

# 年報

平成14事業年度



# 年 報

 海洋科学技術センター

平成14事業年度

写真で見る 海洋科学技術センターのあゆみ



「地球シミュレータ」世界最高の演算性能を達成 4月

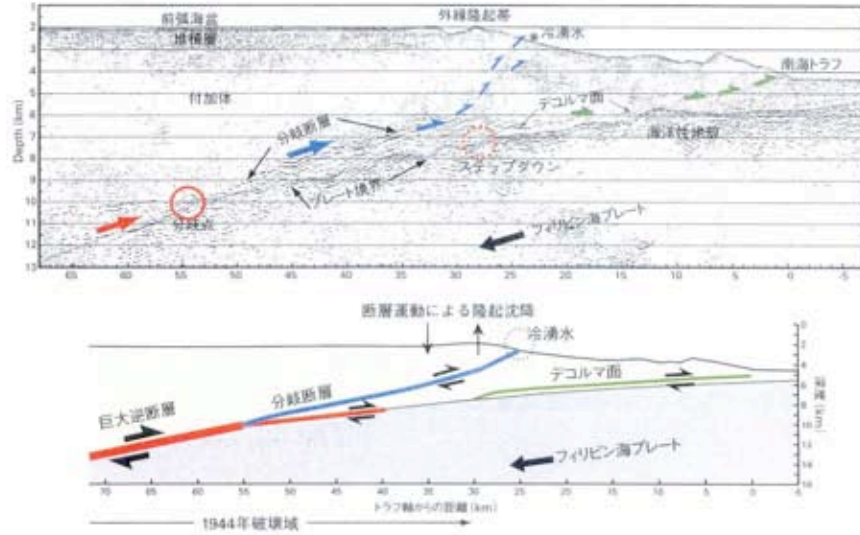


深海巡航探査機「うらしま」が駿河トラフ縦断に成功 7月



「横浜研究所」開所式 8月

プレート境界との分岐断層のイメージング図



熊野灘沖における深部構造断面模式図

熊野灘沖南海トラフ地震発生帯で明らかになった分岐地震断層とその役割 8月



「トライトンブイ」18基をすべて展開 8月



マリンサイエンススクール実施 8月

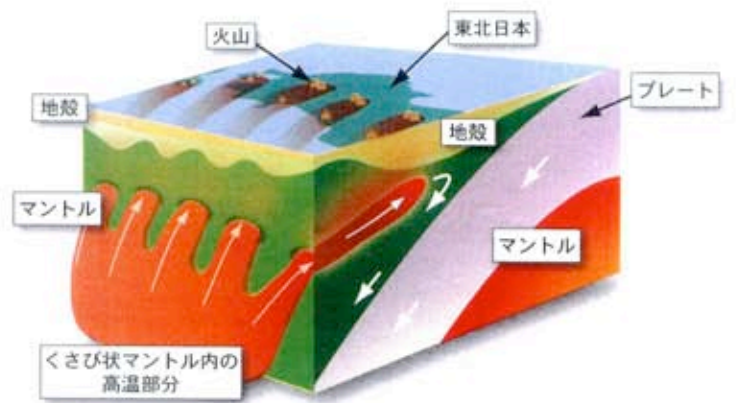


国際シンポジウム及び国際海洋研究機関長会議(ラウンドテーブル)開催 9月





第1回地球シミュレータセンターシンポジウム開催 9月



火山帯の起源となるマントル内の指状の高温領域「熱い指」の発見 9月



「地球深部探査センター」発足 10月



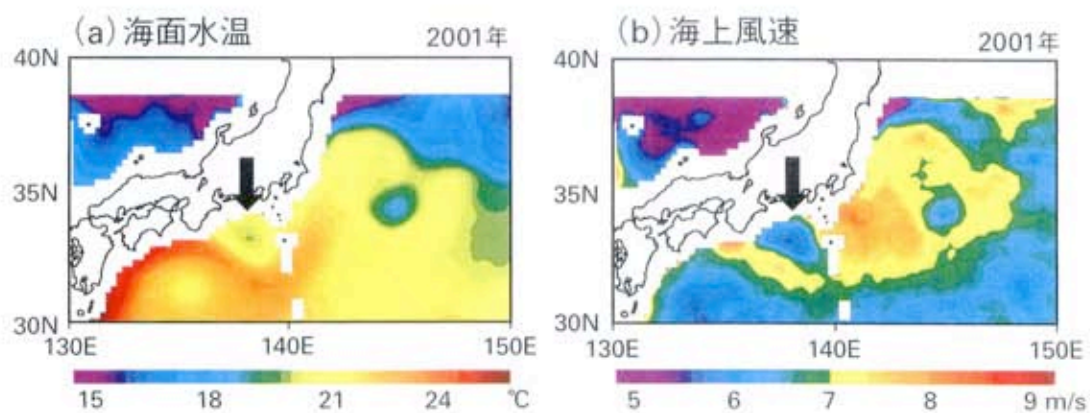
横須賀本部でINMARTEC2002開催 10月



「地球シミュレータ」を用いた研究成果が「2002年ゴードン・ベル賞」を受賞 11月



有人潜水調査船「しんかい2000」運航休止 11月



黒潮が日本周辺の気候へ与える影響を衛星観測データから発見 12月



アジア・西太平洋海洋研究ネットワーク研修実施 12月



総合学習でセンターを見学する学校増加 2月



毛利宇宙飛行士「しんかい6500」で潜航調査 3月



「ハガキにかこう海洋の夢」絵画コンテスト実施  
(写真は文部科学大臣賞) 3月

# 序

2002年の夏には人類発祥の地であるアフリカ大陸のヨハネスブルグで、“持続可能な開発に関する世界首脳会議”が開催され、またリオデジャネイロの地球サミットから丁度十年の節目を迎え、地球環境問題は世界の人々にとってますます大きな関心事となっています。また、2003年夏にはアメリカ合衆国のワシントンD. C. で“地球観測サミット”が開催され、地球観測を各国が協力して体系的に実施する検討も始まっています。

地球環境問題を解決するには、その基礎となる地球の現状を正しく把握し、未解明な地球システムのメカニズムについての科学的知識を蓄積し、これに基づく正確な予測と対策が求められています。そのため、日本における海洋科学技術の総合的試験・研究機関である海洋科学技術センターへの期待は大きく、センターが所有する海洋調査船、各種観測ブイ、有人潜水船及び無人探査機などによる観測成果をもとに、地球シミュレータなどを駆使した解析成果を広く社会に還元してゆく所存です。

このような決意のもと本事業年度においては、「横浜研究所」の施設が完成し、8月に遠山文部科学大臣のご臨席を賜り開所式をとり行いました。この横浜研究所は、「地球シミュレータ」の研究開発・運用センター、地球フロンティア研究システム等の研究拠点、当センターの総合情報センター及び海洋・地球研究成果の社会への発信基地の4つの役目を通じて、地球環境問題の解決のため種々の研究開発に大きく貢献いたします。

9月には、当センター創立30周年を記念して世界の主要な13の海洋研究機関から所長を招き、「21世紀の海洋科学」をテーマに「国際海洋研究機関長会議」を開催し、討議された結果を「横須賀宣言」にまとめ世界に向けて発信いたしました。

10月には、平成17年の完成を目指して現在建造が進められている地球深部探査船「ちきゅう」の運用を担う「地球深部探査センター(CDEX)」が発足し、平成15年10月からスタートする国際共同研究計画「統合国際深海掘削計画(IODP)」を強力にサポートいたします。

11月には、昨年3月から本格稼働しています「地球シミュレータ」の解析プログラムの開発に対し、科学技術計算において最も優れた業績に与えられる権威ある賞「2002年ゴードン・ベル賞」が授与されました。

当センターは平成16年4月をもち独立行政法人として生まれ変わるのを機に決意を新たに、これまで以上に積極的かつ効率的にわが国の海洋・地球科学技術の研究を強力に推進いたします。

この年報は、平成14年度における当センターの事業概要をまとめたものです。この冊子により、当センターの活動内容及び海洋・地球科学技術に関する研究開発について、皆様方のご理解を賜ることができれば幸いです。今後とも当センターに対する一層のご支援とご協力を賜りますようお願い申し上げます。

平成15年11月

海洋科学技術センター  
理事長 平野 拓也

# 年 報

## 目 次

### 第1章 総説

1. 事業概要	1
2. 組織と定員	6
3. 予算と決算	8
4. 各拠点紹介	10
5. 国際交流	18

### 第2章 研究開発活動

1. 深海研究部	21
2. 海洋技術研究部	39
3. 海洋観測研究部	46
4. 海洋生態・環境研究部	61
5. 情報業務部	75
6. 極限環境生物フロンティア研究システム	76
7. 固体地球統合フロンティア研究システム	89
8. 地球フロンティア研究システム	113
9. 地球観測フロンティア研究システム	147
10. 深海地球ドリリング計画	157
11. 国際陸上科学掘削計画	163
12. 地球シミュレータセンター	164
13. むつ研究所第1研究グループ	167

### 第3章 研究支援活動

1. 情報業務	173
2. 研修事業	181
3. 研究業務部	184

### 第4章 研究評価

1. 研究課題評価	199
2. 研究開発の費用対効果・計量的評価の手法に関する検討	202

### 第5章 賛助会会員

	205
--	-----

# 第1章 総説

## 1. 事業概要

海洋科学技術センターでは、我が国の海洋開発推進のため、内外の関係各機関との緊密な連携のもとに、平成14事業年度も、研究開発事業、研修事業、情報業務及び施設・設備の整備と供用等の事業を実施した。

各事業の概要は、次のとおりである。

### (1) 研究開発事業

当センターでは、研究開発の目的、内容、進捗状況を勘案した上で研究を、プロジェクト研究、特別研究、経常研究に区分し、年度当初に策定した計画にしたがって研究を行うとともに、情勢の変化や自由な発想に基づく創造的な研究を年度途中においても随時実施できるような柔軟な体制により研究開発を行っている。また、内外の関係機関の要望や協力の下に、受託研究及び共同研究を行っている。

平成14事業年度に実施した各研究開発事業は、次のとおりである。

#### 1) プロジェクト研究

当センターでは、経済社会の発展に寄与し、海洋科学技術の向上に資することを目的として、重要または大規模もしくは総合的な研究・開発をプロジェクト研究として推進することとしており、平成14事業年度には、表1に示すテーマをプロジェクト研究として実施した。

#### 2) 特別研究

当センターでは、経常研究等の基礎的研究成果に基づき、将来プロジェクト研究に発展させるための研究・開発を特別研究として推進することとしており、平成14事業年度には、表2に示すテーマを特別研究として実施した。

#### 3) 経常研究

当センターでは、個々の研究者の研究開発能力を活かした自由な発想の研究課題もしくは将来、特別研究、プロジェクト研究に発展する研究課題を経常研究として推進することとしており、平成14事業年度には、表3に示すテーマを経常研究として実施した。

#### 4) 受託研究及び共同研究

当センターでは、海洋科学技術に関するもので、センターにとって実施することが有益であり、他機関から実施を依頼された研究を受託研究として行うこととしており、平成14事業年度には表4に示すテーマを受託研究として実施した。

また、他機関と相互にその研究開発能力、研究成果を利用することにより、経費の削減、研究に要する期間の短縮及び優れた研究成果が得られる研究を共同研究として行うこととしており、平成14事業年度には表5に示すテーマを共同研究として実施した。

### (2) 研修事業

当センターでは、研究開発の成果を広く一般に普及し、我が国における海洋科学技術の推進に必要な人材の養成に資するために研修業務を行っている。平成14年度には、「潜水技術研修」と「潜水業務管理研修」を実施するとともに、高校生を対象とした「サイエンスキャンプ」と、日本財団の補助事業として小・中学生、高校生、大学生、高校教諭等を対象とした「マリンサイエンス・スクール事業」、アジア・西太平洋諸国の研究者・技術者を招聘した「アジア・西太平洋海洋研究ネットワーク研究」を開催した。

### (3) 情報業務

当センターでは、研究開発に必要な内外の海洋科学技術文献(図書、雑誌、会議資料、技術レポート等)の収集を行うとともに研究成果を内外に広く発表し、普及させるため、各種報告書を刊行した。当センター刊行物「Blue Earth」を全国の主要な図書館等へ配布し、定期購読希望者には有料配布を行った。日本財団補助事業として、「ハイパー海洋地球百科事典」を制作、ホームページに公開し、青少年への海洋地球科学に関する知識の啓蒙、普及を促進した。また、海洋情報データベースの構築、スーパーコンピュータシステムの運用を行った。

### (4) 船舶等の業務

当センターでは、上記の各事業を推進するため、2,000m級潜水調査船システム(有人潜水調査船「しんかい2000」、支援母船「なつしま」及び陸上整備場)無

人探査機「ドルフィン-3K」、10,000m級無人探査機「かいこう」、3,000m級無人探査機「ハイパードルフィン」、海洋調査船「かいよう」、6,500m級潜水調査船システム（有人潜水調査船「しんかい6500」、支援母船「よこすか」及び陸上整備場）深海調査研究船「かいいい」及び海洋地球研究船「みらい」を保有しており、平成14事業年度におけるこれら船舶等の運用実績は次のとおりである。尚、平成15年度より有人潜水調査船「しんかい2000」は運用を休止し、無人探査機「ドルフィン-3K」は運用を終了する。

1) 「なつしま」

「しんかい2000」「ドルフィン-3K」「ハイパードルフィン」「UROV-7K」の潜航支援を行い、平成14事業年度の総航海日数は259日となった。

2) 「かいよう」

「ハイパードルフィン」の潜航支援のほか、各種海洋観測及び深海曳航等の調査を実施し、平成14事業年度の総航海日数は278日となった。

3) 「よこすか」

「しんかい6500」の潜航支援のほか、単独調査を行い、平成14事業年度の総航海日数は297日となった。

4) 「かいいい」

「かいこう」の潜航支援のほか、単独調査及び海底下深部構造調査を行い平成14事業年度の航海日数は288日となった。

5) 「みらい」

平成13年度に引き続いて共同利用型運航5航海を実施し、平成14事業年度の総航海日数は311日となった。

6) 「しんかい2000」

南西諸島、駿河湾、相模湾、南海トラフ、伊豆・小笠原において、計79回の潜航を実施した。

7) 「しんかい6500」

千島海溝、南海トラフ、相模湾、駿河湾、南西諸島、ハワイ諸島周辺、ジャワ・スダ海溝にて計73回の潜航を実施した。

8) 「ドルフィン-3K」

「しんかい2000」事前調査のほか調査潜航を鹿児島湾において計23回の潜航を実施した。

9) 「ハイパードルフィン」

三陸沖、相模湾、十勝沖、南西諸島、駿河湾において計74回の潜航を実施した。

10) 「かいこう」

北西太平洋、釧路十勝沖、日本海溝、南海トラフ等の日本周辺海域及びマリアナ海溝、西フィリピン海において計54回の潜航を実施した。

表1 プロジェクト研究

	項目	実施期間	担当部・室・課
1	映像技術に関する研究	平成10～14年度	海洋技術研究部
2	動力源に関する研究	平成10～14年度	海洋技術研究部
3	水中音響技術に関する研究	平成10～14年度	海洋技術研究部
4	計測及びセンサ技術に関する研究	平成10～14年度	海洋技術研究部
5	成層圏プラットフォーム搭載用海洋観測センサに関する研究	平成10～16年度	海洋技術研究部
6	自律型無人潜水機の研究開発	平成10～16年度	海洋技術研究部
7	海洋底ダイナミクスの研究	平成10年度～	深海研究部
8	深海調査研究支援	平成8年度～	研究業務部
9	深海底ネットワーク総合観測システムの開発・整備	平成8年度～	深海研究部
10	サンゴ礁再生技術の研究開発	平成13～14年度	海洋生態・環境研究部
11	中・深層生態系に関する研究	平成12年度～	海洋生態・環境研究部
12	深海生態系に関する研究	平成9年度～	海洋生態・環境研究部
13	海洋エネルギー利用技術の研究開発	平成元～15年度	海洋技術研究部
14	沿岸環境・利用の研究開発	平成10～17年度	海洋生態・環境研究部
15	熱帯域における大気・海洋観測研究	平成13～18年度	海洋観測研究部
16	海洋大循環による太平洋の熱・物質輸送とその変動に係る観測研究	平成14年度～	海洋観測研究部
17	北極海域における海洋観測技術の開発及び観測研究	平成3～18年度	海洋観測研究部
18	海洋の化学環境変化の把握に係る観測技術の開発及び観測研究(旧称:海洋の物質循環に係わる観測技術の開発及び観測研究)	平成14年度～	海洋観測研究部
19	北太平洋時系列観測研究	平成12～17年度	むつ研究所第1研究グループ
20	海洋環境変遷の解明に関する研究	平成11年度～	むつ研究所第1研究グループ
21	海洋観測研究支援	平成8年度～	研究業務部
22	深海地球ドリリング計画の推進	平成2年度～	深海地球ドリリング計画推進室
23	地球フロンティア研究システム	平成9年度～	フロンティア研究推進室
24	地球観測フロンティア研究システム	平成11年度～	フロンティア研究推進室
25	極限環境生物フロンティア研究システム	平成13年度～	フロンティア研究推進室
26	深海バイオベンチャーセンターの運営	平成13年度～	フロンティア研究推進室
27	固体地球統合フロンティア研究システム	平成13年度～	フロンティア研究推進室
28	地球シミュレータ計画推進	平成13年度～	横浜研究所情報業務部

表2 特別研究

	項目	実施期間	担当部・室・課
1	インドネシア周辺ジャワ～スンダ海溝系における総合的地球科学的研究	平成12～14年度	深海研究部
2	海洋性島弧(伊豆・小笠原、マリアナ)の形成史に関する研究	平成12～14年度	深海研究部
3	氷海域における無人潜水機技術の研究	平成10～14年度	海洋技術研究部

表3 経常研究

項目		実施期間	担当部・室・課
1	潜水調査船・無人潜水機を利用した海洋放射能測定に関する研究	平成10～14年度	深海研究部
2	ケーブル式観測装置を用いた津波および地殻変動の研究	平成11～14年度	深海研究部
3	ガスハイドレート形成域におけるメタンフラックスのモニタリングに関する基礎研究	平成12～14年度	深海研究部
4	掘削孔を利用する地球物理学的計測の基礎研究	平成12～14年度	深海研究部
5	大西洋中央海嶺下における海洋地殻形成に関する研究	平成12～14年度	深海研究部
6	海洋の上部マントルの地震学的研究	平成13～15年度	深海研究部
7	掘削試料と孔内計測データを用いた海底地質解析法の高度化	平成13～15年度	深海研究部
8	同位体地球化学による海底拡大系でのマグマ供給系の研究	平成13～15年度	深海研究部
9	海底地震観測に見られる地震波形特性の分析研究	平成13～15年度	深海研究部
10	海底での自然電位分布測定に関する基礎研究	平成13～15年度	深海研究部
11	掘削孔内における熱・水理学的計測の基礎研究	平成13～15年度	深海研究部
12	海底における広帯域地震計測システムの基礎研究	平成13～16年度	深海研究部
13	Geological and geophysical study of the Mariana Basin	平成14～16年度	深海研究部
14	親潮・黒潮混合域の堆積システムの解明	平成14～16年度	深海研究部
15	スロー地震による津波発生・伝播過程の定量的評価	平成14～16年度	深海研究部
16	海底地電位差計の開発	平成14～16年度	深海研究部
17	背弧海盆形成に関する研究	平成14～16年度	深海研究部
18	電磁パルスによる海底下探査装置の研究	平成14～16年度	海洋技術研究部
19	高性能(軽比重・高強度)浮力材の研究	平成13～16年度	海洋技術研究部
20	炭酸系の高頻度測定に関する研究	平成12～14年度	海洋観測研究部
21	海洋大循環と熱・物質分布に関する予備的研究	平成12～14年度	海洋観測研究部
22	フロン及び類似溶存気体の測定と海洋学への応用に関する研究	平成13～15年度	海洋観測研究部
23	中緯度太平洋から熱帯域へのENSOシグナルに関する基礎的研究	平成14～18年度	海洋観測研究部
24	熱帯海洋上での降水量計測手法の検証	平成14～16年度	海洋観測研究部
25	深層水の水質評価に関する研究	平成12～14年度	海洋生態・環境研究部
26	サンゴ礁海域におけるサンゴの卵・幼生の輸送過程の研究	平成13～15年度	海洋生態・環境研究部
27	高温高圧耐性を持つ透過膜に関する基礎研究	平成13～15年度	海洋生態・環境研究部
28	サンゴの元素取り込み過程に関する基礎研究	平成13～15年度	海洋生態・環境研究部
29	底生樹状動物の表現系の研究	平成14～16年度	海洋生態・環境研究部
30	クラゲ類の形態・遊泳・胃内容物の関連性に関する研究	平成14～16年度	海洋生態・環境研究部
31	顕微測光法によるゲノムサイズ測定法の確立	平成14～15年度	海洋生態・環境研究部
32	海洋環境変化と石灰質プランクトンの応答に関する基礎的研究	平成14～16年度	むつ研究所第1研究グループ

表4 受託研究

項目		実施期間	委託元予定者	担当部・室・課
1	雲仙火山：科学掘削による噴火機構とマグマ活動解明のための国際共同研究	平成11～16年度	文部科学省	深海研究部
2	炭素循環に関するグローバルマッピングとその高度化に関する国際共同研究	平成10～14年度	文部科学省	海洋観測研究部

表5 共同研究

	項目	実施期間	共同研究相手方	担当部・室・課
1	海洋底における地震・地殻変動ネットワーク観測基礎研究	平成11～14年度	東京大学地震研究所	深海研究部
2	海底ケーブルによる電界変動計測の研究	平成12～14年度	防災科学技術研究所	深海研究部
3	海洋底における電磁場変動ネットワーク観測基礎研究	平成12～14年度	東海大学地震予知 研究センター	深海研究部
4	掘削孔地震・地殻変動観測における掘削孔の挙動評価	平成13～15年度	東京大学地震研究所	深海研究部
5	海洋放射能測定検出器の運用とデータ解析手法に関する研究	平成13～15年度	日本原子力研究所、 日本海洋科学振興財団	深海研究部
6	光地震計の低周波応答改善に関する研究(旧称:光ファイバー地震センサーの低周波応答改善に関する研究)	平成13～15年度	沖電気工業(株)	深海研究部
7	フレキシブルパイプの動的挙動の研究	平成12～14年度	九州大学応用力学研究所、 海上技術安全研究所、 川崎重工業(株)	海洋技術研究部
8	熱水ブルーム観測技術に関する研究	平成12～15年度	電力中央研究所	海洋技術研究部
9	浅海用ハイブリッド型(AUV/ROV)無人潜水機の研究開発	平成13～16年度	広和(株)	海洋技術研究部
10	ナノ・マテリアルを用いたガス貯蔵の研究	平成14～16年度	(株)日本製鋼所	海洋技術研究部
11	培養装置の耐熱型禁圧ペロースに関する研究	平成14～16年度	三菱重工業(株)神戸造船所	海洋技術研究部
12	海洋試料に含まれる長寿命放射性核種測定の高感度・高精度化に関する研究	平成11～14年度	国立環境研究所	海洋観測研究部
13	熱帯太平洋域の中層及び深層循環の構造と変動特性の観測研究	平成10～14年度	東京大学海洋研究所	海洋観測研究部
14	北太平洋における広域CO <sub>2</sub> フラックスの算出に関する研究	平成12～16年度	気象研究所	海洋観測研究部
15	東シナ海におけるGLI海洋チャンネルの代替校正及び高次成果物検証に関する共同研究	平成13～15年度	宇宙開発事業団、 EORC	海洋観測研究部
16	西部北太平洋及びその縁辺海における放射性炭素の循環に関する研究	平成13～15年度	日本原子力研究所むつ 事業所	海洋観測研究部
17	海洋深層水と温泉水の熱エネルギー利用に関する研究	平成12～14年度	北海道立地質研究所	海洋生態・環境研究部
18	中・深層生物の長期飼育技術に関する研究	平成12～14年度	モンテレー湾水族館研究所	海洋生態・環境研究部
19	ニホンウナギの産卵生態に関する調査研究	平成12～14年度	東京大学海洋研究所	海洋生態・環境研究部
20	富山湾深層水の特性解明に関する研究	平成12～14年度	富山県水産試験場、 富山県衛生研究所	海洋生態・環境研究部
21	海洋深層水の産業利用に関する研究	平成13～15年度	キッコーマン(株)、サン スター(株)、サントリー (株)、日本水産(株)	海洋生態・環境研究部
22	海洋における大容量リアルタイム通信技術に関する研究	平成13～17年度	宇宙開発事業団	研究業務部
23	南海トラフ沈み込み帯における長周期海底電磁観測	平成14～15年度	東京大学地震研究所	深海研究部
24	南海トラフにおける海底微細構造の探査	平成14～15年度	東京大学海洋研究所	深海研究部
25	深海微生物培養装置における耐熱培養槽に関する研究	平成14～16年度	三菱重工業(株)	海洋技術研究部

## 2. 組織と定員

本年度の組織及び定員は表1に示すとおりである。

定員については、研究開発基盤技術の推進のため課長1名、係員4名、地球温暖化研究の推進のため研究副主幹1名、研究員1名、巨大災害被害軽減対策技術の推進のため課長代理1名、組織・定員の充実・強化のため課長1名、情報管理分野の研究開発の推進のため研究員2名、情報公開に向けた文書管理の強化のため係員1名、併せて12名の増員を行い、研究業務部運航チーム整備員3名、パイロット1名、施設の建設・保守・維持・整備担当の係員1名、併せて5名の減員を行った。

なお、本年度は、役員10名(内非常勤5名)、職員251名の合計261名(前年度254名 16名増員 5名減員)となった。

表1 組織及び定員(平成14事業年度)

定員			
役員	職員		
10(内非常勤5)	251		
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content;">                     会長 理事長 監事                 </div>	総務部	次長	総務課 情報公開、文書、規程類の作成、庁内取締等 調査役 民間協力団体との連絡、寄付及び出資の募集、賛助金の業務 普及・広報課 広報に関する業務、潜水技術及び海洋科学技術に関する研修 人事課 人事、給与、厚生、任免、服務、研修、労務、保険、福利
	経理部	次長	経理課 予算、監査 財務課 決算、収入及び支出、用度 契約第1課 契約 契約第2課 積算
	企画部		企画課 業務の基本的運営方針・研究開発の企画立案、調査、事業計画作成 国際課 国際協力及び交流に関する調査・調整、シアトル・フシントン駐在員の連絡調整 調査役 地球変動研究や海洋観測研究を効率的・効果的に推進するための米国関係機関(主に米国西海岸側及びカナダ所在の関係機関)との連絡調整業務等 調査役 深海地球ドリリング計画及び各種海洋科学研究の推進のための米国関係機関(主に米国東海岸側の関係機関)との連絡調整業務等 計画管理課 研究開発計画の管理、受託、共同研究、特許等の業務、研究成果普及、研究評価
	深海地球ドリリング計画推進室		企画調整課 深海地球ドリリング計画に係る長期基本計画の策定、各種委員会の運営庶務、米国・欧州各国及び国内関係機関との連絡調整、国際深海掘削計画関係機関等との連絡調整 技術開発研究グループ 地球深部探査船システムの開発
	フロンティア研究推進室		フロンティア研究推進課 「地球フロンティア研究システム」、「地球観測フロンティア研究システム」に関する計画の策定、フロンティア研究等参加者の契約条件の調整、参加契約等の業務 極限環境生物フロンティア研究推進課 「極限環境生物フロンティア研究システム」に関する計画の策定、フロンティア研究等参加者の契約条件の調整、参加契約等の業務 固体地球統合フロンティア研究推進課 「固体地球統合フロンティア研究システム」に関する計画の策定、フロンティア研究等参加者の契約条件の調整、参加契約等の業務
	深海研究部		第1研究グループ 深海の微細地形、地質構造に関する研究 第2研究グループ プレート構成物の岩石・鉱物的、力学的調査研究 第3研究グループ プレート構成物の地球物理的調査研究及び長期海底変動に関する調査研究 第4研究グループ 長期孔内計測・観測システム、海底ケーブル及び海底地震計に関する研究開発
	海洋技術研究部		第1研究グループ 海中音響技術及び音響技術調査観測機器に関する試験研究 第2研究グループ 自律型無人潜水機の研究開発及び調査観測システムに関する研究開発 第3研究グループ 海洋エネルギー利用技術の研究開発
	海洋観測研究部		第1研究グループ 熱帯海域における熱輸送と循環の高度解析システムの開発、熱輸送、循環の観測 第2研究グループ 中緯度海域における気候変動観測システムの技術開発、観測研究 第3研究グループ 水海用自動観測ステーションの技術開発、北極海域における海洋観測研究 第4研究グループ 船上溶存ガス成分連続モニタリングシステム研究開発、二酸化炭素及び炭酸塩の移動課程に関する研究、放射性炭素を用いた物質循環の観測研究
	海洋生態・環境研究部		第1研究グループ 沿岸域生態系に関する観測研究、生態系観測・利用技術の研究開発 第2研究グループ 中・深層域の生態に関する調査研究、深海生態系に関する観測研究
	研究業務部		計画調整課 観測船、調査船、潜水船等の運用・利用計画の策定等に関する業務 施設・設備課 施設の建設整備・保守・維持・整備等に関する業務 海務課 海務・運航管理等に関する業務 船舶工務課 船舶の検査・整備計画及び補給業務等に関する業務 運航チーム 「しんかい6500」の操縦、AUV試験機の運航プログラム作成等に関する業務
	安全管理室		安全管理に関する業務
	むつ研究所		管理課 むつ研究所の運営・管理、「みらい」の運航管理等に関する業務 施設・設備課 むつ研究所の施設設備の運用・保守管理 第1研究グループ 同位対比、微化石による生物地球化学過程変換に関する観測研究
	横浜研究所	情報業務部	管理課 横浜研究所に係る諸規程類の立案、文書管理、普及・広報、人事、会計、施設設備の運用・保守等 海洋情報室 国際海洋環境情報センターの運用・管理に関する業務 情報業務課 海洋科学技術情報の収集・分類・加工・提供・保管、海洋観測データの管理及びデータベース運用管理、データ品質評価管理の研究開発等 地球シミュレータ運用推進課 地球シミュレータに係る計画の策定、整備、調整、維持、管理、利用支援

### 3. 予算と決算

平成14事業年度は、海洋科学技術に関する研究開発並びに研修及び情報事業等の推進に必要な経費として総額45,825百万円の予算が認可され、収支決算においては、47,573百万円の収入決定に対し、46,728百万円の支出決定、3,247百万円の予算繰越を生じた。また、財務決算においては364,424百万円の資本金に対し、当期損失金14,351百万円が新たに生じたため、欠損金総額は、279,866百万円となった。(別冊の「資料編」を参照)

なお、平成10事業年度以降の予算の推移を表1に示す。

#### (1) 資本金

平成14事業年度末における資本金総額は、364,424,473千円である。

なお、出資金の状況を表2に示す。

#### (2) 資本剰余金

平成14事業年度末における資本剰余金総額は、3,639,131千円である。

#### (3) 契約

平成14事業年度における契約実績のうち主なものは、研究開発費では「船体非固定観測装置類及び海洋観測ブイネットワーク・システムの運用業務」、地球深部探査船建造費では「船上廃棄物処理システム」、また、業務運営費では「しんかい6500」と支援母船「よこすか」等の運航管理業務のほか、海洋地球研究船「みらい」の運航管理業務である。

なお、平成10事業年度以降の契約実績(支出原因)は、表3のとおりである。

表1 予算推移

(単位：億円)

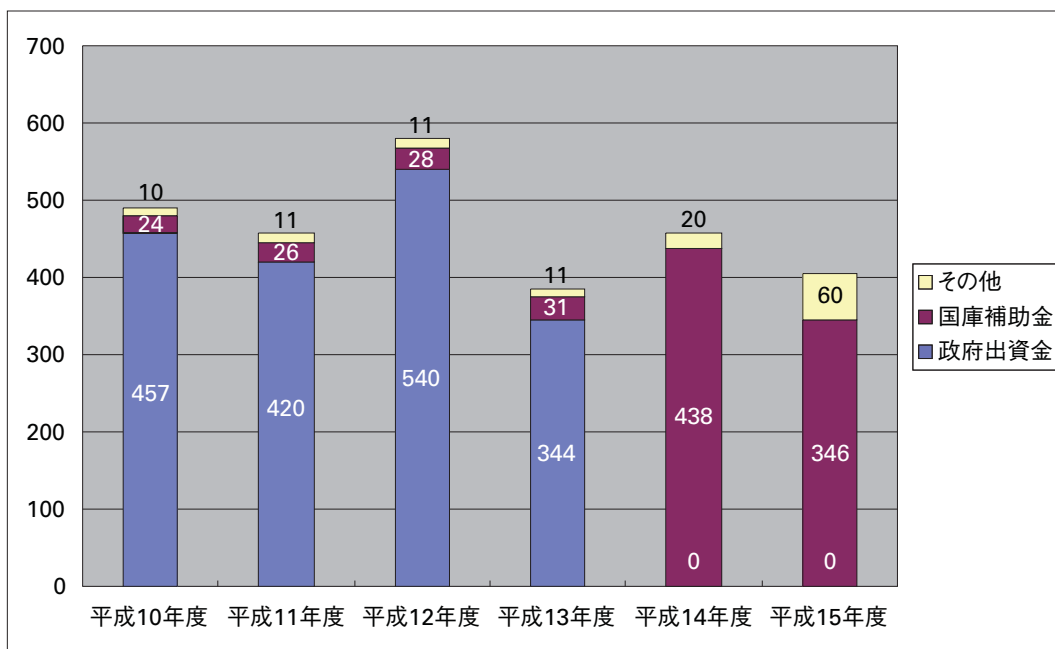


表2 出資金の状況

(単位：千円)

区分	13事業年度		14事業年度	
	金額	構成比(%)	金額	構成比(%)
政府出資金	364,394,473	99.99	364,394,473	99.99
民間出資金	30,000	0.01	30,000	0.01
計	364,424,473	100.00	364,424,473	100.00

表3 契約(支出原因)状況年度別推移

(単位:千円)

年度	合 計		設計・監理及び工事契約		物件その他の契約		備 考
	件数	契約金額	件数	契約金額	件数	契約金額	
10	(4,961)	④				④	1. 1件200万円以上の契約 件数及び契約金額
	8	3,341,081	6	964,081	2	2,377,000	
	517	29,484,342	40	5,722,044	477	23,762,298	
11	(4,931)	④				④	2. 設計・監理及び工事契約は 1件500万円以上
	11	22,121,278	7	6,118,350	4	16,002,928	
	482	24,530,303	23	2,314,035	459	22,216,268	
12	(4,763)	④				④	3. ( )内は、全契約件数 4. 変更契約件数は除く
	7	25,459,623	6	138,033	1	25,321,590	
	523	27,447,410	26	3,743,334	497	23,704,076	
13	(4,679)	④				④	5. ④は債務負担行為
	1	14,784,000			1	14,784,000	
	603	24,291,024	28	3,762,249	575	20,528,775	
14	(4,368)						
	577	26,267,261	14	3,326,221	563	22,941,040	

## 4. 各拠点紹介

### (1) 横須賀本部

#### 1) 横須賀本部の活動概要

平成14年度において横須賀本部では、9月に海洋科学技術センター創立30周年を記念し、世界の主要な海洋研究機関の長を招き、21世紀の海洋研究の方向性を探るべく、国際シンポジウム及び国際海洋研究機関長会議(ラウンドテーブル)を開催した。尚、本シンポジウム及び会議は前年に予定していたものの、米国における同時多発テロ事件の影響により延期されたものである。国際海洋研究機関長会議においては、今後の海洋研究の方向性を示す「横須賀宣言」が採択された。また10月には、日米主導で推進する統合国際深海掘削計画(IODP)の主要掘削船となる地球深部探査船「ちきゅう」の運用を担う組織である地球深部探査センターが発足した。

### 2) 土地と建物

#### (a) 土地

昭和47年4月、国から神奈川県横須賀市の国有地40,159.57m<sup>2</sup>の現物出資を受けた。また、昭和55年度から工事を進めていたセンター地先の埋立工事を昭和57年度までに18,391.84m<sup>2</sup>を竣工させた。昭和58年度には、国から855.99m<sup>2</sup>を購入、さらに昭和60年5月には第2期埋立工事として4,518.93m<sup>2</sup>を竣工させた。

なおこの埋立地と既存地盤との間に段差が生じていたため、既存地盤の嵩上げ工事を昭和61～62年度で実施し、昭和63～平成12年度で構内環境整備工事を実施した。平成13年度に1,118.99m<sup>2</sup>、平成14年度に1,030.62m<sup>2</sup>の隣接地を購入し、土地の合計面積は66,075.92m<sup>2</sup>となった。

#### (b) 建物

表1のとおり昭和47年度から順次整備しており、平成12事業年度までで各種研究施設棟29棟、延べ床面積37,232.93m<sup>2</sup>となった。平成13年度には、海洋生態研究棟(旧:情報・電源棟)を芙蓉総合リース(株)より買取り、取得した。

表1 横須賀本部の研究施設等の整備状況

建屋区分	延床面積(m <sup>2</sup> )	整備年度
潜水シミュレータ棟	1,586.64	昭和47年度及び昭和50年度改修
機器整備棟(旧:海域研究棟)	484.37	昭和47年度及び昭和55年度改修
海洋研修棟	584.88	昭和47年度、平成4年度改修
海洋工学実験場	3,000.00	昭和47～48年度、平成6年度改修
潜水訓練プール棟	1,595.84	昭和48年度、平成7年度改修
ガスバンク棟	345.60	昭和48年度、昭和53年度改修
廃棄物処理棟	153.90	昭和48年度
海洋科学技術館(旧展示館/旧本館)	2,249.93	昭和49年度、平成12年度改修(耐震補強工事)
高圧実験水槽棟	622.33	昭和50年度
共用利用棟(旧:数理解析棟)	796.50	昭和51年度、平成7年度改修
生態環境実験棟 (旧:動物実験棟)	202.05 754.84	昭和52年度 昭和54年度増築
潜水調査船整備場	1,220.73	昭和58年度、平成3年度増築
海洋実験機材保管庫	123.84	昭和59年度、平成5年度増築
潜水調査船整備場変電棟	72.00	昭和62年度
深海総合研究棟	5,639.82	平成5年度
海洋研究棟	1,981.80	平成6年度
無人探査機整備場	493.51	平成7年度
海洋生態研究棟(旧:情報・電源棟)	1,124.32	平成7年度、平成13年度買取
フロンティア研究棟	1,980.00	平成8年度
守衛所	25.11	平成8年度
新プレハブ棟	99.37	平成8年度
化学廃液一時保管庫	19.59	平成9年度
特別高圧受電所	458.54	平成10年度
食堂(親海亭)	484.70	平成11年度
海洋技術研究棟	2,073.23	平成11年度
本館南側(新本館) 本館国際交流施設	3,366.23	平成11年度 平成12年度改修
本館北側(旧:別館)	4,819.85	平成12年度増築
その他(一式)	873.41	
合 計		37,232.93m <sup>2</sup>

## (2) むつ研究所

### 1) むつ研究所の活動の概要

#### (a) むつ研究所の概要

海洋科学技術センターは、海洋地球研究船「みらい」が原子力船「むつ」の母港である関根浜港を引き続き利用するため、平成7年10月に青森県むつ市の津軽海峡に面した関根浜に当センター最初の地方事業所としてむつ事務所を開設し、「みらい」の運用管理と「みらい」で採取した試料やデータの分析・解析などの研究活動の支援を行ってきた。このような実績と地球環境変動解明への期待を踏まえて、平成12年10月にむつ事務所が改組され、新たに、むつ研究所が発足して2年目となる。

むつ研究所は、事務棟、観測機材整備場、試料分析棟及びむつ研究交流棟などの施設を運用しており、「みらい」の母港機能として運航に伴う管理業務を行っているほか、トライトンブイ等の観測装置の保守・整備、観測データの収集及び管理、アルゴ計画のアルゴフロート投入前の各種試験、また放射性炭素( $^{14}\text{C}$ )による年代測定のための海水前処理などの業務を行ってきた。また、誘導結合プラズマ質量分析装置、安定同位体質量分析装置、電子顕微鏡などの分析機器を整備し、海洋科学に係る研究基盤の充実を図っている。

また、これらの施設・設備を使って北西太平洋・北極海・オホーツク海等の「北の海」を中心とした地球科学研究拠点を目指した研究活動を行っている。

#### (b) 広報活動

海洋地球研究船「みらい」の円滑な運航にとって、母港である地元むつ市民の理解と協力が不可欠であり、むつ研究所では、普及・広報活動の中心として一般市民はもとより、次代を担う青少年を対象に海洋科学技術の成果と夢を広めることに努めている。

このため、平成14年度には、昨年度に引き続き科学技術週間行事の一環として、7月20日海の日にむつ市関根浜港において施設一般公開を行い552名の来場者があった。また、高校生のインターンシップ(就業体験)の一環として、4名の高校生を受入れ海洋観測ブイシステムの整備実習を通して、意義ある教育活動を展開した(図1)。さらに、「2002北の海から」と称して、海



図1 高校生のインターンシップ



図2 研究者の学校訪問

洋地球研究船「みらい」の船上から北太平洋時系列観測グループ研究者により、むつ市周辺の小・中・高等学校生とメールの交換を行い、帰港時には各国(日本、フランス、ドイツ、アメリカ)の研究者が学校を訪問して、研究航海の様子や国際理解教育などの授業を実施した(図2)。また、奈須紀幸顧問の「津軽海峡から世界の海を見る」と題した特別講演会を開催をし、むつ研究所内外から約70名の参加があった。その他小学校、高校の「総合的な学習の時間」への講師の派遣などを行い普及・広報活動に努めた。

#### (c) むつ研究所の施設・設備の整備

##### (i) 建物

平成7年度より平成12年度までの6ヶ年で、表2の通り各種施設・設備の整備を行った。平成14年度に

表2 むつ研究所の研究施設等の整備状況

建屋区分	仕様	延床面積 (m <sup>2</sup> )	整備年度	備考
観測機材整備場	鉄骨造 3階建、一部吹き抜け	3,046.26	平成7～8年度	
事務棟	鉄筋コンクリート造 2階建	521.90	平成8年度	日本原子力研究所の 建屋を借用し、改装した。
試料分析棟	鉄筋コンクリート造 2階建	1,942.59	平成8～9年度	
むつ研究交流棟	鉄骨造 3階建、塔屋1階	1,547.42	平成10年度	
危険物倉庫	コンクリートブロック造 平屋建	21.00	平成12年度	

においては、各建屋の維持管理及び補修工事を中心におこなった。特に、観測機材整備場を取り巻く環境による、東壁面の防水シール部の劣化が予想以上に大きく、東壁面全面にかけてシール部の補修作業を行い、防水対策を施した。

また、RI設備の導入、及び研究用機器の拡充に対応するため、試料分析棟および観測機材整備場の電源設備の拡充工事を行った。

#### (ii) 設備

平成13年度末に観測機材整備場内に設置された高圧試験水槽は、平成14年度より、高圧下でのアルゴフロートの重量調整作業を中心として運用を開始した。平成14年度は、アルゴフロートの調整(図3)、トライトンブイ及び北太平洋時系列研究で使用されて



図3 アルゴフロート調整作業

いる係留計用リリースの作動試験など合計157回の加圧を行った。(図4)

また、むつ研究所において、平成13年度より、放射性同位元素を用いた観測研究に必要なRI取扱施設の整備を開始し、平成14年度に文部科学省より放射性同位元素の使用の許可を受け、RI施設の運用を開始した。むつ研究所内で運用しているRI施設は表3の通りである。なお、海洋地球研究船「みらい」搭載の放射線装置(ガスクロマトグラフECD表示付き及びガンマ線密度計)の密封線源の管理は、平成14年8月末に、安全管理室からむつ研究所に変更となった。

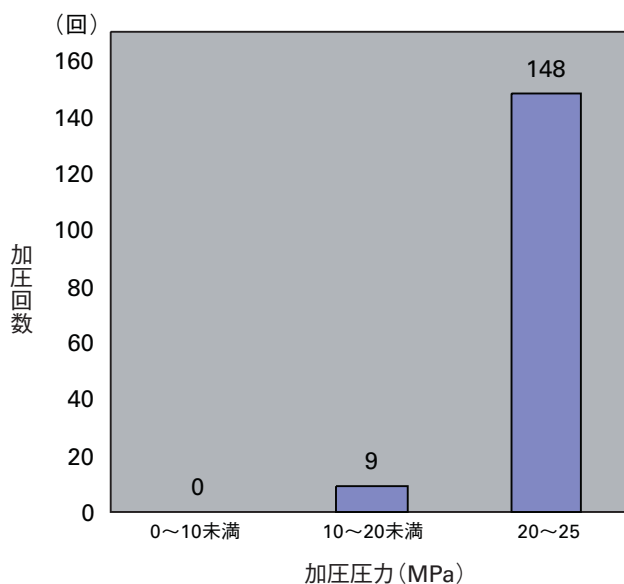


図4 平成14年度 高圧試験水槽使用回数

表3 むつ研究所内のRI関連施設

設備名	許可内容	使用RI	設備外観
アイソバン	使用、貯施、廃棄施設 (「みらい」等 船舶搭載可)	$^{14}\text{C}$ (非密封)	
廃棄バン	廃棄施設	$^{14}\text{C}$ (非密封)	
機器分析室 (試料分析棟2階)	使用、貯蔵施設	$^{137}\text{Cs}$ $^{63}\text{Ni}$ (密封)	

### (3) 横浜研究所

平成8年7月に旧科学技術庁(現文部科学省)の航空・電子等技術審議会地球科学技術部会報告「地球変動予測の実現に向けて」において地球変動の解明と予測を実現するため、観測研究、モデル研究、シミュレーションの3つの機能が一体となった研究開発の必要性が提言された。

更に海洋科学技術センターは、平成10年度第3次補正予算より、旧科学技術庁が中心となり日本原子力研究所及び宇宙開発事業団が行っていた「地球シミュレータ計画」に参画することとなった。

これらを受け海洋科学技術センターは、関連施設を建設するため用地取得を目指していたが、神奈川県企画部科学技術政策室の斡旋により、神奈川県工業試験場跡を横浜研究所として地球シミュレータ関連施設を中心に地球変動情報機能及び海洋地球研究の情報等を社会へ発信する機能の整備を実施することとなった。

横浜研究所は、敷地面積が約33,400m<sup>2</sup>あり、施設としては、フロンティア研究棟、交流棟、シミュレータ棟及びシミュレータ研究棟、冷却施設棟、神奈川県より借用しているスーパーコンピュータ棟等があり、平成14年5月には地球情報館、情報技術棟、情報研修棟の3施設が完成し、これにより計画された全ての建物の建設が終了したことから、同年8月に遠山文部科学大臣

をお迎えして横浜研究所の開所式が行われた。

これに先立ち、建設中であった地球シミュレータが平成14年3月から稼働し、同年7月からは研究利用を開始している。

更に海洋地球情報関連施設を整備することにより、情報技術棟においては、海洋科学技術センターの情報業務機能を全面的に移転するとともに、当センターが取得した海洋情報や地球シミュレータによる地球変動情報の解析及びこれらのデータ管理を一元的に行っている。また地球情報館では、海洋地球に関する研究成果等の映像展示を主体とする施設として広く一般公開を行っている。

#### 1) 横浜研究所の施設・設備の整備

##### (a) 土地

平成12年3月より神奈川県から購入し始め、平成14年度には4,286.70m<sup>2</sup>を購入し、全面積33,389.94m<sup>2</sup>のうち27,751.05m<sup>2</sup>を購入するに至っている。残りの土地については予算に応じて購入する予定である。

##### (b) 建物

平成11年度より順次整備しており、平成14年度には「海洋地球情報関連施設」として技術情報棟、地球情報館及び情報研修棟が完成した。



図5 横浜研究所全景

表4 横浜研究所の研究施設等の整備状況

建家区分	仕様	延床面積 (m <sup>2</sup> )	整備年度
シミュレータ棟	鉄骨造 2階建	6,363	平成11～12年度
冷却施設棟	鉄筋コンクリート造 平屋建	525	平成11～12年度
シミュレータ研究棟	鉄筋コンクリート造 3階建、塔屋1階	3,477	平成11～12年度
フロンティア研究棟	鉄骨造 4階建	4,443	平成12年度
交流棟	鉄筋コンクリート造 2階建	1,894	平成12年度
地球情報館	鉄筋コンクリート造 4階建	3,323	平成13～14年度
情報研修棟	鉄筋コンクリート造 2階建	498	平成13～14年度
情報技術棟	プレキャスト、コンクリート圧着造 6階建	6,118	平成13～14年度
守衛所	鉄筋コンクリート造 平屋建	63	平成13～14年度
作業員棟	鉄筋コンクリート造 2階建	296	平成13～14年度
スーパーコンピュータ棟	鉄筋コンクリート造 3階建	1,420	神奈川県より借用、 平成11年度に整備

#### (4) 国際海洋環境情報センター

平成13年度より、名護市で整備された「名護市国際海洋環境情報センター」の管理委託を受け、国際海洋環境情報センター(GODAC:ゴードック)の運営を開始した。本年度も、海洋科学技術センターが保有する深海画像や研究成果物等の電子化、国際的な海洋・地球環境等に関するデータの収集・加工・提供を

実施した。また、沖縄県北部地域を中心とした小中学校等の課外授業やアジア・西太平洋地域の研究者の研修、地元観光産業等に寄与する為に講義室、教育用映像システム等の各種施設・設備を開放し、一般見学者についても受入を積極的におこなった。更に、教育用コンテンツについても整備し、科学技術の理解増進に役立つ、海洋・地球環境情報の発信拠点として管理・運営を行った。



図6 国際海洋環境情報センター全景

## 5. 国際交流

地球気候変動をはじめとする地球環境等の問題に対応すべく、海洋の観測及び研究は、全球的規模での展開が求められている。

こうした問題の解明に貢献し、また、海洋観測・研究をより効果的かつ効率的に推進していくため、国際機関や国際共同計画及び海外の諸研究機関との協力関係の構築及び推進を図っている。

### (1) 国際交流

UNESCO(国連教育科学文化機関)のIOC(政府間海洋学委員会)に対しては、各種作業部会委員として専門家を派遣し、活動の支援を行うとともに、海洋法施行下での円滑な海洋観測・研究を遂行するために必要となる国際的な動向の把握を行っている。

また、センターの主要観測調査海域の一つである南太平洋において影響力を有するSOPAC(南太平洋応用地球科学委員会)、世界の主要海洋研究機関のフォーラムであるPOGO(全世界海洋観測のパートナーシップ)等に参加している。その他の海洋関連国際機関に対しても、必要に応じて研究者等を派遣し、その研究活動などに貢献している。

### (2) 国際共同計画

センターは以下に示す各国際共同計画に参画、活動への貢献を行っている。

- ・ GOOS(国際海洋観測システム: Global Ocean Observing System)
- ・ ODP(深海掘削計画: Ocean Drilling Program)
- ・ IODP(統合深海掘削計画: Integrated Ocean Drilling Program 平成15年10月に開始)
- ・ PICES(北太平洋海洋科学機構: North Pacific Marine Science Organization)
- ・ CLIVAR(気候変動とその予測可能性に関する研究: The Climate Variability and Predictability Programme)
- ・ InterRIDGE(国際海嶺研究計画: An initiative for international cooperation in ridge-crest studies)
- ・ InterMARGINS(The International Margins Program)

- ・ ICDP(国際陸上科学掘削計画: International Continental Scientific Drilling Program)
- ・ ARGO(全海洋高度国際監視システム: The Array for Real Time Geostrophic Oceanography)

### (3) 政府間協力に基づく協力

米国、英国、豪州、加国、中国、独国、仏国、露国、EUの各国と日本の政府間協力に基づき研究協力を行っている。

平成14年度に開催された政府間協力専門部会は以下のとおりである。

- ・ 平成14年5月 日仏海洋開発専門部会
- ・ 平成14年10月 日独海洋科学技術パネル
- ・ 平成15年1月 日露科学技術協力委員会
- ・ 平成15年2月 日中科学技術合同委員会

### (4) 海外関係機関との協力

米国、仏国、独国、加国、インドネシア、インド、英国及び韓国の各国関係機関と、研究協力等に関する覚書や合意書を締結し、これらの中で研究協力を実施している。

#### 1) 米国ウッズホール海洋研究所(WHOI)

平成14年6月に研究協力に関する覚書の改定を行った。海洋地質学と地球物理学、極域研究、生物地球化学と炭素循環、海洋物理学とWOCE測線再観測、固体地球の地球化学的進化、潜水船工学と安全、深海底観測ステーション等、広範な研究分野において協力をを行っている。

#### 2) 米国スクリプス海洋研究所(SIO)

研究協力に関する覚書を平成8年12月に更新し、海洋大循環に関する研究、太平洋の海洋プレートの変形に関する研究で協力関係にある。また、平成14年2月に、新たな研究協力項目として、海洋底における熱・物質フラックスに関する研究を覚書に追加した。

#### 3) 米国海洋大気庁太平洋海洋環境研究所(NOAA / PMEL)

平成9年12月に太平洋観測研究に関する覚書を一部改定し、国際共同研究である熱帯太平洋での係留計測

ブイの展開について協力関係にある。また、平成14年12月に覚書を更新する際、ブイの損失及び損傷に関する協力についての規定を新たに設けた。

#### 4) 米国海洋研究所連合法人 (JOI)

ODPの計画管理組織であるJOIと、平成10年7月に科学的深海掘削に関する協力協定を締結した。この協定のもと、平成12年にODPデータベースの技術交流に関する実施協定を結んだ。また、平成11年にはIWGサポートオフィスに関する科学技術及び運営情報プロジェクトについての協定を締結している。

#### 5) 米国コロンビア大学ラumont・ドハティ地球観測研究所 (LDEO)

平成9年12月に研究協力に関する覚書を締結し、海洋物理学、海洋科学、海洋固体地球科学の分野で研究情報の交換を行っている。

#### 6) 米国モンレー湾水族館研究所 (MBARI)

平成13年6月に研究協力に関する覚書を締結し、化学合成生物群集及び中・深層生物群集の研究や、動画データベースの開発、無人探査機の運用技術等について協力を実施している。

#### 7) 米国テキサスA&M大学 (TAMU)

平成14年8月に研究協力に関する覚書を締結した。これにより、プレートテクトニクス／地球物理学、全球的海洋循環／気候変動、掘削及びサンプリング技術の研究において、協力関係にある。

#### 8) フランス国立海洋開発研究所 (IFREMER)

平成10年7月に締結した研究協力覚書により、海中技術、深海微生物等の研究で協力関係にある。平成12年6月及び平成13年9月に、当センター横須賀本部にて定期協議を開催した。また、平成12年10月にはパリでの日仏協議において、海中技術や深海観測ステーションについて協議し、同時期に深海微生物セミナーも実施した。

#### 9) 独国アルフレッドヴェゲナー極域海洋研究所 (AWI)

平成7年に研究協力に関する覚書を締結した。海洋研究、深海微生物の分野で協力関係の発展が期待される。

#### 10) インドネシア技術評価応用庁 (BPPT)

平成9年締結の協力協定により、太平洋赤道域の海洋観測において協力を行ってきた。平成12年には、深海研究を加えた包括的協力協定に改訂した。平成14年3月、当センター横須賀本部にて研究協力に関する協議を開催した。

#### 11) カナダ漁業海洋省 (DFO)

平成12年3月に研究協力に関する覚書を締結した。北極海域の気候システム解明のため、シンポジウム・セミナーによる意見交換や共同観測・研究が可能となった。

#### 12) インド国立海洋研究所 (NIO)

平成12年5月、インド洋の海洋観測研究協力に関する覚書を締結した。これにより、インド洋に展開されるTRITONブイの維持やデータ解析についての協力が実施されることとなった。

#### 13) 英国サザンプトン海洋研究所 (SOC)

平成14年3月、研究協力に関する覚書を締結した。地球物理学、海洋物理学、海洋化学、水中技術、大気・海洋シミュレーション等の分野で研究協力を行っている。

#### 14) 韓国海洋研究所 (KORDI)

平成14年9月、研究協力に関する覚書を締結した。海溝弧縁辺海の地質学的・地球物理学的研究、無人水中探査機に関する技術開発、深海生物群集、海洋深層水の利用、深海微生物の多様性と個体種の分離法等の分野で研究協力を行うこととなった。

#### (5) その他の国際協力

平成14年9月、海洋科学技術センター創立30周年を記念して国際シンポジウム及び国際海洋研究機関長会議(ラウンドテーブル)を開催した。世界の主要な13の海洋研究機関から所長らを招き、「21世紀の海洋科学」をテーマに、海洋科学の将来について活発な意見交換を行った。この国際シンポジウム及びラウンドテーブルにおける討議の成果は「横須賀宣言」にまとめられた。

また、研究協力に関する覚書や合意書等を締結していない機関も含め、以下の機関との研究協力を実施した。

- ・ 米国アラスカ大学
- ・ 米国国際研究所 (IRI)
- ・ 米国ハワイ大学
- ・ 米国ワシントン大学応用物理研究所 (APL)
- ・ コスタリカ国立大学

(6) 外国出張、調査団、在外研究員の派遣、外国人研究者の招聘

詳細を別冊資料編11「外国出張等」に示す。

(7) 日本学術振興会外国人特別研究員制度等に基づく海外研究者の受入れ、文部科学省関係人材交流制度に基づく海外研究者の受入れ

詳細を別冊資料編11「外国出張等」に示す。

## 第2章 研究開発活動

### 1. 深海研究部

#### (1) 研究活動の概要

深海研究部は、海洋プレートのダイナミクスに起因し深海底を介して営まれるエネルギーおよび物質の移動過程の観測研究を通して得られるデータの分析解析により、地震火山現象などに顕著にあらわれる地球の活動の理解を進めている。現象の本質的な複雑性に鑑み、地質、地球物理、地球化学など広い分野をカバーする専門家集団として、深海底プロセスの総合的研究をめざして活動している。とくに、先端的な観測に意欲を示しており、海底長期観測により、これまで取得不可能であった長期連続データの獲得を推進し、また、深海底深部掘削により新しい研究展開を生むための調査を重ねている。以下に平成14年度の研究活動を報告する。

プロジェクト研究では、98年以来のしんかい6500によるハワイ海底火山調査の最終フェーズを迎え、ハワイ諸島の火山活動の変遷解明のためのデータ、サンプルを集めた。マリアナ海域は、あらたな研究フォーカスとして、表層から上部マントルまでの3次元の構造調査を進めた。数年以内にかつてない精度で深部までの不均質構造を地震学、電磁気学的に研究し、背弧拡大メカニズムまで視野に入れ、海洋性島弧システムの生成、進化を解明することをめざしている。海底ケーブル観測については、面的ネットワーク、総合性の概念を明確にし、日本周辺をはじめとして先端的にカバーするための設計開発を進めている。また、既存の1号機、2号機からのデータ提供を見直し、ユーザーアクセスのおおきな改善を進めている。このほか、特別研究2件、経常研究16件、共同研究7件、受託研究1件を進めた。本報告の詳しい内容は、論文に発表されつつある。

#### (2) プロジェクト研究

##### 1) 海洋底ダイナミクスの研究

本研究は、海洋プレートの変形・変動を引き起こすダイナミクスの解明を目指し、海底下で起こる様々な地殻変動とそのテクトニクスを明らかにすることを目的としている。平成14年度は a) 南西諸島黒島海丘でのガス

湧出域、b) 南海トラフ域、c) ハワイ諸島と d) 伊豆マリアナ弧を主たる研究海域に定め、調査航海を行った。このうち、a) 黒島沖では長期現場観測試験、b) 南海トラフでは熱と海底イメージに関する高精度高分解能試験、c) しんかい6500による集中観測、さらに d) 伊豆マリアナ弧ではOBEMをはじめとする地殻深部の新たなイメージ探査を行った。

##### a) 南西諸島黒島海丘でのガス湧出域

平成14年5月ならびに6月に、南西諸島石垣島沖に位置する黒島海丘(水深約650m)においてメタンガスのバブルが湧出する海丘頂部付近を中心に、「しんかい2000」システムを使用した研究調査が実施された。昨年度までの調査で、この場所に15ヶ所以上のメタンガスバブル噴出口が確認され、周辺にはシンカイヒバリガイ類の群集からなる大規模なコロニーやメタン湧水によって形成された多数の炭酸塩岩が発見されている。

昨年度取得されたシングルチャネル反射法地震波探査データの解析結果から、海丘頂部の湧出口直下(往復走時830msec)において密度の逆転をしめす相の反転が生じている(図1)。また、1500m/sの速度を与えたマイグレーション処理の結果から、低速度を示す部分が認められ、湧出口付近の海底下にはガスを含んだ流体の存在が示唆される。したがって、この付近にガスが胚胎している可能性が極めて高い事が明らかとなった。断層が多数発達している事から、この断裂帯に沿って海底下からガスや流体が上昇して湧出しているものと考えられる。

一方、地下からの間隙流体の湧出量を測定するために、今回CAT meter (Chemical and Aqueous Transport meter) の設置を米国スクリップス海洋研究所と共同して行った(図2)。設置場所は、設置が困難なメタンガス湧出口の西側に分布するシロウリガイ・シンカイヒバリガイコロニー3ヶ所を選び、海底表面との隙間などが十分覆われるように注意し、計6台が6月に設置された。また併せて、地中温度計4台、CTD 1台、流向流速計1台を同時に設置した。12月に回収を実施したが、海況等の事情により、CAT meter 2台と流向流速計の回収は4月に延期された。データについては現在解析中である。残念ながら、設置したCAT meterのうち4台については、CAT meterの基底部分と海底表

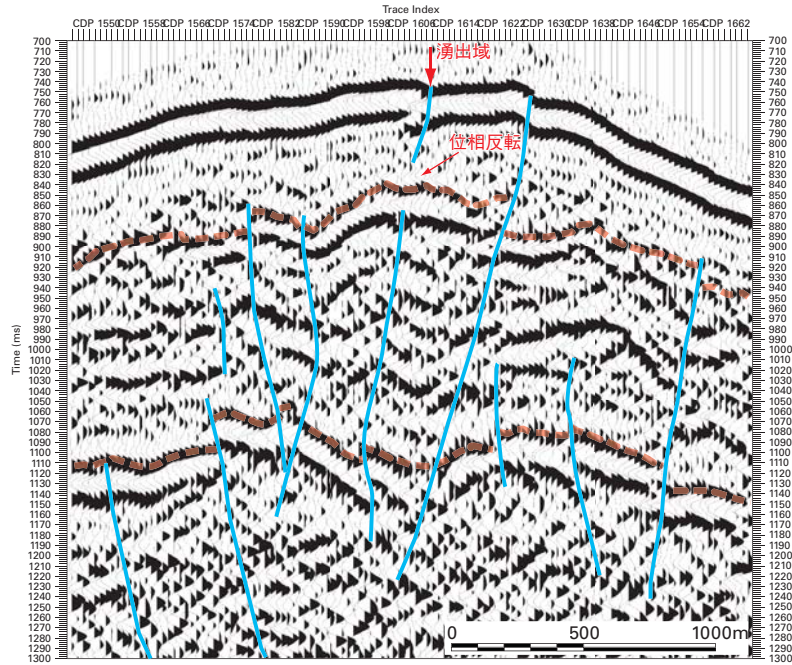


図1 黒島海丘頂部のシングルチャンネルプロファイル。湧出口直下に位相の反転部が認められ、また低速度を示す部分も確認される。青実線は断層、オレンジ破線はユニット境界。



図2 シロウリガイコロニーに設置されたCATメーター

面とわずかながら間隙が生じており、湧出する間隙流体の測定データに影響が及ぶかもしれない。

b) ハワイ諸島におけるしんかい6500による集中観測  
この研究計画は深海調査研究によって最重要として選ばれた研究計画である。深海調査船「よこすか」と「しんかい6500」を用いて2002年7月13日-9月2日の期間ハワイ海底火山調査を実施した。本年度の調査は1998年から行われてきた一連のハワイ火山成長史の解明プロジェクト(図3)の最終調査であった。前期はハワイ島南方、オアフ島北方に調査を集中させ、モ

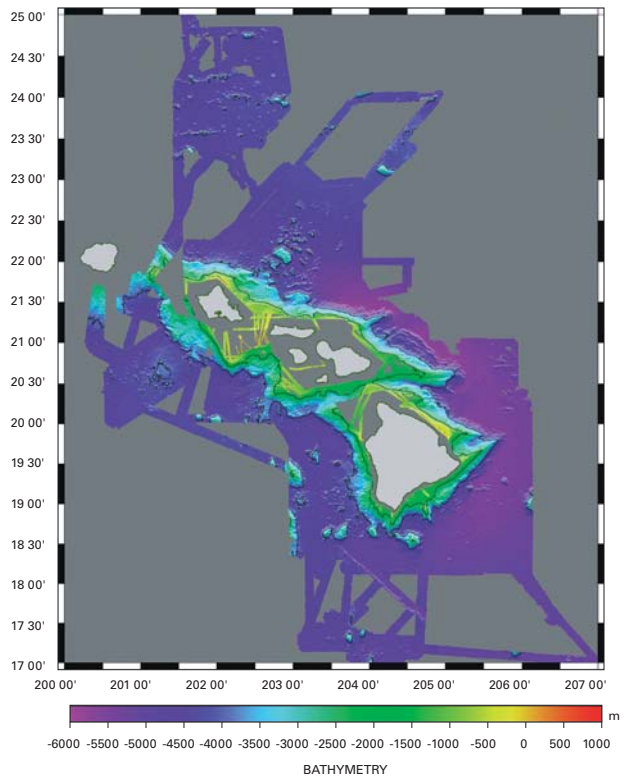


図3 1998年-2002年のハワイ諸島周辺の全調査範囲

デルを構築する事に主眼に置た。後期は構築したモデルをテストするため調査海域を広げた。本年度の調査結果の概要を以下にまとめる。火山成長史の解明:

プロジェクト前期に確立した手法を新たにマウナロア、ロイヒ、コハラ火山に適応しハワイ島火山活動の時空的変遷を把握するため調査を行った。特にマウナロア火山西方に分布するサウスコナ地滑りの地質学的情報を得ることができた。海底リフト：海底リフトは陸上の山体の規模をはるかに上回る場合があり、ハワイ火成活動を知る重要なウインドウである。特にハレアカラ火山から東に延長をもつ150kmのハナリッジで集中的な調査をおこなった。化学分析の結果、陸上ハレアカラ火山と海底ハナリッジにマグマ化学組成の相違があり、プルーム上を火山が移動する際にマグマ供給源が変化することが提案された。プルーム縁辺部の火成作用：プルームの周辺の深海盆で起こる広域的なアルカリ玄武岩マグマ活動の成因解明を目的に調査が行われた。マグマ活動の中心部分が海底溶岩の他に大量の貫入岩体によりドーム状に隆起している事が明らかになった。また昨年、初めてその存在を明らかにしたオアフ島西方海底火山地域でも調査をおこなった。今後はこれまでの調査の結果を踏まえ、直径1000kmに及ぶハワイプルームの地質学的モデル構築を目指す。2003年のゴールドシュミットカンフェレンスにて航海後の研究成果が発表される予定である。

#### c) マリアナトラフでのコントロールソース電磁探査試験

神戸大学と共同で、マリアナトラフの海底拡大軸周辺でコントロールソースを用いた電磁探査を試み、データ取得に成功した。海水を多量に含む地殻物質は高い電気伝導度を示す事が知られている。従って、コントロールソースを用いて海嶺軸周辺で電気伝導度分布を詳細に調べることができれば、軸部周辺の熱水循環域が水平方向・深さ方向にどの程度広がっているのかを議論することができる。平成14年度はコントロールソース電磁探査システムを深海環境で初めて使用したので、第1段階として、実海域での電磁探査システムのノイズレベルや探査深度を議論することとした。

コントロールソース電磁探査試験は、調査船「かいらい」KR02-14航海で実施された。試験海域はマリアナトラフの中軸部に位置する熱水噴出地域 "Alice Springs Field" (18°12.9'N, 144°42.5'E) 周辺である。本試験では、MMR法を採用した(図4)。ウィンチケーブル(最長約4000m)の片端に電極を取り付けたも

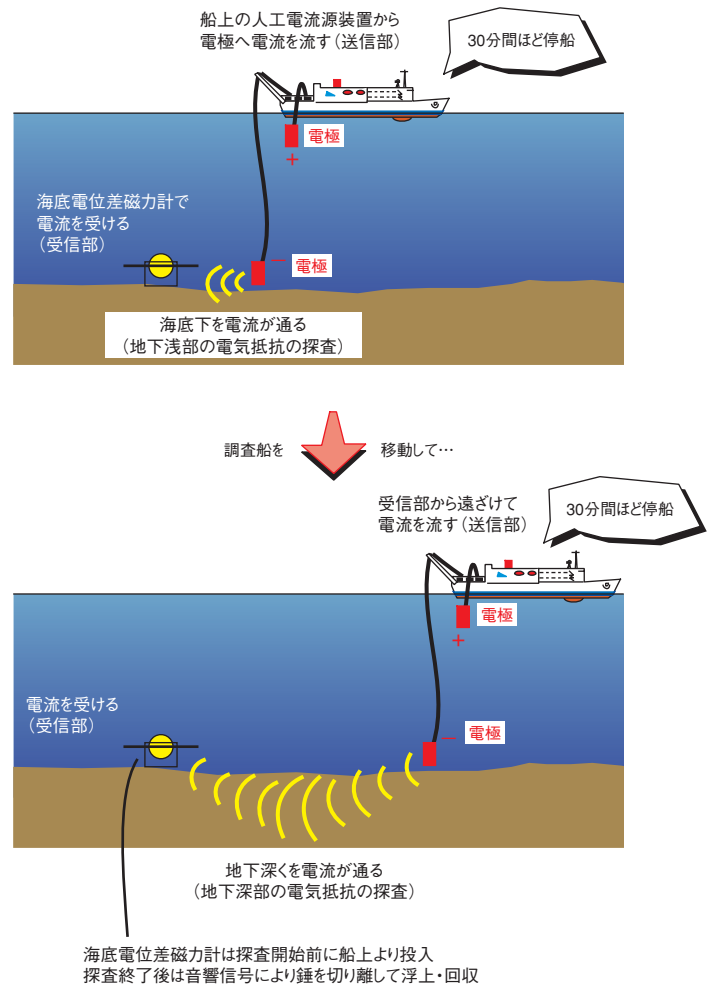


図4 コントロールソース電磁探査(MMR法)概念図

のをソースとして利用した。電流量は最大12A、通電時間は30分間(定点保持)であった。さらに電極を0.5kntで曳航しつつ通電することも試みた。通電は4つの測線上で実施した。レシーバーとしては、自己浮上式海底電位差磁力計(OBEM;神戸大学製作)を利用した。6台のOBEMを設置し、観測終了後に5台を回収することができた。ソースからOBEMまでの距離は最大で約3kmであったが、この範囲内では、ソースからの電磁場信号はOBEMで明瞭に記録されることが分かった。一般にMMR法の場合は、ソースからレシーバーまでの距離の3分の1が探査深度の目安であるため、本試験の場合、海底下約1km程度までの地下電気伝導度構造を得ることができると思われる。今後は、OBEMで取得された電磁場データを解析し、マリアナトラフ拡大軸周辺の地下構造解析およびそれから推測される熱水循環スケールの議論を行う予定である。

2) 深海底ネットワーク総合観測システムの開発・整備

本研究は、海底地震総合観測システムの開発及び整備、そしてシステム運用で得られるデータを解析する研究(海底地震総合観測システムの開発)と、当該システムの将来に必要となるネットワーク観測技術開発を、初島沖システム等を利用して行う研究(深海ネットワークの開発研究)からなる。そのそれぞれについての報告に加え、今年度実施された双方のシステムに共通する観測データ転送システムの見直しについて下記に記載する。

a) 海底地震総合観測システムの開発

平成14年度は、海底地震総合観測システム1号機・2号機による観測及びデータ処理・解析を継続した。システム1号機・2号機のデータを統合して扱う総合データシステムの稼働、インターネット上のWWWサーバを通じたオフラインによるデータ一般公開、気象庁及びHi-Netへのデータ転送も継続して実施した。平成14年度に実施された項目は下記の通り：

- (i) 海洋科学技術センターの横浜研究所開設に伴い、海底地震総合観測システム横須賀陸上局を横浜研究所に移転した。
- (ii) 釧路・十勝沖2号機システムのデータ再解析から、北海道の地下の沈み込むスラブに伴う二重深発地震面が再確認された(図5)。
- (iii) 釧路・十勝沖2号機に接続される移動型システムの電池寿命を伸ばすための改善を行った。その結果、搭載できる電池の数も増加させ、設計寿命であった半年を大きく超える一年という長期間の観測が可能となる。平成15年度以降にこれら機器を再設置しリアルタイムの広帯域地震計データを取得することを予定している。海域の地震観測網が強化されるだけでなく、広帯域地震計の海底下埋設によるバックグラウンドノイズ軽減効果、地震計の設置方法とその観測結果について新たな知見を得ることができると考えている。
- (iv) 海底面に設置された地震計は、外乱としてその筐体に海底の流れを受ける可能性があり、この流れの影響が地震計のノイズの一因だと考えられている。そこで、半恒久的に海底に置かれるリアルタイム型の長期観測用海底地震計に

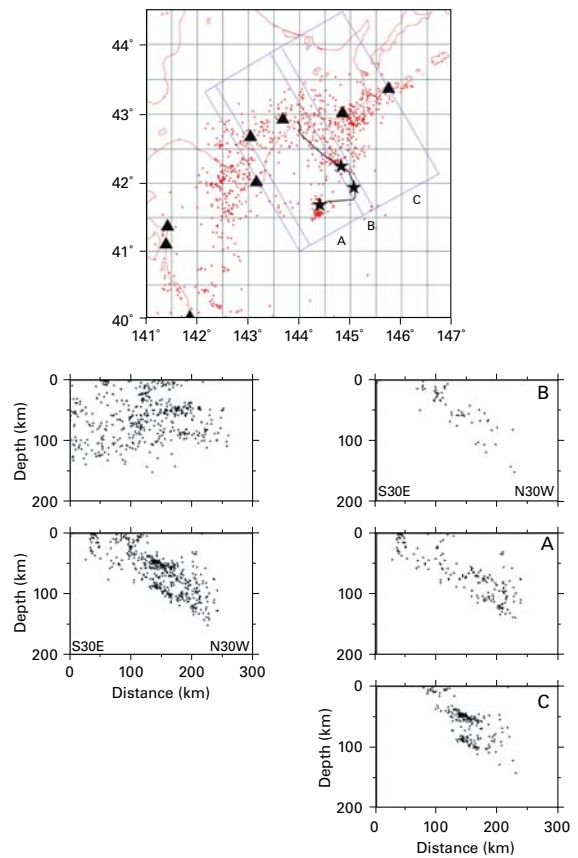


図5 総合データ処理システムにおける手動検測処理から得られた震源分布図。地震のデータは平成15年3月11日まで用いてある。

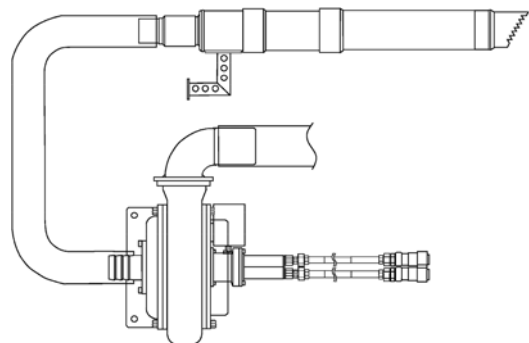


図6 十勝・釧路沖の海底地震総合観測システム2号機で使われた海底地震計埋設機の模式図。駆動源となるポンプユニット、アクチュエータ(ともに下部)、ホース(中間部および先端部)から構成される。

ついて、無人潜航艇(ROV)を用いて海底地震計を埋設する装置を開発し(図6)、釧路・十勝沖2号機の地震計を埋設した。その結果、外乱の影響は軽減され、地震計からの信号に含まれていた雑音の低下が認められた(図7)。今後精度の高い地震観測データの観測を行うことが可能になったと考えられる。

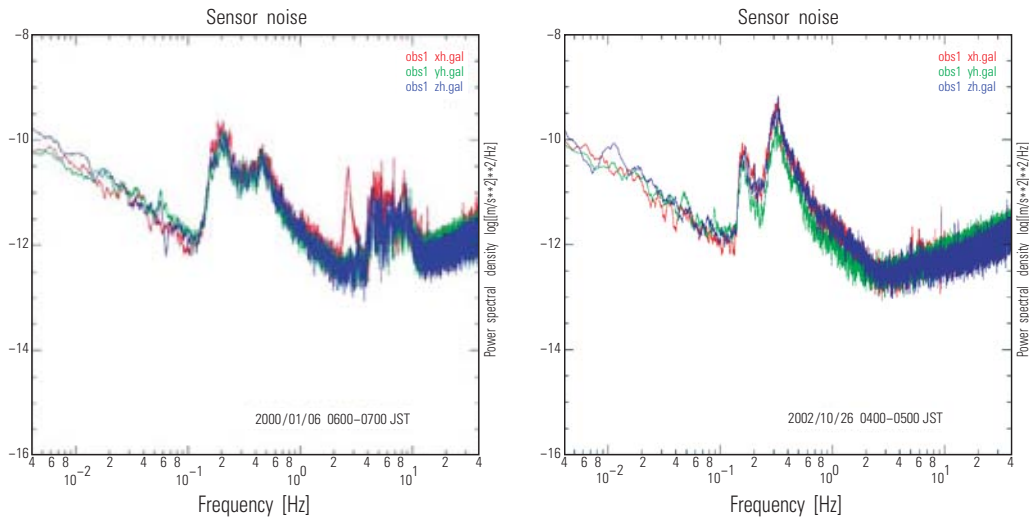


図7 埋設前後における地震計からの雑音スペクトルの変化。左図は地震計埋設前、右図は地震計埋設後。海底とのカップリングが良くなったことが読み取れる。特に2Hz周辺の高周波ノイズ、中央の脈動ノイズバンド幅狭化にその効果が認められる。

- (v) 東南海・南海地震に備える特別措置法の制定に伴い、「リアルタイム観測システム計画検討委員会」に諮り、紀伊半島沖を最も優先順位の高い3号機の設置場所とした。また、新しい電源分岐技術を取込み、地震及び津波観測点数を大幅に増加させ、現在進行中の統合国際深海掘削計画 (IODP) による地震発生帯掘削孔内観測システムとの接続を果たすよう検討がなされた。
- (vi) 3号機システム設置予定海域となる紀伊半島沖の海底調査のため地球電磁気学的機動観測を実施した。
- (vii) 地震研究所との共同研究「海洋底における地震・地殻変動ネットワーク観測基礎研究」及び「掘削孔地震・地殻変動観測における掘削孔の挙動評価」は継続し、三陸沖の掘削孔ステーション2か所、北西太平洋の掘削孔ステーション1か所、沖の鳥島近海の掘削孔ステーション1か所について、データ取得を行った。
- (viii) 東海大学との共同研究「海洋底における電磁場変動ネットワーク観測基礎研究」はこれを継続し、トーション型磁力計の試作及び将来のケーブルシステム接続へのポテンシャル評価がなされた。
- (ix) 本格的な津波データ解析を開始し、微小な津波を地震発生に関連させることができるようになった(図8)。津波のデータから、求めること

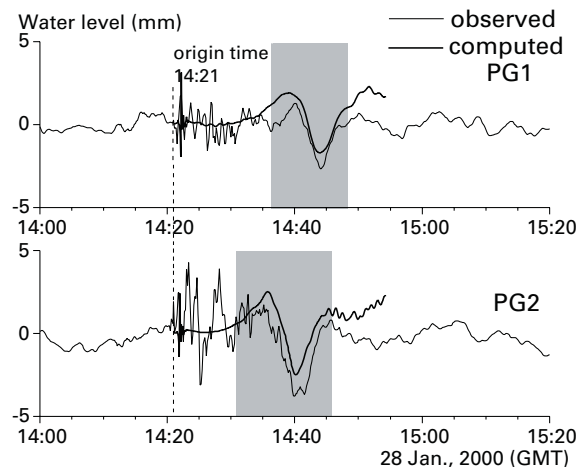


図8 動的津波解析結果と観測値との比較。細い線は実際に観測された水圧変化を、太線は数値シミュレーションによって得られた水圧変化を示している。灰色で塗りつぶされている箇所が、振幅5mmほどの津波を示している。14時20分頃から観測されている信号は、地震波であるレイリー波により震動した海底が起こした水圧変化に相当する。

が困難であった沖合の地震メカニズム推定に必要なデータを提供したり、既知の地震から精度の高い津波の伝播を予測するような応用が考えられている。

#### b) 深海ネットワークの開発研究

平成11年度に更新された初島沖システムに生じたシステム障害の修復作業が実施された。平成14年に実施されたその他の開発研究は：

- (i) 沖電気株式会社との共同研究「光地震計の低周波応答改善に関する研究」もこれを継続し、光ポンプにつき設計の検証実験が行われた。
- (ii) 防災科学技術研究所との共同研究「海底ケーブルによる電界変動計測の研究」は初島システムを用いて実施され、電界変動データが取得された。
- (iii) 米国電気通信学会海洋工学会日本支部と共同で、将来の海底ケーブルネットワークシステムに関する技術開発項目をまとめた。平成15年度中の技術白書出版が予定されている。
- (iv) 長年の懸案であった海中給電分岐システムの机上設計及び試験用システムの製作を行い、平成14年度中にその実験を終了した。試験結果は、将来の海底ケーブルネットワークシステムへの技術移転を可能とするものであった。

c) 海底地震総合観測システム及び初島沖システムのデータ転送システム変更作業

海底地震総合観測システムは設置以来1号機(室戸)は6年、2号機(釧路)は3年経過している。平成13年より見直しを始めたHi-Netへのデータ流通及び気象庁へのデータ提供について見直し、IPネットワークへの転換作業を行った。システムの更新についてその概略は:

- (i) 標準WINパケット化:これまで採用してきた独自仕様のパケットを改め、日本国内の事実上の標準であるWINパケットを用い、マルチキャスト機能も併せ導入した。
- (ii) 環境センサー等シリアルインターフェース機器のIP化:海底地震総合観測システムに装備されている海底環境測定装置データはシリアルインターフェースを前提に作られていたが、これらのシリアルデータをIPネットワークに適合させた。
- (iii) ビデオ画像伝送のIP化:海底地震総合観測システムについて、静止画伝送装置をHTTPDビデオサーバーで置き換えた。
- (iv) 気象庁へのデータ分岐の変更:海底地震総合観測システム室戸及び音別各陸揚げ局から最寄りの気象庁各管区へ専用線により配信しているデータについて、全てIP化及び転送時間最少化を図った。

- (v) 気象庁を除く他機関へのデータ提供について:海底地震総合観測システム及び初島沖システムの地震、津波、ハイドロフォンについては、Hi-Netを通じたデータ配信を可能にする機器整備を行った。

以上の作業により、平成15年度に予定されているデータ転送試験が済み次第、データ転送方法が更新される。地震、津波、ハイドロフォンのデータについて国内各研究機関の研究者はHi-Netや防災科学技術研究所データセンターから直接データをリアルタイムで取得することが可能となる。JAMSTECデータセンターへのアクセスにより、インターネット上からのデータ取得も引き続き行える。

### (3) 特別研究

#### 1) 海洋性島弧(伊豆・小笠原、マリアナ)の形成史に関する研究

マリアナ島弧は、現在活動している海洋性島弧として世界中に知られ、島弧の形成発達史を理解するためには、地殻・マンツルの地震波構造と電気伝導度構造を明らかにすることが必須である。これまでも構造探査が行われてきたが、島弧成長過程を理解するに足るデータは得られなかった。この特別研究では、島弧成長に資するデータを取得し、それらのデータから構造の特徴を把握することが当該年度の目的である。

#### a) 人工地震探査

海底地震計(OBS)を用いた人工地震探査を平成14年1月から2月にかけて、海洋科学技術センターの海洋調査船「かいよう」を用いて行った(図9)。106台のOBS(上下動1成分、水平動2成分、ハイドロフォンセンサー1成分、上下動と水平動センサーの固有周波数は4.5Hz)を海溝陸側斜面に露出する蛇紋岩海山からマリアナ島弧、マリアナトラフ、西マリアナ海嶺を經由してパレスベラ海盆に至る約700kmの測線上に展開し、エアガンシューティング後、全台を回収した。総容量12,000cu.in.のエアガンを2000psi、200m間隔で発振した。途中台風の襲来を受け、エアガンの発振は蛇紋岩海山からマリアナトラフ西部に至る範囲に限られたが、各OBSでは200-250kmまで離れているエアガン信号を捕らえており、マリアナ島弧-海溝

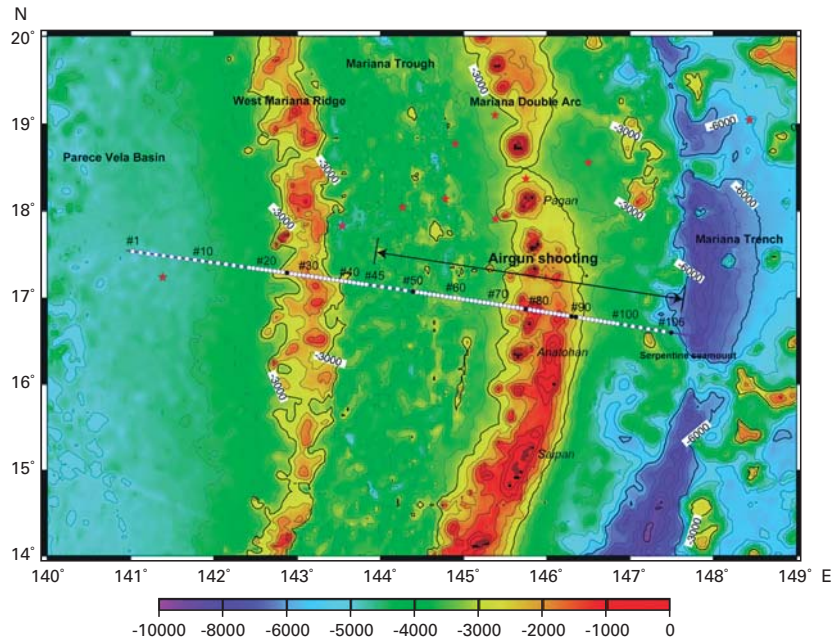


図9 測線図。丸印は海底地震計の設置点を示す。白丸と黒丸はそれぞれデータが得られた観測点と得られなかった観測点を示す。赤星印は平成13年度に設置した自然地震用の長期型海底地震計設置点。平成14年度に回収した。

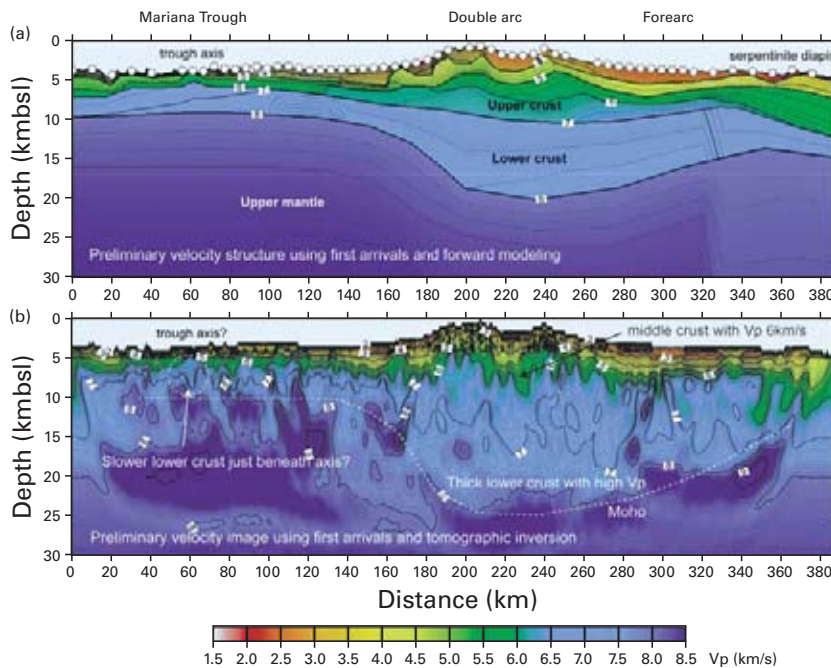


図10 暫定的な速度構造モデル。どちらも初動の走時のみを使用している。(a) 試行錯誤的に求めた構造モデル。(b) 走時インバージョンより求めたモデル。白い点線は推定されるモホ面を示す。

系の構造を得るに十分なデータを取得した。

これまで、初動の読み取り走時を用いて2次元の波線追跡法により地震波構造を推定した。暫定的ではあるが、試行錯誤的に求めた構造(図10a)と走時インバ

ージョンより求めた構造(図10b)をここでは示す。構造の詳細に違いはあるが、どちらの結果からも、マリアナ島弧-海溝系の地震波構造は以下のような特徴を示す。地殻の厚さは20-25kmであり、島弧部のみ6km/s

を示す中部地殻が存在する。島弧の下部地殻は、7.0km/sを超えるP波速度を持ち、マリアナトラフのそれと比較して2-3倍厚い。蛇紋岩海山の下は周囲に比べて全体的に遅いP波速度を示している。また、島弧-背弧境界部の下部地殻は、7.0-7.6km/sという地殻物質として異常に速いP波速度を持つことが推定された。

なお、マリアナトラフ西部からパレスベラ海盆に至るエアガンシューティングは次年度実施する予定である。これにより今後、マリアナ弧全体のイメージングが可能になる。

b) 海底電磁気探査

マリアナ海域において、海底電位差磁力計(OBEM)を用いたマントル電気伝導度構造調査を実施した。平成13年10月に本海域に設置したOBEMのうち2台については、平成14年4月にR/V Maurice Ewingを用いて回収を試み、これに成功した。また残るOBEMについては、平成14年10月に深海調査研究船「かいれい」を用いて回収を試み、3台の回収に成功した。これらのOBEMの設置位置を図11に示す。

本研究および過去の研究で得られた海底電磁気データのうち、マリアナ諸島近傍およびその東西に位置するOBEMのデータを用いて、2次元的な地下電気伝導度構造を求めることに成功した。地下構造解析に

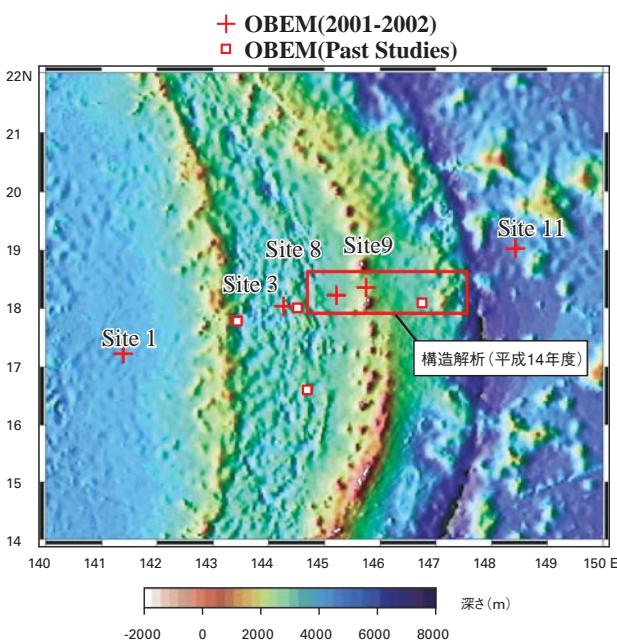


図11 マリアナ海域でのOBEMの設置位置(+). □は過去の海底電磁気観測点。

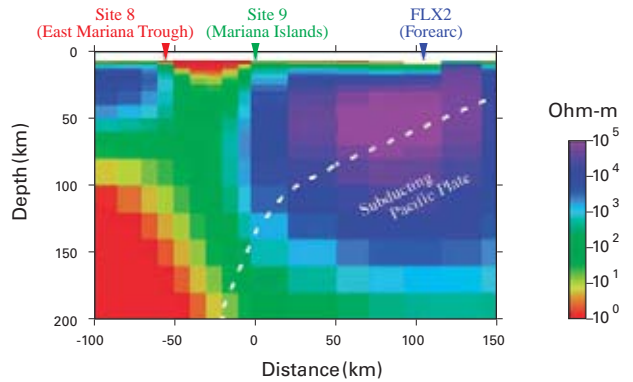


図12 マリアナ諸島(Site 9近傍)を横切る2次元電気伝導度モデル。東西断面。暖色系ほど高電気伝導度(低比抵抗)。波線は震源分布から推定される沈み込む太平洋プレートの上面位置。

際しては、東西方向の電場変動及び南北方向の磁場変動を観測値として使用して、Goto et al. (2002)によるインバージョン法を適用した。求められたマントル電気伝導度構造(図12)には、3つの特徴が認められる。1番目はマリアナトラフ中軸部(Site 8より西方)に向けて、マントルの電気伝導度の上昇がみられることである。これはマリアナトラフの拡大に伴うマントルの部分熔融の影響や、マントル中の揮発性成分の影響のためであると思われる。2番目の特徴は、蛇紋岩海山が見られる前弧域(FLX 2付近)には、低電気伝導度のマントルウェッジが認められることである。蛇紋岩は高電気伝導度を示すことから、マントルウェッジ全体が蛇紋岩化しているとは考えにくく、ほんの一部のみが蛇紋岩化していることが示唆される。3番目の特徴は、マリアナ諸島(Site 9)の直下には島弧形成に関与している部分熔融体に相当する高電気伝導体が認められないことである。これは部分熔融体が火山島直下のみ位置しており、火山島間の海底=Site 9直下には存在しないことを示すのかもしれない。今後、マリアナ諸島周辺でさらに密な海底電磁気観測を行うことにより、マリアナ諸島直下の部分熔融体の空間分布が明らかになるとと思われる。

2) インドネシア周辺ジャワ～スندا海溝系における総合的地球科学的研究

平成13年度は、平成13年1月に行われた調査船「よこすか」によるYK01-02次調査航海によって得られた海底地形、重力ならびに地磁気データの解析と、平

成14年度深海調査研究計画委員会へ新たに「しんかい6500」を使った潜行調査計画のプロポーザルを作成し審査を受けた。幸いプロポーザルは評価され、平成14年10月深海調査船「よこすか」と「しんかい6500」を使って調査航海が行われた。

オーストラリア・インドプレートがスダ海溝へと沈み込む場所の中でも、調査航海が行われたスダ海峡沖は、斜め沈み込みテクトニクスの発達するスマトラ島沖と、垂直方向に沈み込む西ジャワ島沖でのテクトニクスとの境界域に位置する。従って、この場所では上盤側の島弧の地殻にかかる応力が場所によって異なっており、特に斜め沈み込みに伴う横ずれ成分が、境界部でどのように解消されていくのかを示す典型的な場所の一つとして注目されている。

この研究課題では特に、塑性歪みとして残される海底表層部の変形の様式に注目した。調査航海で新たに判明したことは次の通りである。1)スマトラ断層の南方延長を示す地形リニアメントがはじめて確認された。この方向のリニアメントは「切断関係」からもっとも新しい構造成分であることが分った。2)本来ならば前弧の堆積盆が位置する場所にGenteng Bankと称する海丘がある。Backscatter imageから判断するとこの海丘の表層は比較的固結した岩石から構成されているにもかかわらず、この場所は強い負のブーゲ異常を示している。3)また、海丘周辺には最大250mもの比高を示す泥火山地形が幾つも確認され、30cmを越えるシロウリガイが発見された。

このような次調査航海の成果を踏まえ、スマトラ断層南方延長の確認と泥火山の成因の解明をインドネシア共和国技術評価応用庁、ドイツ連邦共和国地球科学・自然資源研究所との関係研究機関と協力関係を基にして、国際共同研究プログラムとして行った。

#### (4) 経常研究

##### 1) 潜水調査船、無人潜水機を利用した海洋放射能測定に関する研究

本研究は、平成10年度～14年度にかけて実施するもので、センターが保有する有人潜水船ならびにROVに装備した、3インチ球形NaI(Tl)センサーによる測定装置の整備・保守を行いつつ、海洋放射能の現場測定を実施し、放射線強度や核種分布のデータ

を集積する事で、地質構造や冷湧水・熱水との関係を明確にする事を目的とする。

平成14年度は、昨年度に引き続きガンマ線測定装置による常時計測が深海調査研究課題に採択され、各潜水船による現場測定を実施した。各調査海域による測定データを処理・解析し、平成14年度にセンターのホームページ上で公開を行ったデータベースへのデータ追加を実施した。

また、平成15年度以降、「ドルフィン-3K」の運航停止ならびに「しんかい2000」の運用休止が決定された事から、「ドルフィン-3K」に搭載されているガンマ線データ取得システムのセンサー部分の改良を実施し、「ハイパードルフィン」への移設を行った。これにあわせて、取得データのより定量的な評価を行うため、これまでの測定方法の再検討を行うための試験計測を「ハイパードルフィン」で実施した。

##### 2) ケーブル式観測装置を用いた津波及び地殻変動の研究

本研究は、日本周辺海域に設置されているケーブル式観測システムのデータ等を用いて、大陸斜面下の地殻変動現象の検出可能性について検討すること、また津波自動検出についても検討すること、を目的とする。

最終年度の今年度は、2000年1月28日根室半島南東沖地震(Mw6.8)に伴って発生し、釧路沖の海底水圧計で観測された微小水圧変動パルスの解析結果をまとめ、学術論文として公表した。気象庁によればこの地震の深さは56kmと深く、もちろん津波警報なども発令されなかったが、この地震によって、根室沖の海底に波長にして100km程度、海底面の上下変動にして+25mmから-15m程度のごくわずかな地殻変動が起き、その結果、微小津波が励起されたことが判明した。このような微小な水圧変動(微小な水面変動)は、沿岸の検潮所の波浪ノイズレベル以下であり、深海底に設置された水圧計でなければ検出することができない。海底での微小な地殻変動の検出に海底水圧計が役に立つ可能性がある。

一方、津波自動検出については、NOAA/PMELの遠地津波検知用プログラムと2カ年分の釧路沖海底水圧計データを用いて検討を行った。一般に、津波よりも速く伝播する海洋レーリー波による短周期の水圧変

動の振幅が津波そのもの振幅より大きいことが知られているが、釧路沖の海底水圧計の場合、海洋レイリー波による水圧変動の振幅が10mm以上あれば、海洋レイリー波による水圧変動及び、それに遅れた到達する津波を検出できることが分かった。

### 3) ガスハイドレート形成域におけるメタンフラックスのモニタリングに関する基礎研究

海洋の溶存炭素量の1/3相当を固定するガスハイドレートは、温度・圧力変化に敏感で不安定な炭素リザーバーとして、環境変動等の地球システムに少なからぬ影響を与えている。これを評価するためには、堆積物中でのその挙動を解明すると共に、堆積物から海水へのメタンフラックスを定量化する必要がある。本研究は、上記のメタンフラックス解明に資する事を目指すため、海底からのメタン湧水等によるメタン濃度等の各種環境パラメータ変動をモニタリングするための基礎的研究として実施するものである。

平成14年度は、これまでに整備したCTDプロブ・水中バッテリー、およびメタンガス濃度が計測可能なガスセンサーを取り付けた海底設置型システムやROV等に搭載できるシステムを用い、南西諸島黒島海丘と相模湾初島沖での計測試験を実施した。これとあわせ、「ドルフィン-3K」や「しんかい2000」、「ハイパードルフィン」を使用した冷湧水域の潜航調査を、南西諸島黒島海丘ならびに相模湾初島沖にてそれぞれ実施し、地中温度計測や各種地質試料の採取を行った。黒島海丘頂部の10日間にわたる計測では、潮汐の下げ止まり時、電気伝導度の低い流体が湧出した30～50分後にメタンが湧出した可能性が示唆された。なお、設置型のシステムにDO・pH・Ehの各センサーを搭載する改良を実施した。使用するROVの事情から、これらの計測試験は平成15年度に実施する予定である。

### 4) 大西洋中央海嶺下における海洋地殻形成に関する研究

本研究は、大西洋中央海嶺北緯15度20分断裂帯付近を主な研究対象とし、他の海底拡大系との比較検討も加えながら、海洋地殻形成を理解することを目的とした。この地域は、海嶺軸上に広域にわたってマ

ントル岩が海底に露出していること、すなわちマグマに涸渇した状態であることが重要な特徴である。この地域の玄武岩やマントル岩の地球化学的特徴は、ホットスポット的であることもまた興味深い特徴である。最終年度である今年度は、地磁気・重力異常、海底地形の観測により得られた、過去500万年(5Ma)間の海底拡大活動(テクトニクス)、地殻構造の成果を、学術論文として公表した。本研究域は、マグマの供給が少ない地域として代表的な北極域の海嶺とは異なる拡大速度を持つので、今後、それらの海嶺との比較研究を進めていくと、プレート引き伸ばしによる地殻の変形、デタッチメント断層の形成メカニズム、マグマの移動・上昇メカニズムに関しての、新たな知識が得られることが期待され、本研究の成果は非常に重要である。

