

年報

平成15事業年度

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology



独立行政法人

海洋研究開発機構

年 報



獨立行政法人

海洋研究開發機構



第2回 地球シミュレータセンターシンポジウム開催
(日本科学未来館) 6月



Deep Earth Symposium2003 開催 6月



第23回 国際測地学・地球物理学連合総会 (IUG2003) に
参加 6月



第3回 深海バイオベンチャーフォーラム開催 7月



「みらい」"BEAGLE2003" 航海開始 8月



プレート沈み込み帯の地震の化石を世界で初めて発見 8月

NAO/AO(北大西洋振動/北極振動)が正

積雪が少ない

オホーツク海高気圧が強い

冬

春

夏



北極の冬の気候と日本の夏の気候の関係を説明 8月



深海巡航探査機「うらしま」燃料電池による航走に成功 8月



地球深部探査船「ちきゅう」へ掘削デリック搭載 9月



統合国際深海掘削計画 (IODP) 発足記念シンポジウム開催 10月



有人潜水調査船「しんかい6500」800回潜航達成 11月



エヌレ仏国研究・新技術大臣一行来訪 12月



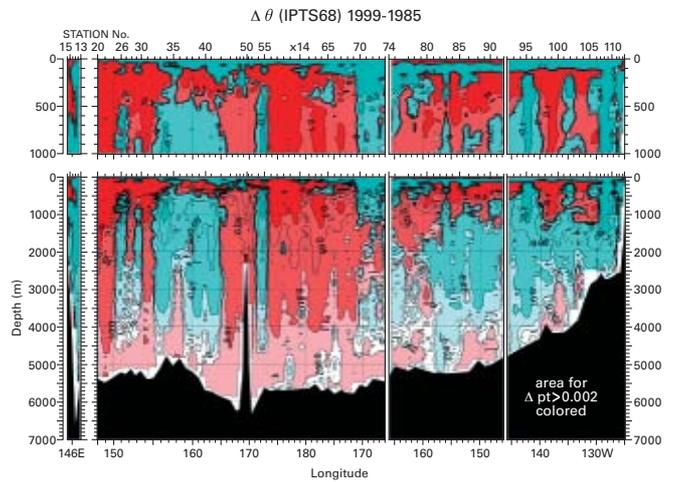
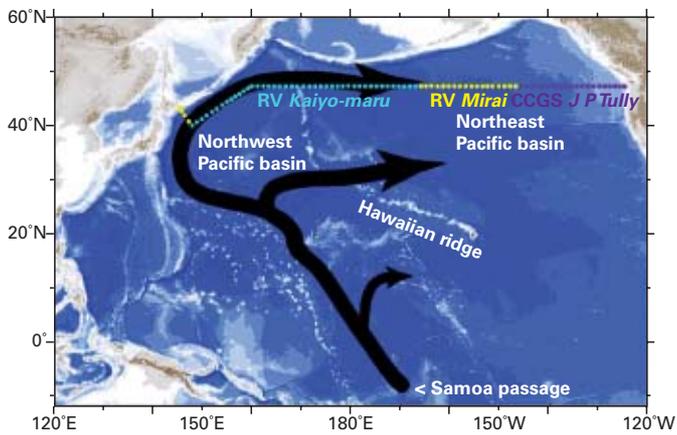
「初島海洋資料館」リニューアルオープン 12月



平成15年度「地球シミュレータ共同プロジェクト」の
利用報告会を開催 1月



ブルーアースシンポジウム開催 1月



北太平洋低層の水温上昇について実証 2月



「みらい」南半球周航観測航海達成 3月



第6回全国児童「ハガキにかこう海洋の夢絵画コンテスト」表彰式 3月



平成15年度海洋科学技術センター研究報告会
JAMSTEC2004開催 3月

序

21世紀の人類が直面している課題のひとつに温暖化に代表される地球規模の環境変動があります。地表の約70%を占める海洋はこの問題に極めて大きな関わりを持つであろうことは論を待ちません。地球をひとつの「システム」として捉え、この「システム」を理解し、将来を予測し、課題を解決していくためには、海を正しく理解することが必要不可欠なのです。海洋科学技術センターは、設立以来、「海を知ること」に全力をあげてまいりました。そして今、目指すものは海洋にとどまらず、「地球システム」の理解へと発展し、観測範囲は地球全体へ、さらにマントルをも視野に入れた地球深部へと拡大しつつあります。

この目標のために、我々は強力なツールの開発を進めてまいりました。そのひとつが、大気海洋シミュレーション、固体地球シミュレーション等に使用されるスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」で、温暖化予測や気候変動メカニズムの解明、また、プレート挙動モデル研究などに大きな力を発揮しています。

また、平成18年の国際運用開始に向けて建造を進めている地球深部探査船「ちきゅう」は、9月には海面からの高さが112 mとなる掘削用デリックが搭載され、掘削船としての偉容を現しました。「ちきゅう」が掘削したコアの解析や掘削孔を利用した計測を通じて、地球規模の環境変動、地震発生のメカニズム、海底下に広がる未知の生物圏等の解明が進められることとなります。この「ちきゅう」と米国から提供される掘削船の2船を中心として、日米が主導する統合国際深海掘削計画 (IODP)は、4月に文部科学省と全米科学財団との覚書が署名され、10月に正式に発足しました。

鋭意開発中の深海巡航探査機「うらしま」は8月に燃料電池による潜航航走試験に世界で初めて成功しました。平成16年度には300 kmの自律航行を目指します。

一方、海洋観測分野では、約200日かけた海洋地球研究船「みらい」による南半球周航観測航海 (BEAGLE2003)が行われ、データの空白域と言われる南半球で高精度な観測が実施されました。データの解析により、海洋の熱や物質輸送の変化が明らかになり、温暖化等の地球規模の環境変化の解明に役立つと期待されます。また、当センターが設置した釧路・十勝沖海底地震総合観測システムにより、「平成15年十勝沖地震」を観測することに成功しました。海洋プレートの沈み込みによって生じるマグニチュード8クラスの地震データを、震源地の近くで捕らえたのは世界で初めてであり、プレート境界で起きた詳細な断層運動解明や津波の波源解析等に大変貴重なデータが得られたこととなります。

頭脳集約型の研究システムとして導入された各フロンティア研究システムでは、それぞれの研究が順調に進捗し、北極及び高緯度の冬の気候が日本の夏の気候に影響を与えていることを解明、地球温暖化が成層圏オゾンの対流圏への降下を促進することをモデル実験で証明、今まで数値モデル計算等で存在が指摘されていた沖縄南東海域での北東向きの海流の測定に成功、プレートが生成される「マントルブルーム域」とプレートが地球内に取り込まれる「沈み込み帯」の間では、物質が10億年以上の歳月をかけてリサイクルされていることを明らかに、等々の「地球システム」を知るうえで重要な成果が続々と発表されております。

海洋科学技術センターは平成16年4月1日をもちまして、独立行政法人海洋研究開発機構として再出発致しました。従って、平成15年度の年報が海洋科学技術センターの最後の年報となります。新しい組織になりましても、役職員一同、海洋科学技術の推進と人類の明るい未来の展望を拓く気概を持って、変わらぬ努力を続けていく所存であります。今後とも、旧センターと同様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16年11月

独立行政法人 海洋研究開発機構
理事長 加藤 康宏

年 報

目 次

第1章 総説

1. 事業概要	1
2. 組織と定員	9
3. 予算と決算	11
4. 各拠点紹介	13
5. 国際協力	23

第2章 研究開発活動

1. 深海研究部	27
2. 海洋技術研究部	45
3. 海洋観測研究部	55
4. 海洋生態・環境研究部	69
5. 情報業務部	77
6. 極限環境生物フロンティア研究システム	79
7. 固体地球統合フロンティア研究システム	109
8. 地球フロンティア研究システム	141
9. 地球観測フロンティア研究システム	187
10. 深海地球ドリリング計画	201
11. 国際陸上科学掘削計画	207
12. 地球シミュレータセンター	209
13. むつ研究所第1研究グループ	215

第3章 研究支援活動

1. 情報業務	221
2. 研修事業	229
3. 研究業務部	233

第4章 研究評価

1. 研究課題評価	251
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	255

第5章 賛助会会員	257
-----------	-----

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15事業年度も、研究開発事業、普及・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もとに、受託研究及び共同研究を行っている。

平成15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15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15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15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15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15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) 普及業務・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普及業務・研修事業を行っている。平成15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」、海洋科学技術に関する研究者を現地に派遣し、太平洋赤道域諸国の海洋観測データ活用能力の向上を目的とした「太平洋赤道諸国の海洋データ活用能力の向上」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、海洋調査船「なつしま」および「かいよう」、支援母船「よこすか」、深海調査研究船「かいいい」、海洋地球研究船「みらい」、6,500 m級有人潜水調査船「しんかい6500」、3,000 m級無人探査機「ハイパードルフィン」、10,000 m級無人探査機「かいこう」を保有しており、平成15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。

なお、平成15年5月29日、高知県室戸岬沖の南東約130 kmの海域で潜航調査中、「かいこう」のランチャー（親機）とビークル（子機）を結ぶ二次ケーブルが破断しビークルが浮上、漂流した。3週間以上の捜索にもかかわらず、ビークルの行方は依然として不明のままになっている。対応策として、「UROV7K」を改造し「かいこう」の二次ケーブルと接続した「かいこう7000」を準備した。

1) 「なつしま」

「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15事業年度の総航海日数は290日となった。

2) 「かいよう」

各種海洋観測、海底下深部構造調査及び深海曳航等の調査を実施し、平成15事業年度の総航海日数は279日となった。

3) 「よこすか」

「しんかい6500」の潜航支援のほか、各種海洋観測及び深海巡航探査機「うらしま」等の海域試験を行い、平成15事業年度の総航海日数は250日となった。

4) 「かいいい」

「かいこう」の潜航支援のほか、各種海洋観測、海底下深部構造調査及び深海曳航等の調査を実施し、平成15事業年度の総航海日数は273日となった。

5) 「みらい」

平成15年度は共同利用型運航5航海を実施するとともに、地球温暖化の定量的評価を行うための観測航海である南半球周航航海（BEAGLE 2003）として、南緯30度付近に沿って地球を周航し、平成15事業年度の総航海日数は328日となった。

6) 「しんかい2000」

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ていた。平成16年3月4日付けで船籍を抹消し、廃船とした。

7) 「しんかい6500」

日本海、南海トラフ、南西諸島、マリアナ海域、フィリピン東方沖にて計68回の潜航を実施した。

8) 「ドルフィン-3K」

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、11月26日に横須賀本部潜水調査船整備場に陸揚げされていた。平成16年3月4日付けで用途廃止とした。

9) 「ハイパードルフィン」

釧路十勝沖、三陸沖、伊豆小笠原、相模湾、駿河湾、鹿児島湾、鹿児島西方、南西諸島において計126回の潜航を実施した。

10) 「かいこう」(「かいこう7000」)

伊豆小笠原、南海トラフ、西フィリピン海において計18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	先進的技術の研究開発	平成15～19年度	海洋技術研究部
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	平成10～16年度	海洋技術研究部
3	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
4	波力装置技術の研究開発 (旧称：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
5	海底下ダイナミクスに関する統合的研究	平成10年度～	深海研究部
6	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
7	地球システムにおける海洋生態系の構造と役割の解明	平成15年度～	海洋生態・環境研究部
8	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
9	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
10	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14～19年度	海洋観測研究部
11	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年度～	海洋観測研究部
12	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	平成14年度～	海洋観測研究部
13	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
14	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
15	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
16	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
17	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
18	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
19	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
20	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
21	地球シミュレータ計画推進	平成11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	マリアナ島弧・海溝系における海洋性島弧構造とその形成史の研究	平成15～17年度	深海研究部
2	氷海域及び深海底調査用無人探査機の研究	平成15～17年度	海洋技術研究部
3	ガスハイドレート：地球環境変動への影響の評価に関する研究	平成15～17年度	深海研究部

表3 経常研究

項 目	実施期間	担当部・室・課
1	掘削試料と孔内計測データを用いた海底下地質解析法の高度化	深海研究部
2	海底での自然電位分布測定に関する基礎研究	深海研究部
3	掘削孔内における熱・水理学的計測の基礎研究	深海研究部
4	親潮・黒潮混合域の堆積システムの解明	深海研究部
5	スロー地震による津波発生・伝播過程の定量的評価	深海研究部
6	海底地電位差計の開発	深海研究部
7	背弧海盆形成に関する研究	深海研究部
8	上部マントルの岩石磁気学的研究	深海研究部
9	多元素同位体を用いた背弧海盆に存在する 深部マントル起源のプリュームの研究	深海研究部
10	地震発生帯での動的条件下における岩石の 変形特性と物質移動特性の評価	深海研究部
11	海洋底かんらん岩の記載岩石学・地球化学研究に 基づく前弧上部マントル変遷史解明	深海研究部
12	地震発生帯および沈み込み帯浅部での地殻応力計測手法	深海研究部
13	電磁パルスによる海底下探査装置の研究	海洋技術研究部
14	高性能(軽比重・高強度)浮力材の研究	海洋技術研究部
15	位相共役波による水中音響技術の研究	海洋技術研究部
16	プロトタイプ合成開口ソナーによる実証的実験	海洋技術研究部
17	技術試験衛星VIII型を利用した深海巡航探査機「うらしま」の情報伝達	海洋技術研究部
18	熱水噴出域における熱電変換技術を用いた電源装置の研究	海洋技術研究部
19	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	海洋観測研究部
20	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	海洋観測研究部
21	熱帯海洋上での降水量計測手法の検証	海洋観測研究部
22	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	海洋生態・環境研究部
23	サンゴの元素取り込み過程に関する基礎研究	海洋生態・環境研究部
24	海洋大循環と熱・物質分布に関する予備的研究	海洋観測研究部
25	底生樹状動物の表現系の研究	海洋生態・環境研究部
26	クラゲ類の形態・遊泳・胃内容物の関連性に関する研究	海洋生態・環境研究部
27	顕微測光法によるゲノムサイズ測定法の確立	海洋生態・環境研究部
28	クラゲ類の成長解析と日齢測定法の検討	海洋生態・環境研究部
29	深海生物の環境適応機構の解明	海洋生態・環境研究部
30	化学合成生態系における原生生物の多様性解析	海洋生態・環境研究部
31	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	むつ研究所第1研究グループ
32	Th-234を用いた有光層からの有機炭素粒子沈降量の測定に関する基礎研究	むつ研究所第1研究グループ
33	海洋科学技術センターにおける費用対効果についての調査研究	企画部計画管理課
34	海底地震計の機能向上を目指した改造	研究業務部
35	次世代海洋観測ブイ開発に向けたTRITONセンターデータ処理部の国産化	研究業務部
36	深海画像アーカイブの効率化及び高度化に関する研究	情報業務部

