

ISSN 0915-2636

# JAMSTEC

1989年 第1卷 第3号

海洋科学技術センター

## 目 次

<p>巻頭言 第三号発刊に寄せて 米国の海洋科学技術政策 海洋音響トモグラフィによる大規模海洋変動現象 の計測技術 太平洋におけるリフト系の形成過程等の解明 世界の海洋底 —海底名所めぐり(その3) 海に魅せられて半世紀(Ⅲ) 深海底に地球の謎を探るⅠ 海底を見る マイクロ波ラジオメトリーについて 当センター各部紹介 世界最大深度を目ざして 〔しんかい6500〕及び〔よこすか〕の動静 当センター研修・施設・機器等の紹介 潜水技術研修 材料・器具・装置紹介 コンピュータ・グラフィックス 当センターで開発された機器 超音波ドップラー・プロファイラー 研究機関・学協会等の紹介 太平洋国際先端技術研究センター 用語解説 コバルト・リッチ・クラスト 人工島 フレキシブルライザー管の共同研究報告会 深海掘削計画とJOIDES RESOLUTION 〔しんかい6500〕に乗船して 第15回科学技術庁長官賞の研究功績者紹介 編集後記</p>	<p>宇宙開発委員会委員 久良知章悟……………1 近藤健雄……………2 海洋開発研究部 中埜岩男……………9 深海研究部 松本 剛……………16 小林和男……………29 奈須紀幸……………38 深海研究部長 堀田 宏……………45 海洋開発研究部 佐々木保徳……………49 深海開発研究部……………54 深海開発技術部……………59 潜水技術部研修室 三谷日出文……………61 海洋開発研究部 浅沼市男……………63 海洋開発研究部 黒田芳史……………64 海洋開発研究部 藤田恒美……………66 深海研究部 田中武男……………68 広報室 橋 拡政……………69 海洋開発研究部 工藤君明……………70 深海開発技術部 高橋憲二……………73 吉武正満 運輸部 福井 勉……………79 情報室……………81 82</p>
--	---

# 巻頭言

宇宙開発委員会委員  
元海洋科学技術センター理事長

久良知章悟

Shogo Kurachi

## 第三号発刊 に寄せて



季刊誌「JAMSTEC」第3号発刊に当り、一言ご挨拶申し上げます。

海洋科学技術センターは、我が国の海洋科学技術の向上を図ることを目的として、昭和46年10月、民間発起の特別認可法人として設立されて以来、「シートピア計画」・「ニューシートピア計画」による海中居住実験、波力発電装置「海明」による海洋エネルギー利用技術等の研究開発、「しんかい2000」による深海調査等の基盤的・先端的な研究開発プロジェクトの推進、潜水技術を中心とした研修事業、海洋科学技術に関する各種情報の収集・処理・加工・提供等の情報活動及び、高圧実験水槽をはじめとする大型共用実験研究施設の整備と供用等の事業を通じて、我が国の海洋科学技術の発展に寄与してまいりました。

この間、研究開発はプロジェクト研究・特別研究・経常研究・調査研究・受託研究・共同研究の諸分野で行われ、得られた成果も大量にのぼり、これら成果はセンターの研究発表会、試験研究報告等や関係学協会等の発表でその都度公表され、一部社会に還元され、普及されているものもありますが、その内容が内外の海洋科学技術関係各位に十分ご理解いただくにはなお一層の努力が必要であるものと存じます。

近年海洋法条約が採択され、200海里経済水域の設定、深海資源の国際管理等、新しい海洋秩序が形成され、海洋開発をめぐる国際情勢は大きく変化し、海洋国日本としても新たな対応が迫られております。海洋は人類の最後に残されたフロンティアであり、海洋科学技術に対する内外のニーズは、広範かつ重要と言わねばなりません。したがって、今後は従来からの実績と建造された「しんかい6500」システム等を含めた最先端の設備をフルに活用し、我が国のみならず、諸外国の研究機関とも連携を保ち、国際的な共同研究等にも積極的に参画するとともに、これまで以上に海洋科学技術の研究開発に取り組み、我が国の海洋開発の中核的研究機関として貢献する責務があるものと存じます。

このような時期にセンターが行っている研究開発・実験・調査研究等を中心に、内外の最新の海洋科学技術並びにその現況情報を加えた情報誌を定期的に発行することは誠に時宜にかなったものであると思います。また、センターの関係者が中心になって企画・編集・記述・刊行等を行うことにより、センターの研究開発等の業務の更なる活性化が図られるものと存じます。

海洋科学技術センターの益々のご発展を期待致します。

# 米国の海洋科学 技術政策

日本大学助教授・工学博士 近藤 健雄  
Takeo Kondo



## 略 歴

昭和 22 年 北海道旭川市に生まれる  
昭和 45 年 日本大学理工学部建築学科卒  
昭和 47 年 米国ハワイ州立大学大学院修了  
昭和 58 年 日本大学理工学部助教授  
現在に至る  
テクノ・オーシャン国際シンポジウム事務局長  
米国 Coastal Zone 国際シンポジウム日本代表委員

## 1. はじめに

米国の海洋政策 (Ocean Policy) を概観し簡潔にまとめることは容易なことではない。なぜならば、米国には日本語の語彙で定義されるような「海洋開発: Ocean Development」という広義の意味概念はなく、むしろ直裁的に海洋資源を探索発掘するという目的性が明確な「海洋資源開発と探査: Ocean Exploitation and Exploration」という言葉で表現されているため、米国の海洋政策を日本語の意味概念でとらえ、位置付けることはなかなか困難であるからである。一般的に、我が国の海洋開発は、非常に広義な意味概念を有しているため、渡海橋や人工島プロジェクト、アーバン・ウォーターフロント再開発、港湾・海岸整備事業、そしてマリン・リゾート開発をも包含するものとなっている。

米国の最近の海洋開発の動向を概観すると、何かが変わりつつあることも伺い知ることができる。そこで、ここではストラットン報告から始まる米国の海洋政策の歴史を踏まえて、20年間の

米国の海洋政策の内容と方向性に焦点を当て概観することとする。また、米国の海洋政策の変化過程を俯瞰するために1981年に大統領に提出された Ocean Services for the Nation を中心に考察するものである。

1961年以來、米国の海洋政策はおおむねストラットン勧告に従って遂行されている。その後、81年に大統領に提出された NACOA (海洋・大気に関する国家特別審議委員会) の前記報告書があるのみである。現在も NOAA (海洋・大気局) では、基本的政策大綱はストラットン勧告に従いつつも、現状は NACOA の勧告に従い運用されている。本論で紹介する NACOA の目標年次が、91年前後に設定されているため、後数年で90年代の海洋政策についての見直しがあるものと推察できる。その意味でも、過去30年の米国海洋政策を概観することは、我が国の海洋政策の今後の展開に対しても大変興味深く、意義深いものがある。

なお、本稿をまとめるに際し、資料入手や貴重なご意見を賜った NOAA の J.R. パーダス氏及び P. ラビン女史に感謝の意を表するものである。

## 2. 米国海洋政策の契機と展開

トルーマン大統領が「大陸棚の資源は自国に帰属する」と宣言したのは、1945年のことであった。当時はまだ、具体的な海洋資源の開発は明確ではなく、しかも目立った動きがある訳ではなかった。しかし、50年代になるとガルフ・コーストを中心とする海底ガス・油田の開発が盛んとなり、企業は活発に海底資源開発を進めるようになってきた。

海洋の資源開発が国際的に注目され、積極的开发がなされていくのは61年ケネディが大統領に就任してからである。彼は、大統領就任演説の中で「今後の新たな開発のフロンティアは海洋である」と演説した。これ以降、米国を初めとする世界各国が海洋開発に注目するようになっていったのである。しかしながら、アメリカ国民に海洋開発の重要性を認識させたのは、63年の米国海軍潜水艦スレッシャーが試験潜航中事故を起こし、水圧により破壊され沈没し、多くの人命を失ってからである。この事件は、海洋開発を進める上で、人類が挑戦し解決しなければならない重大な科学技術上の課題があることを教えてくれた。さらに、陸上の資源が有限であり、枯渇する危機に直面していること、反面海洋には、豊かな社会システムを築く上で重要で貴重な資源、エネルギーが多く賦存しており、それを開発することが急務であり、重要であるとの教訓や認識が事故の結果、国民に喚起されたのである。これを契機として米国は国家的体制を整えるため、66年海洋資源技術開発法を施行し、行政機構並びに政策を検討すべくストラットン委員会を設けた。69年この委員会は、いわゆるストラットン報告といわれる委員会報告書を大統領並びに議会に提出し、国家として海洋開発を効率的に推進するため大幅な行政機構の改革を行うことと、今後10年間に約80億

ドルの海洋開発技術研究費を投すべきであるとの勧告を行った。ストラットン報告書は、3部から構成された勧告書であった。第1部は海洋科学と環境、第2部は産業と技術、そして第3部は海洋資源と政策課題についてであった。この提言に基づき、海洋関係機関の大半が統合されてNOAA（National Oceanic and Atmospheric Administration：海洋・大気局）となり、商務省内に設置されたのである。また、66年には大学研究機関における海洋科学技術研究を促進する目的で、シー・グラント・大学制度法（National Sea Grant Colleges and Program Act）が設置され、全米で多くの大学がシー・グラント大学に指定された。これらの処置と民間企業による海底石油・ガス開発技術の進歩により、米国の海洋科学技術は大きく進展し、世界のリーダーとしての実力を備えるようになった。

## 3. ストラットン以降20年とNACOA報告

1969年ストラットン報告書が提出され機構改革がなされ、海洋開発の具体的政策が決定され施行されて以来、今日まで20年が経過してきた。米国の海洋政策の基本的スタンスが、海洋資源の開発を主目的としていることは何ら変わりが無い。しかし、それを取り巻く種々の社会的環境が変化していることは確かであり、米国の海洋政策が微妙に変化してきていることに気が付くであろう。特に、沿岸域管理計画法（Coastal Zone Management Act）の制定は、海洋政策の一環であるが、海洋の資源開発の在り方や環境保全の在り方に大きく影響を与えており、海洋に賦存する各種資源をむやみに開発することが国家、国民の最大の利益でないとの認識が明確に位置付けられることとなった。

60年代後半から70年代前半に制定された海洋関連の法律を概観することは、米国の海洋政策の

動向と変容を明らかに示してくれると同時に興味深い結果が判明するであろう。そこで、海洋に関する法制度の整備を年代順に示してみよう。

- ・1966年 国立シー・グラント大学・プログラム法制定：調査や研究開発に対する援助及び公的な相談サービスを目的とする
- ・1970年、商務省海洋・大気局（NOAA）及び環境（保全）庁（EPA）を大統領府再編成計画により組織
- ・1972年 連邦水質汚染管理法修正：内水面及び領海の汚染管理のために新しい取り締まり制度を策定
- ・1972年 海洋性ほ乳動物保護法制定、引き続き1973年に絶滅の恐れのある生物種の保護法制定：NOAA及び野生生物サービスに新しい取り締まり機関を組織
- ・1972年 海洋保全、調査、サンクチュアリー（聖域）法制定：海洋投棄及び海洋への各種廃棄物処理分類規制を制定。並びに連邦基金、目標、及び地理学的沿岸域の資源管理計画プログラムを制定
- ・1972年 沿岸域管理計画法制定：修正法として、また国家洪水保証制度として連邦基金、目標、及び地理学的沿岸域の資源管理計画のプログラムを制度化
- ・1974年 大水深港湾法制定：運輸省管轄として沖合石油ターミナル規制公社を組織
- ・1976年 漁業資源保護管理法制定：米国商業漁業とレクリエーションの漁獲量管理を目的とする連邦政府、州政府、民間企業による共同方針を策定
- ・1978年 大陸棚海域外修正法制定：大陸棚より外の海底石油やガス資源の開発や管理を容易にする目的で制定
- ・1978年 海洋汚染に関する調査、監視計画並びに監視制度開発法制定：連邦海域汚染調査及び監視制度の開発に関し、5カ年計

画の制定の必要性から策定

- ・1978年 気候プログラム法制定：気候インパクト評価、データ・サービス、研究に関する国家気候プログラムと国家気候プログラム室を設定
- ・1980年 海洋温度差発電所研究、開発、デモンストレーション法制定：海洋温度差発電所によるエネルギー自給の国家目標を策定
- ・1980年 海洋温度差発電所（OTEC）法制定：米国海域における OTEC 施設の所有権や運用、設置海域、建設に関する制度及び OTEC 施設開発を助長する融資制度を明確化
- ・1980年 大水深鉱物資源法制定：海洋鉱山開発計画における民間投資を奨励することを目的に、ペンディングとなっていた海洋法を通過させ併せて海洋環境保全制度を厳重に順守させるために策定された

81年1月にNACOA（海洋・大気に関する国家特別審議委員会）によってまとめられ、大統領に提出された80年代の国家海洋政策の目標と課題に関する報告書（Ocean Services for the Nation）は、前述の過去10年間の海洋政策を踏まえて新たな提案を行っている。そこでは、今後10年、20年先の海洋開発の便益を展望し、米国連邦政府が早急に対応しなければならない6つの海洋分野、1) エネルギー、2) 漁業、3) 海上輸送、4) 海洋鉱物資源、5) 海洋オペレーション（管理・運営）に関するサービス（行政が国民のためになすべきこと）業務、6) 海洋廃棄物投棄管理と海洋汚染から、これらを総括して7つの目標とそれぞれの具体的計画目標についてまとめたものである。この報告書は、R. M. ホワイトを委員長とする多様な分野の12名のタスク・グループ（特別委員会）によってまとめられ報告されたものである。その概要を目標別に以下に示す。

(1) 海洋観測と予報 (Ocean Observation and Prediction)

1990年までに、リアルタイム情報と新技術を用いた新しい海洋観測システムの整備を完了する。

- 計画：A. 国立海洋観測衛星プログラムの開発  
B. プラットフォーム観測システムを整備  
C. 海洋情報ブイ・ネットワークの整備  
D. 沖合海象探査リモート・センシングの整備と開発  
E. 海の気象予報の改良整備  
F. 高精度情報転送システムの確立  
G. 海洋観測の国際協力関係の整備

(2) 航海と位置管理 (Navigation and Positioning)

資源探査・開発と船舶管理システムの需要が高まるために、10年後までに高精度な全天候性国際航海管理システムを整備する。

- 計画：A. 可能な限り衛星による航海・位置制御情報を整備  
B. 観測衛星航海システムを米国沿岸警備隊に移転  
C. 船舶航海政策に民間情報を導入整備  
D. 要請に応じて港湾の混雑を管理

(3) 地図と海図整備 (Mapping and Charting)

政府及び民間団体の将来のために、より効果的利用と早急な技術開発によって、精度の良い海の地図及び海図を製作する。

- 計画：A. 海図整備の重要度を確立  
B. 新しい地図・海図整備の年代を明記  
C. 政府船舶の効率良い運用  
D. エネルギー資源開発地図の作成

(4) 海洋資料と情報の普及 (Ocean Data and Information Dissemination)

ユーザーの要請に応じて、技術的に優れた資料や海洋環境の資料を素早く提供するシステムを10年後までに整備する。

計画：A. 総合的資料センター

- B. データ・ベースの革新的利用法  
C. 沿岸域管理計画のための情報システム・デザイン  
D. 情報の末端まで配布する機構として、シー・グラントの活用

(5) 海洋監視の整備 (Monitoring the Ocean)

漁業や海洋汚染管理のため、海洋生物に影響を与える水質や各種環境要素の監視と評価システムの整備を10年後までに行う。

- 計画：A. 海洋水質の監視  
B. 漁業管理のための海象監視と漁獲量の評価

(6) 海洋計測技術の向上 (A New National Ocean Measurement Capability)

10年後までに、可能な限り新しい海洋計測技術の性能向上を図る。

- 計画：A. 海洋調査・探査船の近代化  
B. 先進的有人潜水艇の開発  
C. 先進的無人潜水艇の開発と改良  
D. 極洋の調査  
E. 船舶運用の生産性の向上  
F. 調査船の港の管理・運営制度の整備  
G. 海底計測機器の整備

(7) 北極海と南極海の情報整備 (Improved Arctic and Antarctic Ocean Information)

北極と南極における国家的利益を図るため、海洋・大気の情報サービスが必要でありその整備を確立する。

4. NACOA 報告と海洋政策の見直し要因

米国の海洋政策の超長期展望は、実に1000年先を見越したものとなっている。彼らは超長期の展望を念頭において、国家の安全保障や国民の豊かな生活や福祉を最終目標とすると、海洋空間をいかに有効にしかも環境保全を考慮しながら利

用・開発するためには、多面的なアプローチで10年ごとの目標や課題を設定して進めようとしている。なおかつ、10年を単位として見直し、社会システムの変化に応じた新たな展望や目標、課題を設定することを示唆している。

81年に大統領に提出された報告書は、過去10年間に变化してきた社会情勢を踏まえて検討されたものである。その要因を幾つか分析してみると、エネルギー、漁業、米国民の沿岸域への人口移動、海洋空間の新たな利用要請、そして科学技術の発展が挙げられる。

エネルギーの問題に関しては、オイル・ショックを契機に、当時の世界的エネルギー供給の逼迫から海底石油やガス資源の開発が急務であったためである。さらに、それらのエネルギー資源の開発が大水深化してきており、同時に極洋の石油開発が注目されていた時でもある。それらの課題は、極洋や大水深海域での資源探査及び生産開発技術が未整備であるために、早急な対策が必要とされていたためである。同時に石油代替エネルギーとして、海洋温度差発電が注目され、実用化の見通しが立ってきていたのである。大水深エネルギー資源開発は、90年代までに4000メートル水深を超えると予測した。また、OTECは法制度の策定ともあいまって開発は促進され、99年までに1万メガワットの施設が建設されると予測した。そのためには、エネルギー資源の開発は急務であり、資源分布位置、賦存量、開発手法、輸送手段、環境保全の在り方などを調査研究し、様々な具体的課題を解決しなければならないとした。

漁業問題はまさに自国の漁業資源の保全と育成にあり、同時に自国漁業生産者の保護を目的としている。この背景には、国際的漁業環境の変化と国内的漁業コンフリクトが潜在的にあった。国際的情勢の変化は、ひとえに200海里経済水域の趨勢によって、これまで商業漁業並びにスポーツ・フィッシング（レクリエーション）でさえ利用し

ていなかった海域からの外国船の漁業規制と自国資源の保護を目的としている。特にアラスカ沖合並びに沿岸の外国漁船の不法就業は、目に余るものであり、漁業資源の枯渇の脅威を助長した。さらに、自国漁民の育成と漁業進行を図るためには、外国と比較してはるかに劣る船舶性能、漁業器具、経済性を向上しなければならないとした。特に、自国の漁民が自国の海域で漁労を行うとき、既に外国の漁船が大量の漁獲を上げ、自国の漁民が自国の魚介類を捕れないことが大きな問題であると指摘している。国内的には、沿岸域の漁業海域が商業漁業とスポーツ・フィッシングとの競合、さらに海面での漁船、各種レクリエーション・ボートの衝突の危険性などの競合問題が顕在化していた。沿岸漁業の遠洋漁業化への促進と漁業資源の育成、さらに経済性を高めるための漁船の低燃費エンジンの開発、リモートセンシングを用いた漁業就労の省力化と資源保護、安全性の確保が挙げられている。つまり、200海里経済水域の設定に伴う資源保護意識の台頭と漁業の国際競争力の強化を問題とする対応を明らかにし、その目標と課題を提言したものである。

人口動態と海洋政策との関係は、大変興味深い問題である。米国民の人口動態が、急激に内陸から沿岸域へと移動し、特に太平洋沿岸域への人口流入が顕著になってきている。彼らの予測によると、80年代の後半までに、国民の75%が海岸及び五大湖周辺沿岸域50マイル（80キロメートル）以内に定住するとされている。人口の沿岸域への集中は、単に沿岸域の居住面積や密度だけの問題ではなく、実に広範囲な輻輳した問題を抱えることを危惧しているからに他ならない。例えば、人が住めば種々の活動が発生する。活動は必然的に社会的経済活動へと波及発展する。それは間接的、直接的に沿岸及び海洋空間をも巻き込むこととなる。一番の問題は環境破壊と汚染である。居住や社会経済的活動のために、陸の森林を伐採したり

造成することは、単に陸のエコシステムを改変させるだけではなく、海洋のエコシステムにも大きくかかわるものである。雨水の流入量や土砂の流入、生活排水、都市廃棄物など大きな問題を抱えることとなる。さらに、自動車の排気ガスや産業立地に伴う大気汚染、漁船とプレジャーボートとの空間競合と高い事故発生率の問題。私的土地所有の増加に伴うオープン・スペースやパブリック・アクセスの減少。ひいては、それらすべてが我々に返ってくる問題であり、将来の子孫の生活質やライフスタイルにかかわる問題でもあるとの認識が必要であるとしている。それゆえ、沿岸域管理計画の在り方が問われるものである。人口配分モデルの問題は、総合的社会システム上の課題であり適正な就業及び産業の配分、快適な居住空間及びレクリエーション・エリアの配分と環境整備など、実に多くの解決しなければならない問題を抱えている。

海洋空間の新しい利用要請もまた新たな問題を提起している。これまでの海洋空間の歴史的利用形態である魚介類の捕獲、塩やミネラルの生産、海洋レクリエーションなどとは異なる利用要請が多く発生してきている。例えば、海底石油・ガスの生産やマンガン団塊・ポリメタリックサルファイドの生産、温度差発電による電力エネルギーの生産、原子力廃棄物や都市・産業廃棄物の処理は、決して遠い未来ではなくなっている。それらの新しい利用形態から生ずる様々なコンフリクト、海岸侵食や汚染、オープン・スペースの占有などが問題となるであろうことは予想に難くない。海洋空間は、エコロジカルな便益ばかりでなく、大気温度調節、酸素の供給や炭酸ガスの固着、流入物質の浄化など複雑な化学、物理、生態的過程を経て環境の保全と快適な環境の維持に貢献しているのである。いずれにしろ、海洋空間の新たな利用要請に対応するにおいても、海洋環境の正確な観測や監視、汚染の因果関係の把握、生

態系の正確な動態把握が肝要であると位置付けている。

科学技術の発展は、これまでの問題とは様相が異なるものではあるが、米国の海洋政策に関し新たな課題を提起するものとなっている。科学技術の発展によって、様々な新しい海洋産業が台頭してきている。また、それによって海洋の生産力も飛躍的に大きくなってきている。そのような状況は、社会的に意義深いものと位置付けることができ、今後の発展が望まれるものである。しかし、ここでの問題は、科学(Science)と技術(Technology)とは、根本的に異なるものであるとの認識が必要であるとの問題提起である。それらは共に重要であり、ちょうど鶏と卵の関係にあると位置付けており、海洋観測及び計測技術なしには科学的分析も不可能であり、科学の発展なくして技術分野の発展はないと理解した上で、技術開発の重要性を提起したものである。これまで、米国の海洋政策はどちらかというと科学オリエンテッドな海洋政策を施行していた。NACOAは、実に慎重な言葉を選んで先に述べた分野での技術開発の必要性を説いている。今、米国が求める海洋政策の方向は、科学→技術→産業の関係がバランス良く進展していくことを期待しているようである。特に産業の基盤となる技術開発を当面の課題として、重点整備する方向でNOAAとNSF(National Science Foundation)が協力し、シー・グラント大学や研究機関に技術開発研究費を優先的に助成するようになってきている。

## 5. おわりに

NACOA 報告書が提示した10年後が、間近に迫ってきている。既に今後の10年に向けての模索が始まっている。エネルギー問題は、確かに重要な問題には違いないが、80年代初頭と今日ではかなり様相が異なってきている。国際的にエネ

ルギーの省力化が進み、原油の値段が低迷している。石油産出国自体が逆オイル・ショックでかなりの経済的低迷を余儀なくされている。その結果、石油代替エネルギーとして注目を浴びていた OTEC や波浪発電の研究も低迷しているのが現状である。しかしこれまでも、またこれからも海洋開発における石油開発の位置付けは大きく、いずれにしろ石油開発は海洋開発のリーディング・インダストリーの役割を果たしていくことであろう。化石燃料としての石油や石炭、ガスは有限でありいつかは枯渇する宿命にある。米国の妻さは、超長期を展望した大水深や極洋の地道な観測調査、探査を行い、科学調査ばかりでなく技術開発をも怠らない政策を指向していることである。また、低迷しているとはいえ、OTEC の研究も単一目的から複合多目的利用へ向けて、海洋先端複合産業へと育成する努力を怠らないことである。現在のレベルでは、OTEC は実用化には程遠く、火力発電と比較して経済的に劣る結果となっている。しかし、海洋・大気 (Ocean and Atmosphere) マネージメント及びオペレーションという意味合いを十分認識した基礎研究は、新たな OTEC の利用方法を提起してきている。ガス冷却用の海洋深層水は、富栄養素をふんだんに含み、その資質としての低温度海水は魚介類の育成に適しているばかりか、陸の温度制御にも適している。ハワイでは、OTEC システムの高度利用としてサケやロブスター、アワビ、海苔の育成を奨励し、ハワイの観光産業とあいまって産業化に成功している。また、冷却ハウスでは、イチゴや花栽培の育

成に成功している。この成功は、海洋バイオ産業の育成をも助長し、健康食品やビタミン剤の原料供給源にもなっている。

海底資源開発・探査に用いられてきた有人潜水艇の低迷は、新たな展開を見せ始めている。観光レクリエーションは世界的趨勢であり、マリン・リゾートでの魅力的海底観光の手段として有人潜水艇は注目されてきている。ある意味での海洋開発産業のハイテク、ハイタッチ化が進行してきているといえよう。今後、米国の海洋政策がどのような方向へ向かうのかは、実に興味深いものがあるが、米国自身もどのような方向を指向したらいいのか模索しているのが現状ではなかろうか。この数年、米国で頻りに開催されている各種国際会議が、それを物語っているように思われる。恐らく NOAA 及び NACOA は、今年から新たな海洋政策の策定準備にかかろうとするであろう。

米国の海洋政策の展開は他人事ではなく、我が国の海洋開発の政策も見直す時期にきていることは確かであろう。

#### 参考文献

- 1) The Stratton Report on Marine Science, Engineering and Resources, Vol. 1, Vol. 2 and Vol. 3, copyright 1969. U. S. A.
- 2) Gerard J. Mangone, "Marine Policy for America", 1977.
- 3) National Advisory Committee on Ocean and Atmosphere, "Ocean Services for the Nation", copyright 1981. U. S. A.
- 4) U. S. Department of Commerce, NOAA, National Ocean Service "Report to the Congress on Ocean Pollution, Monitoring, and Research", copyright 1988.

# 海洋音響トモグラフィーによる 大規模海洋変動現象の計測技術

海洋開発研究部 中埜 岩男 Iwao Nakano

## 1. はじめに

「エル・ニーニョ」現象に象徴される異常気象や、CO<sub>2</sub>の増加による温室効果をもたらす気候変動は、人類の経済活動が地球環境を脅かす程に巨大化してきたことを物語っている。地球表面積の70%を占める海洋は、水源、熱源、物質貯蔵庫として地球環境の形成に大きな役割を果たしていることが認識され、全地球的な海洋観測網の整備が望まれている。

これに応えるべく、当海洋科学技術センターでは、広域立体同時観測を目指した三つの新しい観測技術を開発している。水分子が放射するマイクロ波を捕まえて、大気中、雪氷、海面の温度分布や大気的水分濃度分布等を測れる航空機搭載型多周波マイクロ波放射計、レーザー光を海中に照射して、クロロフィルの三次元濃度分布を測定する航空機搭載型レーザーダグ、及び低周波音波を利用して海洋の内部空間を迅速に測定する海洋音響トモグラフィーシステムの開発を行っている。マイクロ波、レーザーは航空機の高速機動性を利用して、短時間に約1000 km×1000 kmの海域を観測する。トモグラフィーは、音波を利用して1000 km×1000 kmの海域を約一時間程度で測定しようとするものである。ここでは、海洋音響トモグラフィー技術について詳しく説明する。

## 2. 海洋はどんな方法で測られてきたか

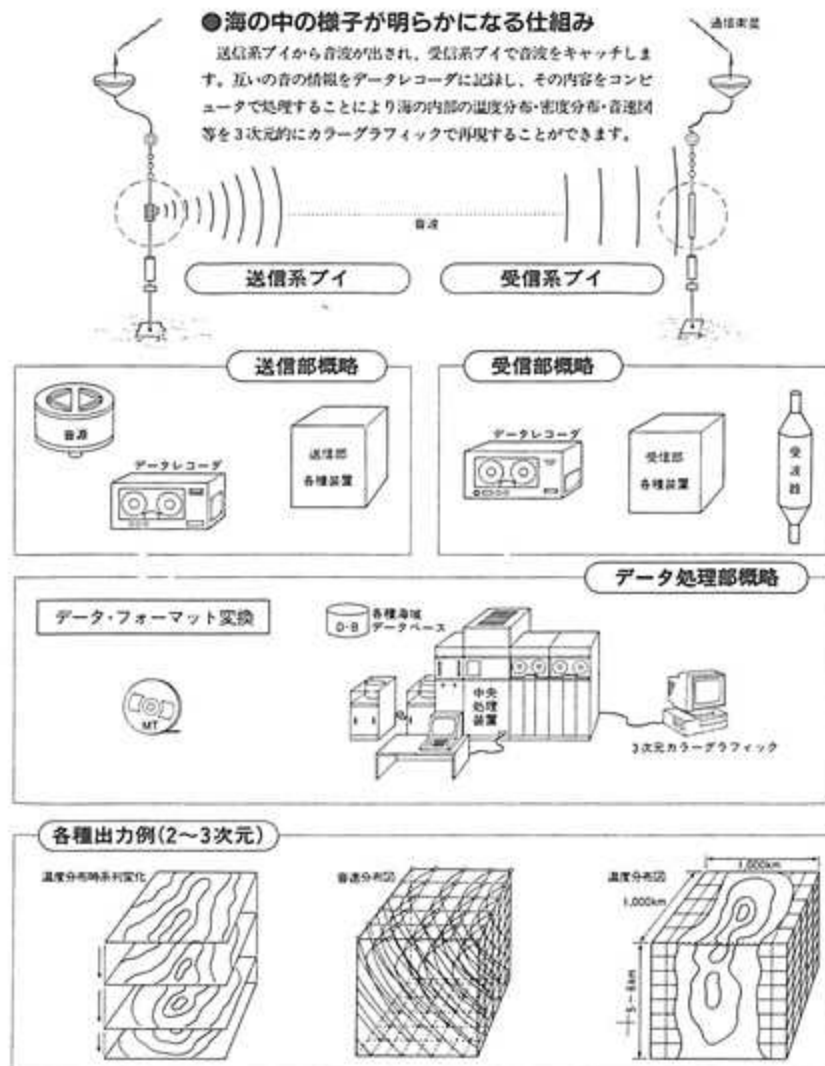
海洋観測の基本は、海洋そのものを適切な空間規模と時空間間隔で観測することである。海洋は大小種々なスケールの現象からできている乱流状態の流体と考えられている。ここでは空間スケール数百 km 以上の大規模な現象を対象とする。基本的な観測量は、水温分布と流速分布である。流速分布は直接測れないので、水温、塩分から密度を計算し、流速分布を間接的に求めている。

水温分布と流速分布とから熱輸送量の分布が分かる。このため、水温と塩分を測って全海洋の流れの様子を明らかにすることが大きな問題であった。

今まで海洋観測で一番活躍してきたのは船である。船なしには海の観測は語れない。観測技術の進歩した今日でも、海洋の直接的な観測はすべて船を利用しなければならない。

船がもつ大きな欠点は、船速を速くできないので観測に時間がかかり過ぎるため、大規模な海洋現象を時間的に追いかけることは、ほとんど不可能であり、測点間隔を余り小さくできないので小さな現象が観測できなかったことなどである。

そのため、人工衛星によるリモートセンシング技術の進歩した今日では、海洋全体を連続的に観測する努力がなされ次々と新しい測器が実用化さ



図一 海洋音響トモグラフィの基本システム概念図

れている。これまではナンセン採水器と転倒温度計とウインチが海洋観測の基本的な道具であった。これによって、海の種々の深さの温度を測り、同時に採水し、船上で海水の化学分布を行い、海洋の基本量である水温、塩分、溶存酸素、有機物等が測定され、音速、密度、流れが計算された。この努力の積み上げによって、全海洋の平均的な海洋構造と海流などの基本的な特徴が明らかになった。また近年のエレクトロニクスの進歩のおかげでSTD、CTD、BT、XBT等により鉛直方向の水温、塩分、溶存酸素等の連続分布が測れる

