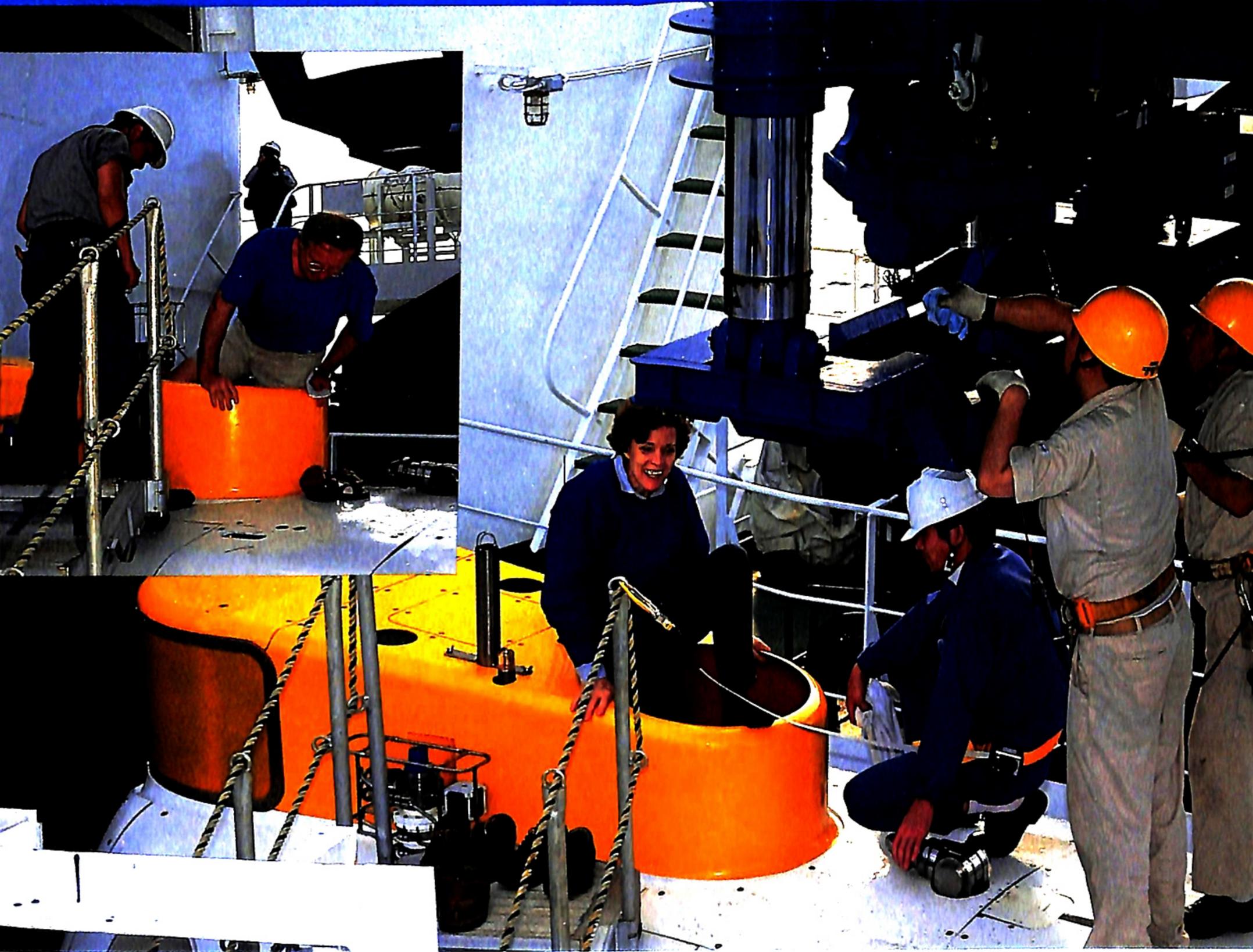


JAMSTEC

1991年 第3巻 第4号 (通巻第12号)



海洋科学技術センター

目 次

巻頭言 深海域にもヘモグロビンは必要だ	海洋科学技術センター監事	岡田 久	1
陸の温泉・海の温泉		酒井 均	3
海洋科学技術センターにおける小型無人潜水機の開発	深海開発技術部	服部 陸男	19
日中黒潮共同調査の概要	海域開発研究部	甲斐源太郎	26
地球深部への旅(その4)		南雲昭三郎	33
海に魅せられて半世紀(XII)		奈須 紀幸	40
海外出張・海外調査団報告			
米国ハワイ州における深層水利用技術の研究開発	海域開発研究部	豊田 孝義	47
海洋大循環数値模型の現状について	海洋研究部	中本正一郎	53
米国の深海調査及び長期観測の現状について	深海研究部	門馬 大和	55
ROV '91 調査録	深海開発技術部	岡田 裕	60
深海生物シンポジウムに参加して	深海研究部	橋本 惇	62
潜水高圧医学会に参加して	海域開発研究部	橋本 暢雄	64
米国微生物学会バイオテクノロジーコンファレンスに参加して			
深海環境プログラム深海微生物研究グループ		浜本 哲郎	65
当センター研修・施設・機器等の紹介			
動物シミュレーター	海域開発研究部	水嶋 康男	69
研究機関・学協会等の紹介			
モントレー湾水族館研究所	運航部	渡辺 正之	72
用語解説			
ハリウムボイス	静岡大学工学部	鈴木 久喜	78
海洋レーザ(海洋ライダー)	海洋研究部	浅沼 市男	79
トピックス記事			
「しんかいシンポジウム」の開催案内		深海研究部	81
国際シンポジウムの開催案内		企画室	81
研究発表会の開催案内		計画管理課	81
編集後記			

海洋科学技術センター監事

岡田 久

Hisashi Okada

深海域にもヘモグロビンが 必要だ



私が当センターの監事に就任し、海洋の分野に初めて身を浸すことになって早や半年近くを経過しました。

時恰も当センターの20周年を迎え、しかもその記念日に当面する「JAMSTEC 通巻第12号」の「巻頭言」をとの光栄に巡りあわせ、僭越ながら、嬉しく一言御挨拶を申し上げます。

当センターのシンボルは何といても「しんかい2000」と「しんかい6500」でしょう。本年から「しんかい6500」も公式稼働を開始し、20年にしてやっと当初目指した深海域に手が及ぶことになり、関係者一同、成人式にのぞむ感慨かと思えます。

「深海」に象徴される海洋への広範な地球規模での調査・研究・開発への挑戦は、四海海に囲まれながら、世界一の深海を庭先にもちながら、欧米先進国に大きく遅れをとっていた我が国が、一步追いつき始めたこととなります。経済大国の威信と責務を担って、さらに最先端を目指し、ひた走り始めた20周年は、正に祝賀するに足るエポックでありましょう。

この先、10,000 m級の無人探査機、深海掘削船の建造へと21世紀への橋渡しの輪郭も現実性を帯びて見えてきている現在、大道具は揃ったも同然、いかに使いこなすかの段階に至ったと思えます。

まず、大道具である器が決まってしまえば、それをいかに大きく使いこなすかがポイントであります。調査船、就中深海潜水船は独占または寡占状態の代物です。経済の世界のみならず競争原理が機能しないと効率がいかに悪くなるかは、昨今随所で顕著に証明され続けているところがあります。

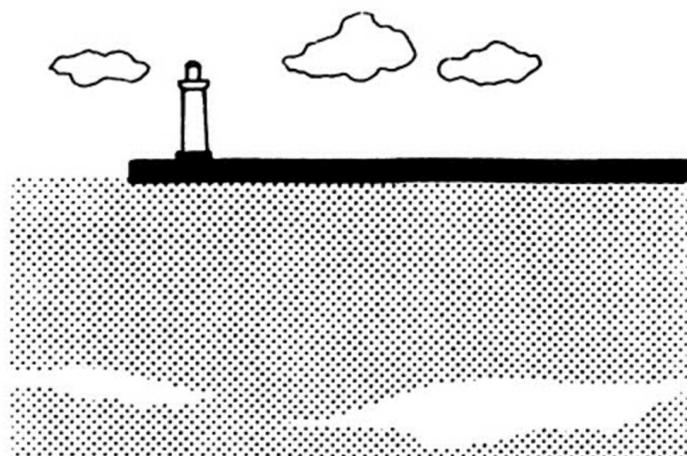
別の表現をすればリスクは大きいけれども楽々とトップ街道を走れるということでもあります。見ることなすこと新しい発見・開拓ばかり、といえは言い過ぎにしても先端を走る者の権利でもあります。しかしこれら探検・概査の段階は過ぎて、一層の効率的な、高度の運用・推進をはかりながら次のステップへの自覚を新たにし、業務のいよいよ本格化するところにきていると思われまふ。そのためには時間とコストとの相関関係も実額も極めて大なる大道具から小道具にいたるハード部門のさらなる改良・開発・充実と同時に、ソフト部門も人材を中心に充実・確保が強く要請される所でありまふ。国際協力への路線固めと相まって正にこれからが正念場であり、名実ともに「センター」機能を充実させていくにはいかに進めていくか、緊急の課題であります。センターにはリース業的要素もあるけれども、単なるリース業では意義が薄い。道具建てを求めて人が集まるよりも正に文字通り、海洋科学・技術のセンター、メッカでありたい。調

査報告の集積のみならず、学術調査研究の高度化、世界レベルへの早期到達とさらには世界を牽引する意気込みをもって邁進するところであります。これらの質的なソフトの中味に魅せられて、国内はおろか世界の学者達が交流・集まってほしいし、また産業界は成果の企業化、技術開発のためにも集まってほしい。地球環境問題が大きな問題となり、国際的な協力態勢になりつつある。現在、経済大国でもある海国日本が必然的にその中心になるべき宿命を帯びているのではないのでしょうか。その意味からも自然に人々が集まり賑わう頭脳集積のセンターへと一段と発展していくであります。

これらをより推進するため、車の両輪の一つとして、もう一つの大事な、世にいう裏方に期待するところも極めて大であります。裏方は良くて当たり前、悪けりゃ散々に言われる宿命を背負っており、損な役回りではありますが当センターのように急膨脹のもとに人材の出入り、受入れ交流が激しい組織にあっては、他との比較が常に働き雰囲気・仕事のしやすさ等、世の知るところともなり、また現実に組織全体の活性度をも規制しかねません。広く裏方にもその質と血の通う度合いが強く要請される場所でもあります。研究の世界も時間との勝負——これが競争原理の一面でもあります。したがって裏方も当然、それと位相があっていなければなりません。ニーズは人一倍多く、陣容は後追いとなり、少数精鋭の苦悩は軽からぬものがあります。

戦後のどん底から今日の繁栄に這い上がった日本人のバイタリティをもって、今こゝに新たに要請されている新たな分野、未知の部分が多い海の世界に今一番奮起邁進すべき場所でもあります。

広く各界関係者の今後とも一層の暖かい御支援と御鞭撻を賜りますよう切に御願い申し上げる次第であります。



陸の温泉・海の温泉



山形大学理学部地球科学科 洒井 均
Hitoshi Sakai

略 歴

昭和 5 年 静岡県清水市に生まれる
昭和 28 年 東京大学理学部化学科卒業
昭和 31 年 同上助手
昭和 37 年 岡山大学温泉研究所転任
昭和 58 年 東京大学海洋研究所転任
岡山大学名誉教授
平成 3 年 山形大学理学部地球科学科教授に転任、現在に到る

1983年に東京大学海洋研究所に移る前の21年間を、私は岡山大学温泉研究所で主として陸の火山と温泉を相手に過ごした。しかし陸上の熱水系でも現在～過去の海水の影響を強く受けているものが非常に多い事を次第に認識するようになった。この間に、日本の銅・亜鉛・鉛鋳床の代表的存在である東北日本の黒鋳床が、日本海の開裂に伴う海底熱水活動によって生じたものであることが一般に受け入れられるようになった。ガラパゴス海嶺における低温熱水と特異な生物群集が発見されたのが1977年、EPR 21°Nにおいて350°Cの熱水を噴出するブラックスモーカーが発見されたのが1979年であった。これらの発見に先立って熱水反応装置による海水と各種火山岩の反応の実験的研究が盛んに行われた。海水を金の容器中で玄武岩や安山岩と反応させ海水の組成がどう変化するか、火山岩はどんな鉱物に変質するかなどの実験的研究を通じて、海水は300°C近くに加熱されると強い酸としての性質を持つようになる等、陸水とは非常に異なった性質を持つ事が明らかになってきた。そうこうするうちに東京大学海洋研究所に移り、実際に海の火山・温泉を

船上からあるいは潜水船から眺める機会に恵まれた。海と陸の火山・温泉の違いは海水の持つ上記の特殊な性質に加えて、海底の高い静水圧に起因するものもある。一方、両者は共通した化学的性質をもっている。硫化水素、二酸化炭素等反応性の高い気体成分はそれらの共通項の代表的なものである。本項では私が遭遇した海と陸の火山・温泉を、両者の特殊性と共通点を縦横の糸として述べてみたい。

1. 火山・温泉の熱エネルギー

まず、海と陸の火山や温泉の熱エネルギーを比較してみよう。表—1に箱根や阿蘇火山など代表的な陸上の火山・温泉が放出する熱エネルギーを中央海嶺のブラックスモーカーなどと比較して示した。表—1 (I)は非活動期における定常的な熱流量を、同 (II)は爆発的な活動によって瞬間的に放出される熱量を示した。EPR 21°Nの値はMacDonald達がアルビン号で観測したものであるが、彼らによるとこのようなブラックスモーカーが800mに12個も視認され、さらにこのよ

表—1 火山・温泉の熱エネルギー

(I) 火山・温泉	10 ¹² Cal/yr	メガワット
イエローストーン	6,700	890
箱根火山	1,000	130
熱海温泉	700	90
阿蘇中岳火口丘	600	80
有馬温泉	30	4
地熱発電所		10~50

ブラックスモーカー EPR 21°N	120	16
伊是名海穴	60	8
マッドパイ バルバトス	20	2.5
(II) 火山爆発	10 ¹² Cal/yr	
タンボラ (インドネシア)	200,000,000	
桜島 (1914)	1,100,000	
浅間火山 (1783)	210,000	
メガプルーム (ファンデフカ)	30,000	

うなブラックスモーカー群が4~5 km 間隔で中軸上に存在するという。したがって1つのブラックスモーカー群から放出される総熱量は、東西南北に3~4 km の広がりを持つ箱根火山からの熱流量に匹敵することになる。一方、阿蘇中岳火口の面積は500 m 四方とすると、これもまたほぼEPR 21°N の1群のブラックスモーカーに匹敵することになる。中部沖縄トラフ伊是名海穴で発見されたブラックスモーカーは、後に述べるように世界で最も浅いブラックスモーカーであるが、その熱エネルギーはEPR 21°N のそれに匹敵する。しかし伊是名海穴熱水域全体の放熱量は後者のそれより1桁くらい小さいであろう。大岳や葛根田のような大型地熱発電所では、数 km 四方の地熱域に分散する何本もの生産井から集められたスチームが、タービンを回し発電を行っている。伊是名海穴のブラックスモーカーは小型であっても、これら大型地熱発電所に匹敵するエネルギーを放出していることは興味がある。

陸上における二酸化炭素や塩分に富んだ冷泉が立派な温泉であると同様に、沈み込み帯において湧出する。“冷水”も立派な海底温泉である。そ

の代表的な例が表—1 (I) の最後に載せたバルバドスのマッドパイである。ルビションらフランスチームが「ノチール」によりカリブ海のバルバドス付加帯で発見したこの海底“泥火山”は、水深4,940 m に径700 m, 高さ20 m のパイ状マウンドを形成し、温度22°C の“冷水”を17 m/yr の湧出速度で海底に湧出している。これから計算した熱流量は伊是名海穴ブラックスモーカーの1/3に達する。興味あることは湧出する“冷水”のナトリウム、塩素、硫酸濃度が、それぞれ250, 250, 0 mM で、海水の値(480, 550, 28 mM)より著しく低いことである。塩濃度の低い冷湧水の存在は他の沈み込み帯でも見つかっており、その成因を巡ってはメタン・クラスレートの関与説を始め各種仮説が出されている。沈み込み帯における水の動きを知る上でその解明が待たれる。

陸上の火山はしばしば大爆発を起こす。このとき瞬時に放出されるエネルギーは表—1 (II) に示したように、非活動期の火山が1年間に放出する熱量に比して2桁以上も大きい。海底の火山も時に大爆発を起こし、通常熱水活動に比してやはり2桁以上大きな熱エネルギーを瞬時に放出し、海水中に巨大なプルーム—メガプルーム—を形成することが分かってきた。メガプルームが最初に発見されたのは南ファン・デ・フカであって、それは径約200 km, 厚さ約700 m の、平均水温が周囲のそれより0.002 °C 高い水塊よりなっていた。約3カ月後に研究船が同海域に戻り観測したところ、このプルームが消滅していた事やプルーム中のメタン/マンガン比が通常のプルームのそれに比して著しく大きいことなどから、これが爆発にともなうメガプルームであることが結論された。その後の同海域における観測によるメガプルームは年数回の頻度で出現するらしい。メガプルームと考えられるものはその後、中央海嶺のみでなく STARMER 計画によって北フィジー海盆でも発見されている。メガプルー

ムと通常のプルームを区別するクライテリアとしては、後者では水-岩石の相互作用により岩石中のヘリウムやマンガンが熱水相に抽出されメタン/マンガン比が小さくなるのに対し、前者では水-岩石反応の時間が短くマンガンが効果的に抽出されず同比が大きくなることが挙げられている。東太平洋海膨のメガプルームが赤道域の表面海水温度にまで影響を及ぼし、エルニーニョの原因となっているという説もある。

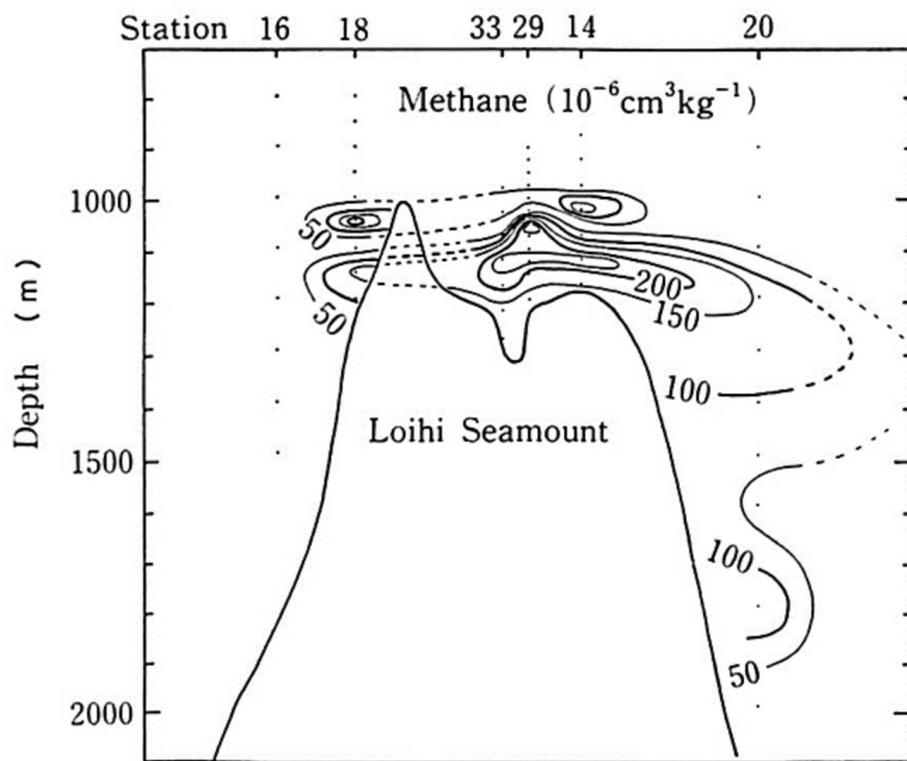
2. 温泉を探す—ロイヒ海山からマヌス海盆—

東北日本の多くの町や村が、故郷創生資金を温泉探しに空しく投じた話を聞くと、陸上における温泉探しは難しいという印象を受ける。だが、地熱発電の対象となるような大規模な地熱資源ともなれば、陸上においては通常地表における地熱兆候が顕著であり、温泉探しというよりはむしろ地熱貯留層の評価が調査の対象となる。一方、深海底の温泉探しとなると、私が海洋研究所に転任した当時の日本では大変困難な事業であった。当時続々と発表される中央海嶺熱水域の報告を読むと、Angusなどの呼び名をつけられたサイドスキャンソナーやカメラを備えた深海曳航体によって、中軸谷が極めて視覚的に探査され熱水ベントの存在が認識されていく過程が生き生きと描かれていた。海洋研究所でもこのようなことが出来る日がくるかどうか、当時の私には予想がつかなかった。

海底火山・熱水系は、通常海水中に微量元素としてしか含まれない鉄・マンガンなどの重金属やメタン、ヘリウムなどの揮発性成分を多量に海中に放出し、いわゆる熱水プルームを形成する。したがってこれらの熱水成分を化学的に追跡することによって、熱水ベントを発見することができる。なかでもメタンは海水中での寿命が比較的長く、船上での迅速分析も可能でありこの目的には最も

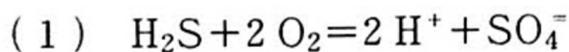
適した成分である。メタンによる熱水探しを西部北太平洋の背弧海盆に初めて応用したのは、1982年の白鳳丸航海における堀部純男—Kimのグループである。彼らは北緯18°10′から16′のマリアトラフ背弧拡大軸において、海底上700 mにメタンプルームの存在を発見し、この近くに熱水ベントが存在することを予測した。これを1つの契機として同海域の地質調査、精密地形地図の作成などがアメリカ側によって進められ熱水ベントの存在がますます強く予測された。1987年潜水船「アルビン号」による潜航調査によって、同海底で320°Cの熱水を噴出する“クリヤースモーカー”の発見など多くの成果がもたらされた。この調査には日本側研究者も多数参加し、日本における潜水船を利用した海底熱水調査の口火を切ることとなった。

私も海洋研究所に移って2年目の1985年、この方法をハワイのロイヒ海山で熱水探しに応用するチャンスに恵まれた。ロイヒ海山はキラウエア火山から約40 km南東の海底に成長しつつある、ハワイ火山列でも最も新しい火山である。山頂は水面下1,000~1,200 mにあり、カルデラ状凹地とその中にある2つの爆裂火口によって特徴づけられている。我々は通常の海水サンプリング用のCTD-RMSを海底直上を曳航して温度異常の有無を探査したり、各層採水を行って船上で直ちにメタンの分析を行うなど熱水活動の検出を試みた。結果的にみてCTDによる温度異常の探査は時間がかかる割には成果が限られていたが、メタンによるプルーム探査は大成功であった。図—1はカルデラ直上の海水中におけるメタン異常の分布を示したものである。通常の深層海水中のメタン濃度5 ug/kgを1桁以上上回るプルームが、2層に分かれて分布していることが分るであろう。桜島など陸上の火山が噴煙をたなびかせると同じように、海底火山もプルームをたなびかせているわけである。

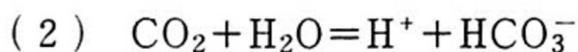


図一1 メタンプルームに覆われたロイヒ海山山頂（原図は蒲生俊敬による）。数字はメタン濃度（ 10^{-9} リットル/kg）。上下2層のプルームが存在することに注意。

ロイヒ海山プルームの特徴の1つは顕著な負のpH異常を示すことである。これは水素イオン（ H^+ ）濃度を高める成分がロイヒ海山山頂より放出されていることを意味する。このような成分として2つのものが考えられる。第1は硫化水素の酸化によって生じる硫酸である：



第2は二酸化炭素である：



いろいろな理由からロイヒ海山プルームの負のpH異常は、後者によって引き起こされたものと解釈される。さらにプルーム中のヘリウム、マンガン、鉄などの存在量やヘリウム同位体比などから次のような興味ある結論が得られた。

- ① ロイヒ海山の2層のプルームは化学的に異なる性質を有し、したがってその山頂には化学的に異なった熱水を湧出する2種類のベントが存在する。
- ② 熱流量でノーマライズした二酸化炭素とヘリウムのフラックスは、ロイヒ海山のほうが中央海嶺より2桁近く大きい。

船上から採取した深層海水中のプルームから得

られたこれらの情報は、ホットスポットの火山と中央海嶺型火山の違いを如実に表しており、その後ハワイ大学のパイシス型潜水船による調査でも確かめられている。例えば同潜水船によって得られた海水で既に薄められた熱水でも二酸化炭素を1リットル中に340ccも含み、船上ではシャンペンのごとく発泡したという。ハワイ大学のD. カールは、もとの熱水中の二酸化炭素濃度を300 mMol/kg、約6.6リットル/kgと推定している。

そうこうするうちに、日本においてもマルチ・ナロービーム・エコーサウンダー（シービーム・マッピング）による精密海底地形図の作成や、深海ビデオ付き深海曳航体による海底の直接観察など、海底熱水系の探査に必要な近代機器の導入が進んだ。地質調査所が中心となって進めた海底鉱物資源調査や、海洋科学技術センターによる「しんかい2000」の建造と運航がこれに拍車をかけた。表一2は、現在最も標準的と考えられる海底熱水系探査のスキームである。シービーム・マッピングは音波で海底を撫で回し精密地形図を作成する。地形的に怪しいところを選んで海水を採取し、メタン、マンガンなどを迅速に分析して熱水プルームの分布を嗅ぎ分ける。深海ビデオによる海底の観察やドレッジによる海底試料の採取によって熱水系の存在は確固たるものとなり、最後の舞台が潜水船に用意される。海洋研究所においても、1989年の「新白鳳丸」の就航とともにシービームによる精密海底地形図の作成、トランスポンダー航法による精密位置決定などが可能となった。さらに立体カラービデオ・立体カラースチルカメラ・温度・圧力・塩分センサー、採水筒を備えた深海曳航体 DESMOS (Deep Sea Multi-Monitoring System) が1990年に誕生した。この結果、私は海洋研究所における最後の航海である KH 90-3 航海の Leg 2 において、ビスマルク海・東部マヌス海盆の熱水探査を、現状で望み得る最高の仲間と装置で行うことが出来た。

表一2 海底熱水系の探査スキーム

1. 触る シービームマッピング
2. 嗅ぐ 化学トレーサ
メタン, マンガン, アルミニウム, ヘリウム
3. 観る 深海ビデオ, カメラ
4. 採る ドレッジ

(位置: 衛星航法+トランスポンダー航法)

マヌス海盆は、太平洋プレートとオーストラリアプレートの東西に延びる境界域にある背弧海盆の1つである。既に1970年代には、B. テイラーらによって活動的なリフト系の存在が予測され、1986年にはボス等が、海底スチルカメラによって巻貝群集をともなった硫化物チムニーが活動を停止し海底に横たわる姿を撮影した。1988年には東隣のウッドラーク海盆においてソ連邦潜水船ミールが活動的な熱水域を発見し、1990年6月、KH 90-3の直前にはドイツ調査船「ゾネ」が、中部マヌス海盆の前記チムニー域において実際に活動中のチムニー群を発見するとともに、ミールによる潜航調査もほぼ同時に成功裡に行われた。我々の興味は東部マヌス海盆にあった。ここでは玄武岩から石英安山岩にいたるバイモダルな火山活動が記録されている。後で述べる沖縄トラフ熱水域との対比に興味があった。我々はまずB. テイラーがシーマークIIのイメージから作成した海底地形図を基に作戦を練り、まず3日間を主としてシービーム・マッピングに費やし海底地形図を作成した。図一2は、このようにして得られた調査海域の地形図上にプロットした各種ステーションである。採水ステーションは丸で囲んである。

多くの採水ステーションにおいては500m以深でほぼ100mおきの各層採水が行われ、メタン、マンガン、アルミニウムが船上で分析された。このとき活躍したメタン分析計はロイヒ海山で活躍した石橋純一郎の装置を名古屋大学院生の杉浦宏が改造したもので、採水後約2時間で15本の試料を分析した。マンガン分析計もやはりロイヒ海山の調査に参加した京都大学機器分析センター

の中山英一郎が、船上で使えるマンガン分析装置が欲しいという私の希望を入れて設計考案したもので、既に1987年の中部沖縄トラフの熱水調査でテスト済みのものである。1ステーションの分析所要時間は3~5時間であった。アルミニウムの分析は電力中央研究所の下島公紀と広島大学の竹内和久が行った。アルミニウムは酸性条件下の海水と火山岩の反応では、溶液中に必ず出てくることが予想される。しかし熱水が海水と混合すればマンガンよりも速く沈澱してしまうであろうから、ベントの極近傍でしか検出されないであろうし、またバックグラウンドレベルを引き下げ分析の感度を高める必要がある。このため彼らは「新白鳳丸」のクリーンルームを活用し、熱水プルーム探査法として新しい手法を提示することに成功した。クリーンルームを内蔵した「新白鳳丸」ならではの成果である。

東西約100km南北約45kmの探査海域の海底は、ほぼN45Eに走るいくつかのリッジとリッジ間を結ぶ小火山群から成っている(図一2)。図一3は、この海底を東西に並ぶ8測点におけるメタン、マンガン、アルミニウムの鉛直分布を基に描いた3成分の2次元分布を示したものである。メタンとマンガンのプルームが、測点36と37を中心として1,100mと1,750mの2層に分かれて存在するが、アルミニウムのプルームは測点36の深層にしか存在しない。メタンの浅層プルームを差し置くとマンガン、アルミニウムプルームは、測点36が熱水ベントに極めて近いことを示している。シービームマップでこの点の地形を観察すると、中部沖縄トラフで熱水の発見された伊是名海穴の3分の1程度の大きさの、しかし形状のよく似た凹部(海穴)が存在することが分かった。これは臭いぞという大方の意見で、さっそくDESMOSがこの海穴(以後DESMOS海穴)に降下曳航された(写真一4)。図一4は、同海穴の5万分の1地形図に直接XYプロッター

KH90-3 EAST MANUS BASIN

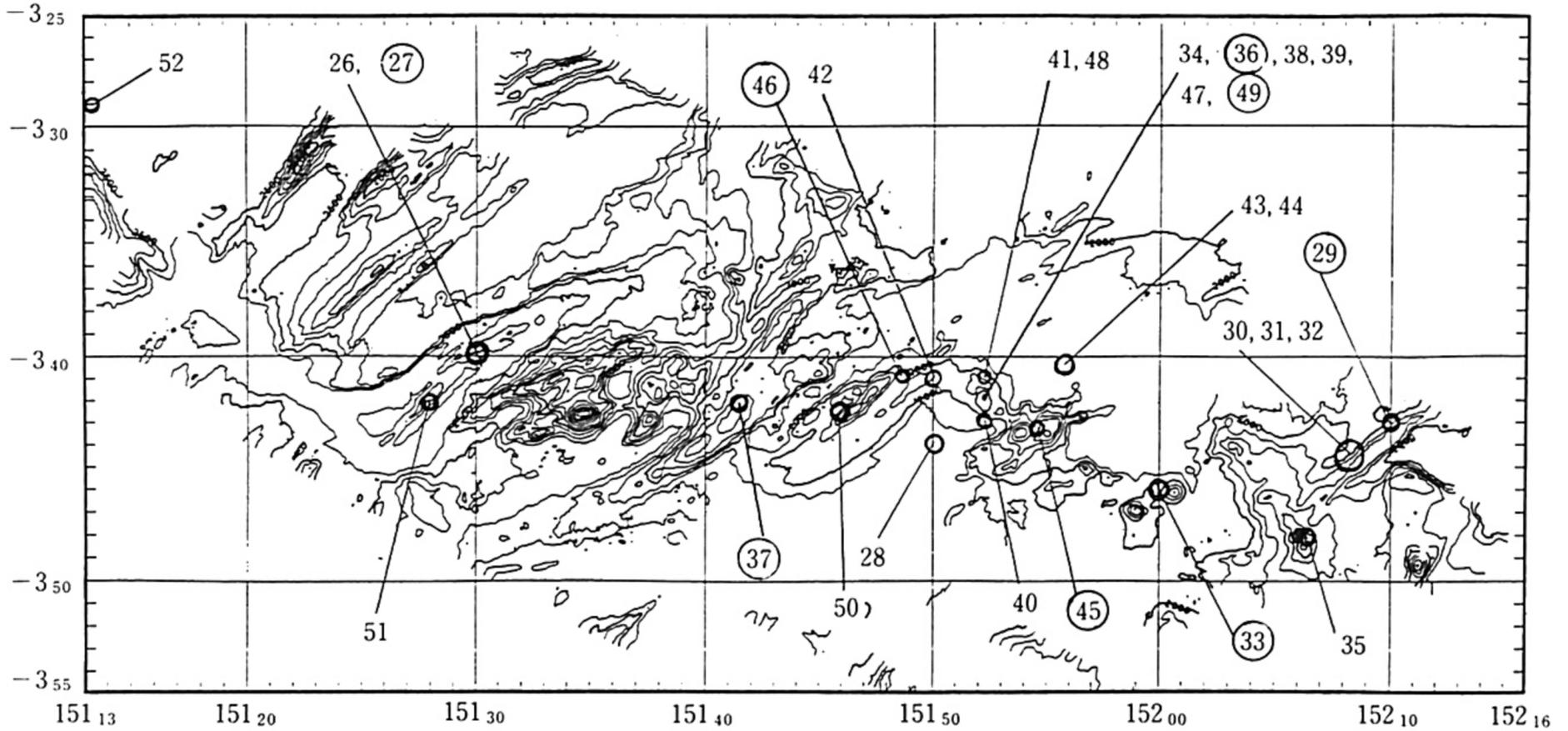


図-2 東部マヌス海盆(パプア・ニューギニア国ラバウル沖)の精密地形図と KH 90-3 航海のステーション位置。採水ステーションは丸で囲んである。

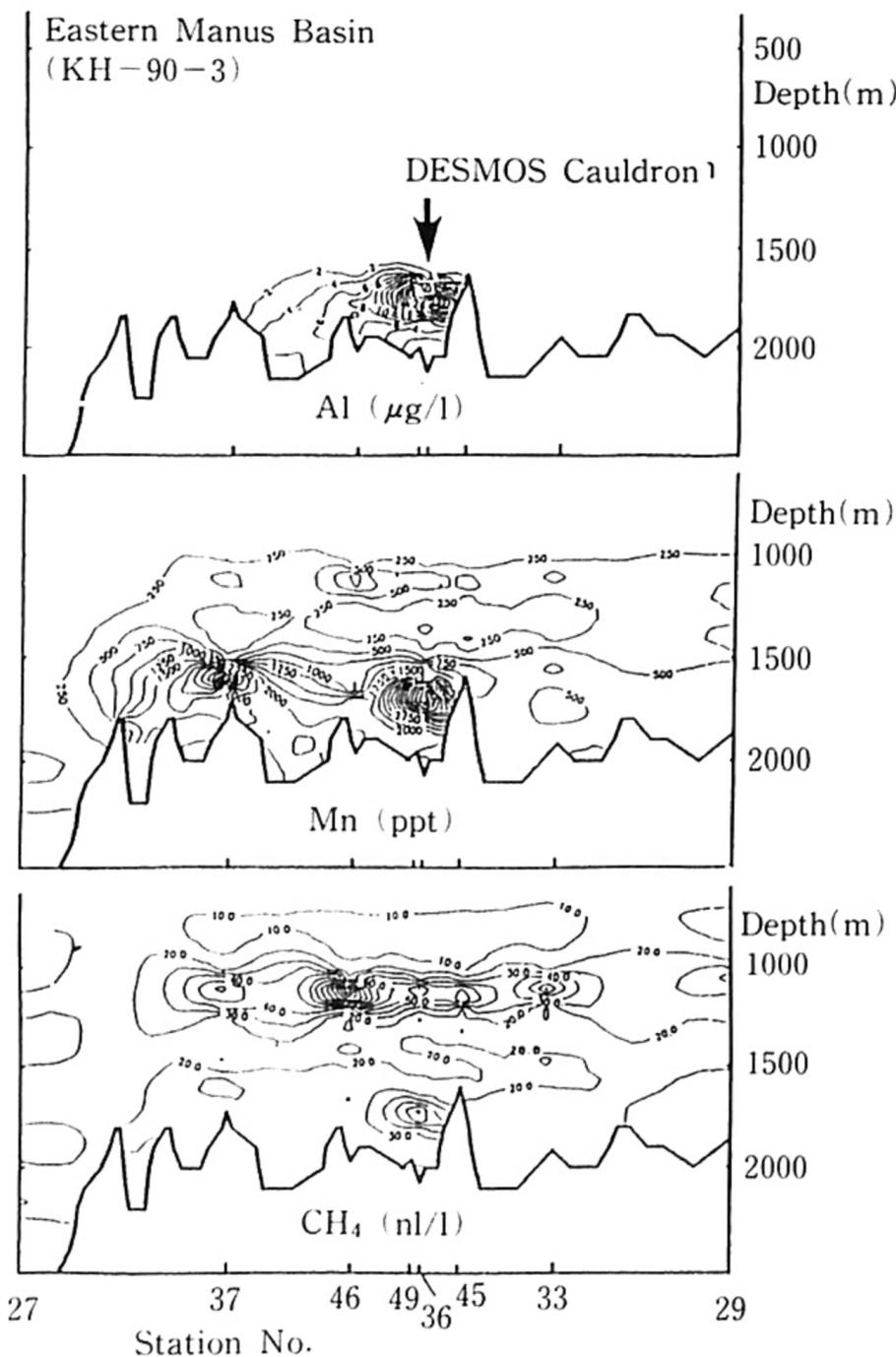
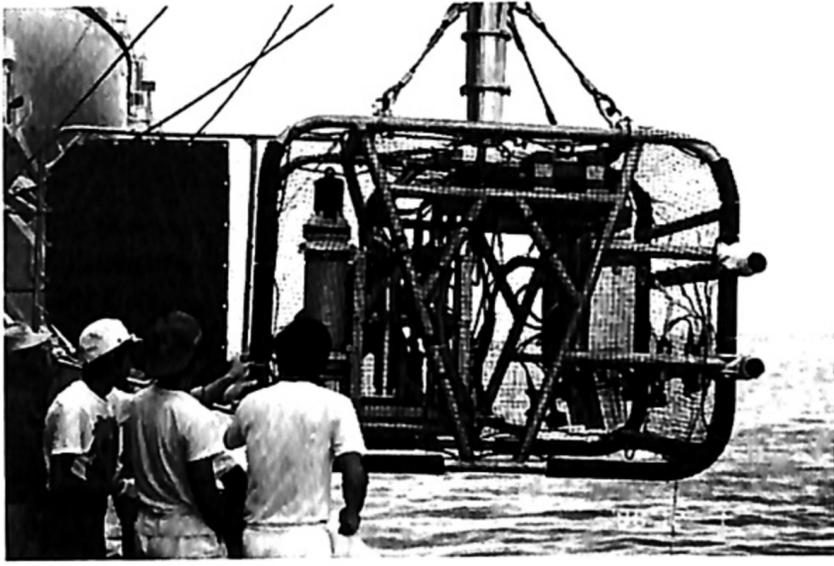


図-3 東部マヌス海盆で発見されたアルミニウム、マンガン、メタンのプルーム。白鳳丸 KH-90-3 航海による。横軸のステーション番号は図-2 のそれに対応。

により記録された DESMOS の航跡である。この地形図は DESMOS 降下直前の同海域の航走時に得られたデータを基に作られたもので、DESMOS 降下中に玉木賢策、押田 忍によってコントロールルームに届けられた。DESMOS の位置を正確に知るためにはまず「白鳳丸」の位置を衛星航法によって正確に求め(これはシービームによって求めた地形図の緯度経度と共通の座標を持つ)、ついで船に対する DESMOS の位置をトランスポンダー航法によって求める。「新白鳳丸」はこのための音響送受信器を船底に装備している。KH 90-3 では時間を節約するため海底にトランスポンダーを置くことをせず、「白鳳丸」の船底にある受信機による SSBL (スーパーショートベースライン) トランスポンダー航法によって DESMOS の位置を求めた。

DESMOS 海穴に曳航体が入ると暫くして期待どおり変色帯が現れ、観察者の口から喚声が上がりはじめた。実はそれまでに 3 回 DESMOS を降ろし 3 回とも泥に覆われたリッジに皆失望していたところであった。DESMOS が海穴の北の壁に接近するにつれ、ついに確実に熱水ベントと思わ



写真一1 1990年夏東部マヌス海盆の熱水探査で活躍する深海曳航体「DESMOS」。立体カラービデオによる映像、温度、圧力、塩分データをリアルタイムでモニターするほかカラーズチル写真、1.2リットル採水器6本を備える。東京大学海洋研究所所属

れるマウンドが現れた。シロウリガイとシンカイコシオリエビ、それにチューブワームが群がっている様は中部沖繩トラフ熱水域とよく似ている。コントロールルームの観察者、特に DESMOS の設計・製作・調整にかかわった太田 秀、渡辺正晴、蒲生俊敬らの興奮は大きかった。2回目の探索では 0.26°C に達する温度異常が記録された。蒲生が温度を読み上げる弾んだ声がまだ耳に残っている。ドレッジによる海底試料の採取も、石井輝秋の指揮下、ドレッジの上部 100 m にトランスポンダーを装着し地形図上に位置をプロットしながら実行した。既に DESMOS がビデオで観察した白色に変質した火山岩や、数 cm の厚さの急冷ガラス縁を持った新鮮な火山岩はもちろんのこと、チューブワーム 1 体を含む生物試料若干を採取する事にも成功した。