表4 受託研究

項 目	実施期間	委託元	担当部・室・課
1 掘削孔を用いた音波探査による火道のイメージング	平成11～16年度	文部科学省	深海研究部
2 熱流量・電磁場等の観測による熱水循環系の温度・流れ場分布の研究	平成15～16年度	文部科学省	深海研究部
3 大気海洋統合モデルの開発及び温暖化予測実験実施	平成14～18年度	東京大学気候システム研究センター	地球フロンティア研究システム
4 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	平成14～18年度	文部科学省	地球フロンティア研究システム
5 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	平成14～18年度	東京大学理学系研究科	地球フロンティア研究システム
6 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	平成14～18年度	文部科学省	地球フロンティア研究システム
7 臨界ゆらぎ中におけるコロイド粒子の挙動	平成14～18年度	(財)日本宇宙フォーラム	極限環境生物フロンティア研究システム
8 アジアにおける大気汚染の気候・環境に関する総合的研究の予備的検討	平成15年度	環境省	地球フロンティア研究システム
9 プランクトン群集構造変動メカニズム解明とそれにとまう生態系機能変化の評価	平成15～17年度	(独)水産総合研究センター東北区水産研究所	地球フロンティア研究システム
10 衛星観測データを活用した温室効果ガス吸収・排出量の推定精度に関する予備的研究	平成15年度	(独)国立環境研究所	地球フロンティア研究システム
11 メソスケールのインバースモデルの開発による二酸化炭素収支分析の推定	平成15～18年度	(独)国立環境研究所	地球フロンティア研究システム
12 農業生態系におけるCH ₄ 、N ₂ Oソースインベントリーの精緻化と削減効果の定量的評価	平成15～19年度	(独)農業環境技術研究所	地球フロンティア研究システム
13 東南海・南海地震の想定震源域におけるプレート形状等を把握するための構造調査研究	平成15～19年度	文部科学省	固体地球統合フロンティア研究システム
14 平成15年十勝沖地震震源域における余震観測及び震源決定精度の向上のための構造調査研究	平成15年度	文部科学省	固体地球統合フロンティア研究システム
15 南海トラフ周辺での海底強震動推定のための地下構造モデル構築等に関する研究	平成15～16年度	(株)CRCソリューションズ	固体地球統合フロンティア研究システム
16 深海有孔虫サンプルの整理と遺伝子解析に関する研究	平成15～16年度	サウザンプトン海洋研究所	固体地球統合フロンティア研究システム
17 泥質岩の地球化学的分析手法の普遍化に関する研究	平成15～16年度	(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構	固体地球統合フロンティア研究システム

表5 委託研究

項目	実施期間	委託先	担当部・室・課
1 ①全球風応力データセットの整備・開発 ②極域結合モデリング研究	平成14～18年度	北海道大学	地球フロンティア研究システム
2 衛星観測による高精度・高分解能海面水温を中心とした 全球海面情報データの整備・解析・データセットの作成	平成14～18年度	東北大学	地球フロンティア研究システム
3 海面フラックスデータセットの整備・開発	平成14～18年度	東海大学	地球フロンティア研究システム
4 高次元非線形・非ガウス型フィルタに関する研究と その四次元データ同化システムへの適用	平成14～18年度	統計数理研究所	地球フロンティア研究システム
5 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	平成14～18年度	京都大学	地球フロンティア研究システム
6 縁辺海域データ同化研究	平成14～18年度	九州大学	地球フロンティア研究システム
7 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」 2.「統計的海洋データ同化手法を用いた再解析データの 解析と高精度再解析データセットとの相互比較」 3.「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」	平成14～18年度	(財)地球科学技術総合 推進機構	地球フロンティア研究システム
8 深海における天然放射能測定結果のデータベース化に 関する調査研究	平成13～15年度	(財)地球科学技術総合 推進機構	深海研究部

表6 共同研究

項目	実施期間	共同研究相手方	担当部・室・課
1	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
2	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
3	光地震計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
4	南海トラフ沈み込み帯における長周期海底電磁気観測	平成14～16年度 東京大学地震研究所	深海研究部
5	南海トラフにおける海底微細構造の探査	平成14～16年度 東京大学地震研究所	深海研究部
6	千島海溝の巨大地震の基礎的研究 ー地震波・津波解析によるー	平成15～17年度 北海道大学理学部、 産業総合研究所活断 層研究センター、 東京大学地震研究所	深海研究部
7	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
8	熱水ブルーム観測技術に関する研究	平成13～15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 日本製鋼所(株)	海洋技術研究部
11	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) 神戸造船所	海洋技術研究部
12	光ファイバセンサアレイの研究	平成15～17年度 防衛大学校	海洋技術研究部
13	北太平洋における広域CO ₂ 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
14	東シナ海におけるGLI海洋チャ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
15	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
16	室戸沖長期観測ステーションを用いた深海生物研究	平成15～17年度 高知大学理学部	海洋生態・環境研究部
17	化学合成共生系生物の各環境下における遺伝子発現解析	平成15～17年度 タカラバイオ(株)	海洋生態・環境研究部

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、以下のとおり増員、減員を行った。

○ 増員 (23名)

- ・ 監査室：課長1名、課長代理1名、係長2名
- ・ 総務部総務課：係長1名
- ・ 総務部普及・広報課：係長1名
- ・ 総務部人事課：係長1名
- ・ 企画部計画管理課：係長2名、係員1名
- ・ 深海地球ドリリング計画推進室企画調整課：
課長代理1名、係長1名、係員1名
- ・ フロンティア研究推進室フロンティア研究推進課：
課長代理2名
- ・ フロンティア研究推進室極限環境生物フロンティア

研究推進課：係員2名

- ・ 海洋観測研究部：研究員2名
- ・ 安全管理室：係長1名
- ・ 横浜研究所情報業務部海洋情報室：係長1名
- ・ 横浜研究所情報業務部地球シミュレータ運用推進
課：係長2名

○ 減員 (6名)

- ・ 研究業務部運航チーム：パイロット2名
- ・ 海洋生態・環境研究部：研究員1名
- ・ むつ研究所管理課：係長1名
- ・ むつ研究所施設・設備課：係長2名

なお、本年度は、役員10名(内非常勤5名)、職員
268名の合計278名(前年度261名 23名増員 6名
減員)となった。

表1 組織及び定員(平成15事業年度)

定員			
役員	10 (内非常勤5)		
職員	268		
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content;"> 会長 理事長 理事 監事 </div>	総務部 — 次長 経理部 — 次長 企画部 深海地球ドリリング計画推進室 フロンティア研究推進室 深海研究部 海洋技術研究部 海洋観測研究部 海洋生態・環境研究部 研究業務部 むつ研究所 横浜研究所 — 情報業務部	監査室	予算、決算、経理、契約その他財務に関する事項の監査に関する業務
		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、奨助金の業務
		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・ワ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
		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
		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
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	波力装置技術の研究開発、沿岸環境改善技術の研究開発		
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過程に関する研究、放射性炭素を用いた物質循環の観測研究		
第1研究グループ	共生による進化と多様性に関する研究		
第2研究グループ	中・深層生態系における生物群集の構造と生物生産に関する研究及び深海化学合成生態系における生物群集の構造と生物生産に関する研究、海洋生物環境計測に関する研究		
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		
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		
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15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40,672百万円の予算が認可され、収支決算においては、41,818百万円の収入決定に対し、40,980百万円の支出決定があった。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9,229百万円が新たに生じたため、欠損金総額は、289,095百万円となった。(別冊の「資料編」を参照)

なお、平成11事業年度以降の予算の推移を表1に示す。

(1) 資本金

平成15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15事業年度末における資本剰余金総額は、4,117,703千円である。

(3) 契約

平成15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「船体固定以外の観測装置類及び海洋観測ブイネットワーク・システム等の運用業務」、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11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)

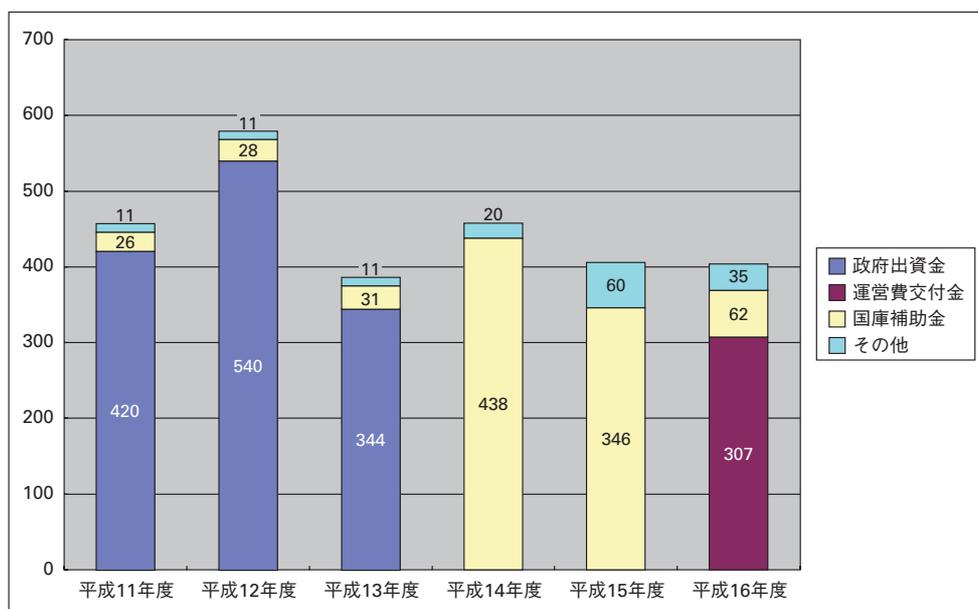


表2 出資金の状況

(単位：千円)

区分	14事業年度		15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	
11	(4,931)	①				①	1. 1件200万円以上の契約 件数及び契約金額
	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)	①				①	2. 設計・監理及び工事契約は 1件500万円以上
	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)	①				①	3. ()内は、全契約件数 4. 変更契約件数は除く
	1	14,784,000			1	14,784,000	
	603	24,291,024	28	3,762,249	575	20,528,775	
14	(4,368)						5. ①は債務負担行為
	577	26,267,261	14	3,326,221	563	22,941,040	
15	(4,365)						
	481	22,191,635	10	201,327	471	21,990,308	

4. 各拠点紹介

「特殊法人等整理合理化計画」(平成13年12月閣議決定)による独立行政法人化を背景に、平成15年6月18日に「独立行政法人海洋研究開発機構法」が施行された。

海洋科学技術センターは、平成16年4月1日をもって解散し、東京大学海洋研究所の組織の一部(船舶とその運航組織)と統合、新たに「独立行政法人海洋研究開発機構」として大きな転換期を迎える年となった。

(1) 横須賀本部

1) 横須賀本部の施設・設備の整備

(a) 土地

昭和47年4月、国から神奈川県横須賀市の国有地40,159.57m²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18,391.84m²を竣工させた。昭和58年

度には、国から855.99m²を購入、さらに昭和60年5月には第2期埋立工事として4,518.93m²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1,118.99m²、平成14年度に1,030.62m²の隣接地を購入し、土地の合計面積は66,075.92m²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34棟、延べ床面積37,232.93m²となった。

平成13年度に、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。平成15年度には、機器整備棟及びガスバンク棟を解体撤去し、各種研究施設は、32棟、延べ床面積36,953.63m²となった。

表1 横須賀本部の研究施設の整備状況

建屋区分	延床面積 (m ²)	整備年度
潜水シミュレータ棟	1,586.64	昭和47年度、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、昭和55年度改修、 平成15年度解体撤去
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	1,595.85	昭和48年度、平成7年度改修
ガスバンク棟	(309.33)	昭和48年度、昭和53年度改修 平成15年度解体撤去
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)	202.05 749.00	昭和52年度 昭和54年度増築
潜水調査船整備場	1,220.74	昭和58年度
海洋実験機材保管庫	112.18	昭和59年度
潜水調査船整備場変電棟	72.00	昭和62年度
潜水調査船整備場付属棟	800.00	平成3年度増築
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	2,091.23	平成11年度
本館南側(旧:新本館)	3,366.25	平成11年度
本館国際交流施設	344.18 19.61	平成12年度増築 平成15年度増築
本館北側(旧:別館)	4,858.25	平成12年度増築
その他(一式)	221.35	
合 計		36,953.63m ²

(2) むつ研究所

1) むつ研究所の活動概要

(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初めて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月に改組し、むつ研究所が発足して3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、トライトンパ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}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、ICP-MS、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15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「のぞいてみよう海の研究所」をキャッチフレーズにして、むつ市関根浜港において施設一般公開を行い602名の来場者があった(図1)。その際、むつ市教育委員会を通じて電子顕微鏡の体験教室を実施した(図2)。教室に参加した中高生30名はそれぞれ持参したサンプルを電子顕微鏡で観察し、自然の創り出す微細な驚異の



図1 むつ研究所施設一般公開



図2 電子顕微鏡体験教室

構造を体験することができた。また、高校生のインターンシップ(就業体験)の一環として、2校6名の高校生を受入れ、堆積物の化学組成分析およびデータ解析や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。さらに、青森県とむつ市教育委員会後援の「連携型中高一貫教育研究大会」や地域フォーラム「海とロマンのまちづくり」への講師の派遣などを行い普及・広報活動に努めた。

2) むつ研究所の施設・設備の整備

(a) 施設の整備

平成15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行った。平成15年度に行った補修工事のうち、特に目立ったものについて以下に示す。

(i) 観測機材整備場

観測機材整備場は周囲には何も障壁がない関根浜港の海側にあり、風雨、風雪の影響を直接受ける。そのため、防水シール部の劣化が予想以上に大きく、平成14年度より、壁面のシール部の補修作業を行っている。平成15年度には、検定棟と整備棟をつなぐエキスパンションジョイント部の雨漏りがひどく、防水工事を2期に分けて行った。

(ii) 試料分析棟

試料分析棟の虫害対策のため、風除室に新たに通気孔を設け、玄関ドアの開放時間を最小限とした。

(iii) 研究交流棟

平成15年9月26日に発生した十勝沖地震により、関根浜地区でも震度5弱の地震が観測され、観測機材整備場及び研究交流棟内の壁面にひび割れが確認された。特に損傷が目立った、研究交流棟内の壁面の補修を行った。

(iv) その他

敷地内のアスファルトの補修を行うとともに、試料分析棟及び事務棟の駐車区画の整備を実施した。

(b) 設備

(i) 高圧試験水槽

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年度に引き続き、アルゴフロートの浮力調整(126基分)、トライトンブイ用のリリーサの作動確認(30基分)、また北太平洋時系列研究用の調査機器の作動確認(3機分)に使用され、加圧試験

及び整備等で計173回の加圧を行った。

整備工事にて加減圧装置内に破裂板を新規に取付け、異常昇圧に対し、機械的に安全を確保できるようにした。また、水槽内に水を張った状態でも、加減圧装置内機器の整備が行えるよう、高圧側と低圧側にそれぞれバルブを設け、整備性を向上させた。(図3)

むつ研究所の一般公開時には、深海における高圧力の世界を一般参加者に理解してもらうために、参加者に印刷がされていない白色の発泡スチロールカップに絵等を書いてもらい、高圧試験水槽にて加圧し、一般公開の参加記念品作成を行った。