ようになった。また、係留技術の進歩により時間的に連続なデータが得られるようになった。

しかし、これらの方法では、まだ海洋全体で何が起きているかを把握するには、空間規模、同時性等の点で十分ではない。

### 3. 音波は海洋観測に有効か

近年の海洋観測技術の進歩は、音波によるところが非常に大きくなっている。海水中では電磁波は減衰が大きくて、ごく近距離(約100m)でし

か使えない。しかし、音波は余り減衰しないで遠くまで伝わる性質を持っている。音波の中でも高周波の超音波を用いるものには、魚群探知器、音響トランスポンダ、水中画像通信などがあり、かなり確立された技術となっている。また、近年では、ADCP（音響ドップラー・プロファイラー）が開発・実用化され、海面から深さ数百 m までの流向流速のプロファイルが瞬時に得られるようになった。広域化の要求に応じて低周波の音響測器の開発が進められている。このうち、ソーファーフロートは、海中で自ら音波を発射し、複数の受波器でこれを受波し、フロートの位置を出し、これを時間変化としてとらえることにより海中の流れを測定するものである。

ソーファーフロートは、海洋観測機器のうちでは最も成功した機器の一つであり、東京大学海洋研究所が中心となって観測が進められている。

#### 4. 音はどう伝わるか

海洋では、一般的に日中太陽熱を吸収し海面が温められる。海水は比熱が大きいので太陽熱を蓄える。一方、海底近くには、極地方で生成された低温高塩分の底層水がある。したがって、海面の水は、底層水に冷やされるため、鉛直方向の温度分布としては、海面に近いほど、温かいが、数百 m より深くなると、底層水の影響が大きくなる。1000 m より深くなると、ほとんど温度（ポテンシャル温度：現場温度から深さの影響を除いたもの）は一定となる。

海面から下方に向かって温度は急激に下がり、1000 m を超すと余り変化しなくなる。一方、水圧は直線的に増加する。音速は温度が高いほど、また圧力が高いほど大きくなる性質があるので、海面近くでは温度の影響が大きく、音速は大きい。次に深海底に近づくと圧力の効果が大きくなり音速が増加する。このため海洋の中間に自然に音速

の極小層ができる。海洋の海面と海底との間に極小層があるということは、音波の伝搬にとって非常に重要なことである。なぜなら、音速極小層に対してある傾きをもって上昇する音波は、屈折率が上に行くほど大きくなるので、音波の進む方向は、屈折率の小さい層に引き寄せられるように曲げられる。これは、音波の上の部分が速く、下の部分が相対的に遅いので、波面が自然に曲げられてしまうからである。下降の場合も同じであり、音速極小層の方に押し戻される。すなわち音速極小層がある場合、音波のエネルギー分散が防がれ、海面または海底での反射によるエネルギー損失を被らない音波があることが分かる。これは海洋音響トモグラフィーにとって本質的なことである。ここで、音波の波面は連続的に分布しているので、音源から発射された音波は、極小層を中心に、上に行ったり下に行ったりしながら伝搬する。音源からある距離の所に受波器が置かれていると、ちょうど受波器のすぐそばを通る音波のみが受波される。音波は全方向に連続的に発射されているので、音速極小層の周りを振動しながら伝わる音波は一つに限られず無数にある。そのうちのある条件を満足するもののみが受波される。一般にこの数は距離に比例して多くなる。この現象は、多重音線経路といい表されている。受波される音波は、発射された角度が特定のものだけに限られる。一般に、音波は音速極小層となす角が大きいほど上下の振動幅が大きくなり、それだけ運んで来る海洋の情報量が多くなる。

#### 5. 音波の伝搬時間を高精度で測るためには

海洋音響トモグラフィーで扱う音波の伝搬距離は数千 km 以上である。これだけの測定距離で、1 ms の程度の伝搬時間の測定が必要である。時間の測定技術は、高度に発達した測定技術の一つであり、電波を利用して音波の発射時刻が決定で

きれば、必要なだけの精度で伝搬時間を求めることができる。しかし、実際には、トモグラフィーでは媒体が音波であり、数百 Hz と低周波であるために、その伝搬時間の理論誤差は 1 ms 程度である。これは、音源の帯域幅と受波点での SN 比から決定される。1 ms の精度を約 1 年間にわたって保証するためには、 $10^{-3}/365 \times 24 \times 60 \times 60 = 3 \times 10^{-11}/\text{year}$  の安定度の時計が必要である。この精度を保証する時計としては、原子時計が存在する。しかし、原子時計では消費電力が大きすぎるので、実際の測定には高安定な水晶時計を使用し、設置前と回収後に原子時計で校正し、ドリフト分を補正する。

測時誤差の要因にはもう一つある。音源と受波器の位置の変化である。これを補正するためには、音源と受波器の位置の変化量を知ることが必要であり、この位置変化の許容誤差  $\delta X$  は、1 000 km では、

$$\begin{aligned} \delta X &= (\delta T/T)X = 1.5 \times 10^{-6} \cdot 10^6 \text{ m} \\ &= 1.5 \text{ m のオーダーである。} \end{aligned}$$

この値は、トランスポンダ測位方式の限界に近い数値である。理想的には、1 m 以下の測位精度をもつトランスポンダ測位方式が望まれる。

さらに、信号列として M 系列を使用している。この系列は、自己相関関数が時間のずれがない時にピークをとり、時間が少しでもずれると零に近い一定値になるような性質をもっている。さらに M 系列のもう一つの大きな利点は、先に説明した多重音線経路による信号の重なりがあっても、1 本 1 本きれいに分解してくれることである。この二つの性質は、海洋音響トモグラフィーにとって本質的なものである。

## 6. 音速分布はどのように再現されるか

音源から受波器まで様々な道筋を通って来る音波は、また海洋のいろいろな情報を含んでいる。

この情報をどうやって取り出すか、これが重要である。この情報の取り出し方は、端的に言えば、音波の分類と同じことである。まず、音波の第一の情報、伝搬時間である。その次が信号の雑音比であり、さらに入射角ということになる。時間測定の技術は、最も進歩した測定技術の一つである。これを利用して、絶対時間で精度よく伝搬時間を測ろうというのである。正しくは絶対時間というよりも同期を取ることが重要なのだが、現在は機器を海中にずっと入れっぱなしなので、音源と受波器の時刻合わせは、設置時に合わせて、回収後にお互いの時間のドリフト量を測るという方法がとられている。ここで重要な点は、同期さえうまく行けば、測時精度は距離にかかわらず一定であり、距離が大きくなければなるほど、音速や流速の測定精度が向上する。この測時精度は、伝搬距離を 1 000 km とすると  $\delta T/T = \delta T/(X/C) = 1.5 \times 10^{-6}$  となる。音速と温度との関係から、 $\delta C/C$  の温度係数  $\alpha$  は  $\alpha = (\delta C/C)/\theta = \frac{4.6}{1450} = 3.2 \times 10^{-3}$  となる。これから温度変化の推定精度は、 $\delta \theta = (\delta C/C)/\alpha = (\delta T/T)/\alpha = 1.5 \times 10^{-6}/3.2 \times 10^{-3} = 0.5 \times 10^{-3}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) となる。また、流速  $u$  の推定精度は  $u = (\delta T/T)C = 2.5 \times 10^{-3}$  (m/s) となる。

このように測時精度は非常に重要な量であり、実際に測時精度が悪くなると、単に測定精度が悪くなるというだけでなく音速分布の再現性は極端に悪化する。

音波伝搬理論によると、平均的な音速分布に対して、音波の伝搬経路を計算することができる。この経路を通る音波の伝搬時間の予想値と、伝搬時間の実測値とを比較し、伝搬路の対応付け、すなわち同定が行われる。一つの伝搬路について、予想値と実測値とで伝搬時間のずれが生じる。このずれは音速分布の変化を表している。このずれを生じる音速分布を再現するには、いろいろな方法がある。基本的には、海洋構造の知見を加えて、

相対的に少ない伝搬時間のずれの情報を有効に活用することである。例えば、海面近くと海底近くではその様子が異なる。海面近くは、太陽熱や、風などの海況により、かなり複雑な構造をしている。2000 m より深くなると非常に安定した構造を示している。これは、海洋力学の言葉では、バロトロピック、バロクリニック構造と表される。音線が16本あったとするとこの情報を鉛直の分解のみに使う場合と、鉛直水平の両方の分解に使用する場合とがある。これは使える他の情報量による。基本は、独立した情報をもつ音波を沢山捕まえることである。

## 7. トモグラフィーの種類

海洋音響トモグラフィー技術の基本は、伝搬時間の高精度測定である。この測定は、音源から受波器に至る音波の伝搬時間の測定と、音源と受波器の位置を取り換えた逆方向の音波の伝搬時間の測定の二つが考えられる。この正方向、逆方向の伝搬時間の差を求めると、流速分布に関する情報が得られ、和を求めると、音速分布のみに関する情報が得られる。

流速分布は第一義的には、他の技術で測り難いバロトロピック（層流としての流れ）な流れが測定され、次に、バロクリニックな低次のモードが決定される。これだけでも、海洋物理学的に重要な測定量である。

音速分布は、海洋構造の可視化の役割を果たすことができる。音速は、密度と断熱圧縮率によって決定される。したがって音速の変化は、海洋構造の境界面に敏感である。また、海洋は積層状の安定した構造をもっている。この基本的な海洋構造を破る形で冷水塊、暖水塊などの数百 km 規模の現象が存在している。したがって、これらの現象が存在する時には、音速分布に異常が起きる。これについては、米国で行われた音響トモグラ

フィーの実証試験で確認されている。

一方で、海洋物理の経験則は、海洋は幾つかの安定した水塊で生成されていることを教えている。海洋学で良く用いられる状態図に T-S 図（水温-塩分濃度）がある。基本的な水塊同士の混合の割合が連続的に変化していることを示す。これは比較的安定している。これに基づくと、音速分布は、水温分布に翻訳することが可能となる。

## 8. トモグラフィー測定法の種類

トモグラフィーの基本は、音源と受波器を測りたい海域に計画的に展開することである。流れを測定する時には、音源と受波器を一体化したトモグラフィートランシーバが用いられている。

最も基本的なネットワークは、音源群と受波器群を音速極小層付近に係留し、その各々に、動揺測定のためのトランスポンダを3個1組で配置するものである。このようにすることにより、数千 km 伝搬に音波の伝搬時間を1 ms 程度で測定でき、また、数カ月から数年の時系列変化を測定できる。これは、他の方法で真似のできないトモグラフィー独自のものである。これが理想的な最も精度の高い方法である。

トモグラフィーの基本に忠実な方法は、船を2隻用意し、観測海域の周囲に沿って、一方の船から音源を吊し、他方で受波器を吊し、同期させながら音波を発射し、海域を横断してきた音波を受波するものである。海域を細かく縦切りにすることができるので、多少の観測期間を要するが、海域を必要な空間精度で観測できる。この方法の基本は、GPS による高精度位置測定技術である。この時は船を使っているため、時間の同期合わせは、十分に1 ms の精度を確保することができる。むしろ問題点は、音源と受波器の位置変化をどのように検出するかということになる。係留式のものと同様に移動船によるものとの組み合わせも実用上は

考えられ、実際にグリーンランド海のトモグラフィー観測で行われている。

音響トモグラフィーでしかできない測定法には、五角形に配置した音響トランシーバを用いて、この五角形の辺上を一周する時間を測定することによって辺上の流れを測り、海洋物理学で重要な大規模な渦度を測るものである。基本原理のみが提案されているが、近い将来実現されると思われる。

## 9. 海洋音響トモグラフィーの発展

海洋音響トモグラフィー技術は、1978年に、MUNK (SIO) と WUNSCH (MIT) とにより、従来の海洋観測技術では成し得なかった、1000 km 四方の広大な海洋空間を瞬時にして観測可能な画期的な海洋観測技術として、高らかに提唱された。それ以前には、水中音響の分野で、低周波音波の長距離伝搬特性はよく知られていたが、海洋観測に応用されるまでには至らなかった。水中音響に詳しい海洋物理学者 MUNK と解析手法に詳しい海洋物理学者 WUNSCH との共同研究として、海洋音響トモグラフィー理論が結実した。しかし、理論的に可能であっても、実用的には、音源の能力不足のため、音響信号が容易に水中雑音に紛れて検出できなくなるという大きな技術的障害が存在し、容易に克服することができなかった。この障害を克服する方法として、レーダーに用いられていた M 系列による信号処理方式を提案し、実海域において見事に実証したのが SPINDEL (WHOI) である。この後直ちに MUNK を中心にトモグラフィーチームが結成され、このチームの手によって、1981年バミューダ島沖 (MODE 実験海域) の 300 km 四方の海洋空間に、4 個の音源と 5 個の受波器が展開され、海洋音響トモグラフィー技術の海域実証試験が実施された。この実証試験は、NATURE (1982) の速

報結果に見られるように大成功を収めた。この実証試験の観測データの本格的な解析は、CORNUELLE の手によって学位論文として実施され、海洋音響トモグラフィー解析技術が展開された。この解析結果は、CORNUELLE 他により JPO (1985) 誌に発表された。

この実証試験に使用された音源は、従来の SOFAR フロート用の音源を改良し、さらに四本束ねて性能向上させた音源が用いられた。しかし、その後、幾つかの実験結果に基づいた音源の再検討が行われ、速度トモグラフィー用の新しい高帯域音源が開発された。1983年にバミューダ西方海域において、この音源を用いた速度トモグラフィーの海域実証試験が行われた。この試験で使用された機器構成については、WORCESTER 他が JOE (1985) に報告している。この実証試験の観測データは、HOWE によって学位論文として解析され、流速の検出に見事に成功した。その解析結果の要約は HOWE 他によって JGR (1987) に報告されている。

ここに至って、海洋音響トモグラフィーは、ハードウェア及びソフトウェア共に基本技術の確立を見、実証試験の階段が終わった。これ以後、海洋音響トモグラフィーは第二段階に進みスクリップス海洋研究所、ウッズホール海洋研究所やマサチューセッツ工科大学を中心として、多様な海洋現象の観測の可能性が追求され、その成果が逐次発表されている。これらの海洋音響トモグラフィーによる観測は、グリーンランド海周辺、メキシコ湾流域や東太平洋で行われており、海洋現象と海洋音響トモグラフィー観測結果の比較研究や、海洋音響トモグラフィーの解析技術の研究・高性能低周波音源の開発、応用型のトモグラフィーなどが盛んに行われている。

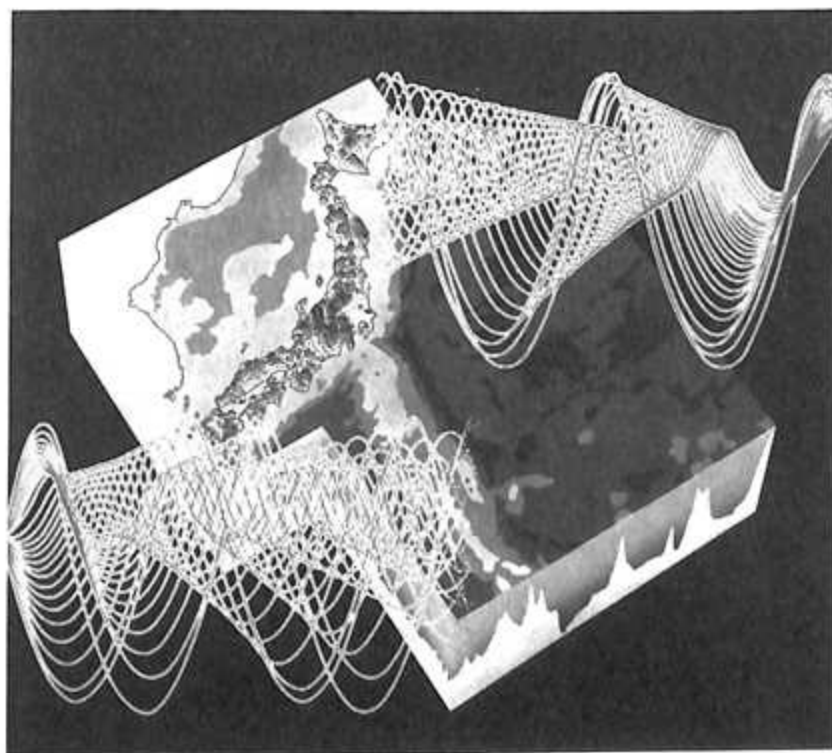
## 10. 今後の計画

海洋科学技術センターでは、1000 km 四方の広大な海域の、海面から海底に至る海洋構造や海洋現象のモニタリングを目標とした海洋音響トモグラフィシステムの研究開発に着手している。平成元年度から平成3年度の3カ年で、海洋音響トモグラフィ技術の中核である低周波音源の検討を進める。続いて、平成4年度から4カ年で、実用観測システムの開発を計画している。

この実用システムが完成すれば、海洋構造の可視化が可能となるので、海の天気図を描いたり、大気・海洋の大規模相互作用を体系的に解明すること等に威力を発揮するものと期待されている。

さらに、人工衛星による海面高度、風応力や海面温度測定システムと連携し、航空機に搭載したマイクロ波放射計やレーザーレーダによる海表面や表層の観測システムと海洋音響トモグラフィシステムと組み合わせた広域・立体・同時観測システムは、21世紀の海洋観測システムとして、大規模海洋変動現象の解明に大いに貢献するものと期待されている。しかし、これらの観測システムの開発及び運用のためには、国内及び国外の関係研究機関の協力が不可欠であり、これらの研究機関との共同研究を強力に推進していくことを検討している。

一方、我が国においては、1983年から1987年までの5年間、気象庁が基本的な研究を行い、112 kmの音波伝搬と多重音線の検出に成功した。



# 太平洋におけるリフト系の 形成過程等の説明

深海研究部 松本 剛 Takeshi Matsumoto

## 1. はじめに

1987年11月25日午後7時、STARMER日本側研究者チームが成田空港の待合室に集合した。チェックインを済ませ、出国手続きを経た後、目的地ヌメアへの直行便UTA 533便のDC-10機に乗り込んだ。この便には新婚客が多いと聞いていたが、噂どおり満員の客席のうち9割方は新婚カップルであった。中年男20人の団体は我々ぐらいであり、周囲からはおそらく奇異な目で見られたであろう。あるいは当人達はそんな珍団体は目に入らず、これから始まる南海の楽園の旅に思いを馳せているのかも知れないが。

明けて11月26日の早朝、ニューカレドニア島の西岸にあるトントウタ国際空港に到着した。成田のような近代設備はなく、タラップを降りると駐機場を歩いて空港ターミナルに向かわなければならなかった。曇っていたが外は暑く、すぐにでも夏服に着替えたい衝動に駆られる。機内が満席であった当然の結果として、空港での入国手続きのゲートには長蛇の列が出来る。その間、地元の芸人が歌と踊りを披露して遠来の旅客を歓迎する。やっとのことで外に出ると、迎いのORSTOM（仏国海外科学技術研究所）ヌメアセンター（写真-1）の人が現れ、バスでヌメア市内に向かった。車窓には茶色い岩肌や枯れた土地



写真-1 ORSTOMヌメアセンター

や暗い湿地帯が見え、これが果たして皆の憧れる南国の地であろうかと一瞬疑う。ところどころに牛の放牧が見られる。信号も何もない道路を1時間近く走ると、右手にニッケル精練所とおぼしき一大プラントが現れ、しばらくするとヌメアのモ



写真-2 ヌメア港に停泊している「かいよう」

ゼル湾に面した港に到着した。バスを降りると8年前に見たヌメアの景色がそのまま現れ、これまた見覚えのある我が調査船「かいよう」が錨付けで停泊している(写真-2)。早速乗り込むと、またまた見覚えのある顔の出迎えを受け、遙か南半球まで長旅をして来たことを一瞬忘れ、日本のどこかの港に居るような錯覚に陥った。

その翌朝にはフランスの研究チームが遙々地球の裏側からやって来た。また南太平洋の研究チームも合流した。いよいよ STARMER 研究航海の始まりである。

## 2. リフト (rift) 系について

ほぼ平行に走る正断層によって境される地形的凹地帯を地溝という。このような特徴を持つ地形のうち、比較的規模の小さいものをグラーベンと称し、広範囲に長く連なるものをリフトと称することが多い。かつては東アフリカ地溝帯、紅海地溝帯等、陸上又はそれに近接する地溝帯についてよく研究された(図-1)。ユーラシア大陸の真中には、例えば南北に細長い形をしたバイカル地溝帯のようなリフトも存在する。しかし、プレートテクトニクス理論の発達後は、海域のリフトについて注目されるようになった。大西洋を南北に走る大西洋中央海嶺や、東太平洋を南北に走る地形的広がりであるところの東太平洋海膨など、プレートの湧きだしの起こるところ、すなわち、新しい海底地殻の形成される場所として、プレートテクトニクス理論の検証のための調査や、プレート生成に伴う熱水現象とそれに伴う海底鉱物資源探査等について、特に最近脚光を浴びている。リフト系とは、リフト軸及びその付近の地質・地球物理学的に特徴的な領域を包括的に示すものと考えて良い。すなわち、海底拡大の起こっている軸、その周辺の小規模のグラーベン群、また中央地溝の周囲の熱水循環等の諸現象の起こっている

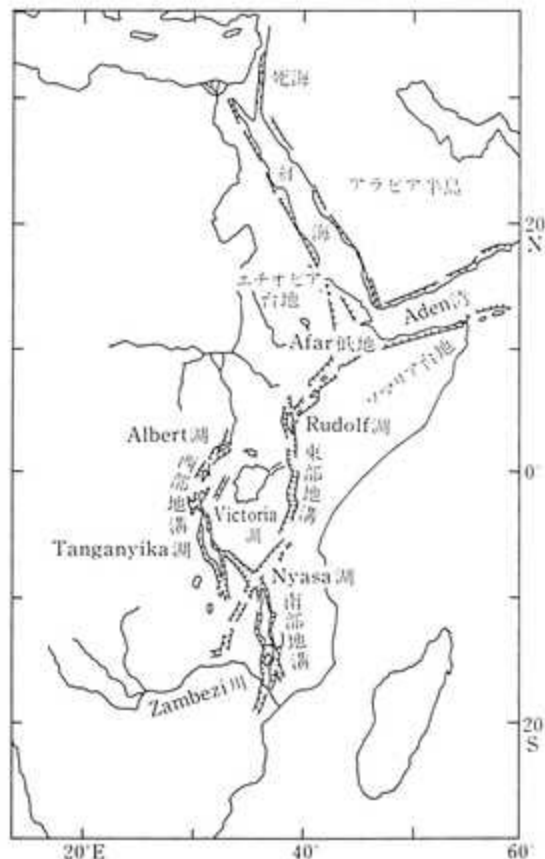


図-1 東アフリカ地溝帯(宝来・鎮西, 1971)

範囲を指す。

リフト系には、大きく分けて、(1) 中央海嶺型、(2) 背弧海盆型、(3) マイクロプレート型の3種類があるといわれている。

(1) 中央海嶺型は、大西洋、東太平洋等に長く連なるリフトであり、海洋プレートの正に誕生しつつある所である。地磁気異常のパターンが明瞭であり、過去の拡大の痕跡が如実に示されている。

(2) 背弧海盆型リフトは、海溝側から見て島弧の背後(すなわち背弧)に発達する海底拡大の動きに伴うものである。島弧の火山活動の発達過程の中で、火山活動の弱い時期に形成されるといわれている。日本周辺では、沖縄トラフ、マリアナトラフが特に有名である。またその他の背弧海盆型リフトを見ても、海山、海嶺等が海溝と衝突

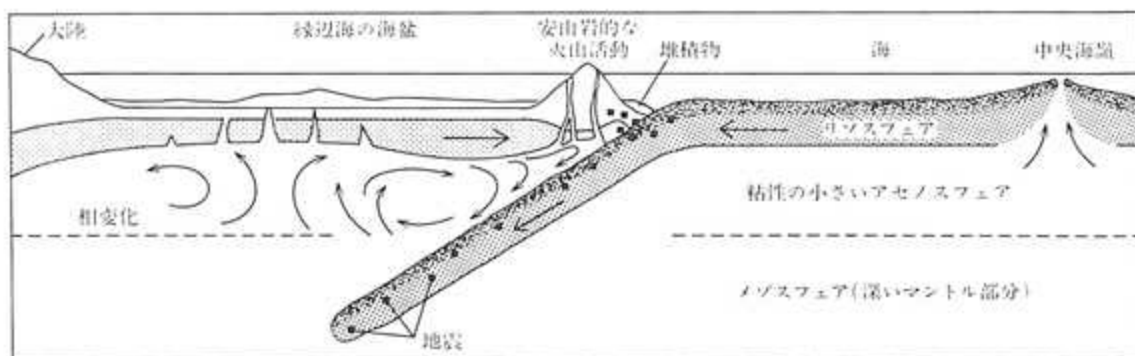


図-2 中央海嶺型リフト系及び背弧(緑辺海)海盆型リフト系におけるリフト系の形成(Toksöz, 1975)

している場所、又はその付近に発達していることが多く、このような衝突が島弧活動の弱小化と背弧海盆の拡大を助起するのかも知れない。以上の拡大様式を図-2に示す。

(3) マイクロプレート型リフトは、大プレートの境界付近でその相互運動のずれを補償するようにして形成されるといわれている。太平洋プレートとインド洋プレートの境界に位置するマス

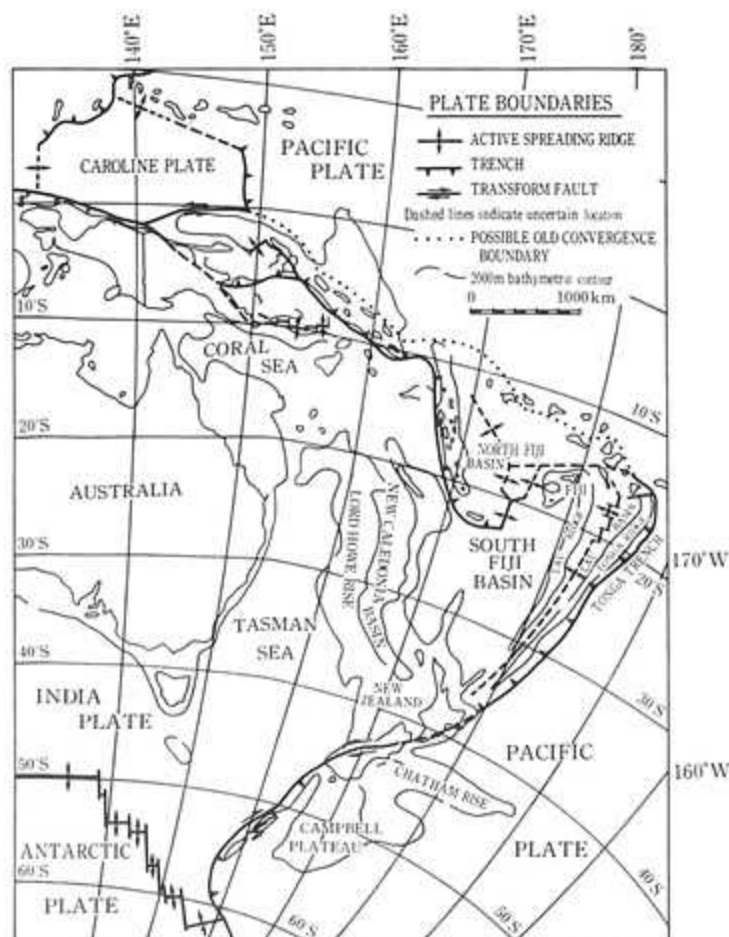


図-3 太平洋、インド洋プレート境界域に存在するマイクロプレート型リフト系

ス海盆、北フィジー海盆、ラウ海盆が特に有名である(図-3)。場所としては大型プレートの収束境界にあるが、必ずしも島弧活動に起因していないという点で、背弧海盆型リフトと区別される。フィリピン海は現在拡大を停止したマイクロプレートであるが、その南部のパレスベラ海盆には中央部を南北に走るパレスベラリフトがあり、かつての拡大の痕跡を残している。

このように、形態はそれぞれ異なるものの、その形成の原因となる場は共通であると見ることが出来る。中央海嶺を構成する岩石は、MORB(大洋中央海嶺玄武岩)と呼ばれているが、その他のリフトを構成する岩石についても、本質的にはMORBタイプのものである。島弧を起源とする背弧海盆型で若干島弧タイプの組成鉱物が混ざる程度である。

現在の地球表面の大規模な運動を考える場合には、地球表面の比較的固い部分(リソスフェア、図-2を参照)の挙動を論ずる際に、便宜的に剛体板としての「プレート」という概念を持ち出すのは差し支えないとしても、周囲からいろいろな大きさ、いろいろな向きの力を受けている数千kmもの大きさのブロックが、全く変形せず一枚板のように運動することはあり得ない。実際、地殻、上部マントルを構成する物質は、数年~数万年程度の比較的短い時間の運動としては弾性体的な性質を示す。海溝沿いに起こる地震活動がこれに当たる。しかし、数百万年~数億年という比較的長い時間の運動としては、粘性流体的な振舞をする。したがって、このような長い時間スケールの間に起こる現象を考える場合には、近似的に粘性流体とみなして良い。ただしその粘性率は極

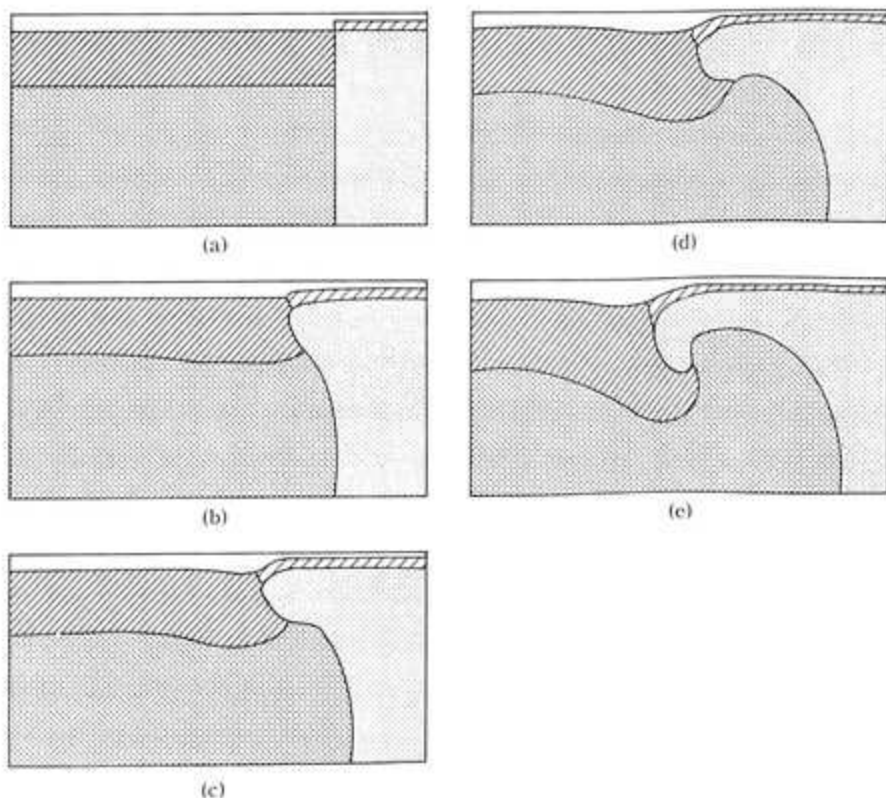


図-4 海溝形成の初期段階の数値シミュレーション

斜線の部分がリソスフェア(密度 $3.3\text{ g/cc}$ )、ドットの部分がアセノスフェア(密度 $3.2\text{ g/cc}$ )を示す(Matsumoto and Tomoda, 1983)

