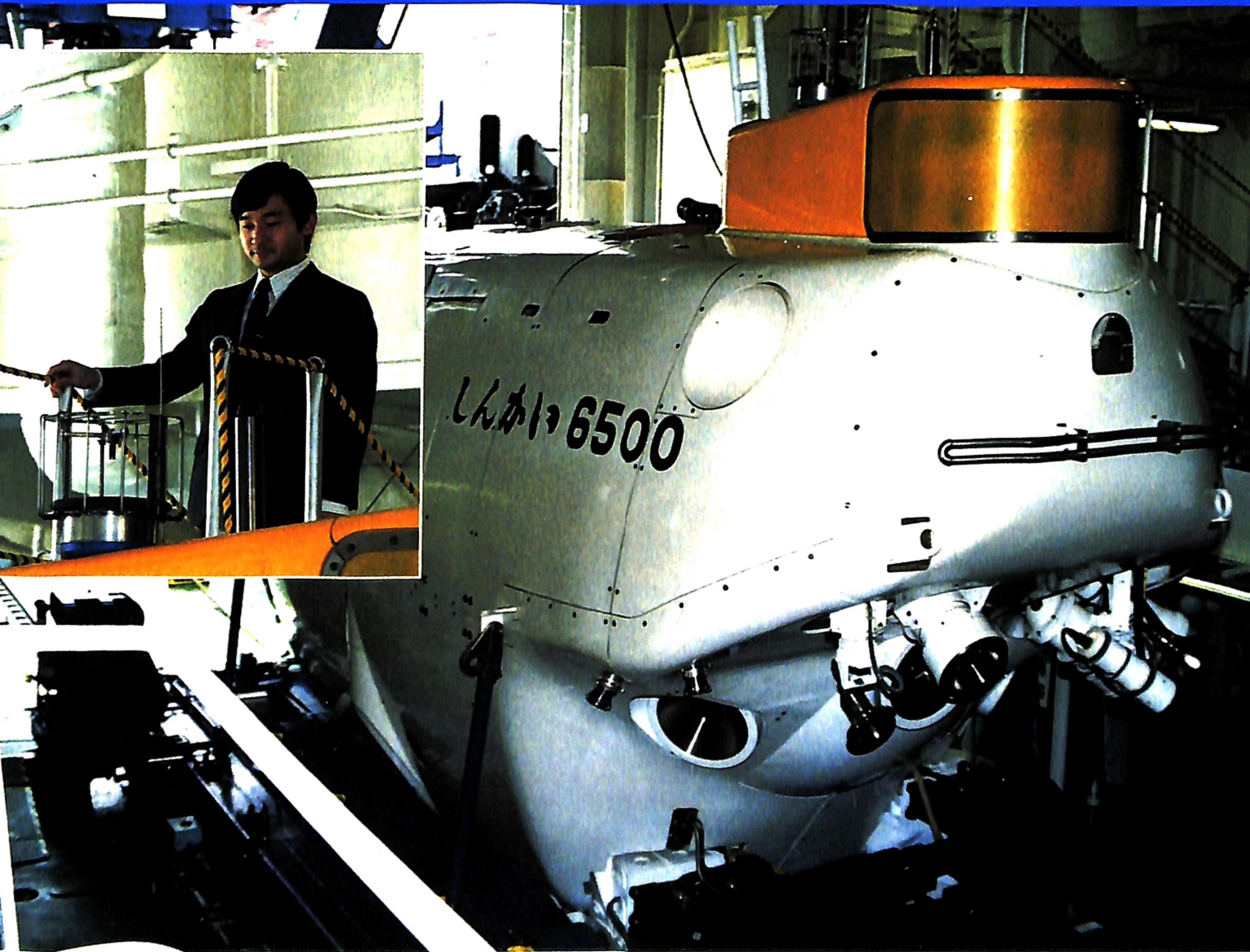


JAMSTEC

1990年 第2巻 第3号 (通巻第7号)



海洋科学技術センター

目 次

巻頭言 海洋科学技術センターにおける国際化の推進	
	海洋科学技術センター理事 間山 隆…………… 1
重力測定は今昔	
—測定屋の回想—	瀬川爾朗…………… 3
海洋データ圧縮伝送システムの開発	海洋開発研究部 浅沼市男……………10
	黒田芳史
	甲斐源太郎
	宗山 敬
	石井進一
奥尻海嶺の活構造	
—「しんかい2000」による潜航調査—	深海研究部 田中武男……………18
世界の海洋底	
—海底名所めぐり(その7)—	小林和男……………29
海に魅せられて半世紀(Ⅶ)	奈須紀幸……………38
深海底に地球の謎を探る(その3)	
沈み込み始めた海底	深海研究部 堀田 宏……………42
海外出張・海外調査団報告	
OTC'90 調査団調査録	海洋開発研究部 安藤健太郎……………48
	深海開発技術部 長尾景昭
第10回日独海洋科学技術パネルに参加して	潜水技術部 王丸 寛……………51
地球惑星物理研究所での短期海外研修	海洋開発研究部 工藤君明……………54
ノルウェーの海洋開発事情	海洋開発研究部 堀田 平……………56
アトランティスⅡ乗船日記	運航部 柴田 桂……………58
当センター各部紹介	
情報室の紹介	情報室……………61
当センター研修・施設・機器等の紹介	
しんかい2000	深海開発技術部 高橋憲二……………68
当センターで開発された機器	
ホーネットランチャーシステム	潜水技術部 沼田光政……………71
研究機関・学協会等の紹介	
ワシントン大学応用物理学研究所を訪問して	海洋開発研究部 安田哲也……………73
用語解説	
黒潮	海洋開発研究部 黒田芳史……………76
親潮	海洋開発研究部 宗山 敬……………77
潜水調査船「しんかい6500」システムを竣工披露	情報室……………79
第16回科学技術庁長官賞 研究功績賞に当センター	
深海開発技術部 服部陸男研究主幹受賞	情報室……………80
深海開発技術部の中西俊之研究主幹並びに	
高川真一研究副主幹共に工学博士号を受領	情報室……………81
編集後記	

海洋科学技術センター理事

間山 隆

Takashi Mayama

海洋科学技術センター における国際化の推進



四面を海洋に囲まれた我が国にとって、海洋開発は極めて重要な課題であり、その分野は非常に広く多岐にわたり、業際、学際、省際的性格を持っております。海洋科学技術センターは、そのような海洋科学技術研究開発の中核機関として、産業界、学界及び政府の協力のもとに設立され、各界の御支援・御協力をいただき、海洋開発の各分野に多くの研究成果を挙げつつあります。

特に、従来の「しんかい2000」「ドルフィン3K」「かいよう」「なつしま」等の海洋調査観測システムに加えて、最新鋭の「しんかい6500」及び「よこすか」が運航を開始し、さらに、世界で初めての10,000 m級無人探査機等の開発が進められており、当センターは極めて充実した調査観測機器を備えることとなり、海洋開発研究機関として、国内的には勿論、世界的にも最先端の機関となるポテンシャルを有しているといえましょう。

このような時期にあたり、我が国経済力の伸長と産業技術・先端的科学技術の発展を背景に、当センターに対する国際的な研究推進並びに積極的な国際的貢献を望む声が極めて高くなって参りました。

従来より当センターにおいては、南太平洋リフト系に関する日仏共同研究、エルニーニョに関する日米共同研究、東シナ海における日中共同黒潮調査、米国ウッズホール海洋研究所との協力協定に基づく各種共同研究等の国際協力による研究を推進しており、科学技術庁フェローシップ等による外国人研究者の受入れも含め、研究者の海外交流も増加しつつあります。

海洋は広大であり、その実態解明は一国の狭い領域のみでなし得るものでなく、さらに海洋に関する科学的知見や海洋開発に関する技術は、各国で共通に使用できるのが通例であって、海洋の調査研究や技術開発は国際協力により行うのが実効的であるといえます。同時に、我が国の経済力、科学技術力の向上に伴い、世界の未解明の海域について、我が国の所要の機器を整備し、積極的に調査研究を行い、基礎的な知見を獲得・提供することにより、国際的に貢献することをも求められているといえましょう。当センターは、我が国の海洋科学技術研究機関として、特に次のような課題を国際協力テーマとして積極的に推進したいと考えております。

1. 深海調査研究

深海調査研究機器として、「しんかい2000」、「ドルフィン3K」等に加えて、世界の海洋全体の98%をカバーしうる「しんかい6500」が平成3年度から潜航調査を開始します。すでに1991年度日仏共同リフト系調査への参加が決定済であります。これにより世界の国々との間

で我が国が主体的役割を果たせる国際共同プロジェクトの遂行が可能であり、国際の場での活躍・貢献が期待されます。平成4年度完成が予定されている10,000 m級無人探査機及び深海底設置型観測ステーションの開発と相併って、深海域で国際的プロジェクトとしての総合的観測研究も推進可能となると考えられます。

2. 海洋現象解明のための観測調査の推進

近年、地球の温暖化等地球規模での環境変動が世界的に大きな問題となっています。地球表面での熱収支や赤道域と極域間の熱量の移動、大気と海洋のCO₂交換機構等海洋の関与する機構の解明が急がれている現在、センターが進めつつある音響トモグラフィー、海洋レーザー及びマイクロ波リモートセンシング等の技術開発は、これら現象の解明への有力なToolであり、それぞれ国際共同研究として推進していますが、今後一層強化を図り、国際協力による海洋観測計画への積極的な参加貢献をも図りたいと考えております。

3. 地球観測研究船の開発

海底下地層の深部を調査することは、地球表層を覆うプレートの状態を把握し、地震・火山噴火等の防災、資源の賦存状況または地球環境問題等の研究にとって極めて重要であります。現在、世界でこのような深海底掘さくが可能な船は、「ジョイデス・レゾリューション号」のみであり、アメリカを中心とした国際共同プロジェクト「ODP」により調査が実施されています。しかし、これのみでは世界中の研究需要を満たし切れず、より深部に及ぶ深海底掘さく機能を有する新船の開発及び運用が期待されています。このプロジェクト実施のためには、長期の研究開発の努力と巨額の予算支出が必要であり、現在の経済力乃至科学技術レベルからみて我が国の国際貢献プロジェクトとして実現可能なものと考えられています。「ODP」との整合性に配慮しつつ、我が国が主体的な役割を果たせる国際プロジェクトとして前向きに検討して行きたいと考えています。

「日本は海洋国である」といわれており、海洋国という語感からは諸外国との交流を通じて国際性が高められた国を想像し勝ちですが、四面を海に囲まれた島国という意味で海洋国家である我が国は、300年に及ぶ鎖国時代を経て近代化の道を歩み出した後も、単一民族国家のため、地理的・歴史的に他民族との接触に乏しく、国際的感覚に欠けていたと思われまふ。戦後の信じ難い程の急速な経済発展の結果、否応なしに国際社会の最有力メンバーの一員として位置づけられ、国際的規範・価値観の洗礼を受けているのは、最近の日米通商交渉あるいは構造協議を見ても明らかであります。科学技術の分野でも、先進諸国に追付く努力のみを続けていれば良かった位置から、国際的に貢献する科学技術及び時代を先取りする先進的科学技術の開発が要請されるまでの地位に至ったといえます。国際的感覚に乏しい我々にとって、国際化の推進は必ずしも容易な道とは思われませんが、当センターが世界の海洋科学技術研究センターたり得るよう、なお一層の努力を続けて行きたいと考えております。

重力測定は今昔

— 測定屋の回想 —



東京大学海洋研究所 教授 瀬川 爾朗
Jiro Segawa

略 歴

昭和11年 岩手県で生まれる。
昭和40年 東京大学大学院地球物理学課程中退。
昭和61年 東京大学海洋研究所教授 現在に至る。

1. 重 力 屋

研究者にもいろいろなタイプがある。体はいつも机上にありながら宇宙の森羅万象が分かる人。いつも体を使って肌で物事を理解しようとする人。目的が明確で結果の見通しがないと仕事を始めない人。手段に興味があって、その結果には無頓着な人。等々、いろいろである。

私は大学院では坪井忠二先生の研究室に入った。先生との付き合いはそれほど長くはなかったが、その割には、いい意味でも悪い意味でも、坪井流の研究観が乗り移っているように思う。坪井先生は地震学者であり、測地学者でもあったわけだが、研究に関しては、ユニークで気のきいたものに特に関心を示された。学生に対しても、誰もやっていないこと、誰も気が付いていないことをやれ、と口癖のようにいわれた。最近ではグループ研究、できるだけ多数による協力研究の重要性が強調される時代となったが、坪井先生の教育はそれとは相反する方向であったように思う。このような研究態度は、坪井門下の末席を穢す私にま

で影響を及ぼしたせいも、私もどちらかということグループ研究は苦手である。

坪井研究室ではこの当時、海上重力測定が大きなテーマであった。1950年代に、日本列島の重力測定で坪井先生が朝日賞を受賞された直後の時代であり、次は海だ、という気魄が満ち満ちていた時代である。このような雰囲気の中で私もいつの間にか重力屋といわれるようになった。

当時、私は大変に不勉強であったが、「気のきいたこと」に対する関心は相当に強まったと思う。気のきいたことは解析方法でもよければ観測方法でもよい。気がききさえすれば、それが最終的にうまくいくかどうかは二の次であった。これは正に自己満足のための研究であった。もしも、同じことを他人がやっていると知ったなら、自分は直ちにやめてしまうほどである。このような研究態度は正統的なものだと今でも思っている。しかし、これには二つの落とし穴があったということも当時は気が付かなかった。一つは、ユニークさで勝負をするには、かなりの才能が前提となること。二つは、気のきいたことをやるためには、基礎的勉強の裏付けを必要とすること。これらの基本を

忘れたために、私の研究も思うような成果が得られていないことを反省している。

私は観測方法のユニークさということに特に関心をもった。装置の面白さ、測定 of 面白さに夢中になったこともある。面白い装置の一つが重力計であり、その情熱が今日まで私を重力計と付き合い合わせることに became したと思う。私が海上重力計を知ったのは1961年であるから、間もなく30年を経ることになる。海上重力計の面白さ、船と海の面白さに気をとられている間に、世の中は随分と変わってしまった。重力測定そのものに関心のある人は世の中にはほとんどいなくなってしまうし、重力に対する関心も薄らいでしまったように思う。重力の研究（古典的な意味において）は17世紀初頭のI. Newtonに始まり、19世紀に至るまで第一線の科学者によってその理論体系が構築されたが、今世紀には応用面が発達し、外国では重力は地質学の一部とみなされている。海上重力の研究で有名であった米国のラモント・ドハーティ研究所のL. Worzelは1970年代の国際測地地球物理学連合総会の開会を前にして、次のような書簡を重力関係者に送りつけたことは今でも忘れることができない。「重力の研究はすでに終了した。何もやることがないのでIUGGの重力セッションは止めにしよう」。この後程なくしてWorzelはこの世を去ったが、一世一代の大家は自分の死を前にして自分の学問までも葬りたいものなのであろうか。Worzelの死後、実は、重力研究に新しい展開がみられ、今日までに一段の飛躍をとげたということは皮肉なことである。

2. 重力測定の歴史

昔の重力測定については、坪井先生の「重力」（岩波書店）やHeiskanen & Vening Meineszの「The Earth & its Gravity Field」（McGraw-Hill）に幾つかの例が述べられている。重力が場

所によって大きく変わるのではないかということが分かったのは、17世紀にJ. Richerが緯度の違いにより振り時計に進み遅れがあるということを発見して以来のことである。それ以後、重力は、もっぱら単振子の周期を求めることによって測られた。単振子による本格的な重力測定は、18世紀末、フランスのBordaやCassiniによって行われた。この時に使われた振子がいわゆるボルダの振子といわれるものである。Bordaは細い針金に白金の錘りをつけ、振動の支点をできるだけ一点に近い状態にするために、針金を横から鋭い刃で押さえた。19世紀にはいり、Besselも同様な方法で重力の測定を行った。その後、剛体振子が使われ、重力測定の精度が上がったが、中でも、Katerの可逆振子（正立、倒立いずれでも等価な振子となる）が有名である。剛体振子の場合でも、支点として使われるナイフエッジや、台の振動などが大きな問題となった。剛体振子を使った重力計にはいろいろな型のものがあるが、なかでも19世紀末につくられた周期約1秒のステルネク振子（Sterneck）、1931年にポツダムの測地学研究所がつくったステルネク振子の組み合わせによるポツダム型重力計、また、土地の振動を避けるために3本のステルネク振子を使ったケンブリッジ式などが有名である。ステルネク振子は、空気抵抗を避けるために錘りがソロバン型になっているのが特徴である。日本の重力計では長岡半太郎がタングステンの単結晶で作った重力計や国土地理院が最近まで使っていたGSI型重力計が知られている。

単振子型の重力計は、絶対重力計であると同時に相対重力計でもある。重力測定は絶対測定と相対測定に区別されている。絶対測定は基本単位（長さ、質量、時間）と重力値とを直接結びつけて重力の絶対値を測ろうとするもので独立な測定である。相対測定は、条件の一定な同一の重力計によって、ある点の既知の重力値を使って、それ

に相対的に他の点の重力を測定するものである。20世紀の後半に至って、これらの測定は重力計の発展とともに目ざましい進歩をとげた。1950年代にはウォルドン重力計、ラコスト・ロンバーグ重力計、アスカニア重力計、などの相対測定を目的とした重力計の傑作が生まれ世界中で使われるようになった。これらの重力計は、100マイクロガルから1マイクロガルの分解能を持つものである。これらの相対重力計はいずれもバネ秤と原理的に同じであるが、感度を高めるためにバネ材料とバネの吊り方に工夫がこらされている。バネ材料については、1930年代から日本を始め、世界各国でその性能向上が図られたが、結果的には日本は世界に後れをとることになった。当時、日本での結論は、ゼンマイ型のバネは、重力計には使えないということであった。日本ではむしろ他の方法を模索する状態であった。その後、第2次世界大戦によって外国の情報が全く入らない状態が続いたが、戦後、フタを開けてみると、外国ではものすごく進歩していることが分かった。バネ材料の最大の問題点はクリープ現象である。重力測定は少なくとも1ミリガル(約 $10^{-6}G$)、できれば0.01ミリガル(約 $10^{-8}G$)の精度で行うことが望ましいが、普通のバネを使うと100ミリガル/日程度のクリープ(ドリフト)を示し、1ミリガル/日まで押さえこむことすら容易ではない。ウォルドン型重力計(米国製)は、バネと錘りがすべて熔融シリカで作られており、ドリフトは1ミリガル/日程度であった。ラコスト・ロンバーグ重力計は、金属バネを使っているが、ドリフトは1ミリガル/月程度と極めて少なく、現在世界で最も普及している重力計である。

ラコスト・ロンバーグ重力計の発明者であるLucien LaCoste博士は、もともとテキサス大学の物理学科の教授であった。彼は最初、長周期鉛直地震計を考案し、それを重力計にまで発展させた。LaCoste博士の卓抜したアイデアが、ゼ

ロ長バネとそれを使ったラコスト吊り振子である。普通のバネは完全にゆるんだ状態でも、ある有限の長さをもつ。バネのはじめの長さを l_0 とし、バネ定数を k 、力 F を与えることによってバネの長さが l になったとすると、通常のバネは $F=k(l-l_0)$ の関係で表される。LaCosteはバネの線素にあらかじめネジレを与えることにより、長さ l_0 において、 kl_0 なる力をバネに与えるようにした。このようなバネは $F=kl$ なる関係をもち、バネの力がバネの見掛け長に比例することになる。これがゼロ長バネである。ゼロ長バネを使うと、容易に振子を無定位化することができる。無定位振子は、固有周期が無限大の振子であり、錘りを変位させても、錘りが元の位置に戻ることがない。無定位状態から少しずらすと、長周期振子になる。このような方法で、LaCosteは、当時地震学の側から強く求められていた長周期鉛直地震計(固有周期60秒以上)の開発に成功したのである。長周期振子は同時に高感度振子でもある。これはそのまま重力計になる。その後Lucien LaCosteは、LaCosteの先生でもあったRombergとともに現在ある重力計メーカーを設立した。15年以上前に、私もテキサス、オースチンにあるラコスト・ロンバーグ社を訪問し、Lucien LaCosteにお逢いした。60才は大分過ぎた頃にみえたが、大変もの静かに、しかも、ものごとを正直に話される方であることに感銘した。図一1は当時のLucienの姿である。Lucienとの会話の中で、今でも忘れ難いことが幾つかあるが、その一つは、彼はまだ外国にいったことがない、ということであった。「私は重力計の開発のみに没頭し、重力計が私を離さなかった」ために、彼はオースチンの地にとどまりつづけたのである。彼の重力計が世界中に広まるほどに、世界から多くの問い合わせの手紙が舞い込んだ。Lucienは、その手紙の返事はすべて自分で書き、代筆させることはなかった。彼はいう「ラコスト・ロンバー

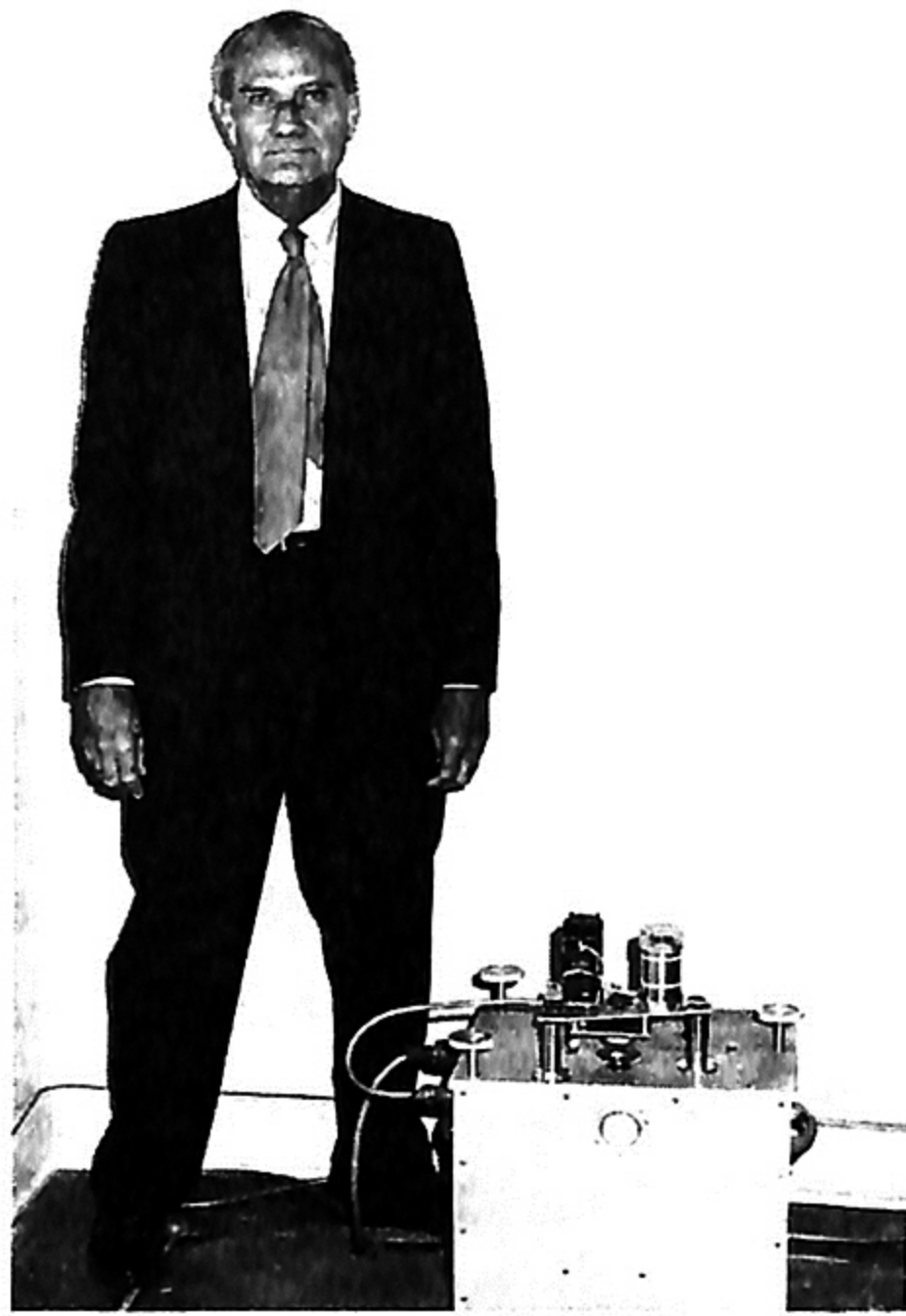


図-1

重力計は、今や、世界の人達が開発してくれている。私自身得たことがないようなデータを取り、重力計の性質を明らかにしてくれる」。ある時、重力計を運んでいたヘリコプターが海上で墜落した。破壊したヘリコプターは捨てられたが、ラコスト・ロンバーグ重力計は回収され、修理され、再び売りに出された。この重力計のセンサーは古くなるほど性質がよくなる。したがって、Lucien は古い重力計を決して捨てない。ラコスト・ロンバーグ重力計が、陸上の重力計として、世界を事実上征服している訳がよく分かる気がする。

海上重力測定も 19 世紀以来いろいろと試みられている。もっぱら振子によって重力が測られていたこの時代には、振子は船では使えないという印象が強かった。したがって、このころの試みには奇抜なものがある。この中でも、一応重力が測られたとみなせるものは、O. Hecker (1908) の考案したものである。Hecker は、船上で、二つの独立な方法で気圧測定をした。一つは水銀柱の高さから測り、他は蒸留水の沸騰点から求めた。気圧を B 、温度 t における水銀の密度 ρ_t 、水銀

柱の高さ b 、その点の重力を g とすれば、 $B = \rho_t \cdot b \cdot g$ (dyne/cm²) である。一方、一定の場所における一定温度での気圧と水銀柱の高さとの関係は分かっているから、 $B_0 = \rho_0 \cdot b_0 \cdot g_0$ (dyne/cm²) となる。 g_0 は一定の場所の重力である。この両式から $g = \frac{\rho_0 \cdot b_0 \cdot g_0 \cdot B}{\rho_t \cdot b \cdot B_0}$ が得られる。一点の重力 g_0 が分かっている時に初めて他点の重力が分かるという測定なので、これは相対測定である。Hecker の方法を現代的な目でみると一つの大きな長所がある。すなわち、測定パラメーターの一つが温度であるということで、船の動揺加速度が強力な温度フィルターによって自然に除かれているということである。

今では歴史的なものになったが、海洋における本格的な重力測定は、オランダの Vening Meinesz の 1929 年の測定から始まったといえる。蛇足をいうと、Vening Meinesz は正確には F. A. Vening Meinesz という名前であって、姓は Vening Meinesz の 2 語よりなる。日本人は Meinesz が姓で Vening が名であると間違えることが多い。ついでに、Vening Meinesz は偉い学者であったが、大の日本嫌いであったという。これはオランダの植民地であったインドネシアを日本が奪ったためであった。彼の最初の海上重力測定がジャワ海溝で行われたことも、これはオランダの植民地政策の一環のものであったのかも知れない。

さて、Vening Meinesz はステルネク振子の三本釣りの装置（陸上のケンブリッジ型重力計と類似のもの）を船の動揺を柔らげるためにジンバルに乗せ、潜水艦により測定を行い、数ミリガルの精度を得た。Vening Meinesz の海上重力計を図-2 に示す。複数の振子を使って、振子のフレの差を測るようにすると地盤の水平振動の影響が除かれることは以前から分かっていた。オランダは地盤が悪いため、このことが特に問題になっていたという。Vening Meinesz はこの経験を船に応

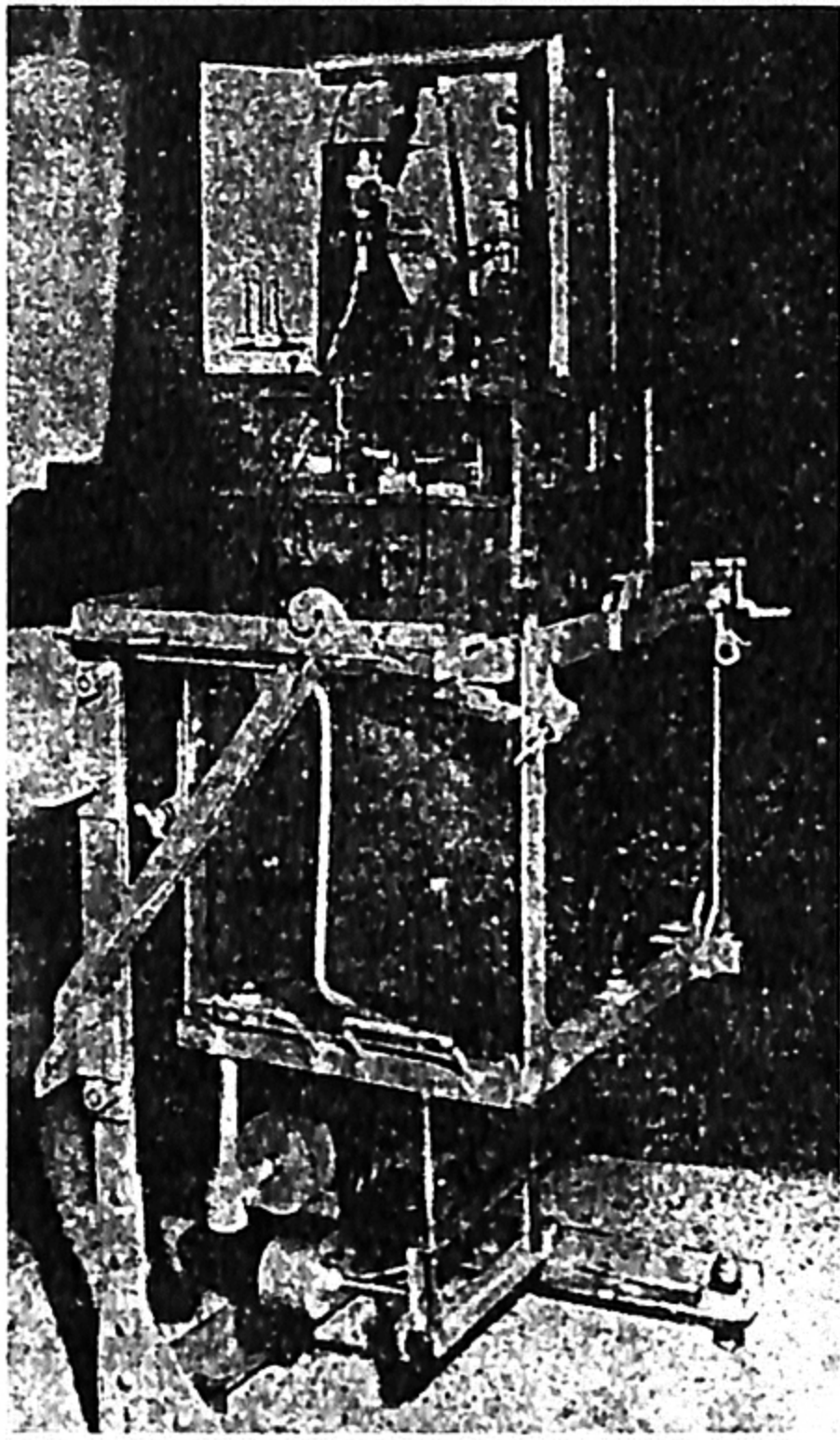


図-2

用したと思われる。Vening Meinesz の装置は 1933 年頃、測地学委員会の勧めで日本にも輸入され、松山基範により相模湾や日本海溝、伊豆小笠原海溝などで重力測定がなされた。Vening Meinesz の振子はその後アメリカの海軍やラモント・ドハーティ研究所に多く採用され、1959 年頃まで、米国の潜水艦によって世界中の海域の重力が測られた。この時までの測定データはラモント・ドハーティ研究所の L. Worzel によってまとめられている。

1959 年という年は海上重力測定の変革期である。この頃に、ほぼ時を同じくして、米国、西ドイツ、日本において、新しい方法による海上重力計が開発されつつあった。これらの重力計はいずれも海面上を走航する通常の船舶 (Surface Ship) において使用することを目的としたもので、潜水艦と異なり非常に大きな擾乱加速度を受けることになる。

米国の重力計は、Lucien LaCoste の作ったラコスト・ロンバーグ型船上重力計である。西ドイ

ツのものは、Anton Graf が考案したアスカニア型船上重力計である。日本でも友田好文らが T. S. S. G 船上重力計を開発した。海上の船舶は動揺が極めて大きいため、重力計を鉛直に保持し動揺加速度を除いて信号としての重力変化のみを抽出するために新しい方法を導入する必要がある。LaCoste と Graf は、もともと陸上用重力計であったスプリング式重力センサーを海用に改良し、ジンバル、あるいはジャイロ安定化水平台にのせた。友田はダイナミックレンジの広い弦振動型重力計を開発し、データ処理には電子計算機を使用した。その後、いろいろな船上重力計が考案されたが、ベル社のフォースバランス型重力計や MIT-WHOI (マサチューセッツ工科大学とウツズホール海洋研究所) の二重弦方式重力計、ソ連のネジリバネ型重力計などが知られている。

海域の重力は、原理的には航空機でも測ることができる。すでに 1959 年頃米国の LaCoste や Thompson によって、ラコスト・ロンバーグ重力計を航空機に搭載して測定が試みられている。以後今日まで、米国の空軍や海軍の研究所 (例えば、Air Force Cambridge Research Laboratory や Naval Oceanographic Research) や物理探査会社 (例えば Western Geophysical) などでは、ずっと継続して、その研究を行っている。

航空機は船舶に比べると機体の位置、速度、高度の決定がはるかに難しく、また長周期擾乱加速度が大きいので重力との分離がさらに難しくなる。コリオリス力の補正 (エトベス効果) も大きくなる。このような訳で、LaCoste や Thompson の経験では、航空重力の精度は 20 ミリガルであるという結論であった。最近では Western Geophysical の W. Gumert が航空重力測定を内陸域において精力的に行い、ほぼ 1 ミリガルの精度に達したという報告がある。彼の方法の特徴はヘリコプターを使用する点にある。ヘリコプターは低空飛行が可能であるので、できるだけ低高度

で飛び、レーザー高度計によって高度を測り、機体の位置はレーザー及び電波で追跡するというものである。この方式を海上で使うのはかなりの困難を伴うと思われる。最近の航空重力測定は、この時代よりも格段に進歩したと聞いている。これの実用化は汎世界測位システム (GPS) の登場による。航空重力測定で問題となるのは測位、測高、エトベス補正などであるが GPS がこれの解決の鍵となっている。

3. 最近の重力測定

最近の重力測定の話の中からは、絶対重力測定、超伝導重力測定、人工衛星重力測定を取り上げよう。

先にも述べたように、絶対重力測定は、長さ、質量、時間の直接測定によって重力を測ることである。振子によって測られた重力絶対値の限界は±10 ミリガルであった。これより高い精度で測ることは長い間不可能であって、この分野では15年前までは大きな壁にぶつかっていたように思う。高精度の絶対重力測定に世界で初めて成功したのは日本の佐久間晃彦氏であった。1960年代、佐久間晃彦氏は、茨城県八郷町柿岡にある東京大学の施設の中に絶対重力計測実験室を設け、そこで長い間試験を行っていたのである。測定の方法は、自由落下方式といわれるもので、時刻 $t=0$ で落下をはじめた物体は、 $t=t$ のときに $\frac{1}{2}gt^2$ (g は重力加速度) の距離だけ落下するという単純な原理を使ったものである。この方法は簡単にみえて実はものすごく難かしいもので、柿岡での実験は結局失敗に終わった。その後、佐久間晃彦氏はフランスへ渡り、フランスで初めて成功したのである。佐久間晃彦氏が得た絶対重力値の精度は0.01 ミリガルであった。その後、米国の Faller や、日本の村田一郎などが、それぞれ独自の方式による絶対重力計を開発し、現在、

日本では国立天文台水沢観測センター、及び建設省国土地理院が数台の絶対重力計を所有している。測地学に関する世界的組織である国際測地学協会 (IAG) では、全世界に32カ所の絶対重力基準点を設けることを計画しているが、それには日本の本土は含まれず、日本に関係する所はただ一つ南極の昭和基地である。

もう一つの画期的重力計は超伝導磁石を利用した重力計である。液体ヘリウムで4°K以下に冷却するとニオブ、鉛などの金属は電気抵抗が0になる (マイスナー効果) ことを利用して永久磁石をつくり、磁力の反撥力を利用して重力と釣り合わせることで重力を測る。この重力計の特徴は、超伝導磁石が量子力学的に安定で、磁界も量子化されるために、原理的にはドリフトがない。ドリフトがないために感度を今まで不可能であったほどに高めることができる。また極低温であるために熱雑音も抑えられる。超伝導重力計を最初に実用化したのは、カリフォルニア大学サンディエゴ校舎の W. Goodkind 教授である。彼の重力計は 10^{-12} G (1 ナノガル) の検出能力をもつといわれている。これによって、地球潮汐、その長周期潮、地球自由振動、地球核の振動などによる微弱な重力変化を検出することが可能となった。彼の重力計は現在世界で12機あり、その7, 9, 10, 11号機が日本にある。東京大学にも一機あり、現在、茨城県柿岡の東京大学地球物理研究施設に設置されている。この装置は今後、地球の核、内核の研究のために威力を発揮するであろう。

重力測定は精密測定であるために、測定の密度—細かさ—を高めることは容易ではない。特に海洋域においては、もっぱら船を利用するために、細かな測定をすることはほとんど不可能に近い。測定の精度には、特に地球科学においては、測定器の性能以上に測定の細かさが効いてくる。いわゆるグローバルな測定は人工衛星によることが最適である。

人工衛星で地球の重力場を測る方法には3種の方法がある。1960年代初めに行われた方法は、人工衛星の軌道が重力によってわずかに変化することを検出するもので、Vanguard (バンガード) という米国の衛星の軌道を解析して得られた日本の古在由秀 (現国立天文台長) の結果が有名である。地球の形は重力ポテンシャルの形で表現されるが、「地球は洋ナシ型であった」という古在の論文は当時この分野での画期的論文とみなされた。第二の方法は人工衛星に重力計を搭載する方法である。人工衛星の内部は無重力状態である。無重力の所でどうして重力が測れるのか。実は人工衛星に搭載されるものは重力計ではなくて重力偏差計である。重力偏差計は重力の勾配を測る装置である。人工衛星の内部は重力はゼロであるが重力の傾斜 (微分) はゼロではない。このことを利用して重力を測る。この人工衛星はNASAで計画中のGRAVSATなどであるがまだ開発中である。第三の方法は人工衛星レーダー高度測定法といわれる。人工衛星は地表から1000 kmほどの高度を飛ぶが、この高さから地表に向けて垂直にレーダー電波を飛ばす。人工衛星の高さは、地球の形を代表する正規楕円体に対して、レーザー追跡などによってあらかじめ計算できる。一方、レーダー高度測定によって人工衛星と地表間の距離が分かるので、これら二つの量から、正規楕円体面に対する地表の凹凸が分かることになる。レーダー高度測定は海域の重力測定に関して特に威力を発揮する。海水が静止していると仮定すると、海面は常に重力の方向に直交する。このような面は一つの重力等ポテンシャル面に一致し、その面はジオイド (地球に似ている形) と呼ばれる。海水が運動をしていると、海面はジオイドから少しズレるがジオイドに非常に近い面であることは確かである。このような理由により、人工衛星レーダー測高は、海域についてはジオイドの測定をすることになる。ジオイドと重力異常とは解析的に

可換である。重力異常値に正規重力 (正規楕円体の持つ重力) を加えると重力そのものになるので、ジオイドの測定と重力測定とは等価である。このような考えに基づき、レーダー高度計を搭載した人工衛星が数多く打ち上げられた。NASAが打ち上げたSKYLAB, GEOS, SEASAT, GEOSATなどがあり、1992年にはTOPEX/POSEIDONという更に高精度の高度測定のできる人工衛星が打ち上げられる予定である。これらの衛星により今日までに極めて稠密な重力異常のマッピングが海域においてなされた。精度に関してはまだ問題はあるが、船にのみ頼ったのでは1000年以上はかかるのではないかと思われる仕事を数年でやってしまったということは驚くべきことである。

4. 重力の新しい役割

以下に箇条書きにする。

1) 1ナノガルオーダーの測定により、高位で微弱な重力変化を検出し、地球極深部 (核, 内核) の性状の研究を行う。

2) ジオイドの精密決定 (センチメートルオーダー) をすることにより、ジオイドと海面形状との差から、グローバルな海流、海洋潮汐の精密決定、その変動の迅速な検出を行う。

3) GPS (Global Positioning System) と人工衛星測高との双方を使うことにより、検潮所の地球座標を決め、海面変動と地殻上下変動を明確に区別する。この際、潮汐による地殻のレスポンスを高感度重力計により決定する。

重力に関する最近の話題は、Newton力学を越えた重力の性質—第5の力の問題—であるが、まだ解明されているとはいえない。このように古い学問である重力も、またまた、新しい問題提起をしており、重力屋としての私は、ますます、生きがいを感じている昨今である。

海洋データ圧縮伝送システムの開発

海洋開発研究部

浅沼 市男
Ichio Asanuma

黒田 芳史
Yoshifumi Kuroda

甲斐 源太郎
Gentaro Kai

宗山 敬
Kei Muneyama

石井 進一
Shinichi Ishii

1. はじめに

衛星観測データなどにより海洋観測対象の海域の概況を把握することは、観測を効率よく行うためにも海洋観測に従事する海洋研究者にとって非常に重要なことである。これまでの海洋観測においても、衛星観測データを利用してきたが、観測船の出港時に観測航路を決定するために利用したり、帰港後に改めて衛星データにより観測海域の概況判読のために利用する程度であった。一方、観測船による観測データについては、乗船していた研究者が観測船の帰港後にデータ解析を行うなど、海洋観測からかなりの時間差があった。観測規模が拡大するに伴い、観測船に乗船できない研究者にとって観測船からの観測データを実時間で入手可能であれば、海洋状況を逐次把握でき有効な海洋観測が実現する。

本データ伝送システムは、最近の通信回線、通信設備、モデム装置、コンピュータ等の進歩の上に、前出の海洋観測からの要求を満たすために開発した海洋データ圧縮伝送システムである。

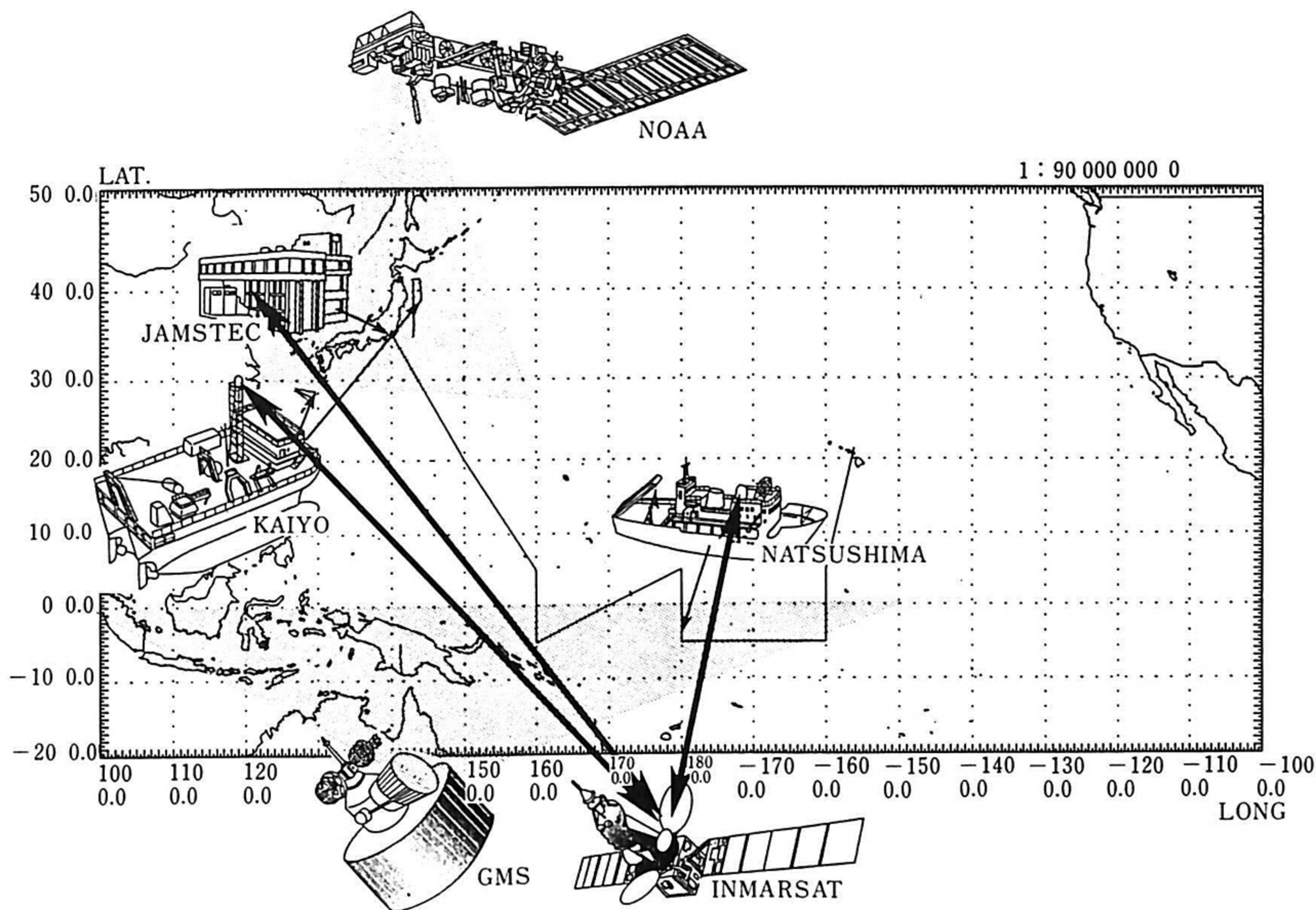
2. データの流れ

図一1に海洋データ圧縮伝送システムにおけるデータの流れを示す。衛星観測データについては、

気象庁気象衛星センターにおいて受信されたデータを気象協会経由で磁気テープの形で入手し利用してきた。三陸沖の暖水塊観測時あるいは東シナ海の黒潮観測時には極軌道衛星 NOAA のデータを利用し、赤道直下の観測時には静止気象衛星ひまわりのデータを利用してきた。陸上の設備を用いて、極軌道衛星 NOAA 搭載の HRPT (High Resolution Picture Transmission) のデータを処理し、その中に含まれる AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) から海表面温度分布を求め、また静止気象衛星ひまわり搭載の VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) のデータから赤道直下の雲量分布を求める。海表面温度及び雲量分布のデータは、圧縮処理を施した上でコンピュータ上の磁気ディスク上に保存される。これらのデータは、観測船側からの通信回線の接続作業に引き続き、陸上のコンピュータから観測船上のコンピュータへ伝送される。

一方、観測船上で取得される XBT, CTD, 曳航体のデータは、観測船上のパーソナル・コンピュータにより圧縮され、観測船側から陸上のコンピュータへ伝送される。

通信回線は、インマルサット船舶地上局の制限により陸上側からの自動着信が困難なため、海中作業実験船「かいよう」及び潜水調査船支援母船「なつしま」からの陸上コンピュータ・システム