(ii) 強酸使用研究施設

平成15年度より、むつ研究所において強酸を使用した研究を開始したことから、強酸を使用する実験に対応できる専用の研究施設を整備することになった。様々な可能性を検討した結果、船用コンテナを改造し、むつ研究所でも使用可能で、調査船にも搭載可能なものを製作することとなった。強酸への対応、赤道域から寒冷地までの幅広い使用、また陸上及び船上での使用を考慮し、様々な工夫を凝らした。

① 設備

空調機器といった大型機器のメンテナンス性、また、研究室の空間容量の確保を考慮し、コンテナ内部を研究室と機械室の2室に分けた。また、トレーラーやコンテナ船での移動等を考慮し、研究室のドアをスライドドアにするなど、コンテナの外装には突起部が無いように機器等を配置した。(図4、5)

コンテナの給水、排水に関しては、様々な条件での使用を考慮し、コンテナの両側に給水、排水口を設けている。給水口、排水口の耐久性、シール性、ホー



図3 高圧試験水槽 加減圧装置



図4 強酸使用研修施設外観



図5 研究室入口及び内部

ス接続の簡便性をはかるため、クイックカップリングを使用している。

② 機械室

機械室には、空調機器、トランス、排風機、ダクト等の研究用の補助機器を設置し、コンテナの扉を専用の出入り口として、研究室に立ち入らなくても整備ができるように工夫した。(図6)

③ 研究室

研究室には、強酸の使用に対応、かつ外部の環境に影響が出ないよう、ポリプロピレン製のドラフトチャンバーと排ガス洗浄装置(スクラバー)、ポリプロピレン製の流し台、実験机、純水製造装置、薬液保管庫を備え付けている。また、実験用の機器等の搭載スペースも確保しており、様々な研究のニーズに対応できるようにした。

流し台にも工夫を凝らし、船での作業を考慮し、別途研究廃液用のトレーを設け、研究廃液を直接タンクに導くようにしている。また、廃液タンクを2個取付け、バルブの操作によって選択できるようにしている。(図7)

内装は、コンテナ壁面、天井面、床面に断熱材を吹きつけ、その上に15mmの合板を打ち付けている。そ

れにより、棚の取付け、機器の設置を容易にした。また、船上での使用を考慮し、機器等固縛用の金具を多数取り付けた。

④ 空調設備

空調設備は、30℃以上から-10℃以下までの気温差に対応できる空調機器を搭載した。室内に取り込む空気は、沿岸域、船上での使用を考慮し、大型の除塩フィルターを介して室内に導入している。また、ドラフトチャンバーの扉の開度により、外気の導入量と排気風量を調整しており、強酸を使用してもドラフトチャンバー内から室内にガスが逆流しないよう、安全かつ快適に作業できるようにした。(図6)

さらに、研究室内の外気導入及び空調による空気の吐き出しに関しては、特殊なフィルターダクトを介して微風速で室内に空気を送り込む方式を採用した。この新空調システムの導入により、研究室内の空気流が乱れず、また、作業員や実験機器及び試薬等に直接気流が当たらないため、コンテナ内での作業性及び実験の安全性を高めた。(図7)



図6 機械室内部

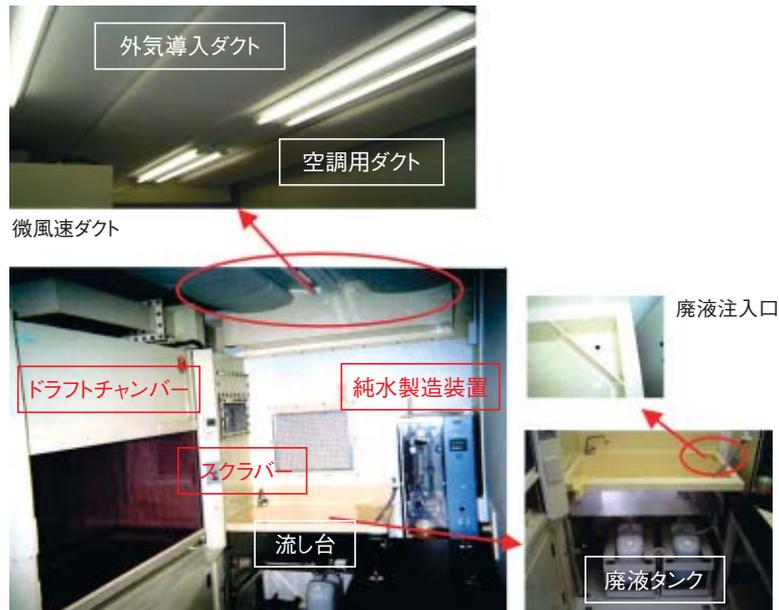


図7 研究室内機器の配置

(3) 横浜研究所

1) 横浜研究所の活動概要

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33,400m²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。

2) 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15年度に全面積33,389.94m²の購入を完了した。

(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、一連の整備を終了している。



図8 横浜研究所全景

表2 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 ²)	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	平成11年度

(4) 国際海洋環境情報センター

1) 国際海洋環境情報センターの活動概要

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。開所以降、当センターが保有する深海調査の映像や研究成果物等の電子化、海洋・地球環境等に関するデータの収集・加工・提供を横浜研究所と連携を取りながら実施している。また、沖縄県北部地域を

中心とした小中学校等の「総合的学習の時間」や「職場体験学習」といった課外授業やアジア・西太平洋地域の研究者等の研修、地元観光産業等に寄与するため、講義室、教育用映像システム等の各種施設・設備を開放し、団体見学者のみならず、一般見学者についても見学受入を積極的に行っている。更に、教育用コンテンツについても整備し、海洋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・運営を行っている。



図9 国際海洋環境情報センター全景(宜野座村側より)

5. 国際協力

気候変動をはじめとする地球規模の環境変動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) 国際機関

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。

- ・ ARGO(全海洋高度国際監視システム: The Array for Real Time Geostrophic Oceanography)
- ・ 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)
- ・ GOOS(国際海洋観測システム: Global Ocean Observing System)
- ・ ICDP(国際陸上科学掘削計画: International Continental Scientific Drilling Program)
- ・ InterMARGINS(The International Margins Program)
- ・ InterRIDGE(国際海嶺研究計画: An initiative for international cooperation in ridge-crest studies)
- ・ IODP(統合深海掘削計画: Integrated Ocean

Drilling Program)

- ・ PICES(北太平洋海洋科学機構: North Pacific Marine Science Organization)

(3) 政府間協力協定に基づく協力

米国、英国、オーストラリア、カナダ、中国、ドイツ、フランス、ロシア、EUと日本の政府間協力協定に基づき研究協力を行っている。

平成15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15年10月 日加科学技術協力協定 北太平洋における地球科学及び環境に関するパネル
- ・ 平成16年1月 日仏海洋開発専門部会

(4) 海外関係機関との協力

米国、フランス、ドイツ、カナダ、インドネシア、インド、英国、韓国及びオーストラリアの各国関係機関と、研究協力等に関する覚書や合意書を締結し、これらの下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。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。また、地球シミュレータを利用した国際共同研究に関する合意書を、平成14年12月に地球シミュレータセンターとスクリプス海洋研究所間で締結した。

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政府間協議において、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) ドイツ・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月及び平成16年3月に、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。

15) オーストラリア連邦科学産業研究機構(CSIRO)

平成15年8月、研究協力に関する覚書を締結した。海洋大循環に関する熱・物質輸送とその変動研究、インド洋域での二酸化炭素収支に関する研究、南大洋

におけるクロロフルオロカーボン類の分布研究等の分野で研究協力を行うこととなった。

また、研究協力に関する合意書等を下記の機関と締結し、国際共同研究を実施している。

- ・ 米国アラスカ大学 (UA)
- ・ 米国ウィスコンシン大学マディソン校
- ・ 米国カリフォルニア大学バークレー校
- ・ 米国カリフォルニア工科大学地震研究所 (CITSL)
- ・ 米国国際研究所 (IRI)
- ・ 米国国立エネルギー研究科学コンピューティングセンター (NERSC)
- ・ 米国テキサス大学計算可視化センター (CCV)
- ・ 米国ハワイ大学 (UH)
- ・ 米国ロードアイランド大学大学院海洋学研究所 (GSO)
- ・ 米国スミソニアン協会国立自然史博物館
- ・ イタリア航空宇宙センター (CIRA)
- ・ 英国エジンバラ大学
- ・ 英国ハドレー気候研究センター
- ・ カナダ気象庁数値予報研究部 (RPN/MSR)
- ・ カナダ地質調査所 (PGC)
- ・ オーストラリア国立大学 (RSES)
- ・ オーストラリア・シドニー大学海洋科学研究所 (USIMS)
- ・ コスタリカ国立大学
- ・ タイ・チュラロンコン大学
- ・ 中国科学大気物理研究所 (IAP)
- ・ 中国気象科学研究院 (CAMS)
- ・ パラオ・ベラウケーズ (BCI)
- ・ フランス国立科学研究センター (CNRS)
- ・ モンゴル科学院地理学研究所 (IG)
- ・ モンゴル気象水文研究所 (IMH)
- ・ ロシア科学アカデミー永久凍土研究所 (PI)

- ・ ロシア科学アカデミー北方圏生物問題研究所 (IBPC)
- ・ ロシア科学アカデミー陸水研究所 (LIRAS)
- ・ ロシア国家水文研究所 (SHI)
- ・ ロシア連邦水文気象環境モニタリング局中央高層観測所 (CAO)

(5) その他

平成15年8月から平成16年2月にかけて、海洋地球研究船「みらい」による南半球周航観測航海 (BEAGLE2003) が実施された。オーストラリア・ブリスベン、チリ・バルパライソ、ブラジル・サントス、南アフリカ・ケープタウン、マダガスカル・タマタブ、オーストラリア・フリーマントル各港寄港時に、船内公開、セミナー、展示等を行い、当センターの活動を広く紹介すると共に、海洋科学調査の重要性についての理解増進に努めた。

また、平成15年11月18～20日の3日間にわたって、POGO (Partnership for Observation of the Global Oceans : 全球海洋観測パートナーシップ) の第5回会合が、当センター横浜研究所・三好記念講堂において開催された。会合には13カ国45名が参加し、海洋観測の実施や成果、今後の取り組み方などについての発表や意見交換が活発に行われた。最終日には、POGOの海洋観測システム実施への貢献を謳った「横浜宣言」が採択された。

(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

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、地震や津波といった海底で起こる自然現象等を引き起こす海洋プレートのダイナミクスについての理解を進める目的で活動している。海洋プレートの運動や変形は、一般的にはゆっくり静かに進行するが、「地震」のように急速かつカタストロフィックにプレートの変形破壊が起こる場合もある。このような多彩な自然現象の理解のため、これを引き起こすエネルギーとして海底下からもたらせる熱や物質の移動等の検討と共に、地震によって変位した海底活断層の変位記録やその諸特性を理解すること等を現在行っている。また、現在の状態を監視モニターすることを目的として深海海底ネットワークを使った総合的観測を行ってきた。その一方で、機器開発を含めた先端的な観測にも積極的に取り組むことを行ってきた。

今年度も数多くの研究結果を得ることができたが、なかでも平成15年十勝沖地震での、地震前、地震時、地震後にわたって震源域に近い海底で良好な地震記録及び水圧変動記録を得ることができた。また、東京大学海洋研究所と共同して、自航式サンプル採取システム(NSS)を開発に成功した。さらに、高精度地殻構造探査に係る研究を行うとともに、現在掘削が行われている台湾チェルンブ断層掘削計画(TCDP)に積極的に関与する目的で共同研究を立ち上げこれを推進している。今年度はこれ以外にも、特別研究2件、経常研究13件、共同研究6件が行われ、それぞれが論文として発表もしくはその準備が行われている。

(2) プロジェクト研究

1) 海底下ダイナミクスに関する統合的研究

本研究では、海洋プレートの変形・変動に関わる諸現象とそのメカニズム・ダイナミクスを解明し、海底下で起こる様々な地殻現象を定量的に評価することを目的としている。このために、現場(長期)観測等の研究手法を用いて、1) 海底下での物質・熱輸送のダイナミクスの解明、および 2) 海底活断層と地震ダイナミクスの解明、という2項目を柱として研究を遂行した。

平成15年度は、(a) 相模湾・東南海活断層域での総合調査、(b) 熊野沖南海トラフの電気伝導構造調査、(c) 北東太平洋での古地磁気学的調査、(d) 冷湧水の挙動調査、(e) インド洋アトランティスII断裂帯付近の地質学・地球物理学的解析、および(f) 地震発生断層岩の物質科学的解析を実施した。これらの調査研究に基づき、今後の深海研究部の調査研究方針を議論し、レポートにまとめた。

(a) 相模湾・東南海活断層域での総合調査

1944年の東南海地震の震源域である紀伊半島沖において、IODP(統合国際深海掘削計画)による掘削提案が提出されている。M8級の巨大地震を発生する能力を持つ地震断層まで、海底から6 kmまで掘削し、断層の性質や歪の分配状況を明らかにするのが目的である。このために必要な事前調査等を実施している。

YK03-03(しんかい6500)航海では、熊野-東海沖での潜航調査を引き続き実施した。平成15年度は特に、断層上の湧水サイトでの計測に主眼を置き、東京大学や北海道大学等と共同で、MBARI式コア採取・保圧採水・時系列採水・熱流量測定・自然 γ 線測定を実施した。中でも熱流量測定は一年以上にわたる長期計測を実施のため、設置したままとした。

近未来に巨大地震が想定されている相模湾・東海沖の海底活断層で、その変位量や再来周期等を明らかにするためには、正確な場所からピンポイントで表層堆積物試料を採取することが必須の段階にきている。これを受けて、東京大学海洋研究所と共同して、自航式サンプル採取システム(NSS)を開発した。これは、船上からコントロール可能な自航式ビークルに柱状採泥器を装着した物(図1)で、船上からビークルの位置を確認し、ビデオカメラにより目標とする地点の海底をリアルタイムに観察し、試料を採取するシステムである(図2)。世界に類がない、この自航式サンプル採取システムの試験・運航を、調査船「かいよう」を使い、9月27日～10月17日に行い、成功した。NSSは、柱状採泥器だけでなく、海底への観測機器の設置においても有効であり、長期型熱流量測定システム(東京大学地震研究所)の設置もこのシステムを用いて行われた。従って、この装置を用いれば、「しんかい6500」や現行のROVが持てない大型で重い海底観測機器を、指定されたピンポ



図1 自航式サンプル採取システム(NSS)にピストンコアラを装着して設置する時の様子(「かいよう」航海時)。図の左側のバーの下に、海底観察用のTVカメラが取り付けられている。

イントの場所に正しい姿勢で設置することができ、水中着脱装置を用いて海底ケーブルをつなぐことで、より複雑ないくつかの機器を組み合わせた長期観測ステーションの建設も可能になると期待される。