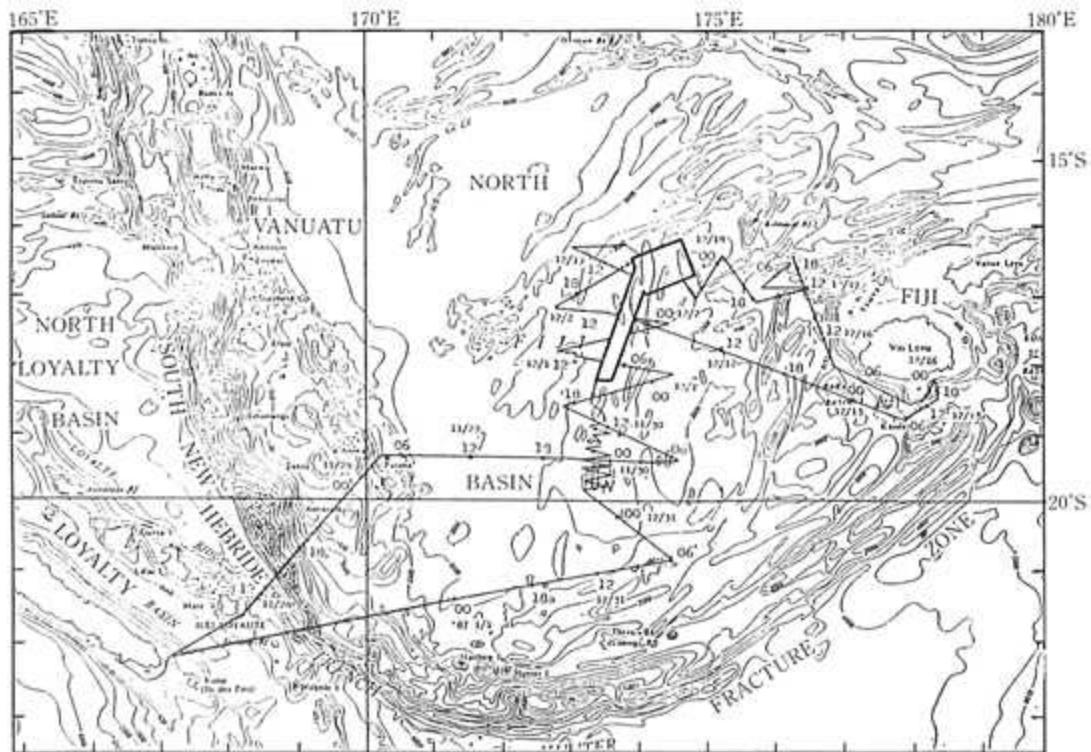
端に大きく、10の22乗～24乗ボアズ程度と考えられている。このように仮定した場合、例えば断列帯やトランスフォーム断層のように、重いリソスフェアと軽いアセノスフェアの厚さがそれぞれ異なる2つのブロックが接している場所では、重い物質が軽い物質の下に沈み込む運動が発生する。

図一4には、その初期段階のシミュレーション結果を示す。これから分かることは、静的な状態を初期条件としたとしても、水平方向の運動が発生し、その異なるブロックの境界には島弧-海溝系が発達し、その結果としてもとのブロックの中で伸張力を受ける場所が拡大系となるということである。ここで、大洋の真ん中に出来るものが中央海嶺型リフトであり、島弧の背後に出来るのが背弧海盆型リフトである。プレートの積極的な押しがない時は、海溝は沈み込み運動に合わせて海側に後退することがこの結果から分かる。

よく、大洋プレートに運動の原動力としてリッジ・プッシュ（中央海嶺での両側への押し、すなわち海嶺軸では逆に引っ張りの力を受ける）とスラブ・プル（海溝で沈み込む重いリソスフェア板が下向きに引っ張る力）の2種が考えられ、いずれが卓越しているか、意見が分かれるところであるが、以上述べた意味では、スラブ・プルの方がプレート境界域の形成及びプレート運動の持続により大きい貢献をすると見ることが出来る。

### 3. 北フィジー海盆のマイクロプレート型リフト系

北フィジー海盆は、フィジー諸島とニューヘブリデス諸島に挟まれた、水深2000～3000mの海盆である（図一5）。周囲の太平洋や南フィジー海盆に比べて水深が平均して約1000m浅いことから、かつては北フィジー海台と呼ばれたことも



図一5 北フィジー海盆の海底地形及び KAIYO 87 調査測線

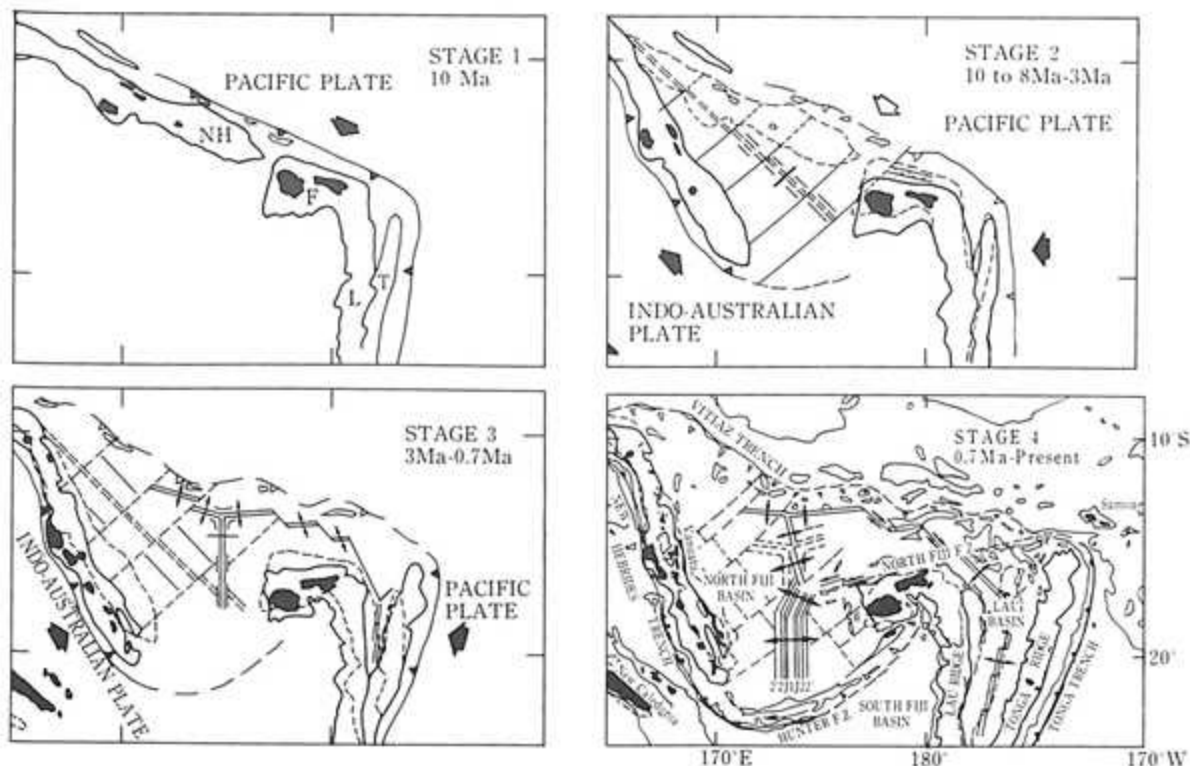


図-6 北フィジー海盆の構造発達史 (Auzende et al, 1988)

あった。

北フィジー海盆の発達史については現在のところ次のように考えられている (図-6)。

(1) 始め、ニューヘブリデス、ピチャージ、フィジー、ラウ、トンガ島弧が、太平洋プレートの沈み込み境界として火山弧を形成していた。

(2) 約1000～800万年前にこの付近の海溝系にオントンジャワ海台が衝突し、海溝における沈み込みが停止した。その後、ニューヘブリデス島弧の西側から沈み込みが開始し、新しいニューヘブリデス島弧-海溝系が形成され、これが時計回りの運動を開始して南西側に後退し、北フィジー海盆の北西-南東方向の拡大軸が形成された。同時に、フィジー諸島全体が反時計回りに回転を起こした。

(3) 約300万年前にニューヘブリデス島弧-海溝系の回転が停止し、北フィジー海盆の中部において東西方向の拡大が開始し、北部においては

三重点が形成された。

(4) 約70万年前から現在に至るまで、三重点の南部はN15°E方向の拡大軸、北部はN30°W方向の拡大軸、東部はフィジー断列帯(左横ずれ断層)が形成されている。

すなわち、現在のニューヘブリデス島弧-海溝系の向きは、太平洋プレートの運動に伴うトンガ・ケルマデック島弧-海溝系とは逆になっている。果たしてこのような逆向きのプレート運動が簡単に起こり得るであろうか。もう一度図-4を見て頂きたい。プレートの沈み込み運動は、密度の異なる物質から成るブロックの接している場所で起こる。したがって、オントンジャワ海台が衝突した時に太平洋プレートの西縁にこれよりも密度の大きいブロックが存在していれば、当然西から東に向かって潜り込む運動が起こり得る。これに伴う拡大速度等は、海底地殻、リソスフェアの密度差や粘性率の違いに依存する。そしてそのよ

うな運動が継続して起こるような場が用意されている限り、海底の拡大が続き、沿海が形成される。

#### 4. 北フィジー海盆の調査

かくして、北フィジー海盆の海底拡大域の形成過程を解明する目的で、1987年より日仏共同調査 STARMER 計画（日本国科学技術庁 STA と仏国海洋開発研究所 IFREMER とが団結して強固な研究チームを編成し、その目的を達成することを念じて付けられた名称）が開始され、当センターの海中作業実験船「かいよう」を用いた調査航海（KAIYO 87, KAIYO 88）が行われている。本年6～7月には仏国 IFREMER の潜水調査船ノチールによる潜航調査が予定され、さらに本年末から来年初めまでの間、同じく「かいよう」を用いた調査航海 KAIYO 89 が計画されている。

北フィジー海盆の各種地質学的・地球物理学的調査については、1970年代の初頭より主として ORSTOM が EVA, GEORSTOM 等のプロジェクトを実施してきた。また STARMER 航海に先立つこと2年、1985年には、IFREMER がジャンシャルコ号による本海域の調査を行った。これは、SEAPSO 航海第3節と呼ばれている。ここでは次のような航走調査が行われた。

(1) 拡大軸を横切る約90マイルの長さの長大測線を何本か選び、シービーム測深によって地形の概略、拡大軸の位置、構造線の向き等を知る。

(2) 次にその結果をもとにして、拡大軸に沿って精査のための海域 (Box) を選び出し、シービーム測深によってほぼ完全にカバーするように航走する。

(3) 回航中といえども、拡大軸、断裂帯等の構造を把握するような航走方法を継続する。

STARMER 航海においても、基本的にはこの調査方法を踏襲した。KAIYO 87においては、SEAPSO 航海の長大測線を補う形で同様の調査

測線が設けられ、しかる後に、SEAPSO 航海の Box を補うように2つの Box の精査海域が決められた。Box 1は、17°S, 173°E 付近の三重点の東側に、Box 2は南側に設定された。KAIYO 88においては、これらの Box を補う航走を行った。以上により、北フィジー海盆のうち、この三重点以南の拡大軸に沿った地形がほぼ明らかとなった（図-7）。

各測線においては、航走中にシービーム、プロトン磁力計、エアガンによる連続観測が行われた。なお、シービーム以外は通産省工業技術院地質調査所による。調査に当たっては、シービームによる拡大軸及びその周辺の広域地形調査の後、その結果を検討して、採水、ドレッジ、採泥、地震計設置、自由落下式サンプラーによる底質サンプリング及び海底撮影等の、地質学、地球物理学的、地球化学的調査を行った。これらの結果さらに海域を厳選し、最後に当センターの深海曳航式ソーナー及びカメラによる精査を行った。深海曳航調査を行う海域については、5マイル四方程度の海域を選び、事前に GPS 測位可能な時間帯を選んだ狭域の精密地形調査を行い、また候補海面の適当な海底に SSBL 測位用にトランスポンダを設置した。採水は拡大軸沿いに計15点の測定点で行い、またドレッジは採水点とほぼ同じ点で行った。採水試料は、メタン、マンガン含有量等、熱水湧出の存在の基準となる物質の分析に用いられた。深海曳航調査は2回の航海で計5海面について行われた。

#### 5. 北フィジー海盆リフト系の拡大軸の特徴

SEAPSO-3, KAIYO 87, KAIYO 88 航海で得られた地形、地質構造の特徴は、図-8のようにまとめられている。

三重点の東側海域は、比高約100mの西南西及び南西に延びる断崖によって境されるブルア

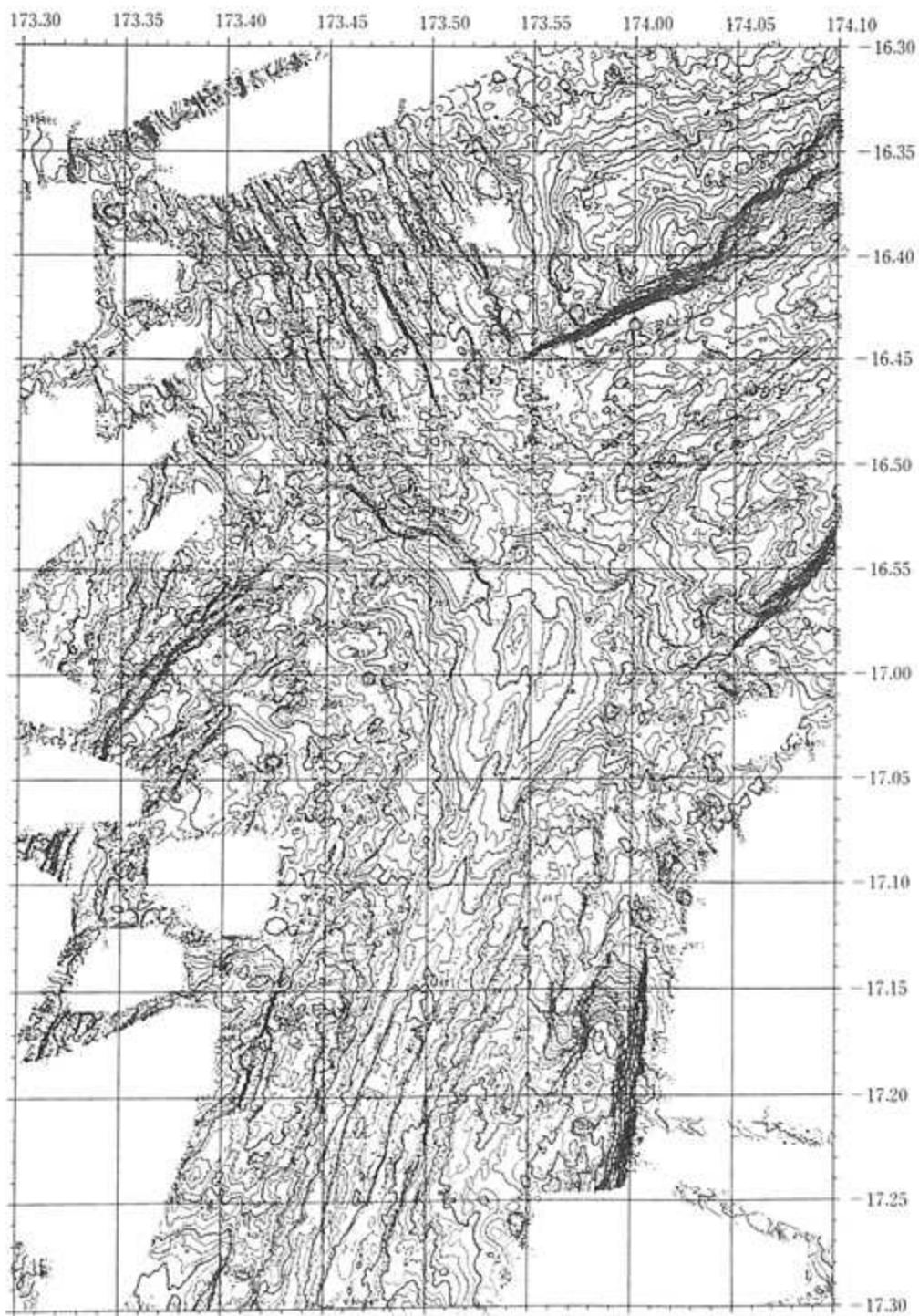


図-7(a) KAIYO 87 及び KAIYO 88 シービーム調査  
による北フィジー海盆リフト系の地形

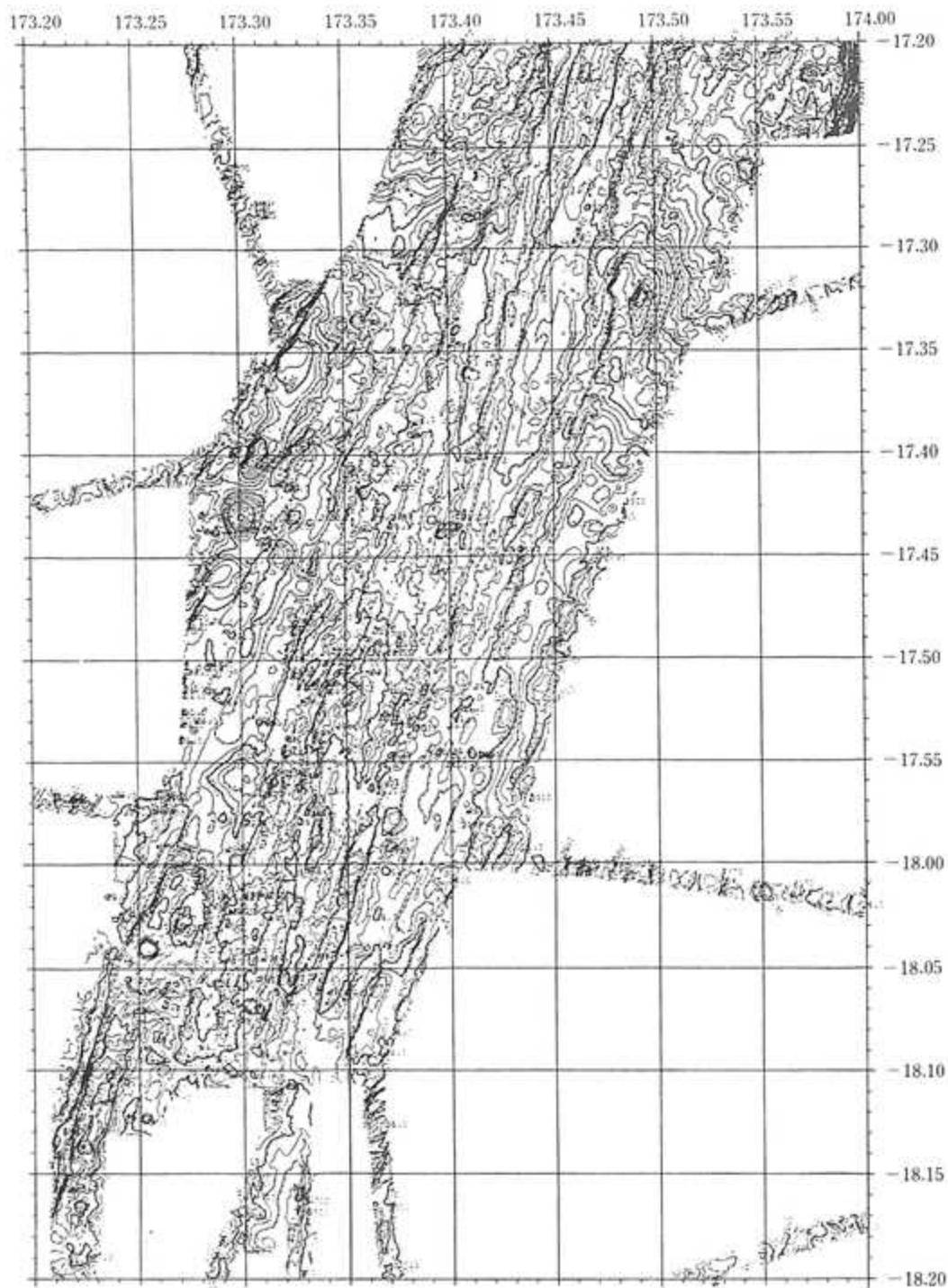


图-7(b)

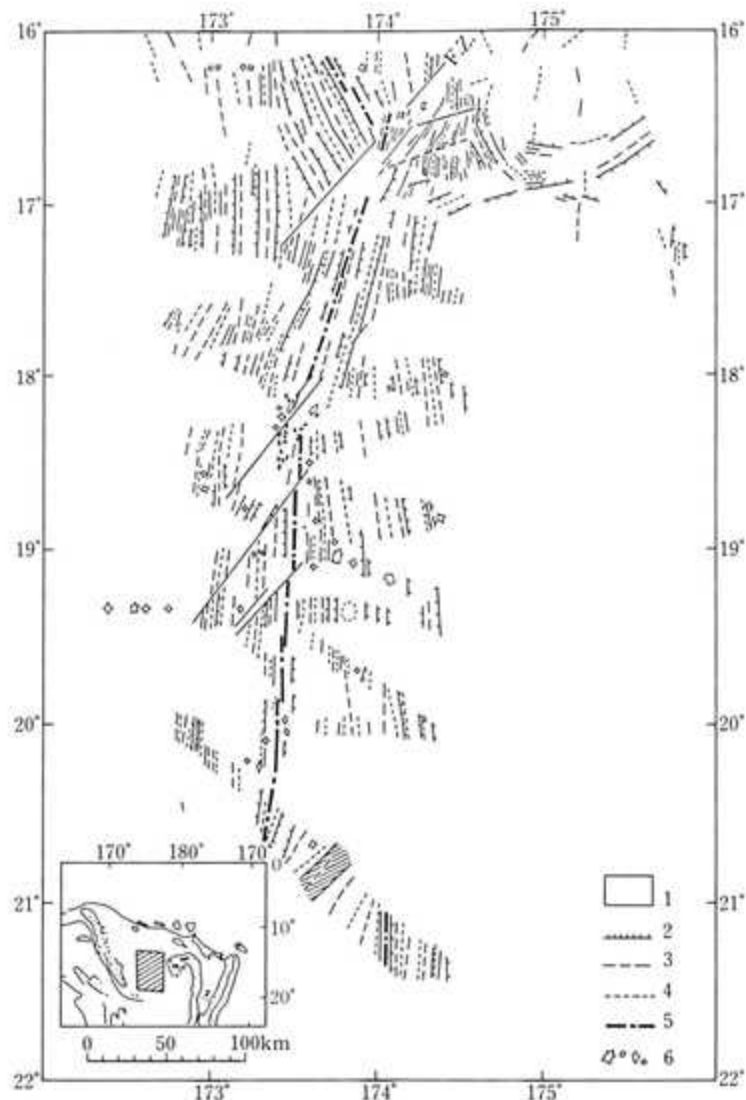


図-8 北フィジー海盆拡大系の構造図 (本座他, 1988)

パートベースンとなっており、その内部はほぼ東西方向の構造線によって随所で切られている。これは地形から明らかに、西南西に向かうにつれて拡大速度が大きくなっている。また、東西性の構造線はフィジー断裂帯と同じ向きであり、同断裂帯がこの位置を通っていることから、このような地形形態は、斜方向に拡大した上でフィジー断裂帯により左ずれを起こした結果であると見ることが出来る。したがってこの両断崖の内部には、トランスフォーム断層、拡大軸、断裂帯が複雑に入り組んでいることが推定される。

三重点の北側では、拡大軸は北北西方向に向きを変えている。この拡大軸が三重点東側海域の北側から延びる断崖を分断していることから見て、東側海域の扇状拡大が起こった後、北北西-南南東方向の拡大が起こったものと考えられる。

三重点付近は北フィジー海盆拡大系の中で最も浅い所であり、水深は2000 mを切っている。軸付近はグラーベンとなっている。軸の両側には対称な形をした比高約100 mの楕円形の山がある。形状は中央グラーベン側が急傾斜となっている。山自体の形は相互に対称であるが、東側の山は若

干南にずれている。拡大軸の向きは、 $16^{\circ}59'S$ を境として変化しており、この点から北側では南北方向であるが南側では北北東-南南西方向となっている。グラーベンの両側のリッジは、この場所からほぼ $18^{\circ}S$ まで追跡出来る。

拡大軸に沿って $17^{\circ}30' \sim 18^{\circ}10'S$ のあたりでは、南に向かってリッジの間隔が広がる様子が明瞭である。すなわち、南に向かうにつれて拡大速度が大きくなっていることを示唆している。この場所では数十マイル程度の水平規模の地形についても、北フィジー海盆の拡大過程として考えられているニューヘブリデス島弧-海溝系の時計回りの回転運動と呼応して、拡大が北方に伝播を起こしているところに注目する必要がある。

$18^{\circ}10'S$ より南の海域では、拡大軸は中軸谷の余り発達していない、平坦なドーム状地形が多くなり、ところどころトランスフォーム断層で切られている。またOSC（二重拡大軸）も数カ所で見られる。すなわち東太平洋海膨と類似した地形の特徴を示す。

## 6. ついに海底拡大の現場を見た

1987年12月26日、三重点付近の2つの海嶺に挟まれた $16^{\circ}59'S$ 、 $173^{\circ}55'E$ 付近のグラーベン底で、曳航式カメラによる調査を行っている時であった（図-9）。グラーベン底には枕状溶岩等が見られ、また多数のフィッシャー（地割れ）が目

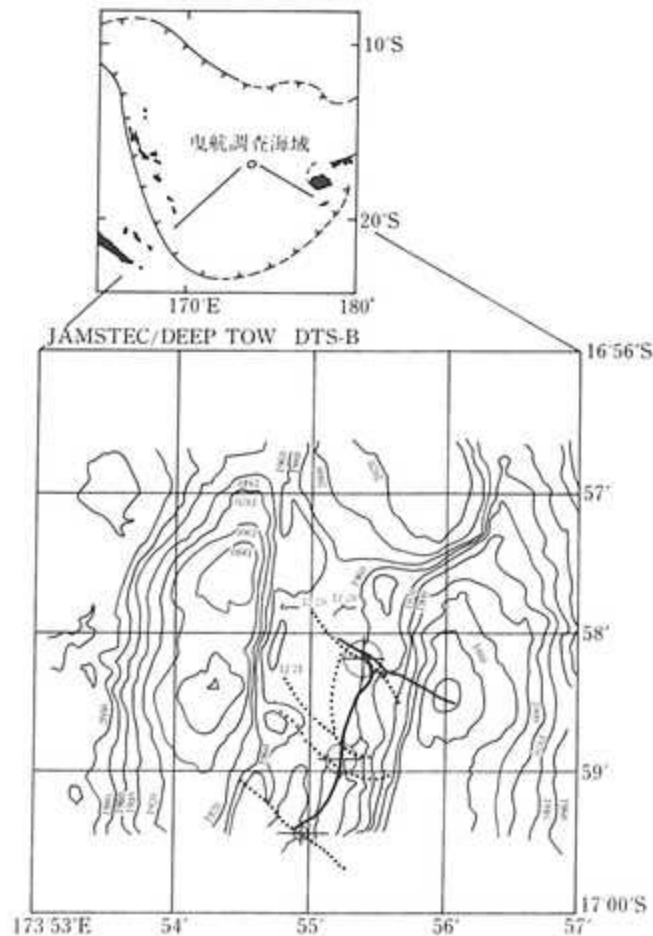


図-9 北フィジー海盆三重点付近の海底地形及び曳航調査測線



写真—3 北フィジー海盆三重点付近の地割れ

につく。大規模なものは拡大軸と同一方向を向いているが、数m～数十m程度の比較的小規模のものについては、縦横無尽にいろいろな方向を向いている（写真—3）。またグラーベンの底に至る所に赤褐色や黄色の沈澱物があつたが、これは明らかに熱水性の沈澱物が積もった跡である。

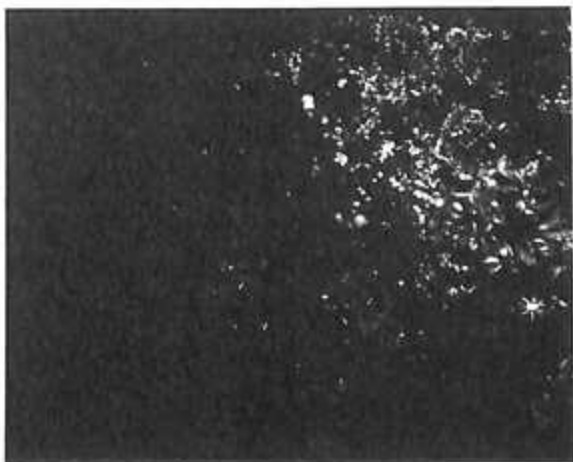
曳航式カメラから送られてくる画像は、船内各所に置かれたモニターテレビに写っている。この装置は、耐圧容器に格納されたカラービデオカメラとスティルカメラの双方を装備しており、画像を見ながら船上でシャッターを押すことによって、深海底の撮影を行うものであるが、この時は海中でシャッター信号の伝送がうまく行かず、たまにストロボの発光が確認できる程度であった。17時30分（船内時刻）頃から少しずつ白い斑点が目立つようになってきた。そして、18時13分、白い生物群集をついに見つけた。さらに走ると生物数は次第に多くなり、18時18分にはヒバリガイ類、巻貝類、フジツボ類が大量に溜っている箇所に到達した。多くは死貝であるように見受けられた。生きた白いカニも見られた。しかし、さらに走って18時20分を過ぎると、途端に生物数は減った。したがって、生物群集の分布範囲は、直径約100m程度であると見ることが出来る。

東京大学海洋研究所の太田 秀氏が持参した自記式精密温度計がこの時曳航体に取り付けてあったが、その記録をあとで再生すると、周囲に比べて0.05～0.2°Cの温度異常が検出された。

さあ、こうなると、シャッターがうまく切れないなどといっている場合ではない。いくらビデオ記録が取れているといっても、スティル写真の分解能とは比べものにならない。なんとかこの熱水海域で写真を撮って持ち帰ろうということになり、その晩はJAMSTEC精鋭隊が深夜までカメラの修理に取りかかった。しかし、八方手を尽くしても故障の原因が分からず、その晩は水中コネクタの交換等可能な範囲のみの整備を行い、翌日は別の海域でのカメラ曳航を行った。

ところで、スティルカメラにはタイマーのコントロールによって一定時間間隔ごとにシャッターを切る機能もある。ここまで来た以上は、船上からのシャッターのコントロールがきかなければ、この手を利用しようということで、カメラ内部の結線をつなぎ変える作業を行った。翌々日の12月28日に同じ海域で曳航し、見事に熱水生態系を写真に撮ることが出来た（写真—4）。

KAIYO 88航海においては、1988年11月18日より、曳航調査を開始した。今回新たに製作した熱水生態系観察装置を設置するために適当な場



写真—4 北フィジー海盆三重点付近の熱水生態系

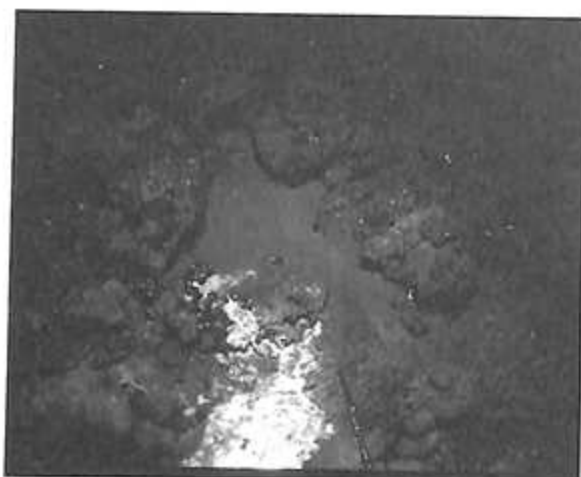


写真-5 北フィジー海盆三重点付近の活動中のチムニー

所を捜すべく、曳航カメラを曳こうとしていた。曳航体が着底し、いよいよ走り始めようとした時、突然煙を噴き上げているチムニーが視野に入った(写真-5)。

この海域で海底拡大に伴う熱水活動が起こっていることは確実となった。

## 7. おわりに

このような大規模な海洋調査は、もとより一研究機関のみで行い得るものではない。兩年の調査航海を通じ、国内からは、当センターの他、通商産業省工業技術院地質調査所、環境庁国立公害研究所、海上保安庁水路部、東京大学海洋研究所、筑波大学生物科学系が調査に参加し、データの取りまとめについては、財団法人未来工学研究所がこれに当たった。仏国からは、IFREMER、ORSTOMの他、大学関係が参加し、また米国からはハワイ大学、南太平洋諸国からは、CCOP/SOPAC事務局、フィジー国鉱物資源省研究所、

