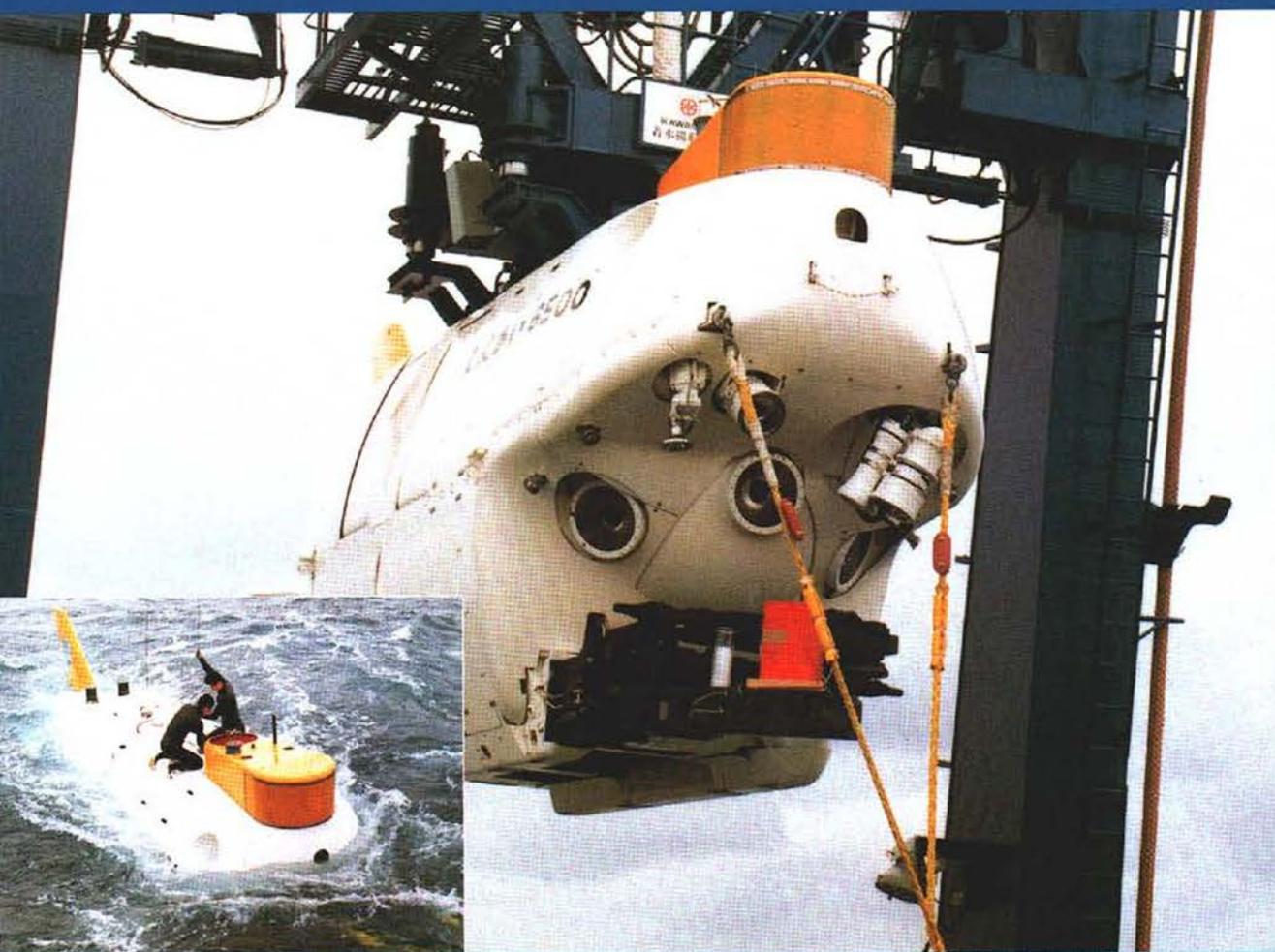


JAMSTEC

1991年 第3卷 第1号 (通巻第9号)



海洋科学技術センター

目 次

年頭所感 ー新年のあいさつー	海洋科学技術センター会長	稲葉 興作……………1
極限微生物の発見と将来		掘越 弘毅……………2
細径ケーブル無水機 ー水中「蜘蛛の糸」式潜水機ー	深海開発技術部	青木 太郎……………9
砂漣形成の数値シミュレーション	海洋開発研究部	河野 健……………16
地球深部への旅 (その1)		南雲昭三郎……………22
海に魅せられて半世紀 (Ⅸ)		奈須 紀幸……………30
海外出張・海外調査団報告		
MTS '90 調査団調査録	潜水技術部	他谷 康……………35
ODP-TEDCOM に参加して	深海開発技術部 企画室	高川 真一……………40 高木 謙一
第4回国際船舶運航者会議に参加して	運航部	加藤美志彦……………44
ウイスコンシン大学動物シミュレーション実験に参加して	潜水技術部	設楽 文朗……………46
当センター各部紹介		
深海環境プログラム推進室の紹介 ー深海環境の研究開発についてー	深海環境プログラム推進室	……………48
材料・器具・装置紹介		
潜水調査船アルビンについて	深海開発技術部	高川 真……………54
当センターで開発された機器		
深層水取水装置	海洋開発研究部	豊田 孝義……………60 中島 敏光 藤田 恒美
研究機関・学協会等の紹介		
ソグレア (SOGREAH) 研究所 ーフランスにおける沿岸開発の研究機関ー	海洋開発研究部	宮崎 武晃……………64
用語解説		
DPS	潜水技術部	沼田 光政……………68
海洋超電導	海洋開発研究部	宮崎 武晃……………70
科学技術片フェローに2人目のフランス人研究員が来日	深海開発技術部	Marc NOKIN……………72
テクノ・オーシャン'90開催 第3回国際海洋・沿岸開発展		情報室……………75
編集後記		

年頭所感

海洋科学技術センター会長
稲葉 興作
Kosaku Inaba

—新年のあいさつ—



年頭に当たり一言ごあいさつ申し上げます。

海洋科学技術センターは、本年創立20周年を迎えますが、我が国の海洋科学技術の中核機関として、各界の力強いご支援、ご協力のもと海洋開発の各分野にわたり多くの研究成果を挙げる事ができましたこと、誌上をお借りして厚く御礼申し上げます。

海洋開発に対しましては、地球環境問題をはじめとします国際的重要性等から、各界の関心がますます高くなる今日、当センターの果たすべき役割、責任は益々重大となり、私共は総力を結集して研究を進めて行かねばならないと存じております。

昨年は、潜水調査船「しんかい2000」が500回の潜航を達成し、数々の学術上、重要な成果を取めました。また、潜水調査船「しんかい6500」は、本年度より本格的な深海調査を開始し、海外における調査を含め、75回潜航の調査を予定しております。

これに伴い、10,000m級無人探査機の建造に着手、同「しんかい6500」の潜航事前調査、救難を目的とし、平成4年度完成を予定しております。

また、私共の念願でありました深海環境研究開発プロジェクトがスタートし、本格的にマリンバイオに参入いたします。

この他、深海域における長期ステーションの開発、海底深部地層サンプリングシステムの研究及び海洋立体観測の研究等積極的に海洋開発技術の推進に取組み、国際協力を一層拡大して、各界のご期待に沿うべく努力をいたす所存でございますので、当センターに対しまして、今後とも格別のお力添え賜りますようお願いし、私のごあいさつといたします。

極限微生物の 発見と将来



東京工業大学教授 堀越 弘毅
Koki Horikoshi

略歴

昭和7年10月 埼玉県生まれ
昭和31年3月 東京大学農学部農芸化学科卒業
昭和38年3月 同大学院修士課程，在学中に米国パデュー大学留学，卒業
カリフォルニア大学デービス校で蛋白質合成を研究
昭和49年4月 理化学研究所主任研究員
昭和57年10月 新技術事業団堀越プロジェクト総括責任者
昭和63年5月 東京工業大学教授（兼任）
平成2年10月 海洋科学技術センター深海微生物研究グループリーダー，現在に至る
大河内記念技術賞，日本農芸化学会賞，紫綬褒賞などを受賞

1. はじめに

1990年2月，米国ボストン美術館において，印象派の画家，モネーの，今世紀最大といわれる展覧会が開かれ，90点もの作品が一同に会した。積み藁，ポプラ，ルアンの大聖堂など，彼はこれらの対象物を数年かけて，「色彩とは何か」ということをキャンパスの上にあらわした。夜明けの積み藁，昼どきの積み藁，雪の光を反射した積み藁。いずれも元は同じもの。それぞれが違った色彩を持っている。時には夕日を浴びて，赤い色で。一つのものも，色々な時間，季節の変化などという周囲の条件によって，積み藁が銀色に光ったり，一瞬，赤紫色に包まれたり，まったく違った感じとなることを示した。我々が見る物の色彩はそれを照らす光によってまったく違ったものになる。一体，絶対的な性質とは何なのだろうか？

約300年ほど前，オランダの商人アントニー・ファン・レーベンフックが顕微鏡を発明し，我々

が，肉眼で見ることのできない，小さな生き物（Animalcule）が存在するのを見いだした。また，1861年フランスのルイ・パスツールが，有名なスワン首のフラスコで実験を行い，生物は自然に発生するのではなくて，親がいなくては子は生まれぬことを明らかにし，生命の自然発生説を否定し，当時の宗教的世界観にメスを入れた。

生命の基である遺伝子DNAの，物理的・化学的構造が明らかになり，遺伝子組換えの技術が確定されて，わずか20年ほどにしかならない。微生物が発見されて300年，一見昔のようにも思えるが，生命の長い歴史の研究は，まだ始まったばかりであるといつてよい。最先端の生命工学などというと，ほとんどのものが，解明され，理解されているように思えるけれども，我々の知らないものが，まだまだ数多くあるのではないかと，容易に推測できる。

実際，自然界には，我々が，今までに見たこともないような新しい微生物が，数多く分布している。我々の感覚から見ると，異常とも思える，高

い温度，濃度の高い塩，高い pH，低い pH の環境の中にも，多数生育しているのが分かったのは，実は最近の事である。

約 20 年ほど前の，秋のある日，筆者は，イタリアのフローレンスのピティ宮殿の丘の上から，暮れゆくルネッサンスの街を眺めていた。日本の文化とまったく違う，イタリアルネッサンスの建物を眺めているうちに，いつとはなしに，微生物学の歴史と，将来を考えていた。その時，急に，今までと違った文化を持った，新しい微生物の世界があってもよいのではないかと，耳もとに，ささやく声が聞こえた。微生物の文化とは何であろうか。微生物の生育条件と，考えてみたらどうなるか？ 大急ぎで帰国し，今まで誰も作ったことのないような，pH 10.5 という，強アルカリ性の微生物生育用の培地を作った。驚いたことに，このような，極限とも思える培地中に，生育する微生物が，多数存在することが分かった。筆者と極限微生物との出会いである。

2. 新しい微生物はまだ存在するか

地球が誕生して 46 億年，原始微生物が地球上に出現して約 36 億年たっているといわれている。実にこの長い間，さまざまな環境にさらされ，それに耐えて生き続けて現代に至っている微生物は，この間，生命を保持するため，無限に近い能力を，細胞の中の遺伝子（DNA）に刻みこんできた。人類が生まれて数百万年しかたっていないのに，多くの違った人種がいることから考えても，約 36 億年の間に，微生物の種類がどの程度増大しているか，想像の限りではない。

また，我々が，自然界に分布している微生物を，実験的にどのくらいまで分離・生育させることができるかという問題もある。一例を挙げると，顕微鏡で数えると，土壌 1 g 中に，微生物が $10^8 \sim 10^9$ 個程度居る場合でも，わずかにその数パーセ

メントしか分離できていないとの報告もある。

さらに微生物は地球上に広く分布し，しかも地域性を持っているため，その多種多様性を極めていいる。一方，目に見えないため，その存在を直接目で確かめて採取するわけにもいかない。

これらの微生物の歴史，我々の知識，技術の未熟さから見ると当然のことながら無限ともいえる，多くの未知の微生物が，我々に発見される日を待っているといっても過言ではない。すなわち新しい分離方法を考えることによって新しい微生物が発見されてくることは間違いない。

3. 特殊環境とは

生物がもっとも広く，かつ多数分布しているところは一般的にみて，いわゆる“moderate”な環境であり，普通は，中性付近の pH，20～37°C の温度，1 気圧，そして適当な栄養と塩分を含んでいる場所である。

一方，地球上には生命の存在を許さないように見える“extreme environment”すなわち極限環境がいくつかある。たとえば，温泉，高濃度の塩水湖，砂漠，海底などは，微生物にとっても極めて苛酷な環境と思われる。

しかし，最近では，これらの条件下でも，生命は存在することが明らかになった。それどころか，いわゆる普通（moderate）の条件がこれらの生命にとっては極めて苛酷であることも分かってきた。たとえば，高熱性細菌にとっては高い温度が moderate であって，30～37°C は extreme である。

つまり，要は，座標軸をどこに置いて互いを見るかにある。座標交換をすることによって moderate は extreme にもなり，extreme は moderate にもなるわけである。人間を中心にして従来考えていた極限という表現は，絶対的なものではなく，あくまでも人間が勝手に付けたものなのである。

4. 極限環境下での生命

微生物は、前にも述べたように、長い生命の歴史の中で苛酷ないくつかの条件にさらされ、そして、それに耐える能力、またその条件を利用するための情報を自分の遺伝子の中に蓄積してきた。

これらの微生物については、環境と生命の関係といった面で多くの研究が行われている。しかし、それらの研究のいずれにおいても、これらの変わった微生物を積極的に利用しようという例はほとんどなかったのである。

多くの“普通”の生物はほとんど生育できない極限条件を作り出すものとして、温度、pH、塩濃度、圧力、水分（乾燥）、放射線、有機溶媒などがある（表—1）。

（1）温度

温度は、生命に直接作用するもっとも重要なもののひとつである。自然界にも極限条件は広く分布しており、南極、北極、アルプスなどの山、温泉、火山（海中の場合も含む）、堆肥、温排水など数多くある。

一般的にみて、高等生物よりも下等生物のほうが、広い生育温度分布をもっている。たとえば、真核生物では最高60°Cまでの環境下でしか生命が見つかっていないのに対して、原核生物では100°Cでよく生育するものが多数見いだされている。DNAの融点は30~80°C程度であるにもかかわらず、高熱性細菌にとっては、70~100°Cが最適な条件である。一方、南極から分離した微生物は、0~10°Cで生育するが、15°Cでは死んで

しまうといわれている。

通常と違った温度を好む微生物は食物の保存、殺菌などに大きな問題となっているのはいうまでもない。一方、好熱性細菌は、耐熱性のある酵素を作っている場合が多いため、耐熱性酵素の生産のための微生物として注目されつつある。

（2）pH

酸性の環境は、土壌、食品、その他多くの場所に見いだすことができる。硫黄をえさとして生育するバクテリアなどはpH 3以下でないとは生育しない。また、かび、酵母なども、酸性側にその最適生育条件を持っているものが多い。

しかし、自然界は酸性環境のみとは限らない。高いpHと高濃度の塩を含んだ湖が、北アメリカ大陸、アフリカ大陸などに点在している。そこにはこのような極限条件下で生育する微生物が数多く分布している。

（3）塩濃度

一般的にいて、培養液には、1%前後の食塩を含んでいることが多い。しかし、ある種の微生物は、このような条件下では全く生育せず、もっと高い濃度、たとえば15~20%の食塩がなければ生育しないものもある。

特に光合成細菌などにこの傾向がある。また、海洋細菌、腐敗菌などにも、耐塩性のあるものが多い。

（4）その他

この他に、高圧、乾燥、放射線などに対して耐性を持った微生物が多数見いだされている。また、人工的極限条件の一つの例として、トルエンなどの有毒溶媒の存在下で十分に生育できる微生物まで発見されている。

表—1 極限条件の例

温度	60°C<、10°C>
pH	<pH 3 >pH 9
塩濃度	>15% (NaCl)
圧力、水分 放射線など	

5. 極限微生物研究の意義

先に述べたように、微生物学そのものに、近代科学の考え方が導入されて、まだ100年にしかな

らない。その間に、ペニシリンで代表される抗生物質を作り出す微生物、酒などの醗酵生産物を作る微生物等のように、その応用面が、一般に、強調されてはいるが、実は現在の生化学、遺伝学の基礎のほとんどは、微生物を中心にして、作られたと言っても過言ではない。しかし、このわずか100年の間に、地球上の微生物全部を、調べるなどということは、不可能であった。我々の見方という座標軸を変えることにより、今まで知らなかった微生物が、見いだされ始めた。特に我々にとって、極限とも思える条件下で、生育する微生物の多くは、通常の条件では、生育できないものが多い。そのために、我々の目にふれないで、その存在が分からないままだった。

新しい微生物が、発見されると、その多くは、今まで教科書に書かれていたものと、生化学的、遺伝学的に違っている。さらに、それら微生物が作り出す生産物も、我々が、まったく知らないもの場合がある。新しい微生物を発見することは、従来とまったく違った、生物学の体系を作ることになり、その結果として、それ等微生物を用いる産業の確立を伴う場合がある。最も創造的な科学と言っても過言ではない。そこで筆者らが発見し、アルカリ性の培地にしか生育せず、教科書に書かれている培地ではほとんど生育しないため、好アルカリ性微生物と名付けた微生物群を例にあげ、どのような研究が行われているかを示す。

6. 好アルカリ性微生物の研究と応用

1969年以來、我々は極限下で生育する微生物について研究を行っている。特に好アルカリ性微生物についての基礎的研究とその応用については、好アルカリ性微生物の発見以來世界のトップにあり、我々の研究の動向がそのまま世界の好アルカリ性微生物学の動きと言っても過言ではない。

1) 分離方法と見いだされた微生物の種類

好アルカリ性微生物を分離するには炭酸ソーダ、または炭酸水素ナトリウムでアルカリ性にした培地を用いることが特徴である(表—2)。このような簡単な培地を用いることによって、従来知られていなかった新しいそして数多くの微生物群が発見された。これらの微生物群の特徴は、1) 中性のpHではほとんど生育しない。2) 培地のpHが9~11であることが生育に必要である。

微生物の分離源は土壌が普通である。この際に用いる土壌は好アルカリ性微生物が自分の周りをアルカリ性の小宇宙にするせいか、とくにアルカリ性の土壌を必要としない。好アルカリ性微生物は、広く地球上に分布している。当然ながら、その種類はその地域性を大きく反映している。分離された種類は極めて多く、バクテリア、かび、酵母、放線菌、ファージなどが見いだされている。これらの微生物の分類については、まだ始まったばかりであるが、好アルカリ性バチルス属細菌については、その生育pHがアルカリ性にあること以外従来のバチルス属細菌と本質的に違った点は見いだされていない。

2) 好アルカリ性微生物の生理

最大の特徴は生育のためのpHがアルカリ性であり、pH7付近での生育が悪いものが多い。さらにバチルス属の場合ナトリウムイオンが、物質の取り込みと、細胞内のpHを外界より低く保つ

表—2 基本培地

	Horikoshi-I 培地 (g/l)	Horikoshi-II 培地 (g/l)
グルコース	10	
可溶性デンプン		10
ポリペプトン	5	5
酵母エキス	5	5
K ₂ HPO ₄	1	1
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.2	0.2
NaCO ₃	10	10
寒天	20	20

・ Difco社のものが望ましい

ために必要であり、これがないと死んでしまう。さらに運動器官である鞭毛の運動も、外界の pH とナトリウムイオンの濃度に支配されている。細胞内の構造と機能は、通常のパチルスと本質的に違いはなく、好アルカリ性機能は、外界の高い pH に直接さらされ、物質を取り込み、細胞の内外の pH 差を保っている細胞表層にある。好アルカリ性パチルスの細胞壁成分には、通常のものほかに培地の pH に支配される多量の酸性アミノ酸や、ウロン酸を含んでいる。最近になって、pH 7~11 で生育する好アルカリ性パチルス細菌から、アルカリ性では生育できない、一見、中性細菌様の変異株を取ることに成功した。この変異株を用いて、好アルカリ性機能に関係があると思われる、遺伝子の分離に成功した。

3) 酵素についての研究

菌体外酵素の性質が、従来のものであって、作用最適 pH, 安定 pH などがアルカリ側にシフトしている新しい 35 種以上の酵素を分離し、その性質を明らかにした。アルカリプロテアーゼ、アルカリアミラーゼ、アルカリセルラーゼなどはその例である。これらは、いずれもアルカリ側でよく作用し、また最も安定であった。

4) 酵素の工業的利用

a) アルカリプロテアーゼ：好アルカリ性パチルス属のほとんどは、アルカリプロテアーゼを生産する。そしてそのいくつかは、洗剤用酵素として実用化され、家庭用洗剤に添加されている。

b) アルカリアミラーゼとサイクロデキストリン：アルカリ性下で澱粉を分解するアミラーゼは、好アルカリ性パチルスで発見されるまで、まったくその存在すらも認められていなかった。特にこれらのアミラーゼの多くが、澱粉から多量のサイクロデキストリンを生産することが分かり、そのうちの一つは特に耐熱性も高く、80% もの収率で CD を生産することが明らかになった。この酵素を用いた無溶媒 CD 製造法を確立し、従

来 1 kg 5 万円もした価格を 1 000 円台で生産することが可能となり、安価な CD 生産に成功した。現在 CD の用途は大きく広がり、食品、医薬、農薬、工業原料などとして多方面に利用されている (表—3)。

c) アルカリセルラーゼの洗剤への添加：セルラーゼを含む洗剤は、木綿などにより洗浄効果を示すと言われていたが、実際に、添加可能なアルカリセルラーゼは、我々の方法によらなければまったく生産することはできなかった。好アルカリ性パチルスの生産するアルカリセルラーゼは、十分な耐アルカリ性、耐洗剤性をもっているものが多く、菌株の分離、改良などをへて 15 g/l もの生産に成功した。現在、セルラーゼ入り洗剤 (アタック花王株式会社) として洗濯用洗剤の約 60% (1 000 億円) のシェアを占めている。

5) 好アルカリ性微生物の酵素遺伝子の研究

さきに述べた酵素の遺伝学的、酵素学的な解析を行うために、遺伝子のクローニングを行った。

表—3 CD および CD 含有製品の用途

用 途	ゲスト化合物または最終製品	
食 品		
1) 乳 化	マヨネーズ、シーズニングオイル、ホイップングクリームなど	
2) 起泡力増加	卵白、ホットケーキミックス、ケーキミックスなど	
3) フレーバの安定化	チューインガム、ビスケット、シーズニングパウダーなど	
4) 味のマスクング化粧品 (トイレットリー)	ミートペースト	
1) 色のマスクング	蛍光物質 } 溶剤	
2) 化粧品の安定化		メントール
3) 安定化		歯みかき
医薬品		
1) 溶解度増大	プロスタグランジン、クロロマイセチン	
2) 味のマスクング	プロスタグランジン	
3) 粉末化 (不揮発性)	ニトログリセリン、ベンズアルデヒド	
4) 安定化 (UV, 熱)	プロスタグランジン、ビタミン	
農 薬		
1) 安定化 (UV, 熱)	ピレスリン、ピレスロイド	
2) 粉 末 化	DDVP など	
プラスチック		
色素、フレーバの安定化	色、臭	
そ の 他	糊	

これらの酵素は、その性質が従来の酵素と大きく違うにもかかわらず、アミノ酸の配列に共通な点があることなどから、アルカリ酵素と従来の酵素の比較、活性部位の検討などを行っている。さらに分子進化の研究材料、蛋白工学のモデルなどとして注目を集めている。

6) DNA 源としての好アルカリ性微生物

好アルカリ性微生物は、従来知られていない性質をもっている。そのことは、近年急速に進んだ遺伝子工学の研究のための DNA 源として、興味があることを示している。ペニシリナーゼ遺伝子のクローニングの研究中に、大腸菌からペニシリナーゼが細胞外に分泌されることを見いだした。この結果を基にして作った分泌ベクターを用いて、人の免疫グロブリンをはじめタンパク質の細胞外生産技術を確立し、従来まったく分泌能のなかった大腸菌に、その能力を与えた新しいバイオテクノロジーを開くことに成功した。

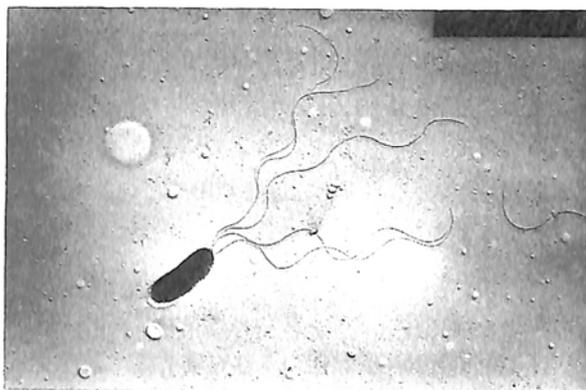
7. 有機溶媒耐性菌とその利用

有機溶媒耐性菌とは、聞き慣れない言葉であるが、文字どおり有機溶媒存在下（高濃度添加）で生育できる微生物である。

従来、発酵工業は、大量の水を必要としてきた。有機溶媒耐性菌は、発酵工業を、水の代わりに溶媒を利用するプロセスへ変換させ、微生物反応の新しい展開を可能にする、有用な微生物と考えられる。

有機溶媒は、一般には微生物に対して毒性が強くと、1 vol % 以下の濃度で、その生育を著しく阻害する。ただし、例外的に、清酒酵母の中には、エタノール濃度 20 % でも生育可能なものが見いだされている。とはいえ、2~3 % 以上の高濃度の有機溶媒存在下で生育する微生物は、現在のところ、ほとんど報告されていない。

全国各地から採取した土壌、および特殊な環境



写真—1 耐トルエン性細菌・IH-2000 電子顕微鏡写真
何んの変りばえのしない約2ミクロンの長さの細菌。この中にトルエン耐性能がひそんでいる。

条件下にある石油プラント周辺土壌、世界各地の原油及びスラッジ、あるいはオイルシェール、オイルサンド等の中から、トルエン耐性菌の分離を検討した。その結果、特殊な環境条件土壌からは分離されなかったが、予想もしていなかった九州阿蘇地方の土壌中より、通常生育可能なトルエン濃度の 100 倍以上でも、生育阻害を受けることなく、旺盛に増殖するトルエン耐性菌 (IH-2000 菌、写真—1) を初めて分離することができた。

生理学的性質をも合わせて考えると、本菌は、シュードモナス (*Pseudomonas*) 属に属する *P. putida* と考えられた。

しかしながら、トルエン、キシレン、スチレン等の各溶媒に対する耐性を比較すると、*P. putida* が溶媒存在下では生育できないのに対して、IH-2000 菌は各溶媒存在下で旺盛に生育する。

IH-2000 菌はベンゼンおよびアルコール等の、一部の溶媒には耐性がないが、各種の有機溶媒系に幅広い耐性を有していた。このことは、応用の面ばかりでなく、耐性機構の面からもたいへん興味がある点である。

8. 溶媒耐性の応用

生化学反応の基質の中には、ステロイド類、油

脂類、脂肪酸類等の、脂溶性あるいは水難溶性の物質がある。これらの生化学反応を効率よく進行させるために、有機溶媒を反応系に用いることが試みられている。しかし、今までに、溶媒に強い微生物、すなわち溶媒耐性菌を利用した反応例は、まったく報告されていない。これは、これまで、有機溶媒に耐性を有する微生物を積極的に用いる研究がなされていなかったためと思われる。

IH-2000 菌は、広範囲の各種有機溶媒に耐性を有し、かつ高濃度の溶媒に耐性を有することから、いろいろなバイオリクターへの利用が考えられる。特に、水をほとんど用いない非水系のバイオリクター、水と溶媒が混在した二相系バイオリクターへの応用が期待される。

化学工業では、水に不溶性で、かつ毒性の強い物質を扱うことが多く、微生物反応の大きな障害となっているが、溶媒を用いることにより、毒性の回避や生産物の回収も容易になり、生産生向上やコストダウンが図られた省資源、省エネルギープロセスが可能になる。さらに、遺伝子操作技術によって、いろいろな機能を付与することにより、各種の有用物質生産、たとえば、ステロイドおよび抗生物質変換、医薬・農薬およびその誘導体生産、化学品生産等への利用が考えられる。

9. おわりに

人間を中心に考えてきた微生物学から、それぞれの、微生物そのものを中心とした、新しい微生物学が、急速に進歩し始めた。その例として、筆者らの研究を中心として、新しい微生物、極限微生物を取り上げ、その基礎的研究、応用について述べた。今後の極限微生物学の進む方向として、微生物を分離する源を、陸上から、海中・海底へと目を向けるのは、潜水技術の進歩に伴い、当然

とも言える。いまだかつて、人類がまったく手を触れたことのない深海を、探査する道具だてを持った JAMSTEC での微生物の研究は、科学者としての興奮をかりたてる。未知のものが、目の前にあっても、それに触れることができなかった。これが、今、解禁になったのである。どのような研究が行われるかについては、すでに述べた極限条件が全部そろったものが海洋であり、低温、高温、高圧、などいくつもの条件が入り交じっている。太古の生物が、海底の巨大な冷蔵庫で休眠している可能性もある。地上と違った生態系も、すでに見いだされている。これら未知の微生物に対して、我々は、しんかい 6500 という世界一の道具と、遺伝子工学、蛋白質工学といった近代生物学を組み合わせ、生命の起源、そして、進化のものにもせまることが可能になった。さらに、日本のお家芸とも言える酵素工業の持つノウハウと相まって、新しいバイオテクノロジーが確立されることが期待されている。

これからの研究は、結果が分からないから研究するのである。分かっているなら、また研究計画が立つのならば、これは創造的科学ではなくて、練習問題、真似事にしか外ならない。科学は、芸術家の前に置かれた一枚の紙のようなものである。これにモネーが向かい合えば、色彩の違った光輝く絵となり、ベートーベンが座れば月光の曲にも、運命交響曲にもなる。いずれにしても、そこにタッチする人間の物の見方によって、極限微生物の将来は、決まってしまう。

新しい微生物学の体系の一部が、姿を見せるのに、どのくらいの年月を要するか、また、どのようにして、研究が行われていくかは、誰も知らない。しかし、基礎科学という人類共通の言葉を用いて、今、世界の人々と会話を始めたばかりである。

