185 Tosayamadacho-Miyanokuchi, Kami, Kochi, 782–8502, JAPAN

\* E-mail: [enomoto.keiichi@kochi-tech.ac.jp](mailto:enomoto.keiichi@kochi-tech.ac.jp)

**Abstract:** The use of deep seawater in our country began when a deep seawater intake facility was installed in Kochi in 1989. The author arrived at Kochi University of Technology when it was founded in 1997 and engaged in research project on Muroto deep seawater for three years. The investigation into the numbers of suspended particles and bacteria in the deep seawater clarified the cleanliness and stability of Muroto deep seawater. Subsequently, microbial resources in the deep seawater were investigated and the existence of a variety of bacteria in Muroto deep seawater was revealed. At the same time, pigment-producing bacteria were studied as useful bacteria from the deep seawater. The development of production methods for practical use of violet pigment violacein and some problems during the development were discussed here.