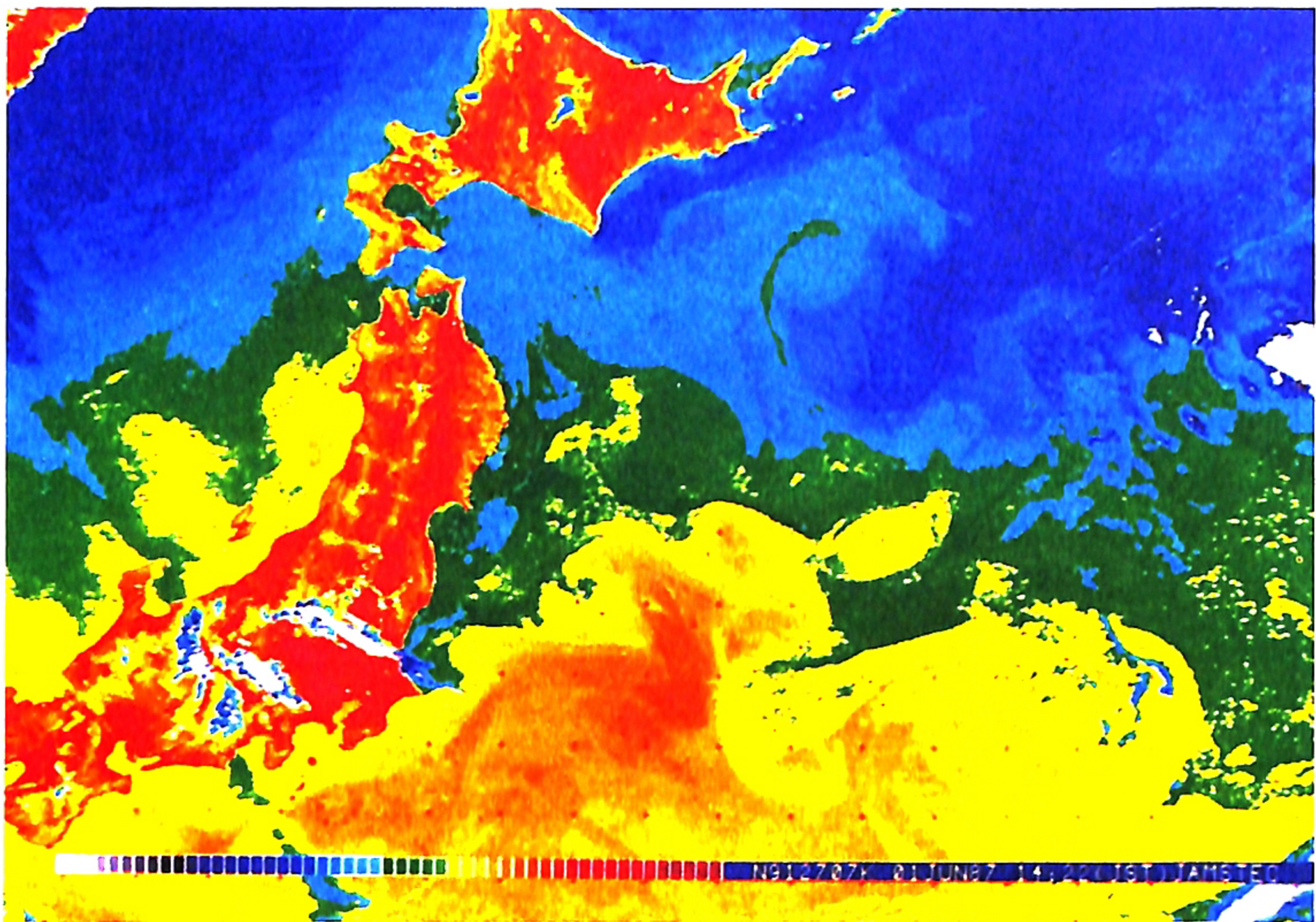
図—1 海洋データ圧縮伝送システムにおけるデータの流れ

に接続されたモデム装置の電話局番へのダイヤル操作により確立される。

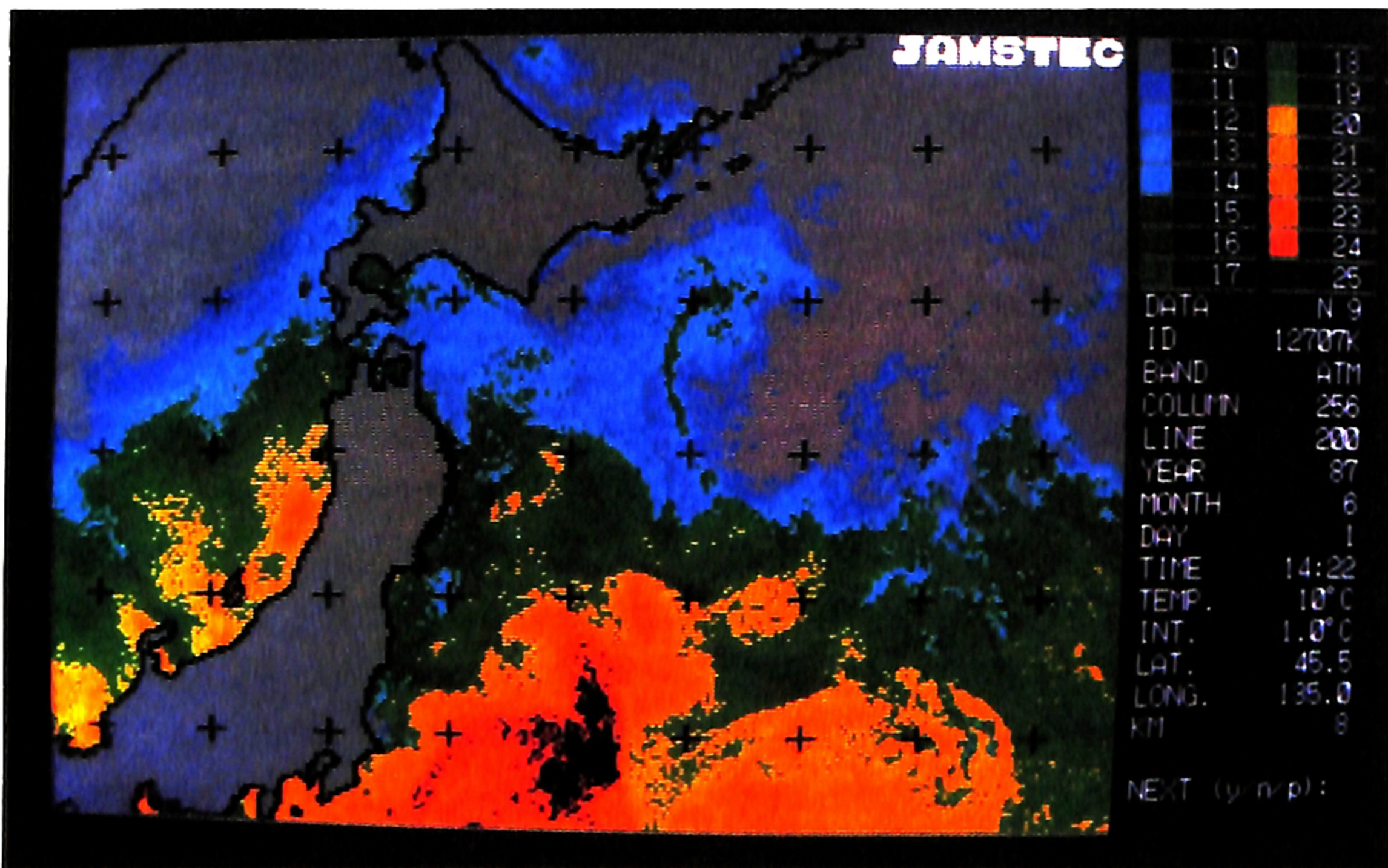
3. 衛星データの処理と情報抽出

図—2 に AVHRR により求められた三陸沖の暖水塊の海表面温度分布図を示す。この画像は、温度校正後の AVHRR の温度分解能が 0.2°C であるところを、 1.0°C の温度幅でスライスし色付けを施した画像である。温度校正においては、各画素当たり 8 ビットのビット数を有し、各ビット当たり 0.2°C の情報を割り当てると、 -10.0°C から 40.0°C までの温度範囲を表現することができる。この 8 ビットのデータをすべて伝送し再現すれば 0.2°C の温度変化をも観察可能であるが、必ずしも 0.2°C の温度分解能が必要とされない。本研究の応用海域である三陸沖の暖水塊は直径約 200 km の規模を有し周辺の海域と 2°C から 3°C

の温度差を持ち、また東シナ海の黒潮本流は季節により周辺の海域との温度差に差があるものの夏季を除けば 2°C 以上の温度差が観測されている。そこで、三陸沖あるいは東シナ海での観測を考慮すると、 1.0°C の温度スライス画像により暖水塊あるいは黒潮本流を判別可能であり、これを海洋観測に最小限必要な温度分解能とした。これにより、256 段階の温度表現から 52 段階の温度表現まで圧縮可能である。さらに、解析対象とする海域を $1000\text{ km} \times 1000\text{ km}$ から $2000\text{ km} \times 2000\text{ km}$ としたとき、雲の存在により温度の低く観測される領域を除き海表面温度の最低値と最高値との温度差が 16°C を超えることがないことから、52 段階のうち解析対象とする海域の 16 段階の温度変化分を経験的に抽出する方法を採用した。この 16 段階は 4 ビットにより表現可能であり、8 ビットのデータから最小限必要とされる温度情報を持つデータとして、非可逆性の圧縮手法ではあるが



図一2 AVHRR による三陸沖の海面温度分布図



図一5 圧縮伝送後の AVHRR による三陸沖の海面温度分布図

1/2 までデータ量が圧縮できる。

4. 船上における観測データ

「かいよう」及び「なつしま」による海洋観測期間中には、観測目的にもよるが XBT, CTD, 曳航体などの観測機器が展開され、海洋の温度、塩分などの鉛直構造が求められる。

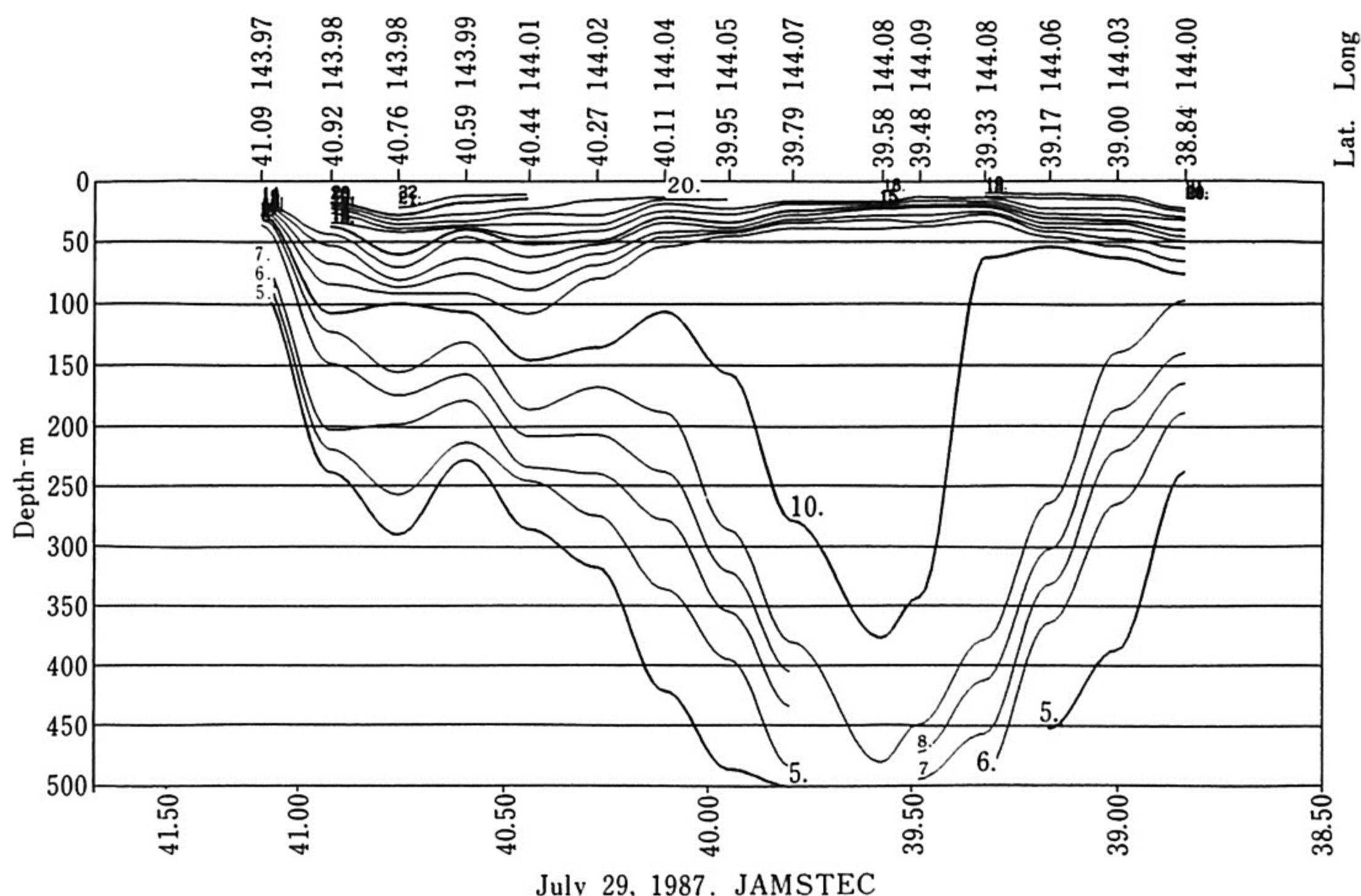
XBT は使い捨てのプローブを使用し、深度 500 m から 1500 m までの水温分布を求める装置である。観測中は A/D コンバータを使用し、深度方向の 0.3 m に対応する 0.5 秒おきの水温がサンプリングされ、デジタル・データとしてパーソナルコンピュータに取り込まれる。一般に、複数の XBT 観測データから海洋の鉛直断面図を求め、海洋構造の解析に利用される。本研究では、0.3 m ごとに記録される XBT のデータから、補間処理を施し 1 m ごとの水温のデータを求め、圧縮処理のうえ陸上のコンピュータへ伝送する。

図一3 に XBT の計測例を示す。1987 年 7 月 29 日 01:00 JST から 14:59 JST までの東経

144 度、北緯 41 度から 35 度までの測線に沿って計測され、さらに陸上へ伝送された 15 本の XBT 計測のデータから求められた水温の鉛直断面図を示す。この断面図では、北緯 39 度 30 分において三陸沖暖水塊の中心部が補えられている。

CTD は、吊り下げ式の電気伝導度、水温、深度を計測するための装置であり、3 者の関係から深度ごとの海水塩分濃度が与えられる。この CTD は船上において吊り下げの操作を必要とするため観測点数が限定されるものの、使い捨ての CTD が普及していないため塩分濃度の一般的な計測装置となっている。この塩分濃度のデータは、パーソナル・コンピュータ上で圧縮処理を施され、陸上のコンピュータへ伝送される。

曳航体は曳航ケーブル上を上下に繰り返しスライドしながら電気伝導度、水温、及び深度を計測する装置であり、CTD と同様に深度ごとの海水塩分濃度及び水温を計測する。ただし、CTD と異なり水深 200 m までの連続した計測が可能である。



図一3 三陸沖の XBT による水温鉛直断面図

5. システム構成

この海洋データ圧縮伝送システムの開発は、1986年5月の「かいよう」へのインマルサット船舶地球局の設置に始まり、1988年まで開発を行った。1987年1月には「なつしま」へもインマルサット船舶地球局が設置され、赤道直下のエル・ニーニョ観測においてもこのシステムが活用された。1988年1月までの第Ⅰ期には、船舶上のパーソナル・コンピュータを端末装置としてデータ伝送を行った。第Ⅱ期の1988年5月以降の「かいよう」へのマイクロVAXの搭載以来は、船上のコンピュータを陸上のLAN (Local Area Network) のひとつのノードとしてデータ伝送を行った。

5.1 第Ⅰ期のシステム構成

第Ⅰ期には、船舶上のパーソナル・コンピュータは陸上のホスト・コンピュータの端末装置として利用され、陸上からの人工衛星観測画像を受信し、また海洋観測データを陸上へ伝送するために利用された。また、陸上のコンピュータは、大容量の人工衛星データを処理し圧縮データを作成するとともに、観測船上からの海洋観測データの作図処理のために利用された。

陸上のコンピュータシステムは、2.5メガバイトの中央演算処理装置を中心に磁気ディスク装置、磁気テープ装置、画像表示装置、プリンタ、XYプロッタ及び端末装置から構成される。データ伝送に使用されるモデムのデジタル側はコンピュータ本体のRS232Cインターフェイスに接続され、一方のアナログ側はNTTの公衆通信回線網に接続される。

船舶上のパーソナル・コンピュータとモデム装置はRS232Cインターフェイスにより接続され、モデム装置のアナログ側はインマルサット船舶地球局のひとつの端子に4線2線変換装置を介して

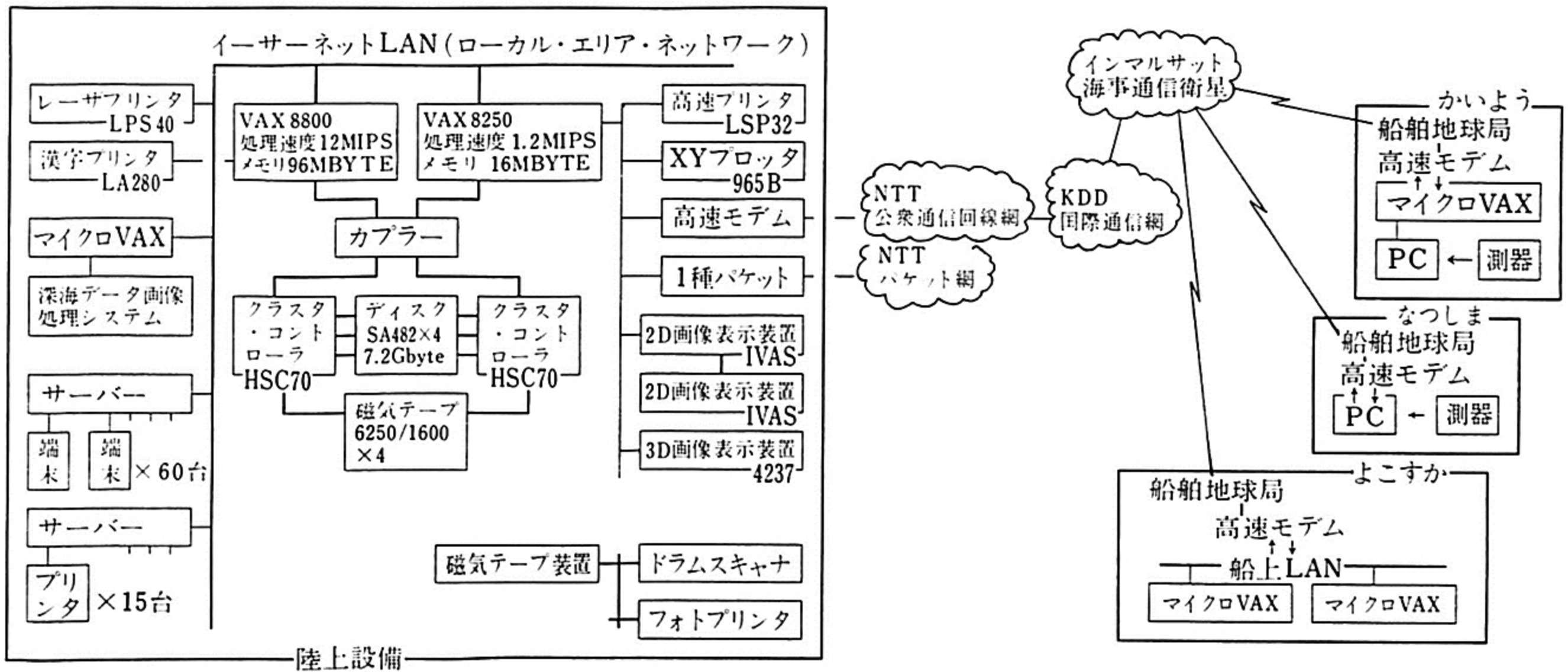
接続される。

5.2 第Ⅱ期のシステム構成

第Ⅱ期には、陸上のコンピュータ群であるVAX8800とVAX8250などが構成するLANをホストシステムとし、人工衛星データの処理及び船舶から伝送されてくる海洋データの処理などを行い、「かいよう」上のマイクロVAXは陸上のLANのひとつのノードとして位置付けられ、データの送受信を行う。

図-4に第Ⅱ期のシステムの系統図を示す。LANの中心となるコンピュータは、96メガバイトのメモリーを有するVAX8800と32メガバイトのメモリーを有するVAX8250である。二つのコンピュータは、クラスター接続により7.2ギガバイトの磁気ディスク装置と4台の磁気テープ装置を共有する。LANは、1本の同軸ケーブルに接続されたこの二つのコンピュータと複数の端末装置から構成され、それぞれ独自のノード名により識別される。このほかに、画像表示装置、プリンタ、XYプロッタなどが接続されている。伝送に使用されるモデムは、VAX8250のRS232Cインターフェイスに接続され、第Ⅰ期と同様にNTTの公衆通信回線に接続される。

一方、船舶上のマイクロVAXは5メガバイトのメモリーを有し、140メガバイトの磁気ディスク装置、端末装置、プリンタ、及びXYプロッタから構成され、観測機器からのデータを収集し図化するなど、汎用のコンピュータとして運用される。このマイクロVAXには、1台のパーソナル・コンピュータがRS232Cインターフェイスを介して接続されており、各種観測機器のデータをマイクロVAXへ転送するため、及び陸上から転送されてくる人工衛星データの表示のために利用される。各種の観測機器はパーソナル・コンピュータにより制御されており、計測データはフロッピー・ディスク上に記録され、フロッピー・ディスクを媒体としてマイクロVAXにデータが転送され



図一四 第Ⅱ期伝送システム系統図

る。

陸上とのデータ伝送を行うに際し、まず、マイクロ VAX は、陸上の VAX8250 に通信回線を介して接続され、仮想端末として位置付けられる。引き続き DDCMP (Digital Data Communication Message Protocol) の接続開始のコマンド操作により、当初接続されていた仮想端末の回線がダイナミック非同期回線として変更される。この段階で、マイクロ VAX は陸上の LAN のひとつのノードとして認識され、以後のデータ転送はノード間のデータのコピー作業により行われる。

5.3 モデム装置

当初、アナログの電話回線とコンピュータとの接続には、通信速度 2400 bps の 2 線式全二重モデムを使用した。インマルサット衛星通信回線は、接続機器に対して陸上の通信回線と異なる技術基準が設定されており、通信回線に対し障害を与えないことが要求されている。技術基準のうち、信号音圧等はモデム側に調整のための機能が設けられており対応可能であったが、周波数における制限には対応できず実験による通信回線への適合性の立証が必要であった。

インマルサット通信回線は、通信に使用する

300 Hz から 3000 Hz の周波数帯域において、網制御信号として 2600 Hz の信号を使用しているため、伝送信号中に 2600 Hz の成分を含まないことが要求される。さらに通信回線には、話し手の音声を受け手側で反響し、約 0.3 秒後に話し手側にエコーとなって戻ってくる音声をカットするスイッチ回路がエコーサプレッサとして挿入されており、2100 Hz のエコーサプレッサ用トーン信号を受信するとこのエコーサプレッサの機能が停止する。

一方、このモデム装置は、1200 Hz と 2400 Hz にキャリアを有し、16 値直交振幅変調の方式を採用する。このうち、2400 Hz のキャリアを中心とするモデム信号の振幅が、制御信号の 2100 Hz 及び 2600 Hz に重なっていたが、このモデムを使用した通信実験により衛星回線に対して支障のないことが判明した。

その後、通信中のデータ欠落あるいは回線切断を経験したため、1987 年 7 月から高速かつエラーフリーのモデムを導入した。このモデムは、ダイナミックに複数の搬送波を使用する 16 値直交振幅変調の変調方式を有し、最高 14000 bps までのエラーフリー通信の可能なモデムである。これは、

通信回線中に 512 本のキャリアを設定し、通信回線の質に合わせて自動的にキャリアを選択し、通信回線に最も適した通信方法を使用するため、エラーフリーでかつ高速の通信が可能なモデムである。このモデムについても通信実験により衛星回線に対して支障のないことが判明した。

6. データ圧縮

6.1 第Ⅰ期のデータ圧縮

この海洋データ圧縮伝送システムにおいて取り扱うデータは、画像データのようなバイナリ・データ及び海洋計測データなどのキャラクタ・データの両者を対象とする。バイナリ・データは、8ビット単位の伝送を考えたとき、8個のビットのあらゆる組み合わせにより表現されるデータであり、数値の値そのものが表現される。一方、キャラクタ・データは、通信手順の操作のために必要な一部のビットの組み合わせを除いた他のビットの組み合わせにより表現されるデータであり、数値あるいは文字表現の1文字が表現される。数値の伝送のみを考慮すると、バイナリ・データはキャラクタ・データに比べコンパクトなデータ表現方法である。一般の RS232C インターフェイスを介したデータ伝送においてバイナリ・データを取り扱う場合、バイナリ・データ中にヘキサデシマル表現で 00 から 1F のコントロール・コードが含まれることがあるため、伝送作業を中断したり停止することがある。キャラクタ・データは、00 から 1F のコントロール・コードを含まないために支障なく伝送が行われる。

第Ⅰ期の伝送では、一般の RS232C インターフェイスを介した伝送方法を取り、数値はすべてバイナリ・データでまた一部の文字表現はキャラクタ・データで伝送するために、一般的に用いられているラン・レングス法によるデータの圧縮を図るとともに、さらに伝送効率を向上するための

ダイナミック・コントロール・キャラクタ配置法を考案した。

これまで、一般の RS232C インターフェイスによるバイナリ・データ転送のためには、コントロール・データに相当するデータについて、データの前に特定の値を配置し、データそのものに何らかの値を加え、2バイトのデータに変換した上で転送を行っていた。この方法を採用したとき、転送の対象となるバイナリ・データ群の中にコントロール・データに相当するデータが数多く存在すると、転送データ量が増加し転送効率が低下してしまう。そこで、新たに考案したダイナミック・コントロール・キャラクタ配置法は、転送対象とするデータ群における 256 個のコードそれぞれについての個数を求め、コントロール・データの出現が減少するようにコード体系を変更する方法である。転送対象とするデータ群の中で、コントロール・データに相当するバイナリ・データが他のデータより多く出現するとき、コントロール・データを頻度の少ないデータと変換し、その変換情報を変換テーブルとして転送データとともに転送する。受信側では、変換テーブルをもとにデータの再構築を行う。この方法により、データ量が約 50% にまで圧縮され、また、バイナリ・データ転送では、コントロール・データの存在を無視できないことが判明した。

図—5 に図—2 の AVHRR に対応する圧縮伝送後の再生画像を示した。再生画像の配色の再現性が良くないが、これはディスプレイの差によるものである。三陸沖東方、襟裳岬西方の北緯 39 度、東経 144 度に暖水塊が観測され、図—2 の緑から黄緑色に示される部分に相当する。図—5 においては、濃い緑色に再現されており、図右側のカラーコード表によると 18°C から 19°C の暖水塊であることが分かる。

6.2 第Ⅱ期のデータ圧縮

第Ⅱ期のデータ伝送経路においては、RS232C

のラインでありながら、DDCMPの伝送手順によりデータの送受信が行われるため、バイナリ・データを加工することなく伝送が可能である。そこで、第Ⅰ期のダイナミック・コントロール・キャラクタ配置法は採用せず、ラン・レングスによる圧縮のみを施した。

7. 伝送結果

7.1 第Ⅰ期の伝送結果

第Ⅰ期の伝送実験において、エラーフリーの高速モデム装置を用い、約200 Kビットの衛星画像を、インマルサット通信システムを利用した伝送、及び陸上のNTT回線を利用した伝送実験を行った。インマルサット通信システムを利用したとき、約50秒の伝送時間を要し、約4000 bpsの通信速度が計算により求められた。これに対して、NTTの通信回線においては、約25秒の伝送時間を要し、約7200 bpsの通信速度が得られた。モデムが通信回線の質を自動的に判別し通信速度を決めていることを考えると、インマルサット通信システムの質が陸上より劣ることになる。しかし、約4000 bpsの通信速度で完全にエラーフリーの状態での伝送のできたことは、現在の市中のコンピュータ・ネットワークにおいて使用されるモデムの通信速度が1200 bpsから2400 bpsであることを考慮すると、高速な伝送を実現しており十分に実用的な伝送システムであるといえる。

7.2 第Ⅱ期の伝送結果

表Ⅱ期の伝送システムによる伝送実験では、衛星画像、XBT及び曳航体の海洋計測データを伝

送し、それらの効率を比較した。この結果、約200 Kビットの画像データの伝送に約120秒、約150 KビットのXBTデータの伝送に約100秒、約600 Kビットの曳航体の伝送に約280秒の伝送時間を要した。第Ⅱ期の伝送システムはDDCMPの伝送手順を採用しており、利用者に見えないネットワークの維持に必要なデータの送受信を行っている。このため、見かけ上の伝送速度が約1600 bpsと、第Ⅰ期の伝送速度の約4000 bpsに比べると、40%程度の効率しか得られなかった。

インマルサット通信システム及びモデムは第Ⅰ期のものと同じであることから約4000 bpsのデータ伝送を行っていると考えられ、今後の課題としてネットワークの伝送手順の改善が求められる。

しかし、高度なネットワークが確立され、データ伝送が簡単なコピー・コマンドにより実現されることを考慮すると、インマルサット通信システム自体の質の改善も求められる。

8. ま と め

海洋データ圧縮伝送システムを開発した。陸上において処理された衛星観測データが海中作業実験船「かいよう」及び潜水調査船支援母船「なつしま」へ伝送され海洋観測の効率向上に寄与した。また、船舶上において得られた海洋観測データは船舶の帰港を待たずに陸上へ伝送され、船舶上及び陸上の多くの研究者によるデータ解析を実現した。

奥尻海嶺の活構造

—「しんかい2000」による潜航調査—

深海研究部 田中 武男 Takeo Tanaka

1. はじめに

今から3年程前のことになるが、昭和62年の4月、東京大学海洋研究所の徳山英一さんから、筆者に電話がかかってきた。ちょうど地質学会が大阪市立大学で開かれた直後であったが、「君は学会で、新潟大学の宮下さん達の発表を聞いたかい？ たいへんですよ。ドヒャーですよ。」とのこと。徳山さんは日頃から会話の中に独特の擬音を入れるので話がオーバーに聞こえることもあるが、この時はほんとうに興奮しているのが伝わってきた。筆者は別の会場にいて聞いていないことを告げると、徳山さんは、かいつまんで次のようなことを説明された。

ここ数年、新潟大学の宮下純夫さんは北海道東海大学の石井次郎さん達とグループを作り、東海大学の調査船を使って北海道の沖合を調査していたが、積丹半島のはるか沖合の奥尻海嶺北部で大量の枕状溶岩の角礫を含む岩石採取に成功した。その岩石を分析してみたところ、かなり変質はしているものの、島弧の岩石とは明らかに異なり、いわゆる MORB 型と呼ばれる海洋底を特徴付ける玄武岩であることが疑いなくなったとのことであった。そして、その採取地点が奥尻海嶺の急崖部の水深2,000 m 付近の比較的浅い地点らしいのである。

「ドヒャー」と、こんどは筆者が驚いたが（徳

山さんと話をすると相手はついその癖が移ってしまう）、徳山さんの言うには、「『しんかい2000』の今年度の潜航調査に奥尻海嶺の調査は入り込む余地があるか、あれば宮下さんやセンターともチームを組んで実施したい。なければ来年度は是非実施したい。申込の方法はどうか？ 潜水船に乗るのはコワイけど……。」とのことであった。そこで、その年度の「しんかい2000」の潜航調査の予定と、それらがどのように計画・決定されているかを伝えるとともに、来年度の申込の方法を説明した。もちろん「潜水船は、絶対安全でコワクナイですよ」と付け加えることは忘れなかった。この電話では、宮下さん達と連絡を取り合うことと、それぞれの機関で、できるだけ事前にデータを集めることにしようと約束しあった。

さて、徳山さんや筆者が驚いたという奥尻海嶺での MORB 型玄武岩採取の意味については、日本海の形成や奥尻海嶺とその周辺地形・地質とともに次章で説明しよう。

2. 日本海と奥尻海嶺

日本海は西太平洋域に多数分布する縁海（えんかい）の一つで、かつて地続きであった中国大陸と日本列島との間が、割れて開いて海になって〔海洋底拡大：特に背弧（はいこ）拡大という〕できたものと考えられている。日本海の地形を眺めると（図-1）、日本海盆、大和海盆、対馬海盆といっ



図一 日本海 of 海底地形

た水深 2,000~3,000 m 以上で広い面積を持つ大きな窪地がまず目につき、それとともに大和堆、隠岐堆、隠岐海嶺のように深海底から大きく盛り上がった高まりもあって、かなり複雑である。それらの成因については、議論はまだ残ってはいるものの、基本的には、大きな海盆の多くは日本海拡大の時にできた海の地殻を持った地域であり、大和堆等の高まりの多くは、海底拡大の際に取り残された大陸や日本列島の破片とされている。海と陸とは地殻の構造がはっきり異なり、海の部分は玄武岩でできた薄い地殻、陸の部分は花崗岩を

主とした厚い地殻ということで明瞭に区別されている。したがって、地球科学的には海は海洋地殻を持った所のみを海といい、たとえ海水に覆われていても大陸棚等の陸の地殻を持った部分は海とはされていない。日本海にはそのような意味での海が確かに存在している。ところが、沖縄と中国大陸の間にある東シナ海は海とは考えられていない。現在活発な熱水活動がある沖縄トラフは海になりかけの卵と考えられている。

なお、日本海、沖縄トラフ等の縁海については、小林和男先生が調査の歴史からそれらの地史、そ

して最近のトピックスまで JAMSTEC 通巻第 5 号及び 6 号に詳しく解説されているのでそれらを参照して頂きたい。

さて、奥尻海嶺は、北海道から秋田・青森沖にかけて、長さ 400 km 以上にわたって追跡できるほぼ南北に延びた海の中の高まりである。その成因はこれまで議論されつづけているが、大和堆等のような残存陸塊ではないことは確かである。この海嶺は、連続した一つの海嶺というのではなく、北北西—南南東の方向性を持った、長さ 100 km 未満の小海嶺が雁行しながら集まって、全体として南北方向に延びている。

このような海の高まりである奥尻海嶺から、MORB 型玄武岩が採取されたということはどのような意味を持つのであろう。徳山さんから電話を頂いた当時は、日本海の拡大がどのようにして、いつ起こったかについて大体次のようなことが分かっていた。すなわち、約 1,500 万年前のかなり短期間の間に、西南日本弧が九州の西方を中心として扇のように時計まわりで回転して中国大陸から分かれ、その時その隙間に日本海の南半分が生まれた。また、東北日本弧は約 3,000 万年から 1,000 万年前のいずれかの時期に、北海道の北方を軸に逆時計回りに回転して、同様に日本海の北半分がその時生まれた。ちなみに、1,500 万年前とは地質時代の中で新生代中新世前期と位置付けられており、その時代は既に恐竜は絶滅して（約 6,400 万年程前）存在しておらず、哺乳類の時代となっていた。カバとバクのあいのこのようなデスモスチルスという生き物が水辺を歩いていた頃のことである。人類の誕生（約 200 万年前）まではまだ随分時間が必要であった。

これらのことは、日本列島に分布する様々な年代の火山岩について、放射性元素を使った絶対年代とその岩石が持っている地磁気方位（岩石が冷えて固結するとき、その中の磁性鉱物が地磁気の向きに並んで、岩石全体が弱い磁石となる。その

後大きな地殻変動があってその岩石が別の向きをすることがある。その岩石の磁化の方向を測定することによって、現在とどれくらい回転したかが推定できる。）を詳しく調べたことによって結論づけられたものである。すなわち、西日本に分布する 1,500 万年より前に噴出した火山岩は一様に約 40° 程時計回りの回転をしているのに対し、1,500 万年より新しい岩石はそのような回転は認められなかったのである。ところが、このような精力的な研究が継続されてはいたが、陸上の記録だけではどうしても限界があり、他の方法で日本海を研究している人々との間でまだ少し結論が合わないこともあり、万人を納得させるにはもう一步の状態であった。これらを決定するには直接海洋底を作っている岩石を採取してその年代を測定するか（深海底掘削）、海底の拡大に伴う岩石の地磁気の縞模様から拡大年代を決定することが不可欠である。実際世界の多くの縁海については、その方法で、ほぼ地史が判明していた。ところが日本海ではグローマー・チャレンジャー号による深海底掘削が 1973 年に実施されたものの、海洋底を形成する火山岩の層には達することができないうでいた。さらに、日本海の海洋底の地磁気の縞模様が極めて不明瞭で拡大様式や年代が判定できなかった。つまり、日本海の歴史にとって最も重要な情報がどちらも得られていなかったのである。日本海の拡大の歴史は即、日本列島の歴史と関係しており、これは誠に重大な問題であったのだ。

そのような状況の中で、日本海の海洋地殻らしい岩石が奥尻海嶺で発見されたということは、もしそれが正しければ、これまで多くの研究者が欲しい欲しいと思いつつも手に入れることができなかった岩石を手にし、その化学分析をしてマグマの性質を知ることができる。また、岩石の放射年代を測定したり、火山岩直上の推積物中の化石を調べ、日本海の拡大した時代をよりはっきりさせ

ることができる。これは、最も不明瞭な北部日本海についての情報が手に入ることを意味していた。さらに堆積物からは当時の海の環境も推定できる可能性もあった。また潜水調査船から、岩石の露出する崖を直接観察できれば、縁海の海洋地殻を立体的に見ることになり、溶岩の噴出状態やそれらと堆積物との関係などもより詳しいことが分かるのではないかと期待された。なにしろそのような地点はこれまで世界中で聞いたことがなく、あるということ自体がたいへん興味深いことであった。

また奥尻海嶺のような高まりの上に、深海底を特徴付ける岩石が存在しているということはどういうことか？ 海洋底が持ち上がるという運動があったことを意味するが、普通、海洋底は重い玄武岩からできており、隆起したりすることはめったにない。もしそのようなことがあれば、これは「オブダクション」と呼ばれる、重い海洋底が軽い陸の地殻に乗り上げる現象そのものであり、その当時大変興味を持たれていた問題が実際の海底で見つかったことを意味していた。もし、崖面に地殻変動の証拠（断層、深部地殻を構成する岩石の露出等）が見られれば、大変すばらしいと夢が一気に膨らんだ。

また、この海洋底の隆起の問題とも密接に関連するが、奥尻海嶺付近から佐渡沖そして富山湾に沿って、地震活動のかなり活発な海域があり、ときおり大きな被害地震が発生している（例えば1983年の日本海中部地震、1940年の積丹沖地震）。一般に、日本海側は太平洋側と比較すると地震の発生頻度や規模はかなり低いですが、これらの地域は、特に日本海東縁部活断層帯とか日本海東縁変動帯とか呼んで注目されている。奥尻海嶺の隆起はいつ始まって、いつ終了したのであろうか、あるいは現在も続いている現象なのだろうか、続いているとしたら現在の活発な地震活動とどのように結びつくのであろうか？ また数年前から言われて

いた日本海東縁プレート境界説または日本海東縁新生海溝説とはどのように関連してくるのだろうか？

もちろん潜水調査船1隻だけでは到底これらすべての問題を一挙に解決するわけにはいかないが、なんらかの突破口になるはずであると考えたのである。

3. 潜航調査までの経緯

日本海については、多くの大学、研究機関が以前から様々な調査を実施している。北部日本海は、かくいう当研究所の堀田部長のまだ若かりし頃古戦場でもあるが、ここ10年間に特に多くの調査が集中して実施されるようになった。昨年、ODP（国際深海掘削計画）により日本海の6地点で掘削が行われたが、徳山さん達は、その事前調査を兼ねて、昭和62年当時既にマルチチャンネル連続音波探査を奥尻海嶺の中部をターゲットにして実施しており、奥尻海嶺のただならぬ様子を示すデータを既に入手していた。我々、海洋科学技術センターも日本海中部地震（1983年）の直後から、ほぼ2年に一度のペースで青森、秋田沖の奥尻海嶺南部を中心に調査し、次第に北方向に調査範囲を拡大しつつあった。それらの調査によって、地震の後の海底がどのように変化していくかを継続的に調査していた。また南部奥尻海嶺ではシービームによる海底地形図を作成し、さらに深海曳航式カメラ等による調査の結果、新しい地震割れ目や多くの変動地形が確認できたことから、地殻変動の様子がこの地域ほどハッキリ見られる地域は日本周辺でもあまりないことを知っていた（図-2）。

徳山さん達は、その年再度奥尻海嶺に調査にいき、東海大学のドレッジ地点を横切るマルチチャンネル音波探査を実施し、すばらしい記録を取ることに成功した（図-3）。東海大学もその年再び調査船を出し、この海域での広域な岩石採取等を

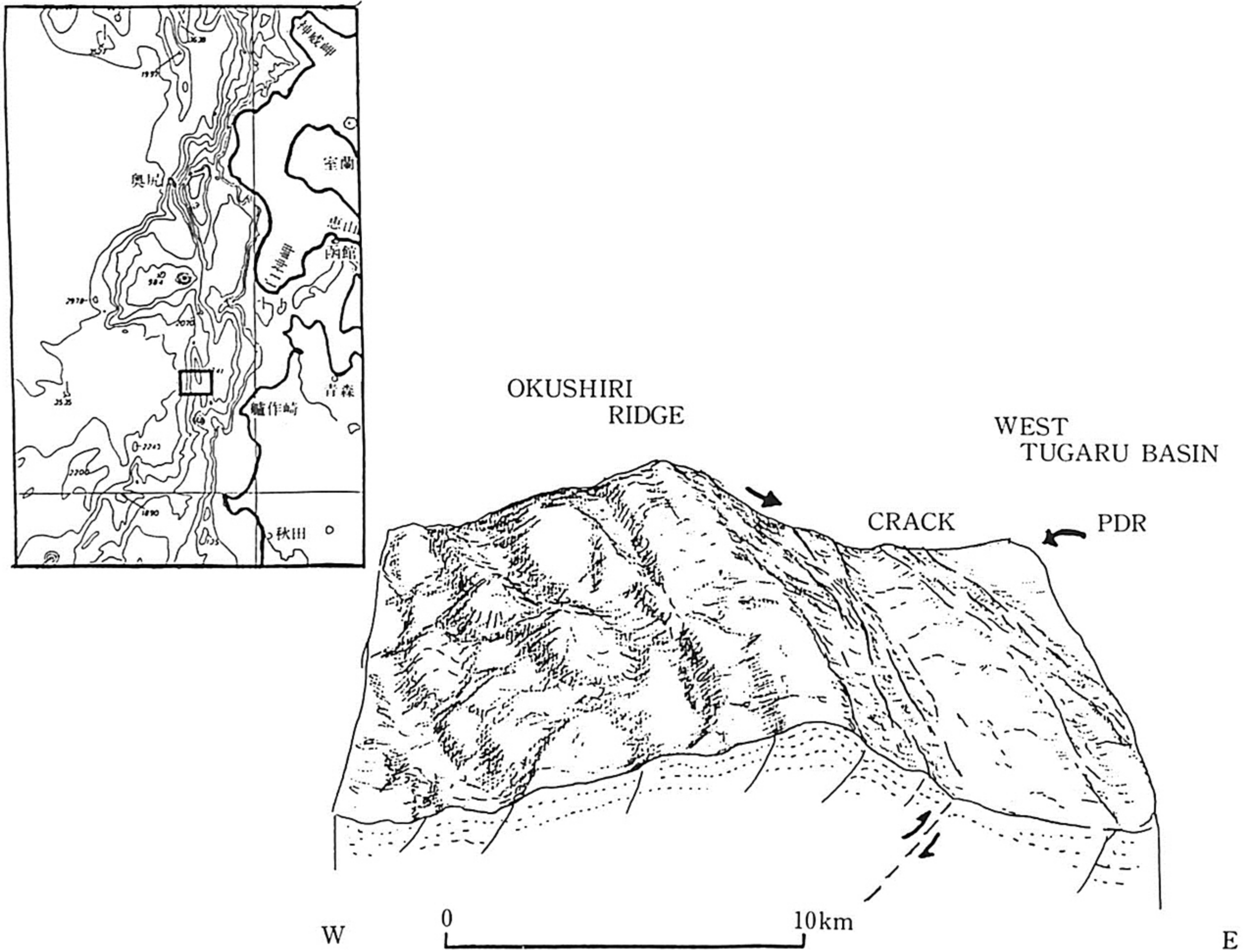


図-2 A：奥尻海嶺南部の海底地形
(シービームを基に作成；仲二郎原図作)

実施した。

それらの調査結果やそれまでの報文等を検討したが、長大な奥尻海嶺の中で「しんかい2000」で、まず調べるべきところは奥尻海嶺北部のドレッジ地点であると結論を出し、次年度の「しんかい2000」の調査として共同で申し込んだ。そのプロポーザルは潜水調査研究推進検討会の学術関係調査研究ワーキンググループで承認されるとともに、海洋工学関係調査ワーキンググループでも重要性が認められ、奥尻海域で計5回の潜航調査が実施されることになった。

4. 「しんかい2000」潜航調査

1988年(昭和63年)6月から7月にかけて「しんかい2000」及び母船「なつしま」は日本海の

潜航調査行動を実施した。まず富山湾から始まったこの行動は、富山深海長谷周辺での地質調査や重力測定を終えた後、富山湾内の生物調査、水産生物資源調査等を実施しながら、次第に北上し、秋田、青森沖の生物調査の後、函館に入港した。本来ならば、潜航調査を実施する人間が全員一緒の航海に乗船できれば好都合であったが、多くの人が乗船を希望したことと、それぞれの参加者の日程上の都合から全体を2つの行動に分け、前半を筆者と深海研究部の門馬さんがまず潜り、後半を宮下さん、徳山さん、そして富山大学の竹内章さんが潜ることとした。

7月18日に函館を出港した我々(田中、門馬)は、翌日調査海域に到着した。この海域のシービームによる地形調査は、当時は実施されていなかった。

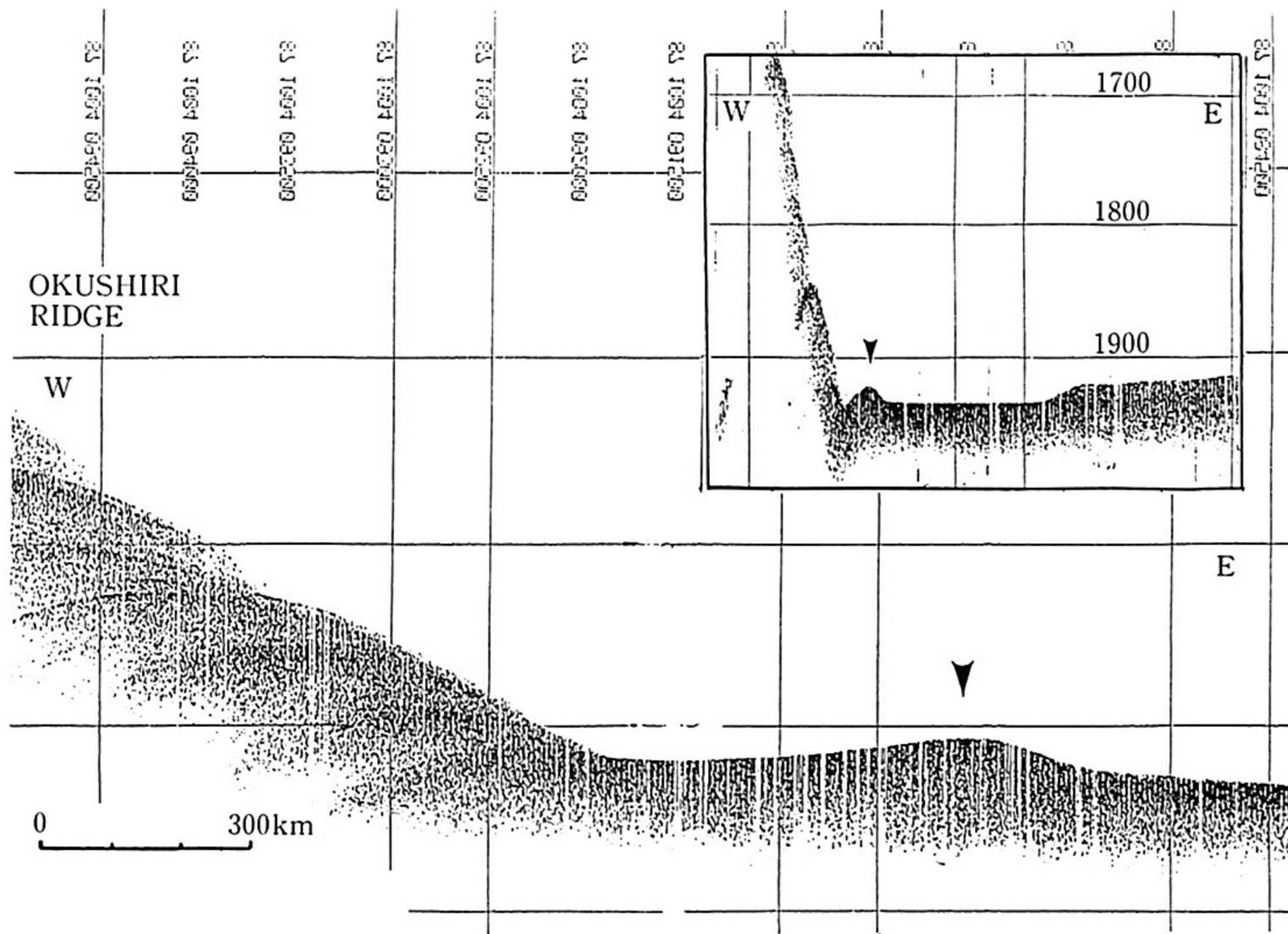


図-2 B：精密音響測深機による地形断面
(位置はA図に示す)

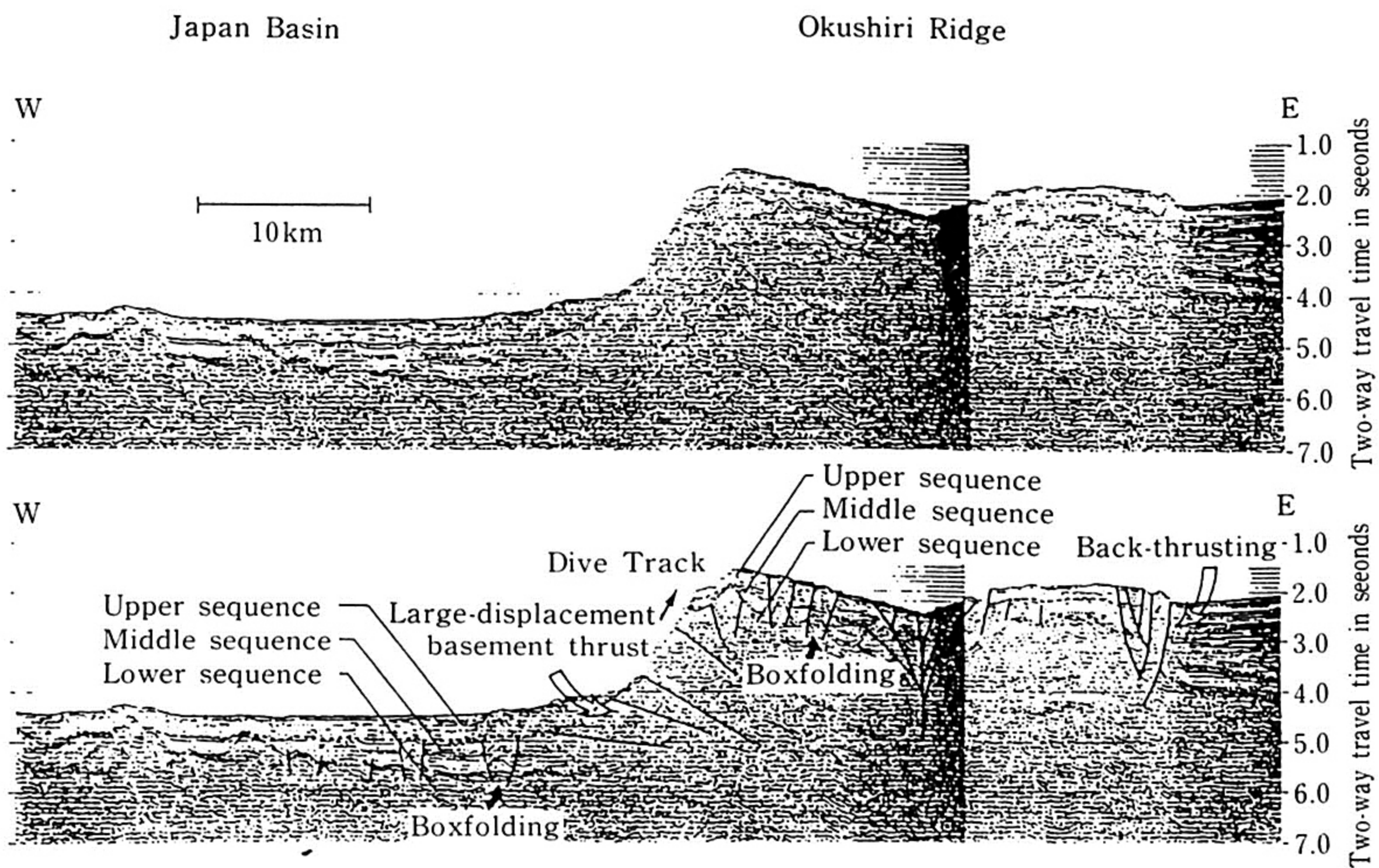


図-3 奥尻海嶺北緯44度を横切るマルチチャンネル音波探査記録
(徳山他 1989：しんかい2000シンポウム5号より)