(b) 熊野沖南海トラフの電気伝導構造調査

岩石が高間隙圧流体を含む場合、岩石の破壊強度は大きく低下することが知られている。巨大地震発生の場を理解するためには、地殻内の流体の分布を知る必要がある。本研究では、地殻内の流体分布のイメージ化を行うために、紀伊半島～熊野灘にかけて種々の地球電磁気学的観測を行い、巨大地震発生域



図2 NSSに取り付けられたTVカメラによる海底画像。ピストンコア切離直前の様子(上)、ピストンコアラ着底直後の様子(下)。

およびその周辺の電気伝導度構造をモデル化した。地殻の電気伝導度は流体の含有量によって大きく左右されるため、電気伝導度構造は流体分布のよいIndexになると思われる。

平成15年度は、平成14年度に短周期海底電位差磁力計(OBEM)を用いて取得した短周期電磁場データの解析を行い、南海トラフ～熊野灘海域での海底下地殻浅部電気伝導度構造の解析を実施した。その結果、フィリピン海プレートの海洋地殻は沈み込み前から高い電気伝導度を示していること、このプレートが島弧地殻の下に沈み込むにつれて海洋地殻の電気伝導度は低下し、1944年東南海地震の高速破壊域の上端部(海底下5-10 km)では低電気伝導度を示すことがわかった。このことから、巨大地震発生域の上限が地殻内流体の存在によってコントロールされていることを強く示唆していると考えられる。

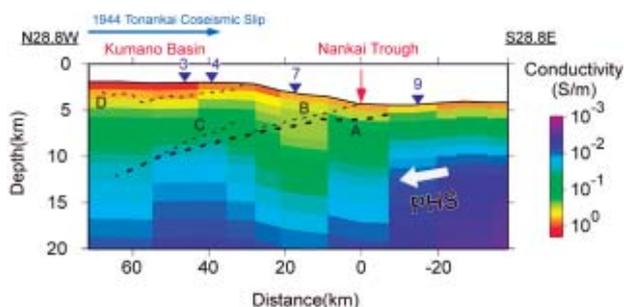


図3 南海トラフ～熊野灘海域での海底下地殻浅部電気伝導度構造。青い▼はOBEMの位置、赤い矢印(↓)のところでフィリピン海プレート(PHS)が紀伊半島熊野海盆の下に沈みこんでいる。点線A～Dは主な地震波反射面であり、反射面Aがプレート上面と解釈されている。青い矢印(→)は、1944年南海地震の際に高速破壊を起こしたとおもわれる範囲を示している。

(c) 北東太平洋での古地磁気学的調査

地磁気ダイナモを支配する要因が、地球軌道要素あるいは古気候変動(氷床量変動)といった核外にある可能性を検討するため、古地磁気強度・方位の長周期永年変動のデータを得ることを目的とした。このためには、地球磁場データを広域的に収集する必要があり、KR03-10航海(9月2日-9月19日)においては、データが著しく少ない北東太平洋、また既存のデータから良質なデータが期待されるヘスライズ海域での調査を実施した。6地点において、マルチナロービームによる海底地形調査と後方散乱強度イメージの取得、シングルチャネル音波探査システムにより海底下1 km程度までの詳細な音響構造、サブボトムプロファイラーによる200 m程度の堆積層の詳細な音響構造そしてピストンコアラーによる20 mによる堆積層の採取をおこなった。これらの地点は、これはすでに提出されたIODP掘削提案の候補地域であるので、これらの事前調査として重要な貢献をなした。

(d) 冷湧水の挙動調査

南西諸島西部の黒島海丘において、これまで1771年に発生した八重山地震津波に関する調査を行ってきたが、その過程で化学合成生物群集と冷湧水に起因する炭酸塩岩類が発見されている。また大規模なメタンガス噴出が確認されており、冷湧水の様式やハイドロートの生成分解過程研究の格好の場となっている。平成15年度は、より深部の状態を把握する目的で、ピストンコア採取および熱流量測定を実施した。黒島

海丘頂部から炭酸塩堆積物を採取することに成功した一方、温度構造の把握にはさらに工夫が必要であるとの知見を得た。

相模湾初島沖の湧水域においても、これまで様々な調査が実施され、その挙動が明らかになりつつある。平成15年度は、前年度に引き続きCATメータによる湧水量モニタリングを実施した。一部の装置は16年度まで継続して観測を行っている。また本海域では、前述のNSSによるコア採取も実施しており、CATメータを目視しつつその脇でコアを採取することに成功した。これまでの調査の問題点であった、湧水域等の異常地点で、地下数mの情報を正確に取得することが可能になったことは特筆すべきである。

(e) インド洋アトランティスII断裂帯付近の地質学・地球物理学的解析

平成14年度まで継続された、超低速拡大軸における海底拡大プロセスの調査にもとづいて、平成15年度に地質学・地球物理学的解析を実施した。岩石試料の化学分析は、現在なお進行中であるが、乗船研究者グループによっていくつかの際だった特徴を持つ試料についての成果が刊行された。森下らは、Srilankite (Ti_2ZrO_6)を海洋底から採取された試料からは初めて見出し、超低速拡大軸下におけるマグマとマントル物質の反応の証拠として位置付けた(Am. Mineral 2004)。熊谷らは、マグマ活動の有力な指標であるヘリウムが露頭レベルで不均質に分布していることを明らかにした(Geochem Geophys Geosys., 2003)。なお、互いに直接接触している海洋地殻物質とマントル物質とは共存し得ないものの、地殻物質は当該海域においては最も未分化な一群に相当している。この意義については、乗船研究者間で詳細の検討を続けている。

(f) 地震発生断層岩の物質科学的解析

現在、ライザー掘削船等による掘削計画(IODP・ICDP)による地震発生断層への掘削計画が進行している。採取した掘削コアの解析を通して、沈み込み境界や震源域岩石の実体を解明し、地震発生・地殻変動を含むプレートダイナミクスの総合理解を目指す。この中で、物質科学的視点から地震の準備・発生・回復過程について理解を深め、今後の掘削計画・坑井調

査への指針を得るため、掘削コア等の分析を行う高知大学海洋コア分析センター(高知コアセンター)における機器の立ち上げ(マニュアル整備・検定等)を実施した。またそれらの設備を使用して、過去の地震発生帯と考えられる四国の四万十帯から岩石試料を採取し、高知コアセンターにてその変形構造解析を行った。

微小領域の組織を解析するにあたり、マイクロフォーカスX線CT装置が有効である。そこで、まずその装置の立ち上げおよびXCT画像における階調値の誤差の検証を行った。さらに、四万十帯の久礼メランジから採取した岩石試料の撮影も行った。その結果、2ミクロンの空間分解能でかつ3次元構造の可視化が可能になり、メランジユニット内の変形の度合いの異方性を明らかにすることができた。これは、地震発生帯における滑り面およびその周辺の歪の集中(変形)を考える上で極めて重要である。

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な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、今年度発生した平成15年十勝沖地震(気象庁マグニチュード8.0)の観測結果につき下記に記載する。

(a) 海底地震総合観測システムの開発

平成15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) 平成14年度に実施した釧路・十勝沖2号機接続の移動型システム試験では電池寿命に起因する信号断が生じたが、今年度の作業により、海底における光細径ケーブルにも障害が発生していたことが突き止められた。今年度後半には、この障害

の原因究明と改善方法について詳細を取りまとめ、平成16年度の現地再試験時に、同様な障害が発生しないよう対策を施した。

- (ii) 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」は継続したが、「かいこう」流失事後により、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、データ取得を断念した。しかし三陸沖の掘削孔ステーション2か所については、その観測を継続した。
- (iii) 横浜ケーブルデータセンターとHi-Net及び気象庁へのデータ提供について、IPネットワークへの転換がほぼ終了した。データは標準WINパケット化し、国内の地震観測ネットワークと同一のフォーマットとした。環境センサー等の他機関向け転送を行っていないシリアルインターフェース機器については、データ転送のIP化の確認作業を行った。
- (iv) 平成15年十勝沖地震では、地震による観測障害無しに、地震前、地震時、そして地震後とも、良好な地震記録及び水圧変動記録を得ることができた。その結果、平成15年十勝沖地震(図4)前の

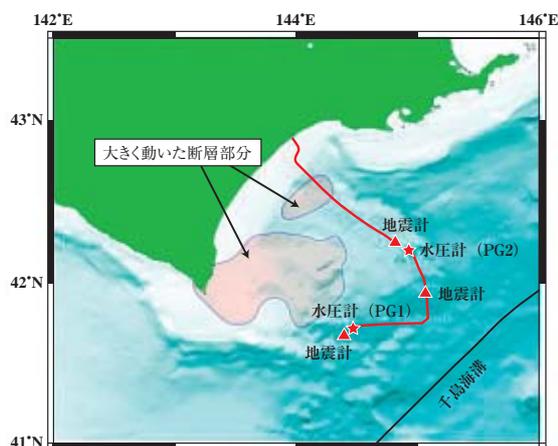


図4 平成15年十勝沖地震の断層運動と海底ケーブル観測システム。陰になっている部分は、海底下数10 kmの地下にある地震断層の大きく動いた部分を、赤い線は海底ケーブルを、△及び☆はそれぞれ地震計、水圧計を示す。水圧計(PG1とPG2)は、海底上昇という地震前後の地殻変動を捕らえた。

震源分布及び地震後の震源分布(図5)、津波発生時の水圧変動(図6)などの興味深いデータが得られた。Hi-Netや気象庁を通じたデータ転送システムにより、また、2号機の先端に接続された海底環境観測装置では、地震発生から約2時間後にこ

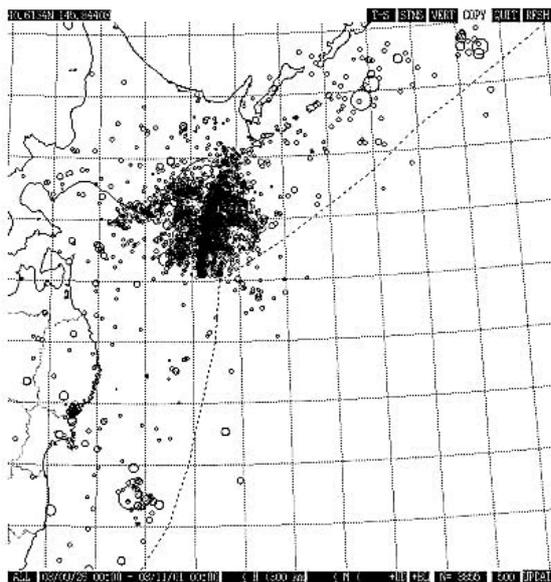


図5 平成15年9月26日から10月31日にかけて観測された地震の震央分布図。

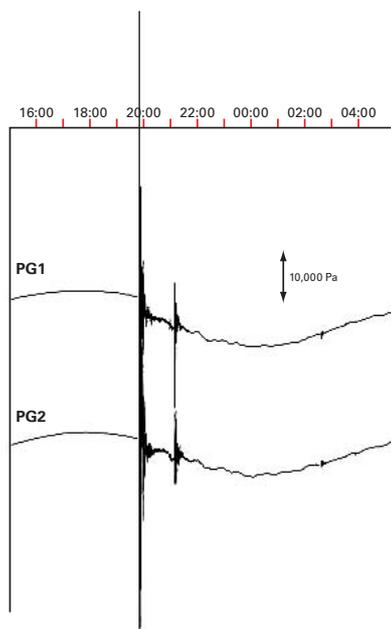


図6 平成15年十勝沖地震の際に得られた海底における水圧変動(横軸はグリニッジ時間)。地震による水圧変化が、①海底面変動、②海底面変動によって生じた音波、③地震波、④津波、という少なくとも4種類の現象の重ね合わせであることが判明した。

れまで観測されたことのない強流が観測された。また海水温も同時に約0.5度低下した。これは地震と同時に発生した乱泥流である可能性が高い。データの多くは国内外の研究者にリアルタイムで転送され或はインターネットを通じ提供されている。

(b) 深海ネットワークの開発研究

近年、世界を取り巻く光海底ケーブル技術及びネットワーク技術は急速に進化し、TPC-2等を用いて試みられた多目的観測を更に発展させる分岐装置方式による科学観測用海底ケーブルシステムを実現する技術的基盤が整いつつある。米国やカナダでは、米大陸西海岸の沖合に3000 kmを超える長さのケーブル観測システムを築きプレートの誕生から収斂までを同時観測するNEPTUNE計画が開始された。欧州では、北海と大西洋の境界域、ポルトガル沖大西洋中央海嶺、地中海海底等で、地球物理学から生物学までを網羅する数1000 km長のケーブルを用いた地球科学観測網ESONET計画が開始されようとしている。こうした背景の中、本プロジェクト研究では、上記諸外国との技術交流、将来に向けた情報交換を行いながら開発研究を進めた。これまで本研究で構想化された全日本周辺海域を取り巻くネットワーク構想はARENA計画(図7)と呼ばれている。平成15年に実施された開発研究は:

- (i) 米国電気通信学会海洋工学会日本支部と共同で、「海底ケーブルの科学的利用及び関連技術に関する国際ワークショップ」を開催した。全9カ国から参加者104名で、講演数は全67件であった。世界的な巨大ケーブル観測ネットワーク計画の進行状況、ニュートリノ観測等の先進観測化の傾向が顕著になってきていること、長きに渡り世界の海底観測をリードしてきた日本への期待等について、活発な議論の場を提供することができた。議論の内容は、以下のような合意としてまとめられた:
 - ①日米欧で新規に開発するケーブルシステムでは、相互にセンサーを共有(交換)できるシステムを実現できるよう努力する。
 - ②今後の議論は国際地震学及び地球内部物理学学会(IASPEI)の下部機関である国際海洋ネットワーク(ION)で継続する。

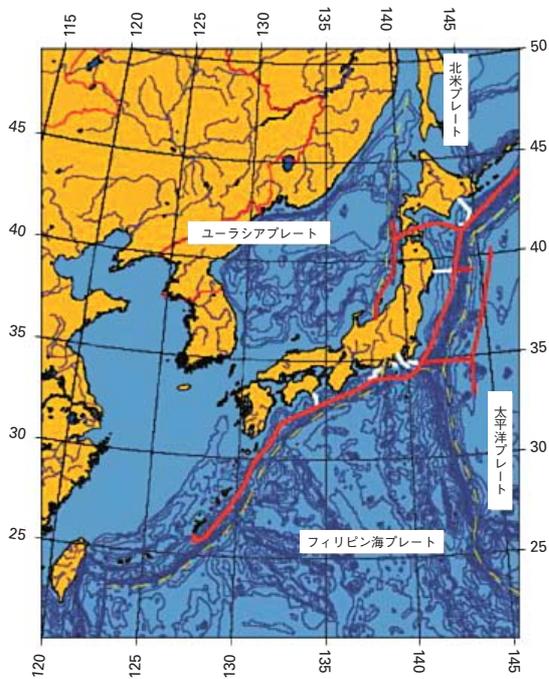


図7 日本を取り巻くケーブル観測システム構想ARENAのケーブルルート図。図中赤線部分がケーブルルートに相当する。黄色い破線は、日本を取り巻くプレート境界を示す。