細径ケーブル無水機

—水中「蜘蛛の糸」式潜水機—

深海開発技術部 青木 太郎 Taro Aoki

1. はじめに

現在までに無人潜水機は、全世界で1000機以上（軍事用を除く）が製作されている。このうち無索無人潜水機は、数10機ほどで、しかも実用機として使用されたものは数例にとどまる。

有索無人潜水機（ROV；Remotely Operated Vehicle，遠隔操縦型無人潜水機）は、ケーブルを介して支援母船より電力の供給を受け、制御信号・テレビ画像信号を送受する。このことにより、海象条件等の使用環境が許す限り使用時間に制限がなく、大消費電力を必要とする重作業も可能である。逐次に鮮明なテレビ画像を支援母船上で見ることができる。しかしながら、ケーブルに受ける水流の影響により運動性能が低下し、行動領域が制約される。また、ケーブルウインチ、着水・揚収装置のような支援母船上の装置は大型のものとなり、それに比例して支援母船も大型の船舶が必要となってしまう。

無索無人潜水機は、テザーケーブルの束縛から開放され、より自由に行動できる可能性がある。しかし、独立独航できる“ロボット”となりえるためには、いくつかの大きな問題点がある。その1つは、エネルギー源の問題である。有人潜水調査船あるいは無索無人機のように、エネルギー源を内蔵しなければならない海洋機器において常に

重要な問題である。有人潜水調査船「しんかい6500」等に使用されている銀亜鉛電池は、エネルギー密度100 W/kg以上と2次電池としては最高級である。しかし大型有索無人潜水機が長時間重作業に使用する数10 kWの電力には、重量・体積の点からとても対応できない。使用時間を制限するか軽作業のみに機能を絞った方式でないと簡単に運用できるサイズに収まらない。また、別の問題として人工知能の問題がある。姿勢制御、位置保持、音源目標への接近、航路プリセット式航海等の自動制御を備えた無索無人潜水機は、近い将来出現可能であろう。しかし、「しんかい6500」、有索無人潜水機「ドルフィン3K」のような調査に使用する場合、人間に代わって、何れが必要な“石”で、何れが研究価値のある“貝”かを判断する能力が必要となる。この価値判断のできる人

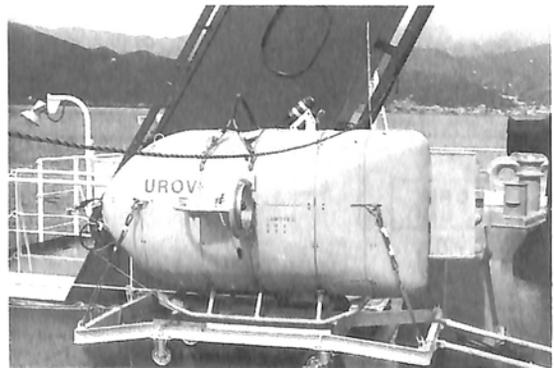
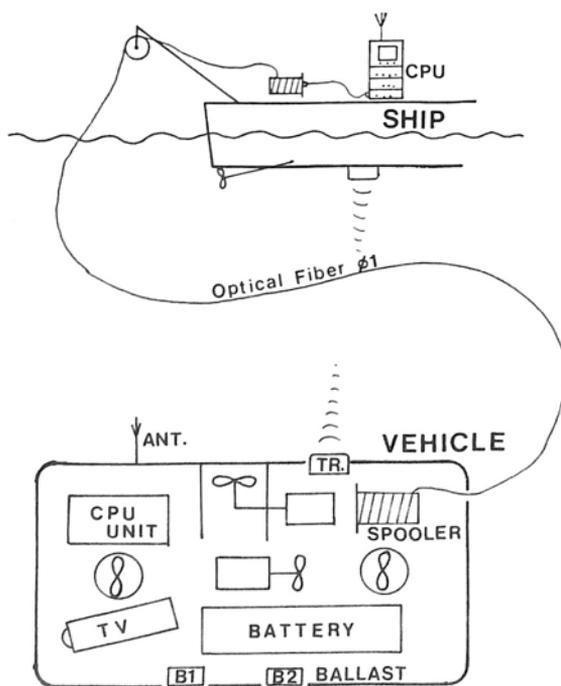


写真-1 細径ケーブル無人潜水機

工知能の開発には、かなりの歳月が必要と思われる。これらの問題点は海洋のみならず陸上のロボット開発でも同じ悩みをかかえており、新素材、新技術の開発・進展を待たざるを得ない。

いくつかの自動制御を使いながら自律して簡単な作業ができる無索無人潜水機を念頭に置きながら、バッテリーを内蔵し比較的自由に行動できる無人機の開発を計画した。テレビ画像を支援母船上で見ながら潜水機を制御できる有索式の簡便さと、無索式あるいは有人潜水船のケーブルに拘束されずに行動できる自由さとを兼備した無人潜水機が、「細径ケーブル無人潜水機（開発コード名：UROV）」である。開発にあたっていくつかの目標を掲げた。

- ・試作機ではあるがなるべく実用を考慮したシステムとすること。
- ・使用深度 2 000 m を目標値とする。
- ・1 ノットの速力で 2 時間連続航行でき、最速 2 ノットを出せること。



図一 UROV システム

- ・プール試験あるいは 100～200 トン前後の船舶でも運用できるように重量を 500 kg 以内にすること。
- ・自律機能を試験できるシステムとすること。

2. システムの概要

エネルギー源として 2 次電池を搭載し、推進器用直流モータ、照明灯、制御回路の電源として用いている。無人潜水機と支援母船とは光ファイバー 1 本（直径 1 mm）のみで結び、情報を光によって通信する。無人潜水機の操縦は、オペレータが無人潜水機に搭載したテレビカメラの映像を船上のモニターで見ながら行う。“投げ釣り”で使用するリールのように、光ファイバーを糸巻（スプーラ）に巻いて無人潜水機の本体に搭載する。目的深度までの下降中、あるいは探査活動中は、ある一定の張力を超える力が光ファイバーに加わると蜘蛛が糸を繰り出すように光ファイバーをスプーラから巻き出して行動する。探査終了時には、光ファイバーを切断し同時にバラストを投棄して上昇する。水面に浮上した後、支援母船に回収する。この方式の無人潜水機は、支援母船上のケー

表一 潜水機的主要仕様

項目	仕様
重量	約 500 kg (空中)
寸法	約 2,000 (L)×800 (W)×1,000 (H) mm
速度	前進 2 ノット (MAX), 上昇下降 0.5 ノット (推進器による上昇下降)
最大使用深度	2,000 m
構造	アルミパイプフレーム構造, FRP カバー
浮力材	シンククチックフォーム 比重 0.48
電源	ニッケル亜鉛電池 (二次電池) 48V20AH, 24V10AH×2, 12V40AH
推進器	直流油漬モータ 200 W×3 基 (前後進・回頭用 2 基, 上昇下降用 1 基)
ケーブル	光ファイバケーブル
テレビカメラ	2/3 インチ CCD カラーカメラ, レンズ f=8 mm F 1.4 1/2 インチ CCD 白黒カメラ, レンズ f=5.5 mm F 1.4
その他装備品	音響測位用トランスポンダ, 重錘切離し装置, フラッシュヤ

ブルウィンチ等の大型重量設備が必要ないため、比較的小型の船舶で運用できる利点がある。通常の有索無人潜水機を用いて海洋構造物の調査をする場合、ケーブルが構造物に絡む可能性が高く、内部に入る場合、危険を伴う。本方式の無人潜水機は内部侵入調査や構造物を通り抜けて反対側に浮上することが可能である。通常の有索無人潜水機と異なってケーブルを引きずる必要がないため、水平方向へ長距離航行できる。また、支援母船が直上においては危険な海底火山調査及び爆発物処理等の運用に有効である。

試作したUROVシステムは、水中部の無人潜水機本体、船上部の制御装置、そして無人潜水機と制御装置とを結ぶ光ファイバーで構成される。無人機には2種類の重錘（第1重錘、第2重錘）を搭載して運用する。目的深度までは、推進器を用いず第1重錘（下降速度は重錘の重量を調整する）の重力で下降する。目的深度に到達すると第1重錘を投棄する（この状態では水中で中性浮量となるようにあらかじめバラストを調整しておく）。探査終了時に、第2重錘を投棄すると浮力を得て海面に向け上昇する。また、この時に光ファ

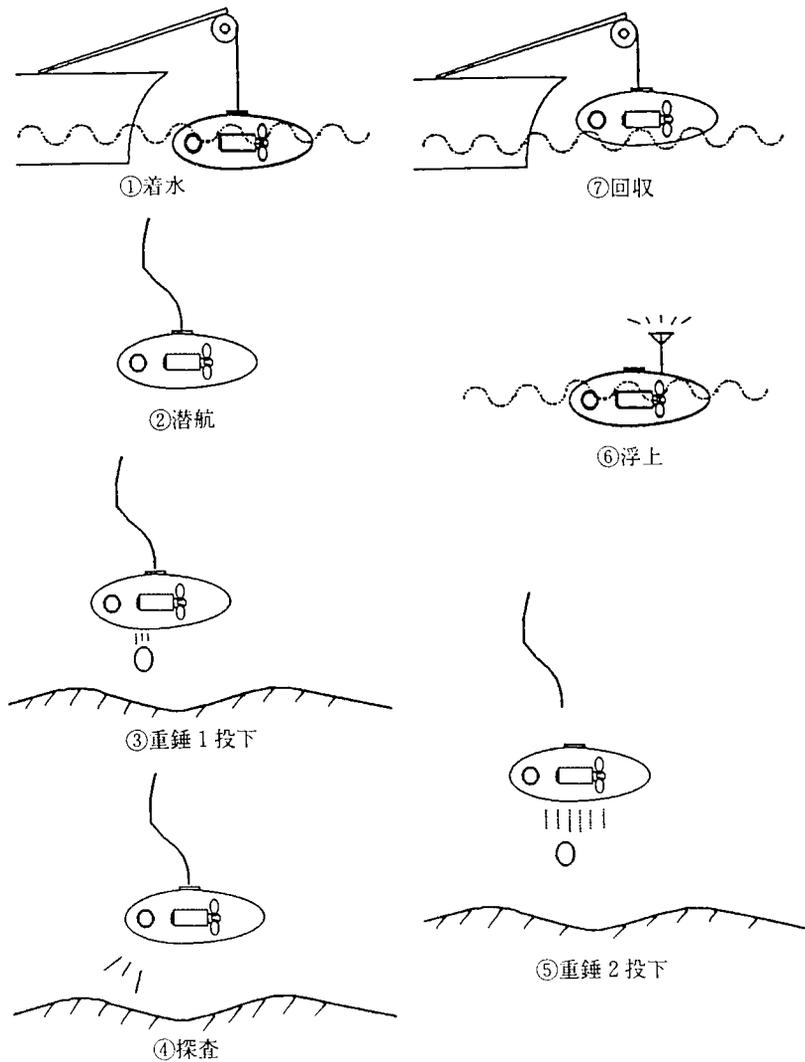


図-2 オペレーション

イバーを光ファイバー引出口付近に設置したカッターで切断する。浅海域で使用する場合、第1重錘を搭載しないで上昇・下降推進器により、潜航・上昇して運用することもできる。

3. 無人潜水機の構造

潜水機本体は、耐水圧ケース、光ファイバー・スプーラ、スラスタ、フレーム、浮力材、フェアリングカバーで構成される。耐水圧ケースは、電池収納ケース(2個)、制御回路用ケース(2個)、音響トランスポンダ、カラーテレビカメラの計7個である。材質は、高張力アルミニウム合金を用いている。これら耐水圧ケースを、アルミニウムパイプフレームに固定し、耐水圧ケースの間隙に浮力材を挿入している。浮力材の比重は0.48でガラスマイクロバルーンを用いたシntaxチェックフォームを使用している。直流電動機を用いた推進器は、前後進用2基を本体の左右両側に各1基、本体中央部に貫通孔を設け、ここに上昇・下降用推進器を1基設置している。カラーテレビカメラは前面下部に設置し、その左右両側に250Wの水中投水器を2基配している。光ファイバーの繰り出し状況を監視する目的で白黒テレビカメラを上部に設けた。本体を覆う外被はFRP製で、前進方向の流体抵抗を低減するとともに、目的深度

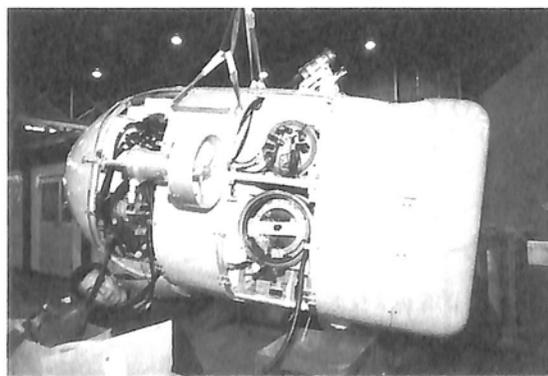


写真-2 調整中の潜水機

への下降時間、終了時の海面への上昇時間を小さくするために垂直方向に扁平な形状となっている。

4. 光ファイバー通信と制御システム

4.1 光ファイバー

本システムにおいて、光ファイバーの性能がシステム全体の良否を決定するといっても過言ではない。光ファイバーは外部の圧力を受けると被覆の座屈あるいはマイクロベンディングにより光ファイバー中を通る光の損失が増加し受信端に光が到達しなくなることがある。水圧を受けても光損失増加が微少ですむ光ファイバーを開発し、信頼性の高い光通信を確立しなければならない。また、光ファイバーを大量に使用するため低コスト化を考慮する必要があった。

各種特性を変えた12個の光ファイバー水圧テストサンプルを試作し、水圧試験を実施した。当センターの高圧実験水槽の実験最大水圧1500 kgf/cm²の圧力までの加圧試験を行い、外圧による損失変化を0.15 dBm/km以下と微少な損失増加に抑えた光ファイバーを開発した。この光ファイバーは、通常の大量生産設備を使用して製作可能な光ファイバーなので市販光ファイバーとほぼ近いコストで製作できる。我々が入手可能な投光

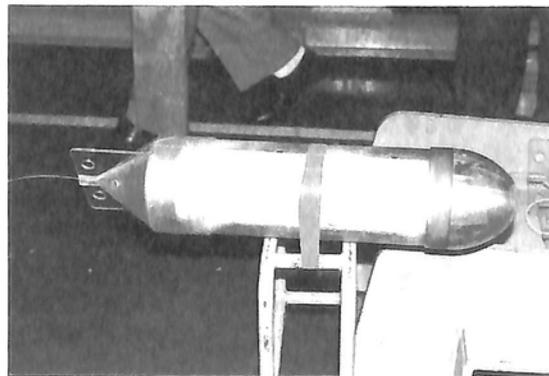


写真-3 光ファイバー・スプーラ

器(レーザダイオード)と受光器(フォトダイオード)の投受光差レベルは現在 30 数 dB であるから、光損失を考慮に入れた光通信の上からも深度 1 万 m 級での使用も十分可能である。

潜水機から船上の制御装置へは、テレビカメラ信号 1 系統、深度データ等の潜水機の状態を伝えるデジタル信号 1 系統の 2 信号があり、また船上から潜水機へは、前進・後進等の指令信号 1 系統がある。この 3 信号を 1 本の光ファイバーを介して光によって通信する。双方光通信を行うため、上り・下りラインに相異なる光波長の光源を使用する。2つの光を分波あるいは合波する分合波器は、使用波長の数に比例して光損失が増加する。使用した光ファイバー (GI 型: Graded Index) の光損失は 0.5 dB/km (光波長 1.3 μm の光源で測定) と数年前の光ファイバーに比べ格段と向上している。これに比べて光コネクタの損失 (0.5 ~ 0.7 dB), 光合波器の光損失 (2 波長用: 2~3 dB, 3 波長: 4~5 dB) は大きい。このため出来る限り光コネクタ接続を省略し、光波長数は最小限の 2 波長とした。上りラインは文字放送と同じ

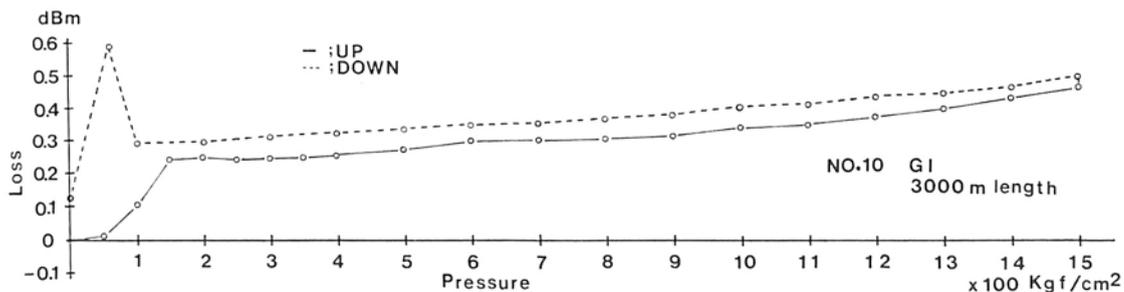
ようにテレビ画像の画面と画面の間に深度、方位データ等のデジタルデータを挿入して伝送した。

4.2 制御装置

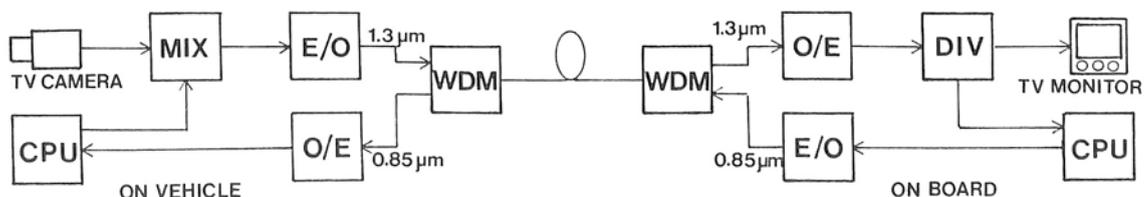
船上の制御装置は、演算制御ユニット、光通信ユニット、テレビ受像機で構成している。オペレー



写真—4 船上の制御装置



図—3 水圧下の光損失



図—4 光通信システム

ターが操作するジョイスティック（操縦桿）の入力信号と、潜水機から送られてくるデータをもとにして各推進器（直流モータ）の回転数パラメータを算出する。

無人潜水機に搭載されている制御装置は、船上装置から伝送されてくるデータを受信し、各推進器の直流モータを駆動したり、照明灯、重錘切離し装置をコントロールする。約10秒間、船上からの伝送が途絶えると「光ファイバーが何らかの理由で切れた」と判断し、重錘を切離し光ファイバーを切断して上昇するシーケンスを実行する。

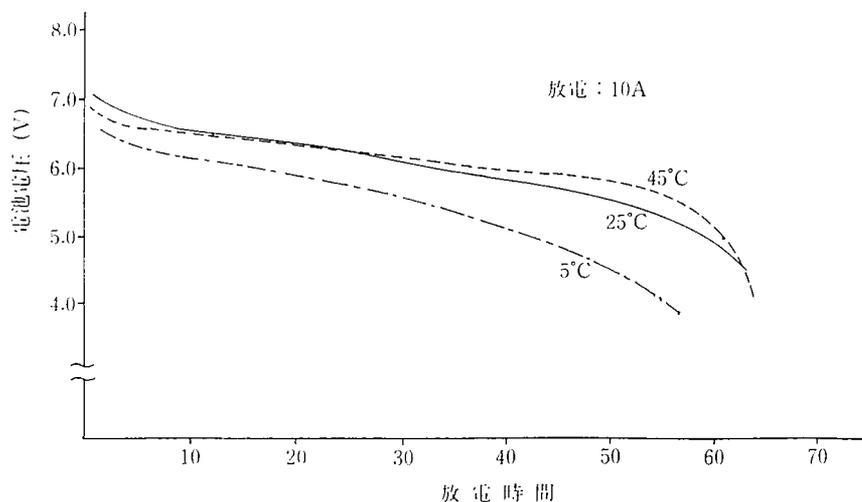
5. 電池

電池の選定条件として、高エネルギー密度・安全性・コストを念頭に選定した。陸上で使用できる電池でも、海洋では使いづらい電池がある。たとえば自動車用に開発が進んでいるナトリウム電池は、ナトリウムが水と激しく反応する。リチウム電池は1次電池では高エネルギー密度のものが開発されているが、電気モータに使えるほど効率放電ができない。結局のところ海洋で使用でき

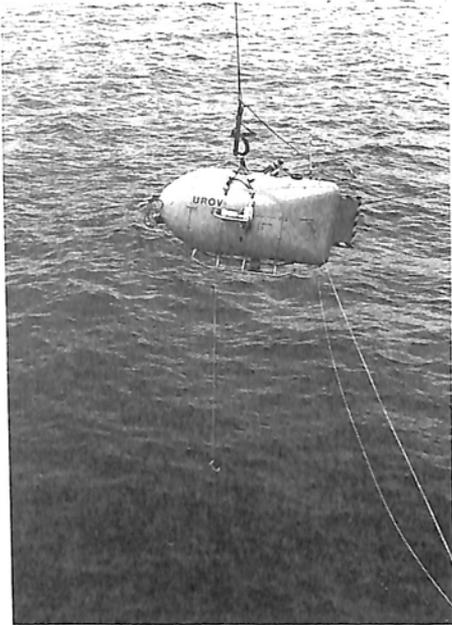
入手可能な電池は、現状では鉛電池、銀亜鉛電池、ニッケルカドミウム電池、ニッケル亜鉛電池の4種類になってしまう。ニッケル亜鉛電池は、一般にはあまり使用されていないが、エネルギー密度は鉛電池の約2倍、ニッケルカドミウムの1.5倍と高密度である。しかしながら充放電回数が約100回、寿命が1年と短いのが欠点である。年間に数10回の使用ですむ試作機用としては十分に仕様を満足でき、価格も安いのでニッケル亜鉛電池を採用した。

6. 海域実験

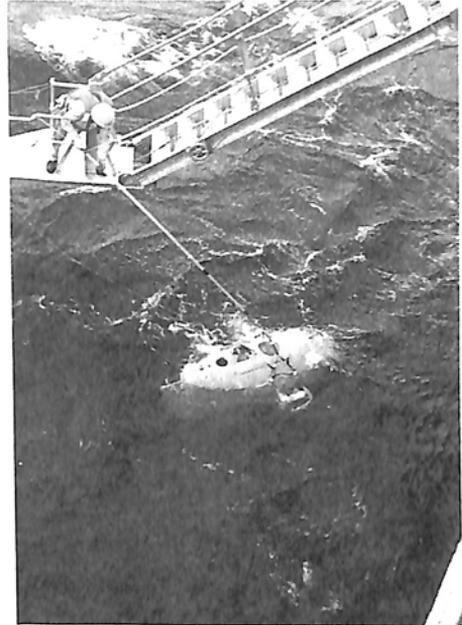
平成2年3月に西伊豆の田子港沖で3潜航、9月に相模湾初島沖で7回潜航試験を行った。各容器の圧力試験、センターのプールでの性能試験は実海域試験の前に済ませたが、潜水機本体を入れるほど大型の圧力試験水槽がないため、機体全体の水密試験を実施しないで3月の実海域試験となった。通常の有索無人潜水機とは異なり、浮力を失ったときケーブルでたぐり揚げる事が出来ない。水中コネクタから浸水する可能性もあるため、3月の実海域試験は、ナイロン製の直径10



図一5 放電特性



写真一5 投入開始



写真一6 回収

mmの“命綱”をつけて実験した。幸い浸水事故は発生せず、深度57mまで潜航し性能確認試験を無事終えることが出来た。しかし、数箇所改良点が見いだされ改良することにした。無人潜水機の底はFRRカバーのみで“足”や“ソリ”がなく、回収時に設置した専用置台に置く作業は、置台が狭いため難しいことが判明した。9月の海域実験までに本体に“ソリ”を新設し、また左右に出っ張った推進器と前方のテレビカメラにバンパーを取り付けた。9月の実海域試験での無人潜水機の回収は、ボートを降ろして無人潜水機に接近し揚収索を取り付けた後、“かいよう”に揚収するというストーリーであった。しかし“かいよう”の乗船員の方々のアイデアにより船尾の移動式階段を使用して、この上に乗った作業員が竹桿の先につけた揚収ロープ付のフックを水面上の潜水機に引っ掛け、船上に揚げる方法に変えた。おかげで台風の余波が残っている海域でも安全に投入・回収作業を行うことができた。初回の深度100mから始め、7回目に今回の目標深度であった500mをクリアする深度515mまで到達し、テレ

ビカメラによる海底観察試験を実施した。

次の段階として深度計、方位計に高性能なセンサーを使用し、自動制御を高精度化するつもりである。また、福井県との「地域共同研究」によりズワイガニ調査等に使用する500m級の実用機を開発中であり、本試験機の開発及び実海域試験の経験を参考にするつもりである。

なお、この研究・開発は、当センター（制御システムテレビカメラの製作）、住友重機械工業（株）（機体、推進器、電池の製作）、及び住友電気工業（株）（光ファイバーの製作）の共同研究によって昭和62年度から実施されてきた。

ご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 青木太郎，服部陸男：“自航式ピークル「UOV」の研究開発”，JAMSTECTR，No.22，pp.299-306，(1989)
- 2) 青木太郎，服部陸男，神沢雅彦，伊藤哲二：“細径ケーブル無人潜水機の試作”，電気学会計測研究会，IM-90-28，pp.21-30，(1990)

砂漣形成の数値シミュレーション

海洋開発研究部 河野 健 Takeshi Kawano

1. はじめに

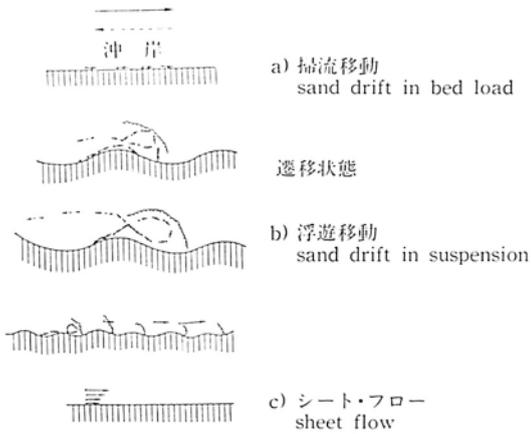
波や流れによって砂が移動する現象を漂砂という。砂浜域に構造物を設置する時には、この漂砂現象は非常に重要である。例えば海水浴場の近辺に海洋構造物を設置したために波や流れが設置以前と変わり、そのため海水浴場の砂浜が削られてしまうということも考えられるからだ。したがって、近隣への影響を構造物の設置以前に見積る必要がある。その方法の一つに、最近の大型計算機の発達とともに進歩してきた数値シミュレーションがある。

漂砂による海底地形変形の数値シミュレーションは、汀線（海岸線）変化モデルと3次元海底地形変形モデルが知られている¹。前者は沿岸漂砂量の海岸線に沿った分布を求め、これを基に海岸線の変形を求める方法である。したがって漂砂量を計算する前段階である波浪場の計算でも海岸線に沿った碎波波高や波向に重点が置かれる。この方法は、実際の現象をかなり単純化した方法で短時間の内に計算結果を得ることができ、長期間にわたる現象をシミュレーションできる²。一方、対象とする海域全域にわたって波浪場と流れ場を計算し、その結果に基づいて各点における局所的な漂砂量と砂の移動方向を算定し、底質（砂）の保存式から海底地形の変形を計算する方法が後者

である³。どちらも、実際の海岸を想定して計算でき、工学的に優れた方法である。これら2つの方法でもっとも重要な部分は漂砂量の算定である。漂砂量を正確に見積るためには、どのような波や流れの時に、どのくらいの量の砂が、どのくらいまでの厚さで、どの方向に移動するかを定量的に把握しなければならず、そのためには漂砂現象の機序が完全に解明される必要がある。

それでは、漂砂はどのような移動の形態をしているのかというと、一般に次の3つが提唱されている⁴。海底の砂層を考えると、その上には波による往復流が存在する。そしてその往復流の流速振幅が大きくなるに従って、まずは底面は平坦なまま砂層の表面の薄い部分が流れとともに動くという掃流移動と呼ばれる移動形態をとる。次に、底面に砂漣が形成され砂漣近傍に発生する渦によって砂が巻き上げられ、それが浮いたまま移動するというもので浮遊移動と呼ばれている。最後には砂漣が崩壊し砂が層状態で表面から数層にわたって移動するというシートフローと呼ばれる移動形態である（図—1）。底面の形状すなわち砂漣の形成が重要な役割を果たしていることが分かる。

そこで、この漂砂の移動機構上最も基礎的かつ重要と思われる砂漣の形成のシミュレーションを試みたので紹介する。



図一1 漂砂の移動形態⁴⁾

2. 砂漣形成の実験

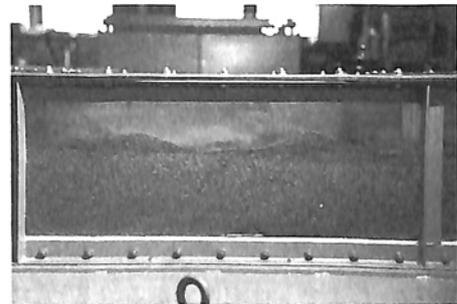
数値シミュレーションに先立ち、まずは現象を把握し、また数値シミュレーションの結果を評価できるように実験を行った。ここでは、任意の振幅、周期の振動流を起こすことができるU字管型の小型振動流水槽を製作し、これを用いて実験を行った。

この振動流水槽は垂直部1.1 m、水平部2.1 mで20 cm×30 cmの長方形の断面をもつU字型の管で、片側に設けたピストンを上下させることで水平部に振動流を起こすことができる(図-2)。水平部の両側面はガラス張りで、また上側面は取り外しが可能なアクリル製の蓋となっている。

モーターの先端には円盤が取り付けられており、この円盤にピストンのロットを取り付けることによってピストンを上下させる。この円盤には6 cmから20 cmまで5 mm間隔でロット取り付け用の孔が設けてあり、これによってストロークを変えることができる。このストローク及びモーターの回転数をかえることで任意の振幅、周期の振動流が得られる。