3. 火山と噴気活動—温泉水の沸騰—

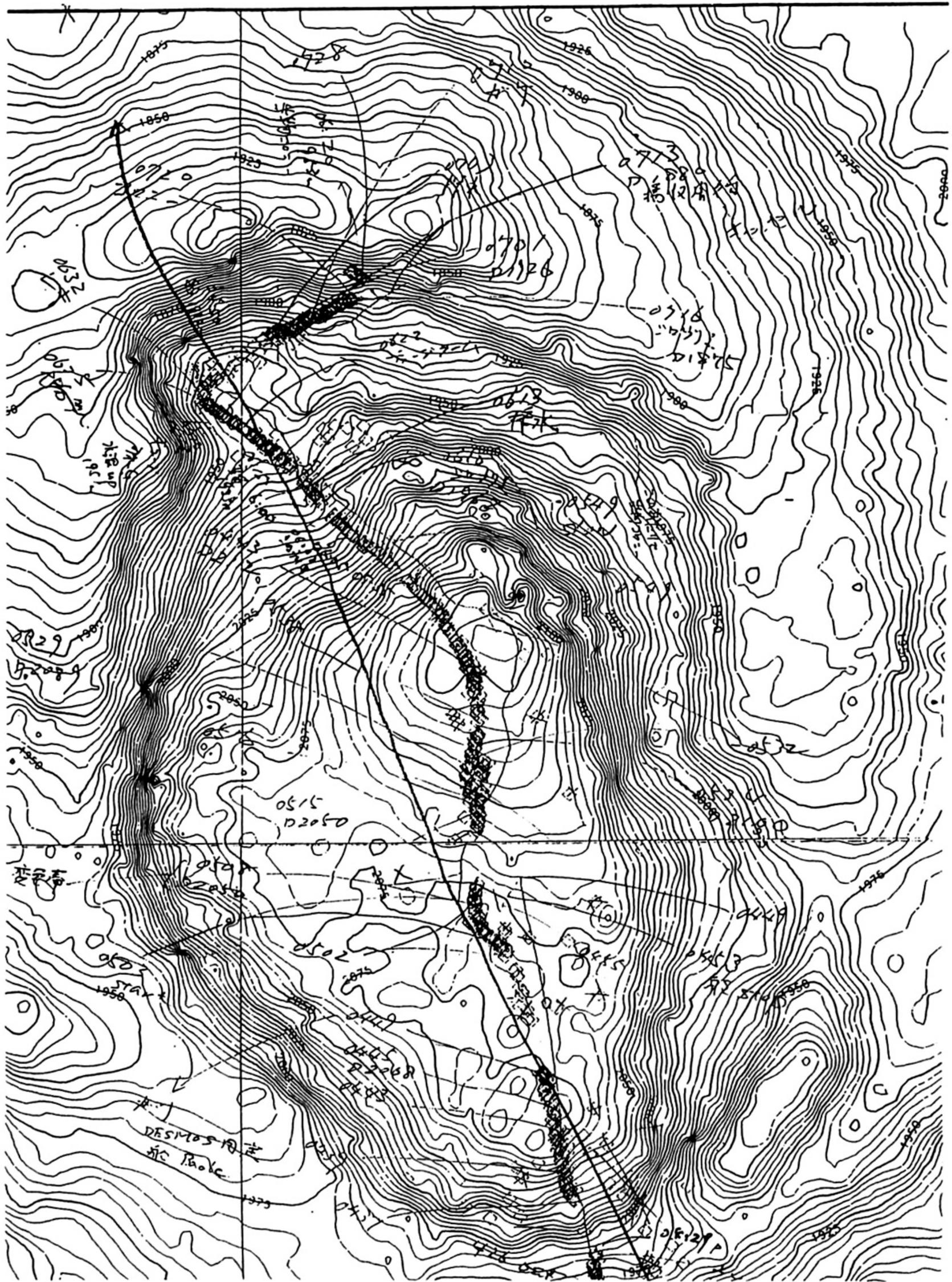
陸上の火山には噴気帯と温泉がつきものである。現在噴気活動の見られない火山でも良く観察すれば白色に変質した火山岩の露頭があり、過去に噴気活動が盛んであった証拠を見つけることが

できる。噴気帯は多くの場合火山の頂部あるいはそれに近い山腹にあり、温泉は噴気帯より低部に湧出する。温泉の化学組成は多様に変化する。しかし、火山性温泉の代表は硫酸酸性泉と中性食塩泉であろう。

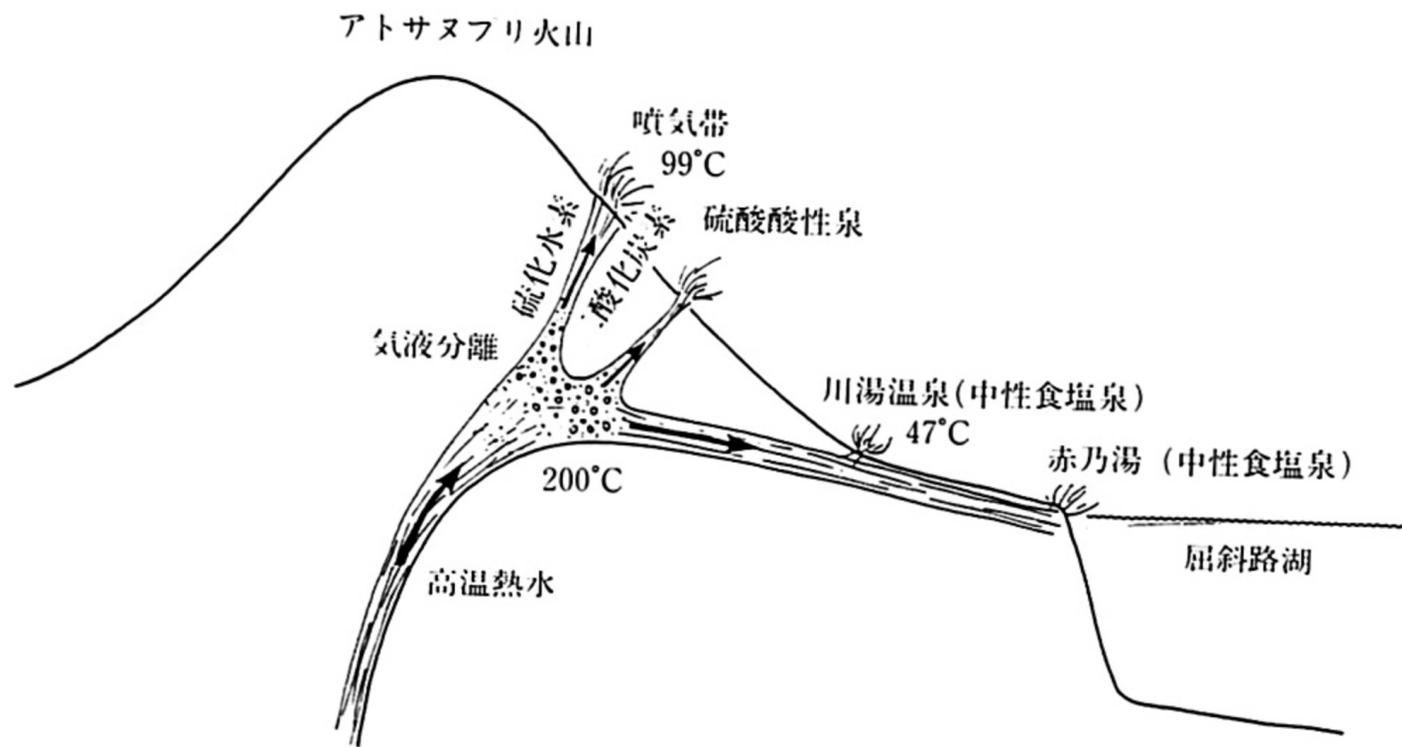
前者は pH が 2 で多くの場合噴気帯の直下あるいは噴気帯の中に湧出する。これに対し中性食塩泉は火山の山麓などに多く湧出し、食塩・硫酸塩等多様な陽陰イオンの組合せを示す。

写真一2 は、北海道アトサヌプリ火山噴気帯から遠く川湯温泉を望んだものである。噴気孔温度は最高 99°C でほぼこの高度での水の沸点に近い。これに対し川湯温泉では 47°C の中性食塩泉が湧出し、さらに近くの屈斜呂湖畔にも同じような食塩泉がいくつか存在する。このような噴気帯—硫酸酸性泉—中性泉のゾーニングは多くの火山でみられることである。陸上の火山地熱帯では地下深部から上昇した熱水が地表に近づくと、圧力の低下により沸騰を始める。このとき熱水中の硫化水素・二酸化炭素などの気体成分は、相当部分が気相中に移行し水蒸気とともに火山噴気として地表に達する。沸騰の起こる深さは熱水の温度や地層の透水率などによって異なる。アトサヌプリ火山の場合、色々な地球化学的証拠から図—5 に示したように、地下の沸騰温度は約 220°C と考えられる。硫化水素を含んだスチームは、地表に近づくとともに地下水によって冷却されたりして再び凝集する。このとき硫化水素は空気中の酸素によって酸化され硫酸や元素状イオウに変化する。硫酸酸性泉の誕生である。なお硫酸酸性泉にはこの他に、より深いところで二酸化硫黄の不均化反応によって生成するものがある。これについては温泉と硫黄の項で述べる。

一方、地下に残された液相には各種の塩が濃縮される。これも上昇とともに地下水によって希釈、酸化され、やがて山麓において中性泉として湧出する。中性泉の水理は地下水層によって規制され



図一4 DESMOS 海穴地形図 (1/5 万) 上にプロット
された白鳳丸と DESMOS の航跡



図—5 アトサヌプリ火山における熱水の気液分離模式図

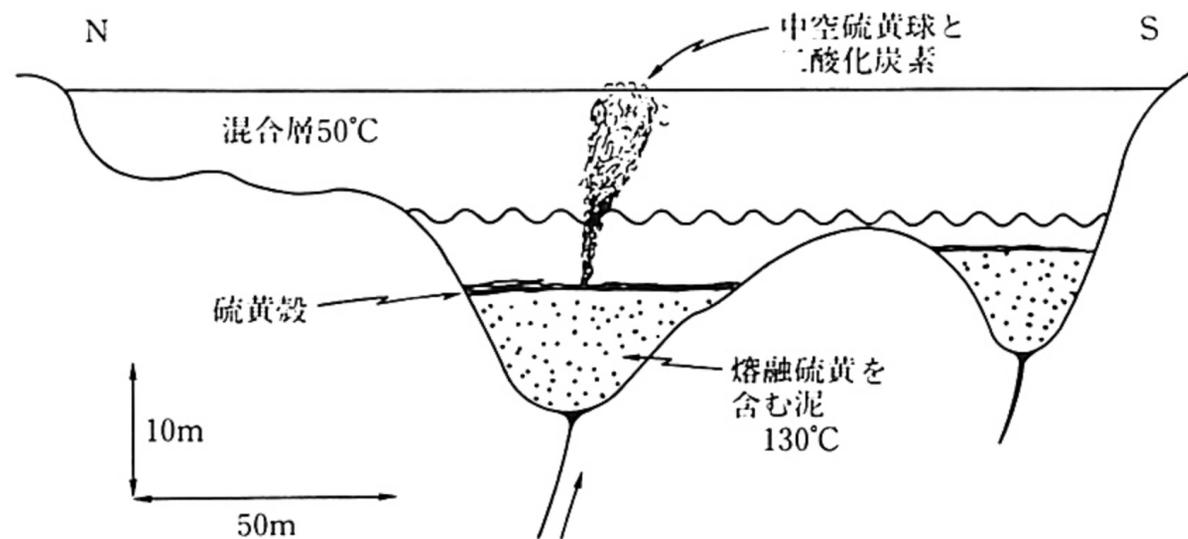


写真—2 北海道アトサヌプリ火山噴気帯より川湯温泉を望む。

ており、下水層の頭は谷間にある。箱根では昔から、“富士の見えるところに温泉はない”と言われている。温泉を探した昔の人の知恵であろう。

八幡平の御所掛地熱帯の遊歩道を歩くと、湯気を吐きながら硫酸酸性の熱水を溢出する径数 m ～数 10 m の池が次々と現れる。これらの硫酸プールも、気液分離によって生じた硫化水素を含むスチームが、地表の爆裂口に溜まり形成されたものである。このような酸性温泉プールは各地の火山地帯で見られる。図—6 は、登別火山の大湯

沼爆裂火口内の熱水プール（以下大湯沼と呼ぶ）の断面図である。大湯沼は南北 200 m、東西 80 m の細長い池で、池底には最大水深 25 m に達する幾つかの摺り鉢状の穴があって、穴の底には熔融硫黄を含む泥が溜まり、その上を約 50°C の均質に混合した熱水が南に向けてゆっくり流れている。泥の温度は約 120°C で上部の混合層とはシャープな温度躍層で区切られている。池底から 130°C 位の熱水が湧出していると考えられる。1975 年夏、室住正世の協力で大湯沼にボートを浮かべ、ナンセンの転倒式採水器を用いて 120°C の熱水の採取を試みた。採水筒をワイヤーで降下させると池底で堅いものに当たるが、何度かこれを繰り返している内にスルリと深みに落とすことが出来た。メッセンジャーを落下させ揚収すると、ナンセン採水筒は無残にも真っ黒な硫黄の塊に包み込まれて上がってきた。(写真—3)。採水器の蓋をこじ開けると、驚いた事に内部は同じ真っ黒い硫黄で満たされ、わずかに中心に鉛筆くらいの太さの穴があり、その中に NaCl 濃度の高い熱水が満たされていた。このような状況から池の底は、図—6 に描いたような硫黄殻とその下の熔融イオウからできていると想像された。この硫黄殻をナンセン式採水筒が突き破り、熔融硫黄中で転倒閉



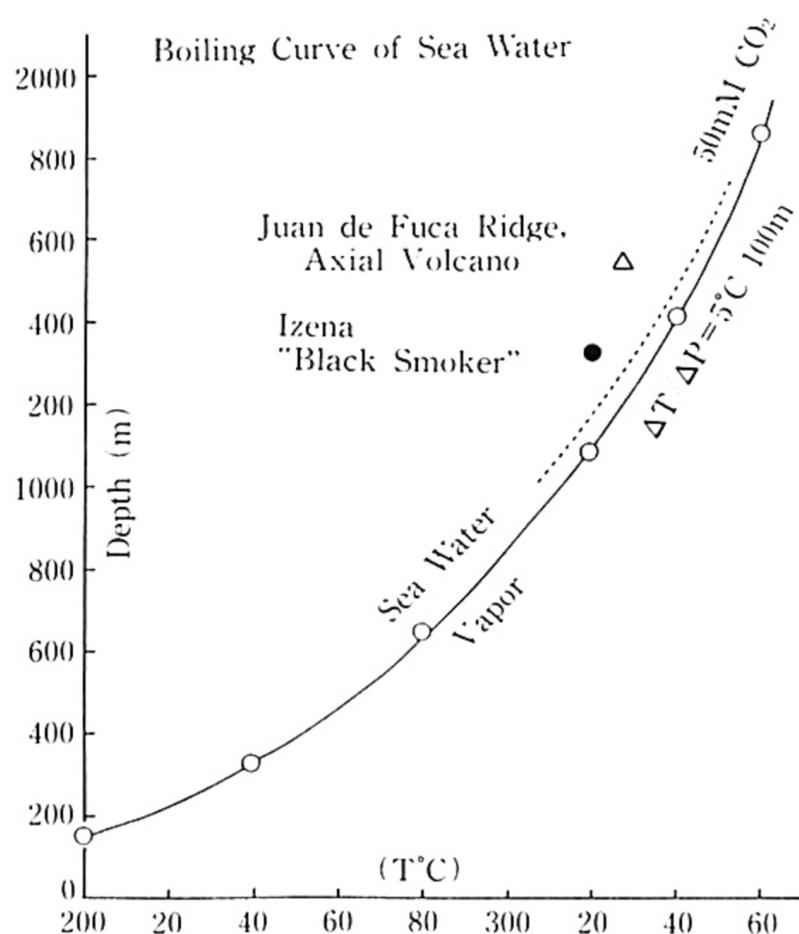
図一六 登別温泉大湯沼の模式断面図 湖底部の熔融硫黄と硫黄殻については本文説明参照



写真一三 ナンセン採水器にて熔融イオウを採取する。1975年夏登別温泉大湯沼にて

蓋したものと考えられる。私にとってナンセン式採水器との最初で最後の出会いであった。

地上の温泉が100°C以上の温度を持ち得ないのに対し、深海底の温泉は数100気圧の静水圧下にあるため、100°Cよりはるかに高温の熱水が沸騰することなしに海底に湧出する。中央海嶺や伊是名海穴の300°C以上の熱水を噴出するブラックスモーカーがそのよい例である。それでは海底温泉では沸騰による気液分離はあり得ないのであろうか？ 図一七は、海水と同じイオン強度を有する食塩水の沸点と圧力の関係を示したものである。この図を見ると水深160mで200°Cであっ



図一七 海水の沸点と圧力の関係。点線は海水に50mmol/Kgの二酸化炭素を溶解したときの沸点降下を示す。

た沸点が、2,000mでは360°C以上に上昇することが分かる。水深100m(10気圧)ごとに5°Cの沸点上昇である。図一七には、またファン・デ・フカ海嶺のAxial Volcanoと、沖縄トラフ伊是名海穴の熱水の温度と水深が示されている。前者は後者が発見されるまでは、300°C以上の熱水ベントでは世界で最も浅い海底に噴出するものであったが、今や伊是名海穴のブラックスモーカーにその位置を奪われてしまった。中央海嶺のブラックスモーカーの水深は一般に約2,500m位

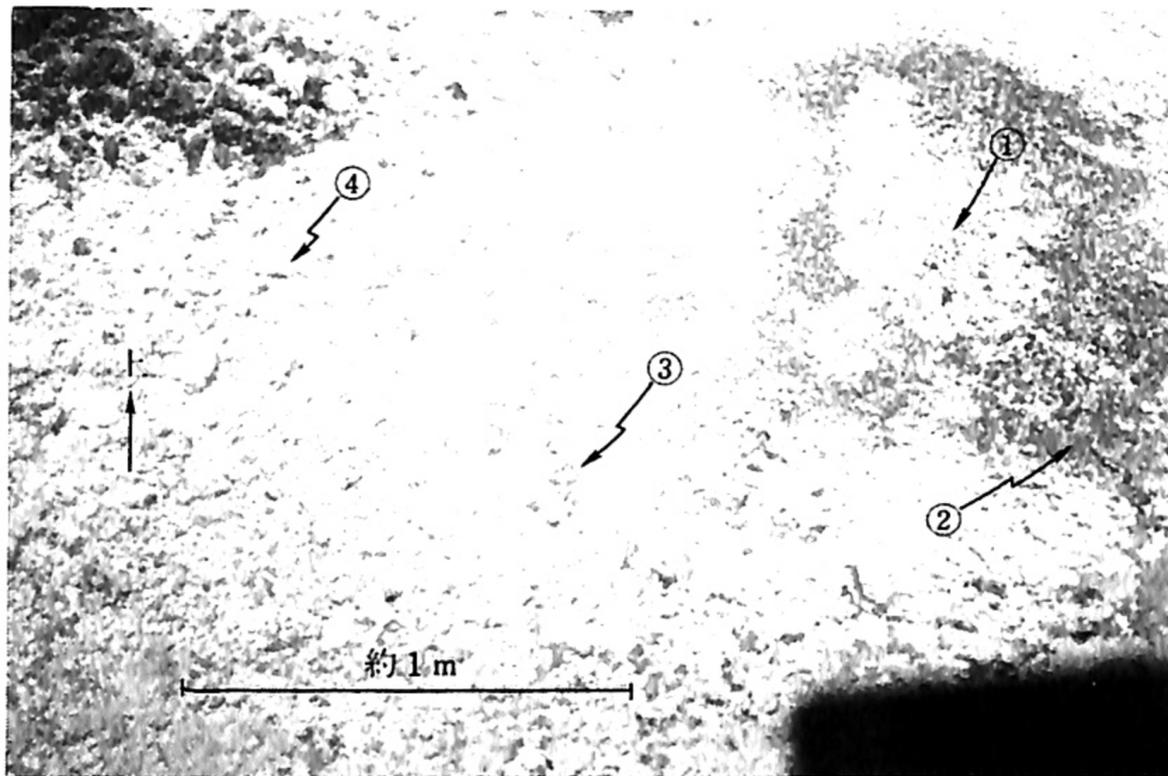
にあるからこの図では遙かに上に位置する。図一7を見ると伊是名海穴でも Axial Volcano でも熱水の温度は、その水深の沸点よりわずか 10 から 20°C 低いのに過ぎないことに気付くであろう。さらに注意して欲しいのは、熱水中に二酸化炭素のような気体が溶解しているとその沸点が降下することである。図一7には1例として、二酸化炭素が 50 mMol (1 気圧 0°C で約 1 リットル)/kg 溶解したときの沸点を点線で示してある。伊是名海穴のブラックスモーカーには後に述べるように 200 mMol/kg もの二酸化炭素が溶解している。伊是名海穴の熱水は何時沸騰しても不思議ではない。気液分離が海底下で起こり、両相がそれぞれ分離したまま海水によって著しく希釈される前に海底に湧出すれば、気体成分に富み塩濃度の薄い熱水と、逆に気体成分に乏しく塩濃度の高い 2 種類の熱水が見つかることになる。実際にこのような熱水がさきに述べた Axial Volcano や北フィジー海盆で発見されている。

しかし中央海嶺の熱水系は平均 2,500 m の海底にあり 400°C 以上にならないと沸騰しない。Axial Volcano を除くと気液分離の証拠は挙がっていない。中央海嶺熱水系はリフト系の断層沿いに侵入した海水がマグマ溜まりの頂部まで達し、チムニー状のシャープな温度勾配に沿って一気に海底面に噴出し、ブラックスモーカーを作ると考えられている。熱水は海底面あるいはその直下で初めて海水と接触し、混合、酸化、希釈などによって硫化物はじめ各種の熱水鉱物を沈澱する。したがって熱水や沈澱物の分析から、我々は海底下深部のマグマやマグマと海水の反応に関する有益な情報を得ることが出来る。

4. 温泉と硫黄

陸の温泉では、先に述べたように地表に達する前に沸騰が起こり硫化水素や二酸化炭素が水蒸気

相に失われ、各種沈澱や変質反応が起こってしまう。したがって陸の温泉水がもたらす地下深部の情報量は海底温泉のそれに比べ、量的にも質的にも貧弱であることは否めない。しかし、陸の火山噴気には地下のマグマから直接地表まで噴出して来るものがある。南九州の薩摩硫黄島の硫黄岳の噴気孔群がそのよい例である。薩摩硫黄島は枕崎の南約 40 km の海上にあり、ほとんどが海中に没した巨大カルデラー鬼界カルデラーの 2 つの中央火口丘、硫黄岳と稲村岳、とカルデラ壁の 1 部から成り、かつて、平家打倒の陰謀破れた僧俊寛が流された鬼界島がこれであるといわれている。海拔 700 m の硫黄岳山頂には、120~800°C 以上の噴気孔多数を持つ爆裂火口が存在する。高温噴気ガスは弗化水素、塩化水素、二酸化硫黄に富み特殊なガスマスクを着用してガスの採取を行う。ガスは白色に変質した安山岩質削砕岩表面の径約 1 cm の噴気孔から勢いよく噴出している。噴気帯には火山ガスによって運ばれた重金属や硫黄が、噴気孔を中心として次のような興味ある同心円状の帯状構造をなし沈澱配列している(写真一4)。まず噴気孔から数 10 cm 以内は白色であるが、その外側に幅数 cm のドーナツ状の青色沈澱物が存在する。吉田 稔によると、これはモリブデン・ブルーによるもので生成温度は約 500°C である。その外側へさらに数 10 cm 遠ざかると溶融硫黄が赤紫色のパンケーキ状に出現する。あるものは風に吹かれ斜面を流れ落ちながら黄色のビスケットに変身してしまう。噴気孔からここまで 1 m 前後である。このような噴気帯が爆裂火口内の各所にみられる。硫黄の沸点と融点はそれぞれ 400°C, 120°C であるから噴気孔周辺の温度勾配が推定できる。硫黄ビスケットの外側には厚さ 20~30 cm の硫黄殻が地表を覆っている。おそらく噴気孔が時によって移動し、低温部と高温部が入れ替わるのであろう。その証拠に硫黄殻を掘り起こすと下からモリブデンの硫化物が見つかる。



写真—4 薩摩硫黄島硫黄岳の噴気孔 (1974年夏)。

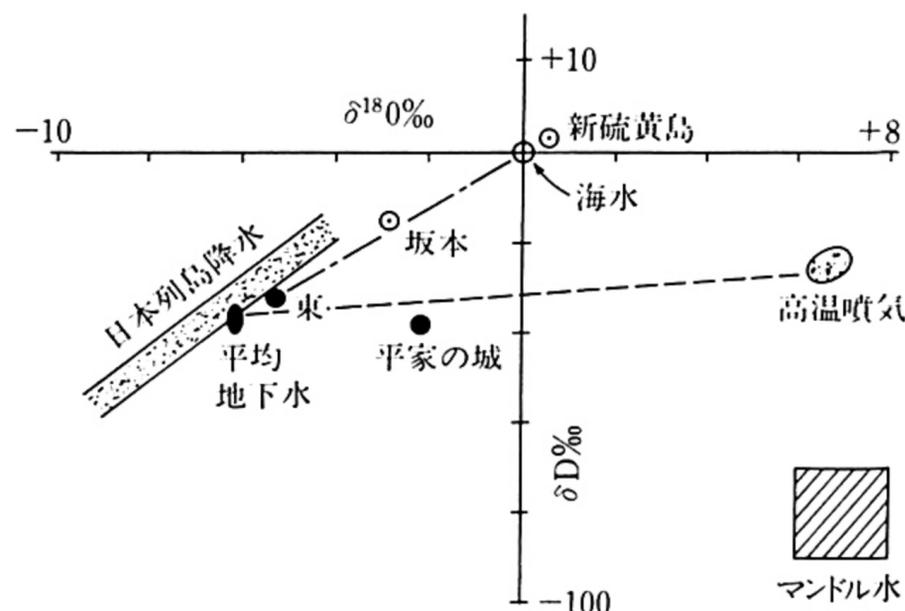
1: 830°Cの噴気孔; 2: モリブデン・ブルー; 3: 溶融硫黄; 4: ビスケット状に固化した硫黄。

ることがある。

この高温噴気ガスの水蒸気の酸素・水素同位体比を、日本の平均降水、海水、さらにマントル水などと比較したのが図—8である。ここで言うマントル水とは、中央海嶺、アイスランドの玄武岩や世界の超塩基性岩などから抽出された水の事を意味する。

硫黄岳の高温水蒸気は、酸素同位体比からマグマ起源であることは明らかであるが、水素同位体比はマントル水よりずっと重い。このように重水素を濃縮した水は島弧型マグマに一般的に含まれると考えられている。重水素を濃縮する理由としては、海洋底地殻の沈み込みに伴って絞り出される間隙水や結合水の関与が考えられている。高温水蒸気に含まれるモリブデンなどの重金属は、塩化物、弗化物などとしてマグマから地表へ直接移送されたものであろう。このような高温火山噴気は、海底におけるブラック・スモーカーと同様マントルや地殻深部の情報源として貴重な研究材料である。

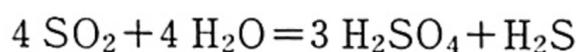
火山における水の挙動を規制する基本的な要素は、先にも述べた水の沸点と圧力の関係である。



図—8 薩摩硫黄島硫黄岳火口から噴出する高温(500°C以上)スチームの酸素・水素同位体比。同位体比は標準平均海水に対する同位体比の千分率偏差(パーミル)で示した。白丸、黒丸はそれぞれ硫酸酸性泉と中性炭酸鉄泉を示す。平均地下水は硫黄島長浜村地下水の年間平均値。硫酸酸性泉は高温噴気と平均地下水の混合線上に、中性泉は海水と平均地下水との混合線上にあることに注意。その他本文参照。

硫黄島のような火山の内部では、マグマから地表に達する高温ベントの近傍では水は気体ないしフルードとしてしか存在しないであろうがベントから遠ざかるにつれて温度が下がり、液体として水が存在し得る温度圧力領域に入るのであろう。気

体乃至フルードと液体の境界面の温度は、深部では水の臨界温度に一致する。マグマからの火山ガスは高温ガスとしてそのまま大気中に放出されるものもあるが、相当部分は割れ目を通して低温域に入り凝集液化し、温泉水として山腹あるいは海水中に湧出する。表一2に示したように火山ガス中には多量の酸性ガスが含まれる。特に二酸化硫黄は高温気体中では安定であるが、液体の水に溶けると不均化反応によって硫酸と硫化水素に変換される：



こうして生じた硫酸酸性の熱水は、先に述べた硫化水素の酸化によって地表でできる硫酸酸性泉とは異なり一種の深部熱水である。山体内を流下する間にこの熱水は岩石を溶解し海中に流し込む。写真一5は、その様子を硫黄岳の頂上から眺めたもので、白色の帯は硫酸酸性の温泉水が海水によって薄められアルミノ珪酸塩を沈澱させながらプルームを形成しているものである。その隣の赤いプルームは、硫黄岳の隣にある稲村岳から流れ出る炭酸鉄泉によるものである。東部マヌス海盆の DESMOS 海穴で見つけたアルミニウムやマンガンのプルームも、このように見えるのであろうか。

鹿児島大学で長年にわたって薩摩硫黄島を研究



写真一5 薩摩硫黄島より海中に流れ込む白色と赤色の温泉（1974年夏）。

した鎌田政明のデータによると、海水中に流れ込む酸性泉の化学組成はシリカが少ないのを除くと、驚くほど硫黄岳の安山岩のそれと似ている。硫酸酸性の熱水はシリカを残して山体を溶かし海中に流し込んでいるのである。小坂丈与らの推定した温泉水の湧出量から、もし現在の状態が続くとして計算すると、硫黄岳は数万年で珪石の山と化してしまう。火山の崩壊は酸性変質によって生じる山体の緩みによる大規模な土石流によっても拍車がかけれられるであろう。火山の歴史における硫黄の働きは偉大である。

5. 温泉と二酸化炭素

陸の火山・温泉では二酸化炭素が常に水に次ぐ主要ガスとして存在する。地下における沸騰によって熱水の気液分離が起こり両相を定量的に採取できないため、元の熱水中の二酸化炭素濃度を推定することはむずかしい。しかし、地熱発電所の生産井から得られる深部熱水や高温の火山ガス組成から推定することができる。一方、熱水鉱床から得られる石英などの結晶中には液体包有物として鉱化液が閉じ込められている。真空中で液体包有物を抽出しその組成を分析する事で、鉱液中の二酸化炭素濃度を知ることができる。このようにして得られた各種熱水の二酸化炭素濃度を比較すると、黒鉱鉱床など熱水鉱化液の二酸化炭素濃度が、地表の温泉水に比して2桁以上も大きいことに気づく。例えば、有馬温泉は我が国でも有数の炭酸泉であるが、その二酸化炭素含有量は黒鉱鉱化液の100分の1にすぎない。有馬温泉は塩濃度も高く熱水鉱化液としての資格を備えているが、二酸化炭素だけは不合格である。

中央海嶺においてブラックスモーカーが発見された当時、これぞ黒鉱型熱水鉱床の鉱化液であろうと多くの人々が考えた。しかし、中央海嶺型熱水の二酸化炭素濃度は期待に反して黒鉱鉱化液より

1桁も低い。海洋研究所に移った当座、このことは未消化のまま私の頭の中に引っかかっていたことの一つである。

1989年「しんかい2000」により、伊是名海穴のブラック・スモーカーから待望の熱水採取に成功した。この貴重な熱水を分析してみると、いくつかの重要な発見があった。なかでも特筆すべきは、この熱水が200 mMol/kgもの二酸化炭素を溶解していた事である。そんなことは知らずピストン式採水筒一杯に採水した最初の潜航では、潜水船の浮上とともに気液分離が生じ、採水筒内の圧力が急上昇したためチェックバルブが破裂してしまった。採水筒は潜水船の前部に垂直に取り付けられチェックバルブは採水筒の下部にあたるため、母船「なつしま」上で我々が手にした試料は硫化水素臭の強いガスのみであった。これに懲りて2回目以降の採水ではピストンを途中で止め、浮上中の圧力上昇をピストンの移動で吸収できるように工夫し、気液両相を失う事なく採取することに成功した。伊是名海穴のみならず、伊平屋海嶺のクラム・サイトの熱水も同様に、多量の二酸化炭素を含むことが、続いて行われた潜航によって明らかになった。液体包有物でしか見られなかった高い二酸化炭素濃度の熱水を、実際に中部沖繩トラフで採取できたことは私にとっては大変満足すべきことであった。

中部沖繩トラフの熱水は二酸化炭素のみならず、カリウム、リチウム、アルカリ度、アンモニアなどをも、通常の中央海嶺型熱水に比して著しく濃縮している。沖繩トラフの熱水も中央海嶺の熱水も元は同じ組成の海水である。どうしてこのような違いが生じたのであろうか？ これには2つの理由が考えられる。第1に海水と反応する火山岩の違い、換言すれば中央海嶺と沖繩トラフにおけるマグマチズムの違いである。中央海嶺では海水と反応する火山岩はアルカリやシリカに乏しく、マグネシウム、カルシウム、鉄などに富む玄

武岩であるのに対し、中部沖繩トラフでは逆にアルカリに富み、カルシウム、マグネシウム、鉄に乏しい安山岩や流紋岩質火山岩が海水と反応している。またこれらの岩石はいわゆる島弧型の岩石化学的特徴を有し、二酸化炭素についても中央海嶺型玄武岩に比して著しく濃縮している。島弧型マグマの成因についてはまだ不明の点が多いが、少なくとも現象的には中央海嶺型マグマに深海底堆積物を数%混合すればよい。第2は堆積物の影響である。中央海嶺では多くの場合熱水系は堆積物に乏しい環境にあり、熱水は玄武岩とのみ反応している。これに対して大陸縁辺にある沖繩トラフは厚い堆積物に覆われ、熱水は火山岩との反応だけでなく堆積物との反応によっても化学組成を規制されている。

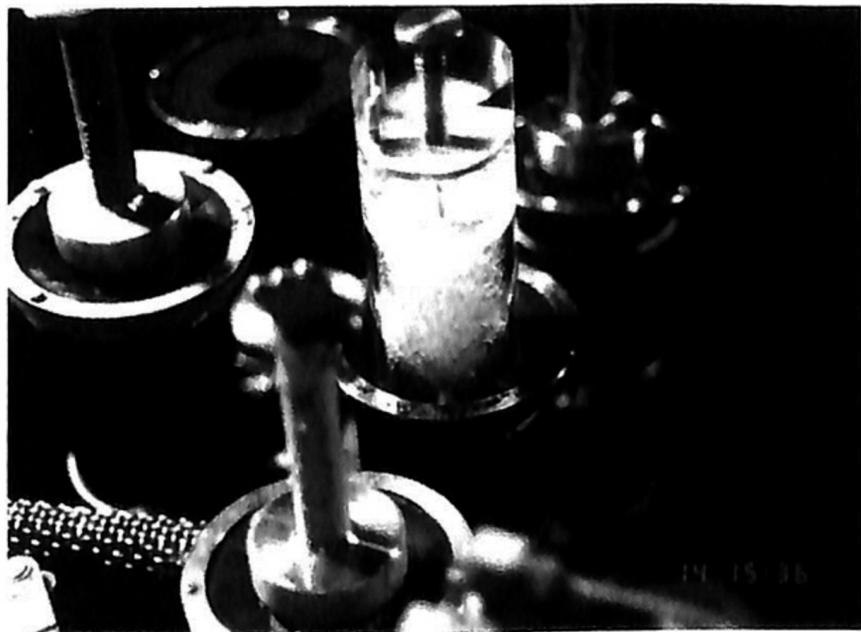
中央海嶺型熱水系でもカリフォルニア湾にあるワイマス海盆では、堆積物との反応によって沖繩トラフの熱水と同じように、アルカリ度、アンモニア、カリウムなどに富む熱水が発見されている。ただし二酸化炭素に関しては、ワイマス海盆熱水系は明らかに中央海嶺型の特徴を保持している。

このような両者の違いは熱水堆積物にも反映されている。伊是名海穴のブラック・スモーカーは、鉄・亜鉛・鉛・銅など重金属硫化物と重晶石よりなるが、中央海嶺の堆積物に比し銅が少なく代わりに砒素、アンチモン、バリウムに富んでいる。また黄色の元素状硫黄が随所にパンケーキ状や脈状に存在し、先に述べた陸の火山と同じような酸性熱水の活動を思わせる。今後詳しく比較研究すべき課題の一つである。

二酸化炭素に話を戻そう。沖繩トラフ熱水域の大きな特徴は、二酸化炭素を主成分として少量の硫化水素・メタン・水素を含む液泡が、温泉沈澱物で覆われた凹地から湧出することである。これは1989年、丸茂克美が潜航中にブラック・スモーカーから10数m離れた径2~3mの凹地で、堆積物を採取すべくコアラーを突き刺したところ奇

妙な液泡が湧出し始めた事に端を発している。写真—6は「しんかい2000」によってアクリル筒中に採取された液泡を、潜水船の前部に固定し浮上せんとするところである。採水筒内に補捉された液泡は、表面が直ちに半透明の白色膜で覆われ葡萄の房状に凝集する。これは液泡の表面で、海水と二酸化炭素の間に包接化合物(クラスレート)が形成されるためである。包接化合物は、低温高圧下に水分子の作る籠状構造の空間に二酸化炭素・硫化水素・メタンなどの気体分子が取り込まれたもので、5.75個の水分子に対し1個の気体分子が配属された、れっきとした結晶である。液泡を湧出する凹地では温度勾配から計算すると、海底下約10cm以深では10°C以上の温度になる。この水圧下では二酸化炭素の包接化合物の安定領域10°C以下であるから、この海底で二酸化炭素(正確には硫化水素・メタンを含む混合物)は海底下10cmまでの堆積物中では包接化合物として、それ以下では液体として存在するのである。

採取した液泡の組成は、伊是名海穴ブラック・スモーカー熱水中の溶存ガスのそれとよく似ている。また硫黄・炭素・ヘリウムなどの同位体比も同様であって、液泡と熱水の起源は等しいと思わ



写真—6 中部沖縄トラフ伊是名海穴熱水域で採取された二酸化炭素を主成分とする液泡。浮上中の「しんかい2000」の窓より田中武男(Dive 240)写す。

れる。それではこの二酸化炭素の液泡は熱水から遊離したのであろうか? 答えは少なくとも現在の熱水については否である。熱水から二酸化炭素の液泡が遊離するためには、熱水が二酸化炭素について過飽和でなければならない。現在の熱水は確かに二酸化炭素に富んでいる。しかし、これを飽和するためにはさらに3倍近くも二酸化炭素を溶かさねばならない。

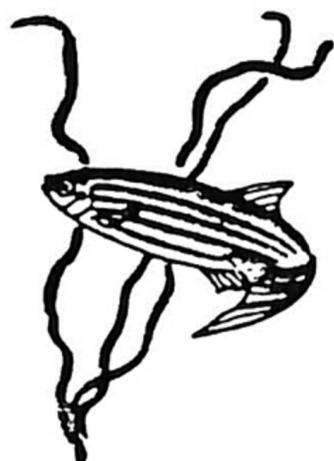
ではどんな機構で液泡が分離したのであろうか? 考えられるいくつかのシナリオの中で最も可能性の高いものは、先に述べた熱水の沸騰である。伊是名海穴ブラック・スモーカーの熱水は何時沸騰しても不思議でないことは既に述べた。沸騰して気液分離が起これば気相中の二酸化炭素/水比は元の10倍くらいは大きくなるであろう。もちろん気相と液相が1対10くらいに分離した場合である。もし気液分離が海底下で起こり、発生した気相が液相や海水によって著しく薄められる事なく冷却したとすれば、二酸化炭素に過飽和な液相が生ずるはずである。このような沸騰は火山活動の高まりによってももたらされるであろうが、また熱水ベントが硫化物などの沈澱物によって詰まった結果、内圧が高まり、硫化物の栓がついに力尽きて吹き飛ばされるようなことが起こっても生ずるであろう。後者のような爆発的イベントが熱水ベントで生じた可能性は、ブラック・スモーカーなどの硫化物チムニーが、結晶度の高い緻密な硫化物礫の積み重なったマウンド上に成長しつつあることから想像される。このような突発的イベントを観察するためには、地震計、音響計、温度計、カメラ、ビデオなどを備えた長期観測ステーションを熱水域に設置し、熱水活動をモニターすることが肝要であろう。沖縄トラフにおける二酸化炭素の湧出は伊是名海穴だけでなく、さらにその北東の南奄西海丘でも広く観察されている。今後は、沖縄トラフのみならず、テクトニッ