たので、まず「なつしま」の精密音響測深機を使って海底地形図の作成に取りかかった。この海域はロラン C による測位があまりよくないが、この地形調査によって水路部発行の 20 万分の 1 の海底地形図とのずれ等を確認し、また急崖の位置を把握することができた。北緯 44° のドレッジ地点は、徳山さん達が次の潜航で潜ることが既に決まっていたので、我々は作成した地形図を参考に潜航地点を検討し、ドレッジ地点より南に約 3 マイル離れた崖を調査することとした。そこは、崖の傾斜が最も急で露頭がよさそうに思われたことと、この海域で最も浅い海洋海山と呼ばれる高まりがある場所でもあった。地形図を基にトランスポンダを慎重に設置して潜航に備えた。

7 月 20 日は夏の日本海とはいえ、珍しいほど波も風もない穏やかな海況であった。「しんかい 2000」は予定どおり順調に潜航前点検を終え、パイロットの井田潜航長とコパイロットの桜井整備士そして筆者とを乗せて、毎分約 25 m の速さで降下していった。これは「しんかい 2000」の第 352 回潜航にあたった。日本海の水は極端に冷たく、200 m も潜るともう摂氏 1°C 前後というほどのものである。しかし、潜水船の内部までもが底冷えするにはまだ少し時間がある。その間に潜航行動についてもう一度確認しておこう。まず、水深 2,000 m ぎりぎりのところに着底して、露頭のある場所を選んで、十分な観察と岩石採取、それもはっきりと現地性と思われる岩石をできるだけ採取しよう。また日本海の海洋地殻と考えられる火山岩とその上位にくるシルト岩の境界をはっきり確認し、その状況を観察し、両方の岩石を採取するのだ。そしてできるだけ上方まで連続観察を続ける。次の潜航の門馬さんにはこの潜航終了点を出発点としてさらに上に観察しながら上がってもらい、これら 2 回の潜航で水深 2,000 m から 900 m の崖の上まで比高 1,000 m 以上の地質断面をつくることとがとにかく我々の最大の目標

である。

また、このように断層運動が激しい地点では相模湾や日本海溝でも見つかっている深海湧水依存型の生物群集の存在の可能性も十分あるので、生物の有無には特に気を付けるとともに、採水を行って化学成分にそのような兆候がないかを調べることも実施しよう。

潜入後 1 時間 40 分で行って 2,000 m の海底に着底した。既に水深 1,500 m あたりの所から潜水船の前方探知ソーナーには崖の存在を示すエコーが連続して出ており、相当急な崖になっていることが予想された。はたして 2,000 m 付近に潜水船が着底できる場所があるか不安であった。というのも「しんかい 2000」による試料採取では、潜水船は基本的に着底しながら採取することが前提であるので、着底できないと試料採取ができなくなる。しかし、水深 2,000 m のあたりでは傾斜はかなり急ではあったものの、海底は泥に覆われており、どうにか着底できるポイントが見つかった。筆者にとって、水深 2,000 m という「しんかい 2000」の能力一杯まで潜ったのは、後にも先にもこの潜航だけであり、しばし感慨に耽ったが、すぐに気を建て直し、崖の上昇にとりかかった。

最初の 50 m 程は泥の海底であったが、すぐに崖が現れてきた。崖の麓には上から崩れ落ちた大小の岩塊がたまっていた。まず岩石の採取を試みた。急崖そのものから採取したかったが、潜水船のマニピレータでは崖から直接もぎとることができなかったので、見掛け上、この崖のこの付近を代表していると思われる岩石をとることに心掛けた。崖からの崩落物は、折角採取してもその真の場所の試料を意味しているのではない。しかしそのような試料でも採取して帰ると帰らないのでは大違いである。この後さらに上昇を続けても岩石採取ができないことがあるからだ。しかしむやみに採取してもサンプルバスケットに入れられ

る量には限度がある。さらにどんなに欲しい試料でも確実に採取できるかはその試料の状態によるので、採取作業が非常に難しいところでは、あまり時間を掛けすぎると今度は後の観察にもひびいて来る。どこでどのような試料をどれだけ採取するかはいつも重大な選択である。

水深1,950 mあたりから1,800 mまでは、枕状溶岩とその角礫からなる、ほとんど垂直の全面露頭であった。崖はあまり急すぎて堆積物の覆いはほとんどない。所々に枕状溶岩特有の丸みをおびた形態が見られる。角礫の多くは溶岩が流れながら固結することにより、その場で破片化したものである。この崖面はあまりに急すぎて、残念ながら潜水船ですら岩石採取することができなかった。水深1,800 mあたりにコブ状の地形があり、そこから現地性の枕状溶岩が採取できた。このコブを越えると斜面は逆に下りはじめ、海底は泥に覆われるようになる。そして次に再び上がり傾斜となるが、海底上には黒っぽい火山岩の礫の他、いくつかの白いシルト岩の礫が交じり始める。このあたりで、観察者としては緊張しはじめてくる。「火山岩とシルト岩の境界が近づいている、見逃しはできない。」しかし崖の傾斜は、先程の枕状溶岩の崖よりもかなり緩やかで、表面が泥にかなり覆われ、真の露頭がよく見えない。さらに上昇するとシルト岩の角礫が多くある部分に到達した。これはひょっとすると真の露頭かと思ったが、周囲には黒っぽい火山岩の礫も多数存在している。このことは、さらにこの上に火山岩の層があることを意味する。「ではこのシルト岩はやはり上からの崩れなのか？」筆者の頭にはその段階では音波探査の記録のイメージから火山岩層の上にはシルト岩が乗っている。という単純な構造を考えていたが、「あれ、おかしいな」というようになった。さらに上昇するとまた垂直に近い崖となり、枕状溶岩の全面露頭となった。これが水深1,750 mあたりまで続いて、次に傾斜が緩やかになっ

て、再びシルト岩の礫が散在するようになった。特にこの地点ではシルト岩に層構造も見られ、それが横に連続しているので、おそらく真の露頭にまちがいないと考えた。さらにしばらく上昇してシルト岩の礫の多いことを確認して筆者の潜航を終了し、離底することとした。しかしその終了点辺りでまた火山岩の礫が増えはじめ、「あれあれ、さっきのシルト岩の露頭は真の露頭ではなかったのかな？」と疑問が生じた。

翌日の門馬さんの潜航は、筆者の終了点の少し下から始まり、同様に海底の観察、岩石採取を実施しながらできる限り崖を登りつめることを試みた。それによると筆者の離底点付近ではシルト岩の露頭が確認できたが、その後さらに上昇すると再び枕状溶岩の崖に到達した。その後シルト岩と枕状溶岩が交互に出て、最後は堆積物に覆われた緩やかな坂になり、それを水深1,200 m程まで上昇することができた。

この2回の潜航調査で、この急崖に枕状溶岩が分布する大露頭のあることと、それらがシルト岩と交互に積み重なっているように見えることが明らかとなった。つまり、岩石は単純な構造ではなく互層状態となっている。このようなことは潜水調査でのみはっきりしたことで船上からの調査では分かり得ないことである。このような構造を持つためには大きく2つの説明が成り立つ。1つは溶岩が流れた後、しばらく時間が経ち、その間にシルト岩が堆積し、再び溶岩が噴出する。その繰り返しによって互層ができたとも考えられる。もう1つは本来は玄武岩とシルト岩の単純な2層構造であったのが、数枚の低角逆断層（スラスト）によって見掛け上このように重なってしまったということである。いずれにせよ、これを確認することが次の潜航の重要なテーマとなるだろう。良い天候にも恵まれて、多くの岩石試料を採取して、気持ち良く小樽に入港した。

小樽港で、徳山さん達と合流し、ビデオや採取

試料を見ながら色々ディスカッションができた。徳山さん達は狂喜し、「私はもう潜らなくてもいいじゃないか。それくらいこの2回の調査でわかったよ。……」と喜んだ。自分の潜航が近づき潜水船に乗るのがコワクなったのか？ 7月24日、小樽港出港、既にトランスポンダは設置しており、海底地形も把握済み、あとは天候が良いことを祈るのみ。

7月25日、宮下さん潜航。この潜航地点は筆者とほぼ同じ地点、距離にして約100mほど離れた所を平行に上昇した。この潜航は、前回の潜航で火山岩とシルト岩の真の境界が確認できなかったのでもそれを確認すること、さらに宮下さんの専門である火山岩の噴出形態の観察が主な目的となった。約6時間後、潜水船から出てきた宮下さんは興奮してしゃべりまくり周囲の人間は言葉を挟むこともできない。話を総合すると、「ビデオで見るのと実際見るのとは印象が全然違う。とにかくすばらしい。急崖はやはり枕状溶岩とその角礫からなるが、その流れた後や破壊された様子が手に取るようにわかったよ。やはり、溶岩の層とシルト岩の層は繰り返して出現していることは間違いない。ただ今回もそのハッキリした境界は確認できなかった。徳山さん、潜水船は快適で怖いことなんてこれっぽちもなかったよ。」とのことだった。

翌日は徳山さんの番である。毎晩、撮影された海底のビデオ観察をした後、ビールやウイスキーを飲みながらのディスカッションをしていたが、徳山さんは潜航前日はさすがにその量も少なくし、早めに床に着いた。翌朝、天気はやはり良い。口数が少なくなった徳山さんは潜水船の中に入っていった。この潜航では北緯44°線のドレッジ地点を上昇することとなった。やはり6時間後潜航を終えた徳山さんは「イヤースゴイ、スゴイ」と感動をいっぱい表現して耐圧球から戻ってきた。徳山さんは水深2,000mのところをうず高

く積み重なった大きな礫(おそらく崖からの崩れ)にまず驚き、そこを「巨礫の墓場」と名づけた。その後、崖に見える火山岩の露頭に感動し、さらにととうとう枕状溶岩とシルト岩の境界の1つも確認できたのでまさに最高の気分得意げと戻ってきた。その境界は断層粘土を挟んで幾分破碎されていた。潜水船はどうでしたと聞くと「快適、快適、サイコーデスヨ」とのこと。いつもの徳山さんに戻っていた。

翌日は、富山大学の竹内さんの潜航であった。この調査は、これまでの調査とは異なり、奥尻海嶺の東側の崖を調べることになった。海洋研の音波探査では奥尻海嶺の東にもやはり急崖があり、その解釈から東から西に向かったの逆断層であり、我々が観察した崖と逆のセンスでペアになっているらしく、どちらもが、奥尻海嶺を押し上げる動きをしているらしい。両方の崖で同じ岩相が見られればこのことをより確実に示すことになる。竹内さんはこれまでの潜航でよい露頭が見られていることもあり、自分の潜航でもすばらしい観察ができるものと、疑いをいだいていなかった。ところが、なんと今度は行けども行けども海底は泥に覆われており、結局良い断面が見られず失意の内に上がってきた。

奥尻海嶺の潜航調査は、とにかく最後まで天候に恵まれて予定どおり調査を終えることができた。小樽への帰路、またお酒を飲みながら、この一連の調査の話に花を咲かせつつ、また竹内さんをなぐさめて、さらにビールの空き瓶の数を増加させた。

5. 潜航調査の成果

この一連の調査によって判明したことは次のとおりである。

採取した玄武岩試料は主として宮下さんが分析した。その結果、主化学組成等の上では中央海嶺型の玄武岩によく似ているが、揮発性成分等に富

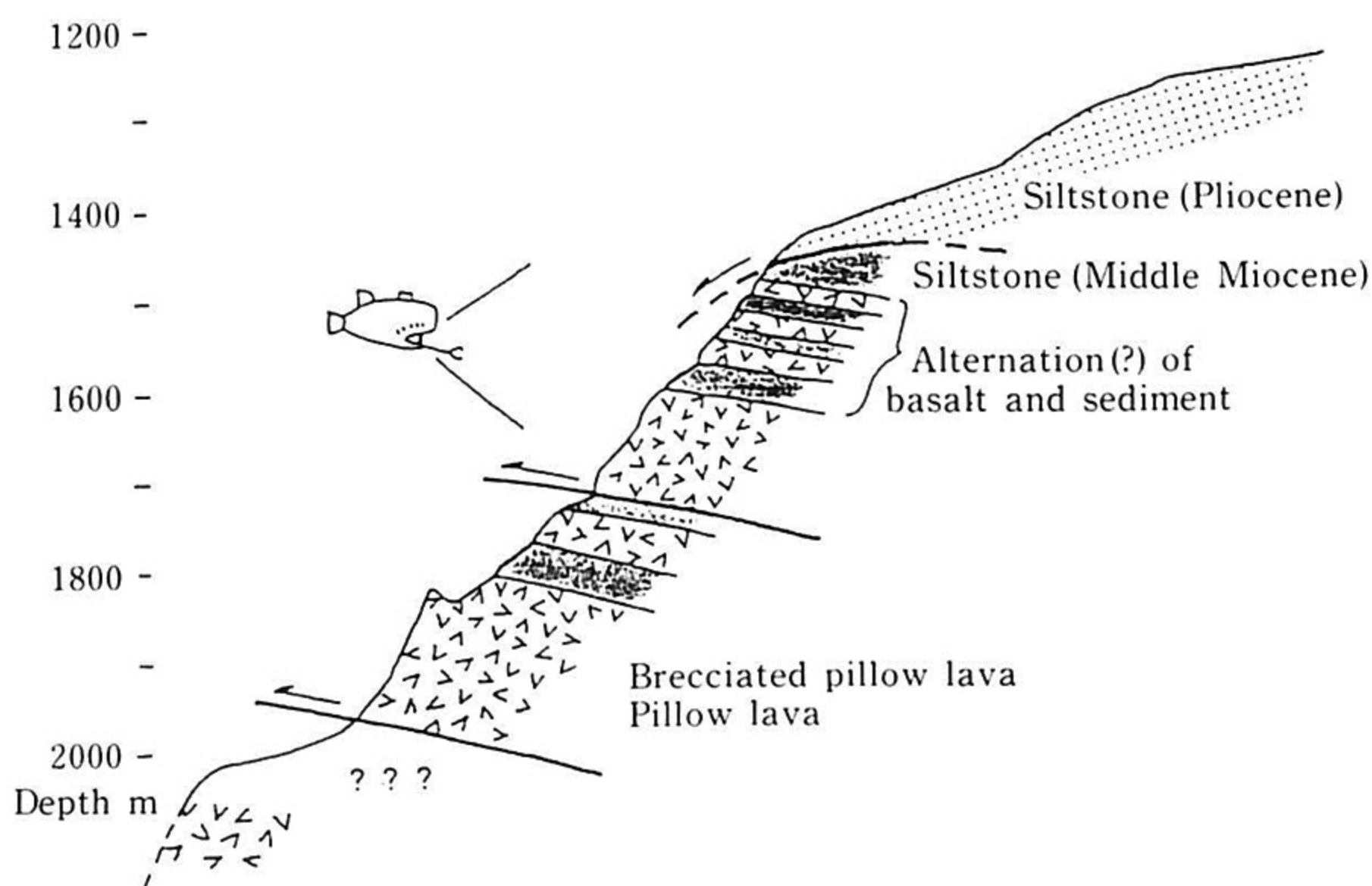
んでいること等から背弧海盆型玄武岩の特徴を有している。また鉱物組成や微量成分組成等を詳しくみることにより、これらの玄武岩はさらに3つのグループに分類された。このことはマグマの源に根本的な違いがどうもあるらしく、それが日本海の拡大のそれぞれの段階の火山活動を示している可能性があつて、極めて重要である。なお、採取した玄武岩はやはり変質が相当すすんでおり、年代測定が難しかった。

またこれら玄武岩とシルト岩の関係であるが、一部には互層となっている可能性はあるものの、基本的には低角逆断層により見掛け上、重なり合うようになったものと考えられた(図一4)。シルト岩の中に含まれる珪藻を調べた、共同研究グループの北海道立地下資源調査所の嵯峨山さんはシルト岩の年代を370万年から510万年前のものであることを示した。なお、嵯峨山さんは東海大学のドレッジ試料をも既に分析しており、それからは1,150万年から1,290万年前のものがあることがわかっていた。この年代は日本海の拡大後しばらくしてのものである。我々はさらに古い年代があることを期待していたが、結局それは採取で

きなかった。しかし、このことはこの崖が単に単純に隆起したのではなく、構造運動によって複雑になっていることを暗示している。

いずれにせよ、潜水船による調査はまさに船上からの調査では到底知ることができない様々なことを確実に証明していくことができ、これらの調査はその典型となった。

この奥尻海嶺の潜航調査は昨年度(平成元年9月)にも実施され、5回の潜航を行った。その内の3回は奥尻海嶺西崖を、前年の調査の南北それぞれに離れた地点で実施した。この時は海洋センターのシービーム地形調査が既に終了していたため、それを参考にさらに良好そうな崖面を選定した。しかしそのうち2回は、急崖ではあったが、表面を泥が覆って露頭の状態がほとんど観察できなかった。その1回にあたった徳山さんは潜水船から出てきた時、ボヤキの連続であり、「たいへんサミシイ、去年の竹内さんの気持ちがよくわかりました。」といった。今から思えば最初の調査の潜航地点の選定は極めて幸運に恵まれていたといえる。



図一4 奥尻海嶺西斜面の解釈図

(宮下他 1989: しんかい 2000 シンポウム 5号より)

6. 今後の潜航調査

2年にわたる調査によって、奥尻海嶺の北部の西側斜面には少なくとも40 kmにわたって枕状溶岩やドレライトが連続的に分布していることが判明した。これらは日本海の海洋地殻が大規模に断層によって持ち上がって（衝上）できたものであることは確実である。露出している岩石が多数採取され、海洋地殻であることが確認されるとともに、幾つかの種類に分類されることがわかった。岩石そのものの年代は測定できず、また、シルト岩等の年代も期待されているものより随分若いものであった。

今後は「しんかい6500」を用いて、水深3,500 mの崖の麓から同様の調査を行い、海洋地殻のより深い岩石の採取を試みるとともに、さらに古い堆積物の露頭を探ることが必要だろう。さらに生物群集の存在を確認することも重要である。昨年度、海洋センターはこの北部の海域で水深3,000 mあたりの海底から深海カメラにより生物群集の兆候を確認している。次の潜航行動では生物の研究者も奥尻海嶺に集まってくるだろう。また崖の麓には大変新しい変動地形も見られ、地形、地震の研究者にも興味があるであろう。

7. ジョイデス・リゾリューション号による深海掘削

昨年、ODPによる深海掘削が日本海で実施され、すばらしい成果をあげた。その成果の幾つかは既に様々な出版物で報じられている。

6ヵ所で掘削が実施され、海盆部の3ヵ所で基盤の海洋地殻を形成する玄武岩層に達することができた。その直上の堆積物の化石を調べるとその年代は1,400万年から1,900万年を示し、ついに

日本海の拡大の年代が明らかになった。また、玄武岩に挟まれる堆積物を調べることにより、この間に日本海が急激な沈降をしつつ拡大をしていった経緯が明らかとなった。

また奥尻海嶺（潜航調査地点より南の地点）でも掘削が実施された。その結果、潜航調査で確認した海洋地殻の火山岩層には到達しなかったものの堆積物を掘り進んでいくことによって、最初、細粒の堆積物であったのが、砂と泥の互層に変わっていったことが明らかとなった。砂と泥の互層は、泥、砂が混じった乱泥流が大陸斜面を流れ下り、最終的に平坦な海盆部に堆積してできたものであり、海底の高まりには普通堆積しないものである。海底の高まりである奥尻海嶺上で砂泥互層が見つかったことは、ある時代より以前はその地点が平坦な海盆であったことを意味している。ではその年代はいつか？ 堆積物中にある珪藻を調べると180万年前という答えがでた。すなわちその頃から以降になって、奥尻海嶺が激しい地震活動を伴って急激に上昇しはじめたのである。

我々が潜航調査を実施した地点の崖も、まだ議論は残るが、おそらくその前後に上昇しはじめて、現在もその運動が続いているのであろう。

8. おわりに

ここでは日本海の形成とともに、奥尻海嶺についての最近の話題と潜航調査の経緯について簡単にまとめてみたが、この地域は現在もっともホットな議論がなされている最中の領域であり、筆者がまとめるにはやや荷が重く、不十分な点や舌足らずな点が多いと思われる。より詳細をお知りになりたいければ、第5回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書の奥尻海嶺関係報告書やODP関連報告書を参考にされたい。

世界の海洋底

過去の地球上では地中海が干上がって広大な塩田と化してしまったり、インドプレートがアジア大陸と衝突してヒマラヤ山脈ができたために日本の梅雨を含むアジアモンスーンが始まるなど、飛び抜けて大きな環境変化が幾つか起こっている。その実態と多方面への影響は深海の掘削によって詳細に明らかにされ、陸上のデータやシミュレーションでは結着が付かなかった地球環境変化の原因をめぐる議論にはっきりした解答が得られた。



略 歴

昭和 8 年 東京に生れる
昭和 36 年 東京大学大学院地球物理学課程卒
昭和 46 年 東京大学海洋研究所教授 現在に至る

東京大学
海洋研究所 教授 小林 和男
Kazuo Kobayashi

1. 地中海は砂漠だった

日本の周りの海底から最も遠くて異質であり、それでいてどこか似かよった所もある海を1つ挙げよと言われたら、私は一瞬考えた末に「地中海」の名を唱えるだろう。東大海洋研究所の白鳳丸は1990年初頭に世界一周の途次ジブラルタルからスエズへ抜けるまで約10日間を地中海で過ごした。その折は海底観測を行う時間はほとんどなかったが、いつの日にか日本の船で詳しい調査ができる日を夢みるには十分であった。

地中海は西はジブラルタル海峡で大西洋とつながり、北東はボスポラス海峡で黒海と通じているが、それ以外はヨーロッパ、アフリカの両大陸に挟まれた文字どおりの“地中”海である。この海底はヨーロッパの国々を中心にかなりの調査が進んでいるうえ、沿岸の陸上に露出した地層からの類推で古くから多くの議論がたたかわされているが、今でも新しい証拠が出ると解釈も変わる日進

月歩の状態である。

特に、深海掘削は1970年（第13次）、1975年（第42A次）、1986年（第107次）の3航海が地中海（掘削点379～381は黒海）で行われ、その古環境変化について確固とした根拠をもたらした。1979年8～9月にはフランスが潜水調査船シエナによって、ギリシャ海溝を中心とする海底の観察を実施し（HEAT計画）、地中海の特徴の1つを浮き彫りにした。

地中海の総面積は黒海を除いて $2.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ 、日本海の2.5倍である。現在の平均水深は約1,500mだが、中央部には3,000mより深い部分が知られ、5,000m近い所もある。地中海の海底にはM層とよばれる極めて強い反射面が現在の海底面とほとんど平行にその下200mほどの所に広く分布しているのが、1960年代末までにフランスのジャンシャルコーやラumont研のコンラッドのエアガン調査で判っていたが、反射層が何からできているのかは議論が分かれる所であった。深海掘削はその層が今から6～5百万年前中

新世末のメッシナ期にできた蒸発岩であることを証明したのである。

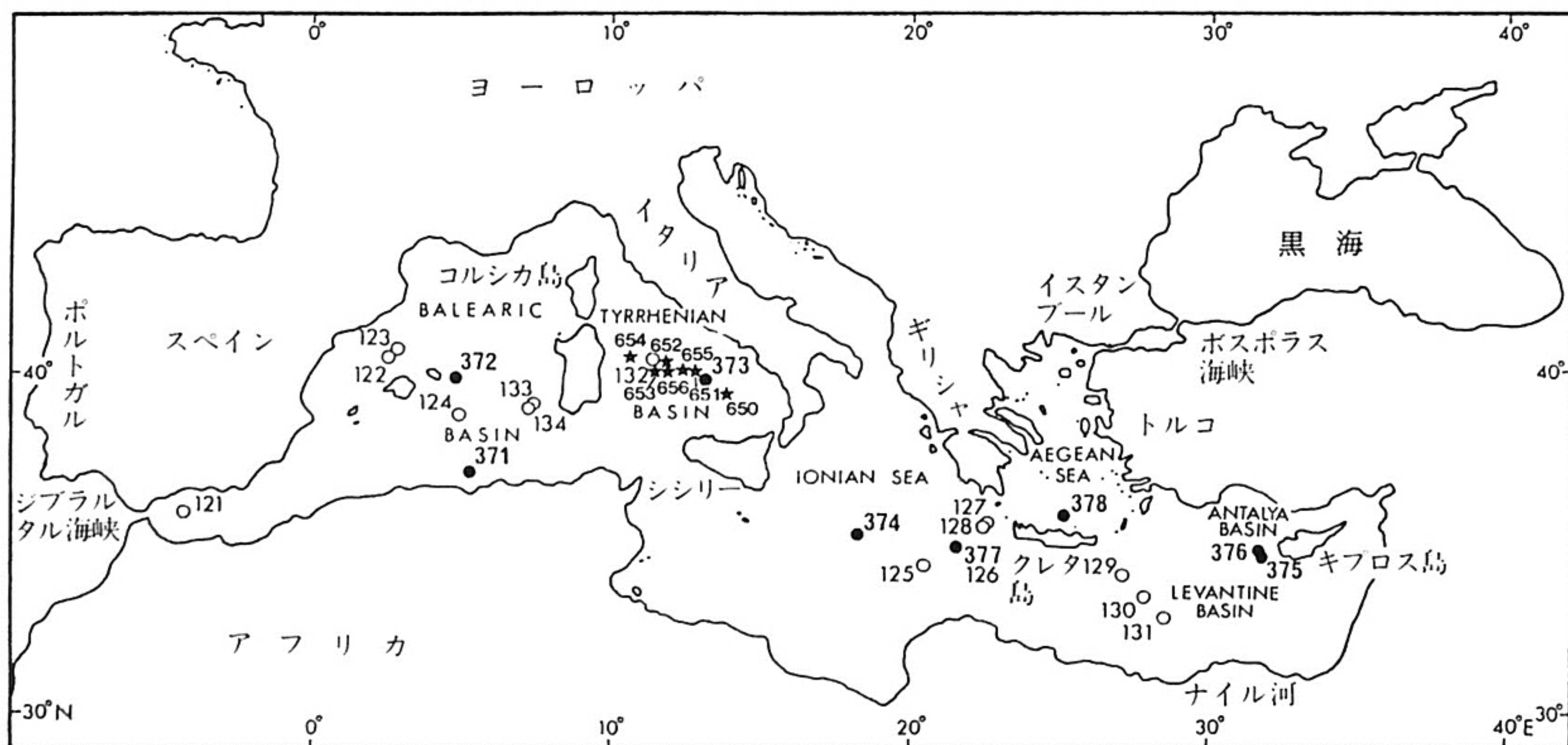
この時期には現在のジブラルタル海峡（水深約400 m）をつくる海底が何らかの構造運動によって激しく隆起して地峡となり地中海は完全に閉じた内海となった。現在の地中海は南欧の陽光に照らされて年当たりの蒸発量が $4.7 \times 10^3 \text{ km}^3$ と見積もられている。それに対して年降水量は $1.2 \times 10^3 \text{ km}^3$ 、河川からの流入水量は1年に $0.2 \times 10^3 \text{ km}^3$ である。差し引き $3.3 \times 10^3 \text{ km}^3/\text{年}$ が地中海の海水減少率でこのままで約1,000年で地中海は干上がってしまうことになる。現在の地中海には蒸発量を補って余りある海水がジブラルタル海峡を通じて流れ込んでいて、地中海は干上がりもしないし、極端に塩辛くもなっていない（最高39‰）。やや塩分の濃い密度の大きい海水は海峡の底すれすれを通過して大西洋に流入し、大西洋中東部の塩分を36.5‰程度まで濃くしている（大西洋の大部分の塩分濃度は34.5～36.0‰で、34.0～35.5‰の太平洋より少し塩辛い）。

ちなみに、戦時中ドイツのUボートはスクリューを止めて各深さの流れに乗ってジブラルタ

ルの嚴重な潜水艦探知網を逃れて地中海と大西洋とを往き来したそうである。

今から約600万年前にはこのような海水の流通が途切れたため、地中海は完全に干上がって砂漠になった。この環境変化は地中海周辺の動植物分布に重大な変異をもたらした。この時期がメッシナ危期（Messinian Salinity Crisis）とよばれるゆえんである。注意すべきことはこの変異が全地球的な気候変動に由来するものではなく、ジブラルタルの閉塞という極めてローカルな地殻変動によって引き起こされた点である。

干上がった地中海には石膏と硬石膏（無水硫酸カルシウム）やカリ塩を含む岩塩が積もった。掘削の結果や連続音波探査資料からは岩塩層の厚さは500 mから、所によっては2～3 kmに達するとされている。単純に現在の地中海の水をすべて蒸発させても海底に残る岩塩層はせいぜい20～60 mにすぎないことが計算で求められるから、実際には8～10回ジブラルタルから大量の海水が流入しては蒸発乾涸を繰り返したと思われる。メッシナ期の地中海は自然の雄大な塩田であったわけである。



図一1 地中海の深海掘削地点。白丸は第13次、黒丸は第42A次、星印は第107次航海の掘削を示す。数字は地点番号（深海掘削開始以来の通し番号）。

干上がった底は周囲の陸（現在のコートダジュールや北アフリカ海岸）からは、1,500 m から3,000 m もの切り立った谷で、何とも壮大な景観であったにちがいない。谷底にはナイルやローヌをはじめ幾つかの河川が峡谷をきざんで流れ込み、20～30 万年の間にわたって小さな淡水または汽水の湖（Lago Mare）ができていた。掘削試料中にもその環境を示す古生物種が見いだされている。

地中海が干上がると、雨を降らす水蒸気源がなくなったわけで、周辺地域はそれまでより乾燥して寒冷化した。極地方の気候にも影響を与えたりして、メッシナ期の南極氷床は大きく張り出したし、北半球の氷河が始まったのもこの頃とされている。

陸上の植生にも変化を生じ、サバンナ植物が広がった。陸の動物はヨーロッパとアフリカの間を自由に往き来することができた。種類によっては後に地中海の島に閉じ込められるものもでてくるわけである。

2. さまざまな顔を持つ地中海

アゾレス島からジブラルタルまで大西洋を東西に横切る大断裂帯が存在するのは現在の海底地形にも明瞭だが、今から500 万年ほど前、この断裂帯の東端にずれ運動が起こってジブラルタル地峡は切断された。標高マイナス3,000 m の地中海の谷間を護る大ダムが決壊したことで大洪水が地中海を襲い、たちまちにして一帯は深い海となった。低温の大西洋深層水も地中海に流れ込んだので、大西洋型の底生動物が地中海にも入ってきた。生物種の分布は大洪水前後で全く変わり、これが中新世と鮮新世を境する基準となった。地中海の濃塩水は大西洋やインド洋の底層にも流れ込んで、底生生物に変異を生じた。

この中新世—鮮新世境界はよい連続試料が採取

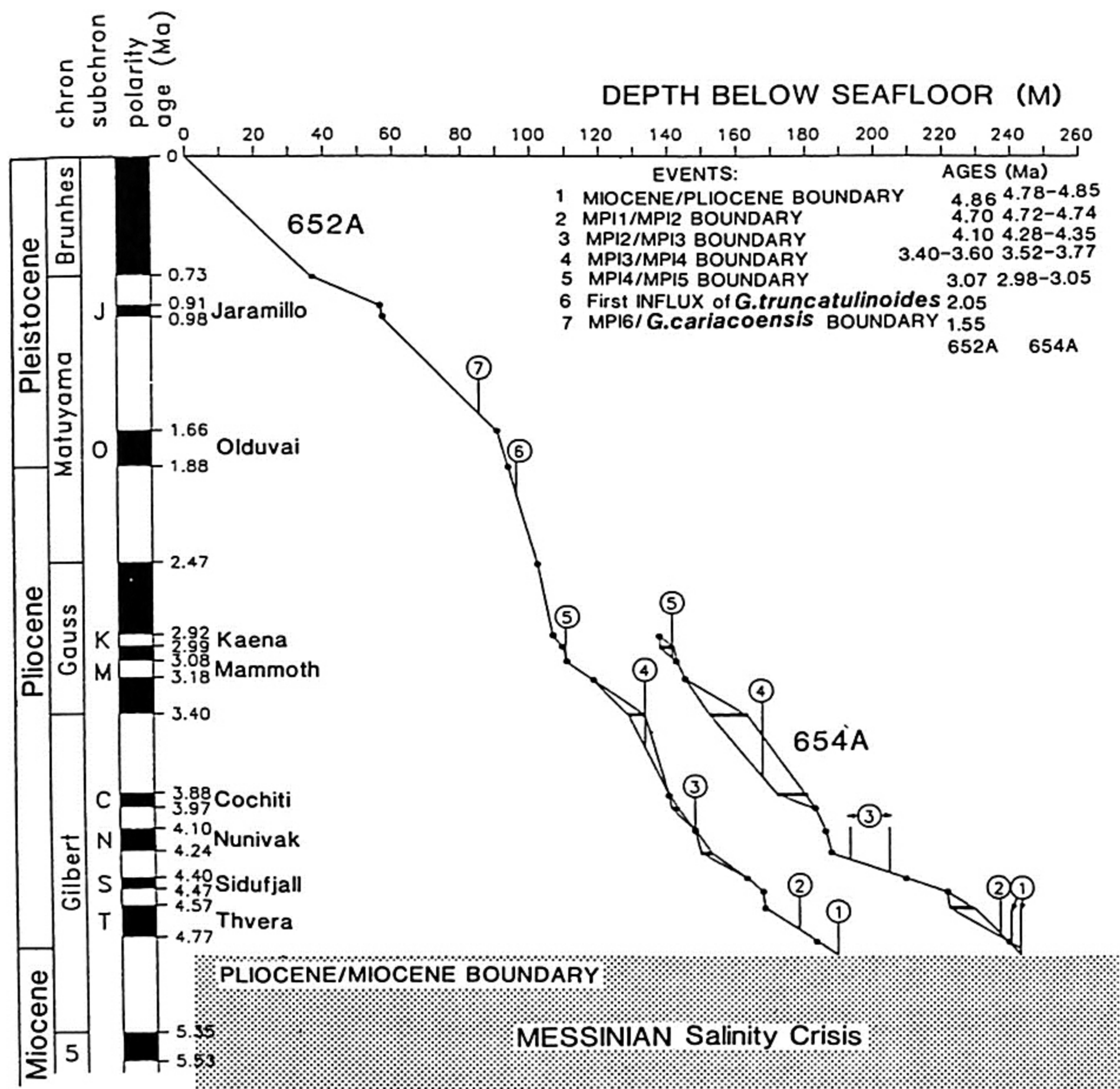
されたチレニア海の地点652 について古地磁気方位を船上で詳しく測定し、正向きと逆向きの境を明確に押さえることで地球上の他の地域の試料と厳密に対比することができた。地球磁場の逆転は世界中どこでも一斉に起こって、しかも5,000 年程度の短い時間で完了してしまうので、堆積物の年代対比には極めて有効な手段である。その結果、メッシナ期の終わり、すなわち中新世から鮮新世への移り変わりは4.8 Ma であることが確定的になった。

その後は地中海の海底には遠洋性の堆積物がそれぞれの地点のテクトニックな条件に応じた堆積速度で積っている。その下の岩塩は溶けずにそのまま保存されるか、一部では岩塩ドームをつくって直上の堆積物中に貫入している。

第四紀に入ると地中海を取り巻く一帯の地殻活動は特に活発になり、シシリー島やクレタ島やイタリア半島沿岸が岩塩をのせて隆起し、陸上に顔を出すようになった。メッシナ期の名前の由来であるシシリー島の町メッシナも岩塩層の露頭で知られている。

地中海全体としてはこのように海水の容れ物として干上がったり、あふれたりしただけで形は過去1,000 万年近くはそれほど大きく変わっていないが、その底には重要なプレート運動が着々と進行中である。もともとこの海域は今から1 億5,000 万年前頃ヨーロッパとアフリカ両大陸の間に大きく口をあけていたテチス海であった。この海はヨーロッパ大陸が北米大陸から分かれて東へ動くにつれて次第に狭まり、海底をつくっていた地層はアルプスの麓に押しつけられ陸の地層にとり込まれて高い山の上に露出している。

アフリカの北上運動は今も続いている。地中海の海底もアフリカとともに北上し、東部ではギリシャのペロポネソス半島からクレタ島に沿って陸の下に沈み込んでいる。ギリシャ海溝（Hellenic Trench）は浅いながらも沈み込み帯を伴うれっ



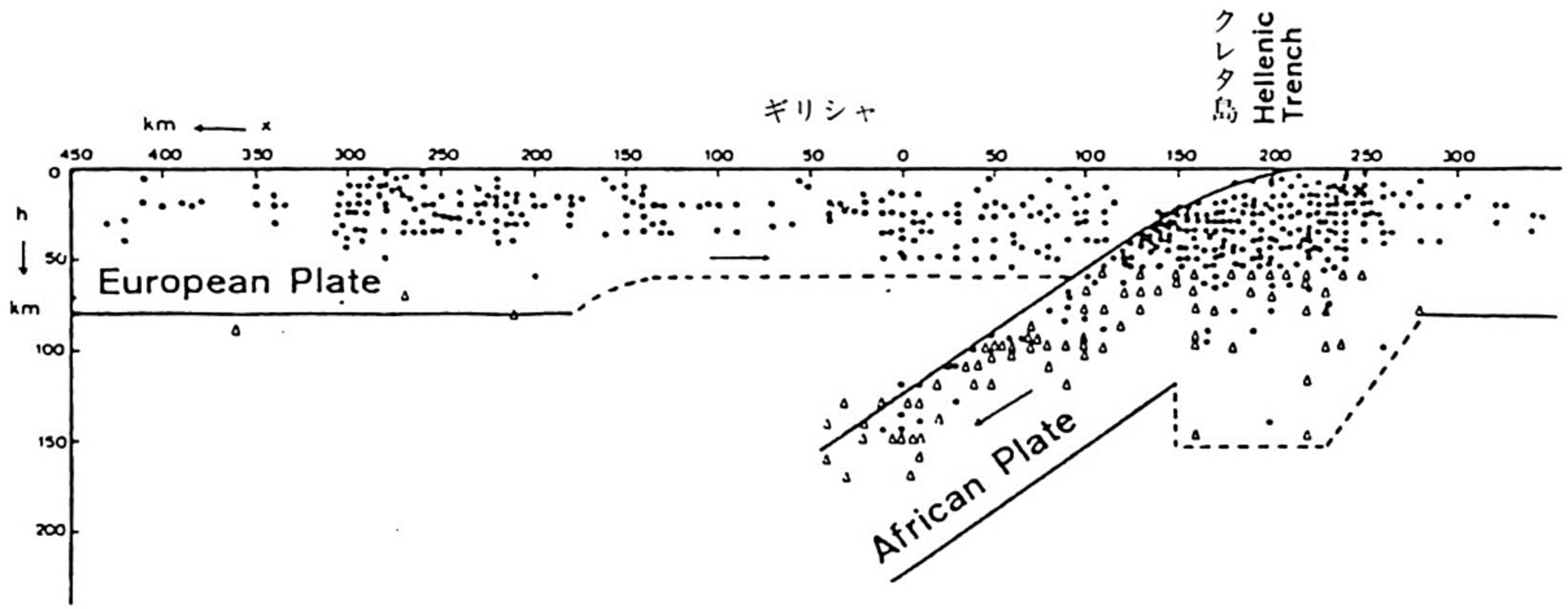
図一2 地中海チレニア海盆（イタリアー西方）掘削試料の残留磁化方位（黒ぬり正，白ぬき逆向き）と浮遊性有孔虫種（MPI1～5など）から決定された年代。中新世・鮮新世境界（メッシナ期終了時）は4.8 Maであることがこれから判定された。図から計算すると地点 652 の堆積速度は 42 m/my（mm/1,000 年）となる。

きとした海溝である。

この陸側斜面にはルピションをリーダーとするフランスチームが1979年夏に潜水調査船シエナによって15回の潜航を行い、海溝の構造を初めて組織的に直接観察することに成功した。その当時はまだノチールは建造されておらず、アルヒメードは老朽化して使えなかったため、ギリシャ海溝が海溝では唯一到達可能な対象であった。この実績が後に日仏協力による1985年と1989年のKAIKO計画を実現させる基ともなる。

この海溝にはクレタ島西南の最深部付近に2本の掘削が行われている。陸側斜面最下部の地点

127で水深4,682mから厚さ427mの第四紀石灰質堆積物を掘り貫いた後、急に固い白亜紀のオルビトリナ化石を含む石灰岩に遭遇した。これはクレタ島の基盤をつくる岩石の一つと考えられる。さらに9mほどの石灰岩の下には再び鮮新世の海底堆積物が採取されたが、それは地中海一般の海底をつくるものと同じで、これこそクレタ島の下に沈み込んだ海底だと推定された。当時はまだコア回収率がごく低い時代であったが、それだけにかえって乗船者達の興奮ぶりが目に浮かぶようである。これらの記録は第42次航海の主席研究員で1930年重慶生まれのスイス工科大学教授



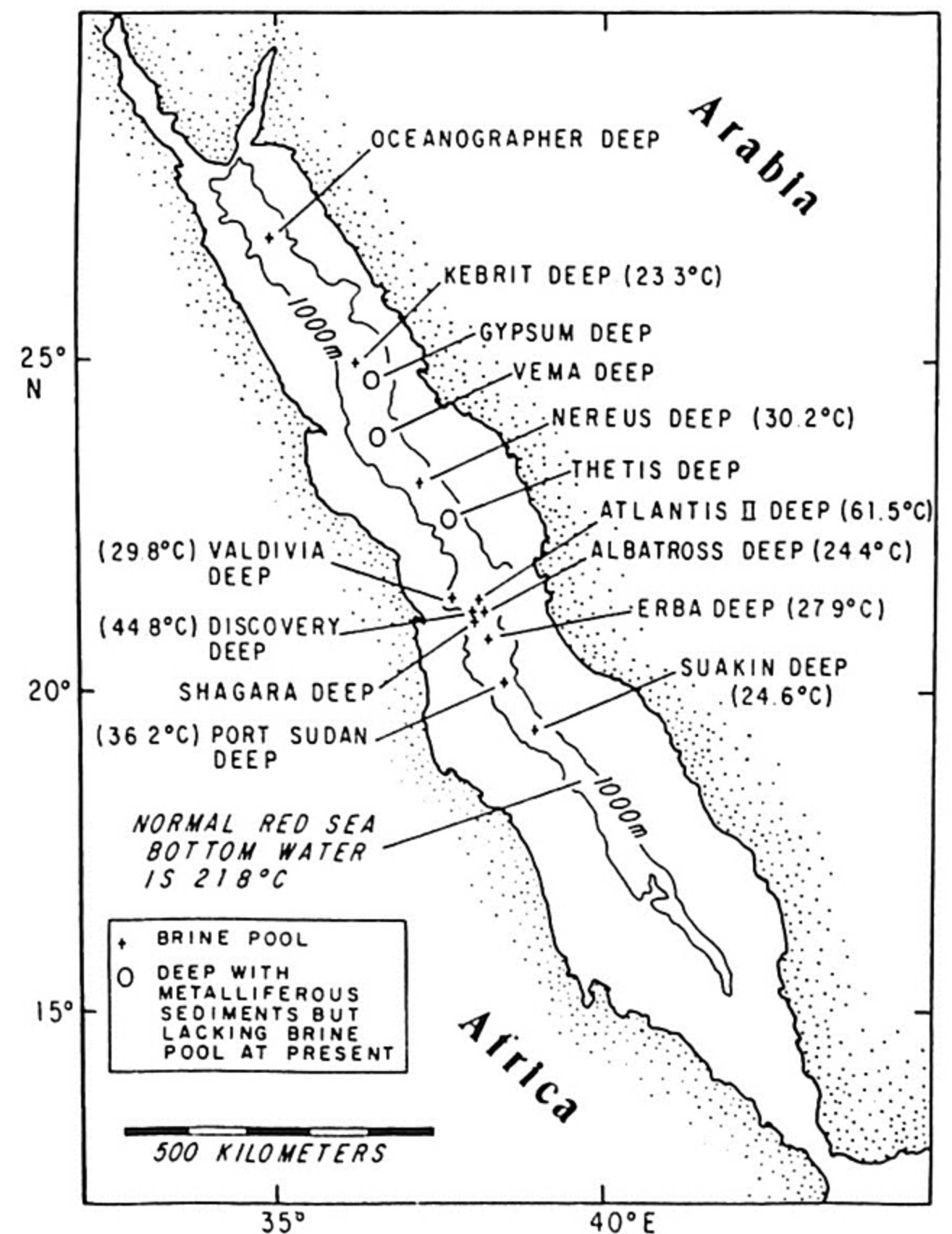
図—3 地中海の深発地震面。ギリシャ海溝 (Hellenic Trench) からクレタ島やペロポネソス半島の下へ沈み込んでいる。

許靖華 (Kenneth Jinghwa Hsü) の著書「地中海は砂漠だった」(Princeton Univ. Press, 1983, pp. 197) に生々と描写されている。スイスは海岸を持たない山岳国であるにもかかわらず海洋地質学に熱心で多くの優秀な人材を輩出しており、欧州科学財団を通じて ODP にも加盟している。アルプスの成り立ちを理解するにはその源となった海底を知る必要があるとの正しい認識に基づくもので、海底研究が直接の国益や軍事に関係がなくても大いに振興されている良い例であろう。

3. 重金属の宝庫—紅海

地中海から船がスエズ運河を抜けると紅海である。紅海はアラビアとアフリカ大陸に挟まれた幅 300 km, 長さ 1,700 km の細長い海盆であるが、中軸部に水深 2,000 m を超える裂谷があり、その各所に密度の大きい高温濃塩水が溜んでいる。

紅海の海底地形と化学的な特徴はプレートテクトニクス誕生と同じ頃ヨーロッパ各国や米国の研究者の手でかなり詳しく調べられ、1969年3月にはロンドンで王立協会主催の国際集會も開かれて分厚い報告 (Phil. Trans., 1970) も出ている。底層水の温度塩分異常は既に 1948 年に検知され



図—4 紅海の海淵 (Deep) 分布と濃塩水 (Brine) の最高温度 (The Sea, vol. 7, 1981 による)。

ている。

現在までに少なくとも 11 の窪地に高温高塩水が確認されている (図—4)。そのうちでも紅海のほぼ中央に位置するアトランティスⅡ海淵では、

水温 61.5°C, 塩分濃度最大 257 ‰ (通常の海水の約 7 倍) の海水が海底上 200 m を蔽っている。海底面上には鉄 29 ‰, 銅 1.3 ‰, 亜鉛 3.4 ‰, 鉛 0.1 ‰, 銀 0.0054 ‰, 金 0.05 ppm やかなりのバナジン等を含む硫化物が推定 2,830 万トン沈積しているとされる。底層水は酸素を含まず還元なので重金属硫化物はいつまでも溶けずに保存されるとともに底層水自体多量の重金属を含んでいるので, うまく採取できれば十分鉱業的に採算がとれると思われる。紅海についてはサウジアラビア・スーダン紅海開発公社の手で西暦 2,000 年までに陸の鉱山業に匹敵する経済効率を上げるべく計画中とのことである。

紅海中軸部の海底には玄武岩の露頭も知られ, 明瞭な磁気異常も存在するので, 海底が中軸を中心として拡大を続けていると考えられる。掘削は 1972 年 4 月の第 23 次航海後半に 6 地点実施され, 中軸西側の 228 地点 (水深 1,308 m) では 290 m の石灰質堆積物の下に中新世末期と思われるシルト岩と互層する蒸発岩 (厚さ 35 m) を採取した。中新世の蒸発岩はアトランティスⅡ海淵東縁 (中軸から 4 km) の 227 地点 (水深 1,795 m) でも掘削された。この掘削結果は紅海は中新世には既に拡大していて, メッシナ乾涸期を経験していることを示している。

紅海の拡大がいつから始まったかは議論が分かれる所であるが, 少なくとも 2 つ以上の拡大期が間に休止期を挟んで存在したことは確からしい。現在は明らかに拡大中で, 中軸部直下には高温のマグマが上昇してきている。周囲から玄武岩層の割れ目を通して染み込んでいった海水が熱せられて重金属を溶かしながら噴出するのは中央海嶺と同じだが, 玄武岩層直上に岩塩層がある所では高塩分の海水が熱水になる可能性が高い。