山形県鶴岡市の由良海岸の砂(比重約2.46、中央粒径約0.5 mm)を用いて実験を行い、次のような結果を得た。

- ① 周波数約0.10 Hz、振動流の流速振幅が約42 cm/sのときは砂漣の形成が見られない。
- ② 周波数約0.23 Hz、振動流の流速振幅が約51 cm/sのとき高さ約2 cm、間隔11 cm~12 cmの砂漣が形成されるが、砂はこの砂漣に沿って流れ、舞い上がらない。
- ③ 周波数約0.34 Hz、振動流の流速振幅約76



写真一1 砂漣形成実験

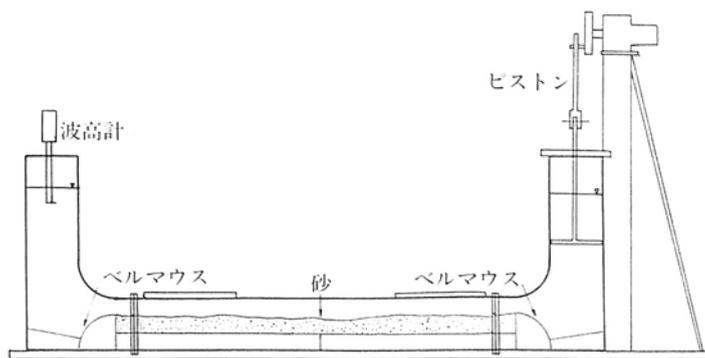


図-2 U字管振動流水槽

Poisson 方程式を解く際に必要な Source Term を計算する。

- ⑦ 圧力に関する境界条件を考慮する。
 - ⑧ 水層、砂層の圧力を Richardson 法によって反復計算し、更新する。
- フローチャートを表-1 に示す。

4 計算結果

以上に概説した方法によって約 1 周期分の計算を行った。計算条件を表-2 に、計算結果を図-3 に示す。計算条件は 2 で述べた③の状態と同じで、砂の粘度は水の 11 倍とした。計算領域は高さ 25 cm、長さ 75 cm であり、図-3 は速度ベクトルをすへて書き、また境界の変形を強調するために縦方向に約 2.5 倍拡大して書いている。はじめに図-3(a) に示すような初期攪乱を与える。

これは、実験を行う際にも、砂面が完全に平らではないことに相当する。図-3(b) から図-3(g) までの間にこの初期攪乱が徐々に消えていってしまう。そして流れが逆向きとなる図-3(h) から砂漣が少しずつ大きくなっていく様子かとらえられている。この方法により、確かに砂漣の形成が

表-2 計算条件

格子間隔	$N \times N_Y \times N_Z$	$75 \times 7 \times 11$
格子間隔	$DX \times DY \times DZ$	$0.01 \text{ m} \times 0.01 \text{ m} \times 0.005 \text{ m}$
時間間隔	Δt	0.001 sec
振動数	u_0	0.762 m/s
振動周期	T	3.0 sec
砂の密度	ρ_s	$2.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
砂の粘度	μ_s	$1.11 \times 10^{-2} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$
水の密度	ρ_w	$1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
水の粘度	μ_w	$1.01 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

→



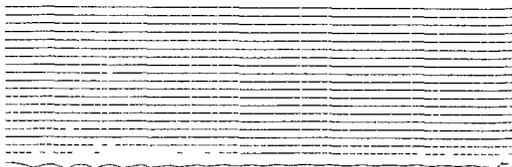
(a) 初期状態

→



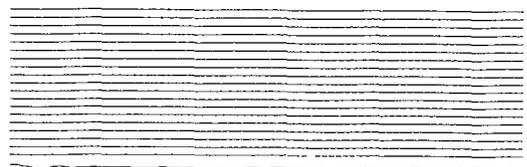
(b) 0.25秒後

→



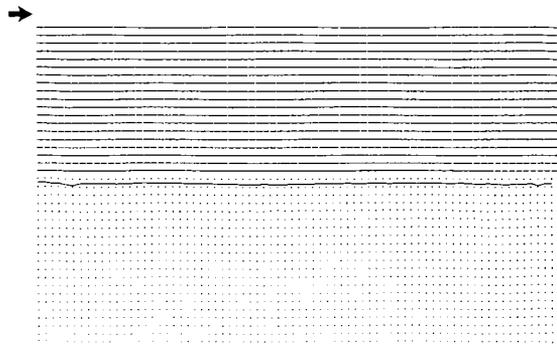
(c) 0.5秒後

→

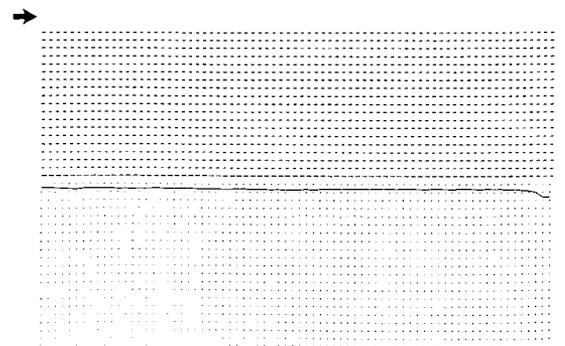


(d) 0.75秒後

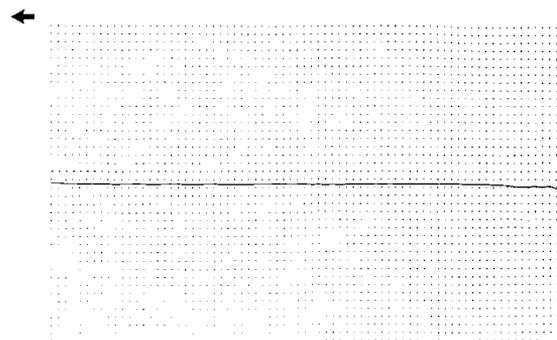
図-3 計算結果



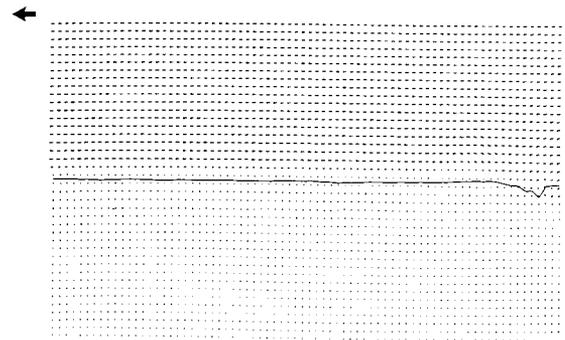
(e) 1.0 秒後



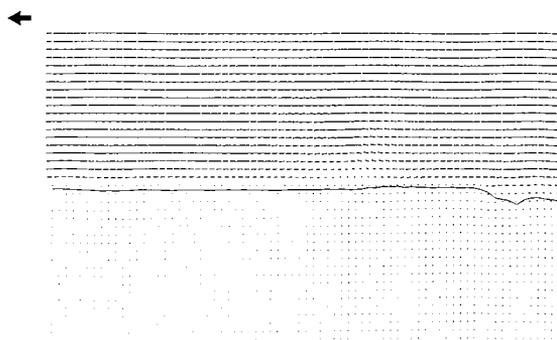
(f) 1.25 秒後



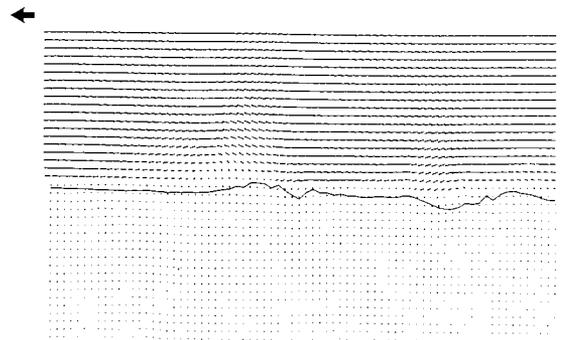
(g) 1.5 秒後



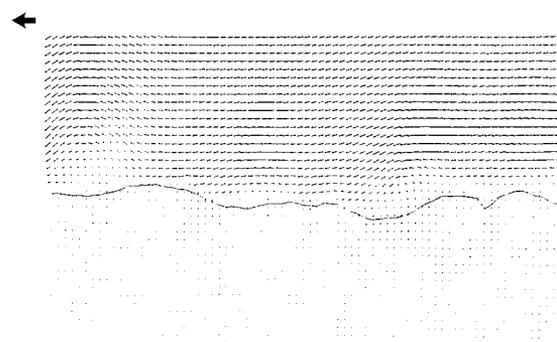
(h) 1.75 秒後



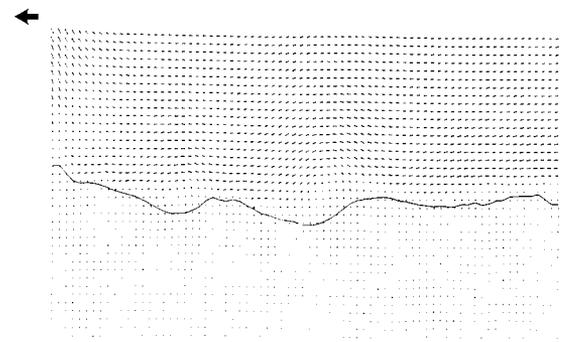
(i) 2.0 秒後



(j) 2.5 秒後



(k) 2.5 秒後



(i) 2.75 秒後

シミュレートできることは明らかであるが、この図-3(1)に示される砂漣は高さ約2 cm、間隔が20 cm程度で、実験とはあまり一致しない。この原因は計算時間が1周期分と短い以外にいくつか考えられる。一つはこういった差分による計算を行う際にいつも問題となる格子間隔と時間間隔の問題である。しかし、いま中央粒径値が約0.5 mmの砂を流体とみなしているの、これ以上細かい格子で計算することは、意味がなくなる可能性がある。したがって、問題となるのは時間間隔である。確かに、これよりも大きい時間間隔で計算を行うと、1周期の計算ができない(発散する)。もう一つ大きな問題は、砂の粘度である。ここでは、文献を参考におおざっぱに水の11倍としたが、この粘度については諸説があって確かな値とは言えない。

5. おわりに

以上、砂漣形成の数値シミュレーションについて簡単に述べたが、計算方法、差分展開、境界条件など詳しくは文献7)を参照されたい。

最後に、本研究を行うにあたって様々なアドバイスをいただいた海洋開発研究部工藤君明副主幹及びシミュレーションプログラムの指導をしてい

ただいた東京大学工学部船舶海洋開発研究部工学科宮田秀明助教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) 河野 健：流れと漂砂の数値シミュレーションに関する調査研究，JAMSTEC R 23, pp. 371-397 (1990)
- 2) 本多牧生，續辰之介，工藤君明：没水平板設置予定海域の特性—その2 漂砂評価手法の現状と漂砂調査結果について，JAMSTEC TR 22, pp. 203-231 (1989)
- 3) 渡辺 晃：海浜流と海浜変形の数値シミュレーション，第28回海岸工学講演会論文集，pp. 285-289 (1981)
- 4) 本間 仁監修，堀川清司編：海岸環境工学，東大出版会 (1985)
- 5) Miyata, H., Katsumata, M., Lee, Y.G. and Kajitani, H. : A Finite-Difference Simulation Method for Strongly Interacting Two-Layer Flow, J. Society Naval Architects of Japan, Vol. 163, pp. 1-16 (1988)
- 6) 榎木 亨，出口一郎，松山 章：掃流砂の移動層厚と移動速度に関する一考察，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 292-296 (1984)
- 7) 河野 健：漂砂の数値シミュレーション—U字管水槽による実験及び数値シミュレーション手法について—，JAMSTEC R 24, pp. 99-120 (1990)



地球深部への旅 (その1)



南雲 昭三郎
Shozaburo Nagumo

略歴

昭和 2 年 東京に生まれる
昭和 26 年 東京大学理学部地球物理学科卒業
通産省地質調査所入所
昭和 39 年 東京大学地震研究所転任
昭和 63 年 東京大学名誉教授
ハワイ大学ハワイ地球物理学研究所客員 現在に至る

1. はじめに

サイスミックトモグラフィの描き出した地球深部の斑の様子は地球深部に対する私達の問いを現実のものとした。今まで、検証がとても難しく、考えても夢物語りに終わりがちであったものが、にわかに、その是非がデータで確かめることのできるものとなった。例えばマントル対流。プレートを動かす原動力として久しくマントル対流が想定されて、その対流のありようが様々に議論されてきたが、今サイスミックトモグラフィによって、それらしきものが臆げながらも見えるようになり、今までのいろいろの考え方がふるいにかけられ、正しいものを選べるようになった。

サイスミックトモグラフィに呼応して、関連する他の地球科学の分野で、地球深部を見る探究が急速に進んだ。3次元全地球を包含するマントル対流の数値モデリングはもとより、地球磁場を作る核内部の流体運動、ジオイド異常をもたらすマントル内部の運動、超高压・高温実験による下部マントルおよびマントル・コア境界の物質構成とその状態の研究などがそれである。

これら一連の研究が私達に示してくれた大きな

ものは、地球深部に存在する不均質性であった。従来の平均的地球像—球対称の層状構造という地球像に重畳して、不均質構造が分布しているということであった。斑模様に見える地震波速度の水平方向の不均質な分布は、温度分布について、密度分布について、また物質構成について不均質があることを示すものである。この不均質性こそ地球深部が生きていること——そこに運動が起こっていること、起こってきたことを示すものであり、その斑模様はそれらの運動を解く鍵を与えてくれるものである。もしこのような不均質がなければ、地球深部は死の静寂にあるといえよう (Dziewonski, 1987)。

これら地球科学の広い分野の研究はお互いに関連し合いながら、私達の抱いている地球深部への問いを洗練し、私達を新しい探究への旅へと駆り立てている。私達の前に大きく立ちはだかっている問題を、きちんと解きながら進むには、何よりもまず、より充実した、より詳しい観測データが必要である。問いに応じたデータを適確にとることが必須である。3次元の地球全体を包含する運動を対象とするという問題の性質上、全地球をむらなく覆い、偏りのない全体像が得られるような

データを得ることが必須である。勢い、全表面の約70%を占める海域からのデータが必要不可欠なものとなってきている。例えば全地球を覆う新しい高性能地震観測網（Global Seismic Network, GSN）において、海洋をいかに覆うかと苦心していることはその一例である。地球磁場の変動観測においても太平洋、大西洋を南北に切るデータが必須となってきている。気候変動といわれる地球規模の環境変動においても、広大な海洋域のデータなくしては、正鵠を得られないことは言を待たないであろう。一方、海洋域からのデータを得るということは、人間の容易にアクセスできない所として、多くの困難さがあり、従来多くの新しい技術開発を要請してきており、またこれからも要請し続けていくことであろう。

この小論説では最近急速に進んでいる地球深部に対する私達の理解と問いを紹介し、私達が何を

目的地（Goal）にしているか、そのゴールに向かってどう挑戦（Challenge）しようとしているか紹介してみたい。この小論が海洋技術開発に関係されておられる方々に、その将来展望に関連して、少しでもお役に立てば望外の幸いと思う。

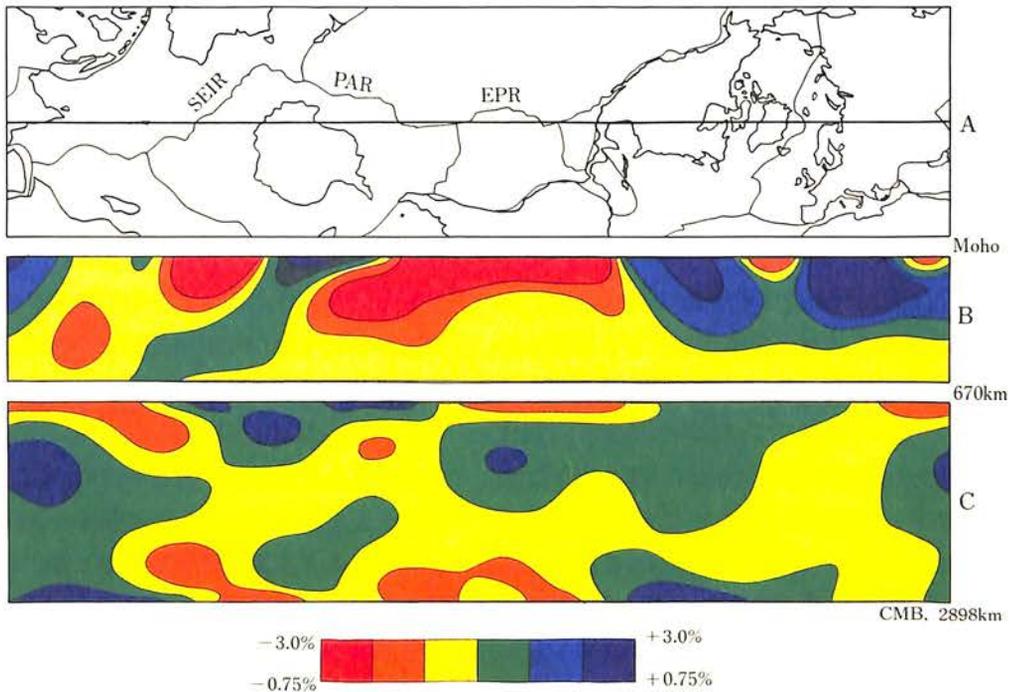
2. サイスマットモグラフィ

2.1 マントル

まずサイスマットモグラフィによって地球深部に何が見え始めてきたか、見たいものがどこまで見えるようになったか、またどれ位まだ見えないかなど紹介する。東太平洋海膨の下、太平洋の下、ハワイの下と3つの例についておべる。

(1) 東太平洋海膨（EPR, East Pacific Rise）

図一は北米大陸から東太平洋海膨（以下簡単のためにEPRと略記する）に沿って南下し、南極大陸に至る大円に沿う地球載断面について、地



図一 1 サイスマットモグラフィ画像。東太平洋海膨（EPR）の軸に沿う大円の切断面。A：切断面の大円（太実線），B：上部マントルの断面（Moho面から深度670 kmまで），S波速度異常。C：下部マントルの断面（深度670 kmからコア・マントル境界（CMB），深度2,898 kmまで），P波速度異常。（Woodhouse and Dziewonski, 1984, による）

震波速度の異常分布を示したものである。平均的地球モデル（ここではPREM, Preliminary Reference Earth Model, Anderson, 1989, の表）からの偏差を示す。Aは大円の地理的位置を示す。このトモグラフィによる画像からEPR及びそれに連なる海洋中央海嶺下の地球深部がどうなっているかを見ることができる。断面上部Bは、上部マントル（モホ面から深さ670 kmまで）の画像でS波速度異常を示し、断面下部Cは、下部マントル（深さ670 kmからコア・マントル境界（CBM）深さ2,898 kmまで）の画像でP波速度異常を示す。断面表示の垂直誇張度（垂直／水平比）は上部マントルで8/1、下部マントルで4/1となっている。水平方向につままっているので見る時注意が要る。異常のスケールは、上部マントルで最大±3%、下部マントルで±0.75%で表されている。

この大円に沿ってイースター島のホットスポットがあり、ガラパゴスの熱水活動地帯がある。EPRはよく知られているように全地球上で最も活発に海洋地殻の生成が行われてきた所である。その根がどこまで深く地球内部へ及んでいるかということとはとても知りたかったことである。従来、表面波の研究で、異常の起こっている範囲が著しく深いこと、またS波速度の異常の大きさがとても大きいことは分かっていたが、このトモグラフィによる画像によって初めて、その根（低速度帯）の広がりについての像が得られた。異常が1%以上の低速度帯の深さは、EPR直下で約200 km以深まで達している。この低速度帯は連結する海嶺PAR (Pacific Antarctic Ridge) に沿って南極大陸の下にもぐりこみ、深さ約400 km以深まで達している。

一方この低速度帯の南北への連がりを見ると、上部マントルでは北は北米大陸の、南は南極大陸のS波高速度帯となっている。そのS波高速度帯の根は深く、北米大陸下では400 km以深（異

常1%以上で）南極大陸下では200 km以深となっている。北米大陸下のS波高速度帯はさらにユーラシア大陸下のそれに連なっている。途中、大西洋中央海嶺で浅い所に低速度層が表れているが、北米大陸とユーラシア大陸下のS波高速度帯は1つの塊りとして水平、垂直方向共に大きな広がりを持ったものとなっている。一方、南極大陸下のS波高速度帯は、異常の大きさは1%以下と小さくはなるが、上部マントルを700 kmまで深く続いている様子うかがわれる。このようにみると、上部マントルにおいてはEPRの根が北米大陸・ユーラシア大陸と南極大陸の根を分断しているようにも見える。同じような関係が南東印度洋海嶺SEIR (Southeastern Indian Ridge) 下にも見られる。

海洋地殻はマントル物質が熔けて海洋中央海嶺の所から湧出し、次々に生成され、海洋底の拡大を伴って側方へ移動しながら形成されたものと考えられているが、その熔融状態、あるいは熔融にいたらなくとも高温の状態が深さ約200 km位まで及んでいることがはっきりと見えた訳である。熔融あるいは高温状態にあることはS波低速度帯となって表れている。融けたマントルの湧き出しという現象がマントル対流の表れとして、全地球を包含する大きなスケールの現象であって、あるいは、ひょっとしたらコア・マントル境界にまで連なっているのではないかという期待があったが、そうではなかった。一抹の淋しさもあったが、なるほどそうかという感慨もあった。下部マントルにそのようなマントル対流が見えないことは図1のCによく表れている。むしろ、EPR直下の下部マントルではP波高速度帯となっている。異常の大きさは、EPR下の下部マントル中央部（深さ約1,500 km付近）の所で0.25~0.50%という小さいものであるが、そのP波高速度帯は北米大陸下の下部マントル高速度帯へ連なっている。一方コア・マントル境界に沿ってP波速

度異常がある。EPR, PAP の下でそれがみえている。しかし、下部マントルを貫くようには見えない。全マントルを巻き込むような対流がみえない。これは一体どうしたのか。サイズミックトモグラフィは本当に全マントル対流が無いことを示すものか、それとも、いまだトモグラフィの解像力が不足のために見えないだけのことか、という問いが起こっている。方法論に深刻な問題を投げかけている。ひどい雑音の中に埋もれた信号をやっと検出したというのがサイズミックトモグラフィを成功に導いた技術であるが、まだまだ見えたもの、見えないものに対する信頼度には多くの疑問が寄せられている。この苦衷は Dziewonski 自身雑誌 Science の論文の中でのべており、5 年も経た 1989 年秋の AGU 学会でも、誤差の信頼度について議論が盛んに続けられていた。ともあれ、今の段階では、少なくとも大規模の全マントル対流は顕著ではない、あったとしても、解像力に洩れる程度のものであることははっきりした訳である。これについてはまた後で触れることにする。

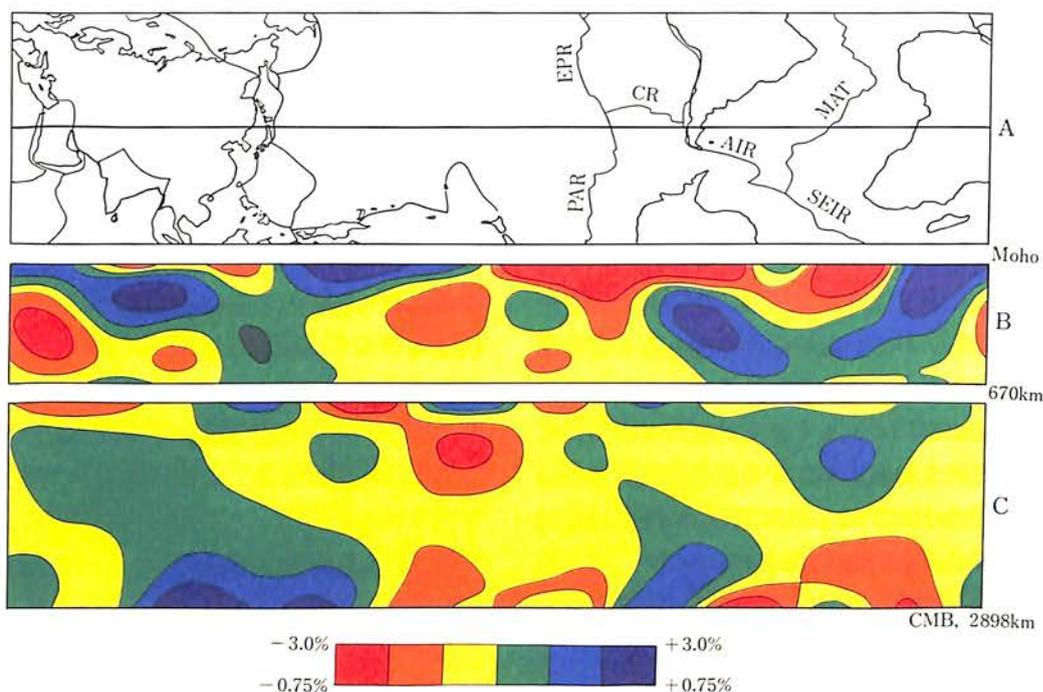
地球全表面積の約 70 % を占める海洋の中央部を割るように延々と連なっている、いわゆる海洋中央海嶺 (Mid-Oceanic Ridge) は地球内部で発生する熱エネルギーの排け口として一番大きなものである。地球内部で発生する熱としては、地殻・マントル・核などの構成物質に含まれる放射性元素の崩壊熱と、地球中心部を形成するコアから発生する熱エネルギーがある。内核 (inner core) の結晶作用に伴う重力エネルギーの解放も大きな熱源と考えられている。そこで、もしかすると、海洋中央海嶺は、このコアから発生する熱エネルギーが地表へ運ばれる道筋の 1 つとしての役割を果たしているのではないかと、すなわち、全マントル対流の湧き出し口となっているのではないかと、という考え方があった訳であるが、どうもそうではないということがはっきりした訳である。そのよ

うなイメージはマントル対流の 2 次元モデルによるところが大きい。現在 3 次元のモデル化が進行中で、コアからの熱エネルギーの輸送は別の形態でなされていることが見え始めてきた。後で触れるが、3 次元地球のマントル対流の数値計算によれば、熱プルームと呼ばれる細長い円柱状の湧昇流現象がその熱輸送の主となっている。2 次元モデルで取り扱われる垂直な平板状の湧昇現象は 3 次元モデルでは起こっていない。コア・マントル境界から立ち上がる熱プルームがみえるかどうか、どうやったら解像できるか、これが現在当面している一番大きな、また一番ホットな問題である。

図-1 の分解能は下部マントルで球面展開の次数 6, 半径方向展開次数 4 となっている。それは解析に用いた P 波走時データが、数こそ 20 万個という大きなものであるが、一つ一つのデータは玉石混交でとても大きな誤差を含んでいて、到底高い次数まで信頼できる解析が得られないからである。例えば検出すべき信号に対して、誤差の作る雑音の S/N 比は何と 1/10 という値になっている。したがって、水平方向の次数 6 に対応して、100 km のオーダーの異常の検出は望むべくもない。たとえ細長い円柱状の熱プルームがあっても、現在までのサイズミックトモグラフィの画像には表れることはない。精度の良いデータが要請されている。高精度のみならず、分解能を高めるためには地球深部をむらなく、サンプリングするような偏りのないデータセットが要請されている。広い海洋域に観測点をつくってそのようなデータセットを作ろうという努力が進められている。東太平洋海膨の下を見る肝心の南太平洋には驚くほど観測点が少ない。南太平洋を覆う観測点の建設は最も苦心のいる問題である。

(2) 太平洋

次に太平洋の下の上部マントル・下部マントルをみしてみる。図-2 は南米大陸チリ一南端から日



図一2 サイスマクトモグラフィ画像。太平洋を南東-北西方向に横断する大円に沿う切断面。A, B, C: 図一1と同じ。(Woodhouse and Dziewonski, 1984, による)

本へ至る太平洋横断大円に沿っての断面を示す。この方向は東太平洋海膨からの海洋底拡大の方向に当たる。上部マントルにみられる(図一2-B)海膨下のS波低速度帯は軸から離れても、海洋底拡大方向に向かって遠くまで広がっている。低速度帯の厚みは約150 km位である。海膨軸の真下でこの低速度帯は深くまで根を下ろしているのがみえる。これは素晴らしいことで、マントル対流の湧き出しの様子をみせているようである。図一1-Bに見られる海膨軸に沿う南北断面と図一2-Bの東西断面の低速度帯の分布を合わせると、この低速度帯の広がり非常に広大なものであることが分かる。これは注目すべき現象である。南太平洋のこの付近の上部マントルに高温域が、恐らくマントル物質の部分熔融を含むような領域が水平スケール数千km、垂直スケール200 km程度で存在しているということは、マントル内の対流運動を理解する上で大切な拘束条件となる。

もう一つ注目すべき現象に、西太平洋に表れている上部マントル表層の高速度帯がある。太平洋プレートが日本に近づくにつれて、冷えてS波速度が速くなり、密度も増して重くなり、沈み、その結果高速度帯の厚さが増している様子がみえる。これはプレートテクトニクスが考えている海洋プレートの沈み込み様式によく調和している。沈み込みプレートに対応するような高速度異常が日本列島の直下に深部まで続いている。図の上部マントル解像度は球面調和関数展開の次数8までとなっているので、細かい様子を見ることは無理であるが、沈み込みプレートがあるらしいことはうかがわれる。

この外この上部マントル断面には色々のことが表れている。大西洋中央海嶺下のS波低速度帯は大きいもので、南米大陸とアフリカ大陸の根を形成する高速度帯を割っている様子がみえる。アジア大陸の根に対応する高速度帯、日本海に対応

する表層部の低速帯、紅海の真下、上部マントルの中央部深さ 200~500 km にある大きな S 波低速度帯などが見えている。もう一つ面白いことに、太平洋中央部に、低速度帯がみえている。ハワイのホットスポットの根がどこにあるのかという問いにかかわっている模様である。