- ③ 退役するケーブルを科学的に利用できるよう国際通信業界と密接な関係を築く。
- ④ 特に次の分野で、主として日米の研究者による技術的交流を開始・継続する。
 - イ. 海底給電方式
 - ロ. 海底通信方式
 - ハ. 海底ケーブルシステムのデータフォーマット標準化とデータ交換
 - ニ. 海底で接続されるセンサーの標準インターフェース
 - ホ. 海底ケーブル敷設やメンテナンス技術
 - ヘ. 海底ケーブル観測システムの長期信頼性確保及び障害回避方式
- ⑤ 現在構想の固まりつつある日本のARENAプロジェクトと米国NEPTUNEプロジェクト間での技術白書交換及び相互評価の実施。

(ii) ネットワーク給電方式について、平成14年度に製作した新しい海中給電分岐試験用システムを用い、試験を継続した。更に給電ネットワークについてこの試験結果を参照し、数値シミュレーションを行った(図8)。シミュレーションは、電源系の起動と遮断、

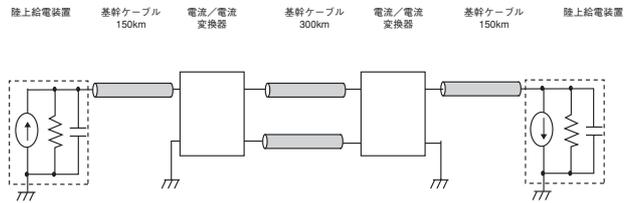


図8 シミュレーション用ネットワークモデルの概念図。

正常状態、各部での短絡障害時の過渡現象について行った。その結果、何れの場合にも安定した動作が行われることを確認した。大陸間横断海底ケーブルシステムでは起動に120秒程度の時間が必要となるが、比較的小規模の海底ケーブルシステムでは短時間での起動が行えることが確認された。

- (iii) メッシュ状に敷設された科学観測用海底ケーブルネットワークに接続された観測機器からの多量のデータを伝送する方式として、最新の通信用光海底ケーブルで利用されている光波長多重通信技術を応用する方式を考案した。これを実現するため、光変調とラマン増幅を組み合わせ、広い帯域がとれるラマン変調方式を採用することを目指している。この方式は構成が簡単で使用する部品点数が少なく、既に信頼性が確立されている部品を多く利用可能であり、信頼性を確立することが容易である。今後実際にラマン変調器と光波長合分配器などから構成される光伝送装置を用いて基礎的な実験を行うため、その諸特性を評価する準備を進めた。
- (iv) 初島技術開発サイトでは、水中のケーブル先端ステーションに水中着脱可能な光コネクタ及びシリアルコネクタが備えられ、各種センサーのテストが可能な状態にある。初島にあるケーブル陸揚局で、コネクタに接続された機器からの信号を直接確認し、各種操作を行うことが可能な海底機器用UNIXシステムを開発した。数1000 kmの観測用海底ケーブルを用いる米国のORION計画や欧州のESONET計画では、水中着脱コネクタを用い、センサー数の増加や多種多様なセンサーを接続することが考えられている。このためのインターフェースとしてシリアルのみならず、TCP/IPを通信プ

ロトコルとした高速インターフェースとして採用する設計が進みつつある(ORION計画では正式採用が決定されている)。今後のケーブル式海底観測システムは、シリアル及びTCP/IPを備えることとなる可能性が高い。初島には現在シリアルインターフェースしかなく、この海底機器用UNIXを用い、TCP/IPインターフェースを追加することを目論んでいる。今後の海底センサーは、海中のUNIXシステムとして認識されることとなるため、このシステムにより、これまで以上に円滑な通信及び機器チェックが実現されることが期待される。

(3) 特別研究

1) マリアナ島弧・海溝系における海洋性島弧とその形成史の研究

海溝～島弧～背弧系の典型であるマリアナ弧において地球物理構造探査を実施し、従来よりも高解像度な海底～地殻～マントル構造を明らかにし、島弧および背弧海盆形成、地殻・マントルのダイナミクスの研究を目指している(図9)。これまでに、深海曳航式サイド

スキャン・ソナーを用いた背弧海盆海底マッピング(図10、11)、マルチチャンネル反射法探査、海底地震計、エアガンを用いた屈折法探査による海溝～島弧～背弧の地震P波速度構造(図12)や、また海底電位差磁力計を用いた島弧・海溝系の電気伝導度構造調査を行ってきた(図13)。

2) ガスハイドレート:地球環境変動への影響の評価に関する研究

本研究は、日本周辺海域や近隣の遠洋域の堆積層を対象とし、堆積学的・古地磁気学的・地球熱学的手法によって、ガスハイドレートの形成過程及び諸物性を明らかにし、環境変動との相互作用の評価を行うことを目的として、平成15年度後半から開始された。「みらい」「かいいい」などによって得られるピストンコア試料やODP試料を分析・検討するとともに、熱流量精密測定による堆積物の温度構造を推定することを目指し、環境変動履歴の把握、堆積過程に伴う熱・物質収支及び流体の役割の把握、について研究目標を定めて実施している。

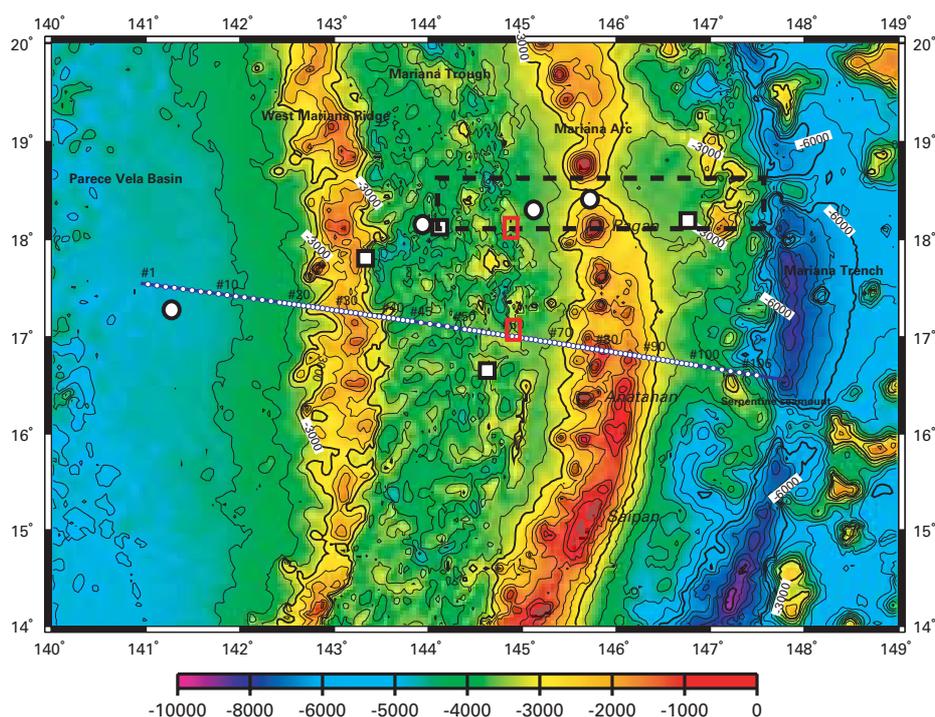


図9 マリアナ海域の海底地形図。赤色の四角は図10、11に示すサイドスキャン調査域、小丸は図12に示す海底地震計の設置点、実線は地震探査測線、そして大丸、白色の四角は、図13に示す海底電位差磁力計の設置点、点線は電気伝導度構造解析域を示す。

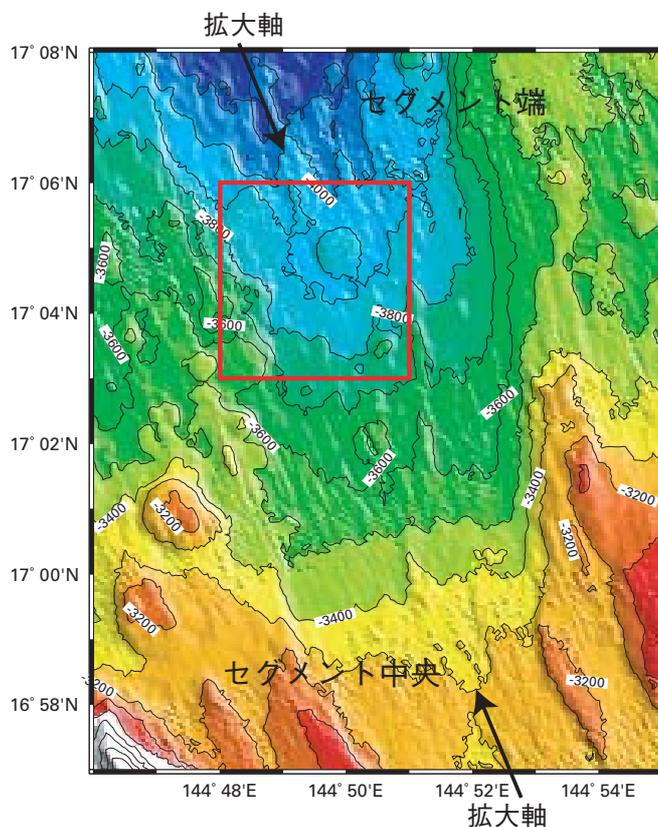


図10 中部マリアナトラフ北緯17度付近の海底地形

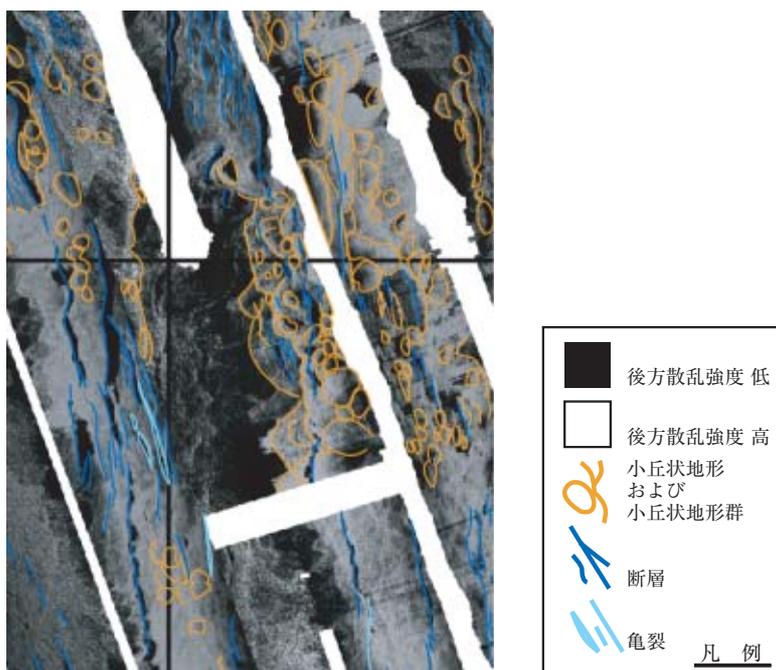


図11 北緯17度の背弧拡大セグメント(拡大軸の1単位)のサイドスキャン反射率イメージ。セグメント中心で表面の滑らかなシート状溶岩流が卓越し、セグメント端にかけてハンモック状へと変遷していく軸方向の溶岩流状態変化が観察された。その変遷は、噴出する溶岩流の冷却による粘性増加、または地形の傾斜変化による、溶岩流の移動速度の変化によるものと考えられる。また、拡大軸谷から外側の軸谷壁へと、シート状溶岩流の分布面積は、拡大軸谷の中心付近で極小を持ち、軸谷壁へ近づくに従って増大する。これは溶岩流の噴出率の時間変化を見ている可能性がある。

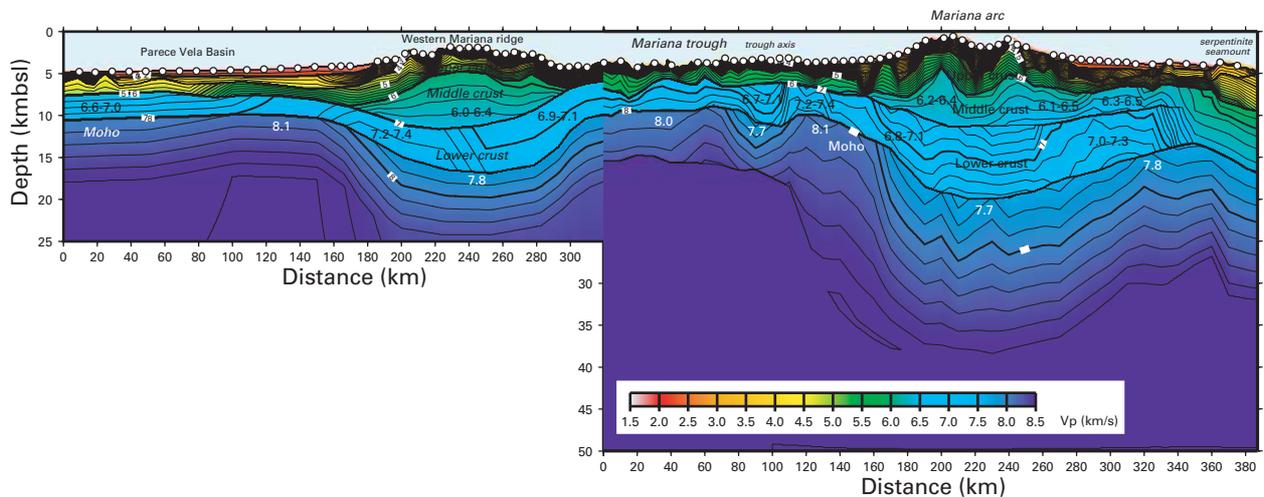


図12 マリアナ島弧一背弧系の速度構造モデル。等速度線間隔は0.1 km/sである。2次元の波線追跡法と初動のみを用いたトモグラフィックインバージョンを併用して、暫定的な地殻構造を求めた。島弧部分では地殻が厚くなり、背弧部分では地殻が薄くなる様子がわかる。マリアナ島弧と西マリアナ海嶺の地殻の厚さは、それぞれ約20 kmと約15 kmである。マリアナトラフとパレスベラトラフの地殻の平均厚さはどちらも約6 kmである。6 km/s前後のP波速度を示す花崗岩質層の中部地殻は島弧部分にのみ存在し、マリアナ島弧の中部地殻の2つの盛り上がりは、異なる年代に、異なる場所で2回以上の火成活動があったことを示す。島弧の下部地殻は、7.0 km/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。島弧一背弧境界部の下部地殻は、7.0-7.4 km/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明らかになった。この特徴はマリアナ島弧と西マリアナ海嶺の両島弧で共通に見られている。