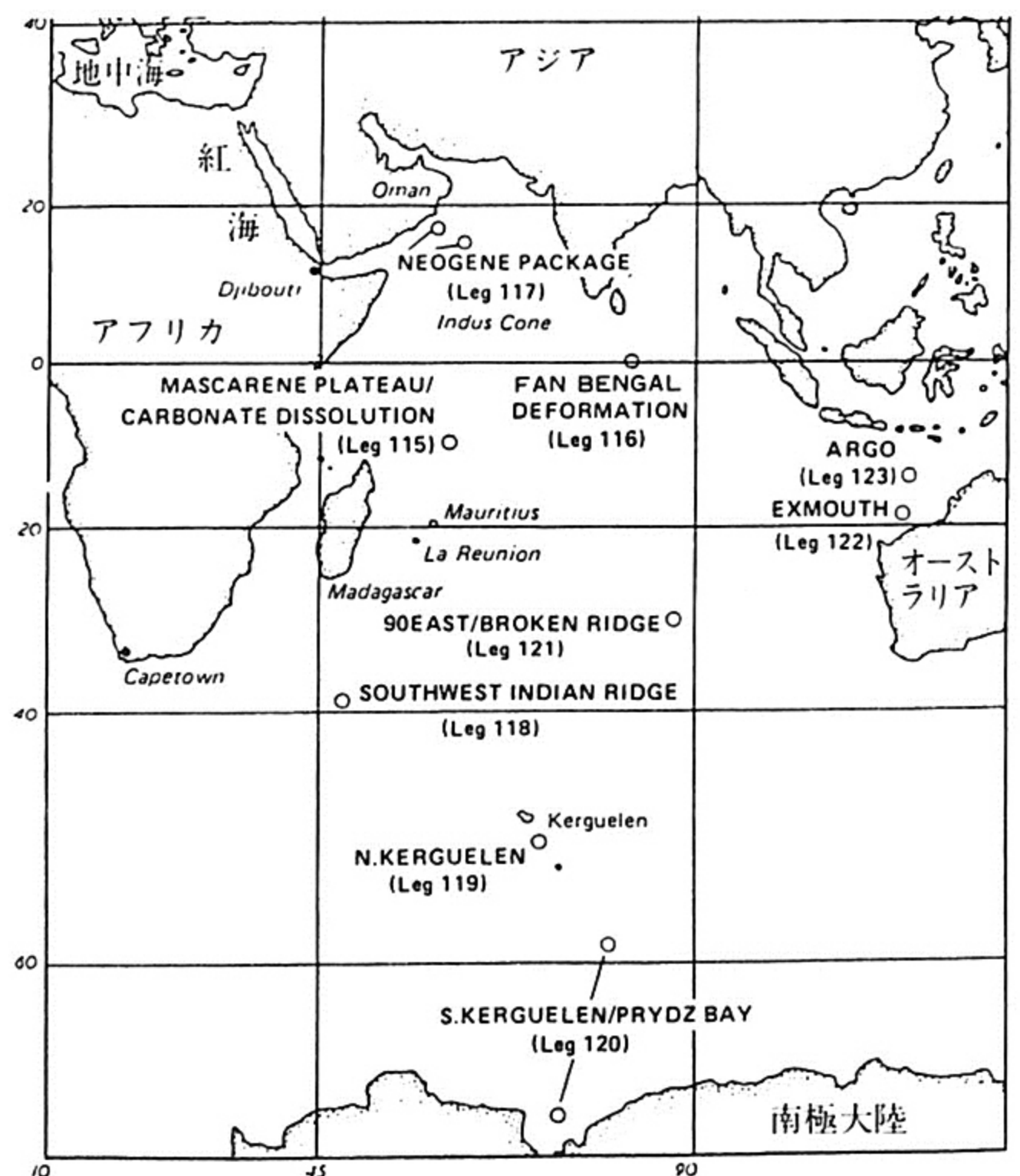
塩分の濃い熱水は通常の高温海水よりさらに重金属を溶かしやすいことが知られているので, 特に多量の重金属を含む超高密度の熱水がアトラン

ティスⅡ海淵などの中軸に噴出すると, 周囲の海水とは混じり合わずに長期間窪地に滞留する。温度も下がらずにゆっくりと多量の硫化金属鉱床を析出するであろうし, 濃塩水にも微粒子として重金属が懸濁している可能性もあるので, その海水をくみ上げるだけで金属資源の採取も可能かもしれない。

4. インド洋に見るヒマラヤとモンスーンの歴史

紅海を後にアデン湾を東へ向かうとそこはもうインド洋の北部アラビア海である。掘削船ジョイデス・レゾリューションは実はこのコースでなくアフリカの南端喜望岬をかすめて南極海域を掘削しながらインド洋へ入ったのだが, ここで 1987 年 5 月に始まる第 115 次から 1988 年 11 月に終わった第 123 次航海まで 1 年半合計 9 航海にわたって南北インド洋に居続けることになる。

インド洋は日本から遠いので, 特に西部には地質調査船はほとんど足を踏み入れたことのない処



図—5 インド洋掘削航海の海域と各航海のテーマ。

女地だったが、今回の掘削航海には19人も乗船して各航海で重要な働きをするとともに、日本による情報と試料をもたらした。採取された試料を国内で分析した人も多いので、日本のインド洋地学は急に盛んになったといえるだろう。成果の一部は月刊「海洋」22巻5~6号(1990)にまとめられ、「ニュートン」9巻9号(1989)にも紹介されているので、ここにはインド洋の海底掘削から地球環境の変遷を明らかにしたいきさつをお話ししよう。

インドは今から2億年ほど前に南極大陸から分離して以来延々と北上を続け、4千万年前頃アジア大陸に衝突するとともにチベット・ヒマラヤの山脈をつくった。しかし、ヒマラヤはその後ずっ

と今のように高かったかというとは必ずしもそうではなく、空高くそびえ立っていた時期と、案外低くてデカン高原などの蔭に隠れてしまいそうな時期があったらしい。そして今から約百万年前から急速に隆起して現在の世界の屋根といわれる大山脈になったとされている。

インド洋の海底はじつとこのヒマラヤの成長やエベレストの誕生を下から見つめ続けてきた。掘削した海底堆積物の連続コアを上から順にたどることによって、過去に起こった幾つもの事件の一つ一つをビデオテープをかけ直すように読み取ることが出来る。

一般に山が高くなり急勾配の陸地面積が広がると、それだけ川も急流になり侵食が激しくなる。

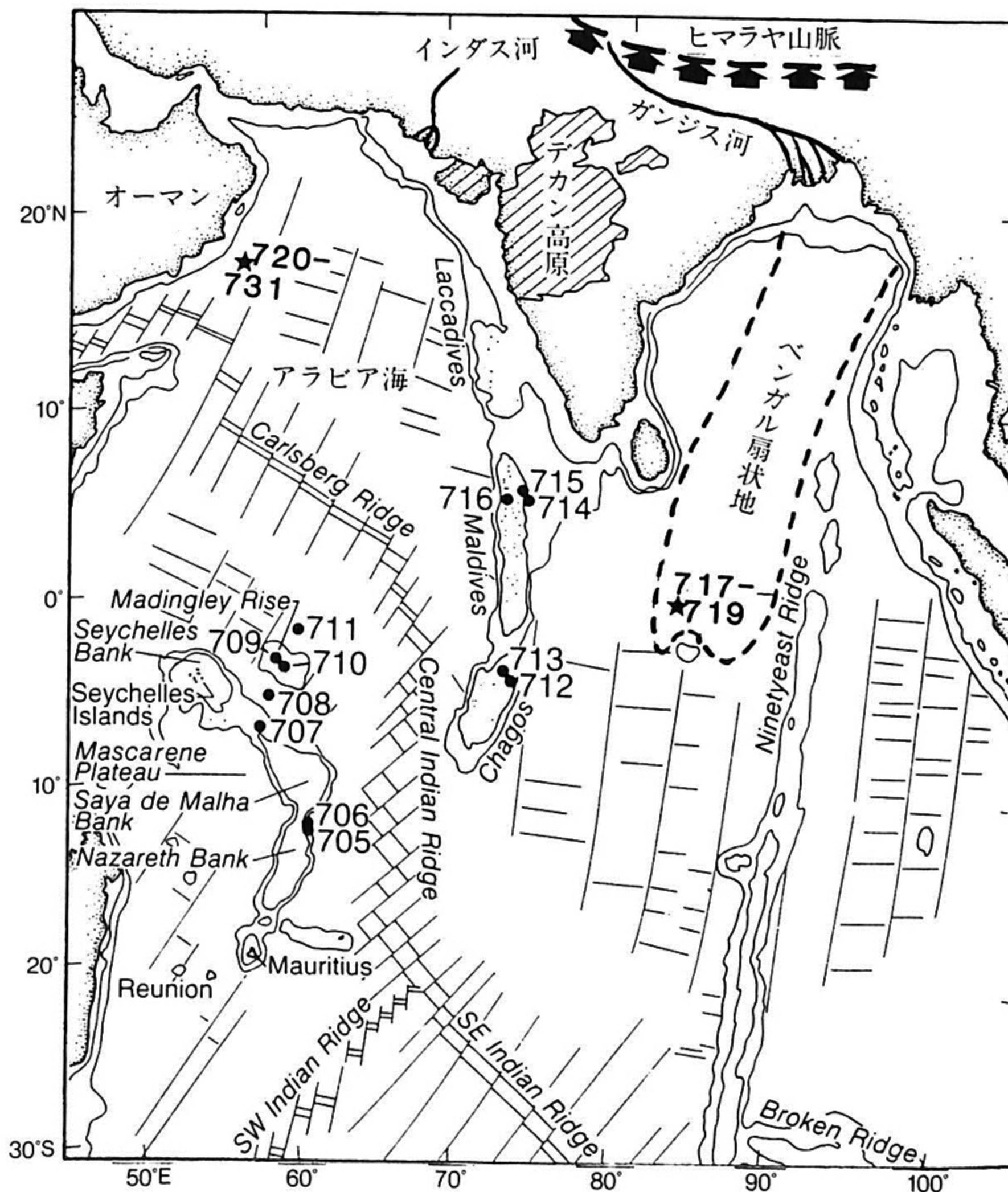


図-6 インド洋北部の海底構造と航海115~117の掘削点。

岩石が削られてできた土砂は河口から海へ流出し、乱泥流となって大陸斜面を下って深海に大きな扇状地（デルタ）をつくる。近くでは日本海東部の富山トラフ突端部の海底には乱泥流堆積物（タービダイト）が厚く積っているが、この源は日本アルプスであることは間違いないので、日本海堆積物を上から下までたどることによって立山や槍・穂高などがいつから高くなったかまで明らかにすることができると思われる。実際には、崩れやすいタービダイトの中に長い孔をあけて連続試料を採取するのは技術的にかなり難しいので、日本海の提案は富山トラフではまだ実現していないが、東北日本と西南日本が合体して中部山岳地帯がつくられた歴史や伊豆半島が本州に衝突して赤石山脈が高くなった時期も同定できるだろう。

インド洋ではヒマラヤがけずられてできた細粒の土砂はガンジス川で運ばれてベンガル湾に注いで、海底に広大なベンガル扇状地をつくっている（図-6）。1987年7月に始まった第116次航海はこの下（水深4,737 m）に1,000 m近い孔をあけてヒマラヤの歴史に挑戦したのであった。

ヒマラヤが高くなったことは単に土砂の供給源が増えたにとどまらない。むしろ人類にとって大きな影響は山脈が壁となって起こるジェット気流の蛇行と枝分れであろう。というのは、これこそが現在のインドや東南アジアにモンスーンを生み、日本の梅雨を起こすとともに、サハラを砂漠化した元凶だからである。

中緯度の高さ8 km付近にはコリオリ力のできた偏西風が風速100 m/sにも及ぶ高速で吹く帯があってジェットストリームとよばれるのはご存知のとおりである。冬にはかなり低緯度を通っていたジェットストリームは夏が近づくにつれて北上し、エベレスト（8,848 m）やマナスル（8,156 m）など8,000 m級の高山多数を擁するヒマラヤ・チベット高原にぶつかり、山をさけて南北2つに分れる。上空のこのような蛇行は地表付近の風系

にも影響を与え、インド洋ではアラビアからインドに向かう南西の季節風が吹く。この風は暖かいアラビア海を吹き渡るので湿ってインドに有名な雨期をもたらす。大量の雨水は陸地の侵食と運搬を助け、扇状地はベンガル側ばかりかインダス側にも発達する。堆積物も風化が進み、粘土鉱物が増え、掘削は容易になる。

アラビア海の南西季節風は表層海水を陸（オマーン）岸から遠ざける働きをするので、そのあとに栄養塩に富む底層水の湧昇を生じ、プランクトンが大発生してよい漁場となる。ペルー沖の湧昇域と似ている。プランクトンや魚の死骸は海底に向かって落下しつつ酸素を消費して分解される。深さ1,500 mほどの海中に酸素極少層を生じるのはこのためである。

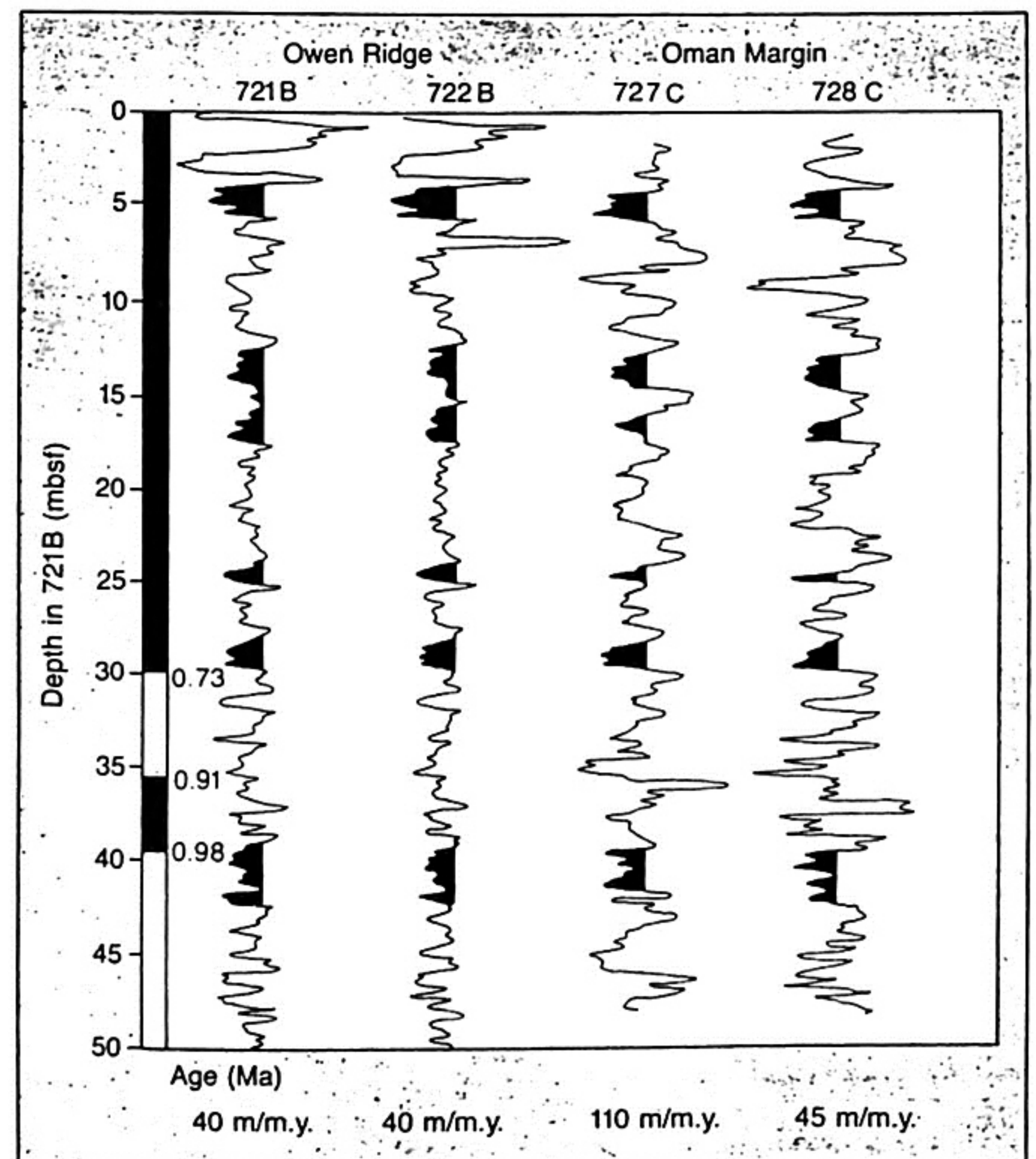


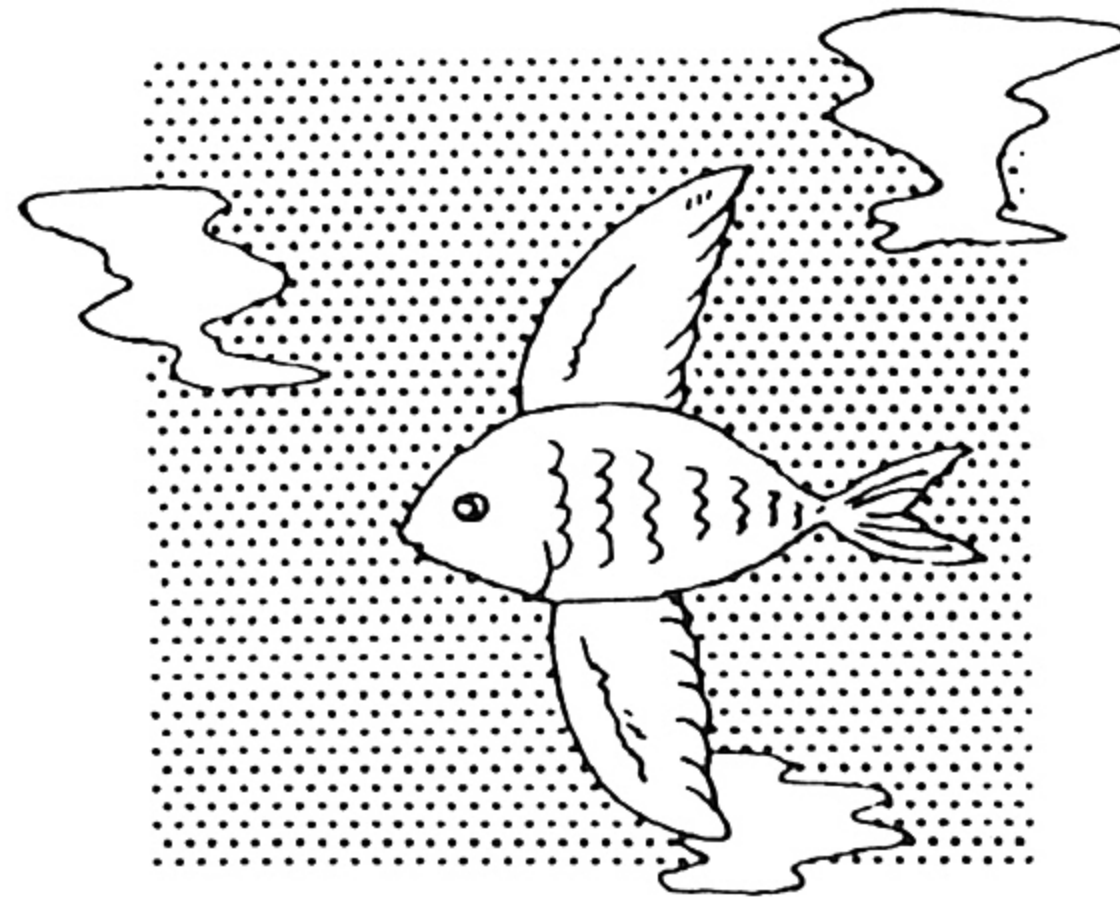
図-7 第127次航海で採取された海底堆積物コアの帯磁率による対比。黒く塗った範囲のパタンの類似は特に顕著である。陸源物質（デカン高原玄武岩など）の磁鉄鉱含有量はプランクトン起源の石灰質堆積物よりはるかに多いので、この方法で詳しい古環境対比が可能である。下欄の数字は堆積速度を示す。

アラビアの大陸斜面には水深1,500 m前後の地形がかなり広く分布する上、東側に構造的高まりがあるので酸素に富んだ底層水の流入が妨げられて海底が強く環元的になり、真黒な泥が堆積している。第127次航海ではこの湧昇域を中心に極めて連続したコアを多数回収することができ、帯磁率測定データや炭素と酸素の同位体分析などを基準にして過去の気候変動を数千年以上の細かい精度で復元することに成功した。氷期と間氷期の差も明瞭に検知された。

ヒマラヤはモンスーンを生じてインドに雨を降らせるとともに、そのあとの乾いた空気は逆に熱帯偏東風となって南側のアラビア半島やサハラを砂漠化させる。ヒマラヤ山脈は草木の生い茂るグ

リーンサハラを砂漠化した責任もある。地球全体が寒い氷期にはジェットストリームはヒマラヤまで南下しなかったのでインドモンスーンが弱くて、インド大陸が乾燥する代わりにアラビア、サハラは湿潤化して、オーマン沖には河川から陸源物質が大量に供給されることも分かった。

ヒマラヤの生成はインド洋だけでなく、ジェットストリーム分枝と蛇行のもう一つの結果として日本の梅雨を生み、日本をアジアモンスーン地帯の仲間入りをさせることになった。日本の古気候がどう移り変わってきたかはこれに続く日本海の掘削によっていよいよ明らかにされることになる。



海に魅せられて 半世紀(Ⅵ)



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

9. 昭和 30 年代前半 (1)

昭和 30 年は 1955 年である。5 の違いであるので、昭和の年代を西暦に換算するのは比較的容易である。

本文では、これからも基本的には西暦を使わせて頂くが、時折、昭和の年代で表現することも多いと思われるので、読者の方々が適宜、御換算下さるようお願い申し上げます。

1955 年 7 月末、長かった、しかし実り多かったアメリカ留学から帰国した。

ラホヤは、亜熱帯高圧帯に位置するが、岸沿いに南下するカリフォルニア海流は寒流で冷たく、蒸発量が少ないので、乾燥している。気温の年較差も少なく、摂氏 10~20 度程度の感じで、四季の別は余りはっきりしない。いわば年中春か秋の感覚である。

帰国して、羽田に下り立ったとき、むっとした高温と湿気に出会って、ケッペンが北海道を除く日本列島を温暖湿潤の気候帯に入れた意味を実感した。因みに W. ケッペンは、ロシア生まれで 19 世紀から 20 世紀前半までドイツで活躍した著

名な気候学者であり、大陸移動説の A. ウェゲナーの義父に当たる。ウェゲナーはこの義父から多くの示唆を受けたはずである。

さすが、疲れていた。そしてほっとした安堵の気持で身体から力が抜けてゆくのが感じた。

やはり、滞米中、緊張していたのである。

坂本先生、日高先生は共に私の帰国を心から喜んで下さった。その温顔は生涯忘れ得ぬものである。

当時、地質の教室は 5 講座で、第 1—久野教授、第 2—小林教授、第 3—渡辺教授、第 4—高井教授、第 5—坂本教授が講座を担当しておられた。

助教授はほとんどの講座で欠けていた。

帰国して間もなく、久野先生から、“今度日本も南極大陸に観測基地を造ることになり、海上保安庁の宗谷が往復する。途中色々と観測が実施されるので、奈須君、乗船して南極基地までの往復に参加しませんか”，とのお声がかかった。

有難い話ではあったが、疲れが回復していないので、丁重に御辞退申し上げた。以来、今日に至るまで、他の大陸には全部足を踏み入れたが、南極大陸だけは手付かずである。ちょっと残念な気もする。

ただ、過去10年近く、石油公団の南極地域石油天然ガス基礎地質調査委員会の委員長を仰せつかって、南極大陸周辺海域の地質調査に関与させて頂いているので、全く無縁ではない。

話しを元に戻す。帰国してすぐ、坂本先生から“直ちに日本における海洋地質の研究に着手して欲しいが、平行して陸地の地質研究も進めて欲しい。それは、君が教室のスタッフとして残ることに関して、自分以外の教室の先生がたから課せられた条件である”，という趣旨のお話があった。

当時、海洋地質学はまだ揺籠期で、地質学としては傍流であり、主流の一つとして認知されてはいなかった。

坂本先生が、海洋地質学の将来の発展を当時すでに見抜いておられたことは明らかであった。他の先生がたが、その発展を予見されつつも、当時の主流である陸地地質学の研究の成果を挙げることを私に要求されたことも、ごもつともなことである。

私は、坂本先生と御相談して、宮崎県北部に分布する新第三紀の宮崎層群を研究の対象として選んだ。

2年間にわたって夏と冬、地質調査を行った。

宮崎層群も砂泥互層を主体とする堆積層である。

全体として東に単傾斜する構造を示し、東方の大陸棚の地下まで地層が連続して分布していることを推定させた。

しかし、調査半ばにして、当時、九州大学の地質学教室に在籍され、現在は名誉教授になっておられる首藤次男氏が、宮崎層群の地質と形成の経過をまとめた名論文を発表された。

私は出番を失った。したがって、私の宮崎層群の調査結果は、当分の間、お蔵入りせざるを得なくなった。そして、その状態は現在なお続いている。まさに、幻の論文である。

ただ後に、東京大学海洋研究所の淡青丸を用い

て、当時、大学院の学生で現在、琉球大学の理学部海洋学教室の助教授を勤めている木村政昭君と宮崎沖の日向灘の音波探査を行った時に、この宮崎層群が大陸棚の端まで陸上と同じく東へ傾斜していることを発見した。

この事実は、宮崎層群を形成する堆積盆地が相当大規模なものであることをうかがわせた。

その後の日本列島周辺の海洋地質調査の進展によって、この事実はおいおいと明らかにされていった。

帰国後の一時期、私が、海洋地質調査と平行して宮崎層群の調査を行ったことは、その結果は公にされる機会を失ってはいるが、学問的な意味では私自身にとって大きな肥やしとなった。

宮崎層群については、いまでも未練を残している。

ところで、これまた帰国後すぐのことであるが、渡辺先生は、“奈須君、君がもしこのまま東京大学のスタッフとして残るつもりなら、今少し沈んだ表情をして過ごしたまえ。君は余りに明かる過ぎる。それでは残れないよ”とおっしゃった。

誰がこれまでのアドバイスを下さるであろうか。私は渡辺先生に深く感謝した。

本来なら、このような会話は秘めておくべきものである。しかし、あえて私がこのことを記すのは、教授と若い研究者との間に、こうした親身な会話が交わされる事実もある、ということを知って頂きたかったからである。

私はそれからやや沈んだ表情をして歩くようになった。そして気づいたことは、そうすると、うわづった気分が消え、落ち着いた気持ちで日常生活を過ごすようになった、ということである。

あの渡辺先生の言葉は、新知識を一杯詰め込んで帰国した、というややおごりにも似た気持ちが表情にも現れていた、あるいは、現れる恐れがあった当時の私に対する親身な叱責の言葉であったのである。

帰国の翌年、すなわち昭和31年4月1日づけで私は教室の専任講師に任命された。学部及び大学院担当となった。所属は坂本先生の第5講座である。この講座は堆積学の講座となっていた。当時の日本としては、まだ珍しい名称の講座であった。

学部の堆積岩石学と大学院の海洋地質学の講義を担当することとなった。

昭和31年は1956年である。ちょうど、A. ウェゲナーの大陸移動説の真実性が英国のS. ランコーンらによる古地磁気の研究によって認識され始めた頃である。

R. ディーツとH. ヘスの大洋底拡大説が提唱されたのが1961~62年であるから、その6~7年前である。

1956年当時の私の海洋地質学の講義ノートと、1984年、東大を定年退官した当時のノートを比較すると、この分野の学問が、この間にすさまじいほどの進歩を遂げた様子がありありと表れている。

この間に、中央海嶺系の発見、大洋底拡大説、ホットスポット、トランスフォーム断層、プレートテクトニクス説など、数世紀に一度あるかないかと言えるほどの科学的発見・発想が相次いで行われたものである。

時により人は、私が、海底の分野の科学的発展について先見の明を持っていたのではないかと行って下さる。事実は全く逆である。

前にも述べたように、砂泥互層の成因に関心を持ったとき、それらが堆積する場所としての海底の存在に気づき、そこでの堆積過程を考究しようとしたのが、海洋地質学に入ったきっかけである。

そのための勉強に行った1年のつむりの留学が、思わず4年となり、帰国したときは既にこの分野に魅せられて、のめり込みの状態となっていたのである。

したがって、私の場合、結果的に、思いもかけ

ず、たまたま激動的に襲来した、海洋地質学を含む海底地球科学の進展の大波に巻き込まれて数十年を瞬時のように過ごしたまでのことである。

帰国当時、確かに海洋地質学は地質学の傍流であった。

しかし、私には、通俗的な表現をお許し頂けるならば、すでにして御飯が食べられる工学士の資格を持ちながら、あえて好きな研究の道に入るために、将来、食べられるか食べられないか分からない地味な分野に入ったのであるから、本当に自分の好きな道を歩きたいという強い思いがあった。

それで、海洋地質学を続けるという我が儘を通したのである。

その結果が偶然にも海洋地質学の汎世界的な発展の時期に際会することとなったのである。

大塚先生や坂本先生は、この分野の発展を明らかに予見しておられた。故にこそ、私という船をあえて傍流に浮かべられたのである。

これもまた帰国して間もなくのことであるが、私は、教室の先生方のお集まりの席で、スクリップス海洋研究所で頂いたPh.D.論文の内容を説明するようにと命ぜられた。

その時の私の説明は3時間以上に及んだと記憶している。今にして思えば、あの説明会は、私に対する登竜試験であったのであろう。

このPh.D.論文は、構成内容の3テーマに分けて、1956年の9月から次々と理学部紀要に発表した。

坂本先生は私の帰国後1年を経た1956年8月から58年の8月にかけての2年間、ユネスコ派遣の専門家としてアマゾンに赴かれた。その地で鉱物資源の賦存状態の調査をされ、多くの業績を挙げて帰国された。始め1年間の御予定であったが、現地側のたつての要請で1年の延期をされた由、後に他のルートから伺った。

坂本先生のお留守中であるが、1957年4月私

は伴侶を得た。

媒酌の労は、私の留学中、既に退官されておられた坪井誠太郎名誉教授御夫妻がとって下さった。

私の側^{がわ}で宴にお招きしたのは、友人・親戚の他は主として教室の先生がたであった。

坂本先生は、終戦前すでに奥様を亡くしておられたので御媒酌はいずれにしてもお願い出来ない立場にあられた。

御出席下さった先生方はこもごも立ってスピーチをして下さった。

そして、驚いたことに、少しは先生方の誉め言葉を期待していた私の耳に入って来るのは、いず

れも訓戒のお言葉ばかりであった。

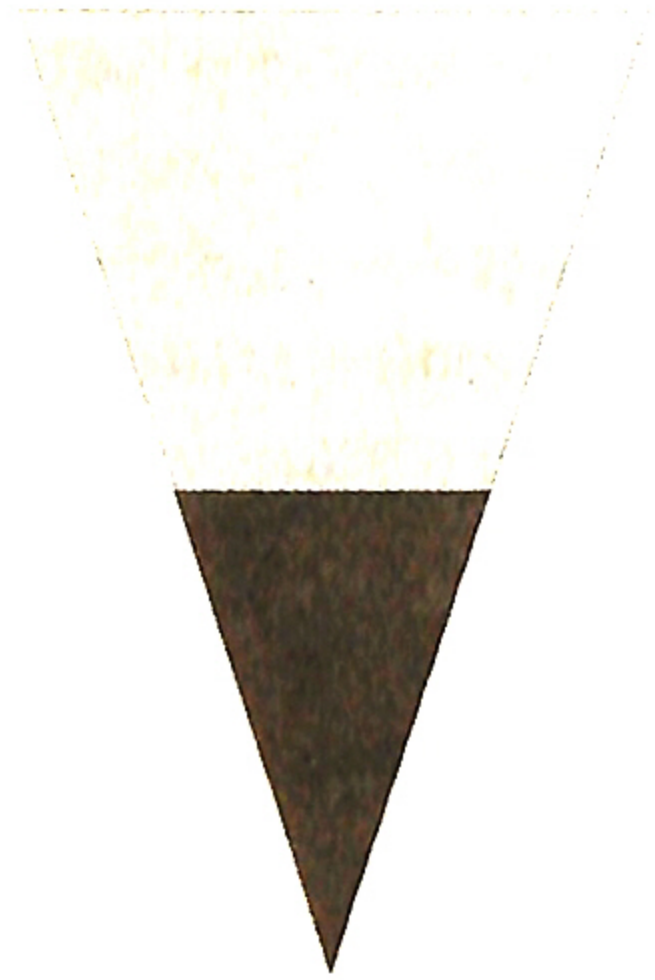
先生方が、ある意味では同僚の末端に加えて頂いた新米の身内を叱咤激励されたのであろう。

そうとでも解釈しないと、誉め言葉を一言も頂けなかったという事実を説明でき兼ねると、今もって自分に都合よくこじつけている。

この辺の記述は、私と海とのかかわりとはやや離れた側面である。

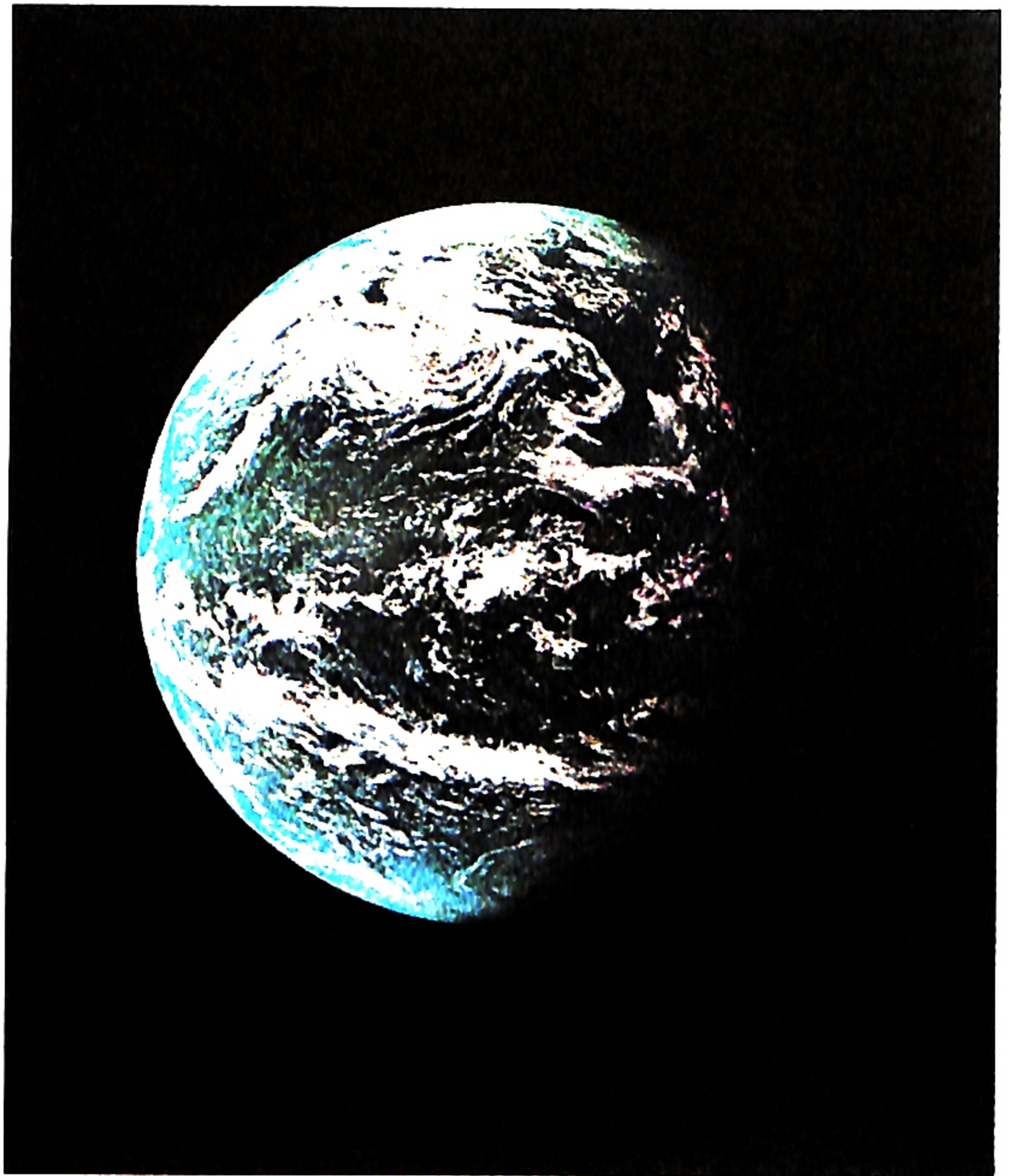
しかし、この辺の事情もあえて述べさせて頂いた上で、本題に戻させて頂く。いわば、当時の私の研究の背景を察して頂くために、回り道をさせて頂いたのである。





沈み込み始めた海底

深海研究部長 堀田 宏
Hiroshi Hotta



宇宙に浮かぶ地球

1. 日本海に起こった大事件

1983年5月26日、お昼近く外から掛ってきた電話に応待していた時、かすかに揺れのようなものを感じて「あれ、地震かな？」と一瞬頭をかすめたがそれ以上気にするものでもなかった。この日、潜水調査船「しんかい2000」は、来たる6月から日本海の富山湾で始まる本格的な潜航調査に備えて朝から相模湾で訓練潜航を行っているところであり、そちらの具合の方が余程気になっていた。

やがてお昼のニュースで、ちょうど正午頃に秋田県地方の日本海の沖合で大きな地震が起こり、地震の強い震動によって各地に大きな被害が出て

いることが報じられた。さらに追いかけるように、この地震による津波が沿岸各地を襲い、多くの行方不明者が出るなど甚大な被害を与えたものであることが伝えられた。TVには、秋田市内等で激しい揺れに逃げまどう人々や能代港等で壊れた岸壁やその周辺の施設等が映し出されたほか、岸壁にももの凄い勢いで押し寄せる津波に追われて必死に走って逃げる人々の姿も放映され、多くの人々の心に戦慄をおぼえさせた。さらに男鹿半島の先端では、春の海岸に遠足に来ていた小学生の内13人もの生徒が津波にさらわれて行方不明となり一層人々の悲しみを深めた。当時の手帳を見ると5月25日（木）の欄に、“12時秋田沖／日本



図一 輪島港に打寄せせる津波

(東海大学, 1984。昭和 58 年日本海中部地震)
写真報告集より (輪島工場運輸省提供)。

海中部地震 (39.9°N, 138.1°E <秋田沖約 160 km>, M: 7.7, 深さ 40 km)” と記してある。

この地震は、マグニチュードが 7.7 と専門家の常識をはるかに超えた大きさであったこと、及びそれによって起こった津波による死者が能代港で工事をしていた方々を含めて 104 名という大惨事を惹き越したこと等多くの方面に大きなショックを与えた。科学技術庁では、この「大事件」を正確に把握し、今後の災害防止に役立てるため科学技術振興調整費による「昭和 58 年 (1983 年) 日本海中部地震に関する緊急研究」に着手することになった。

2. 震源域の海底を「見る」方法はあるか？

一旦地震が起こるとその被害状況は、直ちに TV、新聞に映像や写真で報道されるし、研究者達による現地調査も行われる。この地震についても同様であった。しかし、これはあくまでも陸上のことであって深さが 2,000~3,000 m の海底の様子を地震の直後に調査したという例は、いまだかつて無かった。今回の地震については予想以上に津波による被害が大きかったことからその発生域である海底についての“現地調査”が強く要望された。

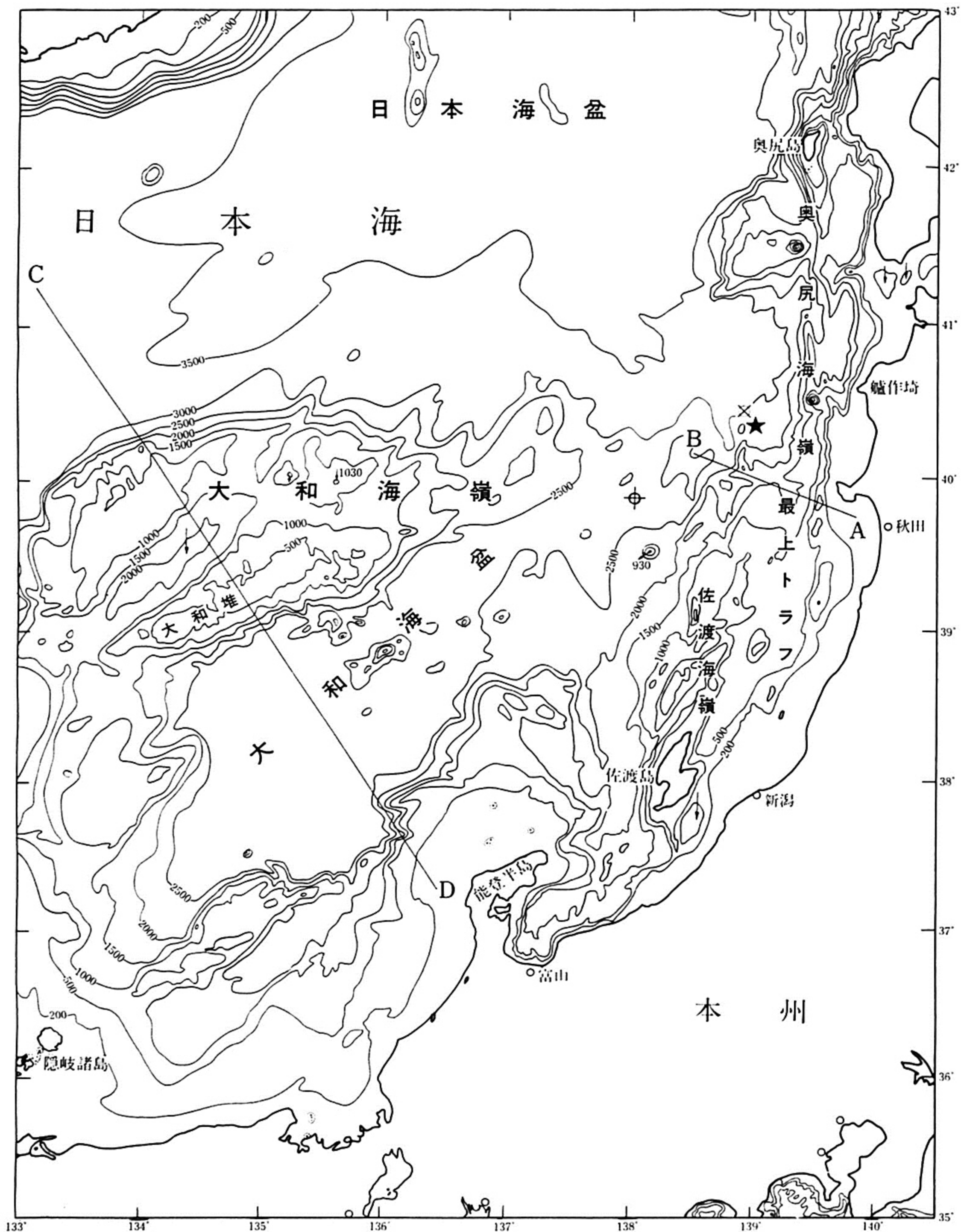
地震から余り時間が経たないうちに、その“現

地調査”に「是非「しんかい 2000」を使いたいと思うがどうか？」という問い合わせがあった。当時新聞等に発表されていた震源の位置を海底地形図に書き入れてみると、佐渡島から北へ延びる佐渡海嶺が西から延びて来る大和海盆を狭めるように接し、その先に広がる広大な日本海盆につながる付近でその水深が 2,600 m から 2,700 m の海底であることがわかった。この深さでは、最大潜航深度が 2,000 m である「しんかい 2000」を潜航させることは不可能である。答えは、「誠に残念ですが、深すぎてとても無理です…」であった。

しかし、当センターでは早くから 6,000 m 程度の海底にある 1 m 位の人工物体を探索できる深海曳航探査装置を科学技術庁からの委託を受けて開発してきていた(本誌各号, 海洋科技センター試験研究報告等)。それをもとに、潜水船の母船「なつしま」には約 4,000 m の同軸ケーブルを使って海底付近に吊り降ろして曳航し、TV カメラをファインダーとして、カメラで写真を撮る装置や幅約 2 km にわたって海底の起伏等の微細地形や底質のほかその地質構造断面を調べることができる特殊なソーナーを積んだ装置「JAMSTEC/Deep Tow」(深海曳航探査装置)が装備されていた。これを使えば深さが約 3,500 m くらいまでの海底の様子は、手に取るように分かるのである。実際、これは「しんかい 2000」の潜航調査に先立って、調査をしようとしている海域の海底はどんな状況であるのかということを確認するために使われるものであった。これを使えば、潜水船に代わって十分な「現地調査」ができることを説明した結果、当センターは、これを使用して「震源域の局所的目視調査」を分担することになり、10 にも及ぶ名省庁の研究機関に交ざってこの重要な緊急研究に参加することになった。

3. 地震はどんな地質構造の所で起こったか？

早速、調査計画の立案に入った。船としては、



図—2 日本海中東部の海底地形（原図は海上保安庁水路部，日本近海海底地形図第 6301 号に加筆）。
 ⊕：地震発生直後の本震位置。✕：計画当時の位置。★：気象庁発表の本震の位置

当センターが初めて持った潜水船の支援母船「なつしま」(約 1,500 t) がその最新の測位性能や操船性能等から最適であることは明らかであった。ただし、「しんかい 2000」による本格的な調査がいよいよ始まろうとしていた時でもあり、船のス

ケジュールの調整が必要であったが 9 月の中旬から行うこととした。

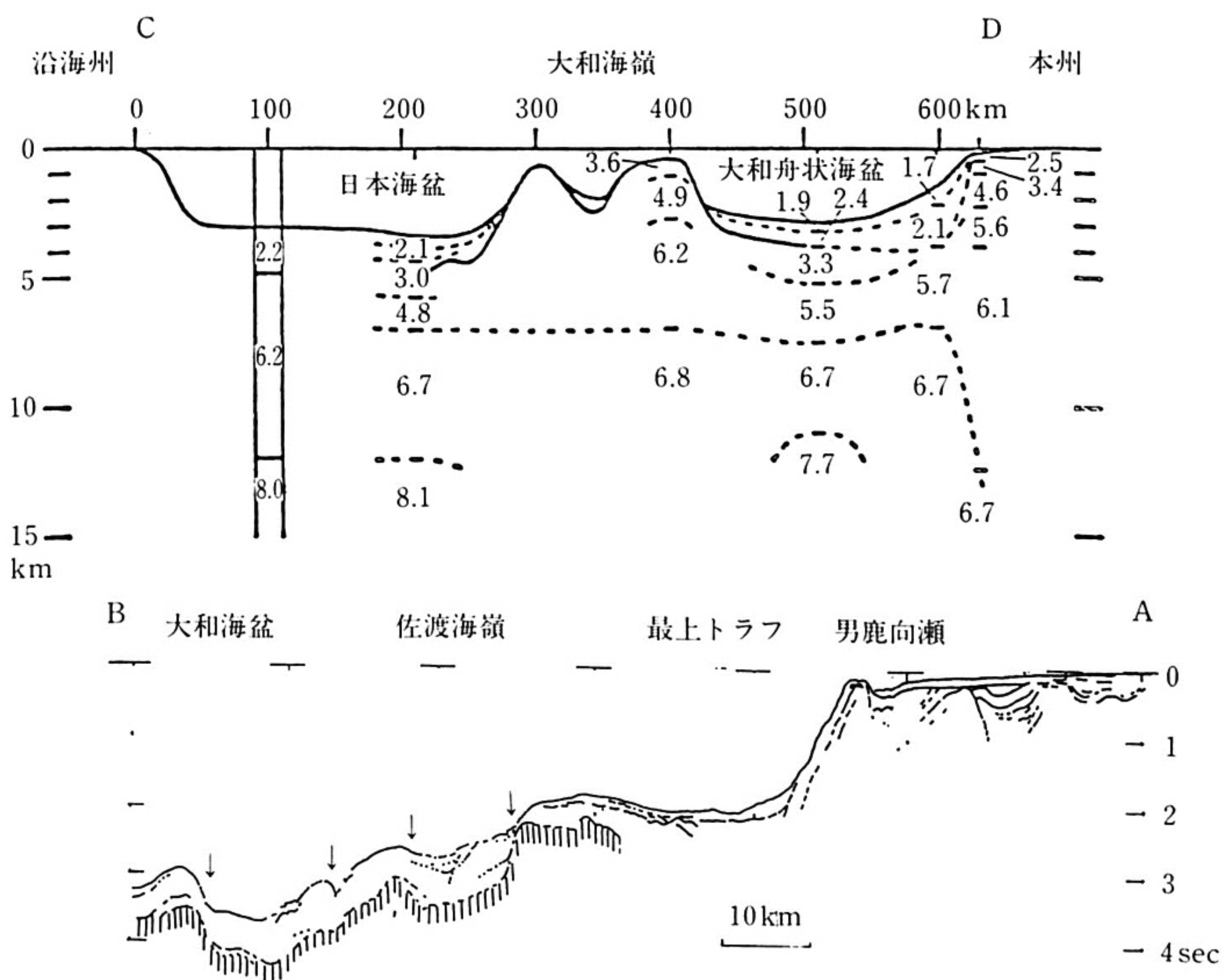
調査測線は、本震の位置を中心として計画することとした。その位置は、先に発表されていたものよりも東寄りに修正され、北緯 40.4 度、東経

138.9度であった。

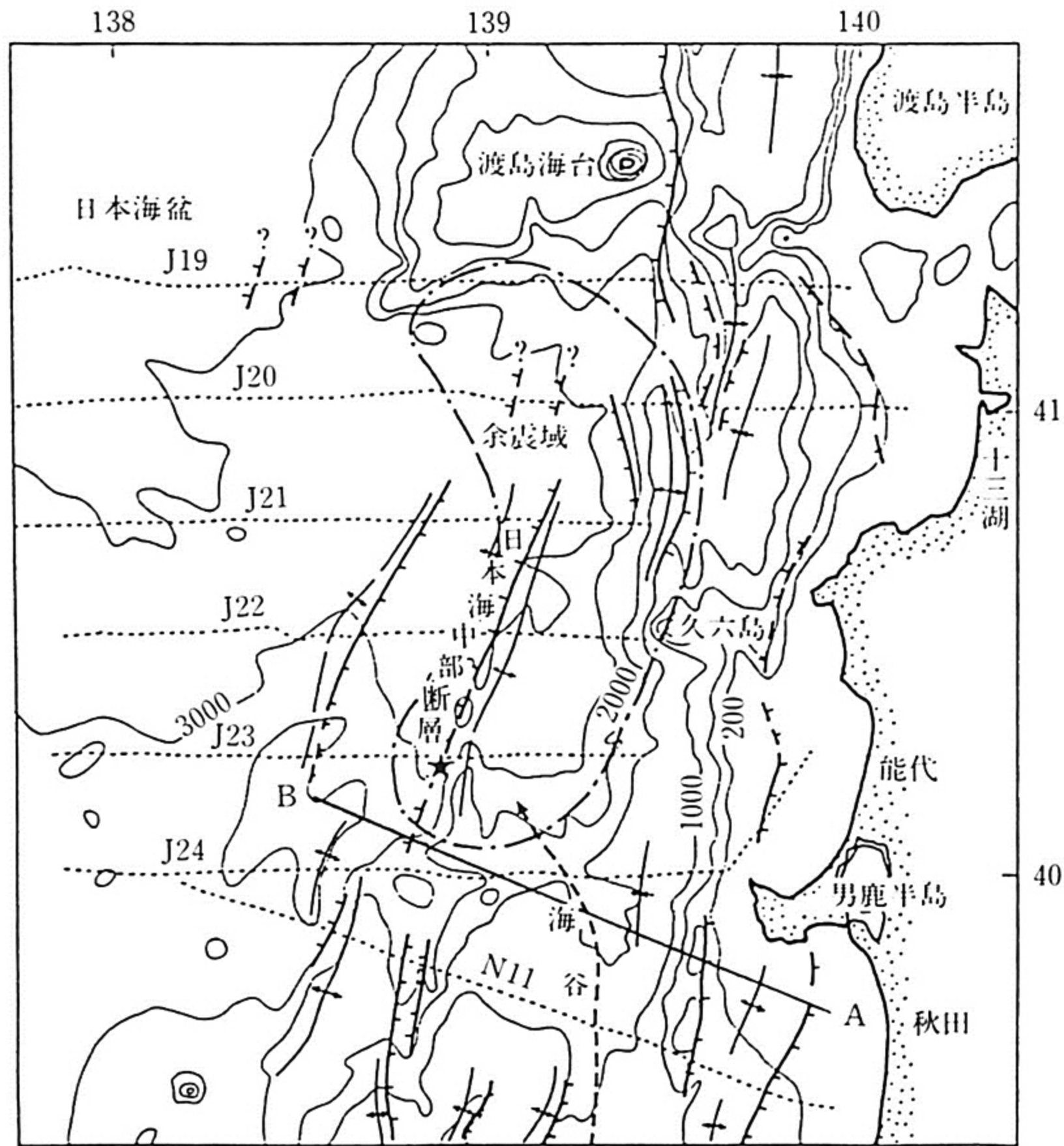
ところで、この地震が起こった海域付近の地下構造はどうなっているのでしょうか？ 日本海における地殻構造の調査は、今を去ること25年前の1965年に、当時国立科学博物館の村内必典博士、北大の田望助教授等を中心としたグループによって2船式の屈折法地震探査及びエアガンを音源とする音波探査によって行われた。筆者は、当時北大の助手としてこれに参加し、解析も分担した。これらの結果によると地震が起こった場所の近くの大和海盆は、日本海盆と同様に堆積層は厚いが本質的には太平洋等のそれと同様に海洋性地殻でできているが水深が2,000 mよりも浅い本州寄りの海域では、いわゆる“花崗岩質層”である6 km/s層が厚く大陸性地殻構造になってい