クスと地質のよく似た他の背弧海盆でも発見される可能性が高い。

6. おわりに

以上、陸の温泉と海の温泉の共通点と相違点を思い付くままに述べた。話の大半は海洋研究所の特別談話会で行った講演のビデオ記録にもとづいている。初稿は8月にウラヂオストックからソ連邦科学アカデミー地質研究所の仲間たちと、研究船“Vulcanolog”でクリール列島（千島列島）とカムチャッカ半島の、火山・温泉調査に赴いた際の船上で記した。しかし、クリール列島の火山・温泉を訪れた後カムチャッカ半島のペトロハバロ

スク・カムチャツキーに向かう途中で、ゴルバチョフがクリミアに捕わるの報に接した。動転した船長の不可解な判断で、船は進路をウラヂオストックに向けて反転し、楽しみにしていたカムチャッカ半島の巡検は遂に日の目を見なかった。しかし、ほとんど自然のままに残されたクリール列島の温泉や、船上セミナーでソ連邦科学者が語ったオホーツク背弧海盆の海底火山など、海と陸の温泉の対比はまだまだ底が深そうである。沖縄トラフ—日本海—オホーツク海—ベーリング海と続く一連の背弧海盆—島弧—海溝の国際共同研究が、政治的なトラブル無しに実施できる日は意外と速く来るかもしれない。



海洋科学技術センターにおける 小型無人潜水機の開発

深海開発技術部
服部 陸男
Mutsuo Hattori

1. はじめに

世界の無人潜水機（Remotely Operated Vehicle (ROV)）の総建造台数が1,200台を越え、その中で我が国の占める割合が約10%となったのは、1989年頃であった。我が国では、その後も数10台のROVが開発されている。我が国のROVの特徴は、小型ROVがそのほとんどを占めることで、これまでに開発された130台以上のROVの中で、5台のみが中型か大型機であるにすぎない。

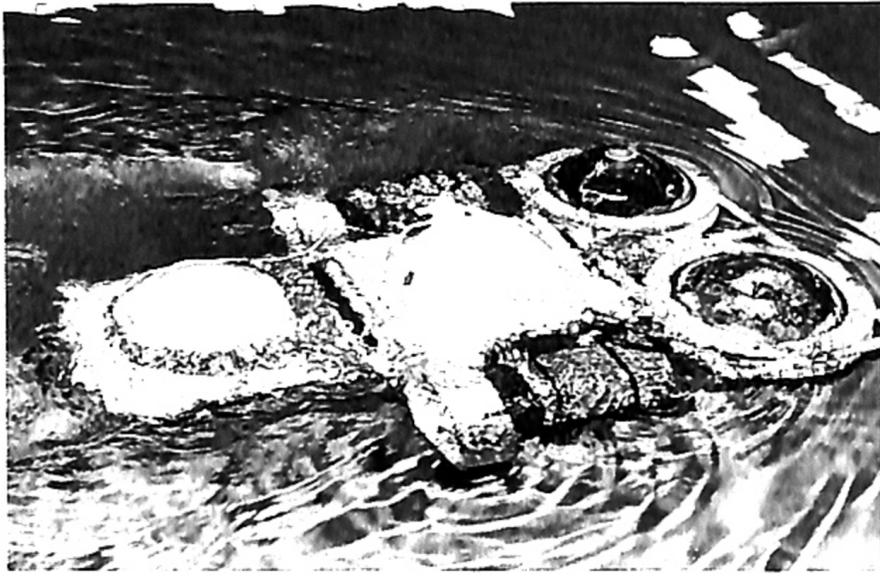
筆者らがROVに関する研究を開始したのは1977年頃からで、我が国の当時の状況から小型で人手で持ち運びでき、小船で使用可能なROVを目標に開発を行った。当時はROVがほとんど知られていなかったため、まず手軽なシステムの開発と利用を通して普及を促進するのがその主目的の一つであった。また、筆者の専門は海洋地質学であり、我が国の海洋地質や水産・生物等の研究者に、使用者の立場から開発した新しい調査機器を提供するのがROVの開発にかけた夢でもあった。以下に、小型ROV開発の状況と、現在開発を行っている小型から中型のROVの概要、将来等を紹介する。

2. 小型 ROV の開発史と現状

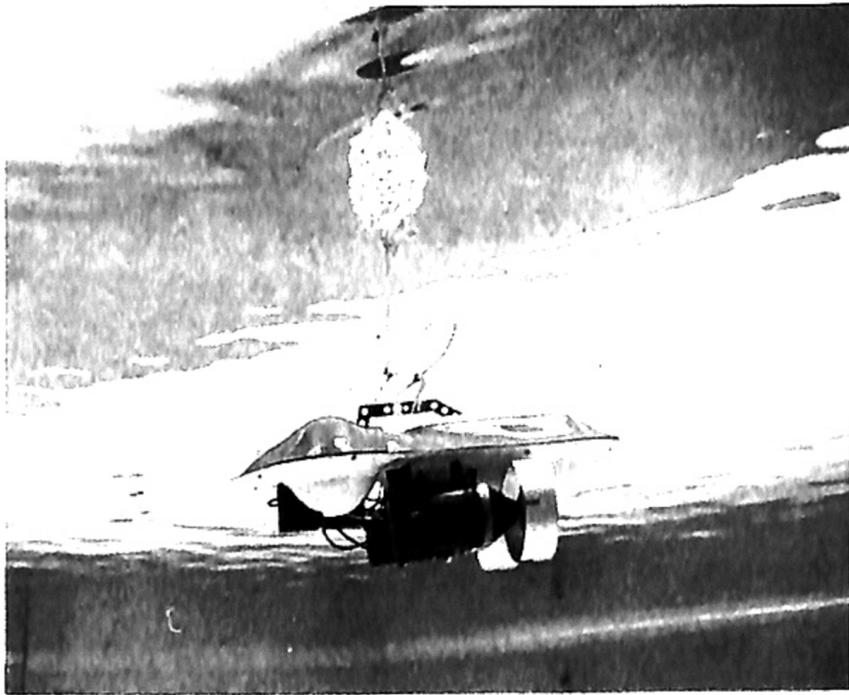
2.1 有索自航式 ROV

筆者らは、1974年頃より耐圧ガラス球を利用した深海カメラの開発を行っており、多くの深海写真撮影装置の開発、深海写真の撮影を行って来たが、1977年頃よりこの研究を応用してROVの開発に着手した¹⁾。1979年8月には、マグネチックトルクカップリングを応用したスラスタを装備したプロトタイプの試験を行い、実用型ROVが自主技術で十分開発可能であることを確認した。この時までに、有索方式と無索のプログラムコントロール方式の両者の試作を行い、有索は浅海用、無索方式は深海用として適していると考えた。これらの最初の試作機を写真—1及び2に示す。

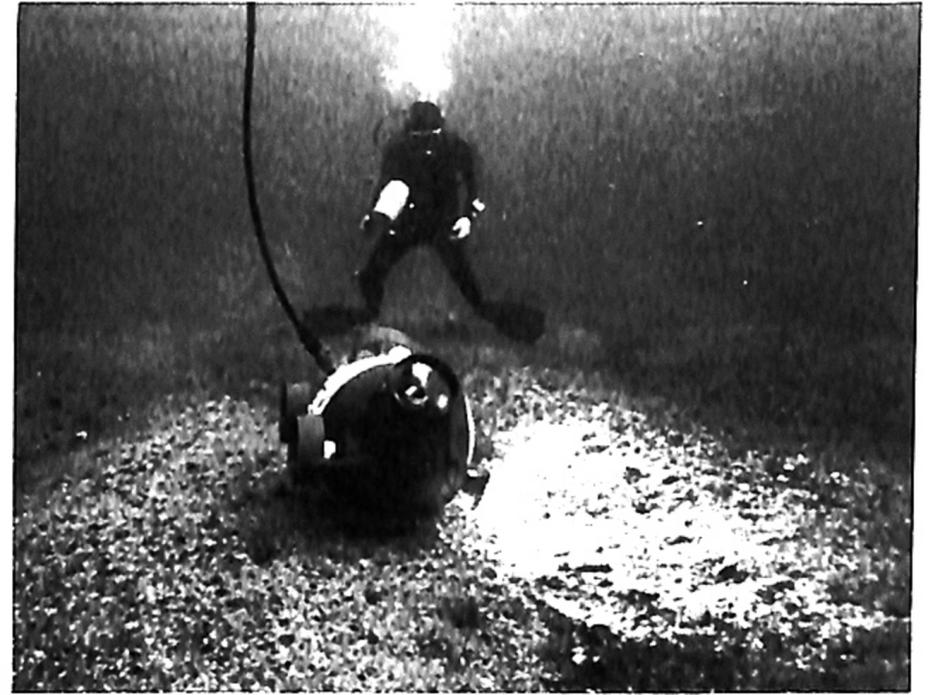
最初の実用型ROVの試作機は1980年に制作されたが、小型漁船に搭載して十分使用可能であることが確認された後、おそらく世界で始めてROVの映像のTVによる全国実況中継を行った。また航空機で運搬して、ナウル島の温度差発電の揚水パイプの調査、西伊豆及び田子湾内のダイバとの共同による魚礁調査、四国沖でのサンゴの調査等を行った。これが、我が国最初の実用型小型ROV、JTV-1（レディーバード）である。



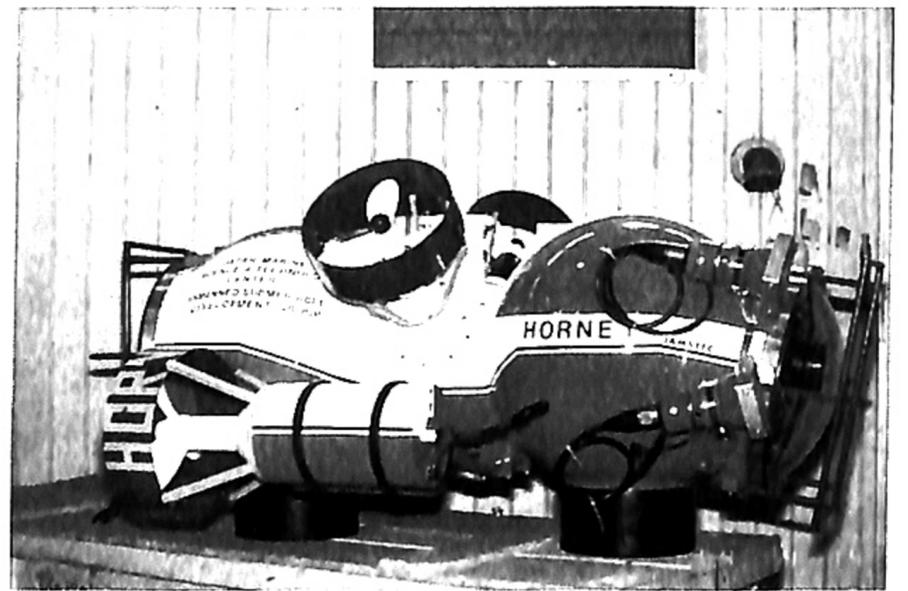
写真一 有索 ROV の試作機，浮力材，電子機器容器として耐圧ガラス球が使われている



写真二 無索プログラムコントロール方式試作機



写真三 JTV-1 とダイバ



写真四 ホーネット-500，1号機

JTV-1 は、(株) キュー・アイにより製品化され、我が国で最初の商用機として 20 台以上販売された。

この ROV の特徴は、当時は欧米で、水中では役に立たないとされてきたカラー TV カメラの実用化と、マイクロコンピュータ使用による制御装置の小型化、マグネチックトルクカップリングのスラストの実用化等であり、欧米でも注目を集めた²⁾。写真一3 に JTV-1 を示す。JTV-1 の最大使用水深は 300 m、寸法 64 (幅) × 52 (長さ) × 50 (高さ) cm、空中重量 43 kg であった。1号機は現在当センターのロビーに展示してある。

次に開発したのが、JTV-1 よりパワーのある放送業務用のカラー TV 及び白黒 TV 各 1 台を搭載した、ホーネット-500 (使用最大水深 500 m)

である³⁾。

ホーネット-500 は、1号機が 1984 年に、2号機が 1986 年に製作された。1号機は、その最初の試験の時、海底下 300 m で失われ、ROV の運用の問題点、特に強い潮流下での運用の難しさを身に染みて実感させられ、貴重な経験となったばかりか、日本最初の ROV 紛失者としての名誉を保持する事となった。ホーネット-500 は、小型機として世界で最初に光ファイバ通信を実用化したばかりでなく、科学調査における鮮明な映像の重要性を世界に知らしめ、その後、調査用 ROV が高品質な TV 画像を重視する先駆けとなったものである。写真一4 にホーネット-500 を示す。2号機は、製造販売権を入札により取得した住友重機械工業 (株) により 1986 年に完成し、水深

200～300 m でシートピア有人潜水の際に、シンカーの確認や、SDC の状態の観察等を行った。1989 年には潜水技術部（現在の海域開発研究部）に協力して、ランチャー付きシステム⁴⁾に改造し、その後、有人潜水計画には無くてはならないシステムとして実用に供されたほか、深層水揚水用に高知県室戸沖に設置したパイプの付設状況調査や、カニ資源調査等にも使われている。ホーネット-500 の最大使用水深は 500 m、寸法 100（幅）×120（長さ）×50（高さ）cm、空中重量約 120 kg である。ホーネットは、住友重機械工業（株）により 6 台製作された。

現在当センターでは、上述の 2 機種 3 台（JTV-1 の商用機 DLT-300C2 台、ホーネット 1 台）のほか、後述する小型低価格の ROV を 1 台所有し、使用している。

これらの 4 台の ROV に加え、現在青森県との地域共同研究で、雑海藻除去用の浅海用 ROV（最大水深 25 m）を開発中で、1993 年には完成する。

2.2 UROV（アンテザード ROV）

当センターの ROV として、JTV-1、ホーネット-500 が第 1 世代なら、UROV-2000、UROV-500（仮称）は第 2 世代の ROV と言える。これまで紹介して来た ROV は、有索自航式でケーブルにより母船と繋がれており、通信・動力の供給は、運用時間に制限なく、実時間で可能であるという利点がある。

一方、ケーブルにより母船と繋がっていると、ケーブルが受ける流れの影響により ROV の運動の自由度が制約され、また運用困難になったりして、2 次的なトラブルの原因になることもある。その他、ケーブルが海底や母船その他構造物に絡んだりしてトラブルの原因になったり、ケーブルやコネクタ自体のトラブルも発生する。すなわち有索自航式は、システム自体が索に拘束されている（Tethered）ROV、テザード ROV といえる。もちろん、この拘束は運用技術により十分カバー

し得るものであるが、安全で効果的な運用のためには、かなりの経験、全体の状況をゆとりをもって見渡し得るシーマンシップが必要である。これに対し、UROV（アンテザード ROV）は、ケーブル抵抗をほとんど無くし、ケーブルに関するトラブルも無くした新しいタイプの ROV である。もちろん長大なケーブルや寸法、重量の大きなケーブルウインチを必要としない。図-1 に UROV の全体システムを示す⁵⁾。

UROV は、船上制御装置と、動力源としてバッテリーを内蔵した ROV 本体との間を結ぶ太さ 0.9 mm の光ファイバケーブルから構成され、船上と ROV 本体に、糸巻き状に巻いた光ファイバケーブルが配置されている。この光ファイバケーブルは、約 1 kg のわずかな引張力により繰り出され、ROV 本体の運動を妨げない。すなわち流れによるケーブル抵抗が、ROV 本体に影響を与えないシステムとなっている。

UROV-2000 は、当センターと、住友重機械工業（株）及び住友電気工業（株）との 3 者の共同

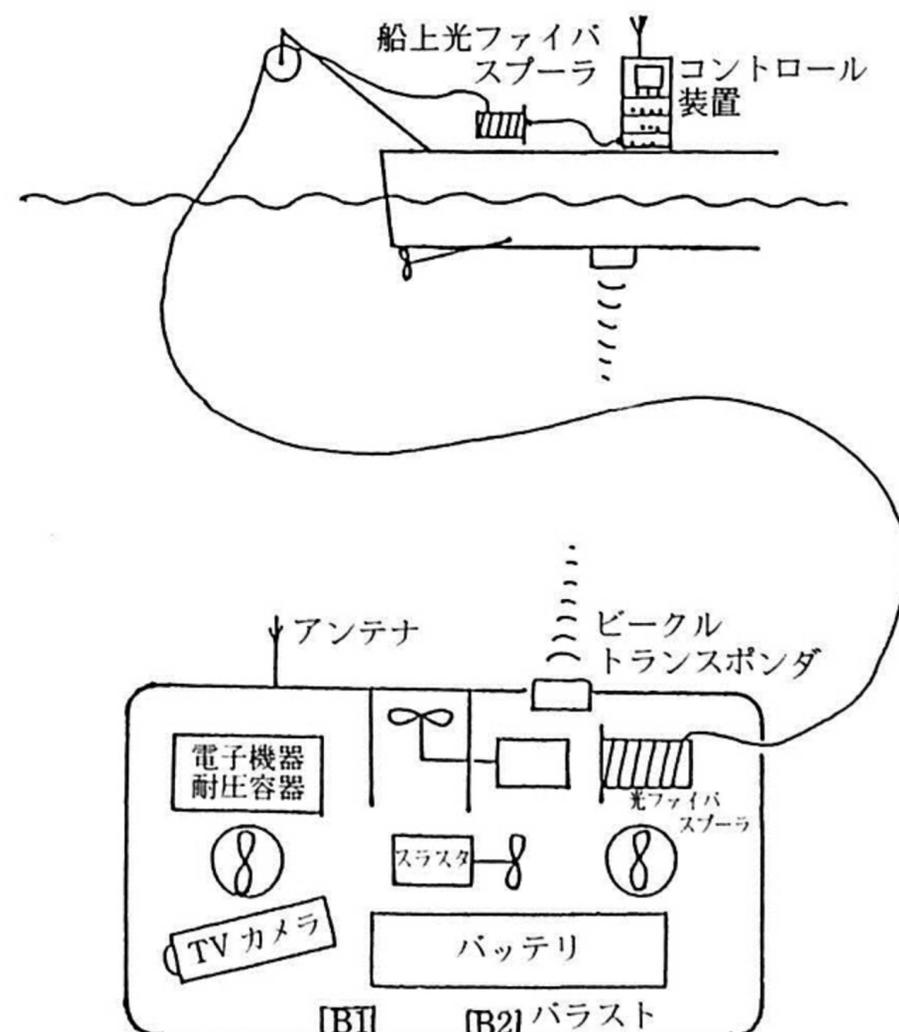
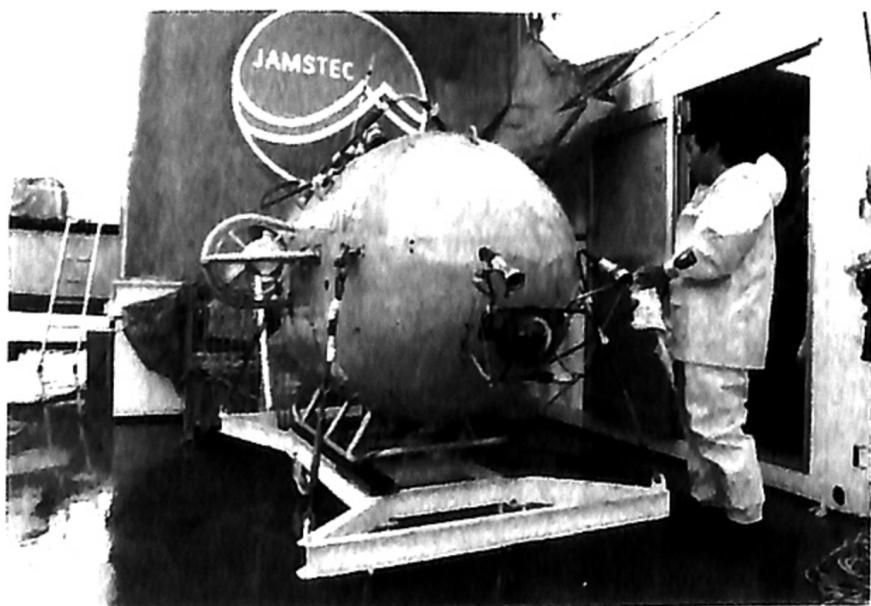


図-1 UROV 全体システム

研究により、1986年から1990年にかけて開発された、UROV型の1号機である。1990年には「かいよう」を使用して相模湾で海域試験を実施し、水深515 mまで計6回潜航し、良好に作動した。写真—5に海域試験中のUROV-2000を示す。UROV-2000の最大使用水深は2,000 m、寸法は80(幅)×200(長さ)×100(高さ) cm、空中重量約450 kgである。UROV-2000は、より高度なセンサーを装備し、より自律型の運航が可能なROVに改造されつつある。

UROV-2000は、UROV型のROVの基本的な特性・改良点等を知るための試験的なROVであり、現在も機能向上等の試験的な研究に使われている。最終的な目標は、光ファイバの通信リンクで繋がれた高度に自律的な(Autonomous)ROVの開発である。

UROV-2000により開発された技術を基礎として、実証機UROV-500を現在製作中である。UROV-500は、当センターと福井県との地域共同研究として開発され、若狭湾等の漁業資源の調査等に使用される予定である。本年11月に相模湾での性能試験、1992年3月頃母船に搭載して敦賀湾での慣熟運転等を計画している。UROV-500は、充放電回数1,000回以上を目標として開発された油漬のニッケル—カドミウム電池を搭載しており、2時間潜航、2時間充電、2時間潜航のタイムスケジュールで1日2回の潜航が可能



写真—5 「かいよう」船上のUROV-2000

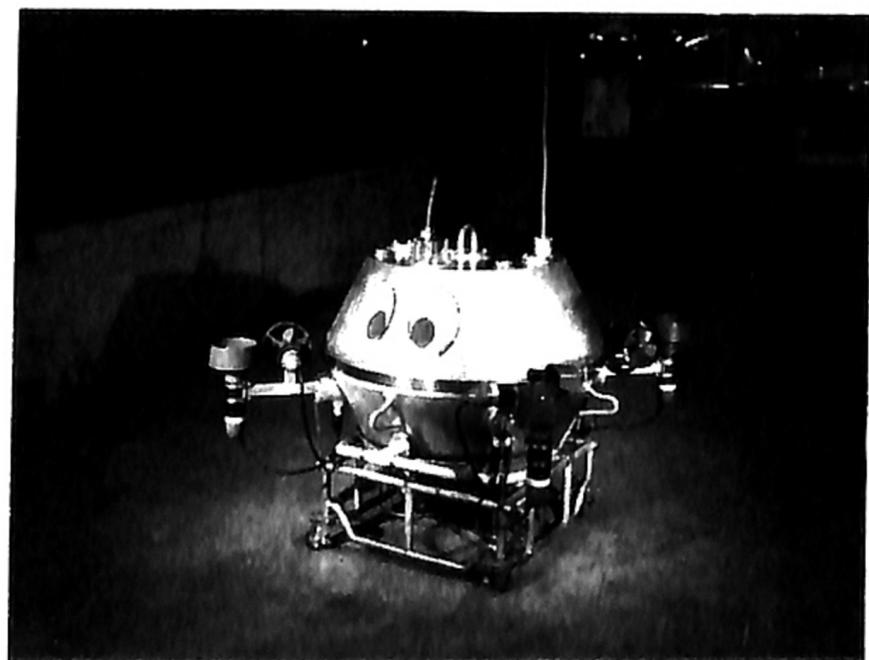
である。

2.3 自律型ROV(AUVまたはAUUV)

船上とまったくケーブルで繋がれていない、プログラム及び音響制御の最初のROV、SPURV(米国、ワシントン大学)が開発されたのは以外に古く、最初の実用型有索自航式ROV、CURVIと同じ1965年頃であった。近年になり、人工知能(AI)の進歩により、これを応用した自律型ROV(AUVまたはAUUV(Autonomous Underwater Unmanned Vehicle))の開発が世界各国で盛んに行われるようになった。現在では計画中的のもの及び試作機を含めると、世界中で50台近くのAUVの開発が行われていると推定され、まさに次世代のROV技術として重視されている。

当センターでも、1979年にプロトタイプを製作・試験したことは既に述べたが、1988年に当センターと日本飛行機(株)との共同研究により、新しいタイプのAUVテスト機が出来て、プールでの試験を行った⁶⁾。“夢作”と名付けられたこのテスト機により、今後もAI利用によるAUVの精密運動制御、画像認識等基礎的な研究は続けられる。写真—6に“夢作”を示す。

当センターは、米国のウッズホール海洋研究所(WHOI)と多くの共同研究を行っているが、その中にABE(Autonomous Benthic Explorer, 自律型海底探査機)に関する研究がある。ABE



写真—6 “夢作”

は、WHOIが国立科学財団の資金で、1989～1992年にかけて開発しているAUVである。WHOI側からAUVの開発に関して共同研究の呼びかけがあり、当面当センターはABEの静止画TV装置を受け持って開発することになり現在製作中で、今年中にはABE本体に組み込む予定である。WHOIとは今後もAUVの開発に共同で取り組むことになる。図-2.1に全体システム、図-2.2にABE本体を示す。

3. 小型ROVの将来

筆者らは、人手で運搬出来、小型の漁船でも運用できるROVの開発を行い、我が国での小型ROV開発・普及の先駆けとなった。ROVの小型化をもっと推し進めて行くと、1984年頃より普及し始めたLCROV（小型、低価格ROV）となる。我が国でも、1986年頃よりLCROVの開

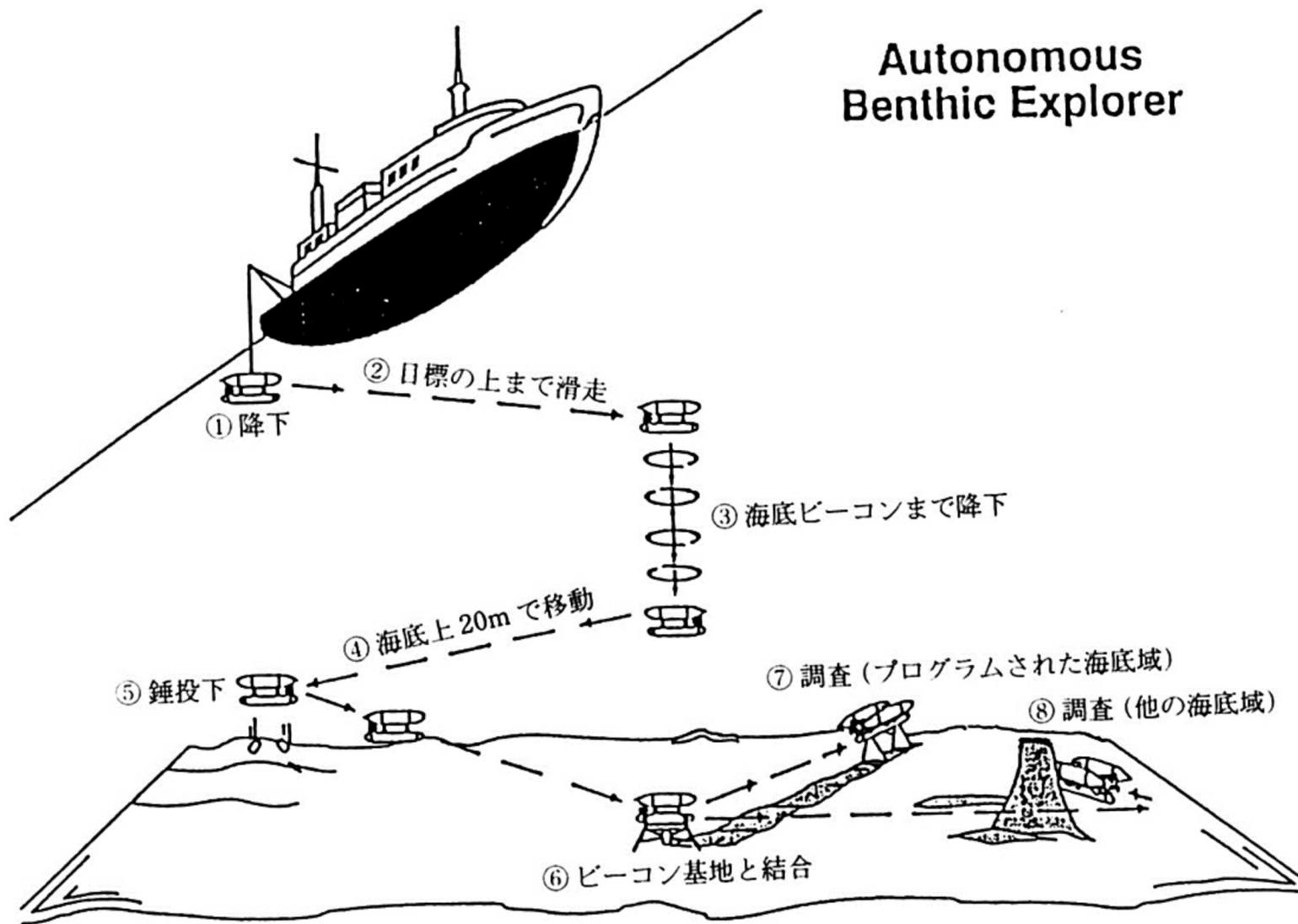


図-2.1 ABE 全体システム

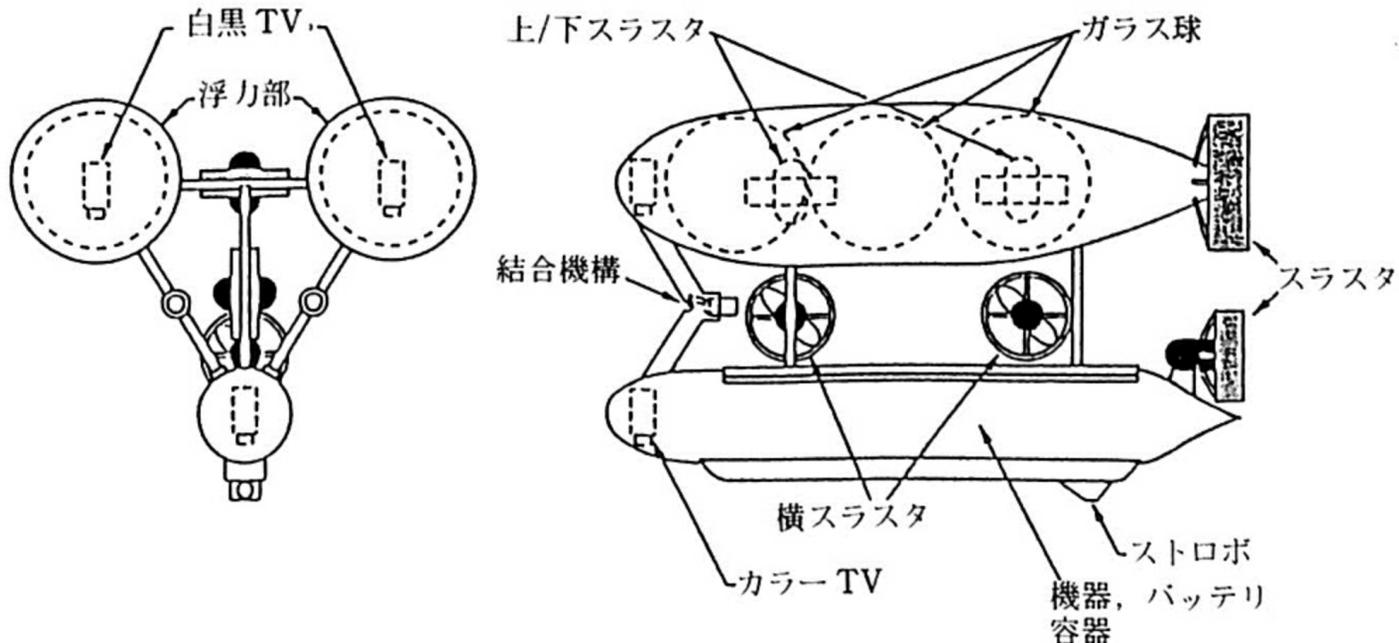


図-2.2 ABE 本体. (ABE ビークル, 白黒 TV, カラー TV, ストロボは当センターで製作)

発が活発となり、現在の約 130 台程度の普及をみるに至った。最新の小型 ROV では、重量 20 kg 以下で、JTV-1 以上の動力性能を有する機種が数機種販売されている。世界的に見ても、LC や小型の ROV には低価格で優れた性能を有する機種が多く生産されている。

一方、当センターでは、小型船で運用可能な有索小型 ROV による調査の必要性は増大しつつあり、先に述べた ROV のみでは対応出来ない状況になってきた。また老朽化の著しい機種もあるので、使用水深 200 m 程度の新しい ROV が必要とされている。有索小型 ROV の開発と普及に関しては、筆者らには十分使命を達したと思われ、世界的にも優れた機種が購入可能なので、新しく開発する必要は無いのではないかと考えられる。

有索小型 ROV で開発の必要性の求められている機種は「しんかい 2000」や「しんかい 6500」のような有人潜水船用の小型 ROV である。この、有人潜水船に小型の ROV を搭載し、沈没船、海中構造物や熱水鉱床等の高温域等の、危険な、あるいは狭い場所に入って行って調査を行う方式は、米国の ALVIN に搭載された JASON Jr. フランスの NAUTILUS に搭載された ROBIN があり、両者とも、タイタニック号の調査に使用された。ただし、これら小型 ROV を有人潜水船に搭載すると、有人潜水船のマニピュレータが使えなくなり、科学者には不人気であったと開発担当者に聞いている。これら二つのシステムは、もともと沈没船や構造物調査を注目的として開発されたものであるから、通常は主たる使用者である科学者からのニーズが無いのは当然である。当センターの技術でこの種の小型 ROV を開発することは十分可能であるが、母船である有人潜水船のマニピュレータの使用を（両手があるときは少なくとも 1 本でよい）妨げないことが必要であり、小型化と、熱水鉱床や海底火山等の高温で危険な海底での調査に対応した耐熱対策について十分な配

慮が必要となろう。この方式の ROV のネックは、ROV 用ケーブルの巻取装置が大きくなり、またケーブルを含めその信頼性が問題となることで、非常に細い光ファイバケーブルを使った UROV 方式や、音響コントロール方式等も興味のある開発課題である。また、宝の持ち腐れとならないように十分なニーズの調査が必要である。

AUV については、動力源が最大の問題点で、これは AUV の深度が増し運用時間が長くなるほど深刻となる。今後の大きな課題の一つである。

当センターの AUV 研究の現状について簡単に述べたが、今後数年で、改良中の UROV-2000 と“夢作”の AI 制御を結合させた高度に自律的な AUV を開発することを考えている。これは、光ファイバリンクにより通信が確保されているので、TV カメラによる海底状況の観察、センサ情報の取得ができ、必要により制御可能なもので、実際の海域での AUV 機能の確認実験が安全・確実に行えること、必要に応じて光ファイバを使用しない完全な AUV として使用可能なこと等の利点がある。

AUV は、この間まで UUUV とも呼ばれてきた。これは Untethered Unmanned Unfunded Vehicle の略であり、ファンド（資金）のつきにくい研究であったが、最近諸外国でも盛んに研究が行われるようになってきた。ROV 先進国である米国やカナダはもちろん、ヨーロッパでも EC の EUREKA プロジェクトの中で各国共同で研究が進められている。

我が国も、次世代の ROV として、海中ロボットの研究は国のプロジェクトとして積極的に推進する必要がある。このためには、先に述べた WHOI との共同研究を発展させることも必要であるが、国内の諸機関との共同研究を進めることが重要であると考えられる。

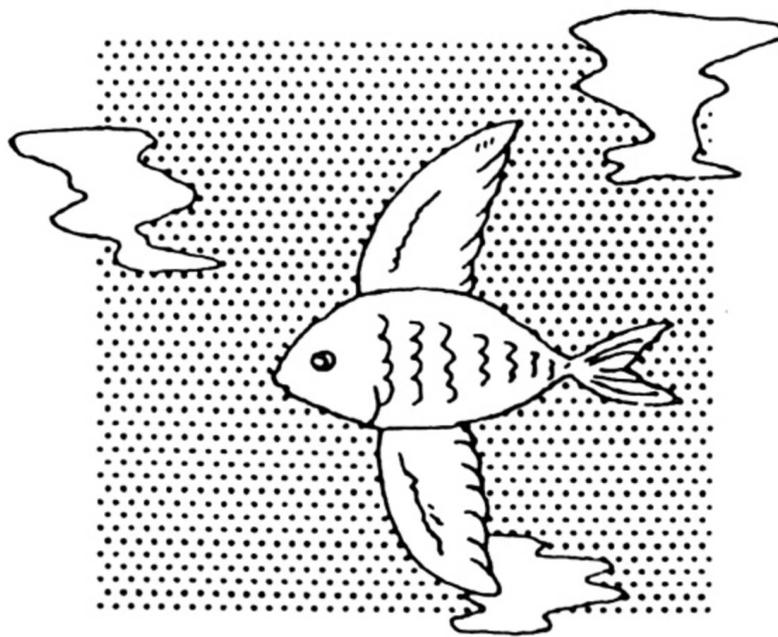
参考文献

4. あとがき

筆者は10年以上ROVの開発に携わってきており、その間小型ROV開発・運用の経験を生かして大型ROV「ドルフィン-3K」の開発、運用訓練も行ってきた。また諸外国のROVの実情調査等も行い、我が国の技術開発力は決して海洋先進国に対して劣ってはいない事を感じている。しかし、我が国のROVに関しては、ごく一部の利用者を除き運用経験、特に厳しい条件での運用経験により培われた安全かつ効果的な運用方法と運用を、より効果的にさせる周辺機器等に対する工夫に欠ける面があると思われる。

ともあれ、筆者らは、今後の我が国のROVの発展を切に祈るものである。

- 1) 服部陸男, 橋本 惇, 名取 薫: 耐圧ガラス球入深海カメラ, JAMSTECTR, 2, (1978).
- 2) Hattori, M., : A Microcomputer Controlled Tethered Vehicle JTV-1, Proc. OCEANS'81, (1981).
- 3) 青木太郎, 服部陸男, 野本昌夫, 高橋 賢一: 自航式ビークル「HORNET-500」の開発, JAMSTECTR, 12, (1974).
- 4) 沼田光政: ホーネットランチャーシステム, JAMSTEC, Vol 2, No. 3 (1990).
- 5) 青木太郎, 服部 陸男: 自航式ビークル「UROV」の研究開発, JAMSTECTR, 22, (1989).
- 6) 狩野芳治, 服部陸男, 野本昌夫ほか: 無索無人潜水機運動制御試験用機体の試作, JAMSTECTR, 24, (1990).