### 5) 掘削孔を利用する地球物理学的計測の基礎研究

平成14年度は、平成13年度に南海で実施された掘削の比抵抗検層データを用い、海底の未固結堆積層の物理学的な性質及び地質学的な意義付けに目的を絞った研究を実施した。比抵抗は堆積層の孔隙率に直接結びつくことが知られているが、南海掘削のデータでは流体の通路であると思われていたデコルマ層で孔隙率が小さくなることを示していた。比抵抗に直接影響する堆積層内の粘土鉱物の存在を考慮し再解析を進めた結果、デコルマ層は周囲の堆積層よりも低い孔隙率を有するが、亀裂孔隙率という尺度では逆に周辺よりも高い数値を示していることが認められた。亀裂は浸透率を大幅に上昇させることが知られており、掘削孔周辺で採取されたコア試料も多数の亀裂の存在を示している。この結果、やはりデコルマ層は流体を周辺より透過させやすいことが示された。また、流体の透過は一般に、その透過度を示す浸透率を不変であるとする仮定が置かれているが、流体の収支についての考察は、浸透率が流体量及び圧力等の関数となることを示唆する。

昨年度の音響検層から得られた研究成果は平成15年1月の国際学会で論文として発表し、今年度の上記比抵抗検層結果及び研究成果についても国際学会誌に投稿し、平成15年度末に印刷発表した。これまで3年間のこの経常研究により、他にも比抵抗検層結果が得られており、今後も継続して投稿する予定である。

## 6) 掘削試料と孔内計測を用いた地質解析法の高度化

海底地質を解析するにあたり、掘削コア試料と孔内検層は相補関係にあり、両者の統合(Core-Log Integration)は有効な手法である。しかしながら統合を行うデータプラットフォームは整備されておらず、深海地球ドリリング計画(OD21)ではこの必要性がさらに高まることから、研究基盤の整備は急務である。本経常研究は平成13年度から15年度3カ年で実施するもので、コア試料と孔内の計測データを対比・相互補完するために必要なデータ統合環境整備を行うとともに、OD21におけるCore-Log Integrationの先行研究として、現行の国際深海掘削計画(ODP)のデータを用いた古環境変動に関する研究、および沈み込み帯の堆積物物性・流体移動に関する研究を行うものである。

平成14年度は、データ統合環境のソフトウェアのアップグレード、並びにマルチセンサーコアロガーのデータ校正試料の整備を行った。また、OD21におけるCore-Log Integrationの先行研究として、1999年に三陸沖で取得されたODPの掘削コアと孔内検層データを用い、中新世以降の堆積環境変動を明らかにした。堆積物の物性計測、組成分析、化学分析により、堆積物中の珪藻・粘土比の変化が堆積物の密度や比抵抗といった物性変動を強く支配していることが明らかになった。またコアデータと検層データを対比することにより、検層による全深度の物性変動のプロファイルを堆積環境変動のプロファイルに読み換えることができ、コア回収率の低い中新統についても精密な古環境解析が十分に可能となった。その結果、従来まで高解像度での環境復元の研究例が少なかった中新世後期において、明瞭な4万年および10万年の変動周期が認められ、古海洋学的貢献は大きい。今後さらに短い周期の変動も解析可能である。これらの成果により、OD21において十分なコアの回収が見込めないような深部コアの古環境解析が、Core-Log Integrationの手法を用いて十分に解析可能である。

## 7) 同位体地球化学による海底拡大系でのマグマ供給系の研究

本研究は、微量元素や同位体の地球化学に基づいた海底拡大時のマグマ供給系についての定量的解明を目的とする。その主たる研究対象は地球上最大の火成活動域である中央海嶺系におく。海嶺では、表層へ

の大きな物質移動があるが、定量的なモデルの確立には至っていない。しかし、他のテクトニクス場において、定量的なマグマ供給モデルを検討するためには、シンプルな中央海嶺系で様々なスケールでのプロセスを検証し順次適用していくことが必要不可欠である。

平成14年度には、Woods Hole海洋研究所所蔵の試料を利用して分析対象を海洋地殻上部へと広げた。予察的な測定では良質のデータが得られ、海嶺玄武岩のマグマ源におけるある種の不均質が示唆される興味深い結果となった。今後、同一の試料でガラス質部分とかんらん石斑晶とを比較し、マイクロなスケールでの定量化へと進む。加えて、1)はんれい岩における希ガスの担体鉱物の同定、2)単斜輝石を用いたかんらん岩類の精密同位体分析を試みた。1)について比較的分離の容易な斜長石より着手し、マグマ起源の成分に乏しいことから、分離の困難な輝石類に存在する可能性が高いことが判った。2)については、ヘリウム以外の希ガスについてはマグマの情報を失っている可能性が高いことが確かめられた。また、南西インド洋海嶺斜め拡大海域における海域調査(California大学San Diego校Melville号)への参加によって、マグマ溜まり下部起源と想定される沈積岩及び地殻最下部に対比しうる未分化のはんれい岩等について良質の試料を得た。

リチウムをはじめとする難揮発性元素同位体分析は、単斜輝石を用いて希ガスに引き続き予備実験に成功した。リチウムは風化変質過程に鋭敏な元素と考えられてきたが、鉱物試料についての分析は近年新たに実用化された有力なトレーサーである。これに加えて、希土類などの微量元素のトレーサーとしての応用をすすめる。これらに基づき、化学実験設備の本格的な稼働に向けて整備・調整を行いつつある。

本研究は、将来の海洋地殻全断面掘削を視野に入れた「全球的物質循環研究」先行研究の一翼をなす。爾後、現行の深海掘削計画や潜水調査船で獲得された良質の試料についても分析を進めていく。

## 8) 海底地震観測に見られる地震波形特性の分析研究

海底地震観測では柔らかい堆積物上に地震計を設置するため、観測された地震波形は堆積物の影響を大きく受ける。本研究ではその影響を評価するとともに、地震波形記録から、堆積物の影響を取り除くため

の手法開発を目指している。

本年度は、主に海底掘削孔内における広帯域地震観測記録の収集と分析を実施した。海底孔内では、堆積物中や、堆積層下の基盤岩の地震動を計測することができる。堆積物の上に設置した海底地震計の記録と堆積層下の掘削孔中に設置した孔内地震計の記録を比較することで、堆積層での地震動の増幅、変換や、堆積層中で卓越する特定の表面波などを抽出することができると考えられる。これまで、海底掘削孔内での地震観測の例は非常に限られていたが、本年度には昨年度までに設置および観測開始された4点の海底掘削孔広帯域地震観測所からの記録が回収され、海底と基盤岩の地震動の直接比較が可能なデータが堆積層および地殻構造がことなる様々な場所で初めて得られた。

得られた孔内の広帯域地震記録は現在分析中であるが、10秒から1秒にかけての海底ノイズに見られる複数のピークの周波数が、観測場所によって大きく異なっているが、その周波数は変動しないことがわかった。また、このノイズピークの振幅は上下動と水平動で大きく異なっていることもわかった。今後、これらのピークの周波数や振幅を定量的に評価し、地殻構造探査の結果と合わせて堆積層の地震動の増幅・変換の効果を定式化していく。

#### 9) 海底での自然電位分布測定に関する研究

本研究は、自然電位分布測定を海底で行い、海底下の流体挙動の解明をおこなうことを目指している。平成14年度は、海底下での地下水流動の引き起こす微細な電磁場を検出するためのセンサー開発を実施した。平成13年度に開発を行った高感度フラックスゲート型磁力計センサーに加えて、本年度は電場センサーおよび記録部の開発を行った。これらは従来の磁力計センサーや電場センサーに比べて、小型であり耐圧ガラス球1つ＋小型金属耐圧容器2つという構成で自己浮上が可能な物である。今後は、フレーム部などの試作を行い、実海域でのデータ取得実験を行う予定である。また電場センサーの開発と同時に、電場センサーの高圧環境下での性能試験の実施可能性を検討し、当センターの中型高圧水槽内部の電場センサーの状況のモニターシステムの構築を新たに行った。本システムを用いて、試作を行った電場センサーの性能試験を実施する予定である。

#### 10) 掘削孔内における熱・水理学的計測の基礎研究

深海地球ドリリング計画において、深海研究部では地震発生帯のダイナミクス解明のために、地震発生断層への掘削および孔内長期モニタリングを重要な課題の一つと考えている。地震発生を支配するキーパラメータのうち温度・圧力場及びこれらに支配された間隙水の流れが重要である。本研究ではこれらを推定するための観測機器およびセンサーの改良および地熱井などの掘削孔や、海底での試験・長期観測を実施し、地震断層に到達する機器への見通しをつけること、およびデータの正確な解釈を行うための手法を開発することを目的とした。

平成14年度は、その2年目として、岩手県松尾村の松川地熱井に設置された孔内長期温度電位差計による観測を継続し、データを採取してその特性の検証を行った。また、5kmを超えるような大深度の掘削孔で、1年を超える長期温度および電位差観測を精度よく行うための、技術的検討を行い、報告書を作成した。

測定装置本体は、温度測定部、電位差測定部、主制御部、記録部、通信制御部、電源部からなり、耐圧深度6000mの耐圧容器に搭載されている。温度は18点で測定することが可能である。電極は10本あり、これを組み合わせて10組の電位差を測定することができる。温度の測定範囲は0～32767.5Ω(約150～0°C)で、分解能は1.0Ω(0.005°C)である。また電位差の測定範囲は±1.0Vで、分解能は1μVである。測定間隔は1分とした。記録媒体にはコンパクトフラッシュ・メモリーカードを使用し、6分間隔測定で5年258日分の測定を行うことができる。

松川地熱井での観測は、平成12年12月に開始され、その後平成13年7月および12月にデータ回収を行った。昨年度に報告したのと同様、温度は非常に安定で、80°Cまでの環境下では問題なく温度測定が行えることが判明した。ただし、24時間の変動が深度270mの記録にも見られることが判明し、その原因として潮汐による効果が考えられる。今後詳細な解析を実施する。一方、高周波の温度変化(振幅0.05°C程度)が存在するが、これがハードウェアによるものか、実際に起こっているものか、併せて詳細な検討を行う予定である。

電位差については、平成12年の投入後には電極が安定するために時間がかかる効果などのため、様々な

変動が記録されていたが、徐々に安定している。ただし銀-塩化銀電極よりも銅電極が安定した挙動を示すようである。一般には海水下では銀-塩化銀電極がより安定であるとされており、本測定を行った孔の化学的環境と併せて、今後の課題として検討を行う。

#### 11) 海底における広帯域地震計測システムの基礎研究

本研究では、北海道釧路十勝沖海底地震総合観測システムの付随装置である移動型観測システムを用いて、海底面上に設置された広帯域地震計のバックグラウンドノイズの評価を行い、その結果を踏まえた地震計の海底設置方法や機器形状の変更による計測装置の機能向上の可能性について検討を行っている。平成14年度には平成13年度に観測を終了したシステムの回収を行ない、さらに、観測再開に向けての機器整備に着手した。今回の整備では、観測期間の延長(平成13年実施当時の稼働期間6ヶ月から稼働期間1年への変更)、さらに、地震計本体を表層堆積物中に埋設しての観測を可能にするための耐圧容器パッケージングの変更(試験観測では球体の耐圧容器を用いた自己浮上式海底面設置型だったが、埋設を考慮しケーシング内におさめられるように、円筒容器形状変更)を計画している。

#### 12) Geological and geophysical study of the Mariana Basin

平成14年度の研究内容は、第三紀における西フィリピン海盆のテクトニックな活動、次に伊豆小笠原マリアナ弧におけるボニナイト生成過程、そしてマリアナトラフの拡大過程と大きく3項目に分類される。その各々についての研究活動は、下記にまとめられる。

(a) 第三紀における西フィリピン海盆のテクトニックな活動は、非常に限られたデータのため、詳細には解明されていない。そのため平成14年度には、これまで実施された日仏共同研究航海のデータを収集し、西フィリピン海盆拡大過程に関するモデルを構築した。このモデルは、西フィリピン海盆が方向の異なるプレート収斂域に挟まれた背弧海盆であること、更にベンハムホットスポットの影響を受けながら東周りの回転運動の場にあったことを提唱している。このモデルを用いるこ

とにより、トリプルジャンクションの存在、拡大軸の重合や連続性の節断、拡大に伴うファブリックの回転変形といった観測事実を説明できる。この研究成果は国際学術誌に2編の論文として受理・発表された。

(b) 伊豆小笠原マリアナ弧に特徴的に見つかるボニナイトについては、その起原が、やはり良く解明されていない。上記(a)のモデルを用いることにより、伊豆マリアナ弧とベンハムホットスポットの相互作用によりボニナイトが生じ、始新世期に生じた西フィリピン海盆拡大軸と後に伊豆マリアナ弧状列島となるトランスフォーム断層の交点に出現する(図13)ことを提唱した。この成果は国際学術誌の論文として受理された。

(c) マリアナ拡大軸は、非対称拡大軸として良く知られている。過去に得られた海底地形データ及び3次元インバージョンを施した地磁気データを用い解析を進めた結果、この非対称がマリアナ弧側に移動した拡大軸の影響だけではなく、西側に2~3倍高速となる拡大速度の非対称性(図14)にも起因することを示すことができた。マリアナの沈み込み帯の位置がユーラシアに対しほぼ静止しているにも拘らず、フィリピン海プレートは西方向に移動しており、この非対称性の原因は拡大に影響する引張り応力の差異によると解釈できる。この研究成果は既に投稿した。

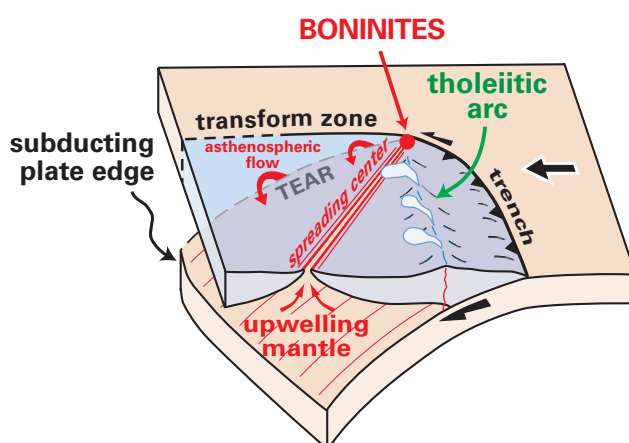


図13 沈み込みに伴う海溝、海洋底拡大軸及びトランスフォーム断層の会するモデル。沈み込むスラブの脇でマンテル上昇流が生じ、ヒートフローを高める。ボニナイトは、こうした状況で生成されると考えられる。

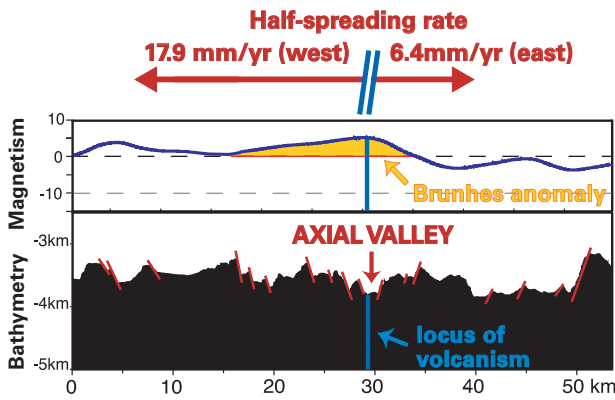


図14 マリアナ拡大軸に直行する19°35'N沿いの残留磁気異常(上図)及び海底地形(下図)。黄色く塗られた部分はブルンヘ磁気異常に該当する。海底地形の拡大軸近傍には火山活動の軸が存在する。この軸を取り巻くように正断層を示唆する地形が認められる。

### 13) 親潮・黒潮混合域の堆積システムの解明

西岸境界流である黒潮は赤道の暖水プールから中緯度へ熱を運搬する熱輸送システムとして亜熱帯循環系で重要な役割を果たしている。またオホーツク海を循環して日本列島沿いに南下してくる親潮系冷流との会合が、現在は本州東岸三陸沖において起こっている。黒潮は、その後黒潮続流として東進する。この会合域に堆積する堆積物は黒潮続流および親潮の変動を記録しており、過去の地球表層熱循環を考える上で重要な海域である。しかしその挙動は複雑で日本近海における流路変化や蛇行現象など解明されていない現象が多い。

平成14年度には、このような海流の変動を記録している深海底堆積物の生物相、堆積相を解析することにより過去の黒潮の挙動を知りその仕組みを解き明かすため、黒潮続流周辺において堆積物を採取した。6月に「みらい」によって、11月に「かいらい」によって黒潮続流域とその周辺から堆積物を採取した。コアの古地磁気学的検討をおこなった結果、これらのコアは年代の指標となる古地球磁場相対強度を良く記録している事が分かった。帯磁率等の岩石磁気学的指標は周期的な変動を示し、これは氷期-間氷期サイクルに支配されている可能性がある。平成15年度には火山灰層序など他の年代指標の検討、コアの化学分析を行い、堆積物に記録された、黒潮の挙動の時空の変遷について考察をおこなう。

### 14) スロー地震による津波発生・伝播過程の定量的評価

地震動の規模に比べて津波の規模が大きい津波地震が注目されており、津波防災上の盲点となっている。津波地震の発生原因の一つに、断層面上のゆっくりとした破壊伝播、という説がある。本研究は、従来は無視されてきた断層運動の動的効果を考慮した津波シミュレーション手法を用いて、ゆっくりとした断層破壊をする地震、すなわちスロー地震により励起される津波の発生・伝播メカニズムの解明を目指している。具体的には、既存の海底ケーブル観測システムで得られた地震・津波観測波形と津波シミュレーションをリンクさせて詳細に分析することでスロー地震の数値モデル化とそれが誘発する津波の発生・伝播メカニズムの定量的評価を行う。

本年度は、北海道釧路・十勝沖海底地震総合観測システムのケーブル式津波計で観測された振幅数mmというマイクロ津波の数値シミュレーションを行った。これは、2000年1月28日に根室沖で発生したM7の地震により発生したと考えられるマイクロ津波、およびそれに先行するレイリー波らしき水圧変動成分がケーブル式水圧計で観測されたためである。地震解析などから推定された震源断層パラメータを与えて津波シミュレーションを行い観測記録と比較した。その結果、マイクロ津波の到達時刻と振幅がよく一致すること、観測記録には数値シミュレーションで得られた津波に先行する海面変動も観測されていることなどを確認した。したがって、深海底に設置された海底ケーブル式水圧計により観測された、到達時刻と周期の異なる2種類の水圧変動は、マイクロ津波および先行するレイリー波に起因していることを説明できた。

今後は、蓄積されたデータベースからスロー地震と考えられるイベントを抽出するとともに津波発生モデルの検討を行う予定である。

### 15) 海底地電位差計の開発

海底での地磁気地電流観測が多く実施され、それらのデータを用いた2次元構造解析の結果が多く提出されてきている。得られる構造の解像度をより向上されるためには、多点での観測が必須であるが、現在の測器の数はそれに対応できるほど十分とは言えない。海底地磁気地電位差計(以下OBEM)の製作

には多くの資金が必要で、上記の要求に応え得る測器の数を早急に揃える事は難しい。そこで地電位差のみを測定する簡便な海底地電位差計(以下OBE)を開発し、多点観測に対応することを目指した。また、人工電流源探査の受信装置、SP調査の参照点等への使用も期待出来る。

このOBEの特徴は、現在JAMSTECが所有する海底地震計(以下OBS)のデザインを流用して開発を容易にした事にある。開発するOBEはOBSと同様にガラス球1個で構成され、通信用と電極用の2つのペネトレーターがガラス球外部に伸びる。内部の実装方法もOBSに準拠し、電池収納用のボックスはそのまもの形物を流用出来る仕様とした。新たに製作したのは、OBEに必要な記録部電気回路(地電位差アンプ基盤、CPU基盤、電源回路)と収納用のケースである。

記録部の電気回路は神戸大学式OBEMのものを参考に、地磁気計測部分を取り除く形で製作した。電位差の収録チャンネルは4ch、AD変換分解能は20bit、最小サンプリングレートは1秒である。データ収録用のCPU基盤も神戸大学式OBEMに準拠し、フラッシュメモリにデータを保存する。データ通信にはRS-232Cを採用し、ペネトレーターを介してガラス球外部からデータの吸い出しや各種制御を行う事が出来る。また傾斜計と方位計も実装している。来年度は計測機器のフレームへの取り付けを検討し、切り離し試験を含めた実海域での動作検証を行う予定である。

#### 16) 背弧海盆形成に関する研究

島弧の形成過程を考える際、背弧海盆の形成過程は、必要不可欠な情報のひとつであり、島弧と一連にして考察する必要がある。形成過程を考察する上で、島弧から背弧海盆にかけての高空間分解能な地殻・最上部マントル構造の遷移を明らかにすることは大変重要であると考えられるが、詳細な島弧から背弧海盆の地殻構造の遷移を明らかにしたものは少ない。本研究では、北西太平洋の背弧海盆である日本海を研究対象域とし、背弧海盆形成時の情報を有する日本海(背弧海盆)から西南日本弧(島弧)にかけての高空間分解能な地殻・最上部マントル構造の遷移を明らかにし、他の地球物理データと加味しながらより高精度で解明し、その形成過程を考察することを目的とする。

2002年夏、鳥取沖・日本海～四国にかけて行われた海陸統合探査の一つとして、日本海・鳥取沖から隠岐トラフ、隠岐海嶺、大和海盆南西部にかけて自己浮上式海底地震計、エアガンアレーを用いた深部地殻構造探査(KY02-09次航海Leg.1)を行った。また同時に12ch.マルチチャンネルストリーマーを用いた反射法地震探査も行った。

2002年度は構造探査測線上の浅部地殻構造および予察的に深部地殻構造を求めた。浅部構造については、大和海盆南西部の堆積層の厚さは約1.0～1.5km、基盤のP波速度は約3.1km/sであることが明らかになった。この地域の堆積層は、大和海盆西部で行われたODP Site 797の掘削結果および屈折法地震探査の結果より、中新世末期より第四紀の堆積物と考えられる。隠岐海嶺の堆積層の厚さは約0.3kmであった。深部地殻構造では、大和海盆南西部の地殻の厚さは約13kmであり、典型的な海洋性地殻、大陸性地殻でもない地殻の厚さを示している。隠岐海嶺では地殻の厚さは約22kmとなり、モホ面は大和海盆から隠岐海嶺にいくに従い、深くなっている。

今後、日本海から西南日本弧にかけての詳細な深部地殻構造の遷移を明らかにし、他の地球物理データを加味し、その形成過程を考察する予定である。

### (5) 共同研究

#### 1) 海洋底における地震・地殻変動ネットワーク観測基礎研究

三陸はるか沖のWP2孔内広帯域地震観測所、フィリピン海のWP1孔内広帯域地震観測所、三陸沖のJT1およびJT2孔内地震・地殻変動観測所のすべての観測所で同時に長期観測を行うことに成功した。

今年度は、昨年度までに観測を開始した4点の掘削孔観測所から観測データの回収を実施し、海底孔内での観測記録の蓄積をはかった。WP2孔内広帯域地震観測所には、平成14年7月に、JAMSTEC「かいいい」および無人潜水艇「かいいい」でデータの回収作業を実施し、330日以上連続観測記録を得るとともに、観測を継続している。また、WP1孔内広帯域地震観測所には平成14年10月に同じく「かいいい」「かいいい」でデータの回収作業を行い、180日あまりの連続観測記録を得て、なお観測を実施中である。

また、三陸沖孔内広帯域地震・地殻変動観測所では、平成13年度に観測を開始したJT2孔内観測所からは、連続40日あまりの地震・傾斜観測記録の回収に成功し、平成14年6月からは再び広帯域地震および傾斜観測を行っている。さらに、JT1孔内広帯域地震・地殻変動観測所では、孔内センサーの動作状況の確認を9月に実施し、広帯域地震計・傾斜計が直ちに観測が可能であること、また、歪み計が、歪み計制御機器の設定の変更を行えば観測開始が行えることを確認した。そして、180日程度の地震および傾斜観測の開始に成功した。

これまで、回収された孔内の広帯域地震計の記録を半日～1日の周期で調べたところ、潮汐が明瞭に見られた。また理論的な潮汐モデルと記録は、よく一致しており、孔内の広帯域地震計は1日周期のような長周期においても安定して観測ができることが示された。

## 2) 海底ケーブルによる電界変動計測の研究

防災科学技術研究所との共同研究である本研究は、海域における地震等の地殻変動に伴う物理過程の研究の一環として、長期観測ステーションの海底ケーブルの給電線上に発生する電界変動の計測並びにステーションで得られる観測データを用いて、地殻変動に伴う電磁界変動を検出する手法を開発することを目的としている。

具体的には、防災科学技術研究所が陸上で実施中の電磁界変動観測の手法を応用し、初島沖長期観測ステーションの海底ケーブルの給電線上に発生する電界変動を直流成分を含む多周波数帯(DC、VLF、ULF)で計測することにより、海底ケーブル周辺に発生する地震等の地殻変動と電界変動との関係を調べ、手法の有効性を検証する。

平成14年度は、前年度までに製作した電界変動計測装置による連続計測を実施した。但し平成14年3月から11月までの間は初島沖ステーションが修理のため海底から回収されたため、ステーションによる観測データは欠測している。この間海底には海底ケーブルのみ存在し、電界変動計測装置を接続した給電線は、海底端がもう1本の給電線へ折り返された状態となっている。11月のステーション再設置後は、海底端の折り返しを開放し電極を接続した。電極接続前に見られた変動の大

半は、毎日定時に発生する人工的な要因によると推測されるものと、雷及び気温変化と相関のある変動である。雷に関しては、相模湾周辺だけでなく、関東以北の遠地で発生した雷との相関も見られるなど、広域的な雷の影響を受けている。電極接続後は、雷ノイズ及び従前見られたADCP動作時の突入電流によるノイズが低減されたが、底層流等の海底環境変動よりも、人工的な要因によると推定される変動並びに気温変化と相関のある変動が卓越している。計測期間中5月8日から14日にかけて伊東沖で小規模な群発地震活動が発生したが、雷の影響もあり電界変動との対応は明瞭ではない。本研究実施期間中は、それ以前に比べ、群発地震活動が極めて静穏であったこともあり、地殻変動に伴う電磁界変動検出のためには、群発地震の活動期を含む長期観測によるデータ蓄積が必要である。

## 3) 海洋底における電磁場変動ネットワーク観測基礎研究

本研究では東海大学地震予知研究センターと共同で、海底で長期間安定して磁場変動を記録可能であり、かつ低消費電力の磁場センサーの開発を目指している。平成14年度には、平成13年度に温度特性の改良を行ったトーション型磁力計の動作試験を行った。気象庁地磁気観測所(茨城県八郷町柿岡)において動作試験をおこなった結果では、磁力計の性能は1nTよりも高分解であり、温度特性も平成13年度の試作機よりも改善されていることが明らかとなった。温度特性は磁力計の各成分で大きく異なるが、気象庁地磁気観測所の磁力計校正室は温度環境をコントロールすることが可能であり、磁力計特性と温度特性を校正できることがわかった。これらの実験により、本共同研究で試作を行ったトーション磁力計は海底での環境でも十分使用に耐えうる事が明らかとなった。今後は、実海域において従来型の海底磁力計との比較計測を行い、トーション磁力計のメリットである消費電力および分解能・ノイズレベル等の比較を行う予定である。

## 4) 光地震計の低周波対応改善に関する研究

(旧:光ファイバ地震センサーの低周波対応改善に関する研究)

光地震計の低周波応答改善の方法として提起した(1)センサの改善、(2)長距離伝送での信号劣化の間

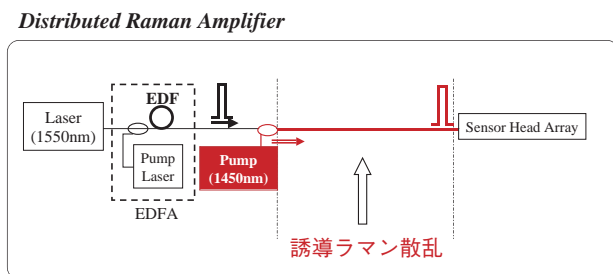


図15 採用された光アンプ方式。

題、の双方について、沖電気工業株式会社との共同研究開発を継続した。センサについては、その特性を把握、改善するための実験を継続した。長距離伝送については、昨年度設計した光アンプ方式の実験を開始した。光源からセンサまで約25kmの簡単な系を製作し、図15にみられるような光アンプ方式を採用した。入射光として1550nmのレーザを持つ系に、1450nmのレーザ光を射出するラマンポンプを接続すると、経路中のファイバ中でポンプとは波長の異なる入射光のエネルギーが増幅される。これは誘導ラマン散乱と呼ばれる非線形な効果である。実験の結果、距離と共に誘導ラマン散乱による増幅作用が一定のレベルで継続し、本来であれば減衰すべき入射光のエネルギーレベルを高く保つことに成功した。光エネルギーの減衰は特に低周波応答に関連し問題となるが、昨年度設計した100km伝送可能な系は、単なる机上計算に過ぎなかった。今年度の実験により、設計した系の光ポンプ部分が実用化できる技術からなることが証明することができた。これまでの成果を取りまとめ、2003年6～7月に開催される国際測地学及び地球物理学連合の総会(IUGG)で発表する予定である。

#### 5) 海洋放射能測定用検出器の運用とデータ解析手法に関する研究

この研究は、平成13年度より3年計画で、日本原子力発電所、日本海洋科学振興財団と共同で行うもので、海洋放射能測定用検出器を搭載した潜水船等による現場放射能測定により、海洋における放射性核種の分布状況を明らかにすること、効率的なデータ処理・解析・解釈の手法について研究すること、及び、海洋に放出された放射性核種の分布状況を迅速に測定する簡易型モニタリングシステムの整備に必要なデータを収集すること等を目的とする。

本年度は、その2年目として、潜水船での観測を継続しつつ、核種測定のために、センター深海研究棟6階に設置されたGe半導体検出器を、試料の核種測定も行えるような改良を行った。試料を入れるための容器の作成等の作業を行った。測定は今後実施する。

潜水船での測定では、南海トラフ熊野沖前縁部の冷湧水域で引き続き観測を行い、非常に高い値を得た。この場では、同時に可搬型システムで行った測定でも高い値が得られたことから、断層に沿った湧水を支持するものを考えられる。また、インドネシア付近のスダ海溝前縁部での崖付近で観測を行い、若干の異常値が観測された。

今後は、ROVへのシステム移管、湧水の起源を限定するためのシステム構築等を検討する。

#### 6) 掘削孔地震・地殻変動観測における掘削孔の挙動評価

海底掘削孔を地球物理的観測に応用する際、掘削孔自体が観測に与える影響を評価することを目的として研究を行っている。

今年度は昨年度に引き続き潮汐に連動した底層流が流入、流出することに伴う孔中の流速分布および孔壁振動の数値シミュレーションモデルの開発を行っている。また、実際の掘削孔における潮汐などの海水準変動に対する応答を定量的に把握するために孔内観測の準備を進めた。

孔内観測の準備は、掘削孔周辺的环境変化として、海水準の変化を正確に計測するために、機動的に長期観測が行える海底水圧計の開発と整備を実施した。開発した海底水圧計は、水晶震動子に加えられる圧力変化を周波数変化で計測する原理のセンサーを用いているが、計測に用いる基準周波数源を $2 \times 10^{-8}$ の安定性を持つものを利用することで、精度を向上させたほか、精密な位置に設置を行うため、設置および回収を無人潜水艇で行えるよう開発した。開発した海底水圧計の動作試験を実海域で実施し、潮汐による海底圧力変動を良好に記録できることを確認した。この海底水圧計を掘削孔の上部に設置し、孔内の広帯域地震計や傾斜計と同時観測を実施することで、掘削孔周辺的环境変動と掘削孔の微小な変動を定量的に比較することが初めて可能となる。今後、孔内で数ヶ月

以上にわたる長期間比較観測を実施し、実際の掘削孔の挙動を知るとともに、シミュレーションモデルの妥当性を検証する。

#### 7) 南海トラフ沈み込み帯における長周期海底電磁気観測

本研究では南海トラフ沈み込み帯の地下電気伝導度構造を明らかにすることを目的として、海底電磁気観測に関して日本で最も実績のある機関である東京大学地震研究所との共同研究により、南海トラフ熊野灘における海底電磁気観測および取得データの解析を実施する。このうち、平成14年度には海底電位差磁力計(OBEM)の設置を行った。平成14年12月、調査船「かいよう」KY02-12航海において、2台のOBEMを熊野灘(水深約2000m)の海底に設置し、OBEMの着底および位置決めを行うことができた。これらのOBEMは平成15年5月に回収予定である。これらのデータと、別途取得を行っている紀伊半島の陸上での電磁場データの双方を用いることにより、南海トラフから紀伊半島に沈み込むフィリピン海プレートを含んだ、地殻～マントルの電気伝導度構造解析を実施する予定である。

#### (6) 受託研究

##### 1) 掘削孔を用いた音波探査による火道のイメージング

文部科学省からの委託を受け、平成11年度から開始した「エアガン地震波再解析による島原半島の地殻構造の研究」では、地下のマグマの存在を地震波で確認することはできなかった。その理由が地震波の解

像力、そして地下マグマの地震波に対する物理的性質が未知であること、という2点が主であるという推察がなされた。平成14年度からは、マグマの通り道である雲仙火山山頂直下火道の掘削も開始され、第二期計画としてマグマの地震学的性質の把握に焦点を絞った研究の必要性が認識された。平成14年度から、本研究は地下マグマの地震波に対する物理的性質を調べる「掘削孔を用いた音波探査による火道のイメージング」と名称を変更した。

音波探査及びイメージングは、掘削坑内に垂下された検層機器を用い調査が実施される。そのため平成14年度は、火山という高温環境で実施される検層機器の詳細を調査した。雲仙のマグマを、その岩石物理学的性質を測定すると仮定すると、下記諸量が必要な測定対象となる。応力場推定パラメータ、(孔壁からの異なる深度に対応する)電気比抵抗、地震波P波速度、地震波S波速度、重力、密度、孔隙率等である。孔内センサーの場合の条件同様に、摂氏175度以下であれば、全量の測定が可能であるが、175度から250度の範囲であれば、(孔壁からの異なる深度に対応する)電気比抵抗、地震波P波速度、密度、孔隙率のみ測定可能であることが判明した。全ての条件を満足させ、今後の構造探査に必要な岩石物理学的性質を求めるためには、可能であれば摂氏175度という環境が望ましいが、摂氏250度までであればある程度の測定迄可能となる。この場合、測定のできない岩石物理学的諸量についてはコア実験等を通じ補う必要があることも結論として導かれた。

## 2. 海洋技術研究部

### (1) 海洋技術研究部の概要と研究方針

海洋技術研究部は、深海潜水調査船、無人潜水機、海洋観測ブイ等各種の海洋調査船、海洋観測機器の研究開発ならびに水中音響技術等各種海洋観測に共通で重要な先進的先端技術の研究開発を通じて、海洋、ひいては地球を知るための手段を提供してきた。海洋技術研究部の開発したこれらの海洋調査船、海洋機器ならびに技術は、海洋科学技術センターの研究者のみならず、外部の研究者にも広く用いられ高い評価を得ている。

海洋技術研究部では、これからも地球深部探査船をはじめとする海底深部にある地球自身の情報を探るための海底探査システム、長距離を自律して航行しながら海洋調査を行う自律型無人探査機や知能化ロボット等による海洋調査システム、エネルギーを始めとする広大な海洋資源を有効利用するとともに、地球環境を守り、改善するための海洋開発機器等の基盤的システムの研究開発ならびに水中音響、水中動力源、センサ技術等の今後さらに高度化する海洋調査研究のニーズ等に対応するための先進的技術の研究開発を通じ、海洋・地球科学技術の進展に積極的に寄与する事を目指している。

### (2) プロジェクト研究

#### 1) 先進的技術の研究開発

期間：平成10年度から

##### a) 映像技術に関する研究

水中TVカメラの映像は、遠隔制御される無人探査機(ROV)にとって、非常に重要な情報源である。本研究では近年技術進歩が著しいVR(バーチャルリアリティ)を導入し、臨場感あふれる映像をオペレーションや研究者等に提供するための研究を行っている。

深海利用の水中TVカメラは水圧から保護するため耐圧ガラスで覆われているが、この耐圧ガラスを通して撮影する為、得られる映像には歪みが生じる。本年度は、開発した歪み補正、色補正等の補正処理と合成処理を行う「水中TV画像合成表示装置」を実際にROVオペレーションで使用し、総合評価試験を実施し、良好な結果を得た。

##### b) 動力源に関する研究

自律型無人潜水機(AUV)を長距離航行させるために、固体高分子型燃料電池をAUVの動力源とするための研究を進めている。本研究では、燃料電池が使用する燃料(水素ガス)と酸化剤(酸素ガス)について研究開発を行う。

本年度は、2種類(AB2とBCC)の水素吸蔵合金のAUVへの適合性を確認するための接続試験を実施し、AUV搭載の観測機器の電源をON/OFFする負荷変動を与えても安定して水素ガスが供給できることを確認できた。しかしながら、AB2容器は、AUVへ適合性及び操作性・メンテナンス性は充分良好であるが、吸蔵量の観点から、またBCC容器は、AUVへ適合性及び吸蔵量は充分良好であるが、操作性・メンテナンス性の観点から実海域試験に適さないことがわかった。これにより新たにAB5容器を試作して水素吸蔵性能と放出特性及びAUVへの接続試験を実施し、実海域試験に供し得ることが確認できた。

##### c) 水中音響

有人潜水船や無索無人探査機、海中に設置された観測機器等と音響信号を用いて通信を行うための研究を行っている。

本年度は、レベルの大きなマルチパスが混入するような環境下でも復調が可能となるように、空間ダイバーシティ効果を利用できる多チャンネルDFE(Decision Feedback Equalizer)を適用した復調ソフトウェアを作成した。駿河湾において実海域実験を行い、大きなマルチパスが混入する場合でも、16-QAM変調方式・多チャンネルDFE復調器を用いて復調が可能であることを示した。チャープパルスの相関値による通信路の特性を図1に、復調結果例を図2、図3に示す。図1から、直接波から2ms程度遅れて、直接波の8割程度の大きさのマルチパス(反射波)が受波されていることが分かる。このような環境下において、1個の受波器を使って受信データを復調した結果が図2のように誤りが発生している場合においても、2個の受波器を使って復調すると、空間ダイバーシティ効果により、図3のように誤り無くデータが受信できていることが分かる。

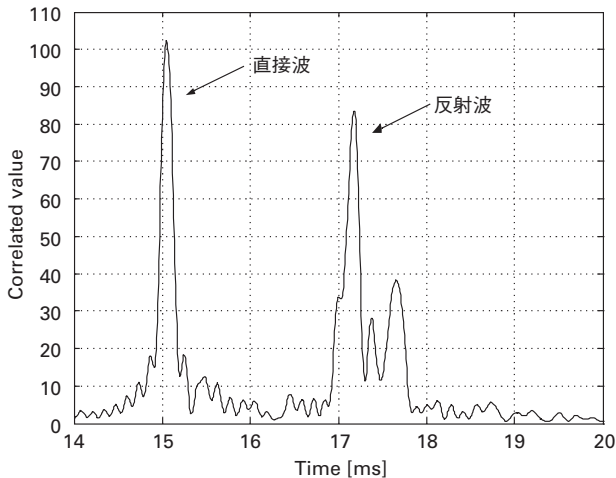


図1 チャープパルスを用いて計測した通信路特性

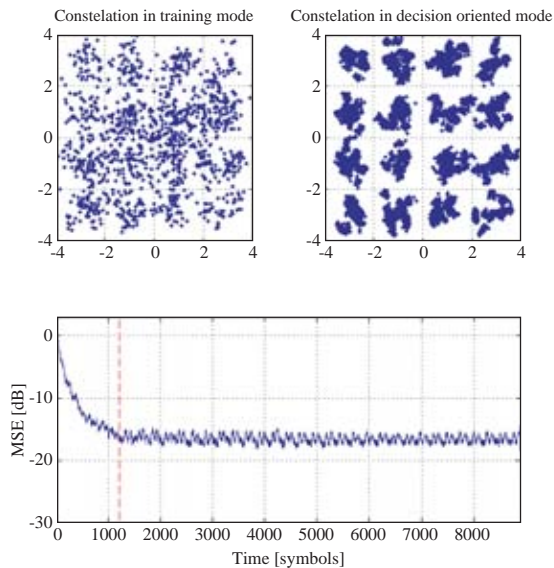


図2 復調例(1素子、エラー： $1.2 \times 10^{-3}$ )

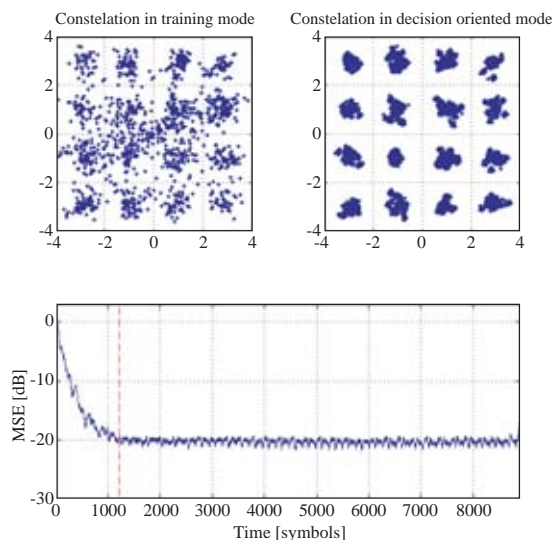


図3 復調結果例(2素子、エラー無し)

d) 計測およびセンサ技術に関する研究

無人潜水機を利用した海洋調査において、オペレータは無人潜水機の姿勢制御などに多くの労力を要求されるようになった。無人潜水機の高機能化がさらに進めば、高精度センサーと高性能コンピュータによる各種の自動機能を取り入れて、無人潜水機の運動制御を高める必要がある。この研究では、水中での運動を高精度で計測できるセンサーを開発する。これまでの研究で開発を行ったリングレーザージャイロは、耐環境性能に航空機用の条件を採用していた。航空機用の条件は、無人潜水機で使用する条件よりも厳しい環境性能が必要とされている。平成13年度は、環境条件の一部を無人潜水機の使用条件に適合するように変更し、従来品からの性能向上を行った。平成14年度は、平成13年度に製作したジャイロをもう1個製作し、慣性航法装置内に組み込み試験を行った。この結果、従来の約1/2以下となる性能を得た。

2) 成層圏プラットフォーム搭載用海洋観測センサに関する研究

期間：平成10年度から

成層圏プラットフォームは、高度20km程度の成層圏に通信機器等を搭載した無人の飛行船を滞空させ、通信・放送や地球観測等に利用することを目的として研究が進められている。

初期計画の一環として、成層圏滞空試験が平成11年度にミレニアムプロジェクトとして実施されることが決定した。海洋科学技術センターはミッション試験を担当し、成層圏滞空試験機に搭載するミッション機器(大気採取測定システム)を開発した。このシステムを成層圏滞空試験機に搭載し、成層圏高度までの大気中の二酸化炭素の直接測定ならびに大気の採取を実施する。平成14年度は、前年度に試作したプロトタイプを基に搭載機を製作し、模擬環境試験を行うことで、想定される環境下でも問題なく大気中の二酸化炭素測定ができることを確認した。さらにこの測定システムを航空機に搭載し、高高度での動作確認試験を行い良好な結果を得た。また、この測定システムを成層圏滞空試験機に接続する試験を行って問題なく動作することを確認した(図4)。



図4 飛行船に搭載した大気採取測定システム



図5 深海巡航探査機「うらしま」外観

### 3) 自律型無人潜水機の研究開発

期間：平成10年度から

自律型無人潜水機はあらかじめ作成したスケジュールプログラムにしたがって、自律して海中を航行できる無人潜水機をいう。この研究では、表1に主要目を示す自律型無人潜水機試験機(以下、試験機という)を開発する。深度3,500mまで潜航可能で、3knの巡航速度で300kmの航続距離を目標とする。機体は抵抗を小さくするため、細長い円筒型である。長距離を航行するには、高性能動力源と高性能航法システムが不可欠である。前者は、固体高分子型燃料電池とリチウムイオン二次電池を用いる。後者は、慣性航法で生じる誤差を最小とするため、光リングレーザジャイロ、ドップラ速度計などを組み合わせた。また、海中で観測作業を行うためにデジタルカメラ、サイドスキャンソナーおよび海水の温度、電気伝導度および溶存酸素量を計測するCTDO計などを機体に搭載して、海底調査および計測を行うことができる。図5と表1はそれぞれ試験機の外観と主要目を示す。

試験機は深海巡航探査機「うらしま」と名づけられ、平成12年度から実海域試験を開始した。平成14年度は、実海域で計5回の潜航試験を実施した。その結果、過去の実験結果に基づき航行中の試験機の電力効率が最大となるように計画した長距離自律航行試験では、図6に示すようにリチウムイオン電池による目標航続距離(100km)を越える133kmを自律航行した。また、約30時間に及ぶ試験機の航行で慣性航法、ドップラ速度計および位置誤差修正のためのソナーによって正確に誘導されることも確認できた。10月以降は、ピークル

表1 深海巡航探査機「うらしま」主要目

Dimensions	Length 10 [m] Width 1.3 [m] Height 1.5 [m] Weight 7/10 [ton]
Maximum Range	300 [km] (Fuel Cell) 100 [km] (Lithium ion battery)
Maximum Depth	3,500 [m]
Cruising Speed	3 kn (Maximum 4 kn)
Navigation	Inertial Navigation System Doppler Sonar Homing Sonar
Operation Mode	Autonomous Remote (Optical, Acoustic)
Sensors	Side Scan Sonar Snap Shot Digital Camera Forward Looking Sonar CTDO (Conductivity, Temperature, Depth, Dissolved Oxygen)

に搭載されているリチウムイオン電池を撤去し、動力源を燃料電池システムに置き換える工事を実施した。燃料電池は燃料と酸化剤にそれぞれ水素ガスと酸素ガスを利用する。水素ガスは安全性を高めるために水素吸蔵合金に貯蔵する。図7に改造後の一般配置図を示す。平成14年度以降、300kmの航行距離を目標として海域試験を実施する計画である。

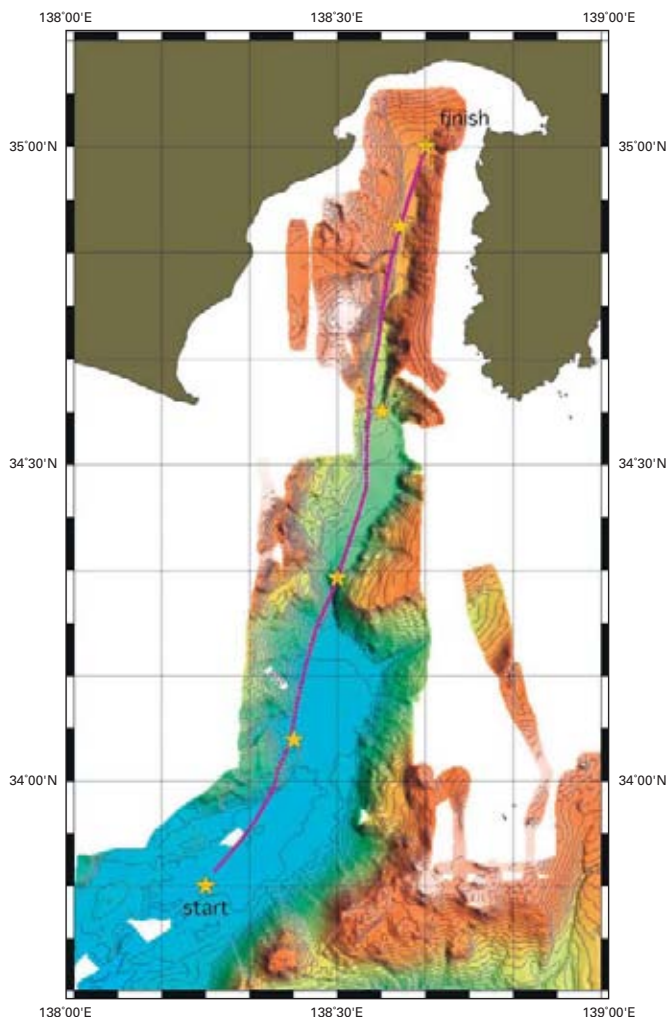


図6 自律航行航跡

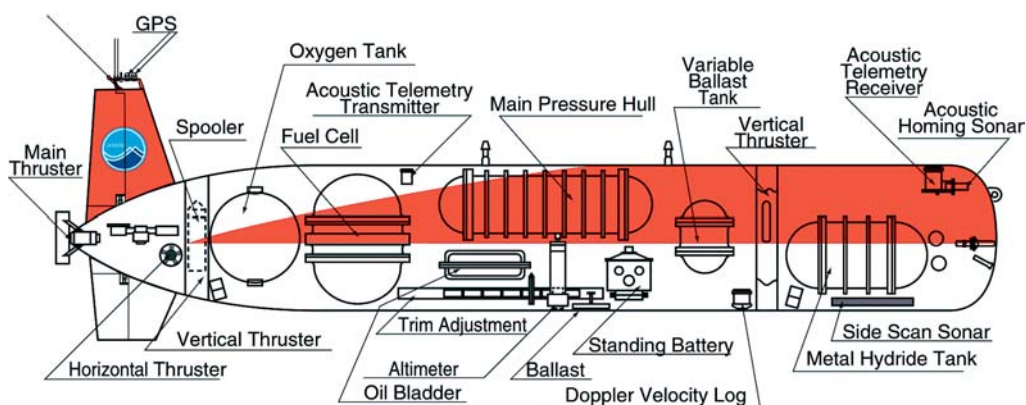


図7 深海巡航探査機「うらしま」一般配置図(改造後)

4) 海洋エネルギー利用技術の研究開発

期間：平成元年度から

地球環境問題への認識が高まっている昨今、クリーンで無尽蔵な自然エネルギーの利用が注目されつつある。本研究開発においては、自然エネルギーの中で海洋から得られるエネルギーとして沿岸海域における波

エネルギーに着目し、沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」の研究開発を平成元年度から実施している。本装置は、波エネルギーを効率良く吸収し沿岸海域での有効利用に役立てるとともに、装置の後背海域を静穏化し漁業などへの活用を可能にするものである。

三重県度会郡南勢町五ヶ所湾湾口において実施

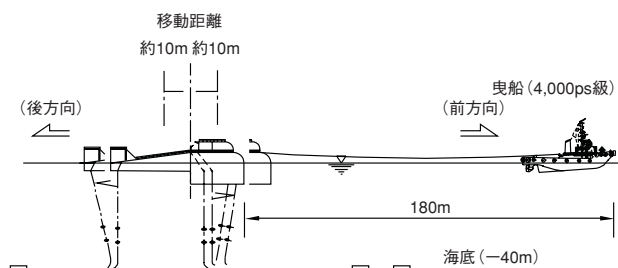


図8 自由動揺試験概念図

していた「マイティーホエール」プロトタイプ(長さ50m、幅30m)による実海域実験は平成13年3月末に終了した。今年度は、実海域実験終了に伴う「マイティーホエール」プロトタイプ浮体部の実験海域からの撤去ならびに解体工事を平成14年6月から7月にかけて実施した。工事と並行して「マイティーホエール」プロトタイプの動揺特性を確認するための実海域における自由動揺試験や、実験期間を通して耐久性能を検討するための構造部材や構成機材に関する各種試験を実施した。また、これらの工事・試験と並行して、これまでに取得した実験データの解析・整理を行い、実験結果のデータベース化に着手した。

自由動揺試験は、係留浮体の動揺特性を把握する上で重要な、係留系を含めた形での固有周期を的確に把握するために行われる試験であるが、過去において「マイティーホエール」プロトタイプのように大型の係留浮体の実海域での自由動揺実験はあまり例がなかった。実験では図8に示すように係留状態の「マイティーホエール」を曳船で強制的に引っ張った後、リリースし浮体位置の時系列を計測した。計測した位置データを浮体重心周りの6自由度運動に変換し、その時系列データから固有周期や減衰係数を算出した。

今後は実海域実験やそれに付随する各種試験の結果を総合し、浮体式波力発電装置の設計システムを構築していく予定である。

### (3) 特別研究

#### 氷海域における無人潜水機技術の研究

期間：平成10年度から

この研究は、地球温暖化の影響が顕著に表れるとされる北極域において、無人潜水機を利用して氷海のCTDデータ、氷厚データ及び二酸化炭素などの収集を行う際に必要な計測技術を研究する。



図9 海域試験風景

本年度は、昨年度に引き続き自律化に必要なプログラムの開発を行った。また、組み上げた機体の機能を確認するため実海域試験を行った。

### (4) 経常研究

#### 1) 電磁パルスによる海底下探査装置の研究

期間：平成14年度から

大電力の電磁パルスを海底等の地中に送信し、反射エコーを測定する事によって、プレートの沈み込みや断層等の構造を調べる事ができる。また水溜りや埋設物などを発見できる可能性がある。電磁パルスを探査に用いると、これまでに使用されている音波を利用した方法や、磁場を利用した海底下の探査方法に比較し、より多くの情報が得られる利点がある。

本年度は概念設計を行うとともに、大電力パルス発信機的设计・試作、ならびに受信用高感度サーチコイルアンテナの設計・試作をおこなった。また、海中での高感度受信サーチコイルアンテナの特性を確認した。さらに有限差分時間領域(FDTD)法を用いたシミュレーションコードの開発に着手した。

#### 2) 高性能(軽比重・高強度)浮力材の研究

期間：平成13年度から

深海域における調査活動においては、有人潜水船や無人探査機が用いられるが、これらの運動性能向上やペイロード増加のためには、小型・軽量化が不可欠である。特に稼働水深が深くなる場合、耐圧容器等の重量増大を伴うため、浮力材の軽比重・高強

度化が強く求められている。

本研究では、比強度の高いエンジニアリングセラミックスにより中空球体を製作し、浮力材として使用する場合の技術的課題について検討する。セラミックスはチタン合金等の金属材料と比較しても、比強度が大きいことや腐食性に優れていることなど、過酷な環境下での使用に適した特性を持つが、セラミックスが持つ脆さの壁に阻まれて構造材料としての活用は進んでいない。

本年度は、エンジニアリングセラミックスの一種であるアルミナを用いて圧壊強度130MPa以上(設計値)の中空球体を製作した。また小径球体用の真球度測定装置を製作し、球面の局部曲率半径を測定した。これにより初期不正の定量的評価を行い、圧壊強度との関係を検討した。

## (5) 共同研究

### 1) フレキシブルパイプの動的挙動解析

期間：平成12年度から

本年度は、前年度に引き続き動的挙動解明のためのライザー管を含めた線状構造物の挙動に関する理論解析手法の検討ならびに開発およびフレキシブルパイプの現状技術の調査を行った。また、共同研究相手先である独立行政法人海上技術安全研究所深海域再現水槽において、大水深の条件下で長尺の線状構造物を模した実験模型を用いた挙動計測実験を行った。実験にはテフロン線ならびに沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」に設置されていたエアリフトポンプ用採水パイプを模擬した合成ゴム製の模型を製作し使用した。実験においては、画像計測装置により長尺の線状構造物模型上に多数点配置された計測点各点の3次元変位が計測された。実験結果は、長尺の線状構造物の挙動特性に関する貴重な実験データであるとともに、挙動解析手法開発のための貴重な資料となった。

### 2) 熱水プルーム観測技術に関する研究

期間：平成12年度から

海底から噴出する熱水プルームの観測は地球内部ダイナミクス、全球的物質循環を把握する上で重要であり、本研究では、熱水プルーム源の効率的探索、熱水プルーム変動の時空間的把握を行う上で必要と

なる要素技術として、プルームの化学的観測手法の開発、およびこれらの有効性を確認するための現場観測を主として行う。前年度の試験結果からISFETの仕様として、イオン感応膜部の寸法、ISFETの実装方法を決定し、試作した。高圧下において基本特性を調べたところ、圧力の影響を受けることが分かった。現在、その原因を調査中であるが、その一因として半導体素子の結線方式に問題があることが分かった。SPR光センサ試験装置については設計と一部製作を完了した。現場観測についてはハイパードルフィンにpHセンサ、CTD、濁度計、採水器を搭載し、沖縄海域・鳩間海丘、第四与那国海丘の熱水噴出域にて諸データの計測を行った。

### 3) 浅海用ハイブリッド型(AUV/ROV)無人潜水機の研究開発

期間：平成13年度から

水温、溶解気体、微生物などの海洋情報は、深度500m以浅で変化が大きいいため、浅海で広範囲にわたり効率よくデータ計測を可能とする潜水機が望まれる。この目的で、AUV/ROVのいずれとしても使用可能な、広域の水平方向移動を特徴とした、簡便な潜水機の開発を行っている(図10)。

本年度は小型光通信装置(NTSC画像2CH、高速データ1CH、RS232C通信8CH)の開発、小型軽量な光ファイバースプーラーの設計試作、ならびに機体の試設計を行った。



図10 細径光ケーブル無人潜水機開発概念図

## 4) ナノ・マテリアルを用いたガス貯蔵の研究

期間：平成14年度から

海洋科学技術センターにおいては、自律型無人潜水機(AUV)の動力源として燃料電池の開発を行っている。燃料電池には、水素と酸素を使用するが、AUVに限らず燃料電池を用いたシステムではこれらのガスをどのような状態で貯蔵するかが課題となっている。本研究では、AUV等の水中動力源として使う燃料電池の燃料貯蔵方式として、ナノ・カーボン材を用いたガス吸蔵、排出等の技術を確立することを目的とする。

本年度は、水素系で13種類、酸素系で9種類の媒体で吸蔵評価試験を実施した。この結果、酸素系で数種の候補材が酸素貯蔵媒体として有望であることが判明した。

## 5) 培養装置の耐熱型均圧ベローズに関する研究

期間：平成14年度から

深海微生物実験システムの培養装置は、加圧槽、培養槽、断熱材等から構成されているが、培養槽には均圧装置としてシリコンで出来た均圧ベローズが用いられている。しかし、高温域(150°C以上)での耐久性や耐熱性、耐H<sub>2</sub>S性等に問題があるため、現状では150°C以上での培養は困難であった。

本研究の目的は、この高温域での培養においてネックとなっている培養槽に着目し、300°Cでも対応可能な耐熱培養槽(均圧ベローズ、内槽本体)の開発を目指すものである。

本年度は、使用可能な耐熱素材について調査を行い、300°Cでも対応可能な耐熱培養槽についてコンセプトの検討を行った。またその中から、培養槽の構成素材を変えたコンセプトを選択、設計・製作を実施した。

### 3. 海洋観測研究部

#### (1) 海洋観測研究部の概要と方針

海洋観測研究部では地球規模の気候変動に対して、海洋がどのような役割を果たしているのかを解明することを目標としている。その達成のために、西部熱帯太平洋および東部熱帯インド洋から北太平洋、さらには北極海といった広大な海域において、海洋地球研究船「みらい」を主とした海洋観測あるいは様々なセンサーを取り付けた係留系や漂流ブイを用いた自動観測を実施している。海洋観測研究部では国内外の研究機関とも協力してそうした研究活動を推進し、平成14年度ではプロジェクト研究4件、経常研究5件、共同研究5件ならびに受託研究1件を行った。以下にその研究活動結果を報告する。

#### (2) プロジェクト研究

##### 1) 熱帯域における大気・海洋観測研究

熱帯海洋は地球上で太陽の放射を最も多く受ける海域であり、海洋と大気の運動による、吸収した熱の極方向への再配分が地球の気候の大部分を支配していると言える。そのため、熱帯域における海洋と大気の変動を理解することが気候変動の解明に対して重要な位置を占めると考えられる。実際に、西部熱帯太平洋はエルニーニョ／南方振動(ENSO)現象の、東部熱帯インド洋はアジアモンスーンやダイポールモード現象の鍵となる海域として認識されており、日本を含む東アジア諸国の気候とも密接に関係していると考えられている。本研究では西部熱帯太平洋と東部

熱帯インド洋における暖水の蓄積と散逸にかかわる海洋と大気の変動の解明を目的として船舶観測あるいはトライトンブイによる観測と高解像度モデルを用いた数値実験を行っている。

##### (a) 熱帯域における大気・海洋観測研究

平成14年度にはインドネシア技術評価応用庁、米国太平洋海洋環境研究所およびインド国立海洋研究所と共同で、「みらい」による3回、「かいよう」による1回の観測航海を行った(表1)。「みらい」の航海では西部熱帯太平洋と東部熱帯インド洋におけるトライトンブイの設置を重点的に行った航海と大気観測を重点的に行った航海がある。ここでは2002年9月から10月に行った「かいよう」の航海と、11月から12月に行った大気観測により重点を置いた航海の結果を示す。

「かいよう」KY02-10航海(2002年9月30日-10月31日)では、ENSOの解明を目指し西部熱帯太平洋における水温・塩分ならびに流速場の観測を行うと共に係留式のADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)の設置回収を行った。東経138度、142度、147度の赤道から北緯5度までの測線における水温・塩分と流れの観測からは平年に比べて薄い混合層と高い塩分が検出された。通常、同海域は暖水プールあるいは淡水プールと呼ばれるほど高温・低塩分の海水が支配的であるが、当該航海時にはその特徴が見られなかった。その時の流れの観測結果は表層の広い範囲で東向きを示しており、それは暖水がより東へと移流されていることを意味している。これはエルニーニョ時における典型的な特徴であり、当該航海ではエル

表1 平成14年度のプロジェクト研究「熱帯域における大気・海洋観測研究」にて実施した観測航海の概要

クルーズ番号	期間	船舶	寄港地	主な観測内容
MR02-K04	2002. 6.25 - 2002. 8.22	みらい	関根浜-八戸 -ケラン(マレーシア)	トライトンブイ: 9 基設置 7 基回収 ADCPブイ: 2 基設置 2 基回収
MR02-K06 Leg1	2002.11.13 - 2002.12.16	みらい	関根浜-八戸 -グアム(米国)	ドップラーレーダーによる降雨観測 トライトンブイ: 1 基回収
MR02-K06 Leg2	2002.12.17 - 2003. 1.12	みらい	グアム(米国) -チューク(ミクロネシア連邦)	トライトンブイ: 8 基設置 7 基回収 1 基修理
KY02-10	2002. 9.30 - 2002.10.31	かいよう	横須賀 -ケビエン(バブアニューギニア) -コロール(パラオ共和国)-横須賀	トライトンブイ:11 基修理 ADCPブイ: 4 基設置 5 基設置

ニーニョ時の暖水プール域の空間構造を捕らえることに成功した。今後はその構造がいかんして作られ、いかんして別の構造にシフトしていくかということをとライトンブイなどによる時系列データの解析から明らかにしていく必要がある。

「みらい」MR02-K06レグ1航海(2002年11月13日-12月16日)では、主要研究課題「大気-海洋相互作用に係る観測研究」として、主に暖水プール上空に発達する積雲対流活動の発生・維持メカニズムを調べることを目的に北緯2度、東経138.5度において3週間の定点観測が実施された。同海域ではENSOフェーズとの関係も調べることを考慮して継続した観測を毎年同時期に実施しているが、当該航海はエルニーニョ期の観測となった。人工衛星ひまわりの雲画像では観測期間の前半にマダン・ジュリアン振動(MJO)と呼ばれる対流活動とカップリングした赤道季節内振動に伴い大規模雲群が同海域を通過している。上空の水蒸気総量の時間変化を示す図1ではその時期はDAY326-333に相当する。図1ではそのMJO対流活発域通過後のDAY334以降で同海域の大気が徐々に乾燥した状態になっていく様子がわかる。ただし、ドップラーレーダー等の観測では観測期間前半も降水はほとんどなく、船上ではわずかに1時間の降雨が観測されたのみであった。図1で興味深いのはDAY336-337やDAY341-342では極端に乾燥した状態が出現している点である。解析結果によると、中緯度から乾燥した空気塊が輸送されてきたことが示されている。観測期間中、対流圏下層では常に西風が卓越しており(図略)、過去の研究では一般に同海域

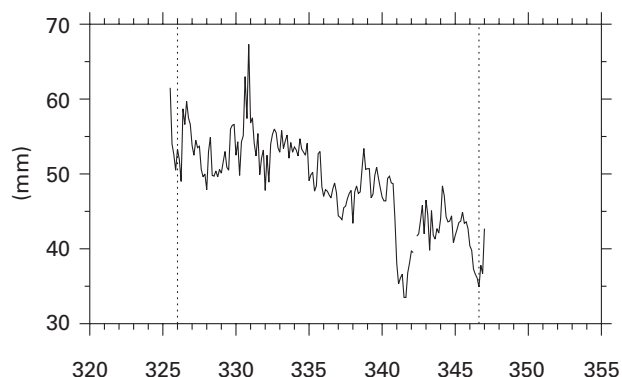


図1 ラジオゾンデ観測により得られた可降水量の時間変化。DAY326は11月22日に相当し、破線は定点観測期間を示す。

で下層が西風の時は対流活動が活発な時期に相当するが、今回はそれには該当しない。過去の航海ではラニーニャ期や通常期のデータも取得されており、今後比較の観点での解析が進められる予定である。

#### (b) トライトンブイネットワークの開発整備

本研究では、エルニーニョやアジアモンスーンなどの気候変動に関わる海洋変動研究に資するため、海上気象・水温・塩分・流速を長期にわたり観測する海洋観測ブイシステムを開発し運用している。

トライトンブイネットワークは気候変動予測を研究の中心に置いているCLIVAR(Climatic Variability and Predictability)計画の観測システム一部として認められ、その推進に大きな役割を果たすことが期待されている。また、世界の海で恒常的な海洋観測網を作ろうとしているGOOS(Global Ocean Observing System)にも貢献するものである。トライトンブイは米国との2国間協力として米国海洋大気庁太平洋海洋環境研究所のTAO計画と協調し、TAO/TRITONアレイとして太平洋規模のブイによる海洋観測を促進していくことが合意されている。さらには、インドネシア技術評価応用庁ならびにインド国立海洋研究所との共同研究も実施されている。1998年3月に4基のブイを西部熱帯太平洋に設置以来、2002年8月に当初計画の18基のブイ網が完成した(図2、写真1)。トライトンブイのデータはTAOブイと同等のもの(水温、風向・風速、気温、湿度の1日平均値)については、翌日にTAOブイのデータと統合し、海洋科学技術センター(<http://www.jamstec.go.jp/jamstec/TRITON/>)ならびに米国太平洋環

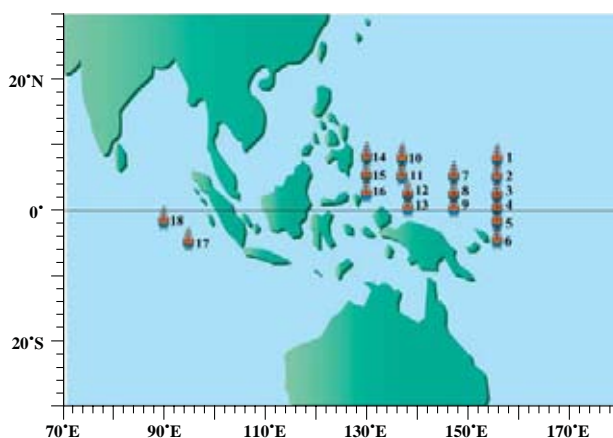


図2 トライトンブイの配置図



写真1 トライトンブイ18基展開完成時の記念写真

境研究所 (<http://www.pmel.noaa.gov/tao/>) からインターネットを通じて公開している。

平成14年度には、トライトンブイが展開されてから初めてのエルニーニョである2002-03エルニーニョの発生から終息までのモニターに成功した。以下でTAO/TRITONブイ網から得られた赤道沿いの海上風、海面水温、20°Cの等温線深度の平均からの偏差に注目して解説を行う(図3)。

(i) エルニーニョ発生の準備

2000年3月から4月には西部熱帯太平洋では20°Cの等温線深度が赤道上で非常に深くなっており、同海域に暖水が十分蓄えられているというエルニーニョ発生の1つの条件が整えられた。

(ii) エルニーニョ発生のきっかけ

西部熱帯太平洋に暖水が蓄積された後のエルニーニョの発生条件は暖水を東へ押しやる役目を果たす強い西風の発生である。2001年6月には東経156度付近で季節内変動に伴う対流活動が停滞し、西風が連吹することによって1.5m/sを超える強い東向流が引き起こされた。この強い東向流が発生した結果、より東側における暖水の収束をもたらし、温度躍層の下向き偏差(即ち暖水の蓄積)を発生させた。この偏差はケルビン波として時間の経過と共に東部熱帯太平洋へと伝播し、その過程で中部太平洋での海面水温を上昇させた。

(iii) エルニーニョの発生

2001年12月と2002年5月にも強い西風が発生し、2002年夏には中部熱帯太平洋で大気と海洋の強い結合が見られた。それ以降は高い海面水温の海域と大気の対流活発域が同期しながらゆっくりと東部へと進行する様子が確認された。12月には東部熱帯太平洋における20°Cの等温線深度の増加と海面水温の上昇が顕著となり、エルニーニョ成熟期の状態となった。

(iv) エルニーニョの終息

2003年2月には温度躍層の上向き偏差をもたらすケルビン波の伝播とともに暖水が急速に赤道から失われ、東部熱帯太平洋の海面水温も平年の状態に戻り、エルニーニョが終息した。

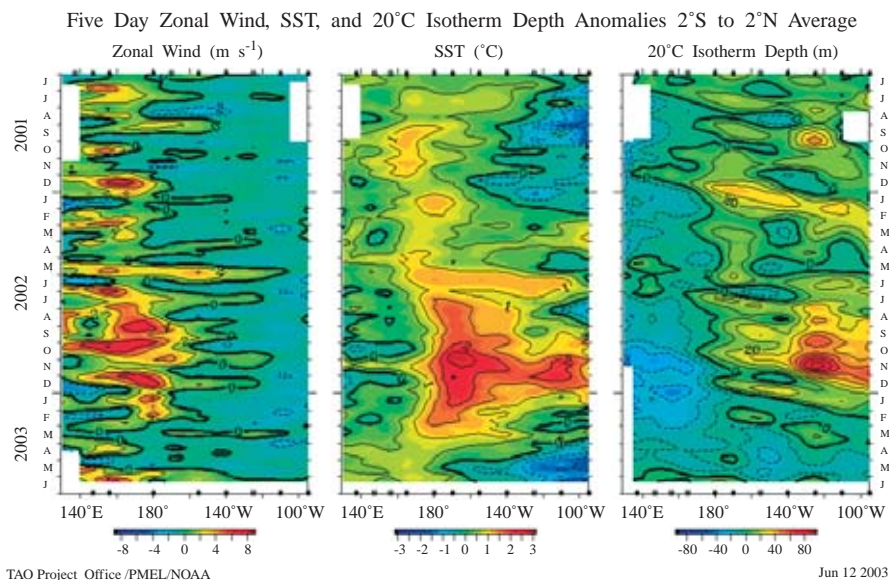


図3 TAO/TRITONアレイによって得られた海上風(左)、水温(中)、20°Cの当温度線深度(右)の平年からの偏差の赤道に沿った時間経度分布

1997-98エルニーニョのように1996年12月から1997年5月の半年程度の連続した強い西風の卓越によって急速に発達したケースと異なり、今回のエルニーニョは発生までに1年程度を要し、一方でその規模も小さかった。このような各エルニーニョ間の特徴の違いが何によってもたらされるかは非常に興味深く、今後はTAOパイでは得られない塩分データなどを解析し、表層混合層の形成や、躍層内の水塊混合過程の解析を進める必要がある。

### (c) 高解像度モデルによる数値実験

エルニーニョサイクルのメカニズムとして、Recharge-Discharge Oscillatorが知られおり、赤道域における暖水の南北輸送の重要性が指摘されているが、流速構造の複雑な西岸境界流域でのプロセスはまだ十分に把握されていない。そこで、熱帯赤道域の境界流を解像できる高解像度の数値シミュレーションにより、暖水の南北輸送変動と輸送に果たす西岸境界流の役割を調べた。

暖水量は海面から水温 $20^{\circ}\text{C}$ の深さまでの水の量として定義し、平年値からの偏差の変動を調べた。図4に、Nino3海域の水温偏差とモデルで得られた赤道域(南緯8度から北緯8度)の暖水量偏差の時系列を示す。モデルは、ほぼ観測されたエルニーニョ、ラニーニャを再現しており、また理論で示されたような、エルニーニョの発生に伴う暖水の減少、及び暖水量とNino3海面水温変動との位相のずれを再現している。海域ごとに暖水量の変動を調べるため、南緯8度から北緯8度の赤道域を東経156度、西経95度で東西に3つ海域を分け、各海域の暖水量の変動と海域を横切る流量変動を調べた。図5は1997-98年のエルニーニョについて流量変動を模式的に示したものである。

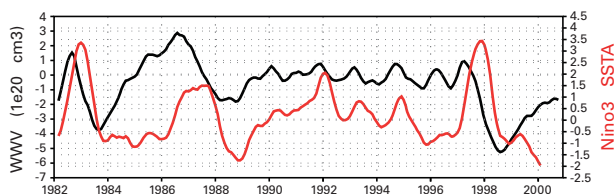


図4 Nino3海域の海面水温偏差時系列(赤)とモデルでシミュレートされた赤道域の暖水量の時系列(黒)。暖水量は、南緯8度～北緯8度、東経156度～西経95度の海面から水温 $20^{\circ}\text{C}$ の深さまでの海水量と定義した。

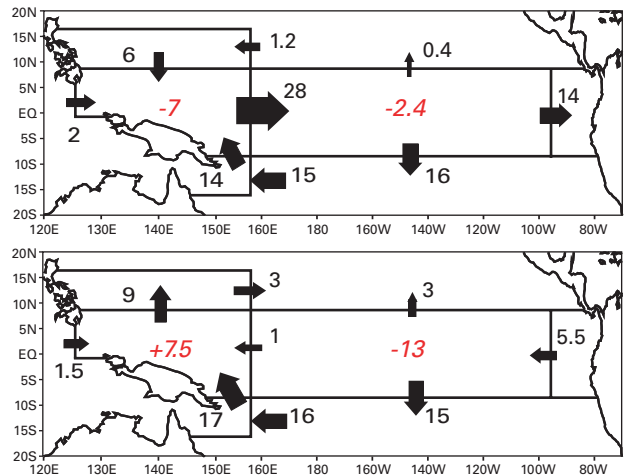


図5 1997-98エルニーニョの発達期(1996年12月～1998年1月)、成熟期から暖水がもっとも減少した時期(1998年1月～1998年7月)の2期間における、海域を横切る流量と暖水量の時間変化。単位はSv ( $1\text{ Sv}=10^6\text{ m}^3/\text{s}$ )。流量は黒文字で、暖水量時間変化は赤字イタリックで表示。

発達期(図5上)には、東経156度を横切る大きな東向き流量(約 $28\text{ Sv}$ )が暖水を西部から内部域へ輸送しているが、そのうち約 $20\text{ Sv}$ は南北からの収束であり、西部赤道域の暖水の減少そのものは約 $7\text{ Sv}$ に過ぎない。また、成熟期を過ぎると(図5下)、北緯8度を横切る流量偏差は北向きとなり、西部赤道域での暖水の蓄積(回復)は主として南からの輸送によっていることが分かる。

さらに西部域での流量変動の解析から、南緯8度では、ほぼ内部域の南下流量と西岸域の北向き流量はほぼ釣り合っており、その流量は風応力から計算されるスベルドラップ流量とほぼ等しいこと、また変動はNino3海面水温変動とほぼ同位相であることが分かった。一方、北緯8度を横切る流量は、1990年代前半の比較的規模の小さいエルニーニョイベント期には内部域とほぼ逆位相であるが、1982-83、1997-98の大規模なエルニーニョでは、発生前に赤道域への収束、成熟期後に北へ発散しており約1/4周期Nino3水温と位相がずれていることが分かった。Uekiら(2003)はニューギニア沿岸流の観測データ解析から、西岸境界流量がほぼスベルドラップ流量で説明できることを示しており、今回の結果は彼らの結果と矛盾しない。今後、西部熱帯太平洋に展開されたトライトンプイ等による観測データの蓄積により、西岸でのプロセスを観測データから調べることができれば、エルニーニョサイクルを決めるメカニズムに重要な情報を与えることになると考えられる。

## 2) 海洋大循環による太平洋の熱・物質輸送とその変動に係る観測研究

人類にとって最も基礎的な環境としての気候およびその変動に海洋が大きく関わっていると言われて久しいが、その実態は定量化されていない。そこで本研究では、(a)北太平洋を中心とするWOCE観測線の再観測と新たな大洋横断型高精度多項目観測を行い、大洋スケールでの熱・物質輸送量の最新のスナップショットを得る。(b)それと同時に局地的な集中観測を行い、表層では黒潮周辺の渦等の短周期変動、深層では、海盆をつなぐウェーク島深海通路を通過する深・底層水による熱・物質輸送量とその短期での変動を定量する。(c)特に太平洋およびインド洋で蓄積された、WOCE既観測資料および海上風を含む海洋資料を解析する。平成14年度から平成20年度までに、(a)から(c)の実施によって、1990年代と2000年代での太平洋規模での熱・物質分布とそれらの輸送の変化を明らかにする。

### (a) 太平洋横断・縦断観測

平成14年度は、平成15年度に予定されている南半球横断観測の準備として、観測機器整備、データベース構築準備を行うとともに、データ解析研究、関係機関との調整を行った。高精度多項目観測を実現するために、海洋地球研究船「みらい」のCTD採水室を、36本掛け採水器フレームが収まるように拡張し、室温を一定に保つようにエアコンを整備した。「みらい」搭載流向流速計による高精度データ取得を目指して、航行用ジャイロコンパス、GPSジャイロ、および、リング・レーザー・ジャイロを比較・検討した。深海用高精度水温センサーを用いたCTD水温センサーの圧力依存性の検証、吊り下げ式ADCPデータ処理手法の検討を行った。また、南半球横断観測の実現に向けて、第1回IOGOOS (Indian Ocean Global Ocean Observing System) や第4回POGO (Partnership for Observation of the Global Oceans) 会合などの国際会議に参加し、諸外国関係機関との研究打ち合わせを行った。

### (b) 局地集中観測

#### (i) ウェーク島深底層流観測

平成14年度は、平成15年度から開始予定のウェーク島深底層流係留観測の準備を行った。観測機器の

整備を行うとともに、高精度な係留CTDデータの取得を目指して現場キャリブレーション手法の検討を行った。船舶によるCTD採水器フレームに係留CTDを取り付け、船舶によるCTDと係留CTDの同時観測を行い、高精度な船舶によるCTD採水データと係留CTDデータを比較した。また、係留流速観測を強化するために九州大学との共同観測の準備を行った。

#### (ii) 黒潮続流域観測

平成14年度は、平成13年度に実施した黒潮続流域集中観測の係留機器を回収するとともに、データセットを整え、一次解析を行った。集中観測は黒潮続流の定在蛇行で第一の谷が存在する東経146度、北緯35度を中心とする海域で実施した。使用機器として、6基の海洋音響トモグラフィー送受波機と3基の流速・CTD計測係留系を配した(図6)。

海洋音響トモグラフィーデータからは、解析精度を向上させるため、まず黒潮続流の流軸推定を行って基本場を推定し、その後、音速の変動から逆問題を解いて水温場を再構築する手順を踏んだ。そして観測期間(平成13年4月から同年9月まで)の水温データセットを作成した。一例を図7に示す。この年、黒潮続流域は変動が激しく、平成13年5月16日には黒潮続流は南へ鋭く蛇行し、冷水渦を切り離そうとしていた。図中、北緯34度、東経148度周辺で東に伸びる冷水帯が見られる。これは東方から伝播してきた別の冷

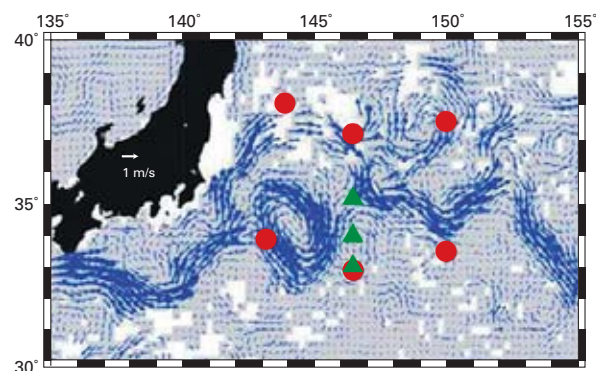


図6 黒潮続流域集中観測の機器配置図。図中、丸印は海洋音響トモグラフィー送受波機、三角印は流速計の係留点をそれぞれ示す。最南端の流速係留系では、CTDプロファイル観測を同時に行った。背景のベクトルは衛星データから得られる海面での流速場(平成13年7月7日)を示す。この時期、黒潮続流は大きく蛇行し、東経144度付近には大きな低気圧性渦が存在していた。

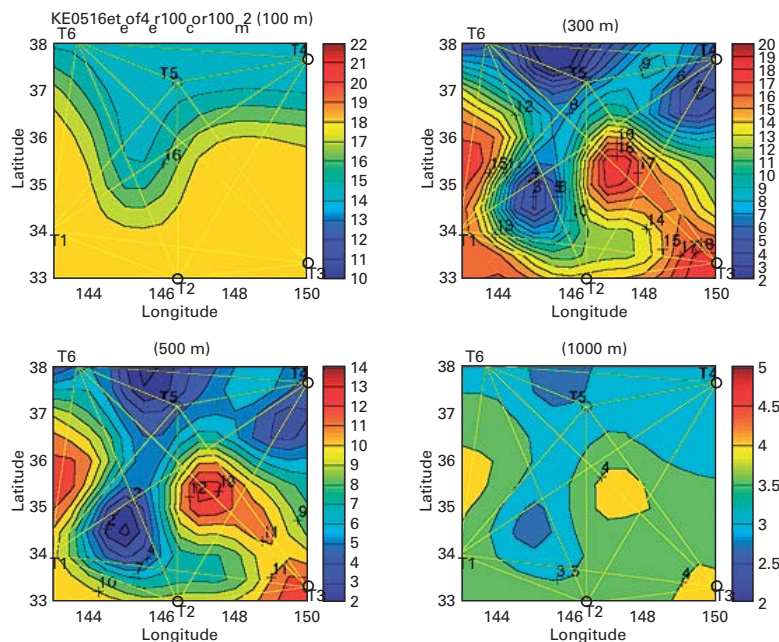


図7 海洋音響トモグラフィーで観測された黒潮続流域の水温分布(平成13年5月16日)。各パネルは100m深(左上)、300m深(右上)、500m深(左下)、1000m深(右下)の水温分布をそれぞれ示す。図中、T1からT6は送受波器の位置、黄色の実線は計算に用いられた音線経路を示す。

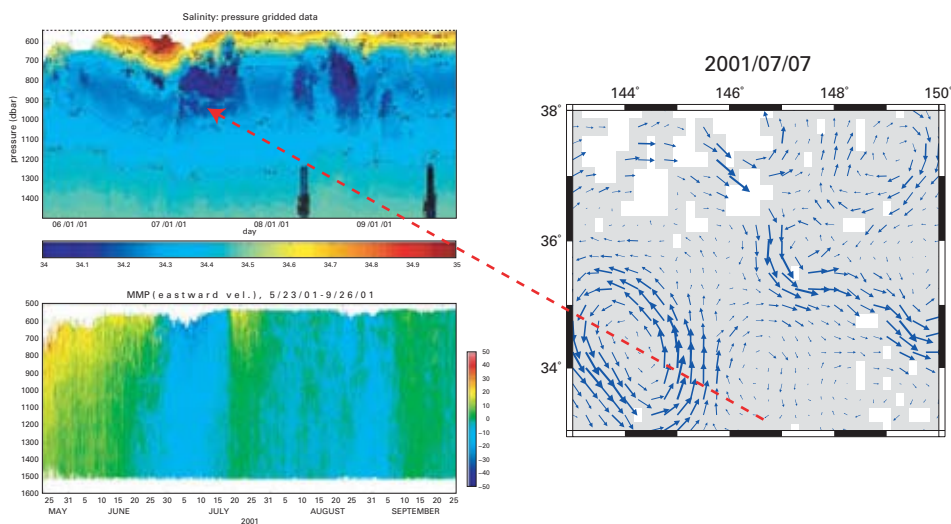


図8 低塩分水の出現とその時期の海面流速場。左上図は北緯33.1度、東経146.4度で観測された塩分プロファイルの時系列、左下図は流速プロファイル(東西流成分)の時系列をそれぞれ示す(計測深度は550m深から1500m深、計測期間は平成13年5月23日から9月26日)。右図は7月7日の衛星データから得られた海面流速場。図中、黒潮続流が南東に流れ、その南に高気圧性渦が存在し、観測地点は西向流であった。7月上旬に高気圧渦の南端が観測地点にかかり、同時に低塩分水が出現した。

水渦が黒潮続流に合流する段階を捉えたものである。

亜熱帯海域(北緯33.1度、東経146.4度)において、亜寒帯起源と考えられる特に低塩分水の間欠的な出現が観察された(平成13年度年報にて報告)。7月上旬の出現時の流速計と衛星データを調べた結果、観測

地点と黒潮続流の間には、高気圧性渦が6月下旬から存在し、渦の北端は黒潮続流の流れと合流していた(図8)。低塩分水は、高気圧性渦の南端が観測地点にかかる期間に出現することから、黒潮続流と渦の配置が低塩分水の移動経路に関与することが示唆された。

(c) 基礎資料収集及び解析

黒潮および亜熱帯循環流の熱輸送を評価するため、海洋表層の流れ場と水温場の観測を行い、基礎資料を取得した。観測はVOSを利用し、東北大学と共同で行った。東京と父島を結ぶ定期航路船「おがさわら丸」では、黒潮流域の水温プロファイルを2ヶ月毎に取得するとともに、船底搭載型ADCPによる流速プロファイルの連続モニターを行った。また、日本-ハワイの間を年間3往復する水産実習船を用いた亜熱帯循環流モニターを平成15年度から開始するため、船底搭載型ADCPの搭載準備を行った。

3) 北極海域における海洋観測技術の開発及び観測研究

北極域における気候変動の振幅が最も大きいことは周知の観測事実である。北極気候システムの象徴である海水変動に注目すると、太平洋(ベーリング海)、大西洋(グリーンランド海)と隣接する海域での変動が特に顕著である(図9)。このような地域性は紛れもなく、海洋が北極気候システムにおいて重要な役割を担っていることに他ならない。変動の著しい海域では、アイ

ス-アルベド・フィードバックが起りやすい条件に進行しつつあるとの仮説を提唱し、そのメカニズムを明らかにすることこそが、将来の北極海環境変動を予測する上で重要であるという考えで活動を行っている。我々の研究グループでは、変動が著しい太平洋側北極海海域ではカナダとの国際共同プロジェクトJWACS (Joint Western Arctic Climate Studies:西部北極海における日加国際共同研究)を、グリーンランド海を含む大西洋側北極海海域においては、米国との共同研究NPEO(North Pole Environmental Observatory:北極点環境観測)を実施している。ここでは、2002年度の観測結果を紹介する。

図10はJWACS2002で行われたCTD、XCTDの観測地点を示している。西部北極海でこれほどの広範囲を密に観測した例はなく、今回我々が歴史上初めての複数船舶による同時広域観測を行ったことになる。

図9は北半球で最も海水域が後退する9月末の(a)過去20年間の平均、(b)2002年の海水密接度の分布を示している。北極海では1990年代になって海水の面積・厚さの減少が報告されているが、2002年には太平洋側北極海では観測史上最も海水域が後退し、グリーンランド海の海水は消滅した。海水域の後退はどこでも一様に起こっているわけではなく、特にベーリング海峡の北側の西部北極海で著しく見られる。この海域には夏に太平洋からバロー海底谷を通して夏季太平洋水と呼ばれる暖水が流入することから、その暖水が海水分布に直接影響を与える水塊であると予想している。JWACS2002では、これを裏付ける観測結果が得られた。

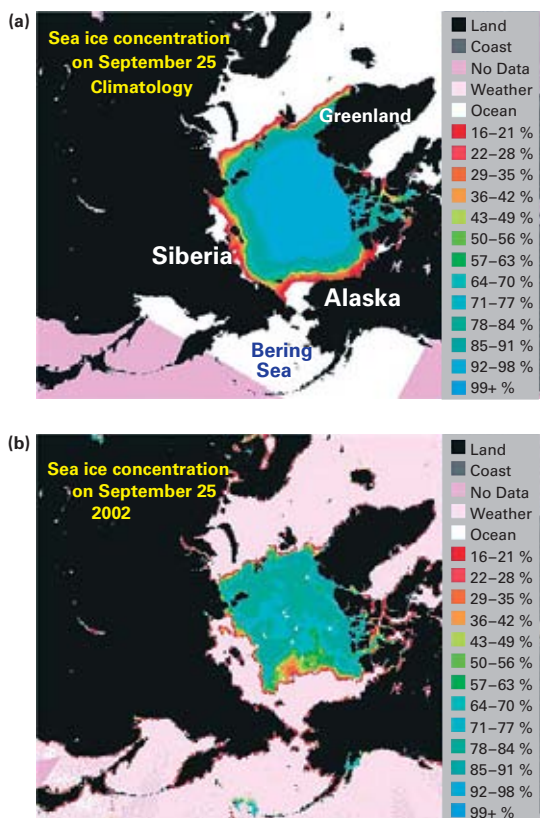


図9 SSMIによる10月3日の海水分布。上(a)気候値、下(b)2002年

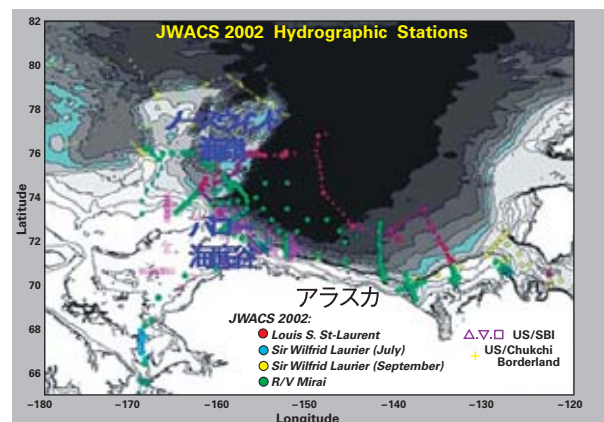


図10 JWACS 2002によるCTD、XCTD観測点

西部北極海に太平洋から流入する暖水(夏季太平洋水)は塩分31~32psuで特徴付けられる。図11は2002年の夏季太平洋水の水温分布を示したものである。図11には2つの高温域がある。一つはバロー海底谷周辺、もう一つはノースウインド海嶺上である。バロー海底谷周辺の高温域は水温5°C以上で、2002年夏に流入した新しい夏季太平洋水である。ノースウインド海嶺上の高温域はバロー海底谷周辺のものよりも水温が低く、前年の夏に太平洋から流入したものと考えられる。

一方、図12はJWACS2002の海洋観測が行われる1ヶ月前の人工衛星から見た海水の分布である。この海域の東側は海水密接度が高くびっしりと海水に覆われているのに対して、西側のノースウインド海嶺やバロー海底谷周辺は海面も存在し、アイス-アルベド・フィードバックに伴う海水融解が起きている様子が見える。図11の夏季太平洋水の高温域と図12の海水の低密接度領域はよく一致しており、夏季太平洋水は西部北極海の海水分布をコントロールする一つの要因と示唆された。過去の研究では、北極海の海水変動

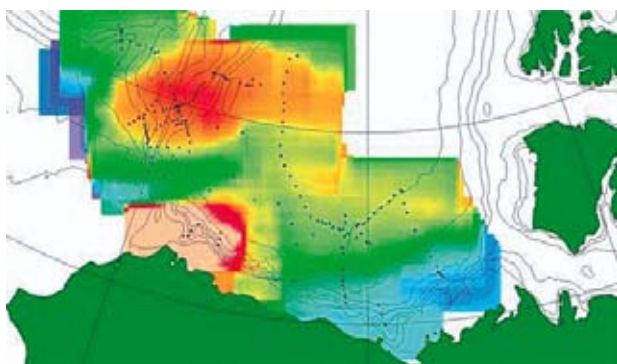


図11 JWACS 2002の観測データによる、塩分=31.3上の水温分布

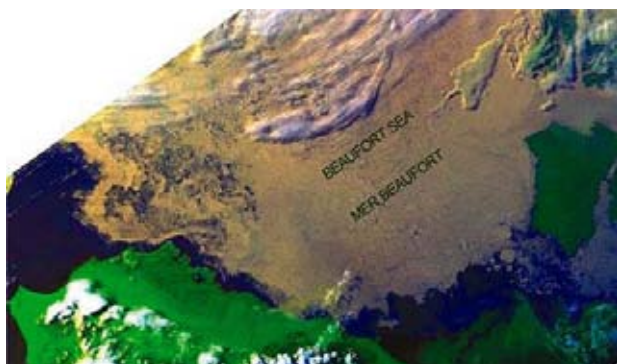


図12 2002年7月19日のNOAA AVHRRによる海水分布

に影響を与えるのは大西洋からの流入水の変動であると言われてきた。しかし、今回の観測から、西部北極海の海水変動に影響を与えるのは、夏季太平洋水の変動と示唆された。今後は、暖水(夏季太平洋水)が存在することで、冬に海水形成が抑えられるために夏に海水域が後退するのか、もしくは夏に夏季太平洋水の熱で海水がたくさん融解するために海水域が後退するのか、どちらのメカニズムで夏季太平洋水が海水分布をコントロールしているか明らかにしていく。

東部北極海では、NPEOプロジェクトにおいて、2000年より北極点付近に漂流ブイを設置して、これによる東部北極海での自動観測を行っている。2002年度も、これまでと同様に4月26日に北極点近くのAmundsen海盆の多年氷(北緯88.51度・東経76.93度)にJ-CAD 4を設置した。J-CAD 4は海水の漂流とともにAmundsen海盆から北極海中央海嶺上・Nansen海盆・Yermak海台を横切り、2003年3月にFram海峡からグリーンランド海へ流れていった。これにより漂流ブイを用いた水平方向に非常に密な海水下の上層海洋の成層構造と流れの構造の観測が北極海中央海嶺を挟んで行われたことになり、様々な知見が得られた。

図13はJ-CAD 4が観測したポテンシャル水温-塩分図を海域別に分けたものである。これらの図からAmundsen海盆・北極中央海嶺上・Nansen海盆それぞれの海域での水塊特性が明らかに異なることがわかった。このことはそれぞれの海域の間にフロントができていることから示されている。北極海に特徴的な成層構造である冷たい塩分躍層(結氷温度のまま深さと共に塩分が変化する層)について調べるために、それぞれの海域で結氷温度になっている層の塩分・深さに注目する。Amundsen海盆では結氷温度の水はその塩分が34psuより低く、そして80m深では下層との水塊混合の影響から結氷温度よりも高い水温になっている。しかし北極中央海嶺上やNansen海盆では、80mより深く34.3psu以上塩分まで結氷温度の水が存在する。これはこれらの海域に来た水塊が上流でより強い鉛直混合を受けていたことを示している。また表層の塩分に注目すると、特にAmundsen海盆では、気候値に比べて非常に高塩分の状態にある。これはこれまでのJ-CADでの観測結果からも見られており、2002年も高塩分の状態が続いていることを示している。

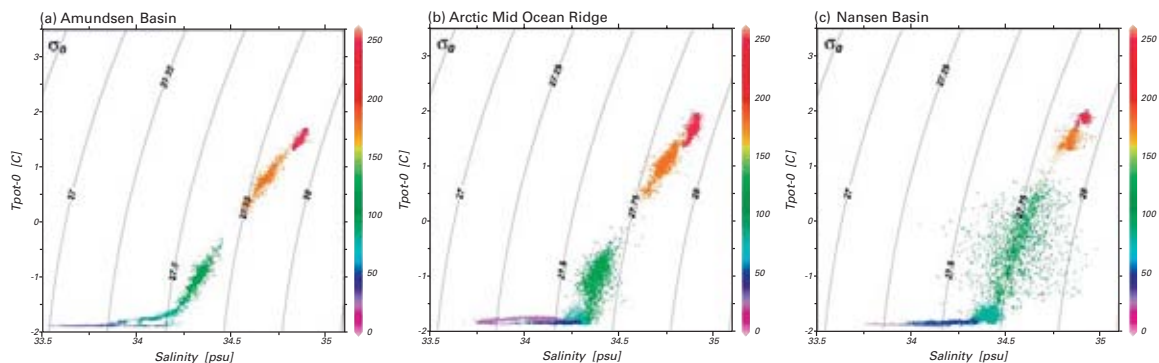


図13 J-CAD 4の観測データによるポテンシャル水温-塩分図。(a) Amundsen海盆、(b) 北極中央海嶺上、(c) Nansen海盆

これらJ-CADのデータも含めて、Amundsen海盆における1990年代以降の水塊特性の変動を、砕氷船や潜水艦・漂流ブイ・航空機観測などの結果を集めて調べた。図14はJ-CAD及びNPEOでのCTD観測で得られた2000-02年の25m深での塩分分布(背景の色は気候値)を示している。1993年にシベリア側から見え始めた表層の高塩分化は1990年代中頃から終りごろにかけてAmundsen海盆全体に広がっていた。そして海盆の中央部では2000-02年も依然として気候値よりも高塩分の状態が続いている。しかし、2000-02年にはロモノソフ海嶺上では高塩分化は弱くなっており、気候値で見られる表層の低塩分水が再び観測されるようになってきたことがわかった。

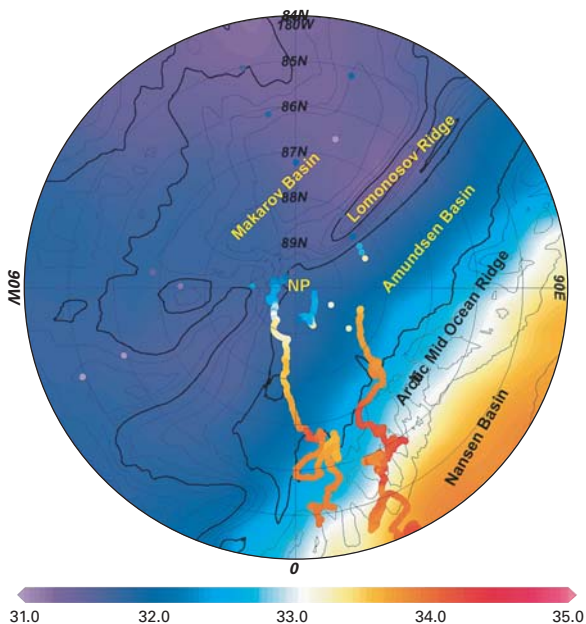


図14 J-CAD及びNPEO2000-02の観測で得られた25m深の塩分分布図。背景は冬季の気候値(1948-93)を示している。

#### 4) 海洋の化学環境変化の把握に係る観測技術の開発及び観測研究

(a) 海洋の化学環境変化の把握に係る観測技術の開発  
 本観測技術の開発は、高密度、高精度データの蓄積を行い、海洋環境変化を捉えることの可能な簡易で、しかも長期使用が可能な機器を検討することを目的としている。平成14年度は、二酸化炭素に関する成分の自動分析機器開発を中心に開発機器の概念を作り上げるための既存の知見を収集した。また、海水中二酸化炭素分圧鉛直分布測定器の試作機をTechno-Ocean 2002で紹介した。船上での溶存酸素測定を効率的に行うために操作が行い易い分析機器を作製し、観測に用いた。この機器を用いることにより、迅速に良好な溶存酸素分析が可能となった。

#### (b) 海洋の化学環境変化に関連した物質分布の把握に関する観測研究

平成14年度は、下記の研究航海において観測を行った。  
 (i) MR03-K01航海(2003年2-3月)において、東経155度線に沿って北緯44度から17度まで1度間隔で表面から底層までのCTD・採水観測を行った。また、これまでの北西部北太平洋での季節変動等を明らかにするために観測が行われてきた北緯44度以北の海域においても観測を行った。主な測定項目は、温度、塩分、溶存酸素、栄養塩、全炭酸、pH、アルカリ度、重金属、CFCs等である。また、表層海水中の水温、塩分、栄養塩、クロロフィルa、二酸化炭素分圧、全炭酸等を航跡に沿って連続的に観測した。図15に東経155度線に沿った人為起源二酸化炭素(ExcessCO<sub>2</sub>)とCFC-11の分布図を示す。