ることがわかる（前々号、本シリーズ参照）。したがって、この地震は、いわば、日本海の大部分を構成する海洋性地殻と、日本列島の骨組みを造る大陸性地殻とのちょうどその境界で起こったとみることができる。また、余震域の南隅をかすめるような測線について行われた音波探査では、大和海盆にくだり下がる佐渡海嶺の西斜面は断層に切られた地溝状構造が見られ、“大和海盆北端地域は、海底地形及び基盤は凹凸に富み、活発な地殻変動があったことを示している”（堀田, 1967）。

その後、さらに詳しい調査がこの海域を含むほぼ日本海全域について音波探査を主とし、総合的な調査として1977, 1978年に地質調査所によって行われている。その結果、この日本海東縁部には幾つもの断層が指摘されていたが、その内の一



図一3 日本海を横断する地殻構造（堀田, 1972 (村内 (1968) に加筆)) 及び震源域付近の上部地質構造（堀田, 1967）。C-D 測線は2船式地震探査屈折法によって求めたものであり、各層を示す数字はP波の伝播速度 (km/s)。A-B 測線は、エアガンによる音波探査で求めたものであり、深さは音波の往復伝播時間（1秒は約820 m）で示してある。

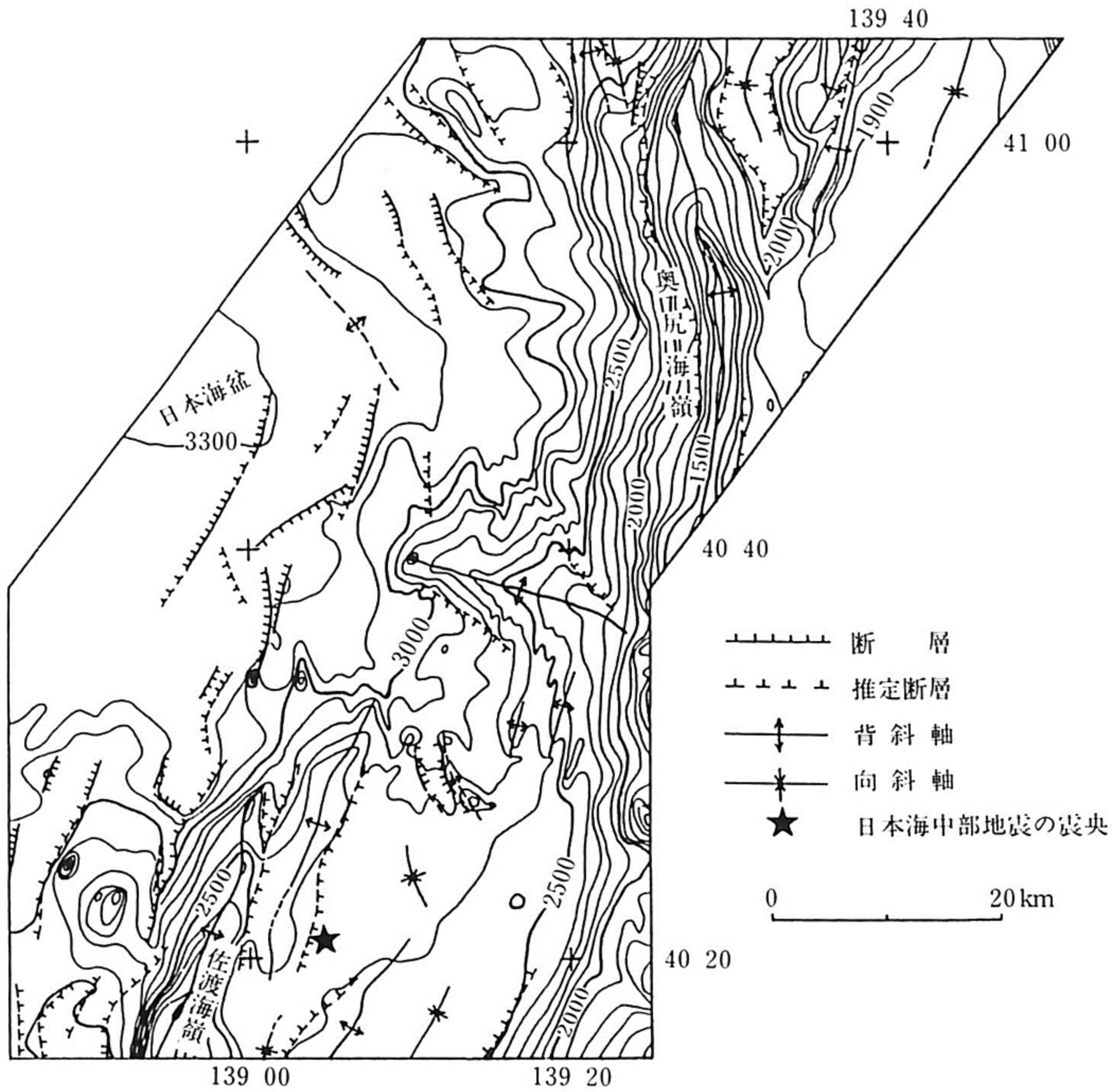


図—4 震源（星印）域付近の断層分布（本座，1983）。一点鎖線は、余震分布域，点線は、地質調査所が行った音波探査の測線。A-B 測線は図—3に示したもの

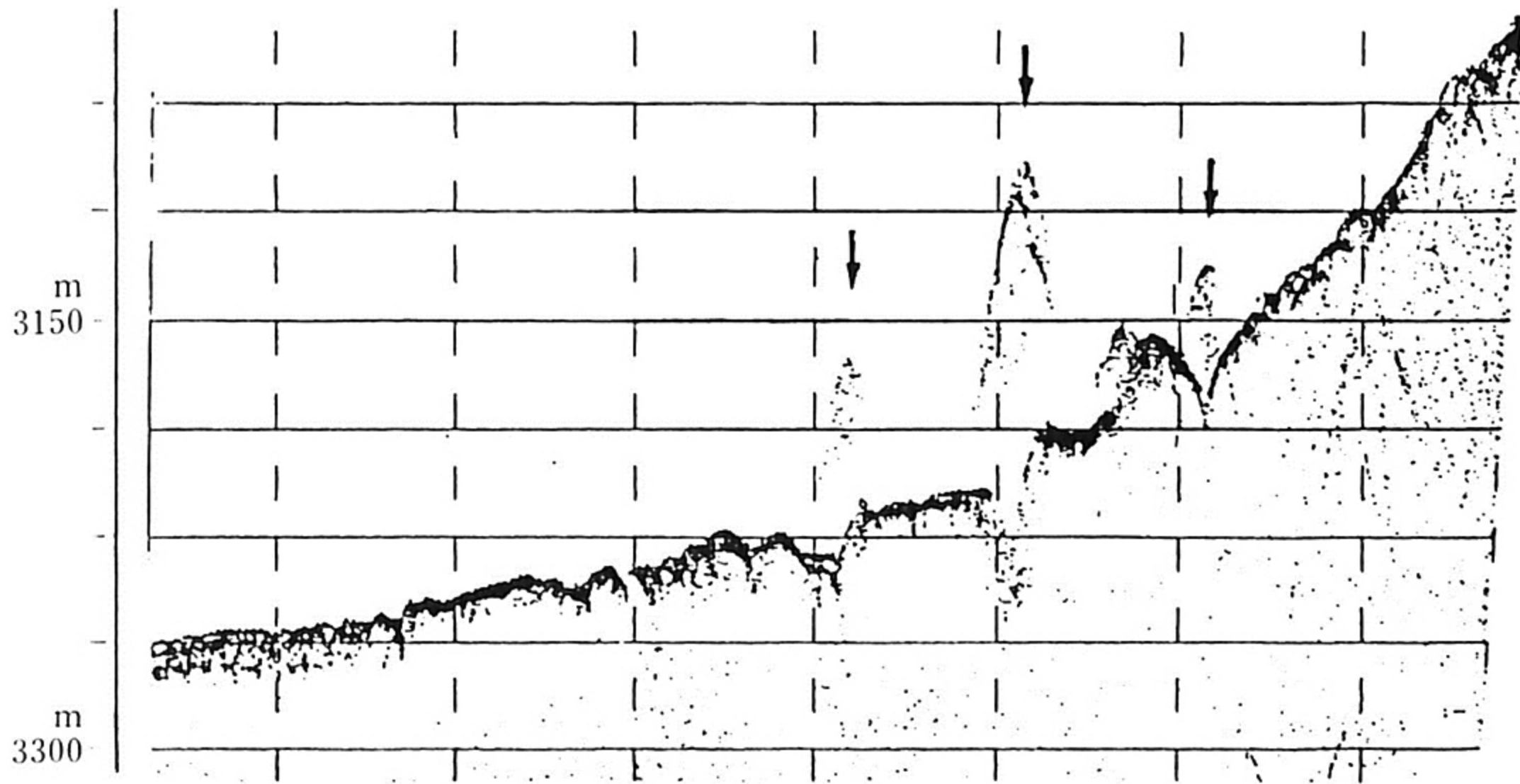
つがちょうどこの本震の位置付近を通り北方へ延びているということ注目された（本座，1983）。一方，海上保安庁水路部は，地震発生の翌日から急拠，測量船「照洋」を現地に送り，詳細な調査を行い，その結果を詳しい海底地形図と地質構造図としてまとめた。それによると本震近くを通る断層は，決して単純に連なるものではなく，断続する何本かの“断層列”であることを明らかにした。この断層列は，全体として $N 20^{\circ}E$ の方向で余震域の長軸方向とほぼ一致していて地震の際に活動した可能性が高いので，何箇所かでこれを横切って調査することにした。また，3.5 KHz の表層探査装置によるとこの断層列の北端部では，海底から最大 100 m を超えるような異様な反射体が幾つか記録されており，それらが本当の海底の隆起を示すものかあるいは何らかの水中における

密度異常，例えば海底下から何らかの物質が噴出していることを示すものか謎であった（桂，1984）。このことについても当センターの深海曳航探査装置で海底に近接して観察をしながら進めば，その正体を明らかにすることができるはずなので調査の範囲を本震の位置から断層列に沿って約 40 km 北方にまで広げることとした。このことについては，海上保安庁水路部の大島章一博士や地質調査所の本座栄一博士らからの貴重な情報の提供や助言を大いに参考にさせて頂いた。

日本海，富山湾における潜水船「しんかい 2000」による初めての本格的な潜航調査を無事終えた支援母船「なつしま」は横須賀のセンターに一旦帰り，電池整備のために潜水船を陸上基地に降した後，JAMSTEC/Deep Tow の装置一式を搭載して再び日本海に向った。



図—5 日本海中部地震震源域調査区域の海底地形，海底地質構造図（（桂，1984）に一部加筆。）



図—6 表層探査装置の記録に表われた異常記録（矢印）奥尻海嶺西側斜面麓の平坦面に移る地帯に見られた異常な記録，矢印で示される崖の上部に双曲線パターンを示す反射記録が描かれている。これは，非常に尖った地形，海底噴出物又は側方の高まりの反射によるものと推定される（桂，1984）

OTC'90調査団調査録

海洋開発研究部 安藤 健太郎 Kentaro Ando
深海開発技術部 長尾 景昭 Kageaki Nagao

米国ヒューストンで開催された OTC '90 (Offshore Technology Conference) に参加し、米国内の海洋関連研究機関並びに企業を調査訪問することを目的に、海洋科学技術センターでは、民間企業からの参加を含め、5月6日より5月20日までの期間、米国を訪問した。以下にこの調査の概略について報告する。

調査員は若狭企画室長を員長とし、合計4名で構成され、OTCの参加3日間を含み、15日間で7研究機関を訪問した。

1. OTC '90

1.1 OTC '90 テクニカル・セッション

研究発表は大小8つの会場で41のテクニカル・セッションに分かれて、211件の論文発表があった。それらは、主に海洋構造物に関する講演やROVに関する講演で構成されていた。こういったセッションの中で“Protecting the Offshore Environment”といったセッションがあり、米国の沿岸開発を行う企業の中に沿岸域の海洋環境を開発に伴う海洋汚染から守ることの認識が高いことがうかがえた。今後、沿岸域の開発が日本でもさらに活発に、また大規模になることが予想され、それに伴う環境破壊は最も考慮されるべき問題となっていくであろう。

講演は、一人30分と十分な時間が与えられている。また、質問形式も質問者が講演者の前方にある質問者用のマイクロフォンまで出てきて質問する形式で行われていた。ただし、全体の参加者の数の割にはセッションへの参加は少ないようであった。



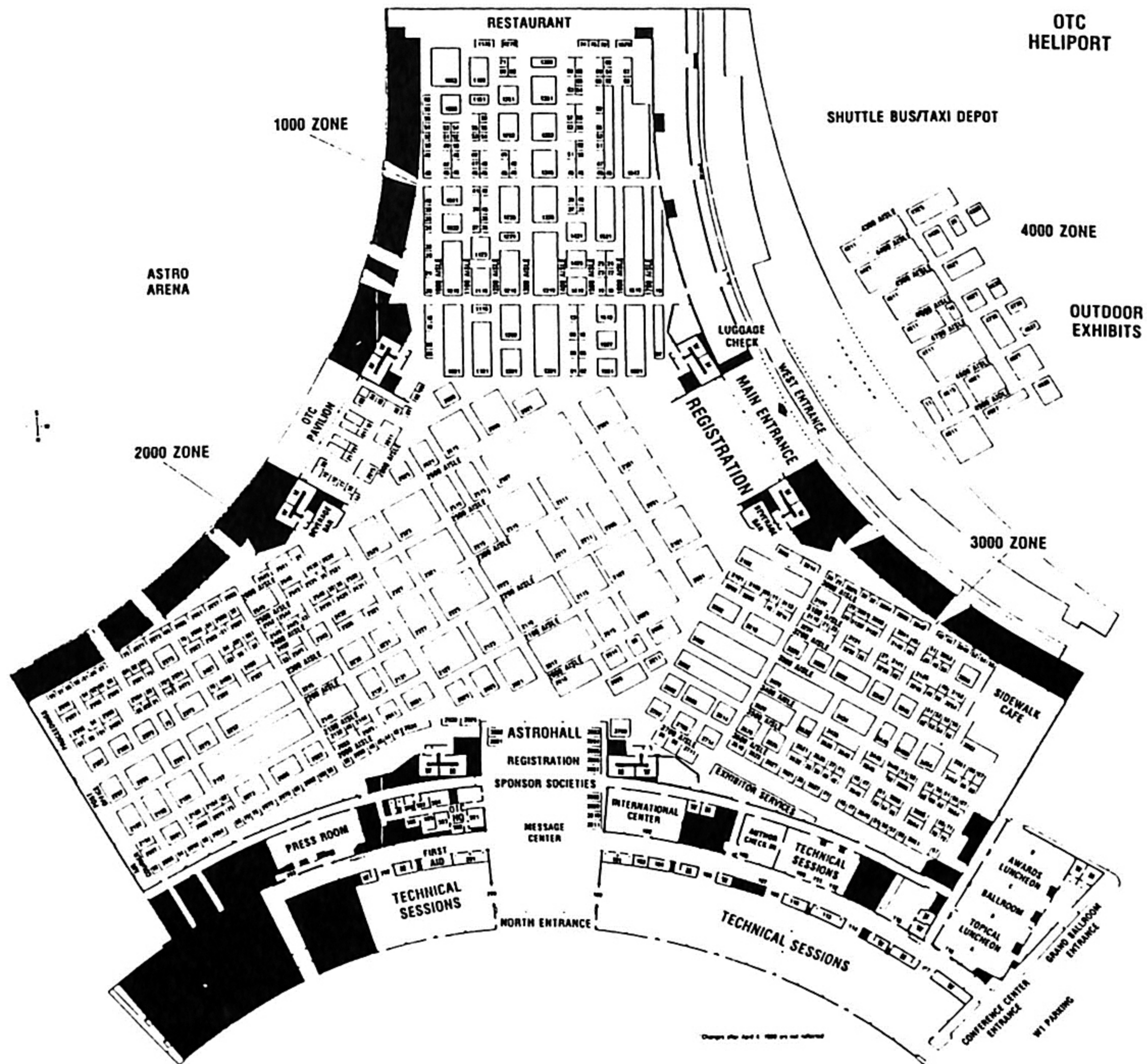
OTC '90の展示会場（アストロ・ホール内）

1.2 OTC '90 展示会

アストロドームの隣のアストロ・ホール全体を用いて米国を中心とした各企業の展示が盛況に行われていた。内容は多岐にわたり、掘削関係やオイル・プラットフォームの重機械関係の企業から、救命ボートやロープ関係の企業、また、数は少ないが海洋観測機器の企業まで様々である。米国以外にも、カナダ、スウェーデン、イギリス、ソ連、日本などの企業からも出展があった。



OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE
ASTRODOMAIN • HOUSTON, TEXAS
MAY 7-10, 1990



OTC '90の展示会場（アストロ・ホール）とテクニカルセッション（右下）

2. 海洋関連研究機関訪問

2.1 Perry 社

ここでは、ROVの開発を行っていて、その性能には定評がある。それらの説明をうけたのち、潜水船に従来搭載されていたバッテリーに代わるフューエル・セルという水素と酸素からエネルギーを得るセルの説明を受け、見学した。このセ

ルは、潜水船に登載されるよう設計されているが、他分野への応用は多岐にわたる優れたものである。

2.2 Harbor Branch 社

Johnson-Sea-Link I & IIの有人潜水船の運航、及びROVの運用を行い、数々の成果を挙げている企業である。また、近年は海産物の養殖も始めていて、ロブスター、かき、海藻などの養殖場を説明を受けながら見学した。

2.3 NASA (National Aeronautics and Space Administration)

衛星を用いて、海色を測定している Lewis 博士と面会した。太陽放射の海洋表層の吸収は表層のプランクトンの影響を受けるという研究を紹介してもらった。プランクトンの分布により左右される海色の水平分布は海洋表層の熱収支を大きく左右する要因の一つであると考えられる。特に、熱帯域における彼の研究では、表層の水深 20 m から 50 m で従来考えられていたほど多くは吸収されていないという結果を示していて、興味深いものであった。

2.4 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)-NESDIS (National Environmental Satellite, Data and Information Service)

(1) NODC (National Oceanographic Data Center)

NOAA の NESDIS の中の一つの組織である NODC を訪問した。ここでは NODC で行っている Coast Watch Program について説明を受けた。これは、米国沿岸域の陸域、海域の状況を正確に把握するために、NOAA 衛星データ、沿岸の気象、海象データ、沿岸域の海洋観測データを同時的に集め、解析を効率よく行う研究計画であり、コンセプトの一部は海洋科学技術センターで行っている海洋観測のシステム化の研究に通じるものであると感じた。

(2) Marine Application Branch

NESDIS でリモートセンシングを海洋学に応用している Barrientos 博士の研究室を訪問し、そこでの研究を中心に紹介してもらった。そこでは、チェサピーク湾の海色及び海面水温のリモートセンシングを行っており、NOAA 衛星の短波

帯の観測窓を用いて、チェサピーク湾の海色を測定するアルゴリズムの開発を行い、解析を行っている。

また、表層ブイに照度計を取り付けたオプティカル・ブイの係留計画の説明を受けた。

NESDIS では、ほとんどすべての計算機が大型計算機とつながれていて、計算機を使用する環境は非常に効率的なものになっている。

2.5 スクリプス海洋研究所

カリフォルニア大学サンディエゴ校のスクリプス海洋研究所を訪問した。日程時間の関係上、1 時間ほどしか滞在できなく、見学も非常に簡単なものになってしまったが、研究の環境は非常によいものであると感じられた。また、一般に公開している水族館を所有しているのが印象的であった。

2.6 Deep Ocean 社

小型の ROV である Phantom シリーズを手掛け、一個の共通する船上制御装置を用いて、同社の全ての Phantom を制御できるようになっている。制御装置も非常にコンパクトで誰でも扱えるようになっており、実際、われわれも簡単に操縦できた。また、ボランティアによる高速有人潜水艇の開発を行っており、この秋にも一号機が完成するとのことであった。

3. まとめ

OTC '90 の参加及び米国の海洋関連研究機関を調査訪問した訳であるが、いずれの企業、研究機関を訪問しても、非常に紳士的な対応をしてくれたことが印象的であった。

第10回日独海洋科学技術パネルに参加して

潜水技術部 王丸 寛 Hiroshi Ohmaru

日独科学技術協力協定に基づく、第10回海洋科学技術パネルが本年3月19日より21日にかけて、西ドイツ・ハンブルグで開催され、科学技術庁・海洋開発課長を団長とする7名の日本側代表団の一員として、当センターより間山理事と筆者が参加し、パネルに出席するとともに、パネルが主催する西ドイツの研究施設を訪問した。以下概要を簡単に紹介する。

1. 海洋科学技術パネル

日独海洋科学技術パネルは、1975年の第1回以来、1～2年に一回、日本（東京）と西独（ハンブルグ）で交互に開催されている海洋科学技術に関する2国間の国際協力である。

パネルは3月19日午後より20日にかけて、ハンブルグ郊外にあるヘルゴランド生物研究所にて、日本側は、科学技術庁・海洋開発課長 小路信次氏を代表とする7名、西独側は連邦研究技術

省海洋極地研究課長 Prof. Dr. ブンゲンストックを代表とする23名の出席のもとで開催された。

パネルは、両国代表の挨拶、アジェンダの採択のあと、両国の海洋科学技術に関する研究開発活動につき報告が行われた。この中で、西独が重点施策として実施中のものとして、大陸深部掘削計画（KTB：後述）、極地研究、衛星利用によるリモートセンシング、深海底鉱物資源開発や北海での油濁防止技術の開発などが挙げられた。

引続き、水産増養殖、海洋生物学、大気及び海洋環境における微量汚染物質のモニタリング法、沿岸及び海洋構造物、海底調査、海中作業技術、深海底鉱物資源、船舶の安定性など、12の個別テーマにつきそれぞれの担当機関より活動状況報告及び討議が行われた。

当センターは“海中作業技術”に関する日本側担当機関として、1985年以降の動物・有人シミュレーション実験及び実海域実験の実績並びに、将来計画につき説明した。



写真-1 パネル風景

今回のパネルでは、最近の国際的な地球環境問題や経済大国日本を反映して、独側より、リモートセンシング、海洋における汚染物質の輸送機構、マルチビームによる底質判別法、藻類の異常繁殖などの新規共同研究の提案が出され、独側の意気込みが目立つパネルであった。

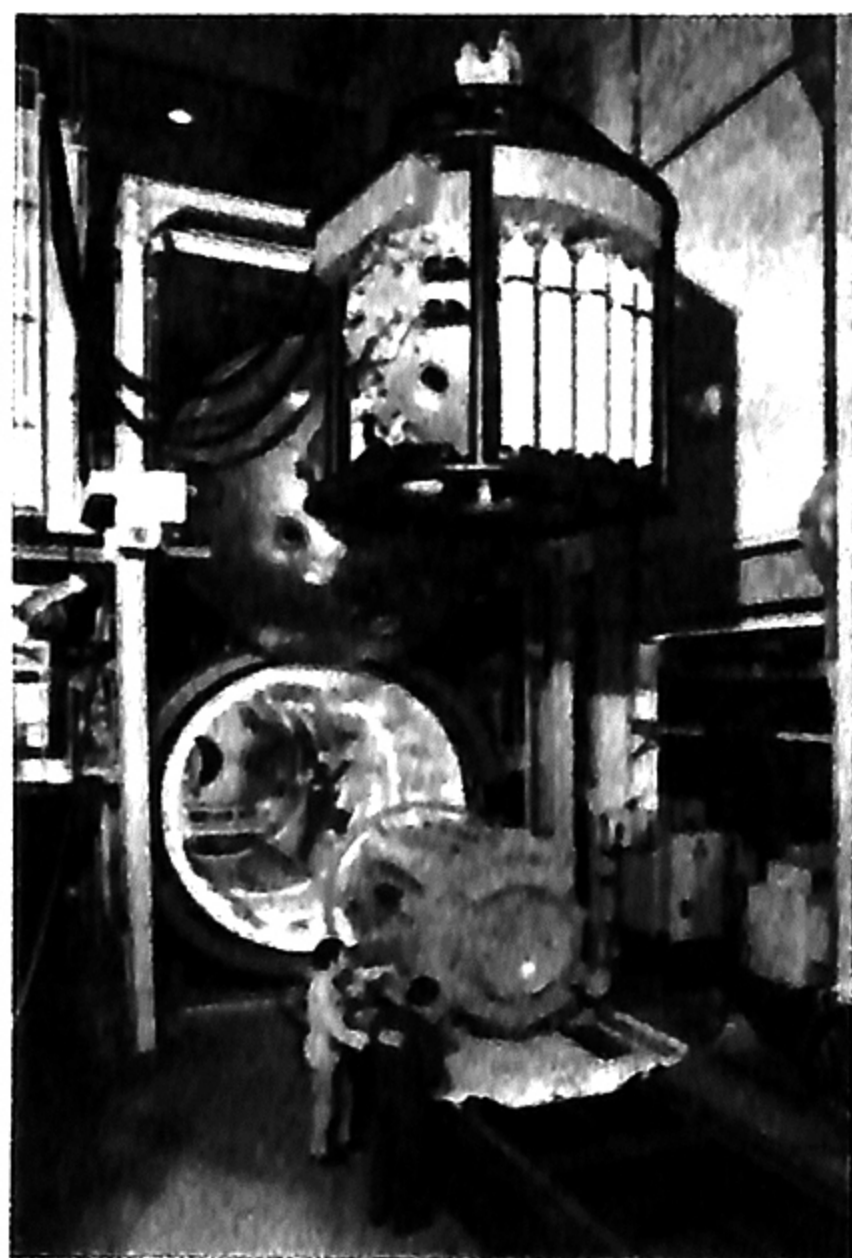
なお、次回は1991年3月東京で開催されることとなった。

2. GKSS・水中技術研究所

(Gründung der gesellschaft für Kernernergiererwertung in Schiffbau und Schiffhart)

3月19日(初日)のパネルで、独側よりGKSSの視察が提案され、翌20日午後、間山理事と筆者の2名がGKSSを訪問し、施設の見学と情報交換を行った。

GKSSは、連邦研究技術省(BMFT)管轄の研究機関で、1956年原子力商船“オットー・ハーン”の研究開発、建造、運用を目的として設立されたが、その後計画は立ち消えとなり、1975年頃より、原子力以外の新規分野として、材料技術、水中技



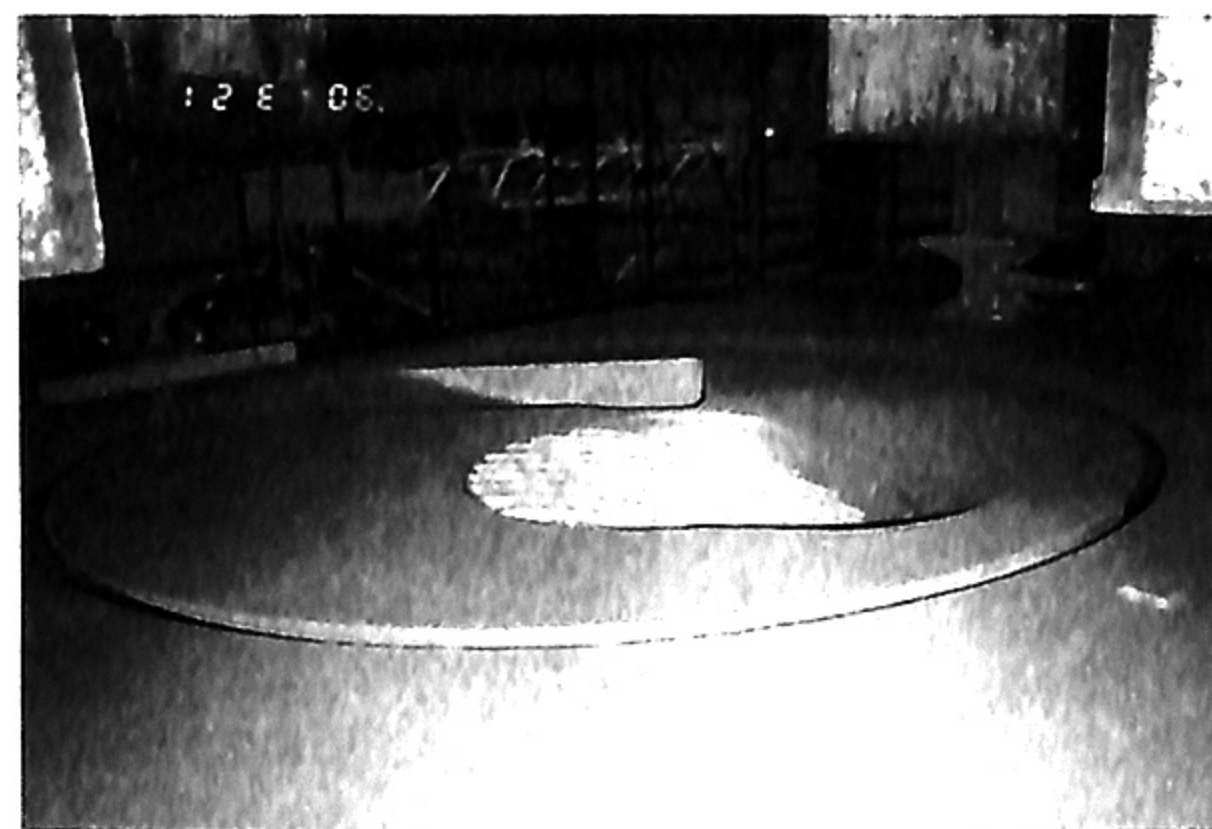
写真—2 作業及びテスト用チェンバー

術や気象・環境調査などを手がけている。

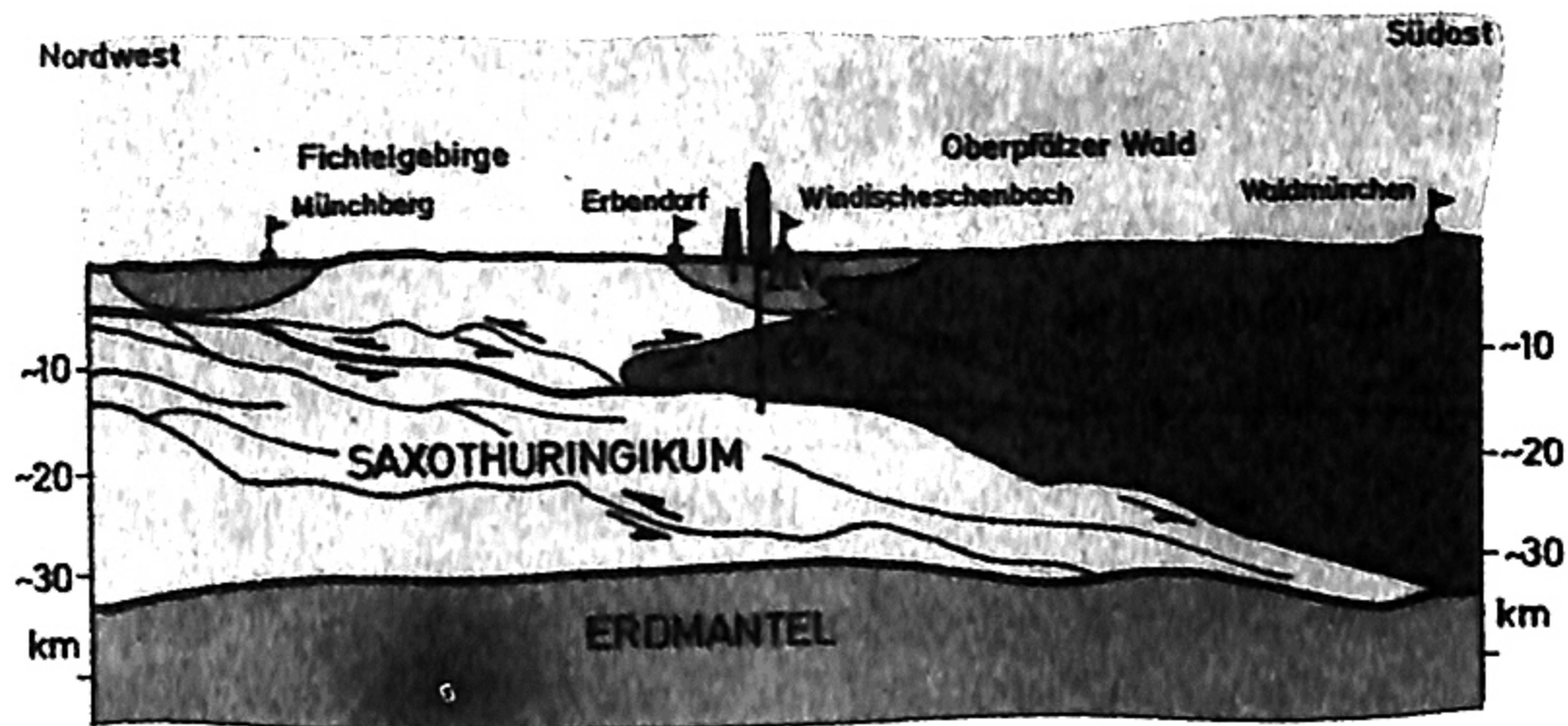
GKSSにおける水中技術の研究開発は、1974年の海底居住実験“Helgoland”計画に始まり、その成果をもとに、1983年には、6基の居住、作業、治療用チェンバーと1基のベルなどにより構成される世界でも例を見ない大規模な潜水シミュレータ“GUSI”(GKSS Underwater Simulator)を有し、これまで15回、2,000 Man-Dayの潜水シミュレーション実験を実施している。ちなみに、300 mは1983年に、600 mは1986年に達成している。本シミュレータの中心は、内径3.5 m、長さ12.7 mの作業用チェンバーで、端部のハッチは上下に全開でき、潜水艇など大型機器の搬入が、また内部は仕切壁が設けられ、ウェットとドライの環境が同時に再現できる構造となっている。

GKSSは、産業界の要請に応えるべく、この“GUSI”を利用して、深海潜水技術はもとより、各種の水中溶接(湿式/乾式、手動/半自動/ロボット、非破壊検査、水中清掃・切断(アブレーション・ウォータージェット)技術の開発や大型水中機器(潜水艇、ROVなど)の耐圧・作動試験など実用技術の開発を中心に行っている。

また、1989年10月から3カ年計画で、“GUSI”を利用した国際共同研究計画“Quality in U/W Technology”を実施しており、訪問時はその第1回目の450 m潜水シミュレーション実験



写真—3 360° 旋回・ウォータージェット式バウスラスタター



図—1 オーベルプハルツ付近の地質構造

“GUSI” 16 を実施中で、ダイバー 11 名の 3 シフトによる水中溶接の実験が行われていた。

GKSS・水中技術研究所は、施設、人員（約 150 名）、予算や技術レベルなどの面ではるかに当センターを上回り、今後の密な情報交換、人的交流、施設の相互利用や共同研究が望まれる。

3. 海洋調査船 “HEINKE”

3月21日午前、ブレーメン・ベールゼル河岸にあるデトレフヘーゲマン・ローランド造船所を訪問し、パネルが開催されたヘルゴランド生物研究所向け建造中の海洋調査船 M. V. “HEINKE” を見学した。

本船は、現在ヘルゴランド生物研究所が所有する同名の調査船の代替として建造されており、北海やバルト海における海洋物理、化学、微生物、気象・海象、環境、漁業などに関する調査を目的としている。

全長 55.2 m、総トン数 1,000 トン、1,100 kW の電気推進船で、科学者の定員は、10 名（日中はさらに 25 名）となっている。

本船は多目的の調査を安全、確実かつ能率よく行うため、調査観測システムの配置、防音・防振、低速保針性、データ処理や環境保全など随所に工夫が見られ、極めてグレードの高い海洋調査船である。

4. 地球科学資源研究所（BGR）

(Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)

3月21日午後、ハノーバーにある BGR を訪問し西ドイツにおける地球科学研究の概要、大陸深部掘削計画 (KTB) および BGR の海洋地質部門の研究活動につき説明を受けた。

KTB 計画は、ODP (国際)、DOSECC (アメリカ)、BRGM (フランス) などの国際地殻調査計画の一環として、西ドイツ・ローワーサクソニー州地質調査所が運営母体となって 1982 年より 12 年間、総額 5 億マルク (450 億円) をかけて実施中の大陸深部掘削計画である。

掘削地点は、チェコの国境に近いバイエルン州オーベルプハルツで、深部にはアフリカ大陸のもぐり込みが見られ、地質構造的にも極めて重要な地点と言われる。

4,000 m の浅部調査坑井 (パイロットホール) は 1987 年 9 月に掘削が開始され、1989 年 4 月、4,001 m で掘止めにされた。コアの採取率は平均 90% と極めて高いのが注目される。

10,000 m (可能なら 12,000 m まで) の本坑井の掘削は、パイロットホールより 200 m 離れた地点で、本年 9 月より、1994 年末にかけて実施される予定である。

地球惑星物理研究所での短期海外研修

海洋開発研究部 工藤 君明 Kimiaki Kudo

GPSは米国空軍を中心として開発実用化されつつある人工衛星による新しい電波測位システムです。これまでの試験段階を終えて、昨年より実用衛星が次々と打ち上げられ、システムの完成に向けて急速に移行しつつある段階にきています。これに伴い、GPSの利用も、船、車、飛行機などの単独測位、相対測位による測地測量や、さらに地殻変動の科学計測などに実用されています。このGPSを海洋における科学観測に応用することを目的として、昨年12月から3カ月間、スクリップス海洋研究所IGPP(地球惑星物理研究所)に滞在し、フィジビリティを調査研究してきました。

1. GPSによる高精度基線解析

GPSの単独測位というのは、GPS衛星の軌道情報をもとに、衛星と観測点との間の距離を計測して、観測点の位置を求めます。この距離は、衛星から発射される電波の到達所要時間に光速を乗じることによって得られますが、これから計算して求められる位置の精度は約30mといわれています。一台の受信機があれば簡単に位置がわかり、しかも従来の測位システムに比べて高精度ですから船舶の航法援助だけではなく、カーナビゲーションを目指した開発が進められていますから、ごく近い将来には誰でもが手軽に利用できるようになるのではないのでしょうか。

しかし、GPSの精度があまりよすぎたため、米国政府は特定の利用者以外の精度を落とすこと

を検討しており、この政策は利用者制限と呼ばれています。今年の3月末から本格的に実行された様子で、単独測位精度は100mぐらいになっています。

ところが、2台の受信機で衛星からの電波を受信しますと、ほとんどの誤差原因は共通ですから、差をとることによって除去することが可能となります。それぞれの受信機の位置の精度が悪くても、2点間の相対位置は精度よく求められています。これを測量に応用したものが相対測位と呼ばれるものです。既知点から順次計測していくことにより、従来とは比べものにならない簡易・高精度の測量ができるようになっています。

さて、GPSの相対測位手法を地殻の変動観測に応用しようというのがGPS高精度基線解析です。地殻の変動を計測するために必要な精度は0.1ppm以下、つまり100kmの距離を1cmの精度で測ることができなければなりません。これが可能なものとしてVLBI(超長基線電波干渉計)がありますが、これは非常に高価なシステムで、一般的に利用できるものではありません。

IGPPの測地グループは、地上の観測点網と衛星の三次元的な相対位置を高精度で計測するシステムを開発しています。GPSのデータ解析処理技術に精通することを目的に、このプロジェクトのリーダーであるYehuda Bock博士のもとで研修してきました。

相対測位では、衛星と観測点の距離をこの間にある搬送波の波数の変化を積分して計測しています。ちょうど電波の波長ごとに目盛りのある物差

しで二点間を測るのに似ています。ただし、この物差しには数字が入っていないのです。しかし、二点間の距離が変化すれば、この変化量は精密に計測できますので、これを観測量として、相対位置が一定のはずの観測点間の相対距離を推定しているのです。高精度の基線解析をするためには、良質のデータを得ることがまず第一に重要です。このためには、SN比の高いGPS受信機を用い、ノイズの入りにくい環境で観測を行うことが大切です。さらにこのようにしても入ってくるノイズの影響を除去することが必要になります。ノイズによって受信が瞬断すると、衛星と観測点間の波数情報が失われてしまいますが、これをサイクルスリップといいます。サイクルスリップを効率よく除去する解析ソフトウェアの開発が高精度基線解析の鍵になっているのです。

2. 地球惑星物理研究所／スクリップス海洋研究所

IGPP（地球惑星物理研究所）はカリフォルニア大学の各大学校の枠を越えた研究機関で、古生物学から天体物理まで広範囲の研究を行っています。筆者が滞在したサンディエゴ支所はスクリップス海洋研究所内に設置されていますが、海洋研究所とは全く別の研究組織となっています。しかし、プレートテクトニクスが陸の地球物理学と海の地球物理学の接点に位置しているように、学際的な課題を探究するための研究機関と位置づけられています。スクリップス海洋研究所とは設備、研究内容、研究施設を共有するなど強く結ばれています。研究分野は地震学から海中音響まで広範囲にわたっていますが、当センターに関係のあり

そうなものから筆者が興味を持ったものを簡単に紹介します。

2.1 GPSと現代測地学

他の研究機関と共同で、リソスフェアの歪を連続モニターするためにGPSを利用しようという計画です。カリフォルニア全州にGPS基準網を展開し、ポータブルな受信機がどこでも基準点の100 km以内に入るようにしようというものです。これが実現すれば、高密度広範囲の精密測位が可能になり、地震予知に役立つことが期待されます。

2.2 地球温暖化の海洋音響計測

音響トモグラフィーの経験を踏まえ、海洋温暖化を精密にモニターする実験を全地球的規模で行うため、低周波音源を開発する計画です。音源をインド洋最南端に置き、アメリカ東海岸・西海岸で直接受信することにより、グローバルな変化を簡明に計測できることが期待されています。

2.3 海底における地震及び電場の計測

海底における地震学はIGPPの重要な研究プログラムです。深海掘削のボアホールを利用して、数台の三軸地震センサーを中心に、その周辺に海底地震計を配列展開しようというものです。当センターで提案している海洋実験基地構想では、地殻変動の計測、海底電場の観測が重要な研究項目となっていますので、将来共同研究を提案することが可能となるでしょう。

最後に、地球惑星物理研究所／スクリップス海洋研究所と当センターは太平洋の東西に位置し、共に地震の国にありますので、地震学及び海洋科学の発展のために、協力して研究できる日のくることを願っております。筆者の研修がそのための一歩となれば望外の幸せです。

ノルウェーの海洋開発事情

海洋開発研究部 堀田 平 Hitoshi Hotta

1. はじめに

著者は、1989年1月30日より1年間、ノルウェー・トロンハイムにある MARINTEK（ノルウェー海洋技術研究所）に滞在した。本稿では、トロンハイムに所在する海洋関連研究機関として、この MARINTEK 及び NHL（ノルウェー流体技術研究所）について、また、ノルウェーの海洋開発の現状についての概略を紹介する。

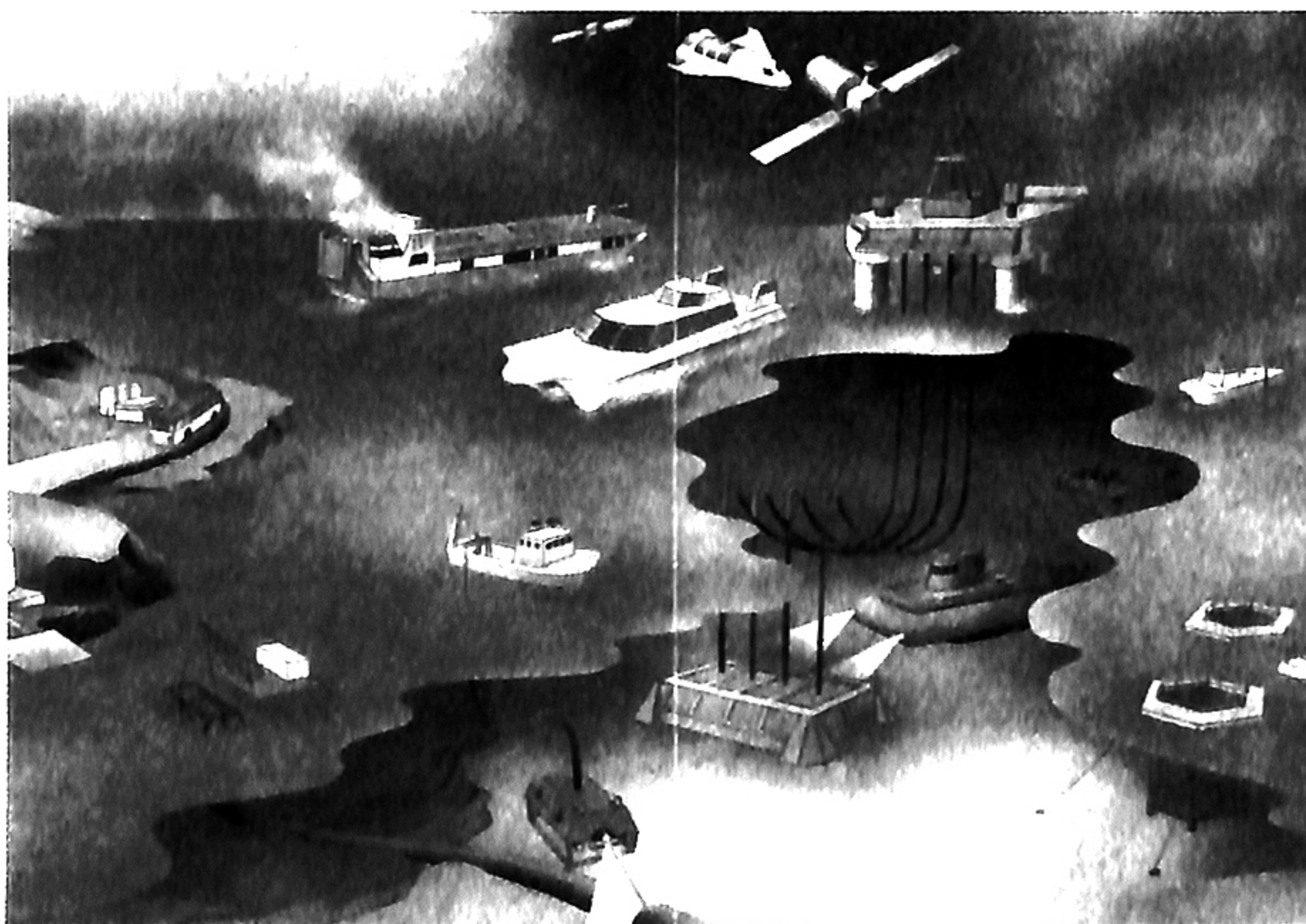
2. ノルウェーの海洋開発の概況

海運それに続く北海石油で一世を風靡したノルウェーの海洋開発産業であるが、我が国の造船業

の隆盛や石油価格の低迷によりはかばかしくない時期も経験した。現在もそれは尾を引いているが、新たな展開を目指し活発な活動を始めている。その中でも主なプロジェクトは、高速艇、フィヨルド横断海中トンネル及び海上フローティングブリッジ、海底石油生産システム、沖合大規模養殖装置（アクアカルチャー）などがある。また、スペースシャトルからの緊急脱出カプセルの波浪中挙動などユニークなテーマもあり、海外市場に着目したプロジェクトが少なくない。これらの概略を図一1に示す。

3. MARINTEK

トロンハイムを見下ろす小高い丘の上に位置す



図一1 ノルウェーの海洋開発プロジェクト構想図

る MARINTEK（ノルウェー海洋技術研究所）は数年前に民営化されたノルウェー唯一の海洋工学に関する研究所であり、職員数は約 200 名、年間予算は 20 億円ほどで運営されている。ただし、あくまでも民間企業であることから、運用資金の 95 % は民間企業や外部機関からの委託研究で賄われている。MARINTEK の有する部門としては、海洋構造物とそのオペレーション、船舶、海洋（沿岸）工学、機関などがある。