このように、上部マントルのトモグラフィ画像に表れた模様を眺めていると、上部マントル内部の対流運動が何やら見えてくるような気がする。臆げであるが、東太平洋海膨から湧き出た熱いマントル物質が太平洋を北西方向に移動し、次第に冷えて重くなり、やがてその縁においてマントル内部へ沈み込みというプレートテクニックスの様式が、まんざらお話し一概念的な説明のためのものではないようにもみえてくる。しかし、一方地磁気異常の縞模様から推定される海洋底の年代分布（例えば環太平洋テクトニックマップ）をみると、中部太平洋海山群の海域は年代が複雑な模様を示しており、やっぱり、東太平洋海膨から北西方向へ移動してきた海底が、この中部太平洋海山群領域を横切って更に北西方向、日本の方向へ移動したとは、とても考えられない。事実、中部太平洋海山群から日本海溝・千島海溝へ向かって海底年代は新しくなっている。もし中部太平洋海山群域から海溝へ向かって海底が移動したとするならば、海溝に近い方が古いはずである。そうっていないことは何よりも全太平洋横断の海洋底の移動は起こっていなかったという証拠である。すなわち、南太平洋の東太平洋海膨に生まれ、北西方向へ向かい、太平洋を横断して日本海溝・千島海溝へ至るような海洋底の移動はないことがはっきりと示されている。それでは今サイズミットモグラフィで見えた雄大な太平洋全体を横断するようなマントル対流らしい運動と、海洋プレートの実際の移動との関係はどうなっているのだろうか。新しい問題を提起している。

全マントル対流が見えるかどうか。下部マント

ルのトモグラフィ画像（図-2-C）をみしてみる。コア・マントル境界に沿って著しい低速度・高速度の領域がみえる。低速度域は EPR・PAR・CR 三重点のやや西側にあたる。もう一つの低速度域は大西洋、南米大陸南端の東側にある。一方、高速度帯は南米大陸南端下にあり、低速度帯を割っているような形を示している。もう一つの大きな高速度帯は太平洋の北西縁部からアジア大陸下にかけて発達している。高速・低速の分布が大円に沿う 2 次の調和分析成分で表れていることが注目される。調和分析の次数は 6 次までとっているので、2 次の成分が卓越するという事は、有意の意義がある。このコア・マントル境界において P 波の高速度・低速度領域の分布について様々な物理化学的解釈が提出されている。EPR 西側の低速度域はコア・マントル境界から立ち上がるマントル熱プルームに対応するものではなかろうか、太平洋西縁・アジア大陸下の高速度域は沈み込んだプレートがマントルの底にまで行きついた残骸ではなかろうか、などとの説がだされている。

もう一つ注目されているものに、太平洋の中央域、下部マントル内部のほぼ中央付近に見られる低速度分布がある。これは後ほど触れるジオイド異常と相関のあるもので、マントル内部の上下運動と関係あるものと考えられている。この太平洋中央部の下部マントル P 波低速度帯について、もう一つの太平洋横断の断面を次に見てみる。

（3）ハワイ

図-3 はハワイ—ニュージーランドを通り、太平洋を北東から南西に横断する大円に沿う断面を示す。コア・マントル境界から湧き上がり下部マントルを貫き上部マントルに連なる熱プルームらしいものが見える。図-3-B にハワイ島南東の上部マントル中央部、深さ約 400 km 付近に S 低速度領域がみえる。これは、もしかするとホットスポット—ハワイの根であるかも知れない。そし

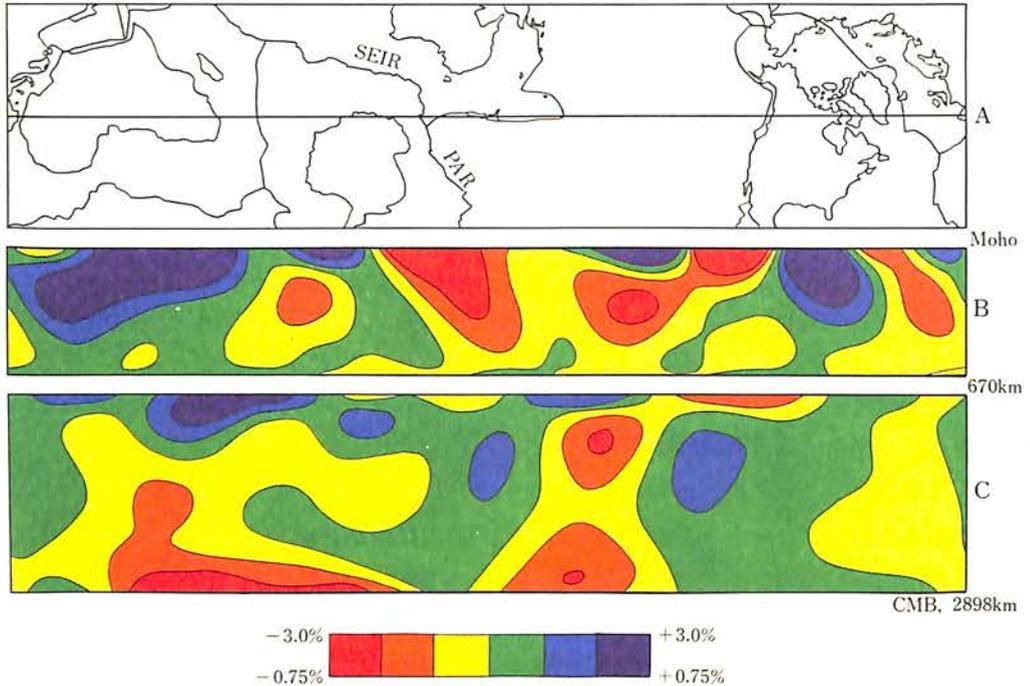


図-3 サイスマクトモグラフィ画像。ハワイを通り太平洋を北東-南西方向に横断する大円に沿う切断面。A, B, C: 図-1と同じ。(Woodhouse and Dziewonski, 1984, による)

てさらに図-3-Cを見ると、その根は深く下部マントルまで続き、コア・マントル境界まで達している。コア・マントル境界上の低速度域の位置はトンガ諸島下にあっている。図-2にちょっとみえかけた上部マントルのハワイホットスポットの根らしいものが、この図-3でよく見えている。面白いことに、S波低速度域の上方の海洋プレートは高速度域となっている。これが何を意味するかはよく分かっていないが、この付近の海底年代は海洋底として古いものが分布してる所に当たっている。図-3ではマントルブルームらしく見えるものも、実は垂直方向に誇張されているせいで、垂直水平スケールを1:1に直すと、ほぼ真上に立ち上がっているように見えるブルームも、かなり傾きをもったものであることが分かる。果たして、このように傾いた熱ブルームがあり得るかどうかまた一つの新しい問題を投げかけている。ハワイホットスポットのコア・マントル境界

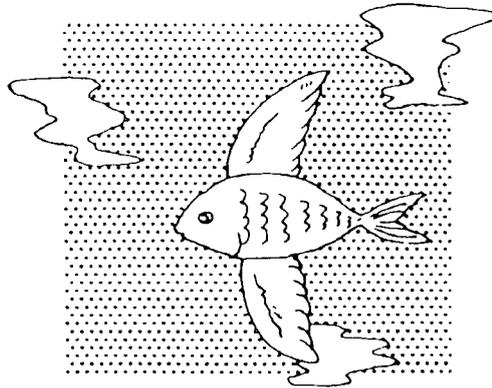
上の根がトンガ諸島下と、4,000 km 以上も離れた所にあるということは本当にそうなのだろうか。

図-3-B, Cを見ると、下部マントルの低速度域の続きは上部マントルにおいて一つはハワイへ向かうが、もう一つは南極大陸とニュージーランドの間にある海嶺会合点へ向かう。ここは大きな断裂帯が発達している海域である。そのS波異常域の著しさは東太平洋海膨に勝るとも劣らないものがみえる。ついでながら1989年5月23日この海域でマグニチュードM=8.2という巨大地震が起こった。マカリー海嶺地震 (Macquarie Ridge Earthquake) と呼ばれる。従来、海洋中央海嶺域に発生する地震は、その海洋地殻が薄く、また多くの断裂系によって細分化されているためマグニチュードは大きくならないといわれてきた常識を覆すものであった。海洋にはまだまだ未知のことがいっぱいある。

図-3にはこのほかいろいろ面白いものが見えている。上部マントル（図-3-B）には大陸の根を示すS波高速帯が、1つは北米大陸下に、もう1つはアフリカ大陸・南極大陸下にはっきりと見えている。下部マントル断面（図-3-C）には、コア・マントル境界に沿ってP波低速度異常がアフリカ大陸南端部に見えている。これは図-2-Cにも見えているものである。このアフリカ大陸南端部東方に広がるコア・マントル境界のP波低速度帯は地球磁場の変動に関連するものとして注目されている。コア内部の熱対流運動とマントルとの相互作用に関連したものであろうと最近研究が進められている。

太平洋に関する二つの断面（図-2と3）を一緒に見ながら、この下に地球深部に起こっているであろうマントル物質の流体運動の有様に思いを

馳せることができる。しかしながら、その姿は、たとえ姿を現わし始めたとはいえ、まだあまりにもぼんやりとしており、全マントルを包含するような大きなスケールの対流が本当に起こっているのかどうか、それともスケールの小さいもっと複雑な渦運動の集まりから構成されているのかどうかは残念ながらまだ解像されていない。ともかく、かなりの運動が起こっており、マントル内部に、地震波速度の高低、温度の高低、密度の大小、物質構成の変動などを伴っていることだけははっきりと確かめられたといえる。従来の球対象成層構造という滑らかな均質な平均的地球像から、ごつごつとした何か塊りが寄り集まり、ひしめきあっているような不均質な地球像が感じられる今日この頃である。



海に魅せられて 半世紀(Ⅸ)



経歴

大正 13 年 福岡市に生まれる
昭和 21 年 東京帝国大学第二工学部物理工学科卒
昭和 25 年 東京大学理学部地質学科卒
昭和 37 年 東京大学海洋研究所教授
昭和 43 年 同所長
昭和 59 年 放送大学教授
東京大学名誉教授 現在に至る
海洋科学技術センター評議員
海洋開発審議会会長

奈須 紀幸 Noriyuki NASU

10. 昭和 30 年代前半 (3)

前回、昭和 34 年の私の研究経過については、日を追って述べて申しあげたが、順序を少し変えて、今回は 8 月まで飛び越えることをお許し頂きたい。

② 第 1 回国際海洋学会

この学会が 1959 年 8 月 31 日から 9 月 11 日までニューヨークの国連ビルで開催され、その折発表されたシェパード先生とカリーの共同研究による後氷期の海水準上昇の変動の量的な呈示が私どもの古久慈川の流路の発見と解明に直接つながったことについては、前回詳しく述べた。

この学会は、戦勝国、敗戦国を問わず、第 2 次大戦の打撃から漸く立ち直ってきた海洋学の戦後の成果について、各国の研究者が戦後始めて一堂に会して、発表し、議論し、情報を交換し合ったという点で、世界の海洋学に一つの転機をもたらしたものであったということが出来よう。

この学会は、国際海洋特別研究委員会(SCOR)、米国科学振興会(AAAS)、ユネスコの共同主催によるものであった。

世界各地から 45 ヶ国、1,200 人余りの研究者が集い、イーストリバー沿いのまだ新しい国連ビルの地階の数室に分かれ研究成果の発表を行った。

ソ連からはミカエル・ロモノソフ号、フランスからはカリプソ号がわざわざこの会に合わせてニューヨークの港を訪れ、参加者に船内公開を行った。

日高孝次東大教授が日本の代表者で、菅原 健名大教授、佐々木忠義東京水産大教授ら当時の日本のトップクラスの海洋研究者と新進の若手の研究者の混成グループが参加した。

日本から飛行機で往復した研究者が約 16 人、滞米中の日本人研究者の参加が約 10 人、日本勢は合計約 26 名であった。

この数は、研究者の層も厚く、地の利を得て多数の参加者があった米、同じく研究者の数も多くロモノソフ号という大型研究船で多数の参加者を送り得たソ連に次ぐ第 3 位の数であった。

若手の日本人研究者を参加させるため、日高教授を中心として先輩の先生方は、旅費の捻出に各界の寄付を仰がれ苦勞して下さった。当時の先生方が後進の育成にいかにか心を砕かれていたかとい

う事実を物語る一齣である。

成長期の学界では、このように、先輩が後進の育成に努めるという気運が自ずと生じるのかも知れぬ。それがもし事実とすれば、そのような気運の存在の可否が、逆にその分野の学界の将来を占う指標となり得るのかも知れぬ。

有難いことに、「旅費は作るから、奈須君、君も参加しませんか」と日高先生からお言葉を頂いた。一も二もなくご好意に甘えた。

私にとっては、昭和30年、足掛け5年の留学を終えて帰国してから4年ぶりの米国行きである。懐かしかった。

学会に出席して、まず印象に残ったことは、従来、発表者は何枚も重ねた紙をめくりながら説明を進めていたが、35 mmのスライドを使って暗い部屋の中で、スクリーンの上に結果をモノクロ、あるいはカラーで明るく投影しながら説明を進めるというように米国の研究者の発表のスタイルが変わっていたことである。

シェパード・カリーの後氷期の海水準上昇のカーブも同様、スクリーンの上にモノクロで写し出された。その時、数秒の沈黙があった。その薄暗い部屋には350人くらいの研究者がいたであろうか。スクリーンに写し出された実測点の数々とその平均をとって滑らかに描かれた曲線のただならぬ意味を理解した参加者から驚愕にも似た嘆声も低音で一斉に「オー」と出た瞬間を私は今でも昨日のこのように覚えている。

この学会では、海洋学の諸分野にわたる新鮮な成果が計り知れぬ、といっても過言ではないくらい多数発表された。それを、ここでいちいち紹介するのもいかがと思われるので控えさせて頂く。

ただ、二三の事項については申し述べたいので、以下かいつまんで紹介させて頂く。

リビーが、炭素14法による生物遺骸の死後の経過年数の測定法を編み出したのが1947年頃である。この方法はその後、急速に精度が向上し、

数百年から数万年の期間の年代測定に顕著な貢献を果たした。

ニューヨークの学会では、この炭素14法を用いた研究結果の発表が数多く目立った。

シェパード・カリーの後氷期の海水準変動曲線の解明もその一つである。

大西洋の底質の柱状採泥器で得られた試料の中に含まれている浮遊性有孔虫などの微小生物の炭素14法による年代測定の結果が幾つか発表された。それによると、1万1千~2万2千年前を境として、それ以前のある期間は海面付近が寒冷な環境にあったことを示す種が優勢であり、それ以後は、温暖な環境を示す種が優勢になっていることが明確になった。すなわち、1万1千~1万2千年前頃、ウルム氷期は終わり、気候は急速に温暖化に向かい後氷期に入ったことが明らかになったのである。

この事実は、メキシコなどの陸上の湖底の堆積物の柱状試料の中の微小生物遺骸についても同様に認められた。

したがって、気候変動の観点からは、後氷期の始まりは1万1千~1万2千年前頃という結果がこの学会で出されたことになる。

一方、海水準変動の視点からは、後氷期の開始は1万8千年前より少し以前のことでありという結果が、同じ学会でシェパード・カリーによって呈示された。

後氷期の開始、換言すればウルム氷期の終末について、気候変動の研究結果と海水準変動の研究結果とでは数千年の差が出た。その原因についてはいまだに解明されていない。私は、この差は何か重要な意味を持っていると予感している。いつかこの謎が解かれることを期待したい。

それから、地質時代の化石の中の酸素18と酸素16の比から、その化石が生息していた頃の水温を推定する発表があった。水中の酸素18と酸素16の比が水温によって変化することが少し前

に分かっていたので、これを化石の生息時の水温推定の指標として用いたのである。この頃から後、この手法による古水温の推定が盛んになった。

また、炭素 14 法を用いて、極地域の表層の水塊が低緯度の深海底まで移動して深層水になるのにおよそ 5 百年ほどかかるようである、という数量的な結果も発表された。

さらに、海洋における地震探査の結果、大西洋や太平洋の地殻の厚さが判明したとの報告もなされた。例えば、太平洋では、平均してその厚さは 6 km 程度であるとされた。この時点で、それまでに判明していた大陸や島孤の地殻の厚さが 20 ~ 60 km であるのに対し、大洋底では、数百 m 程度の厚さの堆積物を含めて、地殻の厚さは 4 ~ 10 km 程度と薄いという事実が明らかにされた。

ただ、太平洋の中で海底地殻の厚さが 4 km 程度の場所が存在するという事実は、既に 1955 年頃には判明していた。

1959 年に催されたこの学会から 2 年を経てドイツらによる大洋底拡大説（あるいは海洋底拡大説ともいう）が発表され、それから更に 6 年を経て、パーカー、モルガン、マッケンジー、ル・ピションらによるプレートの概念が発表された。

大洋底拡大説、並びにそれに続くプレートテクトニクス説が、地球表層の実態及び動態の解明に、また地史の解明にどれほどの進展をもたらしたか、という経過については周知のとおりである。

このニューヨークにおける学会には、そうした巨大な地球科学的成果の金字塔がすぐ目の前まで近づきつつあったのである。

大洋底拡大説の準拠するところは、ヒーゼンによる中央海嶺系の連続性の発見とその中軸部における地溝の発見である。ドイツらは、この地溝こそ地球内部物質の噴き出し口であり、そこで海洋底は新生され、そこから両側に年間数 cm の速さで拡大するとした。

この中央海嶺系並びにその中軸部地溝の存在の

事実を、ヒーゼンはこの学会で発表した。

したがって、上記の金字塔の礎石は、この学会の折に置かれたのである。

これだけでも、戦後第 1 回であったというこの国際海洋学会が果たした役割の大きさを推し計って頂けるであろう。

この会に出席する幸運に恵まれた私どもが、どれほど興奮に包まれ、インパクトを受けたか御想像頂けるものと思う。

この学会の頃、宇宙開発に関しては、アメリカはソ連に先を越されていた。この年の 1 月 2 日、月ロケット・ルナ 1 号は月から 6 千 km の距離を通過し、最初の人工惑星となることに成功していた。

そして、この学会の終わりに近い 9 月 12 日、ルナ 2 号は最初の月面ロケットとして月への突入に成功した。周囲のアメリカ人の気落ち振りは、私たちの目にも明らかであった。

こうした背景が当時存在した。

宇宙で一歩をソ連に譲るとしても、海洋ではアメリカは世界のトップを占めたいという気概が溢れていた。

学会の最中、スクリップス海洋研究所の所長ロジャー・レベルが『モホール計画』の記者発表を行った。9 月 8 日のことである。

ただし、一般の学者や研究者は出席できない。私はどうしてもこの発表が聞きたかった。そこで朝日新聞のニューヨーク支局に事情を話しておねだりし、一人分の枠を取って貰った。そして“PRESS”の腕章を腕に巻いて前列近くに陣どった。

地殻と、その下のマンツルの境を発見者の名にちなんでモホロビッチ不連続面という。略してモホ面あるいはモホという。英語では Moho と略す。モホ面の下はマンツル物質である。

『Mohole』プロジェクトは、深海底ボーリング船を作り、moho まで穴 (hole) をあけようとい

う計画であった。

この記者会見は、この学会中の一つのハイライトでもあった。アメリカの意気込みを全世界に初めて発表したのである。

私の顔を見付けたレベル所長は、はじめ、おや、というような顔をされた。でもすぐに私の意図を了解されたようである。

当時、陸上では8 km程度のボーリングは石油関係の開発探査のために実施され経験ずみであった。すなわち8 kmほどの深さである。

そして、太平洋の幾つかの場所では地殻の厚さが4 km程度であるということが分かっていた。

「太平洋の水深が5 kmくらいで、地殻の厚さが4 km程度の場所を選んでボーリングすれば、パイプの全長は9 km程度となる。技術的に不可能ではあるまい、途中の地殻物質を次々と縦方向に採取しながら最後には、モホ面を貫いてマントル物質を得ることが出来る。これで、どれほど地球表層についての知見が増すか、計り知れないものがある。アメリカの海洋研究所が幾つか共同してこの計画を推進し実行する。その手初めは試験的に2年後の1961年頃になろう。」

以上が代表者としてのレベル先生の発表の趣旨であった。

会堂を埋め尽くした各国の記者からいろいろな質問が飛んだ。レベル所長は、長身のため、いつもはやや前屈みの姿勢で話をされるが、この時は心もち胸を張られて姿勢を伸ばし、颯爽としてそれぞれの質問に答えておられた。

そのやりとりの中で私の印象に残ったものがある。

ある記者、恐らくアクセントからして米人の記者であったと思うが、「このような計画を、このような国際化の時代に何故アメリカのみで実施するのか？ 国際化の予定はないのか」、という質問を行った。

レベル所長はためらうことなく即答された。「こ

の計画はまだまだ多くのリスクを伴う。したがって、リスクはアメリカが負う。リスクがなくなり、実現の目途がついた時には、もちろん、国際化する予定である」。そして話は続いた。「しかし、今、我々がこの計画について話合っている現在、ソ連が同じようなモホール計画を進めているかも知れない。いや、日本が進めているかも知れない。」

私は驚いた。宇宙競争において米ソは熾烈な競争を演じている。だから、ここでソ連の名が出て誰も驚かなかったに違いない。しかし日本は別である。戦火の焦土の中から何とか立ち上がってようやく14年。とてもそのような計画を思いつくような基盤もないし、予算もない。

その後、ずっと、この時恩師の一人であるレベル所長が、日本の名を挙げられたお気持ちについて、私は自らに“何故か”と問い続けている。

当時、既に、レベル先生は当時から見て30年後の日本の発展とそれに伴う地球科学の進展を予見しておられたのかも知れない。

あるいは、4年間、所長として手元において教育し、日本に送り返した奈須という研究者が、目の前にいるのを見られて、ある意味での責任を課せられたのかも知れない。それは励ましの表現であった可能性もある。

恐らく、この学会に出席された日本の研究者で、この『モホール計画』発表の記者会見に出席された方はおられなかったはずである。したがって、この時、レベル所長の口から“日本”の名を聞いたのは私一人であろう。

その後、米国は“カス1号”を作ってモホール計画の試験段階の実施を実現した。次いで、“グローマー・チャレンジャー号”を作って深海掘削のネットを全世界に広げた。その初期の成功に鑑み、レベル所長の約束どおり、1975年から国際化した。それは、現在、“ジョイデス・レプリューション号”に継承されている。

日本は、この国際化の当初から参画し、分担し、

成果の数々に相応の寄与を果たして来ている。確かに、ニューヨークの学会の時に比べると格段の違いの実力をつけて来ている。その意味では、レベル先生の見通しは確かだったのである。

この辺の事情についてはいずれ後述する。

が、今現在、深海掘削船が複数必要であるとの観点から、日本において、科学技術庁を中心に、海洋科学技術センターが具体的なプランを進める場合のフィージビリティ・スタディーを開始された。

ソ連、いや今ではロシアといった方がよいのかも知れないが、深海掘削船を現在建造中の由である。欧州でもフランスを中心に建造計画を検討中とのことである。

深海掘削による過去 20 数年の成果が、レベル所長が名を挙げられたソ連、日本、それに欧州を

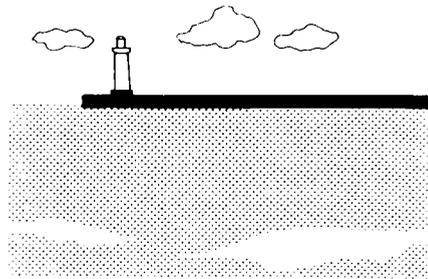
も含めて、現在、轡を並べての推進の気運を誘っている。

将来、計り知れないほどの成果が期待されるからである。

この計画を国際的に発表され、実行され、かつ将来を見通されたレベル所長の炯眼に、私は今日改めて深い敬意を覚えるものである。

しかし、あの折のレベル所長の“日本”という言葉は、私自身の自覚以上に私の意識の下で燃え続けているような気がしてならない。

昭和 34 年のニューヨークの第 1 回国際海洋学会は、古久慈川の発見といい、深海掘削といい、それ以外の意味でも、私にとって、その後の研究の方向を見いだしたという点でどれだけ役にたったか計り知れないものがある。



MTS'90 調査団調査録

潜水技術部 他谷 康 Yasushi Taya

1990年9月26日～28日までの3日間、米国ワシントンD.C.のコンベンションセンターにてMTS'90 (Marine Technology Society主催の会議及び展示会)が米国、英国、カナダを中心に世界10カ国、174の関連企業の協賛を得、約3000名の参加者のもとで開催された。

海洋科学技術センターでは、民間企業からの参加者8名を含め9月26日から10月6日までの期間、上記会議並びに展示会に出席し、併せて米国における海洋研究関連機関を訪問し、研究開発に関する動向調査を行った。

調査団は当センターの中野昭二郎 総務部長を団長とし、合計11名で構成された。

以下、本調査の概略について報告する。

1. MTS'90

1.1 MST'90 会議

会議はThe Marine Technology Societyの主催及び、The American Society of Mechanical Engineers, The Oceanography Society並びにThe Society for Underwater Technologyの共催により開催された。会議のテーマは“Science and Technology for a New Oceans Decade”であり、海洋新10年の科学と技術に関する全体会議6件並びに関連のテクニカルセッションとして23テーマ、195件に及ぶ論文発表が大小18の会場において3日間にわたり開催された。

開会式では、アメリカ合衆国のPresident's Science Advisor, Dr. Alan Bromley氏より、地球全体の変化に対する海洋科学技術の役割並びに国際協力の重要性に関する基本政策について格調の高い演説がなされ、グローバルな海洋開発の重要性についての認識と、米国が世界のリーダーと

して、今後も海洋における科学技術の研究開発を推進して行こうとの姿勢が強く感じられた。経済成長に喘ぐ米国の報道を日々耳にする筆者も、この心意気に盛大な拍手を送ると同時に、今後も米国がリーダーシップを取り続ける意向を強く有しているとの印象を深くした。

全体会議では、地球環境の変化、高性能コンピュータの利用、リモートセンシング、海洋科学技術の動向、沿岸域の問題等が主テーマに取り上げられ、小会場においても、環境汚染、海洋資源、宇宙開発システムの役割、研究機関における共同研究の推進及び教育等の問題について議論がなされた。

すべての会議に出席することは出来なかったが、地球環境の変化や環境汚染、海洋資源に関する会議を覗いた限りでは、共通して地球温暖化問題が深くかかっているとの印象を受け、地球規模での国際協力による海洋調査の必要性が強調されていた。また工場や生活排水が流れ込む沿岸域では、海洋の汚染が引き起こされ、米国やカナダ



写真—1 MTS '90 開会式

アメリカ合衆国 President's Science Advisor, Dr. Alan Bromley 氏の基調講演が行われた。

でも、我が国と同業エビや鮭の漁獲高が年々減少しており、漁業に対して大きな打撃を与えているとの発表がなされ、環境問題の深刻さを改めて認識させられた。調査団に参加いただいた方々からも、海洋は人類だけでなく地球にとってもかけがえのない場であるとの議論がなされ、筆者も同感であった。

1.2 テクニカル・セッション

テクニカル・セッションは、23のテーマに分かれ、195件に及ぶ発表があった。各セッションは1時間30分で4～6件の発表がなされ、セッションによっては大会3日間にわたり計18件の発表が行われていた。

主たる発表は、海洋の高性能計測装置（例えば流速計やCTD）の研究開発と精度向上、計測手法の改善等に関する発表、海洋観測や作業でよく使用されるロープの挙動解析や破断、高張力ロープの研究開発並びに挙動をシミュレーションするための数値解析モデル化の紹介、ROV (Remotely Operated Vehicle) のカメラシステムの改良並びに撮影された深海生物の映像紹介、海洋掘削船『JOIDES RESOLUTION号』での

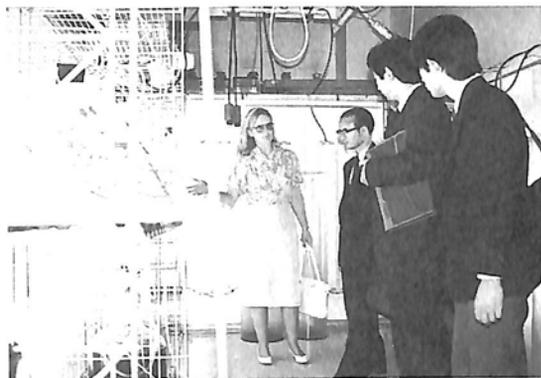
プレート・テクトニクスの解明や海洋地殻の起源や進化に関する研究等があり、海上輸送については、ShipでもAir Craftでもない、第3の輸送手段になるであろうとの観点から、高速かつ大型の各種ACV (Air Cushion Vehicle), SES (Surface Effect Ship) のビデオを交えた紹介、並びにこれらの大型化の構想が発表され注目されていた。また潜水に関しては、従来の圧縮空気による長い減圧時間を短縮する目的から、新たに窒素と酸素の混合割合を変えることのできるガスミキシング装置の紹介や、従来の減圧表をパーソナル・コンピュータにより解析するとともに、空気以外の混合ガスに対応できる減圧表等についての発表があった。また、折り畳み式の軽量小型チェンバー（1～2人用）の紹介があり、発表会場にて組立方法の実演がなされ新製品をアピールしていた。

1.3 展示会

コンベンションセンターの一角にある広いホールでは、会議に並行して海洋開発関連の機器等の展示会が開催され、米国海軍や沿岸警備隊の潜水研修システムを紹介したブースや、NOAAの海



写真—2 MTS '90 展示会場の風景
公的機関並びに企業等、併せて174団体の展示ブースがコンベンションセンターのホールに設けられた（小型チェンバーの展示ブースを見学する著者）。



写真—3 チェサピーク生物学研究所にて
実験施設を Dr. Duggaya 女史の案内で見学
ここでは、海草類の育成実験が実施されていた。

洋科学技術に関する開発計画を紹介する公的機関の展示ブースのほか、カナダや日本からの企業等を合わせ174団体からの出展があった。展示機器は多岐にわたり、各種計測機器やデータ解析処理用ソフトウェア等海洋開発のあらゆる分野に及んでいた。潜水生理学を嚙る筆者には、採掘関係や重機械関係の展示モデルは科学博物館を訪れた気分であった。

2. 訪問機関の概要

2.1 メリーランド大学 環境・汽水センター

このセンターは、チェサピーク生物学研究所とホーンポイント環境研究所を有しており、メリーランド大学システムに位置づけられている。ここでは、チェサピーク湾の生物・環境に関する研究が実施されており、調査団はチェサピーク生物学研究所に Dr. K. R. Tenore 氏を訪ね、米国の象徴的な海洋汚染の研究フィールドとされているチェサピーク湾の現状を伺った。Tenore 博士並びに Dr. L. E. Duggaya 女史の話では、チェサピーク湾は5つの州から11の河川が流れ込んでおり、湾の汚染が海洋生物並びに水質資源に影響