日中黒潮調査の概要

海域開発研究部 ※

甲斐 源太郎

Gentaro Kai

1. はじめに

私たち日本人がよく知っており、しかも、最も関わりの深い海流は黒潮であろう。

この黒潮は、日本をはじめとするその流域の、アジア各国の気候に大きな影響を与えているばかりでなく、魚や卵稚子を輸送したり、海水の浄化などにも大役を果たしている。

この黒潮は、赤道海域で暖められた海水を運びながら、フィリピン東方を通り中国の東海を経て、南西諸島から九州、四国、本州の周辺を流れて、東北海域で本州を離れる流ればかりでなく、九州の西側を北上して対馬暖流、津軽暖流となり、また、北海道の西側を北上して宗谷海峡を抜けて、北海道オホーツク沿岸を流れる宗谷暖流にもなっている。

この黒潮という一大海流の実態は複雑で、まだその全容はとらえられていない。

このような理由から、我が国では黒潮開発利用のための大規模な研究 KER (I) が1976年から1985年までの10年間にわたり実施された。

そして、1986年からも KER (II) として10年計画の研究が進められている。

この第Ⅱ期の研究では、次章で述べるような経緯から、中国と共同で行う、日中黒潮共同調査研究 JRK、が始まった。

この報告では、日中黒潮共同調査研究の進め方を中心に報告したい。

したがって、学術的な研究成果は毎年、「黒潮の開発利用調査研究成果報告書」としてまとめられているので、省略させていただきたい。

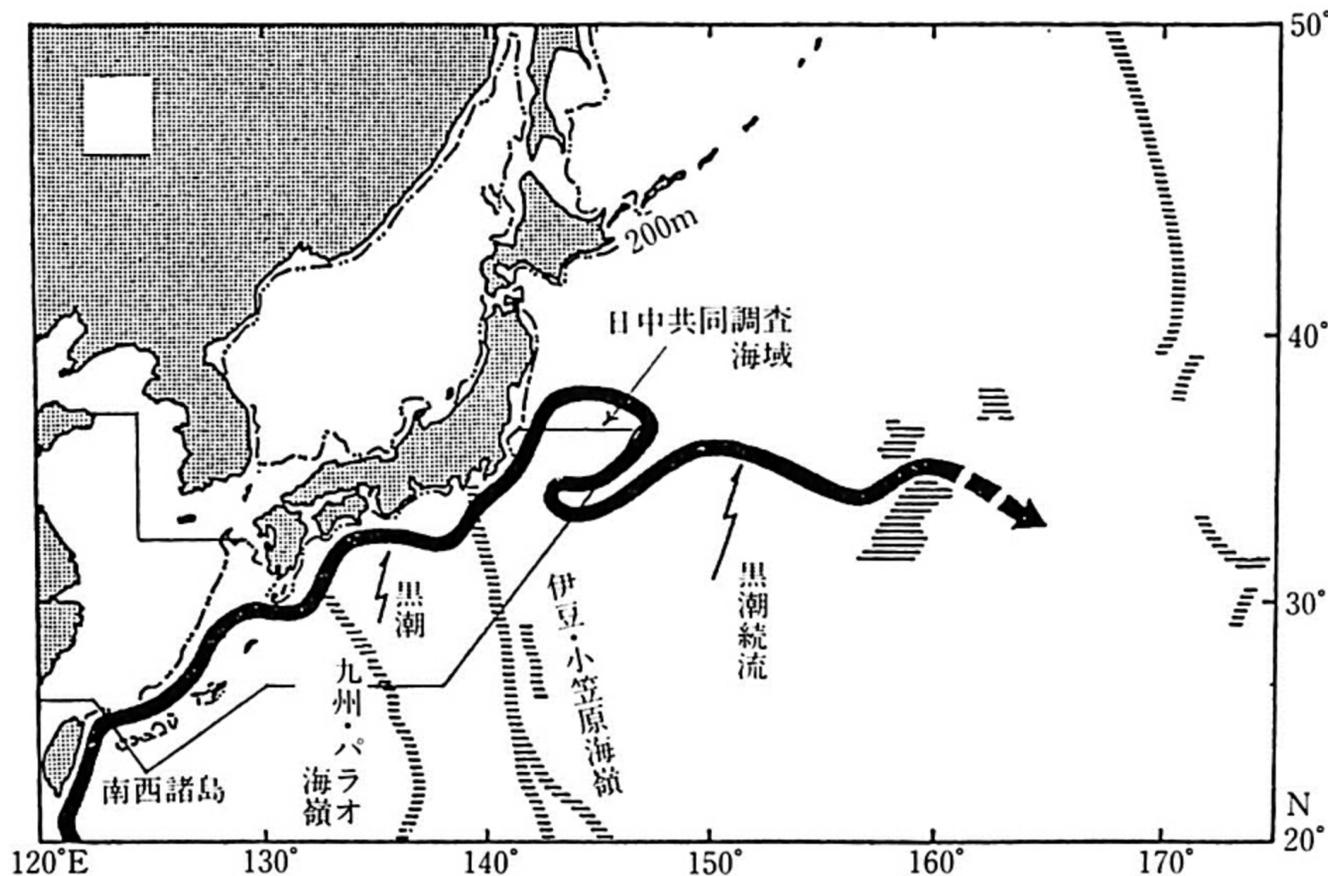
2. 共同研究の進め方

2.1 実施取決めなど

この共同研究の始まりは、1980年5月28日に成立した日中科学技術協力に関する基本協定にある。

その後、日本国及び中国の関係者の検討の結果、黒潮の共同調査研究プロジェクトが具体化した。そして、1987年5月28日に「黒潮の共同調査研究プロジェクトに関する日本国科学技術庁と中華人民共和国国家海洋局との間の実施取決め」と「同附属書」が合意されたのである。

実施取決めの中では、①実施機関、②プロジェクトにおける双方の機能、③プロジェクトの目的、④活動、⑤プロジェクトの実施期間など、プロジェクト実施に関する基本的事項が定められている。このうち③については「黒潮の特性及び黒潮が両国の海洋環境、気候等に及ぼす様々な影響の解明を図ることを目的として、双方の研究実施機関の協力を得て共同調査研究を実施する」と記されている。



図一1 黒潮流域と日中共同調査研究海域

一方、「同附属書」には共同研究を実施する際に必要な、具体的な次に示すような事項が明記されている。

(1) 調査海域

東海，日本本州南方及びその隣接海域を共同調査海域とする（図一1 参照）

ただし，両国の領海及び第三国の領海における調査は行わない。また，共同調査海域は科学上の必要に基づき定めたものであり，その他の意味を有しない。

(2) 共同調査研究項目

- ①海況変動機構の解明
- ②調査海域における生物生産機構の解明
- ③黒潮の浄化機構の解明
- ④黒潮流域における大気・海洋相互作用に関する研究
- ⑤調査海域における熱エネルギー及び運動エネルギーの解明

さらに，研究項目については条件が付されている。

すなわち，共同調査研究においては，共同調査海域の海底地形・地質及び地球物理に関する調査

は行わない。また，生物調査は，プランクトンまでとする。

この他にも，次のようなことが定められている。

- ワーキング・グループ間の会合の開催
- 日中黒潮シンポジウムの開催
- 共同調査研究の方法
- データ及び研究成果の取扱い

(3) 参加機関など

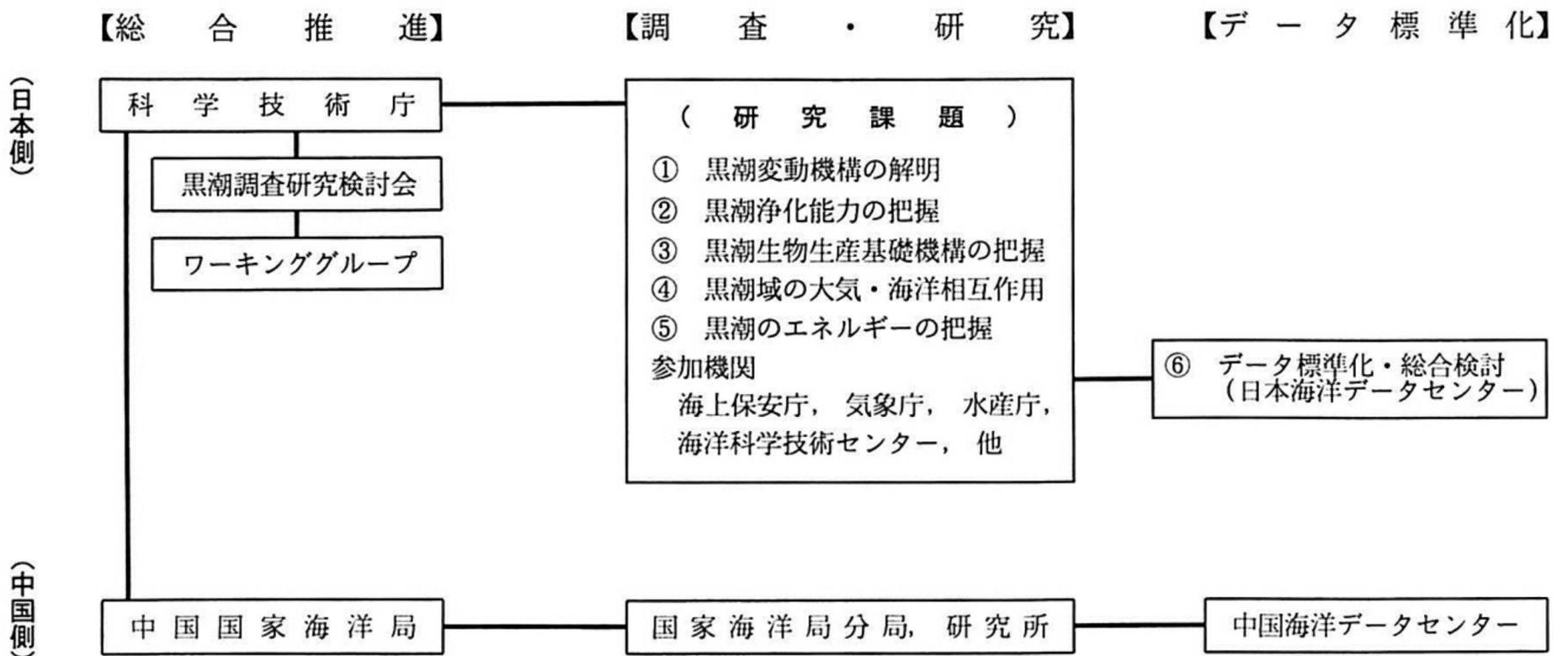
上記のようなルールに従って日本及び中国の参加研究機関が活動している。

中国側の主な共同研究実施機関は，国家海洋局所属の各研究機関及び国家海洋局の北海分局（青島），東海分局（上海）などである。

一方，日本では，科学技術庁を中心として，海上保安庁，気象庁，水産庁及び海洋科学技術センターが共同研究機関を構成している。表一1は，日本側における黒潮開発利用調査研究実施体制を示している。

日中黒潮共同調査研究においては，日本の黒潮開発利用調査研究のプロジェクト・リーダーである平野敏行教授（科学技術庁参与，トキワ松学園女子短期大学学長）が日本側のワーキング・グ

表一1 黒潮開発利用調査研究実施体制



グループ代表として、中国側では、蘇紀蘭教授（国家海洋局科学技術委員会主任）がその代表として、共同で研究リーダーの役割を果たしておられる。

（４） 運営方法など

毎年開催されるワーキング・グループ会議では、研究を円滑に進めるために日本側及び中国側の

- 観測航海の実施状況
- 共同調査研究の進捗状況
- 研究交流の実施状況
- 次年度の調査実施計画

が報告されて、計画の調整などが行われている。

毎年行われる黒潮の調査では、両国分を合わせると十数回の観測航海が実施され、中国の船には日本の研究者が、また、日本の船には中国の研究者が乗船して、観測を協力して実施しながら、研究のみならず、人間的な理解をも深めている。

また、研究成果は、共同で、毎年まとめるのはもとより、広く、他の多くの黒潮研究者にもその成果を知ってもらうために、日中黒潮シンポジウムを開催することになっている。第1回目のシンポジウムは、すでに、1989年の秋、東京において開催されている。

毎年、十数隻にのぼる観測船は、航海の途中に

相手国に寄港して、必要な便宜を受けることができるとともに、親善を深めるための交歓会などを催している。

3. 海洋科学技術センターの活動

当センターは、上記の共同調査項目の中から、「黒潮循環系のエネルギーの把握」の研究を中心に実施している。

毎年実施する調査海域はほぼ定めてある。それらの海域は、

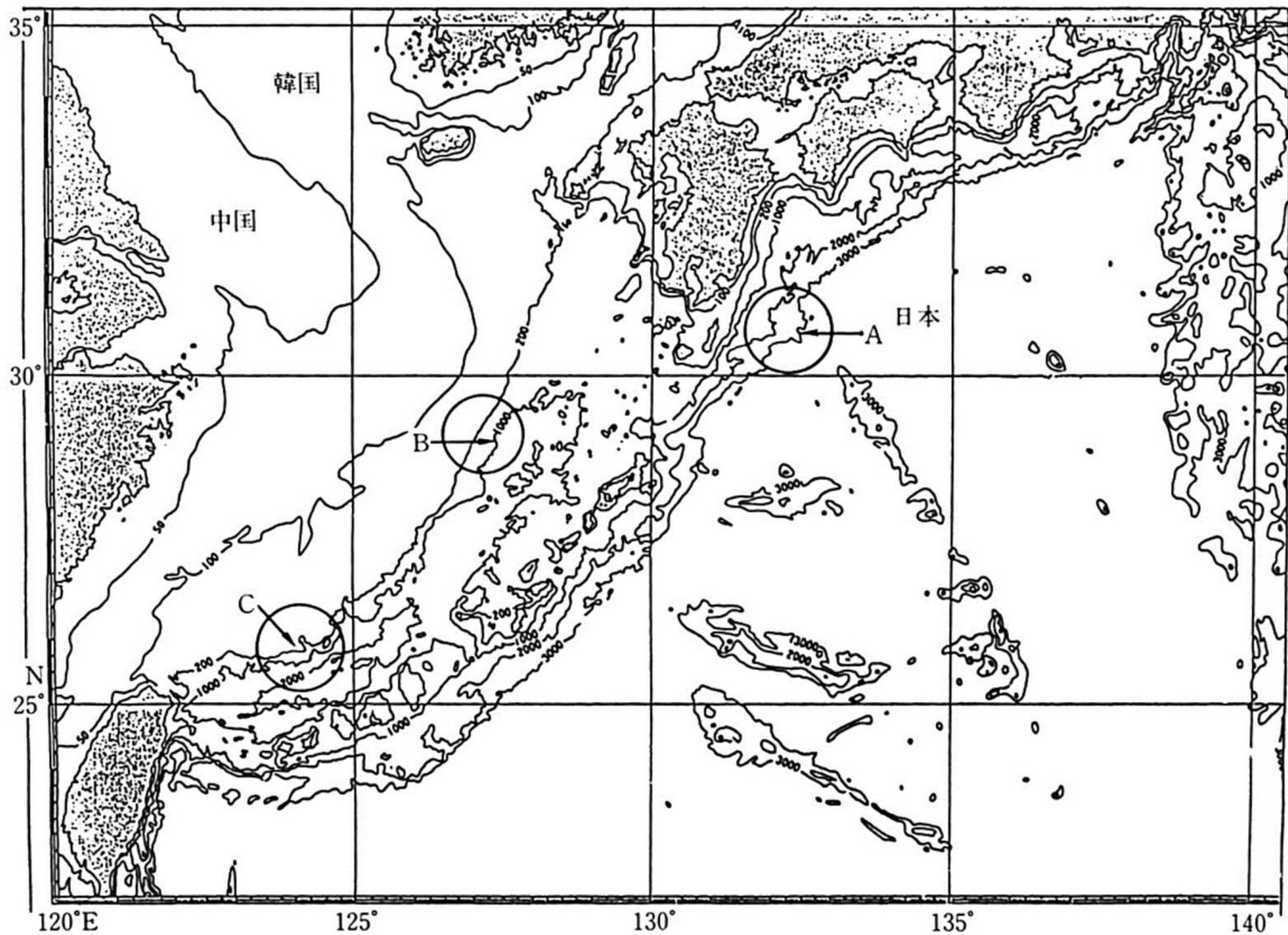
- 黒潮が東シナ海から太平洋へ流入する場所と考えられている、奄美大島から種子島に至る吐噶喇海峡と種子島の東側の海域。
- 奄美大島の西方にあたる大陸棚縁辺海域などである。

これらの海域は、東シナ海及び南西諸島を示す図一2の中に示してある。

一例として、1991年度の研究目標は

- ①大陸棚周辺での流動、混合過程の研究
- ②長期流速変動の観測
- ③数値モデルによる日本周辺海域の運動エネルギーの把握

に置かれている。



図一2 東シナ海におけるセンター集中観測海域

当センターでは、毎年秋期に当センター所属の観測船「かいよう」による調査航海を実施している。

観測に当たっては、海洋の鉛直断面の水温と塩分濃度を効率よく調査するためのXBTとCTDのみならず、当センターで開発した曳航式CTDや人工衛星から観測された広域にわたる海表面の温度分布画像をも利用する総合観測システムを活用して、成果を上げている。

しかも、これ迄あまり実施されていなかった、黒潮中での長期係留観測も始め、世界的にみても貴重なデータの取得にも成功している。

これ迄に得られた研究成果は、毎年科学技術庁が作成している「黒潮の開発利用調査研究成果報告書」に掲載されているので、詳細についてはその報告書をご参照いただきたい。

毎年の観測航海では約1か月間にわたり中国の研究者が2名乗船し、すべての観測を共同で実施

しながら、人的な交流を深めている。

また、長い観測航海の間に、1回中国の港に立ち寄り、寄港地の海洋研究機関を訪問し意見の交換を行ったり、中国の海洋研究者を多数、観測船「かいよう」へ招き、船内見学をしていただきながら、互いに理解を深め合っている。

写真一1は、係留式測流システムの設置作業の様子を示している。「かいよう」は他の多くの観測船と異なり、広い作業甲板部と船尾のAフレームクレーンにより、深海用係留系も短時間に効率的に組み立て、設置が行える特徴を備えている。

写真一2は、リアルタイムCTDの計測作業を日中の研究者が共同で行っていることを示している。

写真一3は、海洋科学技術センターが開発したスライド式曳航体の運用の様子を示している。

この計測システムでは、水温・塩分濃度及び水中の深度を測るセンサーが取り付けられている胴

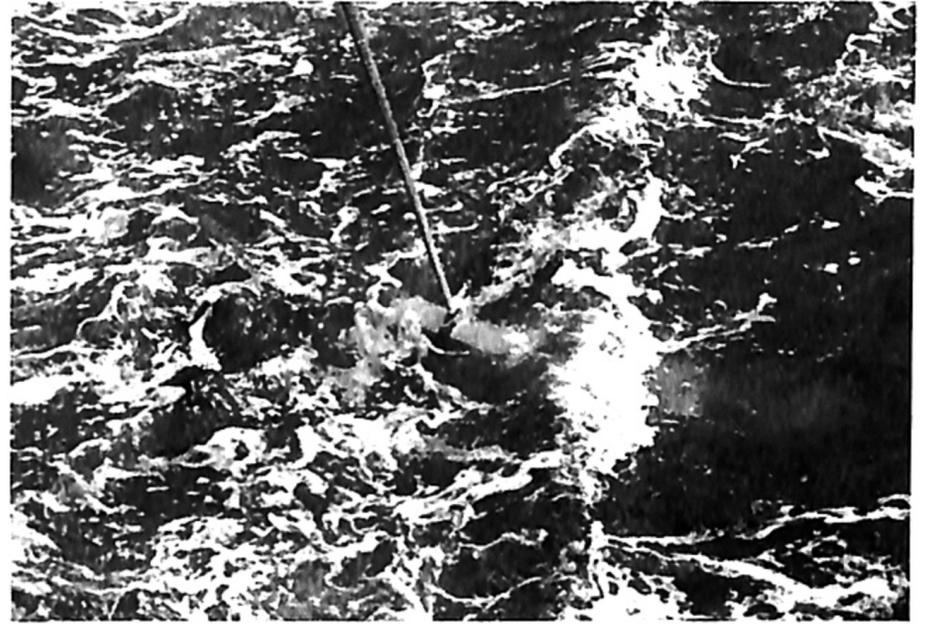


写真一 係留式測流システムの設置作業（「かいよう」上にて）



写真二 リアルタイムCTDの日中共同計測作業（奥2人が中国側研究者、「かいよう」上にて、1987年）

体部分が、船尾から曳航されているガイドラインに沿って、船上からの指令信号に従って上下するばかりでなく、計測データは実時間で船上装置へ伝送され、カラーで表示される。したがって、船上の研究者は、観測船直下の水温・塩分濃度とその深度を直ちに知ることができるので、観測しながら、同時に海の中の状況を知ることのできる画



写真三 海面に姿を現したスライド式曳航体とフェアリング付き曳航索



写真四 「かいよう」を見学に訪れた中国の海洋研究者（厦門訪問時、1988年）



写真五 鼓浪嶼中央部から眺めた厦門市中心部、そのすぐ手前の水路“鷺江”に「かいよう」がブイ係留されている。（1988年）

期的な計測システムである。

写真一4は、1988年の秋、中国の厦門に寄港した時、中国の海洋関係者が「かいよう」を熱心に見学されている様子を示している。

写真一5は、ヨーロッパ風の町並みの鼓浪嶼中央部から眺めた、美しい門市中心部を示している。

また、厦門では、海洋関係の研究機関を訪問する機会を得ることができた。

国家海洋局第三海洋研究所では張金標所長の案内で、海岸に面している研究施設を見学することができた。この研究所は1959年に創立され、現在は8研究部から構成されており、この地が亜熱帯域にあたるためか海洋生物に関する研究がその中心であり、200人の職員を有している。

また、厦門大学の海洋学部をも訪問することができた。ここでは、海洋系主任の李少菁教授と、洪华生 副教授のお二人の案内で、広く美しい大学のキャンパスをも散策することができた。この

大学は、1921年に、華僑の 陳嘉庚氏が創立した学校であり、100ヘクタールもの敷地内に21学部があり、学生の総数は8000人とのことであつた。

写真一6は、創設者の像の前で撮った記念写真である。中央の女性が、洪 副教授であり、さらに左へ3人目が李教授である。

この他にも1986年の秋には、中国の海洋研究のメッカとも呼ばれている青島に寄港したことがある。

青島は、赤レンガ作りの建物が多いヨーロッパ風の町である。

ここでは、国家海洋局の第一海洋研究所、同北海分局、世界的に有名な青島海洋大学（前、山東海洋学院）や中国科学院海洋研究所を見学し、親しく意見の交換を行う機会をもつことができた。

また、中国の海洋観測船の「東方紅」、「実践号」、「向陽紅」などの多くの海洋調査船も、ここ青島港をよく利用しているようである。



写真一6 厦門大学の創設者、陳嘉庚氏像の前にて(左から4人目が海洋系主任の李少菁教授、中央の女性が洪华生副教授、1988年)

なお、「中国の海洋研究開発動向」は、本紙 JAMSTEC, 第三巻二号 (1991年4月発行) に、海外出張・海外調査団報告として詳しく報じられているので、ご参照いただきたい。

4. おわりに

上述のように、日中黒潮共同調査研究プロジェクトは、研究の面でも、人的な交流の面でも大変順調に進んでいる。

調査研究の面を見ると、毎年、日本側では調査船を十数隻、中国側でも数隻を使用して、年間を通して黒潮の調査を行い、黒潮に関する各種のデータの収集・蓄積を行っている。

しかも、これらの調査船には互いに相手国の研究者が乗船して、すべての船上作業を協力して行うことにより、単なる旅行者では経験できないような、日常の生活習慣をも学び合いながら、人間的な理解をも深めている。

他方、共同研究の円滑な推進を図るために実施されているワーキング・グループ会議は、毎年、中国と日本で交互に開催されている。

第1回会議は中国で、第2回会議は日本と言うように毎年交互に主催されている。このような会議でも互いに相手の国をより理解できるようにとの配慮がなされている。

例えば、中国側主催の第3回会議は、浙江省々都の杭州市で開かれた。ここは2000年の歴史を

有する地であり、南宋時代には、政治・経済・文化の中心となり、いまだに、その面影を残している都市である。また、第5回の会議は福建省南部の九竜江の河口にあり、天然の良港を有している厦門で開かれた。第6回の会議は日本側の主催で、1991年秋神戸市で開かれることになっている。

また、共同調査研究の学術的な成果の発表のための第1回目の日中黒潮シンポジウムは、1989年秋に東京で開催され、三日間にわたり、多数の研究成果が報告された。共同研究の直接の関係者のみならず多くの海洋研究者の参加を得ることができた。第二回目のシンポジウムは1992年の秋、中国山東半島の青島で開催されることが、すでに予定されている。

この共同研究は、1992年度で一応終了することになっており、すでに、数々の具体的な成果を上げつつある。

このような、これ迄になかった海洋研究に関する組織的な両国の協力は、このプロジェクトが終了した後も、今後の海洋開発研究で、必ずや、更に発展するものと期待されている。

海洋研究は、もはや、地球規模で進めなければならないことが広く理解されるようになっていく。黒潮研究一つを考えてみても、今後は、中国ばかりでなく、関係あるアジア諸国の国々との協力が重要であることを、改めて考えさせられるような時代が到来している。

※前 海洋開発研究部

地球深部への旅 (その4)



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

4. ジオイド

思いがけない所に地球深部が見えていた。衛星に見えている。衛星のトラックの織りなす微妙なゆらぎが地球引力の異常にかかわっている。衛星はいうまでもなく地球引力に引張られて地球の周囲を飛んでいる。地球内部に質量分布の不均質があると、それによって衛星のトラックもゆらぐ。飛びながら衛星は刻々と引力の変化に追随してゆく。そのトラックの追跡から地球の重力異常 (gravity anomaly) が求められ、等重力ポテンシャル面の高さ、すなわちジオイドの高さ (geoid height)^{註1)} が求められる。一方、衛星から海面までの高度測定 (altimetry) によっても、直接、平均海水面の高さ、(SSH : Sea surface height)^{註2)}、すなわち第1近似のジオイドが求められる。これらの重力異常図や観測されたジオイド図 (observed geoid map) に地球深部の構造と運動が表れていた。長波長成分 (4,000 km 以上) のジオイドには下部マントルの質量不均質コア・マントル境界の凹凸が表れていた (Hager et al., 1985)。また、中波長成分 (100 km ~ 1,000 km)

には、上部マントル内に起こっていると思われる小さいスケールの対流が見えていた (Haxby and Weissel, 1986)。

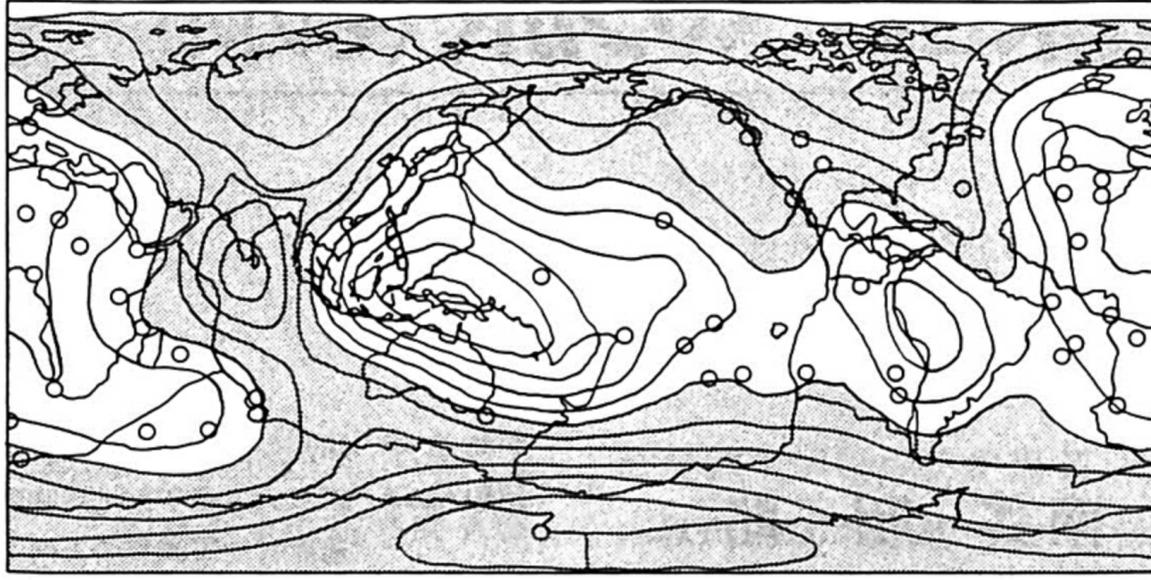
4.1 長波長のジオイド起伏

(1) 観測されたジオイド

衛星から求められた“観測された”ジオイド (observed geoid) 正確にはジオイドの高さ、すなわち、観測されたジオイドの基準ジオイドからの偏差の図を図-1に示す。これはモデル GEM-L2 の球面調和函数の次数 $l=2\sim 9$ の長波長成分をとったもの (Hager and Richard, 1989)。図-1の白い部分がジオイドの“高 (high)”，すなわち、等ポテンシャル面が凸になっているところ、影の部分がジオイドの“低 (low)”，すなわち、等ポテンシャル面が凹になっているところに相当している。コンタは 20 m 間隔。ジオイド起伏の高低差は ±100 m に及んでいる。

ジオイド起伏の特徴をみる。地理的にみると、ジオイド high は赤道に沿って、連なっている。西太平洋の +100 m のジオイド high は中部太平洋を通り、南米大陸に至り、さらに南北大西洋からアフリカ大陸まで続いている。赤道に沿うという特徴はインド南西部のジオイド low によって

観測されたジオイドの高さ



図—1 観測されたジオイドの高さ (Hager and Richard, 1989 による). モデル GEM-L2. コンタ間隔は 20 m. 白: 正 (凸) の部, 影: 負 (凹) の部分. 白丸はホットスポットの位置

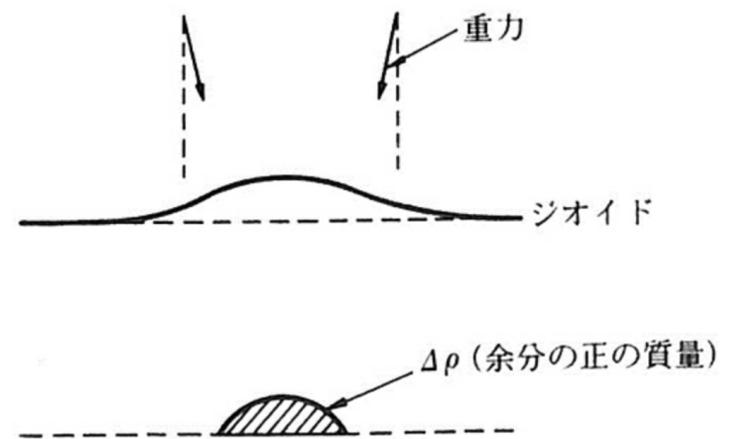
中断されている。南極と北極と、両方の極地域にはジオイド low がある。一方、ジオイド起伏の特徴とプレート運動との関連をみると、西太平洋のジオイド high, 南ペルーのジオイド high はいずれもプレートの沈み込みスラブの行方に対応している。また南北大西洋にまたがるジオイド high はホットスポット分布に対応している。アフリカ大陸とその南東へ伸びるジオイド high もホットスポット分布に対応している。図—1 の白丸印はホットスポットの位置を示したもの。ほとんどのホットスポットはジオイド high の地域にある。

この特徴を一般化すると、ジオイド high はプレートの収束領域 (convergent region) とホットスポット領域との両方に対応するといえる。このことは、一見、プレートの沈み込みにも、また熱いマンテル物質の湧き出しにも同じような質量異常に対応するということになる。こんなことがあるだろうか。普通に考えれば、沈み込み帯の下には“冷たく”重いものがあり、湧き出し地域には“熱く”軽いものがあることから、両者は質量的には逆になっているはずだ。ところがそうっていない。奇妙な現象である。これは一つのパラ

ドックスである。では一体ジオイドの high-low には何が表れているのであろうか。

基本的なこととして、一般に、均質な地球の中の一部に重い物質があると、その引力によって、重力の等ポテンシャル面 (ジオイド) は傾き、図—2 に示すように、重い物質の上方で凸となる。

したがってジオイド high の下には重い物質があり、ジオイド low の下には軽い物質があるということになる。このようなジオイドの high-low に対応する質量分布としてどんなものがあるであろうか。図—1 と地球儀をよくみると、大陸と海洋の分布が目につく。大陸と海洋では地殻の厚さが違っていることはよく知られている (大陸では ~60 km, 海洋では ~20 km)。大陸と海洋の地球表面に占める分布をみると、そのスペ



図—2 余分の質量 $\Delta\rho$ によるジオイド変形の説明図

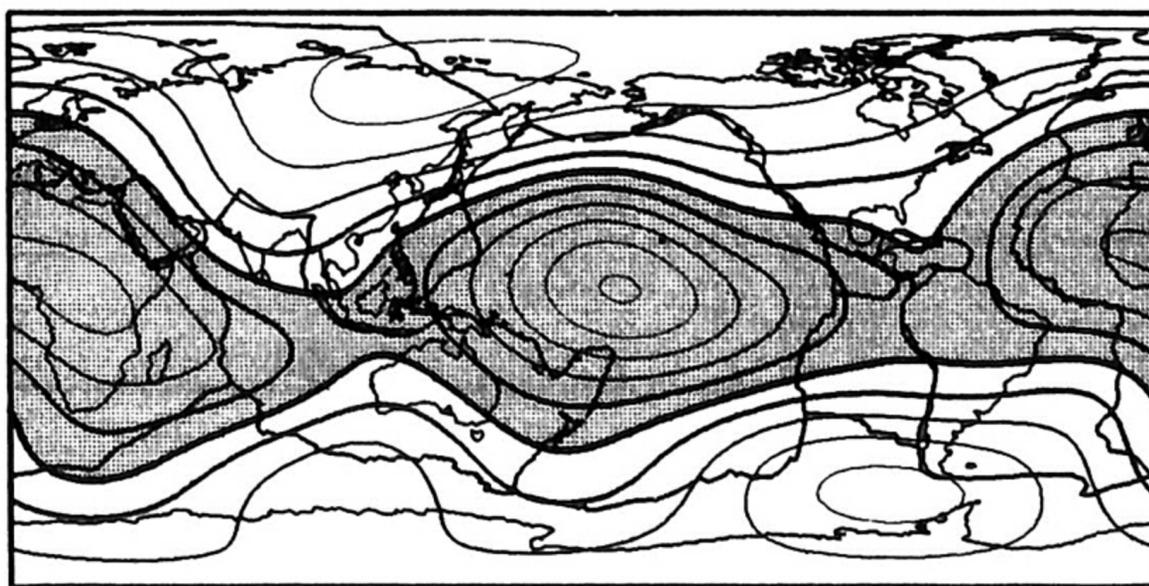
クトルは長い波長成分が確かに卓越している。それではジオイド起伏の長い波長成分は、もしかしたら、この大陸・海洋の分布と関連しているのではあるまいか。このような疑問をもって、定量的な検討を行ってみると (Chase and McNutt, 1982), 確かにジオイド異常のパターンには、類似なものが現れる。しかし、異常の大きさが1桁小さく、 ± 10 m以下であった。とても観測された ± 100 mというジオイド異常を説明しきれない。では、地殻の影響だけでなく、リソスフィヤの影響も考慮したらどうなるだろうか。リソスフィヤも大陸と海洋とでは著しく異なっている。しかし、計算結果はやはり異常は小さく ± 12 mとなっていた。これらのことから、観測されたジオイドの長い波長成分は地球表層の地殻、リソスフィヤによるものではないことがはっきりした。原因はもっと“深い”ということが理解された。それでは一体地球深部のどこにこのジオイド high-low をもたらすものがあるのだろうか。

(2) 静的ジオイド

ホットスポットも沈み込みスラブも共にジオイド high に対応するというパラドックスは、サイスミックトモグラフィによって解かれた。サイスミックトモグラフィ画像 (第一章図—2 参照) に

見えるように、下部マントルにおいて、太平洋中央部の下に低速度領域が広がっている。また、南太平洋の下には、コア・マントル境界から広がる低速度領域がある。下部マントルの体積は上部マントルの体積よりずっと大きい。トモグラフィ画像の縮尺を1:1に直してみると、下部マントルの部分の厚さは実際には上部マントルの厚さの約3倍にもなっている。したがって下部マントルの質量異常の寄与は大きいものがある。太平洋の全域を覆うジオイド high は下部マントルの質量不均質によるのではなかろうか。このような予想の下に計算が行われた。

その結果は図—3のように得られた。これは静的ジオイド、正確には静的ジオイドの高さ、すなわち、静的ジオイドの基準ジオイドからの偏差と呼ばれる。質量異常の静的効果のみを考慮して、物質の運動の効果はまだ考慮されていないものである。サイスミックトモグラフィの地震波速度異常を、密度異常へ換算するには次のように考えられた。すなわち、地震波P波速度異常は温度による。温度が高くなると速度は小さくなり、体積は熱膨張のため増大し、密度は小さくなる。地震波P波速度異常 δV_p と密度異常 $\delta \rho$ との比は $\delta V_p / \delta \rho = 2.1 \text{ km/sec/gr/cm}^3$ という値が採用



図—3 静的ジオイドの高さ (Hager *et al.* 1985 による)。コンタ間隔は50 m。白は正、影は負。下部マントルのP波速度分布異常を密度分布におきかえて計算したもの

された。P波速度が0.1 km/sec異なると、密度は約0.05 gr/cm³異なる。太平洋中央部の下、地表からの深さ2,500 kmにおいてP波速度異常は約0.5%ある。PREMによるP波速度は13.36 km/sec(深さ2,471 kmにて)であるから、速度異常は0.067 km/sec、密度異常は0.032 gr/cm³と見積られる。これはかなり大きな密度差である。この換算を使ってサイスミックトモグラフィで得られた速度分布を密度分布に直し、その密度分布からジオイドが計算された。ジオイドの計算は球面調和函数の次数2~6にわたり、下部マントル深さ800~2,800 kmの範囲にわたって行われた。サイスミックトモグラフィの速度分布としては、Dziewonski, 1984のものではなく、Clayton and Comerのもの(Hager and Clayton, 1989に記されている)が用いられた。

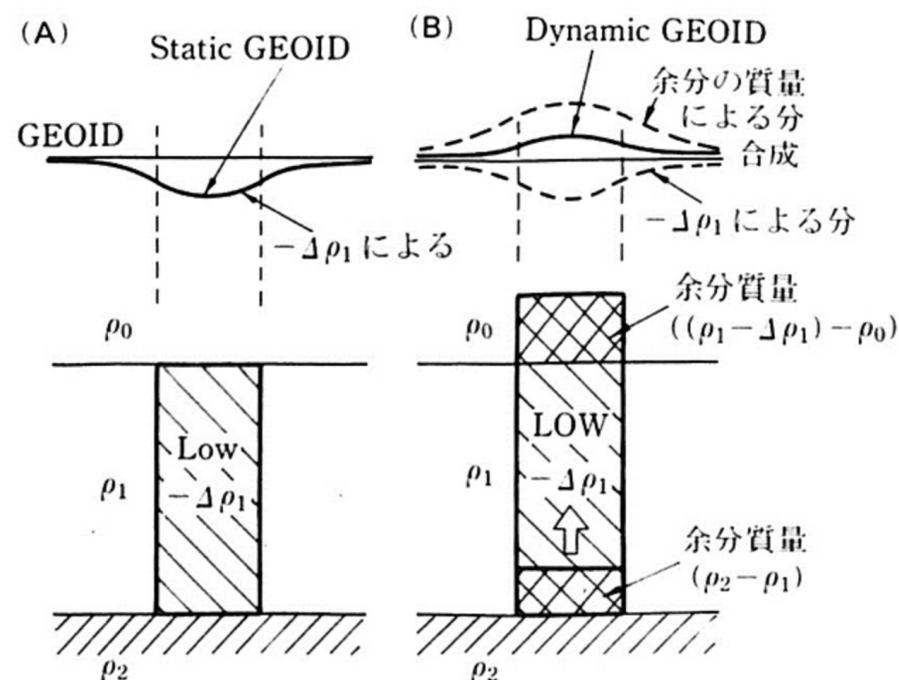
図一1の観測されたジオイドと図一3の計算された静的ジオイドとを比べてみると、その対応がよいのに驚かされる。実際に調和函数の次数ごとの相関を計算して、相関の良さが確かめられている。このことから、ジオイドの起伏をもたらしたものが、深い下部マントルにあるという予測が裏づけられた。しかし、おかしなことに、相関がそんなに良いにもかかわらず、起伏の正負が観測と計算では全く逆になっている。また、定量的にも、計算されたジオイドの起伏量は観測値の約4倍になっている。図一3の静的ジオイドのコンタ間隔は100 mにとってあるので、凹凸は±400 mに及んでいる。

冷たい沈み込んだスラブも、熱く、湧き上がるマントル物質も、同じジオイド起伏を与えるというパラドックスは、その原因が上部マントルにあるのではなく、下部マントルの密度異常にあるということで解かれたが、起伏の正負が観測と計算とで逆になるという難問が出て来た。太平洋下の下部マントルでは低速度—低密度であるから、ジオイド異常も負になるべきものが、観測では正に

なっているという難問である。

(3) 動的ジオイド

ジオイド異常の表れ方が計算と観測とでなぜ逆センスになるのだろうかという問は、マントル内部の運動を考えることによって解かれた。地球内部において軽い物質があると、そこは浮力を持ち、浮き上がろうとする。全マントル対流のような上昇流があると、地球表面は持ち上げられる。また、上昇流がコア・マントル境界から立ち上がっているとすると、コア・マントル境界もまた上方へ持ち上げられる。地球表面において、上昇流によって持ち上げられた部分の質量は、運動の起こっていない静的な場合に比べて、余分に加わった質量となる。この余分の質量は重力を大きくする。したがって、等重力ポテンシャル面(ジオイド)は上方へ持ち上げられる。図一4に説明図を示す。一方、上昇流の部分は温度が周囲に比べて高く、密度は小さい。したがって、運動を考えなければ、この軽い部分は重力を小さくするように作用する。すなわち、静的には等重力ポテンシャル面は下方へ凹む。このように上昇流の運動はジオイド



図一4 説明図。(A)静的な場合、軽い物質(- $\Delta\rho_1$)によってジオイドは凹になる。(B)動的な場合、軽い物質(- $\Delta\rho_1$)は上昇し、境界面を持ち上げる。これによる余分の質量はジオイドを凸にする。観測されたジオイドは静的な凹と余分質量による凸とが合成されたもの

を持ち上げ、軽い密度はジオイドを下方へ凹ませるので、実際のジオイドの凹凸はこの両者の効果が重なったものである。重なり合いの結果が凸になるか凹になるかは、パラメタの値に依存し、微妙なものがある。