ただし、研究者はこの“部割り”にとらわれずに、プロジェクトごとにプロジェクトチームを作り、効率良く研究を進めている。中でもユニークなシステムが国立大学である NTH（ノルウェー工科大学）船舶・海洋工学科との“連携”である。NTH のメインキャンパスは、市の中心部にあるにもかかわらず、当学科は民間企業である MARINTEK と同じ建物に入っている。しかも、NTH の教員や大学院生の研究室は MARINTEK の職員の研究室と混在しており、したがって、その間の情報交換は非常に円滑であり、かつ活発である。それどころか、MARINTEK のプロジェクトの多くはそのリーダーに NTH の教授がなっているし、MARINTEK の職員と NTH の教授を兼ねている（給料をどちらからも貰っている）研究者もいる。そんな訳であるから、実に効率良く

プロジェクトを遂行でき、良い成果を挙げている。

MARINTEK には、このような優秀な人材と組織の他にも、数多くの素晴らしい施設を有している。その中で最も有名なものが、JAMSTEC 創刊号で紹介した大型水槽 Ocean Basin であり、これは世界最大かつ最高の機能を有していることでも名高い。また、3 つの曳航水槽、2 つのキャビテーション水槽、低温環境ラボ、腐食・塗装ラボ等を有しており、充実したソフトウェアとともに、高いレベルの研究が効率的に推進されている。

4. NHL

NHL（ノルウェー流体技術研究所）は MARINTEK からおよそ 2 km ほど離れたやはりトロンハイム市内に所在する。そして、これもやはり数年前に民営化された、主に水理関係の研究所である。ノルウェーは急峻な地形を利用し、エネルギー供給の 99 % を水力発電に依存しているが、NHL ではこのダム建設にあたっての研究を主たるプロジェクトにしている。また、その他には、沿岸流況のシミュレーション、海洋構造物等に対する着氷など極地に関する工学的な諸問題、港湾建設、それに波力発電の研究等を推進している。



図一2 MARINTEK とテレビ塔よりトロンハイム市街を望む



図-3 Ocean Basin

なお、NHLについても職員数、予算規模ともにMARINTEKとほぼ同じであり、両者を含めNTHとの交流は密接である。

2. おわりに

原子力発電を否定し、EC加盟にも否定的なノルウェーにとって海洋開発は重要な“メシの種”であり、これにかかる意気込みは素晴らしいものがある。ここに紹介したいずれの研究所も各分野で世界でもトップクラスで著名な研究者を数多く集め、かつまた民間企業として活発な営業活動を展開し、事業の拡大を図っている。我が国も、最大のターゲットの一つであるということを小耳にはさんだが……。うかうかしてはいられないというのが率直な感想である。

〔海外出張・海外調査団報告〕

アトランティスⅡ乗船日記

運航部 柴田 桂 Katura Shibata

今回私は、メキシコ湾でアルビン号により調査潜航を行っているアトランティスⅡに3月26日～4月2日までの予定で乗船する機会を得た。3月21日清水港で「なつしま」を下船。3月24日旅支度も慌ただしく少しの期待と多くの不安を抱えて、15:30成田発のノースウエストに乗り込んだ。なんと、この飛行機は乗務員一人を除いてすべてアメリカ人で、ますます旅の先行きに不安が漂う。

現地時間14:22デトロイト着、なんとか無事に入国審査を終え、国内線待合室で2時間30分待ち、17:50発の飛行機でカリフォルニアのタンパに向かう。こんどは乗務員ばかりでなく乗客もすべて外人であった。20:30夜の帳のすっかり降りたタンパ空港到着、タクシーにて市内のホ



写真-1 タンパ港にて出港準備中のアトランティスⅡ

テルに、どちらが訛っているのかなかなか通じない英語に、てこずりながらもやっとチェックインし、部屋へ文字どおり長い1日が終わった。

25日8:00朝食をすませたところにアルビン

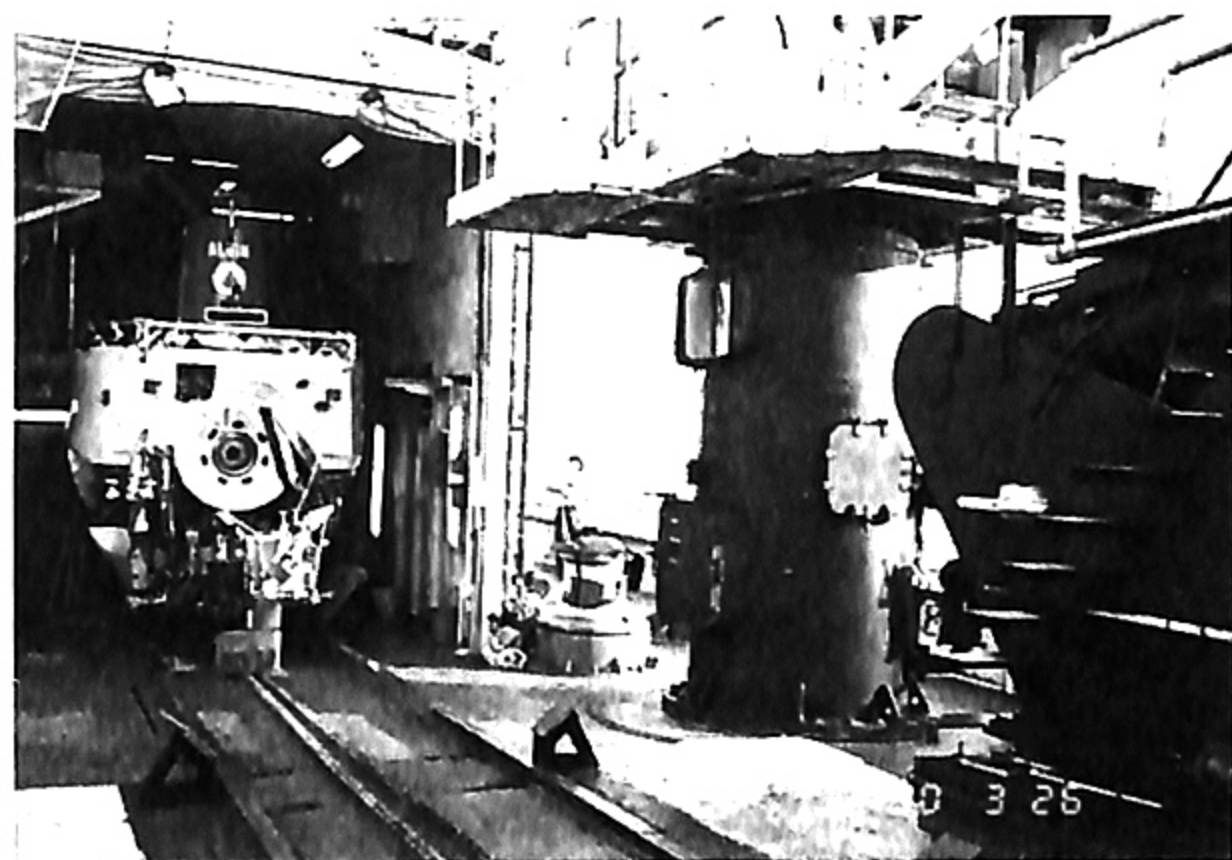
チームのリーダーであるフォスター氏より電話をもらい、ホテルのロビーで待ち合わせ船は明日ではなく、今日出港するとの事で、ホテルのチェックアウトもそこそこに車でタンパ港で待つアトランティスⅡに、フォスター氏は出港前で忙しいらしく同室の船医を紹介してくれただけで仕事に飛び回っている。しようがないので部屋で荷物の整理をし、作業服に着替え格納庫へ行き整備作業の見学をする事とした。格納庫では、アルビンが以前船首方向を向いて格納してあったのが船尾を向いて格納してありマニピュレータ等の出港前チェックの最中であつた。なぜ逆さ向きに格納してあるのか不思議に思い、後でフォスター氏に聞いてみると、荒天時に着水揚収を行うとアルビン号はどうしてもアトランティスⅡの船尾にぶつかる、どうせぶつかるのなら丈夫な後部が良い、また船首には、ぶつかって壊れると後始末が大変なスチールカメラ、TVカメラ、ライト等の高価な物がいっぱい付いているからだ、と話してくれた。またアルビンを揚収するための曳航時に、採取したサンプルのバスケットからの流出が防げるとのことであつた。

格納庫でアルビン号の整備を見学していると、アトランティスⅡのキャプテンみずから人員点呼に来られ自己紹介と点呼を受ける。

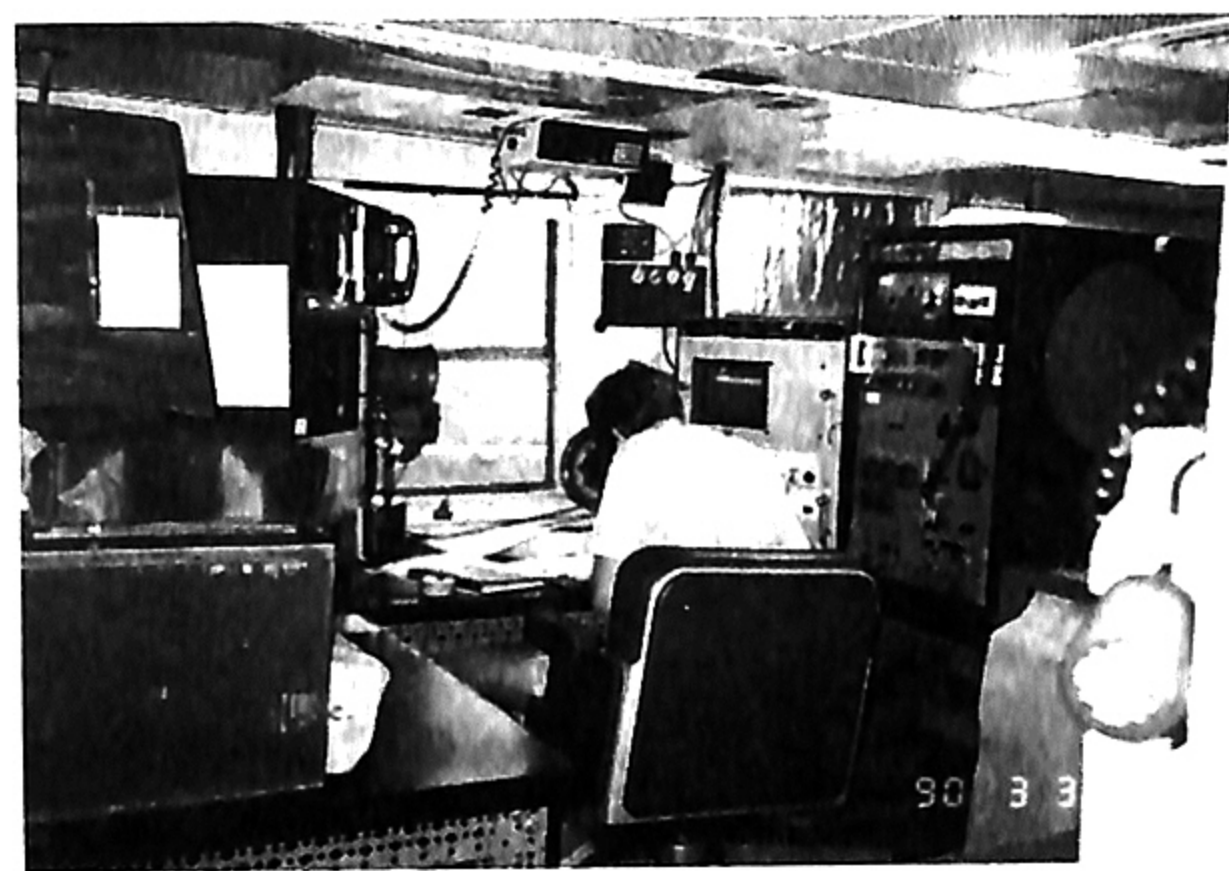
12:00 タンパ港出港

一緒に乗船した科学者は、18名。内5人は女性(その内2名は女子大生3年と4年)であつた。出港後もマニピュレータの整備等を見学。整備終了後は、科学者によるサンプルバスケットのセッティングを見学。21:00頃格納庫にだれもいなくなつたので、部屋に帰るとドクターが寝る準備をしているのでしようがなく就寝。(ベットのカーテンは、頭の所だけなので明かりをつけておく事が出来ない)

26日 4:00 海域到着 07:00 トランスポンダ設置、潜水船の潜航前チェック見学。



写真一2 アトランティスⅡに搭載された潜水調査船「アルビン」



写真一3 アトランティスⅡ船内の音響航法装置

9:40 潜航開始、潜航後測位等を見学したが「なつしま」の方が音響航法装置の設備、測位精度は良いと思われた。潜航時母船は、ある地点にとどまるように操船していたがこのために米国上空に打ち上げられた静止衛星により測位を行っている。この航法装置(STARFIX)は、船位のバラツキもほとんどなく大変精度が良いようであつた。日本では使用時間が短いが頼りにしているGPSもほぼ24時間使用出来るにもかかわらず精度が悪いとのことで(海軍の使用しているものは、大変精度が良いが民間は使用できない)あまり使っていないとの事、いつも母船の測位に苦労している身としては、大変羨ましく思えた。(早く日本も静止衛星を打ち上げてくれないかな)

揚収後のチェックで潜航中に具合の悪かつた

油圧系を調査していたところ、油圧制御ユニットの入っている耐圧容器に浸水していることが判明、明日の潜航は、油圧制御ユニットを取り外し配管の変更で最小限必要な作動が出来るようにして潜航することとなった。0:30 修理作業途中で終了、あとかたづけ

27日 6:00 修理再開 8:30 潜水船引出し、潜航前チェックで今度は、海水ポンプの絶縁不良が判明、コネクタの清掃で絶縁復旧するが作動不良と判明し、この日の潜航取り止め、終日潜水船の修理点検。22:00 作業終了

28日 6:00 いつもは潜水船のチェックに出て来るはずが誰も出てこない。船は走っている7:00 過ぎに皆でて来るが今日の潜航は中止。船は夜半からタンパ向け回航中。科学者の母親が危篤のためタンパ港外で水上タクシーで下船し、ついでに油圧制御ユニットをウッズホールへ修理のため送るとの事であった。その後海水ポンプ、油圧関係の修理。1:00 作業終了。修理は担当者がほとんど一人で行っていた。担当者が、明日のパイロットであったのでどうするのかと余計な心配をしていたら22:00 頃から姿を消した者と交代していた。21:00~2:00 までドレッジ。終了後科学者はサンプルの整理に追われていた。

29日 8:00 潜航前チェックで左側マニピュレータの動作がおかしいので取り外し右側1本で潜航作業を行うこととなった。

潜水船揚収後作動点検。CTFM ソナー及び海水ポンプの不具合調査修理 0:00 作業終了。

30日 1:45~5:50 ドレッジ

9:00 潜航開始 18:00 揚収後点検

油圧制御ユニットの所にウエイト取り付け

22:00 作業終了

31日 16:00 潜水船揚収後朝から調子が悪かった左側のマニピュレータを予備品と交換。そのほか特別なトラブルが無かったので19:00 作

業終了。

潜水船のトラブル等でスケジュールが変更になり4月2日のベニス入港は、無くなり13日まで連続潜航を行い14日にテキサスのガルベストンに入港予定になったと船長から教えられ14日まで乗船しているかと言われたが帰ってからの予定もあり2日に下船出来ないかと聞くと1日に科学者のチームの乗下船のため小舟が来るがそれで下船するかとの話で船長と科学者のチーフに頼み1日に下船する事になった。

4月1日 8:00 ミシシッピの河口から80海里沖の潜航地点に新しい科学者のグループを乗せた小舟(石油の中積船で約100トン)がやってきてアトランティスIIに接舷。科学者の乗り移りと荷物の積み下ろしが行われ9:00 離岸13:00 20ノットで4時間走りミシシッピの河口に到着。そこから川を遡ること2時間。15:00 ベニス着(ベニスとは言っても似ているのは海拔だけの石油リグのための町)そこからまた交代の科学者が乗ってきたワゴン2台に分乗しニューオリンズ空港に向かった。17:45 空港着。科学者達はそのまま飛行機で帰宅

4日 5:30 ホテルチェックアウト7:45 発の飛行機でデトロイトへ。13:50 発の飛行機で成田へ

5日 16:00 成田着

こうして長いようで短いような旅が終わった。アトランティスIIでは、ここ4年間は無かった大きなトラブルにアルビン号が見舞われ、クルーは、修理に追われ大変であったが私にとっては、得難い体験をする事ができた。法規の違い等で日本では、そのまま行うことができない事が多くあるが、向こうの良いところ悪いところをじっくり考えこれからの私たちの行動に生かしていければと考えている。

当センター各部紹介

情報室の紹介

情報室

表一 情報室の組織と業務内容

情報室	調査部門	1) 海洋科学技術に関する内外の動向調査に関する事
	図書資料管理部門	1) 海洋科学技術に関する情報の収集、分類、整理、加工、提供及び保管に関する事 2) 海洋科学技術に関する技術相談に関する事（相談推進役の所掌に属するものを除く）
	電子計算機室	1) 海洋情報データベースの構築に関する事 2) 電子計算機システムの維持、管理、運用及び改善等に関する事

1. 情報室の概要

海洋科学技術の国際化の進展に伴い、国際動向を十分視野に入れた国際情勢、各地域におけるそれぞれの見方あるいは各国の具体的な事情などについての的確な海洋科学技術に関する情報活動が必要になってきている。

情報室では、これら情報ニーズに対応すべく各種動向調査の実施並びに得られた情報の積極的な活用を図るとともに、スーパーミニコンピューターが導入されたのを契機として情報のデータベース化を図り、多目的な利用を可能にしている。

また、各種関連図書・雑誌・技術レポート等を広く収集して適切な分類、整理、加工、提供等の取りまとめを行っている。

2. 情報室の組織と業務内容

情報室は表一のような組織で構成され、総勢9名である。（アルバイトを含む）

3. 業務の概要

3.1 調査部門

時代の要請で研究領域や研究内容が流動的で、しかも境界領域や異分野まで関心を持たざるを得ない現在、当センター内部の少ない研究者等で広

範囲な海洋科学技術をフォローすることは不可能に近いと考えられる。また、世界の一流の研究機関として既に認知されているWHOI, SIOやIFREMERと当センターを比較した場合、オーダー的にはハードウェアや資金等はほぼ4者とも合致するが、後3者に比較して、設立後日が浅いため、ソフトウェアの充実度や職員定数でかなり差があるように感じられる。たとえば、職員定数では船の運航要員まで含めて前記他機関の1/3~1/4ほどである。

このような少ない人員で内外の海洋科学技術全般をレビューし、将来動向を見極め、研究課題を抽出し、これら研究調査に邁進することは本来的にかなり困難である。したがって、外部の産・学・官の専門家からなる委員会を、その研究課題によっては、当センターの内部に、あるいは外部に

表一2 調査研究事例

1. 動向調査（認可予算）	
昭和47～51年度	海洋開発の現状と展望—総合レビュー— (科学技術庁からの委託)
昭和52～55年度	海洋科学技術シーズ調査
昭和56～59年度	海中活動新技術の動向調査
昭和60～63年度	海中計測技術の動向調査
平成元～3年度	海洋新動力システムの動向調査（実施中）
2. 海洋科学技術レビュー調査（実行予算）	
昭和62年度	① 人工島の構想・設計に関する調査 ② 海中作業の将来展望に関する調査
昭和63年度	① 洋上人工島の需要と技術に関する調査 ② 無人海中作業技術の将来展望に関する調査
平成元年度	① 深海底長期観測ステーションに関する調査 ② 深海底地層探査技術に関する調査
平成2年度	① 深海底長期観測ステーションに関する調査 (継続) ② 地域特性を生かした海洋開発の可能性に関する調査（新規）

つくり，これに当センター内の専門家にも入って貰って種々討議・検討して研究調査を行っていく必要がある。比較的歴史の浅く，職員定数の少ない当センターの研究者等は，当センター内部で地道にコツコツと研究に従事することも大切であるが，場合によっては，上述の各種委員会に出向いて外部の各界の専門家と自由に討議・議論する雰囲気比較的若い時から慣れておくことも必要である。このような開かれた研究システムの体験が国際化が叫ばれている現在には一層必要であると考えられる。

このようにして，情報室における調査研究は海洋開発の推進を図るうえで，内外の海洋科学技術の現状と将来動向，将来取り組むべき研究課題の発掘等を行っていくことや，さらには研究機関としての諸活動を行っていく場合のバックアップ等も業務として，海洋科学技術に関する全般的な調査研究を行っている。

なお，現在情報室が調査研究を行っているのには，次のような経緯がある。

当センターの“海洋科学技術センター法令・規程集”には，第1編総則 第4章組織 第8条の3 企画課の業務 (4) —海洋科学技術に関する内外の動向調査 に関すること。—と規程されている (P.213 参照)。しかしセンター設立以来，表一2のごとく，海洋開発の現状と展望—総合レビュー—(科学技術庁からの委託，昭和47年度～51年度)の調査研究以来，現在に至るまで情報室が調査活動に従事してきた。

前記調査研究以来，昭和61年度までは認可予算の調査研究が年度当たり1件であったものが昭和62年度からは実行予算関連のもの2件が加わり，都合3件の調査研究となり，現在に至っている。

各調査の成果物としては各年度終了時あるいは終了後に各々単一の成果物として印刷され情報室において公表している。

3.2 図書資料管理部門

関連の内外の図書・雑誌・技術レポート等を広く収集して分類，整理，加工，提供及び保管を行うとともに，当センターの研究成果物として「海洋科学技術センター試験研究報告」，「しんかい2000」研究シンポジウムで発表された「しんかい2000」研究シンポジウム報告書，並びに一般的広報誌として情報誌「JAMSTEC」の編集・刊行を行っている。また，昭和60年度より情報室を中心とした技術相談制度が設けられ，内外からの海洋科学技術に関する事項について各部・室に技術相談推進役が置かれ情報（技術）相談に応じている。

(1) 所蔵図書等

現在（平成2年6月現在）の所蔵図書等は，表一3のとおりである。

表一3 所蔵図書等

①所蔵図書	8,748 冊
和書	2,906 冊
洋書	1,691 冊
寄贈図書（調査研究報告書等）	3,583 冊
センター刊行物	568 冊
②所蔵雑誌	474 種
和雑誌	322 種
洋雑誌	152 種
③新聞切り抜き記事ファイル	
④定期刊行物コンテンツファイル	

(2) 情報サービス

情報室は、収集した資料等を広く一般に公開して情報の活用を図っており、無料で閲覧、貸し出しサービスを行うほか、新着図書資料、最新の海外のニュース等の紹介等、情報サービスを行っている。

提供している情報サービスは、表—4のとおりである。

表—4 情報サービス

①技術情報資料の閲覧・貸出	随時
②所蔵図書資料案内	随時
③新着情報案内・ニュース誌「なつしま」に選択掲載	隔月
④海洋開発関連の新聞記事情報案内	
イ.「ニュースレター」	毎日
ロ.新聞記事索引情報	週刊
⑤海洋開発の情報相談 (文献・研究活動の所在調査など)	随時
⑥海外ニュース情報	月間
⑦国際情報協力 (センター成果刊行物の交換配布、外国からの照会受付など)	随時
⑧海洋に関する会議・展示会情報案内	随時
⑨所在情報データベースの提供	随時
⑩船舶運航情報データベースの提供	随時
※⑨⑩について詳細は、3.3 電子計算機室で述べている	

(3) 当センター研究成果刊行物の編集・刊行

情報室は、センターの研究成果を広く一般に公開するため、情報サービスの一環として次の表—5のようなセンター研究成果刊行物を編集・刊行し、またこれら刊行物の配布並びに領布も行っている。

表—5 センター研究成果物

①「海洋科学技術センター試験研究報告」	年2回
②「海洋科学技術センター試験研究報告」抄録集	1回/2年
③「しんかい 2000」研究シンポジウム報告書	年刊
④情報誌「JAMSTEC」	季刊

3.3 電子計算機室

電子計算機室は、次の業務を行っている。

(1) 海洋科学技術に関するデータベース (MAST-DR) の構築

当センターでは、シートピア計画による海中居住実験を始めとする各種実験・調査・研究の実施、潜水調査船「しんかい 2000」システム、無人探査機「ドルフィン 3K」等の各種船舶・探査機の開発・建造、米国ウッズホール海洋研究所等との国際共同研究の実施、海洋開発関係の研究者・技術者を対象とした研修活動、並びに海洋関連情報の収集等を通して、多種多様なハードウェア、ソフトウェア(書籍、計測データ、センター職員が研究・開発した各種海洋科学技術関連の実験モデルやプログラム等を含む)等が蓄積され今後も増大する一方である。そこで、効率的な情報管理が行え、かつ、国内並びに外国のニーズに対して、有効活用が可能なデータベースを構築することを目標とし電子計算機利用推進委員会データベースグループの協力の下、所在情報データベース(MAST-DR)と海上実験及び海域調査に関する情報等のデータベース(MAST-VOYAGE)を構築した。また、平成2年度からは、画像情報データベース(仮称MAST-GRAPH)の構築を開始した。

以下に各データベースの概要を述べる。

① 所在情報データベース(MAST-DR)

当センターに保管されている書籍類、サンプル、機器、実験記録資料、計測データ(CTD、流向流速等)等の所在情報検索が行えるシステムである。検索は、電子計算機(VAX 8800)システムのすべての端末から行える。

表—6に現在入力されている主なデータ区分ごとの概要を示す。

この入力作業は、各部屋で記入したデータシートをもとに、研究者並びに電子計算機室が行っている。

② 海上実験及び海域調査に関する情報等のデータベース(MAST-VOYAGE)

当センターにおける各種調査・実験等で重要な船舶の毎日の運航情報、作業状況、海象気象等の

表一6 所在情報データベースの主なデータ区分と概要

データ区分	概 要
書籍	情報室所蔵の書籍、約8,600冊の内、約3,500冊分が入力されている。 キーワード等の入力により、各分野の専門書が何冊所在するか、具体的な書名は何か、また、著者及び共著者は誰か。出版年月日はいつか、等が検索できる。 2～3年の内にはほぼ全冊の入力が完了する予定である。
サンプル	深海研究部保管のサンプル154件分及び深海微生物研究用深海試料の在庫リスト1件分が入力されている。 キーワード等の入力により、サンプル名、取得年月日、取得場所、関係プロジェクト名等が検索できる。
機器	潜水技術部保管の潜水機器（ヘルメット式潜水器ほか）を主とした約30件分が入力されている。 キーワード等の入力により、機器名、取得年月日、メーカー名、保存場所等が検索できる。
実験	海洋開発研究部、潜水技術部等が実施した各種実験に伴う報告書や実験解析結果の図等を主とした約120件分が入力されている。 キーワード等の入力により、実験名、担当者、関係プロジェクト名、実施又は、作成年月日等が検索できる。
C T D	運航部保管の「しんかい2000 STD データ」等12件分が入力されている。 キーワード等の入力により、データ名、関係プロジェクト名、計測年月日、計測場所、記録媒体、保存場所等が検索できる。
流向流速	海洋開発研究部の ADCP 流速データ等6件分が入力されている。 キーワード等の入力により、データ名、関係プロジェクト名、計測年月日、記録媒体、保存場所等が検索できる。

この他、データ区分には、海図、航海記録、X-BT、写真、ビデオ、気象、測深、ソナー、広報、安全管理情報、海洋関連会議等、機関、調査、その他等があり、全合計で約4,600件分が入力されているが、今後も、逐次入力していく予定である。

表一7 海上実験及び海域調査に関する情報等のデータベースの主な提供項目と概要

提供項目	概 要
船舶運航情報	センター所有の船舶「かいよう」、「なつしま」及び「よこすか」等の日々の運航情報を船名の指定により検索できる。主な情報項目は、作業状況、船舶行動番号、行動目的、船舶位置、調査海域、気象、海象等である。また、船舶位置と針路を示した船舶立地図のプリンタ出力もできる。
船舶運航記録	船名の指定等により、船舶行動ごとの実験・調査結果や航跡記録等を検索できる。主な記録項目は、船舶行動番号、調査目的、期間、乗船者名、調査海域、調査範囲（緯度、経度）、等である。
潜航記録	「しんかい2000」、「しんかい6500」、「ドルフィン3K」、「ドルフィン10K」、等の潜航記録を前記名称の指定により検索できる。 主な記録項目は、ダイブナンバー、潜航年月日、潜航目的、潜航者名、海域、潜航場所、潜航深度、等である。また、潜航位置を示した岸線地図のプリンタ出力もできる。
潜航記録一覧	各種潜航記録を年度ごとに、①ダイブ別、②海域別、③利用機関別、④分野別、等の潜航記録一覧を、検索及びプリンタ出力することができる。

情報、あるいは船舶行動ごとの航跡記録や運航予定等をユーザーに提供するシステムである。検索は、電子計算機（VAX 8800）システムのすべての端末から行える。

表一7に、主な提供項目と概要を示す。

この入力作業は、運航部が行っている。

③ 画像情報データベース(仮称MAST-GRAPH)

主として、「しんかい6500」等により得られた熱水鉱床、マンガン団塊等の発見による資源の確保、あるいは、プレートの潜り込み部の海底地形

変動等の観測データによる、地震予知技術の向上等に有用な写真やビデオ等の画像を迅速に提供できるシステムを目標として、平成3年度までに静止画像を、また、平成5年度までに動画の検索システムを構築する予定である。

(2) 電子計算機 VAX 8800 システムの維持管理運用及び改善等

本システムは、LAN (LOCAL AREA NETWORK) により、センター内各棟のすべての端末から LOGIN でき、各部屋に共用されている。

このシステムを利用して、海洋音響トモグラフィ、太平洋の風成大循環等各種の研究用プログラムが開発・運用されている。

さらに、前記データベースや、サイエンスネットの利用等様々な有効利用が図られており、電子計算機室では、より一層、有効利用されるべく本システムの維持管理運用及び改善、機能追加等を適宜電子計算機利用推進委員会等に図りながら行っている。

(3) 電子計算機 (VAX 8800) システムを利用して開発・運用している各種プログラムの紹介

現在、本システムを利用して各研究部等により、各種プログラムが開発・運用されているので、ここに主なものの概要を表一8に紹介する。

① 海洋音響トモグラフィ

現在は JODC 所蔵の水溫、塩分データから求めた各海域の音速分布を入力パラメーターとして、ある海域のある間隔における音波伝播時間及び水溫分布を求めるものである。

② 太平洋の風成大循環

地球規模の長期的な気候変動に影響を与えているとされる海洋大循環に対して、シミュレーションを行っているもので、現在は、主に太平洋の風向風速から生ずる太平洋の海流の流向流速分布を求めている。

③ 衛星リモートセンシングデータの画像処理

主に NOAA 衛星のリモートセンシングデータを利用して、軌道情報 (赤経傾斜角ほか)、水溫情報等を入力パラメーターとして、海面水溫分布のカラー画像を求めている。

④ 海底地形の把握

主にシービームデータを使用し、船位、水深等を入力パラメーターとして、海底等深線図や鳥瞰図を描いている。

⑤ 「ドルフィン 3 K」での「しんかい 2000」救難時の索の動きの把握

「ドルフィン 3 K」で安全に「しんかい 2000」を救難するためのシミュレーションで、索の形状、流向流速、船の運動、ウィンチの巻き上げ速度等を入力パラメーターとして、索の動きを求めているが、これにより、救難時の船の運動やウィンチ

表一8 当センターにおける各種プログラミングの作成・利用一覧表

分野	利用目的またはテーマ	入力パラメータ	出力結果	備考
海洋物理	海洋計測データの統計処理 (黒潮エネルギー把握)	流向流速、水溫、塩分 (各深度毎)	各パラメータの時系列、流速のエネルギー密度	係留系による計測データ使用
	海洋音響トモグラフィ	音速分布 (水溫、塩分からの計算値)	音波伝播時間、水溫分布	JODC 所蔵データ使用
	太平洋の風成大循環	太平洋の風向風速分布	太平洋の海流の流向流速分布	シミュレーション
	黒潮、暖水塊等の流向流速分布の把握	船位、流向流速	航跡下の流向流速ベクトル図	ADCP データ使用
	衛星リモートセンシングデータの画像処理	軌道情報 (赤経傾斜角他)、水溫	海面水溫分布カラー画像	NOAA 衛星データ等使用
海底物理	海底下構造の把握	海底重力、海底地形	地殻の厚さ、堆積層の厚さ	
	海底地形の把握	船位、水深	海底等深線図、鳥瞰図	シービームデータ使用
海洋機器	無索 ROV の水中運動制御解析 (ファジー制御と比例制御との比較)	ROV の形状、重量、重心の位置	ROV の原点からの距離及びスラストの回転数時系列	シミュレーション
	ドルフィン 3 K でのしんかい 2000 救難時の索の動きの把握	索の形状、流向流速、船の運動、ウィンチの巻き上げ速度	索のカテナリー	シミュレーション

の巻き上げ速度等の制御の仕方が明確になる。

4. 情報室の将来展望

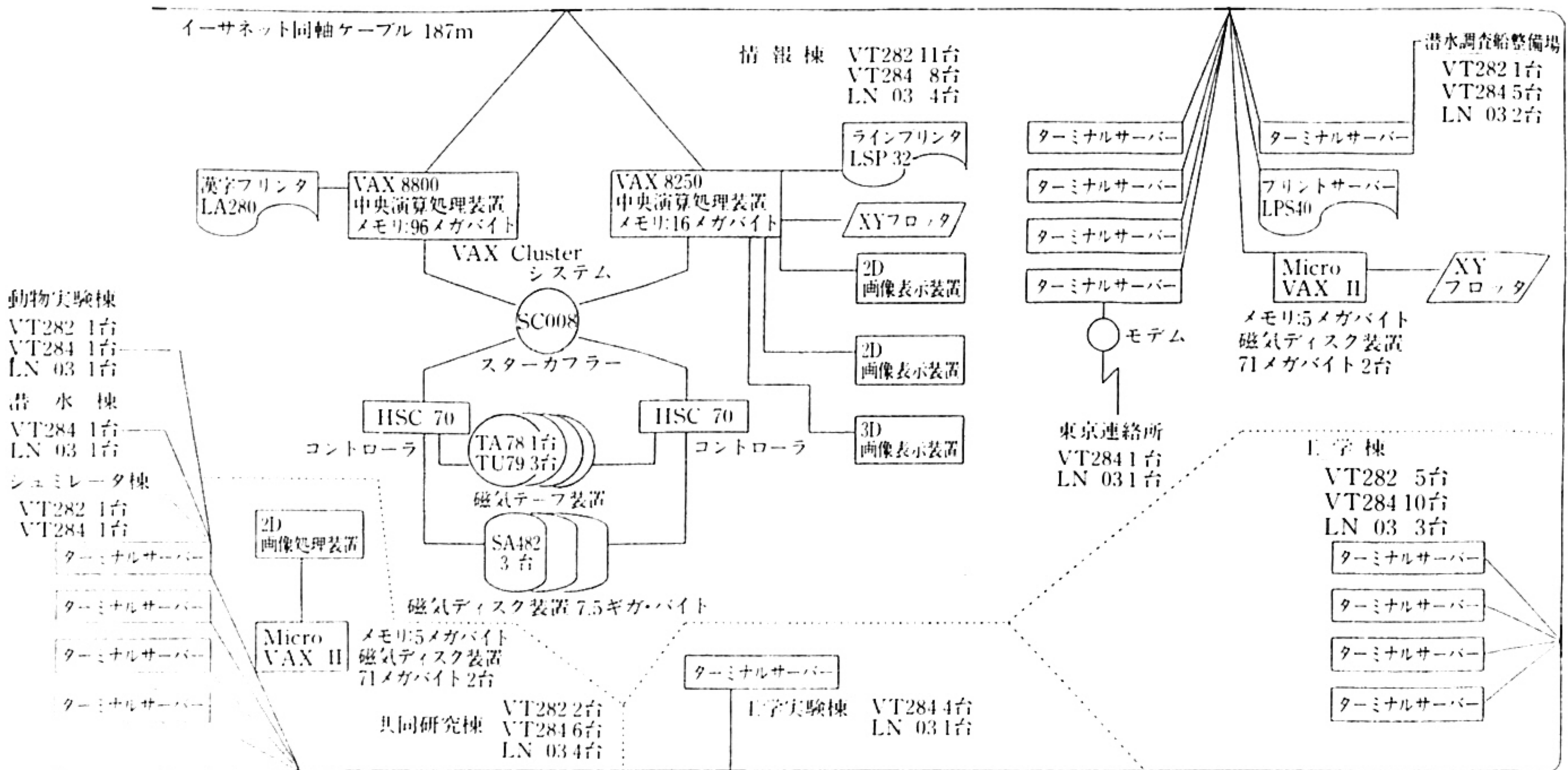
海洋開発とは、非常に広範囲で特殊な環境を含んだ分野であり、これらを効率よく進めるためには、海洋の特殊性を考慮しながら現有の科学技術や先端技術との調和を図りつつ、それぞれの分野に対応した技術開発を進めていく必要がある。

このような考え方から情報室においては、今後ますます時代に即した海洋開発をテーマ（特にセンターが進めようとしている研究開発推進に必要な技術動向や共通技術、さらに将来センターが取り組むべき研究課題の発掘等に重点をおいた調査）とした情報活動をより効果的に実施することを目標として、情報ニーズの背景となる海洋開発、海洋科学技術の動向に着目しながら情報活動を行い、新たな発展に対処できるように充実を図っていきたい。

また、さらに電子計算機室においてはコンピュータネットワークの拡充整備を図るため、

より高速大容量のコンピュータネットワークシステムの構築が不可欠である。これが実現すると、たとえば海洋音響トモグラフィーでは、実海域実験により得られた音波伝播時間データから当該海域（たとえば太平洋の数千 km 四方の海域）の渦場、水温分布、塩分分布等を高精度に立体画像で現すことができ、さらに太平洋の風成大循環のシミュレーションも、メッシュを細かくしたり、パラメーターを増したりすることが可能になり、精度の向上が図れ、地球規模の気候変動機構の解明に対して気象分野に提供できるデータが得られる。また、海洋リソスフェアの変形に関するシミュレーションでは、太平洋のプレートの動きを把握し、関連する諸現象、たとえば、マグマ溜まりであるホットスポットからの間欠的な火山や巨大地震の発生機構等の解明が一步前進する。

したがって、将来は、ホストコンピュータをスーパーコンピュータとし、現状のコンピュータネットワークを接続し、各種業務の目的別に分散処理が可能なネットワークシステムの構築を図りたい。



図一 海洋科学技術センター VAX コンピュータネットワーク

5. 研究機関として具備すべき条件と展望

当センターが海洋分野における研究機関として認知されるための条件とは、

- (1) 自然現象を理論的に推定するモデル・理論式の作成
 - (2) 観測データから自然現象を推定するモデルの作成
 - (3) モデルの証明
 - (4) 自然界における新発見
 - (5) 観測手段の設計・実用化
- などである。

これらの研究成果を上げるためには、つまり研究機関として具備すべき条件とは、

- a) 人材の確保, 育成
 - b) 組織・体制の整備
 - c) 設備（ハード及びソフト）の保有・維持管理
- などである。これらについて以下に具体的に述べる。

人材の確保, 育成については、研究部門においては、優秀な人材を確保すれば、他の b), c) が、仮に脆弱だとしても、上記 (1), (2) は実施できる可能性は高い。ただし、管理者が、研究しやすい環境づくりを行い、研究員の持っている長所をより伸ばすようバックアップすることが必要である。したがって優秀な管理者の確保・育成も研究員と同様に重要である。研究員の育成方法は所内研修, 留学, 輪講等があるが、少なくとも、当初 1~2 年は研修に重点を置き、関係分野の基礎研修はもちろんのこと、当センターが認可法人であることの位置付け、及び職員としての立場についての研修も実施する必要がある。

組織・体制の整備については、上記 (1) と (2) において、現状では、コンピューターを使用して

プログラミング及びシミュレーションを行うことが必要であり、研究員と協力して、それらが行える組織・体制づくりをしなければならない。(3), (4) においては、観測データの収集と解析が重要であるが、当センターでは、データの収集者と解析者が同一人物であることが多く、かつ、データ収集頻度が高く、解析する時間がとれないことが多い。さらに、事務的な書類処理作業に時間をとられるため、解析時間は一層減少しているのが現状である。(3), (4) の成果を上げるためには、データの収集, 解析, 事務的な書類処理作業を、それぞれの専従者が行える体制が必要である。ただし、研究内容によっては、解析者が、データの収集現場を観察しなければならないこともあるので、その場合は、解析する時間を考慮した、スケジュール管理体制が必要である。管理部門においては、研究を進捗させる上で必要な法律的な諸手続きを行う部門が必要であろう。現状では、たとえば、電波申請手続きは、非常に繁雑であるが、不慣れた研究員が行っており、本来行うべき研究の時間的損失が非常に大きい。

設備の保有・維持管理については、当センターでは、各種大型供用設備, コンピューター, 各種実験船・探査機を既に運用しているが、現在不足しているものは、諸設備の整った研究室や工作室及び、高速大容量コンピューターネットワークシステムである。このような研究室と工作室は、研究員が、落ち着いた環境の中で研究に専念し、また、試作を行うための部屋である。これらが充実すれば、上記 (1), (2), (5) はもちろん、(3), (4) の解析効率が向上するであろう。また、高速大容量コンピューターネットワークシステムについては、4. に既述したが、上記 (1), (2) に特に有効となるであろう。

当センター研修・施設 機器等の紹介

しんかい2000

深海開発技術部 高橋 憲二
Kenji Takahashi

1. 「しんかい2000」の生い立ち

「しんかい2000」は、我が国で初めての本格的潜水調査船として、昭和48年及び昭和54年の海洋開発審議会での開発の必要性が答申されたもので、昨年11月に当センターに引き渡された6,000 m級潜水調査船「しんかい6500」開発へ向けての中間段階として、要素技術及びシステム機能確認運用経験を蓄積するため開発、建造されたものです。昭和53年度から4年の歳月をかけ建造され昭和56年10月に、建造所である三菱重工業（株）より海洋科学技術センターに引き渡されています。

建造の最終段階である実海域における潜航試験では、段階的に潜航深度を増して性能を確認し、最終的には深度2,008 mを記録しています。

その後、「しんかい2000」は、約1年間の慣熟訓練を経て昭和58年から本格的な調査観測を始め今日に至っています。この建造に当たっては、当時の先端技術が導入され信頼性・安全性の高い潜水調査船システムが実現されています。例えば乗員3名を収容する内径2.2 m耐圧殻には、加工、組み立てに高度の技術が要求される超高張力鋼（NS90）が採用され、建造後8年を経過した今日でも、その十分な健全性がそれらの工学的評価によって確認されています。また「しんかい

2000」で開発された動力源である酸化銀・亜鉛電池は「しんかい6500」でも、性能改良が加えられ使用されており、潜水調査船の生命ともいえる浮力材、チタン合金製耐圧容器などについても、開発された技術の有機的な継承が行われてきています。この技術開発と調査・研究という点だけでも、「しんかい2000」は、既にその役割を果たしたとも言えますが、数多くの深海調査機会を提供することで、今日の日本周辺の深海調査には必要不可欠な手段としての地位を築き上げています。このことは、昭和63年にユーザーを対象として実施されたアンケート調査「深海潜水調査船に関するニーズ調査」の結果での年間600回を超える潜航ニーズにも示されています。

「しんかい2000」の主要目は次のようです。

潜航能力：2,000 m(200海里経済水域の30%)

主要寸法：全長 9.3 m

幅 3.0 m

高さ 2.9 m

空中重量：約 24 ton

潜航速度：毎分 22 m

水中速力：最大 3ノット

乗員：3名

ペイロード：100 kg

調査観測機器：マニピュレータ

水中TVカメラ、水中スチルカメラ等

この「しんかい2000」システムの開発に当たっては、当センターに潜水調査船開発研究会（濱田昇委員長；「しんかい6500」開発での潜水調査船開発検討委員会の前身）を設けるとともに、専門的事項については、音響専門部会、船殻専門部会、調査観測専門部会、6,000 m 潜水船潜水技術調査専門部会及び運航専門部会を設置し、開発の各段階及び運用上の問題についての調査・審議が行われました。

2. 「しんかい2000」のオペレーションと特徴

「しんかい2000」の主機能である潜航は、それまでの海外の潜水調査船アルビン（米国WHOI：潜航能力4,000 m）またノチール（仏国IFREMER：潜航能力6,000 m）と同様に、バラストウェイトを保持・離脱することによって行われます。これは潜水時の上昇・下降には、重力を利用することで、動力（蓄電池電力）の節約を計るもので、保有している180 V、275 Ah×2群の容量の蓄電池は、海底での最長3時間におよぶ調査観測活動で消費されます。しかしながら重量、容積に対しエネルギー密度の高い酸化銀・亜鉛電池からの電力をインバーターで操作、保全性のよい交流にかえて各機器に供給している点はユニークと言えます。潜航下降を開始し海底に到達し、約半分のショットバラストを棄て中正浮量状態をとると、左右に60°向きを変える主推進器及び垂直・水平方向に推進を変えることのできる補助推進器を使用して「しんかい2000」は自由に海底付近を動き回り、調査観測を行う事ができます。調査中の「しんかい2000」の位置は、支援母船からの音響測位により測定され、水中通話器を通じて伝えられます。外界の視覚による調査観察は、耐压殻前方の二つの視窓（内径120 mm）また正面のカメラ窓からのTV画像及び耐压殻外に設けたTVカメラからのモニター像によって行われます。深海は暗闇の世界です。それぞれの視界を照らす照

明ライト（ハロゲンランプ×6個）が装備されています。またCTFMソナーと呼ばれる音響による前方障害物探知ソナーが装備され、光の届かない遠方の岩などの障害物を探知し安全な操船が行えるようになっています。

海底で採取対象をみつけると、前面下部に設けた6自由度のマニピュレータによってこれを採取し採取物入れに保管し持ち帰ることができます。また保圧型採水器などをペイロードラックに搭載し、これをマニピュレータで操作することも行われています。

調査後2,000 mの海底から海面に浮上するには、下降潜航に掛かるのと同じ1.5時間を要します。浮上後「しんかい2000」は母船「なつしま」に、船尾のAフレームクレーンにより揚収され台車上に安置し、格納されます。この揚収作業は、有義波高約2.5 mの荒れた海象でも可能となっています。

3. 「しんかい2000」の調査活動

就航当初、「しんかい2000」を用いた調査観測については、科学技術庁研究調整局において策定された深海調査研究の基本計画に基づいて、当センターに設けられた深海潜水調査船運用委員会（日本大学教授黒木敏郎委員長）にて詳細な運用計画が策定実施されました。現在では、科学技術庁を中心に、センターに設置されている潜水調査船潜航調査推進委員会（放送大学教授、東大名誉教授奈須委員長、センターでは中戸理事及び堀田深海研究部部長が委員）がこの任にあたっています。「しんかい2000」の潜航実績は、昭和57年の1月の相模湾での訓練潜航開始以来平成元年10月末までに455回の潜航を行っています。年平均にすると約60回という潜航回数になりますが、特に最近の数年は回数を伸ばしつつあります。

これまでの潜航で、通産省工業技術院地質調査所などの国立試験研究機関、特殊法人試験研究機

関、水産試験場・栽培漁業センターなどの公的試験研究機関、大学・付属研究機関及び地震予知連絡会などを中心にして、多くの研究者が乗船し、それぞれの分野で多くの研究成果を挙げています。「しんかい2000」での潜航を経験した研究者・調査者は約150名に及んでおり、この中には米国ハワイ大学、メリーランド大学など海外からの研究者も含まれています。

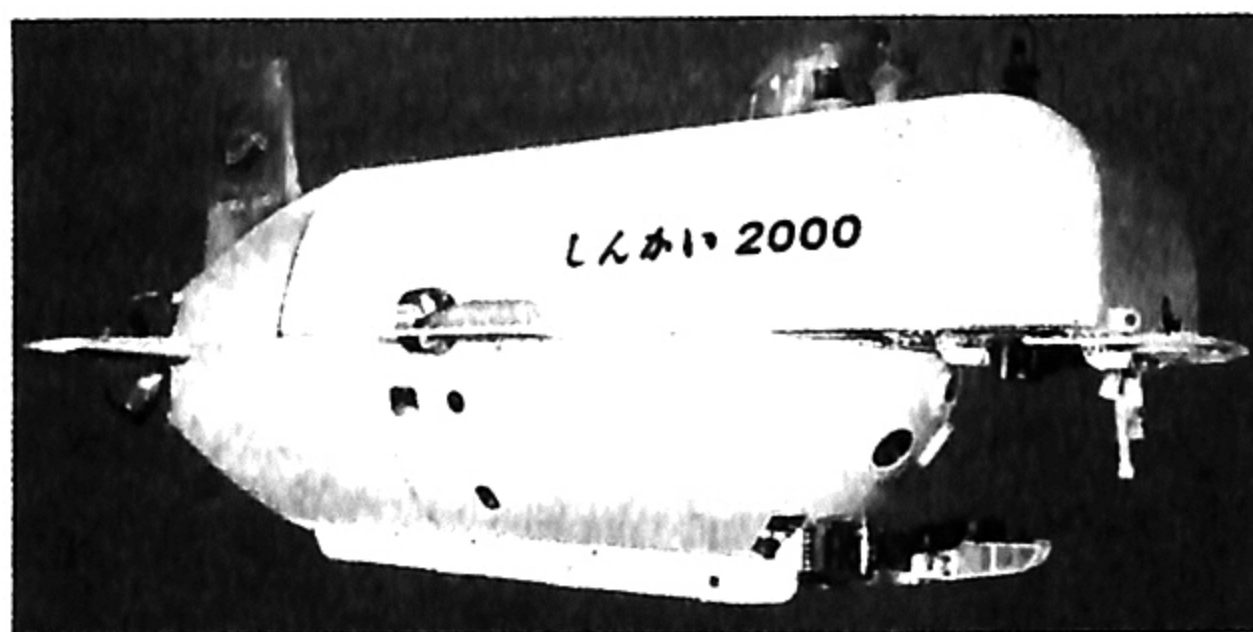
「しんかい2000」の調査海域は日本近海で、北は北海道西方海域、南は南西諸島海域と広域にわたっており、それぞれの調査対象に応じて、チューブワーム、シロウリガイなどの深海生物また熱水堆積物などの観察、資料採取を行い研究のうえで貴重な役割を果たしています。これらの成果は、今まで5回にわたって開催されている「しんかい2000」研究シンポジウムにおいて発表、報告されています。次に示す多様な分野での調査活動が今後ともに続けられ、一層の成果を挙げる事が期待されています。