写真—4 チェサピーク生物学研究所前のチェサピーク湾につきでた研究用の栈橋。先端には取水用のポンプ小屋がある。

を及ぼしていることが、これまでの研究から明らかになってきたとのことであった。また、海洋生物に関して地域に密着した基礎研究並びに子供達への教育活動も精力的に行っているとのことであり、実験施設では異なる環境条件において、マスや海草の水槽実験が実施されていた。

2.2 NASA ゴダード・スペースフライトセンター

Dr. A. Busalacchi 氏ほか11名の研究者より、海洋観測に関するリモート・センシングの活動状況並びに将来構想等について説明を受けた。ここは、衛星を使用した地球規模での海洋の温度、潮流の流向・流速、極域や海水等の情報収集並びに



写真—5 NASAゴダード・スペースフライトセンター
コンピュータ室にてBusalacchi博士の説明
を伺い、エルニーニョ現象の画像解析を見学

コンピュータによるデータ処理や数値シミュレーションによる異常気象の解明がなされており、コンピュータ室では、エルニーニョ現象をとらえたダイナミックな画像処理の状況を見学した。今後更にデータベースの充実を図り、国際協力の下で地球環境問題に取り組んでいくとの方針であった。

2.3 メリーランド大学 海洋バイオテクノロジーセンター

ここも、メリーランド大学システムに属し、組織としてはメリーランド・バイオテクノロジー研究所に組み込まれている。ここでは、深海微生物

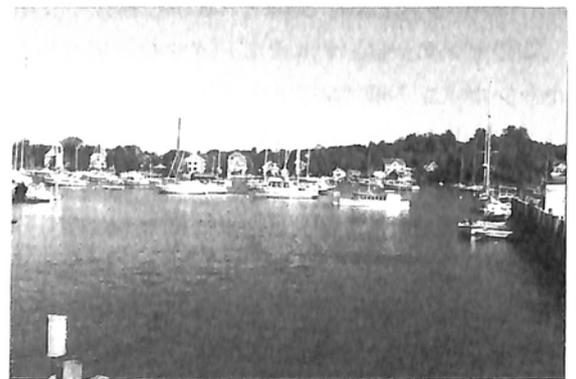


写真—6 メリーランド大学 海洋バイオテクノロジーセンター
Dr. Singletonの研究室にて高圧培養装置を見学

の分離・培養方法等についての研究を行っているとのDr. Straube氏の紹介の後、同氏の案内で深海微生物の採取装置や高圧培養装置を見学した。高圧培養装置による至適成育環境の把握や分離・培養の研究結果として、Dr. Singleton氏は現在までに11種の深海微生物を同定したとのことであり、本センターにおいては、今後更に微生物の生理や代謝だけでなく、遺伝子組み替え等についても精力的に研究がなされていく姿勢が伺えた。

2.4 ウッズホール海洋研究所

Dorman所長の歓迎の挨拶の後、Hagopian女史より研究所の活動状況の説明を受け、Grice副所長との懇談会においては、250を数える実験テーマに研究者は取り組んでいるとの紹介があった。その研究活動分野は海洋における生物、物理、化学の他、潜水艇による深海調査、気象変動や、若令イルカの音波の学習能力といった広範な研究が実施されており、研究者の層の厚さを感じた。特に注目されたのは、ソ連との研究交流を推進していく意向が示され、世界的な海洋科学技術の中核をなす研究機関として、今後さらに充実した研究体制が敷かれるものとの感想を強くした。懇談の後、当センターから長期海外研究員として同研究所で1年間研究活動を続けてきた網谷研究員並びに今後1年間の予定で研究活動に従事する田中



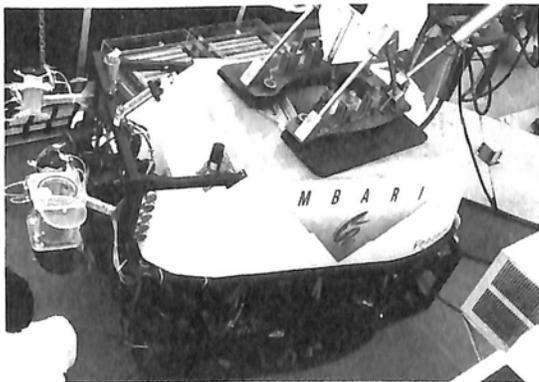
写真—7 ウッズホール海洋研究所
ウッズホールキャンパスの前のハーバーには
プレジャーボートが数多く見られた

研究員の案内で所内を見学した。研究所は、ケープコッドの南西端の海岸線に沿って2つのキャンパスからなっており、訪問したウッズホールキャンパスは、海洋調査船等の接岸できる岸壁が実験フィールド(水深20m)としても利用されており、恵まれた立地条件との印象であった。また、町中の木立に囲まれた閑静な建たずまいが、研究施設として使用されており、60年の歴史を誇る同研究所は町中にすっかり溶け込んだ雰囲気であった。

補足ではあるが、ウッズホール海洋研究所と当センター間では、1988年10月に協定書が結ばれ、勢力的な研究交流が図られている。

2.5 モントレー湾アクアリウム研究所

ここは、1987年にDavid Packard氏の寄付により設立された新しい研究所であり、Dr. Robison, Mr. Etchemendy, Mr. Leeの3氏より研究所の説明を伺い、ROVで撮影された神秘的なクラゲの映像を見せていただいた。その後、研究所内の施設見学を行い、さらに3氏の案内で海洋調査から戻った2000m級のROV(ISE社製の改良型)並びにその母船(POINT ROBOS号)を見学した。ここでの研究は、モントレー湾すべてが研究対象であり、ここに生息する海洋動物の調査・採



写真—8 モントレー湾アクアリウム研究所が所有する2000m級無人探査機(VENTANA号) 写真の左側上部にはクラゲの採取装置がある。

取ならびに生態や代謝等を含む生物学的調査がROVを駆使して1週5日のペースで勢力的に実施されていた。また、海水の塩分濃度や栄養素といった生化学的調査や、クロロフィルの分布等の調査、さらに地殻の調査も実施されているとのことであった。特に注目された発言では、ソ連のミール(3人乗り、6000m級有人潜水艇)による共同潜水調査も既に実施されており、新たに6000m級のROVの建造も計画されているとのことであった。また、当センターが誇る“しんかい6500”や“かいよう”並びに建造が予定されている10000m級無人探査機には強い関心を示され、当センターとも共同研究を実施して行きたいとの意向が示された。

3. ま と め

毎年、実施されてきた海洋開発関連の国際会議に初めて参加し、海洋開発関連の研究は、21世紀の近未来の地球を守るため、国際協力の輪の下に、今後更に充実・加速することが必要であるとの印象を強くした。また、訪れた何れの研究所でも、研究者の心暖まる対応を受け、特にワシントンD.C.滞在中にはUJNR(天然資源の開発利用に関する日米会議)の米国側議長である、



写真—9 チェサピーク湾のクルージング 写真左からDr. Greenbaum, Dr. Buschの二男Jeff君, Greenbaum夫人Dr. Busch氏

Busch 博士並びにそのご家族の皆様にあたたかいおもてなしを受けた。また米国海中医学協会常任理事の Greebaum 博士ご夫妻には休日を利用して、チェサピーク湾のクルーシクを企画していた。本紙面をかりて関係各位に厚く御礼申し上げる次第である。

訪問機関並びに所在地

☆THE UNIVERSITY OF MARYLAND
CENTER FOR ENVIRONMENTAL AND
ESTUARINE STUDIES

Chesapeake Biological Laboratory
Box 38, Solomons, Maryland 20688-0038

☆THE UNIVERSITY OF MARYLAND
CENTER FOR ENVIRONMENTAL AND

ESTUARINE STUDIES

Center of Marine Biotechnology
600 East Lombard Street Baltimore, Maryland
21202

☆ NASA (National Aeronautics and Space
Administration)

GODDARD SPACE FLIGHT CENTER
Greenbelt, Maryland 20771

☆ MBARI (Monterey Bay Aquarium Research
Institute)

160 Central Avenue Pacific Grove, California
93950

☆ WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITU
TION

Woods Hole, Massachusetts 02543

〔海外出張・海外調査団報告〕

ODP-TEDCOMに参加して

深海開発技術部 高川 真一 Shinichi Takagawa
企画室 高木 譲一 Joichi Takagi

米国テキサス州カレンステーションのテキサス農工大学で開催された海洋掘削計画 (ODP Ocean Drilling Program, 以下 ODP と略称する。) の技術開発委員会 (TEDCOM Technology Development Committee, 以下 TEDCOM と略称する。) に出席して、ODP の今後の動向並びに技術的問題的を調査して、現在我が国で検討が進められている深海底掘削船システム建造計画の可能性研究に役立つことを主な目的としている。またそれに併せて、ODP に関連する政府関係者、実施会社、海底石油掘削会社、関連機器メーカー等の調査も行った。さらに、現在海洋科学技術センターでは米国ウノスオール海洋研究所

(以下 WHO I と略称する。) と研究協力について論議しているか、その調印のための事前折衝という側面も併せ持って出張した。

以下にその調査内容の概要を紹介する。

1 行動スケジュール

9月20日(木) 成田発～ホストン着

9月21日(金)
9月22日(土)} WHO I 訪問

9月24日(月) 米国科学財団(NSF)訪問

9月25日(火) ODP ショイテスレノリュ
ーション号運用会社訪問

9月26日(水)}
9月27日(木)} TEDCOM 出席
10月1日(月)}
10月3日(水)} 掘削会社, メーカー訪問
10月4日(木) 離米, 翌日成田着

2. WHO I にて

WHO I では、以下の点につき、主として同研究所の本庄博士と打合せを行い、合意を得るとともに、WHO I としての考え方を聞いた。

- (1) 理事長の WHO I 訪問について
- (2) 両研究所の High-Level 会合について
- (3) WHO I への駐在員派遣について
- (4) 海洋科学技術センター設立 20 周年記念国際シンポジウム開催と WHO I からの出席について
- (5) 深海微生物研究の協力について
- (6) 日本の ODP について
- (7) 北極に関する協同調査について
- (8) 自律型無人探査機 ABE 開発の協力について

この打合せの中で非常に興味深く思ったのは、米国、少なくとも WHO I における研究者の研究業績の評価についてである。

WHO I の場合、通常は 8 万ドルの研究につき最低 1 件の論文を書かなければならず、年間所定の件数の論文を書かなければならない。ここでいう論文とは論文審査委員会で採まれてそれをパスした論文のことである。共同研究の連名として数を稼ぐこともできるが、その場合筆頭著者が最も評価点数が高く、後になるにつれて評点が低くなる。件数と評点の総点がまず重要な評価基準となる。もう一つ重要なのは、引用される件数である。論文として掲載されても誰も引用しないような論文は重要視されていないと見なされて評価が下がる。国際的に論文と引用件数をコンピュータにか

けて調べ回っている独立機関があって、そのレポートから引用件数が一目瞭然となる。これらの論文件数、序列評点、そして引用評点を総合してその研究者の評価がされる。そしてこの総合評点が基準点を上回らないと降格される。別の機関から移ってきたばかりであれば基準点を満たさないこともあるが、その場合でも約 3 年以内に赤点から脱出しないと降格の対象となる。多くの場合、降格に甘んずることなく止めていくので、研究者の交代は非常に頻繁である。逆に長年研究者で居続けている人は、この厳しい審査基準をクリアし続けているわけであり、優秀な研究者ということになる。

非常に厳しい評価基準であり、日本でこれを導入するとどのようになるか、思わず想像してしまった。

3. NSF にて

ODP の全予算の約半分を賄っている NSF の関係者ならびに、ODP に運営を行っている Joint Oceanographic Institution, Inc. (JOI) 関係者と面会し、日本における深海底掘削船計画の状況を説明した上で、ODP の現状と今後についてどのように考えているかを聞いた。その結果、

- (1) ODP の現状、今後の見通しについて

現計画は 1993 までであり、10 年間延長することを目標にしているが、とりあえず“レビューのために 5 年間延長”というシナリオを考えており、早ければ 1991 年秋、遅くとも 1992 年春までに決定される予定である。

- (2) 各国の反応

ODP の延長について熱心な国も多いが、協力的でない国もある。ソ連の参加は大いに歓迎するが、ココムの問題がある。

- (3) ODP の中断の可能性等について

1993 に終了してしまうことはあり得るが、そ

うなると、コアサンプリング、高温対策、ロッキング等の技術や各種設備等が散逸してしまい、これらの研究者、スタッフ等の人員や技術を再結集するのは大幅なコスト高を招く。

4. ODP—TEDCOM について

ODP—TEDCOM では、ソ連も含む世界各国から約 40 名の関係者が集まって、種々の紹介や論議がなされた。まず、ODP プロジェクトの目的は、

- ①海洋底の地殻基礎構造の調査
- ②運動している間隙水の循環に関する調査
- ③地球環境のメカニズムに関する調査

であり、今まで 2,000 m 以上掘削しようと努力してきたが、現在のところ 1,400~1,700 m までであって、2,000 m 以上はまだないこと、並びに今後の目標として

- ①北大西洋で 2,000~3,500 m の深さ（掘削長さ）まで掘ること、並びに
- ②長期計画として海洋地殻に対して少なくとも 2,500 m まで 3 本以上掘り、内 1 本は 2000 年までにマントルを貫通するよう 6,000 m 以上の孔を掘ること。

であるとの意見表明があった。次いで、米国における掘削技術の現状および、海洋掘削との比較のために、陸上大深度ボーリングについて、地下 12 km 超まで掘り進んでいるソ連と、ドイツの KTB 計画、並びに天然ガス生物起源説に対抗して打ち出されている地球起源説の実証のために行われているスウェーデンでの掘削の経験が紹介された。

次に ODP を推進するための技術的問題点に関する論議に移り、大水深については問題ないものの、主目標である海底下掘削長の延伸が問題であるとして、

- ①坑井の制御のためにライザーや BOP が必要

であること

- ②100 年以上に一度という激しい嵐でも耐えられる設計が必要であること
- ③現在の Joides Resolution 号は、この要求を満たすには種々問題があること
- ④ODP の究極の目標として 4,000 m の水深からの 6,000 m 長の掘削であり、今後ともこの目標数値は大きくは変わらないこと

が論じられた。一方、運用者サイドから、陸上ボーリングでは 1 か所でも長年かけて掘削しているのに、頻繁に場所を変えて掘削する現 ODP では④の目標の達成は困難であるとの意見表明があった。これに対して事務局側から、莫大な資金を捻出するために科学者の多様な要請に応えねばならず、目標箇所を 1 か所には絞れないとの返答があった。

その他、孔壁の崩壊対策として泥水循環により孔壁に泥壁を作るのが良く、これがあっても計測には支障はないこと、並びにこの泥壁に繊維質を混ぜるとさらに強固になることの紹介があった。また、ソ連の研究者から、現在 1993 年の後半には完成する予定で全長約 160 m、排水量約 20,000 トンの掘削船を建造中であるとの情報を得た。

5. 企業訪問

ヒューストンは、海底石油関連会社が多いことから、深海底掘削に関して詳しい会社も多数ある。そこで、いくつかの掘削会社や関連する機器メーカーを訪問して調査を行った。訪問した会社名を以下に示す。

- (1) Sedco-Forex 社
- (2) Reading and Bates Drilling Co.
- (3) Sonat Offshore Drilling Inc.
- (4) National Oilwell Co.
- (5) Cameron Iron Works USA, Inc.

(6) Vetco Gray Inc.

(7) Shaffer

前3社が掘削会社、後4社がメーカーである。

(1)はODP-Joides Resolution号を運用しており、(2)は日本のIHIと協同で水深10,000ft(3,000m)の海域での掘削能力を持つリグを開発・運用しようとしている。(3)は石油掘削としては世界最深である7,500ftでの掘削実績を有している。

一方、メーカーは石油掘削に欠かせないライザーパイプのコネクタやガス噴出等による事故を防止するための防噴装置BOP、あるいはパイプ類の懸垂装置等の主要なメーカーである。

彼らの話を総合すると、大深度掘削を行うには掘削坑井を保護することが最も重要なキーポイントであり、このためには掘削坑井保護のための泥水や海底に設置されるBOP等の諸機器駆動のための油圧、電気信号を送るためのライザー、ならびにBOPが必要不可欠であることが強調されていた。そしてまた彼らは経験を積みながら次第的に深度を深くしてきており、ようやく10,000ftに達しようとしていることがよく分かった。

6. 総括

現在我が国で検討の対象となっている深海底掘削船の構想は、水深6,000m級の海底でそこからさらに5~6,000m掘削して、可能ならば地殻を貫通してマントルまで辿り着こうという、非常に野心的なものである。先人であるモホール計画や国際深海底掘削計画(IPOD)、あるいは現在のODPもすべて地殻とマントルとの境界であるモホロビッチ不連続面の貫通を最終目標として、努力が払われてきた。その結果、深海底掘削に関する多くのノウハウが得られたとともに、モホ面貫通までには多くの重大問題が横たわっていることが明らかになってきた。

これらの問題点は次の4点に集約できる。すなわち、

(1) ジョイデス・レゾリューション号のように船上から単にドリルを降ろして掘るのでは大深度掘削の見通しはほとんどなく、ライザーとBOPを用いて坑井の保護と制御を行いながら実施しなければならない。

(2) 掘削深度が深くなるにつれて坑内温度が高くなるが、現状では高温状態で効率的に掘削ができるビット(ドリルの刃先)並びに掘削方法に良いものがない。ビットがすぐにだめになるので、交換が頻繁になり、交換にばかり時間を取ってしまい、実際に掘削をしている時間が短いために、効率が非常に悪い。高温下でも効率良く掘削のできるビットの開発が是非必要である。

(3) マントル到達を最終目標にするには、海上で一箇所に長時間腰を落ち着けて掘削する必要があり、このための体制をしっかりと整える必要がある。

(4) ハードウェアが開発されてもそれだけでは全く不十分であり、経験を積んで運用のノウハウを十分に会得することが極めて重要である。

冒頭に述べたように、現在大深度掘削船に関する研究が我が国で進行している。しかしこのようなビッグプロジェクトは、どのような場合でもそうであるが、ハード(開発・建造)とソフト(運用)、そしてユーザー(科学者)とがしっかりとタイアップして初めて成り立つものである。海洋石油が近辺にほとんどない我が国にとって、ハードもソフトもあまり経験のない分野であり、今後十分に調査・研究を進めて、経験を積んでいかねばならない。そしてまた、モノはできても科学者の参加が乏しければ、ただのオモチャになってしまう。そうならないよう、多くの科学者が参加できるような体制とすることも非常に重要である。

このような三者のタイアップを常に視点において検討を進めれば、必ずや実り多いものとなるであろう。

これが ODP-TEDCOM に参加して得られた実感である。

〔海外出張・海外調査団報告〕

第4回国際船舶運航者会議に参加して

運航部 加藤美志彦 Mishihiko Kato

1. はじめに

国際船舶運航者会議（ISOM, International Ship Operators Meeting）は1987年、英国の自然環境研究会議（NERC, Natural Environment Research Council）が海洋調査船の効率的運用を図るため、世界9か国、18の海洋調査船運航機関に呼びかけて始まったもので、わが国には、海洋科学技術センターを含む2機関に対し参加依頼があった。

当センターはこの会議の意義を評価し、当初か



写真—1 第4回国際船舶運航者会議が開かれた、ハンブルグの連邦海運・水路局

ら積極的に参加している。

この会議は、1987年11月に第1回目が英国ロンドンで、1988年10月にオランダのハーグで第2回目が、また、1989年は米国のワシントンDCで第3回目の会議が開かれ、第4回目の会議が、昨年、10月9日に、統一直後のドイツ、ハンブルグの連邦海運・水路局（BSH, Bundesmat fuer Seeschifffahrt und Hydrographie）で開催された。

2. 参加者

今回の会議には、フランス（IFREMER, フランス海洋研究所）、英国（NERC）、オランダ（海洋研究所）、米国（NSF）、ドイツ（BSH 議長及び JGOFS 事務局）、EC、FAO（Food and Agriculture Organization of the United Nations, 国連食糧農業機構）及び日本が参加し、日本からは、当センターの中戸弘之理事、当センターの船を運航している日本海洋事業株式会社の千葉胤英社長及び運航部から筆者の3名が参加した。

また、今回はオーストラリア、ベルギー、カナダ、フィンランド及びソ連の各国は欠席した。

3. 討議内容

従来から本会議の目的である、世界の調査船の運航計画及び主要目等のデータベースの作成の現状について事務局（英国 Verdon 氏）より報告があり、FAO はコンピュータ化されていないので、ペーパーを主としているが、EC ではデータベース化を進めつつあり、本 ISOM では米国デラウェア大学にて作成した OCEANIC による電子メールシステムについて、それぞれ実用化を進めているとの報告がされた。しかし、本会議の目的である海洋調査船の国際的な協調運航体制の確立を図るためには、各機関のデータのフォーマットを統一し、有効なデータベースを作成する必要があるとの議論が出された。

これに対して、EC 及び FAO からそれぞれの現状について説明があり、早急にフォーマットの統一を図ることが必要であるとのことで意見が一致し、このため、EC、FAO 及び OCEANIC から専門家を出し、統一フォーマットの作成を行うための作業を開始することとなった。

次に、各国出席者からそれぞれの調査船の稼働状況及び運航計画等について現状報告があり、その中で特に注目すべき事項として、米国 NSF からは、今後、全地球的な研究プログラム（WOCE, World Ocean Circulation Experiment や J-GOFS, Joint Global Ocean Flux Study）が推進されることとなっており、日本からも東京大学海洋研究所の白鳳丸が参加する予定であるが、さらに相当の船舶の不足が予想されるとの説明がされ、同様に、英国の NERC での調査でも今後 10 年間の調査船の需要予測を行った結果、船舶の Sea Time の不足が指摘され、特に 1992 年から 98 年の間の船舶の不足は深刻であるとの説明がされた。

さらに多国間の研究協力の現状について英国か

らは、英国、オーストラリア及びニュージーランド間での共同研究について、フランスからは、仏国・米国の協定があり、潜水調査船「シアナ」のクルーズに関し英国と検討中の協定について、また、米国からは米国・仏国、英国の協定のほか、米国・カナダの協定について、さらに、砕氷船「ポーラーシュテルン」についてもドイツとの共同研究を検討中であり、潜水調査船についても日本・仏国・米国の協定を検討しているとの報告がなされた。

これに対し、日本からも潜水調査船への海外研究者の乗船等の現状について報告した。

その他、各国からそれぞれの調査船の新造・改造等に関し次のような報告がなされた。

(1) 英国からは RRS 「Discovery」の改造状況及び 1991 年 6 月に完成予定の RRS 「James Clark Ross」の建造状況についての報告。

(2) フランスの IFREMER からは昨年 12 月完成の調査船「L Atlante」の紹介及び深海掘削計画「NEREIS」についての説明がされ、この計画では DPS システム、A フレームクレーンを装備した調査船が 20 フィートコンテナをデッキ上に搭載し、さらに深海ラボラトリーを備え、物理科学的観測だけでなく、バクテリア等バイオの研究も行う計画であり、経費負担について EC 諸国と協議中であるとの報告があった。

(3) 日本からは「しんかい 6500」及び「よこすか」の完成及び今後の運用の概要についての説明。

(4) 米国から ODP（国際深海掘削計画）の現状について、1993 年までの現計画の延長を申請中で、ソ連でも同様の船が計画中であるとの報告がされた。その他、Thomas Thompson 号が更新され、ワシントン大学で運航していること、Knorr, Melville の改造については、昨年 4 月完成の予定であったが、計画が遅れていること、その原因は、コストが上昇したことと、現場の技術

の低下等により、電子機器システムが不調で完成が遅れていること、さらに、砕氷船の概念設計、その他数隻の調査船の改造計画及びスクリップス研究所の大型有人ブイ FLIP (Floating instrument platform, 船体を水深方向に垂直に立てて観測ブイとなる独特の形状で有名) の更新の計画等が報告された。

(5) ドイツからは「Friedrich Heinke」の代船として「Heinke」が完成したことが紹介された。

この ISOM はサミット (先進国首脳会議) と同様、参加国が順番に開催することとなっており、本年 (1991 年) の会議はフランスのパリまたはツーロンで IFREMER が主催して、また、1992 年には海洋科学技術センターが主催して日本で開

催する予定である。

今後、WOCE や J-GOFS に代表されるような国際的な海洋観測計画の展開で、世界的に海洋調査船が不足することは間違いないと思われる。特に、これら海洋調査研究のかなりのものが太平洋を舞台として行われることから、我が国でも当センターを含め各研究機関がこれに積極的に参加していくことが予想され、今後ますます、海洋調査船の国際的相互利用の問題は当センター及び我が国の海洋関係機関にとっても重要な問題となってくると考えられる。

この会議はあくまでも非公式 (Informal and exploratory) なものとされてはいますが、今後その果たす役割が一段と重要になるとと思われる。

〔海外出張・海外調査団報告〕

ウイスコンシン大学動物シミュレーション実験に参加して

潜水技術部 設楽 文朗 Fumiro Shidara

動物シミュレーション実験における外国との共同研究の一環として減圧症モデルに関する研究をウイスコンシン大学のランフィエル教授の研究室と実施している。今回は、同大学の高圧シミュレーターを用い慢性減圧症として (特に日本の潜水漁業者に多くみられる無菌性骨壊死について) 羊を使った骨壊死の動物モデルを作成するためのシミュレーション実験に参加した。ウイスコンシン大学マジソン本校予防医学部は潜水生理学の研究機関として世界的に認められ、特に骨壊死の研究の業績の評価は高い。羊は減圧障害の実験動物として体に対する臓器の大きさがヒトに極めて近く、最も適正な実験動物であるということであった。

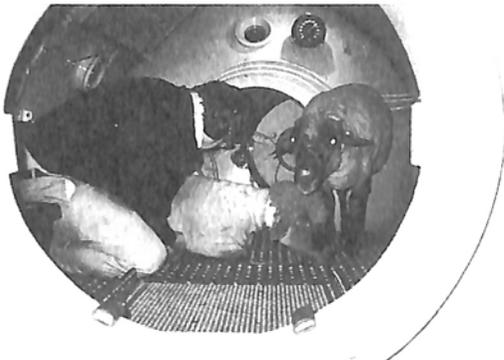
本動物シミュレーション実験は、体重 95 kg と 91 kg、年齢 7 才の 2 頭の羊を使用した。加圧は空気で行い 23 psig (約 15.7 m) に 24 時間保圧し、加減圧スピードは、60 feet/min (約 18 m/min) で行った。この潜水プロファイルによって動物を減圧症に罹患させ 1 回の不適切な減圧によっても骨壊死になる過程を観察する。実験前に羊の上腕骨、とう骨、大腿骨、脛骨の X 線また γ -カメラによる撮影を行い、実験後にそれらの撮影を定期的実施し、その変化を観察することとした。加圧中及び保圧中も 2 頭の羊は、落ち着いていた。また、引き続き翌日に減圧を行ったところ減圧終了後 5 分後に 1 頭の羊に左後肢にベンズが認められ、19 分後には 2 頭共に 38~58 回/分の呼吸の



写真一 1 チェンバーへの入室
羊は1頭が入ると、次の1頭は容易に入室してくれる。



写真三 純酸素呼吸で治療を行っているランフィエル教授
残念ながら羊2頭は減圧症により死亡した。



写真二 減圧終了後、ドップラー気泡検知の計測をしているレイナー教授
採血をしたが血中には多量の気泡が認められた。

促進と呼吸の乱れが発現しチョークス様の症状が認められてきた。ドップラー気泡検知でも2頭の羊共にグレード2~4の気泡音も認められ、その後1頭は座位の姿勢になり純酸素呼吸を実施したが、40分後に死亡した。さらに残りの1頭にも同じように純酸素呼吸を実施したが、5時間10分後に死亡した。翌日、死亡した羊2頭の剖検を行ったところ、胸腔内に多量の水が認められ、2

頭の羊の死亡は、呼吸器系の減圧症(チョークス)が原因であったと考えられる。また肺、心臓、大腿骨をサンプルとして摘出しチョークスの組織標本として保管することとした。

準備から加圧までの一連の羊を用いた動物シミュレーション実験に参加することができたが、残念ながら羊2頭ともに死亡し骨壊死動物モデルの作成までは至ることはできなかった。しかし、本実験に参加したことで、大動物の減圧症の症状を観察できたこと、剖検に立ち合うことができたことは貴重な体験であり、今後は若い脂肪の少ない羊を使用して、潜水深度を浅くする等とし、骨壊死モデル作成の実験を進めて行くこととした。また、羊の生体全体を加圧することなく大腿骨髄内だけを加圧し骨壊死を作成する実験も同時に行われていて、その手術法実験方法の指導も合わせて受けることができた。これらの実験で骨壊死の発症メカニズムが解明でき、それによってダイバーの骨壊死罹患の減少に寄与できることを願うものである。

当センター各部紹介

深海環境プログラム推進室の紹介 — 深海環境の研究開発について —

深海環境プログラム推進室

1. はじめに

深海環境の研究開発事業は、深海を構成する生物学的、物理学的、化学的な要素の動態とそれらの相互関係を明らかにするとともに、深海環境のみならず海洋環境の全貌を地球規模で把握することを目的とした研究開発です。

センターでは、この深海環境研究開発を強力に推進するため、平成2年10月から、新たに「深海環境プログラム」（以下「プログラム」と記す）を設置しました。このプログラムは、世界有数の深海潜水調査船「しんかい6500」システムの完成を機に設けたもので、これまでの深海探査・観測の実績を踏まえ、深海における諸現象の観察を中心とする研究から、さらに一步踏み込んだ解析を行うために、理化学研究所のフロンティア研究システムや新技術事業団の創造科学技術推進制度を参考に、国内外に開かれた柔軟に運営される新しい研究組織として整備したものです。

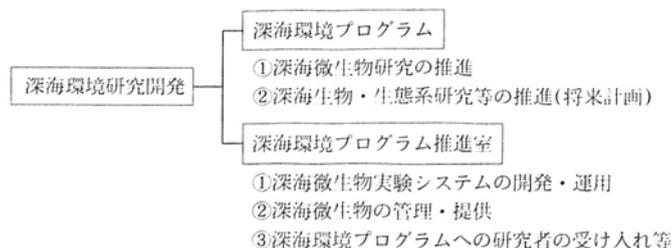
また、このプログラムにおける研究活動を支えるための研究支援組織として、「深海環境プログラム推進室」（以下「推進室」と記す）を同時に発足させました。