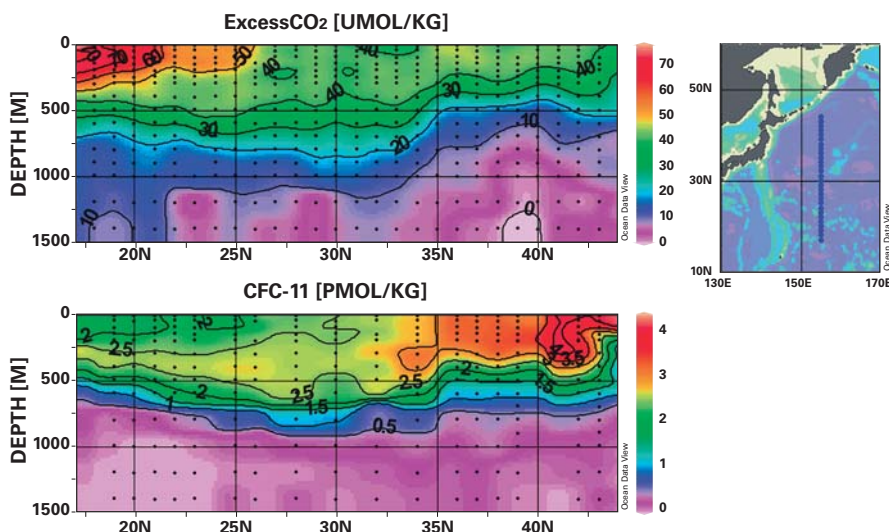


図15 MR03-K01航海において東経155度線で観測された人為起源二酸化炭素 (ExcessCO<sub>2</sub>)とCFC-11の分布

(ii) 国立極地研究所との共同研究のもと第44次日本南極地域観測隊「専用観測船」研究航海に参加し、生物に起源を持つ温暖化関連気体についての観測研究を行った。また、第43次日本南極地域観測隊「専用観測船」研究航海で得られた試料の分析及び解析を行った。

第43次日本南極地域観測隊で得られた東経140度南極大陸域におけるメタン、ケイ酸および硫化ジメチル(DMS)の分布をそれぞれ図16-1、16-2、16-3に示す。陸棚斜面にある高濃度メタンの分布は、ケイ酸の分布と似ており、それらが表層付近と関わりがあることを示唆する。また、メタンの安定同位体分析結果は、極大にあるメタンがまだ分解の影響を受けていないメタンである可能性を示しており、これからも表層域からの影響が大であることが示唆される。

2002年に観測されたDMSは、南緯65度から66度の間で極大となった。この極大は、この観測の一月前に行われた白鳳丸でも観測されていた。しかし、DMSの前駆体であるDMSPの形態(植物プランクトン中および溶存形)との比率は大きく変化していた。この結果は、海洋中でのDMS生成と植物プランクトン、動物プランクトンとの関係を明らかにする上で重要な情報である。

(c) 基礎生産機構と生物関連気体に関する観測研究

本研究では、気候変動と植物プランクトンがその生成に大きく係わる温暖化関連物質の関係を評価する

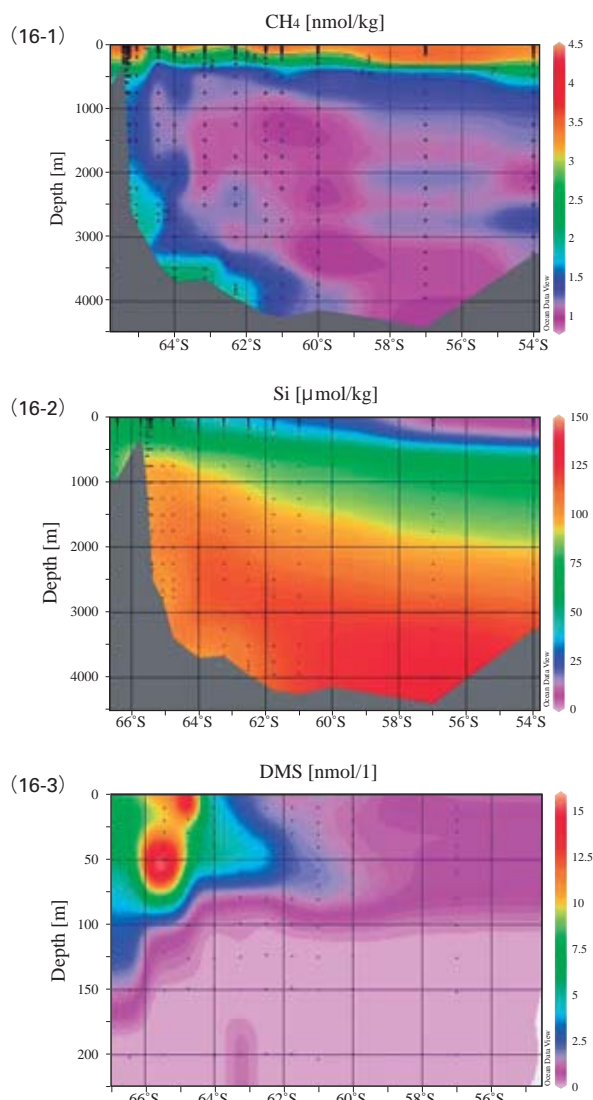


図16 第43次日本南極地域観測隊「専用観測船」研究航海、東経140度線で得られたメタン(16-1)、ケイ酸(16-2)および硫化ジメチル(16-3)の濃度分布

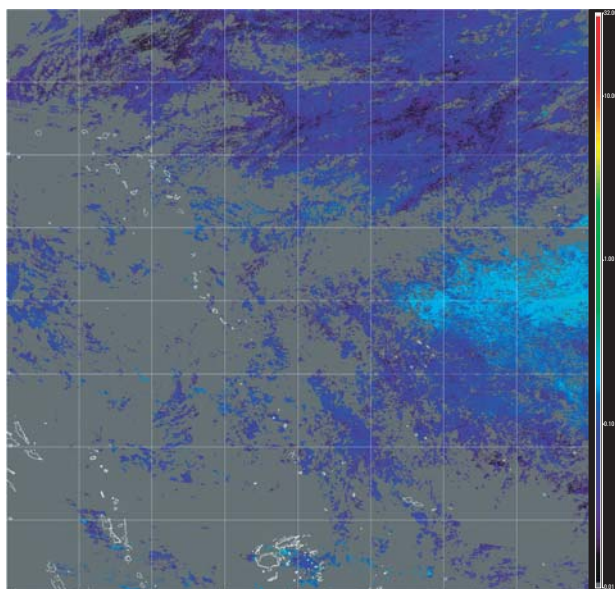


図17 SeaWiFSによるクロロフィル-a分布図(2003年1月20日から26日までの週間合成画像)。東経160度から西経160度、北緯20度から南緯20度の海域。

ため、太平洋赤道域において、エルニーニョ／南方振動(ENSO)のような赤道が発生源となる気候変動が植物プランクトンに及ぼす影響について調査した。

観測は海洋地球研究船「みらい」を用いて、2002年12月から2003年2月にかけて東経145度から西経160度の赤道海域で行った。観測中、赤道域はエルニーニョの様相を呈しており、硝酸塩が枯渇した暖水プールは、日付変更線よりもさらに東の西経170度付近にまで達していた。暖水プールが東進したため表層の植物プランクトンの分布も東へ移動し、西経173度に赤道湧昇に伴うクロロフィルa分布の西端が見られた(図17)。今までの観測から栄養塩濃度と植物プランクトンの関係が明らかになっており、ENSOによる水塊の変動によっても群集組成は大きく変動し、それが基礎生産と温暖化気体である二酸化炭素の動態にも影響を与えていることが分かった。

### (3) 経常研究

#### 1) 炭酸系の高頻度測定に関する研究

##### (a) 研究開発の方針

本研究は、炭酸系測定の精度を維持しつつ、従来の測定と比較して高頻度でデータが取得可能なシステムの構築を目的とする。

##### (b) 研究開発の概要

高頻度測定のために、①サンプル量を少なくすること、②サンプル処理の時間を短縮すること、の二点を行う。①に対しては、少量の海水でも精度よく測定できるようにシステムを改造する。②に対しては、システムの自動化を目指す。

##### (c) 研究開発の内容

アルカリ度の測定に関して、従来は100ml程度の海水が必要であったものを50mlのサンプル量で行えるようにした。これに加え、6サンプルが連続測定できるように装置の自動化を行った。

pHの測定に関しては、比色法により測定ができるようにした。これにより、従来の電極法より5～10倍程度、精度が向上した。また、4サンプルが連続測定できるように装置の自動化を行った。

## 2) 海洋大循環と熱・物質分布に関する予備的研究

海水は、熱・真水を輸送し、大気とともに地球全体の気候を形成すると同時に、栄養塩類や炭酸系化合物等のイオン化、鉍物化の場として物質の輸送を行っている。地球規模で考えた場合、これらの輸送は各大洋毎に存在するいわゆる表層循環系、エクマン輸送およびそれらをつなぐオーバーターンとによって支配されている。本経常研究の目的は、1991年から1996年までに実施されたWOCEのone time観測結果、WOD98、これまでに南極周辺で実施された観測結果およびNCEPの風データから、特に太平洋、インド洋を中心とした海水輸送の場を10年スケールでの平均として求めること、これらのデータを統合し、海洋内部領域での熱および物質輸送の推算を行えるデータベースをつくること、さらに、これらを用いて特に南極系のオーバーターンと物質分布の長期変化を議論することである。

平成14年度は、WOCE-WHPデータを使って、太平洋、大西洋、インド洋全体を一つのドメインとし、かつ各大洋の主たる海盆毎に独立のスキームをもつインバース計算を実行した(図18-1、18-2、18-3)。なお、海水のカテゴリー分割は中立密度による14層分割とした。この結果にエクマンフラックスの長期変動(およびトレンド)を含め、南極系オーバーターンの長期変化を算出すると同時に15年度に実施されるBeagle2003航海のデータ解析準備を行った。

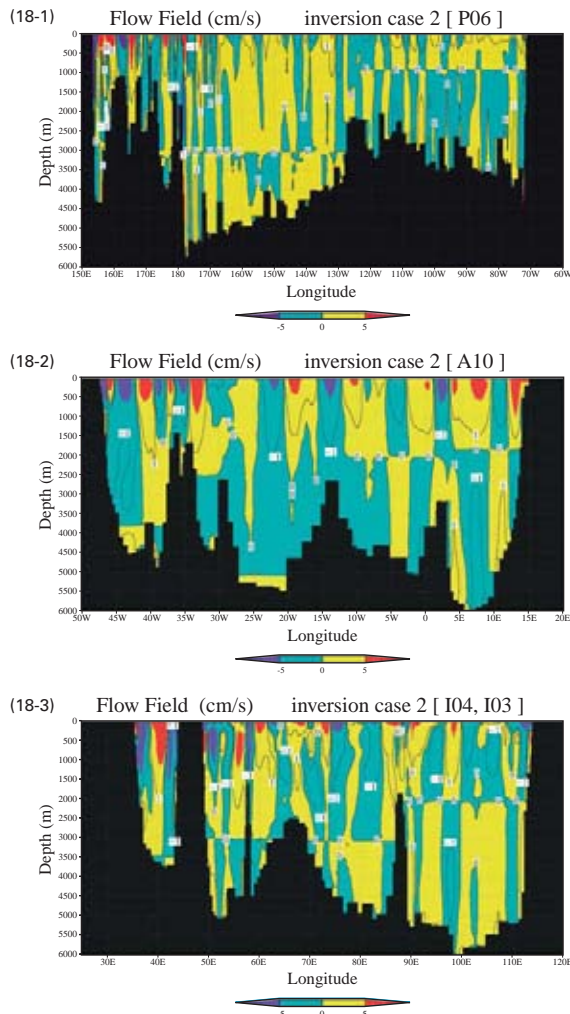


図18-1 インバース計算結果の流速断面図(WOCE P06線)  
 図18-2 インバース計算結果の流速断面図(WOCE A10線)  
 図18-3 インバース計算結果の流速断面図(WOCE I04線、I03線)

### 3) フロン及び類似溶存気体の測定と海洋学への応用に関する研究

フロン(CFCs)及び類似溶存気体は温暖化と関係の深い垂表層の海水循環構造の解析や近年の温暖化に伴う海洋の変動を明らかにするための化学トレーサーとして用いられている。これら気体はそれぞれに異なった時間スケールを持っており、今後複数のフロン及び類似溶存気体を同時に、地域的にきめ細かく測定することが海洋の状況を解析する上で必要となる。今年度は、これまで用いられているCFC-11、CFC-12を始めとし、最近の変化を明らかにするCFC-113、六フッ化イオウ(SF<sub>6</sub>)、並びにCFC-11などより長い時間の変化を読む四塩化炭素(CCl<sub>4</sub>)等の船上分析法と、汚染を受けないように持ち帰り分析する方法の両面からの検討を行った。CFC-113及び

CCl<sub>4</sub>の分析は可能となったが、時に不明な汚染により影響を受ける。また、これまでの採水を簡略化し、より汚染を受けにくい試料容器を考案し、「みらい」航海MR03-K01で試験し、良好な結果を得た。

### 4) 中緯度太平洋から熱帯域へのENSOシグナルに関する基礎的研究

#### (a) 研究開発の方針

地球規模で気候変動に影響を及ぼすENSOの発生メカニズムに、中緯度太平洋から西太平洋熱帯域に伝播するシグナルが重要な役割を果たしていることが指摘されている。本研究では、そのシグナルの伝播経路や変動特性を明らかにすることを目的とする。

#### (b) 研究開発の概要

数値モデルやライトンブイ・アルゴフロート等の観測データを用いて、熱帯から中緯度域にかけての解析を行う。今年度は、高解像度モデルを用いた中緯度域から熱帯域にかけての変動特性の解析を行い、また、西熱帯太平洋での船舶によるXCTD観測を行った。

#### (c) 研究開発の内容

数値モデルによる解析から、西太平洋の10Nから16N付近にかけてと、5Sから10Sにかけての、中緯度と熱帯域との境界付近の上層における水温変動が大きく、西太平洋にシグナルの伝播経路が存在することが示唆された(図19)。また、XCTD観測を密に西熱帯太平洋で行い、ENSO時の海洋構造の把握を行った。

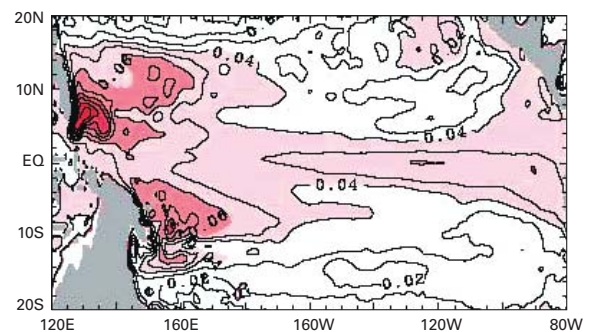


図19 1982から1999年までの月平均データによる、上層300mまでの平均水温の標準偏差。比較的長周期の経年変動を捕らえるために、13ヶ月の移動平均を施している。水温標準偏差が0.04度以上の、変動の大きい海域に色をつけている。

## 5) 熱帯海洋上での降水量計測手法の検証

熱帯海洋に供給される淡水フラックスは、西太平洋暖水プールの挙動を考える上で重要な量である。そこで、各種雨量計のデータを組み合わせることによる、それぞれの長所を生かしたより現実的な雨量算出法の検討を目的として、当研究が今年度から開始された。使用するものは、時間連続性に優れた直接観測であるブイ雨量計、降水系の時間変化を観測できる船舶搭載レーダー、広範囲を長期間観測できる人工衛星データである。

開始初年度の活動は、観測データの取得から着手した。まずは、ブイでの雨量観測を確かなものとするため、トライトンブイに常設の光学式雨量計の他に、測定原理の異なる静電容量式雨量計システムを独自に搭載し、計7基のブイへと展開した。両センサーの比較観測は陸上(むつ研究所)においても行った。また、衛星観測データとしてTRMM/PRのデータの整備を行った。これに、過去の観測で得られた船舶レーダーの観測データを加え、まずは対流活発期を捉えた2001年度のみらい航海(MR01-K05)時について相互比較解析を行い、それぞれの特徴の把握に努めた。これは、静電容量式雨量計のデータが揃う次年度から本格的な解析を行う際の基礎データとなる。

### (4) 共同研究

#### 1) 海洋試料に含まれる長寿命放射性核種測定の高感度・高精度化に関する研究

##### (a) 研究活動の方針

堆積物や粒子状有機物中の炭素14の測定は、海洋における炭素循環研究に必要不可欠となっている。しかしながら試料量が少なく、より高感度・高精度な測定が必要なため、国際的にも研究例は限られている。加速器質量分析法は長寿命放射性核種を高感度で測定することが可能であるが、測定の高精度化は試料の採取から加速器質量分析計による測定までの間の試料前処理、すなわち試料からの目的物質の抽出や濃縮などの処理精度に依存しているところが大きく、試料前処理をふくめた高感度・高精度な分析方法の確立が研究推進上急務となっている。

##### (b) 研究開発の概要

本共同研究は、海洋センターが船上での試料の採

取と前処理を、国立環境研究所が加速器質量分析を担当しつつ、炭素14などの長寿命放射性核種を加速器質量分析計で高感度・高精度に測定するための試料前処理装置の開発と、それをを用いた北西部北太平洋の堆積物の炭素14測定を研究目的とする。

##### (c) 研究開発の内容

平成11年から13年の研究開発により、試料前処理装置を製作し、「みらい」航海において採取した表層堆積物から脂肪酸を中心とした有機化合物を単離・精製することに成功した。また、それら単離した微量有機化合物の炭素14を測定し、沿岸堆積物の堆積過程に関する新たな知見を得た。

#### 2) 熱帯太平洋域の中層及び深層循環の構造と変動特性の観測研究

高緯度での海水の沈み込みによって駆動される中・深層循環は、熱や物質を輸送しながら地球全体を巡り、長期の気候変動に重要な役割を果たしている。この東京大学海洋研究所との共同研究では、太平洋における深層境界流のうち海底地形の複雑さから未確認であったサモア水路以北での経路、また、ニューギニア北岸域での南極中層水の北上経路についてその実態を調べることを目的としている。

海洋研究所は、サモア水路通過北上後のウエーク島水路およびメラネシア海盆の水深3000m以深の経路において流速計係留網を1999年2月から2000年2月に1年間係留し、結果はすでに論文として発表されている。

センターはニューギニア沖の沿岸潜流の観測を担当した。以下は、このニューギニア沿岸潜流の観測結果について述べる。ニューギニア沿岸の南極中層水のコアとなる水塊が存在する700m-800mの深度においては、北半球の夏季は冬季に比べ低温・低塩となっており、季節変動が存在することがわかった。深度700mおよび850mに係留された流速計による観測結果も、西向き(赤道に向かう)流速が夏季のほうが冬季に比べ大きいことを示し、夏季に強化されたニューギニア沿岸潜流により南極中層水起源の水塊が南東からより多く運び込まれるものと考えられる。船舶ADCP及び係留ADCPから推定したニューギニア沿岸潜流上部(118m-502m)の流量時系列(図20)は、

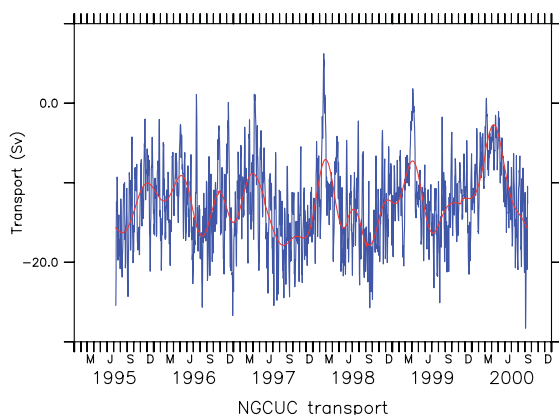


図20 東経142度線の深度118-502mを流れるニューギニア沿岸潜流の流量。日平均時系列の線と120日のローパスフィルターで円滑化された線が示されている。

季節変動幅が10Svであること、10日から30日の季節内変動はさらに大きく15Svにもなることを示し、水塊変動の結果と一致する。

### 3) 北太平洋における広域CO<sub>2</sub>フラックスの算出に関する研究

#### (a) 研究活動の方針

北太平洋は全海洋の1/5の面積を占めており、この海域での大気海洋間のCO<sub>2</sub>交換(CO<sub>2</sub>フラックス)は、大気中のCO<sub>2</sub>濃度の変動に大きな影響を与える。しかしながら、これまで行われてきたCO<sub>2</sub>フラックスの算出には、気候変動・変化の影響が考慮されていない。本研究では、両研究機関の観測データを使って、気候変動・変化がCO<sub>2</sub>フラックスに及ぼす影響について調査する。

#### (b) 研究開発の概要

北太平洋で強いCO<sub>2</sub>の放出域となっている中部赤道域(気象研究所)と、強い放出域となっている黒潮続流域、また、1970年代に気象研究所で観測が行われた北東太平洋域、さらには、生態系の異変が報告されている北極海域(ベーリング海大陸棚域を含む)においても観測を行った(海洋センター)。

#### (c) 研究開発の内容

ベーリング海の大陸棚域が大気中のCO<sub>2</sub>に対して強い放出域となっているのが観測された。この状況は1998年から継続して観測されており、この海域での生態系の変化との関連が示唆される。

### 4) 東シナ海におけるGLI海洋チャンネル代替校正及び高次成果物検証に関する共同研究

宇宙開発事業団から2002年に打ち上げられた環境観測技術衛星(ADEOS-II)搭載の海色センサー(GLI)は、地球表面からの太陽反射光を観測し、様々な生物・物理特性を評価することができる。我々はクロロフィルa、一次生産量、CDOM(有色溶存有機物)等のパラメータを推定するためのGLIの代替校正を、2003年3月に東シナ海で海洋調査船「かいよう」により(KY03-01)宇宙開発事業団と共同で行った。

### 5) 西部北太平洋及びその縁辺海における放射性炭素の循環に関する研究

#### (a) 研究活動の方針

数十年から100年単位の海洋の応答を正確に予測するカギのひとつが、海洋表層の海水循環メカニズムの定量的な解明である。この目的に最も適した方法のひとつが、炭素14やヨウ素129などの大気から海洋表層に供給される化学トレーサーの分布を明らかにすることである。当該研究グループは、1997年から北西部北太平洋において多くの炭素14測定を行い、同海域の表層および中層水循環に関する新たな知見を得ている。それによると同海域の表層循環は、オホーツク海、日本海などの縁辺海の海水と密接な関係を有していることが明らかになりつつある。しかし、それら縁辺海は沿岸国の経済水域を含むため、海洋観測の実施には制限があり、これまで十分なデータが得られているとはいえない。

#### (b) 研究開発の概要

本共同研究は、それら縁辺海で海洋観測を行い、多くの化学トレーサーのデータを有する研究機関と試料および分析データを共有することにより、北西部北太平洋における海水循環の解明に関する研究を効率的に推進することが目的である。

#### (c) 研究開発の内容

前年度に引き続き、「みらい」航海MR01-K03航海において原子力研究所と共同で採取した試料の採取の前処理、測定を行った。

## (5) 受託研究

### 1) 衛星データを用いた海洋における一次生産及び関連諸量のマッピングの高度化に関する研究

本研究の目的は船舶による観測を行い、クロロフィルa、一次生産、光環境、衛星データ等のデータセット

を作成することにある。これらのデータセットは、海色衛星データから地球規模の一次生産量を見積もるための一次生産推定モデルを改良するために使われる。そのため、太平洋赤道域及び東シナ海で衛星と同期した海洋観測を実施し、データを蓄積した。

## 4. 海洋生態・環境研究部

### (1) 研究活動の方針・概要・内容

最近の海洋生物学研究により、中深層域から深海底、さらには海底下地殻内にも数多くの生物微生物群が生息し、生物学的多様性が極めて高いことが明らかになってきた。これらの発見は地球における生物圏の概念を一変させ、

- ・ 海洋生態系モデルを浅海域における光合成生態系と深海底を中心とした化学合成生態系が相互に作用する物質循環のダイナミックなモデルへと再構築する、
- ・ 海洋における生物進化、環境と生物の相互作用の解明、

といった課題に取り組む必要性が生じている。

そこで当研究部では、これまで取り組んできた、「海洋の生態系変動機構の解明」研究を、平成14年度で終了させ、平成15年度より新に「地球システムにおける海洋生態系の構造と役割の解明」プロジェクトとして、再構築して研究を推進することとなった。地球をシステムとしてとらえ、その動的変動を地球生態系ネットワークの中で、理解することはJAMSTEC全体の研究方針における位置づけとしても、きわめて重要な取り組みとなる。当研究部では、今後、

- ・ 海洋生物を通じて多様性をつかさどるメカニズムの解明(多様性研究)
- ・ 海洋生態系の生物生産と物質循環に関わる生物機能の解明(生態系研究)

を研究プロジェクトの重点項目とし、特に、2007年から始動するOD21/IODPとリンクし、プレート境界域、熱水噴出域における地殻内生物圏および海洋生態系との生物相互作用と物質循環を解析できる方法論と研究体制を確立して、地殻から海洋へと広がる生態系の構造と地球システムでの役割を解明する研究へと発展させる。さらに、表層域の生物生産と物質循環に関しては、それを集中的に研究している機関(水産研究所・大学・海洋観測研究部)と共同で研究を推進することとなる。

### (2) プロジェクト研究

#### 1) サンゴ礁再生技術の研究開発

期間：平成13年度～

サンゴ礁海域は、海洋生物の多様性に富むと同時に、非常に高い生物生産性を有しながら、貧栄養の水質を保つユニークな海域である。その高い生産性を支えているのは、褐虫藻を代表とする共生微細藻類とサンゴなどの無脊椎動物とが形成している共生系である。近年、世界各地のサンゴ礁でサンゴの大規模な白化に見られるような共生系の崩壊が頻繁に報告されるようになり、その原因の一つは地球の温暖化や紫外線の増加等の環境変化であると言われている。その意味でサンゴ礁は地球環境の変化を表わすバロメーターとして見る事が出来る。

サンゴ礁を支えるサンゴやシャコガイなどの共生系の白化と環境との関係については、多くの野外調査が行われて来たが、今日まで白化のような共生系の崩壊メカニズムは明らかとはなっていない。その理由は宿主である動物と共生体である微細藻類間の相互作用のメカニズムが十分に解明されていないためである。例えば、宿主体内では微細藻類は光合成産物の50%以上を分泌するが、そのシグナル(宿主因子)は未だに明らかでない。サンゴの白化のような共生系の崩壊現象を理解するには、サンゴ礁を支えている共生のメカニズムを解明することが重要であり、これらの共生の機構を理解する事は、生物進化における葉緑体の獲得の機構を理解する事にも繋がると考えられる。

共生の機構研究は、サンゴ礁の調査による共生の現場を解析する研究と連係する事で、サンゴ礁の現状を把握すると同時にサンゴ礁を再生させるための基礎資料の取得が可能になる。このようなことから、我々はサンゴ礁における現場の環境調査と共生機構の研究を連係させながら研究を実施している。

平成14年度は、研究体制の整備・強化を行い研究基盤を構築すると共に、サンゴの白化のような共生系の崩壊現象を理解するために、我が国最大のサンゴ礁海域である石西礁湖(図1)において、サンゴ礁を支えている共生機構の解明およびサンゴ礁をとりまく環境変動に焦点をあて調査研究を実施した。図2に示す調査地点において、サンゴの採取および物理環境計測を行った。その結果、石西礁湖の循環系の概略

を捉えることができた(図3)。採取したサンゴ(図4)については、DNA分析等を行っている。なお、これらの成果については、国内・外の学術雑誌や学会・シンポジウム等で公表および公表予定である。



図1 石西礁湖(石垣島—西表島間に位置する我が国最大のサンゴ礁海域)

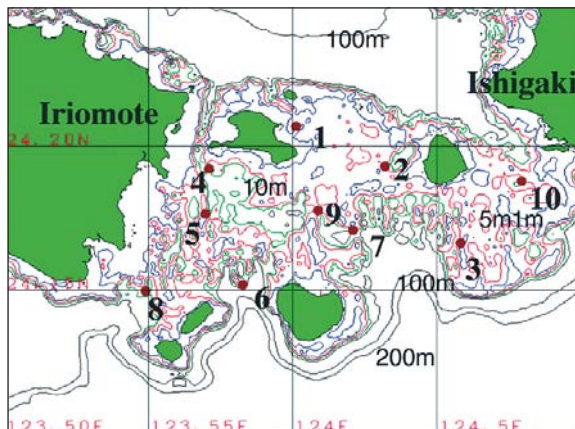


図2 石西礁湖における共生および環境調査地点

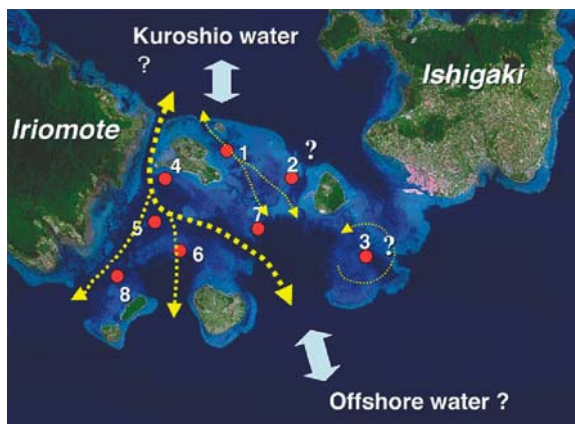


図3 石西礁湖の循環系の概略図



図4 採取したサンゴ(左:ウスエダミドリイシ、右:ウスチャクメイシ)

## 2) 中・深層生態系に関する研究

期間:平成12年度～

中・深層域(水深200m以深)は海洋の9割以上の体積を占める広大な領域であり、海洋表層と深海底との物質やエネルギーの移流に大きな役割を果たしていると考えられている。海洋生態系を理解するためには、中・深層生態系を把握することは重要であるが、その情報は非常に限られている。これまでは、プランクトンネットなどを用いた洋上からの調査が主体であったが、これらの調査から得られる生物試料は魚類など体の構造が比較的丈夫な種類に偏っていた。近年、諸外国の研究機関が潜水調査船や無人探査機などを用いて中・深層生態系研究に着手した結果、中・深層域にはこれまで知られていなかったクラゲなどのゼラチン質プランクトンが莫大な量存在することが明らかになってきた。これらプランクトンの体は非常に壊れやすく、ネットなどを用いた調査では採集が困難であり、特別な採集装置を装備した潜水調査船や無人探査機などによってわずかながら試料の採集が可能になったのが現状である。

そこで本研究は、中・深層生態系の構造(種構成、分布など)・機能(生理、生態、生物間相互作用など)を把握することを目的とし、プロジェクト研究「中・深層生態系に関する研究」として平成12年度より開始した。

平成14年度は相模湾(「しんかい2000」)、駿河湾(「しんかい2000」)、三陸沖(「ハイパードルフィン」)、などで潜航調査を行った。三陸沖では生息環境(水温、塩分濃度、溶存酸素濃度など)と生物群集構造の関係を明らかにするために、環境因子の異なる複数の水塊で潜航調査を実施した。その結果、親潮系水、黒潮系水、移行域と生物群集構造は大きく異なることが明らかになった。また、相模湾と駿河湾における



図5 新亜科のTiburoniinaeに属する *Tiburonia granrojo*  
(和名:ユビアシクラゲ)

中・深層生物及び近底層生物の群集構造を比較したところ、両者は地理的に近い距離にあるにも関わらず、その群集構造は大きく異なることが明らかとなった。これらの成果については、国内外の学術雑誌や学会・シンポジウム等で公表した。

無人探査機「ハイパードルフィン」によって撮影、採集されたユビアシクラゲを新亜科、新属、新種として *Marine Biology* 誌に発表した。この発表は *Science* 誌や国内外のテレビや新聞で取り上げられた。

### 3) 深海生態系に関する研究

期間:平成11年度～

海洋生態系には光合成生態系のほかに熱水噴出・冷水湧出といった地球内部の変動現象によって成り立つ化学合成生態系がある。とりわけ大規模なのが深海域にある熱水噴出孔生物群集や冷水湧出域生物群集である。これらは、深海底から噴出する物質を間接・直接的に取り込んで莫大な生物量を維持しており、噴出物質の循環に大きく関与していると思われる。本研究では、深海調査システムを活用したフィールド調査および様々な陸上での室内実験を通して、主に熱水噴出域、冷水湧出域に生息する深海生物の構造(種構成、分布など)と機能(生理、生態、生物間相互作用)を明らかにすることを目的とする。

平成14年の5-7月には、昨年度にひきつづき「しんかい2000」と「ドルフィン-3K」を用い、沖縄トラフ鳩間海丘の熱水域と先島諸島沖の黒島海丘(図6)において、化学合成生態系のベントスおよび微生物の生

物多様性・分布様式・現存量・成長量・生産量と地球化学的環境を定量的に解析し、生態系に関わる物質とエネルギー量、すなわち生態系としての規模を評価することに着手した。その結果、(1)生態系を支える化学物質を分析するための試料採集、(2)浮遊性細菌の密度、(3)浮遊性細菌の増殖速度、(4)ベントスの現存量解析用データの取得、(5)ベントスの成長量解析用データの取得、(6)共生細菌の組成および系統、(7)ベントスの組成および系統解析などが実施できた。

7月には、ナラクハナシガイが示す世界最深の化学合成共生系の成立過程の解明とエネルギーフローの把握を目的として、「かいこう」による潜航調査を日本海溝陸側斜面において実施した(図7)。2種類の共生細菌のうち共生細菌IIが環境伝達されるかどうかを明らかにするために、異なる地点から遺伝子分析用のナラクハナシガイを採集した。また、生息域周辺



図6 黒島海丘メタン湧水域における *Bathymodiolus short-type* が優占する生物群集。

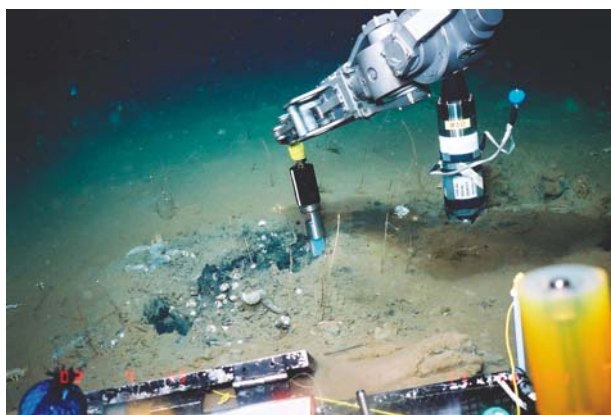


図7 日本海溝陸側斜面(水深7,323m)の冷水湧出帯生物群集。ナラクハナシガイを優占種とする。中央は無菌採泥器。

の海水中や堆積物中に自由生活型の共生細菌が存在するかどうかを明らかにするために周辺海水及び堆積物を採集した。さらにナラクハナシガイ生息域のエネルギーフロー解明に向け、塩化ストロンチウムマーキング法を用いてナラクハナシガイの成長速度計測実験を実施するとともに炭素・窒素・硫黄それぞれの同位体解析および環境中の微生物相解析実施のためのサンプリングを行った。

4) 駿河湾における海洋深層水の科学的特性と多段利用システムに関する研究

期間：平成10～15年度

静岡県では、駿河湾深層水の有効利用事業を進めている。平成13年9月には表層水(深度：24m)および深層水(深度：397m、687m)を取水する施設が整備され、民間企業や市民への分水が開始された。本研究は、当事業計画の効率的な推進に資すること、また実用的な海洋深層水利用技術の確立に資することを目的とする。そのために、分析・観測機器等の整備、駿河湾の取水立地海域やその周辺海域における海洋深層水の科学的解明、および海洋深層水の有効利用のための多段利用システムの検討を静岡県と共同で行う。

平成14年度の主な研究成果は、以下のとおりである。

(a) 海洋深層水特性の科学的解明

平成14年10月に、海洋深層水取水海域および周辺海域においてCTDならびに鉛直多層採水による海域調査を実施した。CTDによる観測では、アルチメータの利用により海底直上5mまでの測定が可能となった。従来より課題となっている懸濁物質に関連して、CTDシステムに取り付けた光束透過率の値から算出した消散係数(値が高いと濁度が高いことを示す)の鉛直分布(図8)を求めると、60m以浅と600mから海底(698m)の間が消散係数が高い傾向がみられた。この測定と同じキャストで採水した海水の懸濁物質濃度の鉛直分布(図9)では、60m以浅と600m以深が高く、これは消散係数と同様の傾向であった。海洋深層水の取水口は水深397mと687mに設置されており、海水を吸引する口は海底上7mになっている。このことは、懸濁物質濃度のやや高い海水を取水していることになる。しかし、溶存有機炭素濃度は海底直上で

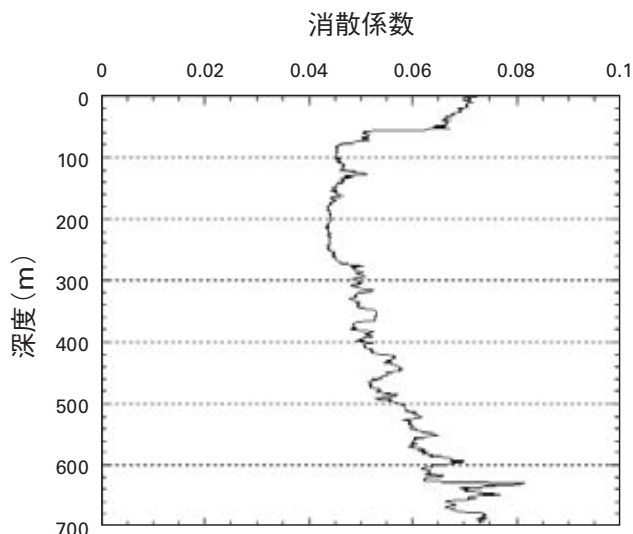


図8 海洋深層水取水海域における消散係数の鉛直分布。2002年10月22日、静岡県焼津市沖にて測定。

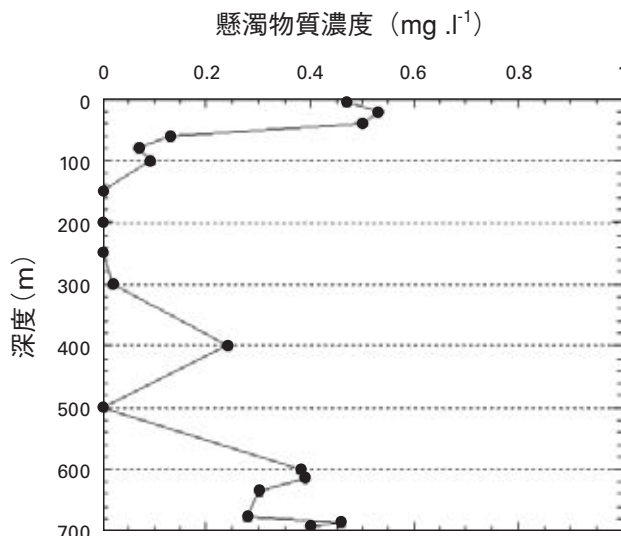


図9 海洋深層水取水海域における懸濁物質の鉛直分布。2002年10月22日、静岡県焼津市沖にて測定。

は高くなっていない。したがって、このような海水を陸上に汲み上げて利用するとき、利用分野によっては懸濁物質のみをろ過して除去することにより清浄な水が得られるので、対応を検討する必要がある。

海洋深層水中の微量成分の分析手法として、大型放射光施設(SPring-8)を利用する方法について検討した。本施設で金属類濃度の定量を過去2回実施しており、ノイズの低減が課題となっていたので、測定条件を詰めるとともに、金属類測定のためのクリーン採水を行った。今後測定する予定である。

## (b) 多段利用システムの検討

海洋深層水放水による環境影響を明らかにするために、平成13年9月より、取水施設において汲み上げられた海洋深層水を週1回採水し、栄養塩類濃度の測定を行ってきた。今年度は、加えて懸濁物質濃度についても継続して測定した。その結果、台風直後に懸濁物質濃度が高くなる傾向が見られた。海洋深層水取水施設の特性把握のため、今後も継続して測定を行う予定である。

## 5) 内湾環境修復の研究(長崎)

期間:平成13~17年度

本地域共同研究は、閉鎖性海域の根本的・持続的な浄化(N、Pなど富栄養化物質の系外除去)方策を探るため、長崎県と共同で開始したものである。

次年度に実験開始を控え実験海域の環境調査を行い、夏季の貧酸素現象と12縄のカキの全滅が確認された。また、養殖カキ筏と曝気管の最適配置が数値シミュレーションにより確認され、必要な曝気量、空気圧縮機力量が算出された。さらに実験海域の水塊および海底堆積物表層での酸素消費量がそれぞれ2.7および5.1gO<sub>2</sub>・m<sup>-2</sup>・day<sup>-1</sup>と測定された他、炭素沈降フラックス(平均0.78gC・m<sup>-2</sup>・day<sup>-1</sup>、基礎生産は平均0.52gC・m<sup>-2</sup>・day<sup>-1</sup>)を把握した。

平成15年1月には養殖カキ筏が実験海域に整備され、カキの養殖が開始された(図10)。次年度の曝気システムを夏季成層期前に整備し、併せて浄化システムの整備が完了する予定である。



図10 整備された実験用カキ筏(黒ブイとロープで構成される)と垂下されたカキ稚貝

## (3) 経常研究

## 1) 深層水の水質評価に関する研究

期間:平成12~14年度

現在、海洋深層水取水施設は全国に十数カ所存在し、更に今年度中にも数カ所の施設が完成する予定で、施設の整備計画を検討中の自治体は多い。海外でも稼働中の施設が存在し、韓国等でも施設整備が検討されている。

海洋深層水の利用価値の高い特性のひとつに清浄性が上げられるが、これを利用して食品や飲料水の原料として利用されるようになり、深層水を利用した製品等は市場で多数存在している。そうしたことから環境問題や食品問題と関連して、安全性や信頼性の面での重要度が増してきている。しかしながら、海洋深層水についてそうした面での見識は十分には得られていないのが現状である。

そこで本研究では、海洋深層水の安全利用に資するため有害微生物、外因性内分泌攪乱化学物質(環境ホルモン)等についての評価を目的として、評価手法の検討を行なうとともに、取水施設で汲み上げられた海洋深層水を対象に調査を行なった。

本年度は最終年度として、昨年・一昨年の経験を踏まえ、有害微生物と環境ホルモンについての評価を行なった。また、調査地点については昨年度までは日本国内のみで行なっていたが、韓国を調査地点に追加して行なった。調査地点及び採水深度を図11に示す。



図11 海洋深層水の調査地点および深度

有害微生物については、総菌数、生菌数と人為的汚染による病原菌の遺伝子解析を行なった。その結果、海洋深層水の表層水に対する清浄性が認められた。

環境ホルモンについては昨年度までの結果を踏まえ、法的に重要視され、毒性が高く人的な汚染物質の代表としてダイオキシン類を対象として分析を行なった。その結果、対象とした海洋深層水については、基準値（環境基準、水道水質基準）の100分の1以下の値であることが確認された。

前述したように、海洋深層水は飲料水や食品の原料として用いられることが多いが、その利用にあたり調査した施設の海洋深層水については、安全性が確認された。

## 2) サンゴ礁海域におけるサンゴの卵・幼生の輸送過程の研究

期間：平成13～15年度

近年、サンゴ礁海域では、海洋表層水温の上昇に伴うサンゴ群集の北上傾向が見られ、それには黒潮が重要な役割を果たしていると考えられている。しかし、石西礁湖などのサンゴ礁海域から、サンゴの卵・幼生がどのように沖合い（黒潮）に輸送（流出）されるのか、また、沖合い（黒潮）に取り込まれたサンゴの卵・幼生はどのようにサンゴ礁海域に輸送（流入）されるのか、といった基本的な問題は明らかにされていない。

サンゴ礁海域の流れは、多種多様なサンゴ群集の分布構造（地域特性）や成長に影響を及ぼす重要な環境要因の1つである。特に、我が国のサンゴ礁海域の沖合いには、黒潮が流れており、この流路変動に伴う沖合水（黒潮系水）のサンゴ礁海域への流入・流出は、潮汐や気象的な要因だけではなく、サンゴの卵・幼生の輸送過程に重要な役割を果たしていると言える。

そこで、本研究では、沖縄県近海（西表島～沖縄本

島）で得られた過去20年間の衛星画像や水温分布、海洋観測データ等から、長期的な黒潮流路変動を類型化し、サンゴ礁海域におけるサンゴ群集の分布および海水交換との関連性について検討する。また、サンゴ礁海域（石西礁湖）において流速計等を用いた短期的な流動調査を行い、サンゴの卵・幼生の輸送過程を明らかにすると同時に黒潮流路変動との関わり合いについて検討する。

平成14年度は、昨年に引き続き過去20年間の漁海況速報を収集し、八重山諸島～沖縄に至る水温情報、潮位データ、気象データ等のデータベース化（10年分）を行った（図12）。また、八重山諸島～沖縄に至る黒潮流路の類型化を検討するため、石西礁湖、宮古島、沖縄本島等からの黒潮の離岸距離を長期的に求めた（図13）。また、石西礁湖の海水交換過程を把握するための流況調査をプロジェクト研究と同期して行った。その結果、石西礁湖の海水交換時間は10日前後であることが推察された。サンゴの産卵期に行った流れの調査結果から、サンゴの卵・幼生は、産卵される場所によって数日で礁湖内から沖合に流出することが示唆された。同時に、総観的な石西礁湖の循環系が把握できた。後者の結果は、国内の学術雑誌および国際学会・シンポジウムで公表した。

## 3) 高温高圧耐性を持つ透過膜に関する研究

期間：平成13～15年度

「化学進化」は生命の誕生に先駆けて行われた地球創生期の化学物質の変化であり、無機物や単純な有機物から生命に関わる高度に組織化された有機物が合成・蓄積された過程である。

化学進化が地球上で実際に起こりうる現象であることを示したのは1953年に行われた「ミラーの実験」で

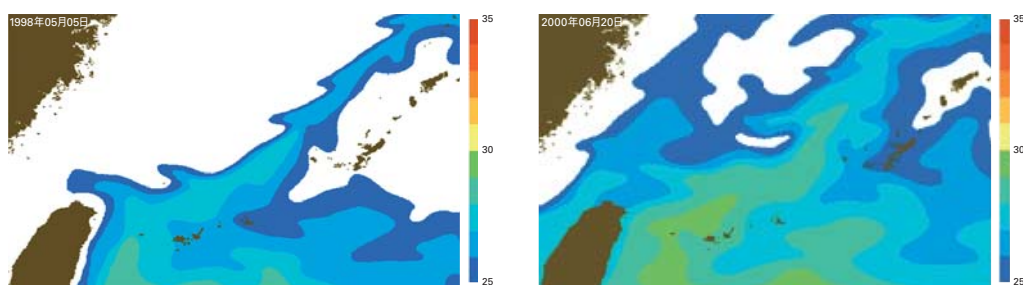


図12 八重山諸島から沖縄に至る海表面水温の長期変動のデータベース化

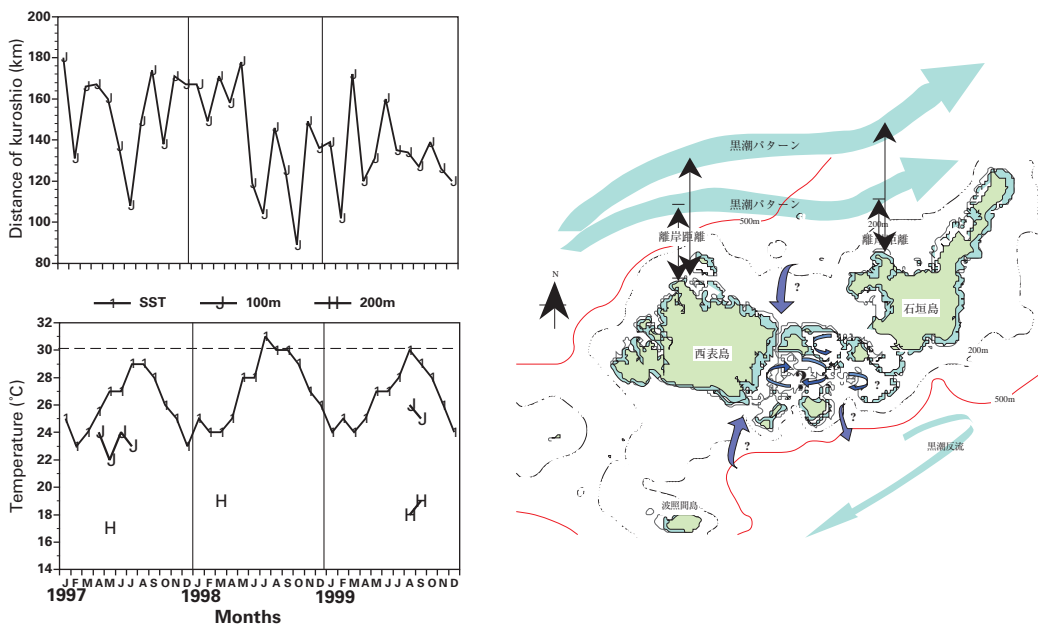


図13 黒潮流軸の離岸距離と表面水温の変動

ある。この実験でミラーは原始大気を模した混合ガス（水素、メタン、アンモニア）と水に、熱（火山活動の代替）と電気刺激（雷の代替）を加え、実際にアミノ酸などの有機物の生成を引き起こした。しかしその後の研究により、原始大気は二酸化炭素を主成分に、水蒸気・窒素・一酸化炭素などを含む酸化型のものと考えられるようになり、そのような酸化型の気体では、有機分子はほとんど生成しないことが明らかになった。

1977年にガラパゴス諸島沖で深海熱水噴出孔とそれを取り巻く生物群集が発見され、その特徴が次第に明らかになるにつれ、深海熱水噴出孔環境が生命起源の場ではないかという仮説が提唱されるようになった。熱水噴出孔は化学進化にとって非常に重要な次のような特徴を有する。

#### (a) 高温

化学反応の促進には何らかのエネルギー源が必要であり、熱水噴出域には莫大な熱エネルギーが存在する。岩の裂け目からしみ込んだ海水はマグマの熱で急速に熱せられ、様々な化学物質を取り込むが、マグマとの接触面を離れると今度は周囲の海水によって急速に冷却される。このため、高温で生成した物質は熱による分解を避ける事ができる。これは実験室で様々な分子を作るやり方と同じで、熱水噴出孔はいわば急峻な熱勾配のついた一種の連続反応炉となっている。

#### (b) 還元的環境

熱水噴出域では硫化水素やメタンなどの還元的化学物質の濃度が極めて高い。酸化的化学条件の場合と比較して、還元環境からは容易に有機物が生成する事が先行研究によって明らかになっており、熱水噴出孔環境は有機物が合成されやすい環境であると考えられることができる。実際、紅海の熱水噴出孔の熱水から、アミノ酸の一種であるグリシンが周囲の海水よりも非常に高い濃度で検出されている。これは、熱水噴出孔周辺で有機物が無生物的に合成されている可能性を示唆している。

#### (c) 高濃度重金属

熱水噴出孔より沸き出す熱水には高濃度の金属イオン（鉄・マンガン・銅・亜鉛など）が含まれている（通常の海水の1000倍以上）。多くの化学反応にとって、金属イオンは触媒として働き、化学反応の効率を上げる。従って、これらの金属イオンが熱水中での有機物合成反応に関わり、生命誕生に重要な役割を果たしたのではないかと推定されている。

このように熱水噴出孔環境は化学進化を引き起こすための重要な条件を備えているために、その可能性を実験室内で検証する様々な試みがなされている。熱水組成と類似した模擬海水を作成し、その中でメタンを加圧・加熱する実験では、グリシンやアラニン

など生体に不可欠のタンパク質アミノ酸を含む、様々なアミノ酸が生成することが知られている。また、様々な模擬原始地球環境にアミノ酸を加え加熱すると、膜を持つ、細胞に似た構造(ミクロスフェアやマリグラヌール)が生成する事も知られている。

以上のような先行研究によって、熱水噴出孔環境が化学進化を引き起こす可能性が示されてきた。しかし、これまでの実験系はいずれも室内で行われており、化学進化を考える上で重要であると推定するいくつかの条件を満たしていない。それは「時間」、「微量元素」、「ゆらぎ」である。過去の室内実験は数時間から1週間程度と非常に短時間であり、また模擬熱水には本来熱水に含まれるはずの全ての微量元素が含まれている訳ではない。さらに熱水は潮汐などにあわせてその噴出量が変化し、それに伴って温度や化学組成が複雑に変化するが、このような「ゆらぎ」を実験室内で十分に再現することは困難である。

従って、実際の熱水噴出孔環境を用いて化学進化研究を実施すれば、これまでの研究では知られていない新たな生成物や反応過程を観察できると推定するが、これまでのところ、熱水噴出環境をそのまま利用したフィールド実験はアクセスの困難さや実験装置が未開発であることなどから行われておらず、実際にこのような環境が化学進化の場であるのかどうかは不明である。

本研究では化学進化に関するフィールド実験を実施するために必要な現場実験装置を構成する透過膜の開発を試みる。この膜は高温高压に耐性を持ち、熱水の無機物成分を実験スペース内に透過させつつ、実験スペース内外の有機物の流入を妨げるものである。

平成14年度は、透過膜の現場試験を沖縄トラフ鳩間海丘の熱水噴出孔で実施した。実験装置を最高温度222°Cの熱水噴出孔に設置した。約1週間後に回収した膜現場試験筒内には硫化物と推定する熱水性沈殿物が大量に付着していたが(図14)、装置を構成するチタン部品は全く腐食していなかった。

膜現場試験ユニットを構成する窒化ケイ素フィルターの外観に目立った変形はなく、一様に黒変していた。内部は8つのユニット共に部分的に溶解されたような変形があった(図15)。

回収した各ユニット中の化学成分のうち、ケイ酸濃度とアンモニア濃度を船上にて計測したところ、窒化



図14 膜現場試験ユニットに沈着した熱水性沈殿物



図15 内部が変形した窒化ケイ素フィルター

ケイ素フィルターを構成要素とするユニットから高濃度のケイ酸とアンモニアを検出した。これは窒化ケイ素フィルターが熱水中の還元物質(硫化水素、メタン、水素など)により還元された結果と推定した。

#### 4) サンゴの元素取り込み過程に関する基礎研究

期間：平成13～15年度

サンゴ骨格など、生物起源の石灰殻中には生息時の環境が保存されており、様々な元素濃度を計測することによりそれらの情報を読み取ることができる。例えば、酸素同位体比( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )は海水温や海水の塩分濃度などの情報を保持していると考えられている。また、炭素同位体比( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ )は主に光合成活性の指標と考えられている。

本研究では沖縄県石西礁の成長速度の違うハマサンゴ骨格の炭素および酸素同位体比に焦点をあてて、

成長軸にそって400ミクロンごとに行い、成長速度の違いが炭素および酸素同位体比変動に影響を与えているかどうかの検証を行った。その結果、特に炭素同位体比は成長速度により変動パターンに違いが見られた。成長の速いサンゴ骨格中の炭素同位体比変動は光合成活性の変動に近い相関を示している、一方で成長の遅いサンゴ骨格中の炭素同位体比は逆のパターンを示した。これは成長速度、即ち骨格を形成する結晶であるアラゴナイト生成の速度が炭素同位体比に影響を与えていることが示唆されている。結晶の生成速度が同位体比に影響する現象は一般的にキネティック効果と呼ばれている。本研究では炭素同位体比は光合成活性のみに大きく影響されるだけでなく石灰化速度によっても炭素同位体比が影響を受けるという結果が、データによって示された。以上のことから、サンゴ骨格の炭素同位体比は光合成活性の変

化と骨格成長速度の変化双方の影響を受けていることが示唆される。これらの結果はサンゴ骨格以外の生物石灰殻に応用が可能であると考えられる。

5) 底生樹状動物の表現形の多様性に関する研究

期間：平成14～16年度

日本近海は八放サンゴ類や黒サンゴ類等の底生樹状動物が多様に生息する海域である。八放サンゴ類は、熱帯及び亜熱帯の浅海域にしか生息出来ない造礁サンゴ類と異なり、高緯度域や深海域にも生息している。本研究では、八放サンゴ類が浅海域から深海域、低緯度域から高緯度域へと生息範囲を拡げてきた要因を確認するために、低水温へ適応した生殖様式について検証する。種の分化の系統地理学的な解明を、本研究の最終的な目標とする。八放サンゴヤギ目の基本的な分類、及び進化に対しての遺伝的多様性の研究の

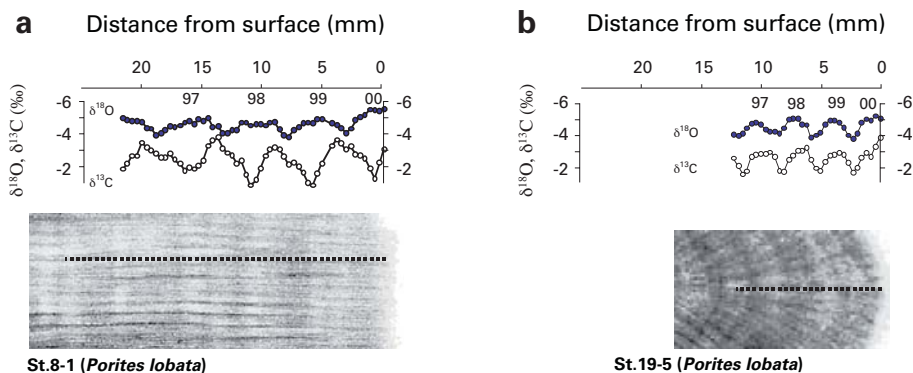


図16 成長軸にそって計測を行った炭素・酸素同位体比。写真はサンゴ骨格のX線写真。縦じまは1年周期でできる年輪で、炭素・酸素同位体比が年輪に合わせて1年周期で変動している。(a) 成長の速いサンゴ骨格の計測結果。炭素同位体比は酸素同位体比に対して逆相関変動を示している。(b) 成長の遅いサンゴ骨格の計測結果。炭素同位体比は酸素同位体比に対して正相関変動を示している。(a) (b)から、成長の速さによって炭素同位体比の傾向が変化してことが示される。これは成長速度(骨格の石灰化速度)が炭素同位体比に影響していることを示唆している。

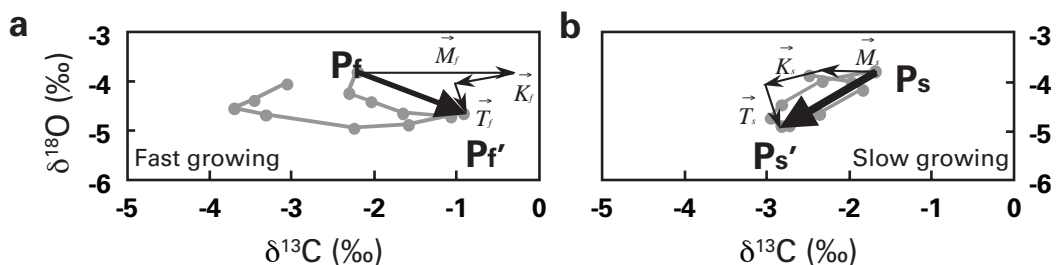


図17 炭素・酸素同位体比の変動。(a) 成長の速いサンゴの計測結果。(b) 成長の遅いサンゴの計測結果。各々の矢印は炭素・酸素同位体比変動の要因の大きさを示す。 $\vec{M}$ の大きさが(a)と(b)では異なっており、これは光合成による炭素同位体比の影響が異なることを示すと考えられる。

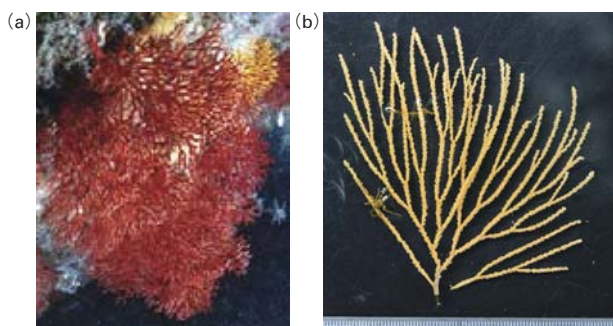


図18 (a)八放サンゴ亜綱ヤギ目浅海生息種 *Melithaea flabellifera*。(b)平成14年度東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター採集ヤギ目 *Primnoidae*。

第一段として、浅海域生息種に関しては、生殖様式や生殖時期ならびに遺伝的多様性の研究、深海域生息種に関しては、分類的基础を築くことを目的とした。

平成14年度は、八放サンゴ亜綱ヤギ目の深海域生息種、及び浅海生息種ともに、既存資料、データなどを元に分類及び形態計測等の解析を行った(図18)。また水深100m付近の種について、東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター共同利用により、フィールド調査を実施し、当該地における分布を検討した。また東京大学海洋研究所などによるサンプルを用いて分類学的研究を行った。また今後の研究の発展に繋がる研究内容を、国外の学術雑誌などで公表した。

#### 6) 顕微測光法によるゲノムサイズ測定法の確立

期間：平成14～15年度

一般に全ゲノム解析の対象となる生物はゲノムサイズの小さい微生物が主であったが、近年ゲノムサイズの大きいヒトやモデル生物についてもそのゲノム解析が行われるようになった。ゲノムサイズの測定にはパルスフィールドが多く用いられているが、パルスフィールドは測定可能なサイズに限界があり、また値を得るまでに多くの時間と高価な試薬を必要とする。一方顕微測光法は、比較的信頼度の高い値が簡便な方法で得られるという利点がある。しかしDNA以外の蛍光の排除が必要とされるため、植物が持つ色素体の自家蛍光は大きな問題となっている。古くから食用とされてきたコンブ科植物は、様々な健康上の効果を発揮する植物として認められている。さらに最近になってフコイダンの抗癌作用のある高分子多糖類を含有することが発見されるなど、極めて有用な藻類である。本研究は、

ゲノムサイズ測定を効率的に行うため、暖海産および寒海産コンブ科植物を用いて、顕微測光法を用いたゲノムサイズ測定法を確立することを目的とする。

14年度は天然のコンブ科植物を野外より採集し、採集した藻体の室内培養を行い、測定に用いるステージを検討した。また試料からDNA以外の蛍光源を除くため、色素除去法について検討し、予備的なゲノムサイズの測定を行った。その結果、成熟した胞子体から放出される遊走子は測定に用い易いことがわかった。予備的測定では値のばらつきが大きく、コントロールとして用いたシロイヌナズナにも測定誤差が見られたことから、試料の更なる調製が必要であること、測定に適したコントロールを検討する必要があることがわかった。

#### 7) クラゲ類の形態・遊泳・胃内容物に関する研究

期間：平成14～16年度

クラゲ類は捕食者として生態系内で重要な役割を担うが捕食行動に関する報告は少ない。これまでに形態と遊泳の関連については、行動モデルを用いた研究より、浅い傘を持つ種は連続遊泳し、深い傘は中性浮遊に適すると報告されているが実証は充分ではない。遊泳パターンが異なるとすれば、捕食する餌生物も変わってくることは想像に難くない。そこで我々は、クラゲの形態・遊泳様式・捕食する餌タイプの間に以下のような仮説を立て、表層性種を用いて検証することを目的として本研究を行った。

浅い傘→連続遊泳→現存量の大きい小型餌生物と遭遇機会増→小さな餌を捕食

深い傘→中性浮遊→遊泳力の強い餌と遭遇機会増→大きな餌を捕食

本研究によって、これまで知見の少なかったクラゲ類の捕食行動が明らかになると共に、クラゲの形態あるいは遊泳パターンから直接餌生物を推定することが可能になると考えられる。また、この推定は採集の困難な中・深層性クラゲ類へ応用できるものと思われる。

本研究は(1)標本の形態観察(2)ビデオ撮影による遊泳行動・遊泳速度の観察・測定(3)餌生物とクラゲの遭遇率の見積もり(4)胃内容物解析、から構成されており、これらの観察・解析を複数種のクラゲについて行う。平成14年度は、研究を開始するにあたり、(1)実験生物に与えるダメージを最小限におさえた採集法の

確立(2) 胃内容物解析法の検討、を中心に行った。

実験生物の採集は、コッドエンド部を大きくしたプランクトンネットの製作により、状態の良い標本を採集することが可能になった。さらに、分類群毎に胃内容物観察のための最良の採集・固定法を見出した。軟クラゲ類では固定時の吐出しが顕著なため、個体毎に固定し吐瀉物も回収する必要がある。一方花クラゲ類は、ほとんど吐出しが認められず個別に固定する必要は無い。また、カミクラゲ(花クラゲ類)およびオワンクラゲ(軟クラゲ類)の餌生物は、それぞれカイアシ類とシミコクラゲが主であることを明らかにした。

本研究の一部を2003年度春期プランクトンシンポジウムにて講演した。また、この講演内容をまとめた「クラゲ類の摂餌生態」を日本プランクトン学会報に投稿し既に受理されている。

#### (4) 共同研究

##### 1) 海洋深層水と温泉水を用いた熱エネルギー利用に関する研究

期間：平成12～14年度

北海道では熊石、羅臼および岩内町で海洋深層水取水施設の建設が進められている。海洋深層水は年間を通じた低温性を特徴として持つが、特に北海道のような寒冷地において水産養殖のための水温制御には莫大なエネルギーが必要となる。そこで省エネルギー対策として、これらの地域で豊富に湧出している温泉水を利用することが考えられる。そこで、本研究は温泉水の熱エネルギーを用いることにより海洋深層水の利用範囲を拡大する事を目的とする。

本年度は最終年度として今まで取得したデータを用いて熱エネルギーの有効利用について総合的に検討した。平成12年度および13年度、熊石町沖にて海域調査を行い、水温、塩分、無機栄養塩の分布を調べ、日本海固有水の特徴を確認した。また過去に行った調査結果と比較を行い、水深250m以深は海洋深層水の持つ低温性、富栄養性は通年安定していることが分かった。また、熊石町の温泉水の水温を連続的に計測した結果、水温は55℃前後であることがわかった(図19)。熊石町沖の水深300mの海洋深層水の水温は約1℃であることから、熊石町で予定されている日量3000トンの海洋深層水の水温制御について、省エネ

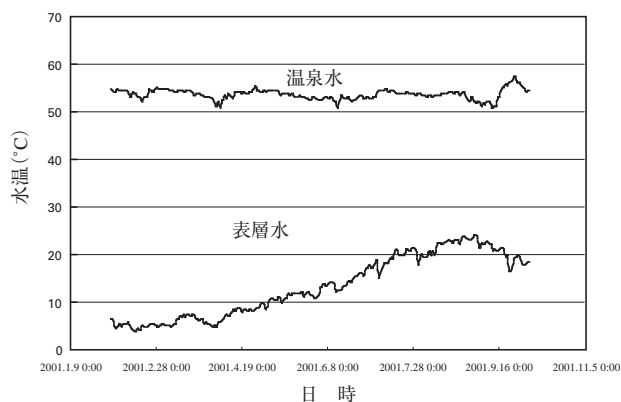


図19 熊石町における温泉水と表層水の水温年間変動

ギー対策の検討を行った。その結果、現在熊石町で予定されている、深層水を18℃に調節してアワビ養殖水槽に供給する場合、温泉水の使用により約50%の省エネルギー効果があることが分かった。本研究の成果は、熊石町の深層水を利用するアワビ養殖施設の水温制御に用いられることになった。また、温度差発電の可能性についても検討した結果、アンモニアとフロリナートを作動流体と仮定した場合、取水ポンプ動力の20%程度をまかなうことが確認された。

また共同研究相手である北海道立地質研究所は平成12年度に熊石海底谷、岩内湾および羅臼沖海域において音波探査を行い海底地形、地質および低質調査を行った。その結果、谷地形の谷底部分では泥質と見られる層が確認され、取水口の敷設にあたって海底境界層調査の重要性が指摘された。

##### 2) 中・深層生物の長期飼育に関する研究

期間：平成12～14年度

中・深層域に多量に生息するゼラチン質プランクトンは、体の構造が脆弱で長期飼育が困難であり、生理、生態、生活史など生物学的の基本特性に関する情報は乏しい。本研究では、長期飼育技術の開発を行い、中・深層生態系の機能の解明に資することを目的に行う。

平成14年度は、13年度までの結果のまとめを行った。これまで得られた8種の深海性ヒドロポリプの飼育を継続し、ヒドロポリプの再生、成長、増殖およびポリプ体よりクラゲ体の出芽、クラゲの飼育技術についてのデータを得た。特に生体サンプルの維持については、通常現場温度の4℃で飼育していたが、クラゲ、ポリプともに徐々に水温を上昇させ12℃程度で飼



図20 クラゲを出芽している深海性ヒドロ虫類のポリプ(上)と遊離したクラゲ(下)

育すると、ポリプの増殖、クラゲの出芽、成長において、非常に良い結果が得られることがわかった。今後、クラゲを成熟個体にまで飼育し、生活史を明らかにするとともに、深海性のクラゲ類を常に実験室で維持することにより、アクセスの困難なフィールドでは得られない詳細なデータを得ることができるとおもわれる。

これまでの結果は誌上発表及び国内学会、国際学会発表により公表した。

### 3) ニホンウナギの産卵生態に関する調査研究

期間：平成12～14年度

東京大学海洋研究所

本共同研究は、成熟したウナギの産卵行動、産卵時の生理学的特性、棲息環境条件、また回遊プロセスなどを明らかにし、海洋生物学のみならず、水産学の分野にも貢献することを目的とし、東京大学海洋研究所と共同で調査研究を実施するものである。

ウナギ *Anguilla japonica* の産卵については、産卵場が北緯15°前後で、東経141°と143°の間にあると推定する「海山仮説」がある。しかしながらこの海域の海山周辺においてウナギが実際に観察された報告はなく、仮説は広く海域を推定するに止まっていた。ここでは、「海山仮説」を検証するため、西マリアナ海嶺南端のパスファインダー、アラカネ、およびスルガの3海山を中心に調査を実施した。またウナギの「新月仮説(孵化時期を新月の日とする説)」に則り、2002年8月1日から8月8日(新月)の間に調査を行った。

海底観察にはディープトウカメラシステムを用い、夜間を中心に観察した(KY02-08)。ウナギ目魚類が観察された地点の位置、深度の他、水温、塩分濃度について記録し、ウナギ目魚類の分布を特徴付ける環境要因について分析した。

3海山の調査で合計85個体のウナギ目魚類を観察した(図21)。しかしながら今回の調査はウナギ目魚類を上方からカメラで観察する方法であったため、広域調査には適しているものの、種の同定には至らなかった。

調査は深度50～3,600mで行い、そのうち水深300～600mが中心となった(全測線長の63.3%)。水深100m毎にウナギ目魚類発見個体数を標準化したところ、水深1,500mまでは、1個体/kmの分布を見込める事が伺われた(図22)。一方、3海山周辺の対照群として、山頂部が800～1,600mと深い2つの海山についても調査を行ったところ、深い海山ではウナギ目魚類の分布密度が低かった。このことから、ウナギ目魚類の



図21 観察されたウナギ目魚類の一例

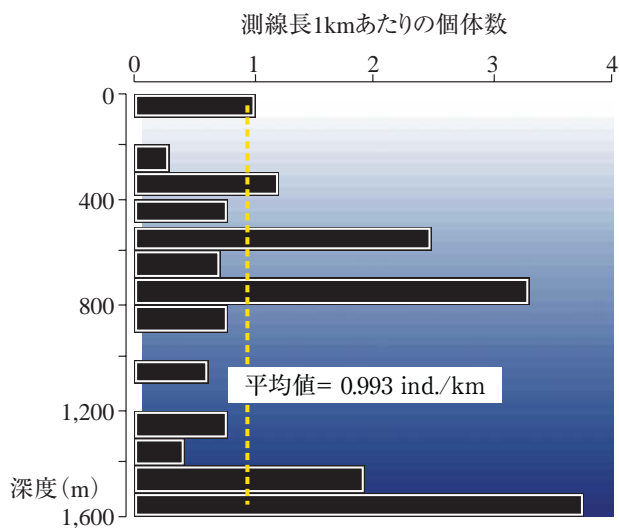


図22 測線長1kmあたりのウナギ目魚類観測個体数(深度別)

分布密度は海山山頂部の深度に依存すること、及び「浅い海山」にはウナギ目魚類が濃密に分布することが示唆された。また各海山周辺の水温、塩分鉛直プロファイルはほぼ同様であったことから、これら3海山は一樣に北赤道海流の影響下にあることが伺われた。

#### 4) 富山湾深層水の特性解明に関する研究

期間：平成12～14年度

共同研究機関：富山県水産試験場、富山県衛生研究所  
海洋深層水の水産や非水産分野(食品、化粧品等)への利用が全国に広がりつつある。そして、海洋深層水取水施設が、現在、高知県、富山県、沖縄県、静岡県、高知県室戸市、富山県入善町、神奈川県三浦ディーエスダブリュ(株)および北海道熊石町に整備され、北海道岩内町と新潟県畑野町では整備中であり、さらに複数の自治体で整備計画が検討されている。このような現状を踏まえると、我が国周辺の海洋深層水の水質特性について、海域による特徴を把握することは、今後の海洋深層水利用を推進するうえで重要である。富山湾の海洋深層水は日本海固有水と呼ばれている。その特性は太平洋の深層水とは水温や水質の点で異なり、生物に対する影響の違いも考えられる。

そこで本研究は、深層水の資源的特性解明の一環として、富山湾深層水を対象にして行うものである。

本年度は最終年度として、栄養塩類の連続測定法の現場条件下における検討、微量成分の測定法の検討および海洋深層水取水口設置海域の海洋調査を行った。

栄養塩類の連続測定法については、栄養塩類のうち硝酸塩を対象とし、イオンクロマト法によって連続測定する装置を富山県水産試験場の海洋深層水取水施設に設置し、現場条件下で数ヶ月間作動実験を行った。その結果、1回の測定に20分程度必要であり、2ヶ月程度は連続で作動することがわかった。クロマトグラムのデータ処理法について検討し、実用に耐えられる性能を有すると考えられる。測定結果を図23に示す。

微量成分の測定法については、富山県水産試験場の立山丸を利用し、汚染の少ない採水方法を検討した。海洋科学技術センターの微量金属用採水器と、それを取り付けるフレームが、立山丸装備のもの比べて大きいため、専用デリックで吊り上げるとき、フレームの繰り出しと回収の操作が円滑に行えず、クリーン採水に支障をきたした。

また、海洋深層水取水口設置海域の海洋調査については、平成14年11月に富山湾調査を行い、水温、塩分および栄養塩類の鉛直分布の把握を行うとともに、海底近傍における濁度の分布を把握する方法を検討した。立山丸に装備されているCTDシステムでは測定できないので、別途、濁度計付きのCTDシステムにセンサーから海底までの距離を測るアルチメータを取り付けた装置を持ち込み、海底近傍までの濁度(消散計数)を測定することができた。この測定により、昨年度と同様、海底直上の海底境界層では、その上層より濁度が高くなっていることが確認された。このことは、取水施設で汲み上げている海水の特性にも反映されており、施設で分水する深層水の利用分野によっては、ろ過等の処理の必要性が示唆された。

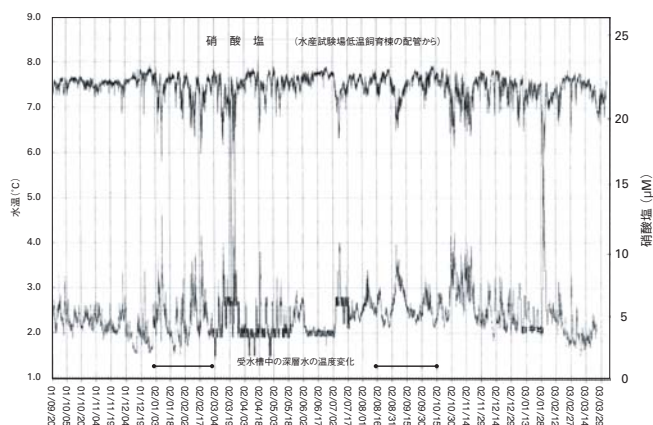


図23 硝酸塩の連続測定結果

## 5) 海洋深層水の産業利用に関する研究

期間：平成13～15年度

共同研究機関：キッコーマン(株)、サンスター(株)、サントリー(株)、日本水産(株)

深層水を用いた製品開発については、深層水による発酵促進(酵母等)、代謝活性(ミネラルの機能性)、食品の味覚や発色の向上等が確認されているが、因果関係が明らかになっているものは少ない。そこで、本共同研究は、様々な分野での深層水の機能を引き出すとともに、深層水の含有成分との関連を調べ、機能の発現因子を究明することを目的とする。さらに、これらにより、深層水の基礎的知見に基づいた産業利用の促進を図る。

二年目にあたる本年度は、我が国周辺海域の深層水の採取を行うとともに、海洋深層水の醸造への利用、口腔衛生への利用、食品への利用、水産増殖及び加工への利用等について、情報収集および実験を行った。実施概要を以下に述べる。

我が国周辺海域の深層水の採取については、深層水取水施設(富山県、静岡県、高知県、沖縄県及び、北海道熊石町)にて深層水を採取し、多量成分、微量成分、及び微生物について調査を行った。これらの深層水を用いて以下の検討を実施した。

深層水の醸造への利用については、発酵調味料製

造に使用する酵母の培養試験及び、仕込み試験を行った。その結果、酵母の増殖が促進されることが示唆された。しかし、仕込み試験では深層水添加による効果は見られなかった。

深層水の口腔衛生への利用については、口腔内での衛生・洗浄作用に及ぼす海洋深層水の効果として、殺菌作用等の既に効果が確認されている薬剤との併用効果を検討した。その結果、海洋深層水併用を混合すると、薬用効果は低減したが薬物の味は軽減される効果も見られた。

深層水の食品への利用については、食品分野への海洋深層水利用の有効性を検討した。第一に安全性(人為的汚染物質が非常に少ない)であり次に機能性である事を得た。この知見は、海洋深層水から製造する飲料水の商品化(平成15年2月25日発売)に活かされた。

水産養殖においては養殖対象魚からの採卵が達成できず、飼育試験が実施できなかった。また食品加工については海洋深層水から調製された海洋深層水塩を用いてサケ卵の塩蔵加工品を試作し、冷凍・解凍後の品質に与える影響を検討したところ、通常の食塩に比して官能的にはやや明るみがあり、また味もまろやかになった。更に、物性面ではやや軟化する傾向が確認された。

## 5. 情報業務部

### (1) 研究開発の方針

情報業務部では、海洋研究における計算科学技術のより一層の推進をはかるため、各種観測データのデータベース化、スーパーコンピュータを用いた数値モデル研究などに関する研究支援、数値シミュレーション結果の可視化技術及びネットワークを含めたコンピュータ利用環境に関する研究開発を行っている。

平成14年度には、前年からの継続課題として、「JGNを用いた深海映像配信システムの構築(共同研究)」を実施した。

### (2) 研究開発の概要

#### 1) JGNを用いた深海映像配信システムの構築 (共同研究)

「しんかい6500」をはじめとする有人潜水調査船や、「かいこう」等の無人探査機を用いて実施された深海の調査研究の成果物として、膨大な量の映像資料が収集されている。沖縄県名護市に開設した国際海洋環境情報センター(GODAC:ゴードック)では、これら映像資料をデジタル化し、インデックスを作成することにより管理、公開を行っている。この作業を実施するにあたっては、GODACと当センター横浜研究所間で高画質の動画伝送を行うため、高速なネットワー

ク環境が必要不可欠である。

本研究はJGN(Japan Gigabit Network:通信・放送機構が整備している超高速光ファイバ通信網)を用いた共同研究として実施しており、6Mbpsの回線を用いて試験環境の構築を行った。試験環境は、横浜研究所から100MbpsのATM回線を経由して横須賀本部に接続し、そこからJGNのアクセスポイント(関東-7:YRP)に接続している。またGODAC側においては、直接JGNのアクセスポイント(沖縄-2:名護市マルチメディア館)にFastEthernetで接続する経路となっている。

今年度は、深海映像のエンコーディング及びインデキシングを進めており、一部の映像についてはGODACで構築している地球環境ポータルWeb(<http://www.godac.jp/>)から、試験的にリアルビデオストリーミング映像の公開が可能となっている。また平成14年11月には、JGNのイベント利用として133Mbpsの回線を用いてハイビジョン映像の伝送実験を実施した。これは、超高感度ハイビジョンカメラを搭載した無人探査機「ハイパードルフィン」のハイビジョン映像を、衛星経由で日本科学未来館に伝送する実験にあわせて実施したものである。この実験では、GODACからのハイビジョン映像がJGNを経由して日本科学未来館に伝送され、JGNがハイビジョン映像の伝送にも有効であることを確認した。



図1 システム概念図

## 6. 極限環境生物フロンティア研究システム

### (1) 研究開発の方針

深海および地殻内の極限環境下に、i) どのような微生物や高等生物が棲息しているのか、ii) それらの生物はどんな特徴を有しているのか、iii) それらは生活や産業に役に立つのかといった観点から研究を行い、これらの研究を通して、サイエンスの発展と社会に貢献する。サイエンスの面では、これら生物の極限環境への適応機構の解明や始原的微生物の発見を通して生命の起源の理解に貢献する。また、応用面からは、新規有用微生物や新規酵素の開発、ゲノム情報の応用などにより新しいバイオテクノロジーを開拓する。「深海バイオベンチャーセンター」を通じて、産業界における実用化を図る。

### (2) 研究開発状況の概要

深海および地殻内に棲息する微生物に関しては、その分離、培養、分類を行っており、多くの新種の存在が示唆され同定を行っている。また圧力など極限環境への適応機構の解明に取り組むとともに、有用微生物の開発を目指して研究を行っている。高等生物に関しては、深海生物の保圧捕獲、飼育に努めるとともにその培養細胞の極限環境刺激に対する応答・適応機構の研究を行っている。適応機構の研究では、生理学的、分子生物学的研究手法を駆使し、生物を取り巻く物理化学環境をも研究対象として、それらの相互作用の観点から研究を進めている。またゲノム解析研究により、適応機構を遺伝子レベルから解明するとともに、有用微生物の開発に応用する研究を行っている。

### (3) 主な研究開発の内容

#### 1) ゲノム解析研究

新たに世界最深部のマリアナ海溝深海底泥から分離された好熱性 *Geobacillus kaustophilus* HTA-426株の全ゲノム配列決定を行うとともに、比較ゲノム解析、遺伝子機能解析、ゲノム情報公開用データベースの構築、ゲノム構造解析を行い、特にアルカリ性に依存して発現する遺伝子の機能解析や機能未知遺伝子からの遺伝子機能の検索に注力した。

#### (a) *Oceanobacillus iheyensis* HTE-831株の比較ゲノム解析

平成13年度に配列決定が終了した高度耐塩性好アルカリ性 *Oceanobacillus iheyensis* ゲノムの全塩基配列から、好アルカリ性、耐塩性に関わる遺伝子群候補を抽出し、今後の遺伝子機能解析実験のデザインを行うことを目的として、好アルカリ性で中等度耐塩性 *Bacillus halodurans* ゲノム及び中性付近で生育至適を示し、*B. halodurans* 同様中等度耐塩性菌である *B. subtilis* ゲノムと *O. iheyensis* ゲノムとの比較ゲノム解析を行った。また、これまでゲノム配列決定がなされた3つの *Bacillus* 関連種 (*B. subtilis*, *B. halodurans*, *O. iheyensis*) のみに共通に見られる遺伝子群やそれぞれの *Bacillus* 関連種に固有に見られる遺伝子群を分類し、*Bacillus* 属関連種の共通性と多様性を考察するため、同じ Gram-Positive で *Bacillus* 属と比較的類縁性の高い *Clostridium acetobutylicum*, *Staphylococcus aureus* ゲノムも加えて、比較ゲノム解析を行った。

ゲノム中からの蛋白質コード領域 (CDS) のアミノ酸配列の similarity サーチをもとにアラインメントし、その結果をクラスタリングすることにより得られた他の生物間で共有されているクラスター (COG) の解析から、*O. iheyensis* ゲノム中に同定された全CDSのうち22.7% (793CDS) は、今回比較に用いた5種全てに共通に存在することが分かった (図1)。

また、10.1%にあたる354CDSは今回の5種による比較において *Bacillus* 関連種のみ共通であり、3種の *Bacillus* 関連種だけを用いた比較においては、約1800CDSが共有されていることが分かった。一方、好アルカリ性を示す2つの *Bacillus* 属関連種、*B. halodurans* と *O. iheyensis* に着目すると、この2種にのみ共通に保存されている遺伝子は *O. iheyensis* ゲノム中の全CDSの7%にあたる243CDSであった (図1)。

この243CDSのうちどれぐらいのCDSがアルカリ性に応答して発現し機能するか、またアルカリ性で生育するために必要 (好アルカリ性) とされているかについては今回の解析のみからはまだ明らかではない。しかしながら、その約1/3にあたる76CDSが transport/binding protein のカテゴリーに含まれることから、アルカリ性に応答する遺伝子や好アルカリ性に関わる遺伝子には輸送系に関わる蛋白質が多いのではないかと推測された。

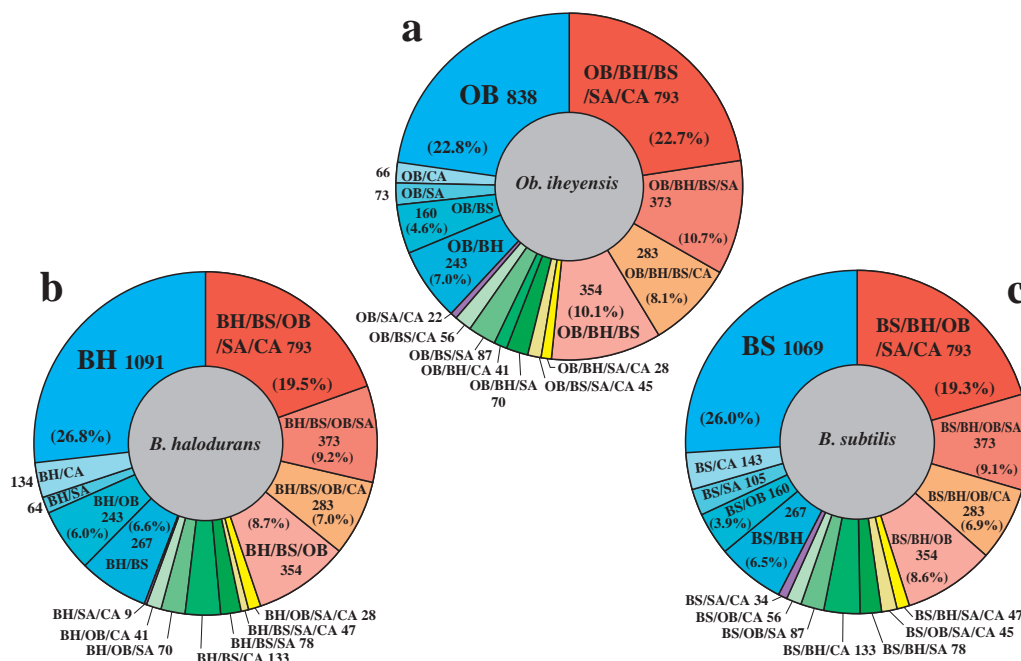


図1 *Bacillus*属関連種及び主なGram陽性菌に見い出されたCDSのオルソログ関係。(a) *O. iheyensis*ゲノムに基づいたオルソログ関係。(b) *B. halodurans*ゲノムに基づいたオルソログ関係。(c) *B.*ゲノムに基づいたオルソログ関係。OB; *Oceanobacillus iheyensis*、BH; *Bacillus halodurans*、BS; *Bacillus subtilis*、SA; *Staphylococcus aureus*、CA; *Clostridium acetobutylicum*。

#### (b) *Oceanobacillus iheyensis* HTE-831株のゲノムデータベースの作製

ゲノムの塩基配列情報は論文発表と同時に広く一般に公開されなければならず、公開に当たっては多くの人が配列データを閲覧できるように使用しやすい環境を整える必要がある。そこで、ゲノム配列情報を整理し、ユーザフレンドリーなデータベースの構築を目的として、*O. iheyensis*ゲノムの公開データベースの作成とサーバ設置を行った。公開用のサーバは、新しく横浜研究所に設置した。

#### (c) *Geobacillus kaustophilus* HTA-426株の全ゲノム配列決定

これまでに既に二種の全ゲノム解析を終了しており、基本的にはショットガン法による解析方法は確立している。しかし、解析方法の改良は常に必要であり、次の改良を行った。

ホールゲノムショットガン法の大きな問題点は、ショットガンクローンが得られないことにより、配列未解読領域が生じることである。そこで、幅広いゲノム領域をカバーすることを目的として、まずショットガンライブラ

リー作製の改良を行った。形質転換効率を上げることを目的としてライゲーション時の反応温度の検討を行った結果、従来の16°Cから14°Cに2°C下げることにより、従来の約5~10倍高い形質転換効率(7.2×10<sup>6</sup> clone/μg DNA)を得ることができた。さらに、これらクローンからのインサートDNA増幅率は98%と高い値であった。この形質転換効率は、HTE831株の場合と比較しても10倍高く、ライゲーション温度をわずか2°C下げただけでより幅広いゲノム領域をカバーするクローンの取得に成功した。

次に、シーケンシング反応に用いる鋳型DNAの処理方法の最適化を行った。従来、鋳型DNA中に残存しているプライマーを除去する際、PCR産物全量に対してExonuclease/Shrimp alkaline phosphatase酵素処理を2回行ってきたが、この方法では処理時間が長く、シーケンシングの成功率は75%程度であった。そこで、シーケンス反応に必要な量のみを抽出し、より高濃度の酵素を用いて処理を行ったところ、シーケンシングの成功率を75%から80%に上げることに成功した。また、従来の方法に比べ、処理時間の短縮、使用する酵素の削減にも成功した。

(d) *Bacillus halodurans* C-125株に見いだされた insertion sequence (IS)の他の*Bacillus*属菌株中における分布

平成12年度に論文発表した*B. halodurans* C-125株ゲノムには100を超えるISが存在する。ISは、最も単純なトランスポゾン的一种で、Phageなどと同様に遺伝子の水平伝播に関わる一つの因子であるため、生物種の多様性を生み出す進化の流れに重要な役割を果たしていると考えられている。そこで*B. halodurans*が保有する15種類のISと転移触媒活性を持つRNA因子であるgroup II intronが*B. halodurans*に特異的なものかどうか、他の*Bacillus*関連種にも存在する*Bacillus*属関連種では一般的なものかどうかを確認することを目的として、C-125株以外の*B. halodurans* 10株、*B. halodurans*以外の*Bacillus*関連21種を用いてISとgroup II intronの分布と構造を詳細に調べた。

その結果、*B. halodurans* C-125株に見出された15種のIS、group II intronは今回供試された全ての菌株に存在し、*B. halodurans*ゲノムを特徴付ける重要な転移因子であることが分かった。また、*B. halodurans*種内では各菌株間に見られたIS、group II intronの相同性はお互い極めて高く、ホモロジーサーチの結果からIS653が最も多様化していることが分かった。一方、*B. halodurans*以外の*Bacillus*種に関しては、分類学上非常に類縁性の高い*B. alcalophilus*では、IS643以外の全てのIS及びgroup II intronの存在が確認されたが、他種においては

group II intron以外のISが存在した種はごくまれであった。また、*B. halodurnas*のISの存在が確認された種の16S rRNAに基づく系統分類学上の位置とISの存在には特に傾向がなく、それぞれの種が形づくられたあと、*B. halodurnas*ゲノムに内在しているISが他種に転移した可能性が高いと考えられる。また、好アルカリ性を示さない*Bacillus*種にも*B. halodurnas*のISが見られることから、これらのISは特に好アルカリ性*Bacillus*に特徴的に見られるわけではないことが分かった。

(e) *Bacillus halodurans* C-125株のDNA Microarrayを用いた好アルカリ性遺伝子発現解析

*B. halodurans*の全ゲノム配列の解析から約4,000遺伝子が同定されているが、その約半数の遺伝子については、機能が知られていない。本研究では、自作の特異性の高いオリゴヌクレオチドmicroarrayを用いて、アルカリ性条件下で全遺伝子発現解析を行った。また、DNA microarrayから得られた定性的で網羅的なデータをもとに、定量的解析ができるNorthern blot法を用い、各々のpH、Naイオン濃度条件下での遺伝子の発現をより詳細に検討することで、新規かつ重要な好アルカリ性関連遺伝子の特定を目指した。

図2に、DNA microarray解析の結果の一部を示す。表1には、アルカリ性(pH=9.5)条件下で強く発現した遺伝子群を示した。この66個の遺伝子は、数回の実験によっても高い再現性を示した。

### DNA Microarray Images

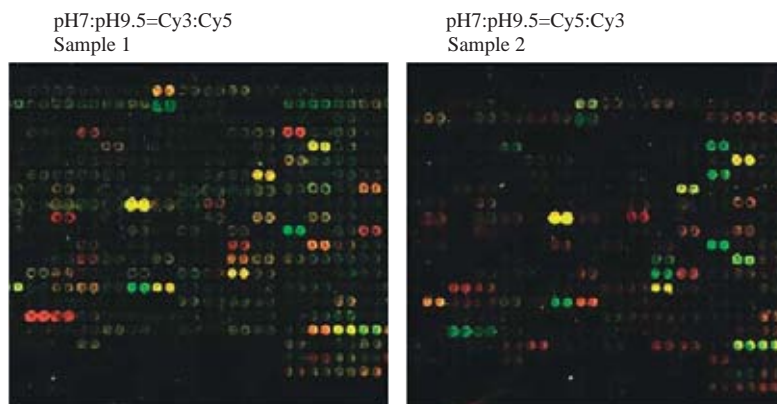


図2 DNA microarray解析像。左側のSample 1は、赤色のスポットがアルカリ性で発現している遺伝子、緑色が中性で発現している遺伝子、そして黄色が中性とアルカリ性両方で発現している遺伝子を示す。右側のSample 2では、赤色と緑色のスポットの意味は逆で、黄色は同じ意味を表す。

表1 アルカリ条件下 (pH9.5) で発現した遺伝子

BH No.	gene name	size (AA)	Dir	product
BH0011	BH0011	148	+	unknown
BH0064	spoVG	97	+	stage V sporulation protein G
BH0122	rplL	121	+	ribosomal protein L7/L12
BH0397	BH0397	532	+	two-component sensor histidine kinase
BH0398	BH0398	237	+	two-component response regulator
BH0453	BH0453	65	-	lantibiotic cytolysin precursor
BH0454	BH0454	69	+	lantibiotic mersacidin precursor
BH0456	BH0456	26	+	unknown
BH0472	BH0472	417	+	unknown conserved protein
BH0516	psaA	300	+	surface adhesin A precursor
BH0562	groEL	544	+	class I heat-shock protein (chaperonin)
BH0601	BH0601	346	+	unknown conserved protein in others
BH0643	BH0643	106	+	unknown conserved protein in others
BH0722	BH0722	82	+	unknown
BH0729	BH0729	212	+	unknown conserved protein in others
BH0730	BH0730	373	+	unknown
BH0908	BH0908	81	-	unknown conserved protein in others
BH0972	BH0972	96	+	unknown conserved protein in others
BH1083	fhuB	338	-	ferrichrome ABC transporter (permease)
BH1267	alaS	879	+	alanyl-tRNA synthetase
BH1726	BH1726	348	-	unknown conserved protein
BH1728	gltA	1530	+	glutamate synthase (large subunit)
BH1882	BH1882	445	+	cytosine permease
BH2192	cotX	160	+	spore coat protein X (insoluble fraction)
BH2328	BH2328	108	-	unknown
BH2532	pyrE	210	-	orotate phosphoribosyltransferase
BH2533	pyrF	234	-	orotidine 5'-phosphate decarboxylase
BH2566	spoVE	366	-	stage V sporulation protein E (required for spore cortex synthesis)
BH2586	BH2586	349	-	unknown conserved protein
BH2600	BH2600	77	-	unknown conserved protein in B. subtilis
BH2602	BH2602	168	+	unknown conserved protein in others
BH2729	BH2729	334	-	glycolate oxidase subunit
BH2730	BH2730	470	-	glycolate oxidase subunit
BH2750	BH2750	348	-	C4-dicarboxylate transport system (C4-dicarboxylate-binding protein)
BH2763	bfmBAA	330	-	branched-chain alpha-keto acid dehydrogenase E1
BH2898	argB	260	-	N-acetylglutamate 5-phosphotransferase (EC 2.7.2.8)
BH2924	BH2924	280	-	maltose/maltodextrin transport system (permease)
BH3030	mreC	293	-	cell-shape determining protein
BH3086	BH3086	122	-	unknown
BH3093	sdhC	209	-	succinate dehydrogenase (EC 1.3.99.1) cytochrome b558
BH3116	BH3116	305	-	unknown conserved protein in others
BH3153	poIA	876	-	DNA polymerase I (EC 2.7.7.7)
BH3184	BH3184	147	+	unknown conserved protein
BH3357	BH3357	142	-	unknown conserved protein in B. subtilis
BH3484	BH3484	128	-	glycine cleavage system protein H
BH3500	BH3500	518	-	epidermal surface antigen
BH3501	BH3501	123	+	unknown
BH3502	BH3502	206	+	unknown
BH3567	BH3567	320	-	unknown conserved protein
BH3591	BH3591	119	-	unknown conserved protein
BH3592	BH3592	65	-	unknown conserved protein
BH3616	hag	272	-	flagellin
BH3636	BH3636	610	-	oligopeptide ABC transporter (oligopeptide-binding protein)
BH3691	BH3691	702	-	unknown conserved protein in others
BH3737	flhP	280	-	flagellar hook-basal body protein
BH3739	mbl	334	-	cell shape determining protein (MreB-like protein)
BH3754	atpD	470	-	ATP synthase (EC .6.1.34) beta subunit
BH3759	atpE	70	-	ATP synthase (EC .6.1.34) subunit c
BH3845	BH3845	436	+	ABC transporter (substrate-binding protein)
BH3854	BH3854	468	-	PTS system, mannitol-specific enzyme II, BC component
BH3863	BH3863	559	-	methyl-accepting chemotaxis protein
BH3937	lctE	310	-	L-lactate dehydrogenase (EC 1.1.1.27)
BH4024	BH4024	262	-	unknown conserved protein in B. subtilis
BH4058	soj	253	-	centromere-like function involved in forespore chromosome partition
BH4066	rpmH	45	-	ribosomal protein L34

これらアルカリ依存性を示した遺伝子の内に、本来、好アルカリ性との関連性が薄いと思われていたヒト上皮細胞表面蛋白(ESA)及び神経細胞蛋白(Flotillin)のhomologであるBH3500遺伝子が含まれていた。この遺伝子はpH10及びpH11においてより強く発現するという特徴を示した。

Naイオンはアミノ酸の能動輸送のほかに、遺伝子の発現にも直接影響を与えたことがDNA microarray及びNorthern blotの解析から示唆された。Na無添加の培養では発現遺伝子数の減少が顕著に見られ、発現量も低く押さえられている傾向が強く見られた。

*B. halodurans* C-125菌株は枯草菌などに見られなかったアルカリ依存的なswimming motilityを示している。Na<sup>+</sup> flagellar motorのinhibitorによって運動性が阻害されたが、アルカリ条件下でNa無添加培養でもこのswimming motilityを示したので、未知なる新しい機構が存在している可能性がある。Swimming motilityのmutantを作製し、野生株とDNA microarray解析を行ったところ、アルカリ性依存的なflagellin及びglycolate oxidaseなどのgene発現が関与していることが示唆された。

(f) 好アルカリ性細菌*Bacillus halodurans*のプロテオミクス手法によるpH応答遺伝子産物の解析

これまで数多くの生物のゲノム配列決定がなされてきたが、塩基配列だけからではその機能を明らかにすることができない遺伝子が数多く存在する。それは、蛋白質がmRNAの配列情報をもとに翻訳された後、様々な修飾を受けてはじめて機能を発揮する場合が多いからである。プロテオーム解析からゲノム中に存在する遺伝子とその遺伝子産物の対応が明らかになることによって、遺伝子機能を効率的に理解することができるかと期待される。前述のDNA microarrayの解析と対比しつつ、*Bacillus halodurans* C-125ゲノムに見出された遺伝子産物の機能及び環境応答に関する因子、特にpHなどに応答するタンパク質に着目し、プロテオミクス手法を用いて明らかにすることを試みた。

二次元電気泳動で見出した30個のアルカリ性応答タンパク質をN-末端アミノ酸配列解析と質量分析法で同定し、中性とアルカリ性培養において大きな変化が見られた8個のタンパク質に焦点を絞り、転写レベ

ルでの解析を行った。8個の蛋白質をコードする遺伝子についてノーザン解析でmRNAの発現レベルを調べたところ、それらの遺伝子は転写レベルと翻訳レベルとでほぼ同様な傾向を示した。その中で11 kDaのfunction unknownタンパク質とflagellinについては、アルカリ性条件下で5倍以上発現量が増加していた。この結果、アルカリ性条件下で顕著な発現が見られたタンパク質は、pHによる転写調節を受けていることが示唆された。

アルカリ性と中性で培養した*B. halodurans* C-125株から取得した総タンパク質と膜タンパク質をそれぞれ調べた(図3)。その結果、アルカリ依存性の11 kDaの新規タンパク質を膜画分の二次元電気泳動により見出すことができた。このタンパク質をARP11(alkaline response protein 11 kDa)と名付けた。一方、本新規タンパク質はアルカリ性条件下において中性より3倍以上発現量が増加することを二次元電気泳動により確認した。また、培養条件を中性からアルカリ性にシフトすることによりすみやかにARP11が発現することも明らかになった。細胞内pHホメオスタシスを維持するために重要なタンパク質が細胞質膜に存在していると考えられるが、ARP11もその一つではないかと示唆された。