バヌアツ政府地質鉱物省が参加して行われた。共同主席研究員としては、日本側は地質調査所の本座栄一氏、仏国側はIFREMERのJean-Marie Auzende氏がその任に当たられた。

さらに、KAIYO 87には朝日放送の記者が、またKAIYO 88には朝日新聞の記者がそれぞれ乗船し、我々の調査を克明に取材して、マスメディアを通じて成果の普及に努められた。

日本側の財政的な援助はほぼ全面的に科学技術庁によるものであり、同庁の昭和62~63年度の科学技術振興調整費による研究課題「南太平洋の海洋プレート形成域(リフト系)の解明に関する研究」として実施された。これら関係各方面に謝意を表する次第である。

本調査における当センターの任務は、シービームによる海底地形調査(海上保安庁水路部と共同)と船上データ処理、及び深海曳航体による精密地形調査とこれに関連する海底目視調査であったが、結果的に一連の調査の最初の段階に当たる概査と最後の詰めを担当したことになる。その意味で、当センターの本調査への貢献は極めて大きかったと自負している。

この2年間の当センターからの参加者は、総括責任者として調査研究計画の策定と対外的な折衝に尽くした堀田部長、乗船研究者として、門馬主幹、大塚副主幹、橋本副主幹、田中研究員、松本研究員、仲研究員、及び満澤研究員である。さらに、調査に際して、「かいよう」船体特性計測要員として乗船していた運航部の藺田課長代理、宮鍋係長、また日本海洋事業の川名生修、高尾宏一両氏にも手伝いをお願いした。しかし、常に労を惜しまず我々の要求を聞き入れ、調査を成功に導いた、浜本船長を始めとする「かいよう」乗組員に、誰よりもまず感謝をしなければならない。

# 世界の海洋底

海底がマントル深く沈み込む所、その正門が海溝である。入口の地形はバルバドスのように厚い泥に覆われてほとんど窪みが見られないものや、1万メートルを超える深部を持つ急斜面から成るマリアナ海溝まで、種々様々であるが、いずれも地球表面を造るプレートダイナミックな活動のあらわれである。今回は太平洋の周囲に並ぶ海溝の幾つかを訪れて、その由緒をただすことにしよう。



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 小林 和男  
Kazuo Kobayashi

## 1. 沈み込みの入口—日本海溝

海底が生まれ出る所をひと周りした後にはぜひ訪れたいのは海底がマントル深く沈み込む地域であろう。そうと決まれば、今回の旅の始まりは日本海溝にしよう。東北日本の三陸・常磐沖東方約200 kmの海底に水深7000 mを超える深い溝が延々とほぼ南北に連なっている。ここに今世界中の地球科学者の目が注がれているといっても言い過ぎではなからう。

日本海溝は水路部の定義では、北は襟裳海山の西麓から南は第一鹿島海山までとなっていて、全長約800 km、最深部は南端近くにあつて、KAIKO計画Ⅰ(1984)における私達の測定によると音速補正をしてようやく8000 mをわずかに超える深さであった。水深だけの比較では世界のベストテンにも入らず、ようやく14位あたりに顔を出す。山高きが故に貴からず。海溝も深いだけが能ではない。

プレート・テクトニクスの考えから見ると、日本海溝をもう少し南へ、あと150 kmほど延長して相模トラフとの三重点までとして、太平洋プレートが東北日本の下へ沈み込む所をすべて含むことにした方がすっきりする。伊豆・小笠原海溝は太平洋プレートがフィリピン海プレートの下へ沈み込む入口として日本海溝と対比できるからである。三重点付近には水深9000 mを超える深部があるので、日本海溝も一躍ベストテン8位へ踊り出ることになる。しかし、海溝の名前など鉄道の常磐線の両端がどこかを議論するようなもので、いったん決めたら変えない方がよいのかもしれない。

日本海溝の存在はかなり古くから知られていた。今、私の手元に昭和3年(1928)アルス社発行の日本児童文庫46巻「海の科学」(野満隆治・他著)という小学生向けの238ページの本があるが、日本海溝と琉球海溝がはっきり入った日本近海水深図が入っていて、「不思議なことに、海洋中のずばめけて深いところは皆この海溝の形に

なっており、しかもそのことごとくが大洋の真ん中にはなくて、大陸か島か、とにかく陸の近くに寄り沿っているのです」と説明されている。海溝の配置について要点をすべていい尽くした文章である。

日本海溝の研究史上忘れられない仕事は昭和9年(1934)10月に、松山基範、熊谷直一両氏による呂号第57潜水艦を用いた海上重力測定であろう。測定に用いたのはオランダから買った重力振子で、房総沖から釧路までの25点で重力異常の値が得られた。フリーエア異常は海溝で負、陸棚上で正で、負の谷は海溝軸より陸側にずれていることが分かった。1960年代に入って船上重力計が開発され、詳しい重力異常図が出版されたが、海溝における重力分布の基本的特性は昭和9年(1934)に既に分かってしまった。この時の詳細は「地球観測百年」(永田 武、福島 直編、東京大学出版会、1983)の第I部10「海洋重力観測のはじまり」(友田好文)に生き生きと描写されている。

同じ頃に発表された重要な研究に、和達清夫による東北日本下の深発地震帯の発見(1928)がある。現代のプレート・テクトニクスでは海底地形、重力、地震活動等すべての観測結果を組み合わせ、プレートの沈み込みという一つの明瞭な映像を作り上げているのだが、その基礎はほとんどすべて昭和1桁代に日本海溝について知られていたといえる。理論的にプレートの動きを探る重要な手掛かりである発震機構については、本多弘吉による先駆的な業績が昭和6年(1931)から10年(1935)にかけて出版されている。日本の学界に不足していたのは多分野の成果をまとめて、グローバルな視野から問題の本質を考える姿勢だけであった。

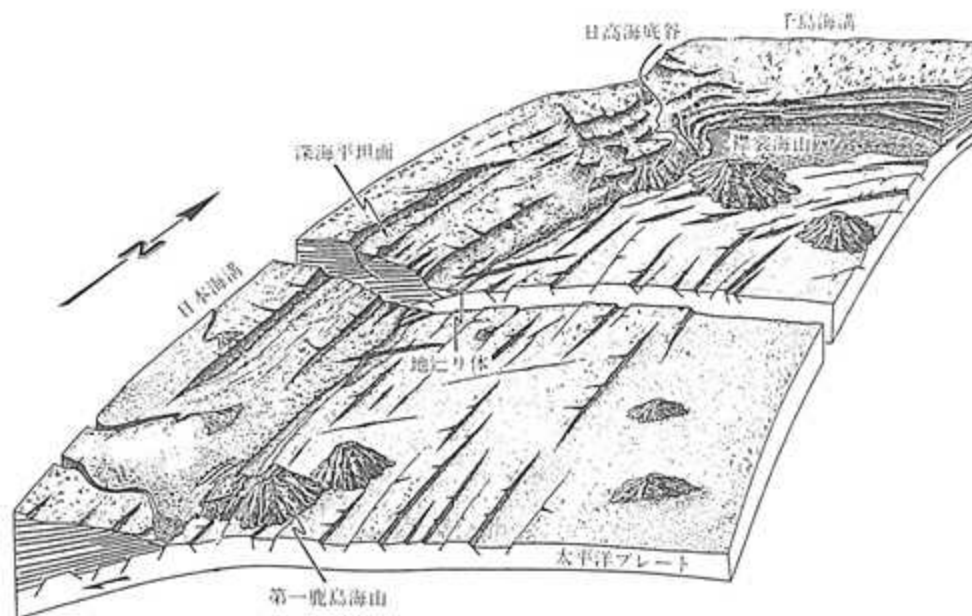
大戦の戦禍は日本海溝の研究に対しては特に大きな痛手を与えた。海上気象や海流の研究は戦後いち早く、生き残りの観測船を使って開始された

のに対し、海溝の探査は満足な音響測深機がなく、長いワイヤーを備えたウインチが全く手に入らない暗黒時代がおよそ10年も続いた。

日本の手で海溝調査ができるようになったのはロックフェラー財団の資金でしつらえた深海ウインチを搭載した気象庁凌風丸を中心とする日本深海研究航海(JEDS)(1959-1964に10航海)からであろうか。それに続いて1964年7月に日米科学協力事業の一環としてコロンビア大学ラモント研究所のピーマと共同で実施された2船法による屈折法地震探査による日本海溝地下構造断面は、今もってこの分野の標準データとして広く引用されている。

日本海溝全体にわたる地形と地質構造分布は、水路部や、地質調査所の白嶺丸及び東大海洋研の白鳳丸等により探査が進んだ。石油資源開発(株)の開洋丸が測ったマルチチャンネル連続音波探査断面は堆積層内の構造を詳細に至るまで明らかにし、海側斜面における正断層群の存在と、八戸沖陸側斜面下の不整合層の位置を明瞭に示した。後者は1977年の深海掘削第57次航海で白亜紀の親潮古陸を掘削によって確認する糸口となった。海溝南端の第一鹿島海山については、茂木昭夫・他(1980)が水路部の地形測量資料に基づいて山体が正断層によってほぼ真二つに切られ、西半方が約1500m下へ落ちていることを示した。

このような海溝海側斜面を切る正断層は1933年3月に三陸津波を起こした地震と同じ成因と考えられている。しかし、旧型の音響測深機では断層地形の走向を確定するのは困難であった。図1に見られるスケッチが自信をもって描けるようになったのは1984年夏にKAIKO計画の下にフランスのジャン・シャルコーのシービームを使って精密地形図を作ったお蔭であった。この結果、多くの正断層の大部分は海溝軸に平行で、太平洋底が沈み込みの入口で下向きに折れ曲がる所でできたことが証明された。何本かの正断層は海溝軸と



図一1 日本海溝立体模式図 (Jolivet による)

55°も斜交し、この付近の磁気縞模様と平行なので、おそらく太平洋底ができた時の海嶺の方向だろうと考えられる。断層崖の比高は多くは300m、長さは50kmほどである。

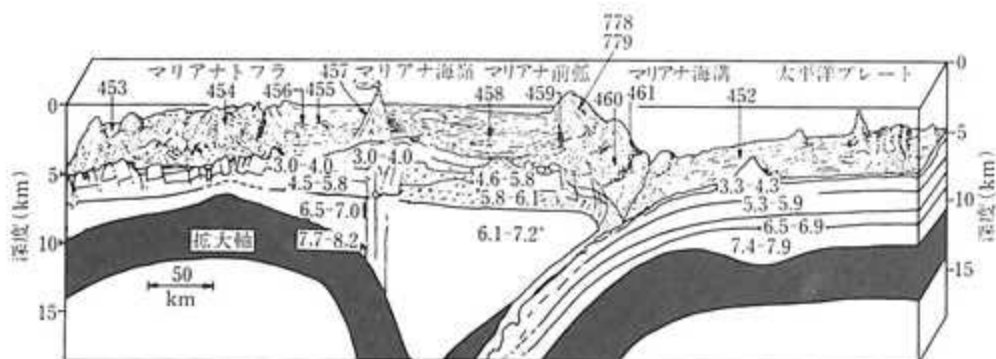
1985年夏には潜水調査船ノチールによって日本海溝の陸側斜面下部(八戸沖と鹿島沖)を直接観察し、水深5600~5900m付近にしろり貝の群落を発見した。陸側斜面の大部分では崩落と地じりの跡が見られ、太平洋底の沈み込みによって陸側地殻が下から削り取られ、下へ引きずり込まれていることを実証した。海側斜面の正断層崖は海山を切る断層の水深が6000mより深いので観察できなかったが、「しんかい6500」を用いれば三陸津波を起こした傷跡をこの目で確かめることもできるにちがいない。

## 2. 裸の沈み込み帯—マリアナ海溝

日本海溝の陸側地殻が太平洋底の沈み込みによって削られる(テクトニック侵食 Tectonic Erosion という)ことは既に1971年に村内(「島

弧の更新と marginal sea の造構造運動」『島弧と縁海』(東海大学出版会) pp. 39-56) によって指摘されていたが、海溝とは押し合いの場だと信じていた人々を納得させるにはシービームや潜水観察の証拠が必要であった。

これに対し、陸側斜面が削られ、皮をむかれて赤裸になっている有様が誰の目にも明らかなのがマリアナ海溝である。特に北緯18度線上は重点海域として選ばれて背後のマリアナトラフとともに詳しく調査されたうえ、1978年初夏には海溝斜面3地点に7本の掘削が行われた。斜面下部水深6452mの地点460では約75mの堆積物(下層は石灰質で4000mより浅い海底で積もったことを示す)の下に約4千万年前のマグネシウムに富む安山岩が採取された。この岩石は小笠原の父島に産するボニナイトと類似の化学成分と年齢をもち、沈み込み開始直後に島弧前弧部に発生するとされている。それにしても以前はもっと海溝軸から離れた4000m以浅にあったのが、その東側の下部が次第に削り取られたために現在ではこのように軸近くの深部に位置することになったと考



図一2 マリアナ海溝北緯18度断面模式図 (Hussong et al., 1981) 縦横比は1:10.8, 3桁の数字は掘削(第60次航海)地点番号。3.0~8.2等の数字は各層のP波速度(km/s)を示す。

えられる。

マリアナ海溝の陸側斜面には海溝軸に直交する張力が働いているらしく、地殻深部に達する割れ目ができて、マントル物質が冷たい固体のまま海底近くまで上昇してきている。陸側斜面下部にはそこかしこに円錐状の高まりがあって、蛇紋岩がドレッジで採られたことがあったが、1989年春のODP第125次航海でマリアナ海溝軸から西へ100 km 隔たる地点に存在する高さ1500 mの円錐形海山(その名もコンカル海山)の麓(水深3914 m)からはげしい変形を受けたカンラン岩(島弧のマントルを構成するとされているハルツバージャイト)が掘削された。これまで海底からドレッジされたカンラン岩は多くの場合加水作用をうけて緑色の蛇紋岩になってしまっていたが、この航海で回収された試料は極めて新鮮で、マントル物質の研究に大いに役立つと思われる。

この航海に乗船していた神戸大の前川は同じ海山の掘削試料中から低温高压型変成鉱物である青紫色の藍閃石(グロコフェン)を発見した。この鉱物を造る温度・圧力条件は通常の大洋底では考えられないので、沈み込み帯特産である。おそらく海底玄武岩(冷たいプレートの上)が沈み込んで10~15 kmの深さに達し、まだ冷たいうちにかなりの圧力をうけて変成し、島弧側のマント

ルカンラン岩に取り込まれて陸側斜面下部の海底近くまで上昇してきたものであろう。

海底地殻中の堆積物や表層岩石には間隙水や結晶水の形で多量の水が含まれているので、その沈み込みは水を深部に注入するポンプの役目を果たす。沈み込みスラブの上に乗る島弧のマントルは下から水を補給されて冷えると同時に、カンラン岩の一部は蛇紋岩になる。蛇紋岩は元のカンラン岩よりもずっと軽い(比重はそれぞれ2.5~2.6と3.2~4.0)ので、自らの浮力で地殻の割れ目を海底近くまで上昇して円錐形の山を造る。

マリアナ海溝に堆積物が少ないもう一つの要因はその補給源となる大きな陸が近くに全くないことである。卓越風も東風で、グアム島などの火山列島が噴火して多量の火山灰を噴き上げて海溝と反対向きに吹き払われてしまう。

三宅島や八丈島、鳥島から西ノ島、硫黄島に至る活火山列を西側に控える伊豆・小笠原海溝もマリアナ海溝と同種の削落型海溝である。小笠原から鳥島にかけて陸側斜面前縁部には多数の円錐形海山があって蛇紋岩やギャプロ(玄武岩質深成岩)が白鳳丸によってドレッジされていた。前記の掘削航海でもマリアナと同様のカンラン岩やギャプロが採取されている。この緯度(北緯25°以北)では卓越風は本州と同じ北西風なので、海溝斜面

には多量の火山灰が積もっている。北端部には相模トラフ・房総海底谷を通して陸源の土砂も運び込まれている。伊豆小笠原海溝とトラフが会合する海溝三重点付近の海溝底には2000 mを超えると思われる厚い堆積物が積もっている。それにもかかわらず三重点付近は9000 mを超える水深を有し、堆積物が蟻地獄のように下方へ呑み込まれつつあることを示す構造も見つかっている。この場所では沈み込みプレートの上に乗るフィリピン海プレートも太平洋プレートとほぼ同じ方向に運動を続けていることが知られているので、土砂は二つのプレートの隙間に次々と吸い込まれて海溝底は常に深く保たれているのであろう。三重点の堆積物をはぐことができたと思えば、多分11000 m以上の世界最深部が出現すると思われる。

現実の世界最深部はやはり裸のマリアナ海溝にある。それも弓の弦のようなマリアナ弧の南西端、グアム島からさらに約100 kmも南西にある。この海域は昔から世界最深部競争が繰り広げられた所で、1960年にはジャック・ピカールの乗ったトリエステが10916 mの海溝底に潜航した。競争に結着をつけたのは日本で、1984年に水路部の拓洋がシービームによって精密測量を完了し、北緯11°22′、東経142°36′にある水深10924 mが最も深いことを確認した。この西方に10800 mより深い窪地がさらに2カ所あるが11000 mに達するものはないことが分かった。

この世界最深部が存在する海域は、沈み込みの方向が海溝軸と大きく斜交し、深発地震面もほとんど見られないので、沈み込み帯というよりもトランスフォーム断層に近い。同様の例はマリアナからはるか離れた中西部大西洋とカリブ海を境するプエルトリコ海溝にも見られる。この海溝には最深部8385 mをはじめ水深7000 mを超える窪地がプエルトリコ島に沿って並んでいる。ノチールが完成したばかりのテスト潜航にもこの海溝が利用され、1985年4月に私自身5800 mの海底

を見てきた所である。ここも沈み込みというよりも、大西洋プレートとカリブプレートとのトランスフォーム境界といえる所である。トランスフォーム成分が大きいほど陸側を削り取る働きが強まり、横圧力や後に述べる付加力は弱まるので海溝は深くなるのであろう。

### 3. 盛り上がった沈み込み帯—バルバドス

マリアナ海溝と全く正反対な海域は、地球の裏側に近いカリブ海の東縁にある。南米ベネズエラの北岸からプエルトリコ島東方のバージン諸島へと南北に連なる小アンチル諸島には1902年5月8日に大噴火して熱雲を生じ、サンビエール港の住民2万8千人を壊滅させたペレー火山など八つの活火山と深発地震面が存在するから、その大西洋側には立派な海溝が見られそうなのに、逆に海底には海嶺状の高まりがある。特に、バルバドス島は面積431 km<sup>2</sup> (淡路島の3/4)、最大標高336 mの珊瑚礁の島で、一部に白亜紀の大西洋底とそこに積もったタービダイトの破片が褶曲隆起した地層が露出している。この海域には年当たり2~4 cmの沈み込みが進行しているのに、南米から北へ流れ出る大河から運び出される陸源堆積物によって埋め尽くされて海溝地形は全く見えない。それどころか海溝底堆積物は陸側に押しつけられ、圧密された上でプリズム状に下から陸側へ付加され高まりを造っている。しかし、重力フリーエア異常はバルバドス島上に負の谷があり、海溝の特徴を示している。

堆積物からしぼり出された水は沈み込み帯上面に沿って溜まり、プレートを滑りやすくする役を果たす。沈み込み帯深部は次第に温度が高くなるので、泥の中の有機物は分解されてメタンに変わる。その水は沈み込み面に沿って少しずつ上昇しながら海側へ移動する。上層堆積物中の高角断層が沈み込み面まで達している所では断層を通して

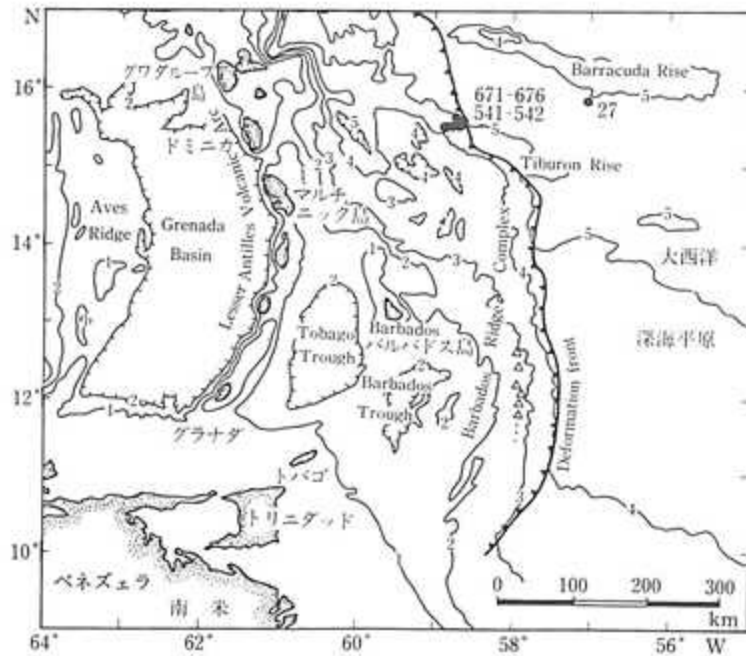


図-3 バルバドス海域の海底地形図。等深線の数字は km。黒丸は掘削地点、三角は泥の突起 (mud lump) を示す。

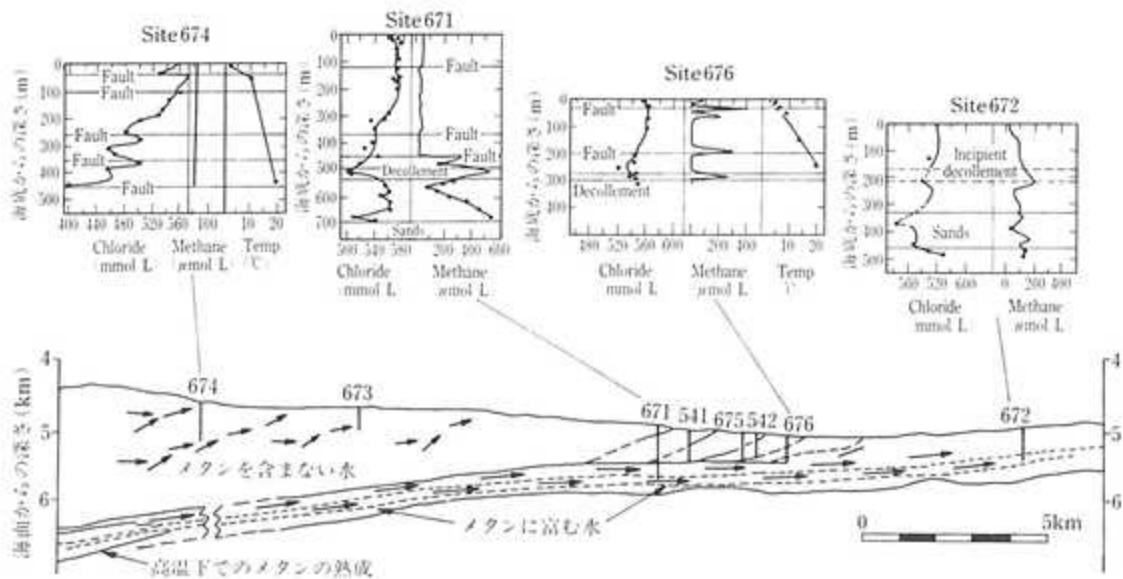


図-4 バルバドス掘削点付近の構造断面と各掘削堆積物間隙水中の塩素イオン、メタン濃度及び孔内温度。

海底に湧出する (図-4 下)。

ODP 第 110 次航海 (1986 年 6~8 月) の掘削 (地点 671~676) は IPOD 時代の第 78 A 次航海 (1981 年 2~3 月, 掘削 571~573 地点) から一

歩を進めてこの沈み込み帯上面を貫通し、試料採取に成功した。この層から回収された堆積物は多量の水を含んでいるため密度が小さく変形しやすい上に、ほぼ沈み込み面に平行なうろこ状劈開が

見られその方面に擦られていることを示す。また、間隙水中のメタン濃度が異常に高い(図-4上)。この層の特徴は、陸上に露出する古い地層の中でデコルマ(decollement)帯と呼ばれる下層と独立に上部の堆積層がずれたり変形したりできる境界層とよく一致するので、デコルマ帯がまさに造られつつある現場であると考えられる。深海の掘削は地質学では遠い過去の出来事とされる現象を、タイムトンネルを通して目のあたりに見せてくれるのである。

バルパドスの付加帯前縁部には多数の小さい(幅2 km, 高さ200 m)の円錐形の泥の突起(mud lump)が見ついている。1980年3~4月に英国IOSの研究船ディスカバリーがサイドスキャンソナー Gloria を曳航して精密調査を行った結果発見されたもので、高圧間隙水が堆積物を押し

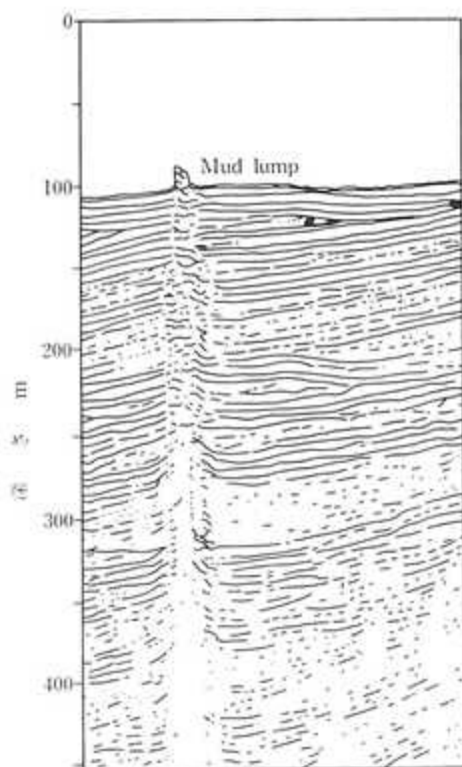


図-5 ルイジアナ州沖のメキシコ湾に見られる泥の突起。300 m 以上下から堆積層を突き上げて天然ガスやメタンを含んだ水とともに上昇する。

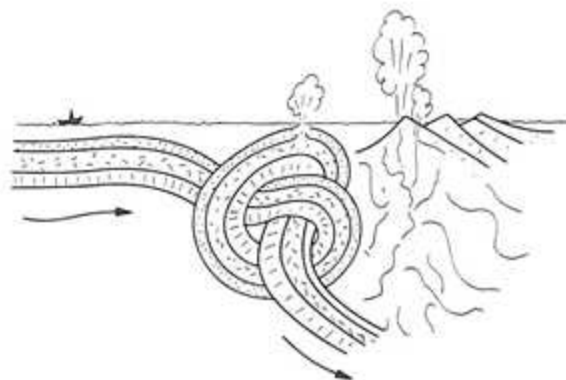


図-6 海溝陸側斜面の複雑さを風刺した国際深海掘削グループの漫画。海溝前縁部(伊豆小笠原・マリアナなど)に蛇紋岩を産することも併せて示す。

上げて海底に噴出したものと考えられるので泥火山(mud volcanoあるいはmud diapirとも呼ばれるが、マグマ活動とは関係ない。この海域は1987年にもフランスのSAR(深海曳航型ソナー)によってさらに詳しく調査されている。同様な泥の突起はメキシコ湾やオレゴン沖など堆積物の横圧縮が進んでいる所に見いだされている(図-5), (図-6)。

#### 4. 付加型沈み込み帯—南海トラフ

バルパドスとかなり近い関係にあるのが東海沖から紀伊半島・四国の南方にはほぼ東西に走る南海トラフである。四国海盆の海底は年3~5 cmの速さで沈み込みを続け、1944年の東南海地震、1946年の南海道地震を引き続いて起こした。この海域には富士川や大井川、天竜川など主として東側の河川から大量のタービダイトが供給されて海溝となるべき溝を埋めている。

四国海盆は年齢15~30 Maで、太平洋底よりおよそ1桁若く、西フィリピン海の年齢の半分なので、水深も浅く掘削によって確認された玄武岩の深さが5000 m弱である。プレートはまだ冷え

切らず、厚さも薄いので、南海トラフの基盤は6000 mほどの深さしかない。重力異常の負も-80 mgalにすぎない。その上を厚さ1000 mを超すタービダイトが覆っているので、最深部は4300~4800 mしかない。この点は年齢1億4千万年（ジュラ紀末）の古い大西洋底が沈み込んでいるバルバドスとは正反対である。

南海トラフでの付加作用はバルバドス同様、あるいはそれ異常に激しい。陸側斜面には比高100~700 m、波長2~5 km、長さ2~25 kmのトラフ軸にほぼ平行する起伏がトラフ軸から陸側へ数百 kmに渡って見られる。古海嶺が沈み込むのは室戸岬付近であり、西へ行くほど沈み込む速さは増し、逆にタービダイトの被覆は薄くなるので、付加帯の形態も少しずつ異なる。

KAIKO計画によって1985年6月に天竜海海底谷先端部に潜航したノチールは付加プリズム上の断層に沿ってしろり貝の群落を発見した。群落上の堆積物の温度も周囲より0.4°Cほど高く、間隙水中にはかなり深部の地温の高い所で造られたメタンを含んでいた。この湧水は付加堆積物から絞り出されて沈み込み帯上面のデコルマ層に溜まり、高角断層を通過して海底に達したものと思われる。

## 5. 付加型と削落型の見本市—中米海溝

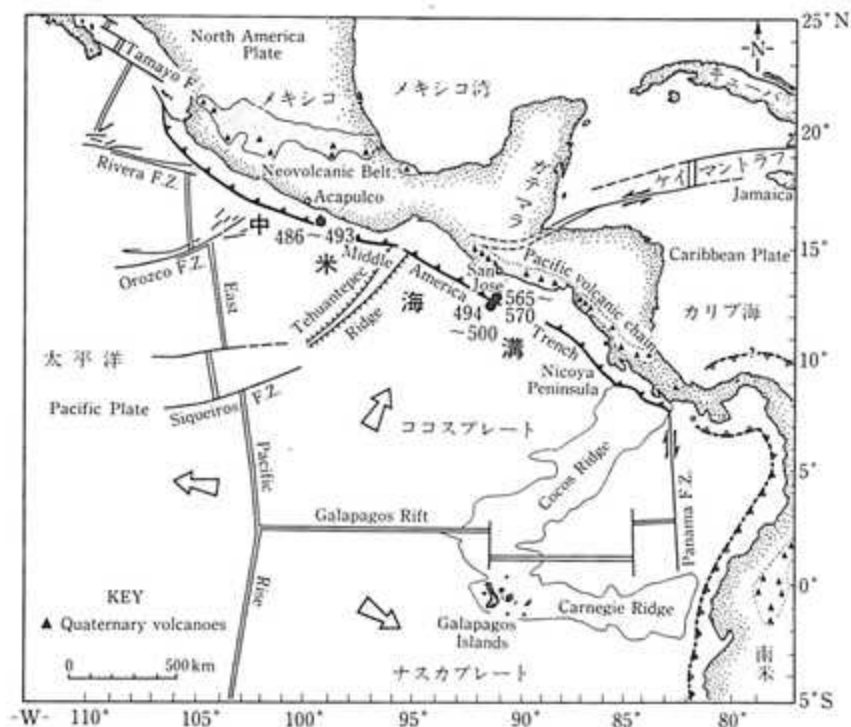
日本周辺では日本海溝と南海トラフのコントラストは著しい。日本海溝は海溝壁で見ると削落型であるが、沈み込みが20 km以深に達した所では両プレートの相互作用は激しく、多数の地震が起こっている。そのような深部にもテクトニック侵食があるとすればかなで上盤を削るような作用であろう。これに対し、マリアナ海溝には巨大地震はなく、両プレートの相互作用は小さいと思われるので、テクトニック侵食は崩落型である。このように見ると現在の日本海溝は完全な