Conductivity Model below the Mariana Island Arc

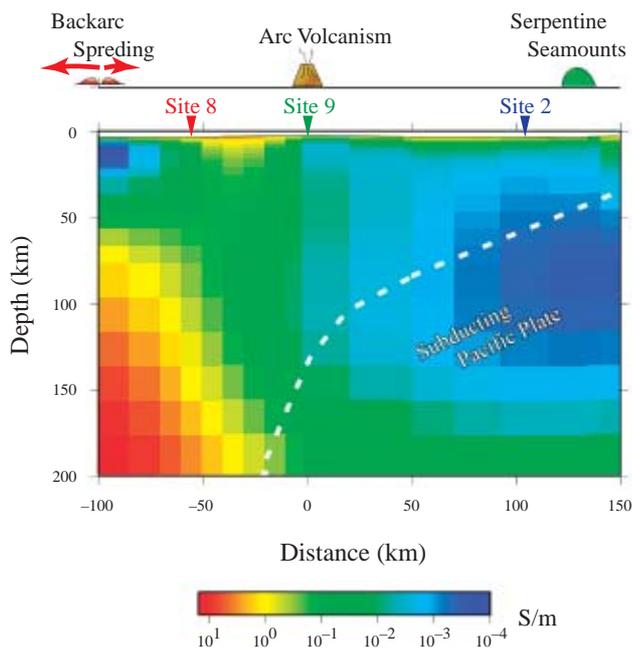


図13 北緯18度付近のマリアナ島弧・海溝系の電気伝導度構造。点線は自然地震分布から推定される海洋プレート上面。島弧下のマンテルウェッジや沈み込む太平洋プレートには電気伝導度の低い部分が見られる。また背弧海盆であるマリアナトラフ下のマンテルには電気伝導度の高い部分が見られる。

平成15年度は、南海トラフ・相模湾において、自航式サンプル採取システム(NSS)を用いてピンポイントで堆積物試料を採取し、組成・磁化測定等により堆積環境を把握を試みた。同時に既存のデータを収集し、統合的な解釈を試みた。また既存の熱流量データを再解釈し、堆積履歴や流体移動の影響を見積った。

一方、ガスハイドレートの生成・分解過程の理解を進めるために、これまで熱流量測定を実施してきたが、その結果を取りまとめた。特に東海沖や熊野沖では、ハイドレート・ガス境界面とされるBSRが二重になっていたり、断層付近で消失していたりと、環境変動や地殻変動、そして断層に沿った冷湧水の挙動がハイドレートに影響を与えていることが指摘されている。また黒島海丘や第二天竜海丘では、BSR面深度が水深とほぼ一致することから、例えば潮汐による温度・圧力変動が海底付近でのハイドレートの生成・分解に影響を与える可能性や、これに伴って海底地滑りの引き金となる可能性がある。NSSやピストンヒートフロー装置を駆使して、これらの海域での調査を継続していくとともに、数値シミュレーション等により、地殻変動や環境変動等の影響も考慮していく。

(4) 経常研究

1) 掘削試料と孔内計測を用いた地質解析法の高度化

地球内部地質情報を解析するにあたり、掘削コアと孔内検層は相補関係にあり、両者の統合は有効な手法である。しかしながらデータ統合環境は整備されておらず、統合国際深海掘削計画(Integrated Ocean Drilling Program: IODP)ではこの必要性がさらに高まる。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、IODPにおけるコア-検層データ統合の先行研究として、2003年までに実施された国際深海掘削計画(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15年度は、データ統合環境構築の総括、ならびに平成13年度以降の研究成果のとりまとめを行った。データ統合環境の構築については、多種のコア-検層データ統合ソフトの検討を行うとともに、IODPにおけるデータ統合研究に最適なデータ統合環境について提言を行った。数百m程度の比較的浅部と数km以上の大深度ではデータ統合。深度補正手法が異なることを指摘した。

コア-検層データ統合の研究成果として以下の2点をまとめた。1) 三陸沖のODP掘削コアと検層データを用い、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支配していることを明らかにし、コアデータと検層データを精密対比することによりコア回収率の低い堆積岩類についても十分に高分解能な古環境解析が可能となった。2) 南海トラフとコスタリカで得られた各種コア物性データ、検層データの相補的な統合に基づき、断層帯の幅、物性のコントラスト、排水量、透水性を検層データから推定し、その地域差を検討した。この成果によりIODPにおいて十分なコアの回収が見込めないような沈み込み帯深部においても、コア-検層データ統合の手法によって十分な断層解析研究が可能であることが示された。

2) 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15年度は新規に開発を行った海底電位差磁力計の較正を実施し、当初の目的にあった性能であるかどうかを確認した。その結果、消費電力は従来型のものと同様だが、従来より高い分解能・より高いサンプリングレート・より小さいサイズを達成することに成功した。この海底電位差磁力計を用いて、熊本県八代海の浅海において、海底湧水に伴う電磁場の時間・空間変動の観測を行った。その結果、湧水地域周辺で、湧水に伴うと思われる自然電位異常を検出することに成功した。他方、数値実験に関しては、地下水流動に伴って発生する電場の大きさの定量的な見積もりに成功し、南海トラフ沈み込み帯での地下水流動によって発生すると期待される自然電位異常の大きさの定量化に成功した。これによって、自然電位の観測データと数値計算結果の比較が可能となった。今後は、新規開発が終了した海底電位差磁力計を実海域で使用するにより、海底下の地下水流動のモデル化が可能であると思われる。

3) 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が温度・圧力場であり、更にこれらに支配された間隙水の流れである。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15年度は、その最終年度として、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を回収し、データを取得してその特性の検証を行った。松川地熱井での観測は、平成12年12月7日に開始され、平成15年10月23日に装置回収により終了した。計測期間は2年10ヶ月あまりである。サーミスタ10本と電極(銀-塩化銀製4個、銅製4個)が孔内に挿入され、

最深部は地下270 mであった。孔内の温度はきわめて安定しており、その変動幅は0.5°C以内であり、270 mでの温度は80°Cであった。少なくとも80°C、270 mまでの環境下では、今回使用したサーミスターは、2-3年間は全く問題なく作動することが確認された。また、回収されたセンサー・ケーブルについても、テフロン線の部分は損傷が見られなかった。

一方自然電位については、銅製電極のほうが銀-塩化銀製電極よりも安定していることが判明した。平成14年2-3月、および同年5月26日に電位異常が観測されたが、温度異常は伴わなかった。変化は20-30分継続した。この原因は現在も不明であるが、可能性のひとつとして、5月26日に起こったM7.0の宮城沖地震との関係が示唆される。

今後はこれらの知見を活用し、IODP掘削孔での大深度・長期計測のためのシステムを製作していく予定である。

4) Geological and geophysical study of the Mariana Basin

平成15年度は主に西フィリピン海盆における「かいいい」KR03-04航海で得られた結果について研究を行った。海底地形データを処理し、考察を行っている。「かいいい」を用い、いくつかのフェイルド・リフトで岩石のサンプリングを行った。これらのフェイルド・リフトは、リフト軸が数回かのベンハムホットスポットへの南側へジャンプしたことにより形成された。リフト軸のジャンプはホットスポットの存在に密接に関係している。これらの結果をまとめ、KR03-04航海の結果をまとめ次の航海を申請したが、認められ来年度の航海が予定されている。

他に、中央マリアナトラフにおける海底地形、重力、地磁気異常の考察を行った。西側が東側に比べ、2~3倍の速度で非対称に海底拡大していることをつきとめた。この結果については論文にまとめた(Deschamp and Fujiwara, *Geochem. Geophys. Geosys.*, 2003)。

その非対称拡大のメカニズムを研究するため、マリアナトラフ拡大軸に沿った2地域でのサイドスキャンソナー調査を申請し認められ、平成15年度11月に行われた。初期的な結果は国際海嶺研究計画の会報(InterRidge News)で掲載される予定である。このデータについてはひきつづき解析と考察を続ける予定である。

5) 親潮・黒潮混合域の堆積システムの解明

親潮・黒潮混合域の堆積物は黒潮統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。特に黒潮は赤道の暖水プルーム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。しかし黒潮・親潮会合域は大水深のため環境変動や、年代決定に有力な情報源である炭酸塩化石を含まないため研究が遅れていた。大水深堆積物に対して岩石磁気特性を環境変動のプロキシとして適応し、また近年、標準曲線が構築された相対地球磁場強度を年代軸として適応できるか検討を行った。この海域には黒潮統流域に由来すると考えられる堆積物と、親潮に由来すると考えられる堆積物が堆積している。岩石磁気的特性は岩相変化に伴い急激に変化する。磁性鉱物の量が少ない層準は岩石磁気的特徴から、ヘマタイトやゲータイトが磁気特性を担っている可能性がある。一方、磁性鉱物の量が多い層準は磁気的にも比較的均質な岩相であり磁性鉱物も非常に多く、大水深としては速い堆積速度を持つので良い古地磁気記録が期待できる。実際にSint-800(相対地球磁場強度の標準曲線)との比較は良い一致を示した。得られた堆積物の年代を使い岩相変化および岩石磁気的変化を酸素同位体曲線と対比すると、氷期-間氷期サイクルとタイミングが合致しており、この事は黒潮の氷期-間氷期における流路変動により堆積物の供給が変化していることを示している。さらに細かくチューニングされた岩石磁気変動はグリーンランド氷床コア等に見られる急激な気候変動のパターン(ダンスガード-オシュガードサイクルの)と同機している。この事は急激な気候変動に敏感に黒潮が変動していたことを示唆しており、千年スケールで黒潮の変動要因を考えるうえで重要な情報である。

6) 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目立っており、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。本年度は、過去に津波地震が起こった海域に仮想断層モデルを設定してゆっくりとした断層破壊に伴って起こる津波の発生・伝播を検討した。1994年三陸はるか沖地震の断層モデルを仮想断層モデルとして三陸沖・日本海溝で津波地震が発生したと仮定して、動的津波シミュレーションを行った。(a)断層の破壊過程および(b)海底面の変動速度の津波への寄与について検討することに主眼を置いた数値シミュレーションを行った。数値シミュレーションの結果、ライズタイムが100s程度であれば断層破壊の影響は無視でき、静的変位から予想される津波と同程度の津波が発生した。また、計算結果はライズタイムが500sのゆっくりとした海底面変動でも水塊移動を引き起こし津波が発生することを示した。ただし、ライズタイム500sの場合には、津波の波高が小さくなり、周期が長くなる点は従来の予測とは大きく異なる。本研究は、表面波マグニチュードに基づく津波警報システムは津波地震に対して過小評価する懸念があるが、ゆっくりとした断層破壊による地震津波に対しても、沖合観測によって早期に津波を検知できることを示唆している。

7) 海底地電位差計の開発

海域での電磁気観測を効率よく実施するために、ハンドリングの容易な海底地電位差計(OBE)の開発をすすめている。このOBEは、電極アームを折りたたんで浮上する新しい構造を有する事が特徴である。切り離し装置は、JAMSTECが所有する海底地震計(OBS)の仕組みを流用した。

OBEの最大の特徴である電極アームは、取り付け台座と共にガラス球ハットと錘の間に固定されている。ガラス球ハットと電極アーム台座はロープで固定されている。電極アームは塩ビパイプ、台座はポリプロピレンで製作されており、浮力的にはマイナスとなる。よって、錘が切り離されると浮力のあるガラス球が最初に浮上し、その後でロープでつながった台座が引きあげられる。電極アームは下向きに稼動する仕組みになっているため、台座が引き上げられると同時に腕が折りたたまれ浮上する。

以上の動作が正しく行われるのかを確かめるために、潜水訓練プールを利用して沈降および浮上試験を

実施した。潜水プールの建物上の制約のため、ダイバーの方に協力をしていただいて実験を行った。2方向から実験の様子をビデオカメラで記録した。沈降試験はクレーンに電位差計をリリースフックを用いてつり下げた。船上作業と同様にフックを開放して沈降を開始させた。直接プール底に着底しないようにするため沈降深度は水面から3 m弱であったが、沈降姿勢に問題は見られなかった。

淡水中では電触切り離しに時間がかかるので、切り離し装置の代わりにタイラップを用いた。ダイバーがタイラップを切断する事で、切り離しの代用とした。浮上試験の結果、全ての電極アームがきちんと折りたたまれ、スムーズに浮上する事が確認され、浮上姿勢も特に問題は見られなかった。

電気回路に関しても改良を加え、記録部の分解能を24 bitに向上させた。また、ロングラン試験として、3晩の連続測定を熊本県八代海において実施した。観測期間を通して安定した測定を行う事ができ、干満に伴う電場変化を捉える事ができた。なつしま(2005年1月)による航海で、実海域での試験が行われる予定である。

8) 背弧海盆形成に関する研究

背弧海盆の形成過程は島弧の形成過程を考察する上で必要不可欠な情報の1つであり、島弧と背弧海盆を一連にして考察する必要があると考えられる。背弧海盆の形成過程を考察するためには、背弧海盆から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することは大変重要であるが、このような場所での詳細な構造の遷移はあまり明らかになっていない。本研究では、北西太平洋の背弧海盆である日本海から西南日本弧にかけての地殻・最上部マントル構造の遷移を高空間分解能で明らかにし、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、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35台とエアガンアレーを用いた深部地殻構造探査(KY02-09 Leg 1)および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を行った。

解析の結果、堆積層の厚さは、大和海盆南西部においては約1.0~1.5 km、隠岐海嶺では約0.3 kmとな

った。地殻上部層はP波速度約3.0～6.5 km/sを示し、この層の厚さは大和海盆南西部では約4 km、隠岐海嶺では約8.5 kmであり、大和海盆から隠岐海嶺にいくにしたがい増加している。P波速度約6.5 km/s以上を示す地殻下部層の厚さは、海盆域で約8 km、海嶺域では約11.5 kmであり、海盆域から海嶺域にいくにしたがい増加しているが、地殻上部層の変化量よりは小さい。堆積層を含めた地殻全体の厚さは、大和海盆南西部で約13 km、隠岐海嶺で約19.5 kmである。隠岐トラフでは、測線上をエアガン発震ができておらず、求めた地殻構造の精度は不十分であるが、地殻の厚さはおよそ17 kmである。

大和海盆南西部の地殻構造は、厚い海洋性地殻と解釈されている南部の構造より伸長・薄化した島弧地殻と考えられている北部の構造に類似している。また、隠岐海嶺の構造は、大陸性地殻の断片と解釈されている北隠岐堆の構造と類似していることより、大陸性地殻の断片であることが示唆される。

9) 上部マントルの岩石時期学的研究

平成15年5月～7月にかけて実施された国際深海掘削計画第209次航海に共同首席研究員、乗船研究員として乗船し、大西洋中央海嶺の北緯16度断裂帯近傍で掘削されたマントルペリドタイト、海洋はんれい岩試料の岩石学的・岩石磁気学的測定・データ解析を実施した。

掘削されたマントルペリドタイトは、変質したものがほとんどであったが、磁化強度は比較的強いものが多く、現在、岩石学的研究結果と比較検討し、上部マントルの磁化獲得機構・構造等を考察中である。また、本研究の予備的研究として実施した海洋地殻上部マントルの磁化のレビューペーパーが地学雑誌のオフィオライト特集号に掲載された他、地球電磁気・惑星圏学会、米国地球物理学連合秋季大会や各大学セミナーなどで、掘削航海成果の報告を実施した。