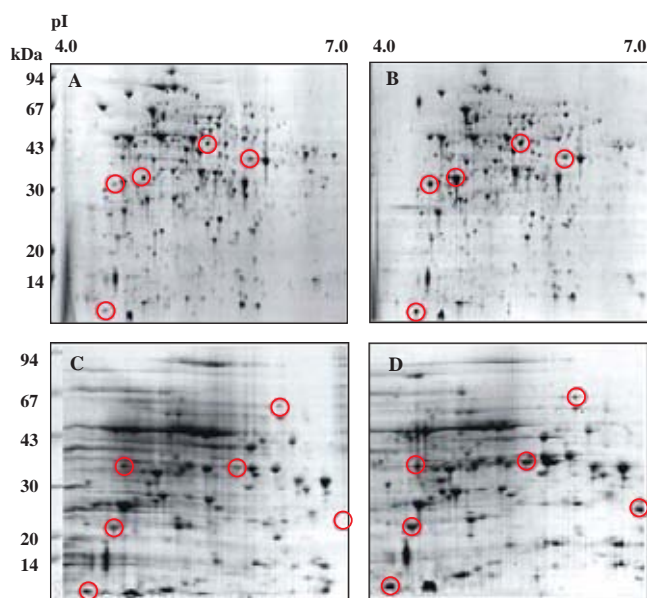


図3 *B. halodurans* C-125の全蛋白質(A,B)および膜蛋白質(C,D)の二次元電気泳動パターン。左側(A,C)は中性(pH=7.0)で、右側(B,D)はアルカリ性(pH=10)で培養したサンプルである。

(g) Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> exchanger 遺伝子の機能推定

Ca<sup>2+</sup>は真核生物における細胞内の2次メッセンジャーとして、筋収縮、神経伝達物質やホルモンの開口放出など、多彩な細胞機能を仲介するための重要な役割を担っている。このCa<sup>2+</sup>を運搬する機構にはCa<sup>2+</sup> ion channelとNa<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> exchangerがあるが、Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> exchangerは真核生物のみに見出されており、バクテリアにおける報告例はない。そこで、全ゲノム配列が解析された*B. subtilis*、*B. halodurans*、*O. iheyensis*の3つの菌に見い出された全CDSからCa<sup>2+</sup>輸送に関わると思われる遺伝子のホモログを情報学的にスクリーニングし、候補遺伝子についてはクローニングを行った。

Pfamのモチーフ検索によって*B. halodurans*で2個、*O. iheyensis*で1個Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> exchangerのホモログが検出されたが、*B. subtilis*では検出されなかった。また、ホモロジー検索結果は、ヒト由来のものと高い相同性を示した。

## 2) 代謝・適応機能研究

## (a) 深海微生物の分類、保存に関する研究

日本海溝、相模湾から採取した底泥より、数種類の培地および培養条件により培養を行い、新種の好圧性細菌、好冷性細菌、有用酵素生産菌の分離・同定を行っている。新種については、生理生化学試験、化学分類試験を行っている。

本年度は、好冷菌、中温菌では*Shewanella*属、*Cytopaga*属、*Marinobacter*属、全くの新属や有用細菌など8属120株が分離できた。十種を越える新種の存在が示唆され同定を行っている。新種の好圧性菌*Moritella*属、*Colwellia*属、*Psychromonas*属の細菌の同定、寄託作業が終了し記載を行っている。

菌株保存業務に関しては、今年度は細菌129株(分離株120・その他9)、深海底泥試料22種類を新たに凍結保存した。

酵母としては、日本海溝の土壌サンプルから6株を分離したが、うち1株は新種と推測された。底生動物由来の酵母2新種*Rhodotorula benthica* sp. nov.と*Rhodotorula calyptogenae* sp. nov.、および関連する1新種*Rhodotorula lysinophila* sp. nov. を発表した。駿河湾の深度2,406mの底泥サンプルから分離した酵母SY-260が*Cryptococcus*属の新種であることを見出し、

新種*Cryptococcus surugaensis*として報告した。これらの新種が含まれる分類群 "Erythrobasidium clade" の約30種の系統解析を、18S rDNA、ITS1、ITS2、5.8S rDNA、26S rDNA、Elongation factor 1-alphaの各遺伝子に基づいて行なった。

## (b) 微生物における圧力適応機構の解析

## (i) 出芽酵母の圧力応答と高圧増殖能の獲得に関する研究

耐圧性・好圧性・圧力感受性という圧力に依存した増殖特性を支配する細胞内分子機構を明らかにすること、および細胞内圧力センサーの実体解明を目標として研究を行っている。

昨年度までに、出芽酵母の高圧増殖にはトリプトファン輸送体であるTat2が本質的に重要なことを明らかにしている。Rsp5ユビキチンリガーゼはTat2をユビキチン化することでその分解を制御しているが、出芽酵母の高圧/低温増殖に関わる*HPG1*の4変異アリアルはいずれも*RSP5* locusに見いだされた。触媒部位であるHECTドメインの立体構造を予測した結果(図4)、置換した全てのアミノ酸残基はユビキチン結合性E2酵素がアクセスする経路に集中していた。一方、Rsp5結合タンパク質Bul1の高発現は*HPG1*株

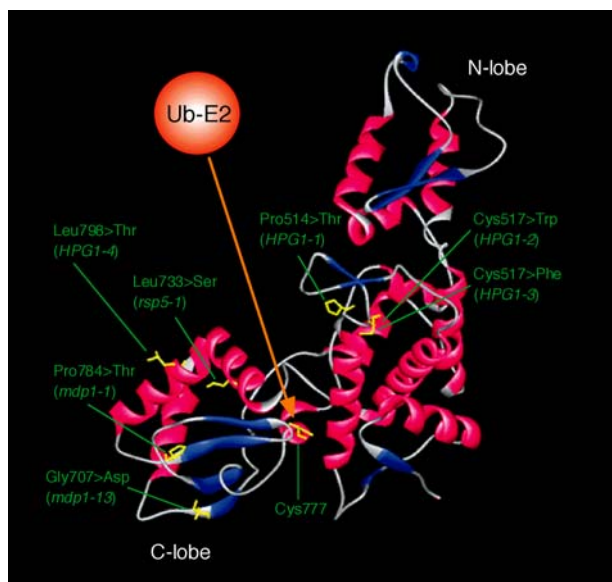


図4 Rsp5 HECTドメインの立体構造予測。*HPG1*変異を既知の変異とともに緑色で、ユビキチン結合したE2のアクセス経路をオレンジ色で示す。赤； $\alpha$ -ヘリックス、青； $\beta$ -シート

の高圧増殖能を抑制し、逆に、*BUL1* 遺伝子破壊株は高圧増殖能を示した。従って、*Bul1* は *Tat2* に対する *Rsp5* 依存性ネガティブレギュレーターとして高圧下で機能するものと考えられる。さらに、これまで未知だった *HPG2* 遺伝子のクローニングにも成功した。驚いたことに、その実体は *Tat2* そのものの変異であり、*HPG2* 株では *Tat2* がユビキチン化されないまま維持されていた。変異はいずれも *Tat2* の N 末端あるいは C 末端領域のアミノ酸置換として見いだされたことから、圧力シグナルの最終的な受容部位はこうした末端領域であると結論づけられた。

(ii) 加圧応答遺伝子発現を利用した、高圧環境応答細胞の構築

微生物細胞における圧力センシングの分子メカニズムを解明することを目的として、加圧応答発現システムと発光タンパク質遺伝子 (*gfp*) を利用した、高圧環境応答細胞の構築を試みている。

大腸菌における高圧応答細胞の構築には、30MPa の圧力下で発現することがわかっている *lac* プロモーターの下流に *gfp* 遺伝子を導入した組み換え体を作成し、それを高発現ベクターに載せて大腸菌に導入した。本形質転換体大腸菌は 30MPa の加圧条件下での培養にて発光することが確認され (図 5A)、30MPa レベルの圧力条件を認知する細胞であることを確認した。次に、大気圧下でも生育できる好圧菌として、*Shewanella violacea*、*Moritella japonica* を材料として選び、50MPa 以上のより高圧環境を認識する細胞の構築を試みた。加圧応答プロモーターとして、*S. violacea* 由来の *glnA* プロモーター、*M. japonica* 由

来の *cadA* プロモーターを用い、その下流に *gfp* を導入したプラスミドを構築して、二親伝達法にて *M. japonica* を形質転換した。その結果、70MPa の圧力を認識して光る細胞の構築に成功した (図 5B)。

(iii) 微生物における加圧応答の網羅的解析に関する研究

大腸菌の DNA チップを利用して、加圧応答する遺伝子発現の網羅的解析を行う。さらに、好圧菌 *S. violacea* のゲノム解析を行い好圧菌のゲノム構造の特徴を網羅することを目的として研究を行っている。大腸菌における加圧応答の網羅的な解析の結果、高圧環境で発現する遺伝子の多くが、低温ストレス時に制御される遺伝子群と共通していることが示された。その中で、新しい加圧応答を制御するタンパク質 H-NS を見出した。また、好圧菌のゲノム解析からは、多くの未知遺伝子の存在が予測され、好圧菌が、新しい遺伝子資源の宝庫である可能性を明らかにした。

3) 深海環境応答研究

(a) 深海多細胞生物の有する極限環境適応機構の研究

深海に棲息する生物は微生物のみではない。多くの多細胞生物も棲んでいる。そこで、深海環境と深海の多細胞生物、特に細胞単位において表現される相関について明らかにすることを本研究の目的とし、昨年度までに開発した深海における多細胞生物 (深海魚等) の捕獲機、地上における高圧下飼育装置、高圧下における細胞観察顕微鏡等の装置を運用し、必要な場合は更に改良を行った。また、多細胞生物の飼育や細胞培養で成果が得られるようになった。

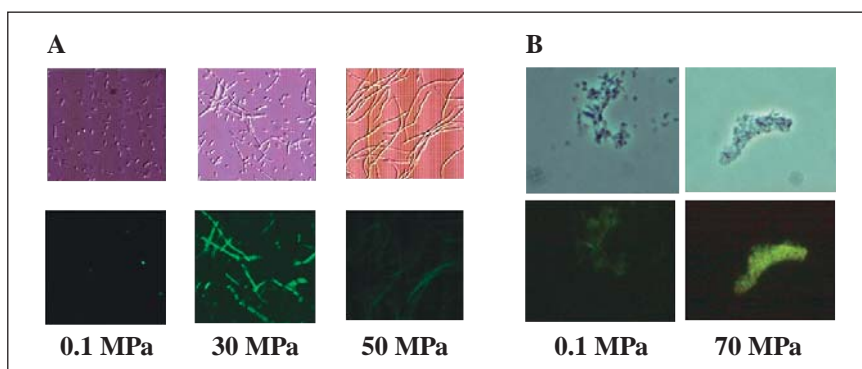


図5 (A) 30MPa で加圧応答する大腸菌。(B) 70MPa で加圧応答する好圧菌

## (i) 深海生物の保圧捕獲

「しんかい2000」、「しんかい6500」、「かいこう」、「ハイパードルフィン」の各調査システムのペイロードに、保圧水槽を搭載し、その作動状況を確認した。サンプリング海域は、相模湾・日本海溝・千島海溝で行い、1,200mから5,000mまでのサンプリングを試みた。「しんかい2000」、「しんかい6500」、「ハイパードルフィン」においては、保圧水槽を設置できるだけの十分なスペースが確保できることを確認したが、「かいこう」のみは、保圧水槽の高さがネックとなり、正常の設置ができなかった。捕獲した多細胞生物の状態は、揚収後、速やかに循環システムに乗せることで、高い確率で生存回収できることを確認した。

## (ii) 深海生物の飼育 (DEEP AQUARIUM)

相模湾初島南東沖の海底、1,200mのシロウリガイコロニーのあるフジツボ岩周辺においてオハラエビ(図6)とコンゴウアナゴを、保圧サンプリングした。回収時の内部圧力は10MPaであった。これらの生物はDEEP AQUARIUMを用いて、保圧飼育を行った。10MPa、5°Cで飼育を行った結果、1ヶ月近く飼育できることを確認した。このとき、餌は難なく食べ、捕獲生物に大きなストレスがなかったことを確認した。オハラエビに関しては捕獲時に卵を抱えていたため、3ヶ月程度の加圧飼育を行った後、徐々に減圧していき、大気圧での飼育に切り替えた。この様な深海生物の大気圧順化の成功は、世界で初めてである。減圧は生物の状態を観察しながら、減圧と加圧を繰り返した。捕獲から



図6 捕獲直後のオハラエビ。腹部に卵が確認できる。

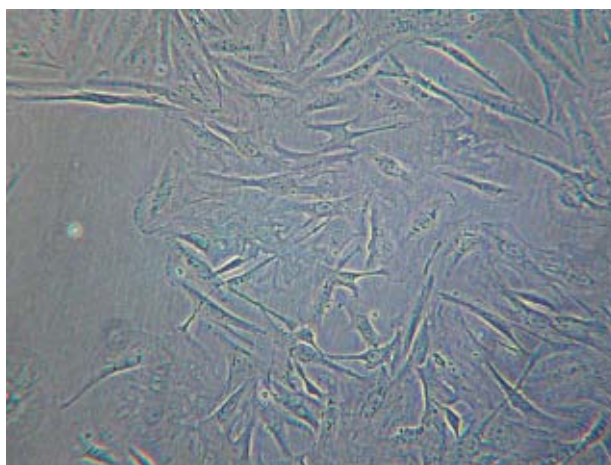


図7 培養中のコンゴウアナゴ・ひれ由来の繊維芽細胞 KMHA-1

約3ヵ月後、大気圧に戻してから約1週間後に、放卵した。放卵後、1週間程度の後に脱皮をした。

## (iii) 組織培養技術の確立

深海生物を組織・細胞単位で観察する場合、その細胞の組織培養技術が必要である。そこで、捕獲した多細胞深海生物の組織から、細胞を初代培養した。相模湾初島南東沖のシロウリガイコロニー、フジツボ岩周辺でサンプリングしたコンゴウアナゴを用いた。保圧捕獲したコンゴウアナゴを、状態を観察しながら徐々に減圧し、大気圧順化した。その後、ひれ組織を切り出し、断片化した後、培地上で遊走する細胞を観察した。組織培養技術の確立は、この捕獲したコンゴウアナゴを用いて行った。初代培養は20%FBSを含むL-15培地を用い、ひれから繊維芽細胞の培養に成功した(図7)。至適培養温度は15°Cで、細胞のDoubling Timeは0.02 h<sup>-1</sup>であった。この培養細胞は加圧環境下で細胞増殖が確認され、耐压能力があることが確認された。この培養細胞(KMHA-1)は現在も継代培養中であり、16代が経過中である。

## (b) 超臨界水中の科学

## (i) 超臨界水中における生体関連現象の研究

これまでに様々な物質の、超臨界水を含めた高温・高圧水中での挙動を、顕微鏡観察してきたが、観察結果を定量化できなかったため、画像解析ソフトウェアを用いて観察結果の定量化を試みた。対象として、溶解温度が明確なセルロースを選んだ。試料とし

て2種の結晶性セルロースおよび、再生セルロースゲルを用いた。これらの試料の分子量は4万前後で同じであるが、結晶化度および結晶形が異なる。また再生セルロース試料は、多孔性であり、結晶性セルロースと比べて表面積が著しく大きい。

試料は純水中に、0.1wt%の濃度で分散して高温・高圧セルに導入し、室温で25MPaまで加圧した後、400°Cまで急速昇温し、溶解過程をビデオ録画した。セルロースの溶解に従って、試料の透過率が増加し、顕微鏡像が明るくなるのが分かる。そこで画像処理ソフトウェアを用いて、顕微鏡像の明るさを算出し、温度に対してプロットした。いずれの試料も、ある温度を境に透過率が急激に増大した。また結晶化度が高い試料ほど、溶解温度が高くなった。結晶化度の最も高いサンプルでは、300°Cに達するまで、透過率の変化は見られなかった。

(ii) 超臨界水中におけるコロイド粒子の挙動

コロイド分散液の研究にとって超臨界流体は、以下の点で非常に興味深い媒体である。i) 温度・圧力によって比誘電率・屈折率等の溶媒物性が連続的に変化する。ii) 臨界点近傍では、激しい密度ゆらぎが存在する。i)はコロイド粒子間に働く相互作用を、媒体の物性値を通して制御できることを意味する。一方、臨界点近傍においては、コロイド粒子はii)の影響を強く受け、Non Brownian的に振る舞うと予想される。更に粒子間相互作用もii)の影響を受け、分散安定性が大きく変化することが期待される。これまで動的光散乱法を用いて研究を展開してきたが、本年度から高温・高圧セルを備えた光学顕微鏡システムを開発し、それを用いて臨界点近傍、密度ゆらぎ中でのコロイド粒子の挙動を調べる研究を始めた。なお、本プロジェクトは、財団法人宇宙フォーラムの第6回宇宙環境利用に関する公募地上研究に採用され、宇宙フォーラムからの受託研究として行っている。

予備実験として、室温、大気圧下で直径1 $\mu$ mのポリスチレンラテックス粒子を観察した。画像解析ソフトウェアで求めた0.5秒ごとの粒子の座標から、1秒ごとの変位を求めたところ、理論の予測通り、原点を中心とした正規分布となった(図8)。分布の分散から拡散係数を計算し、 $4 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/sの値を得た。この値は、理論の予測と一致し、実験手法の妥当性が示された。

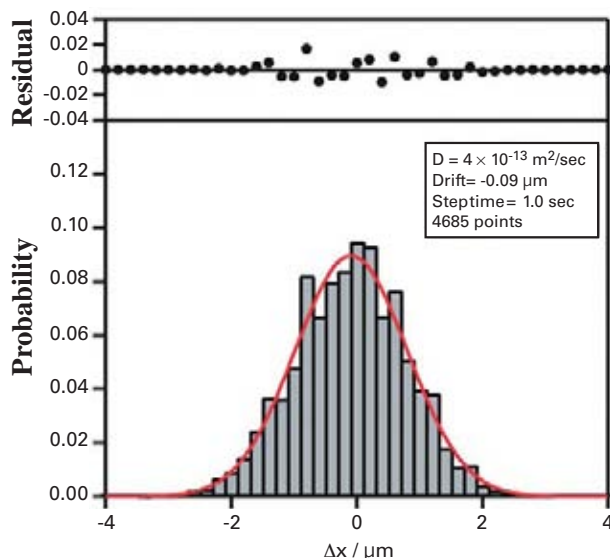


図8 ポリスチレンラテックス(直径1 $\mu$ m)の1秒毎の変位の分布

(iii) 亜臨界水環境における超好熱菌の耐熱性に関する研究

一般に、超好熱菌の高温環境への適応能力はその生育温度が他の微生物より特異的に高いことで表現される。これとは別に耐熱性を表す指標として、死滅温度がある。これは、その微生物が死んでしまう温度であり、生育温度より高い。実際、超好熱菌が採取される場所の水温がその菌の生育温度より高いという報告例は少なくない。このことは、超好熱菌の環境中の詳細な生息域や耐熱メカニズムの解明には、死滅温度の情報が不可欠であることを示している。超好熱菌の死滅温度について生育条件～超臨界条件の温度・圧力範囲でシステマティックな実験データを得るため、まず実験装置の開発を行った。接触時間の長い実験にはバッチ式を、短時間のものにはフロー型実験装置を開発した。大腸菌W3110株のバッチ式実験の結果、50～55°Cでは生菌数が10分の1になる時間が約4minでほぼ一定だったのに対し、60°Cでは4sec未満となった。このことから、熱死滅過程を調べるためには、秒オーダーの加熱時間の制御と誤差数°C未満の温度制御が必要であることが分かった。そこで、この仕様を満たすフロー型実験装置を新しく構築した。上記の大腸菌によるテスト実験の結果は、従来のバッチ式実験での結果と合致するものであり、このフロー型実験装置が計画通りの性能を持つことが確認された。

## 4) 地殻内微生物研究

## (a) 地殻内微生物圏における微生物の多様性と分布

## (i) インド洋中央海嶺「かきれいフィールド」の熱水活動域

インド洋中央海嶺「かきれいフィールド」の熱水活動域に対する詳細な微生物解析を行った。インド洋中央海嶺のKaireiフィールドの熱水活動域の調査研究の成果から、Kaireiフィールドのような中・低速拡大する中央海嶺熱水活動域においては、超好熱メタン菌 *Methanococcales* と超好熱発酵菌 *Thermococcales* を中心とした超好熱性地殻内化学合成独立栄養性微生物生態系（英語では Hyperthermophilic Subsurface Lithoautotrophic Microbial Ecosystem と言うことができるため略して HyperSLiME、ハイパースライムと呼んでいる）が存在することを世界で初めて証明した。ハイパースライムとは、地球内部エネルギーのみに依存した「地球を食べる超好熱微生物」の生態系を意味しており、それが熱水孔下環境に存在するという仮説を提唱していた。この微生物生態系は、惑星の内部エネルギーの供給と水の存在があれば形成され得る。太陽の活動が弱く、生命の営みに不利であった表層を避けて、原始地球に最初に誕生した微生物生態系の姿をそのまま残していると考えられる。また地球以外の惑星にも存在し得る可能性が最も高いと考えられている。

## (ii) 沖縄トラフ伊平屋北部の熱水活動域

インド洋中央海嶺と同様、沖縄トラフ伊平屋北部の熱水活動域に対しても詳細な微生物解析を行った。この研究は、提案した中部沖縄トラフ熱水活動域掘削プロポーサル (IODP プロポーサル 601) の具体的な科学目標の設定と、その実現に向けた取り組みの前段階研究として位置付けている。調査の結果は、この熱水活動域がかなり長い期間、同じ場所で続いてきたことを明確に示している。成熟した熱水鉱床は、熱水活動に依存した豊かな熱水孔下微生物圏を形成すると予想されることから、熱水孔下微生物圏の証明には極めて有利な熱水活動域であると言える。現在、調査によって得られたデータを詳細に解析中であるが、IODP 掘削に相応しい地点であることを予感させる、興味深い結果が得られつつある。

## (iii) ODP Leg.201 ペルー沖付加体堆積物における海底下微生物圏の探索

ODP Leg.201 航海は、微生物学と地球化学を中心とした、世界で初めての本格的な海底下微生物圏調査であり、日本で唯一の微生物学者として JAMSTEC の研究者が参加した。本航海の主な目的は、海底下における硫酸還元とメタン生成・消費に關与する活動的微生物群集の量と多様性及び活性を追究することにある。赤道直下の2地点 (Site 1225・1226) では石灰質、珪質軟泥を主体とした外洋性堆積物、ペルー海溝東方の4地点 (Site 1227・1228・1229・1230) では珪藻と陸源碎屑物に富む陸棚から陸棚斜面堆積物と付加堆積物からなる大陸縁辺の沿岸性堆積物、ペルー海溝西方の1地点 (Site 1231) ではペルー海盆の粘土と石灰質軟泥を主体とした外洋性堆積物を掘削した。各々の堆積物コア試料について、有機炭素・硫酸・硫化水素・水素・メタン・鉄・マンガンといった、微生物の成育にとって鍵となる間隙水中の地球化学的因子が船上にて測定されると同時に、コンタミネーションの評価や、嫌気培養実験、放射性同位体を用いた活性測定、及び冷蔵室内でのDNA解析用の試料採取などが行われた。

## (iv) IMAGES 南西オホーツク海堆積物コアにみる微生物群集構造

IMAGES (International Marine Global Change Study) はフランスを中心として日本を含む24カ国が参加する、古海洋環境変遷の解明を目的とした国際プロジェクトである。2001年に日本側がリクエストした南西オホーツク海知床沖のプロジェクトに参加し、海底下微生物圏の研究を行った。Giant Piston Corerを用いて採取された58.1mのコア堆積物の中から、微生物研究用に粘土層と主な火山灰層のコア中心部から鉛直的に16試料を採取した。各堆積物試料から直接DNAを抽出し、分子生物学的手法によって微生物群集構造を評価した。まず、蛍光染色した微生物細胞の直接計数と、アーキアとバクテリアの16S rDNAに特異的な蛍光プローブを用いた定量的PCR解析 (Q-PCR) によって、火山灰層に粘土層に比べて2~10倍のバクテリアが存在することが示唆された。約1,200クローンの16S rDNA部分塩基配列の相同性解析お

よび系統解析の結果から、アーキア、バクテリアともに粘土層と火山灰層では微生物群集構造が全く異なることが明らかとなった。

(v) 菱刈金鉱山地殻内熱水湧出域における微生物層の解析

鹿児島県菱刈町にある菱刈金山地殻内の熱水環境において、嫌気的環境から好気的環境に変化する過程での微生物相の変化を、地下熱水湧出域およびその熱水が坑道表面を流れる過程において解析を行った。その結果、熱水の流れの上流には地下から熱水と共に上昇してくるメタンガスを食べるメタン酸化細菌が優占していること、また中流・下流域においては熱水中に豊富に含まれるアンモニウムイオンを食べる硝化細菌によって連続的なアンモニア酸化反応が行われている可能性を、16S rDNAクローン解析、FISH解析のみならず機能遺伝子の定量および熱水成分分析によっても裏付けた。地上温泉域における従来の研究では、必ずと言っても良いほど光合成細菌の出現が認められているが、光合成細菌の優占は認められず、代わりに地下から供給される無機物のみを栄養源として生育する独立栄養細菌の優占を認めた。本研究結果は、太陽光の届かない地下環境に特化した生態系を知る上での大きな知見となるものと考えられる。

(b) 地殻内からの新規微生物の分離

分離培養することに成功した新規な微生物としては、まず菱刈金山地下熱水系から難培養性の*Aquificales*を分離することに成功したことが挙げられる。同じく、

海底熱水系の難培養性の*Aquificales*を水曜海山の深海底熱水孔環境から分離(京都大学との協力)することに成功した(*Persephonella hydrogenophila* sp. nov.)。どちらの*Aquificales*も、*Aquificales*目のrDNAクローンとしての情報だけが知られていた長らく誰も分離培養に成功していなかった未知の好熱菌そのものの分離株であった。この*Aquificales*は、水素及び還元的硫黄化合物を電子供与体として、酸素、硝酸、3価鉄、ヒ酸、セレン酸といった様々な無機化合物を電子受容体として利用することができる新属新種の好熱菌(*Sulfurihydrogenobium subterraneus* gen. nov., sp. nov.)であった(図9)。また新たに分離報告された微生物として、沖縄トラフ伊平屋北部熱水活動域から新種の好熱性メタン菌(*Methanothermococcus okinawensis* sp. nov.)、水曜海山熱水活動域から新種の好熱性硫黄還元菌(*Deferribacter desulfuricans* sp. nov.)及び好気性好熱性従属細菌(*Marinithermus hydrothermalis* sp. nov.)がある。これらの分離株は、新属新種あるいは新種として、既に研究論文として受理されている。さらに、インド洋Kaireiフィールドや沖縄トラフの熱水孔環境から、100株以上のε-プロテオバクテリアの分離に成功した。これらのε-プロテオバクテリアは好熱菌から好冷菌まで存在し、そのほとんどすべてが、前述の*Aquificales*のように、これまでrDNAクローンとしての情報だけが知られていた長らく誰も分離培養に成功していなかった未知のε-プロテオバクテリアであった(図10)。現在それぞれの代表株の生理学的特性を解析中である。

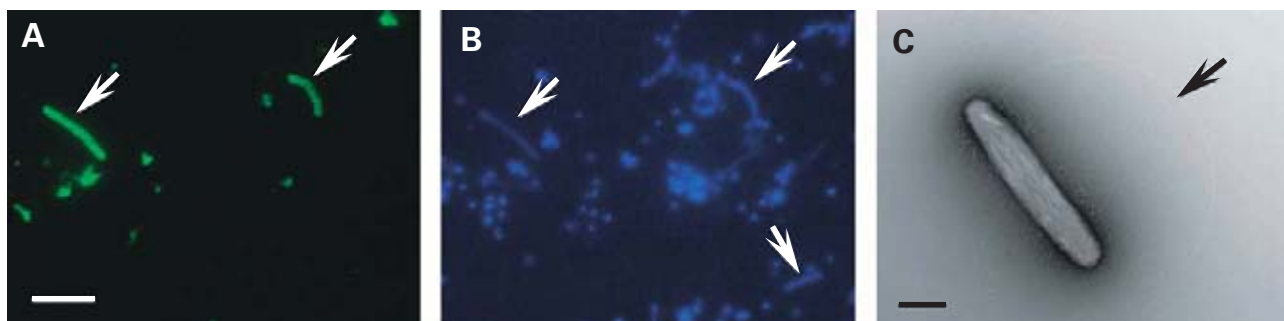


図9 菱刈金山地下熱水から分離された新属新種 *Sulfurihydrogenobium subterraneus* の写真。(A) *S. subterraneus*-specific probe で染色した地下熱水中の in-situ hybridization 写真。(B) 同じサンプル中の DAPI による全微生物染色写真。(C) 分離された *S. subterraneus* の電顕写真。

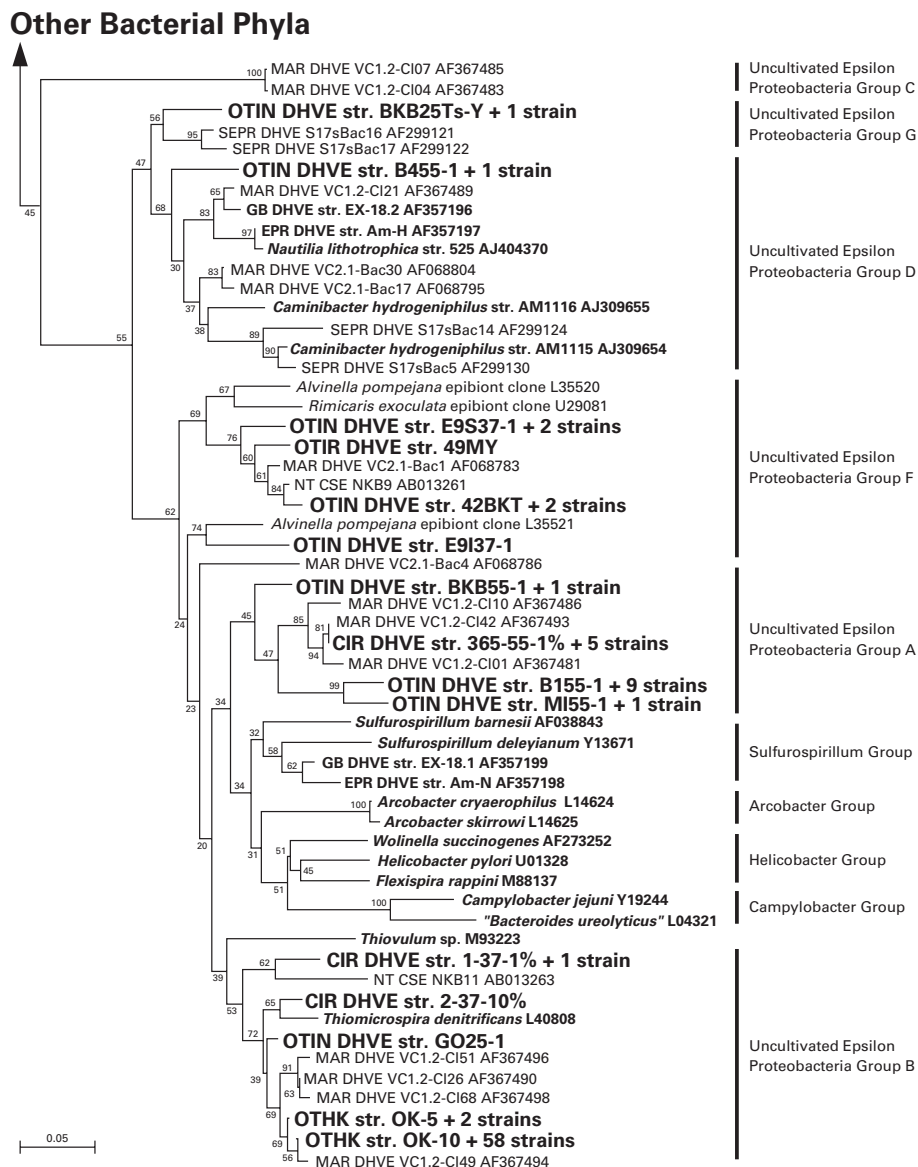


図10 インド洋Kaireiフィールドや沖縄トラフの熱水孔環境から分離された100株以上のε-プロテオバクテリアの系統樹。太字がJAMSTECの分離株。

(c) 殻コアサンプルの無菌的採取方法の開発

ライザー掘削法を採用している「ちきゅう」においては、循環する泥水に混ざって汚染微生物が浸入してくる。泥水は粘土鉱物の一種であるベントナイト粒子や微生物、掘屑が水に懸濁されたものなので、これら懸濁微粒子を浸入する前に凝集・捕獲すれば汚染を防ぐことができる。そこでコロイド粒子の凝集能を持つ高分子で凝集・捕獲した後、抗菌能を有した吸水性高分子でコアをコーティングすれば汚染のないコア試料を採取することが可能と考えられ、凝集能および吸水性の高分子を用いて掘削試験を行い、採取されたコア試料の汚染度評価を行って本手法の適用性の検討を行った。

直径0.2μmの蛍光ビーズを1.0×10<sup>7</sup> Particles/ml含有している泥水を循環させながら、当センターで開発されたコアリング装置と堆積岩サンプルを用いて、高分子を用いた条件と用いない条件の陸上での試験掘削を行った。掘削後、コアの表層部、中間部、中心部のサンプルを所定量それぞれ採取し、サンプル内のビーズ量を測定した。その結果、両条件のコアとも中間部、中心部のサンプルからはビーズは検出されなかったが、表層部のサンプルにおいて、高分子を用いない条件では5.0×10<sup>4</sup> Particles/g-sampleのビーズが検出されたが、用いた条件ではわずか90 Particles/g-sampleであった。したがって、凝集能および抗菌・吸水性の

高分子を用いることによって、外部からの汚染を防ぐことが示され、本法は汚染を防止したコア試料を採取するために十分適用可能であることが示された。カナダで行われたIODPの暫定科学計測パネル(ISciMP)においてこの成果が紹介され、称賛を受けた。

#### (4) 深海バイオベンチャーセンターの活動

##### 1) 第2回バイオベンチャー・フォーラムの開催

海洋科学技術センター横須賀本部において標記フォーラムを開催した。本フォーラムは、極限環境生物フロンティア研究システムで得られた研究成果を講演会形式で関連企業に紹介し、企業との共同研究の可能性を探ることを目的としている。バイオテクノロジー関連企業の方を中心に38社約70名の方の参加を頂き、熱心な意見交換が行われた。

##### 開催要領

主催： 海洋科学技術センター  
極限環境生物フロンティア研究システム  
深海バイオベンチャーセンター  
日時： 平成14年11月15日(金)10:00～17:00  
場所： 海洋科学技術センター 横須賀本部

##### 議事次第

10:00 深海バイオベンチャーセンターの意義と目的  
理事 千々谷真人  
10:10 ベンチャーセンターの運用と規則  
フロンティア研究推進室 課長 高橋賢一  
10:30 極限環境生物フロンティア研究システムの研究活動  
システム長 掘越弘毅  
11:00 深海由来*Bacillus*ゲノム情報からの有用遺伝子の探索  
研究員 高木善弘

11:30 昼食  
13:00 センター見学(展示館、深海潜水調査船「しんかい6500」、支援母船「よこすか」、深海微生物研究施設・設備など)  
14:30 有用微生物探索研究と高発現宿主・ベクター研究員 秦田勇二  
15:00 休憩  
15:15 特別講演「大学独立行政法人化と産学連携」  
東京工業大学学長 相澤益男(アドバイザー)  
16:00 深海微生物の多様性と保存有用菌株  
研究員 能木裕一  
16:30 大気圧下における深海動物の組織培養法の開発  
研究員 小山純弘  
17:00 懇親会

##### 2) 応用微生物の研究

バイオベンチャーセンターで、企業との有効な共同研究を実施するためには、当研究システム側に魅力的な応用シーズを有している必要がある。そのシーズを作る目的で、深海、地殻内、特殊環境から有用な酵素、機能性タンパク質、機能性遺伝子を探索し、その特定化と応用展開を図った。好アルカリ性細菌の高アルカリアミラーゼ、高アルカリCGTase、新規マンナーゼ、超アルカリプロテアーゼの発見、新規アガラーゼの発見、ゲノム配列からの有用酵素の発見、企業の高アルカリプロテアーゼのゲノム解析とゲノム育種工学、企業のオリゴ糖生成酵素の開発、*Bacillus halodurans*のポストゲノム研究(pH適応機構)、有用酵素の結晶化(2種)などの研究の進展をみた。

##### 3) 企業との共同研究

現在、数社と共同研究および派遣研究員による基礎研究を実施している。それらの会社は、製薬会社、食品会社、化学会社、ソフト会社、廃棄物処理会社等である。

## 7. 固体地球統合フロンティア研究システム

### (1) 全体としての活動状況

固体地球統合フロンティア研究システム（以下、IFREE）は、平成14年1月1日から地球内部構造研究領域および地球システム変動研究領域が正式に発足し、当初計画されていた研究体制が整った。そして同1月14日に東京フォーラムにおいて発足記念式典を行った。ただし、新たに発足したこれら2領域の研究グループは、マンルトモグラフィーグループと地球内部要因解析研究グループのそれぞれ1研究グループのみであり、十分な研究体制が整ったわけではない。研究員および技術研究員の公募は平成14年度中に2度行い19名採用した。その結果、平成14年度末日におけるそれら両研究員の合計は73名である。その内、非常勤研究員は6名、また外国人研究員は11名である。

平成14年度において、IFREEは全領域にまたがる学際的研究プロジェクトを推進することに特に重点を置き、地球内部の水、伊豆－小笠原－マリアナ弧、白亜紀イベント、の3テーマにつき計6回のワークショップを開催した。また、固体地球シミュレーションワークショップ、地球科学と流体力学交流研究集会、夏の学校、Tectonics/Geodynamics Short Course/workshop、およびハワイにおけるNSF-IFREE共催のIzu-Bonin-Mariana Workshop等を開催した。長期的な共同研究としては、国内では、東大地震研究所、京大地球熱学研究施設、東京工業大学、高知大学、島根大学、岡山理科大学、防災科学研究所、気象研究所等と、また国外では、カリフォルニア大学バークレイ校、ハワイ大学、ウイスコンシン大学、サウスハンプトン大学、エジンバラ大学等と、全部で23の共同研究をスタートさせた。

IFREEの研究は平成14年度に進展し、300件以上の学会発表を行った。この内、国内学会では約220件、また国際学会では約100件の論文を発表した。また、学会誌における発表論文は、英文140編、和文49編で、そのうち査読付き英文論文は126編である。プレス発表は、「熊野灘南海トラフ地震発生帯での分岐断層の発見」、「マンルト内の指状の高温領域の存在」他4件を行った。これらの研究成果および前年度の成果の一部をまとめたFrontier Research on Earth Evolution - IFREE Report for 2001-2002(英文395ページ)を刊行した。

### (2) 各研究領域等における主要な研究活動

#### 1) 地球内部構造研究領域

概要：地球内部構造研究領域では、地球内部の現在の構造をマンルト・コアの活動の履歴と捉えて3次元的にイメージングする。その結果及びマンルト対流・コア対流のアナログ・デジタルシミュレーションの結果に基づいて、地球内部活動の現在と過去とを復元し、合わせて地球進化のプロセスの本質を抽出する。

地球内部のイメージングにおいては、東京大学地震研究所を中心とする大学連合にJAMSTECが協力して整備された海半球ネットワークと、同様にして開発された深海底観測システムを最大限生かした観測と解析を行う。その過程で、従来、陸域観測網に依拠して発展してきた広帯域地震学を海域にまで広げ、海底広帯域地震学ともいべき分野を立ち上げる。また人工ノイズや国境にわずらわされない海底という特性を生かして海底電磁気トモグラフィーともいべき分野を立ち上げる。

上記の地球内部イメージングは、マンルト対流・コア対流の軌跡やそれが引き起こす擾乱を検出しようとする。これに対して地球内部モデリングは、マンルト対流・コア対流の室内流体実験と数値シミュレーションを行う。室内流体実験により計算機では実現しにくい地球内部環境における対流の物理的直感像を得て、一方、そうした環境における対流素過程を地球シミュレータにより再現し、両者を合わせて地球内部対流の本質的要素を抽出し、それが地球進化に果たす役割を明らかにする。

平成14年度は上記目的に沿って研究を進め、下記のような成果を得た。

研究成果概要：

#### (a) トモグラフィーによる地球内部構造研究

##### (i) 全SEISMIC PHASE計画

われわれは、全地球をカバーする地球内部構造研究のための基盤データベースの作成を目的として、平成14年度から「全seismic phase計画」に取り組んでいる。この計画は、各種実体波と表面波の可能な限り多くのphaseの到達時刻をそれぞれ最適な手法で読み取り、精度の良い膨大なデータを短期間に取得し、次々とトモグラフィーに組み込んでいこうとするものである。

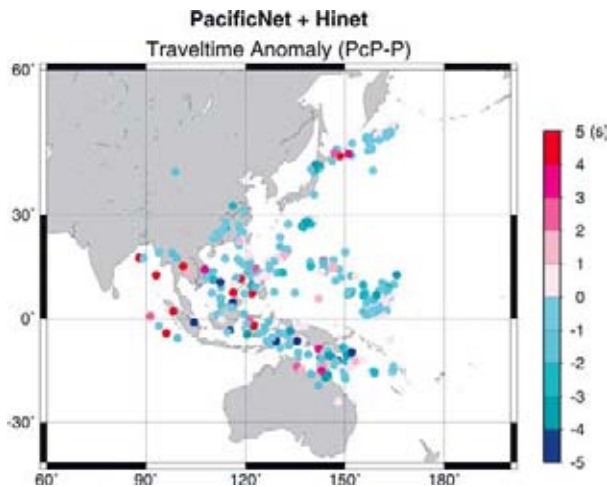


図1 PcP-P走時残差をCMB反射点にプロット。青はPcPが標準より早く、赤は遅いことを示す。

平成14年度の進捗状況を紹介します。データは、IRIS-FARMデータなどのグローバル観測網データ、OHP、SPANET、JISNET、SKIPPYなどの地域規模観測網データ、そして防災科研のHi-Netデータを用いた。これまで地震波形の直接読み取りによるP、pP、sP、PcP波到着時刻、PP-P、S-Pなどの観測波形の地震相間の走時差、また、観測波形と理論波形の走時差から求められたP、PP、Pdiff時刻など合計して5万データを蓄積できた。波形を用いた走時測定では、震源、観測点、PP反射点などの地表反射点における地殻の影響を考慮して走時測定をおこなっている。図1にこの時刻測定から求められたPcP-P時間の走時残差をCMB反射点にプロットしたものを示す。これはCMB付近の不均質構造を強く反映したものと考えられる。今後はデータ蓄積を継続するとともに、そのデータを使った実体波トモグラフィーを始めていく。

(ii) やや広帯域OBSデータの表面波解析によるフィリピン海上部マントル構造の研究

複雑な形成史を持つフィリピン海の上部マントル構造を推定するために、やや広帯域海底観測と日本列島の陸上広帯域観測によって得られた表面波を解析した。海底観測データは、OHP計画で開発・実施された長期観測用やや広帯域海底地震計によるフィリピン海横断アレイによるものを、陸上観測データは日本列島の陸上広帯域観測網F-netによるものを用いた。世界初の長期広帯域海底観測の実現により、これまででない

空間分解能でフィリピン海マントル構造を推定することができる。海底地震観測に用いられたPMD地震計は0.03-20Hzに平坦な速度特性を持つ。海底観測点に近接するIRIS観測点のSTS-1地震計によるデータとの比較を行った結果、0.01Hzまでは使用可能であることが分かったため、本研究では0.01-0.05Hzの上下動成分を解析した。レーリー波位相速度は2観測点法で求めた。位相速度を求めることができた地震-観測点ペアは347である。図2に0.01,0.02Hzでの位相速度の平均値からのずれを示す。フィリピン海北部は太平洋プレートと比較して、どの周波数でも位相速度が低いことが分かる。この位相速度データを、マリアナトラフ、

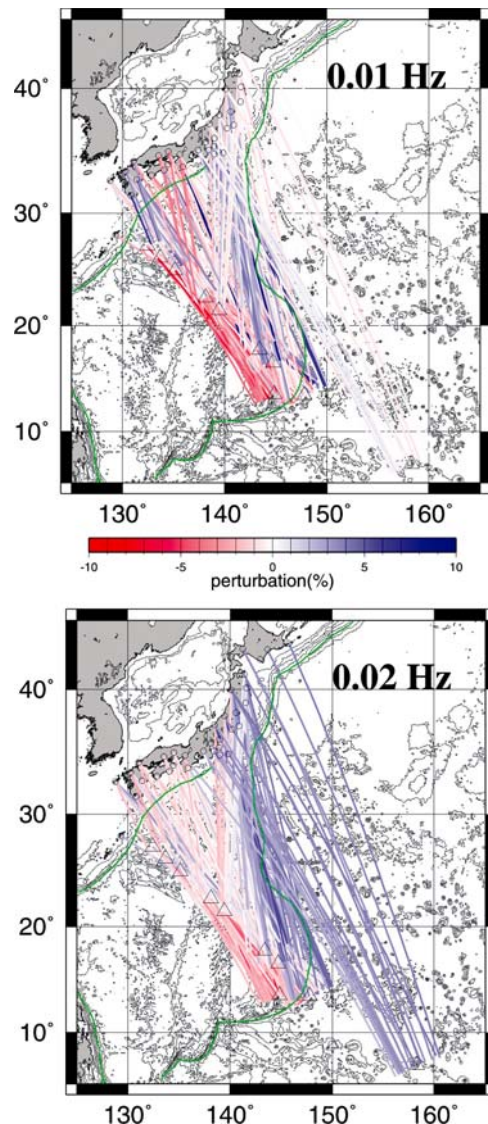


図2 レーリー波位相速度の平均からのずれを伝播経路の色で表す。青は高速度、赤は低速度。上は0.01Hz、下は0.02Hzの結果。

パレスベラ海盆、四国海盆、南大東海盆について平均し、各地域の海底地殻年代に対応する太平洋のレーリー波位相速度分散曲線と比較すると、どの地域の位相速度も太平洋の速度と比べて低いことがわかった。過去の研究によって明らかにされている正の重力異常、正の海底深度異常、そして玄武岩の地球化学的な研究と本研究結果を説明する一解釈として、フィリピン海上部マントルが普通よりも鉄に富んだかんらん岩からなっている可能性が示唆される。

### (iii) やや広帯域OBSデータのレーシー関数解析によるフィリピン海マントル不連続面の研究

最近のトモグラフィー研究によれば、フィリピン海には東から太平洋プレートが沈み込み、マントル遷移層にある660km不連続面の上(伊豆・小笠原弧)あるいは下(マリアナ弧)で横方向に滞留している(e.g., Fukao et al., 2001)。それによって周囲のマントルは冷やされ、低温になっている可能性がある。高温高压実験結果によれば、低温になるほど410km不連続面は浅くなり、660km不連続面は深くなる。逆に410km、660km不連続面の深さを測ることによってそこでのマントル遷移層の温度を推定することができる。

解析したのは前述のフィリピン海表面波解析で用いたのと同じく、OHP計画によって実施されたフィリピン海横断海底広帯域アレーのデータである。まず観測点ごと、地震ごとに3成分波形データからレーシー関数を求めた。これを、近い観測点ごとに全ての地震について重合してS/N比を向上させた。重合の際には、上部マントルのS波速度不均質を考慮に入れた。S波速度は、既存のトモグラフィーモデルから見積もった。

フィリピン海内部での410km、660km不連続面深度の地域性の結果とその地理的位置を図3に示す。マリアナトラフでは410km、660km不連続面は409km ± 8kmおよび695km ± 14kmと求まり、グローバル平均と比較して410km不連続面は9km浅く、660km不連続面は35km深い。パレスベラ海盆では410km、660km不連続面は415km ± 16kmおよび705km ± 9kmと求められた。測線西端である大東海嶺付近では410km不連続面は明瞭に求められなかったが、660km不連続面は708km ± 16kmと本研究では最も深く求められた。今後、異常に深い660km不連続面

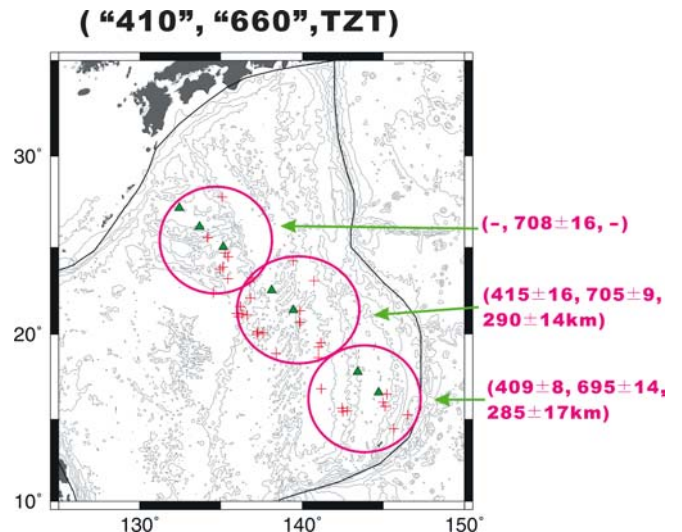


図3 フィリピン海の"410km", "660km"不連続面の深さと遷移層の厚さ。三角は海底観測点、十はPs変換波が深さ660kmを横切る点。

を、地震波トモグラフィーの結果や鉍物の高压実験の結果などと照らし合わせて、温度と化学組成異常の両面から解釈していく予定である。

### (iv) 地震波・電磁気トモグラフィーによる太平洋横断(ハワイ-フィリピン海)の温度場推定

P波とPP-P波走時データの地震波トモグラフィーによるマントル地震波速度構造モデルと、OHP観測網の電磁気データを用いた電磁気トモグラフィーによる電気伝導度モデルから、ハワイ-フィリピン海測線に沿った深さ350-850kmの温度場を推定した。複数の異なる物性パラメータから温度場を求めることにより、単一のパラメータからの推定よりも温度場に対して強い制約を与えることができる。ハワイからフィリピン海までの測線で特徴的なのは、(a)ハワイの下深さ400-700kmで低地震波速度・高電気伝導度である；(b)フィリピン海の下部マントル最上部に高地震波速度・低電気伝導度の異常がある、ということである。これらから温度異常を推定すると、ハワイでは300-400度の高温異常、フィリピン海では150-250度の低温異常が存在することになる(図4)。前者は熱いブルーム、後者は滞留する冷たいスラブによるものと推定される。

### (b) 海底地震・電磁気観測と解析

海底機動観測グループは地震学的・電磁気学的手法を用いた機動的観測を行い、陸域の観測のみでは

## Comparison of Seismic & EM Tomography and estimated temperature anomalies

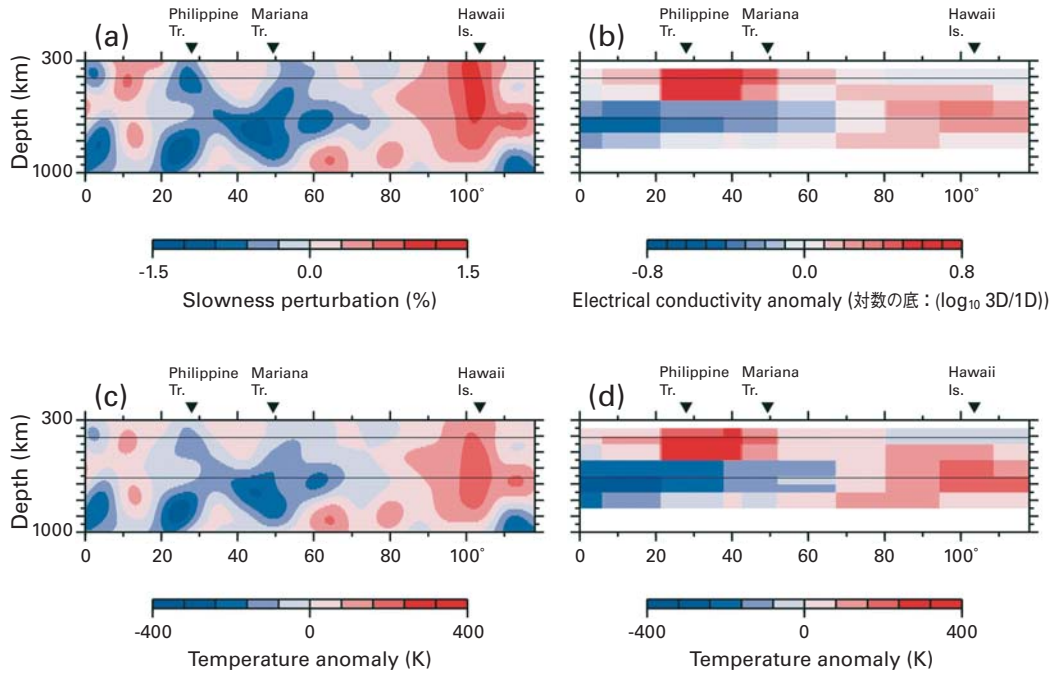


図4 ハワイーフィリピン海に沿った断面図。(a) 地震波速度異常、(b) 電気伝導度異常、(c) 地震波速度から求めた温度場、(d) 電気伝導度から求めた温度場。

十分捕らえられないテクトニック場のマントル構造イメージングに取り組んでいる。主たるターゲットは、北西太平洋および隣接する縁海盆地域のマントル下降流と、フレンチポリネシア地域のマントル上昇流で、地球内部構造研究領域が実質立ち上がった平成13年度より計画的に実験を繰り返し、データを取得している。

本年度の成果は、マリアナ地域で地震・電磁気ともにデータを回収し、初期的な構造解析結果を得たこと、日本海東縁部で新たな電磁気観測を開始したこと、フレンチポリネシアで地震観測を開始したことである。

### (i) マントル下降流域での海底地震・電磁気観測

中部マリアナトラフにおいては、地震・電磁気の合同観測を平成13年より継続的に行っており(図5)、さらに両者とも海外の研究機関とも共同したより大規模な観測実験を計画している。

NSFの援助を受けたMARGINS計画の一環として、北緯19度周辺のマリアナ海域で日米合同の大規模な長期海底地震観測を日米の複数機関による共同研究として平成15年6月から約1年間実施する。本地

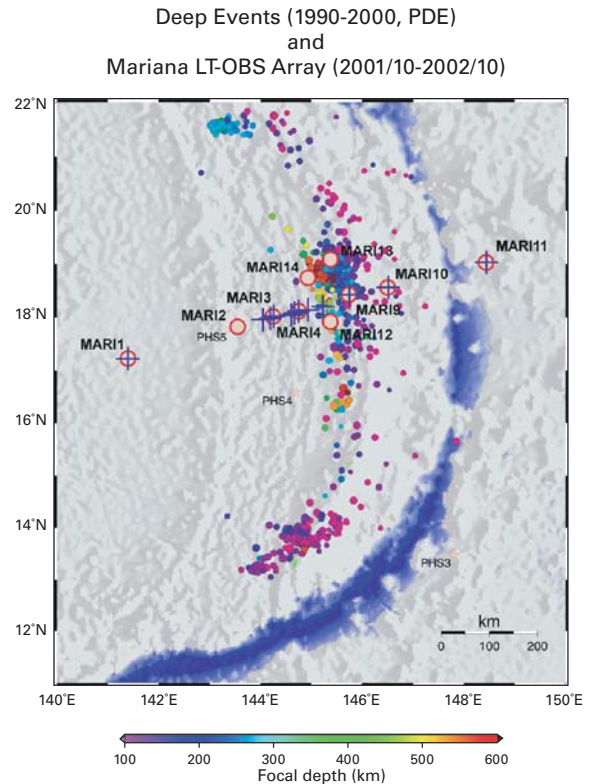


図5 マリアナトラフの海底地形図と海底観測点分布 (○:海底地震計、+ :海底電位磁力計)、および震源分布

域では深さ600kmまでの活発な深発地震活動があり、これを信号源とした島弧・背弧海盆でのマントル構造の3次元探査を行うのが主たる観測目的である。この他、前弧の泥火山活動モニターや遠地地震による表面波解析など、多種の観測・解析が予定されている。この国際共同観測に先立ち、平成13年10月か

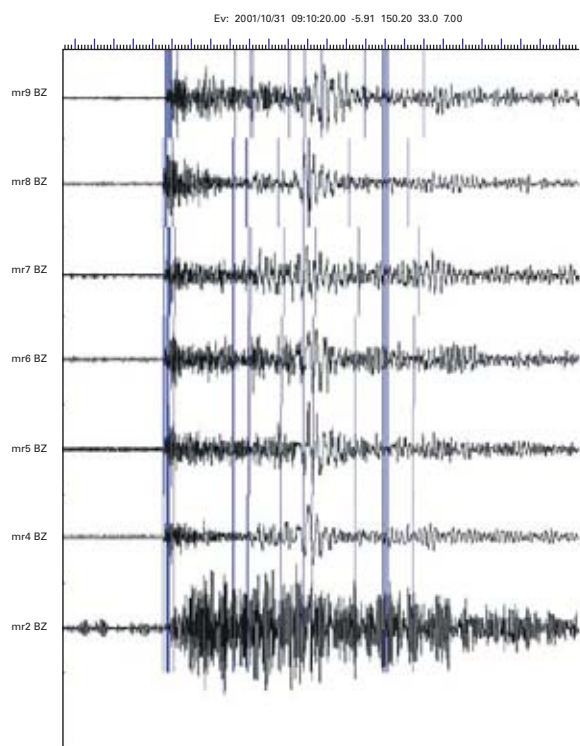


図6 各海底地震計に記録された地震波形(鉛直成分)。青線はiasp91モデルを用いて計算した理論走時。

ら東京大学地震研究所と深海研究部及びIFREEにより事前調査としての長期地震観測を実施し、平成15年2月に海底地震計の回収を行った。記録例を図6に示すが、良好な記録が得られている。今後、陸上では把握できない深発地震活動の解明など、多種の解析を実施する計画である。

電磁気観測では、IFREE、深海研究部、東京大学地震研究所、神戸大学、国立極地研究所の共同実験として、平成13年度に10台の海底電位磁力計を中部マリアナトラフを横切る測線上に展開した。これらのうち、マリアナ島弧、マリアナトラフ東部の2点を平成14年4月に、太平洋プレート上、マリアナトラフ西部、パレスヴェラ海盆のそれぞれ1点については平成14年11月に回収した。初期的な1次元構造解析の結果(図7)は、各観測点下で深さ数10kmから高電気伝導度になる一般的な海洋上部マントルの特徴を示しつつも、拡大方向とそれに直交する方向の電気的性質が異なる異方性の可能性も示唆しており、更なる解析に期待がかかる。この海域には過去に米国、日本が行った実験で取得されたデータがあり、それらと本観測のデータとをあわせて2次元構造を求めるべく現在解析が進行中である。更に平成16年度に日米豪を中心とする国際共同で40台規模の観測実験を行い、トラフ軸周辺や島弧などの活動的な地域の構造をより高解像度で明らかにする計画である。

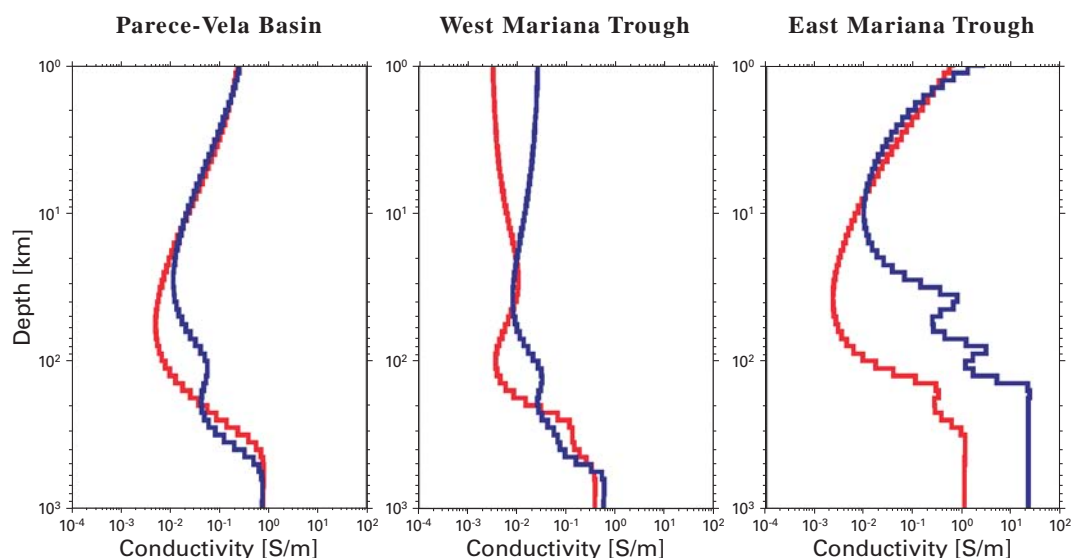


図7 マリアナトラフおよびパレスヴェラ海盆下の1次元電気伝導度構造モデル。青線は東西方向に電流が流れる場合のモデル。赤線は南北方向に電流が流れる場合のモデル。

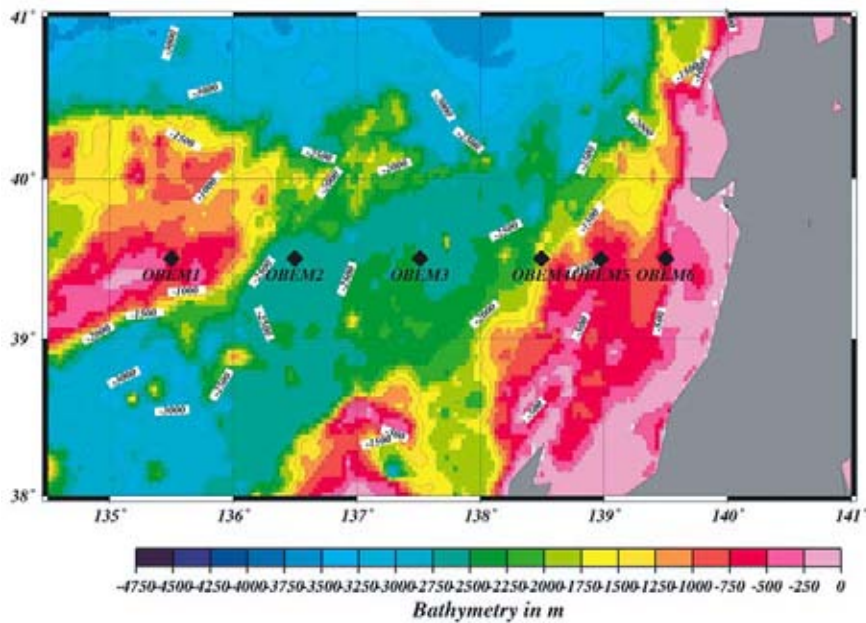


図8 日本海東縁部の海底地形と観測点配置

このほかにも、2002年10月より、富山大学、東京大学地震研究所と共同で、日本海東縁部での海底電磁気観測(図8)を開始した。

マリアナが現在活動中の典型的海洋性島弧・背弧系であるのに対し、日本海はすでに拡大を停止しており、発達した島弧地殻の背後に位置し、リフティングによって引き伸ばされたと考えられている領域が広い。対照的な両者のマントル構造の比較は、プレートの沈み込みと背弧海盆の形成過程の多様性を理解する鍵になる。展開した海底電位磁力計の回収は平成15年7月に行う予定である。また平成15年度には、本観測測線の延長上の日本海溝沖にも観測点を展開し、東北日本弧を切る大断面でマントルの電気的性質を解明する計画である。

(ii) マントル上昇流域での海底広帯域地震観測

大規模なマントル上昇流(プルーム)の存在が推定されているフレンチポリネシア地域に於いて平成15年1月から深海研究部・東京大学地震研究所と共同で、海底広帯域地震観測網を展開している。配置図を図9に示すが、臨時陸上観測点はフランスの研究者によりすでに展開されており、その他の定常地震観測点のデータも含めて共有し地球内部構造の研究を進める予定である。本地域周辺は地震観測点の密度が低いため、プルームが存在していることは分かるがその形状やマ

ントル・コア境界部の様子を詳しく知ることが困難であった。本観測計画では遠地地震波を用い、これらの課題を解決することを目的としている。

The BBOBS locations (ver.2) Aug. 14, 2002

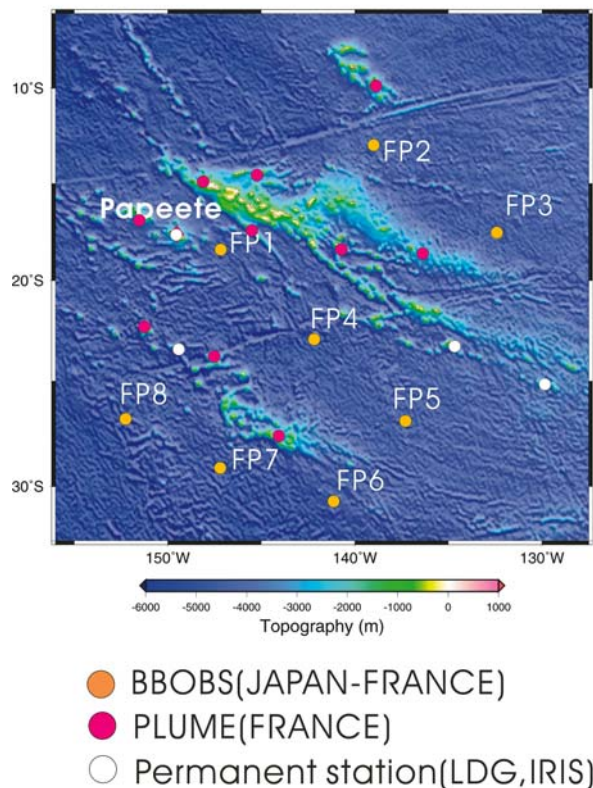


図9 フレンチポリネシア地域での海底広帯域地震観測点の配置。黄丸が広帯域海底地震計(BBOBS)、赤丸が臨時観測点、その他は日本他各国の定常観測点である。

(c) モデリング

地球の内部構造は、内部から惑星外への熱エネルギーの流れによって進化を遂げてきた。地球深部から地表への、この熱輸送の主要手段が対流現象であり、すなわち、地球内部の各所で起きている対流の物理を明らかにすることは、現在の地球内部構造のみならず、その進化過程をも明らかにすることに繋がる。我々の研究主題は、地震波トモグラフィーおよび様々な観測量と無矛盾な地球内部構造をモデル化するため、この地球内部各所で起きている対流現象を、室内実験と数値実験を行い、その本質を明らかにすることである。地球内部で起きている最も重要な対流現象はマントルで起きているそれであり、このマントル対流は単純なレイリーベナール型の対流とはその構造が異なることが知られている。その理由は、マントルが対流から乱流への遷移点にあることや、粘性率の大きな温度依存性、相境界の存在、D"層や大陸などの時間変化する不均質な境界層の存在など、様々な複雑な要素が存在する為である。故に各物理要素が対流に対してどのような役割を果たすのかを明らかにする必要がある。手法として、室内実験(図10)、数値実験(図11)の両方を行うことにより、補完しあひながらより明確に各物理現象が対流に与える影響を理解することが出来る。室内実験においては、高粘性流体での乱流的対流、および不均質境界を持つ場合の

対流を明らかにするための研究を行ってきた。また数値実験においては、従来障害となっていた計算機資源の問題が地球シミュレータを用いることにより克服出来るようになり、より現実的な地球に近いパラメータ下での3次元球殻マントル対流シミュレーションを現在実行中である。

一方、地球内部で起きている重要な対流現象に外核での対流がある。核内対流はマントル対流と本質的に異なる現象であり、特に重要な相違点として対流を担う流体の物性がある。即ち、核内対流は液体金属の流れであり、粘性抵抗は非常に弱く、故に激しい乱流対流となっている(図10)。このような流れを、実際のパラメータで数値実験化するのは非常に困難であるため、その物理の理解には室内実験が不可欠である。しかしながら液体金属を用いると、その不透明性から流れを可視化することが出来ず、データ収集という観点から困難が存在していた。そこで我々のグループは、超音波によるドップラー効果を用いた流速測定法に注目し、長年その手法を開発してきた研究者との共同研究を立ち上げた。そして、比較的小さな速度を測定可能とするための改良を加え、対流流速場の時空間構造を計測する手法として確立した。今後は実際に液体金属としてガリウムを用いた乱流対流の計測を行い、低粘性流体の乱流対流の物理を明らかにすることにより核内対流のモデル化にまで発展させる予定である。

Ra(レーリー数=浮力の相対的な大きさ)とPr(プラントル数=動粘性率/熱拡散率)を設定したときにどのような対流パターンが形成されるかという相図

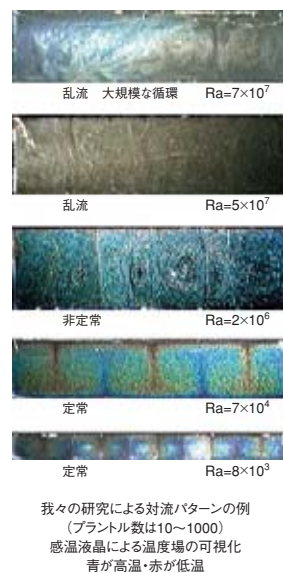
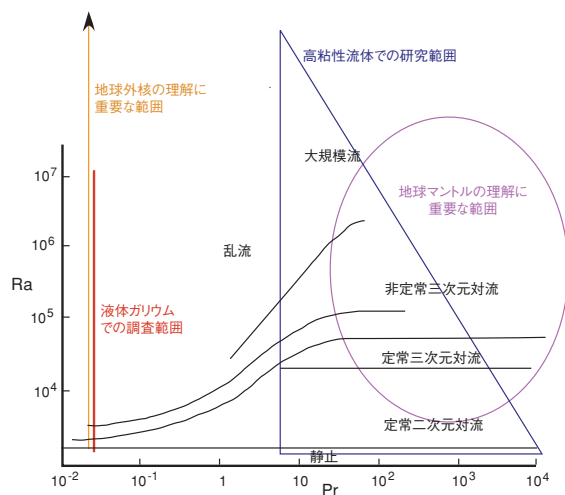


図10 最も単純な熱対流として見た地球マントルとコアの位置付け、および我々の室内実験での研究範囲：写真は感温液晶で可視化した対流の温度場である。

球殻内の熱対流の計算例(温度場)  
一様粘性、上下温度固定

$Ra \sim 10^6$

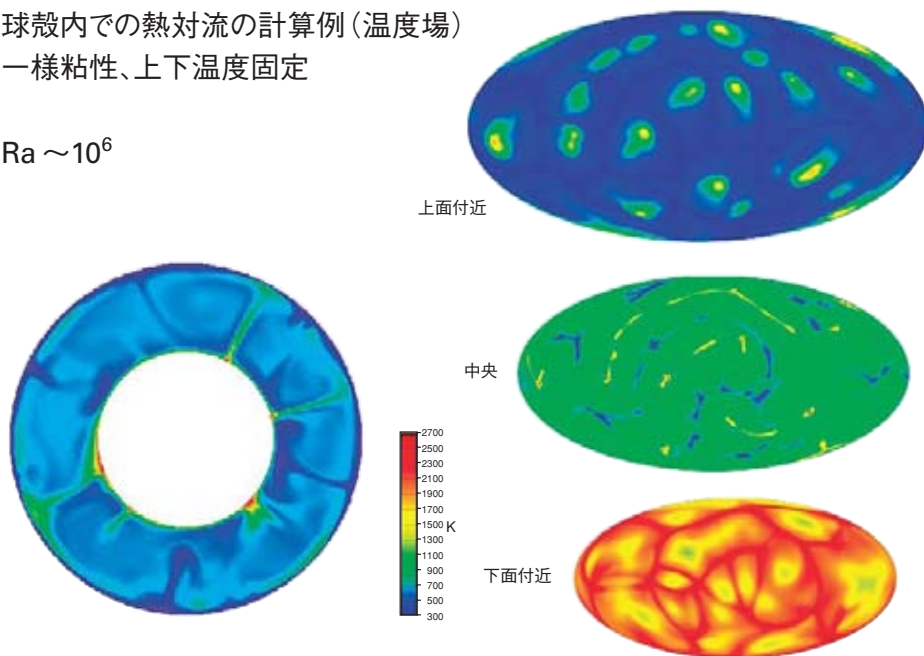


図11 地球シミュレータによる3次元球殻でのマンテル対流の計算：温度場を表示している。  
解像度は地表面で水平約30km、約1億点の格子点を持つ計算である。

2) 地球内部物質循環研究領域

概要：固体地球の表層部は、化学組成の違い、およびそれに起因する地球物理学的構造の異なる2種類の地殻、即ち大陸地殻と海洋地殻で構成される。このうち前者は、 $7.35 \times 10^6 \text{ km}^3$ の体積を有するが、固体地球(地殻・マンテル・核)全体と比べると、その僅か0.4%の質量を占めるにすぎない。しかし、量的には大したことは無くとも、大陸地殻の成因を理解することは、地球の進化を紐解く上で決定的に重要である。何故ならば、大陸地殻は固体地球の中で専らケイ素(Si)などの軽元素が濃集する部分であり、それだからこそ大陸地殻は、流体のマンテルの上に地球史を通じて安定して浮かび続けてきた。さらに大陸地殻は、マンテルの融解時にマグマに濃集する元素(液相濃集元素)に関して、固体地球に於ける巨大な貯蔵庫である。地球形成初期にはマグマオーシャンが存在するほどに大規模な融解が起きたために、比較的均質な組成を有していた固体地球において、このような特定元素の濃集分化過程がいつ、どのようにして起こったかを知ることは、地球の進化を語ることはできない。本研究領域の主要目標の1つは大陸地殻の進化を明らかにすることである。

一方、地球体積の60%を占めるマンテルも均質ではない。マンテル深部に起源を持つと考えられるホットス

ポットマグマの化学組成、特に同位体比組成の多様性を説明するためには、少なくとも3つの端成分マンテル物質(EMI、EMII、HIMU)が必要である。これらの端成分物質の成因を明らかにすることは、すなわちマンテルの進化を理解することである。本研究領域では、このようなマンテルの進化と、先に述べた地殻の進化を包括的に理解することを目標としている。

固体地球の進化および物質循環に対して、決定的に重要な束縛条件を与えるものの1つは、地球内部を構成する物質の物性である。その重要性にも拘わらず、観測・実験上の困難さから、十分に信頼できる地球内部物性のデータは得られてはいない。本研究領域では、最新の地震学的解析結果を参照しつつ、高温高压実験手法を用いて地球内部物性を高精度で決定し、これらのデータを用いて、地球内部の構造および物質循環様式を理解することを目指す。

研究成果概要：

- (a) サブダクションファクトリー：その地球進化における役割  
海嶺で生まれた海洋プレートは、次第に冷えて重くなり、やがてマンテル内へ落下してゆく。この場所を沈み込み帯(サブダクションゾーン)と呼ぶ。沈み込み帯は、しばしば巨大な工場(ファクトリー)に例えられる(図12)。ベルトコンベアー(海洋プレート)で原材料が搬入され、

騒音や震動(地震)を出しながら、また煙突(火山)から煙を出しながら、製品(マグマその固結物である大陸地殻)を作っている。製造工程では廃棄物が生まれるが、この工場では、廃棄物を再利用対象物として送り出している。もしそうならば、サブダクションファクトリーは、模範的な「ゼロ・エミッション工場」と言えよう。

サブダクションファクトリーで生み出される廃棄物としては、1) 沈み込み海洋地殻の残骸、2) プレートの沈み込み過程で脱水分解により組成変化した堆積物、3) 安山岩質大陸地殻の形成過程で地殻から取り去られる「反大陸地殻物質」、が考えられる。これらの廃棄物の化学組成は、これまで我々が行ってきた地球化学的モデリングや高温高压実験の結果から推定することができる。

海嶺での熱水変質作用で水を含んだ海洋地殻は、サブダクションファクトリーでの重要な水の供給源となる。例えば20億年と30億年前のサブダクションファクトリーで脱水分解によって生まれた廃棄物は、図13に示

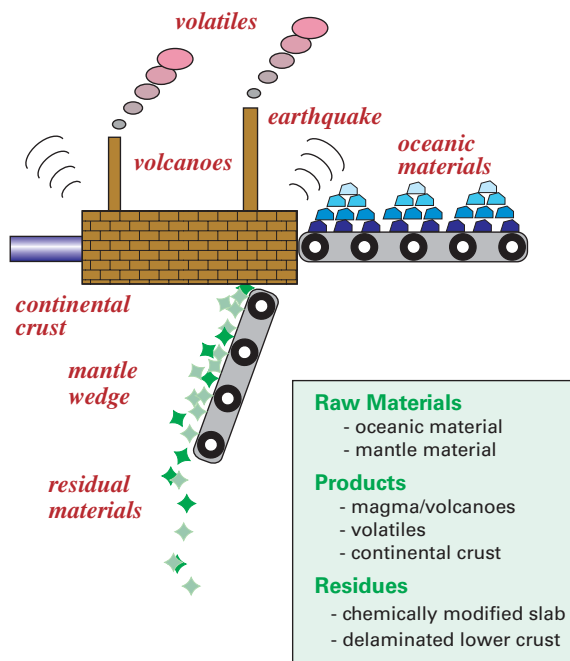


図12 サブダクションファクトリーの概要  
この巨大な工場には、海洋堆積物・海洋プレート物質などの原材料が運び込まれ、マグマや大陸地殻などの製品が製造されている。その工程で生じる、組成変化した海洋物質・下部地殻融解残存物などの廃棄物は、マントル深部へ持ち込まれ、マントルの化学的進化に大きな影響を与えてきた。また、これらの廃棄物は再利用対象物として、ホットスポットマグマの製造に利用されているらしい。

ような同位体比組成を有することが予想できる。この廃棄物の異常に高い鉛同位体比は、娘元素である鉛が親元素であるウランやトリウムに比べて、脱水分解反応で海洋地殻から取り去られることが原因である。また新鮮な海洋地殻は、サブダクションファクトリーの製造工程では全くと言っていいほど利用価値がない。しかしこの部分も、プレート運動によって地球深部へ持ち込まれて、図13に示すような同位体比組成を有して、脱水分解反応を経験した海洋地殻物質とともに、マントルの底に貯えられて熟成されてきたはずである。これら2種類の同位体比組成の異なる海洋地殻は、併せるとHIMUと呼ばれるマントル端成分の化学的特徴とよく一致する。

サブダクションファクトリーの製造工程で用いられるH<sub>2</sub>Oのもう1つの主要な原料は沈み込む堆積物である。図13には、10-20億年前のサブダクションファクトリーで脱水分解反応を経験し、そしてそれによって添加物を抽出されてしまった堆積物の同位体比組成を示してある。「始源的なマントル」と比べると、高いSr、Pb同

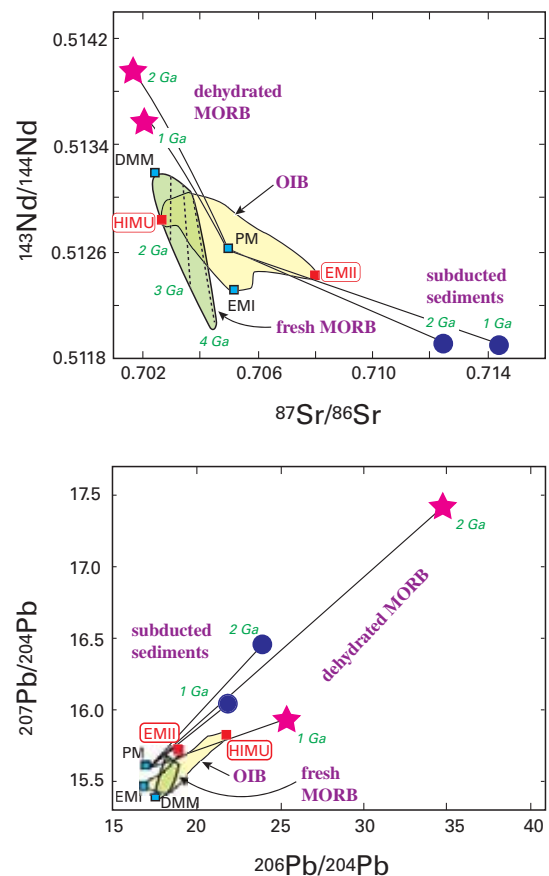


図13 沈み込む海洋地殻(新鮮なものと脱水分解したもの)・堆積物の同位体比に関する時間変化。前者はHIMU端成分、後者はEMII端成分の形成に貢献している。

位体比、低いNd同位体比を有している。そしてこの廃棄物は、始源的マントルと併せて、EMIIと呼ばれるマントル端成分として再利用されていると考えて良い。

大陸地殻製造工程では、安山岩質の製品を作り出すために、デラミネーションによって反大陸物質が地球内部へ廃棄物として運搬される必要がある。この廃棄物の放射性同位体比の時間変化を推定した結果を、図14に示す。この場合には一次地殻の再融解でできたSiO<sub>2</sub>に富むマグマが完全に分離しない可能性があるため、その割合を変化させてある。すると、そのような分離できなかったマグマを10数%含む反大陸物質が、20-40億年地球内部で蓄えられると、EMIとよばれる端成分として、再利用できるようになることがわかる。

サブダクションファクトリーでは、海洋地殻や堆積物などの海洋物質からH<sub>2</sub>Oや特定の元素を添加物として抽出した後に生まれる廃棄物、それに大陸地殻を製造する際に生じる廃棄物、これら全てを、不法投棄することなくホットスポット工場でのリサイクル工程に利用して

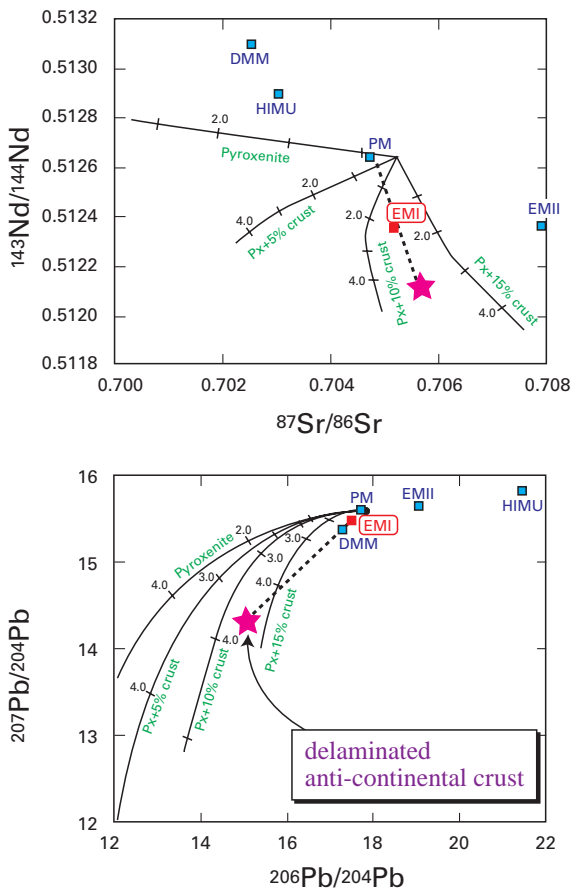


図14 玄武岩質一次島弧地殻から取り去られる融解残存物質に対する同位体比の時間変化。この廃棄物は、EMI端成分として再利用されている。

いたのである。つまりサブダクションファクトリーは、完全な「ゼロ・エミッション」を達成しながら、地殻とマントルの進化に決定的な役割を果たしてきたのである。

(b) 下部マントルにおける鉍物の安定性

これまでの高温高压実験の結果によって、上部マントル内の440kmおよび、上部マントル下部マントル境界に相当する660km地震波不連続面は、マントルの主要構成鉍物であるカンラン石の相転移によって引き起こされていることが明らかにされている。しかし最近の地震学的な観測によって、下部マントル内にさまざまな地震波異常が新たに見いだされており、これらの観察事実を合理的に説明しうる高温高压実験のデータは未だ得られていない。マントル物質であるカンラン岩は660kmより高压下では相転移する可能性は大きくないために、これらの地震波異常を理解するためには、沈み込む海洋地殻物質(MORB)の相転移を詳細に調べる必要がある。我々はこのような背景の元、MORB組成の物質に対して、ダイヤモンドアンビルセル・マルチアンビル超高压発生装置と放射光を併用した物性測定実験を行っている。

下部マントル条件下でMORB物質に出現することを確認した鉍物は、Al含有ステイショバイト、カルシウムフェライト型アルミ相、ヘキサゴナルアルミ相、Mgペロプスカイト、Caペロプスカイトなどである。これらの超高压鉍物に対する基本的な物性値である密度を、実験によって得られたパラメータと状態方程式を用いて求めたものを図15に示す。今後、MORB物質の化学組成

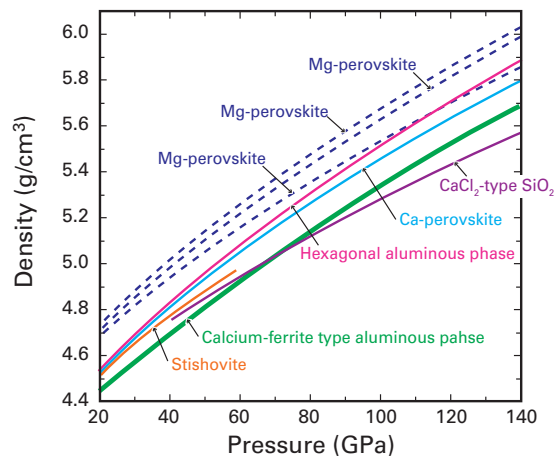


図15 沈み込む海洋地殻物質内に存在する高压鉍物の密度関係

の多様性、それによって生じる超高圧鉱物の量比・組成変化を更に検討する。

### 3) プレート挙動解析研究領域

はじめに：本研究領域は、地殻構造研究グループ、地震発生メカニズム研究グループおよびプレート挙動モデリング研究グループからなり、これらグループの研究成果とIFREEの他の研究成果を統合して、プレート運動に伴う時間空間スケールの異なる地球表層の諸現象の解明を図っていく。

平成14年度は、地殻構造研究として西南日本海陸統合構造探査の実施や13年度実施した東海沖から中部日本における海陸統合構造探査データ解析、地震発生メカニズム研究として、1999年の台湾集集地震のすべり再現実験や断層岩試料採取・分析等を実施し、モデリング研究では、地球シミュレータを用いた日本列島域の地殻活動シミュレーションや南海トラフの海溝型巨大地震サイクルシミュレーションモデルの開発を行っている。以下に概要を示す。

#### 地殻構造解析研究グループ

概要：地殻構造解析研究グループでは、地震探査、機動型地震観測による沈み込み帯周辺の地下構造・地殻活動研究を中心に、地形、地磁気、重力、地殻変動、地質学的データを統合した沈み込みダイナミクスに関する総合的研究を進めている。最近では日本周辺地震発生帯において集中的に研究を推進しており、他のグループによる物質科学的研究やモデリング研究と連携して、地震の破壊過程を規定する構造要因の解明を目指している。

研究成果概要：

(a) 南海トラフ地震発生帯研究

(i) 沈み込む海嶺のイメージングに基づく中部日本域の沈み込みダイナミクス研究

マルチチャンネル反射法探査により東部南海トラフ地震発生帯において、トラフ軸に平行し沈み込む海嶺のイメージングに成功した(図16)。長さ~180km、幅~20-30km、高さ~2.5kmと推定されるこの海嶺は、東南海セグメントと東海セグメントに跨がって分布している。

また両セグメントにおいてバックストップに対して異なる位置関係を示している。東南海セグメントにおいて、この海嶺は1944年東南海地震破壊域の海側境界域に分布し、バックストップの海側境界部分と接触している。一方、東海セグメントにおいては、バックストップの下部に位置している。このような海嶺の空間分布は、この海嶺が強いカップリング状態であり、1944年東南海地震破壊の海側伝播を抑制する役割を果たした可能性を示唆する。また、両セグメントにおける“海嶺-バックストップ衝突”の違いは、異なる力学的カップリングを起こし、結果的に東部南海トラフ地震発生帯のセグメント化に貢献していると考えられる。

更に、東海沖から中部日本を横断した海陸統合地震探査データから深さ50kmまで沈み込んだ海洋性地殻のイメージングに成功した(図17)。この結果から中部日本下でも海洋性地殻上面の2-3kmの起伏が確認され、海嶺の繰り返し沈み込みがより深部まで及んでいることを示している。この部分の海洋性地殻上面は強い反射面として確認され、以前の研究から示された高ポアソン比の領域と一致する。これは海洋性地殻からの脱水を示唆している。

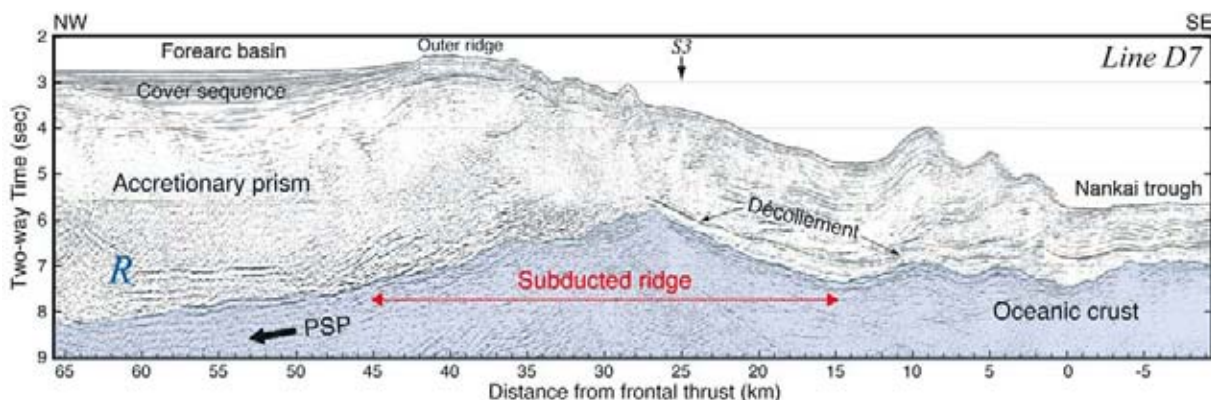


図16 反射法探査で得られた熊野灘における海嶺の沈み込みイメージング

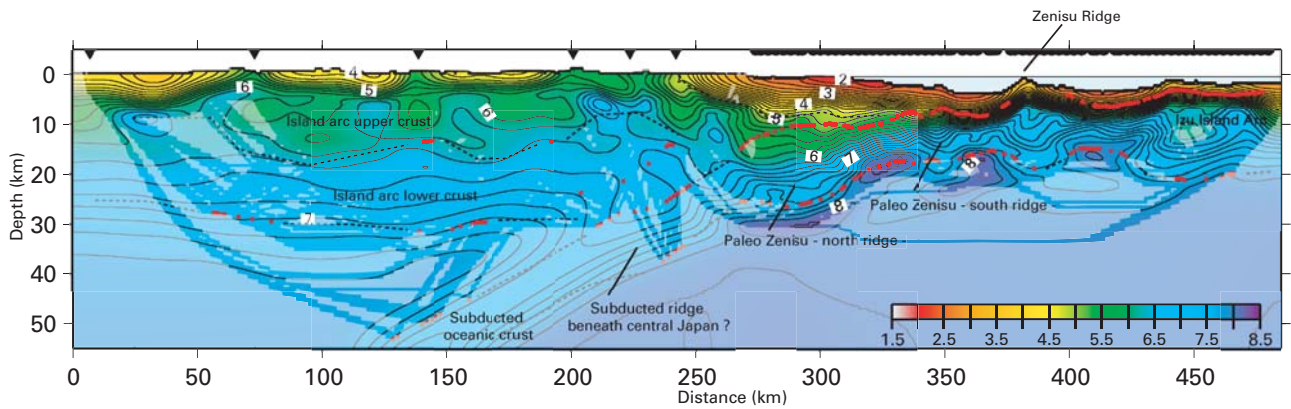


図17 東海沖から中部日本における海陸統合構造探査で得られた速度構造イメージング(解析領域は、網掛け表示で示している)。

(ii) 地震発生帯上限の地震活動とプレート間固着過程  
 室戸沖における微小地震の繰り返し観測では、微小地震活動の海側上限においてクラスター状の微小地震活動が観測された。これらのクラスターは、波形の相似性が極めて良い地震群によって構成されており、数百m程度の広がりを持った固着領域の存在をあらわしていると考えられる。これは、沈み込むプレートと陸側プレートとの間の固着過程がパッチ上に進行している事を示唆している。また、1944年東南海地震破壊域である紀伊半島沖熊野灘での微小地震観測では、付加体先端部付近に地震活動の活発な領域が見られた(図18)。この領域は津波から推定された破壊領域の海側上限付近であるが、変形フロントに極めて近い。また、分岐断層沿いや、1944年東南海地震時の破壊領域内では地震活動が殆ど見られなかった。東南海地震の破壊モデルや現在観測されている地殻変動と

あわせて考えると、東南海地震の破壊領域は比較的均質な強度で一様に固着しているものと考えられる。

(iii) 西南日本海陸統合地殻構造探査

平成14年8～9月、四国、中国地方から鳥取沖・日本海に至る地域にかけて海陸統合深部地殻構造探査(東京大学地震研究所との共同研究)を行った。探査目的は中国地方から日本海下での沈み込むフィリピン海プレートの形状や日本海および西南日本弧の形成に関連する遷移域の地殻深部構造を明らかにすることである。海陸統合深部地殻構造探査の内、海域部の探査は日本海・鳥取沖より大和海盆南西部にかけて、南北方向に測線長約170kmを海域構造探査システム(海底地震計35台、大容量エアガンシステム:12000cubic inch)を用いて海洋科学技術センター「かいよう」および気象庁・舞鶴海洋気象台「清風丸」を用いて行われた。

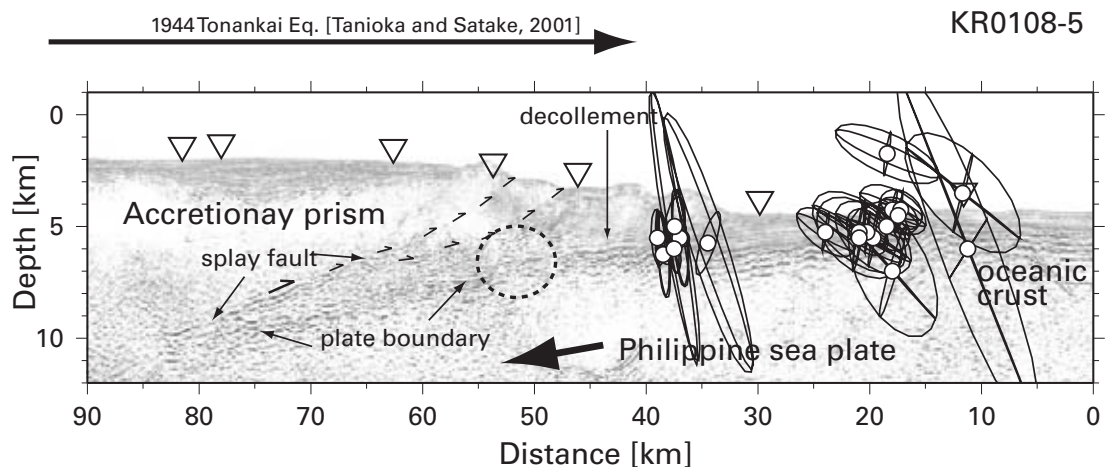


図18 熊野灘における地震発生帯上限域で観測された微小地震活動

また、陸域部の探査においては、共同研究先である東京大学地震研究所が千葉大学をはじめとした共同利用研究所の機能を活用して、全国の大学の協力の下600台以上の地震計を徳島県から鳥取県にかけて大規模に設置し、この測線上で行われる人工震源(TNT火薬500kg:3発破、100kg:6発破)による地震波を観測した。

今後はこれらの海陸で得られた観測データの処理解析を行いフィリピン海プレートの沈み込み構造の解明を目指す。

#### (b) 日本海溝地震発生帯研究

日本海溝域における地震発生メカニズムを明らかにするために、青森沖から三陸沖にかけての構造探査データを使用して速度構造を求め、さらに構造や反射面のイメージングを行った。

1968年十勝沖地震(Mw=8.2)と1994年三陸はるか沖地震(Mw=7.7)の二つの地震時破壊領域が重なり合う領域を横切るように実施した青森県沖における探査データの解析では、屈折波解析により求めた速度構造を使って、広角反射波を構造上にマッピングすることにより地殻構造のイメージングを試みた。この結果、i) 地磁気異常に対応する高速度領域が測線陸側浅部に存在すること、ii) 海洋性地殻の沈み込み角度が、海溝の西約80kmで急変すること、iii) 沈み込み角度が急

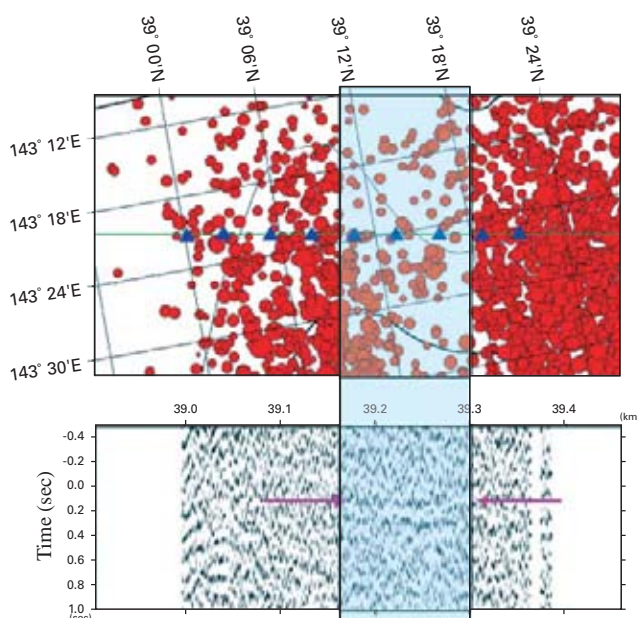


図19 三陸沖プレート境界域における強反射面分布

変する部分における海洋性マントル上部は、周囲のマントルよりも低速度であることなどが明らかとなった。

また、微小地震活動が海溝軸に沿った南北方向でも顕著に変化している三陸沖では、東経143度30分付近における3本の南北方向の測線データを使って、プレート境界面からの反射波強度分布をイメージングした。その結果、海面からの深さ13-15km付近に存在するプレート境界面からの反射波と微小地震活動との間には、地震活動の低い地域のプレート境界面は反射強度が強いという相関があることが明らかになった(図19)。

今後は、微小地震と大地震や相似地震の関連性に注目しながら、日本海溝域全体の地震活動メカニズムの理解を目指していく。

#### 地震発生メカニズムグループ

概要:地震発生メカニズム研究グループでは、沈み込み帯境界部の固体変形および固体反応と流体移動を含む固液相互作用がはたす力学挙動への効果について、物質科学的な研究を行っている。この物質科学的研究は3研究課題のもとで研究を推進している。

第1の課題はプレート境界域における物理/化学法則(構成則)を解明するための岩石試料を用いた変形・破壊および流動実験である。

第2の課題はプレートの沈み込みシステムを巨視的な観点から理解するため、過去にプレート境界を構成していた岩石体(境界岩体)の構成的研究である。

第3の課題は沈み込み帯におけるプレート挙動の微視的過程から巨視的過程を統一的に理解するための熱力学的、動力学的レオロジー研究である。

他大学と共同で岩石実験研究を進める一方で、地殻構造解析研究グループによる構造探査の研究成果とプレート境界岩の研究成果の比較検討を行い、プレート挙動モデリング研究グループのモデル研究に岩石実験や野外調査の成果を通して制約条件を提案するなど、他グループと連携して沈み込みプレート境界における破壊挙動の実体解明を目指している。

研究成果概要:

#### (a) プレート境界浅部研究:

国際深海掘削計画第190次、196次航海によって南海付加体で得られた掘削コア試料、掘削同時検層デ

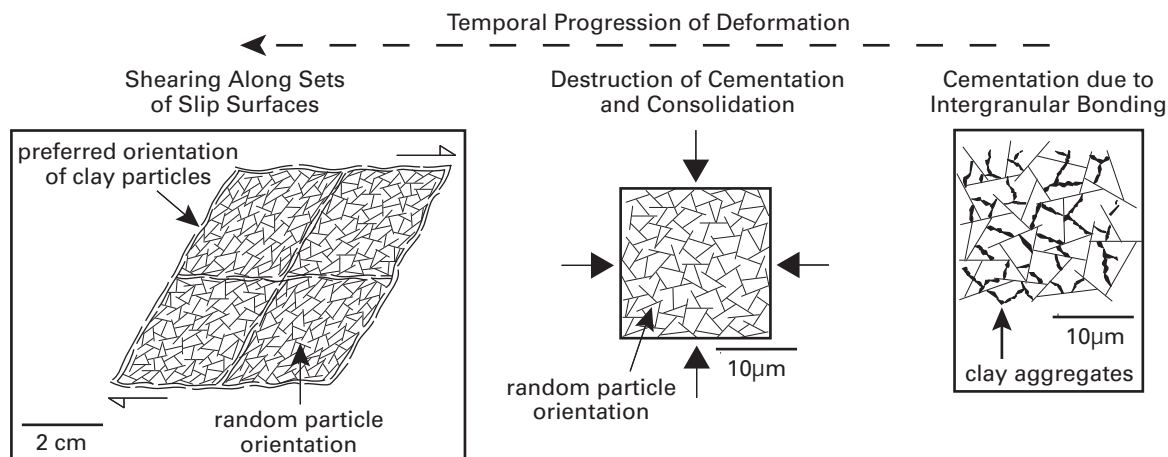


図20 デコルマ帯における変形進行過程

ータを用いた研究を行った。その結果、従来デコルマ帯は、一定応力レベルでクリープ性の定常すべりをしていると考えられていたが、実際には間隙水圧変動に起因してせん断応力が変化しており、これと対応して変形様式が変化することが明らかになった(図20)。