これから紹介する深海環境の研究開発は、これら2つの組織によって進められますが、もとより、センターの既存の研究部門がそれぞれの研究者と研究成果を踏まえ、全面的に協力することがその背景にあるのは言うまでもありません。

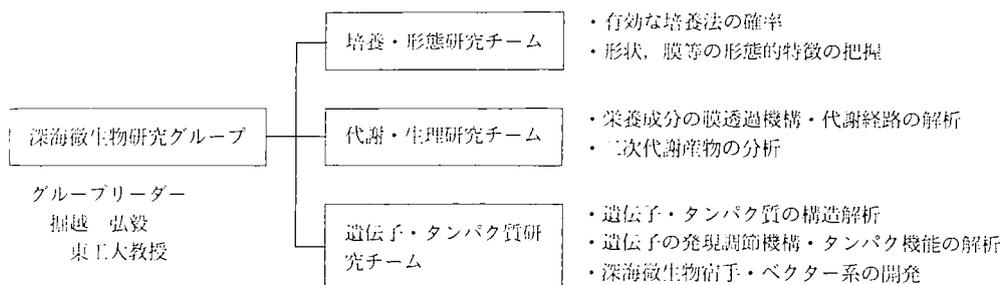
2. 深海環境プログラムにおける研究の推進

2.1 深海微生物の概要

深海環境プログラムでは、当面、深海の生物学的な環境を対象とする先導的・基礎的な研究を長期計画のもとに推進しますが、その第1弾として、深海微生物の研究（DEEP-STAR プロジェクト）をスタートさせました。このプロジェクトは、深海の微生物、特に300°Cを超える熱水が噴出し



図一 深海環境研究開発の実施体制



図一2 深海微生物研究グループの研究体制

ているブラックスモーカーと呼ばれる深海の熱水噴出域や、0°C程度の冷水が湧出している深海底などの特殊な環境に分布している微生物に着目し、それらの基本的な特性、耐圧のメカニズム、特異的な遺伝子やタンパク質の性質などを明らかにすることを目指しています。

高圧、低温（あるいは高温）、暗黒といった深海底にも、場所によっては様々な生物が高密度で生息し、特殊な生態系を形成しています。地表や海洋面近傍の生態系では、光合成による太陽エネルギーの固定が行われていますが、太陽光が届かず、したがって食物連鎖の基礎となる緑色植物が生存できない深海底の生態系では、海底から噴出する熱水や冷水中の硫化水素やメタンなどから化学合成によってエネルギーと有機物質を獲得することのできる特殊な微生物が基礎生産者となっています。深海生態系の構成員である大型生物のなかには、そのような微生物を自身の細胞内に棲ませ、共生関係を維持しているものもあります。

深海の微生物は、その生育と圧力との関係から、耐圧微生物、好圧微生物、及び絶対好圧微生物の3群に分類されます。耐圧微生物の最適な生育環境は必ずしも高圧下ではありませんが、好圧微生物は圧力の高いところで最も良く増殖します。一方、絶対好圧微生物は、高圧下でのみ生存できる微生物であり、これまでのところ、その極く一部が知られているにすぎません。

2.2 深海微生物研究の研究計画

センターでは、深海微生物の研究を実施するため、「深海環境プログラム」のなかに掘越弘毅博士（東京工業大学教授、理化学研究所主任研究員）をリーダーとする「深海微生物研究グループ」を編成しました。この研究グループでは、深海底の熱水噴出域（最高320°C）や冷水湧出域（1°C以下）に生息している深海微生物の培養法の確立、深海微生物の形態学的、生理・生化学的及び分子生物学的な特性の解明等を目指し、8年計画（全体は2期15年計画）のもと、次の3つの項目に応じた3研究チーム体制で研究を進めます（図一2参照）。

（1）深海微生物の培養と形態の研究

深海から採集した微生物の培養条件を検討し、大量培養の方法を確立します。また、深海微生物の細胞膜、細胞内小器官等の形態学的特徴を解析し、一般の微生物や他の特殊環境微生物と比較解析します。

（2）深海微生物の代謝と生理の研究

深海微生物は、その分布している場所の圧力、温度、塩分等の環境要因に適応し、特異的な膜機能、代謝機能等を備えています。このような深海微生物の代謝及び生理の特性を他の微生物と比較しつつ解析するとともに、環境要因が深海微生物の代謝・生理機能に及ぼす影響について調べます。

（3）深海微生物の遺伝子・タンパク質の研究

深海微生物の機能を詳細に明らかにするため、代謝酵素やその遺伝子を解析します。まず、深海微生物の遺伝子ライブラリーを作製し、次いで遺伝子の単離とその構造及び発現調節機構の解析、遺伝子の発現産物（タンパク質）の研究、さらに深海微生物の宿主・バクテリア系の開発を行います。

2.3 深海微生物研究の展望と期待される効果

深海微生物の研究に限らず、深海環境を対象とする研究は、潜水調査システムの完成によって初めて実施することが可能になった研究です。これまでは、専ら投げ込み式の採水器や採泥器によって深海の試料（実験の材料）を得ていましたが、「しんかい6500」等が完成した現在、世界の98%の深海底に目標を定めて直接アプローチすることができるようになりました。

深海微生物の研究は、新しい研究分野ですから、世界的に見ても研究情報や実験技術の面におけるこれまでの蓄積は、必ずしも十分とは言えません。しかし、最近のバイオテクノロジーの進歩によって、生物現象の基礎となる一つ一つの細胞はもとより、遺伝子やタンパク質の取り扱いなども、ある程度容易に行えるようになってきました。範疇としては深海微生物と同列にくられる他の特殊環境微生物（好熱微生物、好アルカリ性微生物、好酸性微生物など）のいくつかについては、既に遺伝子レベルからの詳細な解析が進められ、それらの生産する生物活性物質や酵素などが医療分野、食品分野などに利用されています。

深海の熱水噴出域や冷水湧出域等の特殊な環境下（高圧、暗黒、高温または低温）においては、太陽エネルギーによる光合成に依存せず、硫化水素やメタンをエネルギー源としている深海の生態系が存在します。この生態系に着目し、そこに生息している微生物の基本特性の解明や有用機能の解析を進めれば、生命の誕生や進化のメカニズムの解明といった基礎的分野から、医薬品の開発や

バイオリクター、バイオセンサーへの微生物機能の応用といった実用的な分野までの幅広い成果が期待されます。

これまでの微生物学研究は、陸上の微生物が主な研究の対象でした。地球表面の3分の2を占める海洋、それも深海環境に生息している微生物は、今までの常識では計り知れない性質をもつことが予想されます。それらの性質のなかには直接応用に結び付くものもあるでしょうが、基礎的な研究を腰をすえてじっくり進めることが大切と考えています。

3. 深海環境プログラム推進室における研究支援事業の実施

深海環境プログラムにおける研究活動を支援するために設置した深海環境プログラム推進室では、研究者の受け入れ、シンポジウムの開催といった研究推進事務のほかに、深海微生物実験システムの開発・運用及び深海微生物の管理・提供という2つの研究支援事業を進めています。

3.1 深海微生物実験システム

深海微生物研究における最も重要なアプローチ方法の一つに、深海微生物の分離・培養を、それが生息している深海数千mの環境条件を保持したままの状況で行うことが挙げられます。一般に、微生物はその生育環境の変化によって死滅したり、機能を低下させることが知られています。深海微生物についても、陸上に運搬するまでの間の減圧によって死滅したり、機能停止（生育阻害）したりする絶対好圧微生物の存在が知られています。したがって、これらの環境条件の保持は研究上の重要課題です。

深海の現場環境を保持するためには、研究者自身が潜水船に乗り込み、深海の現場で実験をするか、あるいは深海の環境条件を保持したままの状態に深海微生物を陸上へ持ち帰り、陸上に深海環

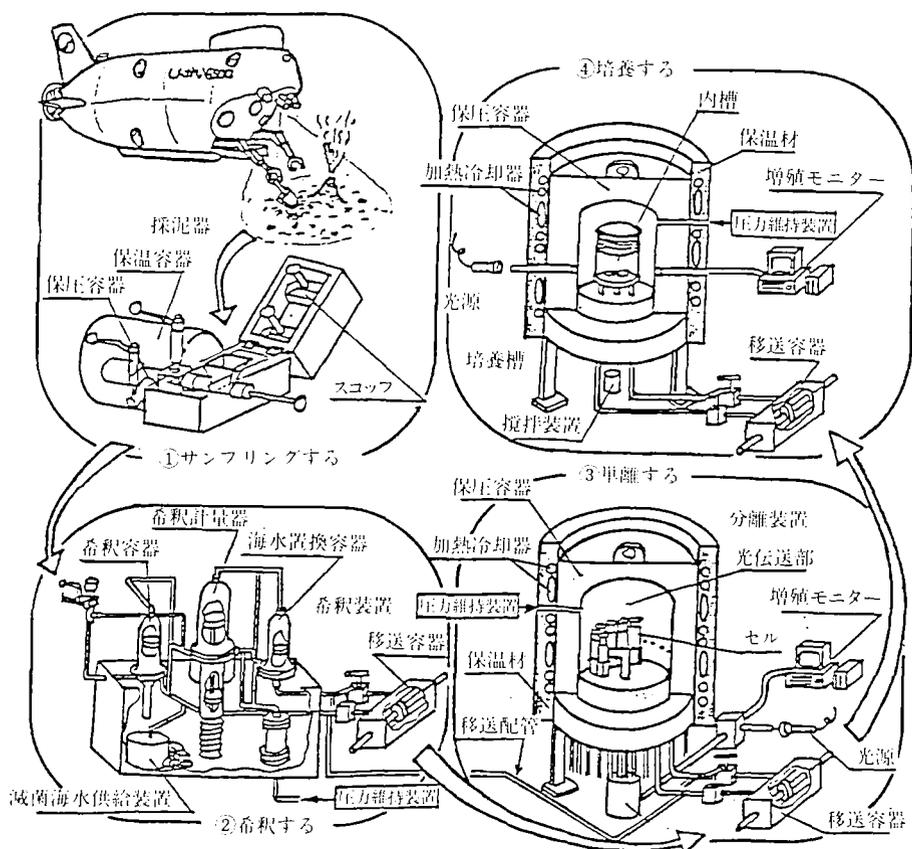


図-3 深海微生物実験システム概念図

境実験施設を整備して実験するかのいずれかの方法が考えられます。前者の方法，すなわち深海の現場での実験は，微生物の生息環境をそのまま利用できます。しかし，頻りに研究者が深海に行くことは困難ですし，また，潜航時間や搭載する実験機器にも制限があります。一方，陸上で深海の環境条件が再現できれば，そのような制約はありませんから，研究者は好きな時に好きなだけ深海微生物の相手をする事ができます。研究の効率を考えるうえからも後者のアプローチは大変有効で，深海の環境条件を地上の実験室に再現することにより，深海微生物の分離，培養を行うための総合的な実験システムの開発・建造は重要な課題です。

このような課題を解決するため，深海環境プログラム推進室では平成2年度からの3カ年計画で

「深海微生物実験システム」の開発・建造を進めます。この深海微生物実験システムは微生物が生息している深海底の泥をその周囲環境条件（圧力及び温度）を保持した状態で採集し，深海環境条件を備えた陸上の実験施設で希釈，分離，培養することを可能とし，陸上における深海微生物の研究に役立つものです。

深海微生物実験システムは採泥器，希釈装置，分離装置及び培養槽の4つのサブシステムから構成され，それらの概要は以下のとおりです（図-3参照）。

(1) 採泥器（潜水船搭載）

採泥器はボール弁をもつ耐圧容器の全体を保温材で覆い，マニピュレータをもつ有人潜水船または無人潜水機に搭載されます。深海微生物を含む深海底表層の泥試料は，マニピュレータによって

操作されるスコップ型の採泥具によって採取され耐圧容器内に納められます。この泥試料は、採泥器のボール弁と保温容器蓋を閉じることによって、周囲環境圧力と温度を保持したままの状態でも船まで運搬され、船上での一時保管を経て陸上の希釈装置に供給されます。

(2) 希釈装置（陸上設備）

希釈装置に供給された泥試料は、滅菌海水によって希釈され、濃度の均一性を保つために備え付けてある攪拌装置による攪拌を受けつつ所定の濃度にまで希釈されます。その後、希釈された試料中の深海微生物は分離装置へ移送されますが、希釈作業は遠隔操作弁とシーケンス制御により、集中管制室からのボタン操作のみで簡便に行えるように設計されます。

(3) 分離装置（陸上設備）

分離装置の耐圧容器の内部は、加圧媒体である純水によって満たされ、温度の均一性を保つため、常時、加圧媒体の攪拌が行われます。この純水によって高圧条件が保たれた耐圧容器内に、36個のガラス製セル（各容量約20 ml）が装備されています。希釈装置によって希釈された試料は、これらのセル内へ移送され、ここで微生物の栄養源となる培地が供給されます。各セル内での微生物の増殖の確認は、光学的な濁度モニター法によって行われ、濁度の変化によって微生物の増殖が確認されたセルの培養液は、次の培養槽へ移送されます。

(4) 培養槽（陸上設備）

培養槽は深海微生物の大量培養を効率的に行うため、2基建造します。いずれも、加圧媒体となる純水を満たした耐圧容器内に容量約1000 mlのガラス製内槽を装備したものです。分離装置において微生物の増殖が確認された培養液は、このガラス製の内槽へ移送され、深海微生物の大量培養や、増殖能力の温度及び圧力に対する変化等深海微生物の生理機能の研究が行われます。培地の

供給と培養液の回収は同時に行えますから、連続的に培養を続けることができます。

3.2 深海微生物の管理・提供

深海から得られる各種の微生物は、貴重な生物材料ですから、その基本的な特性を解明するための研究活動に加え、その成果としての深海微生物の系統保存事業、すなわち微生物株の収集、分類、保存を行い、提供に備える必要があります。

収集、保存の対象とする微生物は、深海の熱水噴出孔付近や冷水湧出域付近に分布している、特に特殊な深海微生物ばかりでなく、広く様々な深海域から分離される微生物です。さらに、将来は深海の大型生物の消化管内や細胞内等に共生している微生物も対象になると期待されます。これらの微生物のなかには、1気圧の条件下でも増殖するものや、高圧下でのみ増殖する微生物などが含まれます。

深海微生物の保存は、常圧下でも保存できる微生物と、加圧条件下で保存しなければならない微生物に分けて行う必要があります。常圧下で保存できる微生物については、通常の微生物と同様に、冷蔵保存、冷凍保存、凍結保存、凍結乾燥保存のなかから最も適切な保存法を選択します。一方、高圧条件下での保存が必要な微生物については、その微生物を保存するために必要な圧力条件を検討した後、加圧保存容器を用いて長期保存することになりますが、現在のところ利用可能な加圧保存技術が十分に確立されていないので、その面での研究開発が必要となります。また、長期保存用の培地や添加物についても深海微生物特有の条件を考慮する必要があります。

深海微生物の保存と並ぶ重要な課題は、深海微生物の分類です。深海微生物の遺伝子、細胞レベルにおける様々な性状を既存の微生物と比較しつつ、その分類学的位置付けを明らかにするためには、基礎的な研究も必要となります。これらの課題を一つずつ解決しながら、深海微生物にかかわ

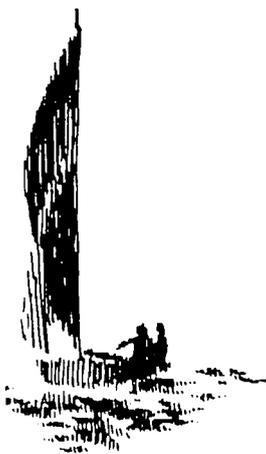
る国内の関連研究分野の基盤整備や遺伝子資源の確保等に貢献するため、国内の微生物系統保存機関との協力等のもとに深海微生物の提供体制を整備することにしています。

4. おわりに

高圧、高温（または低温）、暗黒という特殊な環境下に生息している深海微生物を始めとする深海生物とそれらの織りなす深海の生態系に着目した基礎的な研究は、その成果が社会・経済の幅広い分野に応用されるばかりでなく、海洋環境、さらには地球環境の理解と問題解決に不可欠な知識と技術を提供するものです。それらの研究は、将来の人類生存にも重要な役割を期待できるもので

あり、我が国が科学技術の分野においても、その国際的な地位に応じた貢献を行うとともに、さらには世界の指導的な役割さえ果たしていくうえで重要な研究開発と言えます。

センターでは、今後、深海環境プログラムが世界の深海研究に関するセンターオブエクセレンスとしての役割を果たせるよう育つことを期待しています。このため、深海微生物の研究に引き続いて深海生物・生態系の研究を進め、さらに将来は深海の地殻構造などの解明を目指す深海の物理・化学環境研究分野や、深海環境と他の海洋環境との生物学的、物理学的、化学的な相互作用を対象とする境界環境研究分野なども考えていくことにしています。



潜水調査船アルビンについて

深海開発技術部 高川 真一 Shinichi Takagawa

潜水調査船アルビン（Alvin）は、米国海軍が所有し、米国ウッズホール海洋研究所（Woods Hole Oceanographic Institution）が運用している、最大潜航深度4,000 mの潜水調査船である。「しんかい6500」等の最大潜航深度が6,000 m級の潜水調査船が5隻ある今日ではアルビンのそれは決してセールスポイントにはならないが、それでも世界で最も活躍し、華々しい成果を続々と上げている潜水調査船である。

本稿では、このアルビンについて紹介することとする。

1. アルビンの誕生

科学的な深海調査は、1930年代のビーブ（W. Beebe）の吊り下げ式潜水球に始まった。そして、ピカール（A. Piccard）のバチスカーフ（Bathyscaphe）FNRS IIにより、気球の原理を応用した浮力と重量の制御によって深海底に踏み込む自由航走型の潜水調査船の原型が出来上がり、米国海軍のトリエステ I 号（Trieste I）による世界最深部への潜航（1960年、マリアナ海溝チャレンジャー海淵、水深10,912 m）で、人類は地球上のどのような深さの海へでも到達する能力を得た。

しかし、バチスカーフ型の潜水調査船は重量とバランスさせるための浮力を得るのに、水圧によって破損することがないように、海水より比重が小さいという性質を生かしたガソリンを用いていたため、この浮力材としてのガソリンの量が膨大となり、潜水調査船の全重量は非常に大きなもの

となった。このために潜航地点への回航や洋上での整備・補給が非常に困難であった。また推進器は大きな船体に見合うほどの能力はなく、加速も不十分であるとともに減速も思うにまかせられなかった。このとは、鉛直方向についてはともかく、深海調査に欠かせない水平方向の行動能力が非常に乏しいことを意味する。

このように、深海調査を効率的に行うには、できるだけ小型・軽量にして機動性を持たせた潜水調査船にする必要があり、ガソリンを浮力材として用いるバチスカーフ型の潜水調査船では機動性がないために効率的な調査はほとんどできない状態であった。

小型・軽量の潜水調査船の実現には、比重の小さな浮力材が必要不可欠である。この頃、ガラスを用いた電磁波遮蔽材を研究していたある研究室で、トラブルか何かで非常に小さな中空の粉状のガラス球ができた。その性質をいろいろ調べた結果、中空であることから比重が小さく、また耐圧性もある程度あって、さらに樹脂で固めると非常に耐圧性のある材料が得られることが分かった。そして早速この材料が潜水調査船の浮力材として活用されるようになった。

この材料を浮力材として最初に用いた潜水調査船が何であるかは分からないが、潜水調査船アルビンはこの浮力材を採用して建造された。

1964年に誕生したアルビンは、最大潜航深度1,830 mで空中重量約17トンであり、人間が乗り込む耐圧殻は内直径2.033 mの鋼製の球殻であった。また鉛電池を装備し、直流電動機を駆動して油圧ポンプを運転し、この油圧でプロペラを

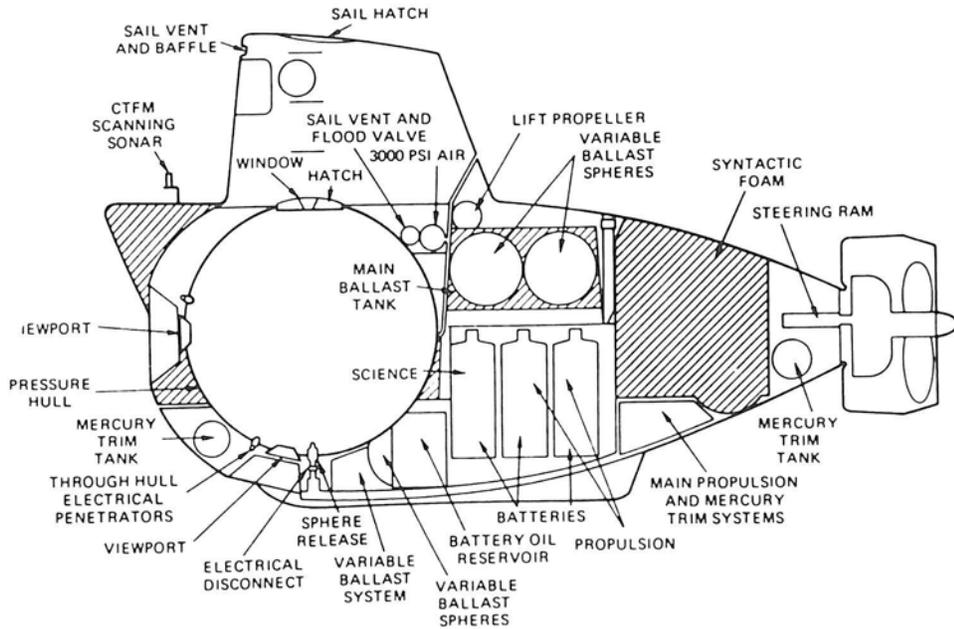


図-1 浮力材を装備した「アルビン」

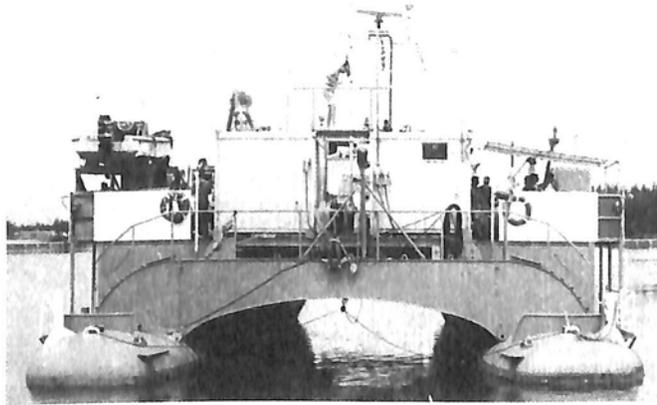


写真-1 アルビンの最初の支援母船「ルル」

駆動していた。浮力材としては前述の中空ガラス球を用いた浮力材と金属製の大きな浮力用耐圧球とを併せて用いていた。

そしてこの計画・開発に功績のあったウッズホール海洋研究所の Allyn Collins Vine 博士にちなんで、Alvin と名付けられた。ちなみに米国では軍籍船に船名として人名をつける場合、故人の名前が一般的であるが、Vine 博士の場合は現役のまま採用されている。また、潜水調査船は

必ず支援母船を必要とする。アルビンの最初の支援母船は双胴船のルル (Lulu) であるが、この名前も Vine 博士の母親の愛称を採ったものである。このことは同博士の功績の大きさを物語るものである。

2. アルビンの事故

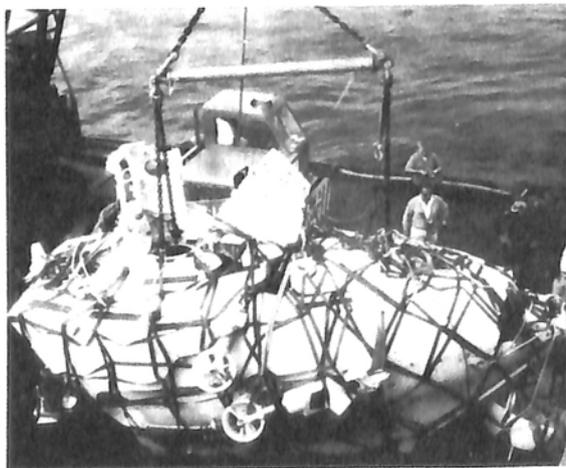
しかしアルビンは完成後4年経った1968年に、

支援母船ルルの着水揚収装置の故障のため、乗員が乗ったまま海面に転落してしまった。3名の乗員は命からがら耐圧殻から脱出して、人身事故とはならなかったものの、アルビンはこれから10ヵ月の間水深1,540 mの海底に沈座してしまったのである。この事故の原因は水中クレードル（Cradle）と呼ばれるアルビンが着座する台を吊っているワイヤが錆でいて、それに検査でも気がつかずに運用していて切断事故となったものである。

アルビンはやがて海底から回収され、修理を経て再び活動を開始したが、事故の原因となったワイヤに代えて、検査が容易にできるチェーンで水中クレードルを吊る方式に変更された。

この事故は、潜水調査船を建造する立場から見ても非常に重要な教訓をもたらしたが、一方生物学的にも重要な発見をもたらした。それは、脱出した乗員が持ち込んだ昼食としてのサンドウィッチが10ヵ月間海底にあったにもかかわらず、まったく腐食せずに回収されたのである。

アルビンはその他にも珍しい事故に遭遇している。体重113 kgもあるメカジキが突進してきて、クチバシが船体に突き刺さった事故である。まかりまちがって覗き窓に衝突したならば、そこから



写真—2 海底から回収された「アルビン」

海水が浸水して沈没してしまうところであったが、幸いにして船体であったので、急遽浮上して、支援母船ルルの船上で臨時のパーベキューパーティーの開催の運びとなり、全員で舌鼓を打ったという。

3. アルビンによる調査

アルビンは1973年に、耐圧殻を従来の鋼製からチタン合金製に変更し、最大潜航深度を一気に4,000 mとした。そしてこの改造以後、1984年に同じく米国海軍の姉妹潜水調査船であるシークリフ（Sea Cliff）が最大潜航深度6,096 m（20,000 フィート）に改造されるまで、小型で機敏な動きのできる潜水調査船としては最も深く潜航できるものとして、数々の華々しい成果を収めてきた。代表的な深海調査としてまず挙げられるのは、フランスとアメリカとの協同によるフェイマス計画（FAMOUS：French-American Mid-Ocean Undersea Survey）と呼ばれる大西洋中央海嶺の調査である。この調査では、海洋底拡大等のプレートテクトニクス理論の核心をなす枕状溶岩の発見等の重要な現象の発見をしている。また、ガラパゴス諸島沖で、世界で初めて海底から熱水が黒煙となって噴出するブラックスモーカー（Black Smoker）と、その周りに生息するチューブワーム（Tube Worm）等の奇妙な生物群集を発見している。

4. アルビンの改造

しかしこのような華々しい調査成果とは別に、アルビンにはいくつかの問題点も抱え込んでいた。それは、効率的な深海調査を遂行する上には、もっと機敏な動きができないと困る、すなわち運動性能の向上が求められていた。それと共に、支援母船のルルの航海速度がわずか6ノットであ

り、また船体が小さいために十分な支援活動ができないという問題もあった。

そこでまず支援母船の機能の充実のために、1982年、当時すでに活動していた「しんかい2000」とその支援母船「なつしま」を含む世界の潜水調査船とその支援母船の調査が行われ、1984年には支援母船としてウッズホール海洋研究所が所有していた海洋調査船アトランティスⅡ（AtlantisⅡ）を選び、船尾に大型のAフレームクレーン

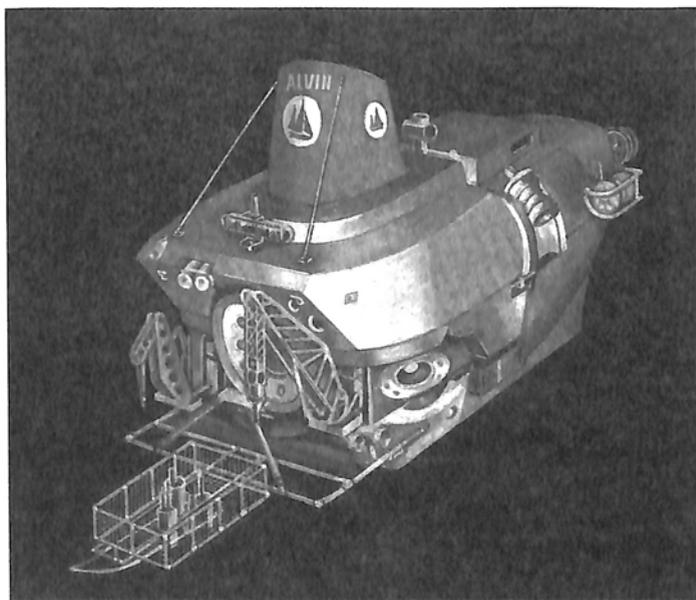


写真—3 新しい支援母船「アトランティスⅡ」の大型Aフレーム・クレーンにより着水する「アルビン」

（A-Frame Crane）が装備された。そしてアルビンも従来のルルによる水中クレードルの台座の上に乗って着水揚収方式から、クレーンで吊ることができるよう、骨格の改造が行われた。

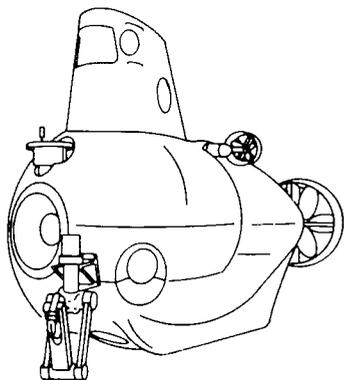
一方、1986年にアルビンの運動性能向上のために、従来の油圧ポンプ～油圧モータによる推進方式から、6台の直流ブラシレス電動機（通常のブラシと整流子を持たずに、代わりに電子的に位相を制御する直流電動機）による直接推進方式に改められた。これによって推進効率が2倍以上にも向上し、パイロットは「まるでスポーツカーを運転しているようだ」と感激するまでになった。