マリアナ型ではなく、やや付加型（これをチリ型と呼ぶ人もいるがチリ海溝の調査はタイプロカリティにするほど行き届いてはいない）に近寄っているといえる。

典型的な付加型と崩落型が隣り合っているのは中米海溝である。この海溝は東太平洋海隆の東側の海底、ココスプレートが中米の下に沈み込む所にあり、最深部は6000 mをやや超える程度である。この北西部のメキシコアカプルコ、オアハカ沖には1979年3~5月第66次航海、南東側のガテマラ沖には同年5~6月の第67次と1982年1~2月の第84次航海の2回にわたって掘削が行われ、前者で8地点（486~493）、後者では計13地点（494~500、565~570）において試料が回収された。その結果、メキシコ沖では海溝底堆積物が沈み込みにつれてはぎとられ、下から陸側斜面に付加されている証拠が得られた。

ガテマラ沖では陸側斜面に付加体は全く見つからず、張力によってできたと思われる正断層に伴う崩落型の崖（高さ10~20 m）が観察された。斜面堆積物の下からはガテマラやコスタリカの陸上にもみられる白亜紀のオフィオライト（ニコヤ複合岩体に相当する）が掘削された。

実は、大変不思議なことに1979年の二つの掘削航海を当時のIPOD活動縁辺域検討部会が提案した時は、メキシコ側にテクトニック侵食が卓越し、ガテマラ側に付加現象が見られると予想し、その対比を検証することを意図したのであった。当時手に入った石油会社のデータやテキサス大学のマルチチャネル連続音波探査記録を見る限り、付加現象を示すと思われる陸側へ傾いた反射面がガテマラの断面に幾つも見られるので、付加型の代表と考えられたのも当然だったかもしれない。掘削の結果はこの予想を見事に180度ひっくり返してこの海溝を削落型の典型にしてしまった。付加体かと思われた地層はもっと古い時代（2千万年より前）に付加されたものもあるかもしれない



図一七 中米海溝付近の海底地形区分。海溝陸側斜面の構造はテファンベ海嶺を境に北西のメキシコ沖と南東のガテマラ沖に2分される。三角は活火山を示す。

が、少なくとも中新世以来は付加は起こっていないことが実証された。

プレート・テクトニクスから見れば掘削の結果は現在のプレート配置とよく合うことが分かる。メキシコ側の陸は北米プレートの一部として太平洋へ向かって前進する傾向があるのに対し、ガテ

マラ側はカリブ海プレートと接している。カリブ海プレートはケイマントラフを境に北米プレートに対してわずかながら東進しているので、この海溝はフィリピン海プレートに太平洋が接する伊豆小笠原・マリアナ海溝と同様な削落型となったのであろう。



# 海に魅せられて 半世紀(Ⅲ)



## 略歴

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 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

## 5. 東京大学理学部地質学科時代

子供のときから憧れた地質学をいよいよ勉強できるということで、私は大層満足であった。

でも、憧れと現実の間には常にギャップを伴う。始まった講義が、すべて面白くてたまらないという訳にはいかない。今でいうところの5月病の軽症にかかった。

しかし、巡検などで野外にでる機会が増えるにつれ、緑に溢れる自然の中で、段々と気持ちが落ちついていった。

地質学科に入ってまず驚いたのは、工学部に比べて講義の駒数の少ないことであった。それと、学生の数と、教授・助教授・助手といった教官の先生方の数の比が、工学部のそれに対して、圧倒的に多いことであった。

前者は、自主的に学ぶことの重要性の表れと受け止められた。後者は、手作りの教育を目指した伝統の表れと感ぜられた。

地質学科は5講座よりなる。岩石学、古生物学、鉱床学、層位学（構造地質学を含む）、石油地質

学をそれぞれ主たる研究の対象とする第一から第五講座までである。順に、第一講座には坪井誠太郎教授・久野久助教授、第二は小林貞一教授・高井冬二助教授、第三は渡辺武男教授・須藤俊男助教授、第四は大塚彌之助（やのすけ）教授がおられた。第五講座は空席であり、工学部の上床教授が非常勤で埋めておられた。

新入生歓迎の談話会の席上、私は、“理学部には地質学と地球物理学の教室がありますが、教えておられる内容を始めとして、どういう別があるのでしょうか”とお尋ねした。長老でいらっしゃった坪井先生は、私の質問の真意をすぐ読み取られて立ち上がり即答された。“現在、確かに少々の別はあります。ですが、いずれの教室も地球を対象とする研究を行っております。もし、両教室の間に垣根を設ける理由がなくなるような日がくれば、私共は、両教室を解体して新しい教室を造ることに何らのためらいもありません。皆さんは、教室の枠といったものにとらわれず、本当に自分が好きだと思ふ研究をこれから進めて下さい。それが理学部本来の在り方です。”ほぼ以上のような趣旨のお答えであった。

私は、その自由闊達なお考えに対して、深い敬意を覚えた。そう申し上げては失礼だが、もう老境に入っておられる教授が、ここまで柔軟で大胆な気持ちを持ち続けておられる事実を、その御発言の中に伺い知ることが出来た。私は、地質の教室に来てよかったと実感した。

もとより、東京大学では、今日でも地質学教室と地球物理学教室とは別々に存在し続けている。しかし、その後、新設された他大学の教室のなかには、地球科学教室という名で呼ばれるものが次第に増えた。またそのように教室名を改称したところも少なくない。

坪井先生は、そうした将来の姿を見通しておられたので即答されたのであろう。私もまた、臆気ながら、そうした将来の在り方を予見していたので、御質問を申し上げたのであった。

現在、日本で、地質学科、地球物理学科、地球科学学科、地理学科、鉱物学科などの出身者が、渾然一体となって、地球の研究に取り組んでおられる様子を拝見して私は大きな喜びを感じている。そこには、幸にして、つまらぬセクショナリズムの弊害に悩む若人の姿がないからである。

理学部に入って数カ月後、私は両親とともに、平塚から横浜に移り住んだ。本郷へ通うのが非常に楽になった。

私は、地質学科に入ってからしばらくの間は、ゆくゆく坪井先生に師事して岩石学を専攻しようと思っていた。地質学の中では最も論理的に見えたからである。その頃、母が網膜剥離を起こして、手術したにもかかわらず片目を失明した。強度の近眼である私は、常々、網膜剥離を起こすことを心配していた。岩石学は顕微鏡を常用した。それも当時は片眼用であり、目を相当に酷使した。失明してはどうしようもないので、私にとってそれが起こる可能性の強い岩石学を専攻することは、この時点で諦めた。

しかし、坪井先生には、その後も、教室のみな

らず、お宅にまでよくお邪魔して色々と有益な話しを伺ったものである。

岩石学を横に置いて見ると、私にとっては、層位学や構造地質学が面白そうに思えた。大塚彌之助先生の普通地質学の講義の中に、そうした内容の事柄が多く出てきた。無理もない。先生の御専攻はその方面で、講義の中には先生御自身の研究成果が数多く紹介されていた。

私は、層位学のような研究を専攻したいと思った。そして、大塚先生に先々までの御指導をお願いした。先生は快くお引き受け下さった。2年生になって間もなくの頃のことであった。

当時の大学は3年間で卒業であった。

東京大学の地質学科は理学部の新設に伴って設置されたもので、その発足は明治10年4月である。1877年になるから、今を去る百十年余り前のことである。その年月の中である種の伝統が築かれていったのであろう。

3年生で卒業論文を作ることはもちろん、2年生で進級論文なるものが課せられるのである。いずれも欧文で書く。卒業論文は一人で作成するが、進級論文は、与えられた地域を2-3人一組となって調査し、地質図を作り、論文にまとめる。

この、進級論文(進論)、卒業論文(卒論)を共に欧文(私どものクラスは全員英語であったが)で書くという経験は、その後、研究成果を英文でまとめる場合にどれほど役立ったか計り知れないものがある。

私ども13人のクラスは6班に分かれて愛知県の鳳来寺山地区を南端とする地域に入って進論の調査をすることとなった。指導教官は渡辺武男教授と久野久助教授であった。

私は、浅野勝三、豊吉久泰の両君とともに、南端の鳳来寺山地区に入った。

鳳来寺山は古い火山である。その裾野の周辺には設楽第三紀層が分布する。その外側には、各種の変成岩や火成岩、古い時代の堆積岩も分布して

いる。鳳来寺山の南には中央構造線が東北東から西南西にかけて横たわっている。この構造線は地質学上、西日本を外帯と内帯とに分ける重要な線であり、その北と南では地質が全く異なる。

私どもに与えられた進論のフィールドは、単調ではなく、様々なことを学ぶことができた。

昭和23年の夏、このフィールドの調査を行った。日本の食糧事情も悪い頃であったが、幸い玖老勢という所の親切な民家に宿泊させて頂けた。そこをベースとして、雨が降らない限り、毎日調査に出掛けた。そして自分なりに地質図を作っていた。

この進論に出掛ける前、大塚先生は次のようなことをいわれた。“奈須君は、進論のフィールドには行かず、どこかでヨットと採泥器を調達して東京湾の口を横断し、海底の堆積物や岩石を採集してその地質を調べると面白いと思うのだが。それを進論としたら、この方面の研究は将来きっと重要な分野になるよ”と。

しかし、この提案は進論担当の渡辺先生からのお許しがでなかった。基礎的な地質調査の経験を積んでおくことは、地質家として必須の事柄であると先生は説明された。

大塚先生は、将来、海洋地質学が地球科学の主役の一人として舞台上に登場して来ることを当時既に予見されておられたのであろう。そして、弟子の私を一刻も早く、その分野へ投入したいとお考えになったのであろう。

私は、大塚先生のおすすめを何うまで、海の底の地質とは全く考えも及ばなかった。私が、その後、永年にわたって海洋地質学の分野の研究に携わるようになったきっかけは、このとき作られたのである。

渡辺先生は、例え私がそうした新しい分野に入るにしても、地質家としての基礎訓練だけは受けて置くべきだとお考えになったのであろう。

進論のフィールドを歩いていると、この大塚先

生の言葉はいつも思考の中に入ってきた。そして、堆積岩を見るたびに、それがかつて堆積した場である海底の状況に思いを馳せるようになっていた。

そして、卒論は堆積岩が分布する地域を選んで専攻しようと考えようになっていた。

進論のフィールドの中に、設楽第三紀層が分布していることは既に述べた。この地層を構成している主体は砂泥互層である。

この砂泥互層を観察しているうちに、私は奇妙なことに気付いた。図一1に見られるように、一枚の砂の層と、その上下の泥の層との境が明瞭なのである。泥の層がゆっくりと堆積した後で、その上に砂の層が堆積する場合、その境が明瞭な一線で画されるのはよく分かる。しかし、砂の層の上に載る泥層とこの砂層との間にも相当明瞭な境界線が見られる。なぜ、堆積するものならば、砂の層から泥の層へ堆積物の粒径が漸移しないのか不思議でならなかった。

砂層とその上に載る泥層との間の粒径の突然の細粒化を示す境界線の存在の理由が気になり始めた。そして、このことは、流体力学的に解釈が可能な現象ではないかと思い始めた。

当時、私どもは、砂泥互層の成因を教室では次のように教わっていた。“堆積物を受け入れる基盤は、長年月の間にゆっくりと上下する。そのた



図一1 設楽新第三紀層の砂泥互層

め、海岸線はこの堆積の場に対して、近づいたり遠ざかったりする。近づいたときに砂層が溜り、遠ざかったとき泥層が溜るのだ”と。

進論は3人でほぼ大まかに決められた地域を調査したので、一緒に歩いたことが多かった。しかし、私はアルバイトの関係でフィールド入りが少し遅れた。それで、浅野、豊吉の両君より少し最後まで残って一人で歩いた。論文は各人がそれぞれに提出する仕来たりになっていた。

この進論のフィールド歩きで地質調査がすっかり好きになってしまった。そして、まだ未解決の問題が相当残されていることを実感した。

3年生になった。いよいよ卒論である。大塚先生は、また東京湾口の調査を卒論にしたらとおっしゃった。しかし、当時、大塚先生の助手で現在和光大学の教授をしておられる越生 忠先輩が、やはり卒論は陸上で行って、卒業してから海底の研究に入っても遅くはないのではないかとアドバイスされた。その旨、大塚先生の上承をとって、私は三浦半島北部の地質調査を卒論のテーマとした。三浦半島は数年前までは要塞地帯として地質調査などまず許可されることのない地域であった。終戦後事情が一変したのである。

私は逗子から三浦半島を東北に向かって横断し、金沢八景を経て富岡に至る間を带状に調査した。三浦層群と上総層群の走行に対してほぼ直角に調査したことになる。横浜の実家から出掛けるには近くて好都合の場所であった。

この地域はすべて堆積岩で形成されている。ここでもまた、逗子層をはじめとして多くの地層が砂泥互層であり、砂層と泥層との境が明瞭な線として表れていた。北部の中里泥層あたりになると、砂層も挟んではいるが、何となく、砂層から上位の泥層に向けて、粒径は漸移している。こうした現象にはいたく興味をそそられた。

私は多くのサンプルを採って、粒度分析を行った。この分析の詳細を伝授してくれたのが、同じ

く大塚先生の助手の村井 勇さんであった。彼は、一高では1年後輩、地質では3年先輩に当たる。村井さんは、後に地震研究所の教授となり、現在では名誉教授である。

粒度分析の結果も、顕微鏡下で見る粒径も、目視のとおり、砂層とその上の泥層との境で不連続的に変化していた。このことは、ずっと気になっていた。既に、進論の終わり頃、その理由は臆気ながら分かりかけていた。それがはっきりしたのは、卒論を必死にまとめていた冬のある晩のことであった。

航空学科の頃、学んだ流体力学の内容の幾つかが頭に浮んだ。それらを適用することによって、疑問が解決することに気付いたのである。

図-2は堆積物の沈降速度である。礫の沈降速度は極めて速い。ここでは、インパクト則に従って、粒径の変化に沈降速度は対応する。泥（シルト・粘土）の沈降速度は極めて遅い。この範囲では、ストークス則に従って、粒径の変化に沈降速度は対応する。砂の沈降速度は、インパクト則とストークス則の遷移帯に当たるカーブに従って、粒径変化に応じて沈降速度は定まる。しかし、砂

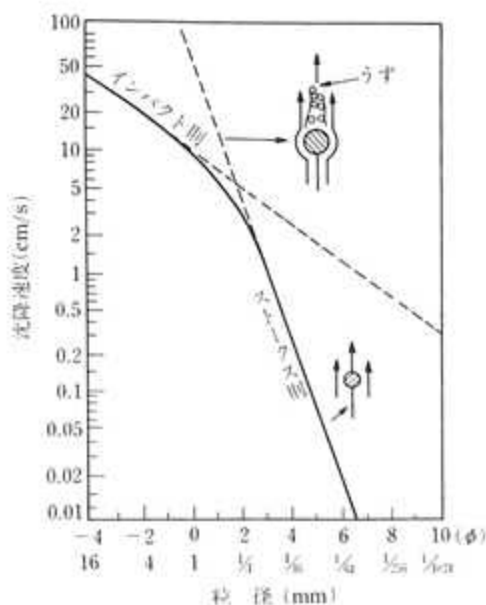


図-2 堆積物の粒径と沈降速度の関係

の沈降速度は速い。

この堆積物の沈降速度の在り方を見て、私は、海底の堆積の場で、砂は急速に沈降するが、泥は極めて緩やかにしか沈まないのであろうと推定した。礫は通常、陸地の内部の河川か、河口近く、あるいは岩石海岸の海食崖から削り出されて海岸近くの海底にとどまっているのであろうと推定した。

それで、一枚の砂層と、上に載る泥層の下半部は、例えば、一回の地震に起因する海底地滑りとか、一回の洪水で河口から海底へ吐出された堆積物が、砂と泥とに海中で分離されて堆積したものではないかと考え始めた。そう仮定すると、速く沈降する砂は一挙に海底に堆積し、泥は長く海中に懸濁してゆっくりと砂層の上に堆積する、という過程が見えてくるのである。泥層の上半部は、静かな環境でも、海岸から遠くまで運ばれて来た泥の粒子が、静かに堆積を続けた部分である可能性もあり得ると判断した。

このように解釈すると、砂層とその上の泥層との境が漸移的ではなく、明確な線ともいえるほど急激に変わることの説明がつくのである。

私は、砂泥互層の成因は、緩やかな基盤の昇降ではなく、比較的短期間の海底地滑りや洪水による砂泥混合堆積物の砂泥分離堆積によるのではないかと考えるようになった。

砂泥互層の多い厚さ数千 m の地向斜堆積物は、日本列島も含めて地球上至る所に分布する。その下部と上部に含まれる化石の年代が余り異なる事実は早くから知られていた。したがって、これらの地層は比較的短期間の間に厚く堆積したものであることも既に推定されていた。

一組の砂層と泥層の堆積が一回の基盤の昇降により形成されるとすれば、基盤の昇降は短期間の内に何万回も何十万回も繰り返されたことになる。このことは、他の色々な地質現象から考え合わせると現実には起こりそうもないことである。

このことは、長い間、地質学上の矛盾の一つであると教室で先生方から私ども学生は聞かされてきた。

私は、この矛盾を解いたと思った。

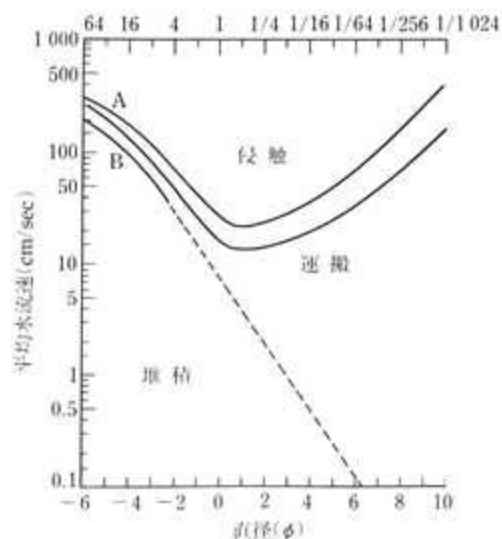
それからいま一つ、堆積物と流体との間に重要な関係が存在することに気づいた。それは、水底に堆積している堆積物が、その上の水流の速度が段々増すにつれて、動き始める関係についてである。図一3に示されるように、横軸に堆積物の粒径をとり、縦軸に底から 30 cm ほど上の水流の速度をとると、水流の速さが増すにつれ、まず砂が動き始め、次いで動く範囲が砂の両側の礫と泥の中まで広がってゆく。

ある粒径の堆積物が動き始める流速を、その堆積物の初動速度という。

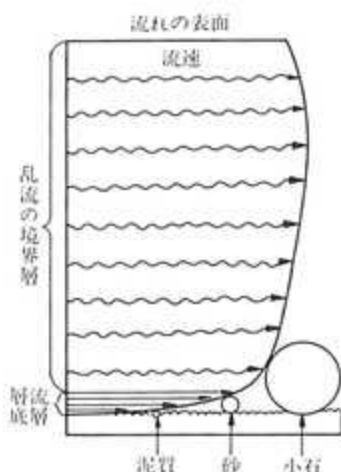
この事実は、北欧の小川における観察結果から F. ヒュールストレームによって 1935 年に発表されていた。ただ、その理由についてはすぐには分からなかった。

数年を経て、この事実は流体力学的に次のように説明された。

図一4に示されるように、自然界のなかの水流はまず乱流であるが、その底には乱れがあっても



図一3 堆積物の粒径と初動速度の関係



図—4 堆積物の粒径と層流底層の関係

水の粘性によって減衰してしまう薄い層流の膜がある。これを層流底層という。その厚さは0.1 mm 程度である。

したがって、この層から少し頭を出す1/8 mm 程度の砂が、弱い流れでも上の乱流の渦に吸い上げられて動きやすい。この層の中に頭を隠す泥は、吸い上げられにくく、水流の速度が増して、乱流の渦がしばしば層流底層の中まで侵入するようになってから始めて動き出す。一方、礫は乱流の中に始めから頭を出してはいるが、重たいので、水流の速度が増してきてからようやく、滑ったり転がったりして動き始めるのであろう、というのである。したがって、堆積物に対する流体の影響を、沈降速度と初動速度の両面から組み合わせてみると次のようになることに私は気付いた。

砂は動きやすく、沈みやすい。礫は動きにくく、沈みやすい。泥は動きにくい、いったん動くと沈みにくく、長時間水中に懸濁する。したがって、流水中では、流体の影響で堆積物は礫、砂、泥の3グループに分離される傾向がある。

一般に地質学の分野では粒径2 mm 以上を礫、2 mm から1/16 mm を砂、1/16 mm 以下を泥と定義する場合が多い。これは、上記の流体力学的見地から見た堆積物の分離の境界とよく一致す

る。

流体力学の原理を知ることなく、自然の中の礫、砂、泥の存在の在り方から、経験的にこうした境の値を定めた地質学の先達の慧眼に私は今更のように頭の下がる思いがした。

このように見てくると、例えば、中里泥層のように、砂層から上位の泥層へ粒径が漸移する堆積層の場合は、砂泥分離が十分行われるだけの流水の中を経過しない内に堆積が行われたものであろうとの推定がついた。例えば浅海のような堆積環境である。今日の東京湾などそうした環境の所が広いものと思われる。

以上が、私が卒論を進めている間に、偶然、工学部時代に習った流体力学を当てはめることによって解くことの出来た副次的な結果であった。

私は今更のように自然の持つ構成の美に酔いしれる思いがした。

卒論には、以上述べたような砂泥互層の成因を始めとして堆積物と流体との関係について私なりに解明した部分については書かず、三浦半島北部の調査した範囲の堆積物の粒度分布を主とする地質のこのことを記した。

当時、卒論の条件として、卒論に関連して色々学んだ事柄の中から1~2のテーマについてまとめる演習報告なるものも提出することが義務づけられていた。こちらは日本語で書くことになっていたので楽であった。

私は砂泥互層の成因の部分については、演習報告の中で相当部分を割いて記述した。

何とか期日までに間に合って、無事、卒論と演習報告とを提出した。

その頃、大塚先生は、胸を病んで館山のお宅で療養しておられた。それで、時々、館山まで行って卒論の進行状況などをご説明した。

卒論と演習報告を提出後、しばらくして館山に伺った時、先生は、“奈須君、君の卒論と演習報告とどちらが本当の卒論なんだね”と質問された。

私は、“もちろん、卒論の方が本当の卒論です”，とお答えしたが、先生は何となく納得されてはおられないような御様子であった。本来なら、そして、時間が許せば、この部分こそ卒論の主要部分の一つとすべきであったのであろう。でも、多くの方が、失礼ではあるが、身に覚えがおありのように、私の場合も、何とか期日に間に合わせるのが精一杯であった。

卒業前、私は厚かましくも大塚先生に、卒業後も教室に残って研究を続けたい旨申し上げた。それは、理学部に入ったとき、いや、それ以前からの当然の希望であった。戦後とはいえ、工学士の資格を持っていれば就職は容易であった。それを捨ててあえて、将来食べていかれるかどうか分からない理学部に入り直したのである。学問と研究の道を歩み続けたかったのである。

大塚先生はその場でお許し下さった。そして、すぐ大学院の特別研究生にすることをお約束下さった。なお続けて、“半年待ち給え、そうすれば、地震研究所の助手の口が空くから、そこへ入って

貰うよ”とおっしゃった。

当時、先生は地震研究所の併任教授でもあられた。村井さんはそちらの助手であった。そしてあと一つ、私のために助手の口を設けて下さる御所存であった。そのまま行っていれば、私はその後長く、地震研究所のスタッフになっていた可能性があったのである。

しかし、次回に述べるような別の展開が待ち受けていて、私はついに震研に席を置くことはなかった。ずっと後に2年間だけ併任教授に任ぜられたことはあったが。

ともあれ、昭和25年3月、私は無事、地質学科を卒業して、4月から大学院特別研究生となった。

砂泥互層の成因については、卒業後すぐに日本地質学会の年会で発表した。

(前号の29頁15行目に広田さんと記したのは私の記憶違いで、林さんであった。謹んで訂正申し上げます。)



# 深海底に地球の謎を探る———1



## 海底を見る

深海研究部長 堀田 宏  
Hiroshi Hotta



宇宙に浮かぶ地球

海——何と人々の心を和ませ、そこにロマンを感じさせる言葉であろうか。私達が住むこの地球は、その「海」と陸とから成っている。

“地球は、青かった！”地球を初めて外から見た宇宙飛行士ガガーリンの有名な言葉である。この感想が端的に表しているように、地球の表面の約7割は、海水に覆われている。「地球」という言葉からは黒々とした陸の天体というふう感じられるが、実は青々とした「水球」というべき天体なのである。

では、海とは何であろうか…、一体どれぐら

い深いのであろうか？ 今までに測られた海の深さは、平均で約3800m、最も深い所は約11000mであるといわれている。意外に海が深いことに驚く人が多いのではなかろうか？

このように地球を見てくると、地球の表面の約7割を占める海とは、単に陸がたまたま海水に覆われているものでは決してなく、本質的には深海であり、それ故に地球の正体は深海底に潜んでいると考えられることが納得されるであろう。

## 1. 深海底をテレビで見る

海は、私達の生命の誕生の場といわれ、私達のロマンをかきたてる自然であるが、いざそれを研究や開発の対象としてみると非常に厄介な相手である。

まず、厚い海水を通すと見たいものが見られないことである。コップ一杯の海水や南国のキレイな珊瑚礁の海は実に透明に見えるが、数mから数十m離れば誠に不透明であることがわかる。これは、本質的に水が光を通し難い性質を持っていることによるものである。この性質により、さしも強力な太陽光も海の中へはわずか数百mしか入り込めず、300mも越えると暗黒の世界が広がるのである。

「あっ、海底だ！」テレビカメラを吊り降ろすウィンチを操作しながら、そのモニターを凝視していた私の口を思わずついででた叫び声に観測室にいた数人も一斉に振り向き、「あっ、ホントだ！」と叫んだ。観測室の外に居た人々も一斉に観測室の窓やドアに殺到し、テレビのモニターに写し出された殺風景な深海底を見ながら口々に大声で話し合い、その辺中が興奮の渦に包まれた。この後、数時間にわたって海底から1~2mの高さをゆっくり曳航されるTVカメラが写し出した深海底



写真-1(1) 海底調査中のコンテナ式観測室内の光景



写真-1(2) カメラや音響トランスポンダを装備した初期の曳航装置を点検しているところ



写真-2 相模湾の水深1200m位の海底の様子

は、さながら月着陸船が地球に送ってきた月面の様子そのもののように見えるものであった。これが私達が深海底を直接見ながら写真を撮ることができる深海曳航式探査装置の研究開発の途中の実験で初めて相模湾の海底を見た時の様子であった。

## 2. 深海底を「音」で見る

1960年代の初めにアメリカで大きな海の事故が起こった。それは、「スレッシャー」と呼ばれるアメリカ海軍の原子力潜水艦がドックでの検査工事の後の試験潜航中に大西洋で行方不明になっ

たのである。これは、当然何らかの原因で海底に沈んだものと考えられたが、軍事的にも、社会的にも非常に大きな衝撃を全世界に与えた事件であった。

原子力潜水艦は、本当に海底に沈んだのであろうか？ もし、そうならどこに、どのような状況で沈んでいるのであろうか？ これらの疑問に答えるために、深海底の大捜索活動が開始された。しかし、捜索は当然困難を極めた。潜水艦の大きさは、長さがわずかに 85 m、幅は何と 10 m 足らずのものであった。これが 2500 m も隔てた深海底に横たわっているというのである。もし、それが壊れてバラバラになっているとしたら…!? 結果的には、当時利用できた海底調査技術、つまり測深機によって自然の海底とは違う高まりを探し、それらについて磁気を測定して鉄の固まりと思われるものを選び出し、その周辺の海底をくまなく底曳きをしてサンプルを取るとともに、広範囲にわたって数万枚の海底の写真を撮り、潜水艦の残骸の破片の存在する範囲を絞ったうえで潜水船「トリエステ」を潜航させて、海底にある原子力潜水艦の残骸の確認に成功した。これは、驚くべき努力と執念の賜物というべきであろう。

この事故は、海底調査技術に重大な欠陥があることを多くの人々に強く印象づけた。それは、海底を「見る」技術についてのものであった。測深機によって調べることのできる海底の形の大きさは、せいぜい 100 m 程度までである。それに対してカメラによって撮影される海底の広さは、たかだか数 m 四方であるので、100 m 位から数 m 位までの大きさのものは分からないのである。ところが、この潜水艦もそうであったが、海上を行き交う艦船や飛行機等の多くは、ちょうどこの範囲に入るものが多い。

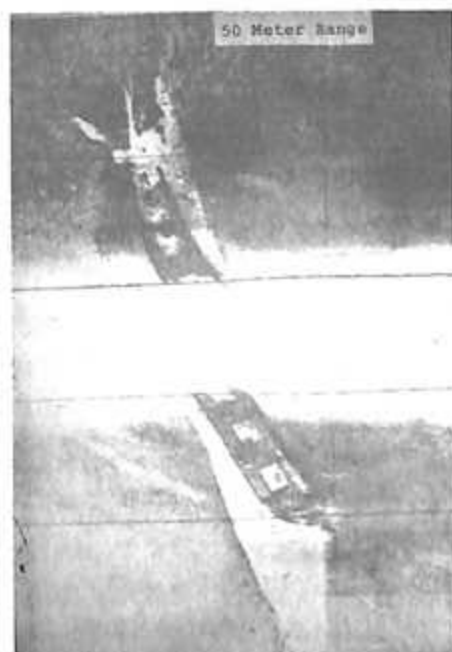
そこで、アメリカ海軍は海底にある人工物体の探索に必要な技術開発を強力に進めた。その一つが海底の広い範囲を音を使って映像化し、真上か

ら見た音響写真図（Sonograph）として表現する“サイドルッキングソナー”とか“サイドスキャンソナー”とか呼ばれる特殊なソナーである。これは、今や沈船捜しやパイプラインの敷設状況



7.11. Fragments of the submarine Thresher. A large area of the seafloor off the entrance to the Gulf of Maine is covered with debris from the Thresher, lost with all hands April 10, 1964, in 2500 meters of water.