デコルマ帯では変形が集中することによって圧密が周囲の堆積物と比較して顕著に進行しており、下位の沈み込む堆積物からの排水が遮断されている。また、圧密進行後の間隙水圧上昇はデコルマ帯を過圧密状態にすることから、クラックの形成が促進され、クラック内部には流体がトラップされる。デコルマ帯によるシーリング及びデコルマ帯内部に発達する流体で充填されたクラックにより、高間隙水圧が発生・維持され、その結果デコルマ帯は付加体における応力・歪の不連続面となっている。今回明らかになったデコルマ帯で高間隙水圧を発生・維持するメカニズムは、沈み込みプレート境界浅部での非地震帯を規定する新たな要因となりうることが示された。

(b) プレート境界地震発生帯研究:

(i) 断層岩調査・試料分析

断層岩調査・試料分析は四国東部の牟岐メランジュと四国西部の興津メランジュを対象として行った。沈み込む堆積物がどのような変形・岩石化プロセスを経て震源物質へと進化していくかを明らかにするために牟岐メランジュにおいて変形組織解析、帯磁率異方性による歪み解析、および主要元素化学分析に基づく物質欠損量の定量解析を行った。その結果、沈み込む

堆積物はせん断変形の局所化に伴って押しつぶし作用の卓越したオブレートタイプの変形から、変形集中帯におけるプロレートタイプの変形へと進化しており、その間に流体移動に伴う圧力溶解によって約20%程度の可溶性元素の欠損が生じ、震源深度付近でウルトラカタクレールサイトを伴う脆性破壊が進行し、海洋地殻までもが引き剥がされていることが明らかになった。また、両メランジュの形成セッティングを明らかにし、現世震源領域と比較するために、地質構造調査およびビトリナイト反射率や流体包有物による温度圧力解析を行った。詳細な地質構造解析により、興津メランジュのデュープレックス構造やシュードタキライトを含む震源断層はそのルーフスラストに相当し、底付けユニットの上部に位置することが明らかになった(図21)。

両メランジュの温度圧力条件は、興津メランジュが270°C程度で、牟岐メランジュが約200°C程度で流体包有物による圧力分析は約200MPaに達していたことを示しており、これは現世南海トラフの震源領域の上限から中位の深度に位置づけられると考えられる。更に震源領域における流体移動の実態を解明するために透水試験と鉍物脈産状調査を行った結果、泥質岩には強い透水率異方性があり、牟岐メランジュ中の鉍物脈分布は泥質岩の卓越度合いに依存していることがわかった。一方、興津メランジュのシュードタキライトを含む震源断層は鉍物脈が異常濃集し、断層を固着していることが示唆される。このような断層に沿った鉍物脈の濃集は側方に不連続であることから、脈鉍物の沈殿が断層沿いに不均質に生じたものと推測される。

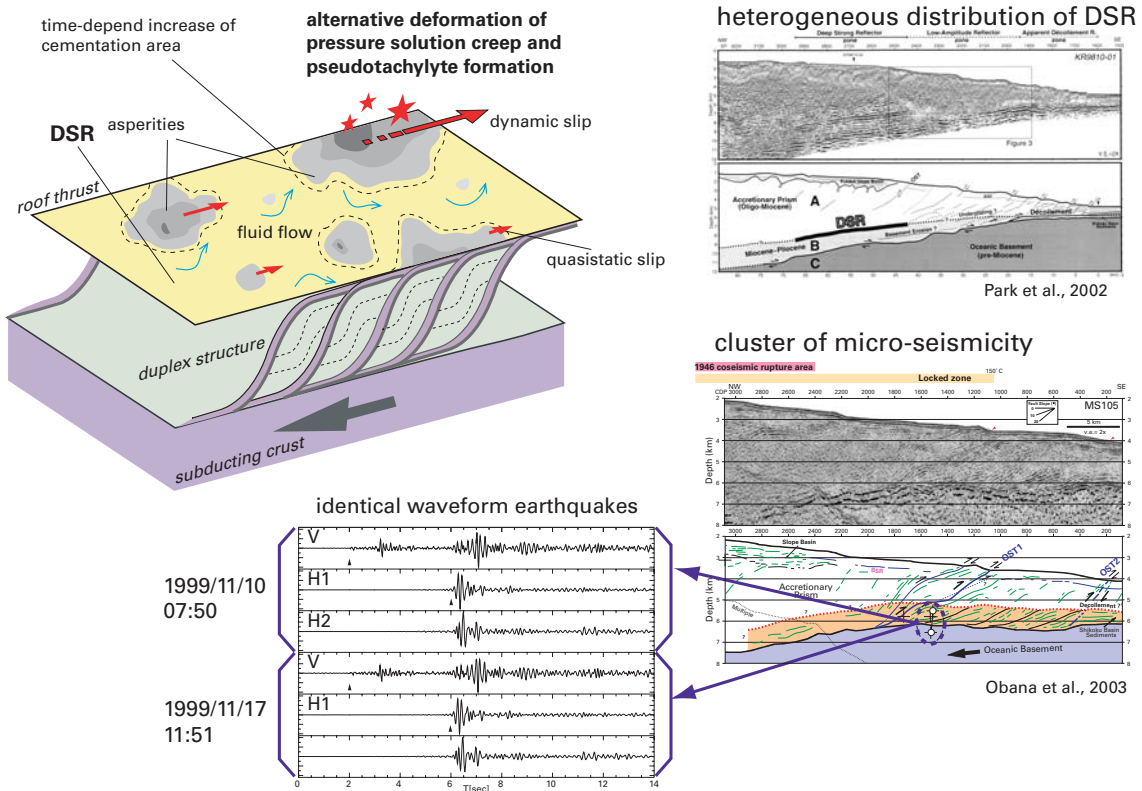


図21 断層帯に見られるシュードタキライトの形成過程と相似地震

(ii) 透水せん断破壊実験

沈み込み帯の地震の発生過程を記述するためには、沈み込み帯の断層を構成する岩石のせん断破壊損構成則や透水率構造の評価が必要不可欠である。四万十付加体興津メランジュ中の過去の震源断層帯に着目し、この断層帯を構成する玄武岩の破壊特性・透水率を地震発生環境条件下で求めた。その結果、透水率は $10^{-19} \sim 10^{-20} \text{m}^2$ と低い値を示した。せん断破壊後、破壊面の形成により透水率が一旦は増加するが、温度 $250^\circ\text{C}$ では50時間程度で3桁近くも透水率が減少した。これは断層帯では間隙水が捕獲され高間隙水圧状態の場が容易に発生させることを示唆している。また、せん断破壊過程の安定・不安定性を特徴づけるすべり弱化速度の値は、脆性条件で得られた花崗岩の値に近いことから、不安定性すべりが生じた可能性が考えられる。

(c) 分岐断層浅部研究：

1999年台湾・集集地震を引き起こした断層から採取した掘削コア試料を用いて、変形組織解析、歪測定、粒度分析、物性計算を行い、せん断時に間隙水圧が上昇して流動化を起し摩擦抵抗がほとんどゼロにな

ったことを提唱した。更に地震時に実際得られた速度データを用いて、リングせん断試験機による断層模擬物質の高速すべり再現試験を行い、すべり時に流動化が起こることを実証し、その際の力学挙動を明らかにした(図22)。これらの成果は、地震時に断層が高周波成分の加速度波形を出さずに滑らかにすべったことをよく説明できる。

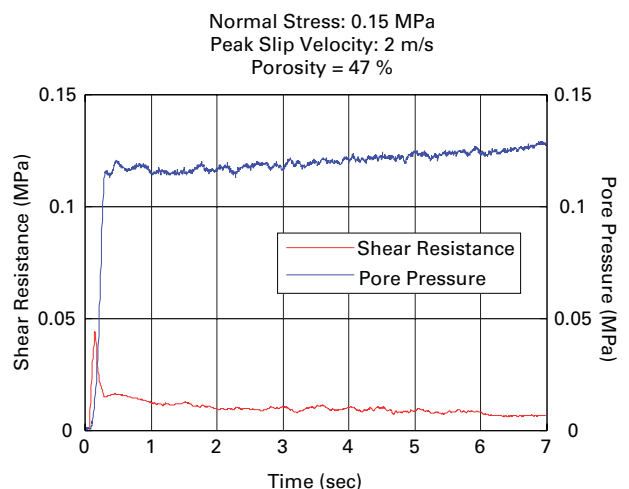


図22 断層模擬物質を用いた高速リングせん断試験で再現された液状化現象

一般に地下2~3kmまでの断層浅部はガウジなどの未固結物質で構成されており安定すべりの摩擦特性を持つと考えられている。しかし本研究成果は、高間隙水圧などにより断層が周囲より未圧密の状態、かつ間隙水圧の減衰時間が地震破壊時の継続時間より長い場合は、すべり時に流動化を起し破壊伝播を促進させうることを示している。断層における動的弱化的新たなメカニズムを提示するとともに、台湾・集集地震で観測されたユニークな破壊伝播メカニズムの成因を明らかにした。

(d) プレート境界深部研究

地震発生帯からクリープ領域との遷移帯にかけての破壊と流体移動過程の解明を目的として、過去の沈み込み境界岩である四万十付加体と三波川変成岩に発達するシールドクラックの精査を行った。三波川帯では、幾何学や分布様式、母岩との時空間関係よりシールドクラックが3タイプに分類され、構成鉱物と微細組織から各々が沈み込み時と底付け時、上昇時の3段階の変形運動に関連づけられることが明らかとなった。また、関東と四国の2地域では、同じタイプのクラックでも長さや幅の関係が異なり、開口時間や頻度、流体フラックスの地域差が示唆された。四万十付加体では、プレート境界上部におけるクラック力学系が海溝軸にほぼ垂直と平行な2方向の開口クラックの形成を示すこと、このときの主応力軸の最大軸は垂直で、最小軸と中間軸の交代が起きていることが明らかとなった。また、深部境界岩の温度圧力流体量経路を精密インバージョンする手法を確立した。この結果、三波川変成帯では沈み込み時と上昇時の温度圧力経路が同一であり、低圧時の準静的過程と高圧時の高速過程とに分離され、流体放出および変形速度の最大が高速過程に対応することが明らかになった。

プレート挙動モデリング研究グループ

概要：本モデリング研究グループでは、地殻構造解析研究グループなどによる構造探査研究成果を取り込むことで、より現実に近い地殻構造に基づいた数値モデリングを行っている。

また、地震発生メカニズム研究グループなどの岩石実験やフィールド調査の成果を取り込むことで、断層帯

の数値シミュレーションを行なうなど、IFREE内外での研究成果を取り入れてモデリング研究を行なっている。また、それらを統合したプレート挙動モデルの構築に向けて、地球シミュレータによる日本列島規模の地殻活動シミュレーションをはじめとして様々なシミュレーションコードの開発を行っている。

研究成果概要：

今年度は、特に地殻構造解析研究グループの研究成果を活用したモデリング研究の成果が、南海トラフと日本海溝で得られた。また、地球シミュレータを想定した数値シミュレーションコードの開発が進み、地殻活動や地震サイクル、マントル対流などの大規模シミュレーションを地球シミュレータで行うことが可能となった。

(a) プレート境界地震の震源過程解析

1944年東南海地震の震源過程を明らかにするために、津波波形インバージョン解析を行った。特に海溝軸付近での破壊域を詳細に把握することを目的として、プレート形状・津波励起モデルを改良した(図23)。図に示したように紀伊半島沖では、破壊域と構造探査から発見された分岐断層との間により相関が見られ、地震時にこの分岐断層が破壊した可能性が示唆された。

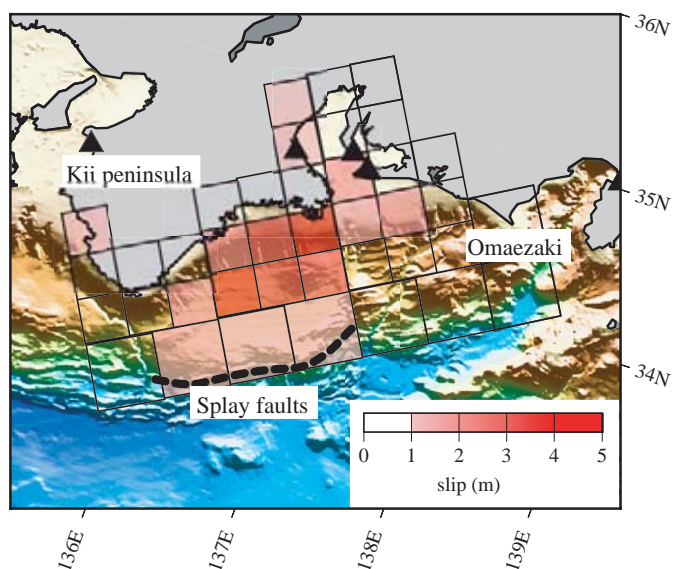


図23 津波インバージョンにより得られた1944年東南海地震のすべり分布。トラフ軸側のすべり分布境界域と分岐断層発達域とに良い対応が見られる。

(b) 沈み込み帯の温度構造モデリング

1973年根室半島沖地震の震源過程と構造との関係を調べるため、この地震の破壊域を横切る構造探査の結果に基づいて温度構造モデリングを行った。その結果得られた温度分布から、プレート境界の固着域がこの地震の破壊域を含む、より深部にまで広がっていることを明らかにした。さらに、震源再決定の結果、破壊域の深部延長に地震活動が集中していることを示した。

(c) S波速度異方性解析による応力場推定

沈み込み帯の応力場を推定するため、室戸沖で海底地震計によって観測された地震波形のS波速度異方性解析を行った。その結果、室戸沖に沈み込んだ海山の周辺で応力場の不均質が生じていることをはじめて明らかにするとともに、そのパターンが海山の沈み込みによる応力変化から期待されるものと調和的であることを示した(図24)。

(d) 日本列島域の地殻活動シミュレーション

東京大学大学院理学系研究科との共同研究により、日本列島域のプレート境界面の三次元形状と粘弾性すべり応答関数をカップルさせたプレート沈み込みモデルを構築し、プレートの定常的沈み込みに伴う長期的な地殻変動のシミュレーションを行った。この理論モデルから計算されるフリーエア重力異常を観測データと比較することにより、島弧-海溝系を特徴付けるフリ

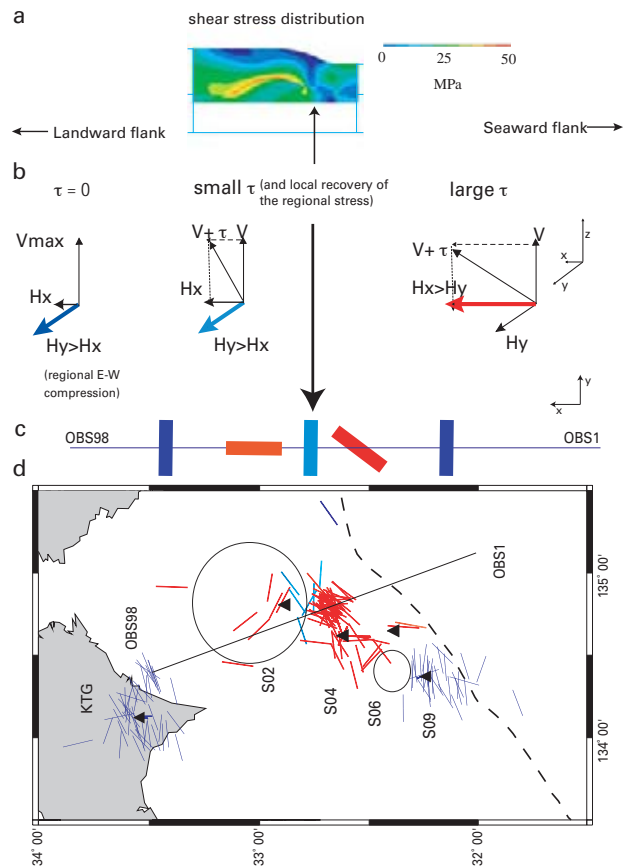


図24 室戸沖海底地震観測で得られた地震波形のS波速度異方性解析結果と海山沈み込みによる応力場変化

ーエア重力異常の大局的なパターンだけでなく、プレート境界が大きく水平屈曲する地域に見られる特徴的な負の重力異常が、プレート境界面の三次元形状に強く規定されていることを明らかにした(図25)。

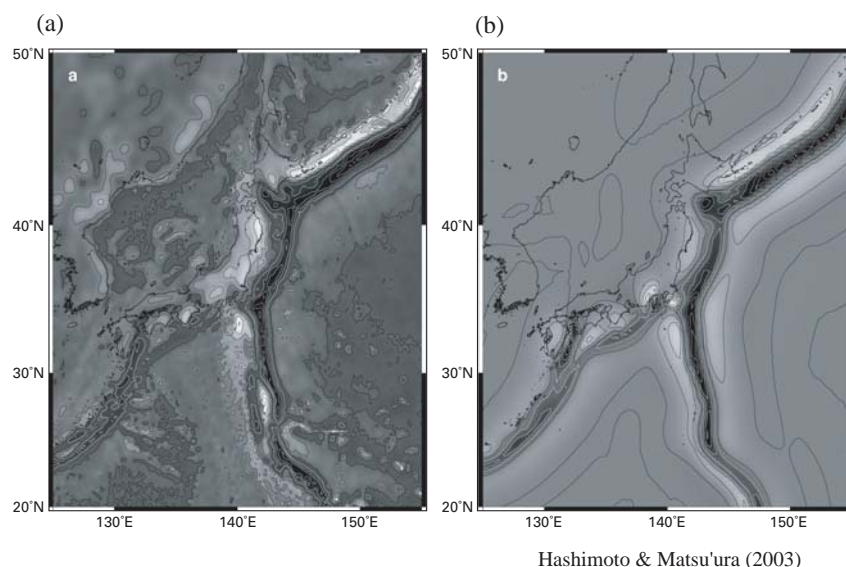


図25 観測結果から得られたフリーエア重力異常 (Sandwell & Smith, 1997) と地殻活動シミュレーションから計算されたフリーエア重力異常変化率。両者のパターンが調和的であることを示している。

(e) 地球シミュレータ上でのシミュレーションコード開発  
 地質学的時間スケールでの沈み込み帯の活動・進化に重要な役割を果たすと考えられるマントルと沈み込むプレートとの相互作用を調べるために、3次元矩形領域内のマントル対流シミュレーションコードを開発し、地球シミュレータへの最適化を行った。また、構造探査や震源過程解析、岩石実験などの成果を統合した南海トラフ地域の地震発生モデルの構築に向けて、大規模地震サイクルシミュレーションコードを開発し、地球シミュレータを用いた計算によって、複雑なプレート形状の影響が震源域のセグメント化をもたらす可能性を示した(図26)。この他、横ずれプレート境界での地殻活動シミュレーションコードの地球シミュレータへの最適化、断層帯周辺の流体挙動を扱うために間隙流体の流れを考慮した粘弾性有限要素コードの開発等も進めた。

今後の展望

今後は日本列島周辺の地震発生帯における構造研究、岩石試料分析、岩石実験等の物質科学研究ならびに地震発生過程や熱・応力解析等のモデリング研究を推進し、沈み込み帯におけるプレート挙動モデルの構築を目指す。また、プレート挙動モデルを構築するためには日本周辺に限らず環太平洋域の沈み込み帯研究が重要であり、このためには国内はもとより、海外の研究機関との協力体制の構築が重要である。

一方、研究成果の検証やプレート挙動に伴う諸現象を理解しその予測を行うためには、深海掘削計画との連携や地球シミュレータを活用した大規模モデリング研究等の推進が必要不可欠である。

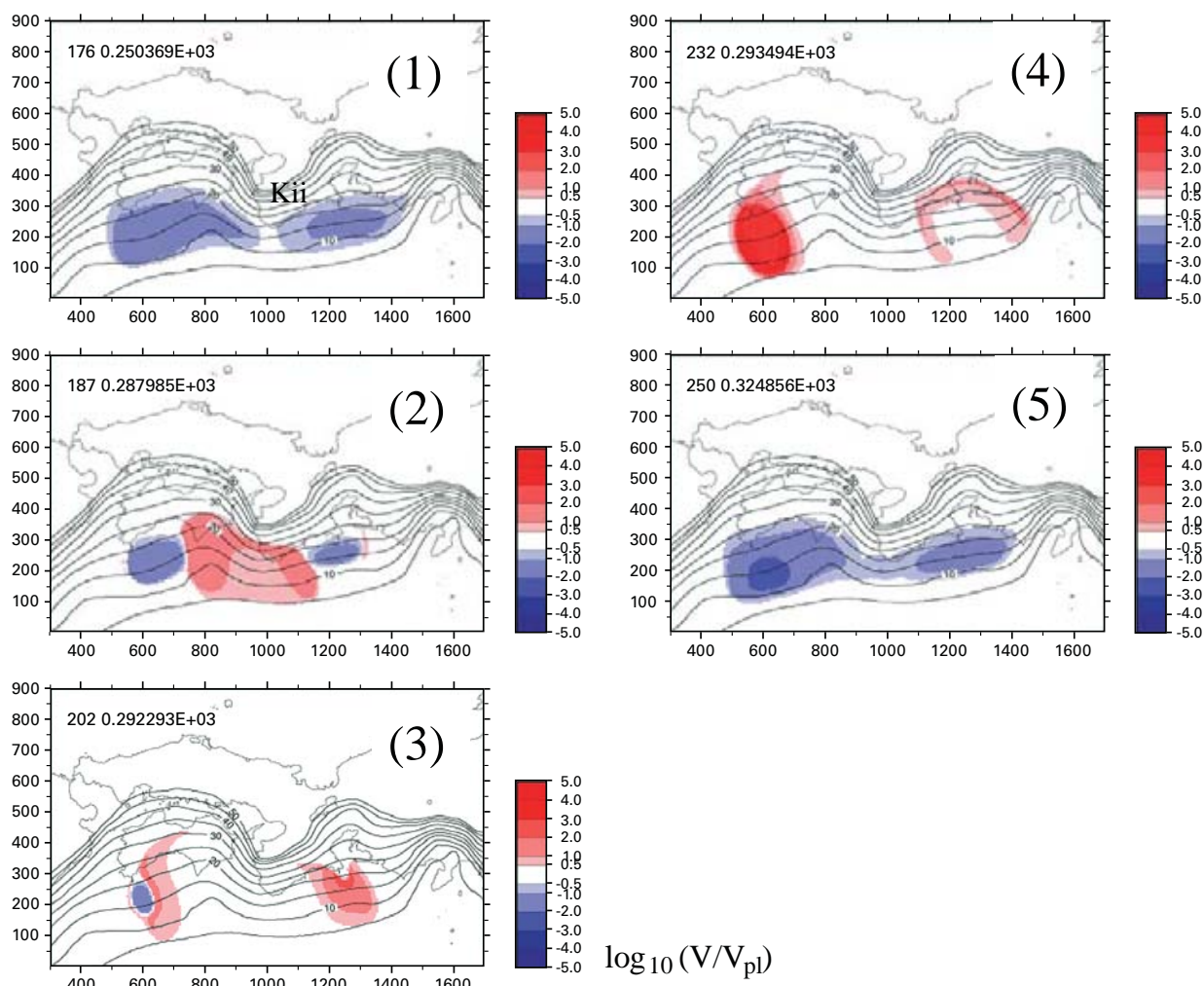


図26 南海トラフにおける地震発生サイクルシミュレーションの例。赤色は不安定すべり領域を、青色は固着領域を示している。(3)から(4)で紀伊半島の東西に不安定すべり領域が現れている。

## 4) 地球システム変動研究領域

概要：地球システム変動研究領域では、「地球内部と地球表層の環境や生物は、従来考えられていたよりもはるかに密接な相互作用を行っている」という新しい「地球-生命観」の確立を目指している。研究は、海洋底に記録が良く保存されている過去2億年間のうち、白亜紀の温暖地球環境と新生代の寒冷地球環境を研究のターゲットに設定した。具体的な研究は3つの柱に従って進めている。1) モデル海洋における物質循環の理解と新しい環境プロキシの確立、2) 新規プロキシを用いた地層記録の詳細な解読、そして3) 環境システム変動のモデリングである。現在、全体の研究目標のうち以下の3項目について研究を行っている。

- ・ 白亜紀の温暖地球環境と特殊生物生産システムの研究：地層記録の解読とモデルオーシャンのフィールド研究
  - ・ 収束する海陸境界域における有機物の埋没とその地層中での変質過程に関する研究：グローバル炭素循環の鍵
  - ・ 過去2億年の大陸配置・海洋底古地形の変遷・古環境変動のデータベースに関する研究
- ここではそれぞれについて研究概要を報告する。

## 研究成果概要：

## (a) 白亜紀の温暖地球環境に関する研究

## (i) 白亜紀黒色頁岩試料に関する研究

温室地球である白亜紀には、海洋深層が無酸素になった地質学的イベントが何度もあり、そのたびに黒色頁岩と呼ばれる有機物に富んだヘドロが汎世界的に堆積したことが知られている。われわれはこの海洋無酸素事変が起こった原因と当時の生物地球化学的プロセスを理解するために、中部イタリアおよび南部フランスで採取されたこの黒色頁岩層を用いて研究を行ってきた。イタリアで採取された9300万年前の黒色頁岩中に含まれる有機炭素の炭素同位体比を高分解能で測定した結果、周囲よりも15パーミルも軽い同位体比をもつ厚さ数ミリの粘土層を黒色頁岩中にはじめて見出した(図27)。これは粘土層が堆積した当時、メタンを出発点とする生態系が比較的大きな割合を占めていたことを示唆している。現在この層準からバイオ

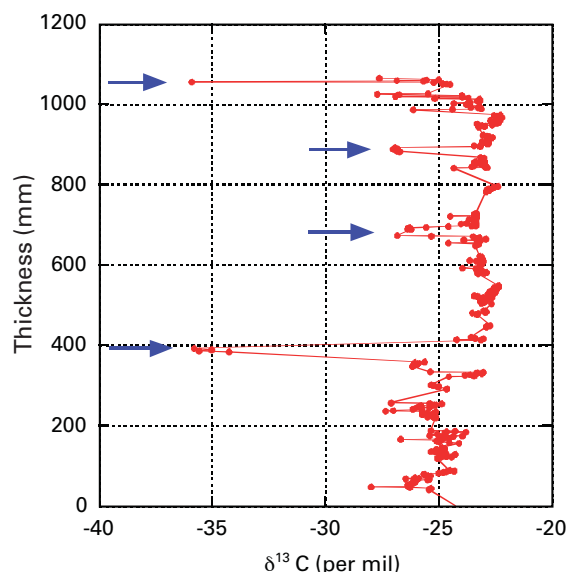


図27 白亜紀セノマニアン/チュロニアン境界に産する黒色頁岩の有機炭素同位体比。青矢印の部分が周囲より特異的に軽い同位体比をもつ粘土層。

マーカーの分析を試みており、生化学の知識を応用してより詳細な古環境の解析を行っている。

また南フランス、Vocontian Basinに露出する白亜紀黒色頁岩試料について主要元素分析ならびに微小領域における堆積物粒子レベルの地球化学分析を現在試みている。近い将来、バクテリアに満ちた黒色頁岩の堆積過程が明らかになるであろう。

## (ii) 白亜紀黒色頁岩のモデル海洋研究

鹿児島県上甕島の貝池は、酸化還元境界が水界中に存在する白亜紀の無酸素海洋のモデル海洋である。そこでは通常の真核生物ではなく原核生物である光合成細菌が光合成を担い生態系の基盤を支え、水柱がバクテリアに満ちた特殊な生態系が成り立っている。われわれは湖水の環境測定・生物調査と表層未攪乱堆積物の採取を行い、物性測定・ファブリック解析・各種地球化学分析を行った。

水深5m付近にある酸化還元境界では光合成細菌である紅色硫黄細菌と緑色硫黄細菌はそれぞれの光環境および酸化還元環境に適応した深度に生息していることが、これらの細菌によって特徴的に生合成される色素化合物であるバクテリオクロフィル*a*および*e*の詳細な分析により明らかになった(Nakajima et al., in press)。またこれら光合成細菌の窒素同位体比から、

これらの細菌が窒素固定を行っていることを明らかにし、白亜紀黒色頁岩層の分析から推定されたことを裏付ける結果を得た。現在、電子供与体としての水素の酸化還元境界における役割を明らかにすべくバイオマーカーの水素同位体比の測定に取り組んでいる。

貝池に隣接する海鼠池の湖心部の堆積物中には、湖底から硫化水素が発生する環境であるにもかかわらず、原生生物の底生有孔虫 *Virgulina fragilis* が生息している。この有孔虫は、硫黄酸化細菌と葉緑体様粒子を細胞内に共生させており、硫化水素環境下に適応している。嫌気環境下で起こる微生物共生の地球史における意味を理解する例として、現在、遺伝子解析を始めとする様々なアプローチを通じて、微生物共生の実態に迫っている。

#### (b) 海陸境界域における炭素循環

##### (i) 速い堆積速度をもつ海陸縁辺部における堆積プロセスの観測

相模湾を堆積物付加の多い大陸縁辺海のモデル海洋として、堆積過程と物質循環の観測を行っている。1996年以降、海洋表層あるいは陸からの堆積物の移動集積について観測を継続しており、堆積過程の概要は明らかになっている (Kitazato et al., 2003)。堆積物付加の多い海域では、海洋表層から直接沈降する粒子に比べ、陸源物質あるいは海底リサイクル粒子が大きな割合を占めている。有機物粒子も例外ではなく、さまざまな起源のものが混在している。現在、海底における物質循環、とくに炭素収支の定量を目的として、<sup>13</sup>Cで標識した単細胞藻類を海底現場で与える培養実験を行っている。その結果、深海のバイオマスの多くを占める底生有孔虫類が1週間以内に沈降する新鮮な粒子を多量に細胞内に取り込むことを明らかにし、有孔虫が一次消費者として沈降有機物をまず分解することを示した (Nomaki et al., in press) (図28)。一方、多細胞メイオベントスは新鮮な餌を摂食しないことから、高次消費者である。なお、一部の底生有孔虫種は新鮮な沈降粒子を取り込まず、細菌を餌としている可能性があることを明らかにした。今後、脂質分析と安定同位体分析を行い、大陸縁辺海における食物連鎖過程と有機物の変質過程を明らかにする予定である。



図28 現場飼育実験の際に、単細胞藻類を多量に摂取して緑色になった有孔虫、*Uvigerina akitaensis* Asano

##### (ii) 新生代堆積物試料に関する研究

###### ① オホーツク海の堆積物解析

オホーツク海から数多くのピストンコア試料を採集し、古海洋環境変遷を明らかにすべく、現在解析中である。北西太平洋日本近海域の水深500-1000mに現在分布する北太平洋中層水 (NPIW) と呼ばれる水塊は北西太平洋の海洋物質循環を左右する鍵を握っている。その形成過程には日本海から流入する宗谷暖流水による高塩分水の供給が必要であると予想されている。そこで、オホーツク海南西部の海水中の溶存無機炭素の安定同位体比をトレーサーとして、日本海水のNPIWへの寄与を見積もったところ20%にも達することがわかった (Itou et al., 2003)。今後、氷期-間氷期のオホーツク海環境変遷の全体像を明らかにするために、過去の宗谷暖流の挙動に注目して、コアの解析を継続して行う予定である。

なお、オホーツク海に関しては、高橋 孝三教授 (九州大学) ほか国内外研究者と連名で、IODPプロポーザルを提出中であり、新生代後期以降の北半球の寒冷化とその中での寒冷地球システムの変動の実態解明を目指している。

## ②相良油田掘削

堆積速度の高い前弧域における炭素循環プロセスの解明と、埋没した有機物の分解・合成における地下微生物の関与の検証のため、平成13年度末に掘削した相良油田のコア試料について、詳細な機器分析等を行なった。岩相記載と物性測定の結果、岩相・物性・油兆は極めてよい相関を持ち、特に、密度の高い緻密な礫岩の下位に位置する、孔隙率の高い未固結砂岩で油兆を示すことが確認された。分析は、現在検討中の事項が多く、2003年9月の日本地質学会でテーマセッションを設け、データを集約する。

### (c) 地球システム変動のモデリング

過去2億年間にわたる地球システム変動のモデルを検討するに当たり、gPlate Projectを立ち上げた。この計画は、過去2億年の大陸配置・海洋底古地形の変遷を、プレート運動を忠実に復元することによって再現するとともに、地質、古環境変動情報のデータベースを構築することを目指している。平成14年度には、国際ワークショップを開催して内容を検討した。

### (d) 新しい測定技術・装置の開発

地球システムの進化を実証的に明らかにするためには、(1)海洋環境の変化を地層記録から復元するための新しい環境指標を確立すること、(2)堆積物-水境界の酸化-還元状態を把握できる微小環境計測技術を開発すること、(3)精密地層記録解読を行うための微小領域の測定技術・装置を開発すること、が重要であり、地球システム変動領域では、これらの新しい測定技術・装置の開発にも力を入れている。平成14年度は、水塊中および表層堆積物表面の可視画像を自動的に取得するOguri-Viewシステムの開発、堆積物-水境界の酸素濃度分布をマイクロメートルオーダーで現場測定するマイクロエレクトードシステムの開発、堆積物-水境界の2次元の酸素濃度を可視化するオプトードシステム(図29)の開発を行った。

(3)については、海底掘削コア、陸上ボーリングコアの非破壊表面の2次元多元素の分布を明らかにするための非破壊蛍光X線多元素空間分布解析コアロガーの開発を行ってきた。装置はミクロンオーダーでの高精度・高定量で2次元多元素分布を明らかにする微小



図29 平成14年度に導入された堆積物-水境界の2次元の酸素濃度を可視化するオプトードシステム



図30 海底堆積物コア表面の2次元多元素分布を迅速に測定するコア対応型コアロガー(TATSCAN-F2)

領域型コアロガー(TATSCAN-F1)とミリメートルオーダーで迅速に2次元多元素分布を明らかにするコア対応型コアロガー(TATSCAN-F2)(図30)を開発しており、後者は、地球深部掘削船「ちきゅう」号、高知大学海洋コア総合センターに設置された。

以上の測定技術・装置の開発は地球システム変動の解明のために不可欠であり、今後も継続的に取りこんでいく。

## 5) 分析解析センター

分析解析センターは、(a)試料分析部門、(b)データ解析部門、(c)地殻構造探査解析部門から成る。試料分析部門では、電子プローブマイクロアナライザー、表面電離型質量分析計、四重極型ICP質量分析計、蛍光X線分析装置、希ガス用質量分析計の設置を行い、岩石、流体試料の化学的分析を開始した。データ解析部門では、太平洋域地球物理観測ネットワークで得られる、広帯域地震波形、及び地球電磁気学的データをデ

ータベース化し、データセンターのホームページから公開するシステムを開発した。また、短周期地震計の波形からP波到着時を自動的に読み取るシステムを開発した。地殻構造探査解析部門では、四国から関東地域にかけての黒瀬川構造帯において蛇紋岩の形成と成長の解明に関する研究を実施した。また、IFREEで実施する構造探査において収録されるデータ解析に必要な手法の開発を行い、二船によるMCSデータの解析および新たな手法の適用を試みた。さらに従来使用されるラドン変換に代わってメジアンフィルターを適用することにより、一次反射波の品質を向上させた。

#### 試料分析部門

概要：分析解析センター・試料分析部門の使命のひとつは、固体地球統合フロンティア研究システムにおける物質科学的研究及びOD21と連動して、岩石・流体試料について、化学的・物理的データを生産することである。また、その目的に必要な、効果的かつ確度の高いデータを得られる分析手法を開発することである。これらの分析は、大学の連携研究拠点と共同して行っている。

火成岩・堆積岩・化石などの固体試料および堆積物間隙水などの流体試料の化学的特性(主成分・微量成分・極微量成分・同位体比組成・放射年代など)を明らかにするために、専門研究者・技術者によって維持管理された最先端分析機器群を、センターおよび大学の連携研究拠点と連携して設置した。

#### 研究成果概要：

##### (a) 電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)：

鉱物などの微小領域に対する主成分元素組成を分析する本装置は、センターに設置した2台を用いて、昨年度行った標準試料を用いた分析プロトコルの最適化に基づき、本年度は岩石試料中の鉱物・ガラスの主成分および微量成分の分析を開始した。

##### (b) 表面電離型質量分析計(TIMMS)：

連携研究拠点既設の1台のTIMMS、連携研究拠点およびセンターにそれぞれ設置した2台のTIMMSを用い、岩石試料中の微量Pbおよび極微量Sr, Nd, Os, Ru同位体比分析法を確立した。分析感度、精度共に世界のトップレベルを達成している。

##### (c) 四重極型ICP質量分析計(QP-ICP-MS)：

連携研究拠点既設の1台のICP-MSおよびセンターに設置した1台のICP-MSを用い、岩石試料中の極微量元素及び白金族元素定量法を確立した。分析感度、精度共に世界のトップレベルを達成している。

##### (d) 蛍光X線分析装置(XRF)：

センター既設の波長分散型XRFおよび新規に設置した多元素同時XRFを用いて、標準試料、分析条件の再検討を行った。新設のXRFで、岩石・堆積物中の主成分元素(SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)を、既設のXRFで微量元素(Rb, Ba, Th, Nb, Pb, Sr, Zr, Y, Ni, Cu, Zn, S)の定量を開始した。

##### (e) 希ガス用質量分析計：

本装置は希ガス同位体の分析およびK-Ar年代測定を行うために設置された。また本装置に付属する装置として、岩石・鉱物試料からのガス抽出と精製を行い、タンタル炉を装備した超高真空ラインを構築した。標準ガス試料の同位体分析を繰り返すことにより基礎データを採取し、高感度・高分解能の性能が出ていることを確認した。

##### (f) マイクロドリル：

連携研究拠点に設置した1台のマイクロドリルを用いて、鉱物(主に斜長石)中の微小領域試料を採取し、そのSr同位体比を分析する方法を確立した。

##### (g) クリーンルーム：

極微量元素の同位体分析や定量を目的として、岩石・鉱物試料の前処理を行うためのクリーンルームを設置した。実験室内で使用する機器の整備、実験を行うために必要な器具の洗浄等を行い、低ブランク下での試料の分解、目的成分の分離などの前処理を行うことを可能とした。

#### データ解析部門

##### (a) 電磁気データ提供システム

IFREE分析解析センター・データ解析部門では、地震波形データ提供のためのNINJAシステムにならない、電磁場データ提供システムの開発を行っている。このシステム開発の目的は、複数のデータサーバをネットワーク上で統合し、データ取得者およびデータ提供者(データサーバ管理者)の両者のタスクを軽減させることで、データ使用・解析を活性化させることにある。

データ取得者は、標準のwebブラウザを使い、webサーバ経由でデータサーバから任意のデータを任意の

データフォーマットで取得することができる(図31)。データ検索機能については、データの期間および観測点による標準的な検索項目(simple search)に加え、地磁気擾乱度を示すKp indexや静穏日・擾乱日での検索、またデータ欠測率の項目選択によりデータ欠損の著しいデータを予め表示しない機能を新規開発した。検索したデータをリクエストすると、webサーバは各データサーバから対応するデータを取得し、1つのデータアーカイブの作成を行なう。データ取得者はこのアーカイブファイルをwebサーバからダウンロードすることになる。また、データサーバ管理者は、外部とhttp通信可能なRMIサーバをインストールし、データ更新に伴う諸業務を行なうだけで、本システムを通じデータを公開することが可能である。

この電磁気データ提供システムはJAMSTECのウェブサービスを通じて利用可能である(データサービスURL、<http://www.jamstec.go.jp/pacific21/>)。現在は海半球ネットワーク計画により設置・観測を行なっている磁場観測点でのデータを提供しており、今後は、海底ケーブル電位差データも含め、多機関の電磁場データ提供に利用することを目指す。

#### (b) 地震波到着時自動読み取りシステム

データ解析部門では、人工衛星経由で配信されるHinet地震観測網の地震波形データを受信している。この波形データを元に地震波到着時の自動検出システムを開発した。システムでは、観測網の561地震観測点すべてで地震波が観測された地震について解析を行うこととした。これまでに合計115個の地震が観測され、地震波

形を解析した(図32)。自動検出システムにより、データ処理を簡単にすることができ、通常約10分ですべての観測波形を自動的に解析できる。自動検出のアルゴリズムはオペレータが行う解析とは比較にならないほど速いが、やや精度は悪い。しかし、P波初動到着時の広汎なデータベースを蓄積することで統計的な方法によりこの問題を解決することができる。さらに、波形の振幅などの情報により、空間的な指向性と関連している地震波伝播の性質を調べることができる。例えば、インドネシアの近くで起きるマグニチュード5の地震は地震観測網によって容易に検出できるが、より短い震央距離の同規模の地震でも、別の場所(例えばMariana)で起きると地震計の記録にはほとんど見られないことがある。このようなデータを解析することで地震の起きる場所に依存した地震波形の特性についての情報が得られ、それによってP波到着時の精度を向上させることが出来ると期待できる。

#### 地殻構造探査解析部門

##### (a) 地殻構造探査データベースの構築

地殻構造探査解析部門では、IFREEでの構造研究を推進するための地殻構造探査データベースの構築を進めている。平成14年度は、そのデータベースの応用研究の一環として、蛇紋岩の形成と成長の解明に関する研究を実施した。四国から関東地域にかけての黒瀬川構造帯では、ブーゲー重力異常と地磁気ダイポール異常とが、表層地質に見られる蛇紋岩分布とよく一致する。1999から2002年の間に、ダイポール異常域にお



図31 Advanced searchの検索画面。データ期間、観測点名による標準的な検索に加え、地磁気擾乱度やデータ欠測率による検索項目を付加した。

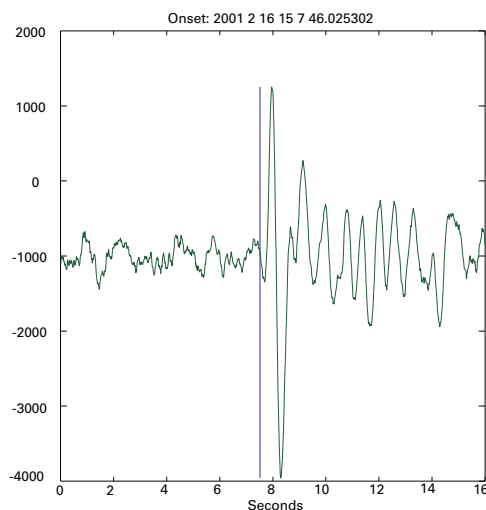


図32 P波到着時自動読み取りシステムの解析例。青い線で示した時間をP波到着時としている。

いて地質調査と岩石サンプリングを行った。それらの岩石資料を用いて、およそ100サンプルの古地磁気測定を実施した。蛇紋岩についてまとまった古地磁気測定を行ったのは本研究が初めてである。全磁力異常の大きい四国東部は、異方性も極めて大きく、一方向が3倍以上の帯磁率強度を示すことが明らかになった。岩石薄片では、2次的に成長した磁性鉱物が明確に観察された。一方、全磁力異常の小さい高知周辺では、蛇紋岩が見られず、イルメナイト構造が明らかになった。同じ黒瀬川帯でも、東西で蛇紋岩化度の違いがあり、累進蛇紋岩化作用を見ていると考えられる(図33)。

(b) データ解析および手法開発

IFREEで実施する構造探査において収録されるデータ(現在、マルチチャンネル反射法(MCS)データのみ)は、地殻構造探査部門で一次解析される。また、データ解析に必要な手法の開発も併せて実施している。平成14年度は、二船によるMCSデータの解析および新たな手法の適用を試みた。二船式調査の利点は震源-受振点間の距離(オフセット距離)の増大に伴う速度解析精度の向

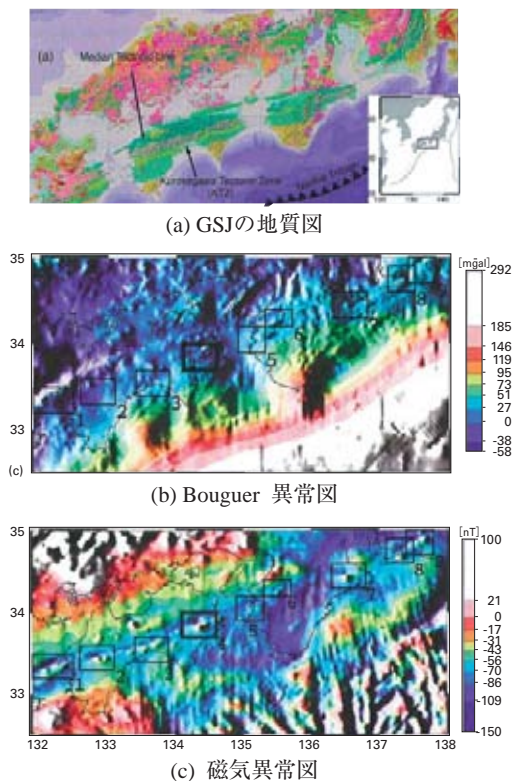


図33 西南日本の広域地質(上図)、ブーゲー異常(中図)および磁気異常図(下図)。地質図はGSJ[1995]、重力・磁気異常データはGSJ[1996]を使用した。

上および深部イメージングのS/N比の向上である。一方、短所は多重反射ノイズの干渉によってシグナルである一次反射波の品質が低下することである。本研究では、従来使用されるラドン変換に代わってメジアンフィルターを適用することにより、一次反射波の品質を向上させた(図34aおよびb)。その結果、AVO(Amplitude Variation with Offset)解析による反射面直下の地層のポアソン比等の物性値を推定できる可能性が出てきた(図34c)。

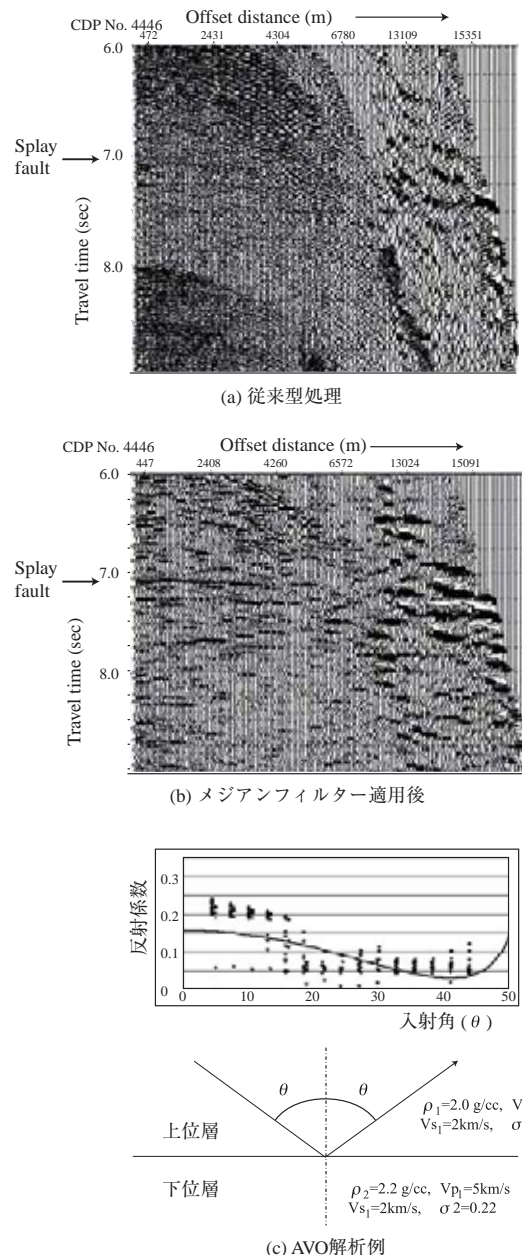


図34 二船式データの解析例。上から従来型処理(a)、メジアンフィルター適用後(b)、AVO解析例(c)を示す。(c)上図中の黒点は観測された反射波の振幅値、曲線は想定される物性値から求められる理論値を示す。同下図は、理論計算時に使用したモデルであり、この場合、反射面直下のポアソン比は約0.22と推定される。

## 8. 地球フロンティア研究システム

### (1) 全体としての出来事・活動

地球フロンティア研究システムは、地球温暖化などのさまざまな地球変動メカニズムの解明と予測の実現を目的に活動を展開し、平成14年10月で発足6年目を迎えた。平成14年度の大きな出来事は、文部科学省の「人・自然・地球共生プロジェクト」が開始され、地球フロンティア研究システム(以下、地球フロンティアと呼ぶ)から3課題が採択となってプロジェクトを開始したこと、また、「地球シミュレータ」が本格稼動し、地球フロンティアの研究者も多数の課題で地球シミュレータを使った高度のモデル開発を進めるようになったことである。また、例年のように、国際協力のためのワークショップを開いたり、国際会議その他の行事に参加した。以下、これらの活動について概略を記す。

#### 1) 人・自然・地球共生プロジェクト

文部科学省では、科学技術会議による重点分野を研究する施策として、リサーチ・レボリューション2002(RR2002)を立案し、環境分野においては、地球温暖化、異常気象など人類の生活、産業に重大な影響を及ぼす問題について、その現象を科学的に解明し、適切な対応をとることができるようにすることを目的として「人・自然・地球共生プロジェクト」が立案された。このプロジェクトでは、

(a) 温暖化予測「日本モデル」ミッション：気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次評価報告書に寄与できる、より信頼度の高い温暖化予測を目指してモデル開発を行う。

(b) 水循環変動予測ミッション：アジア・モンスーン地域における陸水循環過程を解明し、水循環モデルを開発することにより、季節～年オーダーの水資源・水災害の予測を実現することを目指す。

という2つのミッションに関わる6研究課題と両ミッション実現に必要なデータを整備する課題が設定された。

公募の結果、合計22件の応募があり、審査の結果、各課題の実施機関が表1のように選定された。

表1に示されているように、課題2、課題7の2つのプロジェクトが地球フロンティアを中心として実施されることとなった。また、住教授を代表者とする課題1のサブ課題として、モデル統合化研究領域の江守研究員をサブ課題責任者とするプロジェクトも実施されることとなった。

#### 2) 地球シミュレータ本格稼動開始

平成14年3月に当初の予定通りに完成し、試験運転期間中にそれまでの世界記録の5倍の能力を実証した地球シミュレータ(ES)は、7月から一般ユーザーの利用に供されることになった。課題公募に際して、地球フロンティアからも多数の研究グループが応募し、次の8課題が採択された(表2)。

表1

課題番号	研究課題名	主管研究実施機関名	研究代表者
1	大気海洋結合モデルの高解像度化	東京大学気候システム研究センター	住 明正
1	同上	電力中央研究所	丸山 康樹
2	地球温暖化予測統合モデルの開発	海洋科学技術センター (地球フロンティア研究システム)	松野 太郎
3	諸物理過程のパラメタリゼーションの高度化	東京大学生産技術研究所	安岡 善文
3	同上	東京大学大学院理学系研究科	日比谷紀之
4	高精度・高分解能気候モデルの開発	地球科学技術総合推進機構	松尾 敬世
5	広域水循環予測及び対策技術の高度化	三菱重工業株式会社	植田 洋匡
6	水資源予測モデルの開発	山梨大学	竹内 邦良
7	四次元同化システムの高度化及びデータセットの整備	海洋科学技術センター (地球フロンティア研究システム)	淡路 敏之

表2

	研究課題	領域	責任者
1	正二十面体格子を用いた全球非静力高解像度大気大循環モデルの開発	モデル統合化	佐藤 正樹
2	全球・地域スケール化学輸送モデルによる大気組成変動とその気候影響の研究	大気組成変動予測	秋元 肇
3	雲分解能領域気候モデルによるアジアモンスーンシステムの解明	水循環予測	吉兼 隆生
4	日本近海予測実験を念頭においた超高解像度世界海洋大循環モデル実験	気候変動予測	鍵本 崇
5	高並列化効率を有する立方格子系海洋大循環モデルの開発	モデル統合化	田中 幸夫
6	地球環境変化予測のための地球システム統合モデルの開発	共生 課題2	松野 太郎
7	フル結合四次元データ同化システムの研究開発初期値化・再解析データの構築	共生 課題7	淡路 敏之
8	海洋結合モデルによるプロセス研究と季節予報実験	気候変動予測	山形 俊男

### 3) 国際研究協力のための会合

#### (a) 気候モデルに関する日欧ワークショップ

平成15年3月に行われた日-EUワークショップの前段階として、地球フロンティアの気候変動予測研究領域とヨーロッパの研究者との協力を進めるため、平成14年9月17日より19日まで横浜研究所において上記ワークショップが開催された。モデル研究の科学的背景、地球シミュレータ上で動かされるモデルの検討、今後のモデル研究の動向等の研究発表が行われた。また、日欧共同研究テーマについて話し合わせ、モンスーン、エルニーニョと南方振動(ENSO)、インド洋ダイポールモード現象(IOD)、IODとENSOのテレコネクション、季節内変動とスケール間相互作用、海洋データ同化、及び季節予報等の課題が挙げられた。これらの課題は地球シミュレータによる高解像度結合大循環モデル実験により実施される。ワークショップの最終日には共同研究に関する課題についての話し合いが行われた。

#### (b) 第2回アジアモンスーンに関わる領域気候モデルのワークショップ

上記ワークショップが、平成15年3月4日から6日まで横浜研究所において開催された。このワークショップは、平成14年に国際大平洋研究センターの主催により開催された領域気候モデルワークショップを継承するものであり、地球フロンティアとアジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画(GAME)国際科学パネルとの共催で実施された。海外からの約20名の参加を含む58名が参加し、領域モデルを利用した研究では、

日本・韓国・中国の梅雨とその年々変動に関する発表が多く行われた。ワークショップでは、①領域気候モデルの開発および領域気候モデリングの進捗状況と問題点、②モンスーンシステム研究への領域気候モデルの応用、③気候プロセス研究における領域気候モデルの応用、④モデルシミュレーションの検証と物理過程の有効性、⑤領域気候モデル研究の今後の方向性とコミュニティグループとしての協力体制、について活発な議論が行われた。最終日に行われた総合討論では、①4月中旬にプロシーディングスをまとめること、②気象学会の英文誌である気象集誌の特集号の出版をめざすこと、③IPCCに関わる領域規模の気候予測に貢献するため、モデルの感度解析に関するモデル間比較実験を計画すること、④地球シミュレータを利用した領域気候モデルの研究を推進するため、ワークショップの参加メンバーの一部でコンソーシアムを編成し利用申請すること、などが決まった。

#### (c) 第2回気候変動に関する日-EUワークショップ

平成15年3月13日から14日まで、欧州委員会の主催により、ベルギーのブリュッセルで上記ワークショップが開催され、地球フロンティアが日本側の組織と事務局を担当した。同シンポジウムは、第3回日-EU科学技術フォーラムに基づき、1999年3月に開催した「EU-Japan Workshop / Symposium on Climate Change '99」に引き続き、2回目となる。第1回目シンポジウム以降に立ち上げられた気候変動研究プログラムが紹介され、特に、文部科学省の「人・自然・地球共生プロジェクト(共生プロジェクト)」の6課題から活動報告がな

された。特に地球シミュレータを使った気候モデリングに関しては、地球フロンティアの次世代モデル開発も加え、日本全体の最初の状況が紹介され、強い印象を与えた。同時に、「共生プロジェクト」とEUの「研究・技術開発に関する欧州第6回枠組みプログラム」については、その目的の共通性が確認された。開催結果として、共同声明文が作成され、①季節から10年スケールの気候変動予測、②高度気候及び地球システムモデルの開発、③全球気候観測システムへの共同貢献、④地球シミュレータを利用した研究のさらなる発展が今後の具体的な協力分野として挙げられた。

#### 4) 参加行事

##### (a) 持続可能な開発に関する世界サミット

平成14年8月末から9月の始めに、南アフリカの首都ヨハネスブルグで上記サミットが開催された。地球フロンティアは、サミットの本会場から約5km離れた「ウブンツ村」に設営されたジャパンパビリオン内の、宇宙開発事業団展示ブースにおいて、活動を紹介した。期間中開催されたセミナーでも、関係者による事業紹介がなされた。サミットで採択された実行計画には、気候変動、水循環、生態系、大気、温暖化、国際協力等、地球フロンティアの研究と深く関わりのある事項が多く盛り込まれている。

##### (b) 第3回世界水フォーラム

平成15年3月16日から23日まで京都・滋賀・大阪にて上記フォーラムが開催された。「水をめぐる紛争」、「水や食料の不足」、「水質汚濁による不衛生な生活条件」、「洪水の危険」等の水に関するあらゆる問題を解決することを目的として設立された同フォーラムの第3回目では、水問題解決への具体的な行動を起こすための議論を行い、その行動の出発点となることが目的とされた。地球フロンティアは、国立京都国際会館にて展示を行った宇宙開発事業団のブース内において、研究紹介を行った。

#### 5) 受賞

平成14年度の日本気象学会賞を「熱帯域の気候形成とその変動に関わる大気・海洋相互作用の研究」において、国際大平洋研究センターの謝研究員、同

学会藤原賞に「GAMEを中心とするアジアモンスーンに関する研究の推進」により、水循環予測研究領域の安成領域長、「台風および熱帯擾乱に関する数値実験的研究」に関して、同領域山岬サブリーダーが受賞した。また、大気組成予測研究領域の秋元領域長は、国際学術誌Atmospheric Environmentより、「Anthropogenic Emissions of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in Asia: Emission Inventories」の論文に対してハーゲン・シュミット賞を、生態系予測研究領域のダイグループリーダーは「リモートセンシングの環境応用」の分野において、武田研究奨励賞を受賞した。その他にも地球フロンティア関係者がそれぞれの所属団体より、さまざまな賞を受賞した。

#### (2) 各研究領域における研究

##### 1) 気候変動予測研究領域

本領域は、大気海洋結合系で起こる季節から数十年規模の様々な現象のメカニズムの理解を深め、気候変動予測可能性の向上を目指している。特にインド洋ダイポール (IOD) や中緯度の大気海洋相互作用を中心に、既存の大循環モデルによる実験やデータ解析を通じて研究を行なっているが、地球シミュレータ (ES) を利用した超高解像度シミュレーションの準備も着々と進められている。

##### (a) モデル研究グループ

##### (i) 熱帯・中緯度域の気候変動

大気・海洋大循環モデル (AGCM/OGCM) 及び結合モデルを用いて、IODとその全球的な気候への影響とを調査した。日欧協力体制の下、結合モデル SINTEX-F1.0 を ES 用に最適化し、新たに海水過程・海面高度の陽解法・河川流出等を組込んだ。このモデルの160年積分では ENSO や IOD が現実的に表現され、IOD の発生が ENSO の位相や低中緯度域の季節変動とは無関係なことが示された (図1)。さらに、AGCM (FrAM-1.0) 実験から、IOD が東アジアの天候に影響を与える2つの道筋が判明した。第1は太平洋西部から中国南部を経るテレコネクションで、第2は地中海・サハラ域を経るモンスーン・砂漠相互作用を介したものである。

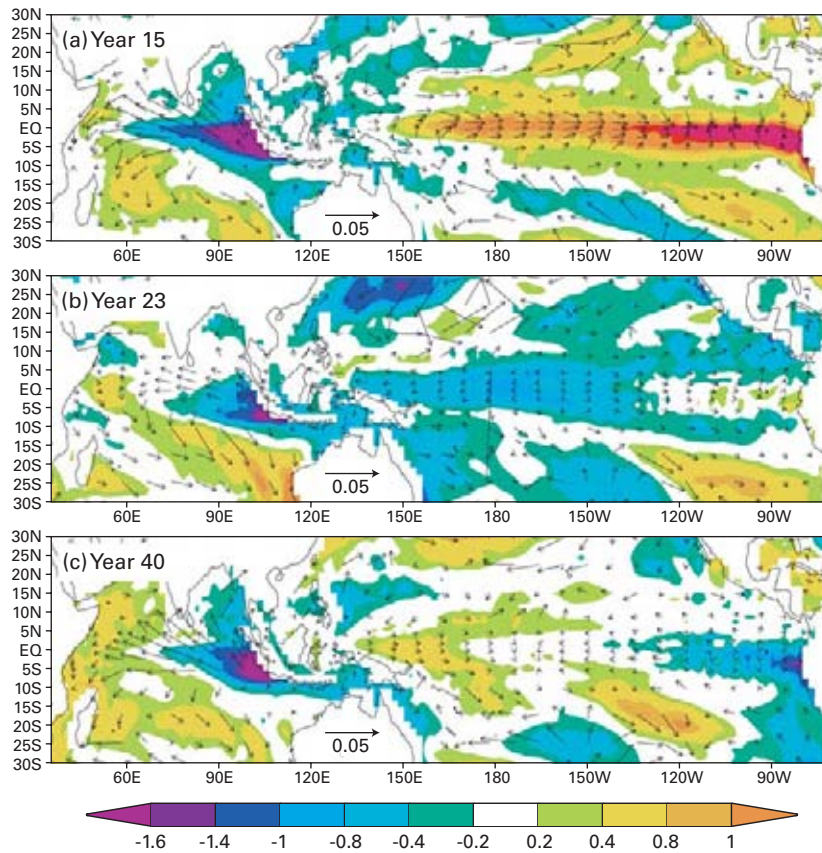


図1 太平洋の異なる状況下でIODが発生した時の海面水温偏差(カラー)と風応力偏差(矢印)の分布。海面水温偏差、風応力偏差ともに9月から11月の平均値。(a)エルニーニョ発生時、(b)通常の熱帯太平洋、(c)ラニーニャ発生時。熱帯インド洋のIODが熱帯太平洋の状態に関係なく発生していることが分かる。

(ii) 日本沿海予測可能性実験(JCOPE)

黒潮変動とその予測可能性の理解のため、北太平洋高解像度入れ子(JCOPE)モデルへの衛星海面高度偏差データの同化手法を開発してきた。今年度は、船舶やARGOフロートの垂表層観測データも同化できるよう改良し、黒潮変動がより現実的に再現できるようになった。また、アンサンブル予測実験から、日本南岸の黒潮流路が九州南東沖の中規模渦の存在に敏感なことを示した。

(iii) 地球シミュレータセンター(ESC)との共同研究

OFES(ES用に最適化されたOGCM)を用いた全球海洋循環の渦解像積分が50年分行われ、水平0.1度・鉛直54層のOFESの気候学的状態では、海洋中規模渦の活動がその強さ、空間分布ともかなり現実的なことが分かった(図2)。黒潮とその続流域、南極周極流域、アフリカ南東のアギュラス海流域等にお

ける活発な渦形成や局所フロント構造もよく再現された。これとは別にESCと共同開発中のプリンストンOGCMに基づく超高解像度GCM(PFES)も、ESへの移植とテスト実験を完了した。

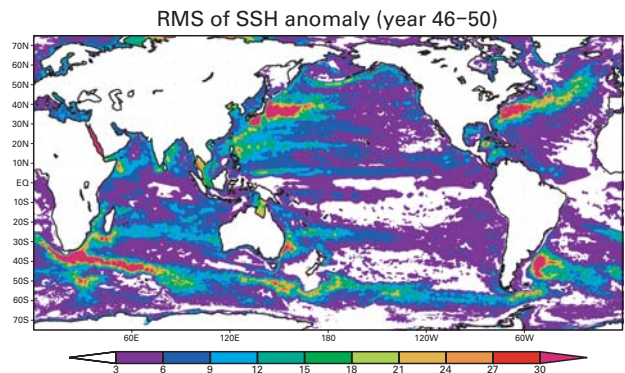


図2 OFESの結果を用いて計算された海面高度変動の分布。西側境界流付近と南極周極流域で見られる活発な渦活動は、人工衛星の海面高度計データによるものとよく一致している。

## (b) 気候診断グループ

## (i) 中高緯度大気の長期変動

アリューシャン・アイランド両低気圧強度間のシーズン関係(AIS)が、1970年代以降と比べ、1950～60年代には出現し難かったことが分かった。その原因は、近年は真冬の北米上空で偏西風蛇行が強まる傾向にあり、定常ロスビー波束を北太平洋から北大西洋まで伝播させ易かった事である。また、1950～60年代は北東太平洋上空の循環偏差が比較的小規模で持続性が弱かった事も原因である。一方、海面水温偏差を与えないAGCMでもAISが長期変動することから、変動の原因として大気循環の内部力学の重要性が示唆された。

## (ii) 中高緯度大気海洋結合系の気候変動

高解像度の乱流熱フラックスデータの解析から、北太平洋亜寒帯フロント域の十年規模変動に伴う暖(寒)水温偏差が、海面からの熱輸送を強化(弱化)させる傾向を見出した(図3)。これは、他の中高緯度海域と

は異なり、同フロント域では海面水温偏差が大気を強制する事を示す重要な証拠で、それがストームトラックの変動を介し上空の大気循環偏差を強化させる可能性も示された。

## (iii) ESCとの協力

世界最速の超高解像度AGCM(AFES)の検証として、全球10km解像度の積分にて、冬の総観規模低気圧や小規模な寒冷低気圧のメソ構造だけでなく、その背後の寒気吹出しに伴う低い積雲の組織化や地形性降雪も良く再現される事を確認した。

## (c) 予測可能性研究グループ

乱流系の熱力学的性質に基づく予測可能性の基礎研究から、乱流系の平均的状态では、熱散逸や粘性散逸(乱流散逸)によるエントロピー生成率が最大となることが分かった。その結果、例えば有効位置エネルギー散逸率を用いて、多重安定状態を持つ非線形流体系の相対的安定性が示し得ることが示唆された。

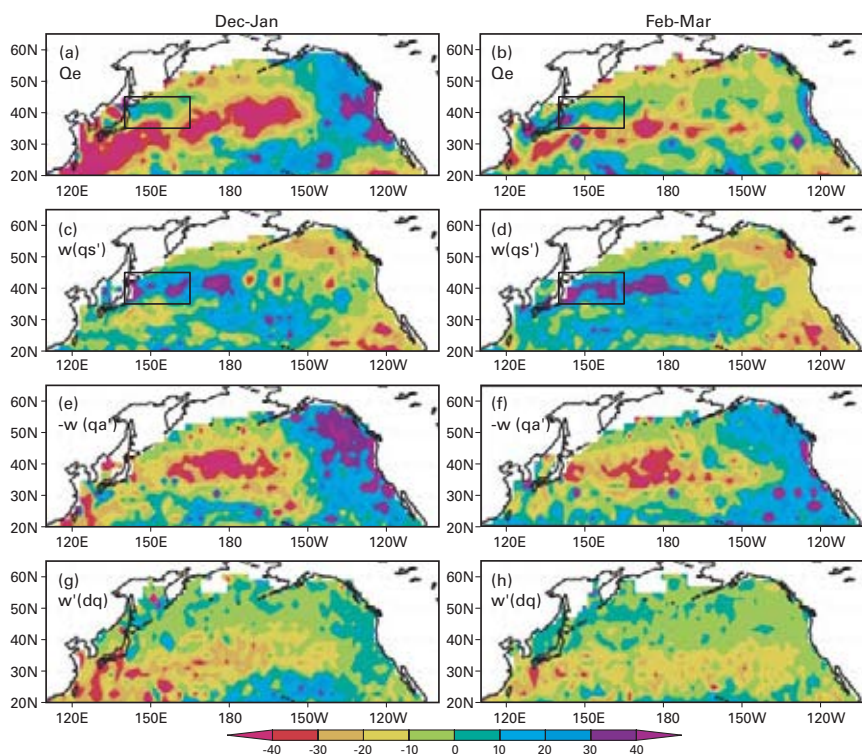


図3 北太平洋固有の十年規模気候変動に伴う熱フラックスの典型的偏差を、変動の兩位相の差として、(左列)11-12月と(右列)1-2月について示した図。(a, b) 海面からの上向き潜熱フラックスの偏差( $W/m^2$ )、及びその各偏差に対する(c, d) 海面温度偏差からの寄与、(e, f) 海上気温偏差からの寄与、(g, h) 海上風速偏差からの寄与。

## 2) 水循環予測研究領域

モンスーン気候下に住む私たちアジアの人間にとって、非常に重要な問題は、私たちの生活基盤となっている水資源と、その源としての降水量がどのように変化するかということである。水循環予測研究領域では、アジアモンスーンとそれに伴う水循環、水資源が、どのようなメカニズムで変動しているか、人間活動の影響で、今後どのように変化するかという問題に、現在進行中の国際プロジェクトであるアジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画 (GAME) に参加するなど、積極的に取り組んでいる。

### (a) 広域水循環グループ

このグループは、気候の変化や変動が大陸または領域規模の水循環に与える影響や、逆に水循環から気候変動へのフィードバックに関する研究を行なっている。そのために、全球規模の再解析データ、衛星観測データおよび現地観測データを用いている。大循環モデル (GCM) や領域モデルから計算される水循環の種々の過程 (水文学的過程) が妥当に表現されているかを上記の観測データを用いて検証することも行なう。2002年度には下記の研究成果が得られた。

#### (i) 全球、大陸および領域規模熱・水循環の変動

熱帯における熱・水循環のトレンドについて調査した。用いたデータは全球格子点降水量データ (CMAP、GPCP)、対流活動の指標として外向き長波放射 (OLR)、NCEP再解析第2版から計算される非断熱加熱および大気循環の発散成分であり、最近の二十年間 (1979-1999) を対象期間とした。結果は、西部太平洋暖水域 (warm pool region) の東側で降水量の減少 (対流活動の弱化) を示し、関連する変化が太平洋域のハドリー循環およびウォーカー循環に見られた。特に1997/98のENSO活動以降の加熱・循環場の変化は顕著であった。

レナ河流域の気候学的な平均水収支を大気側の水収支から評価した。大気側水収支は、NCEP再解析第2版から算出した水蒸気収束とGPCPの降水量から計算した。夏季の蒸発量について、GAME-Siberiaで得られた3個所 (ティクシ、ヤクーツク、およびティンダ) での現地観測値の加重平均値と比較したところ、両者はよく一致した。

GAME再解析 (1998年4月から10月) を大陸規模河川流域での水収支という観点から評価した。時空間解像度が月ごと及び500km以上のとき、GPCPなどの観測値を基にした降水量データセットと比較して評価すると、寒冷域ではほぼよく一致し、温帯・熱帯域でも (すべてではないが) いくつかの地域で良い一致が得られた。一方、インドシナ半島を対象としたケーススタディでは、GAME再解析もGPCPもともに空間規模500km以下の降水の特徴を捕らえていないことがわかった。

全球土壌水分プロジェクト (GSWP) の第一期が成功裡に終了したので、その第二期を計画した。P. A. Dirmeyerと沖が科学計画と実行計画を立案し、2002年10月に米国Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA) で第一回の会議を開いた。20以上の陸面モデル (LSM) のグループが参加すると見込まれる第二期GSWPでは次の成果を目指す。①10年間分のオフライン計算を行ない全球規模の熱・水収支を精度良く推定する。②また陸面-大気相互作用とその長期的変動を調べる。沖はプロジェクトの共同責任者であり、データの取りまとめと水文学的検証を受け持つ。

#### (ii) 陸面 (積雪、土壌水分、植生) - 大気相互作用と気候変動

衛星データを用いたアジア北部の植生の解析から、初夏の植物の展葉が東部よりも西部において早く始まり、これが大陸規模の緑の波となって見えることを示した。この結果をまとめた論文は国際学会誌に掲載される。

地球観測フロンティア研究システム (FORSGC) が東シベリアヤクーツク周辺での現地観測の一環として飛行機観測を行なったが、そのデータを用いて付近の陸面および大気境界層の特徴を調べた。多様な陸面状態の分布を特定し、境界層での熱・水循環との関連を考察した。

季節スケールから経年規模における大陸規模積雪と大気循環場卓越モード (北大西洋振動 (NAO) または北極振動 (AO) として知られる) との関連を調査した。両者はともに準2年および準10年の周期を持ち、準10年周期の有意な共変動では積雪の変動が大気よりも数ヶ月先行していることが示された。

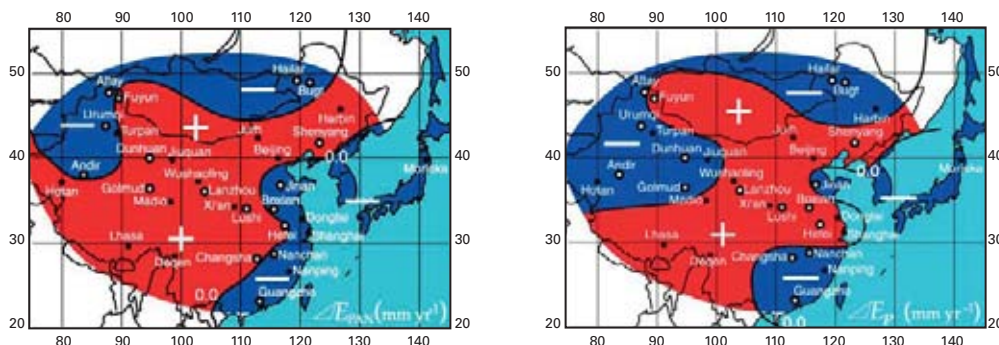


図4 左:パン蒸発量の傾向1971-2000(観測結果) 右:ポテンシャル蒸発量の傾向1971-2000

(iii) 気候変動と水文学的過程(水循環過程)

チベット高原を含む東アジア域での陸面熱・水収支のトレンドと気候的変動を解析した。用いたデータは1971年から2000年までの32個所の気象観測所における測定値である。熱・水収支の変化はポテンシャル蒸発量と wetness index (Kondo and Xu, ; 1997a, 1997b) で評価した。wetness index で分類した東アジア域の気候区分は植生分布とよく一致した。月平均気温はここ30年間で増加を示し、特に2月が顕著であった。地上気温(地表面温度)の日内較差は減少(増加)した。また、チベット高原から中国中部および北西部の南側にかけてポテンシャル蒸発量とパン蒸発量の増加が見られた(図4)。これは気温の上昇と地表面水分の不足を意味していると考えられる。

シベリアにおける夏季降水の東西シーソーの経年変動に関連した北ユーラシアの季節平均大気循環場に与えるストームトラックの活動度の役割について解析した。この東西シーソーのピーク時には、シベリア域は東西ダイポール型の降水偏差パターンで覆われる。この解析では Fukutomi et al.(2003)ですでに示したように、このような夏季降水の時空間変動が卓越した1972-2001年の最近30年間に注目した。2つの逆位相のピーク時は東シベリア多雨西シベリア少雨型および西シベリア多雨東シベリア少雨型で特徴付けられる。合成図および線形回帰解析の手法を用いて、これら2つの対照的な降水パターンに対応したストームトラックの活動度と平均場に対する総観規模擾乱の力学的強制について議論した。

地上観測に基づく雲のデータセットを用いて、ユーラシア大陸上の下層雲の気候学的分布およびその長期変動について調査した。最近の20年間で中国およびモンゴルでの下層雲発生頻度は明らかに減少した。対流性の雲の出現頻度の減少が中国全土で見られる一方、

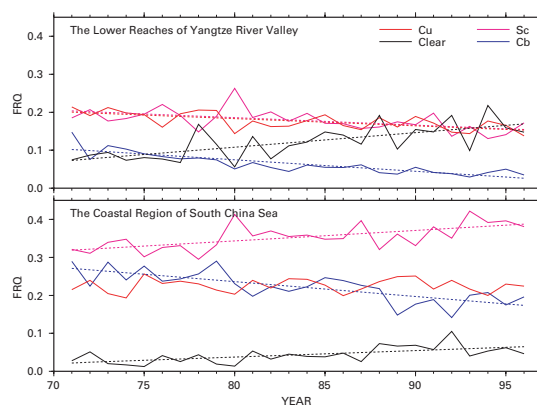


図5 1971年-1996年における長江下流域(上)及び南シナ海沿岸(下)での下層雲の出現頻度の時系列。有意水準5%で統計的に有意な線形トレンドを点線で示している。

層状性の雲の出現頻度が中国南部では夏季に増加していた(図5)。しかしながら中国での下層雲のこのようなトレンドは降水量のトレンドとの相関は小さかった。

中緯度北太平洋の海面水温(SST)の10年規模変動を調べ、その変動に対する海面と海面下における強制力の相対的な位置づけを行なった。海洋混合層の大きな季節変動を考慮して年積分値に基づいた診断的方程式を提案し、定量的に考察した。海洋混合層が深い黒潮-親潮続流域(Kuroshio-Oyashio extension)では海洋力学がSSTの長周期変動に重要であることが示された。

(b) 陸面水循環過程グループ

気候モデルに組み込むことのできる1次元陸面モデルを用いて、凍土透水性と地表水貯留の感度を調査した。大気状態はロシア連邦における凍土地帯のものを用いた。結果として、蒸発量がこれらの過程において高い感度をもつことが示された。年間の蒸発量が凍土透水性により減少し、地表水貯留によって増大される(図6)。

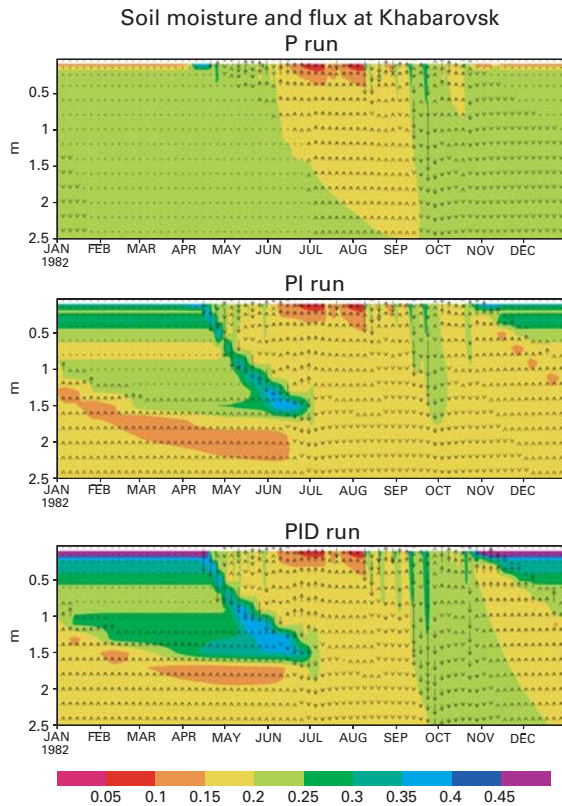


図6 ハバロフスクにおける日平均の土壌体積含水量(カラートン)と土壌水分フラックス(ベクトル)の時間-深さ断面図。上図:凍土透水性と地表水貯留がない場合。中図:凍結量に応じた凍土透水性があり、地表水貯留がない場合。下図:凍結量に応じた凍土透水性があり、地表水貯留がある場合。

アジア大陸における地表面過程の効果をデータ解析と数値モデルによって見積った。シベリアにおける地表面過熱は日本にしばしば冷夏をもたらす原因となるオホーツク高気圧の活動に影響を与えていることが確認された。

データ解析により、シベリアの地表面とオホーツク海高気圧の間の関係が次のように推測される。①大陸とオホーツク海との熱的コントラストにより対流圏下層に極向きの暖かく湿った移流が形成される。②温暖湿潤大気移流は東シベリア周辺で対流不安定を増加し、この領域に対応して積雲対流が形成される。③積雲対流からの潜熱解放に伴い大規模循環場が変形され、積雲対流活動域の対流圏上層部において高気圧性循環が形成される。④この高気圧性循環と偏西風の相互作用により対流圏上層リッジが形成される。⑤オホーツク海高気圧は上層リッジの東側に形成される赤道向きの移流に対応して強化される。

(c) 雲降水過程グループ

(i) 雲の微物理および放射特性のパラメータ化スキームの改良

雲粒凝縮核(CCN)のスペクトル及び雲底の上昇速度、鉛直積算雲水量を用いて水雲の光学的厚さ、雲粒有効半径及び数濃度を予測するための新しい方法を提案した(Kuba et al., 2003)。また、光学的厚さ及び鉛直積算雲水量、雲底の上昇速度の独立した観測データからCCN数濃度を推定する方法を提案した。これらのパラメータ化は最近開発された雲微物理モデルを用いて数値シミュレーションを繰り返すことで実現した。そして、Kuba and Iwabuchi(2003)は使いやすい近似を開発した。またこの研究では前の論文より上昇速度が大きい場合の近似を提案している(図7)。

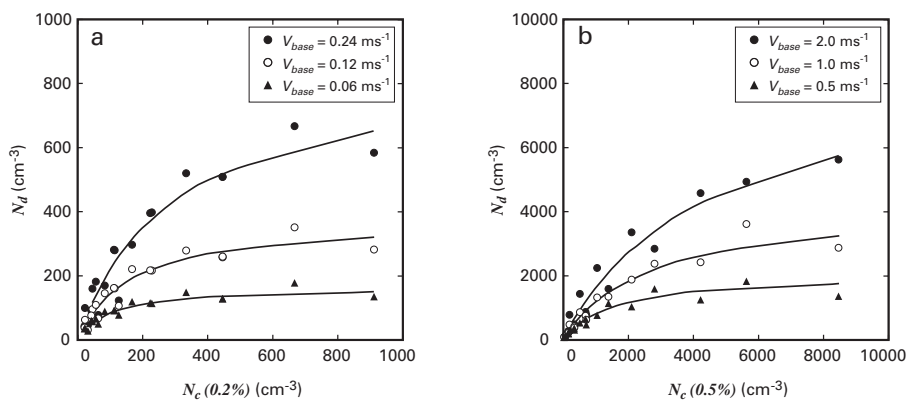


図7 a. 雲底から100m上の雲粒数濃度( $N_d$ )と過飽和度0.2%で活性化する雲粒凝縮核(CCN)の累積数密度 $N_c(0.2\%)$ の関係:雲底での上昇気流の速度0.06、0.12、0.24 m/sの場合。b. 雲底から100m上の雲粒数濃度( $N_d$ )と過飽和度0.5%で活性化する雲粒凝縮核(CCN)の累積数 $N_c(0.5\%)$ の関係:雲底での上昇気流の速度0.5、1.0、2.0 m/sの場合。

三次元的に不均質な雲の中での放射伝達の効果を調べるために、衛星から観測される放射輝度を三次元放射伝達モデルと水平・鉛直方向に不均質な確率論的境界層雲モデルを用いた数値実験によって求めた。その結果、三次元放射伝達と一次元放射伝達のメカニズムの違いが明らかとなった。雲の衛星観測においても三次元放射伝達の効果が重要と考えられるが、光学観測から境界層雲の光学的厚さと雲粒有効半径を推定するために多波長非局所データを用いた改良型の方法を開発した。この方法を用いると、4-10%の高精度で光学的厚さと雲粒有効半径を推定できることが示された。様々な条件でテストした結果、推定精度は今回用いたモデルの仮定には強く依存しないことが示され、雲の衛星観測の精度向上が期待される。

#### (ii) 雲解像モデルの改良と数値実験

前年開発され、梅雨前線に伴う雲集団に応用されたメソスケール対流解像モデル(MCRM)を台風Flo(T9019)のシミュレーションと理解のために用いた。国際モデル相互比較プロジェクトにおける他の研究者や予報センターによる結果と比較して、MCRMは降水の分布とその他の台風の特徴をよく再現できていることが示された(図8)。将来はさらにMCRMを改良す

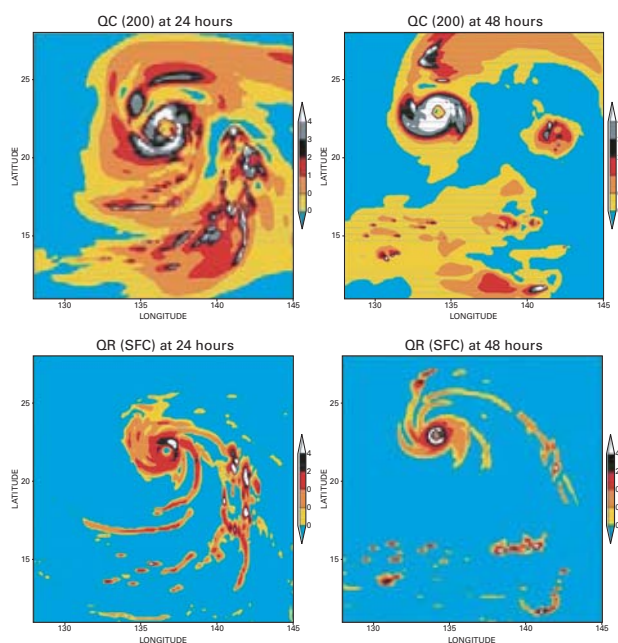


図8 モデル(MCRM)によって再現された台風Flo(T9019)の200hPaの雲水量(上)と低層の雨水量(下):計算開始から24時間後(左)及び48時間後(右)。

ることが望ましいが、水平解像度5-20kmのモデルにおけるサブグリッドスケールの積雲対流の効果のパラメータ化を考慮すると、モデルのパフォーマンスは十分なレベルであると考えられる。一方で、1kmの解像度で積雲対流を解像できる非静力学モデルも著しく改良され、熱帯のスコールラインのシミュレーションと理解のために用いられた。また、梅雨前線や熱帯低気圧のような気象現象を研究するために三重ネストグリッドのモデルを開発した。これはMCRMの今後の改良の基本となる予定である。

#### (iii) メソスケール対流システムの物理過程の理解

梅雨前線に沿うメソスケール対流システムの数値実験を行った。対象は1998年7月2日に、中国の阜陽レーダー・サイト(115.83E, 32.93N)の近くで観測されたシステムである。初期条件及び境界条件として二つのデータセット(GAME再解析およびECMWFデータ)を用いた。7月1日の06UTCのデータを初期条件として用い、18時間積分のシミュレーションを行った。GAME再解析データを用いて再現された擾乱は非常に強く、あまりに速く北東へ移動した。また、その移動の後には、強い対流は見られなかった。一方で、ECMWFデータを用いた場合は、前線や強い降雨のある領域の周辺で多くの対流システムが適切に再現された。またいくつかの感度実験により、地表面の条件はこの強い降雨現象に重要な役割を果たさないことが示された。

#### (iv) GEWEX Cloud System Study (GCSS) モデル相互比較

国際的モデル相互比較GEWEX Cloud System Study (GCSS)のケーススタディにふさわしいケースとして冬季モンスーンの雪雲システムを提案した。

### 3) 地球温暖化予測研究領域

本研究領域は地球温暖化予測に関わる研究を行っており、温暖化の影響とメカニズムを研究するグループ、3次元海洋モデルで炭素循環を研究するグループ、古気候のモデリングを研究するグループで構成されており、2007年に取りまとめられる第4次IPCC評価報告書に貢献することを目指している。

(a) 温暖化研究グループ

温暖化研究グループでは、温暖化に対する水蒸気フィードバックの役割、温暖化時の台風の動向、温暖化予測に用いる大気モデル(GCM)の放射フィードバックに関する研究を行った。

水蒸気フィードバックについては多くの温暖化実験で温暖化に対して正のフィードバックをもつことが示されているが、これは必ずしも自明ではない。たとえばLindzen(1990)は積雲煙突モデルを用いると水蒸気は負のフィードバックとなり地球温暖化は抑制されると主張した。そこで対流をパラメタ化しないで直接表現できる放射対流モデルを開発し、調査した。その結果、低い高度における水蒸気デトレインメントが沈降流域の大気を効果的に湿潤化するため、煙突モデルのようにならず、従来の温暖化実験でいわれていたように水蒸気は温暖化において正のフィードバックを持つことを確認した(図9)。

温暖化時の台風の動向に関しては、今年度は海面水温を変えずにCO<sub>2</sub>を増加させた場合の数値実験を行い、CO<sub>2</sub>増加に伴い一般的に熱帯域では台風のような渦運動が弱くなることを確認した。

放射フィードバックに関しては昨年度に引き続き全球平均気温の年変動に伴う放射フィードバックを、Earth Radiation Budget Experiment(ERBE)データを用いて解析した。その結果、全球平均地上気温の年変動から予想される大気上端での射出量変動の30%

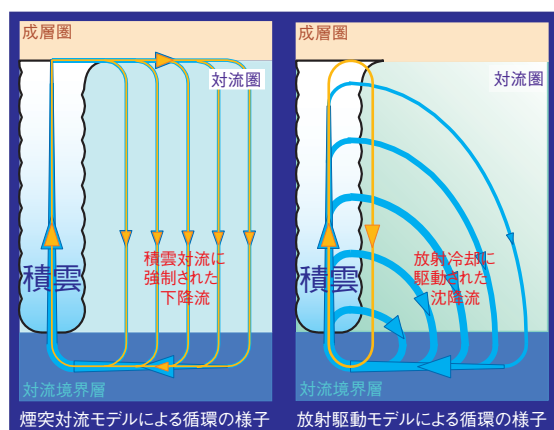


図9 積雲の周りの循環を表わす概念図。(図中左)積雲煙突モデルで仮定されている循環と、(図中右)本研究で得られた循環と。オレンジ色の矢印は積雲対流に伴う力学的な循環を、青い矢印は実質的な質量・水蒸気の循環を表わす。

が観測された変動量であり、70%は地球大気系の変化による放射フィードバックによって減少していること、このフィードバックは地球放射と太陽放射の両方に対し同程度に働いていることが分かった。

また同様の解析を3つのGCMに対しても行ったところ、どのGCMでも全放射フィードバックの値は観測とほぼ一致したが、地球放射と太陽放射の寄与はモデルごとに異なっており、それは雲のフィードバックのモデル間のばらつきによることが分かった。

(b) 炭素循環研究グループ

炭素循環グループは今年度、海洋生態系モデル(NEMURO)と海洋物質循環モデルを結合させた3次元生態系モデルを開発した。モデルは、地球温暖化の生態系への影響や、さらに生態系の変化が海洋物質循環や海洋によるCO<sub>2</sub>吸収への影響を予測するための、海洋生態系の動態や沈降粒子、主要な動物プランクトンであるカイアシ類の鉛直移住などを陽に表現している。クロロフィルや栄養塩濃度、CO<sub>2</sub>分圧の全球分布は、多少過大評価している地域もあるが、観測された分布をほぼ再現している。カイアシ類の季節移住による炭素の下方輸送量は年間0.1ギガトンで、深さ1000mにおける沈降粒子による下方輸送量の約5~10%に相当しており、必ずしも無視できる量ではない。

また、中規模渦がフロン分布に対する効果を理解するための第1ステップとして1/4度×1/4度の解像度の海洋大循環モデル結果を用いてフロンの拡散実験を行った。その結果、沿岸湧昇域や縁辺海における単位面積あたりの吸収量が外洋に比べて6倍になっており、そのような海域はフロン11に限らず人為起源CO<sub>2</sub>の吸収にとっても重要であろう。

(c) 古気候グループ

古気候研究グループでは、大循環モデルを用いた古気候実験を行い、気候変動のメカニズムを探るだけでなく、温暖化予測に用いるモデルの検証を行い、IPCC第4次報告への貢献もめざし大気海洋結合モデルの開発と氷床モデルの開発を行った。

これとは別に長期気候変動実験を行ったり、複雑な気候モデル結果の解釈に有用である、やや簡略化した気候モデルを開発している。今年度は特に氷期

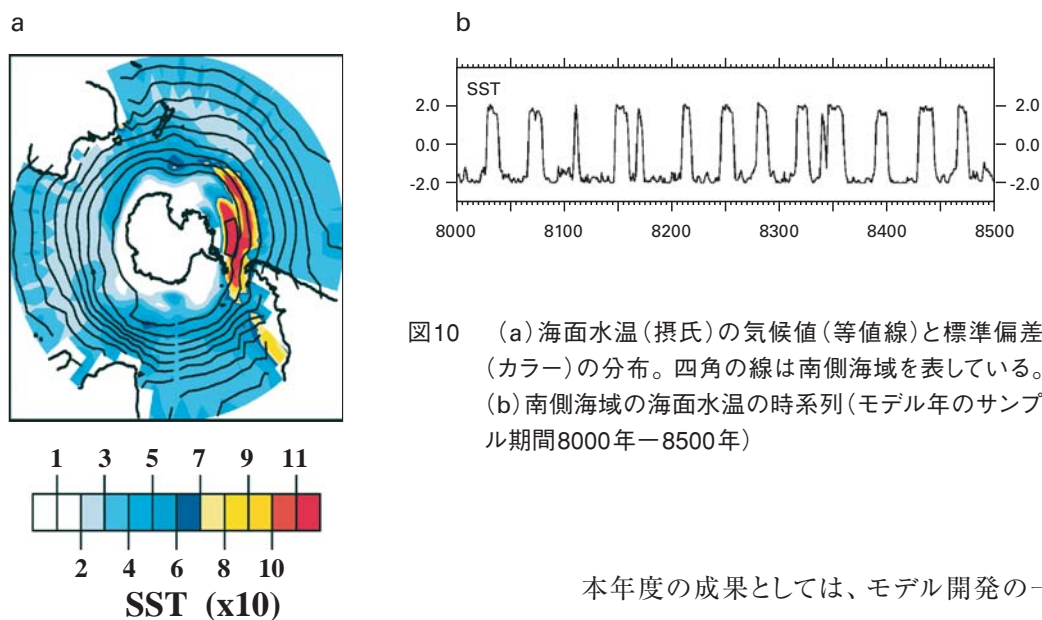


図10 (a)海面水温(摂氏)の気候値(等値線)と標準偏差(カラー)の分布。四角の線は南側海域を表している。(b)南側海域の海面水温の時系列(モデル年のサンプル期間8000年—8500年)

の千年規模の気候振動の研究のための開発・調整を行い、十分に現実的な海水分布とノル웨이沖で観測されているような深層水生成を再現するようになった。

その他、古気候データの時系列の分析をwavelet方法により行い、氷期の終期の特徴を解析した。また、気候の安定性と大気中CO<sub>2</sub>濃度変動による部分的な水量の範囲を調べた。限られた範囲でのCO<sub>2</sub>濃度変動は日射の範囲を減らし、部分的な氷解を起こす可能性があることが分かった。

古気候変動における海洋循環の役割を理解するために米国地球流体力学研究所の大気・海洋・陸面結合モデルを用いて感度実験を行った。コントロール実験の解析から、南大洋で顕著な30–40年周期の変動を見出した(図10)。間接的な観測データではあるがその解析からこのような時間スケールの変動が示唆されており、変動のメカニズム解明を引き続き実施している。この他海峡の開閉効果やグリーンランド氷床と南極氷床がない状態で、大気中CO<sub>2</sub>濃度が4倍になった場合の感度数値実験を行い、調査している。

#### 4) 大気組成変動予測研究領域

本領域では長寿命温室効果気体(CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>など)、短寿命反応性気体(O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>、CO、SO<sub>2</sub>、VOCなど)、及びエアロゾルの3つのカテゴリーの大気組成成分を対象として、それらによる大気質変動と気候変動の予測、及びそれらの相関による地球環境変動予測を目指している。

本年度の成果としては、モデル開発の一環として、高分解能全球化学輸送モデル、及び地域スケール化学輸送モデルがTRACE-P航空機観測データによって検証され今後のプロセス研究に道が開けたこと、温室効果ガスのソース・シンク解析用高分解能大気輸送モデルが並列化され地球シミュレータの利用が可能になったことがあげられる。また、北東アジア・東南アジアにおけるOH、HO<sub>2</sub>ラジカル濃度の地域分布パターンが、地域スケールモデルによって初めて得られた。中国における水田からのメタン放出に関する過去の集積データに基づき、地域毎のエミッションファクターを考慮した、メタンのエミッションインベントリによって、中国からのメタンの放出量は約7.7 Tg yr<sup>-1</sup>と得られた。この値は従来の値よりかなり小さく、今後はこの新しい値を用いることが推奨される。

#### (a) 全球化学輸送モデリンググループ

FRSGC/UCI CTMのモデルをNASA TRACE-Pキャンペーンで得られた航空機観測データに適用し、この高分解能全球化学輸送モデルによって、春季における西太平洋のオゾンの、前線の通過による変動、光化学生成、成層圏からの侵入などによる地域分布を極めて良く再現することに成功した。図11はTRACE-P期間中のDC-8及びP-3B航空機の航路に沿って、オゾンの正味の生成速度を比較したものである。図からモデルが観測で得られた緯度平均オゾン生成の垂直分布を非常に良く再現していることが分かる。この検証により、本モデルを大陸規模での人間活動による、全球の大気質及び気候変動影響の解析に用いる道が開かれた。

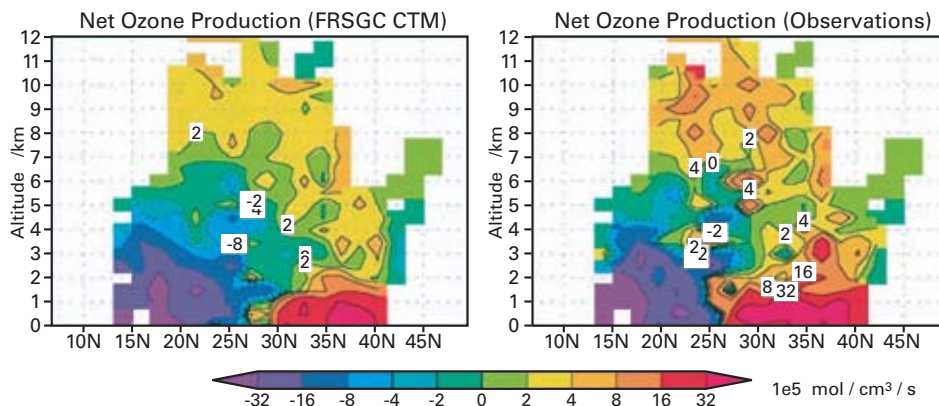


図11 TRACE-Pキャンペーン中のDC-8及びP-3B航空機の航路に沿ったオゾンの正味の生成速度のFRSGC/UCIモデル計算と観測との比較。北東アジアの境界層での大きな正味の生成、海洋上での正味の破壊、上部対流圏でのゆっくりした正味の生成について、モデルと観測の良い一致が見られる。

また、CCSR-NIES AGCMベースの全球化学輸送モデルCHASERを用いて、NASDA PEACE-A/B航空機キャンペーンに参加し、寒冷前線の通過による大気汚染物質の輸送を化学天気予報によって事前にとらえ、その分布を予測すること成功した。さらに、前年度開発された海塩粒子状の不均一反応を粒径別に扱う光化学ボックスモデル(SEAMAC)に、エチレン、プロピレン、アセトアルデヒドなど炭素数3までの炭化水素を組み込み、これらの海洋からの放出が海洋境界層内のハロゲン化学に及ぼす影響を評価した。

(b) 地域スケール化学輸送モデリンググループ

CMAC/RAMSモデルをNASA TRACE-Pキャンペーンの行われた2001年春季の東アジアにおけるOH及びHO<sub>2</sub>ラジカルの時間的・空間的分布に適用し、モ

デルの検証を行った。計算結果をDC-8及びP-3Bの観測結果と比較したところ、時間変動に関しては定性的に非常に良い一致が得られたが、一般に計算値は観測値を過大評価することが分かった。図12に計算によって得られた2001年3月7日の東アジアにおけるOH及びHO<sub>2</sub>ラジカルの分布を示した。

また、大気質予測モデルシステム(AQPMS)を用いて、東アジアにおける降水中pHの長期トレンドの計算を行った。結果を東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)及び中国国家環境保護局(SEPA)のデータと比較したところ、かなり良い一致が得られた。

(c) 温室効果ガスモデリンググループ

逆モデル技法を用いて将来のCO<sub>2</sub>観測網の最も効果的な配置の検討を行った。現在提案されている衛星

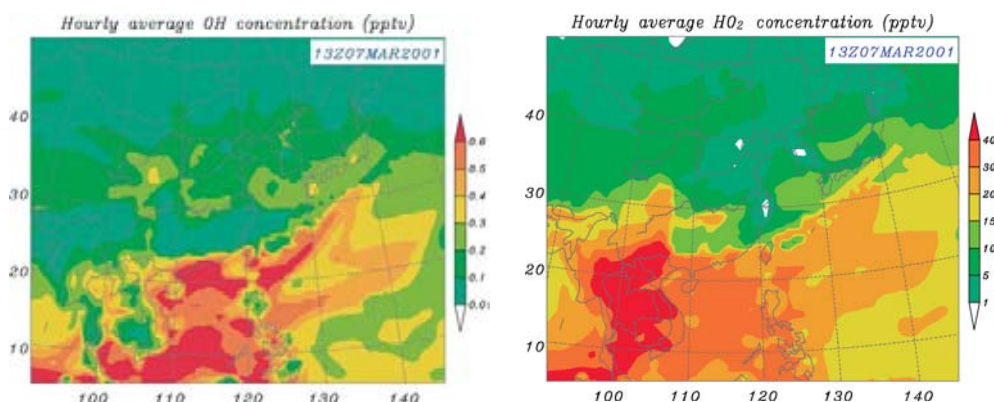


図12 モデルによって計算されたTRACE-Pキャンペーン期間中2001年3月7日の東アジアにおけるa) OH、b) HO<sub>2</sub>ラジカルの分布。