同様の運動の効果はコア・マントル境界にも生ずる。もし上昇流によってコア・マントル境界が持ち上げられると、その境界は余分の質量として、コア物質（融けた鉄）の高密度のものが加わったことになる。この余分な質量のためジオイドは持ち上げられる。このように、地球深部において、暖められ、軽くなった部分が上昇運動を起こすことによって、運動が無ければ凹であるべきジオイドが、条件さえ揃えば、凸になることが起こり得る。このような見通しは、50年程前にすでにペケリス（Pekeris）という有名な地震学者が述べていたものであるが、実際にそんなことが起こっているかどうか確かめられないでいた。大変難しい問題であった。

上昇流による境界面の変化と、それによって生ずる重力ポテンシャルを定量的に計算するには、流体力学の運動方程式、連続の式、重力のポアソン方程式を連立させ、境界条件の下で解かねばな

らない。大変難しい計算になる。いくつかの数式化が試みられているが、最終的なものは Hager and Clayton, 1989, に記されている。詳細は省略するが、基本的には次のような考え方による。ジオイドや境界面（地球表面やコア・マントル境界など）の変形は、地球内部の微小部分の質量異常 $\delta\rho(r)$ の寄与を、全地球体積について積分して求める。その寄与は、核函数あるいはグリーン函数と呼ばれる函数を用いて表現される。したがって、核函数と質量分布が解ければジオイドも境界面の変形も計算される。質量異常の分布はサイスミックトモグラフィから与えられる。運動に伴って生ずる境界面の変形、余分質量の見積りには見事な工夫がこらされている。すなわち、境界面の変形量は運動速度と媒質の粘性係数によって与えられるという、流体力学的境界条件表現を用いている。このような基本的な考え方で数学的な解が導かれている。

求められた動的ジオイド、正確には動的ジオイドの高さ、すなわち、動的ジオイドの基準ジオイドからの偏差を図-5に示し、コア・マントル境界に生ずる変形を図-6に示す。計算に用いられた下部マントルの速度分布は図-3と同じもので

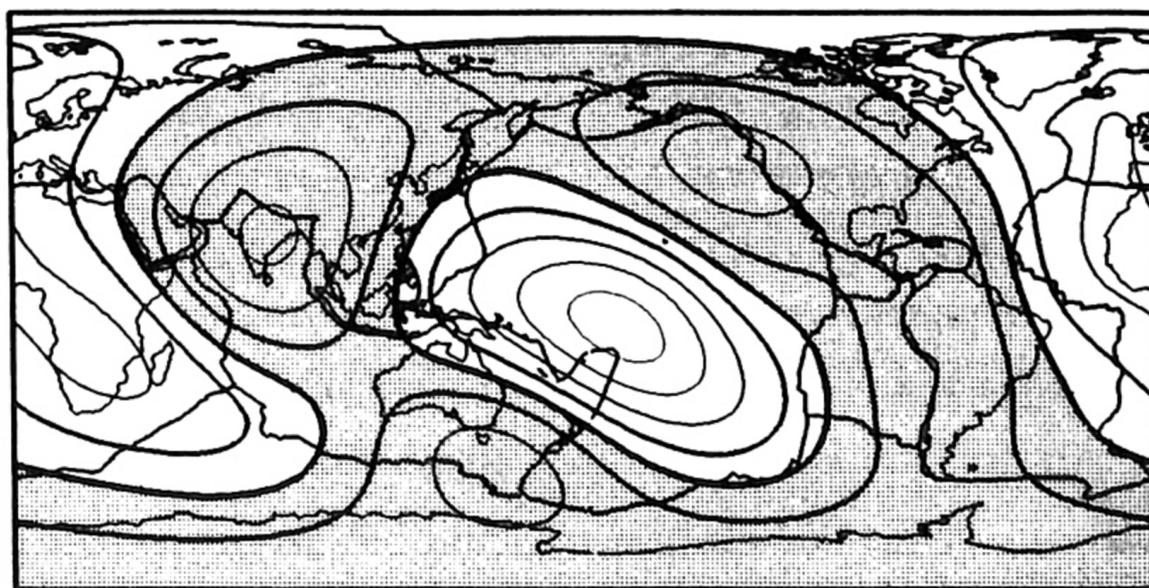
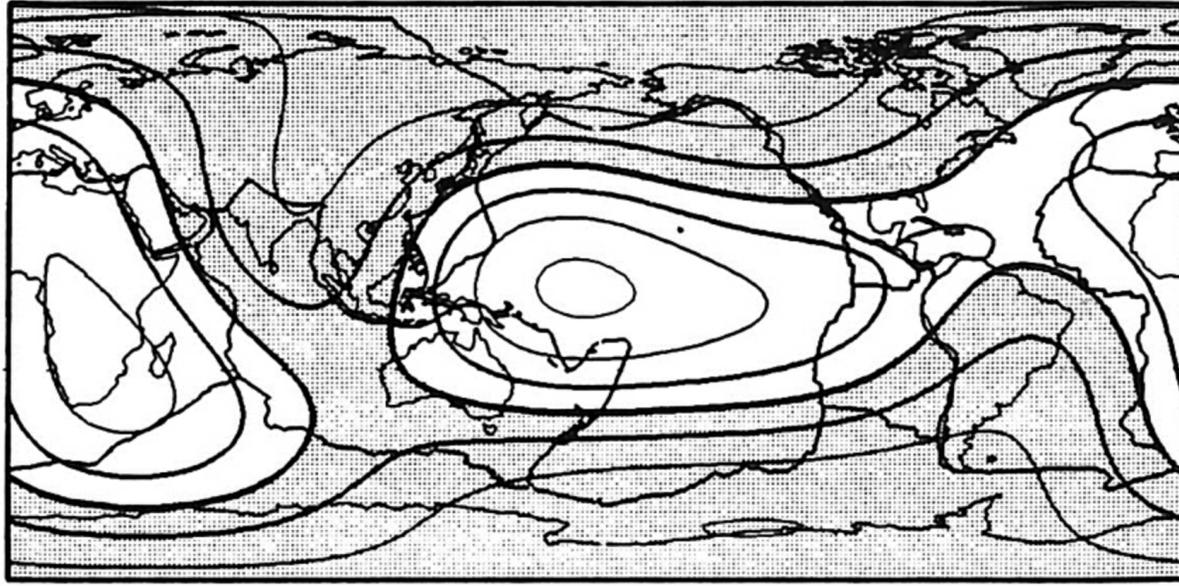


図-5 動的ジオイドの高さ (Hager *et al.*, 1985 による). コンタは 20 m 間隔. 白は正, 影は負. 地表及びコア・マントル境界の変形を考慮に入れたもの. コア・マントル境界の密度差は 4.5 gr/cm^3 にとってある



図—6 コア・マントル境界の凹凸 (Hager *et al.*, 1985 による). コンタは間隔 500 m. 白は正, 影は負

ある。粘性係数は下部マントルでは上部マントルより 10 倍大きいとしている。コンタ間隔は 20 m。ジオイドは太平洋の中央部が 80 m の正（白い部分）となっている。極地域は -60 m の負（影の部分）となっている。動的ジオイドにおいて太平洋の中央部が正に表れたということは、マントル内部の運動の効果が大きく、図—3 にみられる静的ジオイドの負を打ち消して正の値をもたらしたことを示している。また、この動的ジオイド（図—5）のパターンは静的ジオイドのそれ（図—3）ととてもよく一致している。ホットスポットに由来するとみられるアフリカ及び太平洋のジオイド high は、計算（図—5）と観測（図—1）とがよく合っている。少し違っているところといえば、ジオイド high の中心が計算では観測よりやや東へ寄っていること、また、南アメリカ・ペルー付近に観測されているジオイド high が、計算では表れていないことなどが指摘される。

観測されたジオイドは下部マントル内部に起こっている運動を表していた。温度が高く密度が小さくなっている下部マントルが、静的には負のジオイドを与えるものが、その上昇運動によって、結果的には正のジオイドをもたらしていた。符号の逆転は上昇運動によって境界面が持ち上げられたためであった。

（4） コア・マントル境界の凹凸

コア・マントル境界の凹凸（図—6）は、観測されたジオイド（図—1）にととてもよく似ている。この凹凸のコンタは 500 m 間隔、用いた密度差（マントルとコアとの）は 4.5 gr/cm^3 となっている。凹凸の高低差は 3 km にも及んでいる。観測されたジオイドとコア・マントル境界の地形との類似は、計算を長い波長成分に限っていることにあるのかも知れない。実際にはもっと細かな波長成分があり、このような良い対応はないのかも知れない。これは現在の私達の分解能の限界を示している。この高低差 3 km という値は、粘性係数の大きさに依存し、境界層の厚さにも関係する。したがって、この見積りの確からしさは、とても確定することはできない。しかしながら、凹凸が存在するという事は確かなことのように思われる。このコア・マントル境界の凹凸の大きさや形状や場所を確定してゆくには、今後かなりの努力が必要となるであろう。次回に述べるコア表面の地球磁場の変動も、このことに密接に関係している。

衛星のトラック解析から求められた“観測された”ジオイドにコア・マントル境界の凹凸が見えているとは思いがけないことであった。この理由を辿ると、ジオイドの起伏は、そのパターンは下

部マントルの密度分布異常により，その符号はマントル物質の上昇運動に伴うコア・マントル境界面の変形によることであった。図-1のジオイドを見ながら，これにコア・マントル境界の凹凸が見えるのかと思うと，何ともいえない思いにうたれる。

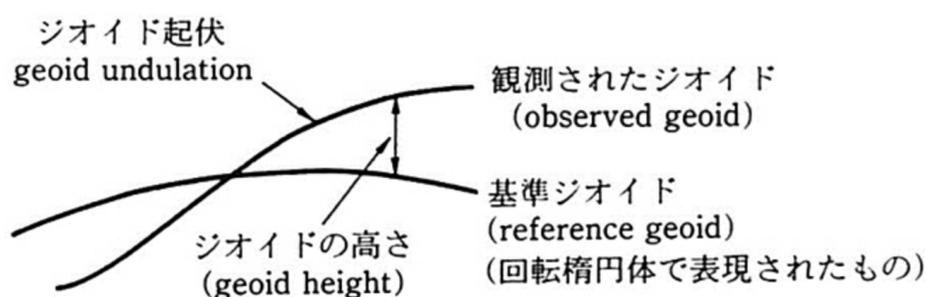
おわりに一言つけ加えたい。ジオイドは，それが地球深部の運動を表していることを教えてくれた。このことは地表の動的地形 (dynamic topography) も地球深部の表れであり，海進・海退，海洋の古環境なども地球深部の運動にかかわっていることを示している。深いマントル内部の運動が身近かなものに感ぜられる。

参考文献

- 1) Chase, C. C., and McNutt, M. K.; Geophys. Res. Lett., 9, pp.29-32, (1982)
- 2) Clayton, Inti. al, and Hager, B. H.; In Mantle Convection, Ed. W.B. Peltier, Gordon and Breach, (1989)
- 3) Hager, B. H., et al.; Nature, 313, pp. 541-545, (1985)
- 4) Hager, B. H., and Richard, M. A.; Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, 328, pp. 309-327, (1989)
- 5) Haxby, W. F. and Weisel, J. K.; J. Geophys. Res., 91, pp. 3507-3520, (1986)
- 6) Wunsch, C. and GaposchKin, E. M.; Rev. Geophys. Space Phys., 18, pp. 725-745, (1980)

註1

(ジオイドの高さ, N) = (観測されたジオイド) - (基準ジオイド) 付図-1 参照

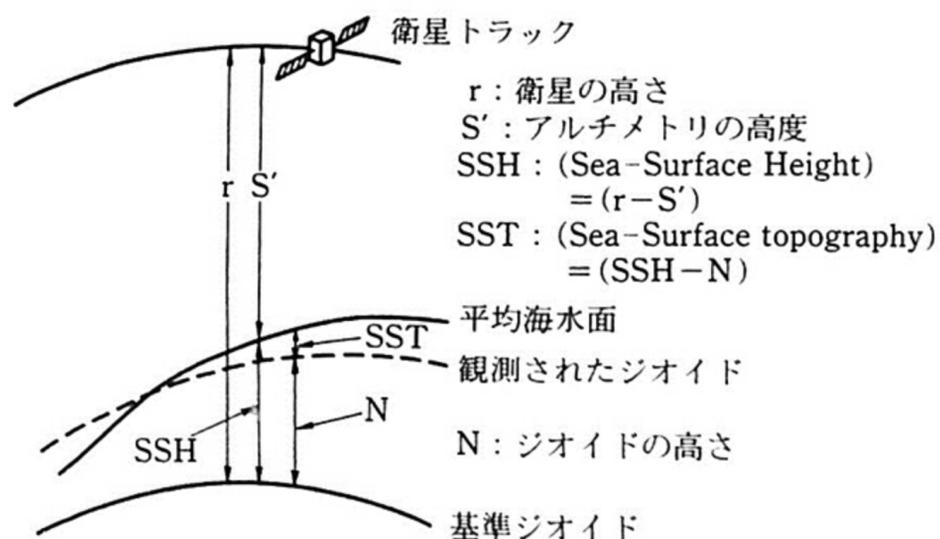


付図-1

註2

(平均海水面の高さ, SSH) = (海水面地形, SST) + (ジオイドの高さ, N) = (衛星の高さ, V) - (アルチメトリの高さ, S')

付図-2 参照 (Wunsch and Gaposchkin, 1980, による)



付図-2

海に魅せられて 半世紀(Ⅻ)



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

11. 昭和 30 年代前半 (5)

⑤ ラumont地質学研究所

昭和 34 年は、私にとって、研究の進展という見地から見て重要な年であったことは繰り返し述べた。気象庁凌風丸による日本初の深海研究への参加、神奈川県水試の江ノ島丸による東京湾口横断の海洋調査の実施、ニューヨークにおける第二次大戦後初の第 1 回国際海洋学会への参加と、その時得た後氷期の海水準上昇の量的変化に関する知識が、古久慈川の埋積谷の成因についての明快な解釈を瞬間的に私にもたらした経緯などについて語ってきた。

語り続けるときりがないほど多くの事柄がある。しかし、そろそろ昭和 34 年に別れを告げて、次の段階に進みたい。ただ、あと一つ二つのことは記し残しておきたいので、この項で述べさせて頂く。

それは、第 1 回国際海洋学会のあと、ほぼ 1 か月、ニューヨークに滞在した折の収穫についてである。

当時、Geological Society of America (略称

GSA) の本部は、ニューヨークのマンハッタン島の北部、アップタウンに位置するコロンビア大学の構内といってもよいくらいの場所にあった。

そこには 2~3 のゲストルームがあり、迎えられるれば、まことに安い宿泊料で滞在させて頂けた。

その頃、コロンビア大学の古生物の教授は著名な N. D. Newell であった。奥様が秘書をしておられたから、ニューウエル夫妻は 24 時間、ほとんど一緒に過ごしておられる御様子に見受けられた。

坂本峻雄先生がこのニューウエル教授と親友のような関係をもっておられた。

坂本先生からニューウエル教授に連絡があり、おかげで私はこの GSA のゲストルームを base にして、国際会議のあと、なお 1 か月、米国滞在を延ばして、コロンビア大学で新しい知識を吸収した。

ニューウエル教授は、私に御自分の研究室を自由に使うようにとおっしゃって下さった。そして、キーのスペアを渡された。留守中でも自由に使ってよいとのことであった。事実、そうさせて頂いた。大変な信用である。坂本先生とどれほどの深さのお付き合いをされておられたのか、この一事で推察できた。

数年後、教授が御夫妻で来日された折、皇居の堀端のフェアモントホテルの玄関で、“ああ、ここは何となくニューヨークに似ている。懐かしいような、親しいような気がしますね。”と言っておられたのを私は何故かよく覚えている。

その数日間の滞在の間、一夕、御夫妻を拙宅に御招待して夕食を差し上げた。その折、奥様が、“You tell him that.”とおっしゃると、先生が“Oh yes.”と答えられて、一つの話話を語られる。それが、次々と繰り返されるのである。何故、奥様が、thatとおっしゃっただけで、あの話話、と先生が思い出されるのかまことに不思議であった。

その夜は、そうやって、先生の語り、それも実に面白く、含蓄に富む話話の数々で更けていった。

あの御夫婦は、口論などなされたことはないのではないか、と拝察した。

このGSA ゲストハウス滞在中、私は、しばしばバスで、コロンビア大学付置のラモント地質学研究所に通った。Lamont Geological Observatory というので、上記のように訳してあるが、実態は、海陸の地震研究と海底地形・地質の研究に主眼を置いた研究所である。

ニューヨーク州の中ではあるが、大学のメインキャンパスとは大分離れていて、マンハッタンからジョージワシントンブリッジでハドソン川を西にまたぎ、川の西岸ぞいに暫く北上したパリセードにある。

1949年、T. W. Lamont の寄付で設立された。後に Doherty 財団の寄付が付け加えられたので、1969年以降は Lamont-Doherty Geological Observatory と改名した。

1955年、足掛け5年にわたるスクリップス海洋研究所の留学を終えて、日本に帰る直前、米国東岸の研究機関を歴訪した。いずれもシェパード先生の紹介によるものであった。したがって、どこでも厚遇して頂いた。その折、ラモント地質学研究所も訪問した。所長は有名な Mauris Ewing

教授であった。所長はじめスタッフの皆さんがたから親切に所内の案内を頂いた。が、なにせ日程がつまっていたので、訪問は2日間ほどしかとれなかった。それでも、研究所の質の高さを伺い知ることができた。その折、いつか機会があれば、もっと長期にわたって滞在し、研究内容の実態を知りたいものと願った。

その機会が思ったより早く、4年後に巡ってきたわけである。

ユーイング所長は、海底下の地殻構造を海中・海底人工地震で初めて探査した人であり、かつ、その頃、スクリップス海洋研究所のレベル所長と相携えてボーリング船による深海掘削計画を実現すべく努力しておられた。もとより、研究業績は枚挙にいとまがないほどの人物であることは、周知の事実である。

今回もユーイング所長はじめ皆さんがたから、様々なことを学ぶ機会を得た。

その一つにスパーカーがあった。

研究所からハドソン川ぞいに暫く北上した所に研究所所属の研究船が停泊する波止場がある。その波止場に泊まっている船の中に見せたいものがあるという。

舫っていたのは、そう大きな船ではなかったが、その研究室にスパーカーの機具一式と、すでに得られた記録の幾つかが置いてあった。

スパーカーは商品名である。したがって、水中火花放電式音波探査記録装置といった一般名を用いるべきであるが、ここでは、お許しを願って、スパーカーを一般名として使わせて頂く。

航走する船の船尾から後ろに伸ばしたケーブルの先端は海面下に沈んでいる。この先端部に電極としての金属筒が同心円状に2本露出している。この2本の金属筒は、絶縁体で隔てられている、この二つの電極の間に、蓄電池を通してチャージアップされた1万ボルトほどの電圧差を生じさせる。そこでトリガーを通して少量の電流を船内に

ある回路内で流すと、水中にある電極の間で火花放電が起こって瞬時の内に電流が流れて電圧差は消滅する。この放電の時に水中で大きな音響を発するのである。

電極用のケーブルに沿わせて、聴音の役目をするケーブルを流し、その先端に hidroフォンを装着しておけば、音源としての電極から、あらかじめ設定された時間間隔を置いて発せられる音は、すぐ近くの hidroフォンにまずキャッチされる。次いで水中を通過して海底まで達して反射してきた音が hidroフォンに入る。それから次々と海底下の堆積物や基盤の岩石の中の不連続面から反射してきた音が補足される。

ゆっくりと巻き取られて行く記録紙の上を、直角方向に定速度で回転するペンは、反響音をキャッチするたびに、記録紙の下の金属体との間に電流を通じ会って記録紙のその部分だけをソフトに焼く。

記録紙の上には、航走する船の船尾近くに流されている電極で発信される音が、 hidroフォンで受信された直接音や海底からの反射音として焼き付けられて、連続画像として描き出される。

海底下の物質の密度までは、嗅ぎ分けられないが、少なくとも、海底下の地層の傾斜の方向、連続性、断層、褶曲などは見事なまでに描かれている。海底下の地質構造の大勢を連続した画像として直接、肉眼で見ることができるのである。

私は、このスパーカーの記録を見たとき、この連続音波探査方式は、これからの海底地質調査の主流の一つになる、と直感した。

これを見ただけでも、今回、ラumont地質調査所に来たかいたが思った。そして、無性に日本でもこれが欲しいと思った。

私の手に日本の NEC 製の通称スパーカーが入ったのは、この時から 4 年後の昭和 38 年である。

この頃、スパーカーは、ラumont地質研究所のスタッフの苦心を重ねた試行錯誤の末、完成して

間もない頃であった。

私に説明してくれたスタッフは、そのような苦心談を語りつつ、出来が上ったスパーカーと、それによって得られた記録に満足げであった。

したがって、その時、私は正直に言って、まさか、このスパーカーが既に日本で縦横無尽に活躍した後であるとは知らなかった。帰国後、そのことを知って驚いた次第である。

日本深海研究の発足といい、このスパーカーの導入活用といい、確かに、この頃から日本の戦後は幾つめかの節目を迎えていたのであり、復興の兆しを芽生えさせていたのである。

帰国後、もとより、米国側からの誘いかけもあったのだろうが、テキサス所在のスパーカー所有の海底探査会社が、来日して、日本の数多くの国有機関、民間会社の求めに応じて、日本周辺の海底のスパーカー探査を実施した事実を知った。

米国でも、ぼつぼつと探査が始められていた頃である。

この一事をもってしても、日本はこの頃から素早い反応をし、かつ、それだけの経済力を保有する国に変身していたのであろう。

私の帰国後も、このテキサスの会社のスタッフはスパーカーを携えて再度来日し、方々の探査を実施した。私も幸にして機会を得て、彼等と行動を共にし、つぶさに探査の実際を見聞することができた。

テキサス・スパーカー・スタッフの足跡は、釧路炭田、青函トンネル基礎調査、日本海側の海底油田探査、九州の長崎などにおける炭田調査など、実用的調査を中心として幅広い範囲にわたっている。

私は、何とかして、自分の手にスパーカーを持ち、基礎的な研究に活用したくなった。

私は、予算のことはさておいて、まず、日本の関係会社でこのスパーカーが製作可能か否かの検討をして頂きたく、幾つかの電気関係会社を訪問した。そのいずれもが、完成後の販売台数の数が

それほど期待出来ない割には、設計・試作の経費が高いことが予想されるとして難色を示された。

例外は日本電気 NEC であった。海洋測器の試作・製作を担当しておられた西村鉄雄・高橋弘治の両氏を中心とするスタッフの方々が、予算を度外視して、和製スパーカーの試作に関心を示され、実行する、といった気迫を見せて下さった。

私は、希望の灯が見えたような感じがした。

同じ頃、このスパーカーの試作について、NEC にアプローチされたのが、工業技術院地質調査所の森 喜義・中条純輔の両氏を中心とするグループであった。私は早速、この地質調査所グループに溶け込ませて頂いた。

これらの人々は、たびたび会合を持ち、試作機的设计・製作のプロセスを進めていった。

まず、地質調査所の予算がスパーカーに付くという見通しが立った。

そして、昭和 36 年、国産第 1 号の水中放電式連続音波探査装置—通称スパーカーが完成した。

前号にも述べたが、中条氏から、その最初の使用海域について、小生が御相談を受け、躊躇することなく、東京湾口の探査をお勧めしたのは、以上述べたような、試作の道を共に歩いた同志という関係があったからである。

探査の結果は大きな成果を挙げ、古東京川が沖積層によって半埋積の状態に置かれた海谷であることが判明した。さらに、かつての河岸段丘のうち低位の数段が沖積層によって既に埋積されている状況も明らかにされた。これらの事実については、既述のように日本海洋学会創立 20 周年記念論文集（1962）の中に掲載されている。

ユーイング所長は、テキサス州の出身である。ラumont地質学研究所設立以来、長年にわたって所長を務められた。

後年、定年退職の噂を耳にしたとき、私は直ちに学術振興会に事情を話して、1年間、東京大学の海洋研究所に客員教授として招聘する手続きを

日本側としては完了し、招聘状を発送した。

直ちに御返事を頂戴したが、2~3日の差で、テキサス大学に新設される研究所の所長として招かれたので、それを受諾したばかりであるから、深謝するが、日本行きは数年後まで待つて欲しいとのことであった。残念だが、順序である。諦めた。ところが、テキサスへ移られて間もなく、心臓発作で不帰の客となられた。

その知らせを受けたとき、とっさに、もし日本からの招請状が、1週間早く、そして、ユーイング先生がそれを受けておられれば、あるいは日本で命長らえておられたのではないかと考えもした。宿命である。

ユーイング先生といえば、こういうこともあった。来日された時、一夕、先生を四谷の大木戸の自慢荘という純日本風の料亭にお招きして、2人だけで懐石料理を賞味したことがあった。

その時、軽い地震があった。先生は何とも言えぬ無表情に近い、しかし、ある種の感慨を示す表情をされた。地震が収まって暫くして、私にこう言われた。

“Nori、これはトップ・シークレットだよ。だから誰にも言うなよ。自分は地震学者で通して来た。しかし、生まれてから 60 有余年、今のが初めての地震の経験だよ。何と貴重な経験だろう。日本に来てよかった。”

そう言い終えられた時の先生の目は、まさにいたずらっ子のそれであった。

大陸育ちの著名な地震学者の老境にいたっての地震初体験。これは多くの含蓄に富むいい話の種になると思った。でも緘口令をひかれた。口外できない。

その先生も不帰の客となってしまわれた。このトップ・シークレットの話をお公にしても、先生はお許し下さるであろう。

話を元に戻し、昭和 34 年のラumont地質学研究所訪問滞在の折のいま一つ大切な、私にとって

大切なエピソードについて語ることにしよう。

ここには Bruce C. Heezen という助教授がいた。彼は、mid-Oceanic Ridge 及びその中軸部の陥没地溝の発見者として、地球科学史上、永遠にその名をとどめるほどの人物である。

mid-Oceanic Ridge は中央海嶺系と訳される。

この連続した中央海嶺系と、その中軸部の地溝の発見は、ここぞ地球内部物質の噴き出し口であり、ここから大洋底は両側に年間数 cm の速さで拡大移動する、という Robert S. Dietz と Harry H. Hess の大洋底拡大説、あるいは海洋底拡大説といわれるものの基盤となったのである。この説の提唱は 1961～62 年にかけてのことであった。そして、この大洋底拡大説は、1967～68 年にかけて提唱されたプレートテクトニクス説の礎となったものである。

ラumont地質学研究所は、1953年、汽帆船の Vema 号を寄贈された。

ヒーゼンはこの船を活用した。まず大西洋の海底地形の調査から着手した。大西洋のほぼ全域にわたって、ほぼ等間隔の調査を実施したのである。

その結果、よく知られている大西洋の両岸の平行性と同様の性質を示す mid-Atlantic Ridge を発見したのである。これは、中央大西洋海嶺、あるいは大西洋中央海嶺と訳される。

そしてかの有名な大西洋の立体的海底地形図を秘書の Marie Tharp と共同で発表したのである。

何故か、正式には結婚しなかったが、マリーがヒーゼンの奥さんであることを私は随分あとになって知った。昭和 34 年当時、そのことは知らなかった。

私は、何故かヒーゼンとは既に面識があり、何となく旧知のような間柄であった。気が合う、とでもいうのであろうか。

彼の部屋を訪れたとき、彼は、例の大西洋の立体的海底地形図の元になった大西洋の東西横断面海底地形図を何枚も広げて見入っていた。

彼は言った。“音響測深儀で記録をとると、余りにも長尺に及ぶので（10分だったか何10分おきだったか彼が言った時間間隔の数は忘れたが）、TNT ダイナマイトを船尾から海中に投げて爆発させ、その海底からの反射音を記録した”と。

大西洋横断の1枚の海底地形記録は、長さが3～5mで、全体の様子を眺めるのにまことに好都合であった。

彼はさらに言葉を続けた。“マリーがある1枚の海底地形横断面を見ているうちに、海嶺の頂部に陥没地溝があることに気付いた。それから2人で、他の横断面図を次々に調べているのだが、どれにもそれがある。

このことに気付くまで、自分は、中央海嶺系というのは、アルプスや日本列島と同じで、造山帯であり、両側からの圧縮で高まっているものとはばかり考えていた。

しかし、地溝が海嶺系の中軸部に連続して存在するとすれば、これはどうしても tension field の存在を考えざるを得ない、という結論に達したところだよ”。

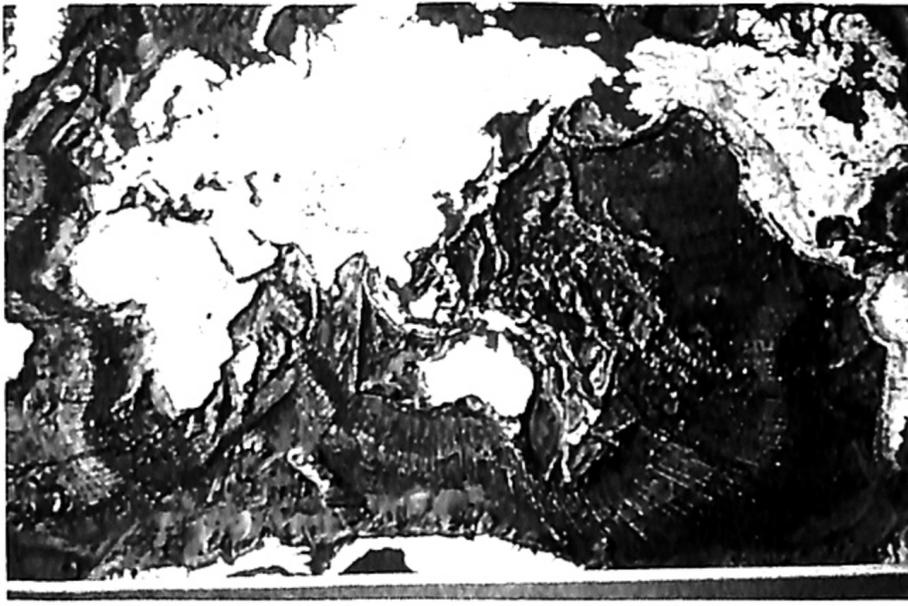
私は驚いた、中央海嶺系が tension field とは！

そして、何か、地球科学の歴史的ターニング・ポイントに立っているという重大な感触を味わった。

ヒーゼンは、その頃、すでに大西洋のみならず、インド洋、太平洋、南極海、北極海などの調査も進めていて、次々と各海域の、同様に立体的海底地形図を出版し、最後に全世界の海底地形図をまとめた。図—1にそれを示す。これは、ヒーゼンの世界海底地形図に、国際深海掘削計画の参加研究機関の位置を入れたもので、米国の NSF が、日本のいかなる出版物にも自由に掲載してよろしいというお墨付きを出しているものである。

ヒーゼンの原図の転載は、ご存知のように困難な手続きを要するものである。

いま、私の手元に、今日では廃刊になってしまった科学読売の 1961 年 4 月号がある。その中で私



図—1 ヒーゼンの立体的世界海底地形図（国際深海掘削計画本部提供）

はヒーゼンが、前年の1960年、Scientific Americanの10月号で発表した大洋底拡大の原因に関する解釈を紹介している。彼は、長年にわたる地球の重力の減少が、地球の膨脹を招き、固体地球の表面積は増大した。それを埋めるべく地球内部から物質が供給された部分が、拡大した中央海嶺系に当たるのであろう、という一つの推論を述べている。

この1961年に、ディーツは、中央海嶺系中軸部を地球内部物質の噴き出し線であるというヒーゼンの推論を吸収しつつ、年間数cmの速さで拡大移動する大洋底は、行き着く先の多くの場所で、例えば大陸や別の海洋底の下に斜めに沈み込むのであろうという、一種の完成された大洋底拡大説を唱えたのである。

翌1962年には、ヘスがディーツと同様な考えを発表した。

ヒーゼンは、大洋底拡大説の桂冠の傍らまで迫りながら、その栄冠をディーツとヘスに奪われてしまったのである。

しかし、大洋底拡大説とそれに続くプレートテクトニクス説の基盤である中央海嶺系中軸部の地溝の存在という事実を発見したのはヒーゼンである。その意味で、私は彼の功績を高く評価したいと思う。

彼は準教授までしか昇格しなかった。そして、

1977年6月、大西洋において、潜水艦で観測中、突然の病で急逝した。舞台上倒れた俳優にも似た最後であった。

私が敢えてこのようなことを述べるのは、ヒーゼンは何故か、生前、敵が多く、適正な評価を多くの人々から受けなかったきらいを感じるからである。彼に近い米国人や英国人の多くは、率直に言って彼に対して好印象をもっていないようであった。全くの外国人である私にとって、その真相は掴みがたいものがある。

したがって、ヒーゼンが評価されるのは、彼と直接的な交渉を持つことがない人々が表舞台上活躍するこれから後の時代であろう。

あれほど優しい人柄のユーイング所長とヒーゼンの不仲は、知人の間では有名な事実であった。ヒーゼンが、準教授の地位のままで据え置かれたのには、そのことも随分と影響したのであろうということ私に告げる米国の友人は1人や2人ではなかった。

SCIENCEの世界でも人間臭さが入ることは随分とあるものである。

そうした意味での欧米人の中での敵対感情は、一般的に言って温かな関係を保ち、和をもって尊しとする日本人の感性では理解の枠を超える場合も折にはあることを銘記すべきである。

そうした情報を持たずに、Aさんの所に行って気軽にBさんのことを口に出した日本の研究者が、訳も分からぬまま、以後冷遇された、という例も1、2にはとどまらないのである。

最近、ロシアのGuleb B. Udientsevが来日した。東京大学海洋研究所で、ユネスコ海洋学委員会（IOC）が世話をしている国際大西洋太平洋地質物理地図（GAPA）中央編集委員会第11回会議が開催された機会に、そのメンバーであるウジンチェフが来日したのである。

彼の専攻は海底の地球物理学であり、私の専攻が海洋地質学である、ということもあって、彼は

私にとっては古くからの友人である。

1991年9月13日の夜、彼を拙宅に招いてもてなした。

談、たまたまユーイングとヒーゼンの不仲の件に及んだとき、彼はそのことを知らず、大層な目に合ったと、彼の身に起こった事件について語ってくれた。

ラumont地質学研究所に招待された彼は、ユーイングの研究室のある館に居室を与えられた。これは大変な厚遇である。

ある夜、ヒーゼンに夕食に招待された。楽しい一夕を過ごして帰館してみると、玄関のドアが内側から鍵を掛けられているので、自分の持っているキーでは開けられない。

上を見ると、ユーイング先生の研究室にはまだあかあかと明りが点っている。声をかけた。何の反応もない。そのうち、先生は明りを消して、裏側のどこかのドアから帰宅してしまった。無論、鍵を掛けてである。

弱ったウジンチェフは、館を一周し、各ドアを詳細にチェックした。幸い、ボイラー室へ出入りするドアの鍵が掛かってなくて、そこから館内に入り、無事、自室に戻って寝ることができた。

翌朝、館に入ってこられたユーイング所長は、そこにウジンチェフがいるのを見て、どこから入ったか、と聞かれた。ウジンチェフは、かくかくしかじか、と説明した。所長は何も言わず、そのまま不機嫌な顔で2階へ上がってしまわれた。

後になって、所長とヒーゼンの関係を聞かされたウジンチェフは一切を理解した。

一晩、罰としてウジンチェフは野宿させられる羽目に合うところであった。

以上がウジンチェフのこの件に関する話である。

無論、私にとっては初耳の話である。

ヒーゼンは元来、大学院時代、ユーイング先生から直接、指導を受けた教え子である。

後に、いろいろな点で、師と意見を異にしたのであろう。

これは、私どもから見れば兎戯に類することである。

しかし、あの有名で優しく、皆に慕われたユーイング先生でも、こういうことをなされたこともあった、という事実を、お伝えしたかったまでのことである。

日本と外国とでは、たまに感性が異なることもある、ということを示しあげたかったのである。

このウジンチェフも色々な目に合っている。ともかく、1967年以降、出国を禁止されたのである。

ペレストロイカでようやく、最近、その禁が解けたという次第で、今年の8月19日に始まるクーデターとその失敗の1週間は、オーストリアのウィーンに居て、モスクワの家族のことを心配したそうである。

私の家で彼は、25年にわたる禁足が解かれたせいもあって、もどかしげに多くのことを語ってくれた。そうした内容については、いずれまた語る機会もあろう。

ただ一つ、私が驚いたのは、彼はとっくの昔にプレートテクトニクスの考え方に変わっているのであろう、と予想していたのであるが、そうではなかったことである。

大洋底の拡大部分は、中央海嶺系の範囲に止どまる、と考え、中央海嶺系の外縁に両側の大陸の端が迫っていると解釈している。そのため、プレートの沈み込みのメカニズムには賛意を表していないのである。

これは大事（おおごと）である。

これから、彼の話もじっくり聞いて、色々意見を交換する必要があることを感じた。

世はプレートテクトニクス一色で塗りつぶされてはいないのである。

正直いって、この夜の彼との会話は、今後の波乱万丈を思わせるのに十分であった。

米国ハワイ州における深層水利用技術の研究動向

海域開発研究部 豊田 孝義 Takayoshi Toyota

1. はじめに

科学技術庁と全米科学財団との共催により、日米海洋科学技術ワークショップが昨年3月に米国ハワイ州で開催された。その一つのテーマに深層水利用技術研究が取り上げられ、その一環として深層水利用技術研究に関する情報交換が開始された。

このプログラムに基づき、1991年3月にハワイ州で深層水関連の研究を行っている研究機関を訪問し、研究成果についての情報交換を行う機会を得た。

訪問先は次のとおりであった。

- ・ハワイ州立自然エネルギー研究所
Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority (NELHA)
- ・ハワイ大学海洋生物研究所
Hawaii Institute of Marine Biology (HIMB)
- ・ハワイ大学自然エネルギー研究所
Hawaii Natural Energy Institute (HNEI)

ハワイ州では、1978年に海洋温度差発電技術の実証試験としてMini-OTEC実験が開始されて以来、エネルギー研究の他に、深層水を水産養殖に利用しようとする研究も盛んに行われるようになった。

この背景には、電力用のエネルギーのほとんどを輸入の石油に頼っているハワイ州としては、観光産業に逆行する原子力発電は導入できないとの判断から、風力・地熱・海洋温度差等の自然エネ

ルギーの活用に、精力的に取り組んでいることが挙げられる。また、ハワイの生産基盤は従来から農業の他にはほとんどなく、ハワイ州の産業育成という意味で、今後は水産養殖やバイオ技術による海洋を利用した生産を振興していこうという動きがある。

これらを実現するために、ハワイ大学をはじめとする幾つかの研究機関が研究を行っている。

2. ハワイ州立自然エネルギー研究所訪問

Technical Directorの、Dr. Thomas H. Danielに本研究所で行っている研究と水産養殖の商用生産についての説明を受けた。

本研究所は、深層水利用による海洋温度差発電技術や、生物生産技術の実証研究を行うことを目的として、1974年にハワイ州によって設立されたNatural Energy Laboratory of Hawaii (NELH)と、その後、海洋科学技術の研究開発と商用化を図る場として、同じくハワイ州によって設立されたHawaii Ocean Science and Technology Park (HOST park)を、1990年に統合したものである。現在では、深層水利用によるハイテク水産養殖場というイメージが強いが、多くの技術はまだ研究段階にある。

本研究所の概要を次に述べる。

位置：ハワイ州の最南端に位置するハワイ島のコナ

面積：869 エーカー (3.52 km²)

取水施設

深層水取水深度：約 600 m

深層水取水量：合計 1.56 m³/秒

深層水取水管：合計 9 本

直径 30 cm (1 本), 45 cm (1 本), 102 cm (1 本), 41 cm (2 本), 45 cm (4 本)

表層水取水量：合計 0.69 m³/秒

実用レベルの海洋温度差発電用取水管は、直径が 10 m 前後のものが必要といわれており、取水管方式の開発が困難なためトンネル方式が検討されており、今年か来年中にはこの研究所の敷地内で数本の試掘を行い、技術面とコスト面のデータを取得する予定である。

主な研究実施内容を次に述べる。

2.1 アクアカルチャーへの利用

主に次の企業によって技術開発が進められている。

(1) Ocean Farms of Hawaii

最初の深層水取水が始められた 1982 年からアワビ生産実験を開始し、その他に現在ではサケ、カキ、ウニの生産を行っている。上記の取水管のうち、直径 41 cm (2 本)、と 45 cm (4 本)のものはこの会社が独自に整備したものである。サケの養殖施設はかなり広大なものである。稚魚のための淡水の水槽は直径が 3 ~ 5 m 程度で、これに用いる淡水の冷却は深層水との熱交換で行っている。サケを淡水から海水に移す段階では、直径

5 ~ 7 m の円形水槽 (数基) を用いている。さらに成長したサケのためには、一辺が約 100 m の正方形で深さが 5 m の穴を地面に掘り、水を通さないシートを敷いて作った水槽が用意されている (写真-1)。その横に、これより一回り大きい水槽を 2 基建設中である。