写真—3 アメリカの原子力潜水艦スレッシュャーの残骸の海底写真



写真—4 特殊なソナーで見た海底にある沈船の音響写真図

の調査等の他、地球科学の海底調査には欠くことのできない手法となっている。

このようにして光を使って見る写真（Photograph）に対して、音を使って海底を見る技術が確立したのである。

### 3. 深海底を肉眼で見る

これで厚い不透明な海水に覆われていた暗黒の深海底の様子は、画期的に良く分かるようになってきた。深海底の様子が分かってくればるほど、深海底は、昔想像されていたようなのっぺりした平坦な砂漠のようなものではなく、そこには、アルプス、ヒマラヤを遙かに凌ぐ大山脈が延々と連なっており、その大山脈をまるで刺身のごとくに切り刻んだ大峡谷があるかと思えば、伊豆大島やハワイ島等のような火山が多数存在することが分かってきた。さらに、陸上では匹敵するものもないような10 000 mにも達するような深い谷状地形が何千 kmにもわたって太平洋の周辺にあることも明らかとなってきた。つまり、陸上で私達が目にする以上に複雑で雄大な景観が浮かび上がってきたのである。

自然科学の研究は、研究者がその自然の内に身を置いて謙虚に、あるいは偏見を持って歩き回り、観察し、サンプルを採り、計測をするという野外調査を一つの軸として進んできた。深海に関する研究においても当然研究者がその対象とする自然の内を歩き回る野外調査を必要とすることは、明らかである。それは特に生物を対象とする研究においては研究者の肉眼によって行動や生態や分布を観察し、判断し研究を進めていくうえで必然ではなからうか？

とはいっても海の内簡単に人間が入って行くわけにはいかないことも明らかであり、ここに潜水船あるいは潜水球の開発の要求が出てくる。我



図一 世界の海底地形図



写真一5 母船「なつしま」の甲板上の潜水船「しんかい2000」

が国においても潜水船の利用の歴史は長いですが、海の内野外調査の道具として計画的に使った例は決して多くはない。しかし、今後日本周辺の深海域の海洋開発を推進するためには、もはや深海底を自由に動き回って野外調査を行うべき時代となったとの認識から、最大深度2 000 mまで潜航し調査ができる潜水調査船「しんかい2000」が建造され、昭和58年から日本周辺の深海調査研究の戦列に加わったのである。

# マイクロ波 ラジオメトリーについて

海洋開発研究部

佐々木保徳 Yasunori Sasaki

まずマイクロ波ラジオメトリーとは何か、前置きが必要だろう。この研究の推進に関係する人々でさえ、研究部を除けば正確には分かっていないらしいから。

マイクロ波ラジオメトリーとは、もちろんマイクロ波を利用する観測法の一つで、昨今よく耳にするリモートセンシングの中の一方法である。マイクロ波の観測にはマイクロ波放射計と呼ばれる電波観測器が用いられるため、観測器（以下、センサーという）の呼称からセンサー自身が電波を放射するものと大抵の人々が勘違いするが、センサー自身は電波を放射しない。観測対象が自然に放射する電波を観測するものである。分かりやすくいえば、誰でも知っている赤外線写真と同じで、赤外線をマイクロ波に、カメラをマイクロ波放射計に置き換えればよい。

周知のように、すべての物質は原子、分子で構成されており、固体、液体、気体のいかに問わず、それらの中の原子、分子は振動している（ただし、絶対零度では振動しない）。したがって、荷電体である原子、分子の振動に伴って周囲には、非常に微弱な電場の揺らぎが生じる。分かりやすくいえば電波がでているのである。その電波は、低い周波数のものから無限に高い周波数のものまで混じり合ったものであるが、その中でマイクロ波と呼ばれるものだけを観測するのがマイクロ波ラジオメトリーである。今日、マイクロ波とは、センチメートル波、ミリメートル波、およびサブ

ミリメートル波の総称である。

前述のように、物質を構成する原子、分子の束縛状態は当然物質（例えば、水空気、岩石等）により異なる。また、同一の物質であってもその状態（例えば、水、氷、雪、水蒸気）により異なる。その結果、原子、分子の振動には物質ごとに差異があり、さらに状態の変化に伴って変化するため、放射されるマイクロ波の強度にも変化が生じる。この微妙な変化をとらえるのがマイクロ波ラジオメトリーである。そして、このようなマイクロ波の自然放射強度の変化が顕著に起こる周波数は物質により異なる。だから、何を観測するかによって、それに適した周波数が異なるであろうということは容易に想像がつく。事実そのとおりである。したがって、多目的観測を行うには同時に多くの観測周波数が必要となる。

地球環境を構成する海洋、大気、雪氷、各圏にある物質が放射するマイクロ波の強度は、それら物質の種類と状態により大きく異なるため、マイクロ波ラジオメトリーが海洋環境、ひいては地球環境の観測に有効であり、今日、地球科学研究に応用すべく努力が傾注されているゆえんである。

海洋環境の観測のためのマイクロ波ラジオメトリー研究では、やはりアメリカが最も古くからの歴史を有し、海水のマイクロ波自然放射特性に関する研究は既に40年以上も前から行われてきた。1960年代に入って、多数打ち上げられた人工衛星に幾つかのマイクロ波放射計が搭載され、地球

環境観測のための研究も少しずつ行われてきたが、マイクロ波ラジオメトリーの研究の歴史において最も epoch-making な出来事は、やはり1978年6月28日の Seasat-1 の打ち上げであろう。この衛星には、4種類のマイクロ波センサーが搭載されたが、このうちの一つが SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) と呼ばれるマイクロ波放射計で、他は能動方式のマイクロ波センサー(センサー自身がマイクロ波を発射する)である。このセンサーは、同年の10月に打ち上げられた衛星 Nimbus-7 にも搭載された。Nimbus-1~6 は気象衛星であるが、Nimbus-7 は環境観測のための試験衛星であり、Nimbus シリーズの最後の衛星である。当時、我が国ではこれらのセンサーはおろか、衛星さえも話題にならなかったといわれる。

特に Seasat-1 は、電源システムの故障のためわずか3カ月でその機能を停止してしまっただが、その他のセンサーとともにそれまでのリモートセンシングに対するイメージを一変させてしまった。SMMR は5つの周波数で観測を行ったが、海洋、大気、雪氷の観測にマイクロ波ラジオメトリーが非常に有効であることを証明するとともに、わずか3カ月の観測でこれを人々の脳裏に鮮烈に焼きつけてしまった。そして、これを契機に世界中でマイクロ波ラジオメトリーの研究が活発になり、我が国でも衛星用センサーや航空機用センサーの開発が進められている。

海洋開発研究部では、地球科学研究の一環として、海洋を中心とした海洋環境の大規模観測技術の研究開発を進めている。この中で、広域観測技術の研究開発として航空機搭載型多周波マイクロ波放射計の開発を進めている。その目的は、

- ① 高精度の広域観測
- ② 局地的な突発現象の迅速観測
- ③ 海洋環境の多目的同時観測法の開発
- ④ 将来の衛星マイクロ波センサーの打ち上げ

に備えたデータ解析法の研究

- ⑤ 衛星センサーとの同期観測による衛星センサーデータの高精度解析
- ⑥ 将来の総合的地球観測に備えたセンサープログラムのための研究

等である。この研究に先立って、約7年に及ぶ基礎研究が実施されている。この基礎研究は、海洋、大気、雪氷等のマイクロ波放射観測や大気等の放射シミュレーションのほか、多周波観測データの解析法等にわたっている。また、その成果は、前述の航空機搭載型マイクロ波放射計だけでなく、日米加欧の共同観測計画である POP (極軌道衛星) 計画に我が国が開発、提供を予定している AMSR (新マイクロ波放射計) に対しても応用されている。この POP 計画に続く我が国独自の POP 計画もあり、JPOP と呼ばれている。

著者はまた、航空機搭載型マイクロ波放射計の開発、データ解析法の研究、運用法等の調査のため、昭和63年8月中旬から平成元年1月初めまで米国に滞在したので、米国のマイクロ波ラジオメトリー研究の現状について紹介する。

米国においてマイクロ波ラジオメトリーに関する基礎的、あるいは応用的研究を実施している機関は、大学、政府関係機関、さらには民間機関にまで及ぶ。このうち、大学で代表的なものはミシガン大学、カンサス大学、ワシントン大学などである。ミシガン大学およびワシントン大学は主に雪氷の観測を目的とした研究を進めており、カンサス大学は海面と電磁波との相互作用のような導電性媒質波動表面と電磁波との相互作用の理論的取扱いなどを研究している。政府関係機関として代表的なものは航空宇宙局と海洋大気局である。航空宇宙局では主としてゴダード宇宙飛行センターが中心となって、海洋、大気、極氷の観測を目的とした研究を行っている。一方、海洋大気局では、気象に直接的に関係する大気現象の観測を目的として精力的に研究が進められている。この

他に、特にデータ解析を主業務とする民間機関等においてもマイクロ波ラジオメトリーの研究が行われている。このように、アメリカは研究の層の厚さ、幅の広さともに我が国を圧倒している現状にある。

著者は、まずミシガン大学、次いで航空宇宙局ゴダード宇宙飛行センターに滞在した。いずれもマイクロ波ラジオメトリーの研究においては双壁ともいえる機関であり、これら2機関の研究活動状況および将来計画を中心に紹介する。なお、著者が滞りもしくは訪問した各機関の所在地、および写真は末尾にまとめて示す。

ミシガン大学は五大湖に囲まれた地の利を生かし、雪のマイクロ波ラジオメトリー研究が活発である。特に同大学宇宙テラヘルツ工学研究センター（もはやギガヘルツではなくテラヘルツであるところに注目！）理事の Ulaby 氏（同大学放射研究所教授）を中心に、雪のマイクロ波放射特性、積雪中での伝播マイクロ波の多重散乱等に関する理論的研究が行われている。そのため、冬期になると、結氷したミシガン湖氷上の冠雪を対象とした観測が行われている。この他に、土壌、植生などに関するマイクロ波ラジオメトリー研究も行われている。

航空宇宙局ゴダード宇宙飛行センターは、本来は宇宙技術開発のための機関であるが、宇宙技術に関する研究開発だけでなく地球科学や宇宙科学に関する研究活動も幅広く行っている。地球科学の分野では、海洋、大気、極氷等すべての分野にわたり多くの研究者がいる（ここが我が国と大きく違うところで、宇宙局といえども自然科学者をたくさん抱えている）。また、諸外国から宇宙技術、観測技術の研究のためにたくさんの研究者、技術者が集まっている。マイクロ波ラジオメトリーによる海洋環境観測に限ると、海洋関係では、水温、塩分、波浪、海上風など大気関係では水蒸気、雲水、降雨、台風など、海水関係では密接度をはじ

めとする海氷状態や物性などの観測を目指して研究が活発に行われている。そのため、航空宇宙局では、内部の研究者からあがってくるセンサーに対する要望をもとに将来のセンサープログラムが立てられ、さらに衛星計画が立てられる（ただし、最近の衛星計画は予算の逼迫もあって、以前ほど順調とは見受けられない面もある）。この他に、航空機レベルでの基礎研究も活発で、ゴダード宇宙飛行センターはバージニア州ウォーロップスに航空機観測施設を持ち、大小様々な実験用航空機による観測を行うとともに、衛星データの受信、解析も行っている（湿地帯を中心とした野性動物保護区内にあり、快適な環境にある）。

これら両機関はまた将来計画にも非常に力を入れている。ミシガン大学の宇宙テラヘルツ工学研究センターは、1988年4月に航空宇宙局の出資によりミシガン大学内に設立されたものである。目的は地球をはじめとする惑星大気観測のための新技術開発である。本来、大気観測にはマイクロ波の中でもミリ波、サブミリ波が有効であるため、両波長帯の利用を目的として、回路技術、アンテナ技術、対象との相互作用特性などに関する研究が行われている。

一方、航空宇宙局の将来計画には10年前ほどの華やかさは見受けられないが、着実な計画はある。大筋としては航空宇宙局独自の計画というよりも、むしろ国際協力による観測計画の実現へと動いている。例えば米、日、加、欧の国際協力によるPOP（極軌道衛星で米国が打ち上げ）計画などがあり、これには我が国が高性能マイクロ波放射計 AMSR を提供することになっている（この他にも幾つかの国際協力プログラムがある）。なお、航空宇宙局でもミシガン大学と同様に、ミリ波、サブミリ波の研究が進められている。

ミリ波、サブミリ波といえば、いろいろと思いつくことも多い。ミシガン大学はさすがに大学であり、あちこちで自主セミナーがあった。セミナー



ミシガン大学電気工学・電子計算機科学部

(ミシガン州アナーバー)

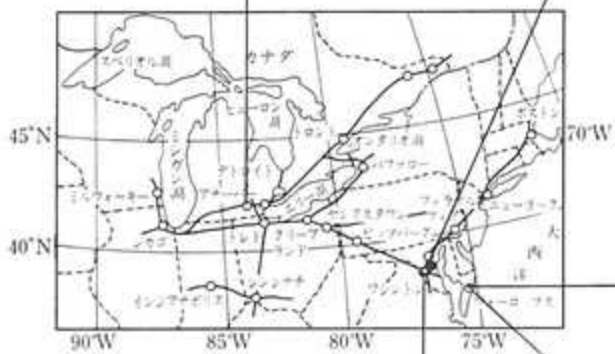
〔著者が滞在した放射研究所、および宇宙テラヘルツ工学研究センターはともにこのビル内にあり、レベルの高さは屈指である。〕



米国航空宇宙局ゴダード宇宙飛行センター（第22番ビル）

(メリーランド州グリーンベルト)

〔著者が滞在したビルで、このビルには主に海洋、大気、雪水の衛星による観測研究に携わる人々がいる。この他に約30のビルがある〕



ウォーロップス飛行施設周辺の野性動物保護区  
(バージニア州チンコティョグ)



米国航空宇宙局本部  
(ワシントン, D.C.)



ゴダード宇宙飛行センター・ウォーロップス飛行施設  
(バージニア州ウォーロップス)

は、昼休みや放課後などに行われる。著者も何度かさせられたが、これの良いところは聴講が自由であることである。その中で、著者はマイクロ波リモートセンシング関係のセミナーを主に聴講した。講師陣も超一流で、ミシガン大学だけでなく、カリフォルニア工科大学ジェット推進研究所、マサチューセッツ工科大学、航空宇宙局の研究機関（ゴダード宇宙飛行センター、ラングレー研究センター、など）などからも講師が招聘されている。このセミナーの中で、ミリ波、サブミリ波に関するものもたくさんあった。一部は既に、惑星大気の観測に応用されていて、観測データの解析に関するものもあった。アンテナ技術、回路技術などは、不案内の著者にも大変な技術だということがよく分かった。アンテナとは？ というセミナーがあった。普通アンテナというとかかなりの大きさのものを想像するが、サブミリ波帯になると、数 cm × 数 cm の基盤上の回路の脇に長さが 1 cm に

も満たないアンテナが直接ついていた。著者にはとてもアンテナとは思えなかった。

著者が滞米中に御世話になったミシガン大学宇宙テラヘルツ工学研究センター理事（教授）の Ulaby 氏、およびゴダード宇宙飛行センターの Wilheit 氏には、5 月下旬に相次いで我が研究室を訪問していただいた。そして、我が研究室で開発中の航空機搭載型マイクロ波放射計に対して貴重なアドバイスを頂くとともに、両氏の今後の研究計画などについてもお聞かせいただいた。我が国でも、ミリ波、サブミリ波帯の研究の必要性が少しずつ叫ばれ始めた今日、マイクロ波ラジオメトリー研究の道の遠さを今また思わずにはいられない。そしてその反面、マイクロ波ラジオメトリーに対する期待の大きさと、奥の深さを考えるとき、心に熱くなるものがあるのを禁じ得ないのも事実である。



## 当センター各部紹介

# 深海開発技術部の紹介

### 深海開発技術部

#### 1. はじめに

深海は、その巨大な水圧、水中においては電波や光は減衰が大きく使えないことなどの理由で、人間の接近や調査を阻んできている。しかしながら、そこはマンガン団塊、コバルトリッチクラストなどの鉱物資源の宝庫であり、また、日本周辺の地震発生メカニズムを解明するための調査、観測を要する場所でもある。当部においては、これらの要請に答えるべく潜水調査船「しんかい2000」の開発建造をはじめ、深海調査のための様々な機器を研究開発してきており、また将来にわたってよりよい深海調査システムを構築すべく研究開発を推進しなければならないと考えている。

本稿では、当部のこれまでの歩みを簡単に振り返るとともに、現在の当部の組織、業務内容を紹介し、合わせて将来の方向について簡単に触れてみたい。

#### 2. 深海開発技術部の沿革

深海開発技術部の歴史は、昭和53年7月に海洋開発技術部が深海開発技術部と海洋利用技術部に改組されたときに始まる。発足当初は二つの研究グループより構成されていたが、「しんかい2000」建造に伴い、昭和55年には部内にその運用を担当する運航室が設けられた。昭和57年にはこの運航室が深海調査研究の業務を遂行するための二つの研究グループを加えて、深海研究運航

室と改称された。さらに、昭和60年4月には、深海研究運航室が深海研究部、運航部として分離独立するとともに海洋利用技術部より、主として無人探査機に関する試験研究を行う研究グループが加わり、3研究グループ体制となって現在に至っている。

#### 3. 深海開発技術部の組織・体制

深海開発技術部は現在、潜水調査船及び同母船等に関する研究開発を行う第1研究グループ、潜水調査船等で用いられる音響システムなどの研究開発を行う第2研究グループ、無人探査機に関する研究開発を行う第3研究グループの三つの研究グループで構成されている。部のメンバーは、部長、研究主幹3名、研究副主幹5名、研究員6名、業務協力員（外部からの協力研究者）9名及び女性アルバイト4名の計28名である。

当部は、深海調査研究のためのハード面を研究開発し、実機として仕立て上げて行くことを本務としている。したがって、24名の研究者中、部長も含め船舶工学が10名、航空工学が1名、海洋工学が4名、機械工学が4名、電気工学が4名と工学系出身者が23名を数え、残る1名が理学系の出身者である。

#### 4. 深海開発技術部の業務内容

##### (1) 潜水調査船等に関する研究開発

深海底鉱物資源、深海生物の調査、海底地形・

地質の調査、地震予知研究、地球科学的研究などを推進していくために必要な有人潜水調査船システムに関し、次のような研究開発を実施している。

#### ① 有人潜水調査船システムの研究開発

昭和53年度に建造に着手し、56年10月に完成した「しんかい2000」は、6000m級潜水調査船の開発建造へ向けての技術的中間段階として位置付けられている。このため、「しんかい2000」完成の翌年の57年以来、各サブシステムについて順次その寿命・耐久性についての調査、長寿命化のためのデータ収集、信頼性評価など就役後の工学的評価を行うとともに、機能の向上、調査観測機器の開発を行って、その成果を6000m級潜水調査船の開発に反映させてきた。また平成3年には、「しんかい2000」が計画設計耐用年数の10年が経過すること、後述のように「しんかい6500」が近々就役してはくるが、2000m級潜水調査船に対するニーズも多いことなどを考慮し、「しんかい2000」を今後とも活用するため、現在、耐圧殻はじめその主要部材、機器が今後十分長期にわたって使用できることを確認すべく、それらの老朽度、耐用年数についての調査研究を行っている。また、同船の調査・観測機能等の向上についても、その改造も含め研究を行っている。

#### ② 6500m潜水調査船の開発建造

6500m潜水調査船の開発については、「しんかい2000」の技術・経験が土台となるが、3倍以上の水圧に耐えかつ軽量で調査観測機能を充実させるには、解決すべき技術上の課題も数多く残されていた。これらの課題を解決するため、昭和56年度から昭和60年度にかけて、高耐圧低比重浮力材の開発、インバータの油漬均圧化を図るための半導体の高圧下特性に関する研究、水中コネクタに関する調査研究、潜水船を構成する各種のサブシステムの技術的評価検討、さらに設計研究として、耐圧殻の内径700mm模型（縮尺率1/2.86）による繰り返し圧壊試験などを実施した。

6500m潜水調査船は、昭和61年2月の契約、62年6月起工、平成元年1月着水を経て、またその間耐圧殻の耐圧試験等種々の性能チェック、安全性の検討・検証を経て、現在、実海域での総合海上試運転に入っている。本誌の発行される7月初めには、5000m深度での潜航試験が予定されており、さらに、7月下旬から8月上旬にかけての三陸沖の日本海溝における6000m及び6500m深度での試験を終了後、11月末にセンターに引渡される予定である。

③ 6500m潜水調査船支援等船舶の開発建造  
建造開始前年の昭和61年度に、本船の計画検討の特別研究を行った。これは、支援等船舶につ



写真一 実海域試験中の「しんかい6500」とその母船「よこすか」（平成元年4月）

いての特有の問題点である雑音の低減及び特殊装置についての検討を行ったものである。雑音低減については、「なつしま」を用いて振動、雑音の系統的な実船計測を実施するなどして、本船の雑音低減対策を確立するとともに、特殊装置については、潜航支援装置、着水揚収装置などの備えるべき性能・仕様を明確にし、さらに「なつしま」における同種装置の使用実績調査とその評価を行い、本船での最適化を図った。

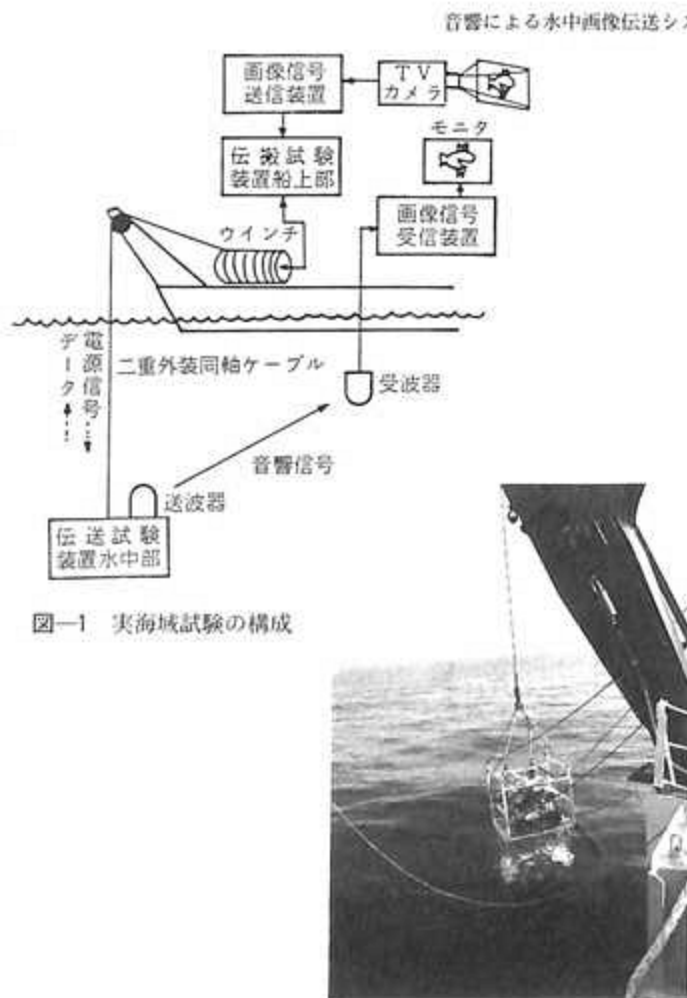
本船は、昭和62年7月契約、63年2月起工、同7月の進水を経て、同12月より平成元年2月までの間、単独海上公試を行いその所期の性能が確認された。

## (2) 潜水調査船等に係る音響システムに関する研究開発

潜水調査船の水中音響航法装置、水中で光に代って遠方の物体を見るのに使われる音響映像ゾナー、沿岸海域の高精度、高効率調査を可能とする「底質情報解析システム」などの開発を行うとともに、音響機器の効率的運用のための雑音低減の研究開発を行っている。また、水中画像伝送システムなど将来広範囲の応用が期待される音響による情報伝達処理システムの研究開発を行っている。

### ① 水中画像伝送システムの開発

潜水調査船に一度に乗り込める人数は限られて



写真一 実海域試験風景



送信原画



受信画像

(伝送距離 3500 m)

写真二 実海域試験における送信原画及び受信画像の例

いるので、海中で得られる TV 画像をリアルタイムで母船上に伝送できれば、母船上の研究者と一体的に観察、観測ができ、調査効率の向上が図れる。このため、昭和 59 年度から音響信号による水中画像伝送システムの研究開発に取り組んでいる。アナログ方式による画像伝送については、昭和 61 年度までに 40 秒に 1 枚程度のスピードでカラー画像を伝送することができるようになっており、さらに、昭和 62 年度には、伝送速度と伝送距離の延伸を計るため、デジタル方式（PSK 方式）による画像伝送のための研究を開始している。63 年 8 月の実海域実験において、約 5 秒に 1 枚のスピードでカラー画像を伝送距離 3 500 m まで伝送することが可能であることが実証されている。今後は、さらに伝送距離の延伸と装置の小型軽量化の研究開発を行い、6 500 m 潜水調査船に搭載する装置の作製に進みたいと考えている。

## ② 耐圧遮音材に関する研究

自航式無人機などは、動力装置等による雑音が多岐にわたって大きく、無人機などに搭載される音響機器が有効に作動しないおそれが多い。このため、こうした雑音を遮音する高圧下で使用可能な部材を開発すべく研究を行っている。

## （3）無人ビークルに関する研究

無人機は、海中作業、調査機器としては比較的新しく、ここ 10 年ほどの間に急速に発展してきた。

当センターにおいても、昭和 54 年から無人機の研究開発に着手し、これまでに、TV カメラを搭載した有索の自航式ビークル「JTV-1」、水深 500 m で使用できる光ファイバ通信使用のビークル、「ホーネット-500」を開発製作し、試験研究を行ってきた。さらに、昭和 57 年から昭和 62 年にかけて、有人潜水調査船「しんかい 2000」の事前調査、救難等に使用するため、3 300 m 水深まで潜航可能な有索、多機能の無人機「ドルフィン-3 K」を開発建造した。

## ① 「ドルフィン-3 K」の機能向上等の研究

「ドルフィン-3 K」による潜水調査船「しんかい 2000」の事前調査や救難などが効率的に行えるよう機能向上等の研究を行っている。また、運用技術の確立のための研究も行っている。「ドルフィン-3 K」は、平成元年 3 月の時点で 42 回、210 時間の潜航を行っている。

## ② 無人無索潜水機に関する研究

将来開発すべき無人無索潜水機や、さらに進んだ自律型無人機に不可欠である運動制御技術に関する基礎研究を行っている。また、無人無索機への中間段階として、太いテザーケーブルではなく、情報のみのやり取りをするごく細い光ファイバケーブルで母船とつながれ、バッテリーを内蔵した運動自由度の大きい、自航式 TV 探査機を開発している。

## ③ 救難・事前調査装置の研究開発

この研究は、6 500 m 潜水調査船の潜航海域の事前調査と万一の場合の救難を行うため、母船「よこすか」に搭載される最大使用深度 10 000 m 級の無人機の開発を目的として実施している。

昭和 63 年度には、概念設計を実施するとともに基本設計に着手し、合わせてケーブルの試作も行った。平成元年度には、詳細設計を完了し、その後 3 カ年程度で、実機の開発建造を行うこととしている。

## 5. 今後の研究課題

地震予知に関連する地球物理学上の調査、深海生物の調査など深海に係る調査は、最近、一段とその精密さが要求され、このため、調査対象である深海底などに接近して調べることが必要とされるようになってきた。

前述のように、有人の 6 500 m 潜水調査船が本年完成し、遠からず本格的活動に入るが、世界の全海洋の 98 %、日本の排他的経済水域の 96 % を潜水能力上はカバーするとはいえ、実際にはそ

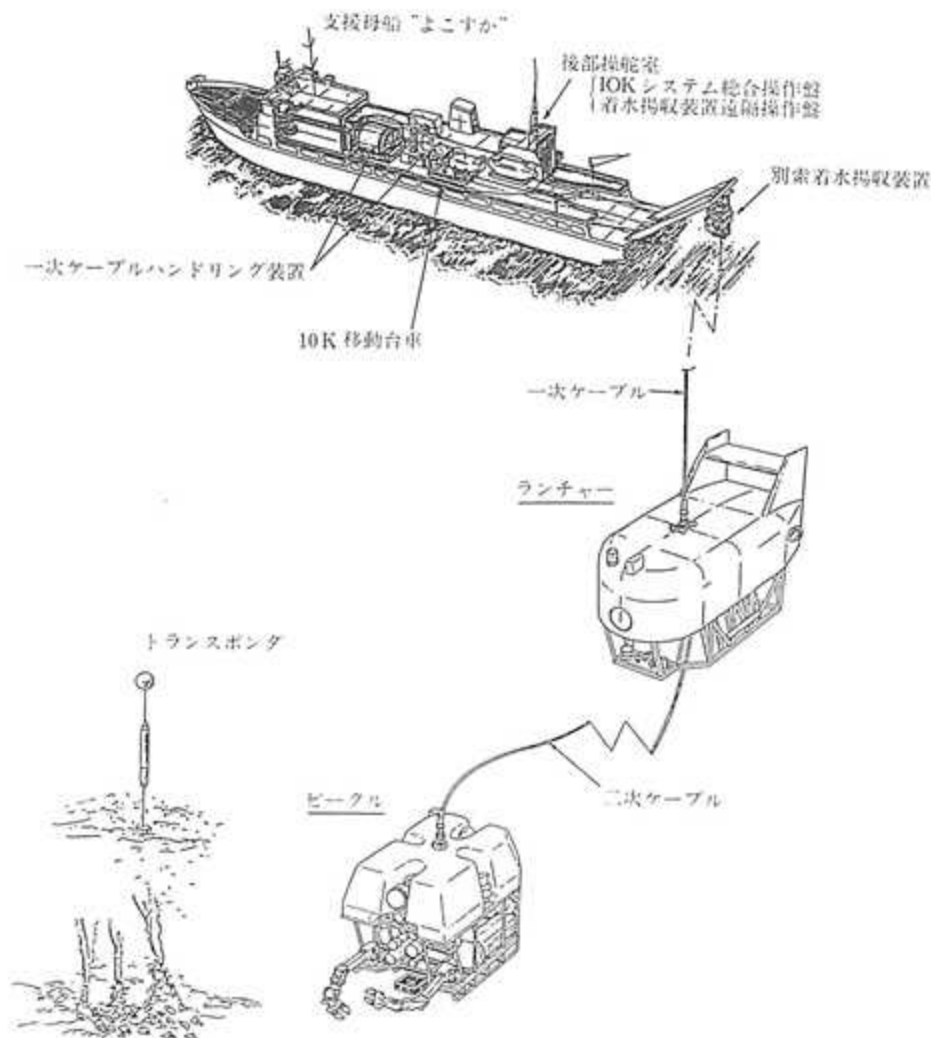


図-2 救難・事前調査装置 10K システム概念図

の行動範囲は、広い海洋底からみれば、ごく限られているといわねばならない。さらに、今後開発建造が計画されている10000m級の有索無人機にしても、行動範囲は飛躍的に広がるものの、支援母船と太いケーブルでつながっていることから種々の制約がある。また、こうした有人機、無人機は、専用の母船を必要とする大型のものにならざるを得ず、建造や運用に多数の費用を要するので、数多く持つことは難しい。将来的には、小型軽量で取り扱いが簡単かつ安価な無索式の自律型無人機の開発が待たれるゆえんである。こうした無人機の開発には、今後解決すべき技術的課

題が多く残されている。海中動力源、情報の伝達手段、自律的行動を行うための知的情報システムなどである。また、こうした技術が確立されれば、海底・海中での長期連続調査、観測ステーションも実現されよう。また、将来的には、地球科学的探査のため11000m級の有人潜水調査船、深海底の地下構造を探査するためのボーリング装置なども研究の対象となろう。

我々は、深海を時間的、空間的によりよく知るために、今後ともいろいろな分野の深海研究者の意見を聞きながら、研究開発を推進して行こうと考えている。

# 世界最大深度を目ざして

## （「しんかい6500」及び「よこすか」の動静）

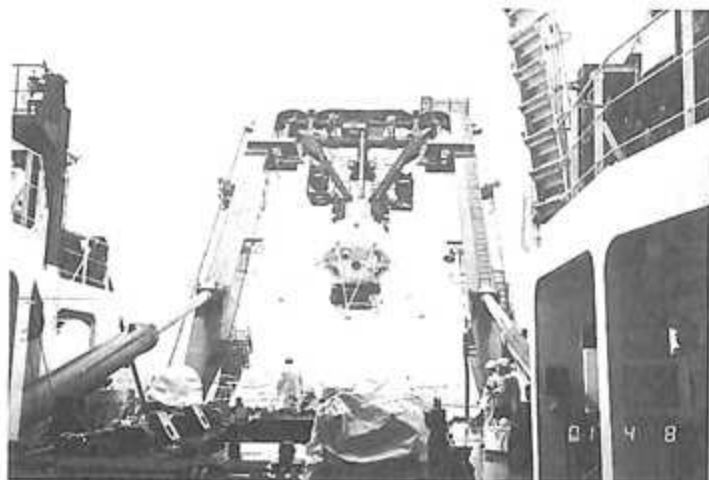
深海開発技術部

6500m潜水調査船「しんかい6500」及び同支援母船「よこすか」はいよいよ建造の最終段階である総合海上試運転に入っている。総合海上試運転とは、その名のとおり別々のメーカーで建造された潜水船（三菱重工業㈱）と支援母船（川崎重工業㈱）が総合体となり実海域において潜航試験を行い、それぞれの性能・機能を最終チェックするもので、ほぼ実際の運用に近い状態で実施される。この試運転は今年4月から8月までの約5カ月間にわたり段階的に深度を増して実施し、8月には最終の試験である最大深度6500mへの潜

航試験を三陸沖の日本海溝で実施の予定である。（図-1参照）

今回の試運転では、国家的プロジェクトとして世界最大深度をめざした最新鋭の潜水船及び支援母船に対し、国内外の関心も高まっていることから報道各社の取材要請が多く寄せられている。そこで、さる4月8日に実施した実海域における初めての潜航試験（潜航深度約70m）において、第1回目の共同取材に応じることとなった。当日、試運転基地としていた和歌山県の小さな港町紀伊由良には大勢の報道陣が詰めかけ、支援母船への





写真—1

乗船等様々な取材が行われた。また、当日のテレビや新聞に「[しんかい6500]初潜航」のニュースがエポックメイキングとして大きくとりあげられ、本システムに対する関心と期待の大きさを改めて痛感させられた。