センサーによる垂直濃度プロファイルの測定、及び地上観測ネットワークの、CO<sub>2</sub>の地域的ソース・シンクの見積もりに対する有効性について逆モデルを用いた評価を行った。その結果衛星観測は、現在地上観測データの得られない熱帯地域におけるCO<sub>2</sub>ソースの推定精度を向上させる上で価値があることが認められた。また、地上観測ネットワークをさらに効率的に発展させることが、逆モデル計算の不確定性を減少させる上でより有効であることが分かった。さらに、衛星観測のメリットは高分解能逆モデルの場合により高まるが、同時に衛星観測にシステムティックな誤差が含まれた場合、逆モデルによる計算結果を大きく左右することが分かった。

生態系モデルBiom-BGCを組み込んだ高分解能・長期積分・多成分トレーサーに対応する逆計算のための大気輸送モデルの並列化がなされた。また、温室効果ガス測定データ解析用ソフトウェアを開発し、これを太平洋上で得られた大気中N<sub>2</sub>Oの測定データに適用し、その解析を行った。

#### (d) 大気組成データ解析グループ

北海道とモスクワ近郊のCOのカラム測定データを比較することにより、夏季においては北海道において系統的に高いカラム密度を示すことが分かった。トラジェクトリー解析をCOの発生源データと組み合わせることにより、森林火災及び人為起源化石燃料燃焼が北海道における余剰COの原因となっていることが明らかとなった(図13)。

タイにおけるO<sub>3</sub>、COの地上観測データを、森林火災スポットのATS衛星観測データ及びトラジェクトリーを組み合わせることで解析することにより、乾期(2-3月)におけるそれらの高濃度は東南アジア地域スケールでのバイオマスバーニングと大陸からの長距離輸送によるものであり、雨期(6-8月)の低濃度はインド洋からの清浄海洋気塊の流入によるものであることが分かった。

ヨーロッパ大陸中央部及び東アジアにおける長期オゾンゾンデデータをトラジェクトリー手法と組み合わせることで解析し、光化学活性期の境界層オゾントレンドはそれぞれの大陸における窒素酸化物の排出量トレンドを反映していることを見出した。これに対し冬季及び、自由対流圏においては大陸間輸送が重要であることが示唆された。

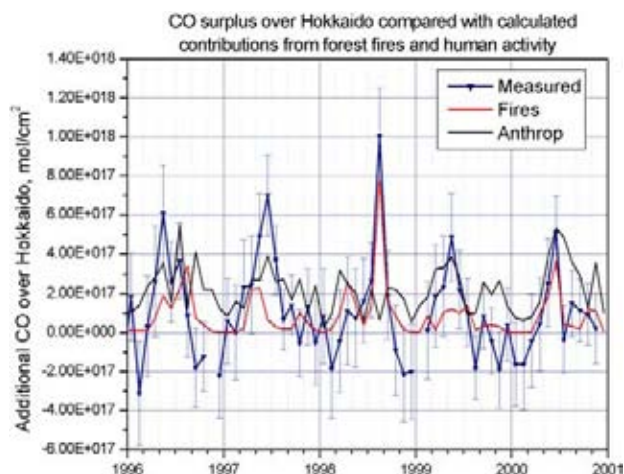


図13 母子里/陸別(北海道)とZvenigorod(モスクワ近郊)のCOカラム密度の月平均差(青線)と森林火災の寄与(赤線)、人為起源燃料燃焼の寄与(黒線)との比較。北海道とモスクワにおけるCOカラム密度の差がこれら二つの発生源の寄与でよく説明されることがわかる。

中国の水田からのメタン放出量に関する過去の実測データをすべて集積し、これに基づき各地域ごとのエミッションファクターを考慮した1995年のエミッションインベントリーを行った。その結果得られた稲の生育期間に対する中国からのメタンの放出量は7.67 Tg yr<sup>-1</sup> (5.82 to 9.57 Tg CH<sub>4</sub> yr<sup>-1</sup>)と計算された。本研究の結果、中国の水田からのメタンの放出量は従来の値よりかなり小さい値に更新された。また、1995年におけるアジアにおける家畜からの亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)及びアンモニア(NH<sub>3</sub>)の放出量の推計を行い、それぞれ 0.50 Tg N<sub>2</sub>O-N 及び 4.5 Tg NH<sub>3</sub>-Nの値を得た。またこれらの値をもとにモデルへの利用に供するため0.5°メッシュの放出量マップが作成された。

#### 5) 生態系変動予測研究領域

地球温暖化や砂漠化などの気候・環境変動が、生物種の組成分布や種の多様性にどのような影響を与えるかを明らかにすることは、今日の最も重要な研究課題の一つである。生態系変動予測研究領域の目標は、

- ① 気候・環境変動が生態系に及ぼす影響の評価とその機構のモデル化
- ② 逆に、生態系変動が気候・環境に及ぼす影響の評価とその機構のモデル化

である。

このために本領域では、

- (a) 生態系-大気結合モデル研究グループ
- (b) 生態系アーキテクチャモデル研究グループ
- (c) 生態系地理分布モデルグループ
- (d) 海洋生物過程モデルグループ

の4研究グループにおいて、生態系変動の検知とそのモデル化の研究を進めてきた。

また、平成14年度からは、陸域、海域の生態系変動を衛星リモートセンシングにより調査、検知する研究、ならびにリモートセンシングによる生態系パラメータの広域分布データをモデルに結合し(モデルとデータの同化)、モデルの推定精度を上げる研究を開始した。

(a) 生態系-大気結合モデル研究グループ

当グループでは、陸域生態系における炭素循環シミュレーションモデル(Sim-CYCLE)を開発してきた。本年度は、さらに、Sim-CYCLEに安定炭素同位体( $\delta^{13}\text{C}$ )の大気-生物圏間交換過程を組み込む改良を行った。地球規模のシミュレーションでは、 $\text{C}_3$ -優勢の森林、 $\text{C}_4$ -優勢の牧草地では平均炭素安定同位体比に顕著な違いが見られた。長期シミュレーションでは過去10年で陸域の生物圏の $\delta^{13}\text{C}$ 値は徐々に下がってきていた。かなりの同位体非平衡も大気と生物圏間で見つけたが同位体非平衡の年変動より季節変化や地

理空間の差の方が大きかった。これらの結果は、大気 $\text{CO}_2$ やその同位体組成比を基にした全球規模の炭素循環の逆推定をする際に重要な知見を与える。

さらに、気候変化に対する陸域炭素貯留の反応を調べるためにオフラインのシミュレーションを行った。この結果、大気 $\text{CO}_2$ の急激な増加により地球温暖化や地球の生産性は約30%増加した。同時に暖気候が微生物による土壌分解を増加させて土壌有機炭素の大気への炭素放出につながった。3つの異なった気候シナリオに対するシミュレーションを行った結果、その全生態系炭素貯留は異なった応答を示した。このことは、気候変動モデルの構築において、陸域炭素循環の大気へのフィードバック機構の導入が重要な役割を果たすことを示唆する(図14)。

(b) 生態系アーキテクチャモデル研究グループ

本グループの目的は、陸域で最大の有機炭素プールを構成する森林生態系における気候・環境変動に対する100年規模での長期変動を予測する事である。このために、樹木の形状等が気候・環境に応じてどのように変化するかに関して、三次元生態系アーキテクチャモデルの構築を行ってきた。

本年度は、日本中部の亜高山針葉樹林を焦点とし

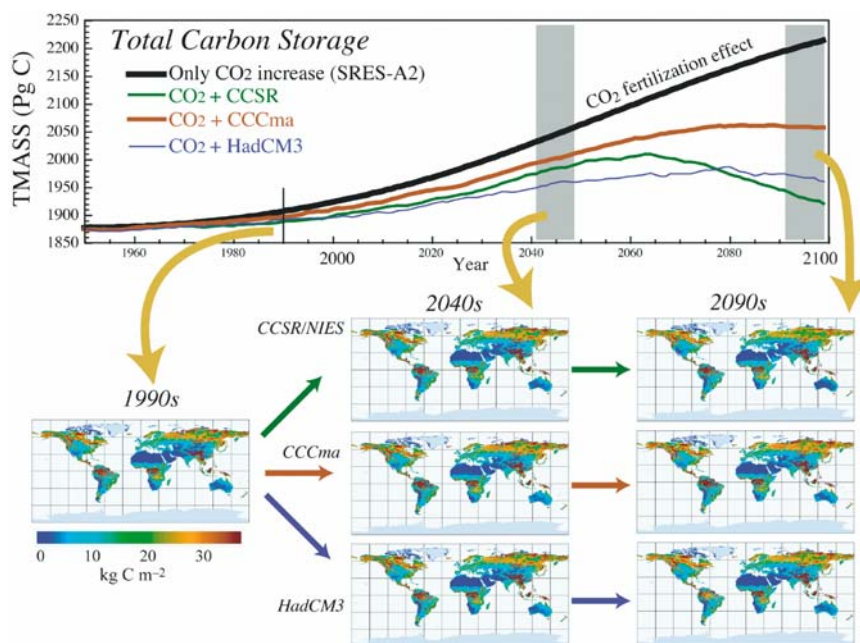


図14 Sim-CYCLEによる全陸域炭素貯蔵の時間変化(1950年から2099年まで)のシミュレーション。CCSR/NIES、CCCma、HadCM3気候モデルによるIPCC-SRES A2大気 $\text{CO}_2$ シナリオと気候予測が設定された。

て、シュートモジュール(枝要素)をベースとしたPipeTreeモデルの改良を行い、また北部落葉樹林の各樹木ベースのモデルを開発した。さらにタイガーツンドラ境界における地球温暖化による森林境界の移動を予測する新しいモデル開発を開始した。

PipeTreeを亜高山種の樹木の自然界での再生過程に応用したところ、今までよく知られていた光の少なさに加え、枝同士の接触による刺激が下層の枝のシェーディングのもう一つの影響であることが示唆された(図15)。

さらに、今後、生態系モデルの構築で重要な役割を担う、Dynamic Global Vegetation Model: 全球植生動態モデル(DGVM)について研究を開始した。

### (c) 生態系地理分布モデルグループ

生態系地理分布モデルグループでは、衛星観測による陸域生態系パラメータの広域分布計測と、その気候・環境変動との因果関係のモデル化を目的とする。これまで北半球陸域の積雪分布の変動と植生変動への影響を評価するとともに、衛星観測に基づく光合成有効放射(PAR)を用いて、PARの陸域一次生産や生態系-大気間炭素交換での役割の解明に努めてきた。

本年度は、北ユーラシア大陸の積雪、植生被覆(NDVIによる計測)、及び気温の20年間の変動を解

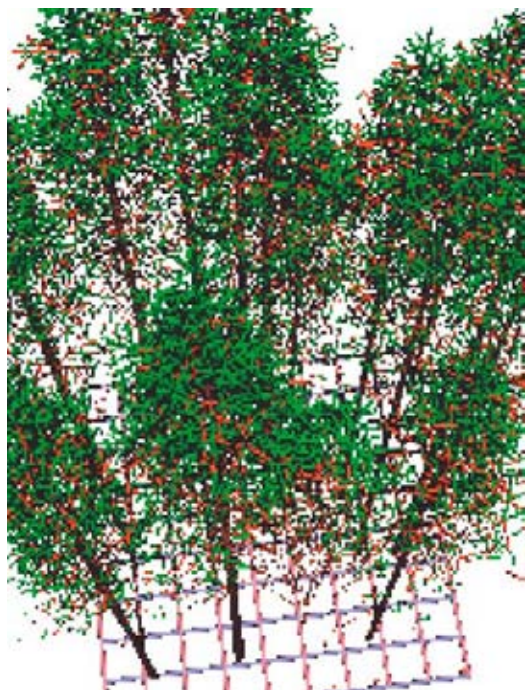


図15 PipeTreeによる亜高山種樹林の54年経過の景色

析し、積雪、気候、植生成長間の時間的空間的關係を調べた(図16)。また、陸域炭素循環の正確なモデリングにPARの全球分布や時間的変化が重要であるため、まず全球計測の第一歩として、タイ北中央部の熱帯サイトにおけるPARデータを計測し、森林樹冠光合成二層(sun-shade)モデルに応用した。樹冠における光合成量日変動は、太陽拡散光の増加に比例して増加した。これらの成果は、陸域炭素循環における日射の影響を理解するのに貢献するとともに、衛星観測によるPAR観測や全球的炭素循環モデル構築の重要な基礎を築くのにも役立つと考えられる。

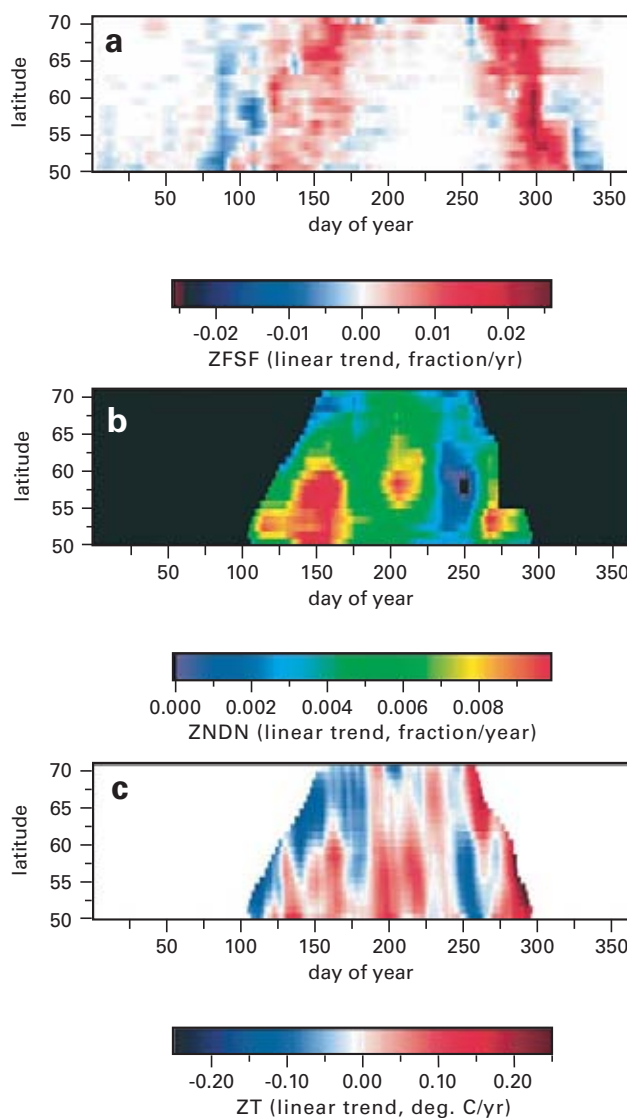


図16 (a)ゾーナル雪被覆、(ZFSF)、(b)NDVI(ZNDN)、(c)大気温度(ZT)の線型的傾向。ZNDNとZTに関しては、活発な季節のみの値を示した(18年間の大気温度が0度以上の日数)。

(d) 海洋生物過程モデルグループ

本グループでは、全球レベルでの気候・環境変動が、海洋生物の生産量など生物過程に及ぼす影響の評価を行ってきた。また、逆に、海洋生物過程が、海洋における炭素循環を通して、気候・環境変動に及ぼす影響の評価に焦点を当てて研究を進めてきた。近年、特に、全球での気候変動が北太平洋生態系の変動にどのような機能的影響を与えるか、その関係の解明を試みている。

本年度は、1970年代から1990年代にかけて、生産力の高い海域のひとつである北太平洋西部亜寒帯にある親潮の物理、化学、生物的環境が示す変化を調べた。この結果、この期間、表層と亜表層間で濃度勾配が増えそれにより海水の垂直分布が抑えられることが示された。その結果、表層の珪藻に十分な栄養塩が供給されなかった。二次生産の指標である春季動物プランクトンの全バイオマスも下がった(図17)。一方、冬季のみに絞ると珪藻の生産は栄養塩に富む浅い混合層の安定化により増えた。このことはある動物プランクトンへの冬季餌供給が増え、この種の成長を早めたためと考えられる。

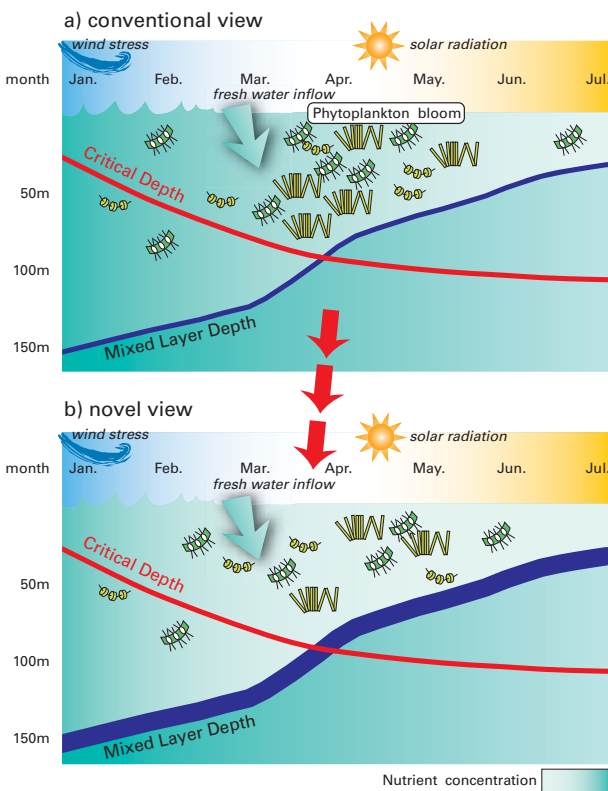


図17 冬季から春季にかけての親潮の物理的、化学的、生物的過程：新 a) 旧 b) 見解の比較。

6) モデル統合化研究領域

当領域のミッションは、2002年3月に完成した超大型並列コンピューター「地球シミュレータ(ES)」の能力を活用した新しい気候モデルおよび海洋データ同化システムを開発することである。そのため、次の4つの目標を定め研究開発を進めてきている。

① 水平解像度T213(格子間隔60km)鉛直50層のスペクトル大気モデル、水平に緯度・経度各0.1°間隔の格子をもつ超高解像度海洋モデル、および両者を結合したモデル。海洋モデルはいわゆる「渦解像モデル」として海洋中の傾圧不安定渦による輸送効果(G-M輸送)を陽に取り入れる。そして結合モデルを「温暖化実験」に用いる。

② 水平格子間隔5km以下でメソスケール対流雲システムを直接計算する非静力学全球大気モデルおよび水平格子間隔10km程度の海洋モデル。いずれも地球をほぼ一様な格子で覆う正20面体座標あるいは正6面体座標を用い、全てをゼロから作り上げる「次世代モデル」。

③ これまでの気候モデルが対象として来た大気・海洋・陸面の物理的諸過程に加え、大気組成や大気・海洋・陸域生態系にまたがる炭素循環をも対象とし、物理的気候システムと生物地球化学過程の結合(フィードバック)を取り入れた地球環境システムの統合モデル。

④ 全球及び地域海洋データ同化システム。近年、人工衛星や多数のブイの観測によって海洋の時々刻々変化する状態を捉えられるようになって来た。これらのデータは、気象観測のように全世界で一定時刻に一斉に行われるものではないので、時間、空間的に散らばった観測をモデルを介して整合性を持ったデータセットに作り上げる必要がある。このための4次元変分法を基礎とした海洋データ同化システムを開発する。

前記の3目標のうち、①、②、④は1999年度の準備段階を経て2000年度から本格的開発に進んでいる。目標③は地球フロンティアの他の領域でのプロセス研究を取り入れてはじめて可能となるもので、2002年度から共生プロジェクト第2課題として開発に着手した。上記目標①～④に向けた2002年度における研究開発の経過を以下に記す。

## (a) 大気・海洋結合モデル開発

## (i) 地球温暖化実験

これまでCCSR/NIES 大気大循環モデル (AGCM) の高解像度化と海洋大循環モデル (OGCM) の底面境界層の扱いの改良などを進めて来たが、2002年度より文部科学省の「人・自然・地球共生プロジェクト(共生プロジェクト)」の課題1として、IPCC第4次報告書への貢献を目指し、東京大学気候システム研究センター及び国立環境研究所と協力して温暖化実験に取り組むこととした。当面は、目標①よりも一回り解像度を低くし、T106(格子間隔60km相当)AGCMと緯度 $1/6^\circ$ 経度 $1/4^\circ$ の格子で、北極点の特異性を避けるため座標軸を回転して北極がグリーンランド上に位置するようにしたOGCMを結合して結合モデルとしての改良・調整を

行った。経過の詳しい説明は共生プロジェクト課題1の項に記してある。

## (ii) 結合モデルの物理過程の検討・改良

## ①放射過程の新コード開発

CCSR/NIES AGCMでは、放射伝達方程式の数値解法として、k-分布方式を用いているが、この方式では2種以上の気体の吸収線が並存するとき、それらの間の関係をどう取り扱うかに工夫を必要とする。一般論として、完全無相関の仮定、部分相関の仮定、完全相関の仮定のどれをとっても一長一短で満足いく精度が得られていない。そこで、これら3つの仮定を適当に組み合わせ気体の濃度や大気圧・気温の変化範囲を決めた時、最適となるよう組み合わせを作る、という

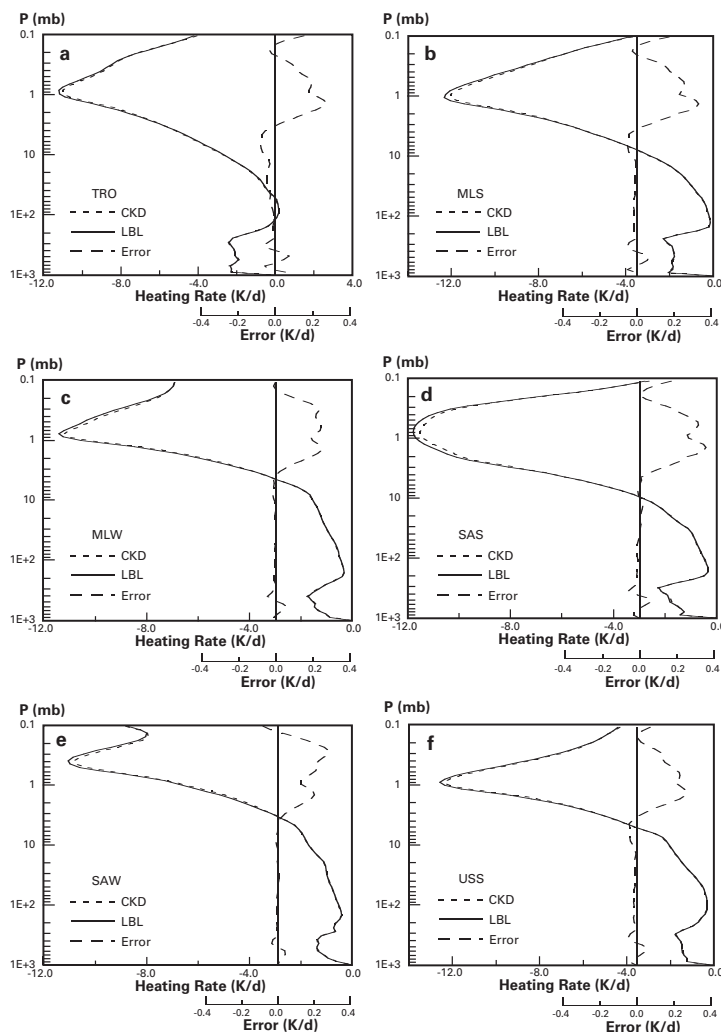


図18 波長積分した長波(熱赤外)放射による大気加熱率の鉛直分布を新しいk分布法で計算した結果(点線)とLBL法で精密に計算した結果(実線)および両者の差(新しい方法の誤差、波線)。a、b、c、d、e、fは6種の代表的モデル大気について計算したもの。

方法を採用することにした。東大・気候システム研究センターの研究者とも協力して、この新方式に基づく放射コード開発を進めて来たが、それが完成し論文発表するとともにCCSR/NIES AGCMに組み込んでテストを開始した。最新の結果では、これまで悩まされてきた熱帯圏界面付近の低温バイアスが解消するなど大きな改善が見られている。図18、19に幾つかの気温分布モデルでの放射収支計算を、Line by Line計算(線スペクトルを一本一本直接計算する厳密計算)の結果と比較した結果を示す。対流圏内の加熱・冷却率の誤差は、長波・短波についてそれぞれ0.07K/day、0.05K/day以下となっている。(但し、成層圏・中間圏ではやや大きい。)

②対流パラメタリゼーションへの「トリガー効果」の導入  
従来のA-Sパラメタリゼーションでは、不安定成層があれば常に対流が起こるとされていた。しかし、普

通には下層に安定な層があり、そこでの負の浮力に打ち勝って自由対流高度に達するまで気塊を上昇させる「トリガー」が無ければ対流は実現しない。そこで、境界層内の乱流、地形の不均一、更にガスト・フロントなどトリガーとなる過程を組み込んで対流パラメタリゼーションの改良を行った。その結果これまで再現が困難だった熱帯域の地球規模対流変動であるM-J振動がシミュレートされるなど改善が確認された。

③多層化に伴う雲量(雲域)の扱い

これまで、一つの層一つのグリッドの平均湿度に応じそのグリッド内の雲量(雲域)を決め、同時に雲水量と光学的厚さも計算して来た。鉛直の層数を増すと薄い層内で薄い雲(雲水量小)が生じ、それらを雲域と定義すると雲量が増え平均雲量0.8にもなるという問題があった。現実には、例え凝結によって雲水が

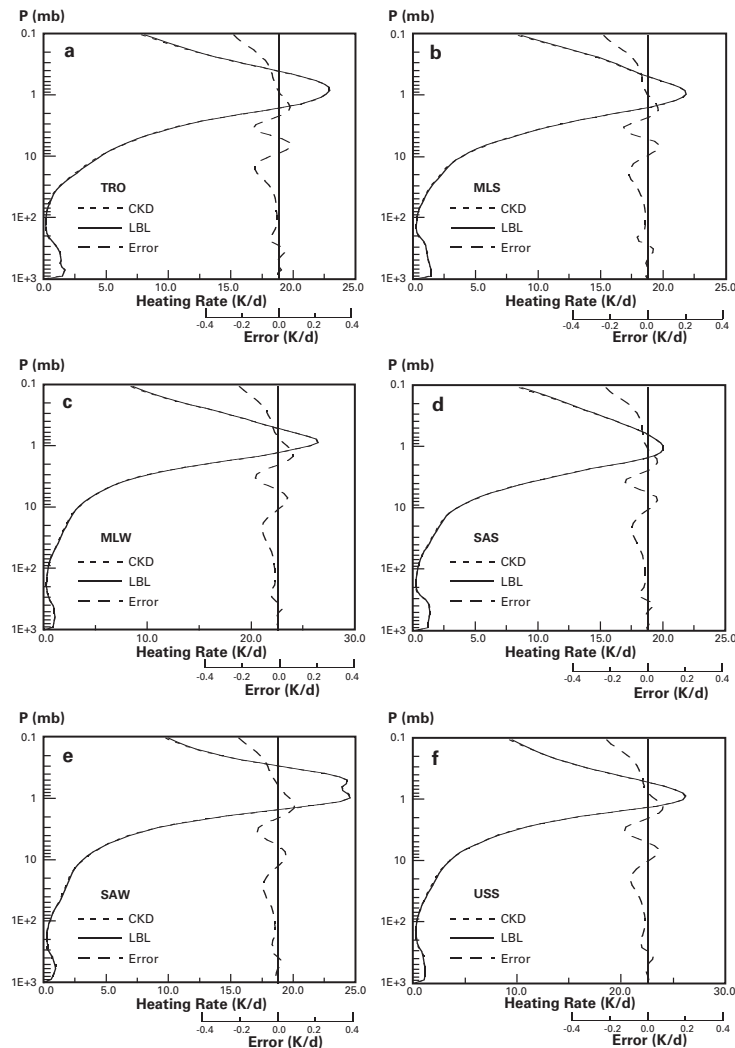


図19 図1と同じで短波放射(日射)による加熱率。但し、地表面の反射率を0.2、太陽高度角を60°として計算している。

生じようとも、層が薄く、鉛直に積算した雲水の厚さが小さければ光を反射したりする効果(光学的厚さ)は小さく、「雲」とは見なせない。そこで、「光学的厚さが0.05より小さい場合は雲量にカウントしない」という妥当なルールを設けたところ、雲の分布、平均雲量とも観測に良く合うようになった。

## (b) 次世代大気・海洋モデル開発

### (i) 次世代大気モデル

前年度に引き続き、正20面体を基にした準一様格子を用いた非静力学全球大気モデルの開発を進めた。先年度格子間隔120kmまでの大気大循環を模したHeld-Suarez実験を行い成功裡に終了していたので、今年度は解像度を56km、28km、14km、7kmと更に高くパフォーマンス・テストを行った。このような高解像度では積分期間1000日という大循環実験は計算量が膨大となり、できない。そこで初期条件として南北に温度差を持つ大気を置き、それに微小な乱れを与えて12日間の積分を行い、温帯低気圧の発達・衰弱プロセスを追うライフ・サイクル実験を実行しモデルの結果を物理的観点でチェックすると共に、計算時間の測定を行った。当然の事ながら、解像度を上げる程、低気圧の微細構造が良く表現された。数値計算上の誤差による不自然な振る舞いは見られず勿論不安定も生じなかった。

準一様格子では、空間解像度を上げた際、CFL条件で時間ステップを短くするのに緯度・経度格子の場合のような無駄がないため、またスペクトル法におけるルジャンドル変換が一方向格子点数の3乗に比例して計算量が増えるのに対し、2乗でしか増えないので高解像度下でスペクトル法より計算時間が短くなることが分かっている。そこで、大気力学方程式だけを解くダイナミカル・コアの計算をスペクトル法と準一様格子で行い同一解像度で計算に要する時間を比較した。両方の計算時間を水平解像度の関数として示したものが図20である。格子法では解像度の目安となる最小波長の対応にファクター2の違いが残るが、格子法にとって厳しい条件の下でも最短波長15km以下では格子法の方が効率が良い事が明らかとなった。ライフ・サイクル実験に要した計算時間は、格子間隔7kmで24時間積分を行うのに地球シミュレータの1/8(80ノード)を使

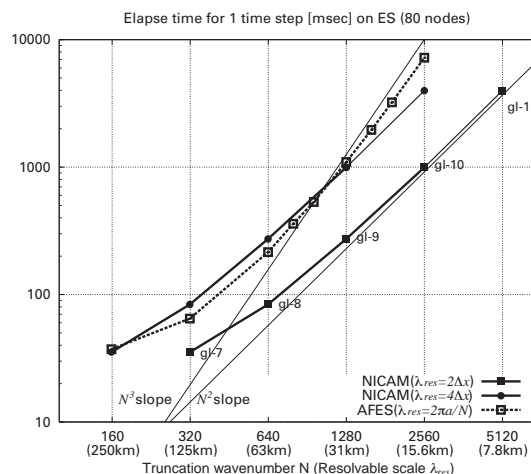


図20 NICAMプログラムとAFESプログラムによる力学コア1ステップの計算に要する時間の比較。その際の計算機の平均的稼働速度も示してある。

って1時間を要することが分かった。従って「雲解像モデル」として最低限必要な3.5km格子の場合、もし地球シミュレータの全部(640ノード)を使えば24時間積分が1時間で実行でき、「予報」が可能であると言える。

### (ii) 次世代海洋モデル

次世代大気モデル同様、高解像度で効率的に海洋大循環を計算するために準一様格子の一つである立方体格子を用いることとし、2000年度以来研究を進めてきた。立方体格子には幾つかの異なるタイプがあるが、局所的に直交する座標系を持つコンフォーマル立方体格子を採用し、精度の良い差分方式を案出し、また浅水モデルで幾つかのテストケースの実験をするなど開発を進めて来た。しかしコンフォーマル立方体格子は局所直交座標を持つという長所の代償として格子間隔の一様性が良くなく、元の立方体の8個の頂点近くで格子が密になるという欠点を持っている。具体的に、目安とする10km格子を考えると、頂点近くでは約1kmとなり格子間隔の最大最小比が10になってしまう。これでは当初の目論みであった準一様格子による計算効率向上とは言い難い。そこで、単に立方体格子のみでなく広く他の方法も考慮に入れて多角的に慎重に検討した結果、準等面積立方体格子が最適との結論に達した。局所基底が非直交で方向性が変わるため運動方程式が簡単ではなくなる。しかし一方で曲がりなりにも4角形の格子なので、エンストロフィー保存の荒川ヤコビアンのようなこれまでの数値計

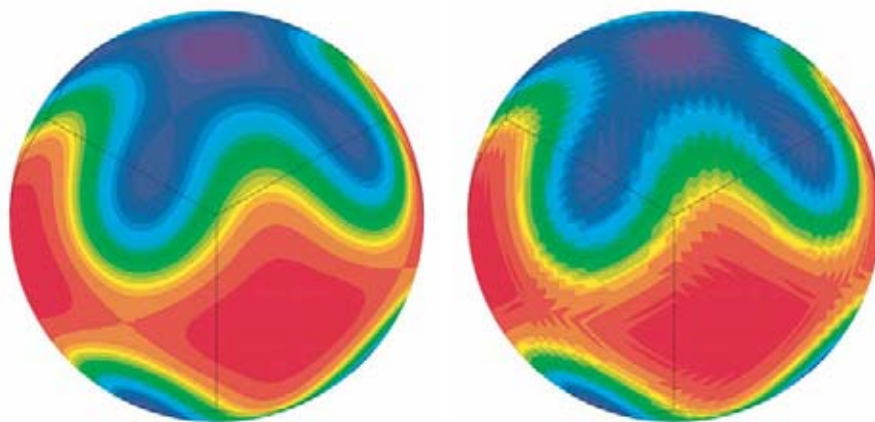


図21 Williamsonのテストのケース6すなわちRossby-Haurwitz波の動きを立方体格子上で2つの方式で計算した結果の比較。エネルギー・エンストロフィー保存を満たす方式(左)の方が、形式的精度は良いが満たさない方式(右)より安定していることが分かる。

算上の知識を応用できる。この新しい座標を用いて浅水モデルを作り、Rossby-Haurwitz波のテスト実験を行った。図21にエネルギー・エンストロフィー保存のスキームを使った場合(左)と差分的には精度は良いが保存しないスキームで計算した場合(右)を比較して示す。明らかに保存スキームの方が安定して計算が進んでいる。立方体格子の開発を進める傍ら、従来の緯度・経度座標で新たに3次元海洋循環モデルを作り、特に並列計算上の効率向上方法の探索を行った。分割した領域のつなぎ部分の取り方などの工夫によって効率を上げることに成功し、その結果、立方体格子と組み合わせると現在の他のモデルより10倍位高速に計算できる見通しを得た。

#### (c) 統合地球システムモデルの開発

現在、地球温暖化の将来予測に用いられているモデルは、大気・海洋・陸域の物理的状態の変動をシミュレートする「物理的気候システム」のモデルである。地球温暖化の将来予測を行うのにこれでは不十分である。何故なら、温暖化と気候変化によって植生の活動や土壌有機分の状態、また海洋の温度と循環が変わり、その結果炭素の収支・循環が変わって、CO<sub>2</sub>濃度が変わるからである。即ち、気候変化が、その原因であった炭素収支に影響を与えるのに、そのフィードバック効果を取り入れていない。そこで、気候変化と共に陸域の植生・土壌などの生態系や、海洋の生物地球化学過程、更に、やはり温暖化によって影響を受け

る対流圏オゾンなど大気化学過程をも取り入れてそれらが相互にフィードバックしながら地球環境が全体として変化してゆく状況をシミュレートし、予測する「地球システム統合モデル」を開発する必要がある。このようなモデルの開発は、当領域の目標③として掲げてはいたが、これまで着手していなかった。近年、前記の問題意識から世界各国で地球システム・モデルの開発が始められている。この状況を背景に、文部科学省ではこれを2002年度開始の共生プロジェクトの第2課題とした。地球フロンティアは、関係する諸専門分野の研究領域を持っているので課題2の実行を提案し、認められた。そこで他研究領域の研究者と協力してモデル開発の中心となる専任研究者を新たに募り、2002年度後半から開発の準備に取りかかった。具体的なモデルのデザインと予備的結果については共生プロジェクト第2課題の項に記されている。

#### (d) 海洋データ同化システム開発

2001年度までに全海洋の温度・塩分分布の格子点データであるLevitusの月平均海洋データを観測データと見なして3°×3°のモデルを用いた4次元変分法によるデータ同化を行い、力学的に整合性を持つ温度・塩分・流速の季節サイクルデータセットを得た。2002年度には1°×1°のモデルによって同様の同化の計算を実行し、より詳しい力学的整合性を持った海洋構造を明らかにした。その際、海表面での熱フラックスを制御変数即ち「観測データ」を説明するのに必要なパラメタとして推算した。

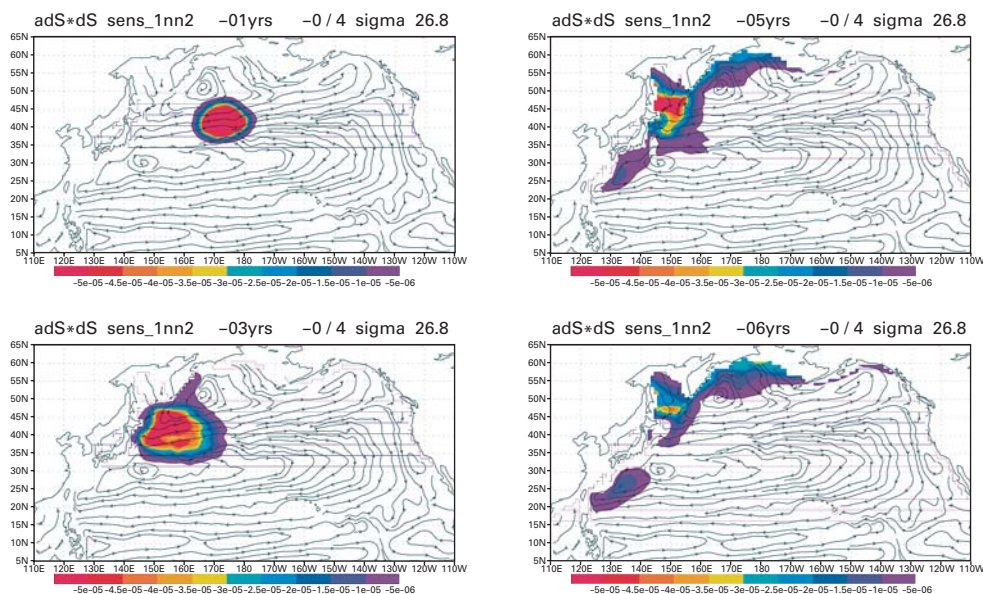


図22 海洋データ同化システムでアジョイントモデルによる逆行積分で水塊の起源を追跡した一例。シグマ・シート26.8(海水密度が $1026.8\text{kg/m}^3$ )の等密度面上で $43^\circ\text{N}$ 、 $180^\circ\text{E}$ (深さ約400m)に人工的に置いた塩分濃度異常を時間を逆に追いかけて、1、3、5、6年前に遡って塩分異常がどこから来たか調べたもの。

4次元変分法(アジョイント法)による同化計算を行うと単に多変数間に力学的整合性を持たせられるばかりでなく、諸量間の関係あるいは影響を及ぼすプロセスを明らかにすることができる。アジョイント・モデルによる逆行計算によって結果を生み出す原因・プロセスを調べる事ができる。そこで、長年の議論的である塩分濃度最小を示す北太平洋中層水(NPIW)の起源を逆行計算で調べてみた。図22がその結果で、塩分最小を示す $\sigma_\theta = 26.8$ の面上で日本の東方、日付変更線付近にある海水の起源を遡ってみた所、オホーツク海を中心としベーリング海に至る縁海域から来ていることが明らかになった。また、一部は琉球沖の黒潮域からも来ている。これは、これまでの定性的な推定を証拠づけるものとして重要な結果である。

## 7) 国際太平洋研究センター(IPRC)

地球フロンティア研究システムのIPRC研究プログラムは、IPRCでの研究と一体となって進められているので、ここに2002年度IPRC研究活動と成果とを簡単に要約する。より詳しくは、IPRCホームページ(<http://iprc.soest.hawaii.edu>)上の「IPRC年報」及び半年ごとに出されるニュースレター「IPRC Climate」を参照のこと。

## サイエンスプラン

IPRCでの研究者の活動は、「IPRCサイエンス・プラン」(IPRC Science Plan)により方向付けがなされ、同プランは毎年見直され、最新の動きを反映して、改訂されている。最新版(第4版)は、IPRCホームページに掲載されている。

IPRCサイエンス・プランは、次の4つの研究テーマから成る:

テーマ1: インド太平洋海洋気候

テーマ2: モンスーン海域の影響

テーマ3: アジアオーストラリアモンスーンシステム

テーマ4: 地球温暖化の影響

各テーマは、そのテーマの対象と、必要な資源が与えられた場合に定められた期間内に達成可能な具体的研究目的とを、目標として設定している。これら4つのテーマは、IPRCの基本テーマとして有り続けると期待されるが、将来、新しいテーマが追加される可能性も開かれている。研究目的は、研究の進展に伴い適宜変更される。

IPRC研究戦略としては、大気システム、海洋システム及び海洋・大気・陸地結合システムの研究を、観測的活動ではなく、診断解析とモデリングとを用いて行うこととしている。

平成14年度の研究活動

(a) テーマ1：インド太平洋海洋気候

太平洋域の海洋循環及び気候に関し、黒潮続流域、カリフォルニア海流、低緯度西岸境界流に関する数値モデルによる研究が行われ、また赤道海流、赤道潜流における慣性不安定についての研究が進められた。領域気候モデルや領域大気モデルを用いて、黒潮流域、東シナ海、東部熱帯太平洋における気候形成に関する研究が進められた。特に東部熱帯太平洋ではアンデス山脈が気候形成に及ぼす影響に着目した。大気大循環モデルや大気海洋結合モデルを用いて、熱帯収束帯が北半球に偏在することに対する大陸の非対称性の影響や、海面水温偏差が中緯度のストームトラック(移動性高低気圧の通り道)へ及ぼす影響についての研究が進められた。インド洋に関しては、インド洋のダイポールモード現象とエルニーニョ南方振動の関係、ダイポールモード現象が遠隔地の気候変動へ及ぼす影響についての研究が行われた。また、モンスーン、エルニーニョ、ラニーニャ、そしてダイポールモード現象がインド洋の海

洋循環に及ぼす影響を4.5層の海洋モデルにおいて塩分を指標とした研究を行い、更に秋と春のWyrтки Jetの相対的な強さを海洋観測データから調べ、更にそれと船舶の偏流データとの比較を行った。

衛星観測データを気候研究に応用することがテーマ1の新たな得意分野となってきており、以下のような海面水温の海上風に対する影響の発見に繋がった。すなわち、海洋の強い水温前線の高温側で海上風が速くなり、低温側で遅くなる(図23)という、海洋から大気に対する影響が、赤道域から中緯度域まで顕著で普遍的に見られることが明らかにされた。

(b) テーマ2：モンスーン海域の影響

黒潮流路を支配する力学、黒潮親潮フロント域(黒潮親潮系：KOS)の平均構造及びその中規模変動、亜熱帯亜寒帯循環間の海水交換を明らかにした。これらの研究は、衛星データ、現場観測データ、モデルなどを用いて行われるとともに、データ同化スキームの改良と適用を行うことにより進められた。また、既

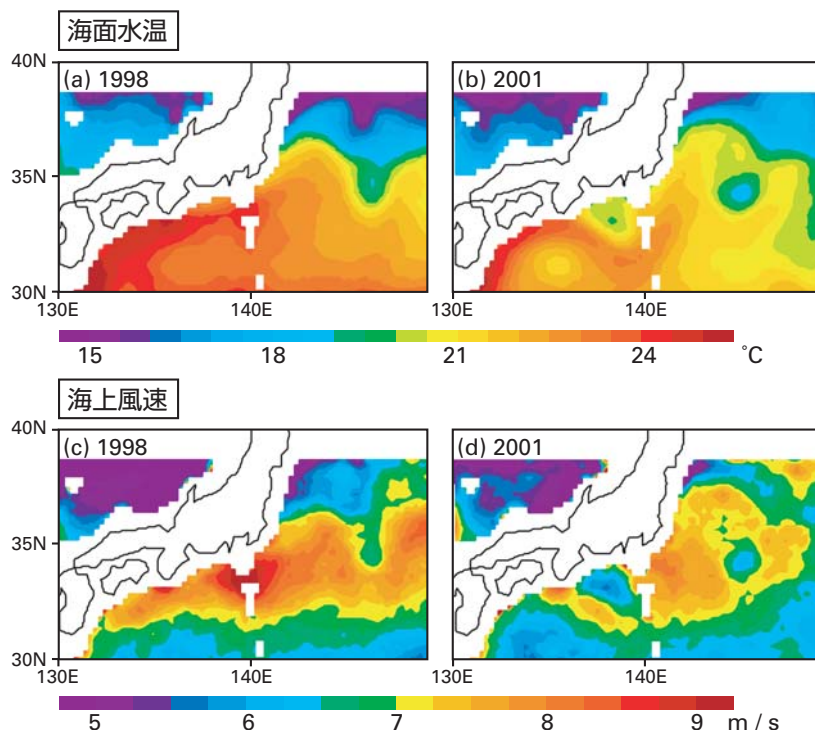


図23 4～6月で平均した海面水温と海上風速の分布。図aとcが1998年、bとdは2001年のものであり、熱帯降雨観測衛星(TRMM)のマイクロ波放射計によって観測された。黒潮の接岸流路(図a)と離岸流路(図b)の相違に伴い、大きな海面水温の変化が見られる。東海地方沖合いでは接岸流路の際には温かい海水が見られ、その上空では風速が大きいが、離岸流路の時期には冷たい海水が現れ、それに伴い海上風が明らかに減速していることが分かる。

存の観測データとモデルを用いて、太平洋低緯度西岸境界流(LLWBCs)の詳細な循環像を記述し、LLWBCsとその変動をシミュレートした。さらに、インドネシア通過流の局所循環と鉛直構造の変動を決めるのは何か、東部インド洋において海洋がモンスーンの活動と休止にどのように応答するのもも研究した。その他、渦によって引き起こされる攪拌と混合が海洋生態系に与える影響、大気との相互作用を介した熱帯不安定波動の減衰現象、北赤道海流のミンダナオ海流・黒潮への分岐および北太平洋熱帯亜熱帯間の水塊分布に与えるモンスーンの影響を研究した。

また、テーマ2の研究はアジア太平洋データ研究センター(APDRC)の活動に密接に関わっている。

#### (c) テーマ3:アジア・オーストラリアモンスーンシステム

テーマ3では、エルニーニョ現象とラニーニャ現象の振幅の差をもたらしている非線形過程、太平洋における大気・海洋結合モードの時間スケールを規定する、水温躍層での湧昇によるフィードバックや、海表面水温の東西方向の移流によるフィードバックの影響、1970年代後半に起こった太平洋の基本場の変化が、アジア・オーストラリアモンスーンの様々な変動成分に与えた影響、暖水プール域での大気・海洋相互作用が夏季のアジアモンスーンに与える影響、アジア・オーストラリアモンスーンおよび南アメリカモンスーンが熱帯太平洋の海表面水温に与える影響についての研究が行われた。また、衛星データおよび3次元高解像度大気モデルを用いたシミュレーション結果の解析による熱帯低気圧の発達過程、対流圏二年周期変動の時空間構造、北半球夏季における季節内振動の北方伝播のメカニズム、観測および数値モデルの結果の解析によるエルニーニョ-南方振動とインド洋ダイポールモード現象との関係についての研究や、IPRC大気領域モデルを用いた、1998年夏季の東アジアモンスーンの現実的シミュレーション、熱帯太平洋東部の大気循環や気候のシミュレーションが行われた。さらに、アジア・オーストラリアモンスーン域における、季節内、一年周期、年々周期の時間スケールの現象が、ECHAM5大気モデルの最新版を用いてシミュレートされた。

モデル開発の面では、大気海洋結合大循環モデル、ハイブリッド結合モデル、大気中間結合モデル、そして

IPRC大気領域モデルといった、様々なタイプの結合モデルについてそれぞれ改良が施された。これらの結合モデルは現在、モンスーンの変動をはじめとする、アジア・オーストラリアモンスーンシステムにおける大気-海洋-陸域間の複雑な相互作用を理解するための、強力かつ必要不可欠な研究手段となりつつある。

#### (d) テーマ4:地球温暖化の影響:温暖化のアジア太平洋地域への影響

対流圏、成層圏、中間圏を含むGCMを用いて、成層圏での力学的擾乱に対する応答を検証した。その結果、成層圏における大規模循環と表層での気候変動との間で、下向きの結合が存在することがはっきりと示された。また、大気-海洋結合GCMを用いてグローバルな気候変動に関する感度実験、フィードバック機構についての研究を行った(図24(a)、(b))。さらに、超高解像度全球大気モデルの評価を行った。

#### (e) アジア太平洋データ研究センター(APDRC)

APDRCのゴールは多様で膨大な量の気候データやプロダクトを管理しそれらへのアクセスを簡便化することにある。そのために、地球シミュレータなどから出力される大量の計算結果を保管するためのデータストレージの規模を拡張する一方、分散管理されたデータをAPDRCのサイトを通してユーザーに提供するための"シスターサーバー"システムを開発している。本年度は、LAS、EPIC、CASをベースとしたIPRCサーバーを日本のサーバーに移植する作業を中心的に行った。

APDRCサーバーで管理されているデータはさらに増え、現在数千から数十万ものWOCE-CTD観測、Upper Ocean Thermalプロファイル、流速計データ、また、米国(US-GODAE)とフランス(IFREMER)のデータ集約センターからのArgoプロファイルデータを提供している。EPICサーバーを用いて領域、時間、フロート名を指定することで簡便にデータアクセスをし、選択したデータをもとに図表示することができる(図25a)。

また、GODAE関連のデータ同化プロダクトを評価しまた提供する計画を立てた。高解像度、リアルタイム、予報プロダクト(温度、塩分、海面高度、流速)を高い頻度で提供する予定である。APDRCではすでにJPL-ECCO、NOAA-GFDLそしてNRLのNLOMといった

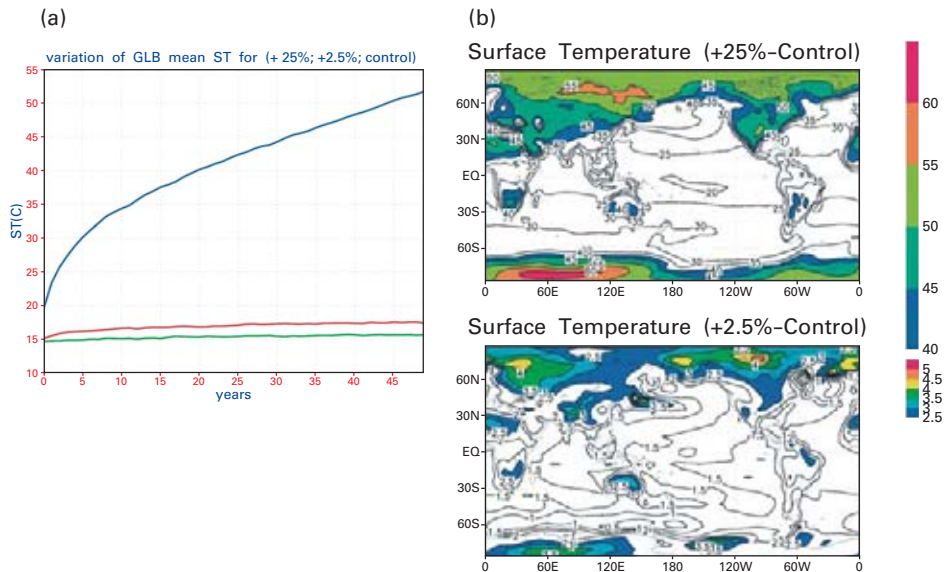


図24 (a) NCARの大気海洋結合モデルを用いた太陽定数の増加に対する気候変動に対する感度実験。全球年平均地表温度の時間変化：赤線は2.5%増加、青線は25%増加、緑線はコントロールラン。(b) 41-50年目の地表温度(°C)平均値の、太陽定数増加ランとコントロールランとの差：上図、+25%、下図、+2.5%。コンターは°C単位。

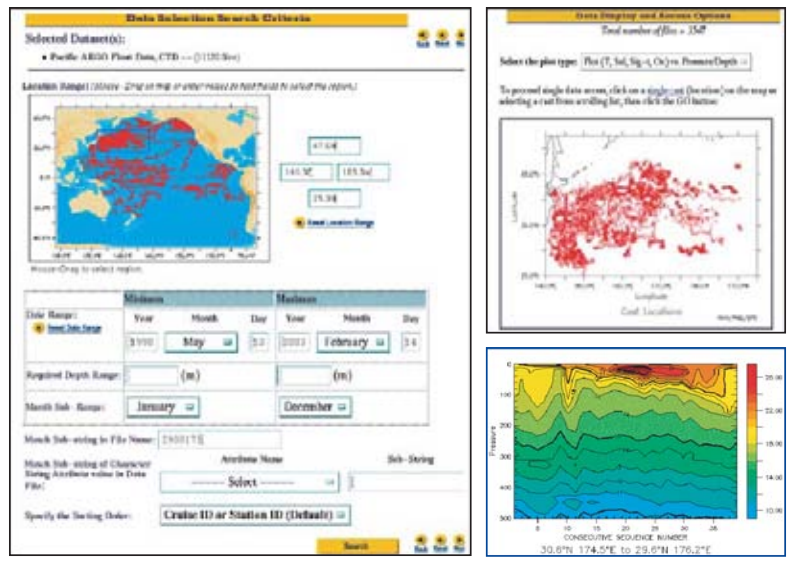


図25a 現場観測データ用のサーバーEPICを用いて、WOCEデータやArgoデータを提供している。北太平洋Argoデータを選択すると、左図のような図表が得られる(11,120プロファイル)。さらに、領域を北太平洋の中に指定すると右上図が表示される。温度や塩分プロファイルはそれぞれのフロートごとに表示できるが、さらに、右下図に示したようにフロートの集まりから温度分布を作図することもできる。

海洋データ同化プロダクトを提供している(図25b)。  
最後に、APDRCはモデル統合化領域(グループリーダー：淡路敏之)と共同で地球シミュレータを使った1990年代再解析プロジェクトでの国際データネットワークの構築を行っている。主に、データ解析、品質管

理そして不可価値情報の提供を行っている。この、モデル統合化領域と地球シミュレータセンターの共同研究において、APDRCのLAS、CAS、GDSを基盤とするサーバーシステムは大容量のモデル出力を扱う上で不可欠である。

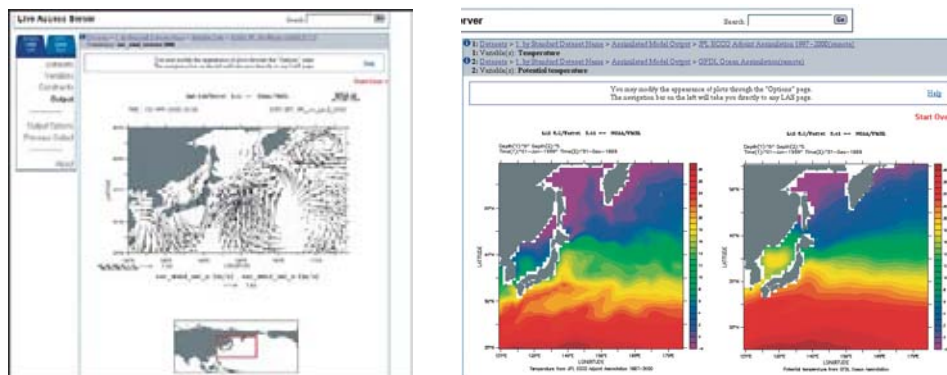


図25b APDRのLAS-V6.0では、JPLのQuikSCATレベル3風速ベクトル(左図)を提供している。また、JPL-ECCOアジョイントモデル出力、NOAA-GFDL同化モデル出力といった、それぞれが分散管理されているデータ(例:海面温度)を相互比較することができる(右図)。

## 8) 国際北極圏研究センター(IARC)

### (a) 大気/海洋/海氷 物理グループ

大気/海洋/海氷物理グループは、地球フロンティア研究システムの一部としてIARCに貢献するため、1999年にアラスカ大学フェアバンクス校(UAF)に設立された。物理グループは、北極圏の現代の気候システムと気候変化の基本的な理解に貢献するよう組織されている。気候変化に関しては「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」がいうところの「長年の気候のどんな変化でも、自然の可動性によるものか、もしくは人間活動の結果によるものなのか」という手法を取り入れている。任務の中には、様々な専門的な研究と国際プロジェクトを設立し、あるいは参加することが含まれている。

IARCと地球フロンティアにおける個別の研究や、共同観測プロジェクトは、4つの基本原則がある。それは、科学の疑問は研究の指針となるということ、気候の研究は、過去の研究と観測による遺産の上に組み立てること、国際コミュニティにおいて個人や機関との共同研究は必要なことであるということ、全ての科学者が野外調査に参加することから利益を得るということである。

我々の研究を組織するための一助として、地球フロンティアは、観測・理論・モデリングを頂点としたトライアングルの概念を提案している。現在、物理グループは人的資源を、観測分析(25%)、理論とプロセス研究(25%)、GCMタイプ・シミュレーション(40%)、野外観測(10%)という比率にしている。このトライアングルの中を芸術的にナビゲートすることにより、気候システムの本当の理解につながるのである。

### (b) 研究紹介

我々は、UAFの海洋科学研究所とロシアの北極南極研究所の共同で、北極圏の表面大気温度の125年間の時系列データを構築した(図26参照)。この時系列データは、20年間で北極が約 $2^{\circ}\text{C}$ 暖められる、1930年代の温暖化を明確に捉えている。大気中の二酸化炭素濃度を2倍にした、初代の数値シミュレーション結果に因ると、北極が全球平均の温度上昇率の2倍から4倍の割合で温暖化することが示された。この「高緯度増幅説」は1970年代初頭に提案され、北極と全球の温度の1920年から1960年迄の時系列データに因ると支持される。しかし、1900年から2000年迄の時系列データに因ると、10年間の温度上昇率は北極で約 $0.05^{\circ}\text{C}$ 、全球平均で約 $0.06^{\circ}\text{C}$ となり、「高緯度

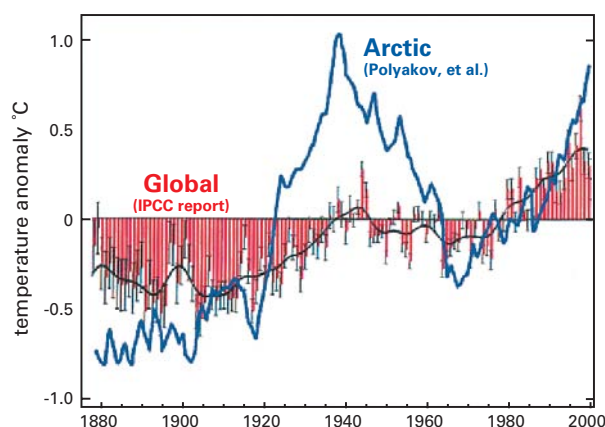


図26 北極圏の測候所で観測された表面大気温度(青線)と全球平均の温度(赤)。1920年から1930年代の北極圏の温度の急増は、1930年代の温暖化と呼ばれる。データは6年平均フィルターで平滑化してある。

増幅説」は支持されない。この125年間の時系列データ解析の結果、我々は、「北極固有の変動が長期変動を不明瞭にし、その気候システムの複雑なフィードバックの解明を困難にしている」と結論した。

陸棚／斜面に沿う高密度水の沈降は、ラブラドル海やノルウェイ・グリーンランド海で起こる開海洋での沈み込みと動力学的に異なる。表層の水塊の熱が大気に放出されたり、海水が形成し、塩分が表層に放出されると、その水塊は重たくなり、統計的に不安定な状態になる。北極海沿岸では、海水が夏から秋に殆どなくなり、冬に完全に覆ってしまう。この海水面積の季節変動のため、北極海の大陸棚／斜面に高密度水が形成される。そして、高密度で冷たい陸棚水は北極海の塩分躍層に供給され、その躍層下の暖かい大西洋水から海水の融解を妨げる。図27は、3次元モデルの数値計算より得られた、高密度水が斜面に沿って沈降する様子である。海面の南方境界で与えた塩分の外力のため、不規則な乱流が生じた。この乱流の不安定性は時間とともに発達し、100日でモデル海盆の中央に到達した。乱流中には、半径約10kmの渦がいくつか見つけられた。この物理過程を海洋循環モデルで表現するためには、海底境界層を解像するか、パラメタ化しなければならない。我々は、北極海海洋循環モデルの海底境界層のパラメタ化も研究している。

近年、北極の気候の劇的な変化が観測されている。北極海の海水と上層の低塩分水の変化は、グリーンランド海とラブラドル海での深層水形成に影響すると考えられ、長期の気候変動との関連についても注目が集ま

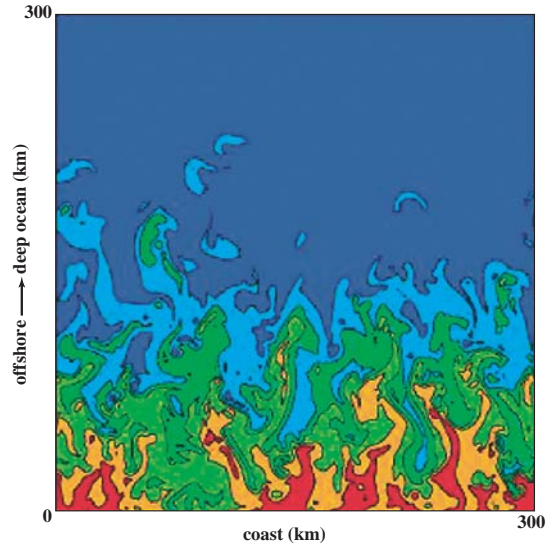


図27 海底境界層内の水平塩分濃度(100日)。外力は海面塩分フラックス( $-10.0 \times \exp(-4)$  [kg/s m<sup>2</sup>])。赤(青)色が高(低)塩分濃度を表す。計算領域は、300km×300kmである。

っている。しかしながら北極域での観測データは十分蓄積されているとは言い難く、モデル研究が有効な手段として考えられる。ZhangはIkeda、Walshと協力し、北極海海洋海水結合モデルを用いて、北極の海水と低塩分水の変動について研究を行った(Zhang and Zhang 2001, Zhang et al. 2003)。またWang et al.(2002)は海洋海水結合モデル(CIOM)を開発し、北極海と北大西洋の海洋循環と海水交換について論じた(図28)。

Alexander et al.(2003)は北極海の海水が大気に及ぼす影響についてNCAR気候モデル(CCM)を用いた研究を行った。北極海の海水面積が極大(1982-83)

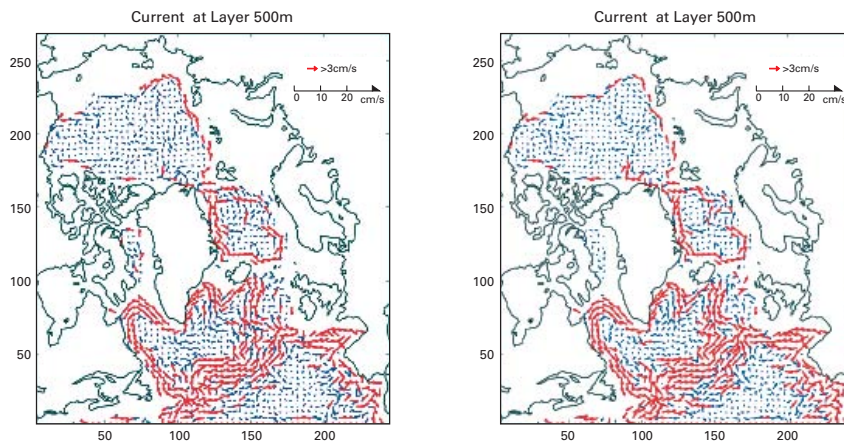


図28 海洋海水結合モデルの500m深(大西洋水層)の循環。左が3月、右が9月、矢印は流速で赤い矢印は3cm/s以上の流速を表す。

と極小(1995-96)の場合について大気の影響を調べ、熱フラックスの変化について報告した。Bhatt et al. (2003)は海氷面積の減少が大気に及ぼす影響について研究を行った。またIARCはGFDLと協力し、MOM4(海洋大循環モデル)とSIS(海水モデル)の結合モデルの開発を行い、特に北極域の気候システムの長期変動の研究に用いる予定である。

IARCではロシアと協力しながら放射計を用いた観測を、アラスカ州バローにて行い、既存のデータベースとの比較、またデータベースの向上を計画している。また北極海での二酸化炭素フラックスの観測を行っている。Deal達はベーリング海、チュクチ海での海洋-海氷-生物結合モデルの構築を行い、海洋力学と生物地球化学的な変動のより深い理解に挑んでいる。

### (3) 人・自然・地球共生プロジェクト

#### 1) 高分解能大気海洋モデルを用いた地球温暖化予測に関する研究(課題1)

このプロジェクトは、高分解能の大気海洋結合気候モデルを用いた地球温暖化実験を地球シミュレータ上で行い、地球温暖化予測の不確実性の低減と理解に資することを目的としている。プロジェクトチームは、東京大学気候システム研究センター(CCSR)、国立環境研究所(NIES)、および地球フロンティアのメンバーから成り、研究代表者は住明正CCSRセンター長である。用いる気候モデルは、CCSR、NIES、FRSGCにより共同開発されてきたMIROCと呼ばれるモデルである。プロジェクトは以下のサブテーマから成る。

- ① 高分解能大気海洋モデルの開発研究
- ② IPCC/SRES排出シナリオに基づく温暖化予測実験実施
- ③ 気候モデルにおける要素モデルの開発
- ④ 英国ハドレーセンター気候モデルの高度化

FRSGCのメンバーは、原則としてサブテーマ1に参加しているので、サブテーマ1の活動のみを以下に紹介する。

#### (a) 高分解能大気海洋モデルの開発研究サブグループ

我々は、高分解能地球温暖化実験のためのモデルの分解能の目標を以下のように設定した。

- ・ 大気モデル：水平T106スペクトル波数切断(1.1°相当)、鉛直56層

- ・ 海洋モデル：水平0.28°×0.19°、鉛直48層

大気モデルの分解能は、梅雨前線や台風のような地域スケールの気候を表現するためのものである。海洋モデルの分解能はさらに高いが、これは海面高度の時間変動を現実的に表現し、かつ北大西洋深層水(NADW)を現実的に表現するのに本質的に重要と考えられる、北部北大西洋や北極海の複雑な海流系を表現するためである。一方で、モデルは地球シミュレータ上で効率的に走る必要がある。我々は、1カ月の実時間でモデルの100年積分ができることを目標とした。以下に、これらの目標を達成するために行った活動内容を述べる。

#### (i) 海洋座標系の回転に対応したカプラーの開発

海洋モデルの格子系は緯度経度格子であるため、北極点に特異点が生じ、そのまわりで経度格子が集中する。この問題を避けるため、モデル座標の北極点がグリーンランドの陸上に来るように、モデル座標を地理的な緯度経度から回転した座標系を用いる。この回転した海洋モデルと回転していない大気モデルを結合するために、新しいフラックスカプラーを開発した。新しいカプラーは、面積の保存に注意しながら、不規則に対応した大気モデル格子と海洋モデル格子の間で、変数の地理分布を変換することができる(図29)。

#### (ii) 大気モデルの改良とチューニング

気候モデルは、パラメタ化の部分に本質的な不確実性があるので、分解能を上げることにより気候の再現性が向上するとは限らない。このことは、複雑な湿潤過程がパラメタ化されている大気モデルにおいて顕著である。そのため、T106大気モデルで100ケース

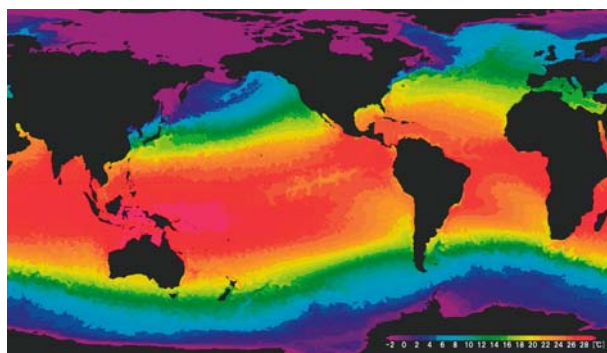


図29 高解像度海洋モデルで計算された海面温度の分布図

以上のテスト計算を行い、パラメタ化の改良と不確実なパラメータのチューニングを行った。この結果、アジアモンスーンの降水分布や放射収支など複数の側面において、モデルの気候再現性が改善された。

(iii) 海洋モデルの長期積分

目標とする分解能の海洋モデルの100年積分を行った。海面の風ストレスと熱および水のフラックスを境界条件として用い、現実的な海面水温、塩分への緩和を行っていない。現実的な強さのNADWが再現されたが、南極環海において非現実的な深い対流が生じることが分かった。後者は、少なくとも部分的には境界条件が現実的でないことによる可能性がある。

(iv) 気候モデルのコード最適化

地球シミュレータにおける計算効率の向上のため、モデルコードの最適化を行った。この結果、結合モデルが地球シミュレータの86ノードを用いて、良好な計算効率(1.3TFLOPS)で走るようになった。

(v) 中分解能気候モデルによる実験

高分解能モデルの実験に先立って、フラックス調節を用いない結合モデルの経験を積むために、中分解能版の気候モデルを活用した。このモデルを用いて、温室効果気体濃度を現在のレベルに固定した標準実験、および二酸化炭素濃度を毎年1%複利で増加させた気候変化実験を行った。標準実験において深刻な気候ドリフトは生じなかった。

2) 地球環境変化予測のための地球システム統合モデルの開発(課題2)

(a) 炭素循環モデル、炭素循環・気候変化結合モデルサブグループ

(i) 陸域炭素循環モデル

大気CO<sub>2</sub>濃度に短期～長期的な影響を与える陸域生態系の炭素収支を推定し、陸域生態系の機能量を代表する指標である葉面積指数(LAI)を予報する生態系動態モデルを構築する。平成14年度はSim-CYCLEを基本とした生態系モデルの骨格を作成し、同時にoff-lineによる応答シミュレーションを行った(図30)。

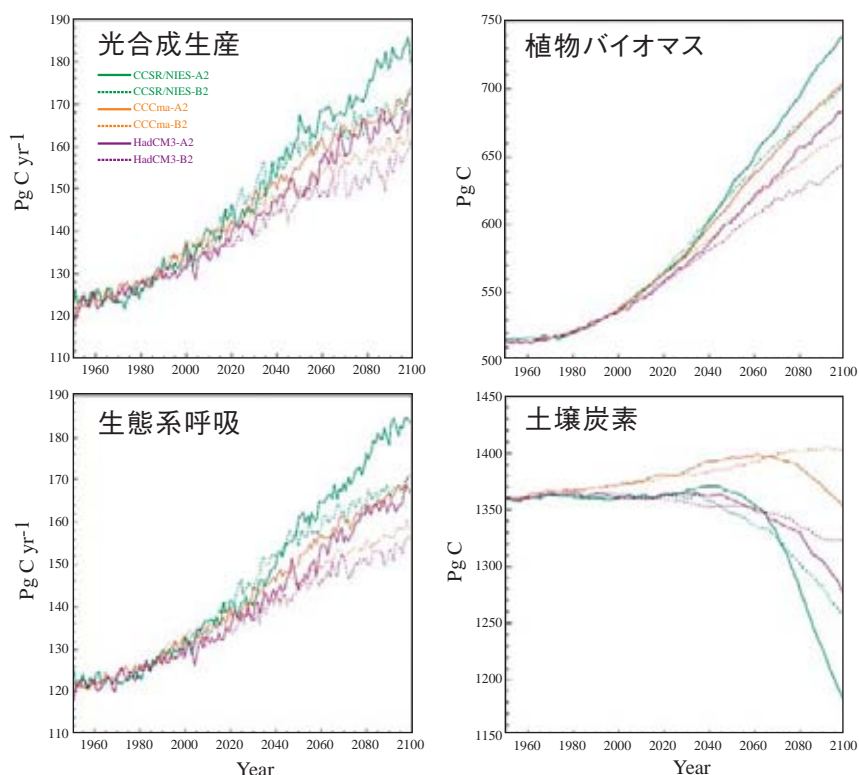


図30 Sim-CYCLEのoff-line実験による全陸域生態系における炭素動態の変化予測。IPCC-SRESによる排出シナリオを設定した3種類の大気海洋結合モデルによる気候予測に基づく。

## (ii) 海洋生物地球化学モデル

4成分をもつ簡略な海洋生態系モデルを東大気候センターと地球フロンティアが共同開発する海洋大循環モデルCOCOに組み込み、7年間の積分を行った結果を観測データと比較した。海洋生態系にとって重要な物理環境である混合層深度は大循環モデルによって比較的よく再現されており、北大西洋北部と南極海における振幅の大きな混合層深度季節変動もモデルによって表現されている。また植物プランクトン現存量の指標となるクロロフィル濃度分布についても、北大西洋・北太平洋北部や赤道域、南極海といったエクマン湧昇域で濃度が高くなる様子、北大西洋北部と南極海における急激な混合層深さの変化のため植物プランクトンのブルームが起こる現象などがモデルにより再現された(図31)。炭酸系のモデルへの組み込みも既に完了しており、定常に達するのに必要な数千年の積分をこれから行う予定である。全球の海洋生態系モデルとしては高解像度といえる本研究での設定の下、こうした長期積分を行うためには地球シミュレータを用いても3ヶ月程度の実時間が必要であり、従来のスーパーコンピュータでは事実上不可能といえる。

## (iii) 陸域生態系変動モデル

陸域統合モデルの構築に向けて、その構成要素とする植生動態モデルを開発する。限られた人的資源と期間のもとで一定の成果を得る為に、これは温暖化の影響が最も顕著に生じると考えられている北方域の植生変化に特化した植生動態モデルとする。高等植物にとっての極限環境である高緯度地域では、既存のDGVMで仮定されているギャップ動態よりも、微少な気候変化や山火事による攪乱が植生動態を最も強く規定している。そこで、そのような高緯度地域に特異的な動態を扱った極域生態系移行モデルALFRESCOをベースとして用いる。ALFRESCOは、経験的データに基づいて極域生態系の移行を予測するものの、統合モデルの構築に際して必須の情報である木本現存量やサイズ構造を扱わない。そこで、これらを扱えるように、ALFRESCOに植物の成長・拡散モデルを組み込むという拡張を試みる。また、より信頼の置ける予測を得るため、次の拡張を試みる。①種子拡散を明示的に扱う、②極域のヘテロ的景観を適切に扱う。

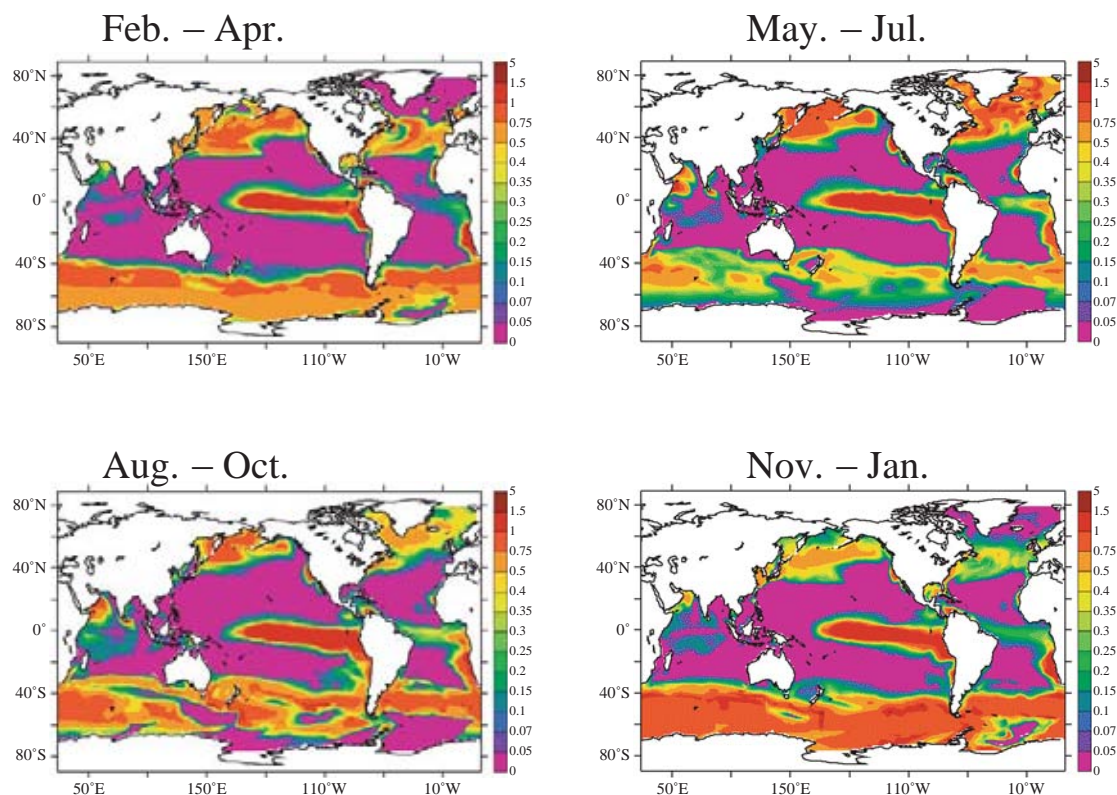


図31 海面クロロフィル濃度の季節変動。モデル結果とCZCSによる衛星観測。単位は $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(b) 温暖化・大気組成相互作用モデルサブグループ

(i) 温暖化・大気組成変化相互作用モデル

対流圏オゾンは、それ自身が地球温暖化に影響を与えるだけでなく、二酸化炭素やメタンなどの温暖化気体の光化学的寿命をコントロールするという重要な役割を持っている。本サブグループでは化学過程と陽に結合した大気大循環モデルを用いて対流圏・成層圏オゾンと気候変動との相互作用を定量的に評価するとともに、統合モデルにおいては地表植生モデルや海洋化学モデル、エアロゾルモデルなどの他のサブモデルとの相互作用についても考慮する予定である。平成14年度においてはまずその端緒として、大気大循環モデルにおける高精度物質移流スキームの導入と、対流圏化学結合大気大循環モデルを用いた温暖化・大気組成変化相互作用に関する数値実験を行った。高精度移流スキームにより、モデルの上部対流圏における比湿の過大評価傾向が改善されることが確認できた。また対流圏光化学結合大気大循環モデルを用いた将来予測実験を行った結果、主要な温暖化起源物質であるメタンおよび硫酸エアロゾルの濃度が気候変動および水蒸気量の変動に大きく影響されることが分かった(図32)。

(ii) 温暖化-雲・エアロゾル・放射フィードバック精密評価

このグループでは大気大循環モデル(GCM)でエアロゾルが雲の光学特性に及ぼす影響、すなわち対流圏エアロゾルの間接放射強制力を評価するためのパラメタリゼーションを開発することを目標としている。まずGCMにおけるエアロゾルの間接放射強制力の評価についての現状を把握するため、CCSR/NIES-GCMとMax Plank Institute-GCMに関して文献調査、検討を行った。

また、地球フロンティアで開発した雲微物理モデル(Kuba et al., 2003)により、雲粒の凝結核(Cloud Condensation Nuclei : CCN)が雲の微細構造に及ぼす影響を評価するパラメタリゼーションを開発した。このパラメタリゼーションを有効に機能させるために、エアロゾル気候モデルであるSPRINTARSの出力の取り入れ方の検討を行った。New Icosahedral Atmospheric Model(NICAM), Satoh, 2003, Tomita, 2002を用いた雲微物理モデル搭載超高解像度全球モデル開発の準備として、ヘブライ大学 HUCM雲微物理モデル(Khain et al., 1999)と気象庁MRI/NPD-NHM非静力メソスケールモデル(Saito and Kato, 1999)を基に、新たに3次元ビン法雲微物理モデルを開発した(井口, 2002)。

(c) 寒冷圏モデルサブグループ

地球上南北両極には陸上に氷床、海上に海氷があり、それらの生成変動は地球規模の気候変動と直結している。このため、温暖化に伴い氷床や海氷が敏感に反応して融解したり、さらに広範囲の気候や海面変動に影響を及ぼすことが懸念されている。そこで、このグループでは、最終的には地球シミュレータ上で稼動する大気/海洋/海水/氷床結合モデルを構築し、地球温暖化や海面変動の予測実験を行なう。まず、部分モデルの改良をしながら様々な感度実験を通じて不確定要素の把握につとめる。さらに、結合されたモデルを用いて現在や過去の再現実験を行いながら、予測実験の精度を高めることをめざす。また、2万年前の最終氷期以降に関して、海洋底堆積物や地形のデータによる過去の気候や氷床変動/海水準の復元がかなり高精度で行われるようになってきたので、これを再現する数値実験を試みることを通してモデルの検証を行っていく。

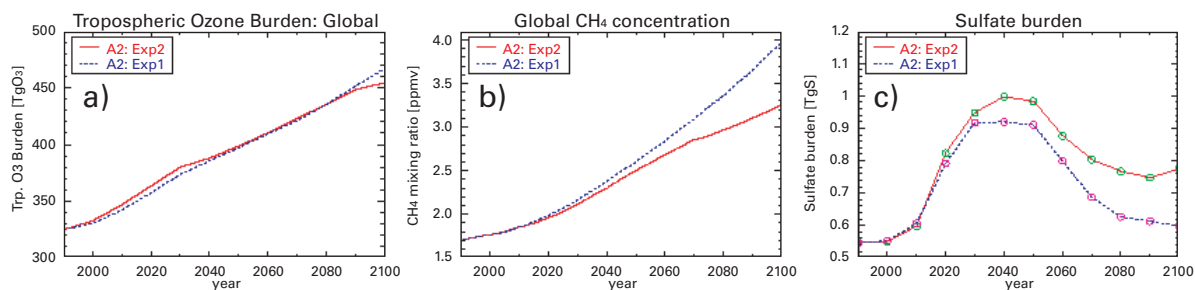


図32 対流圏オゾン総量(a)、全球平均メタン濃度(b)、硫酸エアロゾル総量(c)の時間発展(1990-2100年: SRES-A2シナリオ)。実線:気候変動あり(Exp2)、点線:気候変動なし(Exp1)。

## (d) 気候物理コアモデル改良サブグループ

大気・海洋・陸地面の主として物理過程から成る気候モデル(CCSR/NIESモデル、既存)で成層圏の諸プロセスを改良もしくは新しく取り入れたモデルを開発する。大気モデルの改良に関しては、現モデルで不十分な中層大気(成層圏・中間圏)の諸プロセスの改良を図る。即ち、中層大気中への人為起源物質の侵入により、中層大気特有のオゾン層の物理・化学過程と太陽からの放射の変動が相互に影響し合って中層大気の変動を引き起こすと共に、それが下層対流圏の変動と結合して気候変動を生じる機構をモデル実験によって明らかにする。また、内部重力動波の挙動とそれが大気循環に及ぼす影響を超高解像度大気モデルによって明らかにする。本年度は、気候モデルの上端を上部中間圏(80km)まで拡張し、モデルの水平・鉛直解像度ならびに物理過程のチューニング・パラメータを変化させた実験を数十ケース行うことにより、中層大気の様々な過程を支配する大気波動の役割の重要性を認識できた。本年度のシミュレーションで達成した解像度は、水平T106(1.1度格子)、鉛直層厚200mである。また、解像度を変えて実験した際に、地球シミュレータの計算機資源と、実際の計算時間をどの程度必要とするかも調査した。また、従来のモデルで用いられてきた鉛直座標系は $\sigma$ 座標系であり、地表から離れた対流圏界面付近以上の高度では、力学過程の表現に問題が生じる可能性が指摘されていたが、これを $\sigma$ -pハイブリッド座標系に変更することにより、成層圏以上での計算精度が向上した。一方、このモデルに特有の問題である、対流圏界面付近の低温・湿潤バイアスに関しては、その実態の詳細と、原因となる過程に関する調査を進めたが、その解決は次年度の課題として残された。

### 3) 先端的四次元大気海洋陸域結合データ同化システムの開発と高精度気候変動予測に必要な初期値化・再解析統合データセットの構築(課題7)

文部科学省承認共生プロジェクトの一端を担う同研究は、近年目覚ましい進歩を遂げた地球観測システムと大循環数値モデルを活用して、四次元データ同化システムの高度化を図り、高品質の初期値化データセットと再解析統合データセットを作成することを主な目的とし

ている。すなわち、時空間的に断片的な観測データと高性能気候モデルの利点を相乗的に引き出すことにより、季節から経年変動予測ならびに地球温暖化予測・水循環変動予測の精度向上に有益な四次元再解析統合データセットを構築することにある。

近年のデータ同化研究の進展に伴い、大循環モデルを用いた変分法(VAR)データ同化は、物理的整合性のある統合データセットの作成に最適なアプローチであることが示された。しかしながら、その計算負荷は極めて大きいために(最低でもシミュレーションモデルの100倍)、変分法を用いた全球大循環データ同化システムの構築・運用は、3D-VARと呼ばれる空間三次元の力学補間に留まらざるを得ない等の制約があった。このような制約は、地球シミュレータを使用すれば打破できる。すなわち、単体モデルではなく大気海洋結合モデルを用いて、さらに、空間三次元に加えて時間軸方向にも力学的整合性を確保できるアジョイント同化手法を用いて、四次元フル結合データ同化システムの構築と運用が可能である。これにより、全球気候システムの力学的／熱力学的過程の理解や気候変動予測の向上が期待できる。

このような目的の達成に向けて、図33に示す5つのテーマを設定した。

- テーマ1:再解析関連統合データの集約・品質管理及び国際データネットワークの構築
- テーマ2:地球シミュレータ向け大気海洋陸域結合モデルの改良
- テーマ3:適応変分法四次元データ同化システムの開発と再解析統合データセットの作成及び検証
- テーマ4:超高分解能気候モデルによる初期値化・予測精度の向上に関する研究
- テーマ5:分散共有型データベース・システムユーティリティ・管理環境の整備

以下では、地球フロンティアが主担当のテーマ3を中心に、研究初年度(全期間5年)の研究成果の概要を記す。

テーマ1では、地球フロンティアとIPRCをコアグループとして、国際データネットワークの構築、および大気、海洋、陸面における観測／再解析データセットの集約・品質管理を行い、付加価値の高い観測データベース(表3)のプラットフォームを整備・構築した。これに伴い、NCEP/NCARから取得したBUFRデータ

セットが、四次元変分法を用いたデータ同化実験に最適な入力データであること、また、ECMWFのERA-40が実験結果の検証に有用であることが分かった。加えて、共同研究者により、優れた高分解能海面水温データセット(雲なし10km・全球)と太平洋の

平均海面フラックスを構築した。

テーマ2のグループは、地球フロンティアの栗原宜夫をヘッドに、地球シミュレータセンター(ESC)と地球フロンティアが共同研究を行い、地球シミュレータ上での大気海洋結合モデルの改良と高速演算化に成果をあげた。

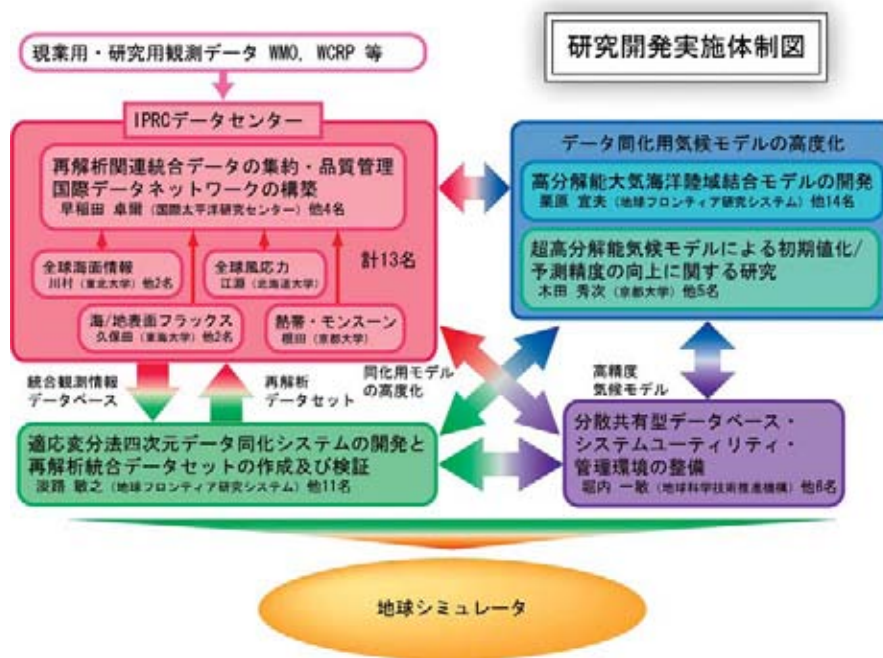


図33 研究開発実施体制

表3 データセットアーカイブ

Ocean In Situ Obs. Data	WOCE CTD, bottle & current meter, UOT; ARGO pacific & Indian ocean;
Ocean GPV	Levitus climatology, COADS climatology,
Oceanic Reanalysis	Simple Ocean Data Assimilation (SODA), ECCO Kalman filter, ECCO adjoint
Atmospheric GPV	CMAP precipitation,
Atmospheric Reanalysis Data	ECMWF Reanalysis (ERA-17,40), ECMWF operational (ds111.1, ds111.2, ds.111.3), NCEP Reanalysis 1 & 2
Satellite Data	QuikSCAT Level 3, Atlas SSMI, TMI precipitation radar, GSSTF Turbulent fluxes, GOES precipitation index, WOCE satellite winds (ERS1,2, NSCAT, QuikSCAT, SeaWinds on QuikSCAT), GHRSSST, J-OFURO flux data
Land Data	Vegetation data (NCAR vegetation, NOAA Ecosystem database (vegetation, FAO Ecocrop) Soil data (FAO Soil Map & Soil Properties) Precipitation data(GPCP) Snow-ice data (NSIDC) Others (GLCC global land cover characteristics database, ISLSCP)

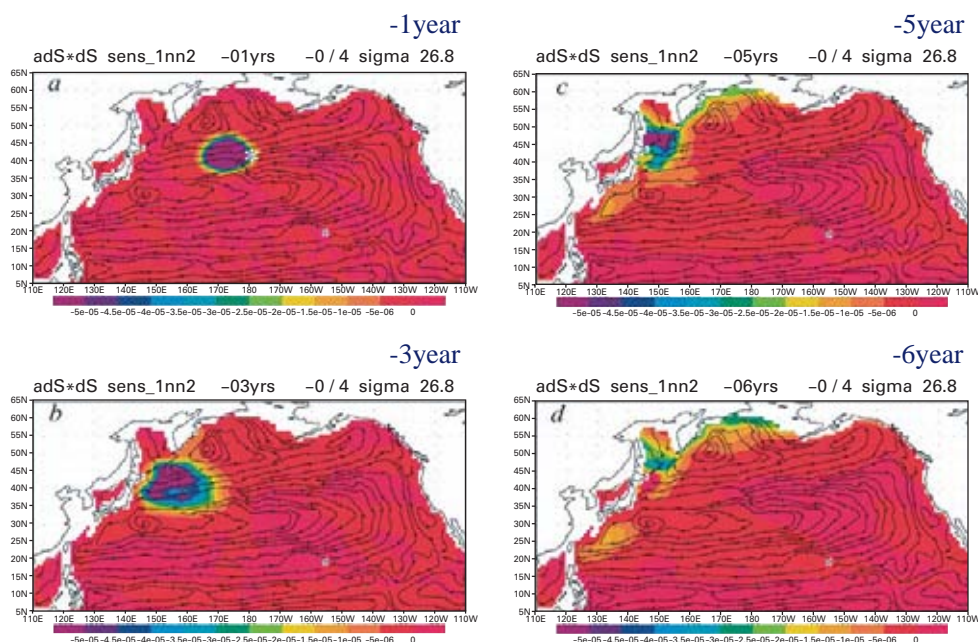


図34 26.8<sub>0</sub>面上でのSのアジョイント変数とその増分dSの積の空間分布(43°N、18°E(400m深)に人工的なコストを与えた);(a)1年、(b)3年、(c)5年、(d)6年間のバックワード計算の結果。

テーマ3では、地球シミュレータ向け改良気候モデルを用いて、四次元変分法データ同化システムの研究開発を行った。地球フロンティアのデータ同化グループは、四次元変分法同化システムの海洋コンポーネントを完成させ、全球海洋循環の再現に適用した。大気コンポーネントについては、ドライモデルバージョンを用いたデータ同化システムを構築して感度実験を行い、性能調査を行った。以下に結果の概要をまとめる。

高性能海洋大循環モデル(MOM3)とアジョイント法を用いた海洋データ同化システムの全球海洋への適用により、気候学的季節変動場を従来より高精度で再現した再解析データセットの作成に成功した。水温・塩分場に人為的な source/sink 項を加える従来のナッジ法データ同化とは対照的に、このような操作を行わずに現実海洋の循環の実態を明らかにし、かつ北太平洋亜表層の代表的な水塊である北太平洋中層水(NPIW)や亜熱帯モード水及び亜寒帯の中冷・中暖構造を解析しえた例はない。さらに、アジョイント法データ同化の利点である感度実験により、NPIWの起源は亜寒帯域のオホーツク海とベーリング海および亜熱帯の黒潮流域であり、これらが本州以東の黒潮続流域周辺で混合することによりNPIWが形成されることが明らかとなった。この結果は最近の観測結果と一致する。

作成した再解析データセットを用いて、表層赤道太平

洋における熱・塩分・運動量バランスの季節変動解析を行った結果(図35)、西部赤道太平洋におけるエルニーニョ・オンセット時のいわゆるフェーズ・ロック過程に対して、例えば、冬季から春季にかけて130°E~170°Eに正

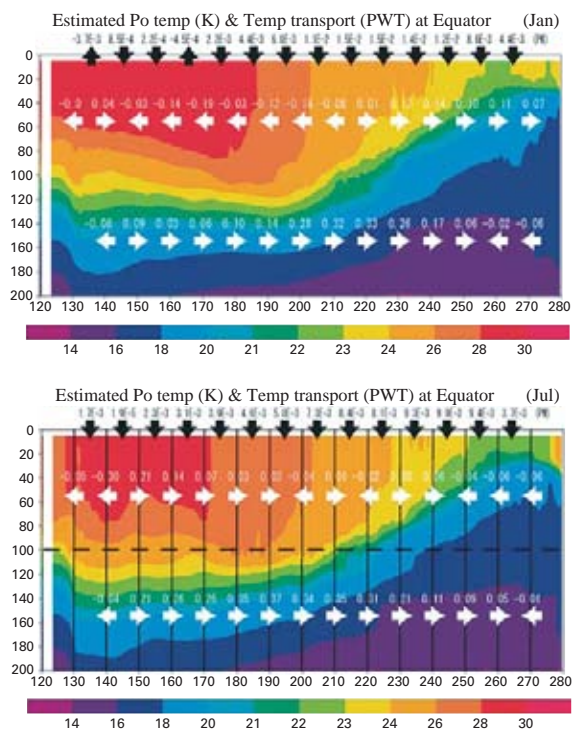


図35 表層赤道太平洋における熱フラックスの季節変動(上:1月、下:7月)。矢印は熱フラックスの向きを示している(単位はPWT)。

味の上向き熱フラックスが存在するなど、再解析データセットは重要な示唆を与えるものであることがわかった。詳細なメカニズムの解明は今後の課題である。

図36は、赤道対流圏上部(180°)に風速擾乱を与えた時の大気アジョイントモデルの感度を示している。この図から、インプットされた擾乱が時間方向に逆向きに進んでいることがわかる。流速の擾乱のシグナルはアジア大陸までトレースバックされるなど、観測結果と矛盾しない描象を得た。四次元変分法を用いたデータ同化システムから得られたこれらの結果は、現象の再現に有益であるだけでなく、気候変動の予測にも役立つことを示唆している。

テーマ4では、京都大学のグループが大気と海洋の非静力学領域モデルを構築した。大気モデル関係では熱帯域における積雲対流過程を、海洋モデル関係では渦輸送の過程を、それぞれ再現するよう、これら

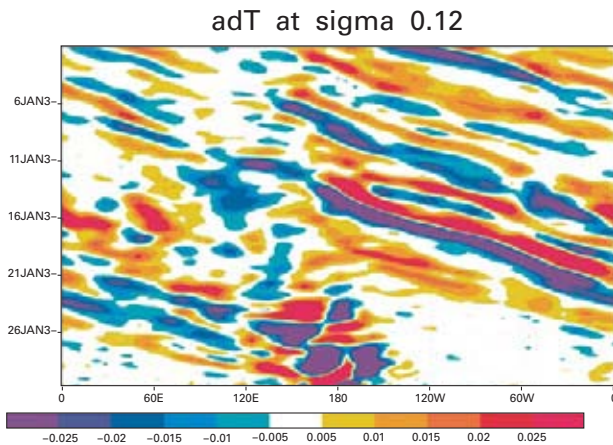


図36 赤道対流圏上部に流速擾乱を与えた場合の感度分布(特定された擾乱が時間方向に逆向きに進む描象)

のモデルを全球大循環モデルに組み込む手法について現在研究を進めている。

テーマ5では、IPRCの早稲田卓爾をヘッドに、AESTOとIPRCの共同研究グループによって、分散共有データベースのプロトタイプを構築した。これにより、気候科学データへの柔軟なアクセスを可能とするウェブ利用型のライブ・アクセス・サーバー(LAS)を介して、分散したデータベースを仮想的な一つのデータベースと見なす高度な処理が行えるようになった(図37)。このサーバーシステムの機能は、国内外に分散したデータを利用する同化システムの運用に極めて有益である。

以上の結果は2002年度に掲げた研究目標が概ね達成されたことを示しており、今後の研究活動に明るい見通しを与えるものと判断できる。

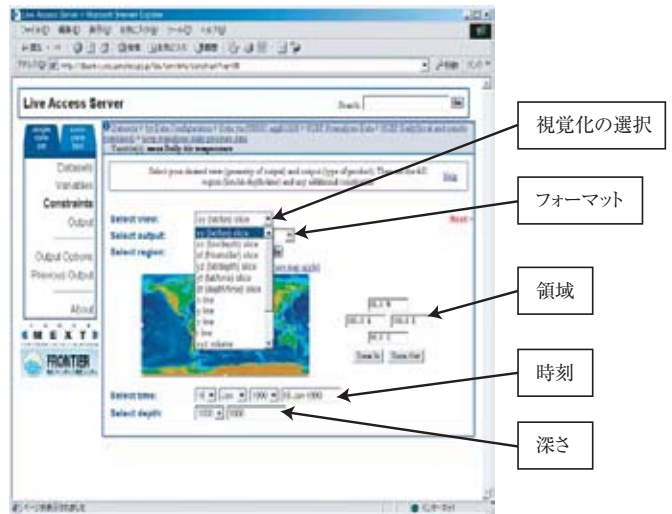


図37 テーマ5で構築されたLASを用いたプロダクト・サーバー

## 9. 地球観測フロンティア研究システム

### (1) 研究活動の概要

地球観測フロンティア研究システムは、地球シミュレータ(スーパーコンピューターの運用)、地球フロンティア研究システム(モデル研究)と三位一体の取り組みにより地球変動予測の実現、地球温暖化防止への貢献を目指している。地球環境変動予測に向けた次世代の高解像度全球統合モデルを開発する上で、広域で長期にわたる高精度の観測データの必要性が強く指摘されている。これらのデータ不足を解消するためには、既存の観測研究プロジェクト、および国内外の研究機関と協力し、既存の観測施設等を積極的に活用しつつ、機動的かつ集中的に観測研究を行う新たな枠組みが必要である。観測フロンティアは、優秀な研究指導者のリーダーシップのもと、流動研究員制度と関係省庁・国研・大学・民間等の枠組みを越えた広範な協力体制、並びに、観測技術員、研究推進スタッフの活用によって、時間的・空間的スケールの大きな気候変動現象の解明、モデル研究に必要なグローバルな観測データの取得、データ同化のための全球的観測システムの構築への貢献等を目指した観測研究に取り組むものである。本研究システムは平成11年8月に発足し、平成14年10月から杉ノ原伸夫システム長となった。

### (2) 各研究領域における研究

#### 1) 気候変動観測研究領域

数年～数十年の気候変動のメカニズムを解明するための3つのキーエリア(熱帯の太平洋からインド洋にかけての暖水域、太平洋の西岸境界流・黒潮、海洋内部領域の垂表層・中層)で、それぞれの課題を解決するための観測を3研究グループで行っている。前二者についてはこれまでにない精密な観測を行ってモデルによる予測精度の向上を目指す。また、後者に関しては広範囲での連続的な観測を可能にするためのシステムを開発し、変動メカニズムの解明を目標としている。