- (1) 海底バイオに関連する深海微生物の調査研究
- (2) 熱水鉱床、燐灰土など海底鉱物資源の調査
- (3) カニ、ソコダラなど未利用生物に関する深海生物資源の調査
- (4) 水温、塩分など環境に関する海洋物理学的調査研究
- (5) 地震予知などに関連する地球物理学の調査研究
- (6) 海底観測ステーションの敷設などの海洋構造物の状況調査

最近では、保圧型のバイオ採取装置およびロックドリルなどの特殊ペイロードを装備しての潜航も行われており、潜航機会を提供すると同時に、複雑・多様な観測に対応する事が望まれているところです。

4. 「しんかい2000」の今後

「しんかい2000」は、来る平成3年に、その設計寿命として設定された10年目を迎えることとなります。これまで陳腐化、老朽化した観測機器の換装は適時行われてきましたが、依然調査観測能力の飛躍的向上、深海バイオ採取に関する新規システムの実証実験を担うなどのニーズは強く、切実なものがあります。これに対応して、昭和62年度より耐圧殻など主要構造の老朽度調査また艀装品の陳腐化度評価を検査整備と平行して進めてきており、健全性が評価された主構造の流用をベースにし多様なニーズに効果的に対応できる改造計画を進めているところです。「しんかい2000」の改造は、支援母船の音響装置などの必要



写真一 「しんかい2000」外観



写真二 「しんかい2000」耐圧殻内状況

な改造を含め平成5年度の12年目の定期検査までに実施されるべく計画が練られています。

最後に「しんかい2000」の外観等を紹介します。

ホーネットランチャーシステム

潜水技術部 沼田 光政 Mitsumasa Numata

1. はじめに

海中作業実験船「かいよう」に装備された深海潜水装置（SDC/DDC システム）を使用して水深 300 m までの飽和潜水実験を行ってきた。

海底では 2 名のダイバーがロックアウトするが、内 1 名は他のダイバーの作業状況・周辺状況等を TV カメラにて撮影、映像を船上でモニターし他の 1 名のダイバーに作業を指示するかたちで海中作業を行い、実質の海中作業は 1 名しかできなかった。

海底やダイバーの状態が船上で包括して把握できれば海中作業の安全性及び作業効率の向上に結び付けられるとの見通しから、DPS による定点保持を行っている「かいよう」から SDC を運用している状態で同時運用できる無人機システムの開発を目指した。検討の結果深海開発技術部が開発した無人機（ホーネット 500）を基にランチャーを付けて運用できるシステムとした。

2. システム構成

主要機器は、

- ホーネット 500（2 次ケーブル：50 m）
- ランチャー（1 次ケーブル 550 m：重量 475 Kg）
- 1 次ケーブル用ウィンチ（巻出し／巻取り 30 m/min）
- 揚降用クレーン（4 t-m）
- ホーネット及びランチャー監視制御装置

である。図-1 に「かいよう」船尾部の据え付け

状況を示す。また、図-2 には 1 次ケーブル用ウィンチを示す。

ウィンチはドラム両端にホーネット及びランチャー用の光ロータリーコネクタが取り付けられ、駆動源は油圧とし、油圧ユニットをウィンチに持ちウィンチ及びランチャー揚降用クレーンの動力として使用している。

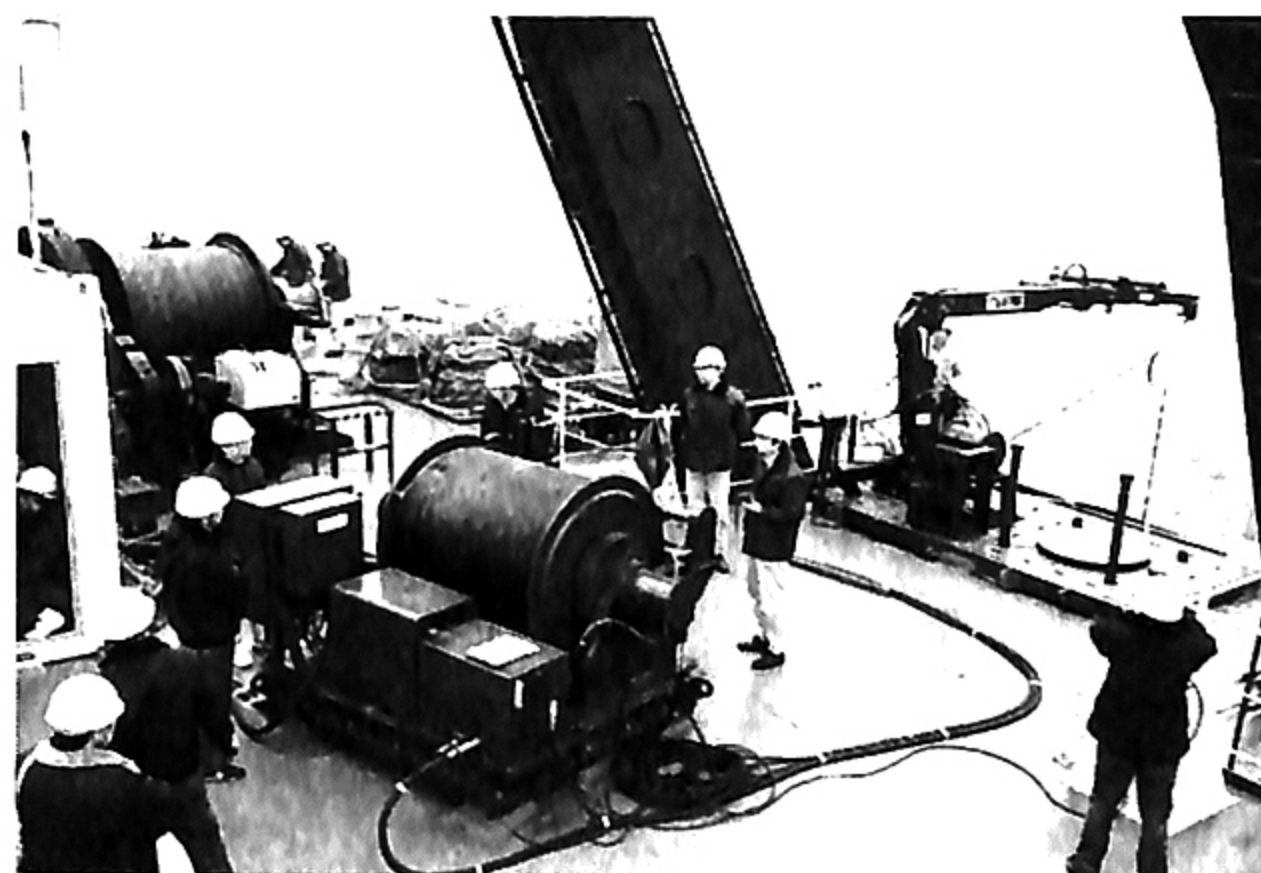


図-1

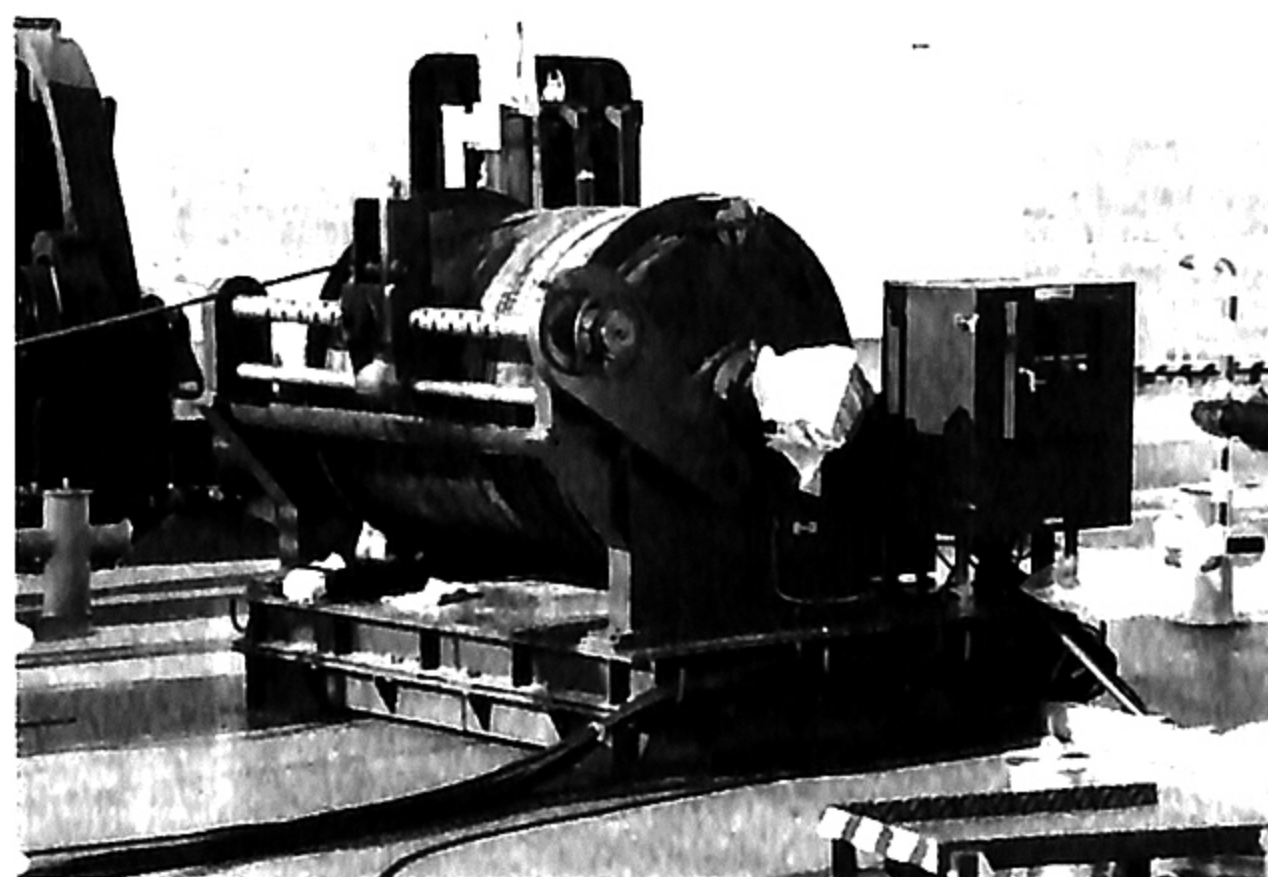


図-2

3. 運 用

これまでの運用実績は、

- 4 航海（1－取水管調査，3－潜水実験関連）
- 延べ運用回数：21 回
- 潜降深度：60－300 m
- 総運用時間：65 時間 31 分

であった。いずれの運用も「かいよう」によるものである。

潜水実験時の運用に当たっては、潜水作業の流れ、海中のダイバーと海底に設置した作業用構造物、更には船の位置について常に把握しておくことが必要である。また、無人機オペレータは潜水作業指揮者と連絡を取りながら海中のダイバーがより安全に、かつ、効率良く作業遂行できるための映像をとらえることが要求される。

一方、運用回数の増加とともにオペレーションの習熟度、運用ノウハウが蓄積され、今後は、運用法のマニュアル化、保守・整備に関して検討を行いより効率の良い運用を目指している。

図-3 にランチャー制御装置の一部のミミックパネルを示す。図-4 にはランチャー着水作業時の様子を示す。

4. おわりに

本システムの完成により潜水作業として大きく前進したことは、海中作業域を無人機のカメラに

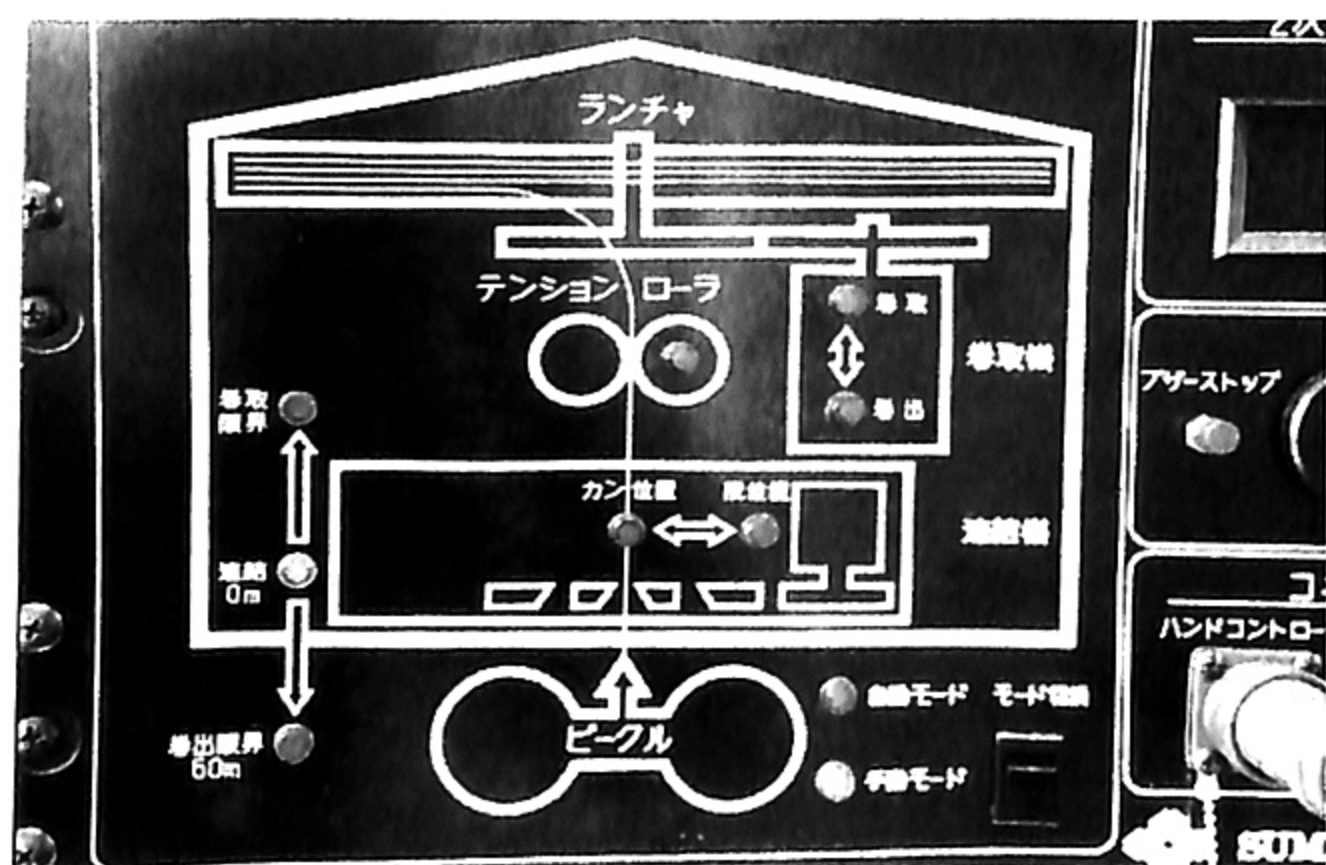


図-3

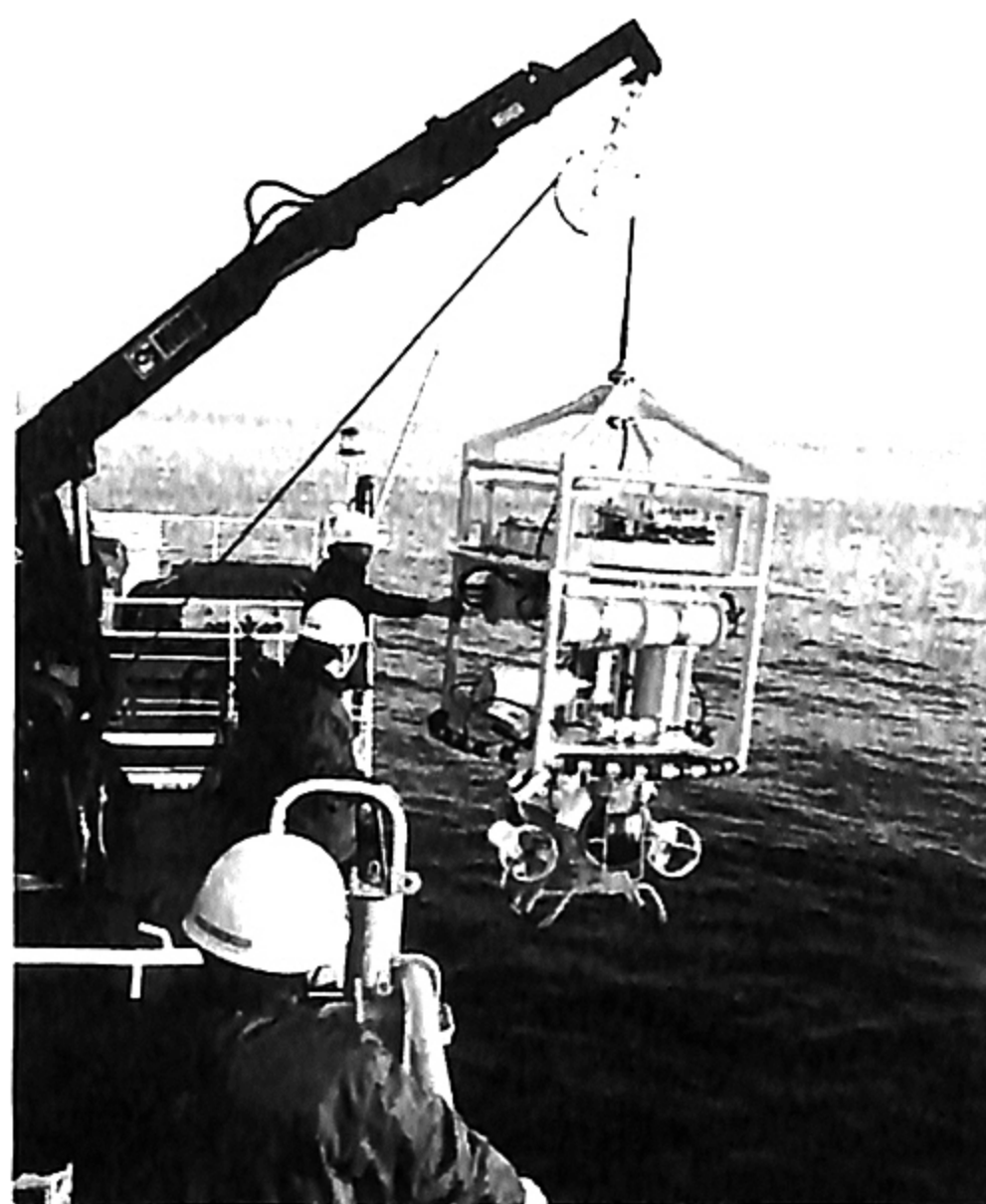


図-4

より総括して監視可能となったことであり安全性及び作業性の向上が図れたことから潜水作業の応用分野は大きく拡大した。

今では、我々が行う深海潜水実験には重要な役割を持つ潜水作業支援装置の一つになった。

また、ダイバーの海中作業を監視するのみではなく、潜水作業実施海底の事前観察、重量物海底設置の際に海底との衝突を避けるため無人機よりの映像をモニターしてのウィンチ作業、重量物設置後の状態、そして吊り索の状態観察等、本システムがあって多くの実際的な作業が可能となった。

飽和潜水の支援装置としての無人機については他の無人機とは異なった機能が要求される。今後は、ハード面での改良、運用面での信頼性向上、省力化そして保守管理等について検討を加え新たなシステムを開発しさらに広範な海中作業・調査に貢献するものとした。

最後に、本システムの開発に当たって深海開発技術部第3研究グループの方々に助言をいただいたことを本紙面を借りてお礼申し上げます。

ワシントン大学応用物理学研究所を訪問して (Applied Physics Laboratory, University of Washington)

海洋開発研究部

安田 哲也 Tetsuya Yasuda

シアトルは豊かな緑に囲まれ、米国で最も美しい都市の一つにあげられるが、特にシアトル市郊外にあるワシントン大学の周辺は、美しいワシントン湖のほとりの広い敷地にレンガ造りの中世ヨーロッパ風の建物がゆったりと配置され、素晴らしい景観である。応用物理学研究所 (APL) はこのワシントン大学の海洋・水産科学カレッジに属する海洋関係の研究所で、ワシントン大学キャンパスの西側、Ship Canal Bridge のすぐ側にある (写真-1)。

今回、シアトルで開催された OCEANS '89 に参加した機会をとらえてこの APL を訪問し、研究施設を見学するとともに現在 APL で行われている研究内容についての説明をきくことができたので、概要を紹介する。

APL は超音波技術を中心とした各種海洋観測の研究を行っている。年間の予算規模は約 2,000 万ドルで、このうちの 90% が U. S. Navy から

のものである。特に最近では、北極圏での超音波利用技術の開発に力を入れており、“氷の下”の軍事機器開発の一翼をになっているようである。また、この他にも各種海洋観測、海底探査、北極圏の氷の観測や、これに必要な観測機器の開発を行っている。

本研究所の組織を表-1 に示す。所員数は約 230 名である。

所員のうち、研究者及び技術者は約 150 名であり、それ以外は研究の支援部隊である。研究者の多くは、ウッズホール、MIT、ワシントン大学等の出身者であり、所長の Dr. R. C Spindel もウッズホールで海洋音響トモグラフィの権威として知られていた人である (同氏は OCEANS '89 の Chairman をつとめている)。

APL を訪問した日は、まだ OCEANS '89 開催中であり、同氏が Chairman であることもあって所員のかなりの人が出はらっていたが、副所長の Dr. Harlett に面会することができ、APL の主要な研究についての説明及び、所内の研究施設・研究室等を案内していただいた。

1. APL の研究

APL の研究は超音波の応用等の実用化技術を中心とした特色あるテーマが多く見られる。以下はその中の主なものとして説明を受けたテーマである。

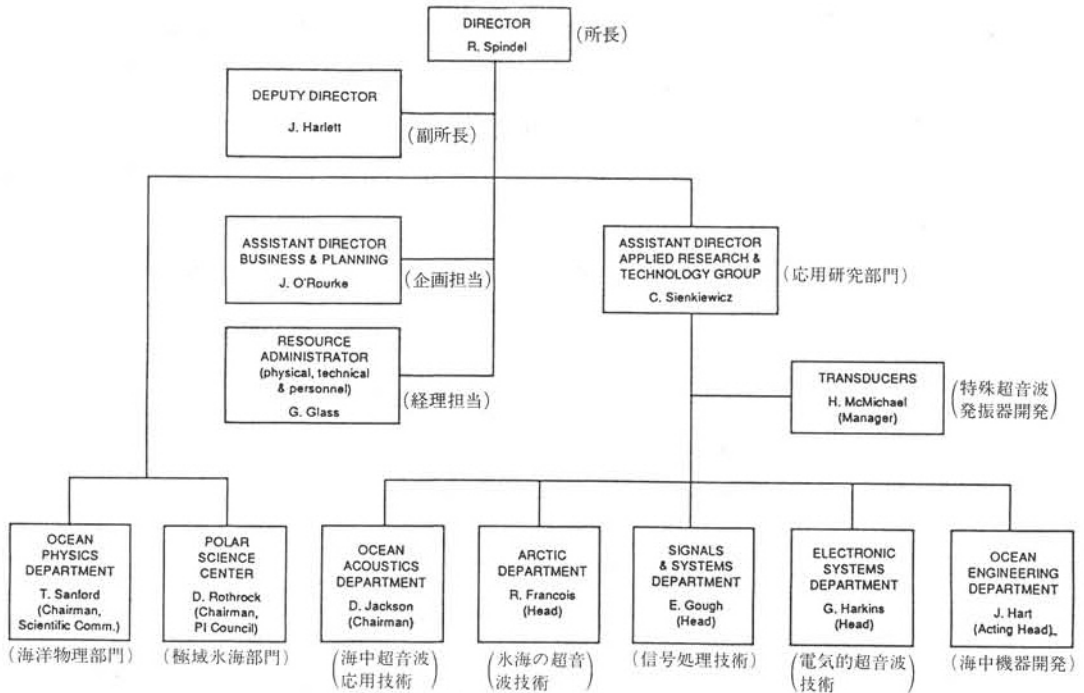
1.1 Acoustic Lense System

APL が開発したユニークな超音波システム



写真-1 ワシントン大学応用物理学研究所研究本館 (APL)

表一 ワシントン大学応用物理学研究所組織 (1989年9月現在)



で、薄い半球状の外殻の中に液体をつめ、一方から入射する超音波を後方の1カ所に集めることで一度に広域の超音波情報を認識することができる。

1.2 Upward Looking Sonar (ULS)

氷海域の氷厚の時間変化を計測するためのシステムで、Acoustic Lenseを上向きに取付けたULSを氷の下に係留して計測する。APLではすでに4基のULSを製作し、北極域の氷の計測を行っている。

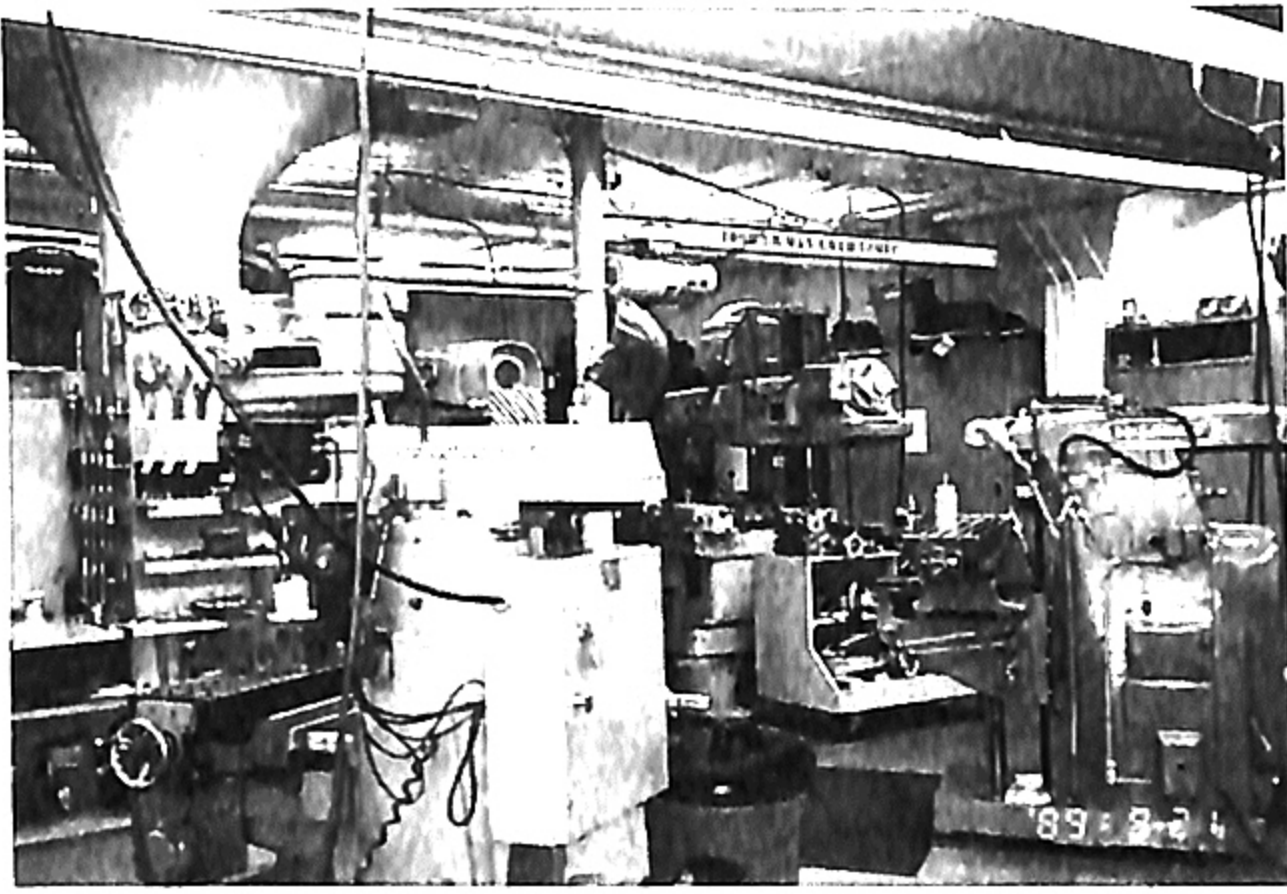
1.3 Autonomous Conductivity & Temperature Vehicle (ACTV)

氷海域の氷の下を無索で自動潜航し、海水の水温や電導度を計測するVehicle。直径10cm、長さ2m程度の円筒状をしており、前方にセンサー、後方に推進用プロペラをつけている。APLは国際的北極海調査計画であるCREAREX (The Coordinated Eastern Arctic

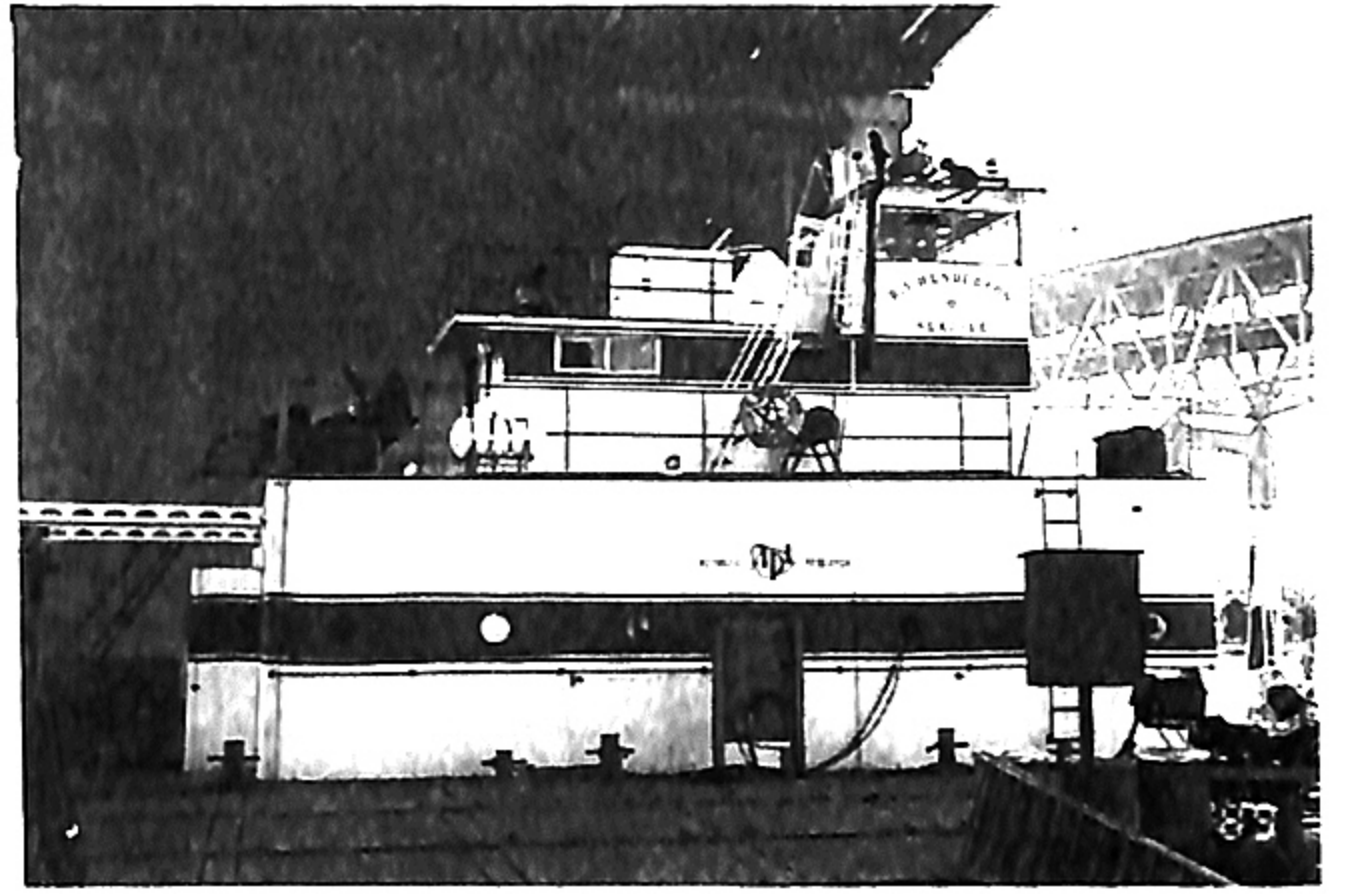
Experiment, ノルウェー・イギリス・カナダ・アメリカの共同プロジェクト)に参加しておりACTVは氷海の調査活動の中で大いに活躍している。

1.4 Hydrothermal Vents Project

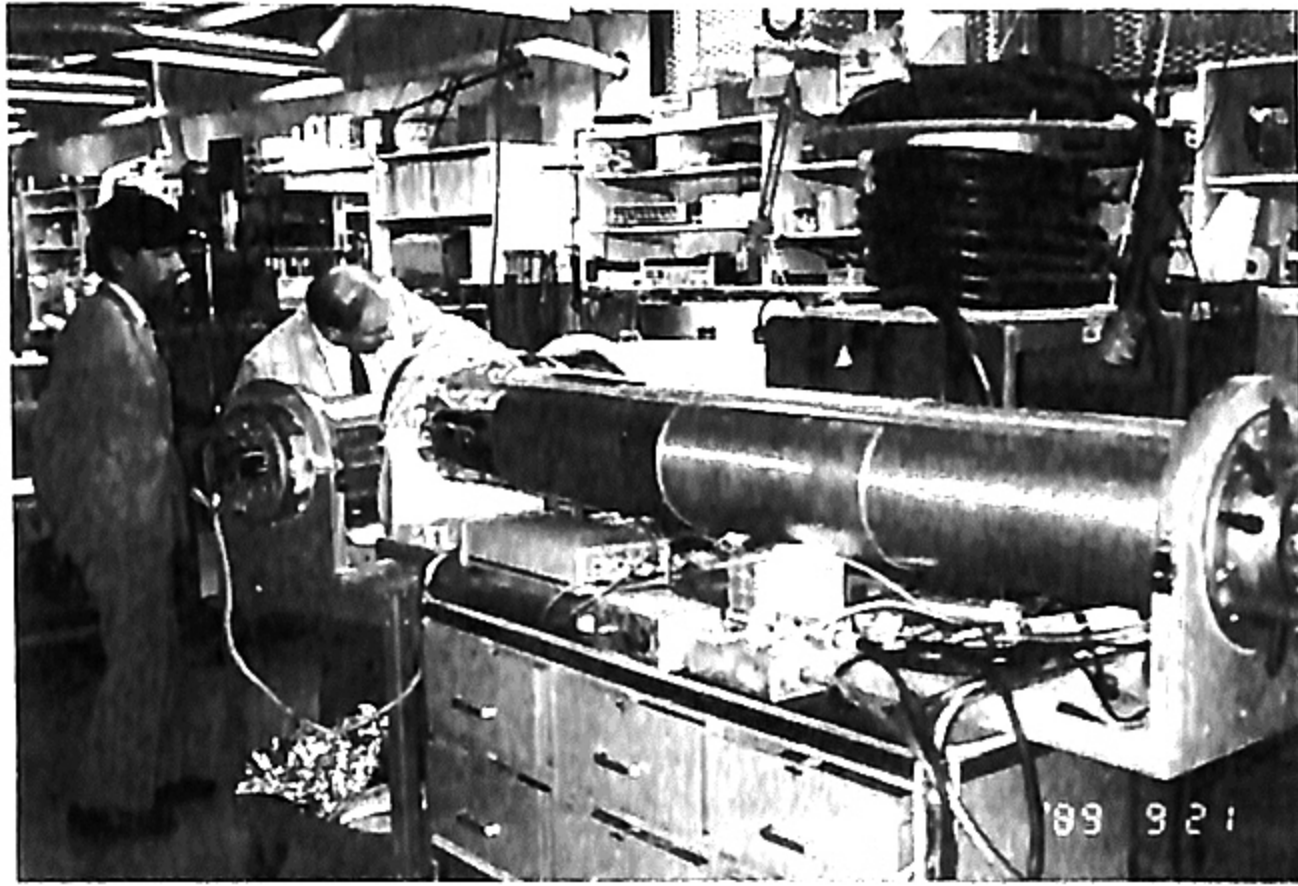
APLでは深海底から噴出する熱水の熱や含有鉱物を回収して有効利用していくための研究を行っている。熱水を利用するためには、熱水の温度・流量・含有成分を長期にわたって調べるとともに、熱水にさらされる各種金属材料の劣化についての研究を行う必要がある。APLでは東部太平洋のJuan de Fuca海底山脈の熱水噴出点2カ所を選び、1988年の夏に上記を目的とした観測テストを46日間にわたって実施した。噴出点直上にテスト用合金を置いて材質の劣化を調べた他、チムニーの成長の観察記録や回収された析出鉱物等貴重な成果が得られた。



写真—2 ワークショップ内設備（1）



写真—4 超音波機器テスト用台船
R/V HENDERSON



写真—3 ワークショップ内設備（2）

2. APLの研究施設

APLの研究者用の執務室や文献閲覧室等は、新しく建てられた5階建のビルの中にある。一方、研究の中で必要となる機器開発を行うためのワークショップ、研究室、実験室等は新館とつながった古い建屋の中にある。ワークショップには各種工作機械が置かれ、機器の製作・改良・修理等をすべて行うことができる（写真—2）。実験室には超音波機器の性能テストを行うための小型水槽が置かれていた。研究室のそこそこには、観測用ビークル、ACTVやAcoustic Lense等の機器が置かれ、技術者がたえず点検・整備をくり返している

様子であった（写真—3）。研究用建屋からワシントン湖の方に降りていくと棧橋があり、ここにAPL所有の台船R/V HENDERSONと小型船が接触していた（写真—4）。いずれも超音波機器のテストを行うためのもので、テストは主にワシントン湖にて実施しているとのことであった。

3. 感想

副所長のDr. Harlettは、忙しい執務の最中にもかかわらず、所内の研究や施設について、ていねいに説明して下さり、所内の設備も多く見ることができた。最初、Navy関係の仕事が多いと聞いた時には少々びっくりしたが、研究という立場のせいかな説明内容は非常にフランクであり、機密という色あいは感じられなかった。最も印象に残ったのは、工作室の設備の内容で、いわば“工場”とでも表現できる立派なものであり、それなりのスタッフもかかえているとのこと。機器開発に伴う種々の試作、改良を思った時に思ったように行えるわけで、非常にうらやましく、一方では各種ハイテク機器のハード面にまで目をゆき届かせている研究者のレベルの高さに驚かされた。

黒潮

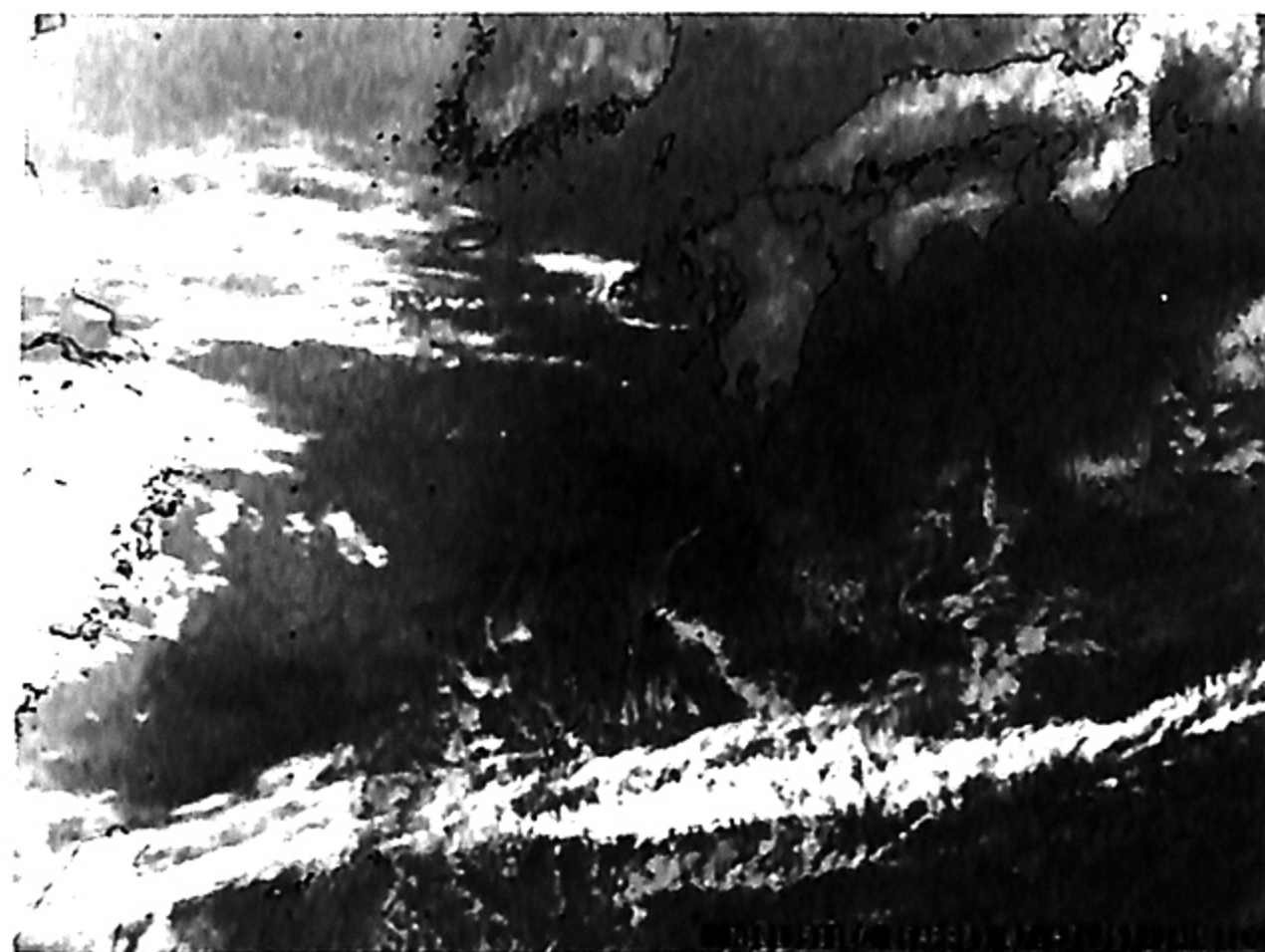
海洋開発研究部 黒田 芳史 Yoshifumi Kuroda

黒潮は太平洋の水を集めて流れている。

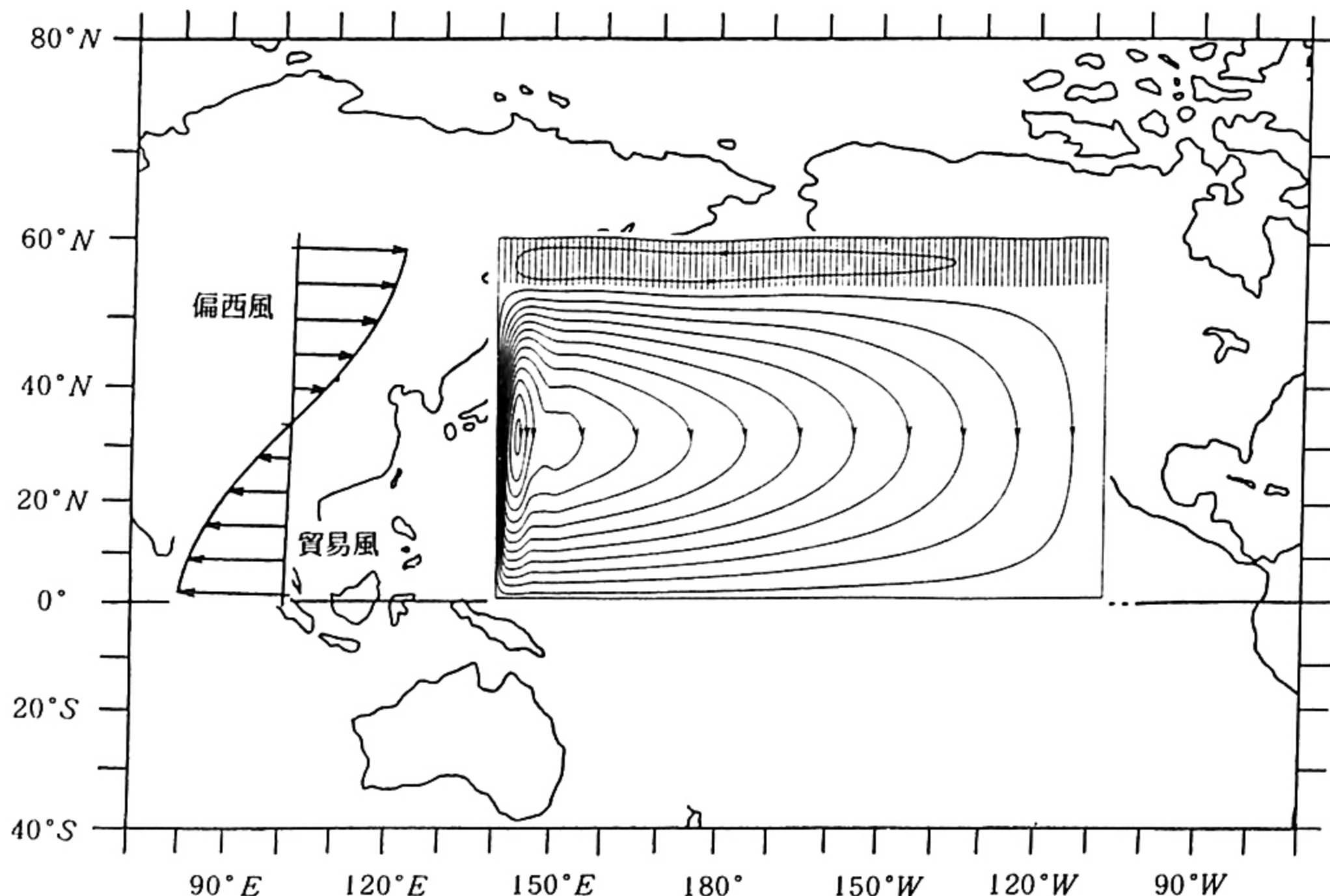
図一1は非常に単純化された太平洋に、図中のこれもまた単純化された偏西風と貿易風を数値モデルの上で吹かせた結果を流線で示したものである。2本の流線の間と同量の体積の海水が流れている、つまり線の間隔が狭まっている場所で強い流れが存在する事を意味する。太平洋の大部分の海域でゆっくりと南下して流れているのに反して、これと同じ流量の水が西側の岸の非常に狭い範囲で北上している。この西岸の強い流れが黒潮と呼ばれる。

写真一1は衛星熱赤外面像で濃い部分が海面の暖かい部分にあたる。日本南岸を流れる黒潮が大陸棚や岸に沿って流れている様子がわかる。源流

の熱帯域から大量の熱を運び日本に温暖な気候をもたらすことが実感される。



写真一1 衛星熱赤外面像による日本南岸の海面水温分布 (1989年4月) (画像提供, 浅沼市男)



図一1 風成海洋大循環モデルによる北太平洋の流れ場 (黒山順二, 1989, JAMSTEC TR)

黒潮は、フィリピン海（あるいは台湾東岸）から日本東岸で離岸するまでの部分をさし、その強流域の幅は100 km程度、最大流速は2~2.5 m/秒で、深度500 m以浅に流れの中心をおく。黒潮の流量は3000~6000万トン/秒とされているが、深海域での流れの分布や、流量の季節変動や経年変動は明らかでない。気候変動の観点からこれらの実態の解明が望まれている。

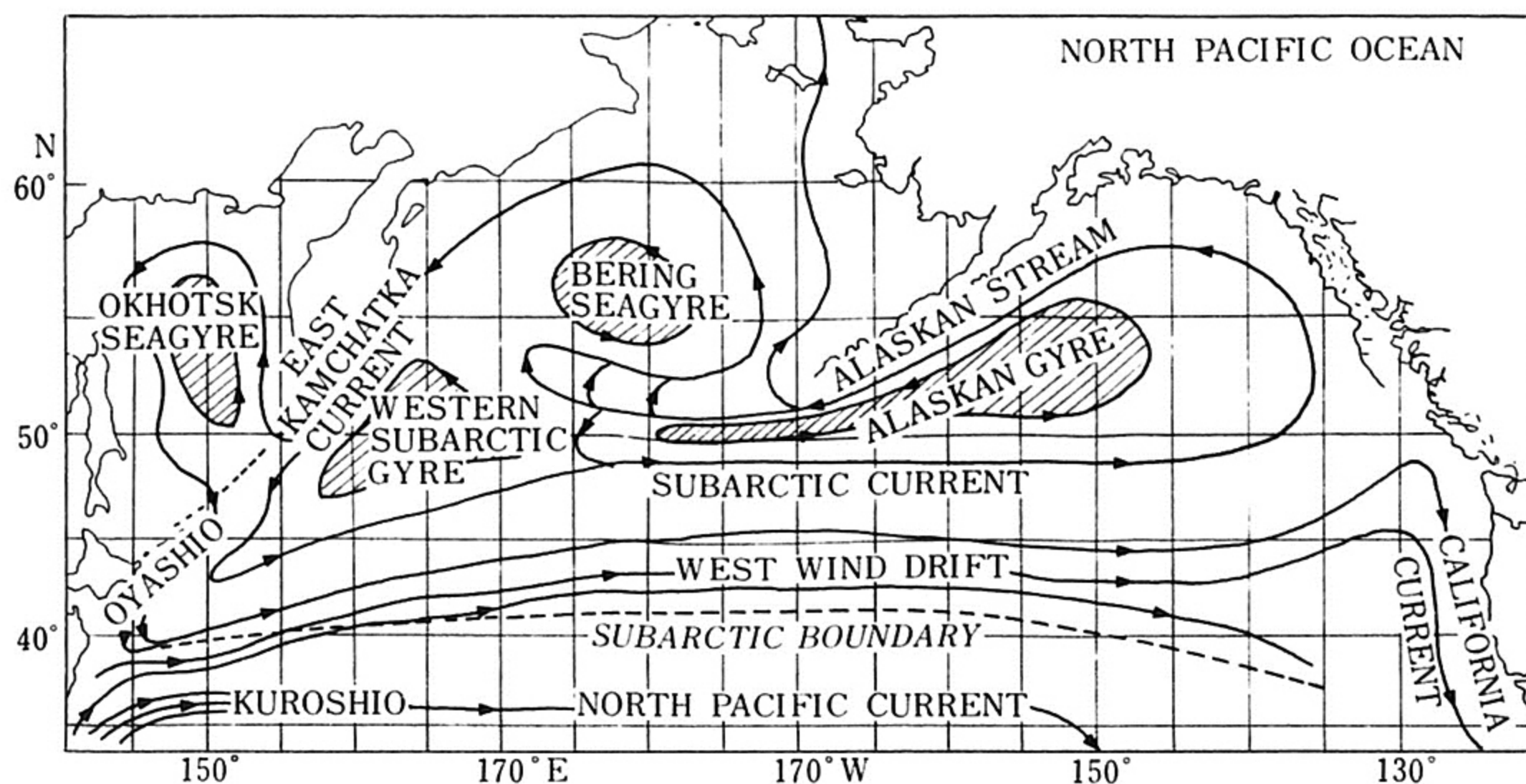
現在、当センターでは日中黒潮共同調査研究で東シナ海大陸棚域において黒潮の流量等の調査を実施している。また、今年度から、フィリピン海の海流の流量変動を調べようとする観測計画が始まる。「日本縁辺の黒潮」ではなく、まさに、地球規模の現象として、黒潮をとらえなおす試みが始まっている。