さて、総合海上試運転の一日は概略以下のとおりである。まず、支援母船が潜航海域に到着し、試験実施責任者によって潜航実施に適当な海象（シーステート4以下）であるかどうか判断され、潜航指令が発せられた後、潜水船を支援母船から着水させることにより始められる。この潜水船着水時に「よこすか」は、最も支援母船らしい姿を見せる。（写真—1参照）すなわち潜水船は、「よこすか」船尾の大型Aフレームクレーンでゆっくりと吊り上げられ船外に振りだされた後着水される。着水後、吊り上げ索がダイバーの手で切り離され、続いて潜水船のバラストタンクに海水を注入して静かに潜航を開始する。潜航開始後、支援母船は潜水船のほぼ真上に位置するように操船され、潜航支援の中核となる総合指令室において潜水船の位置を測定したり、潜水船と水中通話機で交話を行い潜水船の動静を常に把握する。これらの操作を通じて支援母船上の諸装置の機能が逐次チェックされている。

一方、潜水船の狭隘な耐圧殻内では3名の乗組員が共同あるいは分担してその日の試験カリキュラムに従い手順よく各装置の作動試験、確認等を行い、その結果を順次潜水船内で記録するとともに水中通話機を通じて支援母船に報告される。この試験カリキュラムはかなりハードなもので、1日5～8時間の潜航中短い昼食をはさんでびっしりと組まれており、また、最新鋭の潜水船を間違いないく操船しなければならないという責任から、乗組員がのんびりと海底の様子を観察してくるといった時間的余裕は残念ながらないようである。

これらの試験がすべて終了した後、潜水船は浮上し、着水時と逆の手順で支援母船に揚収され、引き続き、支援母船上でその日の試験についての検討会が実施される。この検討会では様々な角度から装置の機能・性能が試験結果に基づいて評価されるとともに、改善点や不具合点があればそれらの対策についても検討が行われる。

以上が1日の潜航試験の概要であるが、このような潜航試験が約30回浅深度から深々度（6500m）まで繰り返し実施され、入念なチェックとともに完成度の高いシステムとして仕上がっていくのである。

## 当センター研修・施設 機器等の紹介

# 潜水技術研修

潜水技術部研修室 三谷日出文  
Hidefumi Mitani

潜水技術研修は、当センター法に基づく研修事業の一環として、昭和48年度から潜水技術者の養成および潜水業務に関わる人々に対し、潜水安全教育を実施しています。

近年、我が国でも潜水技術の進展はめざましく、港湾土木工事や船舶によるサルベージ作業のみにとどまらず渡洋架橋建設、海洋構造物の設置など規模の大型化に伴って作業内容も複雑、かつ、精密さを要求されるようになり、極めて多様化しています。また作業深度も浅いところから、より深いところへと移行されようとしています。

海洋関連の企業の中には、ダイバーの安全性や作業工程およびコスト面などから、無人化（海中ロボット）に対する研究開発を進めているところもあります。しかし海洋での厳しい自然条件のもとでは、さまざまな制約を受けることは必至であり最終的にはダイバーに頼らなければならないの

が現状です。

### 1. 潜水技術研修課程

研修室では、昭和49年から昭和63年までに次のような潜水技術研修のコースを設け、多数の企業および団体等から好評を得ています。

当センターは、海洋科学技術に関する我が国唯一の公的機関であり、ここで実施している潜水研修は、社会的ニーズに応えるため、国内はもとより海外の最新の情報・資料および装置・機器などを豊富に取り入れた内容と経験豊かなスタッフで、潜水に必要とする高度な技術と知識を習得させることを目的として、その教育を行っています。

潜水技術研修は、これまでに混合ガス潜水技術コース、空気潜水技術コース、深海潜水技術コース、潜水業務管理コース、特別研修コースを行っており、その受講者は延べ2333名で、ここでの研修を修了した人々の多くは、海洋関連の企業のなかで中

表-1 潜水技術課程

研修コース名	実施期間	実施回数	人数
混合ガス潜水技術コース	昭和49年～昭和60年	12回	193名
空気潜水技術コース	昭和51年～昭和59年	21回	350名
深海潜水技術コース	昭和62年～昭和63年	3回	14名
潜水業務管理コース	昭和62年～昭和63年	4回	32名
特別研修コース	昭和52年～昭和63年	96回	1744名

心的な存在として関係各方面で幅広く活躍しています。

## 2. 潜水研修用の施設、装置および各種機器類

当センターの、潜水研修に用いる施設、装置および各種機器類は次のとおりです。

## 3. 宿舍の利用等

当センターの潜水研修は、我が国の実状に対応した教育内容で行われていますが、欧米の潜水先進国に比べても質的にも遜色がなく、かつ、研修

費用もきわめて割安となっています。

また、研修受講者で宿泊を希望する方には、構内の完備された宿舍が利用できます。



写真一 スクーバ潜水訓練



写真二 ROV



写真三 救急再圧訓練タンク



写真四 オープンベル

表一 潜水研修用の施設および各種機器類

	品名	用途
1	潜水訓練プール	広さ 21 m×21 m で、深さは 1.5 m と 3 m 冬期には温水としても使用できます
2	潜水シミュレーター	水深 500 m 相当圧までの試験、研究および潜水技術修得のための訓練など
3	SDC・DDC	水深 300 m までの飽和潜水、短時間潜水の実験、訓練など
4	オープンタンク	径 3 m、深さ 3 m の円筒形で水中機器のテスト、水中溶接、切断作業の訓練など
5	オープンベル	水深 90 m までの潜水作業および訓練など
6	救急再圧訓練タンク	使用圧力 50 m、3 人用、2 室型、救急再圧訓練、高圧環境体験など
7	無人機 (ROV)	水深 200 m 使用、ダイバー監視、漁礁調査などのオペレーター訓練など
8	ポータブルチェンバー	一人用、緊急再圧訓練など
9	各種潜水器具	現在、国内外で使用されている各種潜水器具の体験など
10	水中交話器 (有・無線)	自給器潜水、他給器潜水と潜水方式による交話法など
11	水中ビデオ・カメラ	各種類あり、潜水作業、訓練風景の映像記録、モニターなど
12	海上給気コントロールボックス	送気ガスの制御など
13	各種視聴覚装置	スライド、OHP、ビデオ、16 mm 映写機、実物投映機、パネルなど
14	講義室	20～30 人収容で研修の講義用など

# コンピュータ・グラフィックス

海洋開発研究部 浅沼市男 Ichio Asanuma

現在のコンピュータ・グラフィックス (CG) はコンピュータ・サイエンスの進歩に裏付けられ、2次元表示から3次元表示へとめざましい発展をとげてきた。

## 1. 第一世代2次元CG装置

この装置は、グラフ、図面などを平面上に2次的 (XY) に線画として表示するための装置である。米国において開発されたストレージ方式のブラウン管 (CRT) を用いた装置は、コンピュータからの作図命令を CRT 上に記憶させ、線画として表示する方式のものである。これに対して、XYプロッタと称される紙面上にペンの移動により線画を描き出す装置が同じく米国において開発された。XYプロッタは、CRT方式に比べると非常にきれいな線画を作成する装置である。これらの二つの装置が、2次元の線画表示装置の概念を作り上げ、さらにCGソフトウェアの基礎を作った。

その後、ストレージ方式のソフトウェアに対応するCRT端末、プリンタあるいは多色のXYプロッタと多くの2次元CG装置が利用可能となり、種々の分野で現在も活躍している。

## 2. 第二世代2次元CG装置

前出の第一世代のCG装置は線画の線の一本一本をある座標から他の座標へのベクトル情報 (ベクタ・グラフィック) として表示あるいは記録するものであったが、第二世代として現れたCG装置はラスタ・スキャンによる表示手法を採用した装置である。これは、画面を500本から2000本の走査線の集合として考え、この走査線を次から次へと表示する装置である。この装置は、

コンピュータと独立に表示画面に対応する数だけのメモリーを装置側に持ち、コンピュータ側がそのメモリーに書き込みを行うと同時に、CRT側がそのメモリーから走査線 (ラスタ) に対応するデータを逐次読み取り (スキャン) CRTに表示する装置である。

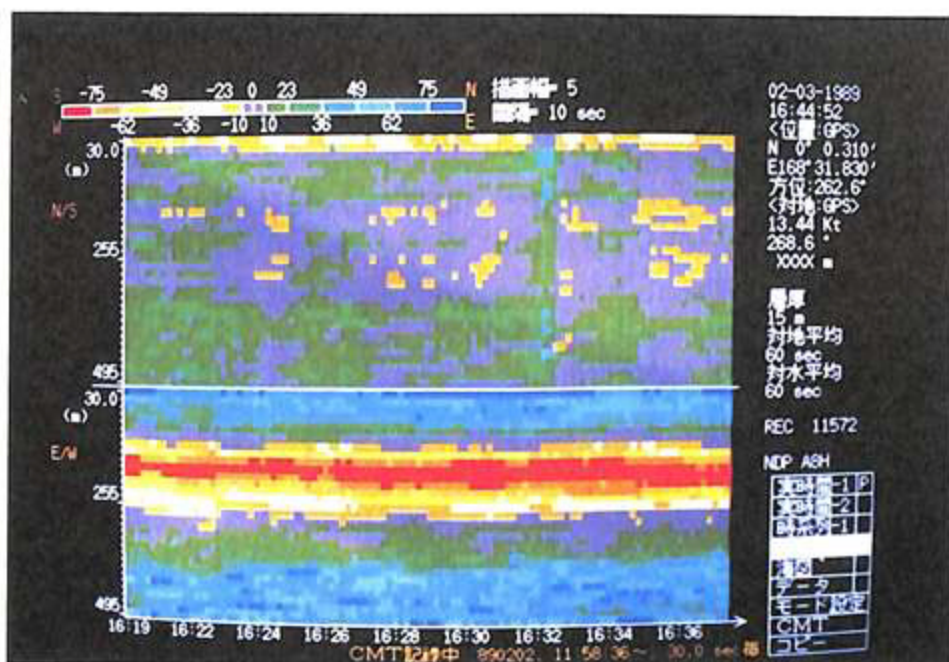
1985年前後に現れたラスタ・スキャンの装置は、2000画素×2000走査線を表示可能な装置もあり、メモリーの集積度の向上したことから、小型化、高速化が進み、しかも安価なCG装置として利用されるようになった。

## 3. 3次元CG装置

この3次元CG装置は、1980年ごろから現れ始め、装置内部に3次元の座標空間を有する装置である。これまで、3次元の画像を作成するには、3次元の座標データについて、視点、断面などこと細かに定義したうえで、2次元の座標空間への投影画像を計算で求め、前出の2次元CG装置に表示していた。これに対して、新しい3次元のCG装置は、装置内部に3次元の座標空間を持ち、ユーザのダイアル等による視野、断面などの指示に従い、装置内部において3次元から2次元への座標変換と投影画像を求め、2次元のCRTに表示する装置である。さらに、線と線との間を埋めたり、陰影を付けたカラー画像がダイアル操作により移動する装置まで現れた。現在の技術では、3次元から2次元への座標変換速度に限界があり、3次元の人力データが増加するとトータルの変換速度が遅くなり、リアルタイムの変換ができないが、いずれ高速の座標変換機能を持った装置が現れるであろう。

## 超音波ドップラー・プロファイラー

海洋開発研究部 黒田 芳史 Yoshifumi Kuroda



写真—1 赤道直下の海流の分布，“なつしま” JAPACS 航海 1989年2月

上の写真をしげしげと3分間以上眺める人がいるとすれば、その彼あるいは彼女はきっと海洋学者に違いない。この写真は「なつしま」により得られたある海流の鉛直分布を示している。写真中央より上半分が流れの南北成分、下半分が東西成分であり、縦軸は深度(30m~500m)、横軸は時刻を示す。縦方向には15mごとに32層、横方向には10秒ごとにデータが示されている。写真の時期は1989年2月、場所は東経168°の赤道上である。

赤道の海流は、次のような分布になっているといわれている。表層は東からの貿易風に押され西向きに流れる南赤道海流、その直下に表層と逆向

きの東向きに流れる赤道潜流が分布する。この赤道潜流の流量は黒潮にも匹敵するといわれており、この変動がエル・ニーニョ現象とも密接に関わっていると考えられている。さてこの写真の東西成分にこの赤道潜流がくっきりととらえられている。図中の暖色系は西から東へ向かう流れを示し、赤は75cm/sec以上の流速値を示す。図の深度200mほどのところに赤色の帯があらわれる。これが赤道潜流の中軸である。

このように計測する人がコーヒーをすすっている間にも足下の流速分布を即座にかつ連続して計測してくれる、海洋学者にとっては夢のような装置が超音波ドップラー・プロファイラーなのであ

る。

この超音波ドップラー・プロファイラーの原理は以下のようなものである。送受波器から斜め下方に指向性をもつように海中に発射された超音波パルスは、水中を伝搬しながら海水と共に流れている微小な浮遊物や海底で散乱・反射をうけ、それらの信号が送受波器に戻り受信される。これらの超音波パルスの反射や散乱の際にドップラー効果により送受波器と物体との間の相対速度に比例した周波数偏移が生じる。一般にこれらの散乱信号のスペクトラムは周波数軸上で広がりをもっているが、適当な信号処理を行うことにより、平均の偏移周波数が決定できる。この平均偏移周波数は直ちに速度に換算することができる。

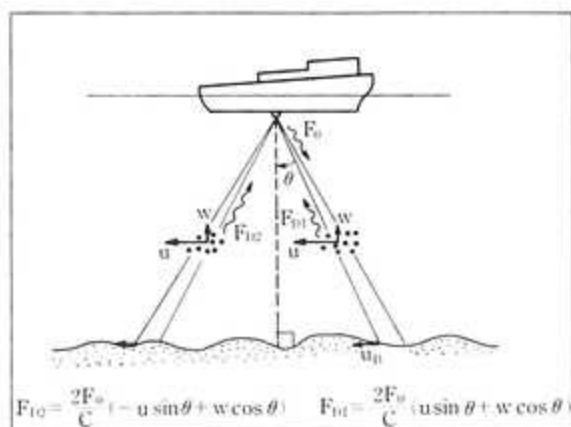


図-1 ドップラー効果を利用した流速測定の実理

この装置の船上部を写真-2に、船底にとりつけられた送受波器部を写真-3に示した。左方のラックには送受信機、信号処理部、そして基準となる地球に対する船速を入力するためのGPS航法装置が入っている。右方のラックにはデータ制御、表示のためのパソコン、記録のためのカートリッジ式磁気テープ装置、及びハードコピー装置が組み込まれている。送受波器は二つの長方形のモジュールからなる。一つのモジュールで70kHzの超音波ビームを鉛直軸から±30°方向に2

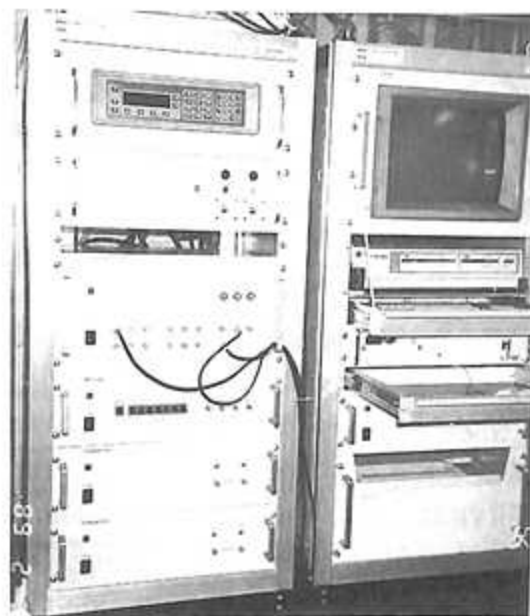


写真-2 超音波ドップラー・プロファイラーの船上装置

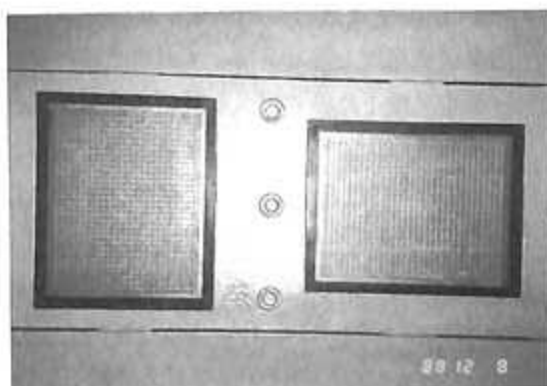


写真-3 船底に装備された送受波器

本出せる。船の前後方向に出された2本のビームで、前後方向の速度を、左右方向に出された2本のビームで左右方向の速度を出し、それらの速度を合成して真の流速ベクトルを得る。

この装置はこのような海洋調査だけでなく、潜水調査船のドリフト距離の予測、無人機のケーブルにかかる張力予測、有人潜水の際の流況把握、魚網の広がり予測など海洋作業の様々な場面で活躍することが期待される。

# 太平洋国際先端技術研究センター

Pacific International Center for High Technology Research (PICHTR)

海洋開発研究部

藤田 恒美 Tsunemi Fujita

ハワイは太平洋の中心に位置し、海洋開発研究にとって自然環境に恵まれた好適地であるとともに、アジアと太平洋地域の文化がミックスされたところでもある。このような条件を背景に、PICHTRは、当初、1983年に米国ハワイ州によりハワイ大学の教育と研究の場として設立され、ホノルル市のハワイ大学構内に本部（図-1）を置き、その後、1985年10月に非営利機関として正式に発足した。

PICHTRの主な目的は、環太平洋諸国の中心的な国際研究機関として、アジア及び太平洋諸国の人々の生活向上に役立つ先端技術の研究開発、利用、教育及び国際交流を促進することである。

PICHTRの組織は図-2のように、基本方針

と所長指名の決定権を持つ理事会（現在12名のメンバーからなる）と所長を筆頭とする執行本部から構成されており、現在所長として今年3月8日にJAMSTECを訪れたMr. Ronald J. Hays（前太平洋軍総司令官）が就任している。

研究体制としては、国内外の産学官参加体制が確立されており、米国を主とするアジア太平洋諸国の科学者や技術者などにより研究が行われている。また、PICHTRは、活動資金の一部として、日本政府から年間100万ドル資金援助を受けている。

PICHTRの研究内容を図-2を用いて紹介する。PICHTRには4つの部があり、それぞれ次に述べる分野について研究及び教育活動を行って

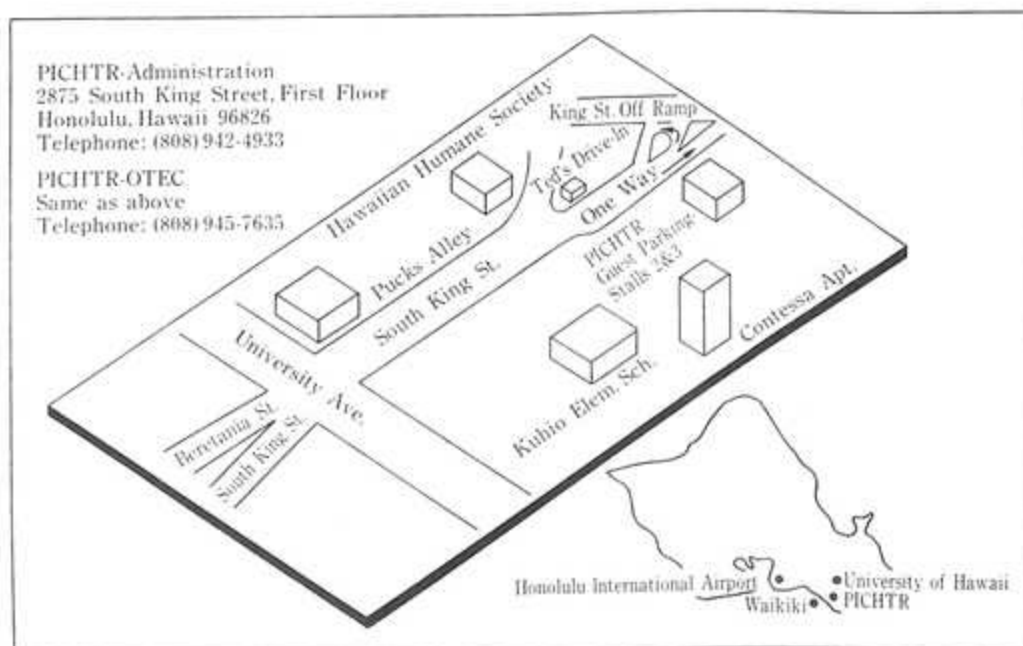


図-1 PICHTR 本部の位置

Organization Chart

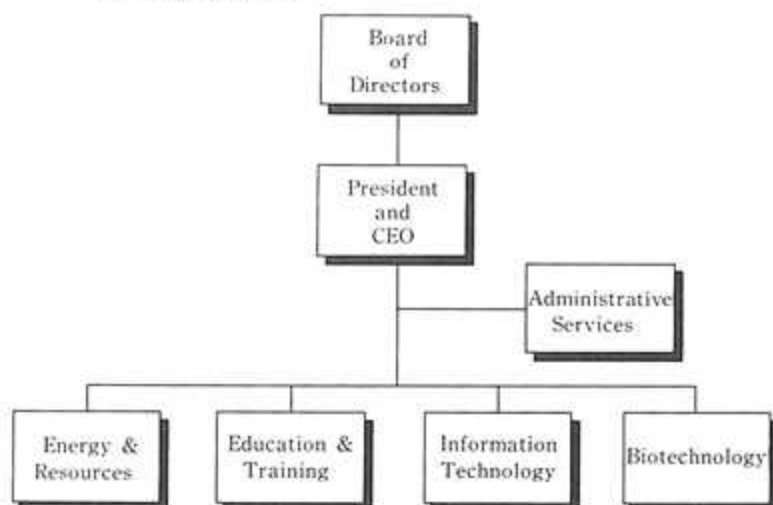


図-2 PICHTRの組織図

を、水産養殖、農業、淡水生産、空調などに利用する多目的利用構想を提案している。このような考え方に沿って、NELH 及び HOST park では、民間企業などが深層水利用による海洋有用生物の生産技術の研究を活発に行っており、商用化の見込みが得られたものについては、すでに生産・販売が開始され、その第1号がアワビ(写真-2)である。

いる。

- ① Energy & Resources Division：海洋温度差発電をはじめとする新・代替エネルギー、海洋資源開発、エネルギー管理などの研究を行う。
- ② Education & Training Division：地域振興と教育の向上のための指導、技術者の訓練や教育施設の提供などを行う。
- ③ Information Technology Division：ロボット、コンピュータ映像、人工知能、自然言語処理、センサー工学、通信工学などの研究を行う。
- ④ Biotechnology Division：バクテリア、遺伝子工学、ペスト制御、モノクローン抗体などに関する研究を行う。

この中でも、特に①の海洋温度差発電には力を入れており、現在、オープンサイクル方式の実験(写真-1)を、ハワイ州立自然エネルギー研究所(Natural Energy Laboratory of Hawaii：NELH)及びホスト・パーク(Hawaii Ocean Science & Technology Park：HOST park)の深層水取水施設を利用して行っている。さらにPICHTRは、低温で栄養塩に富んだ海洋深層水



写真-1 NELHにおけるオープン・サイクル式海洋温度差発電の実験装置



写真-2 NELHでの深層水利用マリカルチャーにより生産されたアワビ(この技術は既に商用化されている)。

## 用語解説

# コバルト・リッチ・クラスト

深海研究部 田中 武男

Takeo Tanaka

マンガングラストは、基本的には深海産のマンガノジュールと同じく、二酸化マンガと水酸化鉄を主体とする海水からの化学的沈澱物の一種である。海山域等の比較的浅い海域の岩盤を数mmから数cmの厚さで広く被覆しており、コバルトに富んだものを特にコバルトリッチクラストという。

そのようなクラストの存在は古くから知られていたが、銅の含有量は深海産のノジュールよりもはるかに少ないため、当初あまり注意が払われなかった。しかし、1980年代になって中央太平洋海山域等での広範な調査が行われた結果、水深2000m以浅でコバルトが1%以上も濃縮しているクラストが大量に分布していることが明らかになった。コバルトやニッケルが先端技術に不可欠な金属であることや、分布範囲の多くが200海里

の経済水域内に含まれ、そして多くが浅い海山域に分布しているという理由で、現在ではコバルトリッチクラストが深海資源の中で最も早く経済的開発が可能であると考えられている。

日本の200海里内にもコバルトクラストの存在は確認されており、特に小笠原東方の太平洋プレート海山、海台上に多く存在していることが判明している。

海洋科学技術センターも南鳥島南方の海山（第5拓洋海山）頂上部の調査を実施した。海山の斜面部（水深2000m程）には厚さ数mmから1cm程のクラストが広く岩盤を覆い、水深1500mの平頂部には直径5cm以内の小さなノジュールとクラストが分布していた。その分析値を表（深海調査グループ：1988）に示すが、ノジュール及びクラストともコバルトやニッケルに富んでお

表-1 南鳥島周辺のマンガングラストの全岩分析値（深海調査グループ：1988）（分析：化学分析コンサルタント）

	S1-02	S1-03	G3-02	G9-04
SiO <sub>2</sub>	8.00	11.66	5.33	5.07
TiO <sub>2</sub>	1.09	1.18	0.92	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *1	3.45	4.87	2.95	2.79**
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *3	18.05	16.39	14.05	16.20
CaO	2.75	3.88	2.43	2.78
MgO	1.60	2.27	2.16	1.86
MnO	21.93	17.68	26.08	23.64
Na <sub>2</sub> O	1.93	3.62	1.80	-
K <sub>2</sub> O	0.53	0.74	0.50	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.03	1.27	0.78	0.87
H <sub>2</sub> O (-)	25.7	22.3	26.8	28.0
lg・loss **	37.9	35.0	39.9	-

(wt%)

	1.5	1.2	3.8	1.6
Cd	1.5	1.2	3.8	1.6
Cu	408	403	709	293
Pb	1660	1340	1710	1830
Zn	345	312	548	366
Co	5680	4610	7050	7400
Ni	3260	2860	6560	3920
As	240	180	200	210

(mg/kg)

Sは クラスト  
Gは ノジュール

り、特にノジュールにそれらが濃縮している。産状から平坦面上に浮いた状態で分布しているノジュールのほうがクラストよりもさらに採鉱が容

易であると考えられる。平頂海山上のノジュールもクラストに劣らず重要な見逃せない資源であろう。

# 人工島

広報室 橋 拓政

Hiromasa Tachibana

我が国の地勢の特徴は、四面を海に囲まれ、生産活動に適した平坦部が全国土の約13%と極めて少ないことにある。このため、33,300 kmにも及ぶ海岸線を生かした干拓あるいは埋立てが昔から行われてきた。記録によると7世紀初頭には佐賀県杵島郡において干拓が行われたようである。このように、これまでの人工島の施行事例には埋立式によるものが多い。しかしながら、昭和54年8月にまとめられた海洋開発審議会第一次答申で沖合の海域利用の重要性が指摘されたことにより、浮体式及び接地式の大規模人工島構想が出現してきた。

人工島は形式・規模・目的・機能等の面から多種多様なものがあるが、前述のように大きくわけて埋立式、接地式及び浮体式に分けられる。これらの形式にこだわることなく人工島としての定義をあげるなら次のとおりとなる。

○ 陸域とは海・水路により遮断されており、特別のアクセス（橋りょう、トンネル、船舶、その他）を必要とする人工構造物。

○ ただし、次の事例は人工島とはいわない。

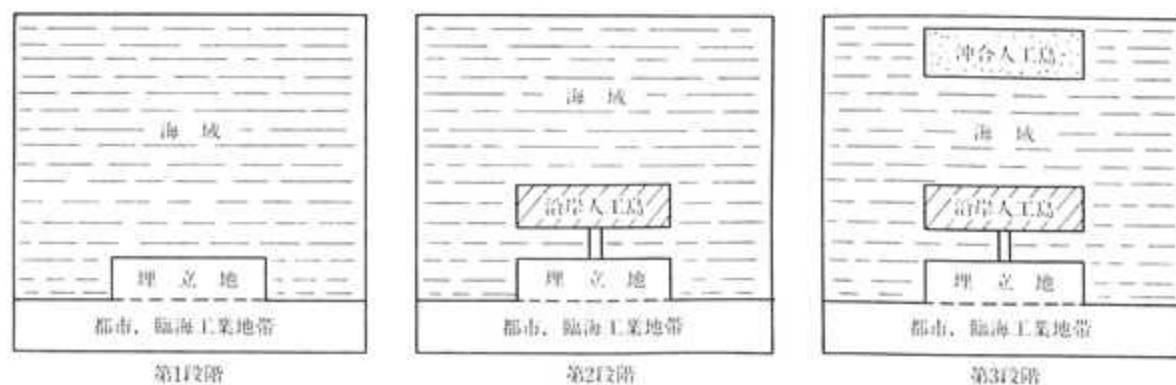
(1) 沖合防波堤、浮消波堤

(2) 小規模浮遊式実験装置

(3) 海中展望塔、海中レストラン、小規模な海釣り公園、沖合観測塔、ブイ

(4) 単純なシーバース等の係留施設、橋りょう、海底トンネル本体及びこれらに関連する小規模なマウンド形成物、養殖関連施設

従来の人工島建設の目的は、陸域での用地確保が困難なことによる代替的発想が中心であったが、最近では、総合レジャー機能を含んだ新しい海洋性都市機能の再生あるいはより沖合の海洋空間の有効利用を目的とした人工島建設構想が多くなってきた。



図一 海洋空間利用の発展パターン

# フレキシブルライザー管の 共同研究報告会

海洋開発研究部 工藤 君明 Kimiaki Kudo

当研究部では、昭和63年度より古河電気工業(株)およびシェル石油 Shell Internationale Petroleum Maatschappij B. V. と共同研究「フレキシブルライザー管挙動の解析・計測技術の研究開発」を実施しております。昭和63年度の海域実験成果を確認するとともに、今後の研究計画を討議するため、本年4月5日に共同研究報告会を当センターで開催いたしました。この報告会には、シェル石油を代表してシェル石油技術研究所の Mr. Henk J. Kastelein が出席されました。共同研究報告会の後に、北海における石油生産についてシェル石油がどのような展望をもっているか、氏に講演していただきました。

## 1. 共同研究報告会 (Joint Research Meeting)

当センター間山 隆理事の開会の挨拶、さらに各研究機関の代表者から挨拶をいただき、引き続いて提出資料 POSEIDON FLEXIBLE RISER FIELD TRIAL JOINT RESEARCH REPORT 1 に基づき、3件の成果が報告され、質疑応答がなされました。成果報告の概要を紹介します。

### (1) フレキシブルライザーシステムの設計製作

発表者：山口卓見（古河電気工業（株）課長補佐）

フレキシブルライザー管は高温高圧の原油を汲

み上げるために、主として大水深海域で利用されるものです。これは、内圧、外圧、軸力に対する強度を有するとともに、適度な可撓性を兼ね備え、しかも油やガスを漏洩させないために、いろいろと工夫を凝らされたプラスチックと金属の複合構造となっています。

当センターは運輸省船舶技術研究所と共同研究により、山形県鶴岡市由良沖の水深40mの海域に、浮体式海洋構造物 POSEIDON（全長34m×全幅24m×全高13.5m、排水量527t）を係留して海域実験を進めておりますが、この浮体を利用してフレキシブルライザー管の実海域実験を行いました。実験用のフレキシブルライザー管は内径3インチ、設計圧力5000psi、全長100mであり比較的に小型の実機を使用しました。氏はこのライザー管の設計、製作、敷設について、概要を紹介しました。

フレキシブルライザー管の特長は、浮体の動揺や移動をライザー管自身の大変形で吸収可能であるため、動揺吸収装置などのような高価な機器類が不要となって経済的ということがあげられます。フレキシブルライザー管の海中形状は、海域の水深、海象条件などを考慮して決められますが、今回は緩い波型(Lazy Wave)が採用されました。これは、海底から立ちあげる途中に多数のブイを取り付け波状に持ち上げた形状ですが、浮体の移動吸収能力に優れ、特に浅い水深に適しているものです。

## (2) フレキシブルライザー管の位置計測システム

発表者：安田哲也（海洋科学技術センター研究員）

本共同研究の海域実験において、当センターは自然環境条件、浮体の運動、フレキシブルライザー管の海中挙動を計測し、フレキシブルライザー管に対する外力条件を明らかにすることを目的としました。フレキシブルライザー管の構造および最適な海中形状を設計する手法を明らかにするためには、浮体の水平移動量および動揺、ライザー管の海中形状および運動、ライザー管末端の荷重、さらにこれらの相関を正しく評価する必要があります。このため、浮体およびライザー管の位置を精度良く測定するライザー管位置計測システム（RPS）を研究開発しました。