10) 多元素同位体を用いた背弧海盆に存在する深部マントル起源のプリュームの研究

現在過去を通していくつかのプレート収束域で背弧が拡大しているが、背弧拡大の原因については究極的な解は得られていない。背弧拡大の1つのモデルにホットリージョンという能動的な(自発的に動く)大規模

なホットスポットの通過が一因となったという説がある(Miyashiro, 1986)。マントルゼノリスの研究から、ホットリージョンが通過したであろうと考えられる地域のマントルの特徴の1つとして特異なりチウム同位体組成を持つ可能性が示唆された(Nishio et al., EPSL, 2004)。この事はリチウム同位体組成がホットリージョンの通過のよいトレーサーとなりうる可能性を意味する。しかしゼノリス試料と異なり背弧海盆玄武岩のようなマグマ物質ではマントル内のリチウム同位体組成の分均質性が均質化されており、より高精度なりチウム同位体データが必要とされる。さらにリチウム同位体比は最もマグマ噴出後の二次変質の影響を受けやすい元素であるために注意を払わなければならない。本年度は様々な二次変質に敏感な元素比や同位体比を用いて、特にこの二次変質における火山岩のリチウム同位体組成の影響を研究した。研究結果は国内外の学会で報告すると共に、現在英文学術雑誌として投稿中である。次年度は本年度の研究で理解が進んだ二次変質指標をフィルターとして用いることで背弧海盆玄武岩の二次変質を受けていないリチウム同位体組成を高精度に決定を試みる予定である。

11) 地震発生帯での動的条件下における岩石の変形特性と物質移動特性の評価

現在、ライザー掘削船による掘削計画(IODP・OD21)が進行しており、採取した掘削コアの解析を通して、沈み込み境界や震源域岩石の実体を解明し、地震発生・地殻変動を含むプレートダイナミクスの総理解に至ることが望まれている。本研究では、この掘削計画に先駆けて、物質科学的視点から地震の準備・発生・回復過程について理解を深め、今後の掘削計画・坑井調査への指針を得ることを目的としている。岩石の変形実験は昔から多くの研究例があるが、その変形挙動と物理化学的な素過程の関係を直接的に議論する研究は少ない。そこで、変形挙動と物理化学的な素過程との対応に焦点を当て、小型のリング剪断装置を顕微赤外分光計上に配置し、変形させながらその状態変化をその場観測する実験である。粘土鉱物の高温・剪断時における脱水過程および相変化を赤外吸収スペクトル測定によってその場観測し、それが摩擦滑り特性にどのように影響しているかを探るのを具体的な対象としている。実験

結果を次に記す。まず加熱させた際の粘土鉱物の脱水過程について赤外吸収スペクトルのその場測定を行った。試料はモンモリロナイト(クニミネ工業製クニピアF)を用いた。常温・ドライの条件下では、モンモリロナイトの吸着水は100℃で、層間水は100-150℃程度(相対湿度に依存)で、構造水が600-800℃で脱水する。今回は単純剪断下での吸着水と層間水の脱水過程について調べた。剪断させた場合及びさせない場合でのモンモリロナイトの赤外吸収スペクトルを50、75、100、125、150℃で測定した(昇温レートは10℃/分;剪断レートは5 rad/s)。常温・常圧下では、モンモリロナイトの吸着水と層間水のO-H伸縮振動による赤外吸収は3432 cm⁻¹に幅広いピークを持ち、3230 cm⁻¹にも弱いピークが観察される。一方、構造水の伸縮振動による吸収は3622 cm⁻¹のピークを示す。剪断あり・なしの両方の場合で、100℃での3400 cm⁻¹付近の吸収が激減した。これは吸着水の脱水を示す。しかし、125℃および150℃でのスペクトルを比較すると、剪断ありの場合のほうが3432 cm⁻¹付近の吸収が弱い。これは剪断に伴って、層間水の脱水が促進されたことを示すかもしれない。また、構造水を示す3650 cm⁻¹の吸収は変化しなかった。

12) 海洋底かんらん岩の記載岩石学・地球化学的研究に基づく前弧域上部マントル変遷史解明

海洋リソスフェアを構成する最上部マントル物質(かんらん岩)は、中央海嶺で玄武岩質マグマを放出した後の融け残り物質であると考えられている。一方で"メガマリオン"と呼ばれる蛇紋岩化かんらん岩が、もともと存在していた上部マントルから上昇し海底面まで露出している場所が、近年様々な海域で多数発見されている。そのような蛇紋岩化かんらん岩がODP Leg 209(MAR 15°20'N掘削)にて採取された。主研究者を含む乗船研究者は、その航海の事前調査及び船上での予備的分析において、この地域の上部マントル物質(かんらん岩)は、中央海嶺系では最も玄武岩成分に枯渇していること(spinel cr#~0.6)を明らかにした(ODP Leg 209 Preliminary Report)。そのような玄武岩成分に枯渇したかんらん岩は、既存の研究からは沈み込み帯の特に伊豆~マリアナに代表される前弧域にのみ知られており、スラブから放出された含水流体が加わることでより部分溶融程度が進んだマントル物

質であると考えられていた。この航海における結果から、中央海嶺系および沈み込み帯の上部マントルでの既存のマグマ活動モデルとは異なるリソスフェリック・マントル(最上部マントル)の多様性が示唆された。

このようなリソスフェリック・マントルの多様性を理解する一環として、世界で最もマグマ成分に枯渇していると言われている沈み込み帯、特にマリアナ前弧域に産するかんらん岩試料の詳細な記載、更に記載岩石学的手法を組み合わせたin situ化学組成分析を始めている。現段階では、最も玄武岩成分に枯渇していると言われていた前弧域のマントルかんらん岩にも、レゾライト~ハルツバージャイとまでの多様性があり、枯渇度に差があることが分かった。

13) 地震発生帯および沈み込み帯浅部での地殻応力計測手法

本研究課題は、平成15-17年度の3カ年の研究期間内に地震発生帯や沈み込み帯浅部(10 km未満)を対象とした深海掘削に適用できる地殻応力の測定手法を確立すると共に、陸上での断層掘削や洋上におけるライザー掘削船「ちきゅう」の慣熟掘削サイトでの適用により、地震断層近傍あるいは沈み込み帯での地殻応力の特性を把握することを目的としている。本研究の目指している具体的な目標は、①各種既存の地殻応力計測手法を調査し、地震発生帯や沈み込み帯浅部(10 km未満)を対象とした深海掘削に適用できる手法を絞り込み、②大深度条件に適用しやすい、掘削コアを利用した測定手法を確立して計測システムの構築・製作を行い、③陸上での地震断層掘削や海上での「ちきゅう」慣熟掘削サイトでの適用により、地震断層近傍あるいは沈み込み帯での地殻応力の特性把握に資する重要な資料を得ることである。

平成15年度は、改めて文献等の調査を実施して、既存の諸地殻応力測定法の全般に関してとりまとめを行い、問題点の抽出や掘削船「ちきゅう」による南海トラフ掘削を想定して、応力計測計画を戦略的に立案した。また、非弾性ひずみ回復(Anelastic Strain Recovery, ASR)法の高精度な計測システムを構築して、システムの動作確認や、連続計測におけるひずみの測定精度やシステムの安定性などを室内予備実験で確認した。

平成16と17年度は、応力計測結果の信頼性を向上

させる目的で、ASR法の結果とのクロスチェックを行うために、深海研究部所有の高圧容器(最大200MPaまで)を機能拡張し、ASR法と異なる測定原理に基づくDifferential Strain Curve Analysis(DSCA)法の実施ができるようにする。また、台湾で行われているチェルンブ断層掘削計画や「ちきゅう」の慣熟掘削で得られるコア試料を用いて、実戦的にこれらの手法を適用して、応力の計測を行う予定である。

(5) 共同研究

1) 千島海溝の巨大地震の基礎的研究 -地震波・津波解析による-

本研究では、北海道大学大学院理学研究科、産業技術総合研究所活断層研究センター及び東京大学地震研究所と共同で、千島海溝で発生したM8クラスの巨大地震の破壊過程を地震波解析・津波解析を用いて明らかにする。具体的には、1973年根室半島沖地震(M7.4)、1969年北海道東方沖地震(色丹沖、M7.8)、1958年択捉島沖地震(M8.0)、1918年9月7日(M8.0)、11月8日(M7.7)及び1963年(M8.1)にそれぞれ発生したウルフ島沖地震の大地震、そして、特異な津波地震と認識されている1963年ウルフ島沖地震の最大余震と1975年の国後島沖地震(M7.0)の破壊過程を明らかにし、最終的に千島海溝南部のアスペリティマップを作成することを目的としている。

今年度は、平成15年9月26日に発生した十勝沖地震(M8.0)の地震波・津波記録の収集、波形解析及び、津波痕跡高調査を実施し、多数の報告書及び国際学術誌にそれぞれの結果を投稿した。現在までの解析・調査結果によれば、今回の十勝沖地震の破壊域は、広尾沖、すなわち釧路海底谷の西側にのみ限られている。一方、1952年十勝沖地震(M8.1)の破壊域は、広尾沖から釧路海底谷の東側の厚岸沖まで広がっていたことがほぼ確かめられた。したがって、今回の十勝沖地震は1952年の破壊域の西側半分だけ破壊した可能性が高い。言い換えるなら、今回の十勝沖地震のアスペリティは広尾沖に1つだけであり、1952年十勝沖地震は広尾沖と厚岸沖にそれぞれ1つ(合計2つ)であったことが明らかになった。なお、今回の十勝沖地震の解析は当初の計画には含まれておらず、当初計画に比べほぼ1年ほど遅れている。

2) 光地震計の低周波対応改善に関する研究

本研究は、沖電気工業株式会社を相手方として実施された共同研究である。センサ本体に電源を必要としない光地震計について、自然地震観測センサとしての実用化に必要な低周波応答改善の方法を検討することを目的として実施された。平成14年度より、(1)センサの改善、及び(2)長距離伝送での信号劣化の問題、の双方について研究を継続し、平成15年度には、その方式についてのまとめを行った。センサについては、実験で用いた金属平板等の復元力を持つ震動方式を採用することが最も望ましいことが確認された。また、内部に電源を供給できる場合には速度計として用いることが可能であるが、電源を必要としない現行方式を継続する場合、適当な減衰方式を見いだすまでに至らず、現行通りの加速度センサを用いることが妥当であるとの結論を得た。また、PGC方式或はATAN方式どちらを採用するかという議論に関しては、ATAN処理が思ったほど信号改善に寄与しないことも分かり、PGC方式が現状で妥当であるとの結論に達した。長距離伝送については、種々の光アンプの中で、非線形誘導ラマン散乱を利用するラマンポンプが非常に効果的な入射光エネルギー増幅に役立つことを確認できた。センサが加速時計のため、本来の研究目的である低周波応答の改善のためには、センサ信号系の信号雑音比を改善すること、低周波信号に特化したセンサを開発すること、そして電源を要しない減衰系の製作が必要であることが結論として導かれた。本研究成果として、本共同研究実施期間である3年間に、国際学会で3回、国内学会で2回の研究発表、そして英文論文2編、和文論文2編、特許2件となった。今後、適当な時期に研究を再開したいと考えている。

3) 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

本研究は、平成13年度から3年計画で、日本原子力研究所、日本海洋科学振興財団と共同で実施したものである。海洋放射能測定用検出器を搭載した無人潜水機器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海洋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した。

平成15年度は、その最終年度として、潜水船での観測を継続して、 γ 線異常と海底活断層の挙動との関連を考察した。また核種測定のために導入した検出器の検定等を実施した。

南海トラフの湧水域では、局所的に γ 線計数率が周囲よりも2桁程度高い地点が発見されている。この場所では、東京大学海洋研究所による移動式 γ 線計測装置でも測定が行われ、本研究と整合的な結果が得られている。また総計数率が高いほど、U/Th比も大きい傾向が見られたが、断層活動に伴ってマイクロクラックが形成されると、U系列の濃度が高まることが知られており、本データもこれに対応して海底下のクラック形成を示唆している可能性がある。この他、インドネシア・スマトラ島に発達するスマトラ断層付近でも、平成14年「しんかい6500」および調査船「よこすか」を用いてジャワ島南方の総合調査により、湧水域で最大で総計数率160 cpsに達する異常が観測された。

以上等の得られた結果について、他の2研究機関と共同で報告書を作成し、日本原子力研究所からの刊行物(JAERI Report)として出版すべく準備中である。

3者による共同研究を行うことにより、最近海外でも注目されているTh等の放射性核種の河口域や冷湧水域における濃度と拡散状況について詳細なデータを得ることができたほか、検出器の運用、データ解析、解釈についても我が国の主要研究機関で統一の見解をうち立てる事が出来る等、重要な成果を得ることができた。

4) 掘削孔地震・地殻変動観測における掘削孔の挙動評価

本研究は、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東京大学地震研究所と共同で研究を行った。

今年度は昨年度までに開発した海底水圧計を三陸沖海域に設置されている孔内観測所の直上に設置、1年以上に渡る長期観測を開始した。また、同時にこの孔内観測所での地震・傾斜の長期観測もおこなった。三陸沖の孔内観測所では2001年に本格的な観測を開始してから地震および傾斜観測データの蓄積を進めており、今回これに海底水圧のデータが加えることができ

た。本年度の観測は6月から海底水圧の計測を開始し、10月に孔内観測所からのデータ回収とともに水圧観測のデータも回収した。海底水圧観測および孔内地震観測は10月以降も続けており、平成16年度にデータの回収を予定している。この間、宮城県北部地震や十勝沖地震などの大きな地震が発生し、特に十勝沖地震では大きな津波を三陸沖の孔内観測所でも観測した。また、本年度のデータ回収以降であるが、福島県沖で10月末に大きな地震が発生しその影響も三陸沖で観測できているものと考えられる。また、三陸沖の他には、本年度5月にフィリピン海の孔内地震観測所からデータの回収に成功した。今回観測した海底水圧観測と孔内観測のデータを組み合わせることで、掘削孔の海底の圧力変動・潮汐等に対する応答を評価した。広帯域地震計と水圧比較からは、津波および潮汐ともに、孔内の上下変動に及ぼす水圧変化の影響は比較的小さい結果が得られた一方、傾斜変動には無視できない影響が見られ、水圧に対する堆積層の変形を正確に評価することの重要性が示唆された。また、大地震時の傾斜ステップの評価を行った結果、孔内に大振動があった場合にセンサー近傍の流体の移動によって地殻変動観測には無視できない影響がでる可能性が認められた。このことは、地震発生帯での海底地殻変動観測のデザイン上、今後の研究開発を通じ解決すべき課題であると考えられる。