このようにして支援母船の能力も格段に充実し、アルビン自身の運動性能も飛躍的に向上した。しかしウッズホール海洋研究所の研究者達はまだ満足しなかった。彼らはアルビンの調査機能をより向上させるために、アルビンから発進してパイロットの遠隔操縦により種々の調査を行う小型のROV（Remotely Operated Vehicle：遠隔操縦艇）ジェイソン・ジュニア（Jason Jr.）を子亀として搭載できるようにしたのである。

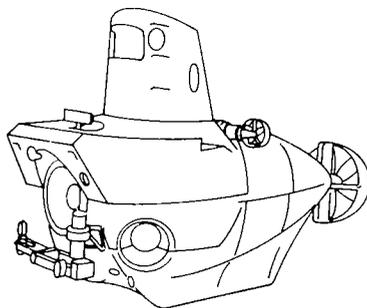


写真—4 現在の「アルビン」

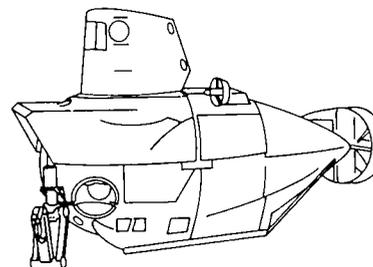
The Evolution of a Submersible



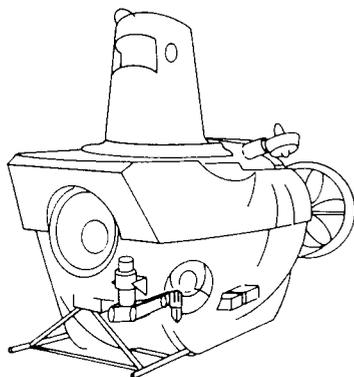
1964



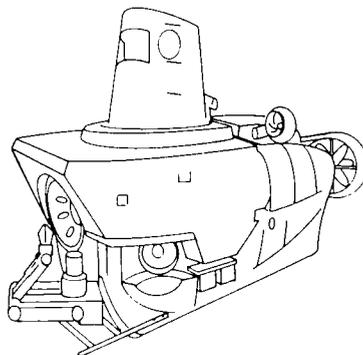
1968



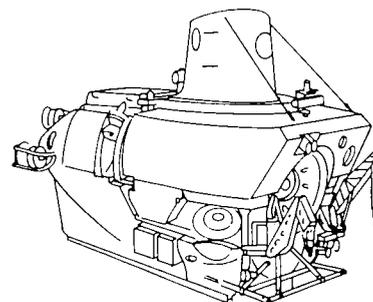
1970



1977



1984



1989

図-2 「アルビン」の進化(改造経過)

このような親亀・子亀システムとして、アルビンは1986年の夏に、1912年に処女航海の途中氷山に衝突して沈没した豪華客船タイタニック号（Titanic）の調査を実施した。前もって存在位置が確認されていたタイタニック号の残骸の付近に舞い降りたアルビンは遠隔操縦して子亀のジェイソン・ジュニアを接近させ、詳細な調査を行った。この調査記録は、ウッズホール海洋研究所の機関誌であるオセアヌス（Oceanus）の特集号に詳細に紹介されると共に、膨大なビデオフィルムがマスコミを通して放送され、私達に非常な感銘を与えた。

5. ま と め

アルビンによる深海調査活動は、枚挙に暇がないほど膨大なものである。しかし残念ながら造船技術者である筆者は調査内容についてはあまり詳しくないため、これらについて詳細に紹介はできない。

しかしアルビンは現在の深海潜水調査船の基本であり、また特に我が国にとっては深海潜水調査船システム開発に関する先生である。事実、筆者は現「しんかい6500」司令の坂倉勝海氏と2人で1977年に深海潜水調査船システムの開発建造に向けて勉強のため、ウッズホール海洋研究所に派遣され、10日間のアルビン・ルルの航海に参加することができた。この体験は非常に貴重なものであった。

海洋科学技術センターの「しんかい6500」は、最大潜航深度という面ではアルビンをはるかに凌ぎ、世界一の能力を有している。しかし最大潜航深度世界一は必ずしも調査能力で世界屈指を意味するものではない。潜水調査船と支援母船の性能、運用者の技量、そして利用者である科学者の熱意と層の厚さがあいまって初めて世界屈指の調査能

力が得られるものであると認識している。アルビンが華々しい成果を挙げ得たのもこの3者が見事に機能しあっているからである。

「しんかい6500」システムの船の性能という面では、造船技術者として計画、設計、建造、そして試験に携わってきた筆者には少なからぬ自負心がある。また運用者については、「しんかい2000」、「しんかい6500」を通して種々の経験と訓練を積んできており、その技量は世界に誇り得るものと信じている。ただ、科学者の熱意には敬服するものの、我が国における海洋研究者の層の厚さはまだまだ足りないように思われる。

「しんかい6500」システムは本年度から本格的な深海調査を開始するが、この調査を通して海洋に関する興味を掘り起こし、海洋研究者の層を厚くして、名実共に深海研究世界一と呼ばれるよう、関係者一同の発奮を期待したい。アルビンとその運用ならびにその調査成果に触れるたびにそのように思うのである。

参考文献

- 1) R. Frank Busby: "Manned Submersibles", Office of the Oceanographer of the Navy, 1976
- 2) "Submersible Science Study", April 1982, Funded by NSF, ONR, NOAA. Project Office; Lamont-Doherty Geological Observatory
- 3) R. H. Maloof, N. C. Forrester & C. E. Albrecht: "A Brushless Electric Propulsion System for the Research Submersible Alvin", Proceeding of the Oceans '86 (ただし本論文は提出が遅れたために論文集中には掲載されておらず、発表会場出席者のみに配布された。)
- 4) "Oceanus—The Titanic Revisited", Vol. 29, No. 3, 1986, Woods Hole Oceanographic Institution
- 5) "Oceanus—DSV Alvin 25 Years of Discovery" Vol. 31, No. 4, 1988/89, Woods Hole Oceanographic Institution

深層水取水装置

海洋開発研究部 豊田 孝義 Takayoshi Toyota
中島 敏光 Toshimitu Nakashima
藤田 恒美 Tsunemi Fujita

1. はじめに

海洋の深層水は、植物の生長に必要な栄養塩類に富み、低温、清浄であるため、生物生産、エネルギーなど様々な分野での利用の可能性が考えられる。また、深層水は自然に再生可能で、存在量が膨大であることから、新しい資源としての認識が高まりつつある。深層水利用技術の研究については、既に本誌の第1巻第4号（1989年）で紹介したので、本稿ではこの研究を行うために開発・建設した深層水取水装置について述べる。なお本装置は、科学技術庁の科学技術振興調整費「海洋深層資源の有効利用技術の開発に関する研究」により開発・建設した。

2. 深層水の取水に適する海域

深層水を陸上に汲み上げるためには、海岸付近の海底勾配が急であるほど取水管の長さが短くでき、建設コストが低減される。したがって、深層水取水立地として、海底勾配が急峻であることが必要条件のひとつとなる。また、深層水の富栄養、低温といった特性を生かすためには、貧栄養で表層水温が高い海域（暖流影響域）において、深層水の利用価値がより高まると考えられる。

ここで対象としている深層水の深度は、200 m から 600 m 程度であるが、深層水の取水適地をリストアップするために、仮に海岸線から水平距離 5 km の範囲内で水深が 200 m に達し、かつ貧

栄養である黒潮や対馬海流の影響域に位置するという条件を設けると、我が国の海岸線を有する1都1道2府35県のうち、そのような海域を有する自治体は、1都1道14県にものぼり、深層水の取水適地がかなり多いことが分かる。これらの深層水取水適地を図-1に示す。

3. 深層水取水装置への要求条件

深層水取水装置に対して要求される条件は、深層水の利用目的によって多少異なるであろう。ここでは、当センターにより開発・建設された実験規模の深層水取水装置に対する要求条件について述べる。

① 栄養塩類

珪藻植物プランクトンの連続培養を安定して行うためには、 $15\ \mu\text{M}$ 以上の硝酸塩濃度が必要であったことから、汲み上げた深層水中に必要とされる硝酸塩濃度を $15\ \mu\text{M}$ 以上とした。

② 水温

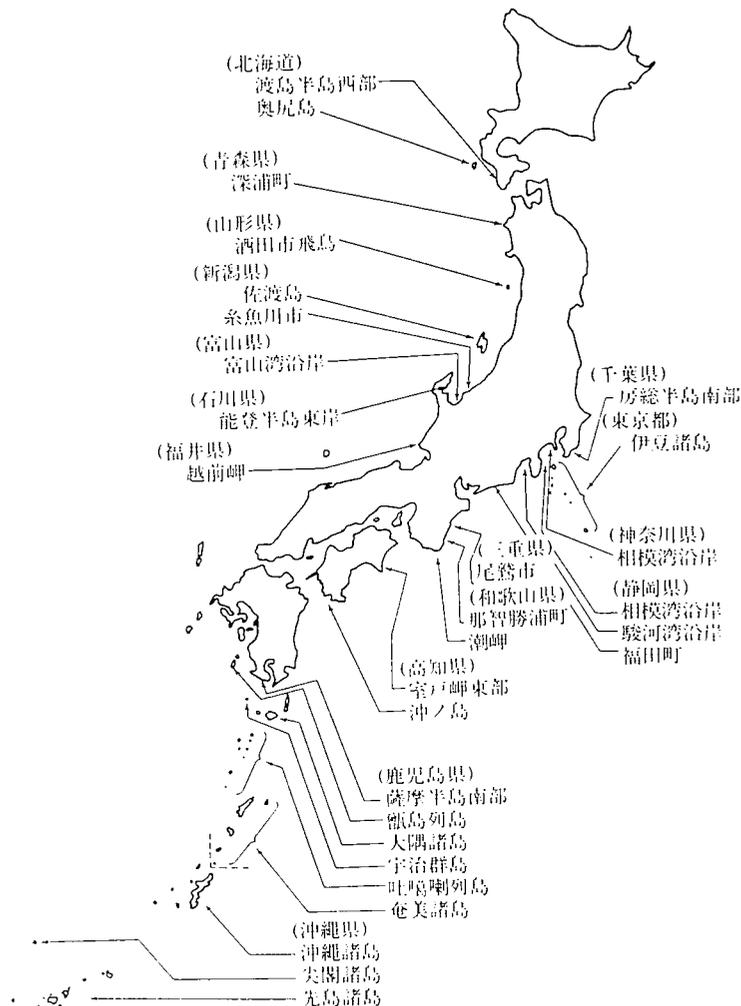
冷水性の海産生物の培養・飼育試験を夏季においても可能とするため、陸上に供給される深層水の水温を周年 20°C 以下とした。

③ 取水量

計画している研究を行うために必要となる深層水の水量は1日当たり $460\ \text{m}^3$ と見積られた。また、表層水も同量必要と考えられた。

④ 取水管、ポンプなどの材料

生物の成長に影響を及ぼす恐れのある金属イオ



図一1 深層水取水適地

ンの混入を避けるため、取水する海水と接する部分には非金属材料を使用することにした。

⑤ 耐用年数

設計上の耐用年数を10年とした。

4. 装置の開発

4.1 立地調査

本装置の設置場所として、高知県室戸市三津地区(図一2)が選定された。この海域の海底地形・地質を図一3に示す。また、取水管の破壊につながる最大の外力は、台風通過時の大波浪であると考えられ、再現期間30年の統計値の最大波高は

17.1 mとなった。

4.2 装置の仕様

仕様の概要を以下に述べる。

① 取水深度

15 μM以上の硝酸塩濃度を確保するためには、この海域の硝酸塩濃度の鉛直分布から判断すると、取水深度は250 m以深にする必要がある。取水管を実際に敷設した結果、取水深度は320 mとなった。

② 取水管の長さ

取水深度の設計値を250 mとし、図一3に示した海底地形から取水管の必要な長さを見積った。

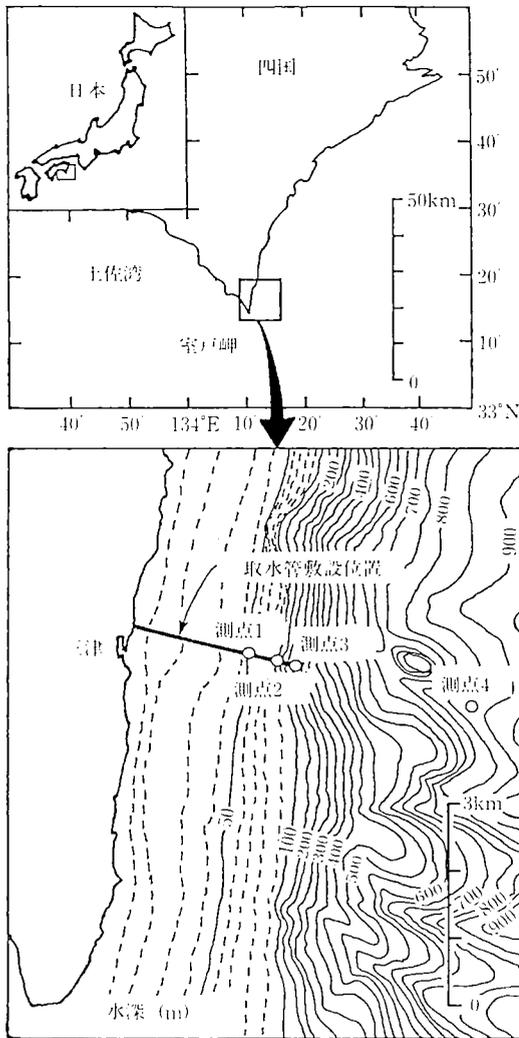


図-2 深層水取水装置の設置場所

また、取水管の敷設の際に、流れや波の影響で取水管がジグザグ状に敷設される恐れがあるので、これに対応する余分の取水管の長さを147 m（全長の約5%）と仮定し、取水管の全長を2650 mとした。ところが、実際の敷設では好天に恵まれたため、取水管はほとんど直線状に敷設され、その結果取水口の深度がやや深くなった。取水口周辺の海底勾配は約30度であったので、余分の長さ（147 m）のほとんどの部分が取水口の深度の増加に寄与したと思われる。

③ 取水量

上で述べたとおり、深層水、表層水ともに、1日当たりの取水量を460 m³とした。

④ 取水管の内径

取水管長：2650 m、取水量：460 m³を前提条件とし、建設費が最小となるように、取水管内径とポンプの設置高さを水理計算によって求めると、取水管内径は125 mmとなった。

⑤ 取水管の材料

非金属材料であり、かつ取水管の敷設が容易な材料として、鉄線鍍装硬質ポリエチレン管（図-4）を選定した。

⑥ 取水管の敷設工法

迅速に敷設でき、敷設位置の精度が良いリール・バージ法を採用した。敷設状況を図-5に示す。

⑦ ポンプ室

深層水取水管が長く管内摩擦抵抗が大きいた

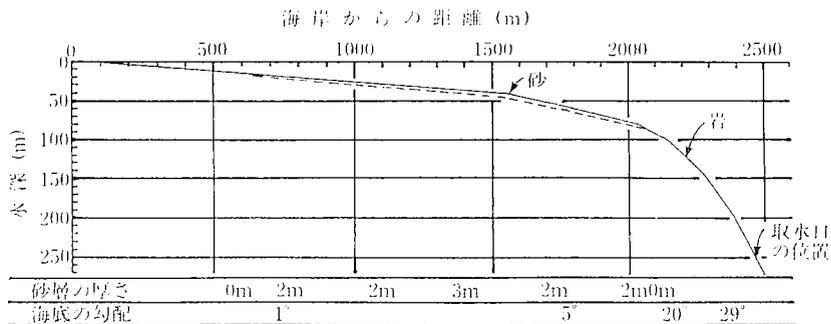
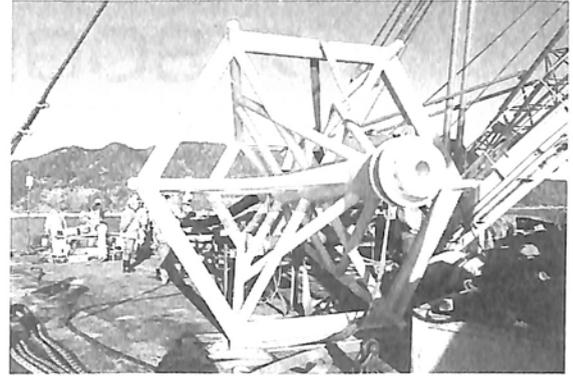


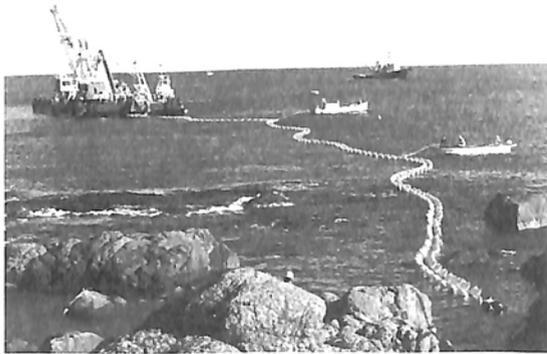
図-3 深層水取水装置設置海域の海底地形・地質



図—4 深層水取水管（鉄線鍍装硬質ポリエチレン管）



図—6 深層水取水口



図—5 深層水取水管の敷設状況

め、ポンプをなるべく低い位置に設置することにより、取水量を増大させる必要が生じた。取水管内径との兼合いで、ポンプの設置高さは海面から2.7 m 下方となった。また、ポンプ材料は塩化ビニールとした。

⑧ 深層水取水口

深層水取水口構造物の設置は、深度が深いために、船から海底に吊り降ろす方法が現実的と考えられ、しかも着底後は安定するような形状にする必要があった。また、海底に設置された後、泥などを吸い込まないようにするため、取水口を海底から3 m の高さに保つようにした。図—6 に、製作した取水口を示す。

⑨ 深層水取水時の水温上昇

取水口の設計深度である250 m における水温の最高値は13°C 台であり、取水管を通過する際の水温上昇を夏季の水温鉛直分布の条件下で試算した結果、20°C 以下になると考えられた。実際の取水深度は320 m となり、この深度の現場水温は10°C 前後であり、陸上に供給された時の水温は、11°C 台から14°C 台の範囲であった。

4.3 装置の運用

平成元年3月に本装置の建設が終了し、約3か月の試運転を経て、6月下旬から深層水利用技術研究の実験が開始され、その後現在（平成2年11月）に至るまで連続取水している。この間、台風が4度襲来したが、取水装置への被害はなかった。また、波浪が大きい時には、取水した表層水は濁ったが、深層水は濁りもなく水質も安定していた。

5. おわりに

本装置の完成により、小規模ではあるが深層水利用技術の研究の場が整備された。この装置を用いて、様々な分野での深層水利用技術の研究が行われる計画である。深層水取水装置は、研究施設としての役割にとどまらず、大規模化すれば、将来は生産施設としての可能性も秘めている。このような状況のもとで、現在、大規模で安価な深層水取水装置の開発が望まれている。

ソグレア(SOGREAH)研究所 —フランスにおける沿岸開発の研究機関—

海洋開発研究部

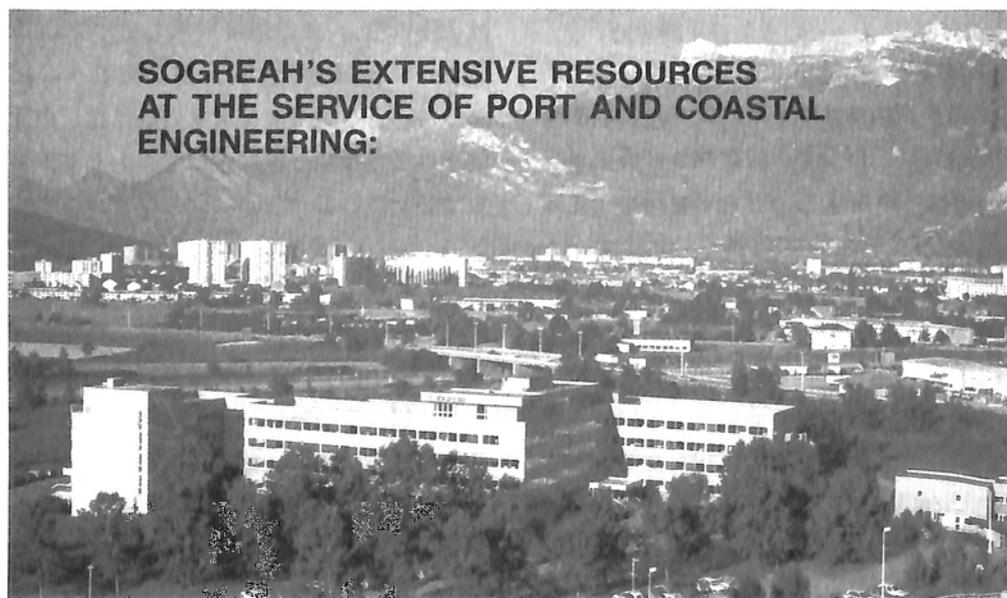
宮崎 武晃 Takeaki Miyazaki

ソグレア研究所はフランスの南東部、スイスとイタリア国境に近い、アルプス地方の中心地、グルノーブルに位置する。グルノーブルは1968年冬期オリンピックの開催地であり、その時の記録映画「白い恋人たち」では自然に包まれた美しい町が描かれた。現在は人口16万人の近代都市として発展し、建物といい駅前広場といい、とてもモダンで立派なのに驚く。しかし旧市街には歴史的な建造物も多く中世の装を程している。

山々に囲まれたフランスアルプスの入口、グルノーブルでなぜ沿岸開発の研究をするかには訳がある。その一つは、ソグレア研究所は元来、水力発電に関する水理・環境について研究開発を実施し、この分野で多くのノウハウの貯積があり、現

在は社会のニーズが陸から海へと変化したため、このノウハウの適用を海洋まで拡張し、沿岸海洋の研究開発を行っている。もちろん現在でも河川の水理実験、例えば鉄砲水に対応する水路の形状などの実験を見ることができる。第2は生活及び研究環境が良いため、質の高い研究者・技術者が集まるためである。生活環境は申し分ないのに加え、研究環境はグルノーブル大学をはじめハイテク企業が集中しており、共同研究、情報交換等、好都合の条件が揃っている。このため、最近はグルノーブルから多くの発明、発見等の新技術が生まれるのだと言う。

写真—1 にソグレア研究所の本部を示すが、緑に囲まれた近代都市のなかにあり、遠方には美し



写真—1 グルノーブル郊外のソグレア研究所

い山脈が続いている。夏は登山、冬はスキーを楽しみながら研究をするのだそうだ。

ソグレア研究所は、フランスの大手企業グループの一つであるコンパニー・ジェネラル・ディレクトリシテの子会社で技術コンサルタント等を主業務とし、350名のスタッフで運営している。業務範囲は天然資源、エネルギー、農業、工業、運送、開発計画など多岐にわたっている。特に、これらのなかで水理や環境にかかわる項目に研究の力を注いでいる。水力学関係では沿岸開発、人工砂浜、港湾、河川、水力発電等について研究開発を続けている。海外からの受注が多く、全体の75%に達している。沿岸開発は多方面の分野の調和をとって進めなくてはならないことから、各分野の専門家からなるグループを作り、幅広い開発ファクターを検討しながら、最適目標を設定する方式を取り入れている。同研究所は、人工砂浜など現在その重要性が増しつつある海浜開発の分

野では、既に30年以上の経験を有している。これまで先進国が主だった、海浜のホテル開発構想やマリーナ開発などに対して、最近は開発途上国からの要請も多くなった。過去10年でマリーナ設計を120以上手がけ、この分野では世界一といえる。写真-2に模型実験結果等を用い設計し、建設中のマリーナを示す。

沿岸域開発の研究の多くは港湾建設と海岸保全であり、模型実験と数値シミュレーションの両技術を駆使して研究するとともに、コンサルタント業務を行っている。図-1に港湾設計シミュレーションの例を示す。波高6mの波浪を港湾の入口に与えた場合の港内の波浪分布を示す。

沿岸域開発の狙いは沿岸域を最大限有効に利用するため、漁業、商業をはじめ生態系、環境保護まで含めた幅広い可能性について検討するとともに、社会学、経済学、公害などの要素を加味して開発目標及びそのアプローチ法を取り入れてい

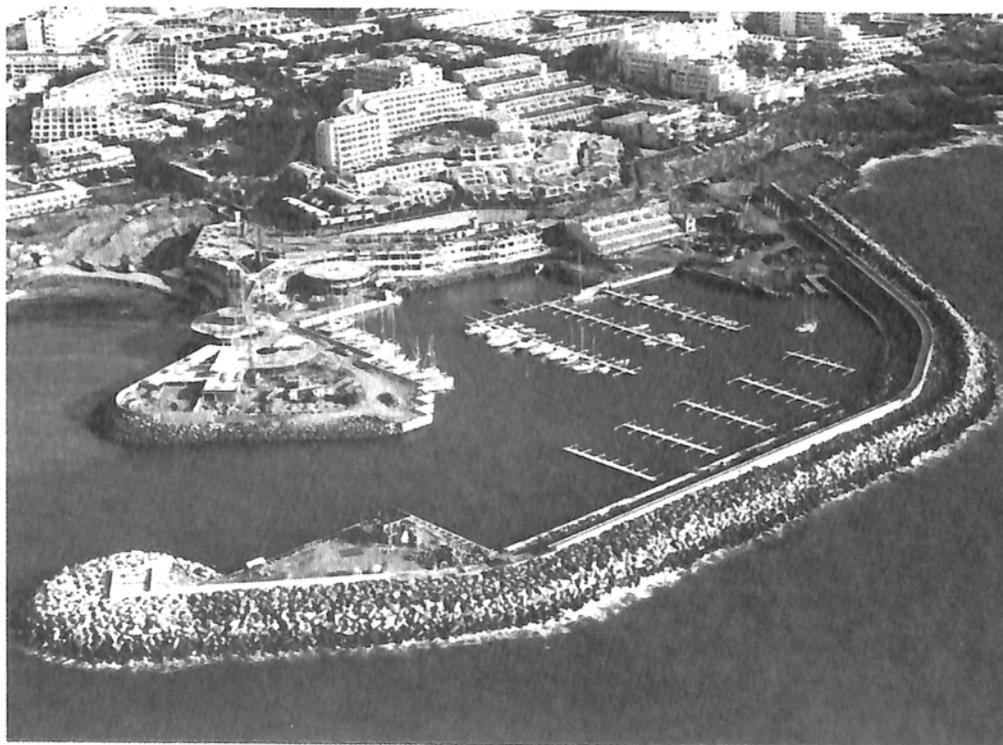


写真-2 建設中のマリーナ

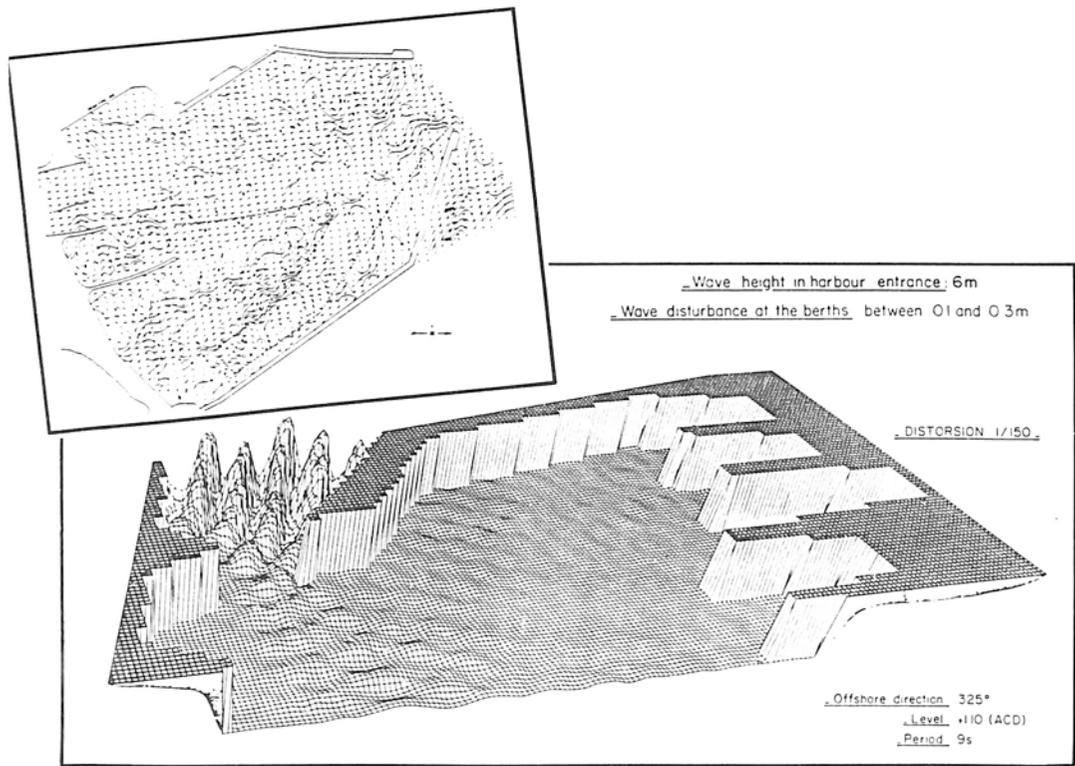


図-1 港湾設計シュミレーションの例



写真-3 模型船を用いて、リグ等へのアプローチ訓練
る。

ソグレア研究所の水力実験施設は本部から数km離れた工業団地の中にある。この大型の実験棟の内部に平面水槽、海流水槽を初め多種、多様な水槽があり、これらを小人数で効率良く運転、計測が実施されている。特に、一般的な実験に加え環境評価に力を入れている。