RPSは、パルス状の超音波信号の到達時間から送受波器間の距離を検出して、浮体およびライザー管の位置、さらに運動を解析するシステムです。海域実験での運用の結果、本システムはゆっくりとした大きな水平移動ばかりでなく、波による揺れ、さらにはライザー管の位置、挙動を精度良く計測できることが実証できました。

## (3) フレキシブルライザーシステムの解析

発表者：梅原満夫（古河電気工業（株）主任研究員）

浮体運動の推定値に対し、フレキシブルライザー管の動的応答をシミュレーション解析し、ライザー管の曲率の時刻歴や張力などを解析しました。

フレキシブルライザーシステムの設計段階では、ライザー管の構造値および分散ブイによる浮力分布の設計値を用いて、2次元動的挙動解析を実施した。さらにライザー管が懸垂されている面と直交して浮体が運動する場合の3次元動的解析を実施して、本システムは海域実験で十分な性能を有することを確認しました。

フレキシブルライザー管の形状および張力の計測データと動的挙動解析結果を比較検討することにより、ライザー管の平均形状を推定しました。この平均形状と浮体の運動計測値に対して、ライザー管の3次元動的挙動解析を試み、計測データと良く一致する結果が得られております。

## (4) 研究計画

この報告会の最後に、古河電気工業（株）岡本恒雄室長が本共同研究の今後の課題として以下のようにとりまとめました。

本研究では、フレキシブルライザー管固有の研究と並行して、浮体の運動および海中におけるライザー管の位置を精度良く計測できるシステムを開発し、動的挙動の解析と実測結果とを比較検討することにより、解析手法の実用性を実証することができた。

フレキシブルライザーシステムは100年ストームの最大波高12mの条件のもとで設計したが、当初、浮体の水平面内の移動量を推定するデータが少なく、実海域実験の期間中に、この移動量を計測評価したところ、本システムが吸収できる以上の移動量となることが明らかになったため、実験を一時中断せざるを得なかった。このため、フレキシブルライザー管の海中形状をより大きな波状とすることにより、浮体の移動量を完全に吸収できるよう、新しいシステムの設計を進めていることが報告されました。



## 2. 特別講演

### (1) 講演者

シェル石油技術研究所 (KSEPL) ヘンク J. カステライン氏

シェル社は石油の探鉱、生産、輸送、精製を行う世界最大の石油会社の一つ。

氏はシェル入社以来 30 年間、オランダにある技術研究所に勤務し、現在はオフショアエンジニアリングのグループリーダーとして、フレキシブルライザーの評価技術の研究開発に携わっている。

### (2) テーマ

Shell's developments and future trends of offshore oil/gas production system 沖合石油/ガス生産システムにおけるシェルの開発と動向

### (3) 日時

平成元年 4 月 5 日 (水) 14 時~15 時

### (4) 会場

当センター共同研究棟 2 階大会議室 (聴講者: 約 40 名)

### (5) 講演要旨

シェル石油は 1977 年に、フランス石油公社およびエッソとの共同研究により、高圧フレキシブル管の製品性能評価手法の研究開発に着手した。それ以来、シェル石油グループは製造業者との緊密な協力のもとで、大量の試験を積み重ね、研究開発を進めてきた。

フレキシブル管の用途は二つに大別される。

①静荷重を受ける海底フローライン

②動荷重を受けるフレキシブルライザーおよびジャンパホース

フレキシブル管を海底フローラインに利用した方が良いという理由は、敷設コストが低いことであり、鋼管に比べて材料費が高くて、全体でははるかに安くなる。

高圧フレキシブルライザーは浮体式石油生産シ

ステムのスペースおよび重量を節約でき、海底設備との接続手段として魅力的である。したがって、フレキシブルライザーシステムおよび関連ハードウェアの開発には高い優先権が与えられてきた。

高圧フレキシブル管の製造業者は静的利用であれ動的利用であれ同一の構造型を推奨する傾向がある。しかし、動的利用形態では、曲率と張力は時間の経過とともに変動するため、疲労を考慮する必要がある、はるかに条件は厳しい。

シェル石油では高圧フレキシブル管に関して、以下の内容について研究開発を進めてきた。

①高圧フレキシブル管の二つの基本型の評価  
メタル/ポリマー型とメタル/エラストマー型の二つの基本型について性能評価を行ってきた。

②フレキシブル管の信頼性および寿命

高圧フレキシブルフローラインシステムの信頼性および寿命を決める要因として、フレキシブル管の初期強度と耐劣化性がある。

③力学特性の決定

力学特性及び破壊モードに関して、引張り・圧縮・曲げ強度試験、最大内・外圧試験、限界曲率試験を行ってきた。また実験計画を支援するため、解析手法の開発を進めてきた。

④力学的劣化予測手法

フレキシブルライザーシステムのような動的利用形態の使用実績は少ないが、今後増加することが期待されている。寿命予測の第一は環境条件に対するシステムの動的応答解析、第二は耐久性試験であり、このための試験設備を造り、研究を進めてきた。

⑤材料劣化

高圧フレキシブル管の長期保全性に影響する材料劣化要因には、鋼の腐食、合成樹脂の経年変化と化学強度、合成樹脂の急速減圧効果がある。

⑥複合フレキシブルライザーの開発

フレキシブルライザーシステムは海底石油生産

システムと浮体式プラットフォームを接続する有力な手法であるが、係留索とのからみや装置のスペース需要などの制約が大きいので、生産フローライン、制御ライン、信号ラインを複合させた多孔型フレキシブル管の開発を進めてきた。

ダイナミック型の高圧フレキシブル管の開発、試験、そして最終検定は高価かつ時間のかかるものである。これは、複合構造、構成素材、パイプ

製造法の特異性によっているが、使用条件が広範囲であること、信頼性の要求が高いことも関係している。したがって、開発および試験研究を進めるにあたって、利用者と製造業者の協力が非常に重要である。

本共同研究における海域実験に対してシェル石油は重大な関心をもっており、今後の成果を期待している。

深海開発技術部

# 深海掘削計画と JOIDES RESOLUTION

高橋 憲二 Kenji Takahashi 吉武 正湛 Masayasu Yoshitake

## 1. 深海掘削計画の幕開け

深海底を掘削して、地球内部の上部マントルの構造や性質を研究しようという科学者の願いが、最初に具体化したのは1960年に米国国立科学財団（NSF）によってスタートしたモホール（MOHOLE）計画である。そのきっかけは、米国カリフォルニア大学スクリpps海洋研究所のメンバーを中心とした“雑学会”でのWalter Munkの提案である。彼は水深4~5 kmの深海で、あと4~5 kmボーリングし、地殻の下限面であるモホ面及びその直下のマントル物質まで地質サンプルを取り出したらどうか、と提案した。NSFからの資金引き出しに成功した彼等は、1959年、戦後第1回の世界海洋学会議でこの計画を発表した。モホ面まで掘るのでモホール計画（Mohole Project）と名付けられた。計画では、

半潜水式プラットフォームで4200 mの深海底からさらに5700 m、全体で9900 m掘削しようというものであった。

実際の掘削は、1961年、改造されたボーリング船“カスI号”を使用し、東太平洋の3560 mの海底から下へ171 m掘り込むことに成功した。その後、当初の計画に従い、新造の船も造りかけられたが、ベトナム戦争等の理由によりモホール計画は中止の憂き目を見ることになる。

## 2. JOIDESの登場

米国の海洋研究所群はこれであきらめなかった。彼等は計画の修正を行う。モホ面までの掘削は当面あきらめるとして、海底下数百 m程度の掘削を世界的に行おうと考えた。

1964年、JOIDES（Joint Oceanographic Institution for Deep Earth Sampling、深海底サン

プリング海洋研究所共同研究)が結成され、翌年“カドリル号”を使用してテストを開始した。そして、1968年、新造の掘削船“グローマー・チャレンジャー号”<sup>21)</sup>を用いた深海掘削計画 DSDP (Deep Sea Drilling Project) が開始された。この計画は、前記 NSF が資金援助を行い、カリフォルニア大学スクリップス海洋研究所が計画実行の責任を負っていた。

グローマー・チャレンジャー号は世界中の海で数多くのボーリングを行い、プレートテクトニクス説を裏付ける多くの成果を挙げた。

このプロジェクトは、米国のみで開始されたがその後1975年、日本、仏、西独、英、ソ連の五カ国の参加を得て、国際深海掘削計画 IPOD (International Phase of Ocean Drilling) に国際化された。IPOD は3年間続いたが、その後同船の老朽化に伴い新型掘削船の採用を決意するに至る。そこで採用されたのが、1978年に、米国 SEDCO 社と、英国 BP 社の共同所有石油掘削船として建造された“SEDCO/BP-471”<sup>22)</sup>である。

注1) グローマー・チャレンジャー号

1968年、グローバル・マリン社の保有船として米国リビングストン造船所で建造。1968~83年、DSDP にチャーターされ活躍したが現状不明。(同社保有船リストに無し。退役後売船され、船名も変更されたと思われる。)

注2) SEDCO/BP-471

1978年 SEDCO 社(米国)と BP 社(英国)の共有船としてホーカーシドレー社(カナダ)で建造された。登録名は上記のとおりであるが、ODP では JOIDES RESOLUTION 号と呼称されている。本船には同型船(SEDCO-472、三井造船建造)があり、改造前の状態がわかる。

なお、SEDCO 社は、1985年にシュランパージャー社(仏)の子会社であるフォレックスネブチェーン社(仏)に吸収合併され、現社名は SEDCO FOREX 社となっている。

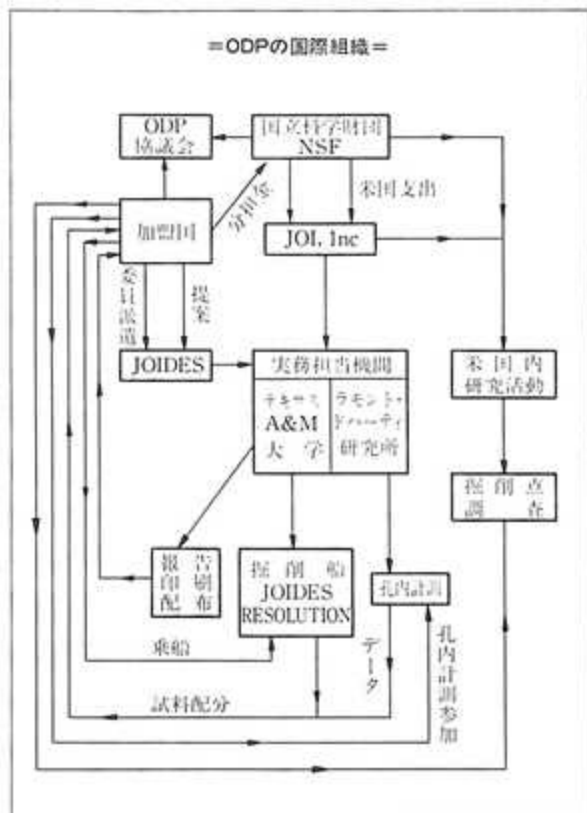
### 3. ODPの発足

SEDCO/BP-471は、1983年、学術研究用に改造され、JOIDES RESOLUTION と命名されプロジェクトにチャーターされた。それとともに、新たに国際深海掘削計画 ODP (Ocean Drilling Program) がスタートすることになる。ODP は、当初、米国、西独、仏、カナダの4カ国で1985年1月から掘削作業を開始したが、日本も同年10月から加盟した。その後オーストラリア、ESF (ヨーロッパ科学財団)も加盟している。ODP に要する費用は、NSF が支出するが、年間3千数百万ドルに及ぶため、一定額を各加盟国(機関)が分担している。

図1のごとく、計画の運営は、学術研究計画を審議する国際組織 JOIDES と、計画実施機関との2本建てである。掘削実施本部はテキサス農鉦

表-1 COMPARISONS BETWEEN GLOMAR CHALLENGER AND JOIDES RESOLUTION (SEDCO/BP 471)

	GLOMAR CHALLENGER	SEDCO/BP 471
Construction completed	March 1968	January 1978
Length x Beam	400 ft x 65 ft	470 ft x 70 ft
Draft	21 ft	24 ft
Displacement	10 600 T	16 700 T
Derrick Height (above water)	196 ft	202 ft
Average Speed	9 kt	11+ kt
Available shaft HP under way	4 500 HP	9 000 HP
Thrusters	Four : 750 HP	Twelve : 800 HP
Maximum Complement	74	116
Scientific Complement	29	50
Scientific Space	4 500 sq ft	12 700 sq ft
Working Drill String	5' to 23,000 ft	5-1/2' and 5' to 30 000 ft
Practical Water Depth Limit	21 000 ft	27 000 ft
Re-entry Water Depth Limit	18 000 ft	20 000 ft
Derrick Capacity	500 T	600 T
Heave Compensator	294 T, Brown Bros. Single Cyl. suspended	400 T, Western Gear Twin Cyl. in-line
Rotary Top Drive	Bowen Hydraulic	Varco Electric
Maximum Sandline Length	26 000 ft	31 000 ft
Cranes	One 50 T, One 15 T	Two 60 T, One 30 T
Dry Bulk Mud/Cement Storage	12 300 cu ft	13 300 cu ft
Liquid Mud Storage	2 480 bbl	3 825 bbl
Fuel Storage	16 735 bbl	21 288 bbl
Drill Water Storage	5 550 bbl	13 000 bbl
Potable/Wash Water Storage	4 517 bbl	1 001 bbl
Fresh Water Distilling Cap.	300 bbl/day	695 bbl/day



**JOIDES の構成機関**

- スクリップス・海洋研究所
- ハワイ大学
- マイアミ大学
- オレゴン州立大学
- ロード・アイランド大学
- テキサス A&M 大学
- テキサス大学 (オースチン)
- ワシントン大学
- ウツプ・ホール海洋研究所
- エネルギー・鉱山資源省, DEMR (カナダ)
- ヨーロッパ海洋掘削総合科学財団 (ベルギー, デンマーク, フィンランド, アイスランド, イタリア, ギリシャ, オランダ, ノルウェー, スペイン, スウェーデン, スイス, トルコ)
- 国立地球科学資源研究所, BGR (西独)
- 国立海洋研究所, IFREMER (フランス)
- 東京大学海洋研究所
- 自然環境研究諮問会, NERC (イギリス)

図一

(A&M) 大学であり、孔内計測に関しては、コロンビア大学ラモント・ドハーティ研究所が担当している。

参考のため、グローマー・チャレンジャー号とジョイデス・レゾリューション号の主要目を表1に示す。

**4. JOIDES RESOLUTION の見学調査**

日本近海伊豆・小笠原弧他の掘削調査第125次と126次航海の間に東京(晴海埠頭他)に本船が寄港した際、海洋科学技術センターとして、その内部を見学調査することができたので、JOIDESのもつ設備を中心にその実際を紹介する。

本船の外観は、その前身である石油掘削船(SEDCO/BP-471)のそれとほぼ同じといえるが、掘削デリック(水線上62m)の前に追設さ



写真一 JOIDES RESOLUTION の全景

れた研究室層が特異な感じを与えている。

**(1) 掘削・サンプリング設備**

船体のほぼ中央上部に位置する掘削設備は、現状の最新の装置を有しており、ダイナミックポジショニング等の操縦支援機能等と合わせ、水深8235m及び掘削深度9150mの掘削を可能とし



写真-2 ヒープコンベンセータ

ている。具体的には、船体動揺を吸収する400トンヒープコンベンセータや、油圧駆動のパイプ結合、離脱装置が装備され、波高10mを超える海象でも能率のよい操作が行える。石油掘削に特有のライザーパイプは、コアサンプリングには今のところ必要としないため、パイプ自動棚は3列に治まっている。

## (2) 科学研究室と設備

### (i) 地層堆積学研究室及び地質物性研究室 (第6甲板):

採取された長さ約9.5m、直径約6.6cmのコアは、まずここブリッジデッキレベルにあるコア研究室において、堆積学及び物性学の面からの分析を受ける。コア全体がそのままMSTシステムによりγ線吸収度及び空胞度が測定され、合わせてP波、磁気感度評価が加えられる。続いてコアは細片に分割され、堆積学に関連して、水分量、振動伝播速度などの物性評価が系統的に実施される。また古磁気測定室では、3軸透過式の氷河期磁気機等によって地質の生成過程、時期が分析・評価される。このように、コアサンプルは、流れに沿って短期間の内に分析・記述され最終的に

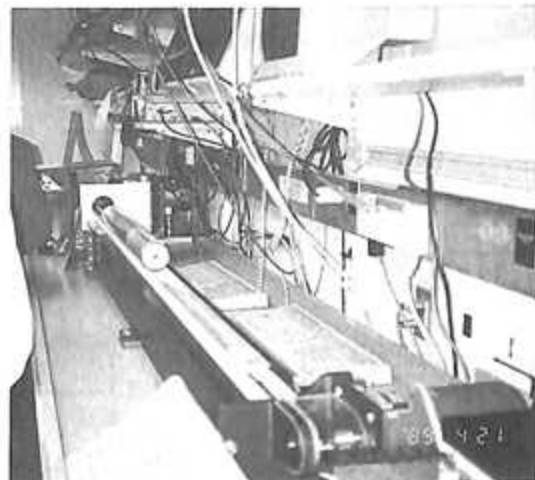


写真-3 MST分析システム



写真-4 氷河期磁気機



写真-5 コアサンプルの流れ



写真—6 ガスクロマトグラフィ他

は、写真映像として記録される。

(ii) 化学分析研究室及び化石学研究室(第5甲板):

第5甲板に位置する化学分析室では、2基のガスクロマト分析機及び蛍光、紫外線分析器による天然ガスの分析等が実施され、化石燃料の可能性についても調査される。またイオンクロマトグラフによるイオントレースも実施されている。同じフロアにある化石学(古生物学)研究室では、8台の顕微鏡、光学分析器及びX線蛍光分析器が装備されており、異なった視点からの地質・地層評価が進められている。

(iii) 計算機室及び研究者談話室(第4甲板):

研究室階層のメインデッキレベルには、研究者ラウンジが設けられており、視聴覚装置を用いた

プロジェクト会議が開催される。この側には、メインフレームとしてVAX 11/750及びMicroVAX 3500を有する計算機室と全船では、45台以上にもなるマイコン端末室が装備され、これらワーク



写真—8 ウォータガン



写真—9 エアガンボトムプロファイラプロッタ



写真—7 研究者ラウンジ



写真—10 セイマミック図

ステーションによる情報ネットワークが完備されている。

以上、4層以下の研究層には、写真処理設備やコア貯蔵、観察設備が設けられている。

これら1～6層に配置された主力研究設備の他に、次の挙げる3つの観測船として重要かつ特異な設備をもっている。

#### ① 孔内計測室

第129次航海、南海トラフでの掘削計画で予定されている掘削孔内の温度・地震計測を行うための各種機器の修理調整室及び Mass comp データ集録設備が最上層（第7層）に追設されている。

#### ② 航走中地球物理観測室

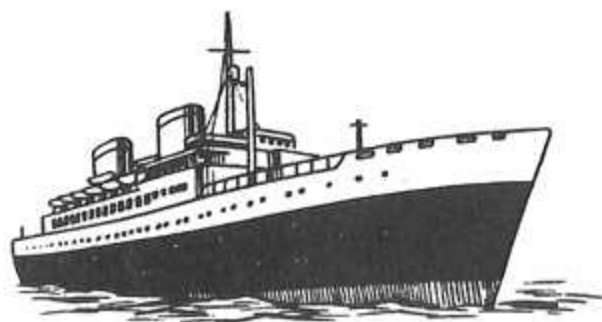
船尾ブームデッキに位置する地球物理観測室では、1.3 cm<sup>3</sup> また 65.5 cm<sup>3</sup> のウォーターガンによる単チャンネル地層地震解析装置、3.5 KHz 及び 12 KHz の高精度深度計及び地磁気計測システムが装備され、航走中中央の計算機システムとは独立した型で、海底地形、地層データ及び地磁気データが、計測・解析・

表示記録される。この概査に当たるシステムの稼働率は高く、エアガン、地磁気計等は二重に装備されている。

#### ③ ダイナミックポジショニングシステム

荒海での掘削作業を可能とするために、本船には船底部に装備する12基のスラストを制御することで、定位置を高精度で保持するダイナミックポジショニングシステムが備えられている。このための音響測位方法として従来から持つSSBL方式に加えSBL、LBL方式が改造時追設されている。

以上のように、設備構成等を調査し、その実績をみることから、純学術研究のための国際協力事業として研究の計画立案、運営が堅実に行われていることが理解され、また国際的な開放研究室としての有効な存在を印象づけられた。本年末まで計画されている伊豆小笠原、日本海及び南海トラフでの孔内計測を主体とした掘削調査成果が期待される場所である。



# 「しんかい6500」に乗船して

運航部 福井 勉  
Tsutomu Fukui

海洋科学技術センターが開発建造中の「しんかい6500」は、我が国の科学技術の粋を集めて建造されている世界一の潜航深度を有する潜水調査船である。この「しんかい6500」の運用技術要員ということで、同船の試験潜航に乗船する機会を得た。

実際に乗船して操縦システム、通話システム、緊急離脱システム等の説明を、実物を見ながら聞いていると「しんかい2000」よりも格段に優れていて、ここ10年足らずの間の技術の進歩に目を見張るばかりである。

いよいよ潜航開始だ。10m、20mと静かに潜航していく、船体の動揺は全くない。視窓から見る海はもう薄暗くなり、無数のマリンズノーが見えてきた。水深500mに達すると、窓の外は真っ暗やみであるが、投光器で照らされた視界を色々な生物が移動していくのが見える。とても幻想的な世界だ。この「しんかい6500」は、非常に操

縦性がよく、人間の手足を扱うように水中を自由に走り回れるようだ。

これは、サイドスラスタ等の配置が非常にバランスよく配置されていること、そしてパイロット用の視窓も船体中央前部に配置されているため、操船に特に重要な前方視界が極めて良いこと等の結果と思われる。

さあ、これから試験開始だ。各種搭載機器のテストが始まる。どれも順調に作動しているようだ。視窓にカメラをセットし、生物が視界に入ってくるのを待つ。この日は生物が比較的少ないな



写真1 母船「よこすか」格納庫内で整備中の「しんかい6500」



写真2 観測ソーナー

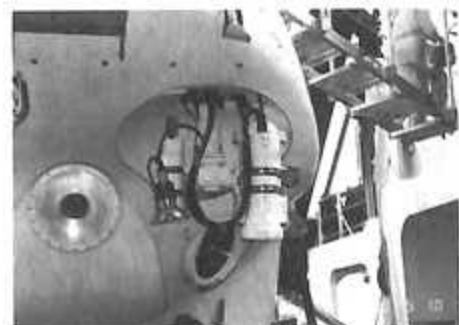


写真3 左舷前部の施回俯仰式テレビカメラとステレオカメラ



写真-4 右舷前部の固定式テレビカメラと施回俯仰式投光器

と思ったが、ソコグラ、エビ等が観察できた。9時に潜航を開始してから15時に母船に揚収されるまでの数時間は、あっという間に経ってしまった。今日は私にとって非常に感動的な1日であった。

今回の体験を通じて、深度2000mまでは、「しんかい2000」によって解明されつつあるが、こ

表-1 「しんかい2000」と「しんかい6500」との比較

項目	「しんかい2000」	「しんかい6500」
耐圧殻は「しんかい2000」が採用していた超高張力鋼板と比べ、より軽量で、超高張力鋼板並みの強度を確保でき、海水に侵されないチタン合金を使い、操縦・機器操作に必要な情報を総合的に9インチカラーCRTに表示し、磁気バブルカセットに記録する総合情報表示装置が設けられた。		
全長	9.3m	9.5m
幅	3.02m	2.7m
高さ	2.92m	3.2m
重量(空中)	23.2t	25.0t
最大潜航深度	2000m	6500m
乗員	3名	3名
ペイロード	100kg	200kg
ライフサポート	8時間+3日	9時間+5日
水中速力(最大)	3kt	2.5kt
耐圧殻本体	超高張力鋼板 NS90製 内径×肉厚 φ2200mm球× 30mm	チタン合金 Ti-6AL-4V ELI製 φ2000mm球× 73.5mm
視窓	メタクリル樹脂製 φ120mm×90mm×2 φ80mm×60.5mm ×1	メタクリル樹脂製 φ120mm×138mm ×3
浮力材	シタクチック フォーム 比重 0.537 圧壊強度 500kgf/cm <sup>2</sup>	シタクチック フォーム 0.54 1200kgf/cm <sup>2</sup>
推進操縦装置	主推進首振 左右舷各60° 補助推進界×2 首振水平垂直	主推進首振 左右舷各80° 垂直スラスタ×2 水平スラスタ×1
バラスト調整方法	ショットバラスト 投棄用電磁栓×1	鋼板 離脱用アクチュエータ 油圧式×4



写真-5 格納状態のマニピュレータ、グラバ、採集物入れ

の「しんかい6500」の完成に伴い、これを有効に利用することにより海のペールをさらに一歩一歩解明していくことに誇りを覚えるとともに、私もこの最新鋭の潜水船を、より安全に運航していくことの責任を感じた。

以下「しんかい2000」と「しんかい6500」の比較を表にしてみた。

項目	「しんかい2000」	「しんかい6500」
船位測定	トランスポンダ	同期ピンガ 音響測位装置
前方監視	前方障害物 探知ソナー	観測ソナー (写真-2)
救難ワイロープ	ケブラー 29φ3.4mm×3300m 浮力材 140ℓ	合繊ロープ φ24mm×50m 浮力材 150ℓ
流向流速計	サーボニアスロータ ペーン式	超音波式
塩分、水温、深度測定器	STD	CTDV
水中テレビカメラ	可変焦点 モノカラー 旋回俯仰式×1 (建造時)	ズーム式 可変焦点 自動絞り式カラー 旋回俯仰式×1 (写真-3) 可変焦点 絞り式カラー 固定式×1(写真-4)
VTR	カセット式(β1) (建造時)	カセット式 (S-VHS)
マニピュレータ 持ち上げ力(水中)	ON-OFF制御方式 20kgf	マスタースレープ方式 30kgf(写真-5)
グラバ 持ち上げ力(水中)	なし	ジョイスティック方式 50kgf(写真-5)
採集物入れ	800mm×500mm ×300mm 固定式	800mm×800mm ×200mm 油圧駆動旋回出し 入れ式(写真-5)
主蓄電池の長寿命化、インバータ主回路部を油漬とし重量の軽減、油漬電線チタンコネクタ採用で小型軽量化、マニピュレータとグラバが取付けられ両手作業ができ、マニピュレータは卵を割らずにつかめるなど最新の工学技術とハイテク技術が採用されている。		

## 第15回科学技術庁長官賞の研究功績者に 当センター海洋開発研究部の工藤君明副主幹

情 報 室

平成元年度の科学技術庁長官賞の研究功績者（46件、46名）に当センターで初めて、海洋開発研究部の工藤君明副主幹（41歳）が没水平板型波浪集中消波技術の研究で受賞された。研究業績の概要は次のとおりである。

沿岸海域の海岸整備は、従来の堤防等による線的防護方式から、海浜の整備を重視する面的なものに移行しつつある。海浜の保全育成を図り、防災効果とともに快適で潤いのある海岸環境を創出すること、さらに沿岸水域における有用水産生物の生息環境を好適なものに改変する海域制御技術の研究開発が強く望まれていた。

氏は、これらの要請に応えるため没水する平板状構造物により、波の向きを変える、波を集めて波高を大きくする、波を砕く等、沿岸波浪の制御技術の研究を行い、特に沖合いから押し寄せる海洋波を岸側の一点に集中させることにより、この波から波浪エネルギーを吸収して有効に利用することができる技術を開発した。没水平板による波浪制御は我が国では初めての試みであり、水槽試験及び理論解析により、没水平板形状や構造形式の設計手法を確立した。

この研究の成果は、静穏海域を造成する新しい波浪制御法として、その利用が大いに期待される。また波力発電と組み合わせ得られる電力から海中で電着構造物を造成すれば多目的かつ経済的な海域制御法として用いることができるので、国及び地方自治体から提案されている沿岸海域の総合利用構想における基本技術への活用が期待される。

この受賞は、センターの各分野の研究もいよいよ質的に深化された基盤の上であり、その一例が斯界に認知されたもので喜ばしく、同氏の一層のご研鑽を期待するとともに、同氏を含めて、今後、センターから多くの方々が、このような国・学会等の表彰の栄に浴されるものと期待される。

## 編 集 後 記

本号の巻頭言に当センターの第2代理事長久良知章悟氏のお言葉を賜わった。ご多忙中にもかかわらず、将来のセンターのための貴重なご意見を頂戴し、明確な方向付けを見る思いである。今後とも暖かい励ましを頂けるものと期待するとともに同氏に改めてお礼を申し上げる。

米国の海洋科学技術政策について、ご活躍の日本大学理工学部海洋建築工学科の近藤健雄先生にご紹介頂いた。先生には最近特にお忙しく、やや健康を害され、1カ月程ご静養なさっていたのもかえりみず、ご無理を申し上げた。改めてお礼を申し上げる。

最初にお祝いをご紹介致したい。本文にも掲載されているが、平成元年度の科学技術庁長官賞の研究功績者にセンターで初めて、海洋開発研究部の工藤君明副主幹が没水平板型波浪集中消波技術の研究で受賞された。先日、内輪のお祝いの会があり、編集子も出席させて頂いた。その席で、何人かの方が述べておられたが、同氏の努力はもとより、この研究を支援なさった友人・同僚の協力と総務関係のバックアップ等があって受賞されたものであろう。したがって、同氏のますますのご研鑽を期待するとともに、同氏を含めて、今後、センターから多くの方々が、このような国・学会等の表彰の栄に浴されるものと期待される。

前号に共同研究の「三浦半島周辺海域の生物・底質調査」の掲載を蟹江康光（横須賀市自然博物館）・服部陸男（深海開発技術部）の両氏にお願いしたが、これは幾つかの点で誠に意義あるものと考えている。一つは大陸棚から大

陸斜面にかけての調査が我が国では一部地域を除き、必ずしも十分ではない点、二つは関東地域ばかりでなく全国的レベルで多くの国民に親しまれ、興味を持たれている海域である点、三つはセンターが立地する横須賀市との共同研究がかなりなハイ・レベルで継続されてきた点、四つは今後この研究を含めて、このような共同研究が海洋学の発展、さらには水産増養殖・地域振興等に寄与し、ひいては地元の積極的なご理解とご協力が頂け、好ましい環境が醸成され得る点、等々である。したがって、現在行われている高知県・熊本県・沖縄県等との地域共同研究開発はもとより関係の深い地方自治体等との共同研究は積極的に対応していくことが必要であるものと思う。

今回も、特別講演の紹介を海洋開発研究部の工藤君明氏にお願いをした。特別講演を毎回拝聴して感じて感ずることは、特別講演を主催する研究部が毎回大体同じであることである。前号の編集後記に聴講するメンバーもやや固定していると述べたが、各研究部・技術部が競い合っていて、部や研究グループのレベルで、その大小にかかわらず、内輪の勉強会・雑誌会等をどしどし開催し、これには専門分野を越えて参画し、境界領域や異分野にまで入り込んでお互いに勉強し、若い研究者・技術者もそうでない方々も一緒に議論する。このような雰囲気センターに充満し、これが習慣となることをこの際、是非とも期待致したい。実際は、各部屋で勉強会等が積極的に行われており、編集子のみが認識していないのであればお許し頂きたい。

以上、編集子がかかなり勝手な私見を述べたが、お許しを乞う次第であるとともに第3号発行に当り、ご執筆・ご協力頂いた関係各位に改めてお礼を申し上げる。(S生)

刊行物編集委員会委員及び作業部会専門委員

委員長	問山 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 拡政	宗山 敬
	若狭 将治 (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
	時武弘敏 (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)		森 良夫	喜多河康二
	中野勝正 (潜水技術部長)		青木太郎	坂倉勝海
	濱田 馨 (運航部長)			
	須崎 祐吉 (情報室長)			

JAMSTEC 第1巻 第3号

1989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)