#### (a) 大気海洋相互作用グループ

大気海洋相互作用グループでは、西部熱帯太平洋・インド洋における海洋大気相互作用過程の解明を目指す。主として同海域の大気海洋変動メカニズム、

季節内振動の役割、エルニーニョ、並びにそれらとアジアモンスーンとの関係等の解明のほか、メソスケールの雲群を含む熱帯海域での大気海洋相互作用の解明などを目的とする。なお、西部熱帯太平洋域における観測は水循環観測研究領域と共同で行っている。

西部熱帯太平洋域では、平成12年度から開始したパラオ共和国ペリリュー島を拠点とした各種地上気象観測を継続して実施した。今年度は、特にマイクロ波放射計などによる水蒸気輸送過程の把握に重点をおいた観測を強化した。12月の集中観測期間中はパラオ共和国コロールのラジオゾンデ観測を1日4回へと増やし、詳細な高層観測データが得られるようになった。また、3月には、パラオ共和国アイメリークに新たなサイトを構築し、水循環観測研究領域 雲・降水過程グループの長江観測で用いたウインドプロファイラーを移設して、連続観測を開始した。

今年度の集中観測として、パラオ共和国コロール国際空港を基地とし、熱帯海洋上の水蒸気変動や暖水上で発生・発達する対流雲周辺場の大気状態を把握することを目的として、ガルフストリームII型機(図1)を用いた航空機観測を実施した。「みらい」MR02-K06の停船観測点を目標空域として、ドップラーレーダー観測範囲内でのドロップゾンデ観測を2回行なった。

ライン状の対流降水雲を対象とした観測では、合計7個のドロップゾンデを投下し、メソ気象モデルによる数値実験との比較解析が可能なデータを取得した(図2)。晴天時の観測では、季節内振動通過後の対流抑制期における、対流圏中層への乾燥大気の侵入をとらえることができた。また、今回の航空機観測では、通信総合研究所との共同研究による雲レーダー及びドップラーライダーの観測も実施した。



図1 コロール国際空港駐機中のガルフストリームII型機

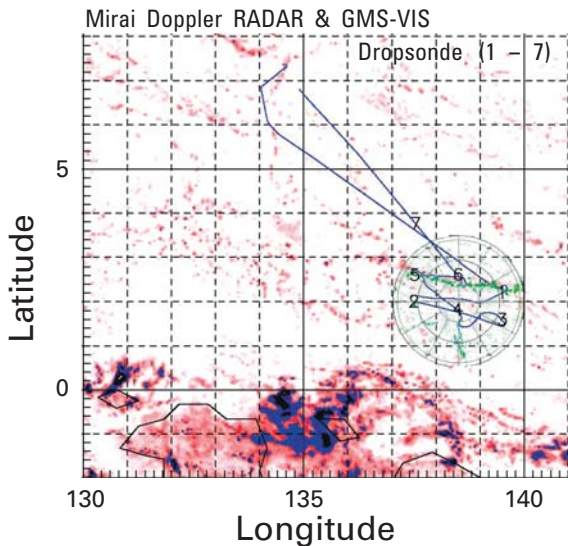


図2 「みらい」レーダー反射強度(円内)とGMS可視画像。  
青線は航空機の飛行経路、数字はドロップゾンデ投下地点。

一方、東部インド洋暖水域においては、季節内擾乱から数年規模の海洋変動を理解するための観測を引き続き行った。赤道上での海流の流速変動を把握するため、平成12年11月から東経90度の赤道上に中層 ADCP 係留系を設置しており、現在も継続観測中である。この流速データから、インド洋赤道上的の表層東西流速には、数十日程度の短周期変動が卓越することが示された(図3)。さらに「みらい」MR02-K04航海では、船底固定式 ADCP や CTD により、赤道域で発生する東西流ジェットの空間分布に関する観測を行った。

また、気象庁および水産庁との共同研究としてインド洋および西太平洋の2測線上でボランティア船による XBT/XCTD 観測を継続している。なお、漁船を利用したインド洋における広域 XBT/XCTD 観測も継続中である。

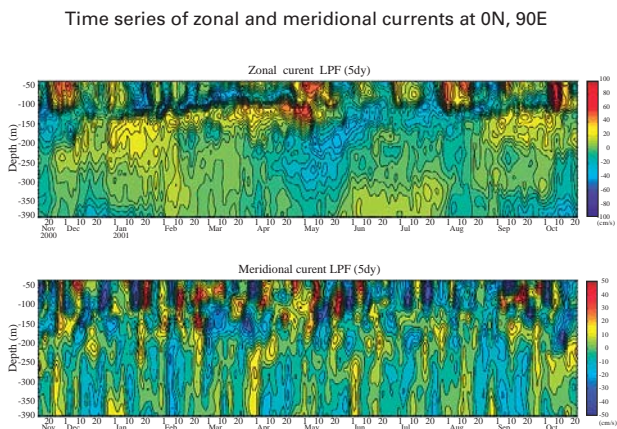


図3 東経90度、赤道上的の中層ADCPで観測された流速

(b) 亜表層・中層の海洋変動グループ／

ARGOプロジェクト

亜表層・中層の海洋変動グループでは、10年～数十年周期の気候変動に大きな影響を及ぼす要因と考えられる海洋の亜表層・中層の変動メカニズムを海洋物理学の見地から太平洋スケールで解明する研究を目的としている。

その目的のため、海洋観測研究部と合同でARGOフロートの展開を継続した。展開計画の作成に当たっては、数値モデルによるシミュレーションにより効率的な投入点を決め、北太平洋の亜寒帯域から赤道域にかけて85台(図4a)、インド洋東部に4台(図4b)、南大洋に6台(図4c)の計95台のフロートを、JAMSTEC(みらい、かいよう)、気象庁(凌風丸、啓風丸)、海上保安庁(拓洋、昭洋)、北大水産学部(おしよろ丸)、東京水産大(海鷹丸)の各観測船の協力により展開した。

PMEL (NOAA) が開発したフロート塩分測定値の品質管理手法について、実データを用いて種々なテストを行った。その結果、高品質のデータベースを用いれば、この手法の精度が上がることを確認した。現在、PMELと共同して太平洋の高品質データベースを作成中である。

アルゴフロートに搭載されているCTDセンサーの長期安定性を調べるために、投入後4～9ヶ月後に回収したアルゴフロート3台のSBE製CTDセンサーについて投入前、回収後の検定値を比較・検討したところ、水温・塩分の観測精度には有意な変化は見られず、

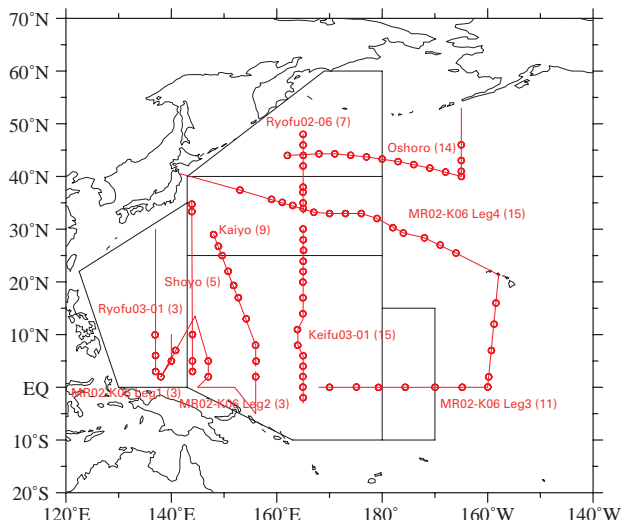


図4a 太平洋におけるARGOフロート投入点

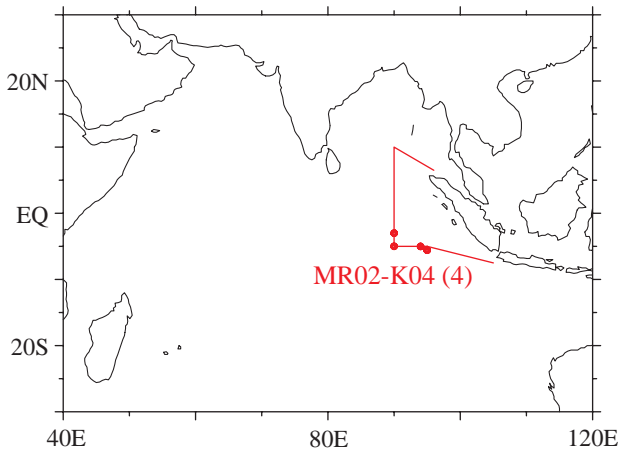


図4b インド洋におけるARGOフロート投入点

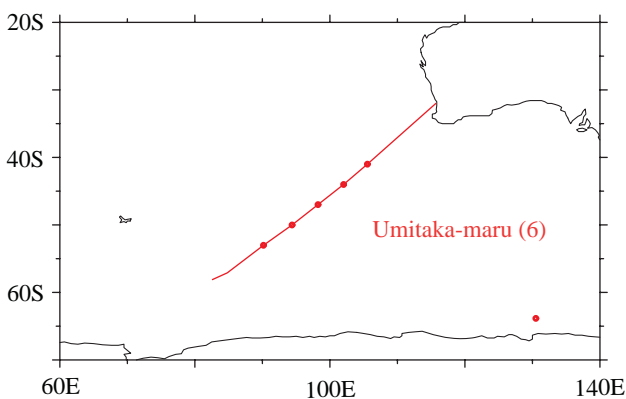


図4c 南大洋におけるARGOフロート投入点

水温0.005°C、塩分0.01psuというアルゴ計画の目標観測精度を十分満足していることが明らかとなった。

気象庁の1996年から2001年までの東経165度観測定線のCTDデータを基に、北太平洋中央モード水について解析を行い、フロントの構造が北太平洋中央モード水の形成や獲得する水温・塩分構造に大きく影響することを明らかにした。

また、海洋混合層の厚さの月変化について、アルゴフロートデータとWOA98のデータを比較したところ、いずれの月でもアルゴフロートで観測した混合層の厚さの方が1~23mほど深いことが分かった。

フロートデータを有効に利用するために、地球フロンティアと協力して同化手法の開発・改良を進めた。

海洋学会春季大会のシンポジウムとして「Argoの現状と将来 - Argoは海洋学に革命をもたらすか-」を開催し、プロジェクトの現状、アルゴデータの応用と今後の見通しについて活発な議論を行った。

(c) 日本沿海予測実験グループ

日本沿海予測実験グループは、熱の南北輸送に大きな役割を果たしている本州南岸を流れる黒潮の流量および流路の変動機構に関わる物理的要素についての観測研究を行うことを通して、気候変動数値予測モデルの予測精度の向上と検証に資することを目的としている。本州南岸の黒潮変動機構を理解するために、日本南岸の黒潮流量の約50%を供給していると考えられている南西諸島南東側の北上流(琉球海流系と呼称される)の平均像とその季節変動の実態を明確にすること、および琉球海流系の駆動と変動に大きな役割を果たしていると考えられている中規模渦と地形の効果を解明することを目指し、集中観測域を、宮古島から奄美大島にかけての南西諸島の南東海域に設定して、観測研究を進めている。

本年度は、5・6月に海洋地球研究船「みらい」によって奄美大島南東海域および沖縄本島南東海域にPIES(圧力計付転倒式音響測深器)を計12台設置した。12月には支援母船「よすか」にて、これらのPIESと前年度11月に設置した3DACM(三次元超音波流速計)1台を回収するとともに、奄美大島南東海域、沖縄本島南東海域、宮古島南東海域に、計14台のPIES、3台のRCM(記録内蔵式流速計)、2台の3DACM、1台の係留型ADCP(音響ドップラー流向流速鉛直分布計)を設置した(図5)。これらの係留系は平成15年8月に回収する予定である。さらに、ロード

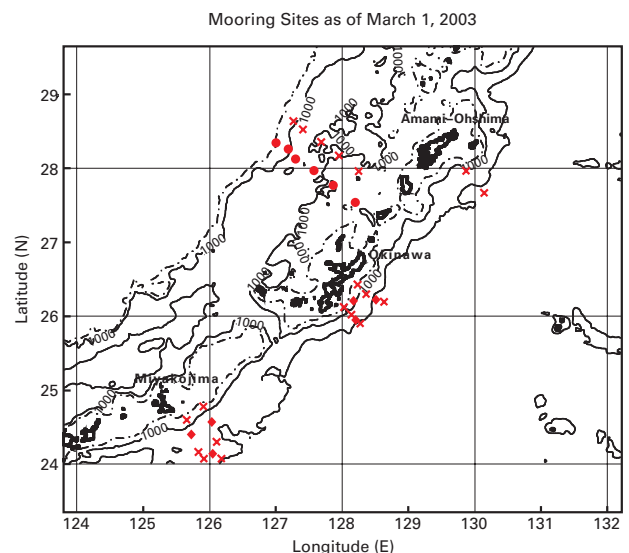
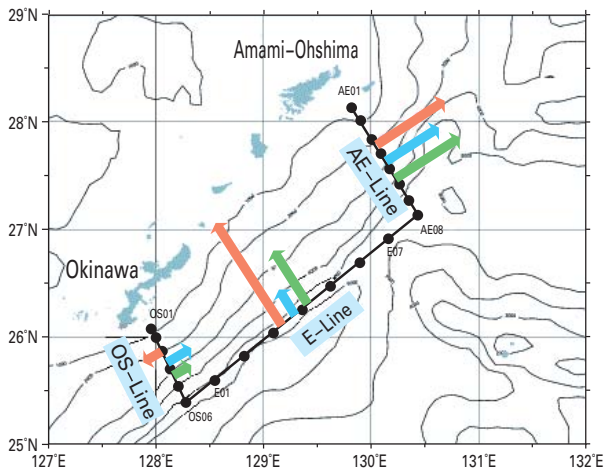


図5 平成14年12月の「よすか」航海で設置された係留機器の配置図 ×:PIES、●:CPIES、◆:流速計

アイランド大学との共同研究により東シナ海に5台のPIESと6台のCPIES(流速計付きPIES)を設置した。

「みらい」、長崎大学水産学部「鶴洋丸」(9月)および長崎海洋气象台「長風丸」(10月)では、奄美大島南東



Transport* (Sv)	Jun. R/V Mirai	Sep. T/S Kakuyo-maru	Oct. R/V Chofu-maru
AE-Line	22.08	17.10	19.36
E-Line	29.08	6.15	17.53
OS-Line	-4.49	7.05	4.81
Res i due	+2.51	-3.90	+2.98

\*upper layer (0~1000dbar) referred to shipboard ADCP data at 100m depth

図6 奄美大島南東のAE線、沖縄本島南東のOS線、沖合のE線で囲まれる領域における平成14年6月(赤)、9月(青)、10月(緑)における流量収支。下表は各線での1000m以浅の表層における、航走ADCPで得た深度100mでの実測流に準拠した地衡流速の断面積分量(単位はSv)。

海域および沖縄本島南東海域でCTD/LADCP観測を行った。さらに、「よこすか」では宮古島南東海域においてXCTD観測を行った。

これらの海洋観測で得た資料の解析により、以下の結果が得られた。

- (i) 奄美大島南東海域の北上流の流量は沖縄本島南東海域の北上流の流量より10Sv~20Sv (1 Sv = 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s)大きい。この差は奄美大島と沖縄本島の間向西向きに流入する流れによって説明できる(図6)。
- (ii) 奄美大島南東海域では200m深にはその上下より20cm/s以上大きい流速極大が存在する(図7)。
- (iii) 宮古島南東海域においても約10Svの北東流が存在する(図7)。

なお、平成13年度に沖縄本島南東海域で回収したPIES他の観測資料の解析結果をまとめた論文は、2003年1月にGeophysical Research Lettersに掲載された。

## 2) 水循環観測研究領域

水循環観測研究領域においては、主に、アジアモンスーン地域、ユーラシア大陸を中心として、我が国の気候変動に大きな影響を与えるアジア・モンスーンの年々変動、並びに地球温暖化に伴う長期的なモンスーン変動と水資源変動に関わる物理過程を解明し、これらを予測する統合モデル及び観測システムの構築に資することを目標とする。

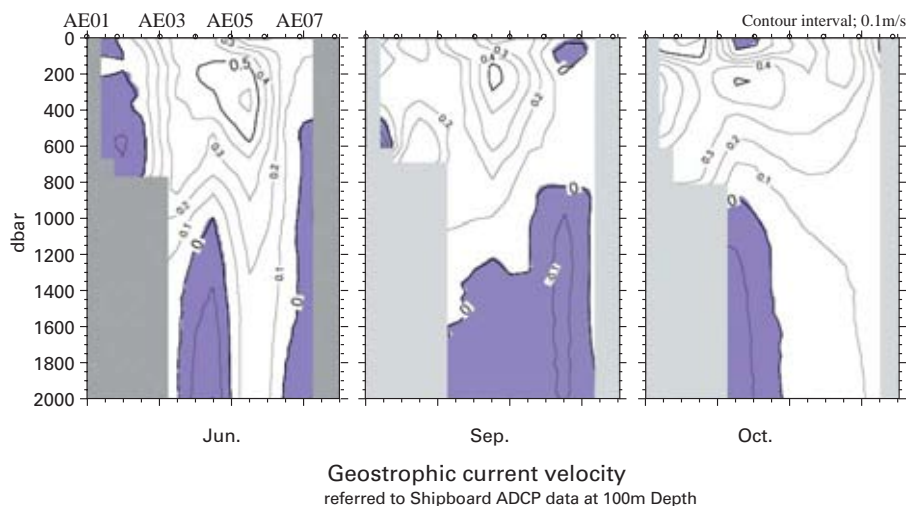


図7 奄美大島南東観測線における、航走ADCPで得た深度100mでの実測流に準拠した平成14年6月(左)、9月(中央)、10月(右)の地衡流速断面分布。暗青色の部分は南西向きを示す。等値線間隔は10cm/s。

## (a) 広域水循環グループ

広域水循環グループでは、モンスーンアジアでの広域大気・水循環変動過程の解明を目指し、前年度から開始したインドネシア、タイ等での本格的観測を平成14年度も継続した。またデータ解析に基づく研究成果の論文刊行も相次いで行われ、その中にはフロンティアや学会で顕彰を受けるものも出ている。

## (i) インドネシア海洋大陸域の「雲・降水活動および水・熱循環の日変化、季節内変動、経年変化」観測について

スマトラ島中央部ブキティンギ北郊のコタバンを拠点として、降水特性、顕熱・潜熱フラックス、低層風等の観測、周辺の自動雨量観測などを継続した。レーウインゾンデ強化観測(4~8回/日)について本年度は延べ約60日行なった。また同島西岸パダン、その沖のシベル島でも部分的観測を行い、さらにインドネシア東部のパプア島の属島ビアクでも将来へ向けて予備調査を行った。

これまでに取得・収集したデータの解析から、季節内変動に伴う偏西風強化フェイズにコタバンの降水雲(午後に集中)を生む局地循環が抑制されることを示した論文、雨季の出現期間や雨量についてインドネシア全域にわたる地理的差異やエルニーニョ南方振動等に伴う年々の違いを示した論文が刊行された。また、強化観測期間のデータからスマトラ島全島にわたる雲や風の巨大な日変化の存在が明らかになってきた。インドネシア全域にわたる過去の高層気象観測資料の解析から、ハドレー循環や対流圏界面の季節・経年変動も得られた。



図8 西スマトラ州内に設置した自記雨量計(全12地点)の保守・点検及びデータ回収作業

## (ii) チベット・タイ・インドネシアにおける

## 「水・熱循環の日変化」

平成13年度からGPS水蒸気量観測を行っている各地域のうち、インドネシア・スマトラ島(コタバンの、ジャンビ)については、山岳域(コタバンの)で午後から夕方にかけて増大する水蒸気量の顕著な日変化が解析され、日周期変動する局地循環による水蒸気輸送の卓越が明らかになった。

本年度からは新たにスマトラ西岸のパダン、その沖のシベル島、東隣のカリマンタン島西岸のポンティアナでも観測を開始した。前年度開始したタイ(バンコク、チェンマイ、プーケット)での観測も順調に継続している。また同様に平成13年度に観測(改則(ガイゼ)・那曲(ナチュ))を開始した、チベット~ヒマラヤ地域でのポストモンスーン季に見出された地域全体に及ぶ巨大な日周期変化については、数値シミュレーションとの比較研究が進行している。

## (iii) シベリア、チベット、インドネシア、タイにおける

## 「降水の起源」調査について

平成13年度から降水や河川水のサンプリングを行っているシベリア、チベット域、平成14年度からのインドネシア2地点、タイ4地点に加えて、本年度から新たにインドネシア東部(バリ島デンパサール、スラウェシ島マカッサル、マナド)やパラオでも観測を開始した。

シベリア、チベット域で取得したサンプルの同位体分析から得られた水循環の季節的特徴、またインドネシ



図9 インドネシアPontianakに設置したGPS受信装置及び自動気象ステーション



図10 インドネシア マナド気象台の雨量計

アや南太平洋で過去に取得された同位体分析データの解析からエルニーニョ南方振動に伴う水循環の経年変動、などが次々と得られ、論文として刊行された(一柳研究員の米国誌掲載論文は、システム長顕彰と2002年度の日本水文科学会研究奨励賞を得た)。

なお以上のうち、(i)、(iii)は京都大学等との共同研究である。

(b) 陸面水循環過程グループ

陸面水循環過程グループの観測研究の目的は、ユーラシア大陸域寒冷圏の陸域水循環過程及び大気陸面相互作用を解明し、地域・全球水循環における陸域の

役割を理解することである。平成14年度に実施した研究課題は、平成13年度と同じで以下のとおりである。

- (i) 大陸上の東シベリア、チベット、モンゴルなどの寒冷圏での水・熱循環過程とそれに対する積雪凍土などの雪氷及び植生の関係を解明する。
- (ii) 水・熱循環過程に関する良質のデータセットを構築する。
- (iii) 水・熱循環過程に関する陸域物理モデルを開発し、またその検証を行う。

この研究課題に関連し、平成14年度には以下の観測研究を実施した。

- ① 東シベリアのツンドラ帯(ティクシ地域)、タイガ帯(ヤクーツク地域)での多様陸面での水熱交換観測の継続。
- ② チベット高原西部域における水・熱循環の通年観測の継続。
- ③ モンゴル中北部における水・熱循環の流域観測の開始(図11)。
- ④ 北極海に面したバローでの固体降水量評価および地吹雪における水熱輸送に関する観測の継続。

平成14年度は③のモンゴルにおける観測開始に重点を置き、②については、観測体制を縮小するなど、予算削減に対応させた。不連続永久凍土帯である③

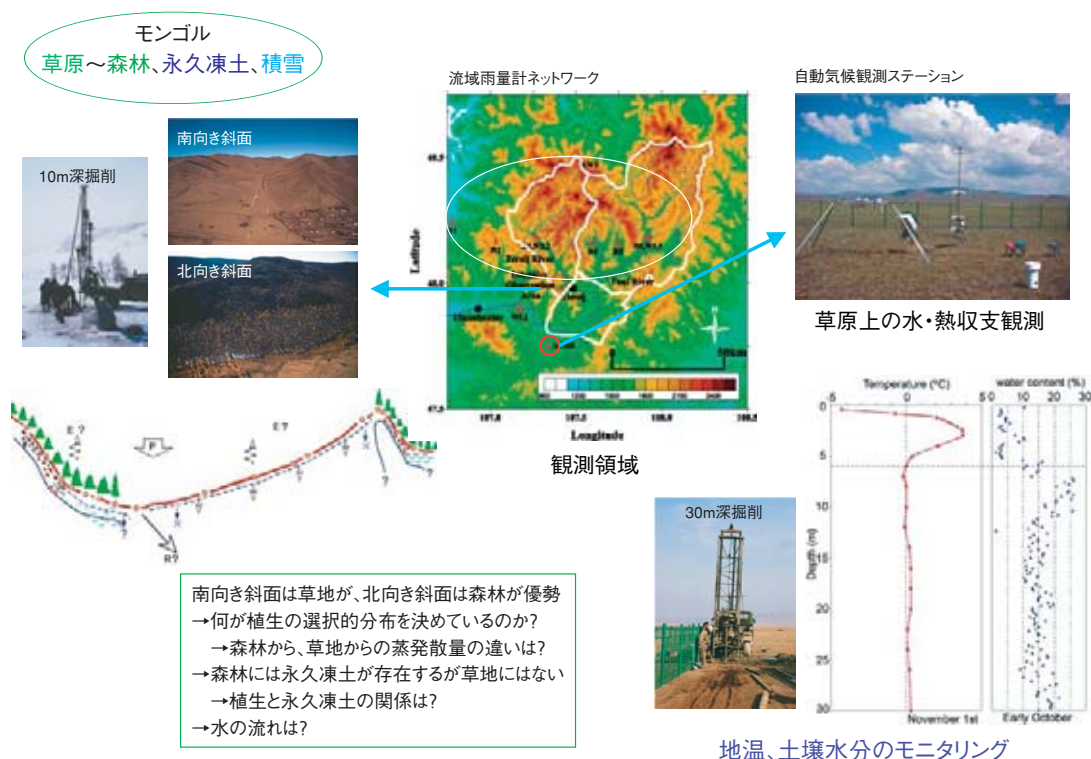


図11 ユーラシア永久凍土・季節積雪域周縁における水・熱循環観測研究

の開始により、連続永久凍土帯との水循環の比較研究および寒冷圏での陸域水循環の総合的理解が可能となる。④については長期の有人観測を実施し、解析に足るデータが一応確保できた。この研究では雪粒子の直接測定が威力を発揮している。また、水循環と植生生理に関するCREST計画の一部を分担することにもなり、外部との協力研究により研究に幅を持たせながら発展させている。

地球観測フロンティア研究システム発足3年間で当初目指した観測ネットワークがほぼ確立し、観測から積雪凍土帯での水熱循環の実態、雪氷・植生の役割を解明する体制ができたと言える。今後は、データの集積、取得データの解析、モデル構築に重点が移ることになる。

### (c) 雲・降水過程グループ

雲・降水過程グループでは、アジア・海洋大陸熱源域における水循環、特に、西太平洋赤道域から梅雨前線帯における大気水循環過程を明らかにするために、クラウドクラスターの水循環過程をマルチスケールで観測し、メソスケールの雲・降水システムを中心に大気水循環における各スケールの過程の役割を解明することを目指す。観測、解析結果をもとに、全球大気の数値モデルの開発及び改良に貢献する。

本グループは、梅雨期の長江下流域における降水システムの構造と発達過程、および西太平洋赤道域(パラオ諸島周辺)における雲・降水過程の観測を行っている。なお、西部熱帯太平洋域における観測は気候変動観測研究領域と共同で行っている。

長江下流域における観測は平成13年度より開始しており、それにより得られたデータを用いて、中国や日本に豪雨をもたらす梅雨前線上の降水システムの形成・発達過程に関する詳細な解析を進めている。これらの研究成果について、日中共同で主催した国際ワークショップにて研究発表を行った(図12)。

平成14年度は、平成13年度に引き続き、長江下流域に設置したドップラーレーダー、バイスタティック受信機、ウィンドプロファイラー、自動気象観測ステーション(AWS)、マイクロレインレーダーなどを用いて、梅雨期における降水システムの集中観測を行った(図13)。観測終了後に、観測機器を撤去し日本に輸送した。本年度の観測より、去年の観測と違った降水シ



図12 中国海口市で行われた国際ワークショップに参加した日本と中国の研究者



図13 集中観測に参加した研究員及び研究推進スタッフ

テムが数多く観測されており、長江下流域での降水システムの形成過程やその変動メカニズムの解明に関する研究を更に進めることが期待される(図14)。

西太平洋赤道域(パラオ諸島)における雲・降水過程の観測は気候変動領域の大気海洋相互作用の項を参照。

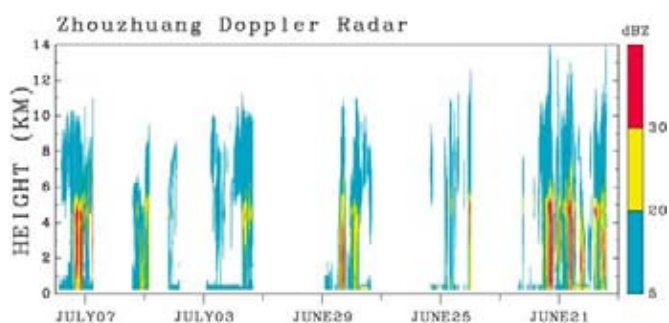


図14 ドップラーレーダーにより観測された反射強度(dBZ)の時間一高度断面図

### 3) 大気組成変動観測研究タスクチーム(共生第3課題 サブサブテーマ)

平成14年度に文部科学省・共生プロジェクトによって観測研究のため、地球観測フロンティア研究システムの中に大気組成変動観測研究タスクチームが結成され、観測研究を実態的に発足させるに至った。

#### (a) 対流圏オゾンの濃度変動プロセスの解明と温暖化影響に関する研究

本研究は、統合モデルに用いられる全球化学輸送モデルの検証・高精度化に資するため、対流圏オゾンに関わる大気化学観測を行うことを目的とする。本研究の研究課題は次の通りである。

- (i) 中国、シベリア、中央アジアなどのアジア大陸内陸部における対流圏オゾン(O<sub>3</sub>)・一酸化炭素(CO)の通年観測を行い、その季節変動などの観測データを取得する。
- (ii) HO<sub>x</sub>(OH、HO<sub>2</sub>)ラジカルの直接測定を含む集中観測を行い、対流圏光化学理論を検証する。
- (iii) アジアにおけるオゾン前駆体物質の2020年までの将来予測エミッション・インベントリーデータを整備する。

平成14年度は、東アジアの主要発源地域である中国におけるO<sub>3</sub>、COの分布・変動特性を明らかにするために、中国科学院・大気物理研究所と協同研究協定を結び、地域代表性のある観測地点として、Mt. Taishan(泰山)、Mt. Huashan(華山)、Mt. Huangshan(黄山)の3カ所を候補地として選定した。それらの内の泰山、華山の2カ所の現地訪問を行い、Taishanに紫外線吸収法によるO<sub>3</sub>連続測定装置、非分散赤外吸収

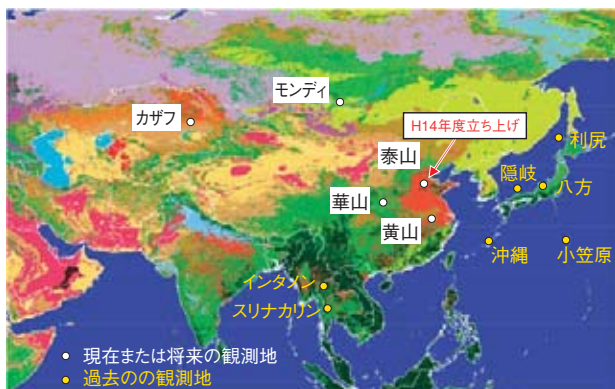


図15 本研究におけるオゾン・一酸化炭素の観測地点

法によるCO連続測定装置を設置、観測を開始した。また、東アジアに対するバックグラウンドデータを得るため東シベリアのMondy(モンディ)における観測についてロシア科学アカデミー・陸水研究所と打合せを行った。

OH/HO<sub>2</sub>ラジカル測定の準備を行い、これまでに開発してきたレーザー誘起蛍光法(LIF)装置について、世界のトップクラスの装置と同等な検出感度が得られるところまで測定感度を向上させることができた。

#### 4) 国際北極圏研究センター(IARC)における観測研究

国際北極圏研究センター(IARC)では、北極域の自然による変動、人為的な要因による変化を理解し、またその影響予測を目指している。平成14年度は、以下の2つの課題に関して観測研究を実施した。

##### (a) 海洋-海水-大気結合システム

複雑な北極気候システムの解明のため、北極海域における海洋-海水-大気間の相互作用の解明を目的とする。平成14年度は、北極域のうち太平洋との関係が深い地域において、以下の観測を実施した。

- (i) 酸素安定同位体とバリウム(Ba)を用いた海洋中の起源別淡水分布の追跡
- (ii) 係留系による北極表層水の観測
- (iii) 北極海化学成分データのデータベース構築

平成11年度、12年度、及び14年度の海洋地球研究船「みらい」の航海観測において、ポーフォート海で同位体分析用の海水試料を採取し、同位体分析を行い、その分析結果から、河川起源水と海水融解水の分布をそれぞれ推定した。この分析から、河川起源水、海水融解水ともにほぼ同程度に表層水の塩分低下(成層化)に寄与していることが明らかになった。平成11年度、平成12年度の分析結果、及び平成14年度の分析結果の一部を比較すると、これら2つの型の淡水の分布は、水平的にも鉛直的にも年毎に非常に異なり、複雑な淡水分配様式が海洋構造に寄与していることがわかる。北アメリカ大陸起源河川水のトレーサーであるバリウムも北海道大学で測定された。

バリウム(Ba)の分析結果からは、バリウムのほぼ半分が生物活動により海水から除去されていることが判明し、水塊トレーサーとしての重要な性質である保存性に疑問が投げ掛けられる結果となった。海水から

の除去比Ba/Siは相当大きな値、すなわち1.1~1.5であることもわかった。この比は、他の海洋ではほぼ0.8である。このように大きな値となることは、バリウムの生物的取り込み、沈降によると考えられるが、恐らく結氷時にブラインにも取り込まれるものと考えられる。実際、予備分析では、水中バリウムは周辺の水に比して確かに高い値を示した(図16参照)。

また、大気擾乱などの外力に対する北極海の応答特性も係留系を用いたMMPによりカナダ海盆で観測している。ラプテフ海にもMMPを装備した係留系が新

たに設置された(図17参照)。カナダ海盆の係留系は、データ収集のために回収されたのち、同じ地点に再設置された。予備的なデータ解析では、北極海がほぼ全深度を通じて高い周波数応答性を示すという予期せぬ結果が得られた。この観測で得られる結果は、海洋内部におけるエネルギー散逸過程に対して明確な描画を与え、それ故に、北極海の海洋モデルの精度向上にも寄与すると期待される。なお、北極海の化学成分のデータベースに関しては、ベーリング海、グリーンランド海などのデータにつき構築中である。

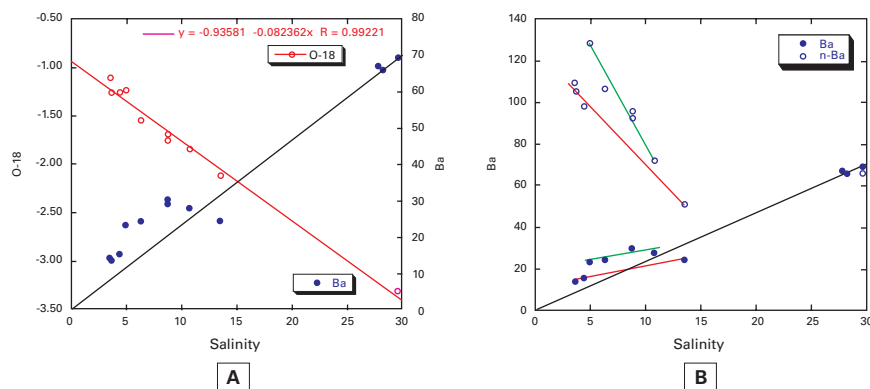


図16 A: 塩分濃度に対する酸素同位体( $\delta O^{18}$ )およびバリウム(Ba)の濃度の関係。 $\delta O^{18}$ (赤い○)は、海水と周囲の海水の混合により単に減少するだけであるが、バリウム(黒い●)は、塩分濃度を元に推定される海水の混合割合の増加に伴う著しい増加を示している。B: 塩分濃度を30psuに正規化したときの塩分濃度に対するBa濃度の関係を示す。この図は海水中のBaの相対的濃集度を示している(海水中では高く濃集している)。

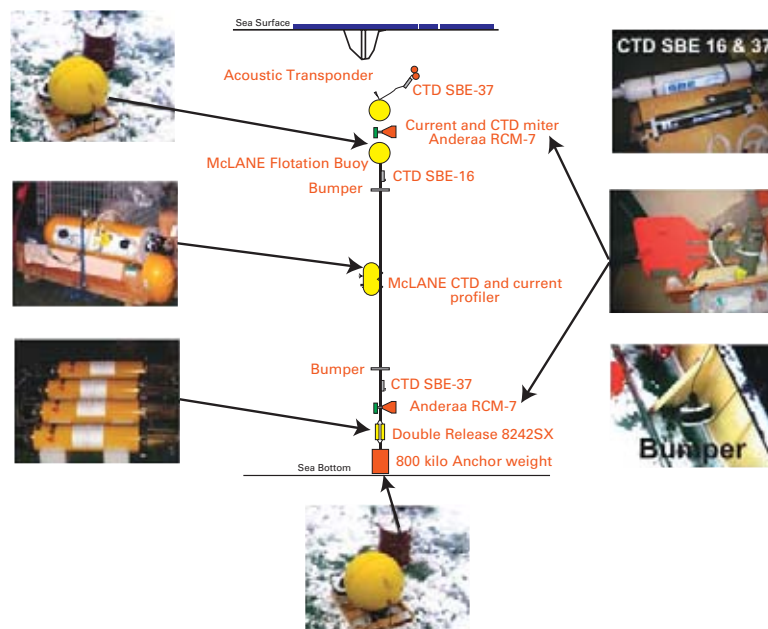


図17 2002年度に設置したNABOS係留系のセンサー配置

(b) 複合分野グループ

複合分野グループは、主に生物地球化学過程が気候と環境の変化に及ぼす影響を解明することを目的としている。平成14年度は、海洋科学技術センターの海洋地球研究船「みらい」、北海道大学の練習船「おしよる丸」、及びアラスカ大学の研究船「アルファヘリックス」を用いて、海水や海底堆積物の採取を行い、生物学的並びに化学的分析を開始した。分析項目には、葉緑素(クロロフィルa)、栄養塩類、濁度、溶存有機態炭素及び窒素、それらの同位体比、及びバイオマーカーとなる脂質類などが含まれている。これまでに得られた分析結果からは、富アンモニア表層水、鉄、有機態燐、他が円石藻の発生に関わっているものの、要因決定にはなお更なる研究が必要であることが示唆された。円石藻ブルームの強さは時間的にも空間的にも弱まり、狭まりつつある。

海水下での海洋生物活動は、海水域の特徴的な生物地球化学的過程であり、地球温暖化への寄与は未知な部分が多い。極夜明けからポイントバローにおいて生物生産量(プランクトン量)、バイオマーカー、硫化ジメチル(DMS)、硫化ジメチル前駆体(DMSP)を定期的に観測した。併せて、光環境、太陽放射、海水組成、気象要素等の観測を他機関と協力して実施し

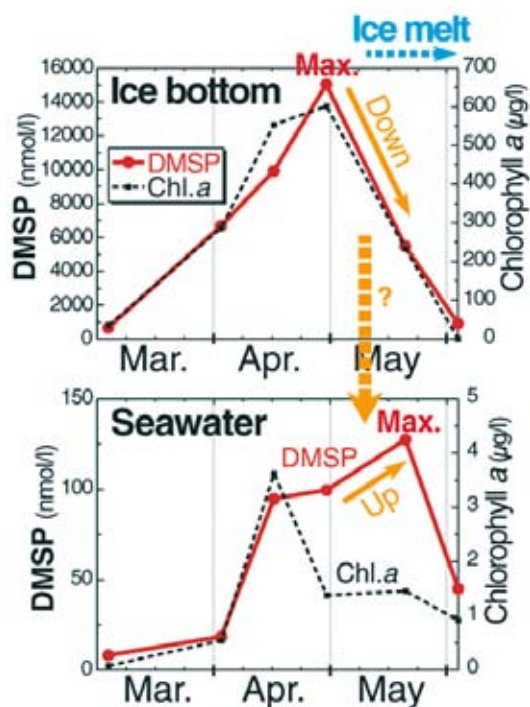


図18 アラスカ州バローでの海水底面および海水下海中におけるDMSPの生成

た。潜在的生物生産量の指標である葉緑素量は、約一ヶ月で20倍以上となるが直ぐに急速に減少した。今年度も、氷厚がやや減少したこと、大型の動物プランクトンやその他の生物体の存在も確認された。そのため、平成13年の結果に基づき、動物プランクトンや他の生物体による捕食圧によるものであると考えられたため、動物プランクトンの捕食圧の調査を試みた。今年度は、機関の制度上の理由から外部専門家の協力が得られなかったため、動物プランクトンの捕食の研究はできなかった。この研究を平成16年度のフィールド観測時期には実施する予定である。全観測期間を通じて、DMSPは葉緑素とは関係なく高レベルにあることが観測された。これは海水下で一旦生成されたDMSPは容易にはDMSに変換し難いことを示唆していると考えられる(図18参照)。

人工森林火災後の陸面・大気間炭素交換量観測の継続、および衛星データによる温室効果気体放出量推定技術の開発のため、アラスカ縦断観測を前年度に引き続き実施した。我々は、まず衛星観測に基づきNEP(正味生態系生産量)を得ることを試みたのち、上述のデータから土壌の呼吸過程の定式化を試みる。NEPマップは図19に示したとおりである。データ取得範囲が時間的にも空間的にも非常に限られているため、例えばBiome-GGCのような既存の陸域生態系物質循環モデルを積極的に活用する等により、さらなる充実を図る計画である。

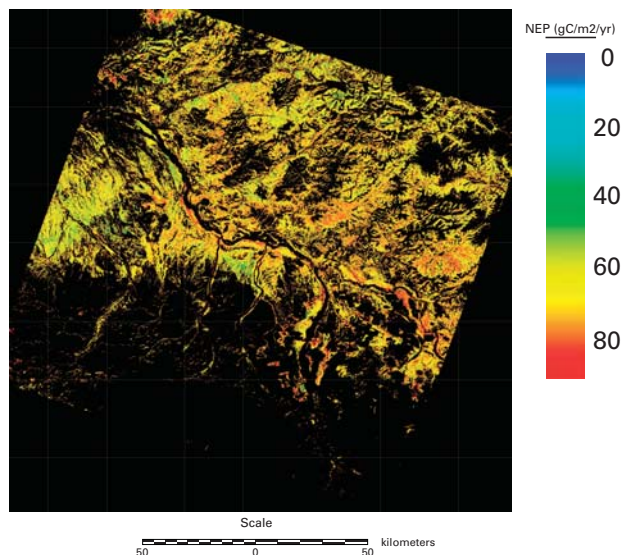


図19 アラスカで衛星データと地上呼吸量測定から作図したNEP図

## 10. 深海地球ドリリング計画

### (1) 深海地球ドリリング計画の概要

深海地球ドリリング計画 (OD21: Ocean Drilling in the 21<sup>st</sup> Century) は、科学掘削船としては世界で初めてライザー機能を有し、世界最高の科学掘削能力を持つ地球深部探査船「ちきゅう」を建造、運用することにより、従来は不可能又は困難であった地震及び津波の原因となる地震発生帯を直接掘削し、採取された柱状試料(コア)を用いた研究及び掘削孔を利用した観測等を実施するものである。これらの研究等を通じ、地殻変動メカニズムの解明、地球環境変動の解明及び地殻内微生物群の探求等を行い、新しい地球・生命科学を創成するとともに、地球システム全体を統合的に理解することを目指している。

これまで米国が主導してきた「国際深海掘削計画 (ODP: Ocean Drilling Program)」は、プレートテクトニクスの実証、地球環境変遷史の解明、更に新たな地下生物圏の発見等、輝かしい成果を20世紀の地球科学にもたらしてきたが、平成15年10月からはOD21と統合され、新たに日本が提供する地球深部探査船「ちきゅう」及び米国が提供する非ライザー掘削船の2船を中心とした、日米主導による国際プロジェクトである「統合国際深海掘削計画 (IODP: Integrated Ocean Drilling Program)」へと発展していく。

IODPは、「ちきゅう」を始めとするこれまでにない大規模かつ強力なインフラを用いた、21世紀の地球科学・生命科学の研究領域において大きな進歩をもたらす人類共通の知を創造するプロジェクトであり、その進歩が自然災害の低減に繋がる等、社会が直面する課題の解決へ貢献できるテーマにも取り組み、人類の更なる発展に寄与しようというものである。

海洋科学技術センターは、我が国におけるIODPの総合推進機関であり、深海地球ドリリング計画推進室においては、その責務を果たすべく、「ちきゅう」の建造及びそれに関連する技術開発、「ちきゅう」の運用体制の整備並びに国内・国際推進体制の整備等を行っている。

### (2) 地球深部探査技術の開発

#### 1) 地球深部探査船の建造

深海地球ドリリング計画において運用する地球深部探査船「ちきゅう」(図1, 2)は、石油掘削で一般的に用いられる泥水循環掘削手法を、世界で初めて科学調査に適用したライザー掘削船である。本船は、氷海域を除く水深2,500m(将来的には水深4,000m)までの海域において、海底下7,000mまで掘り抜くことを目標としており、掘削による堆積岩や火成岩等の柱状試料(コア)の連続的な回収、掘削孔内における物理・化学的な各種計測、更に得られたコアや地層データ等の分析・解析を行うための設備を有している。コアの標準外径については、現行の国際深海掘削計画 (ODP)と同程度のもの(外径約60mm)が採取できるようにしている。本船の主要目は表1のとおりである。

本船は、科学掘削を目的とすることから、氷海域を除く全世界の海洋で稼働することが必要であるため、船体構造設計上の環境条件として、風速を51.5m/s、波浪荷重をGlobal Wave Statistics (British Maritime Technology 発行)の長期波浪データに基づく100年再

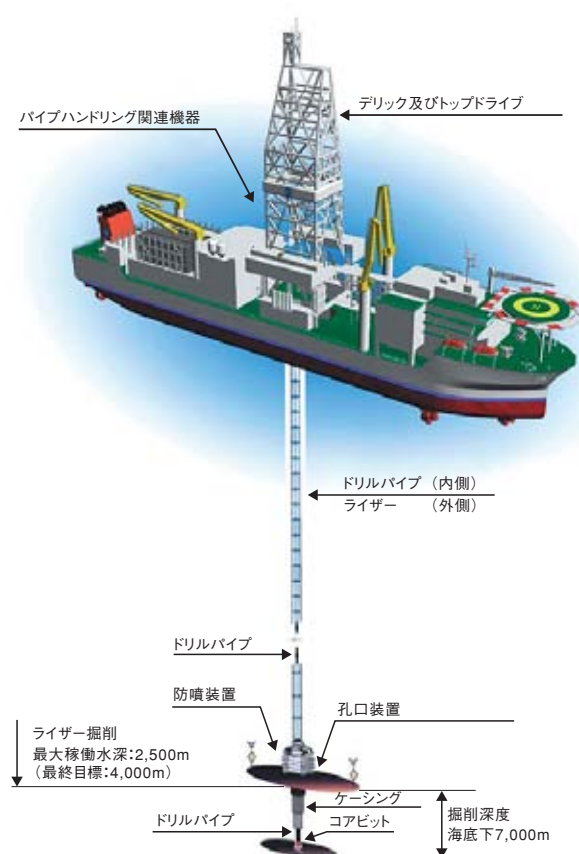


図1 地球深部探査船「ちきゅう」概念図



図2 建造中の地球深部探査船「ちぎゅう」

表1 主要目

全長	210m
全幅(型)	38m
深さ(型)	16.2m
計画満載喫水	9.2m
総トン数	57,500
バリアブルロード	約25,500ton
航海速力	約10knots
最大搭載人員	150名
船級	NK NS*, "Deep Ocean Drillship", MNS* (M0), DPS-B

NK ……日本海事協会(国土交通大臣の認定を受けた船級協会:船級協会が行った一定の範囲についての検査は、管海官庁の行った検査と同じ効果を持つ)

NS\* ……製造中から日本海事協会の登録検査を受けて製造した船舶  
"Deep Ocean Drillship"  
……深海掘削船であることを表す

MNS\* ……製造中から日本海事協会の登録検査を受けて製造し据え付けられた主推進機関をもつ船舶

(M0) ……機関の無人運転設備を有する船舶

DPS-B ……自動船位保持システム(DPS)について、日本海事協会のDPS-B級の要件を満たすシステムを有する船舶

(\*は、製造中から検査を受けていることを示す記号)

現期待値としている。掘削作業についても、過酷な気象・海象条件下でも安全かつ効率的に作業を遂行できる能力を有しており、掘削作業区域における自動化・省力化も図っている。

掘削中の自動船位保持(DPS:Dynamic Positioning System)は、効率化のため6基のアジマススラストによ

り行うシステムとしており、位置計測には衛星測位システム(GPS:Global Positioning System)及び音響測位システムを採用している。更に、ライザーの損傷を防ぐため、ライザー上下端角度を最小にするような船位保持機能も有する。

区画配置についても、長期間にわたる洋上掘削作業及び研究調査活動を考慮し、高い作業性、居住性を確保している。また、大水深・大深度掘削及び離岸距離の増大を考慮し、十分なバリアブルロードを確保した。

そのほか、海洋環境保全の観点から、掘り屑、廃棄泥水等、掘削作業場所で発生する廃棄物を海洋投棄せず、船上で小容量化し船内貯蔵する機能も有する。

本船の運用によって得られる様々なコア及び地層データの活用により、地球環境変動や地震発生メカニズムの解明、マントル物質や地殻内生物圏の解明等が進められ、地球科学や生命科学が飛躍的に発展することが期待される。

本船については、平成11年度末に建造に係る主契約を三菱重工業株式会社と締結し、建造を開始した。平成14年度は、船体部を担当する三井造船株式会社の玉野事業所において、船体関連の機器の艤装工事、居住区画や研究区画の内装工事等が進められ、船体部がほぼ完成した。掘削部については、平成14年度は、デリック(檣)、パイプハンドリング関連機器、泥水循環関連機器等、船上に搭載する各種掘削機器の製作が行われた。平成15年度初旬に船体部の海上確認運転を終えた後、本船は三菱重工業株式会社長崎造船所へ回航し、掘削関連機器の艤装工事が開始される予定である。

## 2) 掘削孔利用システムの研究開発

研究掘削で掘られた掘削孔は、深海底の堆積物や岩石を採取した後の残骸ではなく、海底下深部を覗く有用な「窓」としての科学的価値がある。掘削孔利用システム「べんけい」は、地球内部の科学研究を目的として掘削孔内へ観測装置を設置し、各種計測を行うものであり、平成10年度より3ヵ年計画で開発を行った。外観を図3に示す。

「べんけい」は、孔内に吊り下ろされるセンサ、そのプラットフォームとなる観測ステーション(以下、ステーションという)、ステーションを運搬・設置・回収するピーク



図3 「べんけい」

ル及びこれらを制御・監視する母船システムから構成される。主要目を表2に示す。母船は「かいらい」を利用し、1次ケーブル及び着水揚収装置は「かいこう」と共用している。最大稼働水深は6,000mであり、長期孔内観測システムの設置前に必要となる孔内事前調査を目的とし、孔内深度1,000mまでの圧力、温度、pH、孔径等の計測を行うことができる。計測時には、ステーションを掘削孔海底面にあるリエントリコーンに設置し、センサを孔内に降ろす。ステーションとビークル間は細径光ファイバケーブルを用いて接続し、船上までのリアルタイム通信を行う。

平成14年度は、「べんけい」を用いてインド洋のODP掘削孔 (Leg179、Hole1107A) に設置する長期孔内地震観測システムの開発に着手した。本計画は日仏共同 (日本側は当センター、仏側はパリ地球物理学研究所：IPGP及びフランス国立海洋研究所：IFREMER) により推進されるもので、実機の設置は平成18年度を計画している。Hole1107Aは南緯17°7.4180'S、東経88°10.8497'E (Ninety East Ridge Observatory site：NERO site) に位置し、水深1,648m、ベースメント深度371m (海底下) であり、孔内状況としてはケーシング深度414m (海底下)、孔内深度494mである (図4参照)。

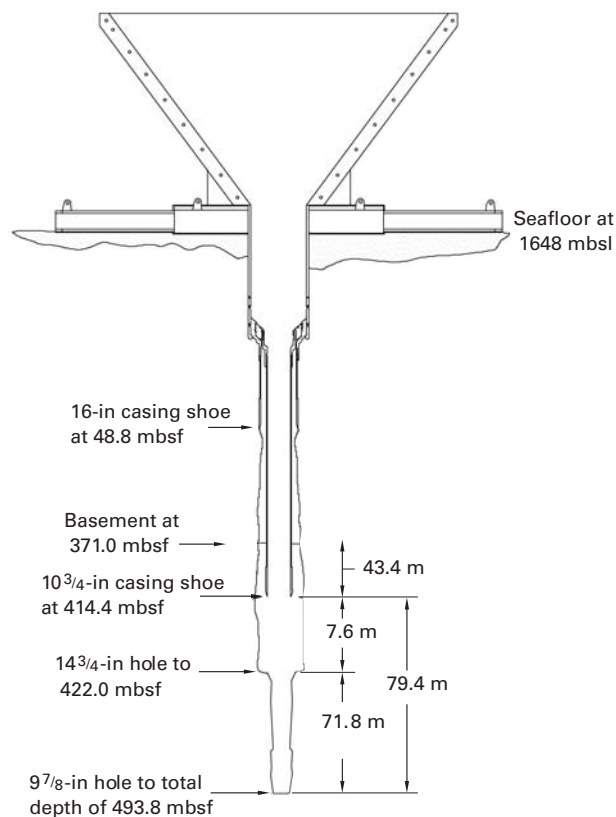


図4 ODP HOLE1107A

表2 主要目

最大使用水深	6,000m
最大孔内深度	1,000m
ビークル寸法×空中重量 (水中重量)	5m × 2.6m × 2m × 48.0kN (31.4kN)
ステーション寸法×空中重量 (水中重量)	φ2.3m × 2.8m × 35.3kN (24.5kN)
センサ寸法×空中重量 (水中重量)	φ205mm × 5.1m × 1.8kN (1.1kN)
センサ最大搭載重量 (水中重量)	4.5kN (3.3kN)

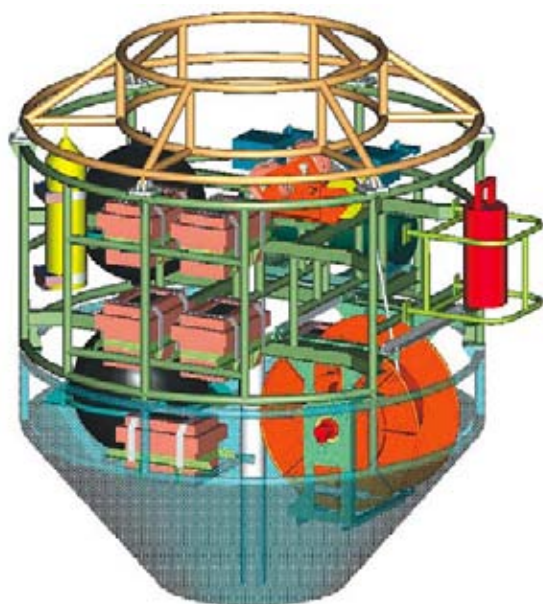


図5 NERO用観測ステーション

本年度は、Hole1107Aへの地震計設置方法、観測方法及びそれらに必要となる全体システムの構成について検討を行った。NERO用観測ステーションの構成を図5に示す。このうち本年度は、センサーケーブル用ウインチ、嵌合／切離装置、センサーケーブル、フレーム部等の設計、製作を行った。

### 3) 極限環境維持技術の研究開発

近年の深海調査研究の進展によって、深海に生息する有用微生物をはじめ、深海微生物の特殊機能や深海環境への適応機構等の研究が推進されてきた。深海地球ドリリング計画において、海底下地殻内のより厳しい環境下での研究掘削が行われるようになれば、極限環境下に生息する特殊微生物の研究が飛躍的に発展するとともに、医療、工業、環境保全等の分野への応用研究が進展するものと期待される。

深海や地殻内の特殊環境下に生息する微生物は、地上においてはその生育環境の変化により、死滅あるいは機能が低下するため、特殊微生物が生育できる環境条件を維持・制御することが重要である。深海地球ドリリング計画における研究掘削は、当センターの保有する深海微生物実験システムが維持、制御できる能力を遙かに超える環境条件下に生息する微生物までも対象としていることから、本研究では、試料を採取し海底下地殻内微生物を生かした状態で回収した後、



図6 掘削マシンによる制菌コアバーレル評価実験

他の微生物に汚染されることなく抽出し、培養が可能な実験システムを開発することとした。

平成14年度は、実際の掘削マシンを用いて平成13年度に試作した制菌コアバーレルの評価実験を行った(図6)。実際に1m毎の岩石ブロックを掘削し、岩石試料内部の汚染を定量的に評価した。結果は満足いくものであり、適切な特性を持つ高粘性流体(本実験では、吸水性高分子ゲルを使用)との組み合わせでは、汚染が大幅に低減することが確認された。微生物の培養に関する研究では、ガス培地の注入を想定したピストン式培養槽の設計・試作を行った。この装置には、シリンダが内装されており通常は均圧に保たれているが、想定以上の差圧が発生した場合は、耐圧容器として働く。評価実験を平成15年度に予定している。

### (3) 地球深部探査船の運用業務

#### 1) 地球深部探査センター(CDEX)

2002年10月、地球深部探査センター(CDEX)は、統合国際深海掘削計画(IODP)におけるライザー船運用組織(Riser Implementing Organization)として海洋科学技術センターに設置された。

主な役割は、掘削実施計画作成・監督・管理を中心とするライザー船運用業務、スタッフサイエンティストの派遣、コア分析・管理及び各種物理検層を管轄する科学支援業務、並びに掘削業務遂行の安全を確保するための詳細掘削実施計画立案に不可欠な浅層地震探査、地盤強度調査、海潮流調査等の事前調査業務である。

平成14年度においては平成17年度からの慣熟訓練及び平成18年度からの国際運用に向けて本格的な運用準備を進めている。

## 2) 事前調査

地球深部探査船「ちきゅう」は、炭化水素賦存層や、複雑な地下構造を持つ地域での大深度掘削等、現行ODPでは不可能であった場所においてもその科学目標に基づいた掘削を実施することが可能である。そのような掘削地点で安全かつ効率的な掘削作業を行うには掘削地点の気象海象、海底地形、地下構造等を正確に把握する事前調査が不可欠である。とりわけ掘削作業遂行に重大な障害となる海底下にひそむハザードを事前調査によって可能な限り予測し、その対応策を掘削作業計画に盛り込むことで、安全かつ効率的な掘削作業が可能となる。

平成14年度は、前年度の事前調査で収録された地震探査データの処理・解釈作業を実施し、掘削予定地点の更なる絞込み作業を行った。これらの絞込み作業結果及び今後の国際運用にいたるスケジュールの見直し作業により、「ちきゅう」の慣熟訓練期間中のライザー掘削候補地点を下北半島東方沖の2箇所に絞込みを行い、海底面下約1,000mまでのハザード調査のための浅層高精度地震探査データ収録作業及び処理作業を実施した。

## 3) 地球深部探査船運用システムの構築

「ちきゅう」の運用に際しては、大水深海域での大深度掘削、遠隔海域での長期掘削作業の継続、厳しい環境下での作業の実施を通して、科学目標を達成しなければならない。このような作業環境下にあっても、作業の安全、環境汚染の防止、資産の保全を確保しつつ、効率的に掘削及び科学サービスを実施しなければならず、そのためには陸上の組織・業務分担構造に対応し、かつ「ちきゅう」全体の詳細な機能・仕様に基づいた「運用システム」の構築をする必要がある。

平成14年度は、IODPのライザー掘削オペレーターとしての「ちきゅう」運用管理システムの構築に着手し、同システムの根幹に相当する「安全衛生及び環境保全に関する基本方針」及びCDEX HSE-MS (Health, Safety and Environment-Management System) マニュアルを作成するとともに、ライザー掘削手順に関するマニュアルの草案を作成した。

## 4) 科学サービス体制の整備

「ちきゅう」船上で得られるすべての科学データを、船上及び陸上施設で安全かつ効率的・効果的に分析・解析し、そして試料・データの保管、管理、運営を行うための科学サービス体制の整備が必要である。

そのため平成14年度は船上分析大型機器として、X線CTスキャナー、蛍光X線地殻コアロガーシステム等を建造中の「ちきゅう」に導入した。また、「ちきゅう」船上での研究活動により生産されるデータを管理、運営するためのデータベースソフトウェアのプロトタイプを作成し、外部評価を行った。

「ちきゅう」で採取したコアの保存、分析・解析等を行う施設として、高知大学に高知大学海洋コア総合研究センター(図7)の建造が開始された(9月3日起工式を挙行)。この施設には巨大なコア保管施設(90,000本程度の収容能力)と、「ちきゅう」の研究設備と同等の分析・解析施設を整備する予定である。この施設の一部を海洋科学技術センターと共同運営していく予定で、協議を進めた。

## (4) 深海地球ドリリング計画の推進

### 1) 国際推進体制の整備

海洋科学技術センターが提唱した深海地球ドリリング計画は、国際的な協調と資金の導入の下、文部科



図7 高知大学海洋コア総合研究センター

学省及び米国国立科学財団が主導する新しい統合国際深海掘削計画 (IODP) へと発展し、平成15年10月から開始される予定である。IODPは、海洋科学技術センターが建造する地球深部探査船「ちきゅう」及び米国が提供する従来型 (ノン・ライザー) 掘削船の2船運用を基本とする国際科学計画である。国際ワーキンググループ (IWG)、IODP暫定科学アドバイス組織 (iSAS) をはじめ、国際の場での様々な活動を通して、関係各国との連携・協力・実施体制を構築している。平成14年度のIWG/IODP会議は、ストックホルム (スウェーデン) とニース (フランス) で開催された。

平成13年度に引き続き、日米共同で米国ワシントンD.C.に設置したIWG支援オフィス (IWGSO) にセンターから職員を派遣し、IWG等の各種活動の支援を行った。また、横須賀本部内にiSAS事務所を設置し、IODPの科学計画組織の検討、科学プロポーザルの募集、評価を行っている暫定科学アドバイス組織 (iSAS) の支援を行っている。

平成15年2月には、IODPにおいて計画全体の管理・運営を行うIODP中央管理組織 (IODP Management International Inc. (IMI)) が設立された。海洋科学技術センターは、設立ワーキンググループのメンバーとして、当初からその設立についての検討を進めてきた。IMIの本部は米国内に設置されるが、IMIの主要な業務である科学計画立案支援は日本国内に設置される事務所で実施される。

地球深部探査船「ちきゅう」の安全かつ効率的な運用を通じたIODPの科学目的の達成並びに運航、掘削及び科学サービスに関するマネージメント能力の拡大を目的に、海洋科学技術センターは平成14年10月に各分野の専門家からなる「地球深部探査センター (CDEX)」を設置した。

また、IODPの国際的な普及・広報のために、平成14年6月に大磯にて開催された国際検層学会 (SPWLA)、また12月に米国サンフランシスコにて行われたAGU (American Geophysical Union) 年次総会においてブースを出展する等の活動を行った。

## 2) 国内推進体制の整備

深海地球ドリリング計画推進室では、地球深部探査船「ちきゅう」を中心とした深海地球ドリリング計画推進のため、関係省庁、大学、関係研究機関等と連携・協力しつつ、「ちきゅう」の建造及び運用体制並びに「ちきゅう」を利用した研究体制の構築を行っている。

国内での研究推進体制については、平成12年度に設置されたIODP国内科学掘削推進委員会 (以下、推進委員会; 委員長: 木下理事) の事務局業務を行い、専門部会やワーキンググループの活動支援を通じて、IODPに対する国内研究戦略の検討と具体的な研究課題の立案、IODP暫定科学アドバイス組織 (iSAS) への対応、国内研究者のIODPプロポーザル作成に対するアドバイスとサポートを行った。また、我が国の科学推進の指針となる「地球システム変動の解明をめざして: IODPにおける我が国の科学計画 (和文及び英文)」、「孔内計測検討ワーキンググループ中間報告書 (和文及び英文)」を発行した。推進委員会は平成14年度で活動を終了し、科学推進業務は平成15年2月に設立された日本地球掘削科学コンソーシアムへ引き継ぐこととなった。推進委員会の活動実績のまとめとして、「IODP国内科学掘削推進委員会活動報告書」を発行した。

普及・広報活動として、OD21のホームページの維持管理 (和文及び英文) とOD21ニュースレターの発行 (第12号~第14号; 和文及び英文) を継続し、深海地球ドリリング計画の国内外への理解の増進に努めた。

## 11. 国際陸上科学掘削計画

国際陸上科学掘削計画（ICDP：International Continental Scientific Drilling Program）は、平成8年にドイツ、米国、中国の参加により、発足した国際共同研究プログラムである。

平成12年度より、海洋科学技術センターが本計画の日本側代表機関に指名され、平成12年10月にICDP側代表機関のポツダム地球科学研究センターと参加に関する覚書に調印した。深海地球ドリリング計画推進室は、ICDP国内実施委員会の事務局として国内におけるICDPへの科学プロポーザルの募集や取りまとめ、ニュースレターの刊行、ホームページの管理等の業務を実施している。

## 12. 地球シミュレータセンター

### (1) 世界最高速のスーパーコンピュータに認定

平成14年4月20日、ニューヨーク・タイムズは1面で「地球シミュレータ」が世界最高速の演算性能を達成したことを「コンピュータック」という造語を用いて報じた。

これは、旧ソ連が世界初の人工衛星「スプートニク」の打ち上げ成功によって、米国は大きな衝撃を受け、いわゆる「スプートニク・ショック」が生じたが、これに匹敵するほど、地球シミュレータの達成した演算性能に対して米国の政府や科学界が受けた衝撃の大きさを表したものである。

地球シミュレータは平成14年2月末に完成し、同年3月から稼働を開始した。地球シミュレータの計算能力を証明するために、世界的な標準問題であるベンチマークテスト、LINPACKベンチマークを実行した結果、地球シミュレータが達成した演算性能は、これまでの世界最高速の演算性能を有していた米国のローレンスリバモア研究所の「アスキー・ホワイト」の約5倍の35.86フロップス(1秒間に35兆8600億回の浮動小数点計算能力)を実現し、理論的な計算性能の40テラフロップスに対して、約90%の能力を発揮した。この結果が、地球シミュレータの世界最高性能を実証し、ニューヨーク・タイムズ1面に掲載されることに繋がった。公的な評価として、世界のスーパーコンピュータの計算性能ランキング指標であるTop500において、世界ランキング1位を維持し続けている。

LINPACKベンチマークテストは、スーパーコンピュータの計算性能を評価する規定問題と捉えることが



図1 地球シミュレータの全容



図2 Top500の第1位を示す認定証

できるが、大小さまざまな要素が絡み合っ織りなす複雑な問題のシミュレーションにおいても高い計算性能を実証した。地球シミュレータ上で実行した、全球大気大循環モデルコードによるシミュレーションでは、そのシミュレーションコードを地球シミュレータのアーキテクチャーに適するように最適化し、地球シミュレータの理論計算性能の65%に達する26.58TFLOPSという驚異的な実効性能を実現した。米国が推進しているスカラー型並列計算機では、理論計算性能の数%程度しか実効性能を実現できない。このことは正に仰天する結果である。

2002年11月に米国のメリーランド州ボルチモアで開催されたハイ・パフォーマンス・コンピューティング(高性能計算技術)に関する国際会議SC2002において、「地球シミュレータ」関連の業績が、この分野での最高権威である「2002年ゴードンベル賞」を、5部門のうち3部門において同時に受賞した。前述の大気大循環モデルコードによる「地球シミュレータ上で行ったスペクトル変換法による全球大気大循環シミュレーション」が最高性能賞を実行性能部門で受賞したほか、計算機言語賞及び特別賞を受けた。

TIME誌が選定する「2002年世界の最高発明品賞」も受賞し、名実ともに世界最高の計算性能を誇るスーパーコンピュータであることを、各界に認定されるに至った。



図3 受賞したゴードンベル賞



図4 受賞した地球シミュレータセンター関係者

## (2) 地球シミュレータの運用と利用

海洋科学技術センター理事長の諮問機関である『地球シミュレータ運営委員会』は、地球シミュレータ運営における基本理念の制定を行い、①開かれた利用体

制 ②成果の公開 ③運用、成果の評価 ④利用の平和目的の4原則を定めた。この原則の下に、地球シミュレータの運用と利用が実現されている。地球シミュレータの具体的な利用形態は、平成14年6月に開催された「利用計画委員会」により決定された。その決定事項を受け、利用課題に対する公募を行い、31課題が課題選定委員会により選定された。同年11月に2次公募を行い、平成14年度は、最終的に応募数73課題に対して40課題が選定された。選定課題の内訳は①大気・海洋分野(17課題)、②固体地球分野(8課題)、③計算機科学分野(4課題)、それら以外の分野で地球シミュレータの活用により画期的成果が期待される④先進・創出分野(11課題)である。

## (3) 研究成果

大気・海洋分野では、計算機性能の制約により、従来、全球を約100km程度の解像度によるシミュレーションが限界であったが、地球シミュレータ上では、10kmの全球シミュレーションが可能であることが示された。そのシミュレーション結果より、大気現象においては、台風、梅雨などの前線活動、海洋の現象では、黒潮の離岸や渦活動などを詳細に再現可能であることが示された。さらに、観測結果との比較により、10km解像度の全球規模のシミュレーション結果の妥当性が示された。

固体地球分野では、地球磁場の逆転の原因の究明、マントル対流および地殻変動等の機構解明のための研

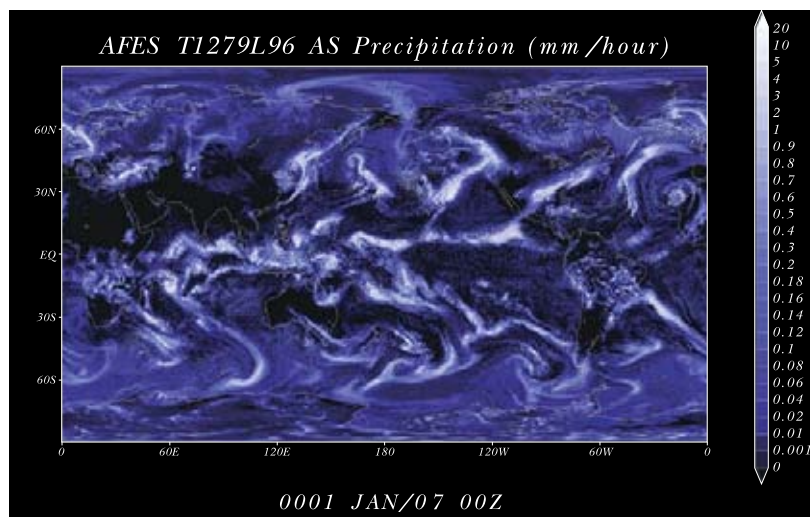


図5 全球大気大循環シミュレーションによる降雨分布(解像度:10km)

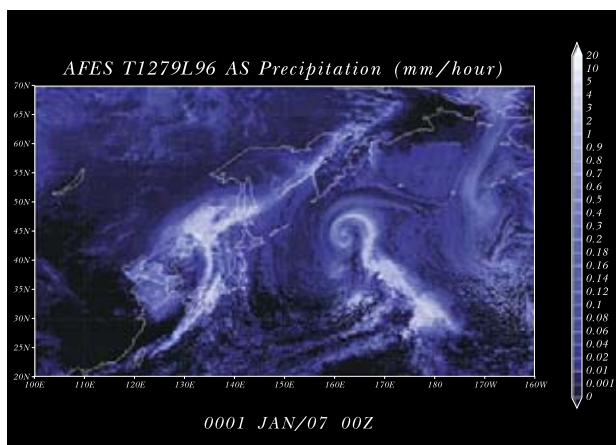


図6 図5の結果を拡大した日本付近の降雨分布

究、東南海沖地震を想定した地震波の伝播予測研究が精力的に推進された。地球シミュレータ上のシミュレーションでなければ再現できない詳細な地震波の伝播は、代表的な成果のひとつである。

先進・創出分野においては、従来のスーパーコンピュータによるシミュレーションでは再現不可能であった100nm、200nmの単位でのカーボンナノチューブの再現が、地球シミュレータを用いることで初めて可能となることが実証され、カーボンナノチューブの物性を明らかにすることができた。

平成14事業年度の成果は、地球シミュレータ計画の共同プロジェクト全40課題について、平成15年2月に開催された利用報告会において報告された。

上記に挙げた課題を含め、地球シミュレータを用いて初めて得ることができた成果が多数報告され、地球シミュレータ利用が、多くの学術分野においてブレイクスルーをもたらす可能性の高さを示唆するものであった。利用計画委員会委員は、この利用報告会において全ての共同プロジェクトの報告を聞き、評価を行い、平成15年度の共同プロジェクト推進のあり方に反映させていく。

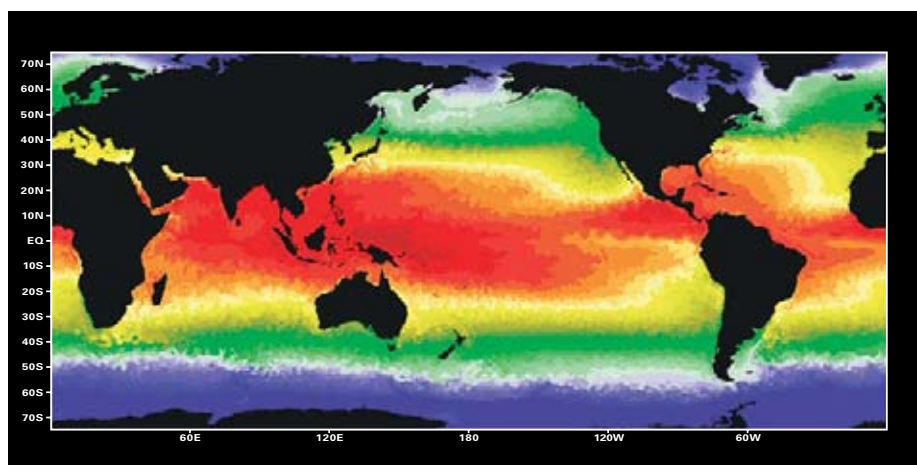


図7 全球海洋大循環シミュレーションによる海洋の表面温度(解像度:10km)

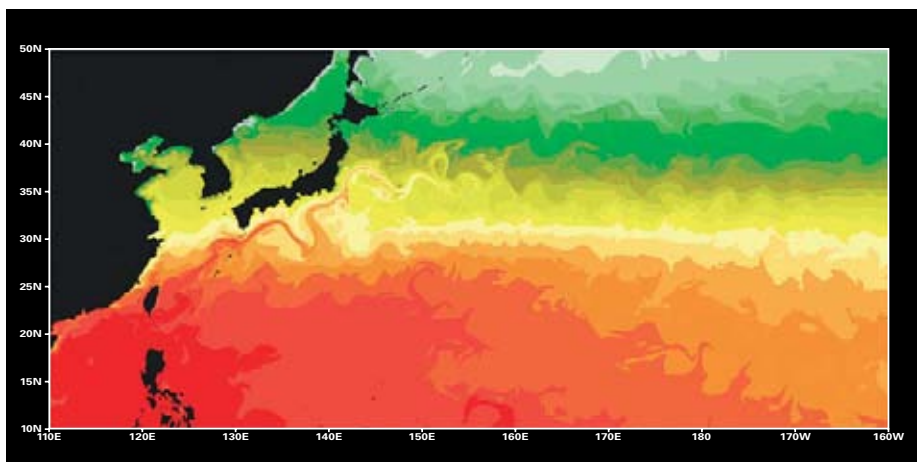


図8 図7の結果を拡大した日本付近の黒潮のようす

## 13. むつ研究所第1研究グループ

### (1) プロジェクト研究「北太平洋時系列観測研究 (HiLATS project)」

#### 1) 研究開発の方針

生物活動は大気中の二酸化炭素吸収において重要な働きを行っている。北西部北太平洋の生物活動は冬期に極めて小さいが、春から夏にかけては "ブルーム" と呼ばれる植物プランクトンの大増殖があり季節変動が極めて大きい。そのため同海域の生物活動による二酸化炭素吸収能力 (生物ポンプ能力) を精度よく把握するためにはできるだけ高密度に (時系列的に)、長期間観測を行う必要がある。時系列的な生物地球化学的観測手法としてセジメントトラップ実験が挙げられるが、近年求められているのが海洋表層、海洋有光層、混合層における生物地球化学的成分の時系列的観測である。平成12年9月、海洋科学技術センターむつ研究所 (MIO) が発足し、「北太平洋時系列観測研究 (HiLATS project)」を開始することとなった。これは従来のセジメントトラップに加え、海洋表層域の動・植物プランクトン、海水を自動的に採取する装置、及び自動培養装置を係留することで大気中二酸化炭素吸収に関連する生物活動の季節変動をより詳細に把握することを目的とする。なお本研究はウズホール海洋研究所との国際共同研究である。

#### 2) 研究開発の概要

平成12年度、13年度に時系列観測機器 (自動培養装置、自動試料採集装置、自動昇降型ACM付CTD)、並びにpre-stretch係留系を整備し、平成13年に実海域に始めて設置した。平成14年度は初めての係留系回収、時系列データ回収、解析を行った。

#### 3) 平成14年度研究報告 (北太平洋時系列観測研究)

平成14年10月～11月に実施されたみらいMR02-K05において、平成13年9月に北西部北太平洋の2点 (K1、K2：図1) に設置した時系列観測装置を搭載した係留系3系列 (生物地球化学研究用：BGC mooring×2、物理学研究用：PO mooring×1系列、図2) を無事回収した。さらに同航海において北西部北太平洋の3地点 (stations K1、K2、K3：図1) にBGC mooring、PO mooringを設置した。特にK2に設置されたBGC mooringは中層域の物質循環過程を研究するために水深150m～5000m間に時系列式セジメントトラップを10台取り付け付けた (MEX係留系、図2)。これらの係留系は平成15年9～10月の「かいらい」航海で回収される予定である。

図3はstation K1の自動採水装置 (RAS：Remote Access Sampler) で得られた海水中の栄養塩濃度 (ケイ酸塩、硝酸) である。係留を開始した平成14年10月に水深約50mの栄養塩濃度が激しく変動している様

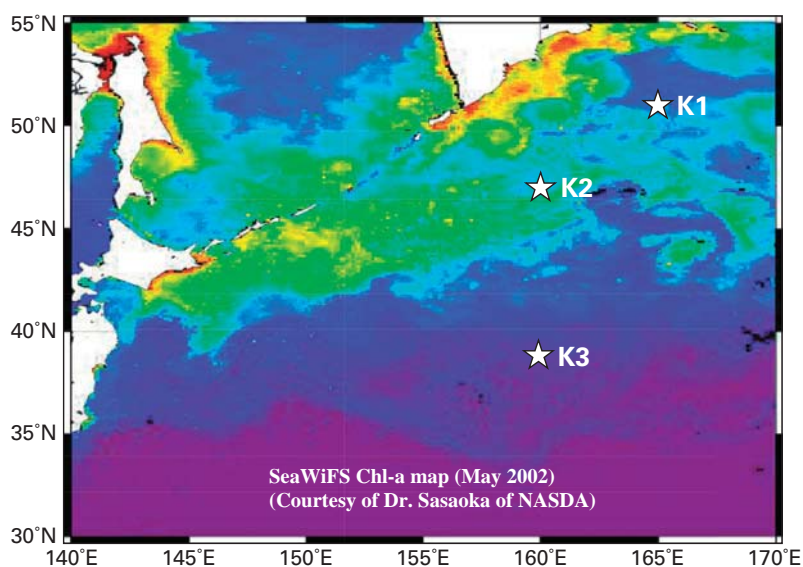


図1 時系列観測定点 (K1：北緯51度／東経165度、K2：北緯47度／東経160度、K3：北緯39度／東経160度)

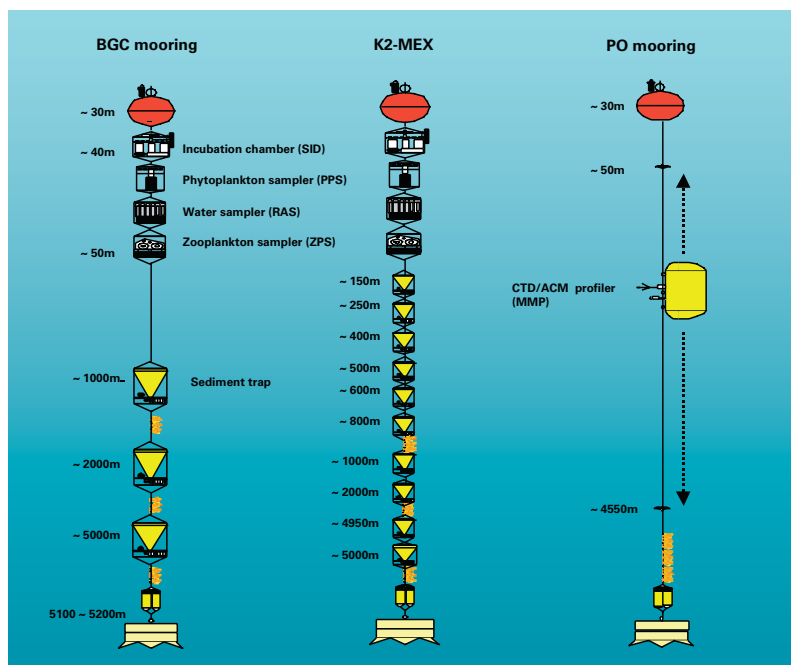


図2 時系列観測係留系(生物地球化学研究用:BGC、物理学研究用:PO)

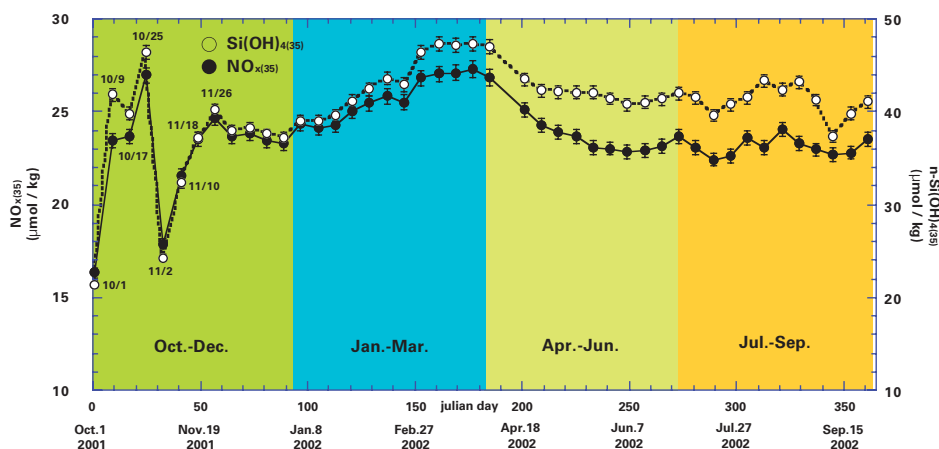


図3 RASにより観測された水深50mの栄養塩濃度の季節変動

子がうかがえる。同地点に設置した自動昇降型CTD (MMP)の時系列観測データ解析の結果、栄養塩が激しく低下した時期に水温が上昇し、塩分が低下していることが明らかになった(図4)。このことは秋季に突発的に鉛直混合が発生し、表層海水が水深50mに侵入していたことを物語っている。このような短期的な現象は時系列観測装置により観測が可能であり、北西部北太平洋の秋季における生物生産力の増加のメカニズムなどが今後解明されると期待できる。

一方、共同研究相手方であるウッズホール海洋研究所「北太平洋共同研究センター」(J-PAC)と協力して本

研究活動を科学的、および教育的目的で国際的に喧伝すべく英語版ウェブサイトを開設した(<http://jpac.whoi.edu/hilats/index.html>)。

## (2) プロジェクト研究「海洋環境変遷の解明に関する研究」

### 1) 研究開発の方針

本研究は海底堆積物の解析に基づいて過去の気候変動およびそのプロセスを復元し、将来の地球温暖化予測のための基礎データを取得することを目標としている。海底堆積物中の微化石や炭素同位体比等を用い

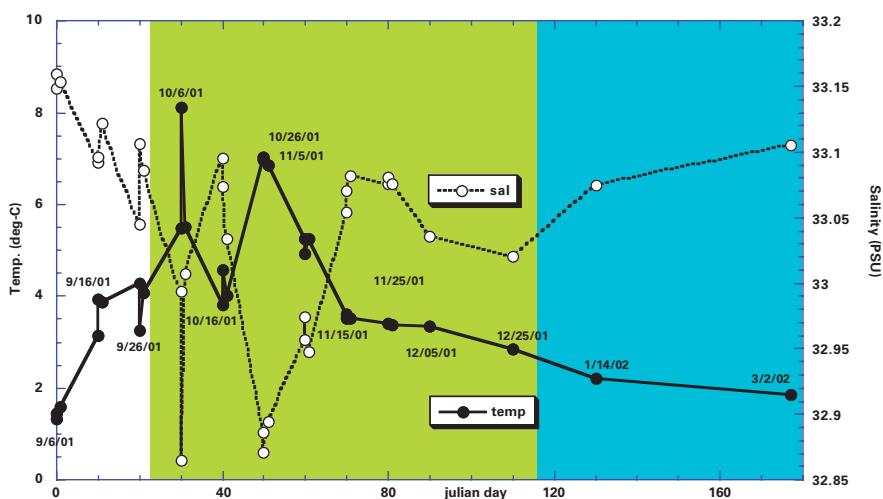


図4 MMPにより観測された水深50mの水温、塩分の季節変動

て過去数十万年にわたる長期的な地球の温暖化・寒冷化のメカニズムを把握するとともに、微量金属や有機分子(バイオマーカー)を用いて、数十年オーダーで短期的な環境変化を解析する。さらに、古環境変動の正確な定量評価のために、代替指標(プロキシー)の開発と高精度化を目指す。

## 2) 研究開発の概要

むつ研究所が発足(平成12年10月)してから正式に主要研究テーマの一つとなる。長期的な環境変動研究の具体的なテーマとしては a) 表層水温および表層海流の変遷の解明、b) 炭素を中心とした生物地球化学的サイクルの復元、そして c) 汎世界的な海洋の熱塩循環の復元の3つである。主な調査海域は、大気二酸化炭素の海洋への吸収が活発に行われており、地球環境に多大な影響を与えていると考えられる北西太平洋を中心に解析を行う(平成16年度まで)。一方で、平成15年の南半球周航観測において採取される海底堆積物を用いて南大洋の解析を行い、南北両半球の比較を行う(平成17～22年度)。また、浮遊性有孔虫の培養体制を確立し(平成18年度)、水温や栄養塩などの環境因子とプロキシーの関係を明かにする。これら培養の結果を堆積物に記録されるプロキシーの再評価に応用する(平成19年度～)。

## 3) 研究開発の内容

2002年度の成果の代表的なものを以下に2点紹介する。

(a) 過去の北太平洋における中深度(水深1000-

2000m)の海洋循環の変動を調べるために、下北半島沖の水深1366mより採取したピストンコア試料MR01-K03 PC5(北緯41°07′、東経147°24′)に含まれる浮遊性有孔虫および底生有孔虫の放射性炭素年代を測定した。浮遊性有孔虫は海洋表層水の放射性炭素濃度を、底生有孔虫は海底付近の海水の放射性炭素濃度をそれぞれ記録しており、同じ層準に含まれる両者の年代差を用いて見かけの深層水年齢の変遷が復元できる。その結果、最終氷期から現在に至る気候遷移期において、北太平洋の中深層循環に大きな変動があったことが明らかにされた。特に、氷床の融解によって大陸から大量の淡水が海洋に供給され、著しい海面上昇が生じたと考えられている1万4千年前には、北太平洋の中深層水が現在よりも淀んだ状態であったことが推定された。一方、新ドリラス期(約1万2千年前)といわれる寒冷期には、急激に中深層循環が活発化し、その後の完新世の約1万年間は現在とはほぼ同様な循環が持続したと考えられる(Ahagon and Uchida, submitted)。

(b) プロキシー開発の一環として、新しい年代測定法の開発を行っている。北西太平洋はその大部分が6000m級の深い海盆が拡がり、炭酸塩化石がほとんど溶解してしまっているため、従来の炭酸塩の酸素同位体比を利用した年代測定法は適用できない。そこで、北西部北太平洋において採取された堆積物(MR98-05 St.3(北緯50°、東経165°)とSt.5(北緯40°、東経165°))から溶解せずに残っている珪酸塩化石を拾い出し、それに含まれるアミノ酸を利用した年代測定法の

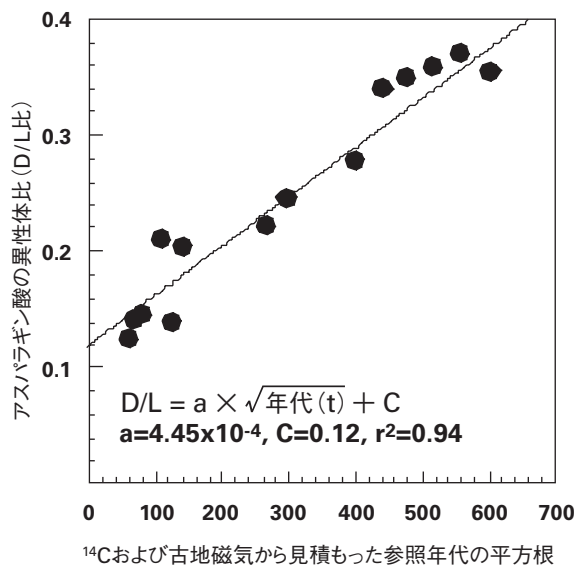


図5 アスパラギン酸の異性体比と参照年代の関係

開発に取り組んだ。生体に含まれるアミノ酸はL型のアミノ酸のみであるが、生物の死後、一定の速度でラセミ化反応が生じ、D型のアミノ酸が形成される。従って、LとDとの比は時間の経過をしめす時計と成りうる。アミノ酸の中で最もラセミ化反応速度の早いアスパラギン酸の分析を行い、参照年代として古地磁気および放射性炭素年代を用いた。その結果、アスパラギン酸の異性体比と参照年代の関係はパラボリックモデルで表す事ができ(図5)、北太平洋の珪酸塩堆積物の場合、アスパラギン酸を用いた方法で約35万年までの年代測定に使える事がわかった(Harada et al., 2002)。

### (3) 経常研究「海洋環境変化と石灰質プランクトンの応答に関する基礎的研究」平成14年度 下半期—平成16年度

海洋表層に汎世界的に生息する石灰質プランクトン(浮遊性有孔虫・円石藻)は、外洋における主要な炭酸カルシウム生産者であり、大気二酸化炭素分圧を決

定するのに直接関与するため、地球温暖化に重要な影響を及ぼす。むつ研究所第1研究グループの北西太平洋におけるこれまでの研究より、今まで同種と考えられてきた種にも複数の変異体が存在することが明らかになってきており、またそれらは生活環境の微小な変化に応じて住み分けを行っている可能性が高い。しかしながらこの形態的な変異は環境変化に応じて1つの種が形態を変えて分化したものか、もともと遺伝子レベルで異なっているのかはまったく明らかにされていない。どの種が、どの時期に、何が原因で増殖するのかを知ることは、将来の地球環境を予測する上でも極めて重要な課題である。本研究では、石灰質プランクトンの有孔虫・円石藻を実験室内において培養し、様々な物理化学的パラメータをコントロールすることによって、それぞれの環境に対する反応を検証する。さらに遺伝子解析を行い、種の厳密な特定を行う。これらの情報をもとに種および種内形態変異と、環境変化がどのように関係しているかを明らかにし、現在の海洋学および古海洋環境の復元に寄与することを目標としている。

石灰質プランクトン試料は、青森県北部、津軽海峡に面した大畑港より北に5マイルの海域(北緯41°28'、東経141°15'、水深230m)を定点観測点として設定し、一か月に一度の割合で海水を採取、またプランクトンネットを用いて採取している。食餌として与える動物・植物プランクトンは、実際の海域で採取してきたものを実験室内にて培養・増殖させて使用している。2003年3月より漁船を用いた観測を開始し、2003年6月現在までに、津軽海峡に現存する浮遊性有孔虫・円石藻の種類(図6、7)、実験室内における飼育実験法、浮遊性有孔虫の食性・捕食行動、生殖サイクル等に関する新たな知見を得た。また、採取した複数の浮遊性有孔虫に関して、PCR法によるDNA解析を開始した。

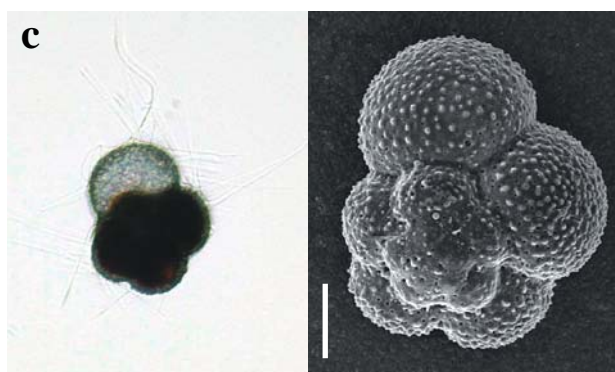
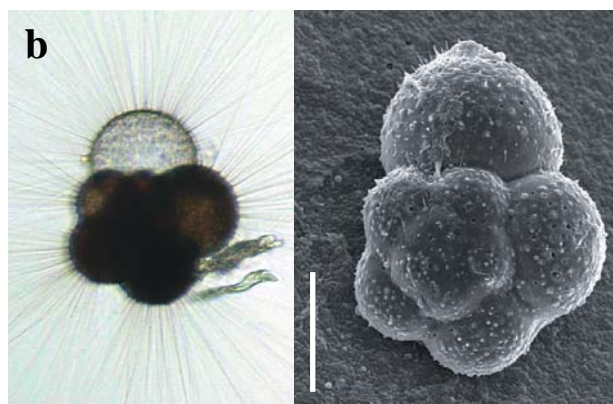
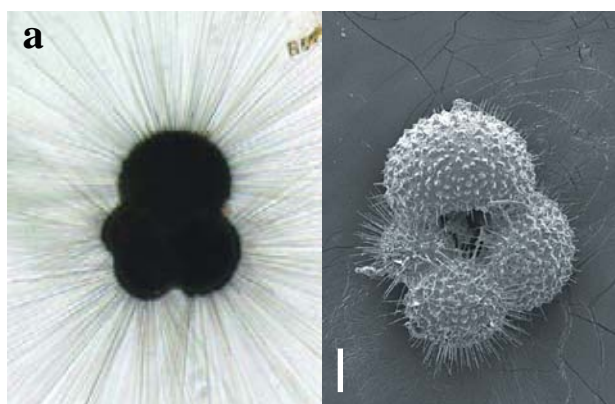


図6 津軽海峡から採取された浮遊性有孔虫 (左は生体、右は走査型電子顕微鏡写真。スケールバーは50 $\mu$ m)  
 a *Globigerina bulloides* d'Orbigny  
 b *Globigerina quinqueloba* (Natland)  
 c *Neogloboquadrina incompta* (Cifelli)

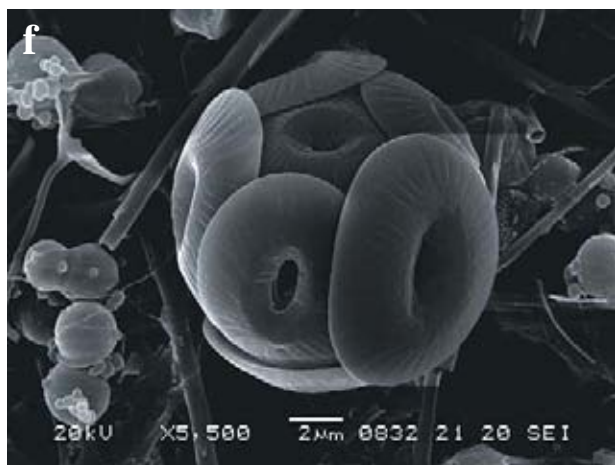
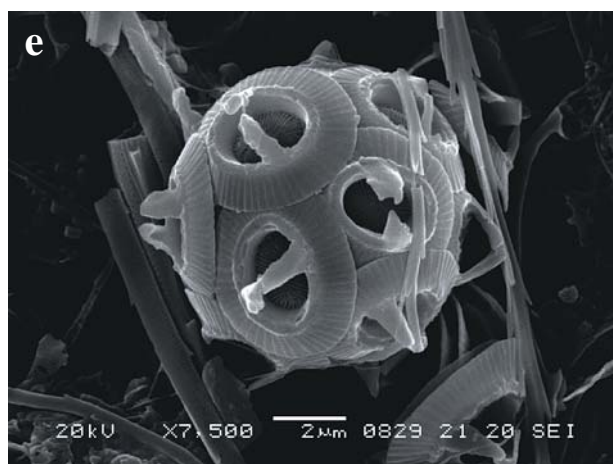


図7 津軽海峡から採取された円石藻  
 d *Emiliana huxleyi* (Lohman)  
 e *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner  
 f *Coccolithus pelagicus* (Wallich)

## 第3章 研究支援活動

### 1. 情報業務

#### (1) 業務の概要

当センターでは情報業務に関する研究支援活動として、次の4つの業務を行っている。第1が図書の収集管理、出版及び技術相談を行う研究情報提供業務、第2が観測データの処理、品質管理及びデータ公開のためのデータベース開発と運用を行うデータ管理業務、第3がパソコンからスーパーコンピュータを含む計算機の運用と研究者への技術支援、またネットワークの管理、設計を行うコンピュータ・ネットワーク運用業務、そして第4が国際海洋環境情報センター(GODAC)の管理・運営の一環として、当センター保有の深海画像や研究成果物等の電子化、並びにデータベース構築とその情報提供を行う環境変動情報利用の推進業務である。

それぞれの主な業務内容は以下の通りである。

#### 1) 研究情報提供業務

- ・海洋科学技術に関する情報の収集、管理、提供及び保管に関すること
- ・海洋科学技術に関する技術相談に関すること
- ・刊行物の編集、出版に関すること

#### 2) データ管理業務

- ・海洋観測データの補正、精度向上等品質管理技術に関すること
- ・各種海洋観測データのデータベース開発及び運用に関すること
- ・観測データの数値解析処理、加工及び保管と公開に関すること

#### 3) コンピュータ・ネットワーク運用業務

- ・コンピュータシステム及びネットワークの管理運用に関すること
- ・コンピュータを用いた各種データ解析処理に関すること
- ・先端的計算機技術の調査に関すること

#### 4) 環境変動情報利用の推進業務

- ・当センターが保有する深海画像や研究成果物等の電子化に関すること

- ・国際的な海洋・地球環境データの収集・加工・提供に関すること
- ・研究者のみならず地域住民や教育現場に役立つ施設設備の開放に関すること

#### (2) 研究情報提供業務

##### 1) 図書・逐次刊行物等の収集・管理・提供

海洋科学技術や地球科学等に関する図書資料(図書、雑誌、技術レポート、会議資料等)を国内外から幅広く収集し、管理・提供を行った。さらに図書資料に関しては図書管理システム(LINUS)を使って書誌情報をデータベース化するとともに、「JAMSTEC蔵書検索システム」および国立情報学研究所の「目録所蔵情報サービス(NACSIS)」を通して所蔵図書・雑誌等の書誌情報を当センター内外へ提供している。LINUSシステムは横須賀本部、横浜研究所、むつ研究所の各拠点のネットワークに接続されており、研究者は自分の端末から図書等検索・予約を行うことが可能となっている。

このほか、当センター各部署の図書委員から構成される図書部会を定期的に開催するとともに、図書・雑誌等に関するアンケート調査を実施することにより、

表1 所蔵図書

種 類	所蔵数	新規購入
和 書	11,788冊	4,031冊
洋 書	6,152冊	2,393冊
寄贈図書	6,268冊	700冊
合 計	24,208冊	7,124冊

表2 所蔵雑誌

種 類	所蔵数	新規購入
和雑誌	1,512種	33種
洋雑誌	842種	71種
合 計	2,354種	104種

表3 当センター関係出版物

種 類	新規刊行
定期刊行物	15種
委託研究報告書	3種
その他	4種
合 計	22種

研究者等の利用者が図書資料を活用しやすい環境整備に努めている。

## 2) 国内外情報の収集等

### (a) 国内活動

(i) 日本図書館協会や専門図書館協議会を通して、国内他機関の図書館運営状況や電子ジャーナルの動向等に関する最新情報を収集した。

(ii) 神奈川県資料室研究会(神資研)への参加と情報交換により、県内に所在する企業および公共機関等の資料室について現状を把握した。

### (b) 国際活動

(i) IOC(政府間海洋学委員会)は海洋の自然現象および海洋資源に関する知識を増進することを目的として設立された国際機関であり、当センターは1993年度から刊行物の提供を受けている。

(ii) IAMSLIC(国際陸水海洋科学情報協会)は海洋科学情報の交換等を目的として設立され、当センターは1993年度から刊行物の提供を受けている。

(iii) ASFA(海洋科学技術に関するデータベース)は総合的な海洋科学技術を対象として国連機関等が推進しているデータベースであり、当センターはASFA国内委員会に参加し、データ入力等の形で協力を行っている。