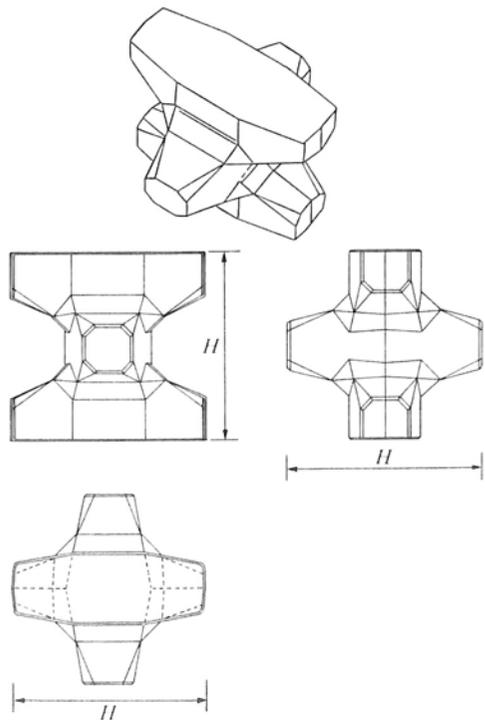


図-2 アクロポットの構造

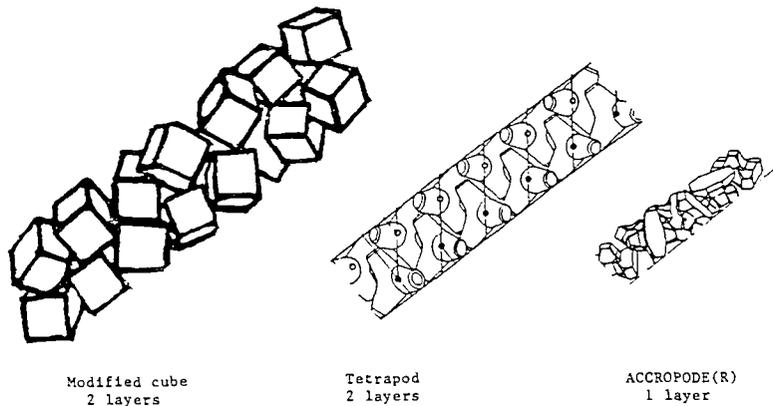


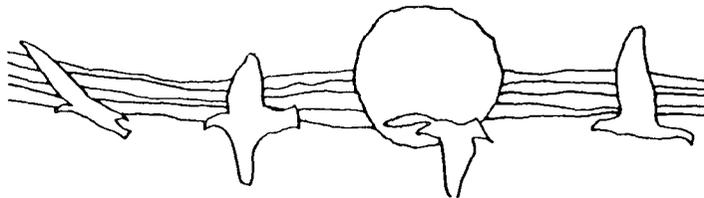
図-3 消波ブロックの積重ね比較

また市の郊外に写真-3で示す船舶操縦訓練水面を所有し、20,000 ton から 500,000 ton 船舶の 1/25 スケールの船舶を用い、船長とパイロットの操縦訓練をしている。特に、オイルリグ、1点または多点係留ブイへのアプローチや接岸が主である。これは、浮体構造のオイルリグや係留ブイは大型タンカーの軽い衝突や接触により、大事故につながるために事前に訓練を行う施設である。

さらに、ソグレア研究所で独自開発された技術で有名な物の一つに、この沿岸や港湾で広く利用されている消波ブロック“テトラポット”がある。これは一般に直立防波堤の前面に置き、反射波を小さくしたり、沿岸に置き海岸の保全等に用いることは、よく知られている。テトラポットの特許期限は既に切れており、現在は、テトラポットより消波効果が優れた図-2に示す“アクロポット”

を開発している。これはテトラポットに比べ、強度、安定性が良く、製作も容易であることから経費はテトラポットの 56% で済むため、このアクロポットの普及に力を入れている。特に、図-3に示すように同じ消波特性を得るためには四角いコンクリートブロックやテトラポットは 2 重に積む必要があるが、一方アクロポットは一重で良い。

ソグレアの研究者は良い生活環境で伸び伸び研究を続けており、このため新しいアイデアが生まれる。良い環境に身を置くことにより環境の尊さを知り、それを研究に取り込める。また生活の“ゆとり”から良いマリーナ設計を可能にするのかもしれない。コンクリートジャングルの中で、ドリンク剤を飲んで 24 時間働くビジネスマンには、魅力あるマリーナ設計は期待できないのかもしれない。



用語解説

D P S

潜水技術部 沼田 光政

Mitsumasa Numata

DPS (Dynamic Positioning System: 自動船位保持装置) は“洋上において船舶が受ける風・波・潮流による外力に対して推力装置を用いて、船位と船首方位を設定目標値に対して自動的に保持する装置”である。図-1 に DPS の概念図を示す。

DPS の主要メーカーはノルウェーのシムラッド社、米国のハネウェル社であるが、近年国産化され、当センターの所有する海中作業実験船「かいよう」及び海上自衛隊の潜水艦救難母艦「ちよだ」に装備されている。

洋上での船位保持は、測位装置が重要な役割を持つ。北海での DPS の運用は潜水作業や ROV 等のオペレーションがあり高精度の位置保持が要求され、測位装置は、音響測位装置、マイクロ波測位装置等が使用される。また、マイクロ波測位装置の運用が出来ない洋上では、ロラン C やデッカの電波測位により船位保持を行う。

「かいよう」においても上記と同様であり、装備された DPS の目標性能は：

水深 50 m ~ 500 m の範囲において、10 m あるいは水深の 5 % のどちらか大きな値以内の

半径で、また、6000 m の水深においては 300 m 以内の半径に船位保持が可能としている。

上記において、水深が 500 m 以浅と 6000 m に分けられているのは、前者は主に潜水実験を目的として後者は深海底探査あるいは海底精査を目的としている。

DPS 運用時の外力条件は：

風：10 分間平均風速 16 kt 以下、風向は任意方向

波：1/3 有義波高 1.25 m 以下、波向は任意方向

潮流：流速 2 kt 以下、流向は船首対向（船首を流れに立てる）

次に、DPS の機器構成を図-2 に示す。また、これら機器を分類すると下記のとおりである。

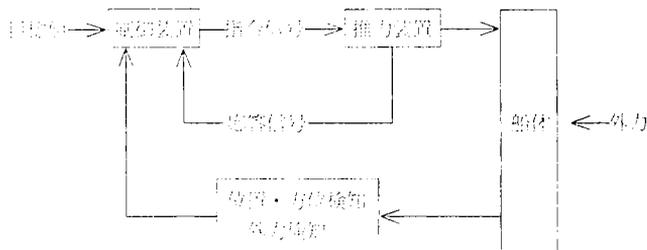
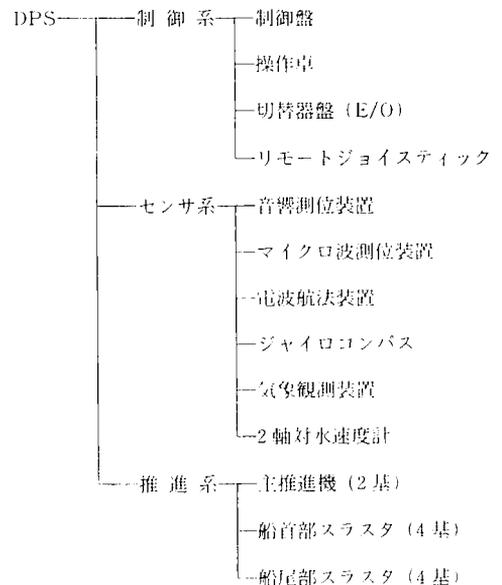


図-1 DPS 概念図



好な海象条件下でもあり設定点を中心に半径4～5 m内に保持された),「かいよう」舷側より海中作業台を設置し,この後,吊索の切離しを行うため船位を数mずつ移動し海中作業台近辺にSDCを潜降させダイバーがロックアウトし吊り索を切離した。2日後,作業台上に小構造物を付加設置し,後日逆の手順で海底より回収した。

このように,DPSの高い位置決め精度を生かして,船に係留することなしに海上の同一点上に保持可能であり,気象,海象の変化にも迅速に対応出来る。また,ある時間を経過した後再度元の

点での船位保持ができる。

海底に構造物を複数設置するためには,船位保持に加えて船位の移動を要し,このような作業を行うためにDPSによる小移動が極めて容易に可能である。

DPSの本来の機能は船位保持であるが,同一点へ再現性,1mを最小単位とした移動等,精度の高い制御がなされる。このような,機能を十分に利用し,今後とも,より多くの実験・研究に運用されることが期待される。

用語解説

海洋超電導

海洋開発研究部 宮崎 武晃
Takeaki Miyazaki

近年,画期的な高温超電導体が続々と発見され,超電導の応用範囲が飛躍的に拡大されつつある。海洋科学技術分野においても高温超電導体の研究開発の今後の展開により広範な応用が期待される。海洋超電導とは,海洋科学技術への超電導技術の適用により,この分野に貢献することができる技術等を総称して使用している。

これまでの超電導技術の海洋科学技術への応用を検討した結果,海洋の利用の面から3つに分類した。

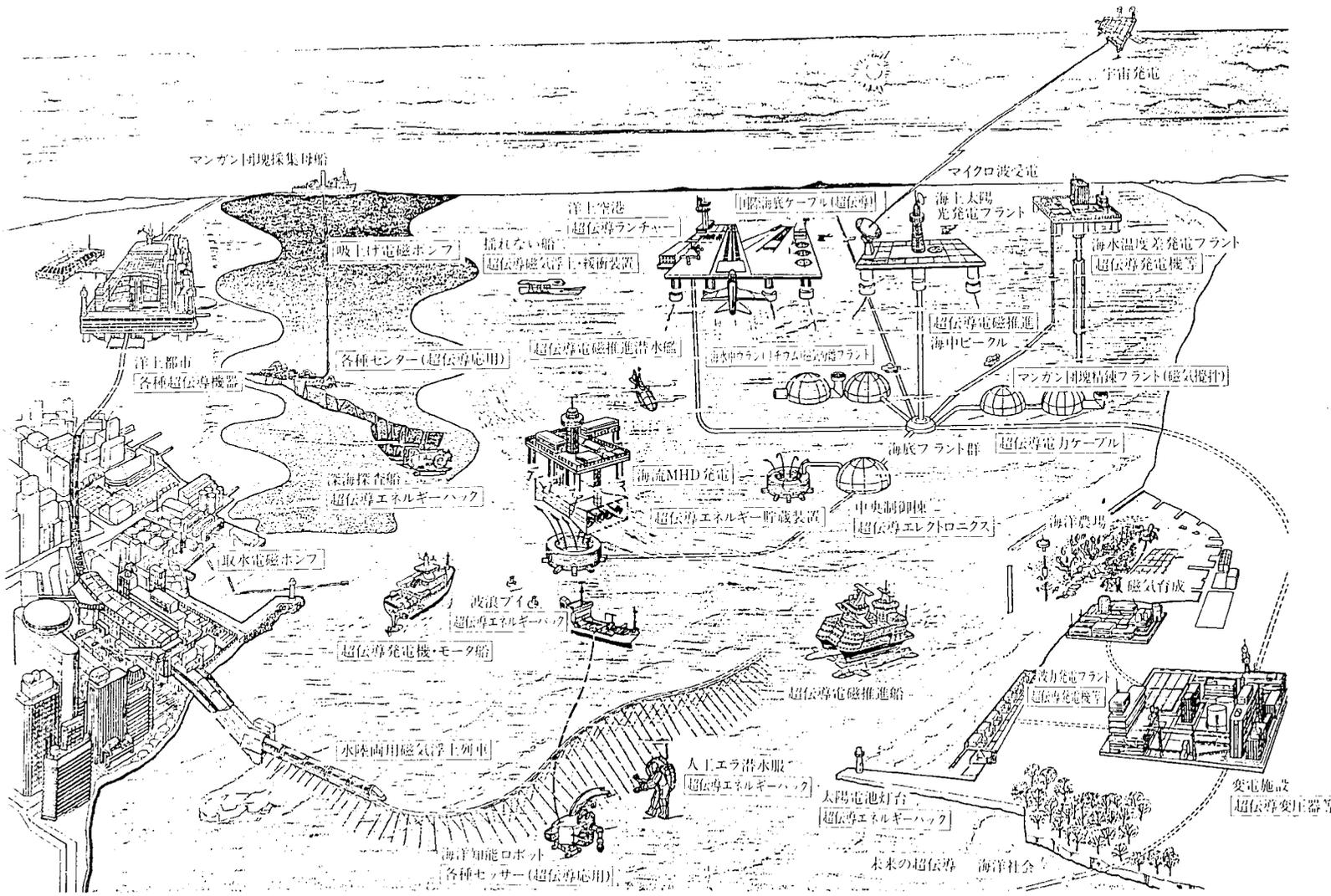
(1) 海洋エネルギー利用,(2) 海洋資源利用,(3) 海洋空間利用,これらの利用を達成するために必要な支援技術の面から次の項目が必要不可欠である。

(4) 交通・輸送技術,(5) 電力供給技術,(6) 産業・生産技術,(7) マイクロエレクトロニクス・

通信・情報処理技術,(8) 環境アセスメント・評価・保全技術,(9) 航空・宇宙技術,最後の項目は海洋を空間としてとらえる際に大気,宇宙と密接に関連するためである。

例えば(2) 海洋資源利用としては①マンガン団塊採鉱システム,②熱水鉱床・コバルトクラスト採鉱システム,③高性能資源探査装置,④海水ウラン採取複合プラント,⑤海洋バイオマス採取システム,⑥海洋農場成長促進システム,⑦養殖漁業最適飼育管理システム,⑧回遊性漁業生産管理システム,などに超電導技術の適用が可能である。

以上より,超電導技術の海洋科学技術分野への適用範囲は広く,またさらに拡大される。よって総称して用いられている海洋超電導は今後,細分化してゆくものと予想される。



科学技術庁フェローに2人目のフランス人研究員が来日

深海開発技術部 Marc NOKIN

平成2年度科学技術庁フェローシップ制度による外国人研究者として、フランスの国立海洋開発研究所（IFREMER）に所属している工学技師ノーキン氏が来日したのでご紹介します。

ノーキン氏は、IFREMERにおいて科学調査等に用いる無人探査機（ROV）等の開発に関する工学関係の作業を担当しており、今回の来日での研究活動において、センターとフランス及びIFREMERとの無人探査機等の科学調査機器開発における情報交換を行うとともに、両国における科学調査機器開発に関する交流が進展するものと期待されます。

1. 研究者名 Mr. Marc NOKIN
2. 受入期間 平成2年6月1日から平成2年12月8日までの期間
3. 受入研究部 深海開発技術部
4. 研究テーマ 深海用無人探査機（ROV）に関する調査・研究

PERSONAL HISTORY

I graduated in 1985 from CENTRALE PARIS (Ecole Nationale Superieure des Arts et Manufactures), major in ocean engineering. I began work at IFREMER in October 1985.

I was involved in the IFREMER project :

—1985 :

* Feasability studies on long range autonomous vehicle

—1986 and 1987 :

* Preliminary studies and critical functions analysis on underwater robotic systems for the inspection and maintenance of offshore platforms.

* Manager assistant for the development of the ROBIN system (6000 m eyeball type R. O. V.)

—1988 : (In charge of tethered R. O. V. development)

* Improvements of the ROBIN system and preliminary studies on its use deployed from a garage.

* DELTA TOWER preliminary studies (Inspection and maintenance of offshore platforms, accessibility studies)

—1989 :

* Reliability of the ROBIN propulsion, analysis and proposal

* Preliminary studies on a deep R. O. V. for scientific use

As part of an engineer exchange between France and Japan, I joined the JAMSTEC Deep Sea Technology Department in the beginning of june 1990, for a six month period.

DEEP REMOTE WORK SYSTEM

IFREMER is currently planning to develop a remote work system for deep ocean. This teleoperated system is mainly designed for scientific use but is also conceived for operation on wrecks and rescue of manned submersibles. It is intended to dive to 6000 meters and will have manipulative capabilities. Due to the diversity of tools utilized by the scientific community, a great attention must be paid to the payload capabilities of the system. This system can be deployed from a ship without dynamic positioning system.

Actually, more than seven work systems can dive up to 5000 meters, in particular the HYSUB 5000 (Deep Water Services and Institute of Ocean Sciences), ARGO/JASON (Woodhole Oceanographic Institute) and GEMINI (Easport International). The two basic deployment concepts are the "free swimming concept" and the "launcher deployment concept".

A free swimming system is able to cover a much larger area on the sea floor than one deployed from a launcher, especially in low current. This large footprint is particularly important when the mother ship is not equipped with fine dynamic positioning system. On the other hand, the vehicle must be powerful enough to compensate for drag from the cable.

When deployed from a launcher, the vehicle is uncoupled from the ship motions but the footprint is limited by the length of the tether. If landed on the sea bed, the launcher can be used as a "tool box" which increases the payload capabilities of the system.

Based on JAMSTEC's experience with DOLPHIN 3K, my study concerns mainly the evaluation of the performances of such a concept. In particular, the work area on sea bed, and the management of such a system has been analysed.

Concerning the footprint study, calculations have been carried out based on DOLPHIN 3K design. Static calculations of catenary give the maximal work area of the vehicle but dynamic calcula-

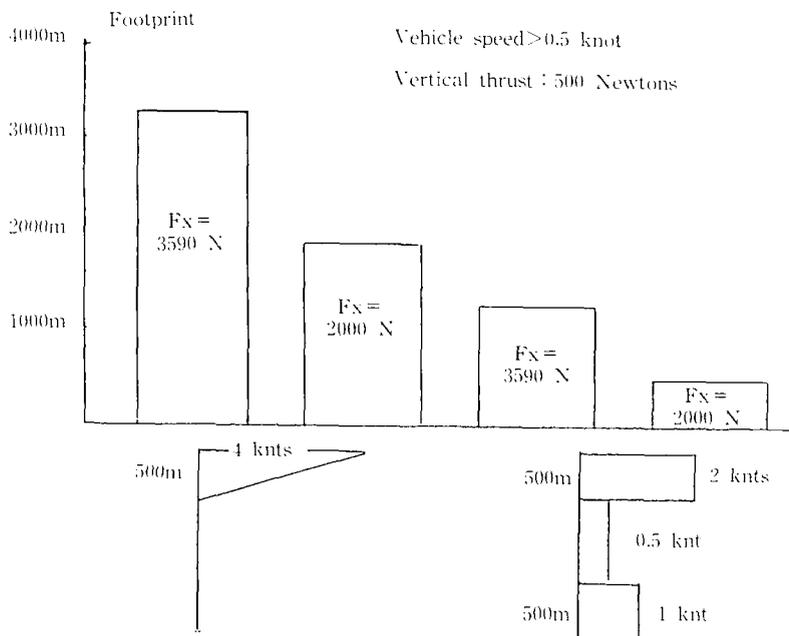


Diagramm 1 : Footprint (Forward direction)

tions give more realistic results. Effectively, the vehicle speed decreases as the distance from the starting point increases. The range on the forward direction, for 3300 m and 6000 meters water depth, has been calculated assuming that the vehicle speed must be over 0.5 knots.

The following diagram shows the results for two current profiles and two forward thrusts. The vertical thrust is kept at 500 N. The forward thrust of 2000 N (F_x) was chosen to evaluate the footprint of a less powerful vehicle than the DOLPHIN 3K system. In this case, a power balance gives a total power of 20 KW. The results do not significantly depend on the depth.

Track charts of operational cruise give valuable results on the footprint of the DOLPHIN 3K. Figure 1 shows an example of vehicle and support ship NATSUSHIMA positions during the observation of a restricted area. The water depth was 2000 meters. The ship kept station inside a rectangular of 430 * 300 meters and the average dimensions of the area inspected by the vehicle was 570 * 320 meters. As can be seen on figure 2, the maximal horizontal distance between the vehicle and the ship did not exceed 1250 meters.

Working in Japan, as a visiting researcher is very interesting, although it is difficult to communicate without well developed Japanese language skill. Nevertheless, it was a fruitful experience for both personal and professional reasons and I encourage, in the future, the pursuit of such international cooperation.

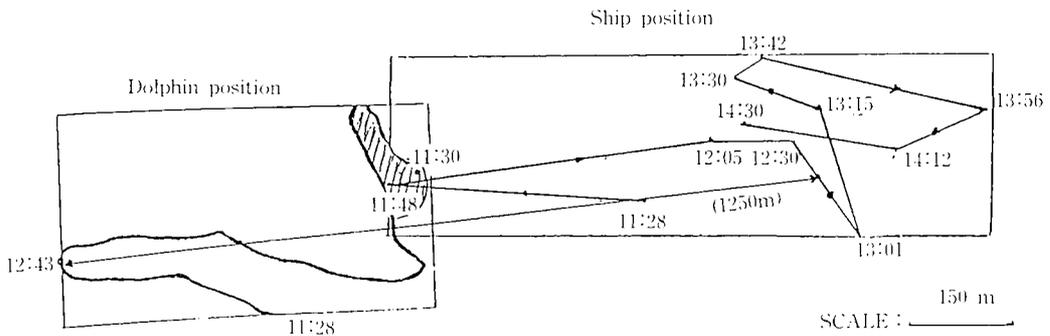


Figure 1 : Relative positions of the vehicle and the ship

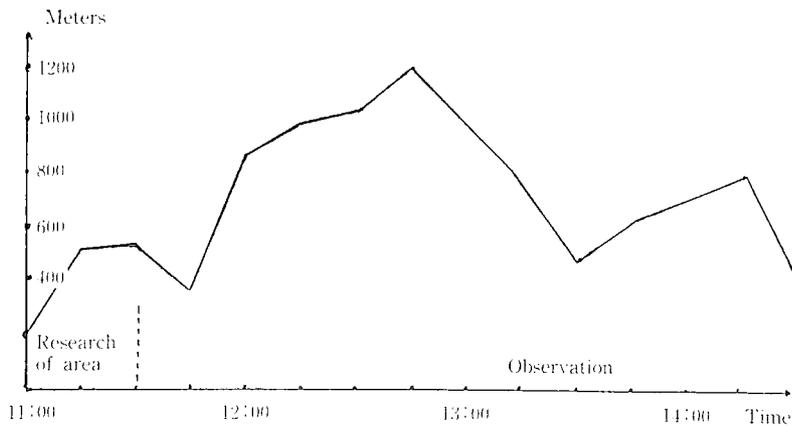


Figure 2 : Horizontal distance of the vehicle from the ship's position

テクノ・オーシャン'90開催

—第3回 国際海洋・沿岸開発展—

情 報 室

昨年の11月14日から17日（国際シンポジウムは16日までの3日間）まで神戸のポートアイランドの神戸国際展示場、並びに神戸国際会議場で、「21世紀・知的産業化時代における海洋開発の展望」をテーマとした国際海洋・沿岸開発展（主催、神戸国際交流協会・ワールドインポートマート）が開催された。本開発展は、1986年から2年ごとに開催されており、今回は第3回目である。

見本市には、国内から93社・8機関が参加し、海外からもカナダ・アメリカ・イギリス・フィンランド・ノルウェーの5か国から19社・3機関が参加した。内容としては、海洋開発関連機器・技術や環境保全技術の他、実際進められている事業として、関西国際空港等の模型の展示が行われていた。また今回の特徴としては、リゾートブームを反映して、海洋リゾート関連開発技術や関連施設、並びにマリンスポーツ機器・用品などが多く展示され人気を集めていた。

また、国際シンポジウムでは、地球環境維持に海が大きな役割を果たしていることに関心が高まっていることから、米国から海洋環境専門学者による招待講演を含め9か国が参加し、89題のテクニカルセッションが盛況裡に開かれた。

当センターも本開発展の協力団体として名を連ね、シンポジウムでの論文発表は6,500m潜水調査船「しんかい6500」の水中音響技術他2件、並びに展示はシロウリガイ等深海生物の標本・ビデオ紹介等を行うとともに、今話題の「しんかい6500」システムの一般公開など人々の関心を呼んでいた。



写真 テクノ・オーシャン'90展示会（センターコーナー）

編 集 後 記

本号に当センター会長 稲葉興作氏の新年のごあいさつをいただいた。ご多忙中にもかかわらず、センターの最近の活動状況と今後の抱負をご紹介賜わり改めてお礼を申し上げる。

極限微生物の発見と将来について、昨年10月発足のセンターの深海環境の研究開発の一環をなす深海微生物研究グループのグループリーダーにご就任の東京工業大学教授・理化学研究所主任研究員の堀越弘毅博士にご紹介いただいた。先生は、編集子が今更ご紹介するまでもなく、国際的に活躍なさっている斯界の第一人者である。センターの将来の研究開発の幾つかの柱のうちの1つであると考えられるマリンバイオ研究を世界的レベルにまでもっていくためにご指導いただける数少ない、またかけがえのない方である。ご多忙中にもかかわらず、ご無理を申し上げた。改めてお礼を申し上げる。

前号でご紹介致しました東京大学名誉教授（地震研究所）で現在ハワイ大学ハワイ地球物理学研究所（HIG）においての南雲昭三郎先生の「地球深部への旅」もいよいよ連載が始まりました。先生には、科学技術庁の科学技術振興調整費「南太平洋における海洋プレート形成域（リフト系）の解明に関する研究」の研究推進委員会の委員長でもあり、当センターでも普段から何かとお世話になっている。ご多忙であることを承知で、ご無理を申し上げた。改めてお礼を申し上げます。

センターも本年創立20周年を迎え、多種多様な行事がひかえておりますが、本誌も創刊3周年目を迎えましたので、創刊時の編集目標等をこの際再度掲げたい。創刊号の編集後記で、編集子は地質調査所編の月刊誌「地質ニュース」が老大家の寄稿というよりもむしろ現役の所員・元所員が中心になって企画・編集・執筆等を行い、その掲載内容が示唆に富むものが多く、これが契機となって、一例えばプレートテクト

ニクスやグリーントフ、黒鉱の成因等一議論を呼び、これらに関して、関係する学会等で何回もシンポジウムが開催され、成果が何冊も刊行物となり、学問レベルを一気に高めたと認識していると述べた。本誌も、「地質ニュース」のように、今後の海洋開発にいささかでも役立つ課題の掘り起こしや、またそのごく端緒でもつかむことが出来れば有難い。このため、取り敢えず3年間は内容のレベルを質的にある程度以上に維持してまいりたい。こうすれば本誌も「地質ニュース」のように役立ち、また通巻で百号を越すであろうとも述べた。これが当時の編集子の感慨でありました。したがって本年もこの目標に向かって編集スタッフ一同、従前以上の努力を傾注し、発刊してまいる所存であります。関係各位の一層のご支援・ご鞭撻をお願い致します。

さて、創刊以来2年が経過したので、この際、新しい読者の方々のために、本誌名「JAMSTEC」の決定の由来について、再度ふれておきたい。創刊号の表紙裏にも記しているように、本誌名「JAMSTEC」は当海洋科学技術センターの英訳名 JAPAN MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY CENTER の正式略称そのものである。創刊当時、センター内で誌名を公募したところ一番応募数が多く、刊行物編集委員会でのこのように決定した。外国でも IFREMER や NERC 等が組織名の略称をそのまま雑誌名としている先例もあり、これらがセンター関係者にも参考になったものと考えられる。因みに、我々を含めて内外の専門家の方々から、センター略称同様、「JAMSTEC」は「ジャムステック」と呼んでいただいている。

以上、編集子がまたかなり勝手な私見を述べたが、お許しを乞う次第であるとともに本号発行に当たり、ご執筆・ご協力をいただいた関係各位に改めてお礼を申し上げます。

(S生)

表紙写真の説明

揚収される潜水調査船「しんかい6500」

「しんかい6500」は、最新技術を導入したハイテク潜水調査船であり、人が乗り込む耐压殻は直径2mで厚さ73.5mmのチタン合金が使用されるなどの装備が施され、可能な限り小型・軽量化がはかられている。従って、「しんかい2000」の3倍以上の潜航能力をもらながら総重量(空中重量)も26トン(「しんかい2000」は23.2トン)というわずかな増加におさえることができた。

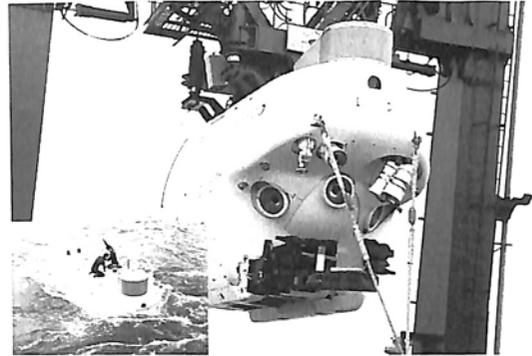
潜水船が自らも海底上での位置を確認できる「音響測位装置」も今までは大きすぎて潜水船には装備できなかったものであり、マニピュレーターの精度も進歩して深海の試料を破壊せずに持ち帰るほどになり複雑な作業も可能になった。また、深海で潜水船の目の役目を果たす「観測ソーナー」も音波を利用したTVカメラで最大300m先にある物体を観測できる。これらの他に周辺環境を測定するため、CTDVセンサー、流向流速計・深度計によって周辺の海水温度、塩分濃度及び海潮流の流向流速などを計測し、自動的に他の装置管理データと共に総合情報表示装置に記録することができる。

これらはエレクトロニクスの進歩や、我が国のすぐれたロボット技術に負うところが大きい。

本年度より「しんかい6500」は、訓練潜航を終え本格的な調査潜航を開始する。

写真中央は、小型・軽量化された「しんかい6500」が支援母船「よこすか」の巨大なAフレームクレーンで揚収されるところ。

写真左下は、浮上した「しんかい6500」を揚収するためにAフレームクレーンの吊り索を取りつける海中支援員。



刊行物編集委員会委員及び作業部会専門委員

委員長	間山 隆 (理事)	作業部会長	須崎 祐吉
委員	中野昭二郎 (総務部長)	専門委員	長谷川康明 宗山 敬
	間宮 馨 (企画室長)		西田光紀 中島敏光
	堀田 宏 (深海研究部長)		辻 義人 伊藤信夫
	藤井弘道 (深海開発技術部長)		大塚 清 楢木暢雄
	石井進一 (海洋開発研究部長)		岩井芳郎 喜多河康二
	中野勝正 (潜水技術部長)		青木太郎 井内敏正
	濱田 馨 (運航部長)		
	須崎 祐吉 (情報室長)		

JAMSTEC 第3巻 第1号 (通巻第9号)

1991年1月1日 発行

編集兼発行人	海洋科学技術センター情報室
本部	〒237 横須賀市夏島町2番地15 TEL (0468) 66-3811 (代)
東京連絡所	〒105 東京都港区新橋2-6-1 新橋太陽ビル6階 TEL (03) 3591-5151 (代)
製作・印刷	(株)技報堂 代表 大沼光靖 〒107 東京都港区赤坂1-3-6 赤坂グレースビル TEL (03) 3583-8581 (代)