(2) Cyanotech Corporation

植物プランクトンのスピルリナとドナリエラを培養している。これらは、医薬品や健康食品の原料になるもので、潜在的には大きな市場が想定される。スピルリナの培地は深層水に淡水を混合したものに栄養塩等を添加し、pH を 11 程度に調整したものである。培養の際には他種植物プランクトンのコンタミに神経を使っているとのことであつた。培養水槽は幅 3 m 程度の水路が長円形のドーナツ状になったもので (写真-2)、その長径が 100 m 以上もある大きなものがいくつも並んでいた (敷地の合計面積は 6.1 ヘクタール)。

スピルリナは、植物性タンパク質とビタミンが豊富で、βカロチン等も含む。ここで生産されるスピルリナはすでに商品化されており、健康食品や工業原料として出荷されている。ドナリエラは抗ガン剤の原料にもなる高品質のβカロチンを特に多く含む。ドナリエラに含まれるβカロチンは、他の原料から得られたものより人体に対して効果が高いとされ、ドナリエラからβカロチンを直接分離する技術の開発も行っている。培養するとき



写真-1 サケの飼育水槽。一辺の長さが約 100 m の正方形である



写真—2 スピルリナ（植物プランクトンの一種）の培養水槽

に、海水にさらに塩分を加える必要があり、これにコストがかかるので、商用化するためには少しでも自然条件のよい場所を選ぶ必要があり、現在ではハワイでの生産を中止し、さらに日照条件のよいカリフォルニアで生産することになった。

（3） Royal Hawaiian Sea Farms

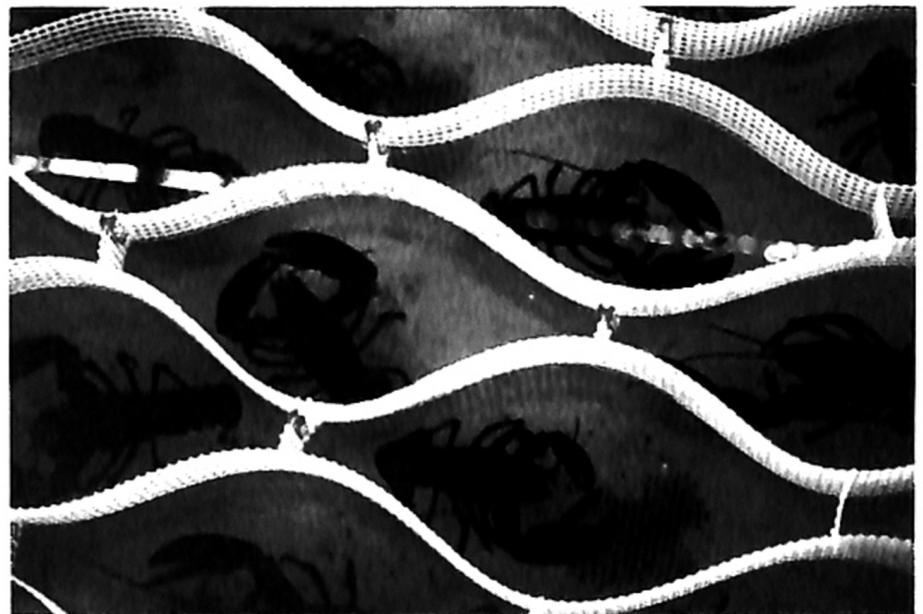
ノリ、オゴノリの他、ハワイ特産の海藻“ele ele”等を生産しているが、見学することはできなかった。

（4） Aquaculture Enterprises

現在数千尾のロブスター（Maine lobsterとハイブリッドの2種）を飼育しており、ロブスターがマーケット・サイズの450gに成長するには、天然では7年かかるが、ここの飼育条件下では3年で達成できる。飼育技術としては、共食いを防ぐための個室のケージ（写真—3）と、水を汚さないために開発された餌が特徴的である。生産物は価格の高いニューヨークと東京に生きたまま試験的に出荷している。今後は、オート・クリーニング機構を備えた水槽を導入し、8.1ヘクタールの商用施設を作る計画をもっている。

（5） 宇和島水産（株）

ヒラメの養殖を行っており、飼育水としては以前は深層水を用いていたが、現在は塩分約10%の浸透海水（井戸を掘って汲み上げる）に切り替えてコスト軽減を図っており、種苗生産や飼育水温の冷却が必要な時には深層水を用いている。生産物は主にホノルルに出荷しており、さらに生産



写真—3 ロブスター（上）とその飼育水槽（下）

設備を拡張中であった。

（6） その他

真珠貝、マヒマヒ（シーラ）、ナマコ、テラピア等、種々の藻類についての研究開発も行われている。

2.2 エネルギー回収への利用

（1） 海洋温度差発電（OTEC）技術の研究開発

カナダのアルカン社が、アルミニウム製のクローズド・サイクル OTEC の熱交換器の研究開発を行っており、ゼネラル・エレクトリック社と協力して、OTEC パイロット・プラント設計を行い、OTEC プラントの建設コストの 1/3 を占める熱交換器の建設コストを、2 割程度軽減できる見通しが得られた。アルカン社とゼネラル・エレクトリック社は、ハワイの地元企業と共同で研究組合を組織して、500 kW プラントを建設する計画をもっている。この計画には深層水を 1,000 m の深度から取水するパイプが必要となり、“ハード・パイプ”の開発が困難なことから、“ソフト・パイプ”を検討している。今年中にプラントの建設を開始し、“Energy Independence Day for Hawaii”と呼んでいる 1992 年 7 月 4 日までに発電を開始するという計画である。

米国エネルギー省 (DOE) は、オープン・サイクル OTEC の研究を続けており、すでに設計に必要なデータを取得し、上記と同じく 1992 年 7 月 4 日までに、総発電量 210 kW (外部への供給電力は 40 kW) のオンライン発電を行いたいという希望をもっている。

(2) 冷房

7°C 程度の深層水をチタン製の熱交換器に通して空気を冷却するもので、冷却に電力が不用で、運転コストが極めて低い。現在は本研究所の冷房に使用されているが、将来はホテル等大規模冷房への利用の可能性がある。

(3) 淡水製造

太陽熱で昇温した海水をスプレーして水蒸気を作り、冷熱源として深層水を用いたコンデンサーで凝縮して淡水を製造する方法で、1 時間当たり 10~20 ガロン (45~91 リットル) のプロトタイプ・プラントを本研究所に作り、ほぼ研究を完了した。現在、太陽電池から供給される電力でポンプやファンを運転する淡水化プラントを、Molokai に建設中である。

(4) 農業

深層水を冷熱源として用いて冷涼な栽培環境をつくり、イチゴ・レタス・高山植物等寒冷植物を生産する研究を行っている。この研究により、さまざまな栽培環境を作ることが可能になる。

(5) その他

使用済みの汚れたフロン・ガスを精製して再利用するために、フロンの蒸留プラントが研究所内に設置され、コンデンサーの冷熱源に深層水を利用している。フロンを有料で回収し、それを精製したものを販売して二重の利益を得ており、経済的には十分成り立っているようである。

3. ハワイ大学海洋生物研究所訪問

海洋生物関係の研究を活発に行っているハワイ大学海洋生物研究所 (写真-4) を訪問し、魚類関係の研究者である、Dr. Arlo W. Fast および Dr. Christopher L. Brown に面会する機会を得た。

本研究所は、オアフ島東岸のサンゴ礁が発達した風光明媚なカネオヘ (Kaneohe) 湾に浮かぶ小島 (Coconut Island) に位置し、(写真-5)、研究所を訪れる人は、専用のボートで 2 分程度の船旅をすることになる。サンゴの基礎研究分野での歴史は古く、アクアカルチャーについては教育と研究の両方において、次の分野の活動を行っている。

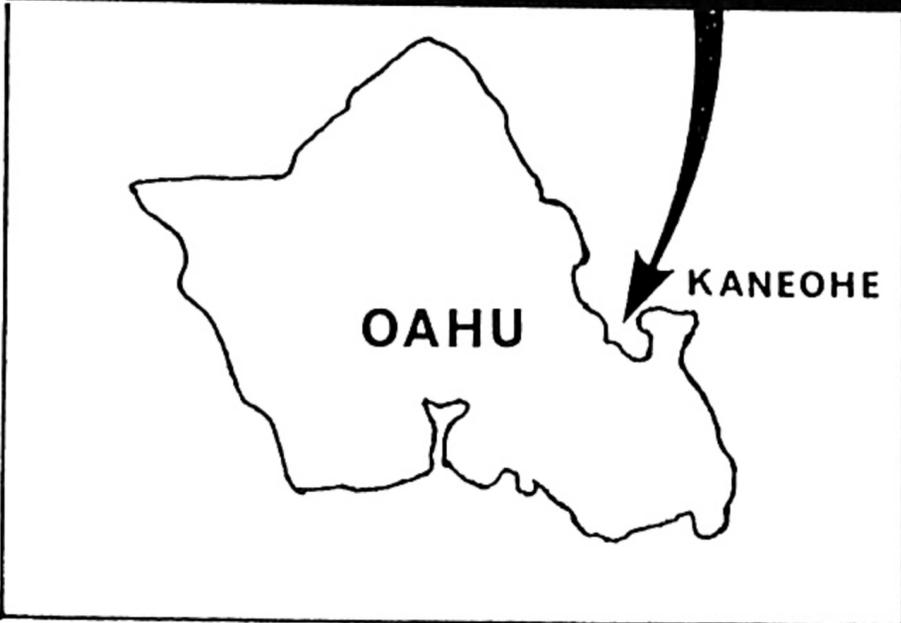
- ・技術集約的アクアカルチャー
- ・陸上水槽でのアクアカルチャー
- ・アクアカルチャーと海洋温度差発電との複合
- ・アクアカルチャーにおける基礎・応用研究
- ・アクアカルチャーの産業化

ハワイ州立エネルギー研究所が設立された当初、その施設を用いて、深層水利用による藻類培養や魚類飼育の研究を行っていた。その主な研究テーマは次のとおりである。

- ・NELH で汲み上げた深層水と表層水の水質



写真一4 ハワイ大学海洋生物研究所



写真一5 ハワイ大学海洋生物研究所があるココナツアイランド（上）とその位置（下）

- ・海洋温度差発電システムの実験プラントにおけるノリの増殖
- ・NELHにおけるアワビ飼育
- ・NELHにおけるアメリカン・ロブスターの飼育

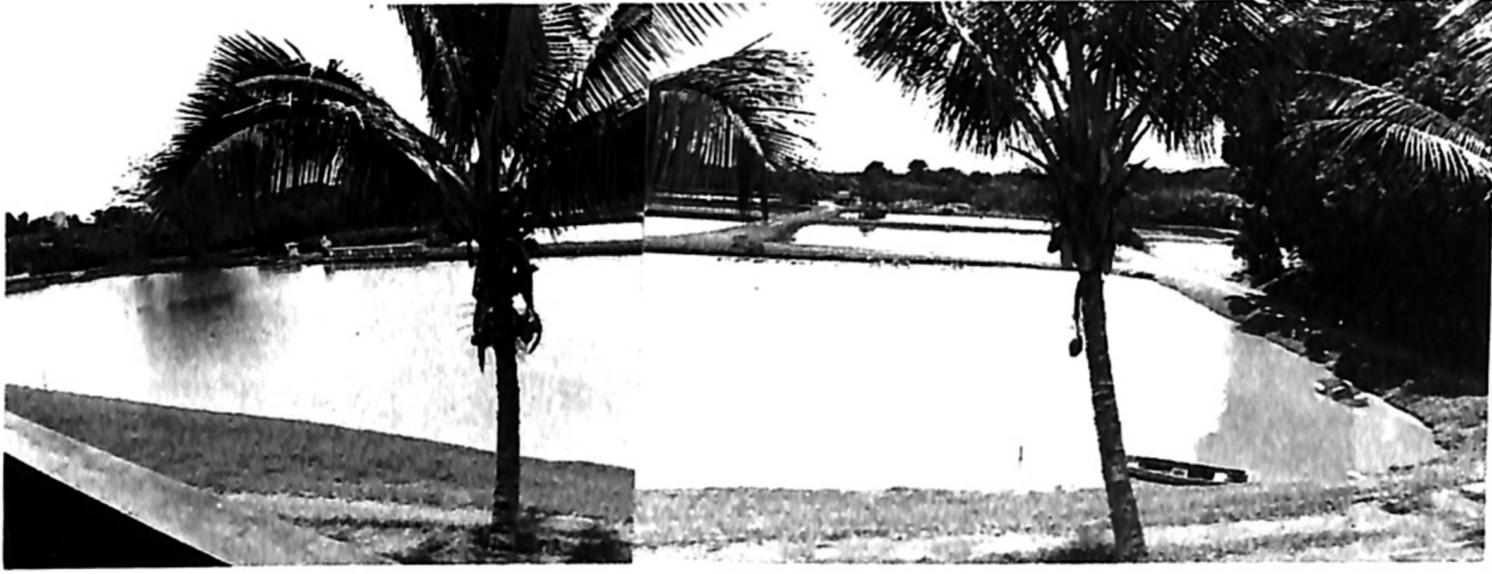
- ・NELHにおけるサケの飼育
- ・ニジマス成熟と採卵
- ・OTEC排水で飼育したサケに含まれる重金属
最近では深層水関係の研究を行う機会が得られず、これを実現するためにハワイ大学のコナ新キャンパスの整備を期待しているとのことであった。

この研究所は、近くに淡水の飼育池（写真一6）のある分場を所有しており、研究と教育に利用している。

4. ハワイ大学自然エネルギー研究所訪問

ハワイ大学のメイン・キャンパス（Manoa）内にあるハワイ大学自然エネルギー研究所を訪問し、Dr. Kelton R. McKinleyに面会して、情報交換を行った。

ハワイにおいては、過去には深層水利用技術としては、海洋温度差発電技術が主体であり、アクアカルチャーは副産物という位置づけであった。研究の進捗状況からみると、現在ではそれが逆転して、海洋温度差発電技術分野については解決すべき研究課題はまだ多いが、アクアカルチャー分野では小規模の企業による技術開発が進み、一部に商用化が達成されている。問題点としては、商



写真—6 ハワイ大学海洋生物研究所の分場にある淡水の飼育池

用化のみに走り過ぎ、さらに高度な技術を開発するための基礎研究が不足していることが指摘された。

我が国では振興調整費による研究によって、ハワイに次いで深層水取水装置が整備され、深層水利用技術の研究が2年間行われたことは高く評価されており、お互いの発展のために、今後とも研究交流を深めたいとの意向であった。

日本とハワイの深層水利用研究の相違点についても議論した。現在は両者ともに陸上型であるが、将来、①浅海底を海藻を基盤とした生産の場として利用する技術や、②海域の基礎生産を強化して漁場を造成しようとする技術の研究に進む場合、日本では陸棚の利用により①が可能である。しかしハワイでは、陸棚がないことと自然保護政策のため排水を海岸へ流せないことから、①を実施することができない。だがハワイでは、洋上型の海洋温度差発電プラントの構想を進めており、これにより将来大量の深層水が排水されるので、②の実験の機会が得られると考えている。日本では、残念ながら周年海洋温度差発電が可能な海域は存在しないので、②を行うことは困難である。このような状況の中で、将来互いに研究の場を共有することも重要である。

もう一つの相違点としては、研究予算の形態があげられた。われわれの振興調整費による研究で

は、5年間の研究期間が約束され、比較的息の長い研究ができることが羨ましがられた。米国のNSFによる予算は、比較的短く単発的であるため、長期的な目標を実施することが困難であるらしい。したがって、深層水利用技術という形で予算化されている訳ではなく、深層水にも関係するという程度の関連の中で研究を行わざるを得ない。さらに、深層水利用による生物生産の分野の研究としては、NELHに最初に深層水取水管が敷設された1982年からの数年間に集中的に行われたのみであり、大学や関連企業から、商用化のみを行うのではなく、基礎と応用研究のバランスが重要であるとの指摘の声がでていいる。そこで、ハワイ大学としては、NELHの隣に新キャンパスを造成して、深層水利用を含む海洋研究を行おうとする計画が進められ、具体的な場所の選定作業に入っている。ハワイでは、深層水関連研究の裾野がかなり広がってきたことは事実で、この点では我が国は遅れており、公共機関を中心とする研究開発をさらに推進する必要性を強調したい。

5. おわりに

将来展望を海に求めるハワイ州にとっては、海洋開発研究の活性化が重要な課題である。このことは、我が国にも共通する部分が多い。余談にな

るかも知れないが、海洋開発研究の活性化のために、“Blue revolution 2000”という研究プロジェクトの企画作業がハワイ大学を中心に進められており、我が国にも参加の呼びかけが来ている。このプロジェクトの概要は、1ヘクタールのプラン

トシップを造り、必要なエネルギーを海洋温度差発電で賄い、深層水利用による水産養殖、ハイテクによる医薬品の製造、淡水製造、鉱物資源回収、水素燃料製造等の多分野の研究を行い、実用化に導こうとするものである。

〔海外出張・海外調査団報告〕

海洋大循環模型の研究に関する打合せについて

海洋研究部 中本正一郎 Shoichiro Nakamoto

1. 序

1990年1月にアメリカ合州国大気科学研究所(NCAR)が、次世代数値模型研究者養成奨学研究制度を設立したとき、スクリップス海洋研のミラア博士と当時オウルドミニオン大学にいた筆者は、海洋大循環模型の研究計画をたてました。その後筆者が海洋科学技術センターに移ってから、新たにセンターでも海洋大循環模型の研究を始めることになりました。ミラア博士が現在スクリップス海洋研で研究している模型をセンターに移植する打合せのため、石井理事と筆者が1991年5月18日から5月30日までアメリカ合州国に出張しましたのでその報告をいたします。

2. スクリップス海洋研究所 CGC

スクリップス海洋研究所(以下SIOと称する)は、センターの多くの方々が何らかのかかわりを持っておられると思いますので、今更ここに説明するのは屋上に屋を架すの愚を冒すことになるように思います。したがって私はSIOのなかの小さな部門、Climate & Global Change Study(地

球規模の気候変動を研究する部門である。以下CGCと称する)を紹介します。

CGCは、カリフォルニア大学附属カリフォルニア宇宙研究所(CSI)とSIOのClimate Research Division(気候研究部である。以下CRDと称する)の共同研究施設で、人工衛星等による観測と数値模型により地球規模の気候変動を研究するのが目的です。1987年にスペースシャトルに乗って一躍全米にその名を知られた女性サリイ・ライド教授がCSIの部長で、数学と物理学を巧みに使いこなし数値予報技術を確立させた温厚なソマーヴィル教授がCRDの部長です。CSIとCRDとで合わせて16人の海洋学・気象学の専門の研究者を抱えています。CRDのResearch Meteorologist, John Roads(以下ロオド教授と記す)の仲間の研究者達との共同研究を進めるために今回SIOを訪問いたしました。

3. 気候研究部(CRD)の研究者達

カオス理論で有名なマサチューセッツ工科大学のロレンツ教授の下で、大気海洋系の予測可能性、気候変動模型を研究されたロオド教授を中心に大気と海洋の両方を、SIO内部はもちろんロシア

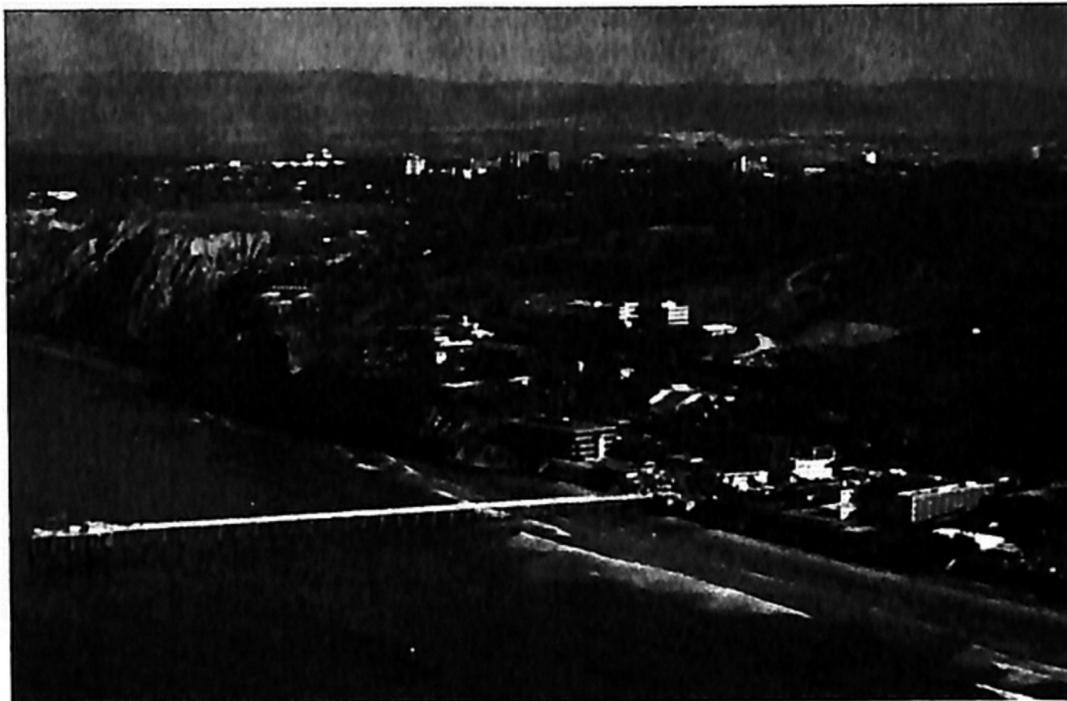
ロスアラモス国立研究所の研究者達とも協力して研究しているのが、CRDのミラア博士、ウエヨシ博士、チェン博士です。ミラア博士はオハイオ州クリヴランドの出身、フロリダ工科大学で海洋物理学を勉強した後フロリダ州オーランドの海軍研究所を経てサンジエゴのカリフォルニア大学地球惑星物理研究所で博士号を修得し、スクリップス海洋研でポウストドック、レクチュラア（講師に対応するのでしょうか？）を経て、現在アシスタント・リサーチ・オシアノグラファア（大学ではアシスタント プロフェサア／助教授にあたる研究職）で、ロスアラモス国立研究所のスウパアコンピュータを使って大西洋の海洋大循環の数値模型の研究をされています。ウエヨシ博士は京都大学を卒業されマヂスンのウイスコンシン大学、ロサンジェルスのカリフォルニア大学、コルバレスのオレゴン州立大学で気象学を学ばれ、カリフォルニア大学のアラカワ教授やオクラホマ州立大学のササキ教授の下でポウストドックをなさり、現在はSIOの海洋物理学者達との共同研究や、数値模型を使ったカリフォルニア海流や山越え気流の研究の他に、ロスアラモス国立研の研究者達と気候変動の研究もされています。チェン博士は、台湾の大学を卒業され、イリノイ大学で気象学を学んだようで現在はNational Meteorological Center（国立気象研究所）の気候変動模型の研究をされています。チェン博士はカリフォルニア大学のスウパアコンピュータを使っているが、ワアクステーションと呼ばれているコンピュータを使うと100年単位の気候の予測するのに7か月かかると言っていました。CRDはヒュウレット・パッカアドのワアクステーションを購入する予定だそうです。センターではこのワアクステーションを安く購入することはできないようですが、SIOでは教育研究機関割引制度を利用すると数百万円でこんな立派な仕事ができることを羨ましく思ったものです。

私達がSIOにいるのに合わせて、ロスアラモス国立研からムシュレクナ教授、ポルシュ博士、カオ博士がSIOに来られ、カオ博士の気候変動模型をセンターでも研究するようにと強く勧められたが、将来の課題とすることにしました。ロスアラモス国立研で気候変動模型を6年間研究しているカオ博士は、台湾の大学を卒業後イリノイ大学の小倉義光教授の指導を受け、ロスアラモス国立研にいた乱流の山田教授（Mellow-Yamada 理論参照）のポウストドックをしたと私達に語りました。日本の科学者がアメリカ合州国で国籍のいかににかかわらずあらゆる国から来た学生を育てていることは、世界中の人々に日本を信頼させることに貢献しているものと思われまます。

4. 海洋大循環数値模型

今回、センターに移植することになった海洋大循環数値模型は、ハンブルグのマックスプランク研究所のオウベルフウバア博士によって1988年に完成されたもので、現在世界中の7つの研究所で更なる改良をめざして研究が続けられています。この模型は、海の中の等密度面上に座標軸をのせて海水の運動を記述しているので、海水の深さ方向の混合が従来の数値模型よりもより良く表現されているであろうと期待しています。

従来の数値模型は、流体の運動を表現する微分方程式を差分方程式に変換する時に、座標系を地球の重力の方向と重力に垂直な平面に置いていました。大気や海洋は軽い流体が重たい流体の上に乗っていますが、流体の等密度面は水平な座標面に一致しているわけではありません。運動量や物質の混合は等密度面に沿って行われることが多いのですから、座標も密度面に沿ったほうが微分方程式が簡単になります。実際従来の座標系で書かれた微分方程式は、鉛直方向の拡散係数が観測事実をうまく表現できないのではないかという意見



もあるのですが、表層の風成循環に関する限りは拡散係数を適当な大きさに調整して数値模型を観測にあわせていました。この調整のことを、あたかもラジオの放送を選ぶかのようにチューン (tune) するといっています。

もちろん等密度面座標系を使うと微分方程式は、流体力学の教科書で馴染みの深いオイラーの式やナビエ・ストークスの式にはなりません、密度面に沿って拡散係数を与えればよいから実際の流体の混合過程に近いはずだと、期待されるわけです。もし、グリーンハウスガス増加のために大気温度が上昇したとしますと、グリーンハウスガス

をどれだけ海洋が海底深く溶かしこめるのか、大気温度を海洋がどれだけ深海に蓄えるのか、つまり温度や物質の鉛直混合が正しく見積もらなければ気候変動を予測するのは困難です。等密度面座標系で書かれた海洋大循環数値模型は現在少なくとも2つあります。1つはマイアミ大学で作られたもの、後の1つがマックスプランク研究所で作られたものです。

センターでも海洋観測側の結果を海洋大循環の模型の検証に使い、観測・理論・数値模型の三者協力によって発展する海洋物理学が、始まってきたのかもしれない。

〔海外出張・海外調査団報告〕

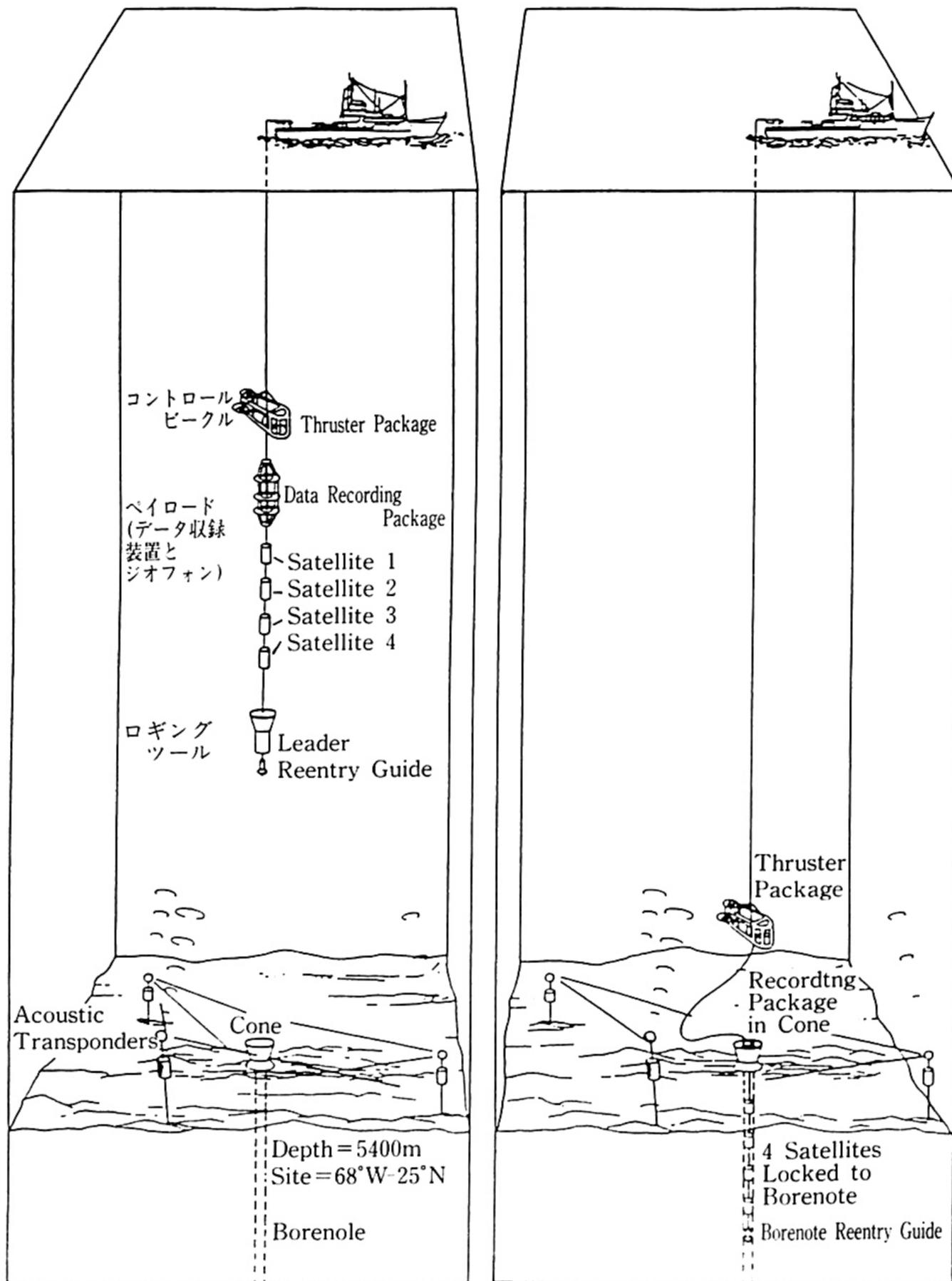
米国の深海調査及び長期観測の現状について

深海研究部 門馬 大和 Hiroyasu Momma

1. はじめに

米国フロリダ州で開催された ROV '91 において、JAMSTEC ディープ・トウによって得られ

た成果の発表を行うとともに、深海調査及び長期観測の現状等を調査するため、平成3年5月13日から26日にかけて渡米した。始めに、西海岸のスクリップス海洋研究所を訪問し、続いて東海岸のウッズホール海洋研究所を訪れた。また、



図—1 ワイヤライン・リエントリーシステムによる孔内観測の概念図。コントロールビークルとロギングツールはスクリップス海洋研究所が、ペイロード（ジオフォン）はウッズホール海洋研究所が担当している。

ROV '91 終了後、ウェストパームビーチにあるエネルギー・パートナーズ社を訪問した。

2. スクリップス海洋研究所

1989年1月から5月にかけて、スクリップス

海洋研究所のフレッド・スピース教授のもとに滞在して以来、2年ぶりに同教授とその片腕のトニー・ボグマン氏と対面した。スクリップスでは、ワイヤライン・リエントリーシステムと、当センターの6000m級ディープ・トウの開発状況、長期観測構想等について情報交換を行った。

ワイヤライン・リエントリーシステムについては、本誌第2巻第1号(1990年)にその概念を紹介したが、基本的にはスラスト付のディープ・トウ(深海曳航式海底探査システム)によって、深海掘削孔に種々の観測機器を設置し、孔内観測を行う手法である(図-1参照)。本システムは、下から順にロギングツール(スロースキャンTVやソナーを装備)、ペイロード(孔内観測機器を装備)、コントロールビークル(スラスターを装備)の3つの部分からなっている。このシステムの目的は4つあり、第一は掘削孔を探り当て、孔内の状態を調べること、第二は孔内に観測機器を設置すること、第三は孔内観測データをケーブルを介して船上に送ること、第四は孔内観測機器を回収することである。なお、コントロールビークルの水平移動能力は最大で100m程度である。以下に、1989年に行った実験の概要を紹介する。

この実験は、スクリップスのワイヤライン・リエントリーシステムに、ウッズホールのジオファン・アレイをペイロードとして組み込み、低周波音響・地震波の観測を目的として行われた。当初、DSDP第417及び418掘削孔(バーミューダ海膨、25°N、68°W、水深約5,500m)を予定したが、入口が軟泥で塞がっていたため、第534掘削孔(28°20'N、75°23'W、約5,000m)で実験を行った。その結果、ペイロードを含めて全長200mのリエントリーシステムをリエントリーコーンに誘導し、掘削孔の150mの深度まで機器を降ろすことに成功した。続いて、孔内に機器をいれたまま、DPSで調査船「メルヴィル」の船位を保持し、2日間現場にとどまって計測を行った。さらに、ペイロード以下をコントロールビークルから切り離し、孔内に機器を残していったん現場を離れた。その後再び現場を訪れ、コントロールビークルに回収用フックをつけてペイロードを引っかけて回収し、一連の実験に成功を収めた。孔内に観測機器を入れる作業すなわち、リエント

リーに要する時間は、リエントリーコーンを見つけてから10分以内に可能とのことである。現在、スクリップスの調査船「ニュー・ホライゾン」のセンターウェルから降ろすことのできるスリムなコントロールビークル(直径75cm程度)を製作中で、次の試験航海に備えていた。

孔内観測の他の手段として、ROV(遠隔操作無人探査機)の利用も考えられるが、一般にROVは潜水船やディープ・トウに比べてペイロードが小さいので、米国では具体的な利用計画は今のところ存在しない。フランスでは、潜水船「ノーチール」で、潜水船と同じ程度の大きさの孔内観測機器(NADIA)をマニピュレータで掴んでリエントリーコーンに誘導し、孔内計測を行う実験に成功を収めている。したがって、ペイロードの水中重量を軽くし、その流体抵抗に打ち勝つだけの推力をROVが持っていれば、「ノーチール」と同じことができるものと思われる。

潜水船の場合、数100mの長さのペイロードを持ち運びすることは困難で、フランスのNADIAのように、ウインチに機器やケーブルを巻き込んでおかなければならないので、大きさや長さの制約がある。また、船上から海底まで直接大きなペイロードを持って行くことはできないので、あらかじめ海底に投下しておき、これを潜水船で所定の位置まで移動するという2段階の手順が必要である。これに対して、ワイヤライン・リエントリーシステムの特徴は、以下のとおりである。

- ① どんな調査船でも使用できる。
- ② 重量が大きく、非常に長い(数100m)ペイロードを、直接目的の場所に持っていくことができる。
- ③ 潜水船を使うのに比べて経費がはるかに安い。

掘削船自身もこのような孔内観測は可能であり、現在でもある程度行われている。しかし、掘

削船の本来の目的が掘削にあり、船の運用コストも高いことから上記の方法が考えられたのである。今後我が国でも、孔内計測のニーズが高まるものと思われるが、いくつかの方法の中で、ディープ・トウを発展させたワイヤライン・リエントリーシステムが最も効率的と思われる。いずれの方法にせよ、水深5,000 m以上の海域で、直径約5 mのリエントリーコーンに機器を誘導し、掘削孔内を観測する技術は、我が国でも近いうちに必ず必要になるであろう。

これまで、当センターは、長期観測ステーションを目的地点に設置する際に、ディープ・トウにステーションを吊り下げ、目的地点に誘導した後、切り離して海底に設置しているが、これをさらに正確に行うためには、上に述べた2つの方法が有効である。筆者としては、ワイヤライン・リエントリー方式に大きな魅力を感じている。

3. ウッズホール海洋研究所

前回のウッズホールの訪問は、1987年3月の冬枯れの季節であった。今回は、深海研究部から長期出張中の田中武男研究員が、新録のニューイングランドに出迎えてくれた。

ウッズホールでは、ワイヤライン・リエントリーシステムに接続するジオフォン・アレイについて調査を行うため、応用海洋物理・工学部門のドナルド・コールシュ氏及び、地質・地球物理部門のステファン・スウィフト氏を訪問した。

ジオフォン・アレイは、30 m 間隔で4つのユニットからなっている。これをスクリップスのコントロールビークルとロギングツールとの間に接続し、孔内の地震観測を行うものである(図-1)。ジオフォンの電源供給やデータの蓄積は、制御ユニットで行われ、リアルタイムで船上にデータを伝送するモードと、制御ユニットに記録するモードがある。後者は最大で1週間程度の記録(光ディ



写真-1 ウッズホール海洋研究所に長期出張中の田中研究員の豪邸に集まった家族と友人

スク:600メガバイト)が可能である。制御ユニットの電源は、油浸均圧型の鉛蓄電池を多数接続したもので、大きくて重い。各ジオフォンはクランプで孔内に固定されるが、掘削孔の変形などで孔内のジオフォンが抜けなくなった場合は、カッターでジオフォン・アレイを切り離し、制御ユニットのみを回収する。

1989年に行った実験では、海底面に設置して行う従来の地震観測に比べて、極めてノイズの少ない良質のデータが得られた。また、周囲の海水温2°Cに対して、掘削孔の入口で4°C、150 m下では8°Cという温度勾配があり、孔内で海水が循環していることが認められた。

続いて、コールシュ氏と同じ応用海洋物理・工学部門のクリストファー・フォン・アルト氏に面会した。アルト氏は、米海軍向けのARGO-JASONタイプの6,000 m級無人機(小型ROV付のディープ・トウ)と、それに使用する光電気複合ケーブルの開発を進めており、当センターで開発中の6,000 m級ディープ・トウとの情報交換を行った。

その日の夕方は、田中研究員の家庭に招かれ、幸子夫人、アメリカ生まれの一光君、両人のご両親、近所の日本人家族らの歓迎を受け、にぎやかな夕食となった(写真-1)。田中研究員が、恵ま

れた研究環境と、日本ではなかなか味わえない、ゆとりある生活を楽しんでいる様子に接することができた。

4. ROV '91

ROV '91については、本号で別途報告があるので、深海調査に関係の深いトピックのみを紹介する。

米国では、1990年までに二つの6,000 m級ROVが開発された。その一つは、イーストポート・インターナショナルが米海軍向けに開発した「CURV III」、もう一つは米海軍NOSCハワイ支所が開発した「ATV」である。いずれも6,000 mを超える潜航に成功しており、今回の会議で、これにたいする表彰が行われた。前者は、1966年にスペイン沖に落下した水爆の回収で有名な「CURV I」の、後者は亡失事故で開発が挫折した6,000 m級ROV「RUWS」の流れを汲むものである。

両者は、いずれもランチャー（ビークルを格納するガレージ兼重錘）の無いシステムである。この点についてイーストポートの社長クレイグ・ミュレン氏や、NOSCのウェイン・モリナガ氏らにその理由を尋ねる機会があり、両者の見解をまとめると以下のとおりであった：

- ① ランチャーを装備することはビークルを2台持つのと同じで、システムが複雑化する。
- ② ランチャーとビークルの結合に関するトラブルを起こしやすい（例えば、船の上下動の影響を完全になくすことは困難）。
- ③ ランチャーが無いと、ケーブルに大きな張力がかからないので、ケーブル強度が小さくて済む。
- ④ ランチャーが必要なケースは、水深が浅く、表面の流れが早い海域で一点にとどまって作業を行う場合である（石油掘削リグ等）。

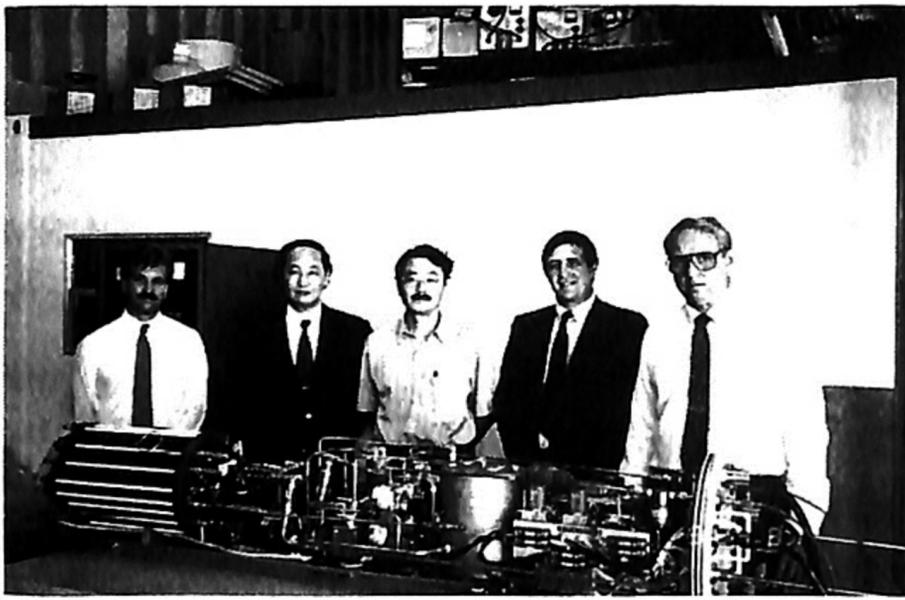
- ⑤ 深海域では、表面の強い流れをクリアすれば、ビークルの推力で海底に達するのは困難ではない。

後日談として、ROV '91で表彰された「CURV III」は、6月12日、ロサンジェルス沖でサルベージ作業中に、ケーブルが切れて約2,100 mの海底に落下した。ウッズホール海洋研究所の有人潜水船「アルビン」は、2次にわたる搜索の結果、7月初めに「CURV III」を無事回収することに成功した。「アルビン」は、1968年の秋に事故で1,500 mの海底に沈没してしまっていたが、「アルミニート」によって10ヶ月後に海底から救出された。今回はわずか一月足らずの早業であった。