親 潮

海洋開発研究部 宗山 敬 Kei Muneyama

北太平洋の大循環を構成する要素である亜寒帯循環は、カムチャツカ半島東方を南下して、千島列島沿いに三陸沖まで南下し、ついで東に転じて北緯50度の近傍をカナダ~アラスカ沖まで進み北に方向を変えさらに西に転じてアリューシャン列島沿いにカムチャツカ半島沖まで西進する。この反時計回りの循環のうち、千島列島沿いから三陸東方海上の海域にある循環流を「親潮」と称し

ている（図—1）。親潮はこのように亜寒帯循環の一部を構成しているが、流れとして弱く、時に1ノットを示す程度である。親潮域の海水は、低温かつ低鹹であることを特徴としており、亜寒帯循環の南側に位置する亜熱帯循環と接する所には、定常的に海洋前線を形成する。この海洋前線帯では、親潮と黒潮との間で移流・混合が起きて複雑な海洋構造をもつことになり、混乱水域と呼ばれ



(北太平洋亜寒帯循環の模式図(Dodimeadら1963)による。)

図—1

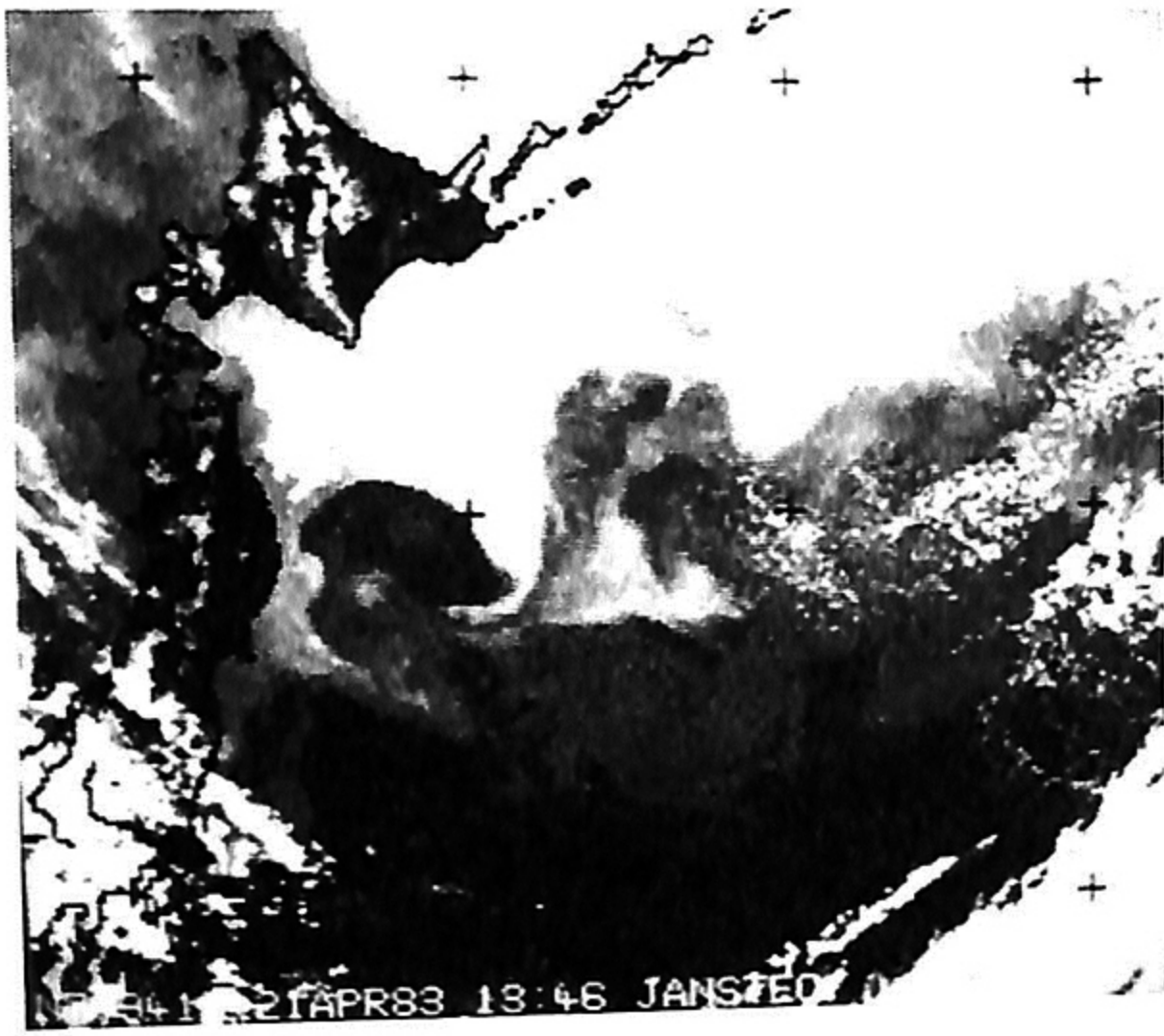
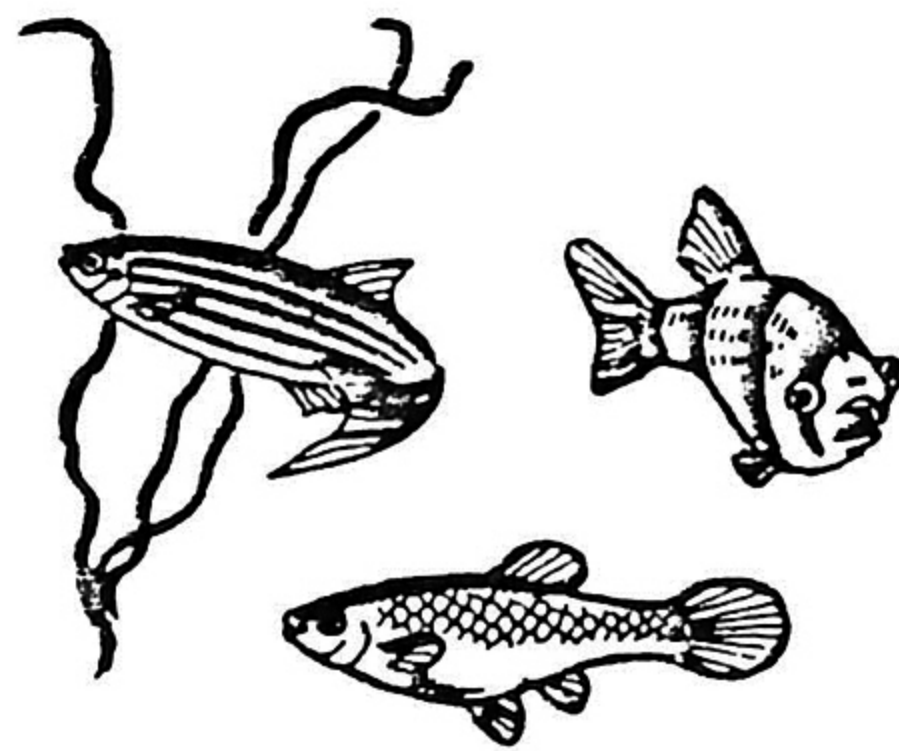


図-2

ることがある。このような所では、親潮起源の水質を示す水を親潮ということも多く使われる。図-2には低温の親潮の内部に黒潮から分離した渦

が取り込まれて、暖水渦が形成されているのが示されている。三陸海岸及び常盤沿岸に沿って親潮が南下し、暖水渦を挟んでその東側にも親潮が南下しているのが認められる。これらはそれぞれ親潮第一分枝、親潮第二分枝と称され三陸沖から北海道東方海域での特徴として多くの研究がなされている現象である。この暖水渦は100 km程度の空間規模のものであるが、深さは高々300~500 mである。親潮第一分枝、第二分枝ともその南下の程度は年々で変化が大きく特に北海道・東北地方の気候との関連が議論されている。親潮の流量が多くて第一分枝、第二分枝の南下の度合いが冬から春にかけて強勢のときは厳冬であったといわれる。親潮も黒潮同様、日本の気候や水産資源に与える影響の大きいものであることがわかる。



潜水調査船「しんかい6500」システムを竣工披露

情報室

皇太子殿下をお迎えして

海洋科学技術センターでは、かねてより開発建造中であった潜水調査船「しんかい6500」とその支援母船「よこすか」の竣工披露式典を、平成2年4月26日（木）午前12時50分から東京都中央区晴海の晴海埠頭船客待合所で、皇太子殿下のご臨席のもとに執り行いました。

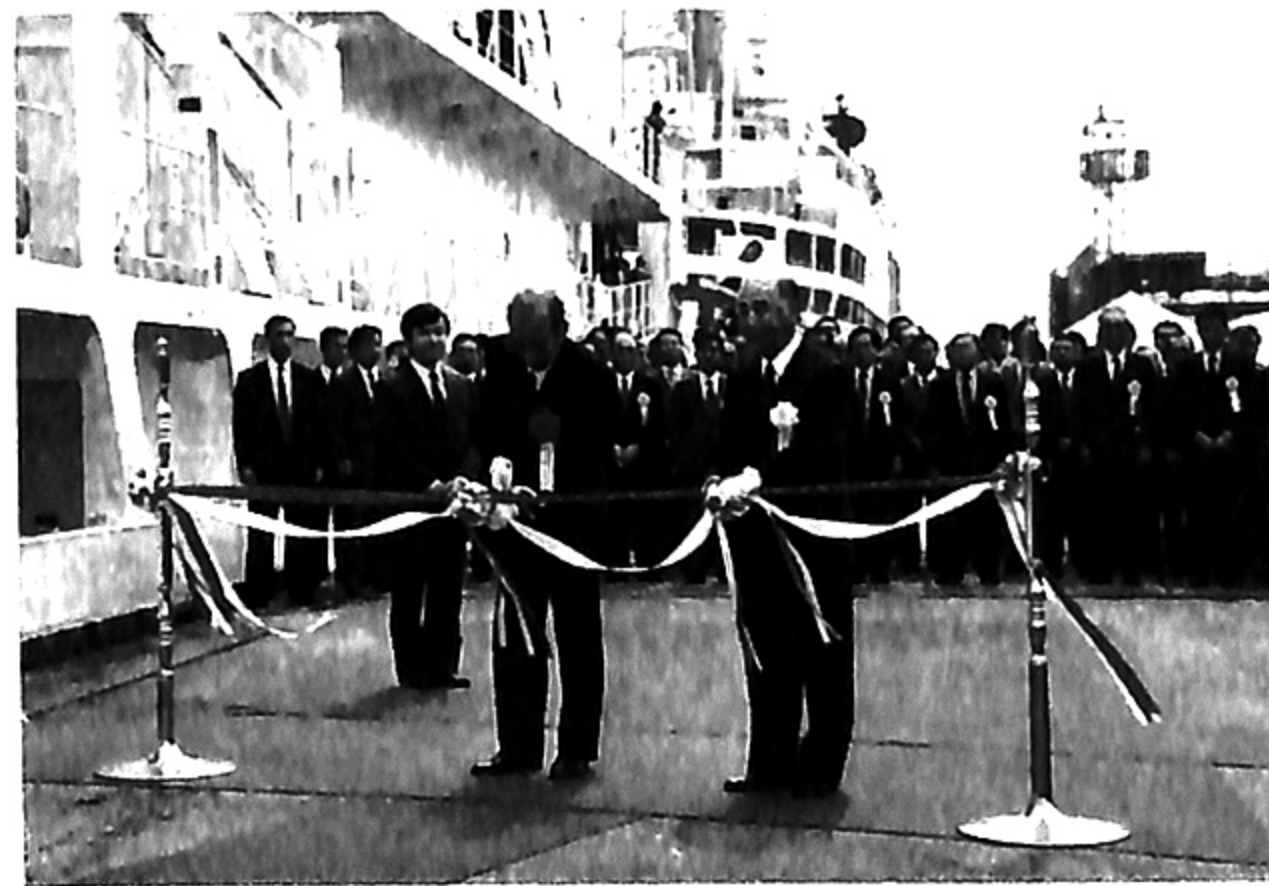
式典は、各界関係の来賓者約300名が見守る中、当センター稲葉興作会長の挨拶、並びに内田勇夫理事長の「しんかい6500」システムの概要説明の後、皇太子殿下より、「未知の世界の実態解明を深めることは、海洋科学の発展に資するのみならず、我が国が国際的にふさわしい役割を果たしていくうえで、極めて有意義なことであり、「しんかい6500」がこれに十分に活用され、多くの成果を上げることが期待します。」とのお言葉を賜った。続いて大島友治国務大臣・科学技術庁長官のご祝辞を頂き、滞りなく式典は終了した。

引き続き、大島大臣、稲葉会長によるテープカットが「よこすか」のタラップ前において行われた後、皇太子殿下は、「よこすか」並びに搭載の「しんかい6500」をご視察され、特に殿下は、今回「しんかい6500」の耐压殻の中にお入りになられ、同船の坂倉司令から操船方法、船内の機器、船内環境等についての説明を熱心にお聞きになられ、海洋科学技術の結集された結晶ともいふべき新鋭潜水調査船に大層関心を示されたご様子でした。

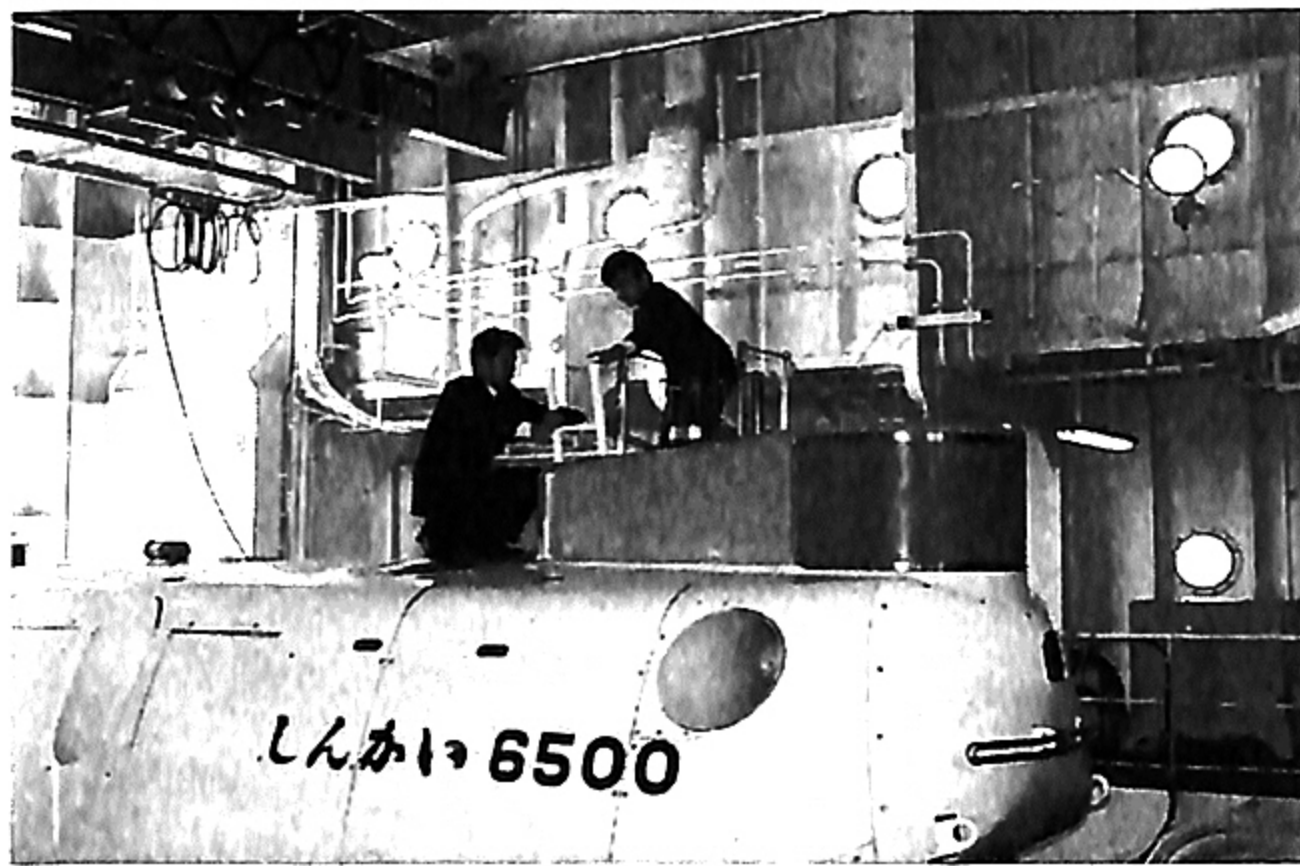
翌4月27日（金）には、午前11時から午後4時まで同埠頭において「しんかい6500」と「よこすか」の一般公開が行われ、当日は、晴天にも恵まれ、684名の方々が科学技術の粋を集めた最新鋭船を熱心に見学された。



写真一 お言葉を述べられる皇太子殿下



写真二 テープカットを行う右から稲葉会長、大島国務大臣・科学技術庁長官、左奥テープカットを見守る皇太子殿下



写真—3 耐圧殻にお入りになる皇太子殿下



写真—4 船内をご視察される皇太子殿下

横須賀市長を迎え地元横須賀において

東京での竣工披露に引き続き、地元横須賀でも式典並びに一般公開が行われた。4月29日(日)午前10時から横須賀商工会議所において横山和夫横須賀市長を始めとした約150名の来賓のご出席を頂いた。

式典は当センター内田勇夫理事長の挨拶、並びに中戸弘之理事の「しんかい6500」システムの概要説明の後、横山市長から、「世界最高深度の

潜水調査船の支援母船の船名が、「よこすか」と命名されたことは、横須賀市並びに市民にとって非常に喜ばしく名誉なことである等々。」とのご祝辞を頂いた。引き続き横須賀新港に接岸している「よこすか」並びに搭載の「しんかい6500」の見学が行われた。

その後、祝賀会が同会議所ホールで開催され、岡本良平横須賀商工会議所会頭のご祝辞、石渡信次横須賀東部漁業協同組合長のご発声で乾杯が行われ、式典は盛況裡に閉会となった。

また、同日12時から17時まで、「しんかい6500」と「よこすか」の一般公開が行われ、当日は、連休中にもかかわらず1,776名の方々が見学された。



写真—5 祝辞を述べられる横山横須賀市長

第16回科学技術庁長官賞 研究功績賞に当センター 深海開発技術部 服部陸男研究主幹受賞

情 報 室

科学技術庁長官賞の研究功績賞に当センター深海開発技術部の服部陸男研究主幹(50歳)が、「深海用無人探査機の研究」で平成2年4月8日受賞された。研究業績の概要は次のとおりである。

無人探査機は、低価格で、人命に直接危険なく海中作業、調査を実施できるため、欠かせない海中機器として広く利用されている。しかし、1970年代後半においては、我が国ではほとんど知られていなかった。この有用な技術を、我が国に定着させるためには、まず小型機を開発して、大型機に必要な技術的基盤を得る必要があった。次に、潜水調査船による深海調査の進展に対応して、科学調査用及び潜水調査船の救難用としての、大型深海用無人探査機の開発が必要とされていた。

同氏は、我が国において最初の小型機を2機種開発し、実用化をはかった。これらの実績をもとに、世界でも最新の技術を適用した、大型で水深3,300 mまで潜航可能な「ドルフィン-3K」の開発、運用、改良を行った。「ドルフィン-3K」は、新規に開発した、高解像度で広い画角のカラーTV、白黒TV、光ファイバケーブル、高速デジタル光通信等最新技術を海中に適用した世界最初の大型無人探査機で、1987年に潜航深度3,429 mまで潜航し、世界最深記録を樹立した。

同氏が発展の基礎をつくり、発展させて来た、無人探査機が、今後益々海洋開発、海洋調査分野に大きく貢献することが期待される。

深海開発技術部の中西俊之研究主幹並びに高川真一研究副主幹共に工学博士号を受領

情報室

中西俊之研究主幹東京工業大学から工学博士号を受領

深海開発技術部の中西俊之研究主幹（56歳）は、「潜水調査船ソーナーシステムの低損失音響窓に関する研究」で、平成2年4月16日に東京工業大学から工学博士号を受領した。

同氏の略歴をここに紹介する。

昭和33年 防衛大学校電気工学科卒業

昭和39年 東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻修士課程卒業

昭和51年 海洋科学技術センター採用

昭和55年 同センター深海開発技術部研究主幹になり現在に至る

なお、論文の概要は次のとおりである。

6,500 m潜水調査船システムは、潜水調査船、支援母船及びこれから開発建造が行われる10 km無人探査機で構成される。これらを機能的に結びつけることにより、深海における調査研究を効率的に実施できるように計画されている。また、それぞれに多くの新開発音響機器が装備される。

潜水調査船に装備される観測ソーナーは、海中物体の探査や観測を目的とし、性能向上のために使用周波数の高周波化が行われている。周波数は100及び300 kHzを用いる。送受波器は潜水調査船の上部に装備しており、海底に投棄されたワイヤ等がからむ恐れがあるのでFRP製の整流ドームで覆っているが、FRPは高周波数では透過損失が大きいので低損失で物理的強度を持つ音響窓を取り付ける必要があり、その開発が切望される。

支援母船にはマルチナロービーム測深装置を装備し、潜水調査船や10 km 無人探査機の潜航海域の事前海底地形調査に用いる。測深装置の送・受波器は、支援母船の船底に設けた格納箱内に装備されるので、送・受波器の前面には流体力学的雑音低減のため広角度範囲で低透過損失の音響窓を取り付ける必要がある。また音響窓は船底の一部をなすので耐圧強度が要求され、これらの要求を満足する音響窓の開発が切望される。

これらの要求に対応する強度を持つ音響窓材料として高分子材料の固体平板を用いることが考えられる。高分子材料による音響窓の開発に当たって透過損失に関係する材料の縦波と横波の吸収係数及び音速のデータが必要となるが、測定されているデータは MHz 帯の周波数によるものであり、数百 kHz 以下のデータは少ない。したがって、種々の高分子材の音響的な特性の測定を行って使用に適する材料を選ばなければならない。測定方法として、一般に水中における反射法または透過法により、周波数を固定して測定する方法が用いられている。一方周波数を変える方法としては楔法が知られている。しかし適切な測定方法がないので測定方法を開発する必要がある。

また単層固体平板を用いる場合、音波の斜め入射において発生する縦波と横波の影響によって損失が大きくなるので、入射角の変化に対して損失量を低減し、かつ一様にするための設計理論を確立する必要がある。

無人探査機に装備する障害物探査ソナーについては、その円筒型送受波器を障害物から保護し、流体力学的雑音を低減する目的で取り付ける円筒型ソナードームの開発が要求されている。また、無人探査機は、小型フレームの中に雑音源となる油圧装置等の動力源やスラストが装備されるので、これらの雑音によるドーム内の音場や受波信号によって形成されるドーム内の音場とドームの材料及び寸法との関係を明らかにし、円筒型ソナードームの設計指針を確率する必要がある。

著者は、これらの問題点を解明して音響窓の設計指針を示した。また観測ソナー及びマルチナロービーム測深装置用の音響窓を設計・製作し、実装状態で装置を含め総合的性能を評価し、所期の性能が得られていることを確認した。無人探査機用の円筒型ソナードームについてはドーム内の音場を表す式を導いて解析し、ドーム内音場とドーム材質及び寸法の関係を明らかにするとともに設計指針を示した。

本研究は、次のような構成になっている。

先に述べたように観測ソナーやマルチナロービーム測深装置には潜水調査船の遭難防止や流体力学的雑音の低減のために音響性能に優れかつ堅牢な音響窓の開発が必要である。また無人探査機用の円筒ドームに対しては、受信性能の向上と後部からまわり込む妨害雑音と円筒型ドームの材質及び厚さの関係を把握し、ドームの設計に反映させる必要がある。これらの目的として本研究を行った。

具体的な目的を以下に示す。

- (1) 境界における音波の反射と透過及び単層平板の透過係数の把握
- (2) 音響窓の設計に必要な高分子材料の縦波と横波の音速及び吸収係数の測定方法の研究及び測定並びに低周波域で用いる音響窓の設計指針の導出
- (3) 高周波数帯域において広帯域でかつ強度の高い音響窓の設計指針の導出
- (4) 観測ソナー用音響窓の設計・製作
- (5) 低周波域で広角度で使用するマルチナロービーム測深装置用の音響窓の設計・製作
- (6) 円筒型音響ドーム内の音場解析

(1) については、音響窓の特性解析に必要な理論と境界における反射と透過の基本特性を調査し、さらに音響窓の透過特性の解明に重要な役割を果たす固体平板中の縦波と横波の粒子速度分布を表す式を誘導すること。

(2) については、音響窓材の選定において重要な要素である、実用周波数域における縦波と横波との音速及び吸収係数の測定方法を確立し、各種高分子材料のそれらを測定によって明らかにし、さらに固体平板の透過特性に及ぼす縦波と横波の役割を解明すること。

(3) については、高周波数帯域において広帯域低損失でかつ強度が高く、斜め入射による損失の増大を抑止し、かつ低損失となる三層構造音響窓の設計指針を明らかにすること。

(4) については、(3) 項の設計手法に基づいて観測ソナー用音響窓を製作し、潜水調査船に装備した状態で観測ソナーが十分性能を発揮することを確認すること。

(5) については、単層平板型音響窓の設計指針に従ってマルチナロービーム測深装置用音響窓を製作し、母船に装備した状態で測深装置が十分性能を発揮することを確認すること。

(6) については、現在設計段階にある無人探査機用の前方障害物探知ソナーの円筒型送受波器を格納する円筒型ソナードームの開発を目的として、ドーム内音場を表す理論式を導き、ドーム構造と音場との関係を明らかにし、円筒型ソナードームの設計指針を示すこと。

上記の目的は、本研究を実施することにより達成することができた。

第2章の「境界における音波の反射と透過」では、音響窓等の特性解析に必要な理論と境界における反射と透過の基本的特性を概説し、さらにそれらの理論を発展させ、音響窓の透過特性の解明に重要な役割を果たす、固体平板中の縦波と横波の粒子速度分布を表す式を誘導する。すなわち、まず媒質が異なる境界における音波の反射・透過に関する理論とその基本的特性を示す。次に多重固体層における音波の反射・透過の理論を展開し、その単純化として単層固体平板の透過損失を表す式を示す。これらの解析理論を応用し、単層固体平板内部の縦波と横波の速度ポテンシャル及び粒子速度分布を表す式を誘導する。これらの式は後章で引用されるばかりでなく、音響窓の透過損失特性を解明、理解する上で重要である。

第3章の「高分子材料固体平板の音速及び吸収係数」では、音響窓材の選定において重要な要素である、実用周波数域における縦波と横波との音速及び吸収係数の測定方法を確立し、各種高分子材料のそれらを測定によって明らかにする。さらに固体平板の透過特性に及ぼす縦波と横波の役割を解明する。すなわちまず固体平板に垂直に入射した音波の透過特性から、縦波の音速と吸収係数を求める。次に固体平板中に斜めに入射した音波の透過特性から、横波の音速と吸収係数を求める。これらの測定結果から単層平板型音響窓に適した高分子材料を選定する。さらに斜め入射の場合の透過損失特性は横波の影響を強く受けることを指摘し、その原因が固体平板の横波と縦波の相互の粒子速度分布に起因することを示す。これらの結果を総合し単層平板型音響窓の設計指針を示す。

第4章の「高分子材料を用いた3層構造低損失音響窓」では、高周波数域において広帯域低損失でありかつ強度の高い音響窓の設計指針を示す。すなわち低損失と強度とを両立させるために、強度の高い固体平板の両側に反射を防止する整合層をつけた3層構造を考える。まず各層中の縦波と横波の速度ポテンシャル各境界の境界条件を適用し、3層平板の反射と透過係数を表す式を導く。次に垂直入射の場合に限定し、透過損失が最小の条件から整合条件式を導く。この整合条件式を用いて中心層と整合層の

とりうる音速と厚さの関係を明らかにする。さらに3層モデル音響窓を試作し、その透過損失測定結果が理論計算結果とよく一致することを示す。また斜め入射の計算結果から、縦波の影響のみを考慮した整合層が、横波による透過損失についてもその増大を抑制する効果のあることを示す。これらの測定と解析結果から3層構造音響窓の設計指針を示す。

第5章の「観測ソナー用音響窓」では、前章の設計法に基づいて製作した潜水船用観測ソナーの実用音響窓の性能とその評価について述べる。

まず実用音響窓の規格性能を示す。この音響窓は音響特性のほかに材料の強度、整合層との接着性をも考慮した結果、中心層を厚さ9.5 mmのABS (EX-13 G：商品名)、整合層を厚さ1.4 mmのウレタンゴム (C-4080：商品名)で製作したがその詳細を示す。次に観測ソナーの規格性能について概説し、潜水船に装備した状態での音響窓を総合的に評価するためにドック中で行った試験結果、及び深度6,500 mの実海域で試験した観測ソナーの映像の総合評価の結果を示す。

第6章の「マルチナロービーム測深装置用音響窓」では、単層平板型音響窓の設計指針に従って製作したマルチナロービーム測深装置用音響窓の性能とその評価について述べる。製作した実用音響窓は、不飽和ポリエステルを母材にガラス繊維を混入したFRPで、その厚さは1.5 cmである。まず実用周波数12 kHzにおいて透過損失の角度特性を測定し計算結果と比較する。次に1/6短縮モデル送・受波器と音響窓を仮製格納箱に取り付けて受波特性を測定し、音響窓単体の角度特性と一致したことを示す。次に測深装置を概説し、装備状態での総合的な測深性能を評価するために行った直下水深最大9,600 mの深海域での測深において、船幅方向±45°以内の全領域の測深が良好に得られたことから、製作した音響窓の実用性を証明する。

第7章の「同心剛体円柱を含む円筒ドーム内の音場」では、現在計画段階にある無人探査機に装備する前方障害物探査ソナーの、円筒型送受波器を格納する円筒型ソナードームの開発を目的として、ドーム内音場を表す理論式を導き、ドーム構造と音場との関係を明らかにする。すなわち受波器アレーを剛体円柱に、ソナードームを音響的には液体円筒とした円筒モデルを考え、波動理論を用いてその内部音場を表す式を導く。この式を用いて円筒の大きさと材質を変えてその内部音場を計算し、円筒の半径、厚さ及び材質と周波数によって音場が変化することを示す。また円筒内部の音圧分布の状況は、音波が入射する前面部分とその反対の後面部分とに大別され、前面部分では径方向に定在波が生じ、後面部分では音波は円周方向に進行することを示す。このような定在波や進行波のレベルは、円筒の材料の音響インピーダンスが大きいほど高い。前面部分の音圧分布の乱れは受波アレーの位相特性に影響し、後面部分に回り込む音波の大きさは後方雑音の妨害の程度に関連する。これらの結果によりソナードームの内部の音場の概要が明らかになった。

第8章の「同心剛体円柱を含む固体円筒ドーム内の音場」では、実用的なドームの材料は固体であるので、円筒ドームを固体として解析しその特性を解明する。すなわち、円筒壁中に発生する縦波と横波を考慮して波動理論により解析し、円筒の内部の音場を表す式を誘導する。この式を用いて円筒壁中の横波と内部音場の関係を調べる。さらにアルミニウムパイプで製作したモデルで測定し理論解析の信憑性を確認する。基本的な内部音場の特性は前章における液体モデルの場合に類似するが、固体円筒の場合には円筒壁中の横波の影響により、周波数の変化に対し周期的に急峻な音圧変動が現れる。円筒が金属の場合には高い周波数まで影響するが、その影響は周波数に対して周期的であるから、使用周波数を

選定すればその影響を避けることができる。また ABS のように音響インピーダンスが小さい円筒の場合は、横波の影響は周波数の変化に対して連続的であるが低周波に限定されるので、その影響も避けることができる。これらの結果により実用のソナードームの設計に関する重要な資料を得た。

第9章では本研究の成果を列挙して以下に示す。

- (1) 高周波帯域における3層構造低損失音響窓の設計・製作を可能とした。
- (2) この設計理論に基づいて6,500 m 潜水調査船用の観測ソナー用音響窓を製作・装備し、ソナーの総合的性能評価を行い、音響窓の実用性を確認した。
- (3) 使用周波数の波長よりも薄い板厚で用いる、広角度、高強度音響窓の設計・製作を可能とした。
- (4) この設計理論に基づいて潜水調査船の支援母船に装備されるマルチナロービーム測深装置用の音響窓を製作・装備し、測深装置の総合的性能評価を行い、音響窓の実用性を確認した。
- (5) 無人探査機用の円筒型音響ドームの設計指針を得た。無人探査機においては、ソナーに対して雑音源である油圧ポンプ等が近接しているため、雑音の妨害を受けやすい。妨害雑音の影響は、ドームの材料及び寸法を選ぶことによって避けることができることを明らかにした。

高川真一研究副主幹東京大学から工学博士号を受領

引き続き同部の高川真一研究副主幹(41歳)は、「音響減衰による水中気泡分布の計測法に関する研究」で、平成2年4月13日に東京大学から工学博士号を受領した。

同氏の略歴をここに紹介する。

昭和47年 東京大学船舶工学科卒業

昭和50年 東京大学大学院工学研究科船舶工学専攻博士課程から海洋科学技術センター採用

昭和60年 同センター深海開発技術部研究副主幹になり現在に至る

なお、論文の概要は次のとおりである。

水中や他の液体中の気泡は、様々な分野で種々の影響を与えている。特に近年の海洋の調査や開発が進展するに従って、通信や計測・制御等の各方面で水中音響が盛んに用いられるようになってきているが、海中に気泡が存在すると音響信号の伝搬が著しく阻害される。一般に海面が穏やかであれば水中音響の使用は問題なく行えるが、海象が悪くなって白波が立ち、海中に気泡が巻き込まれるようになると、このような問題が生ずる。

近年海洋の調査で特に注目されているのは、信号音の送受信により海中での音の伝搬状況を割り出し、その結果から海洋の内部構造を調べようという海洋音響トモグラフィに関する研究である。しかし海面に白波が立って、気泡が海中に持ち込まれるようになると、信号の減衰や反射、音速の変化等で信号伝搬経路が乱され、計測に障害が出るといわれている。

気泡はそのほかにも大気と海水との接触を増やし、海水中への酸素の供給等にも役立っている。また気泡が海面で破裂する際に、海水が微水滴となって飛び上がり、水分が蒸発して微塩核と呼ばれる塩の小さな粒が空気中に舞い上がって、これが雨滴の形成に大きな働きをしているといわれている。このように海洋学、気象学の面からも、海中の気泡の存在は重要な問題である。

一方、工学の分野では、液体中に気泡が存在することによってキャビテーションが発生しやすくなり、

装置の振動・騒音の増加，効率の低下，寿命の低下等の諸問題が発生する。

気泡の影響はこのように広い分野にわたっているが，どの程度の大きさの気泡がどの程度の量存在するかという気泡の分布状況は，これらの諸現象に大きな影響を与える。そのためこのような液体中の気泡が大きく関連する現象を研究する場合，この気泡の分布状況を正確に把握することが非常に重要なテーマとなってくる。そしてまた，気泡の分布状況が時間的・空間的に不均一であると考えられることから，この計測はできるだけ短時間で気泡の分布状況が分かるものであることが必要である。

このテーマについては，過去いろいろな方法が考案され，研究されてきており，大きく分ければ，水の電気電導度の変化を計測する方法（コールターカウンタ法），光を用いる方法（写真撮影法，光散乱法，レーザーホログラフィ法等），そして音響減衰法の各方法がある。そして現在では，レーザーホログラフィ法について精力的な研究が行われている。しかし，電気電導度や光を用いる方法の最大の欠点は，気泡と球形の固体とを確実に識別するのが困難であるという点である。これに対して音響減衰法では，気泡が音に対して特有の性質を示すことから気泡のみの影響を確実にとらえることができるという特色があり，これを解析することによって他の球形固体に惑わされることなく気泡の分布状況を把握できる能力を基本的には有するものである。また，使用する送波器と受波器は，計測場を乱すことがほとんどないほど小さなもので良く，さらに，直接得られる信号は電気信号であるのでそのまま計算機による解析処理が可能であり，ほとんどリアルタイムに近い形での計測・処理・表示が可能になるという特徴を有するものでもある。

しかし，現在用いられている気泡音響減衰理論は，ある一定の条件下で成り立つものであり，今までの音響減衰法に関する研究では，この条件を明確にしないまま理論式を運用している。また，他の方法による計測結果との比較もされておらず，その精度について疑問が持たれていた。

また，音による気泡の検知は気泡の共振を利用するものであるが，音響信号に含まれる周波数を1種類のみとしてその周波数を順次変えていく方法では，前述のように時間的・空間的に不均一と考えられる気泡の分布状況を計測することはできず，種々の周波数成分を含む音響信号を一挙に発射して計測する方法を採らなければならない。しかしこのような点に関する検討も不十分であった。

このような問題点を有するものの，音響減衰法は気泡のみを検知し，場を乱さずに計測でき，かつ迅速に解析処理ができるという特長を有することから，これらの問題点を解析することにより，気泡の分布状況の計測手法として非常に有効な手段となると考えられる。そこで本研究では，これらの問題点を検討して理論の運用条件を明確にしたうえで，新しい計測手法を考案・導入して実験を行い，ほかの手法による計測も実施して両者を比較し，またその計測精度について検討を加えた。そして，本音響減衰法が気泡分布状況計測に十分使用できることを示すとともに，実用的な計測方法について考察している。

本論文は，次のような構成になっている。

まず第1章では，液体中の気泡が一般にどのような影響を及ぼしていて，その分布状況を把握することがいかに重要であるかを論じ，今までに用いられてきている主な計測方法とそれらの長所・短所について述べている。そして本研究で音響減衰率計測法をなぜこれを取り上げたかについて論じている。

第2章では，気泡音響減衰理論について論じている。本方法は，音響信号が水中の気泡の共振によって減衰することを利用し，その減衰量を計測することによって水中の気泡の分布状態を把握するものであるが，現在確立している気泡音響減衰理論では，波長が気泡半径に比して十分長く気泡が球対称振動

するとみなせる領域で、振動の振幅が小さく線形振動とみなせる範囲内で、かつ定常振動状態という条件下で論じられている。今までの音響減衰法に関する研究では、同じ理論を運用するものの、これらの条件が適合する範囲を何ら明確にしないままであった。そこで本章では、まずポテンシャル理論によって気泡半径と波長の比と振動状況との関係を求めて球対称振動条件を明らかにし、次に実液体中の気泡音響減衰理論を忠実にトレースすることによって線形振動限界と立ち上がり時間について明確にしている。そして、音響減衰率周波数特性関数と気泡数密度分布関数を求める式を導いたうえで、反射波の混入等の実際の計測上の問題点とその対策について考察し、次いで計測上入り得る誤差の処理には移動平均手法が良好であると論じている。

第3章では、第2章の理論的研究の結果を基に、実験的研究について論じている。この実験のためにまず、新しい気泡発生装置と、比較のために行う写真撮影装置を考案している。また気泡の分布状況を計測するために是非必要な、種々の周波数成分を含む音響信号を作成する手法を考案し、これらを用いて第2章で示された結果に対応する実験を行っている。この音響信号は、音響減衰率と信号対雑音レベル比を同時に求めることができるものである。

まず音響試験水槽を用いた基礎実験として、1個の送波器と1個の受波器による方法を行い、次に実用性のある方法として、同じ音響試験水槽で1個の送波器と2個の受波器を用いて、受波器の受波音圧レベルのdB表示上の差から音響減衰率を求めている。この音響減衰率のデータから算出された気泡数密度分布関数は、同時に実施された写真計測結果とも良く一致し、また気泡体積含有率も十数%以下の誤差で一致することを示している。そしてこの第2の方法により海中での気泡の分布状況の計測を実施し、他の研究者の計測データとの比較をとおして、本音響減衰法が十分に使用できるものであることを示している。さらに計測に伴うデータのばらつきの統計処理から、送波器や受波器の適切な配置により、誤差を十数%以下、場合によっては数%以下に抑えることができることを示している。

第4章では、実用的な計測・解析の流れを示すとともに、環境圧力との関係を調べ、本音響減衰法が約10気圧程度までは使用できることを示している。また本音響減衰法では送波器と受波器の配置が重要な要素になってくることから、1つの実用的な送波器・受波器の配列方法の案を示している。

このように本研究は、理論面ではほとんどすべてが既に音響理論で明らかにされているものを使用している。しかし、今までに行われた音響減衰法による気泡分布計測に関する研究では多くの場合、音響理論で与えられている公式等をあまり吟味することなく運用していたため減衰理論の使用限界がどこにあるのかが明らかにされていなかった。この理論的研究では、使用する気泡音響減衰理論を吟味し、これらが使用できる条件を明らかにするとともに、計測に際して入り得る誤差やばらつきの対処法を示した。

一方実験的研究では、気泡の分布状況を一挙に計測するために、同時に多数の周波数成分を含む信号を発射する方法を、初めて考案・導入して、その実用性を調べた。また今までの研究では音響減衰法による結果と他の方法による結果との照合がほとんどされていなかったのであるが、新たに写真撮影法を導入し、比較して、両者が良く一致することを見いだした。そして、本音響減衰法が水中気泡分布の計測法として十分実用に供し得ることを示した。

編 | 集 | 後 | 記 |

本号の巻頭言に当センター理事 間山隆氏のご挨拶をいただいた。ご多忙中にもかかわらず、世界の一流研究機関を指向している当センターにとって、将来構想の指針ともいべきご提言を頂戴した。今後とも研究担当理事として建設的なご意見を賜わることが期待するとともに同氏に改めてお礼を申し上げます。

重力測定は今昔一測定屋の回想一、ご活躍の東京大学海洋研究所の瀬川爾朗教授にご紹介いただいた。先生には、地球物理学の泰斗であられた故坪井忠二先生のお弟子さんで、海洋研究所では友田好文先生のご後任であられる。地球の内部構造の解明には重力計、磁力計や電位差計などが必要であり、先生は長いことその開発や改良を行ってこられた。当センターの「海中計測技術の動向調査委員会」では委員長代理、「深海底長期観測ステーションに関する調査委員会」では委員長をお願いしている。ご多忙中にもかかわらず、ご無理を申し上げた。改めてお礼を申し上げます。

当センターの新鋭潜水調査船「しんかい6500」及びその支援母船「よこすか」の竣工披露式典が4月26日（木）、晴海埠頭で、皇太子殿下のご臨席をいただいて行われ、引き続き招待者の船内縦覧、披露宴と続き、翌27日（金）一般公開、また29日（日）横須賀市においての竣工披露式典及び一般公開が行われた。センターにとっては3隻体制が確立され、いよいよ内外のニーズに即応することが可能となり嬉しい限りであるが、他にも感心したことをご紹介致したい。センターの役職員の全員がこの3日間を含めて準備段階から何らかの仕事を分担してきたわけであるが、若い人もそうでない方も、研究者・技術者も総務畑等の方々も全員が一生懸命、分担した仕事をこなし、額に汗して

いたのを見て、このようにセンターにとっては嬉しいことではあるが、披露式典等、大事で、しかし不慣れな行事に全員で対応できたことは種々の理由で大変良いことであると思った。

さらに、お祝いを3件ご紹介致したい。最初は本文にもあるように、深海開発技術部の服部陸男主幹（理学博士）が平成2年度科学技術庁長官賞の研究功績者に昨年度の海洋開発研究部の工藤君明副主席に引き続き、2人目の受賞となった。嬉しい限りである。次の2件は同部の中西俊之主幹と高川真一副主幹がそれぞれ東京工業大学と東京大学から工学博士号を授与された件である。高川さんの場合は母校からいただいたものである。大学院の博士課程を修了して博士号を授与されて研究機関に就職される事例も研究機関並びにご本人にとっては嬉しいものであるが、研究機関で長い間、コツコツと地道に研究され、その成果が認知され博士号が授与される。これほど嬉しいことがあろうか。個人の喜ばしさもさることながら、研究機関という組織体においてもこれほど嬉しいことはないと考えられる。服部さんの例を含めて当センターのような若い研究機関においては研究内容や研究者としての資質が学界等において認知されたことになり、これが他の比較的若い研究者・技術者には励みとなり、両氏に続く方々がこれを契機に大勢出てくるであろうし、同時に、このような研究機関なら入って研究してみたいという若い方々が一層出てこようというものである。このような研究機関には、一層質の高い研究者・技術者が集まってくる。世界のWHOI, SIOやIFREMER等にもこのような若い時期があったのであろう。こういう意味において一層喜ばしい。

以上、編集子がかかな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

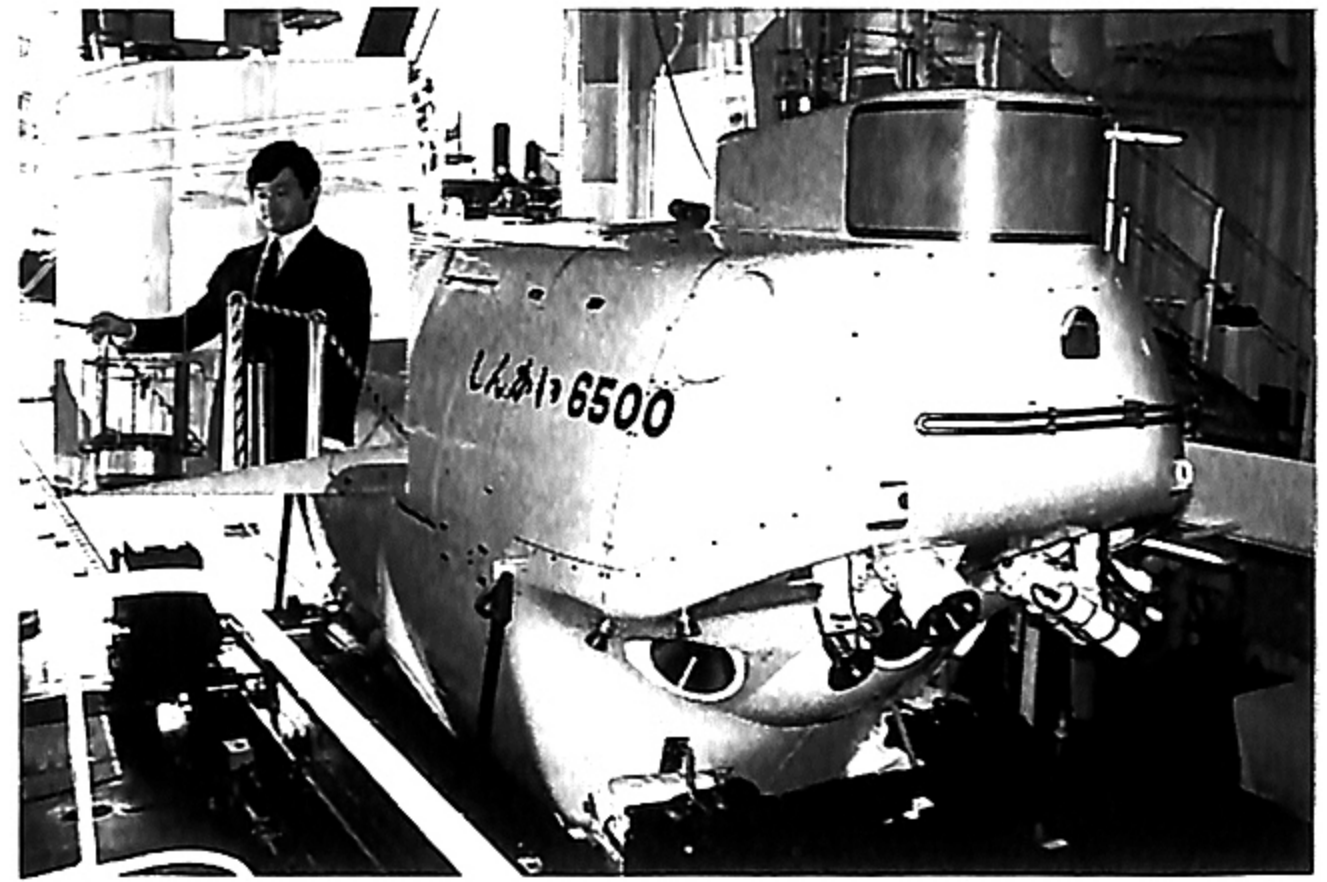
潜水調査船「しんかい 6500」をご視察される皇太子殿下
潜水調査船「しんかい 6500」とその支援母船「よこすか」の竣工披露式典が、平成2年4月26日（木）12時50分から、皇太子殿下をお迎えして東京都中央区晴海の晴海埠頭船客待会所において開催された。

式典当日は、天気にも恵まれ皇太子殿下のご臨席のもとに各界関係者約300名の来賓が見守るなか、殿下の「おことば」を賜るなどして、盛況裡に閉会することができた。

式典終了後、殿下は、船内ご見学の際、特に潜水調査船「しんかい 6500」に乗船され、同船司令より、同船の操船方法・船内機器及び船内環境についてご説明を受けられ、これに対し殿下は、たいへんご興味をもたれた様子でした。

写真は、潜水調査船「しんかい 6500」に乗船される皇太子殿下。

なお、式典概要については、本文79ページに記載。



刊行物編集委員会委員及び作業部会専門委員

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

JAMSTEC 第2巻 第3号（通巻第7号）

1990年7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) 591-5151 (代)
製作・印刷	(株)技報堂 代表 山下忠治 〒107 東京都港区赤坂1-3-6 赤坂グレースビル TEL (03) 583-8581 (代)