(iv) その他国際機関・国際研究プログラムの動向について、引き続き情報の入手に努めた。

## 3) 各種出版物の編集・刊行

当センターにおける研究成果を広く普及させるため、また海洋に関する知識を啓蒙するために、平成14年

度は表4に示す逐次刊行物を発行した。情報業務課では専門のスタッフと機材を有し、各刊行物の電子編集、デザインを行うことにより、より迅速にクオリティの高い出版物を発行できる体制を整えている。

## 4) 調査・情報サービス

当センター内外の利用者に対して各種の情報提供を行い、利用者が資料もしくは情報を有効に活用できるようにしている。

### (a) 図書・雑誌

(i) 見計らい図書情報をJAMSTECメールニュースを利用することにより提供。

(ii) 逐次電子ジャーナルを導入し、イントラネットで提供。

### (b) 内部・外部データベース

(i) 「JAMSTEC蔵書検索システム」による図書検索サービスの提供と、表5に示す外部データベースの提供。外部データベースの使用件数は741件。

### (c) カレント情報

(i) 海洋に関係した新聞記事を収集し、その索引を「海洋科学の新聞情報」としてホームページにて提供。

(ii) 海洋に関する会議・展示会情報をホームページにて提供。

### (d) レファレンスサービス等

(i) 所蔵図書・雑誌・資料等のレファレンスサービスの実施

(ii) 海洋科学技術に関する相談窓口として、外部からの問い合わせに対する相談及び紹介等を実施

表4 センター刊行物

刊行物名	内 容	
海洋科学技術センター試験研究	研究成果を収録した学術論文	第46、47号
JAMSTEC深海研究	深海調査研究成果を収録した学術論文誌	第19、20号
Blue Earth	海洋情報の啓蒙誌	第59、60、61、62、63、64号
海洋科学技術センター年報	事業報告(和文年報)	平成13事業年度版
JAMSTEC Annual Report	事業報告(英文年報)	2001年度版

表5 現在使用できる外部データベース

データベース名	概要
① JOIS	科学技術に関する文献や研究テーマ情報等(日本語/英語)
② STN International	200種以上の国際的なデータベースが利用可能(英語)
③ G-SEARCH	国内・国外のデータベースの窓口(日本語/英語)
④ DIALOG	約500のデータベースが利用可能(英語)
⑤ NACSIS	学術研究活動支援のためのデータベース(日本語/英語)
⑥ AIREX	国内機関及びNASAの宇宙文献運用システム(日本語/英語)
⑦ ASFA	水産関係の国際的な文献情報システム
⑧ GEOREF	地球科学に関する世界中の文献を収録した文献データベース(英語)
⑨ 医学・薬学予稿集全文データベース	約200学会の予稿集を全文PDF化したデータベース

5) JAMSTECホームページの運用

一般の方々が興味を持てるような魅力あるホームページを構築するため、和文、英文ページのリニューアルを実施した。また、当センターの最新情報を伝えるため、希望者に対して「海洋科学技術センターメールニュース」を配信した。

(3) データ管理業務

1) 海洋データ管理業務

「海洋科学技術センターにおける観測データの公開指針」に基づき、海洋観測、深海調査活動により得られた観測データの効率的な管理、公開を実現するため、その品質管理、精度向上等を定常的に実施する「データ管理体制」の整備を進めている。

具体的には、海洋物理、海洋化学、地球物理、データベースなど、それぞれ専門の技術をもったスタッフを配置することにより、様々な種類、フォーマットの観測データに対応した品質管理を行うとともに、その品質管理手法についても検討を進めてきた。また、潜水調査船などにより取得された深海のビデオやスライドなど、映像資料の整理、保管を行うとともに、沖縄県名護市に開設した国際海洋環境情報センターと連携して、映像のデジタル化とインデクシングなどの作業を進めている。

海洋地球研究船「みらい」のデータに関しては、「MIRAI Data Web」(図2)を構築することにより、生データを含め、航海終了後の早い段階でのデータ公開を進めている。

2) データベース開発

観測により得られたデータは、適切に管理、提供される必要があり、これを実現するためのデータベース



図1 「JAMSTEC HOMEPAGE」トップページ

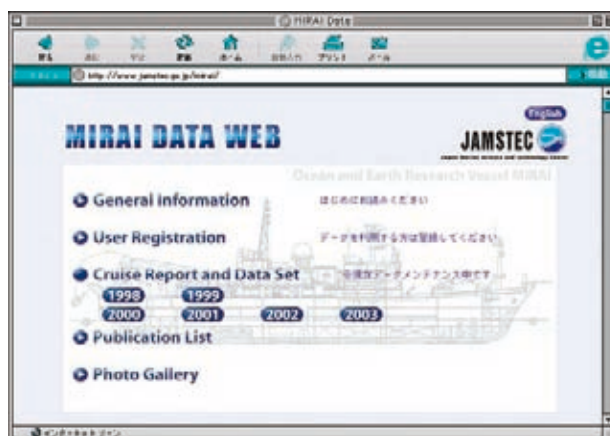


図2 MIRAI Data Web

の開発も行っている。さらに、全世界的な規模での気候変動や環境問題を研究するためには、膨大なデータが必要であり、データ管理業務の重要性は増々高まっている。なかでも、当センターが持つデータをより有効に利用し、わが国をはじめ世界の研究者が、より効率的な研究を推進するためには、国際的なデータ交換の枠組みを検討するとともに、データ交換技術などに関する情報を収集することが必要である。

このため、主に米国で進められている分散共有型データベースなどに関する情報収集を行ってきており、海洋の研究者のなかで利用されはじめているDODS (Distributed Oceanographic Data System) / LAS (Live Access Server)などを利用したプロトタイプシステムの検証などを昨年引き続き実施した。

### 3) 海洋観測データ高次処理

当センターでは海洋・気象変動メカニズム解明のための海洋観測活動を実施しており、その研究成果として海洋地球研究船「みらい」、「アルゴフロート」、および「トライトンブイ」等によって取得された海洋観測データが蓄積されている。これらはデータベースなどで公開しているが、今後は利用者にとってより利用しやすい形に加工したデータとして、広く提供していくことも必要であり、その手法としてデータ同化の適用を検討している。

近年特に注目されているデータ同化手法は、統計学等を使って観測データを数値モデルに同化する(組み込む)ための手法であり、高品質4次元再解析データセットを作成するために利用することができる。

本年度は、最適内挿法およびナッジング法によるデータ同化手法を、当センターのスーパーコンピュータSCシステムにおいて並列化された海洋大循環モデル(MOM3)に適用し、「みらい」、「アルゴフロート」、「トライトンブイ」等の海洋観測データを高次処理する手法について検討した。その結果、2001年の全球の海洋を対象に再解析データを作成し、太平洋の各深度における水温・塩分等の月変化を分かりやすく図解することができた。それと同時に、将来的なアジョイント法等の更に高度なデータ同化手法を活用した高品質4次元再解析データセットの作成および提供に向けて、今後の課題等を明確にすることができた。

## (4) コンピュータ・ネットワーク運用業務

### 1) コンピュータシステム

#### (a) スーパーコンピュータシステム

地球規模の環境問題を科学的に解明するためには、広大な海洋が果たす役割を解明していくことが重要であり、観測機器による精密観測はもとより、数理解析手法による海洋の諸現象の解明及び数値モデルによる変動の予測が不可欠となっている。これらの研究を効率よく推進するためには、大容量記憶装置を備えた超高速演算装置が不可欠である。

当センターは、平成8年3月1日よりスーパーコンピュータSX-4/20システムの運用を開始し、平成13年9月にはその後継機としてスーパーコンピュータSCシステムを導入し運用を行っている。このSCシステムは、スカラー型プロセッサを用いたSMP型サーバであるAlphaServer ES40を、64ノード高速なインターコネクトで結びスーパーコンピュータとしての性能を実現している。周辺機器としてファイバチャネルで接続された磁気ディスク装置や、将来的に100TBまで拡張可能なテープアーカイブ装置がある。さらにベクトル型高速演算サーバを整備し、これまで利用してきたアプリケーションの実行環境の継承を実現している。

このSCシステムを利用し、海洋の諸現象の解明及び数値モデルによる変動の予測に加え、地震探査反射法、ゲノム解析処理や、各研究開発プロジェクトにおける科学技術計算やデータ処理などが行われている。

#### (b) 共用計算機システム

当センターでは従来よりOSとしてVMS上で動作するソフトウェアが存在しており、平成10年9月末にはDEC7620(OpenVMS Alpha)VMSクラスタ環境をAlphaServer4100に更新して運用している。

またスーパーコンピュータSCシステムへのデータ転送と小規模演算サーバとしてAlphaServer DS20E(Tru64UNIX)と、スーパーコンピュータの演算結果を可視化する画像解析処理装置のSGI製ONYX3200に加えて、平成15年3月から研究情報や作業データ等を共有し発信することが可能なファイルサーバを導入し運用している。

## 2) ネットワーク

### (a) JAMSTEC ネットワーク

現在、当センターのネットワークは横浜研究所を中心に各拠点が接続され、データ交換や通信に必要な帯域を確保している。各拠点のネットワークは、平成5年度に横須賀本部でFDDIを基幹とする本格的な構内ネットワークが整備され、その後平成14年度に基幹をFDDIからGigabit Ethernetに強化した。横浜研究所及びむつ研究所、国際海洋環境情報センター内の構内ネットワークは基幹LANをGigabit Ethernet、支線をFast Ethernetで構成している。

図3に各拠点間のネットワーク接続図を示す。むつ研究所は平成8年3月に横須賀本部ネットワークと接続し、平成14年度には512kbpsの専用回線から3Mbpsの広域イーサネット回線に強化し、接続を横浜研究所に変更している。東京連絡所は平成6年から横須賀本部ネットワークへの接続が行われ、平成14年度に接続を横須賀本部への128kbpsの専用回線から横浜研究所への3Mbpsの広域イーサネット回線に強化した。横浜研究所は平成13年3月に100MbpsのATM回線で横須賀本部ネットワークへの接続が行われた。平成13年度には、JGN (Japan Gigabit Network) を利用し、国際海洋環境情報センターとの接続を行っている。

### (b) インターネット

当センターでのインターネット利用は平成5年1月のTISN (国際理学ネットワーク) に接続することで始められた。その後、STAnet及びIMnetと接続し、平成14年度にはSINETに接続を切り換えて運用している。接続回線については、帯域の増加にともない専用回線からATM回線に変更し、平成14年度にEthernet専用回線としている。平成13年度にはインターネットとの接続点を横須賀本部から横浜研究所に変更し、現在に至っている。

平成13年度からは国際海洋環境情報センターにおいても専用線によるインターネット接続を開始した。この高速な回線を利用することにより、大きな通信バンド幅を必要とする画像データや動画の通信などを有効に利用できるようになっている。

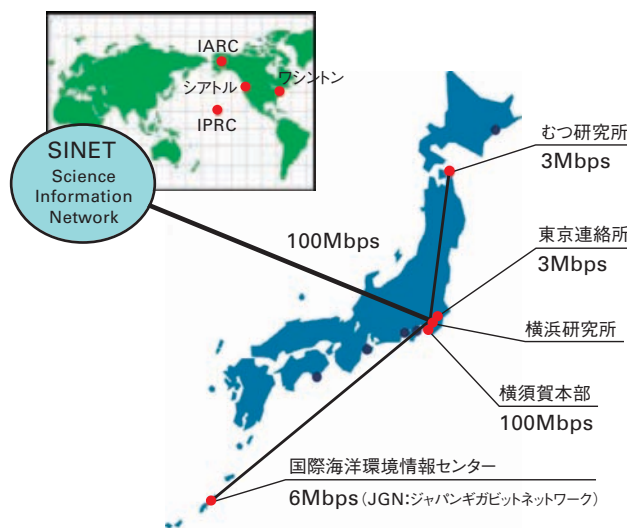


図3 ネットワーク接続図

### (c) セキュリティ

当センターでは、平成6年度からファイアウォールを設置することでコンピュータセキュリティ対策を講じている。その後ファイアウォールを二重化し、障害等に強いシステムを構築した。さらには、平成13年度にファイアウォールを更新し、近年のセキュリティ侵害に対する対策を強化した。

また、不正侵入検知システムによるセキュリティ監視や定期的なネットワークセキュリティの検査、セキュリティパッチの適用、ネットワークサービスアプリケーションのバージョンアップなどを実施することで高い水準のセキュリティを確保することを可能としている。

コンピュータウイルスに関しては、平成11年度からサーバにウイルスチェック機能を設けることで、ウイルスが流布することを未然に防止している。

## (5) 環境変動情報利用の推進業務 (国際海洋環境情報センター: GODAC)

平成14年度も引き続き、主に当センターが保有する深海画像や研究成果物等の電子化並びに、データベース構築を実施した。また、国際的な海洋・地球環境等に関するデータの収集・加工・提供を実施した。更に、GODAC業務の特徴として、研究者だけでなく地域の方々や教育現場、更には地元観光産業等に役立つ海洋・地球環境情報の発信拠点として、施設設備の開放を行った。

1) 画像情報・書誌情報デジタルアーカイブ業務

画像情報デジタルアーカイブ業務として、主に「しんかい2000」、「しんかい6500」等による深海調査記録映像を、映像情報データベースとして構築し、インターネットで公開した(表6)。また、当センターが刊行している「JAMSTEC深海研究」、「試験研究報告」等の文書類についてもスキャニング処理を行い、pdf形式へ変換後、文書ファイルの容量に応じて、分割・関連付け処理を行った。この情報については、OCR処理・校正を行ない、

書誌情報だけでなく全文のテキスト情報を付与した全文検索データベースを構築し公開した(表7)。

2) 地球環境情報提供業務

各種地球環境情報について、インターネット経由によるオンライン収集及び、各種研究機関からの電子媒体での提供データをオフライン収集し、データベース化及び、それらを用いたデータ加工や、各種データセット提供、公開用データ可視化システム等の管理運用を行っ

表6 映像情報デジタル処理作業(テープ処理本数)

潜水船名	年	エンコード 作業(本)	インデクシング 作業(本)	一次公開(本)	研究者補正 依頼(本)	二次公開(本)
しんかい2000	1988	2	0	0	0	0
	1989	134	87	45	7	3
	1990	169	95	26	8	7
	1991	150	37	12	4	4
	1992	165	45	26	6	6
	1993	51	0	0	0	0
	1994	6	0	0	0	0
	1998	62	14	0	0	0
	1999	76	15	4	0	0
	2000	58	6	0	0	0
	2001	0	0	0	0	0
	2002	2	1	0	0	0
	小計		875	300	113	25
しんかい6500	1992	95	39	28	0	0
	1994	154	20	10	10	10
	1995	66	0	0	0	0
	1998	18	12	0	0	0
	小計		333	71	38	10
ドルフィン3K	1993	12	12	12	0	0
	1996	16	16	6	0	0
	1997	16	16	0	0	0
	1998	48	28	0	0	0
	1999	30	6	0	0	0
	2000	2	2	0	0	0
	小計		124	80	18	0
かいこう	1998	78	8	2	1	0
	小計		78	8	2	1
ハイパードルフィン	2000	3	2	2	0	0
	小計		3	2	2	0
合計		1,413	461	173	36	30

表7 文書情報デジタル処理(定期刊行物)

雑誌名	一次公開		
	号名	冊数(冊)	ページ数(P)
JAMSTEC深海研究	第12号～20号	11	3,017
しんかい2000	500・1000回潜航記録	2	330
年報	昭和47～63事業年度 平成元～12事業年度(資料編3冊含む)	32	3,517
Blue Earth	通巻第47～61号	15	618
	Special No.1～No.2	2	94
センターニュース「なつしま」	173～202号	30	160
合計		92	7,736

雑誌名	二次公開		
	号名	冊数(冊)	ページ数(P)
「しんかい2000」研究シンポジウム特集		1	142
「しんかい2000」研究シンポジウム	第2回～9回	8	2,564
JAMSTEC深海研究	第10号～11号	2	935
合計		11	3,641

た。また、これら各種データの利用窓口となる地球環境ポータルシステムの管理運用を行い、放送・通信機構が整備・運用を行っているJGN(Japan Gigabit Network)を介して当センターのイントラネットに接続し、研究者へのデータ提供を行うとともに、インターネットや名護市地域イントラネット等を介して、一般利用者のための「バーチャルアース」等による可視化されたデータの提供やユーザ登録管理業務を実施した。

### 3) 施設・設備利用開放業務

名護市をはじめ地域住民や、沖縄北部地域を訪れる観光客の方々がGODACを訪れた際に、地球環境や深海の生物、地球環境変動等についての知識や関心を深めることができるコンテンツの整備を行うとともに、教育現場での総合学習等に利・活用できる総合的なシステムの整備を行った(図4、図5、図6、図7、別冊資料編14. 来訪者表3参照)。

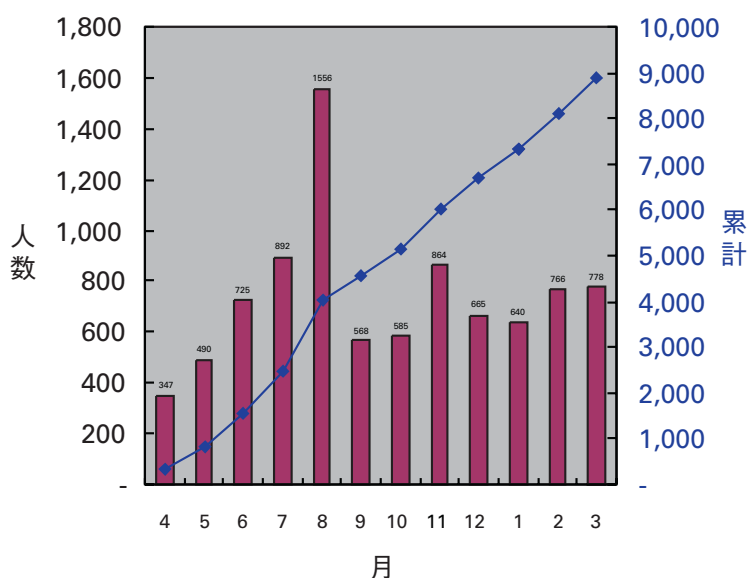


図4 平成14年度月別来館者数

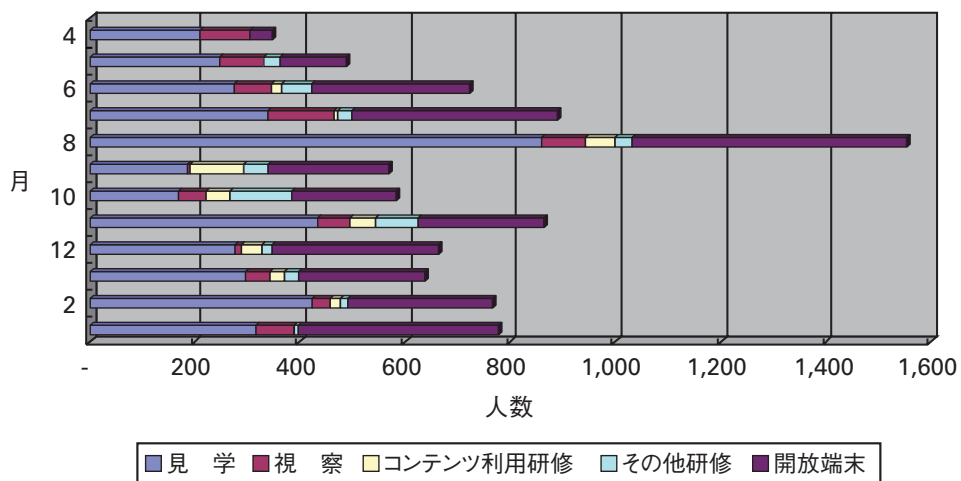


図5 平成14年度目的別来館者数



図6 園児の3D映像「The Deep Sea」観賞(講義室にて)



図7 高校生対象のPC端末を利用した情報コース研修(講義室にて/長野県臯月高校)

## 2. 研修事業

### (1) 活動の概要

当センターでは、潜水業務や海洋研究に携わる技術者や研究者などを対象に潜水技術に関する研修を行うとともに、潜水作業現場の監督者等に対する安全衛生教育を実施している。さらに、青少年や教師等を対象として海洋科学技術に関する研修を普及活動の一環として実施している。

潜水関連の研修は、昨年度と同様に「潜水技術研修」と「潜水業務管理研修」を実施した。また、普及活動としては、高校生を対象とした「サイエンスキャンプ」と、日本財団の助成による「マリンサイエンス・スクール事業」を実施するとともに、「アジア・西大西洋海洋研究ネットワーク研修」を実施した。

### (2) 潜水技術研修

本研修は、潜水業務に従事する者を対象に、10日間（一部5日間）の日程で、空気（スクーバ）潜水に関する知識や基本的技術を習得することを目的として行っている。本年度は、警察・消防、水産高校等、計51機関から349名が参加した（図1、図2）。



図2 センター岸壁での潜水技術研修の様子

### (3) 潜水業務管理研修

本研修は、潜水関連会社等において潜水業務の管理を行う者に対して実施するもので、潜水業務に関する安全衛生教育に加え、飽和潜水の概要や海外で行われている潜水作業の実態等、潜水業務全般について幅広い情報を提供している。本年度は、計7機関から9名が参加した。

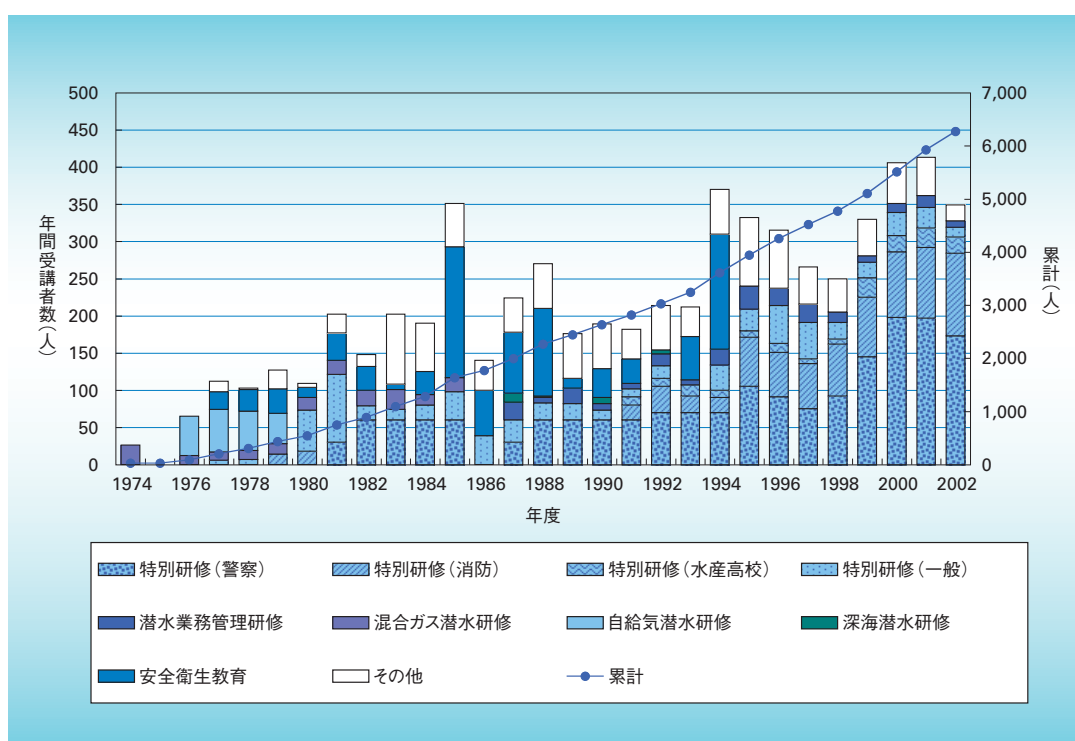


図1 潜水技術研修の経緯



図3 サイエンスキャンプでの飼育されている生物の観察



図4 マリンサイエンス・スクールでの深海調査機器の見学

#### (4) サイエンスキャンプ

本キャンプは、(財)日本科学技術振興財団の主催により平成7年度から実施され、本年度は国立試験研究機関、独立行政法人、特殊法人等の試験研究機関28機関により開催された。当センターでは、平成14年8月5日～7日の2泊3日の日程で、28名の高校生が全国から参加した(図3)。

#### (5) マリンサイエンス・スクール事業

##### 1) マリンサイエンス・スクール

本スクールは、高校生と彼らを指導する教師が、海洋に対する興味や関心を高めることにより、将来の海洋科学技術を担う人材の育成に資することを目的とし、平成8年度から日本財団からの補助により開催している。高校教諭については、平成14年8月7日～8月9日に開催し、20名の参加があり、高校生については、平成14年7月24日～7月26日と平成15年3月26日～3月28日に開催し、計54名の参加があった(図4)。

##### 2) 海洋科学技術学校

本セミナーは、将来の海洋科学技術の研究・開発等を担う大学生および大学院生を対象に、当センターの施設・設備を利用し、講義や実習により最先端の海洋研究について学ぶ研修である。昨年度まではむつ研究所にて実施していたが、本年度より横須賀本部にて実施した。平成14年8月12日～8月14日(第1回)、平成15年3月12日～3月14日(第2回)の2泊3日の日程で開催し、計70名が参加した(図5)。



図5 海洋科学技術学校で実物の海底地震計にふれる参加者

#### (6) アジア・西太平洋海洋研究ネットワーク研修

本研修は、アジア・西太平洋諸国の人々が海洋観測に対する理解を高めるとともに自国周辺海域の海況予測を行うためのポテンシャルを培うこと、さらには、これらを通じて人的ネットワークを構築することを目的として、平成12年度から開始した。本年度は、ソロモン、サモア、ナウル、ミクロネシア、バヌアツ、ツバルの6ヶ国から海洋データの管理等に実績のある若手研究者、技術者を集め、平成14年10月28日から12月6日までセンター横須賀本部、むつ研究所及び国際海洋環境情報センター等において海洋観測データの処理方法や観測技術についての研修を行った(図6、7、8)。



図6 データ解析実習に真剣に取り組む参加者たち



図. 7 自国周辺で展開されるトライトンブイと記念撮影



図8 XBTを使った観測実習

### 3. 研究業務部

当センターは、有人潜水調査船、無人探査機、海洋調査船等による深海調査研究や海洋観測研究等を実施している。また、海洋に関する研究開発で共通に用いられる高圧実験水槽、超音波水槽等の大型共用実験研究施設を、外部利用等に供している。

研究業務部は、船舶等の運航・保守整備及び施設の共用等を通じて、センターの調査観測及び研究開発を支援している。

#### (1) 「みらい」公募システム

「みらい」による研究は、「みらい」長期観測研究計画に基づいて公募し、「みらい」運用検討委員会(組織図及び委員会メンバー 図1参照)で採否を決定している。

平成15年度の「みらい」公募は、平成14年6月20日から7月19日まで、郵送およびインターネット上で実施した。応募総数は154課題、262人であり、「みらい」運用検討委員会にて139課題、254人が選定された。うち、当センターの採択課題は50課題、国立大学からは47課題、国立研究所等からは57課題が採択され、9月の理事会にて承認された。

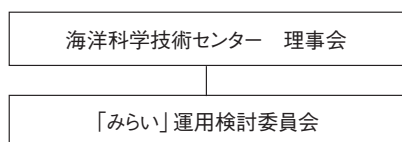
#### (2) 深海調査研究公募システム

深海調査研究は、センター長期計画に沿った研究課題を一般公募し、「深海調査研究計画委員会」、「深海調査研究実施計画調整部会」及び「深海調査研究推進委員会」(組織図及び委員会メンバー 図2参照)で採否を決定している。

平成15年度深海調査研究一般公募は、平成14年9月17日から10月21日までインターネット上で実施した。対象は、潜水調査船「しんかい6500」60潜航、無人探査機「かいこう」4行動、深海調査研究船「かいらい」単独(MCS航海70日を除く)、支援母船「なつしま」(「ハイパードルフィン」あるいは「ディープ・トウ」等の航海合計150日間)であった。応募研究課題は67課題、研究課題提案者60名、共同提案者608名があり、深海調査研究計画委員会にて評価を行い、深海調査研究実施計画調整部会にて航海計画を策定した。その結果、平成15年1月の深海調査研究推進委員会にて38課題が採択され、平成15年2月の理事会にて承認された。

#### (3) 研究支援

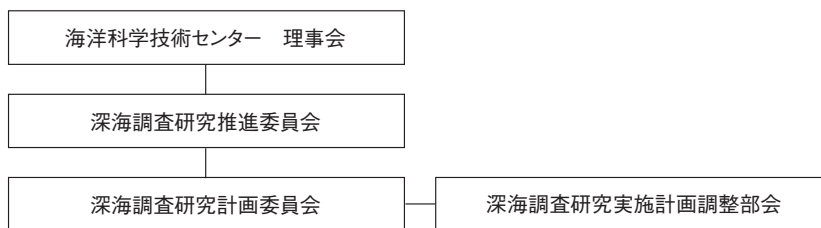
当センターでは、(株)日本海洋事業、(株)マリンワーク・ジャパン、(株)グローバル・オーシャン・ディベロップメ



「みらい」運用検討委員会

	氏名	所属
委員長	半田 暢彦	愛知県立大学情報科学部 教授
委員	安田 一郎	東京大学大学院理学系研究科 助教授
委員	今脇 資郎	九州大学応用力学研究所 教授
委員	植松 光夫	東京大学海洋研究所 助教授
委員	石丸 隆	東京水産大学 教授
委員	藤本 博巳	東北大学大学院理学研究科 教授
委員	花輪 公雄	東北大学大学院理学研究科 教授
委員	岩淵 洋	海上保安庁海洋情報部 技術・国際課 課長補佐
委員	加納 裕二	気象庁気候・海洋気象部海洋気象課 課長
委員	高柳 和史	水産庁増殖推進部研究指導課 研究企画官
委員	西村 昭	独立行政法人産業技術総合研究所 副部門長
委員	渡辺 正孝	独立行政法人国立環境研究所 水圏環境領域長
委員	松浦 知徳	独立行政法人防災科学技術研究所 総合防災部門 統括主任研究員
委員	瀧澤 隆俊	海洋科学技術センター 海洋観測研究部 部長

図1 「みらい」運用計画推進組織図



深海調査研究推進委員会

	氏名	所属
委員長	小林 和男	東京大学 名誉教授
委員	石田 瑞穂	独立行政法人防災科学技術研究所 研究主監
委員	宇井 忠英	北海道大学大学院理学研究科 地球惑星科学専攻 地球惑星物質圏科学講座 教授
委員	小池 勲夫	東京大学海洋研究所 教授・所長
委員	斉藤 靖二	独立行政法人国立科学博物館 地学研究部 部長
委員	谷口 旭	東北大学大学院農学研究科 環境修復生物学専攻 修復生態学講座 水圏修復生態学分野 教授
委員	西村 昭	独立行政法人産業技術総合研究所 海洋資源環境研究部門 副部門長
委員	野津 憲治	東京大学大学院理学系研究科 地殻化学実験施設 教授
委員	山下 輝夫	東京大学地震研究所 教授・所長
委員	木下 肇	海洋科学技術センター 理事
委員	辻井 薫	極限環境生物フロンティア研究システム 領域長

深海調査研究計画委員会

	氏名	所属
委員長	玉木 賢策	東京大学海洋研究所 教授
委員	小川勇二郎	筑波大学地球科学系 教授
委員	加藤 憲二	静岡大学理学部 生物地球環境科学科 教授
委員	川幡 穂高	産業技術総合研究所 海洋資源環境研究部門 海洋地球変動研究グループ グループ長
委員	白山 義久	京都大学大学院 理学研究科附属瀬戸臨海実験場 所長・教授
委員	高橋 栄一	東京工業大学大学院 理工学研究科 教授
委員	西澤あずさ	海上保安庁 海洋情報部技術・国際課 海洋研究室 主任研究官
委員	森鼻 英征	東海大学海洋学部 マリンデザイン工学科 教授
委員	徐 垣	海洋科学技術センター 深海研究部 研究主幹
委員	三ヶ田 均	海洋科学技術センター 深海研究部 研究主幹

深海調査研究実施計画調整部会

	氏名	所属
部会長	浦辺 徹郎	東京大学大学院 理学系研究科 教授
部員	玉木 賢策	東京大学海洋研究所 教授
部員	加藤 憲二	静岡大学理学部 生物地球環境科学科 教授
部員	川幡 穂高	産業技術総合研究所 海洋資源環境研究部門 海洋地球変動研究グループ グループ長
部員	網谷 泰孝	海洋科学技術センター 海洋技術研究部 研究主幹
部員	藤倉 克則	海洋科学技術センター 海洋生態・環境研究部 研究副主幹
部員	門馬 大和	海洋科学技術センター 研究業務部 部長

図2 深海調査研究計画推進組織図

ントの観測技術員により、船上及び陸上における各種研究支援（観測機器運用、深海調査支援、データ処理等）を行っている。観測機器には、現在28基保有しているトライトンブイ、海底下深部構造探査用マルチチャンネル

反射法探査システムおよび海底地震計、ディープ・トウシステム（深海曳航式カメラ、ソナー）、堆積物採取用20mピストンコアラー、ドレッジ、「みらい」におけるCTD採水システムおよび各種分析機器、重磁力計等がある。

平成14事業年度は、西太平洋、インド洋及び低緯度海域におけるトライトンブイ18基の運用体制が整った。観測データはARGOS衛星経由で、むつ研究所に送信し、センターWEB上にてデータを公開している。

海底下深部構造探査は、熊野灘で「かいいい」、「かいうよう」による二船式反射法・屈折法調査を実施した。また、海底地震計を用いた調査では、120台の運用を行っており、平成14年度の回収率は99.4%である(161台設置/160台回収)。さらに、関連3社の観測技術員を対象とした観測技術向上プログラムにより、各種観測機器の性能およびデータ品質向上の推進を図った。センターのみならず、国内外の研究者が参加する公募研究航海においてクルーズレポート作成、データおよびサンプル管理業務等の調査支援を実施した。このような高度な研究支援は世界唯一と考えられる。

#### (4) INMARTECH 2002

平成14年10月7日から11日までの5日間、第4回INMARTECH 2002(マリンテクニシャン国際ワークショップ)が横須賀本部にて開催され、研究業務部が事務局をつとめた(図3、図4)。2年ごとに開催されるこの会合は、今回アジア・西太平洋地域で初めて開催され、地理的に参加者数が心配されたが、国外から米国、オーストラリア、韓国を始めとして、12ヶ国42名の参加があり、国内127名を加え総勢169名の参加があった。これは過去最高の参加者とのことである。内容は、基調講演2件、口頭発表41件、ポスター発表25件であり、各セッションでは各国の最新の現場技術が紹介され、非常に活発な議論が交わされた。公用語は英語であ



図3 INMARTECH 2002 集合写真

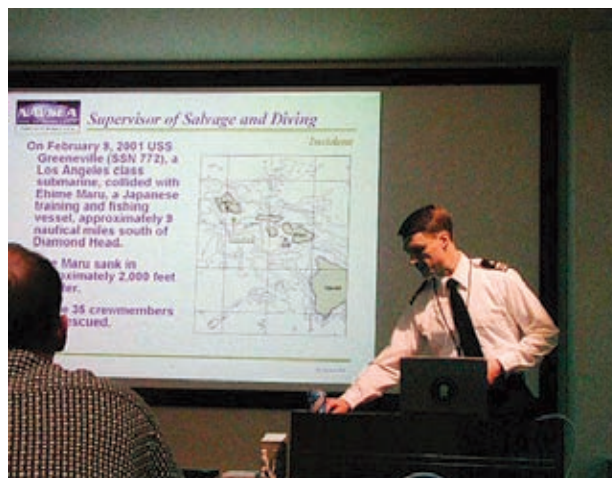


図4 米海軍G. Baumann少佐による講演

ったが、関連3社の観測技術員も積極的に発表し、大きな刺激になったと思われる。事務局の心のこもった対応には、国外の参加者から高い評価を得た。

次回は、2004年9月にBritish Antarctic Surveyがホストとなって、英国ケンブリッジで開催の予定である。

#### (5) ブルーアースシンポジウム

平成15年1月16日、17日の2日間、にブルーアースシンポジウム(第19回「しんかいシンポジウム」・第6回「みらいシンポジウム」)がパシフィコ横浜(会議センター5F)にて開催され、研究業務部が事務局をつとめた。初めて部外での開催となったが、2日間で前回(989名)をやや上回る、延べ1031名の参加があった。本庄理事による特別講演1件(両シンポジウム共通)、「しんかいシンポジウム」は、口頭発表41件、ポスター発表100件、「みらいシンポジウム」は、口頭発表31件、ポスター発表27件であった。年々、発表件数と内容が充実しつつある。

この他、フィンランドの首都ヘルシンキで行われた国際運航者会議(ISOM)に千々谷理事及び門馬研究業務部 部長が、米国のハーバーランチにおいて行われた国際潜水船運航者安全会議に田代計画調整課課長及び小倉船舶工務課 課長代理が参加し、各国の安全管理状況等を調査し安全運航に役立てた。

また、仏国IFREMERとの潜水船運用技術交流の一環として、有人潜水船「しんかい6500」運航要員2名(潜航士:樋口陽彦、航法管制士:南部喜信)及び「ノチール」運航要員2名(Operation Manager: Jean

Paul Justiniano、Pilot : Franck Rozassa)による潜水船運航要員交換プログラムを実施した。残念ながらスペイン沖で発生したタンカー事故により、センター側は「ノチール」の潜航に参加することは出来なかったが、初島沖において仏側1名が、オブザーバとして「しんかい6500」の潜航を体験した。

### (6) 船舶運航

当センターでは、「なつしま」、「かいよう」、「よこすか」、「かいいい」、「みらい」の5隻の調査船と、「しんかい2000」、「しんかい6500」、「ドルフィン-3K」、「ハイパードルフィン」、「かいこう」、「ディーブ・トウ」の深海調査システムにより、深海調査や海洋観測等の研究を実施すると共に、寄港地における船舶の一般公開等、普及・広報にも活用している。

これらのうち、「しんかい6500」を除く船舶や深海調査システムの運航と保守整備については、船舶運航会社に業務を委託している。

平成14年度は、「なつしま」、「みらい」については法定定期検査工事(5年毎)、「かいよう」、「よこすか」については法定年次検査工事、「かいいい」については法定中間検査工事を実施した。

#### 1) 「なつしま」

「なつしま」は、深海調査研究公募課題および所内研究課題に基づいて10行動、合計259日の運航を行った。実績線表を表1、航跡図を図5に示す。

行動内訳は、「しんかい2000」及び「ドルフィン-3K」による潜航行動7行動219日、「ハイパードルフィン」によ

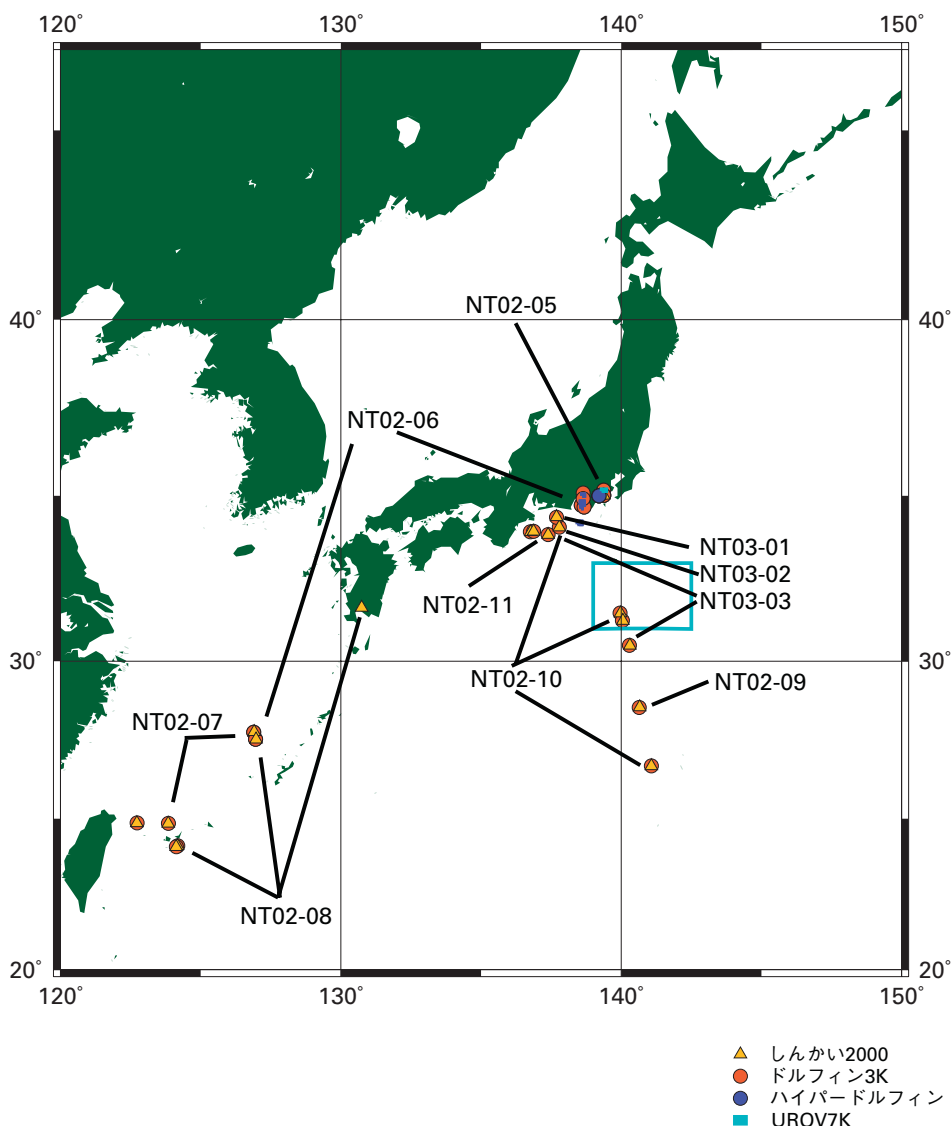


図5 平成14年度「しんかい2000」「なつしま」航跡図

る潜航行動3行動32日、「UROV-7K」による潜航行動1行動7日である。沖縄県本部(7月7日)、高松(8月3・4日)、佐世保(11月16・17日)、神戸(11月22・23日)、の各寄港地において一般公開を実施した。

平成14年12月4日から平成15年2月3日の間、川崎重工神戸造船所において、法定定期検査工事を実施した。各機器の点検及び整備を実施したほか、「しんかい2000」の運航休止及び「ドルフィン-3K」の運用停止に伴い、「ドルフィン-3K」関連機材の撤去及び無人探査機「ハイパードルフィン」搭載工事を実施した(図6)。コントロールバン、トラクション及びストレージウィンチ等の船上装置の艤装及び既存の音響航法装置の改修等、「ハイパードルフィン」の母船機能を付加した。併せて、研究区画の機能拡充として、第2、第3ラボラトリの改造(第2ラボラトリをドライラボへ改装、第3ラボラトリ



図6 ハイパードルフィン搭載



図7 コンテナラボ



図8 第2ラボ

の実験台機能の充実等)、本船用に改造したコンテナラボラトリ(ウェットラボ)の搭載、岩石カッター室の新設及び端艇甲板左舷にコンテナスペースの新設のほか、船内LANの新設等を行った(図7、図8)。

## 2) 「かいよう」

「かいよう」は、所内研究課題に基づいて12行動、合計278日の運航を行った。実績線表を表2、航跡図を図9に示す。

行動内訳は、「ハイパードルフィン」の調査潜航4行動82日、「MCS・OBS調査」(鳥取沖、南海トラフ、マリアナ海域)2行動71日、「基礎生産力観測研究」(南西諸島海域)1行動14日、「熱帯赤道域における観測研究(TOCS)」(西部熱帯太平洋海域)1行動40日、「OBS(海底設置型地震計)の設置」(南海トラフ)1行動8日、「ディープ・トウ」(マリアナ海域)1行動20日、「ヒートフロー計測及びピストンコア」(相模湾、南海トラフ)1行動16日、「多重反射音場計測試験」(駿河湾)1行動14日であった。

一般公開は、平成14年5月11日センター横須賀本部にて、施設一般公開の一環として、横須賀港内の体験乗船を実施した。

平成14年5月13日から平成14年6月19日の間、三井由良造船所において、法定年次検査工事を実施した。各機器の点検及び整備を実施したほか、安全性を高めるために作業甲板への作業灯の新設、冷却水管系にクラゲ除去装置の新設、作業効率向上のために右舷船首ホーサーリール遠隔操縦装置の新設等を行っ

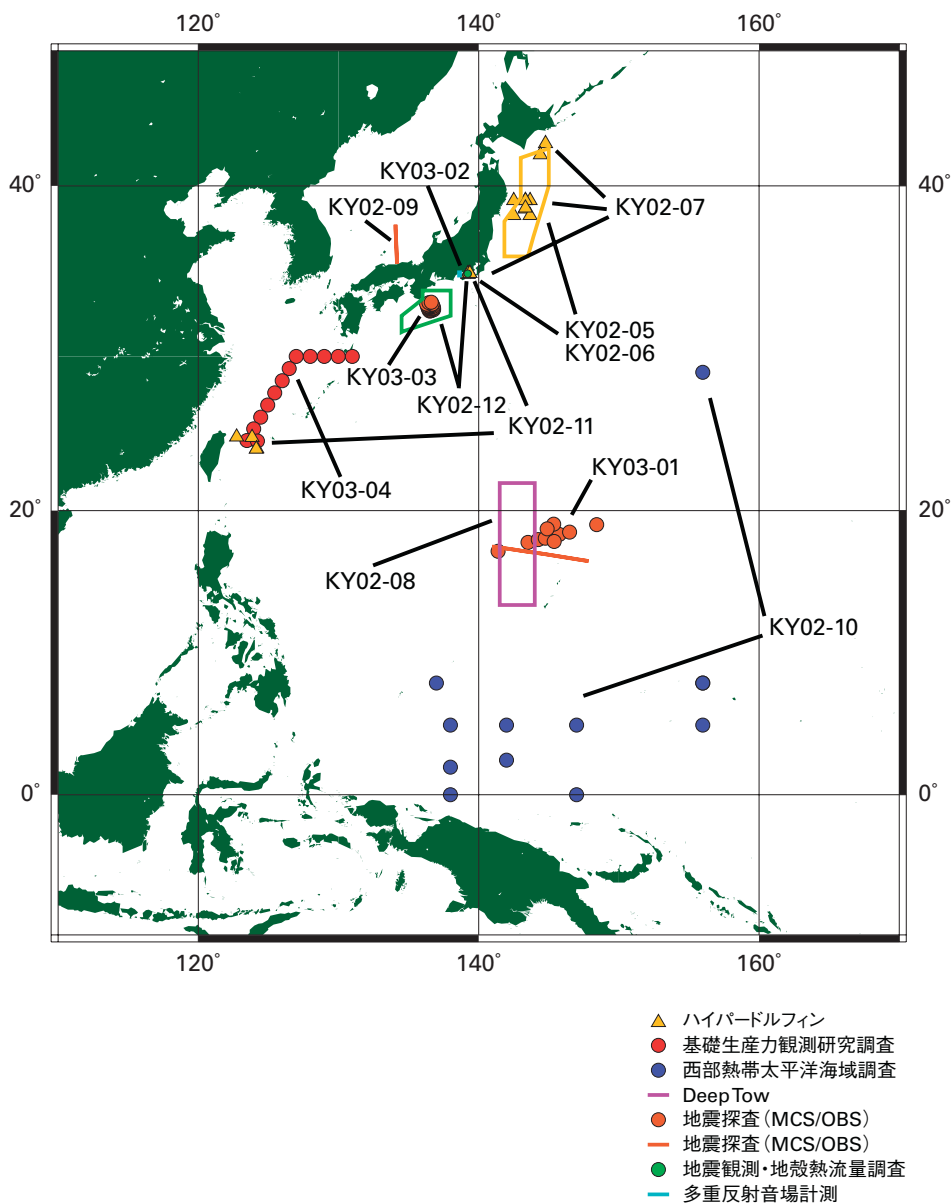


図9 平成14年度「かいよう」航跡図

た。また、外航時の通信装置を二重化するため、インマルサットB海事衛星通信装置一式の増設を行った。

### 3) 「よこすか」

「よこすか」は、深海調査研究公募課題および所内研究課題に基づいて11行動、合計297日の運航を行った。実績線表を表3、航跡図を図10に示す。

行動内訳は、「しんかい6500」による潜航行動5行動181日、深海巡航探査機「うらしま」実海域試験（駿河湾）を2行動13日、無人潜水機「UROV-7K」確認潜航（伊豆・小笠原）を1行動12日、「よこすか」単独による行動3行動84日である。

単独行動としては、「日本沿海流の変動特性のモニタリングと変動メカニズムの解明」（南西諸島及び東シナ海大陸斜面）1行動22日、「仏領ポリネシア広帯域海底地震観測」（仏領ポリネシア海域）1行動46日、「亜熱帯海域における長期自動観測」（沖ノ鳥島）1行動15日を実施した。

平成14年4月5日から平成14年5月11日の間、川崎重工神戸造船所において、法定年次検査工事を実施した。各機器の点検及び整備を実施したほか、潜水船測位時（SSBL）のつれ周り対策を検討し、遠隔ヒール修正装置の新設、フェンダ吊り上げ用ウインチ等の新設を実施した。また格納庫内の整備性を向上させるため、

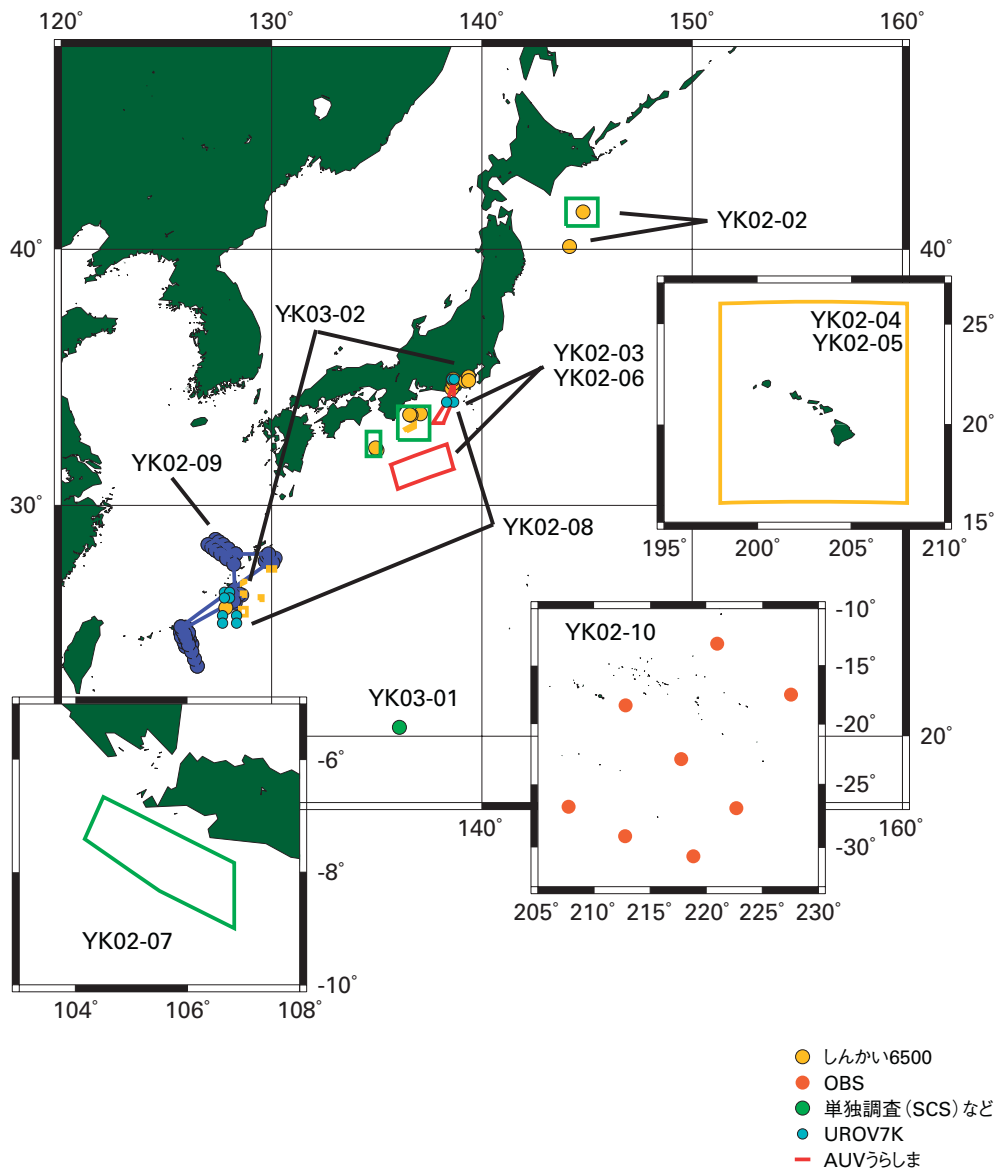


図10 平成14年度「しんかい6500」「よこすか」航跡図

甲板上の突起物の取り外し及び充電ケーブル格納装置の改善等を実施した。研究者が任意の場所で位置情報等が得られるように航跡遠隔表示装置の新設、ロッカーの新設等居住設備の改善も併せて実施した。

#### 4) 「かいいい」

「かいいい」は、深海調査研究公募課題に基づいて15行動、合計288日の運航を行った。実績線表を表4、航跡図を図11に示す。

行動内訳は、「かいこう」の試験・訓練潜航2行動26日、「かいこう」による調査潜航6行動92日、「かいいい」単独調査5行動88日、MCS（マルチチャンネル反射法システム）調査2行動71日である。

「かいいい」の単独行動としては、「ピストンコア」、「ドレッジ」、「グラビティコア」、「マルチナロービーム音響測深機」、「プロトン磁力計」等の調査機器を用いて、伊豆・小笠原、本州南岸、北西太平洋の日本周辺海域及びマリアナ海域、フィリピン海において調査を実施した。また、MCS調査を伊豆・小笠原及び熊野灘において実施した。

平成14年1月30日から平成14年3月6日の間、川崎重工神戸造船所において、法定中間検査工事を実施した。調査観測機能の向上として、各ラボラトリの蛍光灯増設、リサーチルームにレールコンセント及び船内LANのHUB増設、ウェットラボに保管用冷蔵庫、アイスクラッシュャの新設等を行った。また、OBS、係留系の回

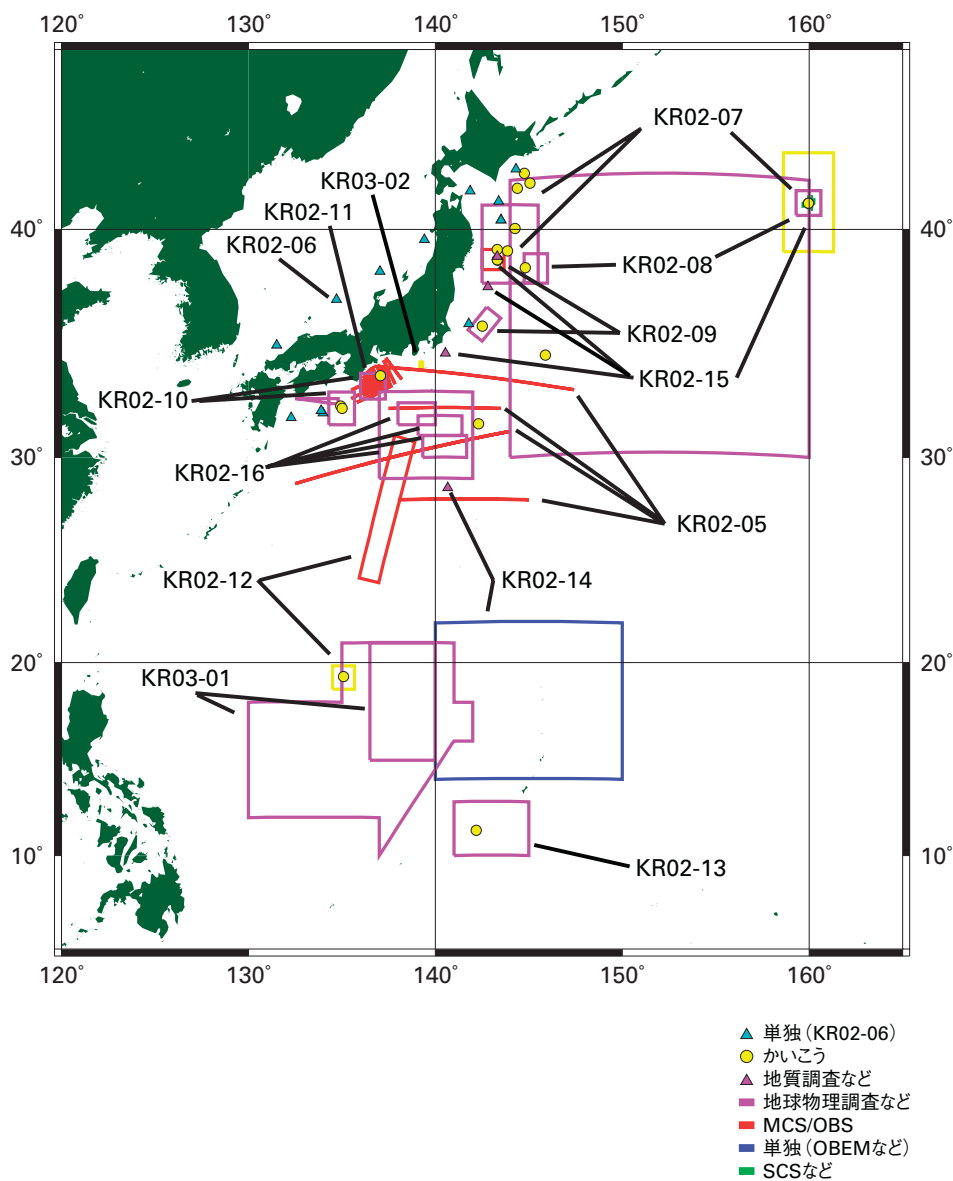


図11 平成14年度「かいらい」「かいこう」航跡図

取作業を効率化するためのダビット改造、ダビットアームの新設、基幹LANをギガビット対応とするための改造、エアガンフロート格納方法改善等の工事を行った。

#### 5) 「みらい」

「みらい」は、共同利用型研究課題に基づいて5行動、合計311日の運航を行った。実績線表を表5、航跡図を図12に示す。

行動内訳は、「北太平洋亜熱帯・亜寒帯循環系の変動に関する観測研究」(日本南方、東方海域) 28日、「西部熱帯太平洋・インド洋の観測研究」(西太平洋赤道海域、東インド洋赤道海域) 58日、「北極海域の観測研究・高緯度海域における物質循環研究」(チュク

チ海、ポーフォート海) 73日、「大気－海洋間相互作用に関わる観測研究・西部熱帯太平洋の観測研究、赤道域における基礎生産力の研究」(西部～中部太平洋) 92日、「高緯度海域における物質循環研究」(北西部太平洋) 38日である。

平成14年4月6日から5月10日の間、三菱下関造船所において、平成15年度南半球周航航海に備えて、法定定期検査工事を実施した。機関室右舷に固定バラスト50トン上積み、船橋甲板左舷に大型作業艇移設、船用品倉庫(1)の床面補強、研究機器倉庫の床面改装、CTD室の改装、オートサル室の改装、シャワー室増設、造水装置増設、浄水装置新設、後部操舵室に空調機新設、厨房に生ゴミ処理機新設等の工事を実施した。

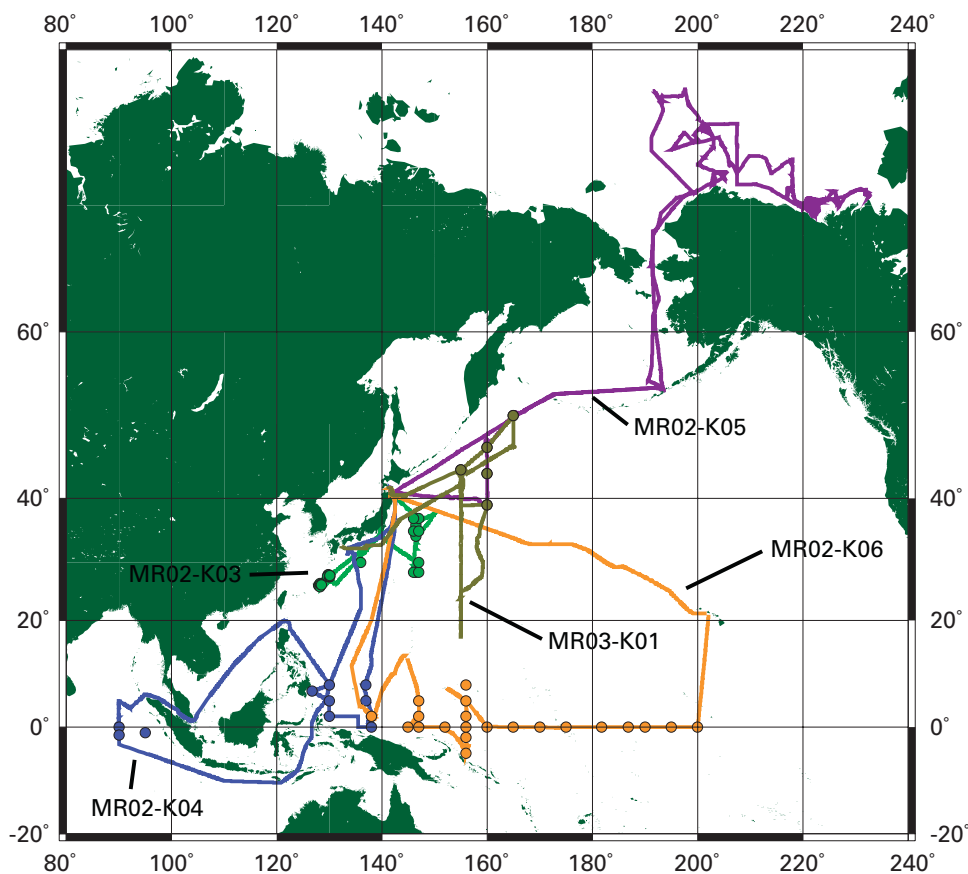


図12 平成14年度「みらい」航跡図

特殊装置については、大型CTDウインチケーブル新替、Aフレームクレーンシリンダ整備、X線室に試料粉碎機新設、サブボトムプロファイラ送波器ケーブル新替、海洋レーザーシステム撤去等の工事を実施した。

### (7) 深海調査システム運用

#### 1) 「しんかい2000」

「しんかい2000」は、年間7行動、90潜航(試験・訓練潜航を含む)を計画し、調査潜航を計64回、試験・訓練潜航を計15回、合計79回の潜航を南西諸島、駿河湾、相模湾、南海トラフ及び伊豆・小笠原の日本周辺海域で実施した。

平成14年11月11日、相模湾にて第1411潜航を最後に、21年にわたる運用を休止し、11月26日に横須賀本部潜水調査船整備場に陸揚げされた。

次年度以降、運航を休止することとなっていることから、法定検査工事は実施せず、主蓄電池取外し、重量トリム調整用水銀の抜き取り等、係船に必要な整備のみを実施した。また、係船に関わる手続きを行った。

研究者からは休止を惜しむ声があがり、複数の学会から署名が寄せられた。

#### 2) 「しんかい6500」

「しんかい6500」は、年間5行動、75潜航(試験・訓練潜航を含む)を計画し、調査潜航58回、試験訓練潜航15回の計73回の潜航を、南西諸島、南海トラフ、駿河湾、相模湾、千島海溝の日本周辺海域及びハワイ周辺、ジャワ・スンダ海溝にて行った。

平成14年11月12日から平成15年2月27日の間、潜水調査船整備場において、法定定期検査に伴う各機器の点検整備および性能維持に必要な部品の交換を実施した。その後、南西諸島周辺海域において最大潜航深度潜航試験を含む試験潜航を実施し、3月10日に全ての試験検査を終了した。

本年度は5年に1回の法定定期検査であり、耐圧殻本体、集合電線貫通部等の非破壊検査、油圧・水銀管系統の化学洗浄、船内通風装置の開放点検整備を実施した。また、通常年次検査項目である電源装置の

主配電盤、インバータ主回路部等の開放検査及び油密検査、油漬電線およびモールド電線の導通抵抗、絶縁抵抗の計測、応急安全装置の離脱ボルト及び電線カッター等の開放検査、性能検査、油圧計及び深度計等主要計器の校正を含む全ての検査を実施し、信頼性の確認を行った。一般工事では観測装置全般の校正およびマニピュレータの点検整備を実施した。安全性および機能向上の一環としてインバータ試験機、水中投光器旋回俯仰装置の換装等の工事を実施した。

建造後の年数が経過し、全体に機器の老朽化が進んでおり、早急に近代化の改装が必要と思われる。

### 3) 「ドルフィン-3K」

「ドルフィン-3K」は、「しんかい2000」の安全確保のための事前調査を南西諸島、南海トラフ、伊豆・小笠原の日本周辺海域にて、また調査潜航を鹿児島湾にて計23回実施し、平成14年9月29日、小笠原諸島周辺海域での第576潜航を最後に16年間の運用を終了した。その後、ビークル本体を母船「なつしま」から潜水船整備場に陸揚げした。また、制御コンテナ、ウインチ等の船上装置を撤去し、横須賀本部潜水調査船整備場に陸揚げされた。

### 4) 「ハイパードルフィン」

「ハイパードルフィン」は、訓練潜航を計33回実施した。

「かいよう」を支援母船としてきたが、平成14年度の「なつしま」法定定期検査工事において、「なつしま」への移設工事を行い、平成15年度からの深海調査研究課題の実施に備えた。水中ケーブル類の交換、マニピュレータ整備、スーパーハープハイビジョンTVカメラ整備等は、適宜実施した。また、ビークルにペイロード用サーボバルブパック新設、トラクションウインチにコーミング新設、ストレージウインチのレベルワインド水受け新設等の工事を実施した。

運用開始以来、3年間使用していたNo.1アンビリカルケーブル中間部絶縁不良が発生したため、平成14年7月19日にNo.2アンビリカルケーブル(国産品)に交換した。

### 5) 「かいこう」

「かいこう」による潜航行動は、試験・訓練潜航を南海トラフ、南西諸島、駿河湾、伊豆・小笠原において14回、調査潜航を北西太平洋、釧路十勝沖、日本海溝、南海トラフの日本周辺海域及びマリアナ海溝、西フィリピン海海域において合計40回実施した。

平成14年12月13日から平成15年3月15日の間、水中部のランチャー、ビークルを無人探査機整備場において、船上装置を法定中間検査工事期間中の「かいいい」船上において年次整備工事をそれぞれ実施した。各機器の点検整備及び部品の交換を実施したほか、船上とビークル間で大容量データの送受信が可能な通信経路の確立及びペイロード用通信経路の増設のための上がり系伝送経路新設工事を実施したほか、サイド・スキャン・ソナー船上部の配置変更、ソフト追加を行った。操作性の向上及び研究者用スペースの確保のため、操縦盤区画機器配置の変更工事を実施した。

### 6) 「ディーブ・トウ」

「ディーブ・トウ」による調査は、マリアナ海域において1行動実施した。

### 7) 「UROV-7K」

「UROV-7K」の海上試験を、相模湾、伊豆・小笠原海域にて実施した。

### 8) 「うらしま」

「うらしま」は、実海域試験を駿河湾にて2行動実施し、リチウムイオン電池で132.5kmの潜航航走を達成した。

平成14年10月1日から平成15年3月31日の間、海洋技術研究棟内AUV整備場において、年次整備及び動力源換装工事を実施した。動力源を平成14年度まで使用してきたリチウムイオン2次電池から燃料電池へ換装した。燃料電池搭載に伴い、燃料となる水素吸蔵合金容器、酸素タンク等の関連機器を装備した。

### 9) 「べんけい」

平成14年10月から平成15年3月にかけて、無人探査機整備場において年次整備工事を実施した。各機器の点検整備、部品交換等を行った。

表1 平成14年度「しんかい2000」「なつしま」運航実績

平成 15. 3. 31

月	日																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
4月	NT02-05 「しんかい2000」訓練潜航(相模湾・駿河湾)										NT02-06 「しんかい2000」調査潜航(駿河湾・相模湾)										(伊平屋)											
	①日海事 #1333	②日海事 #1334	清	水	①センター #1335	②センター #1336	③センター #1337	整備	④センター #1338	⑤北海道大 #1339	⑥センター #1340	⑦センター #1341	C					回航	回航	名	瀬	⑧センター #1342	⑨センター #1343	⑩岡山大学 #1344	那覇	⑪センター #1345	⑫九州大学 #1346	海況不良	海況不良	⑬センター #1347		
5月	NT02-06 「しんかい2000」調査潜航(伊平屋)										NT02-07 「しんかい2000」調査潜航(伊平屋)										NT02-07 「しんかい2000」調査潜航											
	⑭センター #1348	⑮センター #1349	那覇					電池整備					那覇	①九州大学 #1350	②九州大学 #1351	石垣	整備				「ドルフィン-3K」事前調査(黒島)	①②③④⑤ #554 #555 #556 #557 #558	石垣	石垣	石垣	③センター #1352	④センター #1353	⑤静岡大学 #1354	石垣	海況不良		
6月	NT02-07 「しんかい2000」調査潜航(黒島・島間・与那国)										NT02-08 「しんかい2000」調査潜航(黒島・島間・与那国)																					
	⑥センター #1355	⑦センター #1356	⑧センター #1357	整備	⑨センター #1358	⑩九州大学 #1359	⑪北海道大 #1360	石垣	⑫センター #1361	⑬静岡大学 #1362	石垣	⑭東京大学 #1363	⑮岩手大学 #1364			電池整備					石垣	①センター #1365	②センター #1366	③海洋研 #1367	④センター #1368	石垣	石垣	⑤医科大学 #1369	⑥筑波大学 #1370			
7月	NT02-08 「しんかい2000」調査潜航(黒島・島間・与那国)										「ドルフィン-3K」(鹿児島)										NT02-08 「しんかい2000」調査潜航(南海トラフ)											
	⑦九州大学 #1371	台風避泊	台風避泊	台風避泊	台風避泊	本部 一般公開	回航	台風避泊	台風避泊	台風避泊		鹿児島	体験乗船	台風避泊	台風避泊	回航	豊橋	豊橋	①②③④⑤ #562 #563	⑥ #564	⑦ #565	⑧ #566	⑨豊橋 #567	⑩豊橋 #568	⑪豊橋 #569	⑫豊橋 #570	⑬豊橋 #571	⑭豊橋 #572	⑮豊橋 #573	⑯産総研 #1372	⑰産総研 #1373	⑱産総研 #1374
8月	NT02-08 「しんかい2000」調査潜航(南海トラフ)										NT02-09 「しんかい2000」調査潜航(伊豆・小笠原)										NT02-09 「しんかい2000」調査潜航											
		一般公開	一般公開	高松	①保安庁 #1375	②海洋研 #1376	③産総研 #1377	④海洋研 #1378	⑤保安庁 #1379	C					吊索交換	電池整備					回航	回航	①②③④⑤ #567 #568 #569 #570	二見	台風避泊	台風避泊	台風避泊	台風避泊	台風避泊	台風避泊	回航	①センター #1380
9月	NT02-09 「しんかい2000」調査潜航(伊豆・小笠原)										NT02-10 「ドルフィン-3K」事前調査																					
	海況不良	回航	横須賀新港	回航	②産総研 #1381	③筑波大 #1382	④東京薬科大 #1383	⑤筑波大 #1384	整備	⑥九州大 #1385	⑦筑波大 #1386	⑧九州大 #1387	整備	⑨産総研 #1388	⑩筑波大 #1389	⑪筑波大 #1390	回航	C				回航	① #571	台風避泊	②③ #572 #573	機器調整	海況不良	海況不良	④⑤ #574 #575	⑥ #576	横須賀新港	
10月	NT02-10 「しんかい2000」調査潜航(相模湾)										NT02-11 「しんかい2000」訓練潜航																					
	横須賀新港	回航	回航	機器調整	①センター #1391	②センター #1392	③センター #1393	海況不良	④センター #1394	C			⑤センター #1395	⑥センター #1396	⑦ナイフル #1397	⑧ケムセン #1398												①文科省 #1399	②センター #1400	海況不良	③日海事 #1401	整備
11月	NT02-11 「しんかい2000」訓練潜航(相模湾)																															
	⑤産試験場 #1403	⑥中日新聞 #1404	⑦山根事務所 #1405	整備	⑧長井漁協 #1406	⑨TOM #1407	⑩映像館 #1408	C	C	⑪センター #1409	⑫初島漁協 #1410	⑬センター #1411	海況不良	回航	回航	佐世保	一般公開	一般公開	佐世保	回航	神戸			一般公開	一般公開	神戸	回航	C		2 K 陸揚	2 K 陸揚	
12月	「なつしま」定期検査工事(50+10日間)																															
1月	「なつしま」定期検査工事(50+10日間)																															
2月	「なつしま」海上試験(駿河湾・遠州灘)										NT03-01 「ハイバードルフィン」訓練潜航(相模湾・駿河湾・遠州灘)																					
			横濱																													
3月	NT03-02 「ハイバードルフィン」訓練潜航(相模湾・駿河湾・遠州灘)										NT03-03 「UROV7K」海上試験(相模湾・伊豆・小笠原)																					
	C	①② #151 #152	③④ #153 #154	⑤ #155		⑥ #156	⑦ #157	⑧ #158	⑨ #159	⑩ #160	⑪ #161	HPD 陸揚				7 K 搭載																

表2 平成14年度「かいよう」運航実績

平成 15. 3. 31

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金				
4月	KY02-05 「ハイバードルフィン」調査潜航 (三陸沖) (相模湾) KY02-06 「ハイバードルフィン」調査潜航 (三陸沖・日本海溝)																																				
	横須賀新港	横須賀新港	横須賀新港	横須賀新港	回航			① #88	海況不良	② ③ #89 #90	回航	C	横須賀新港	① ② #91 #92	③ ④ #93 #94	⑤ ⑥ #95 #96	⑦ #97	横須賀新港		横須賀新港			① #98	② #99		③ #100	④ #101		⑤ #102	⑥ #103	⑦ #104						
5月	KY02-06 「ハイバードルフィン」調査潜航 (三陸沖・日本海溝) 「かいよう」年次検査工事 (35日)																																				
	⑧ #105	⑨ #106	⑩ #107	⑪ #108	⑫ #109	横須賀新港	C	HPD陸揚				一般公開	C	由良																							
6月	「かいよう」年次検査工事 (35日) 海上試験																																				
																																		C			
7月	HPD搭載 (相模湾) KY02-07 「ハイバードルフィン」調査潜航 (十勝沖) (三陸沖)																																				
			C	① #110	② #111	回航	③ #112	④ #113	⑤ #114	⑥ #115	台風避泊	台風避泊	整備	⑦ #116	⑧ #117	台風避泊	回航	回航	C	C		フリーフォール	⑨ #118	⑩ #119	C	HPD陸揚	横須賀新港	横須賀新港	横須賀新港	回航							
8月	KY02-08 ディーブトゥ(マリアナ海域) KY02-09 MCS-OBS調査																																				
	回航																																	荒天避泊	荒天避泊		
9月	KY02-09 MCS-OBS調査(鳥取沖・南海トラフ)																																				
																																			外変	横須賀新港	
10月	台風避泊 KY02-10 TOCS(西部熱帯太平洋) ケビエン																																				
																																				パラオ	
11月	KY02-10 TOCS(西部熱帯太平洋) (相模湾) KY02-11 「ハイバードルフィン」調査潜航 (伊平座海域) (鳩間・与那国)																																				
	パラオ																																			④ #123	⑤ #124
12月	KY02-11 「ハイバードルフィン」調査潜航 (黒島海丘) KY02-12 ヒートフロー・ビストンコア(相模湾・南海トラフ)																																				
	整備	⑦ ⑧ #126 #127	整備	整備	⑨ #128			回航																													由良(三井造船)
1月	KY02-12 KY03-01 地震探査研究 MCS-OBS(マリアナ海域)																																				
2月	KY03-01 地震探査研究 MCS-OBS(マリアナ海域) KY03-02 水中音響技術の研究(駿河湾)																																				
	サイパン																																				
3月	KY03-02 水中音響技術の研究(駿河湾) KY03-03 OBS設置(南海トラフ) KY03-04 基礎生産力観測(南西諸島)																																				

表3 平成14年度「しんかい6500」「よこすか」運航実績

平成 15. 3. 31

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金
4月				C																													
5月																																	
6月																																	
7月																																	
8月																																	
9月																																	
10月																																	
11月																																	
12月																																	
1月																																	
2月																																	
3月																																	

表4 平成14年度「かいいい」「かいこう」運航実績

平成 15. 3. 31

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
4月	那覇	① #230	② #231	③ #232	④ #233	那覇	回航	⑤ #234	⑥ #235	⑦ #236	⑧ #237	C																				
	KR02-04 「かいこう」訓練潜航(南海トラフ・南西諸島)														KR02-05 MCS調査(伊豆・小笠原)																	
5月																																
	KR02-05 MCS調査(伊豆・小笠原)														KR02-06 「かいいい」単独調査(本州南岸～日本海)																	
6月																																
	KR02-07 「かいこう」調査潜航(釧路十勝沖・日本海溝)														KR02-08 「かいこう」調査潜航(日本海溝)																	
7月																																
	KR02-08 「かいこう」調査潜航(北西太平洋)														KR02-09 「かいこう」調査潜航(日本海溝)																	
8月																																
	KR02-10 「かいこう」調査潜航(南海トラフ)														KR02-11 MCS調査(熊野灘)																	
9月																																
	KR02-11 MCS調査(熊野灘)														KR02-11 MCS調査(熊野灘)																	
10月																																
	KR02-12 「かいこう」調査潜航(西フィリピン海)														KR02-13 「かいこう」調査潜航(マリアナ海溝)																	
11月																																
	KR02-14 「かいいい」単独調査(マリアナ海域)														KR02-15 「かいいい」単独調査(北西太平洋)																	
12月																																
	KR02-15 「かいいい」単独調査(北西太平洋)														KR02-16 「かいいい」単独調査(伊豆・小笠原)																	
1月																																
	KR03-01 「かいいい」単独調査(フィリピン海)														KR03-02 「かいこう」試験・訓練潜航																	
2月																																
	「かいいい」中間検査工事(35H)														「かいこう」年次整備工事(90H)																	
3月																																
	海上試験														「かいこう」年次整備工事(90H)																	

表5 平成14年度「みらい」運航実績

平成 15. 3. 31

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金
4月			← 関根浜	→ 回航	← 三菱下関																												
5月	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金		
6月	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	
7月																																	
8月	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土		
9月	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	
10月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	
11月	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	
12月	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	
1月	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金		
2月	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月		
3月	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月		

## 第4章 研究評価

当センターは、平成9年8月に内閣総理大臣決定された「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針」に基づき、当センターの実施する研究開発課題及び運営全般について厳正な評価を行い、研究資源(人材、資金)の有効かつ効率的な活用に資することを目的として、「海洋科学技術センターにおける研究評価のための実施要領」を平成9年10月に策定した。この実施要領に基づき当センターでは研究評価を毎年実施している。また、平成14年度より新たに研究開発の費用対効果・計量的評価の手法に関する検討を開始した。

### 1. 研究課題評価

研究課題評価は、当センターで実施している全ての研究開発課題を対象として行う評価である。ただし、特に大規模かつ重要なプロジェクト(国を挙げて実施するメガサイエンス等の大規模かつ重要なプロジェクト)およびフロンティア研究システム等で実施しているものについては、研究課題評価として扱わず、別途評価を実施している。

評価は、外部の専門家及び有識者から構成される研究課題評価委員会及び各専門部会によって行われる。研究課題評価委員会が定める評価項目、評価方法に基づき、重点的資金による研究開発課題(プロジェクト研究)については、事前、中間、事後の評価を、基盤的資金による研究開発課題(特別、経常、共同研究)については事後の評価を厳正に行う。

平成14年度は、事前評価を平成14年7月23日に、中間・事後評価を平成14年10月から平成14年12月にかけて実施した。いくつかの研究課題については改善の必要性について指摘を受けたが、概ね肯定的な評価がなされた。評価結果は、評価委員会時の配付資料及び評価結果に対する当センターの対処方針と共に、インターネット上の当センターホームページ(<http://www.jamstec.go.jp>)において公開している。今後は、評価結果を踏まえた研究開発の推進に努める所存である。

#### (1) 事前評価

##### 1) 対象課題(表1)

平成15年度より新規に着手する、または継続課題を大きく変更するとして予算概算要求を行う重点的資金による研究開発課題(プロジェクト研究)について、研究課題評価(事前評価)を実施した。

##### 2) 評価体制

海洋科学技術に関して専門的な知見を有する外部専門家及び科学技術に知見を有する外部有識者によって構成される「研究課題評価委員会」(表3)において評価が行われた。

##### 3) 評価方法

各課題について担当研究者の発表及び評価委員による質疑が行われた。各評価委員は、この発表・質疑及び配付された資料をもとに4)に示す項目に沿って、合議により評価を行った。

##### 4) 評価項目

評価は以下の評価項目をもとに行われた。

- ・ 研究開発の目的、目標、方向性の妥当性
- ・ 研究課題と研究開発計画・研究開発手法の妥当性
- ・ 研究開発費・体制の妥当性
- ・ 期待される成果、波及効果

#### (2) 中間・事後評価

##### 1) 対象課題(表2)

研究開発着手後5年を経過した、もしくは前年度に終了した重点的資金による研究開発課題(プロジェクト研究)と前年度までに終了した基盤的研究(特別研究、経常研究及び共同研究)について、研究課題評価(中間・事後評価)を実施した。

##### 2) 評価体制

海洋科学技術に関して専門的な知見を有する外部専門家及び科学技術に知見を有する外部有識者によって構成される「研究課題評価委員会」(表3)と、研究領域ごとに設置された外部専門家による4つの専門部会(海洋固体地球科学研究部会、海洋観測研究部会、海洋生物・生態研究部会、海洋技術開発部会)(表4)において評価が行われた。

### 3) 評価方法

初めに各専門部会において、各課題について担当研究者の発表及び主査・部会委員による質疑応答が行われた。各主査・部会委員は、この発表・質疑応答と配付された担当研究者作成の研究開発報告書、論文別刷り等の資料をもとに、4)の評価項目に沿って評価を行った。

その後、各専門部会での評価結果を踏まえ、研究課題評価委員会において研究課題評価(中間・事後評価)のとりまとめがなされた。

### 4) 評価項目

評価対象課題の進捗に応じて中間評価もしくは事後評価に分け、以下の項目をもとに評価が行われた。

(a) 中間評価(現在継続中であるが、着手後5年以上経過した課題)

- ・ 研究開発の目的、目標、方向性の妥当性
- ・ 研究開発の概要・計画及び研究開発手法の妥当性
- ・ 研究開発費・実施体制の妥当性
- ・ 研究開発の進捗状況
- ・ 今後の予定(計画)

(b) 事後評価(前年度までに終了している課題)

- ・ 研究開発の目的、目標の妥当性
- ・ 研究開発の概要・計画及び研究開発手法の妥当性
- ・ 研究開発費・実施体制の妥当性
- ・ 研究開発の達成状況
- ・ 成果の波及効果・普及及び新たな課題への反映
- ・ 成功・不成功の原因についての考察

表1 平成14年度研究課題評価(事前評価)対象課題

	研究課題名	担当研究部
1	先進的技術の研究開発(第2期)	海洋技術研究部
2	地球システムにおける海洋生態系の構造と役割の解明	海洋生態・環境研究部

表2 平成14年度研究課題評価(中間・事後評価)対象課題

・重点的資金による研究開発課題(プロジェクト研究)

	研究課題名	担当研究部	評価区分
1	地球超深部の変動メカニズムに関する研究	深海研究部	事後評価
2	海洋観測ブイシステムの開発	海洋技術研究部	事後評価
3	海洋音響トモグラフィ技術の研究開発	海洋観測研究部	事後評価
4	海洋レーザ観測技術の研究開発	海洋観測研究部	事後評価
5	海中作業技術の研究開発(H7~9)、科学潜水研究(H10~11) 生態系の海中研究と支援技術の研究開発(H12)、安全管理技術(H13)	海洋生態・環境研究部	事後評価

・基盤的資金による研究開発課題(特別研究、経常研究、共同研究)

	研究課題名	研究区分	担当研究部	評価区分
1	深海底堆積物試料の古地磁気学的研究による古環境変動の研究	特別研究	深海研究部	事後評価
2	神津島・三宅島付近の深部構造と微細海底地殻変動の解明	特別研究	深海研究部	事後評価
3	海底ケーブルによる海底地殻活動および海底火山活動のモニタリング	経常研究	深海研究部	事後評価
4	日本海溝付近の地震活動度分布の不均質性と地殻構造の 関連性に関する研究	経常研究	深海研究部	事後評価
5	深海底活断層の活動履歴用堆積物試料採取システムの開発	経常研究	深海研究部	事後評価

基盤的資金による研究開発課題(特別研究、経常研究、共同研究)の続き

	研究課題名	研究区分	担当研究部	評価区分
6	減揺装置の性能向上に関する研究	経常研究	海洋技術研究部	事後評価
7	超高分解能遠距離海底探査ソナーの研究	経常研究	海洋技術研究部	事後評価
8	駿河湾海域の深層水変動特性に及ぼす黒潮等の影響に関する研究	経常研究	海洋生態・環境研究部	事後評価
9	適応、再適応に及ぼす自律神経系の関与に関する研究	経常研究	海洋生態・環境研究部	事後評価
10	高性能テレビカメラによる撮影技術、画質評価、撮像デバイスの性能向上に関する調査研究	共同研究	研究業務部	事後評価
11	海洋計算における並列化手法の研究	経常研究	情報業務部	事後評価

表3 平成14年度研究課題評価委員会 構成

委員長	平 啓介	日本学術振興会監事
委員	浅井 恒雄	日本科学技術ジャーナリスト会議事務局長
同	今脇 資郎	九州大学応用力学研究所教授(海洋観測研究部会主査)
同	谷口 旭	東北大学農学研究科教授(海洋生物・生態研究部会主査)
同	玉木 賢策	東京大学海洋研究所教授(海洋固体地球科学研究部会主査)
同	新田 義孝	(財)電力中央研究所CS推進室研究参事・上席研究員
同	藤野 正隆	東京大学大学院新領域創成科学研究科(海洋技術開発部会主査)

(委員長他 五十音順)

表4 平成14年度研究課題評価委員会に係る専門部会 構成

## ・海洋固体地球科学研究部会

主査	玉木 賢策	東京大学海洋研究所教授
委員	清水 洋	九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター教授
同	野津 憲治	東京大学大学院理学系研究科附属地殻化学実験施設教授
同	湯浅 真人	独立行政法人産業技術総合研究所地質調査情報部地質調査推進室長

## ・海洋観測研究部会

主査	今脇 資郎	九州大学応用力学研究所教授
委員	蒲生 俊敬	北海道大学大学院理学研究科教授
同	北村 佳照	気象庁気象研究所海洋研究部第1研究室長
同	若土 正暁	北海道大学低温科学研究所教授
同	遠藤 信行	神奈川大学工学部電気電子情報工学科教授【臨時】
同	千賀 康弘	東海大学海洋学部教授【臨時】

## ・海洋生物・生態研究部会

主査	谷口 旭	東北大学大学院農学研究科教授
委員	太田 秀	東京大学海洋研究所教授
同	大森 信	(財)熱帯海洋生態研究振興財団 阿嘉島臨海研究所長
同	白木 啓三	産業医科大学教授

・海洋技術開発部会

主 査	藤野 正隆	東京大学大学院新領域創成科学研究科
委 員	井上 清	日本造船工業会技術委員会設計部会海洋分野WG長
同	清水 久二	横浜国立大学工学部教授
同	本多 中二	電気通信大学システム工学科教授

(主査・臨時委員他 五十音順)

## 2. 研究開発の費用対効果・計量的評価の手法に関する検討

特殊法人等改革をはじめとする行政改革、科学技術基本法に基づく総合科学技術会議の研究評価大綱の改定等により、研究開発の費用対効果及び計量的評価を行うことが海洋科学技術センター(JAMSTEC)に求められるようになってきた。

JAMSTECは、これらの要請と自らの社会的使命に鑑み、(1)政府及び国民にJAMSTECの研究開発の意義と成果をわかりやすく発信して(accountability)、社会及び国民の理解と支持を得て研究開発を行う。(2)JAMSTECが、限られたリソースを有効に配分して組織の能率及び研究開発事業の経済効率を向上させる。(3)職員が、社会との関わりについて関心をもち、目標と期待される成果を明確にして研究開発を企画立案する、ことを達成するため、研究開発に対し、費用対効果評価と計量的評価を導入するため所要の検討を開始した。

方法としては、研究従事者を中心とする内部検討グループを組織するとともに、外部有識者による検討委員会を立ち上げ、検討を進めた。また、研究効果分析に関する国際ワークショップを開催し、海外の進んだ取り組みに対して意見交換を行った。

### (1) 外部有識者による検討委員会

研究開発機関における費用対効果・計量的評価手法の検討といった取り組みは、実施例がなく、また、方法論として専門に研究している機関もないことから、政策評価・大学評価・研究開発企業の評価等の観点から有識者を選定し、検討委員会を設立した。政策研究大学院大学の平澤教授を委員長とする5名の委員で構成し(表5)、関連法人の方をオブザーバ

ーに招いて、4回の委員会を開催した。

検討した主な事項は、研究評価マトリックスについてであり、以下に示す内部検討グループでの議論を逐次反映させながら、検討を進めた。

### (2) 内部検討グループ

研究開発の効果や評価を検討する上では、極力研究者に負担をかけないようにするとともに、その結果が効果的に研究開発にフィードバックされることが必要であるため、各研究開発分野の研究従事者を中心とする内部検討グループを設置した。企画部長を委員長として、研究評価推進室員とフロンティア研究システムを含む研究従事者11名で構成し、4回の会合を開催した。

### (3) 研究効果分析ワークショップ開催報告

海洋科学技術センターの研究が社会にどのような効果をもたらすかを調査・検討するために、すでにこのような検討が進んでいる米国NOAAなどの機関の方々を招いて平成15年2月27、28日に、横浜研究所・三好記念講堂にてワークショップを開催した。参加者は総勢50名ほどであった。

討議は、米国NOAAから2名、IRIから3名、国内からは地球環境戦略研究機関(IGES)から1名、理化学研究所から1名、また地球フロンティア研究システムより3名、センターからは2名が発表を行い、活発な議論、意見交換が行われた。

NOAAでは、エルニーニョ予測が農業に与える効果について検討し、研究に対する投資(研究費など)1ドルに対して、農業の被害軽減などによる効果が1ドル13セント～26セントとなり、十分な効果が見込まれるという調査結果が報告された。また、IRIでは、数値シミュレーションなどを用いて気候予測を行い、雨の過不

足や、蚊の大量発生によるデング熱の流行などを予測し、その地域に住む人々と協力して災害を未然に防ごうとする活動を行っていることが報告された。

日本ではこのような調査や活動はほとんど行われておらず、今後の海洋センターの活動に対しても大きな示唆を与えるものとなった。

NOAA：米国海洋大気庁

IRI：International Research Institute for Climate Prediction



図1 研究効果分析ワークショップ討議参加者の集合写真

表5 平成14年度海洋科学技術センターにおける研究開発の費用対効果・計量的評価手法の外部有識者による検討委員会 構成

委員長	平澤 冷	政策研究大学院大学教授
委員	齋藤富士郎	研究・技術計画学会 研究評価分科会幹事
同	丹羽富士雄	政策研究大学院大学教授
同	西岡 秀三	独立行政法人 国立環境研究所理事
同	林 隆之	大学評価・学位授与機構 評価研究部助手

(委員長他 五十音順)

## 第5章 賛助会会員

海洋科学技術センターは昭和46年10月に、わが国の海洋科学技術研究開発の中核的实施機関として、産・学・官の密接なご協力とご支援により、海洋科学技術センター法に基づく民間発起の認可法人として設立されました。

その後今日まで、産業界からも資金面を含め絶大なご支援を賜わりお陰をもちまして、海洋科学技術に関する総合的試験研究、研修、情報の提供、施設・設備の供用等の事業を推進し、また、そのための機能、体制の整備を進めてくることができました。

今後は、これまでの成果を更に発展させるため、科学と技術を融合させて、地球環境問題解明のための貢献を目指した海洋総合プロジェクト及び国内外の海洋関係機関との連携・協力や国際共同研究への積極的参加による国際貢献を推進し、また外部に開かれた研究環境を整備し国際的な海洋科学技術のセンター・オブ・エクスレンス化を目指して参りたいと存じております。

海洋開発の重要は認められつつも、厳しい国家財政状況を受け、海洋科学技術センターの平成15年度予算における国庫支出金は前年比0.5%減の346億円となりました。かつ同時に、海洋科学技術センター設立の趣旨に鑑み、財政当局より、諸プロジェクトを推進するための研究開発費に民間資金のより一層の導入を求められております。このため、当センターとしても、最大限の努力を図り、また、各方面の多大なご助力をいただいているところでありますが、平成15年度におきましても引き続き賛助会員の増加、賛助会費の増額につぎまして産業界各位のより一層のご理解とご協力を重ねてお願い申し上げます。

なお、幸いご賛助いただきました向きには、別記の特典等できるだけのご便宜をお図りいたしますとともに、賛助会費(寄付金)の取り扱いについては法人税法第37条により税法上の特典もございますのでご承知おきください。

1. ご賛助をいただきました向きには、当センターの事業に関し、次のような種々の特典を設けております。

- ・センター出版物の配布
- ・図書等情報資料の利用
- ・講演会の開催案内
- ・研修受講の優遇
- ・技術指導等のための指導者の派遣
- ・社内研修会等への講師の派遣
- ・共同実験研究施設の使用の優遇
- ・工業所有権の使用の優遇
- ・試験研究の受託の優遇

2. 賛助会に関するお問い合わせの節は、下記までお願い申し上げます。

海洋科学技術センター 協力団体連絡室長  
喜多河 康二  
電話：03(5157)3901  
FAX：03(5157)3903  
住所：〒105-0003 東京都港区西新橋1-2-9  
日比谷セントラルビル10階

3. 平成15年3月末現在、次の企業及び法人の皆様が賛助会にご加入、賛助会費、ご寄付をいただき当センターを支援していただいております。

(五十音順)

株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド殿  
あいおい損害保険株式会社殿  
アイワ印刷株式会社殿  
株式会社アクト殿  
株式会社アサツーディ・ケイ殿  
株式会社浅沼組殿  
アジア海洋株式会社殿  
株式会社アルファ水工コンサルタンツ殿  
石川島播磨重工業株式会社殿  
泉産業株式会社殿  
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所殿  
栄光電設株式会社殿  
株式会社エス・イー・エイ殿  
株式会社NTTデータ殿  
株式会社エヌ・ティ・ティファシリティーズ殿  
株式会社MTS雪氷研究所殿  
株式会社OCC殿  
オートマックス株式会社殿  
沖電気工業株式会社殿  
株式会社化学分析コンサルタント殿  
鹿島建設株式会社殿  
神奈川合同企業株式会社殿  
カヤバ工業株式会社殿  
株式会社川崎造船殿  
川崎設備工業株式会社殿  
川本工業株式会社殿  
株式会社関西総合環境センター殿  
株式会社関電工殿  
株式会社キュービック・アイ殿  
共立管財株式会社殿  
株式会社きんでん殿  
株式会社熊谷組殿  
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント殿  
京浜急行電鉄株式会社殿  
ケー・エンジニアリング株式会社殿  
KDDI株式会社殿  
神戸ペイント株式会社殿  
国際気象海洋株式会社殿  
国際石油開発株式会社殿  
国際ビルサービス株式会社殿  
国光施設工業株式会社殿  
五洋建設株式会社殿  
三機工業株式会社殿  
三建設備工業株式会社殿  
株式会社三晃空調殿  
三幸建設工業株式会社殿  
三洋テクノマリン株式会社殿  
サンライズ・エンジニアリング株式会社殿  
(財)塩事業センター殿  
有限会社システム技研殿  
シナネン株式会社殿  
シバタ工業株式会社殿  
清水建設株式会社殿  
株式会社商船三井殿  
株式会社湘南殿  
昭和高分子株式会社殿  
昭和ペトロリウム株式会社殿  
株式会社白石殿  
社団法人信託協会殿  
新日本海事株式会社殿  
新日本製鐵株式会社殿  
新菱冷熱工業株式会社殿  
須賀工業株式会社殿  
鈴鹿建設株式会社殿  
スプリングエイトサービス株式会社殿  
住友金属鉱山株式会社殿  
住友重機械工業株式会社殿  
住友電気工業株式会社殿  
清進電設株式会社殿  
西武造園株式会社殿  
セナー株式会社殿  
セントラル・コンピュータ・サービス株式会社殿  
株式会社総合企画アンド建築設計殿  
株式会社損害保険ジャパン殿  
第一設備工業株式会社殿  
第一電子工業株式会社殿  
株式会社大氣社殿  
大成建設株式会社殿  
大成設備株式会社殿  
大日本土木株式会社殿  
ダイハツディーゼル株式会社殿

有限会社田浦中央食品殿  
高砂熱学工業株式会社殿  
株式会社竹中工務店殿  
株式会社竹中土木殿  
株式会社地球科学総合研究所殿  
中国塗料株式会社殿  
株式会社鶴見精機殿  
株式会社テザック殿  
寺崎電気産業株式会社殿  
電気事業連合会殿  
東亜建設工業株式会社殿  
東海交通株式会社殿  
東京海上火災保険株式会社殿  
東京製綱繊維ロープ株式会社殿  
東京美化株式会社殿  
東光電気工事株式会社殿  
東北ニュークリア株式会社殿  
東洋建設株式会社殿  
東洋通信機株式会社殿  
株式会社東陽テクニカ殿  
東洋熱工業株式会社殿  
同和工営株式会社殿  
戸田建設株式会社殿  
凸版印刷株式会社殿  
飛鳥建設株式会社殿  
有限会社長澤工務店殿  
株式会社中村鉄工所殿  
奈良建設株式会社殿  
西芝電機株式会社殿  
西松建設株式会社殿  
日動火災海上保険株式会社殿  
日南石油株式会社殿  
日油技研工業株式会社殿  
日鋳金属株式会社殿  
株式会社日産セキュリティ・サービス殿  
日新火災海上保険株式会社殿  
ニッセイ・エンジニアリング株式会社殿  
ニッセイ同和損害保険株式会社殿  
日本海洋株式会社殿  
株式会社日本海洋科学殿  
日本海洋掘削株式会社殿  
日本海洋事業株式会社殿  
社団法人日本ガス協会殿  
株式会社日本環境調査研究所殿  
日本興亜損害保険株式会社殿  
日本サルヴェージ株式会社殿  
社団法人日本産業機械工業会殿  
日本酸素株式会社殿  
日本水産株式会社殿  
日本電気株式会社殿  
日本電子計算機株式会社殿  
日本電池株式会社殿  
日本飛行機株式会社殿  
日本ヒューレットパカード株式会社殿  
日本無線株式会社殿  
日本郵船株式会社殿  
株式会社間組殿  
株式会社ハナサン殿  
濱中製鎖工業株式会社殿  
東日本タグボート株式会社殿  
氷川商事株式会社殿  
株式会社日立製作所殿  
日立電線株式会社殿  
日立プラント建設株式会社殿  
日比谷総合設備株式会社殿  
深田サルベージ建設株式会社殿  
株式会社フジクラ殿  
藤沢薬品工業株式会社殿  
株式会社フジタ殿  
富士通株式会社殿  
富士電機株式会社殿  
不動建設株式会社殿  
古河総合設備株式会社殿  
古河電気工業株式会社殿  
古野電気株式会社殿  
株式会社松田平田設計殿  
松本徽章株式会社殿  
株式会社マリン・ワーク・ジャパン殿  
株式会社丸川建築設計事務所殿  
株式会社マルタン殿  
株式会社みずほ銀行殿  
三井建設株式会社殿

三井住友海上火災保険株式会社殿  
株式会社三井住友銀行殿  
三井造船株式会社殿  
三菱重工業株式会社殿  
株式会社三菱総合研究所殿  
株式会社明電舎殿  
株式会社森京介建築事務所殿  
有限会社やすだ殿  
山岸建設株式会社殿

株式会社ユアサコーポレーション殿  
株式会社ユアテック殿  
郵船ナブテック株式会社殿  
ユニバーサル造船株式会社殿  
横浜ゴム株式会社殿  
株式会社リプロ殿  
株式会社緑星社殿  
ワールドウェイ株式会社殿  
若築建設株式会社殿

---

## 海洋科学技術センター

- 本部 〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15  
電話(046)866-3811(代表)
- 横浜研究所 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25  
電話(045)778-3811(代表)
- むつ研究所 〒035-0022 青森県むつ市大字関根字北関根690  
電話(0175)25-3811(代表)
- 国際海洋環境  
情報センター 〒905-2172 沖縄県名護市字豊原224-3  
電話(0980)50-0111(代表)
- 東京連絡所 〒105-0003 東京都港区西新橋1-2-9 日比谷セントラルビル10階  
電話(03)5157-3900(代表)
- 