この事件は、世の中に完全なシステムは存在しないこと、無人システムと有人システムは、持ちつ持たれつの関係にあることを示している。さらに、無くしたものはすぐに捜して回収するというスレッシャー号事件（1963年、原子力潜水艦「スレッシャー」が、試験中に水深2,400 mの海底に沈没したが、その原因究明のため、海底調査機器の開発が急速に進められた）以来の、米国の海洋開発の基本姿勢が失われていないということである。

5. エネルギー・パートナーズ社

マイアミ北部のウェストパームビーチにあるエネルギー・パートナーズ社は、潜水船やROVを製作しているペリー社の系列会社である。ここを訪問した目的は、長期観測ステーションなどの深海用エネルギー源として、燃料電池の可能性を検討することであった。同社は、1987年に3 kWの潜水船燃料電池パックをPC-14潜水船に搭載し、実験に成功している（写真-2）。また、現在は将来のクリーンエネルギーとして、15 kWの燃料電池を搭載した乗用車を試作中であった（グリーン・カー計画）。性能的には実用の域に達し



写真一2 エネルギーパートナーズ社で潜水船用 3 kW 燃料電池を前にして。右端は、副社長のジョン・ニューマン氏。中央は筆者，その左隣りは IHI 井山氏。

ているが、コストをどこまで下げられるか、燃料（水素）をどのように安定して貯蔵・供給することが出来るかが今後の課題である。目下のわれわれの関心は、長期間（1年間）、深海底で安定した電力が供給可能なエネルギー源である。現在の燃料電池は、この目標には達していないが、将来が期待されるエネルギー源であると言える。

6. その他

他の国際イベントと同様に、ROV '91においても、成果の発表と平行して機器の展示会が行われた。そこでいつも感心させられることは、一つのまとまった機器やシステムよりは、これらを構成する実に多種多様なコンポーネントが存在することである。その一つの例が水中コネクタである。海中で使用するあらゆる機器には、水中コネクタが不可欠であるが、世界最高性能を誇る「しんかい 6500」の水中コネクタが、すべて米国製であることは余り知られていない。これは、我が国に製造技術がないからではなく、ニーズが少なく、製作しても儲からないためである。我が国全体で年間に使用される水中コネクタの数量を調べたことはないが、小型 ROV も普及しつつあり、かなりの数になると思われる。ユーザーとしては、そろそろ国産の水中コネクタが現れて欲しいと考えている。我が国の海洋開発が呼ばれてから久しいが、周辺技術の裾野はまだまだ狭いのが現状である。

〔海外出張・海外調査団報告〕

ROV '91 調査録

深海開発技術部 岡田 裕 Hiroshi OKada

1. はじめに

米国のマイアミ市近郊のハリウッドにあるディプロマット・ホテルで開催された ROV '91 (Remotely Operated Vehicle Conference & Exposition) 会議・展示会（開催日、1991年5

月21日～23日）に参加し、10,000 m 級無人探査機の開発現状を発表するとともに、ROV に関する世界の開発動向について調査を行った。

また、ウッズホール海洋研究所及び Perry 社 (Perry Offshore Inc.) を訪問し、ROV を初めとする各種深海調査機器の研究開発状況について意見交換を行った。



写真一1 ROV '91 会場全景

なお、この調査は、渡辺和夫、鷹尾伏 昭（深海開発技術部）の両氏及び筆者の三名により、5月16日から5月27日までの期間に実施した。

2. ROV '91 会議

ROV 会議は今回で9回目であり、深海調査機器特に無人潜水機を対象とした唯一の国際会議である。本年の会議参加者は1,500人を超え、また公的機関及び一般企業を合わせて約86団体による展示がなされた。主催者によれば、今回の会議は中規模であったとのことである。

会議全体の雰囲気は、非常にリラックスしたものであり、特に展示会場では至るところで和やかな会話がなされていた。

2.1 テクニカル・セッション

本年の会議のテクニカル・セッションは、5月21日から23日にかけて開催され、68件の論文が16のセッションに分かれて発表された。1件当たりの発表時間は、30分程度であった。

発表のあった論文は、

(1) ROV 及びその要素技術（情報伝送システム、ケーブル等）に関するもの

(2) ROV の運用に関するもの

に分類される。

(1) のカテゴリーでは、無索の自律型無人機

を含め、ROV 技術に関する最新の開発成果について発表がなされた。このうち、米国 NOSC (Naval Ocean System Center) で開発された ROV (Advanced Tethered Vehicle; ATV) についての発表は、特に興味あるものであった。ATV は、1990年に完成し、同年に実施された海上試運転において深度 20,600 feet (6242 m) の潜航を行っている。ATV は、当センターで開発中の 10,000 m 級無人探査機 (10 K) と異なり、ランチャー方式は採用していないが、論文に掲載されている数値等の比較から、設計思想は、かなり 10 K と類似していると推測できる。また、船上のケーブルハンドリング装置についても、小型・軽量化のための工夫が随所に見られ、興味深いものであった。

(2) のカテゴリーでは、ROV を使用した古代船の調査や、海底ケーブルの敷設に使用されている水中ロボットなどが紹介されていた。

当センターからは、深海調査用 Deep Tow の発表（門馬大和；深海研究部）及び 10 K システムの概要の発表（筆者）がなされた。

筆者が発表を行った 10 K システムの概要では、約 150 名の聴衆が集まり、発表終了後の質疑も活発に行われ、海外における 10 K に寄せる関心の深さが感じられた。



写真一2 10 K 発表会場

2.2 展示会

展示会は、ディプロマット・ホテルのバンケッ

トルームを会場として、86の企業や団体からの展示品が所狭しと置かれていた。展示参加者は、米国が圧倒的に多く、カナダ、日本などの企業も参加していた。日本からは、三井造船（株）のRTV-50が出展されていた。

展示品を見て、特に印象に残った点を以下に示す。

- ① ROV 本体については、開発品というよりも、むしろ既に実績を挙げている ROV をその実績とともに展示しているケースが多かった。

特に、海底ケーブルの敷設用 ROV といった作業用 ROV も展示されており、応用技術の観点から興味深く感じられた。

- ② これに反し、水中テレビカメラ、音響装置等の ROV 観測用機器については、開発品の展示が多く見られた。

また、テレメトリー装置やケーブルなどの要素技術についても最新のものが展示されており、大変勉強になった。



写真—3 展示会

3. おわりに

ROV 会議は、ROV を中心として水中機器に焦点を絞った唯一の国際会議である。このため、参加者は熱意をもって論文の発表及び展示を行っており、大変有意義な会議であった。

なお、本調査の詳細については、「ROV '91 調査報告書」として出版する予定である。

〔海外出張・海外調査団報告〕

深海生物学シンポジウムに参加して

深海研究部 橋本 惇 Jun Hashimoto

平成3年6月30日から7月5日までの6日間にわたり、デンマークのコペンハーゲンにあるオーガストクロウ研究所において開催された深海生物学シンポジウムに参加する機会を得た。このシンポジウムは、全世界の深海生物研究に携わる研究者が一同に会するものであり、昭和51年以降3年ごとに開催されている。今回は第6回のシンポジウムであり、地元デンマークを始め、アメリカ、フランス、イギリス、ソ連、ドイツなど18か国144名が参加し、日本からは筆者の他、

東京大学海洋研究所の白山義久助教授、金属鉱業事業団の佐藤友美氏の3名が参加した。

本シンポジウムが開催されたオーガストクロウ研究所は、コペンハーゲンの中心部からバスで約20分の緑に覆われた素晴らしい環境にあり、その周辺には各種研究所・博物館などが集まっている。この研究所は、今世紀中頃に深海生物調査研究の先駆けの一つとなったイギリスの「チャレンジャー号」に並ぶ「ガラテア号」の探検航海に係わる研究所として有名であり、シンポジウム会場



には当時の調査機器の一部も展示されていた。

今回のシンポジウムは、オーラル・セッションとポスター・セッションに分かれており、オーラル・セッションは、①深海生物の群集構造、②深海生物の遺伝的特質、③熱水噴出孔・冷水湧出域深海生物群集、④微生物及び生化学、⑤海山生物学、⑥深海生物の分布、⑦深海生物の行動、⑧一般深海生物学、⑨Mining Impact（深海域からマンガノジュールなどを商業ベースで採鉱した場合の深海生態系に及ぼす影響を調べるためのDISCOLプロジェクトに関するもの）に分かれていた。ポスター・セッションは、①熱水噴出孔深海生物群集、②深海生態学、③メイオフォーナ、④マクロフォーナ、⑤深海生物の分布、⑥新調査技術に、分けられ進められた。日本からは、筆者（オーラル・セッション③熱水噴出孔・冷水湧出域深海生物群集：「日本周辺における熱水噴出孔・冷水湧出域深海生物群集について」）と、深海研究部の藤倉研究員（オーラル・セッション⑥深海生物の分布：「日本周辺における熱水噴出孔・冷水湧出域に棲息する腹足類の動物地理学的知見について」）との2件の投稿があったが、藤倉研究員が参加できなかったため、筆者がこの2件

について講演した。この2件の講演については、主として個々の深海生物に関する質問もあったが、その他に日本の深海生物研究の現状、潜水調査船及びその利用方法、深海生物調査のための予算などについても個別に多くの質問を受けた。また、シンポジウムの総合討論の後で、ホストであるオーガストクロー研究所のWolff博士が、「今まで不十分であった新しい海域における熱水噴出孔・冷水湧出域の深海生物群集に関する情報が得られたことは有意義であった」とのコメントも得られ、日本の深海生物研究に対する関心の強さを感じられた。

熱水噴出や冷水湧出活動に伴う深海生物群集に関する研究の当面の大きな課題の一つは、各深海生物群集の“種”構成を調べること、つまり、構成生物の同定と記載を行うことである。その結果得られるデータは、特異な深海生物群集のグローバルな動物地理学的考察や、各生物の伝播機構解明のための重要な手掛かりになる。3種類のシカイヒバリガイ類について、電気泳動法により得られた遺伝的特質から、分類学的検討を行ったアメリカのRutgers大学のVrijenhoek博士の講演は、日本周辺の特異な生物群集の研究を進展させ

るためにも参考となった。

また、他の重要課題の一つは、特異な生物群集と熱水噴出・冷水湧出活動の長期的変遷を明らかにすることである。アメリカのスクリップス海洋研究所の Hessler 博士らは、東太平洋海膨の 13°N と、ガラパゴスリフトのローズガーデンにおける潜水調査船の調査を例にとり、長期的かつ連続的な調査研究の重要性を強調していた。このことは、わが海洋科学技術センター深海研究部においても、既に手掛けている長期観測ステーションの開発の重要性を更に裏付けるものであった。

今回のシンポジウムの講演内容などからみて、各国とも深海生物に関する研究を行う機会が少なく苦慮しているという印象を受けた。特に、潜水調査船による調査にいたっては、その多くを特異生物群集に関する調査に占められており、一般的な深海生物の研究に関しては、非常に少ないデータを基に研究を推進しているようであった。

今回、シンポジウムに参加して得られた世界の深海生物学研究の動向に関する貴重な情報を、今後の研究の、一助にしたいと考えている。

〔海外出張・海外調査団報告〕

潜水高圧医学会に参加して

海域開発研究部 梶木 暢雄 Nobuo Naraki

1. UHMS (潜水高圧医学) 学会

1991年6月19日から23日にかけて、米国カリフォルニア州、サンディエゴにおいて、91年度UHMS学会が開催され、5日間にわたり研究

発表や講演などが行われた。本会は、潜水医学や高圧生理学だけでなく、近年注目を集めている高圧酸素療法をも含んでいるため、発表件数は約200であった。

世界の研究の傾向において、飽和潜水関連では、高圧環境障害や高圧神経症候群としては認められていないが、造血機能等を含めた循環機能を中心としたダイバーの基礎的体調の変化に関するものと、これまでは経験的に判定していた減圧時に発生する体内気泡の検知音であるドプラー音を、コンピュータ処理により数値化しようとする研究が注目された。小深度への繰り返し潜水では、センターが現在進めている骨壊死に関するものと、レジャー潜水の事故防止が主課題であった。

筆者の発表した“高圧ヘリウム環境下における静的作業の生体負担の評価”の概要は、心拍数等の循環系の指標では負荷量を過小評価する可能性があるが、筋肉疲労を筋電図の周波数成分変化よ



写真-1: UHMS (潜水高圧医学) 学会において埼玉医科大、梨本教授 Oceanering International Award 授賞

りみると、負荷量を過大に評価する可能性があるというものであった。この内容に関しては、これまで高圧徐脈等により負荷量を過小評価する可能性は示唆されていたが、逆に指標によっては過大評価することがある点に関心が示された。

水素ヘリウム酸素の三種混合ガスを用いた深海潜水に関する研究については、フランスでは2~3年後に700mへの飽和潜水作業を行う段階にあり、また米国海軍も、動物実験を本年もしくは来年より開始する予定である。

今回深海潜水において注目されるものとして、大気圧潜水服による潜水作業があった。このテーマはダイバーが高圧や水圧に曝されないため、これまでは本学会でもあまり研究対象とされていなかったが、今回のセミナーでは予定されていたより3倍以上の参加者があった。大気圧潜水服による潜水作業は、作業内容はかなり制限されるものの、その経済性と緊急性が最大の特長だが、その操作性やその内部環境が操作者に及ぼす生理学的及び心理学的影響等については、まだ問題がかなり残されているようである。

2. ウィスコンシン州立大学

ウィスコンシン州立大学・予防医学部とは現在“実験動物による減圧症モデルの作成”に関し



写真-2: ウィスコンシン州立大学 BIOTRON にて (中央筆者から右へ Lehner 博士, Lanphier 教授)

て共同研究を実施しており、本年度実験の最終打ち合わせを行い、また、“高圧環境下の血液ガスの新測定法”についての情報収集を行うとともに、関連の指導を受けた。

予防医学部 BIOTRON の研究分野は、高圧生理学関連にとどまらず、人が遭遇し得る非常に広範囲の環境条件（極寒-極夏、高圧-低圧）が生物に及ぼす影響を研究しており、その研究対象は動物だけでなく植物をもとりあげている。さらに環境条件は地球上だけではなく、宇宙旅行時の食物の確保を前提とした小光エネルギーによる植物の生育実験、成長速度や背丈が正常の数倍にもなるハイブリット植物種の開発等に興味を持たれた。

〔海外出張・海外調査団報告〕

米国微生物学会バイオテクノロジー コンファレンスに参加して

深海環境プログラム深海微生物研究グループ 浜本 哲郎 Tetsuo Hamamoto

1991年アメリカ微生物学会バイオテクノロジーコンファレンスが、6月にアメリカニューヨークで開かれ、参加させていただく機会を得ま

した。以下にこのコンファレンスの雰囲気を紹介するとともに、今後の微生物バイオテクノロジー研究の動向についての報告を致します。

1. はじめに

平成2年10月に発足した深海環境プログラムに、平成3年5月より参加させていただき、筆者の夢であった「人類未踏の地」に棲む微生物の研究を始めることができました。実際に、深海底より微生物を分離してみると、興味深い現象を示す微生物が認められました。今回のコンファレンスにおいての筆者の発表の反響から、深海微生物研究に対する熱い期待が多く、微生物学者に共通のものであるということがわかりました。本稿では、全般にわたる学会の雰囲気を紹介するとともに、近年のバイオテクノロジー研究の流れについて報告させていただきます。

2. バイオテクノロジーコンファレンスについて

1991年6月下旬、比較的過ごしやすかった東京を発ち、ジャンボ機の着陸したニューヨークは35度の暑さでした。少し運転は荒いが、コンコルドを見せてくれるため道端に停まってくれたりする親切な運転手のマイクロバスのシャトルに乗り、マンハッタンにあるコンファレンス会場のホテルへと向かいました。バスの窓から見るニューヨークの町は、ところ構わず道を渡る人と信号待ちの列に割り込む車で溢れ、シャトルバスの運転手の運転の荒い理由がよくわかりました。

コンファレンスは3日間、外の雑踏とは対照的にクーラーが良く効き、落ち着いた雰囲気のホテルの会議場を使って行われました。

アメリカ微生物学会のバイオテクノロジーコンファレンスは、学会の主要コンファレンスの一つとして行われ、16のシンポジウムセッションと、ポスターセッションが行われました。総参加者数約300名で、世界各国から研究者の参加がありま

した。アメリカ微生物学会の会長を務める、Bennet教授は、「このコンファレンスは国際学会ではないので、使われる英語のスピードに容赦はない」とコーヒブレイクで語っていましたが、教授の言う「国際学会」でもアメリカ人がゆっくりしゃべってくれているとは思えない筆者の英語力にとっては、いづれにせよ、何を講演しているのかと推理力を駆使しての出席でした。コンファレンスの軸をなすシンポジウムセッションの対象は、大きく分類して次の4つの分野に分けられました。

1) バイオテクノロジーの基礎をなす微生物学の分野

微生物による有用物質生産の方法や、優れた生産物検定法に関するもの。

2) 環境科学と関連する分野

環境汚染物質の除去を微生物を用いて行う方法や、微生物を用いた有機化合物の変換に関するもの。

3) 医学関連のバイオテクノロジーの分野

AIDSなどの病原性に関するもの。

4) 特許取得に関するもの

これらのうちで、近年特に研究の盛んになっている分野が、2)の環境関連の分野で、バイオテクノロジーコンファレンスでも6つのシンポジウムがこれらで占められました。

以下に、分野別に各シンポジウムのタイトルを列記します。

1) バイオテクノロジーの基礎に関するもの

Microbial Physiology (微生物生理学)

Strategies for Production of Proteins with Homogeneous N Termini (微生物による有用蛋白質生産の技術)

Gene Expression in Secondary Metabolism (微生物による有用物質生産性の制御)

Recent Advances in Molecular Biology

(分子生物学)

Advances and Application in DNA-Probe
Technology (遺伝子の検出法)

2) 環境科学関連のもの

Advances in Marine Biotechnology
(海洋バイオテクノロジー)

Bioremediation of the Alaskan Oil Spill
(アラスカ海洋石油汚染の微生物による除去)

Release of Genetically Engineered Organisms
(遺伝的に改良された生物の自然界への
応用)

Polymerase Chain Reaction Applied to the
Environment (遺伝子増幅反応の環境科学への
応用)

Molecular Biology and the Environment
(環境と分子生物学とのかかわり)

Enzymes and Stereospecific Biosynthesis
(立体特異的化学反应への微生物の応用)

3) 医学関連のもの

Antioncogenes and Antiproliferative Genes
: Progress & Prospects (発癌を制御する遺伝子)

AIDS and Retroviruses (エイズウイルス)
Genetic Analysis of Bacterial Pathogenesis
(細菌病原性の遺伝学的解析)

Tools for Therapeutic Drug Discovery
(医薬開発への微生物の応用)

4) 特許に関するもの

Strategic Patent Planning in the Biotech-
nology Industry (バイオテクノロジー産業に
おける特許の取得法)

これらのうちで、深海環境プログラム研究との
関連の深い“海洋バイオテクノロジー”のシンポ
ジウムの内容について、感想をまとめてみたいと
思います。

3. “海洋バイオテクノロジー”セッション

シンポジウムのうち、海洋バイオテクノロジー
セッションは、海洋微生物学の研究分野での第一
人者の一人であり、当センターの深海環境プロ
グラムを高く評価しているメリーランド大学
Colwell 教授(長沼・掘越, JAMSTEC, 第3
巻第2号, P 60, 1991)が組織していました。

筆者はこのセッションのなかで、深海環境プロ
グラム(Deepstar Group)の研究成果を口頭発
表する機会を得ました。

セッションの冒頭で、Colwell 教授が近年の海
洋バイオテクノロジー研究への期待を総括した
後、スピーカーによる発表に入りました。まず、
最初に、East Carolina 大学の Chapman 教授が
チェサピーク湾のなかでの、鱒の棲み分けにつ
いて、分子生物学的な手法を応用した研究の発表
を行いました。河口のほとんど淡水の環境中に棲む
鱒と、通常の海水の中に棲む鱒とが、どれくらい
古くから分かれ異なる種となったのか。さらに、
微妙な塩濃度の違いにより棲み分けを行っている
近縁種の交雑頻度について、遺伝子レベルでの解
析に関する講演であり、司法警察で真犯人の確定
に用いる遺伝子型の解析と同じ手法を用いたもの
でした。

次に Colwell 教授と同じメリーランド大学の
COMB (Center of Marine Biotechnology) の
Chen 教授が、魚(チャネルキャットフィッシュ)
の成長ホルモンの遺伝子を安定な運び屋遺伝子に
組み込み、Micro Injection (体内微量注入)す
ることによって成長を早めたという報告をしまし
た。Chen 教授によると、ホルモン遺伝子を安定
に保ち、その働きによって成長の早くなった親か
ら生まれた稚魚にもホルモン遺伝子が保持され、
親魚同様早い成長が認められるということでした。
今後、効率的な魚の養殖に役立つであろうと

思われます。

さて、続いて筆者が深海環境プログラムの研究体制と、「しんかい2000」で採取した海底土サンプルからの低温生育細菌の分離と、その細菌の生産する酵素に関する成果の発表を行いました。講演終了後の会場参加者の反応は大きく、海洋生物学・海洋生態学を専門とする研究者はもとより、海洋微生物を現在の研究対象としていない研究者まで、広い範囲の人たちから質問を受けました。特に、始まったばかりのプロジェクトであるということで、今後の研究の方向や、共同研究に対する考え方についての質問を多く受けました。

4. 今後の微生物バイオテクノロジーの動向

我が国においても、エコロジーブームであるように、今回のバイオテクノロジーコンファレンスでも、シンポジウムの三分の一以上を占めている環境科学関連の研究は近年増加傾向にあります。アラスカ沖でのタンカー事故により原油が流出した海洋汚染の除去にも微生物の応用が期待され、実際に試みられました。今回、一つのセッション会場を割いてアラスカでの原油汚染への応用の講演が行われたことは、それらの試みの成果報告としての意味合いもあったようでした。原油汚染のみならず、地球環境上での重要な要素である海洋のかかわる広範囲な環境問題に、海洋微生物学研究が貢献できると考えられます。一方で、医学分野を除くと、微生物バイオテクノロジーで熱い視線をあびているのは、微生物による有機化合物の特異的変換の分野でしょう。一般に生物は酵素という触媒を用いて、生きるために必要な反応を行っています。それら酵素のなかには、とても繊細な反応を常温で効率よく行うものがあり、酵素

のこれらの性質を、医薬品などのファインケミカルの合成に利用しようとする研究の発表が多くありました。

5. おわりに

今回、Deepstar Groupの一員として初めて、海外での学会に参加させていただきました。今回の学会中には、深海環境プロジェクトに期待をかけてくださっているメリーランド大学のColwell教授のご好意で、飛び入りでDeepstar Groupの紹介と筆者の研究成果を発表する機会を得ることができました。アメリカ人の科学者と話し合うことにより、彼ら（彼女ら）のオープンな心を感じました。ほとんどのアメリカ人科学者は、相手がどんなバックグラウンドを持っていようが構わず色々な話をしてくれます。このような会話は人的なつながりをつくり、研究を円滑に進め、情報を得るうえでとても有益です。本プログラムの掘越らが報告しているように（長沼，掘越。JAMSTEC。第3巻，第2号 P.65, 1991），始まったばかりの深海環境プログラム。Deepstar Groupの研究者にとっては研究バックグラウンド作りのために、国内外を問わず人的交流を広め、この領域の研究者のサークルで認知されることが重要であると考えられます。

今回の出張では、多くの研究者がDeepstar Groupへ大きな関心を寄せていることを、ひしひしと感じました。このような高い評価は、現在までの深海環境プログラム推進室をはじめとするセンターの方々の、たゆまぬ努力の積み重ねのたまものであることを肝に命じながら、今後、さらに本プログラムの研究の発展のため努力していきたいと考えております。

当センター研修・施設 機器等の紹介

動物シミュレーター

海域開発研究部 水嶋 康男
Yasuo Mizushima

飽和潜水技術は、潜水システムと、高圧下における生理心理に関する研究に大別でき、前者とともに、高圧環境下の人間生体に及ぼす生理学的・心理学的研究が数多くなされている。

ところで、人間のシミュレーション実験に先立ち、動物を用いたシミュレーション実験によって、人間に關与する生理的反応や現象を、あらかじめ研究することは重要かつ不可欠である。そこで陸上で高圧環境を作り、実験用小動物の高圧環境下での現象／反応を生理学的・行動学的に調査し、その発生機構を分析解明することを目的とした我が国初の実験装置が、ここに紹介する動物用高圧環境模擬実験装置すなわち、動物シミュレーターである。本装置は1978年に完成、以後、数々の実験に用いられ行われている。

1. 装置の概要

1.1 全体構成

本装置は、小動物を水面下約1,000 mまでの高圧環境に暴露するための耐圧容器及びその付属装置（以下「動物チェンバー」と言う）と、動物チェンバー内環境ガスの組成・圧力・温度・湿度等を監視制御する環境コントロールシステム関係

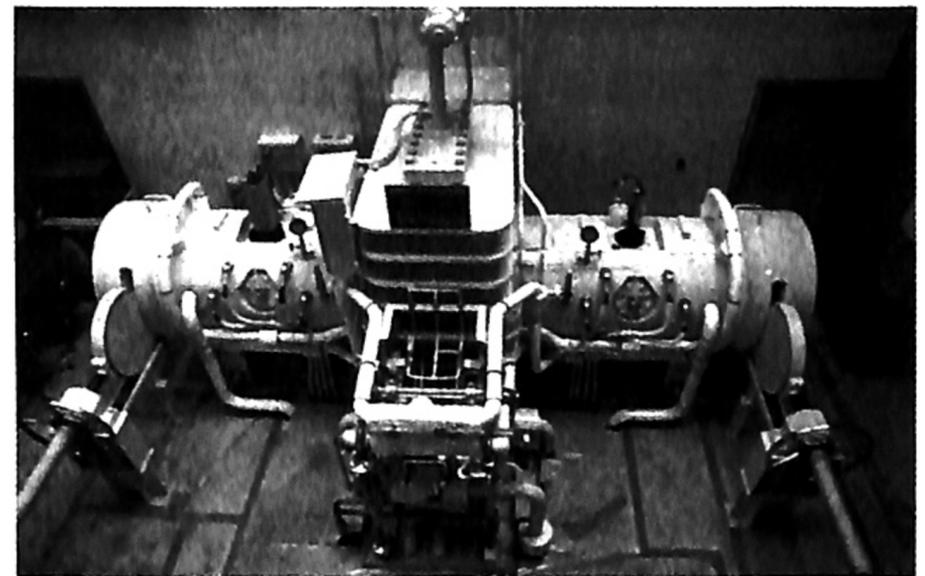


写真-1

装置により構成されている。

1.2 実験対象動物

実験対象動物はラット、ウサギ、ネコ、イヌ、サル等の哺乳類である。

2. 動物チェンバー

2.1 動物チェンバー概要

動物チェンバーは、両端に端部仕切扉、中間に上下スライド式仕切を有する横型円筒2室式構造で、各室同一性能を持つ。長時間の高圧環境中でも、ケージ中の動物を他室へ加圧環境のまま移動し、中間仕切りを閉鎖して空いた方の室を減圧開放し、餌水の取り替え、排泄物の採集掃除が可能

となっている。

2.2 動物チェンバー本体

本チェンバー主要目は下記のとおり

形式：2室横型円筒型

内寸法(内径×室長)：600 mmφ × 約 2000 mm

材料：圧力容器用低合金鋼鍛鋼品

(JIS G 3211-SFV)

最高使用圧力：100 kgf/cm² G

2.3 動物チェンバー装備品

(1) 端部仕切扉

この仕切扉構造は、チェンバー本体円筒端部に設けた特殊開口及び溝、円盤型扉 (DISC) シールリング、同リング移動装置、扉開閉装置等より成る。

閉鎖は、開閉装置により、所定位置に扉を移動し、密閉はシールとの初期接触をシールリング組込みバネにより確実化し、後は自封式シール機構によるもので、ボルト・ナット類による締付操作

は一切不要である。

(2) 中間仕切 (弁)

中間仕切は、電動または手動開閉のスライド型仕切弁タイプで、各室間のガス圧シールは自封式である。

(3) 耐圧窓

メタクリル樹脂製耐圧窓が各室にあって、TV 監視用 1 ヶ、観察用 2 ヶ、照明用 1 ヶ設けられている。

(4) 動物ケージ移動装置一式

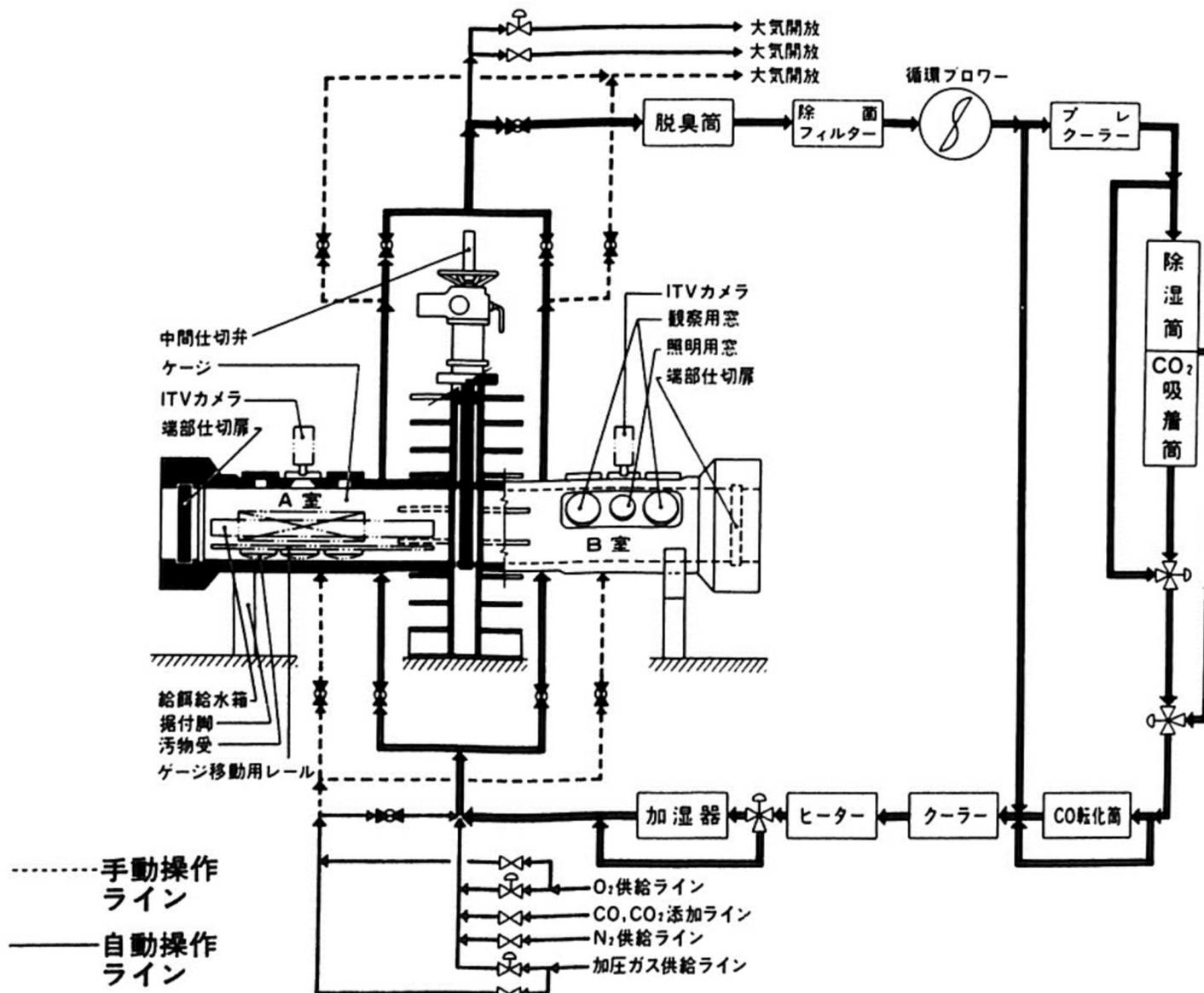
チェンバー外部より、手動ハンドル操作によるラックピニオン機構で、ケージ支持移動台車を、一方より他室へ移動する装置である。

(5) 諸貫通金物

環境コントロール用諸管電線、生体計測用電線等の貫通金物が設けられている。

2.4 動物チェンバー付属品

動物収容ケージ、給餌・給水・排泄物収集・等



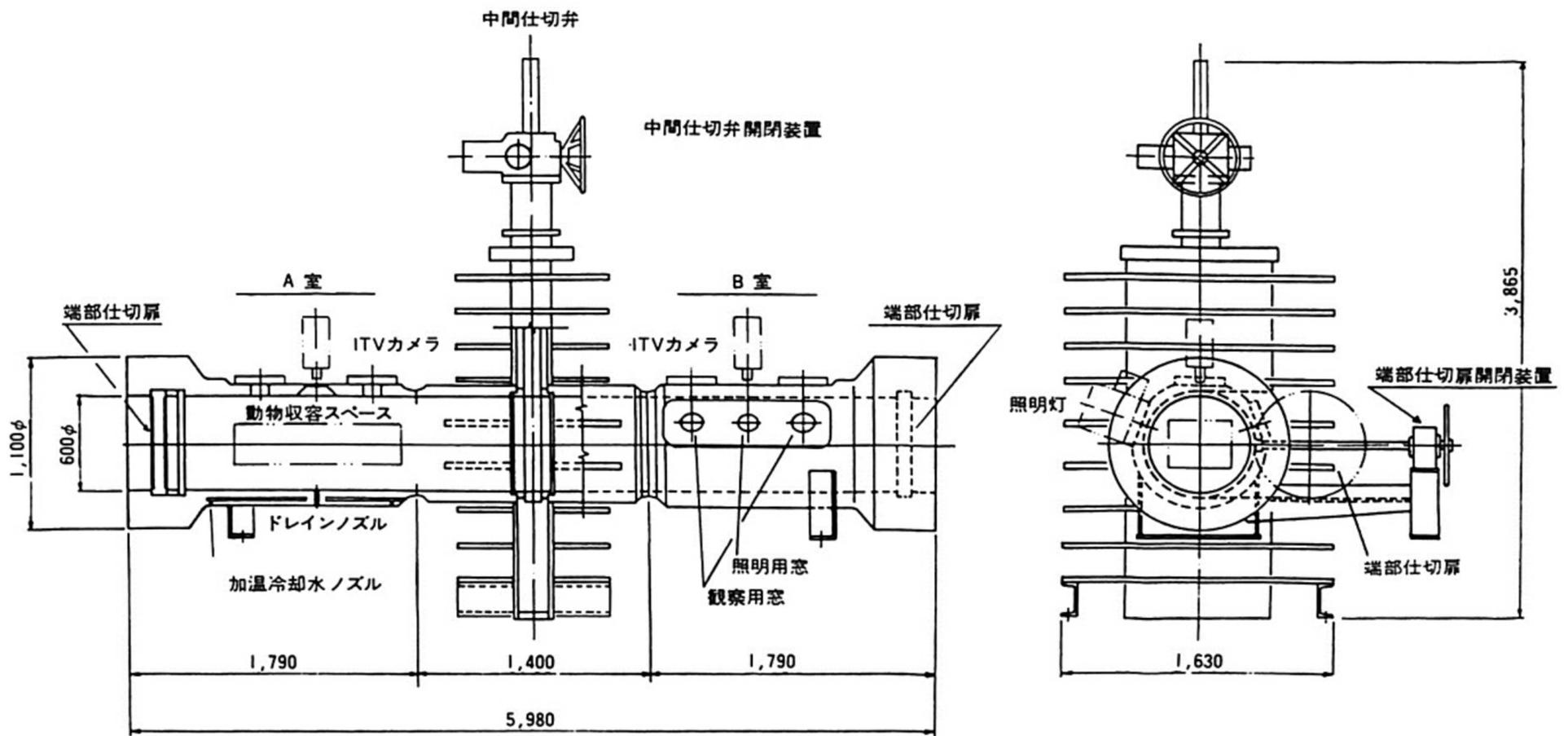


図-2 チェンバー本体断面図

の各装置一式が設けられている。

3. 環境コントロールシステム

3.1 環境コントロールシステム概要

本システムは、動物チェンバー内の環境ガスをコントロールするもので、中央管制制御盤、ガス制御盤並びに環境系機器配管設備、加減圧系機器配管設備等よりなる。

3.2 中央管制制御盤

本装置は、実験条件整定のための環境ガスのコントロールを行うもので、環境ガスの組成・圧力・温度・湿度・CO₂分圧・O₂分圧・加減圧速度をコントロールする。

3.3 ガス制御盤

加圧ガスの選択と、ガス添加を行う。

3.4 循環系機器配管設備

本循環系は、環境ガスの循環及びコントロールに用いられるもので、脱臭筒、除菌フィルター、循環ブローア、温度調節器、除湿器、CO₂吸着筒、COコンバータ、加湿器、サイレンサー等と配管より成る。

3.5 加減圧系配管設備

加圧系は、チェンバーへのガス供給と加圧を行うもので、加圧ガスとしては、He・N₂・Ne・Ar・Kr・Xe・空気等、添加ガスとしてはN₂・O₂・CO₂・COガスが使用される。加圧ガスとO₂の供給は自動及び手動により、他は手動操作による。

減圧系はチェンバーの減圧に用いられ、操作は自動または手動である。

モンレー湾 水族館研究所(MBARI)

運航部無人探査機操縦班

渡辺 正之 Masayuki Watanabe

1. はじめに

モンレー湾水族館研究所 (The Monterey Bay Aquarium Research Institute 以下、「MBARI」という) は、米国カリフォルニア州サンフランシスコ南方約 160 km のモンレー湾に面した自然環境に恵まれた風光明媚の地にあり、従来自分が持っていた米国の印象＝大平原のイメージとは違い、海や山があり日本人にとって違和感のない国内の漁港に似た場所にある。モンレー市は、モンレージャズフェスティバルで有名なりゾート地である。

私は最新の無人探査機 (以下、「ROV」という) の運用技術を調査する一環として、平成 3 年 5 月 28 日～同年 6 月 1 日 (5 日間) 同研究所を訪問した。特に当研究所の調査船「POINT LOBOS」に乗船し、ROV のオペレーションを見学・研修するとともに、現在「MBARI」で計画中の ROV の開発状況について説明を受ける機会を得たので、ここに同研究所を紹介する。

2. 概 要

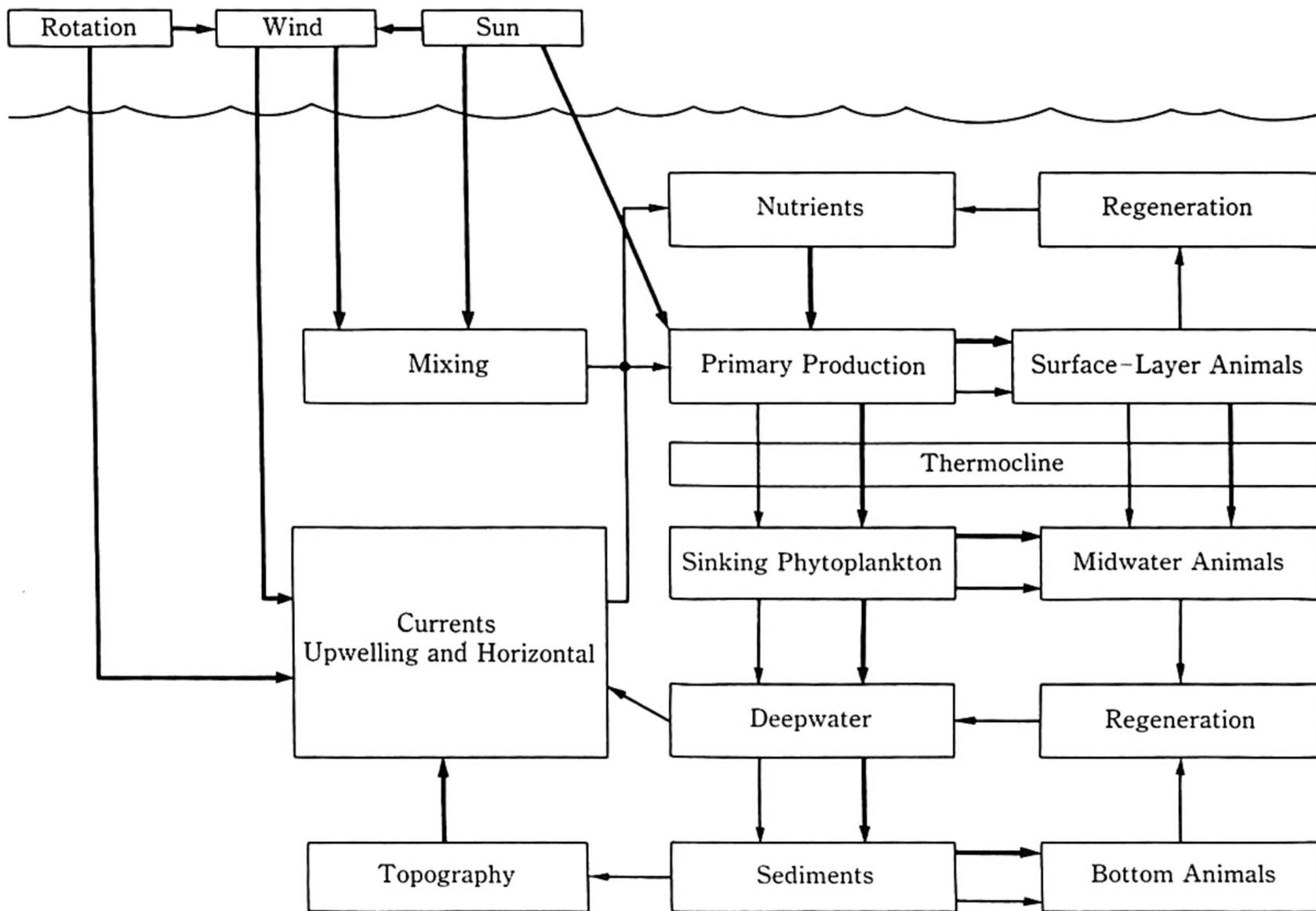
「MBARI」は 1987 年にコンピュータで有名な Hewlett-Packard 社の創始者 David Packard 氏により創設された新しい研究機関である。元来、モンレー湾の調査・研究は、モンレー湾水族館の活動の一部として実施されていたが、1985 年に潜水船を用いた予備調査に始まる計画が進む

につれ、調査・研究部門は水族館とは密接な関係を保ちながらも、独立して活動した方が良いと判断され、別個に独立した法人組織の「MBARI」が設立された。

「MBARI」の調査・研究活動の基本方針は、カリフォルニア海流の比較的きれいな外洋水が大量に流れ込み、かつ、海底地形に関しても最深部では水深 3,700 m にも達するモンレー海谷を持っているモンレー湾を、海洋の生態系のメカニズムを詳細に究明する上で理想的なモデルと考えた。そしてまず、この海域における生態系のメカニズム (図-1) を解明し、そのメカニズムを他の海洋にも適応して、地球規模の海水を含む環境と生態系の関係を究明することを最終目的としている。

「MBARI」の組織は、研究部門と運営部門及び調査船等の乗員とで構成されており、人員は約 70 名である。運営は年間予算の約 90% が主に Packard 氏らの個人による寄付であり、残り 10% が補助金で賄われている。

「MBARI」の研究設備は、モンレー市の中心部に近い市街地の住宅地域にある研究本部 (写真-1) と、そこから車で約 1 時間の距離にある漁港 Moss Landing に臨海作業基地がある。さらに海洋調査設備として、全長 110 ft の調査船「POINT LOBOS」と、同調査船に搭載している 2,000 m 級の ROV システムを保有している。



↑ The blue lines show the transfer of mass as either the organic or inorganic forms of the elements carbon, nitrogen and phosphorus.

↑ The red lines show the transfer of energy or momentum in the ocean ecosystem.

図-1 モントレー湾の生態系メカニズム



写真-1 モントレー水族館湾研究所 研究本部

3. 活動内容

「MBARI」の研究活動に関しては、工学的な分野と科学的な分野に大別される。

3.1 工学的な研究活動について

「MBARI」の科学的研究活動を遂行していく上で最も必要とされている技術の開発に関し、次の三つのステップを設定している。

(1) 第一ステップ

モンレー湾及びモンレー海谷を隈なく調査できる最先端の科学技術を用いた ROV を設計すること。その手始めとして、カナダの ISE 社の ROV を改造して 2,000 m 級 ROV の運航を行いつつ、3,000 m 級 ROV の開発等を行う計画である。

(2) 第二ステップ

調査船・ROV 及び海中に設置されたセンサー等から得られた画像・データを解析し、さらにこれらを蓄積できるようなデータベースを構築する。

(3) 第三ステップ

モンレー湾の物理・化学・生物学・地質学的な変動を予測できるように、データベースから得

られる情報に適合するモデルの作成を行う。

3.2 科学的な研究活動について

モンレー湾の生態系を解明するための三つの活動目標があげられている。このために、調査船による週1度の観測や海中にセンサーを配置し、海水の循環を直接計測する事を計画している。

(1) 第一目標

湾内の生物分布と量的パターンを解明し、その発生過程を究明する。

(2) 第二目標

モンレー湾の生物の生産性及び潮流変化の究明を行う。

(3) 第三目標

調査船による観測結果や、海中に設置された計測器等のデータに基づくモンレー湾の海水循環モデルを完成させる。

4. 調査研究施設

「MBARI」研究本部は、1,500 m² の建屋に工学研究室と化学研究室から成る研究部門及び事務部門が同居している。工学研究室では、「MBARI」の調査機器、特に ROV に関連する研究開発が行われており、現在計画中の新型 3,000 m 級 ROV

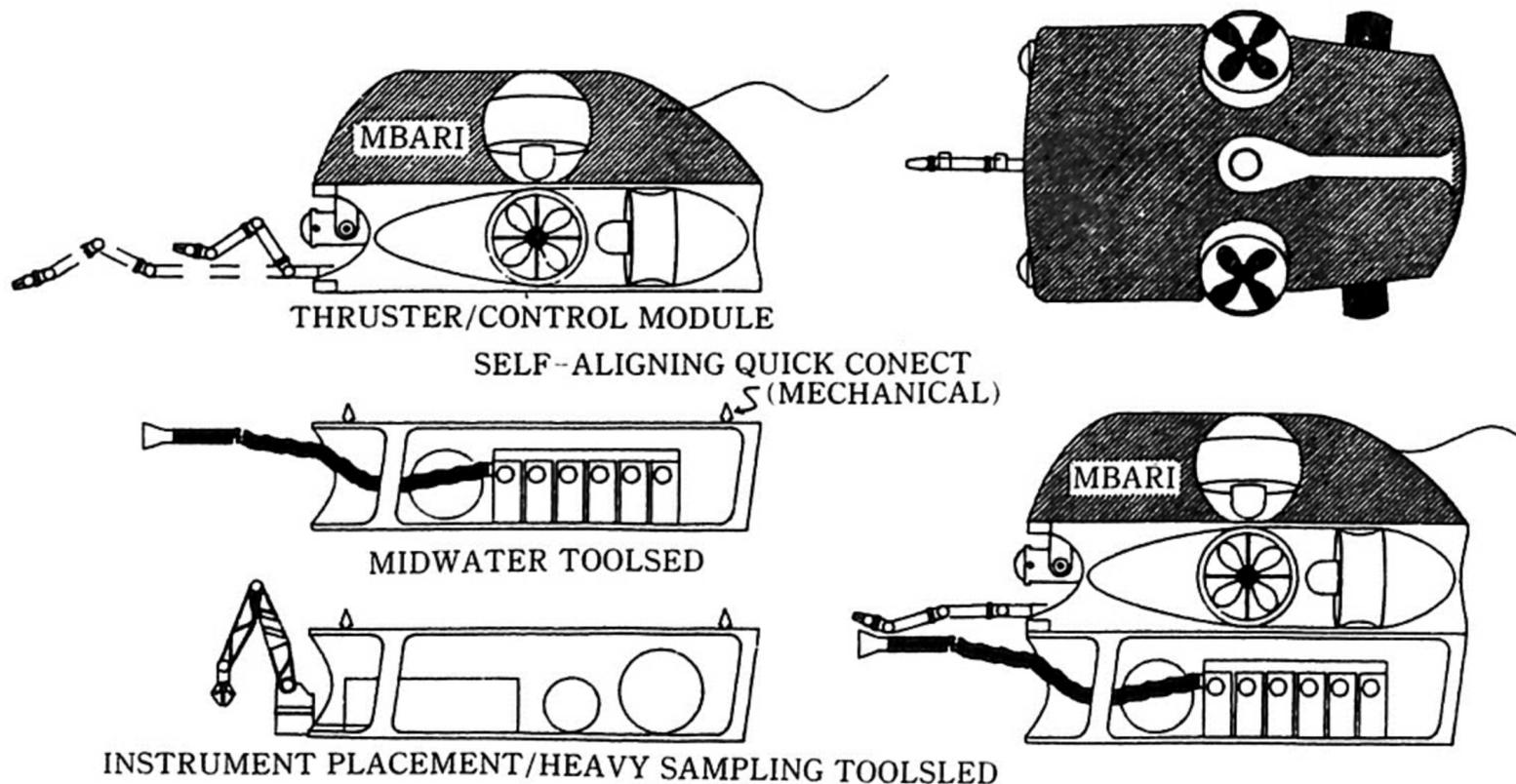


図-2 3,000 m 級無人探査機計画図

の設計が進行していた。(図-2)

新型 3,000 m 級 ROV 概要

形 式：重錘付自由遊泳式無人探査機

推進装置：電動モータ

重 量：約 1,500 kg (目標)

母 船：半没水型双胴船

本計画で最も興味を引いたものは、推進器用の小型電動モータである。この電動モータは直流ブラシレス電動機で、制御用電子機器は油漬になっていた。この電動機を使用し、ROVの音を極力少なくすることにより、音に敏感な生物(魚類)等の調査を行いたいとのことであった。また、運用面では半没水型双胴船を母船としての運用を計画しており、わがセンターで、半没水型双胴船を母船とするROVの運用を実施していることを説明したところ、非常に興味を示していた。

Moss Landing 臨海作業基地は、約 2,000 m² 陸上整備場と、調査船「POINT LOBOS」の専用岸壁(写真-2)から成っている。

陸上整備場は、1989年より建設が開始され最

近完成したらしく、家具の臭いがするような新しい施設であった。1階にはわがセンターの潜水船整備場ほどの広さを持つ整備区画と電子機器調整室そして工作室と生物飼育室があり、2階には事務室及びサンプル保管庫等があった。私が訪れた時は工作室の旋盤で耐圧容器の削り出しが行われており、整備施設も機能が動き始めている様子がかがわれた。

次に「MBARI」が運用している 2,000 m 級 ROV システム「Ventana」について紹介する(写真-3-1・写真-3-2)。

ROV システムは 3 年前の 1988 年にカナダ ISE 社の汎用 ROV システム「HYSUB ATP 40」を購入し、約 1 年間は慣熟訓練を行いながら運用した。その過程において機器を使いこなし機器の性能を十分把握したのち、ROV の機能を最大に引き出すために「MBARI」の技術者により徐々に改造が加えられた。ROV の現状は、フレーム構造と、推進装置のみが建造当初のものであり、結果としてシステムの大改造をしたことになってい

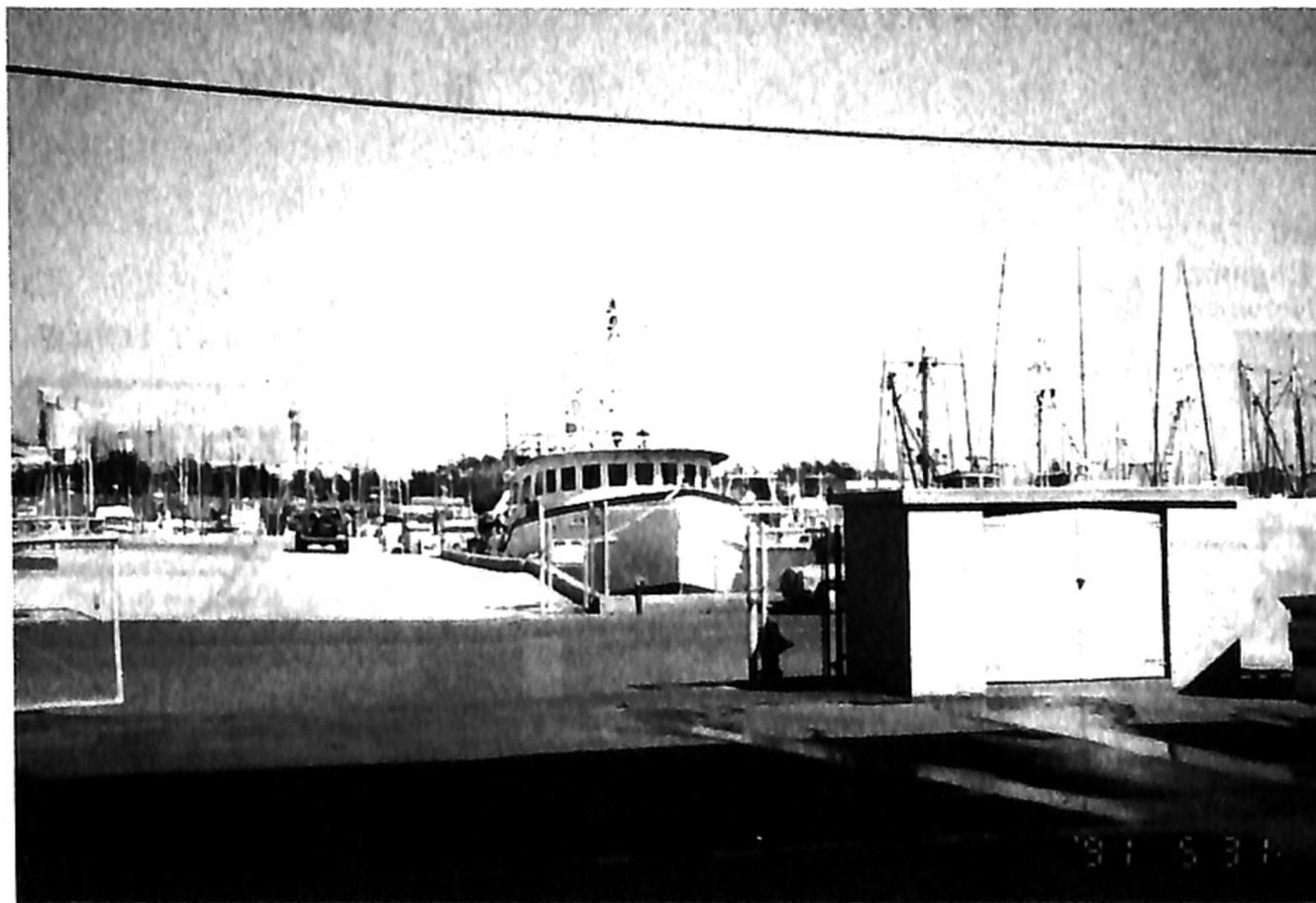


写真-2 調査船「POINT LOBOS」の専用岸壁
船橋上部にマイクロウェーブ用アンテナが
装備されている。

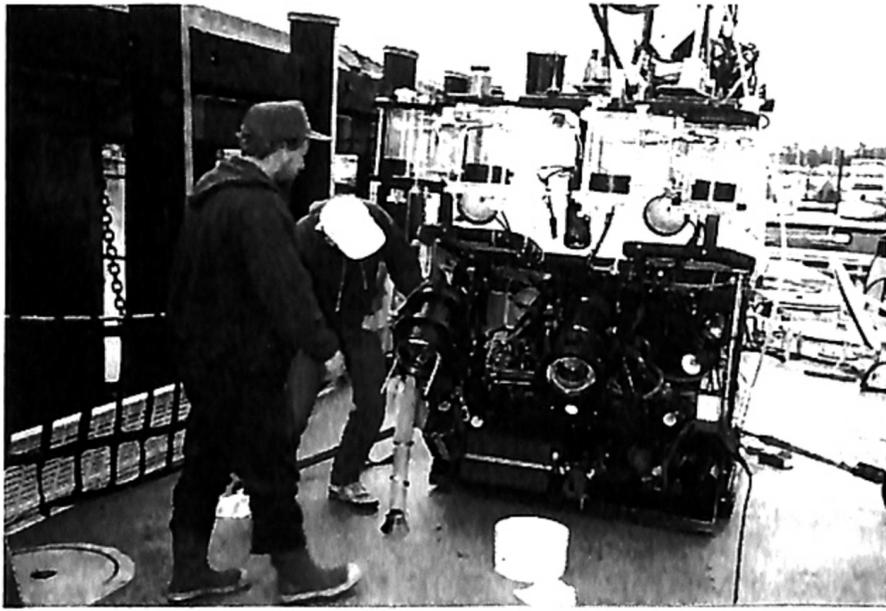


写真-3-1 ROV「Ventana」全景ビークル上部に4個生物採集器を見る事が出来る

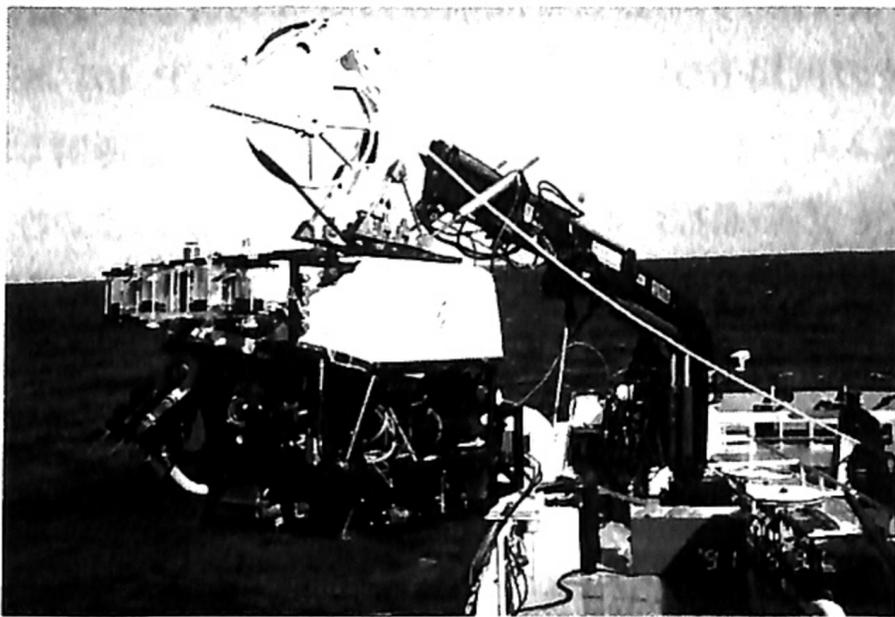


写真-3-2 ビークル 着水作業
多関節クレーンによりビークルが吊り上げられている

る。母船（調査船「POINT LOBOS」）は、一般的な小型サプライボートを改造したものである。後部デッキには、ビークルを着水・揚収するための先端部に特殊な衝撃干渉装置を取り付けた多関節型のクレーン、ケーブルストアウインチ、CTD 計測装置の小型クレーンを設置し、洋上研究室として 20 feet の海上コンテナを装備している。

他に本 ROV システムの特徴は、本船と研究本部間にマイクロウェーブによる通信回線を準備していることにある。この通信回線を利用し、陸上との LAN (Local Area Network) を構築し相互通信することで、研究者らが陸上にいながら海中の調査及びカメラ等のビークルの操作することが可能となっている。つまり研究者は船に乗らずに、陸上で椅子に座りながらリアルタイムで調査を出来るシステムなのである。(図-3)

無人探査機システムの仕様を以下に示す。

型 式：自由遊泳式無人探査機

稼働最大深度：2,000 m

寸 法：2 m (長さ) × 1.5 m (幅) × 1.8 m (高さ)

重 量：1.5 TON (空中重量)

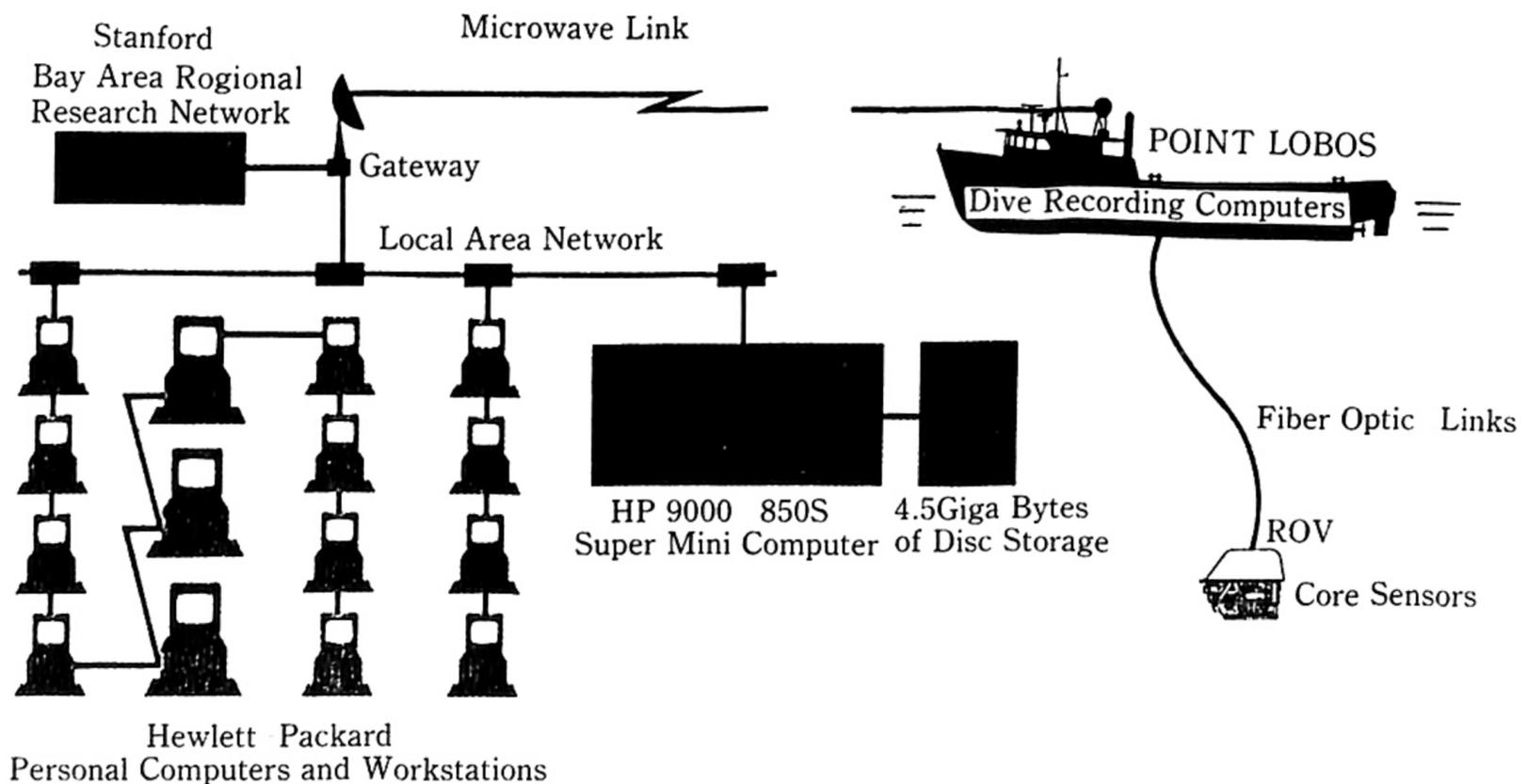


図-3 無人探査機システム用 LAN システム概念図

推進装置：油圧駆動 スラスタ 6 台

キ作業員)+ 3 名 (母船乗員)

航海装置：ジャイロ

母 船：単胴船 2 軸(可変ピッチプロペラ)

：深度計

：高度ソナー

：前方障害物探査ソナー

：トランスポンダ

観測装置：カメラ 3 台 (内 1 台は放送局級)

：カメラ用パンチルト装置 (2 台)

：照明灯 6 灯

(内 2 台はメタルハライドランプ)

：ステレオスチルカメラ 1 台

：マニピュレータ 1 本

：生物採取器 2 式

：採水器 1 式

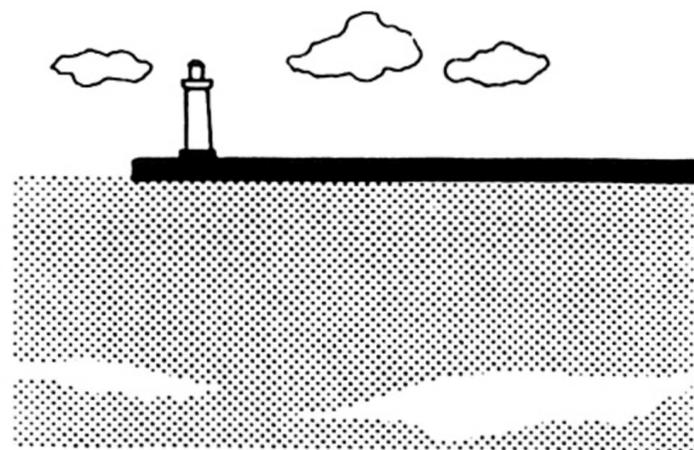
：ワークパッケージ 1 式

操縦者：3 名 + 1 名 (調査員) + 3 名 (デッ

5. おわりに

「MBARI」は比較的新しい機関であるが、ROV のオペレーション及び改造されたビークルを見て、「MBARI」の運用技術レベルの高さに驚かされた。この ROV の運航実績に裏付けられた技術的な自信により、3,000 m 級 ROV の設計も順調に進んでいるようであった。

最後に、「MBARI」は一昨年、ソ連との共同研究として潜水調査船「ミール II」で、モンレー湾の調査を行ったとのことであり、今後、わがセンターとも共同研究を実施したいという希望を持っていることが話題として出ていた。



海洋レーザー(海洋ライダー)

海洋研究部 浅沼 市男 Ichio Asanuma

1. 海洋ライダー

1960年代のレーザーの発明以来、多くの研究者により、レーザー光の海洋のリモートセンシングへの応用の可能性が検討されてきた。光(Light)を利用したレーダ(Radar)からライダー(Lidar)と呼ばれ、これまで海面の油膜検出、沿岸域の水深計測、海水中の懸濁物層の検出、海面の植物プランクトンの検出などの実験例が示されてきた。1970年代のレーザーを利用した実験では、レーザー装置の大きさ、入力電力、限られた波長、出力安定性等の限界に対して、また、検出器の応答速度、増幅率、ゲート機能などの限界があったものの、多くの実験が行われてきた。

このような現状の中、1980年代前半のNd・YAGレーザーの小型化と安定性からその応用の道が開かれた。Hoge¹⁾(1988)は、Nd・YAGレーザーを利用し、航空機からの深度方向の懸濁物層の散乱光の検出と、海面表層の植物プランクトンからの蛍光の検出例を示した。Bertoriniら²⁾(1988)は、Nd・YAGレーザーを利用し、海面の油膜からの蛍光の、高速の蛍光分光装置を用いた検出例を示した。Pennyら³⁾(1988)は、Nd・YAGレーザーを利用し、沿岸域の走査機能を持った測深システムの例を示した。

いずれも、Nd・YAGレーザーを利用し、目的に応じ基本波長の1064nm、第2高調波の532nm、そして第3高調波の355nmの波長を励起波長として利用した。それまでの海洋ライダーへ試験的

に利用された窒素色素(N₂・Dye)レーザーは、有機溶媒を必要とし、航空機内での引火の危険性あるいは出力強度の限定される点から利用されていない。これらのNd・YAGレーザーを利用した海洋ライダーシステムは、実用化への努力が続けられている。

1.1 測深計測

これは、レーザーパルスの海面からの戻り時間と、海底からの戻り時間との差から水深を計測する技術である。

1.2 懸濁物の深度分布計測

これは、深度計測と同様のハードウェアにより、海水中の懸濁物によるレーザー光の散乱光を時間軸において計測し、散乱光の深度分布の計測から懸濁物の深度分布を求めることを目的とした計測技術である。

1.3 植物プランクトン分布の計測

これは、植物プランクトン中に存在するクロロフィル-a色素を、青色の光で刺激したときに発生する蛍光の強度を計測し、植物プランクトン分布を求めることを目的とした計測技術である。

1.4 油膜の検出

これは、油を紫外波長帯域の光で刺激したときに発生する蛍光の強度と波長分布を計測し、油膜の量と種別の判読を行うことを目的とした計測技術である。

2. 海洋科学技術センターの海洋ライダー計画

当センターでは、深度方向の植物プランクトン

及び懸濁物を計測するための船舶搭載型の海洋ライダーの開発を進めており、さらに航空機搭載型の海洋ライダーの開発を行う予定である。いずれも、植物プランクトン現存量を観測するための装置であり、今後予定される JGOFS (国際共同海洋物質循環研究) において広域にわたる植物プランクトンの観測手段を提供し、さらに米国の SeaWiFS 及び日本の ADEOS 搭載の OCTS の海色センサーとの同時利用による、より精度の高

い植物プランクトン観測を実現することを目的とするものである。

参考文献

- 1) Hoge, F. E., et. al, Applied Optics, V 27, N 19. (1988)
- 2) Bertolini, G., et. al, "8th EARSEel Symposium". (1988)
- 3) Penny, M. F., et. al, Applied Optics, V 25, N 13. (1986)

ヘリウムボイス

静岡大学工学部 鈴木 久喜 Hisayoshi Suzuki

地球上に住んでいる人間は、いつもほぼ1気圧の空気の中で生活しており、物音や他の人の声を聞いたり自分で声を出したりしてコミュニケーションをしながら日常生活をしている。

ところが、深い潜水作業などのように、ヘリウムガスを主体とした高圧のヘリウム酸素混合気体(以下「ヘリウム空気」)を呼吸しなければならない環境では、人間の発する音声は通常とはまるっきり違った音色になり、コミュニケーションが困難になる。このような特有な歪みをもった音声を「ヘリウムボイス」あるいは「ヘリウム音声」と呼ぶ。この声は、ディズニー映画のドナルドダックの声に似ていることから、「ドナルドダックボイス」と呼ばれることもある。

このような現象の生ずる原因は、発生の音響学的メカニズムにある。

よく知られているように、音声は声帯の振動あるいは喉から口唇にいたる通路(声道)の狭窄部で生じた雑音などの音源から出た音が、声道や鼻腔の共鳴システムを通過して口唇あるいは鼻孔から放射されたものである。一般に管の共鳴周波数は

管の長さに反比例し、管内の気体の音速に比例する。声道の長さは子供や女性は男性の大人より短いので、声道の共鳴周波数(ホルマント周波数)は同じ言語音で子供や女性の方が高い。潜水に使用するヘリウム空気は、普通の空気に比べて音速が深度100mで2.2倍、300mで2.6倍になるので、ホルマント周波数はそれだけ高くなる。したがってヘリウム空気中では、いわば大人が子供のホルマントで話すのに似たところがあるのだが、それ以外に次の二つの作用もある。

深々度潜水では、ヘリウム空気の圧力を高めるので密度も高くなり、(300m潜水では1気圧空気の約5.2倍)、頬などの声道壁は相対的に柔軟になってそれ自身の振動が増え、それによって低い周波数のホルマントの上昇割合が上述の音速比よりさらに大きくなる。一方、声帯の振動数は声の高さ(ピッチ)に関係するが、それはヘリウム空気中でもあまり変化しない。したがって、ヘリウムボイスは、ピッチは大人並でホルマント周波数は幼児より高く、ホルマントの構成が言語音の態をなさないという特異な声になってしまうので

ある。

以上の他、高圧ではマイクロホンの周波数特性が劣化するので、これによっても音が歪む。これまでの調査では、計測用の特殊な物は別として、深度 300 m で実用できるものは一部のエレクトレット型コンデンサーマイクロホンのみで、通常使われるダイナミック型マイクロホンには良いものがない。

ヘリウムボイスの単音節明瞭度は深度 87 m で 54%、200 m で 25%、300 m で 10% 程度であり、200 m 以深では会話も困難になる。この音声を聞

きやすくする装置（ヘリウム音声修復装置）がいくつか開発されているが、静岡大学で開発されたデジタル信号処理方式の装置は、ヘリウム音声のピッチとパワースペクトルとを分解して別々に変換した後再合成するという方式を用いている。海洋科学技術センターで行われた 300 m 有人潜水模擬実験の際のヘリウム音声に対して、音節明瞭度 61%、単語了解度 83% が得られている。実際の高圧環境では騒音レベルが高いので、このような信号処理と並行して騒音対策の処理も必要である。



開催案内

第8回「しんかいシンポジウム」開催の御案内

深海研究部

平成3年度の研究シンポジウムは、下記の要領で開催致します。本年度は「しんかい2000」に加えて、本格的な深海潜水船「しんかい6500」も潜航調査に参加するようになり、海域も潜水深度も従来よりはるかに拡大しました。

今回のシンポジウムは、従って「しんかいシンポジウム」と名前を改め、地球科学、物理・生物・化学の多くの分野にわたり、広汎な地域に関する研究発表が期待されます。多数の方々の御来場をお待ちしております。

記

期 日：平成3年11月6日（水）及び7日（木）の2日間

会 場：コクヨホール（品川駅南口下車）TEL. 03(3450)3712（入場無料，当日予稿集を配布）

「海洋研究開発の新たな方向」に関する 国際シンポジウム開催

企画室

当センターでは、海洋に関する研究開発の分野で先駆的な役割を果たしている世界7か国（日本を含む）の主要な研究所の指導者を講演者に迎え、各機関における海洋研究開発の現状と将来計画について講演を行うとともに、パネル討議を行い、新しい時代の流れに則した海洋研究開発の方向及び国際協力のあり方を浮き彫りにしていくため、下記のとおり国際シンポジウムを開催します。

特に、パネル討議では「深海調査」及び近藤次郎氏（日本学術会議会長）の特別講演を踏まえた「地球環境と海洋観測」をテーマに取り上げていきます。

記

主 催：海洋科学技術センター

後 援：科学技術庁，経済団体連合会，日本海洋学会

開催期日：平成3年11月20日（水），21日（木）

開催場所：経団連会館 経団連ホール 東京都千代田区大手町1-9-4

参 加：登録制

第17回研究発表会の開催案内

（海洋科学技術センター創立20周年記念）

企画室計画管理課

平成3年度の研究発表会を下記により開催いたします。本研究発表会は一般発表の他に、特別講演も予定しています。多数のご参加をお願いいたします。

記

期 日：平成4年1月28日（火）及び29日（木）の2日間

会 場：コクヨホール（品川駅南口下車）TEL. 03(3450)3712（入場無料，当日予稿集を配布）

編 | 集 | 後 | 記 |

本号の巻頭言として、当センター監事 岡田 久氏からご挨拶をいただいた。監事には長い間、通産行政の一翼を担われたご経験を有され、これらの面からの有意義なご提言をいただいた。また本来は鉱物資源をご専門とする方であり、当センターにおいても、深海研究に際して随所において観察できるようになった熱水活動や熱水鉱床等に関する諸情報に対して専門家のお立場から、ご意見をいただけるものと期待するとともに同氏に改めてお礼を申し上げる。

「陸の温泉・海の温泉」と題して、今春から山形大学理学部へご転任された酒井 均教授にご専門の地球化学的側面から、深海底で行われている熱水活動等の諸現象についてご高説をいただいた。陸地の現象と対極的に海底の現象をとらえられている点で、ただ単に海の現象のみをとらえ、考究されるのではなく、現象を全地球的観点から陸と海を対比・考究され、研究を一層質的に深化されている点に感銘すると同時に陸地を対比できる点、多少うらやましく感じた。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ます。

さて、本年10月1日、すなわち本号の発行日は当センターの創立20周年に当たり、いよいよセンターも青年から一応の大人に達した訳であり、今後は存在価値や評価等の側面から、まさに試練の時を迎えることになる。このような時期に20周年を記念して、11月に世界各地の有名な海洋研究所長を集めた国際シンポジウム「海洋研究開発の新たな方向」が開催されるが、海洋科学技術に関してこのようなシンポジウムが開催されるのは初めての試みであり、多分毎年とはいわないまでも今後、これを契機にこの種の会合が継続されるであろうし、そうなることを期待している。また、同様趣旨により20周年を記念して作成した海洋

開発の必要性と動向を分かりやすくまとめた「魅せられて海」も発刊された。写真・図表中心の50頁足らずのものであるが、世界の海洋開発と当センターの歩み、今後の展望等がごく簡潔に述べられており、お気楽にご覧いただければ幸いである。

本号も目次をご覧になればお分かりのように盛り沢山な内容となっている。本誌の最初の通巻第1~2号あたりまでは研究者の方々に原稿執筆をかなり強くお願いをしておりましたが、最近ではJAMSTEC発刊の趣旨がご理解いただけたものかむしろ、研究者の方々からかなり積極的にご投稿いただいている。また号を追うごとに国際関係の記事が一段と多くなっていることもお分かりいただけるものと思う。

さて、本号表紙に、「しんかい6500」上でのアメリカ NOAA の首席研究官 Sylvia Earle 博士とフランスの Xavier Le Pichon 博士にご登場願った。今さら、説明するまでもなく、アール博士は“深海の女王”とも呼ばれるほどの潜水歴のある深海の動植物に関する海洋生態学者であり、ルピション博士は日仏共同計画 KAIKO 計画のため、度々来日し、1990年度「日本国際賞」の共同受賞者でもある。当センター等にこのような著名な外国の海洋学者が度々来訪されることは光栄なことである。編集にたずさわるものとしても、これらの事実を読者の皆様にご紹介できることは喜ばしい限りである。したがって、編集スタッフ一同、本誌の内容の質的レベルにも留意しつつ、ミスプリ1つないように努力する所存ですので、今後とも皆様からの積極的なご投稿をお待ち申し上げます。

以上、編集子がかんり勝手な意見を述べたが、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

潜水調査船「しんかい6500」に乗船した海外研究者
米国商務省NOAA（海洋大気局）の首席研究官 Dr.
Sylvia Earle（シルビア アール博士）が、平成3年7
月23日女性として初めて「しんかい6500」に乗船した。
今回の潜航目的は「深海の生物発光現象の研究」であり、
海域は御前崎南南西約100 km の水深4,000 m の海底で
ある。

潜航終了後彼女は「この船は素晴らしい！ パーフェ
クトマシン！」だと絶賛した。

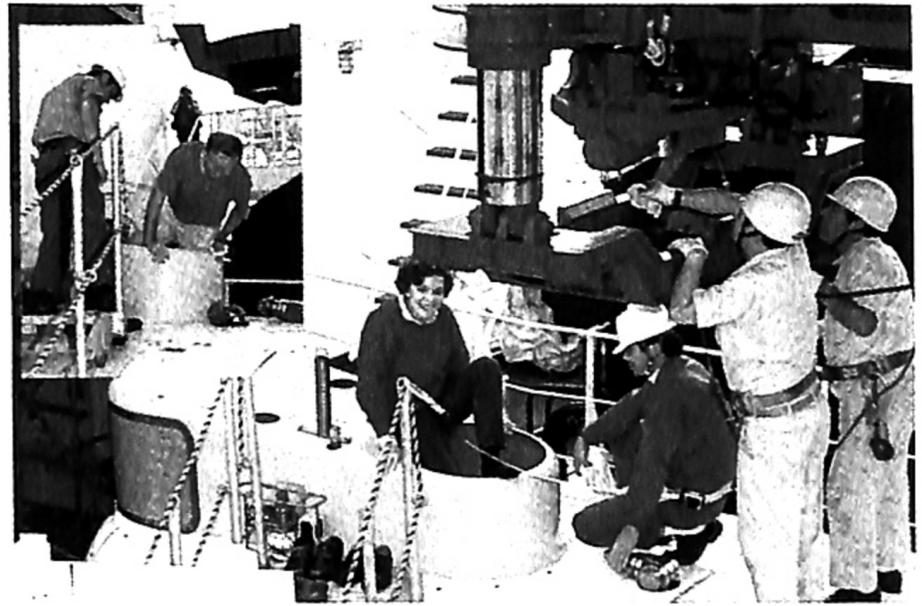
同博士は、米国の著名な女性海洋学者で、深海の動植物に関する生態学等を研究している。また併せて、飽和
潜水から潜水艇による潜水まで幅広い潜水歴（延べ潜水時間5,000時間以上）を持ち、一人乗り潜水艇による単
独潜水世界記録の保持者であり、「深海の女王」とも呼ばれている。

また、同じクルーズに仏国の Dr. Xavier Le Pichon（グザビエ ルピション博士）も、平成3年7月22日同
海域で「しんかい6500」に乗船した。潜航目的は「沈み込み付加体における湧水現象調査」である。

同博士は、地球物理学が専門で「大陸移動説」を裏付けるプレート・テクトニクス理論の世界的権威であり、
1984年から開始している日仏共同「KAIKO NANKAI」プロジェクトの仏国側責任者でもある。

写真は、潜水調査船「しんかい6500」から降りるアール博士

写真左上は、潜水調査船「しんかい6500」に乗り込むルピション博士



刊行物編集委員会委員及び作業部会専門委員

委員長	石井進一（理事）	作業部会長	須崎祐吉
委員	志村光雄（総務部長）	専門委員	長谷川康明 宗山 敬
	間宮 馨（企画室長）		原 俊明 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 橋本暢雄
	中西俊之（海洋研究部長）		岩井芳郎 喜多河康二
	甲斐源太郎（海域開発研究部長）		青木太郎 井内敏正
	西田光紀（運航部次長）		
	須崎祐吉（情報室長）		

JAMSTEC 第3巻 第4号（通巻第12号）

1991年10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)