5) 南海トラフ沈み込み帯における長周期海底電磁気観測

本研究では東京大学地震研究所と共同で、沈み込むフィリピン海プレートの電気伝導度構造を解明するために、海底長期電磁気観測を実施した。平成15年度5月には平成14年度に熊野灘に設置した海底電位差磁力計2台の回収を実施し、これに成功した。取得された約6ヶ月間の電磁場変動にはノイズも少なく、良好なデータであることが確認された。データを解析したところ、沈み込むフィリピン海プレートの極浅部は低比抵抗であるが、深さ10-70 kmの部分は高比抵抗であること、さらにその下には低比抵抗層が分布することが分かった。このことから、沈み込むフィリピン海プレートの海洋地殻部分には流体の存在が示唆されるが、海洋マントル最上部は流体を余り含まない状態であることが示唆される。また深さ100 kmより深い部分には流体や部分熔融を含むような状態のマントルが示唆さ

れる。今後、陸域の電磁場データと組み合わせて詳細な構造解析を進めることによって、これらの比抵抗構造の特徴と地震発生帯の対比が進み、地震発生メカニズムを議論することが可能となると考えられる。

6) 南海トラフにおける海底微細構造の探査

南海トラフには海底活断層が顕著に発達し、地震活動との関連で詳細は調査が急務となっている。本研究は東京大学海洋研究所との共同研究で、同研究所が所有する高分解能海底微細構造探査システム、ならびに開発中の高精度位置制御式採泥システムを用いた探査を南海トラフで実施し、得られたデータの解析と試料の分析を行う。南海トラフにおける活動的な構造運動によって形成された微細な変動地形を高分解能でイメージングし、それらを構成する物質の詳細な分析・解析から、活断層の広域分布図の作成と活動履歴の解明を行うことを目的としている。

平成15年度には、東京大学海洋研究所と共同で調査船「かいよう」を使い初めて高精度位置制御式採泥システム(NSS)の試験・運航を行い成功をおさめた。このシステムは自航式ブーイに柱状採泥装置が装着されており、ブーイのビデオカメラにより目標とする地点の海底をリアルタイムで観察し、試料を正確な場所で採取できる。南海トラフ東海沖で航海をおこない活断層のごく近傍で柱状堆積物を採取することができた。この堆積試料の解析の結果、異常な物性値を示す層準が発見された。これは急激な堆積を示し、断層が活動した時期、すなわち地震が起こった時期に堆積した「イベント堆積物」である事を示唆している(図14)。現在この層準の年代を検討する事により、活断層の活動時期を推定しようとしているが、こういった方法により、将来巨大地震が想定されている海底活断層の示す変位量や再来周期を明らかにすることができる。

(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

平成11年度より文部科学省より科学技術振興調整費として委託を受け開始した「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

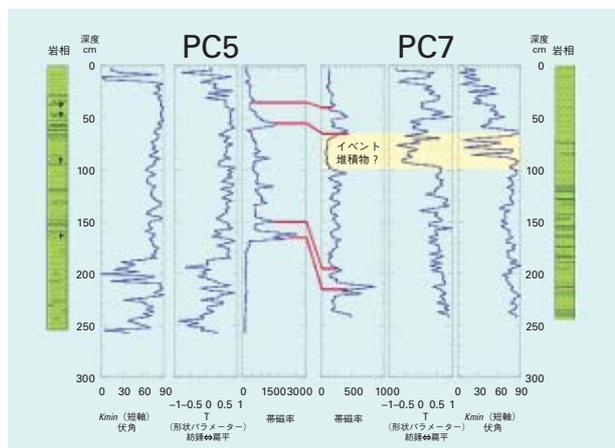


図14 東海沖活断層近傍で採取された帯磁率異方性に見られる粒子ファブリック。黄帯の層準が急激に堆積した「イベント堆積物」と考えられる。

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、第二期総合研究「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」の中の「雲仙火山および島原半島の火山発達史および3次元構造モデル化の研究」で、上記の地下マグマの物理的性質を取得することを目的として、本研究が継続された。

本研究の目的のためには、掘削及びその掘削孔と地震波を利用することが必要である。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平成14年度の成果を受け、平成15年度には、実際の調査を実施した。伊豆大島で用いられた実績から、その成功時と全く同様な方法でエアガンピットを建設し、調査を開始した。しかしながら、本年度実施の調査では、掘削孔口の極近傍に設置した震源用のエアガンピットに障害が発生し調査を完了することはできなかった。しかし、平成16年度の再調査に必要な調査目的の再確認及び調査方法に関する検討を加え、平成16年度に探査を延期した。ピットの問題を調査したところ、ピットの崩壊の様子から、ピット周辺の火山性碎屑物が想像された以上に軟弱であったこと、ピットと周辺地盤とのカップリングを改善することで防げるのが結論として導かれた。そのため、コンクリートによるセメンティングを広くとることでピット自体の浮力を減じ、かつ周辺に鋼線を用いた根を張ることでカップリングを改善する方針とし、平成16年度に備えることとした。

2) 熱流量・電磁場当の観測による熱水循環系の温度・流れ場分布の研究

本研究は、文部科学省からの受託を受け(科学技術振興調整費による)、平成15年度から2年計画として開始された。海底熱水活動の規模・様式を10-100 mスケールで把握するために、海底面で熱流量および自然電位観測を実施し、別途実施される熱水湧出速度計測とあわせて統合的に解析することにより、地下の熱水溜まりや流体の流動を推定する。このために、海の熱水域において潜水調査を実施する。熱流量・電位差観測とも、単独では地熱地帯や熱水域の調査に用いられているが、これらを同時に解析することで、新たな地球物理学的な探査方法の構築を図り、地震学および電磁気学的に描かれる構造とあわせて、最終的に海底熱水循環系の物理環境のイメージングを行うことを目標とする。

平成15年度は、第1期(平成12-14年度)での成果を踏まえ、観測実績のある水曜海山熱水地帯での熱流量測定を継続しつつ、電位差計測の手法の確立と機器の導入を行う。その上で実際に観測を実施し、同時に統合モデル作成の準備を行う。このために、必要な機器を導入し、12月に海洋科学技術センターの調査船「なつしま」およびROV「ハイパードルフィン」による調査を水曜海山で実施し、必要なデータを得た。

- 熱流量測定：水曜海山カルデラ熱水地帯において、これまでに得られた熱流量分布41点を補完すべく、調査航海で熱流量測定を実施し、11点の熱流量データを得た。横方向に1-2 mの局所的な対流、および10-20 mスケールの対流が存在することが確認された。
- 自然電位分布測定：平成15年度には、海底下の熱水循環に伴う自然電位異常の検出を行い、熱水循環に関する情報を得る目的で、新たに海底自然電位測定装置の試作を行った。本装置が正常に動作することを、浅海域で確認した。また水曜海山熱水地域において熱水の湧出に伴うと思われる自然電位異常の検出に成功した。
- 熱水の温度・流れ場モデル構築：水曜海山カルデラ熱水地帯の温度・流れ場構造を、熱流量データ等から推定した。また海底下の熱水循環や地下水流動がどの程度の自然電位異常を作り出すかに関して、流体流動と電場発生モデルの統合化を試み、これに成功した。これらのモデル解析の進歩により、熱水循環地域での「流れ場-温度-自然電位」の3者を組み合わせたモデル化が今後可能となる。

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、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、海洋エネルギーや海洋深層水などの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) 海洋機器用構造部材に関する研究

電子機器を海水及び水圧から保護するための耐水圧容器を軽量化することは潜水機を開発する上で重要な位置にある。現状のチタン合金製の耐圧容器よりも比強度の高い素材について研究開発する。

本年度は、比較対照用基準材(Ti-6V-4Al合金)、及び選定した数種の候補合金について材料特性評価試験を実施した。この結果、試験片段階で、新チタン合金で比強度1.25倍を達成した。

(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、動力源の効率を上げるための研究を進めている。本年度は、効率を上げるために燃料電池の構成部品であるセパレータの導電率の向上と、薄型化のために、セパレータをチタン材で試作し実験を行った。(図1)また、これら进行评估するための評価ベンチの製作を開始した。



図1 チタンセパレータを用いた燃料電池セル

(c) 水中音響技術に関する研究

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。本年度からは第二期として、より高速な通信の実現を目指した研究を行う。無索無人探査機の制御のための画像伝送や、海底設置型の地震計等大容量のデータの転送に応用することを目的とし、数百mの伝送距離において、64 kbpsの伝送速度を目標とする。

広い伝送帯域を確保するため、100 kHzの周波数を用いて通信を行うことを検討した。この周波数では海水による吸収減衰が大きいため、通信距離は短くなるが、伝搬遅れも小さくなるため、無人探査機の制御にとって応答が良くなる。また、無索であることから探査機の良好な運動性能が確保できることが期待される。

本年度は、実海域実験用の試験装置を製作するための部材を購入し、組み立ておよびプログラムの作成に着手した。また、高周波数用の送受波器を製作(図2)し、超音波水槽において特性試験を行った。

次年度は、実海域において伝搬データを取得する予定である。

(d) 計測およびセンサ技術に関する研究

現在、地球規模の変動を予測するために北極域での調査・観測が進められており、北極の氷原下を観測する有効手段として、自律型無人潜水機(AUV)を活用する手法が考えられる。この手法では、AUVが数千kmにわたり自律航行する必要があり、GPSを使用することが出来ない海中においてこれを実現するためには、自己の位置を把握するためのセンサが必要となる。



図2 高周波用送受波器（帯域80～120 kHz）

本研究では、AUV位置を計測するセンサとして光リングレーザージャイロ(RLG)および加速度計を中枢として構成される慣性航法装置(INS)について、この性能を向上させることを目的とする。平成10年度～平成14年度においては、ミラー改良および光経路を拡大したRLGを製作し試験を実施した。その結果、RLGがもつRandom Driftが減少しINSの性能向上が確認された。平成15年度には、一定レートで回転する回転台上にINSを搭載し、RLGを回転させることによりLong Term Driftをキャンセルさせる試験を実施した。その結果、INSがもつBias Drift誤差の軽減による性能向上が確認された。

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20 km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[図3])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15年度は、飛行船側の要求に従い、昨年度に製作した大気採取測定システムの動作時間延長のため



図3 大気採取測定システム



図4 成層圏滞空試験打ち上げ風景

めの改造を行い信頼性試験を再度行った。大気採取測定システムを飛行船に搭載し、実際の打ち上げを模擬した訓練を行った。8月4日に成層圏滞空試験を実施した(図4)。

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3,500 mまで潜航可能で、3 knの巡航速度で300 kmの航続距離を目標とする。機体は抵抗を小さくするため、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、光リングレーザージャイロ、ドップラ速度計などを組み合わせた。また、海中でデータ採集や観測作業を行うため

表1 自律型無人潜水機試験機 主要目

Dimensions	Length	10.0 [m]
	Width	1.3 [m]
	Height	1.5 [m]
	Weight	10 [ton]
Maximum Range (Plan)	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 Velocity Log	
	Homing Sonar	
Operation Mode	Autonomous	
	Remote (Optical, Acoustic)	
Equipments	Side Scan Sonar	
	Snap Shot Digital Camera	
	Forward Looking Sonar	
	CTDO (Conductivity, Temperature, Depth, Dissolved Oxygen)	



図5 自律型無人潜水機試験機 外観

にセンサやサイドスキャンソナーなどを機体に搭載して、海洋データ取得や海底調査を行うことができる。表1と図5はそれぞれ試験機の主要目と外観を示す。

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15年度は、水素と酸素ガスを使用する燃料電池システムを搭載して実海域で計5回の潜航試験を実施した。その結果、燃料電池システムによって7時間の航行を行い、計画通りに作動することを確認した。図6に燃料電池搭載時の一般配置図を示す。平成16年度以降、300 km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。

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部において実施していた「マイティーホエール」プロトタイプ(長さ50 m、幅30 m) (図7)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、昨年度実施した「マイティーホエール」プロトタイプ浮体部の撤去・解体に引き続き、実験海域海底に留め置かれていた係留システム(係留チェーン及びアンカー) (図8)の撤去工事を平成15年6月から7月にかけて実施した。(図9)撤去工事時に採取

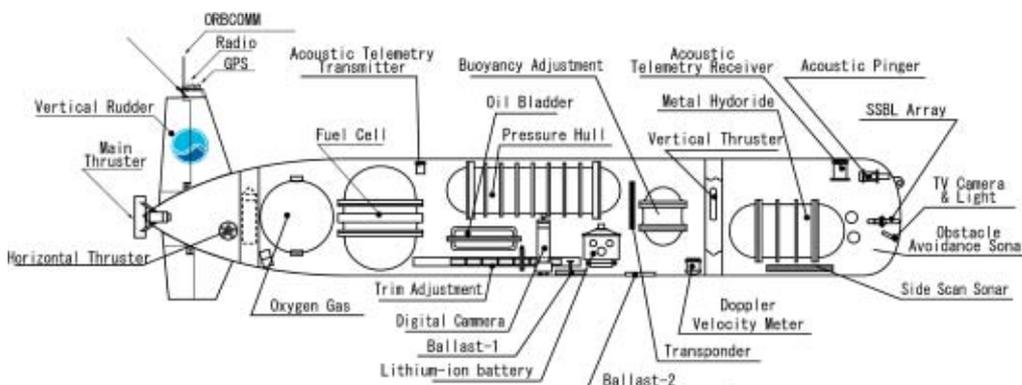


図6 自律型無人潜水機試験機 一般配置図(燃料電池搭載時)



図7 沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」

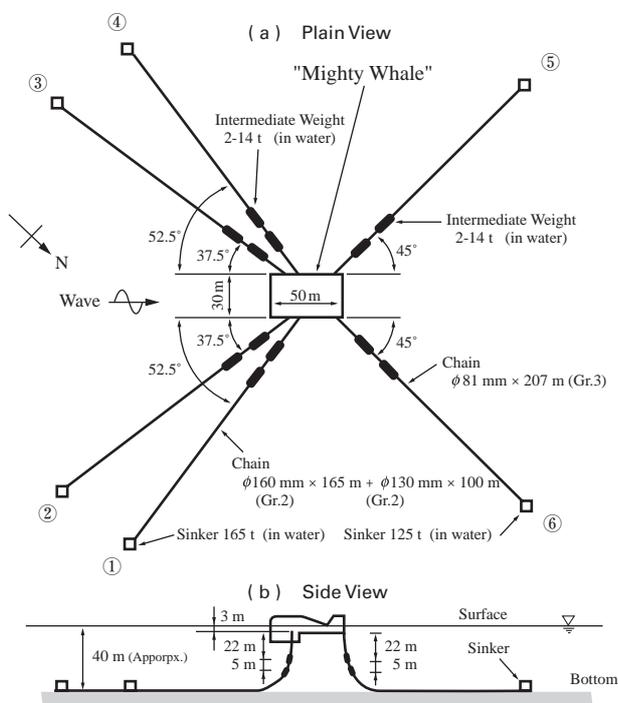


図8 「マイティーホエール」係留システム



図9 実験海域海底から引き揚げられた係留チェーン

したチェーンのサンプルを用い、係留システムの耐久性を評価・検討するための各種試験を実施した。

また、本年度はプロジェクト最終年度であり、実海域実験やそれに付随する各種試験の結果を総合し、最終的な研究成果のとりまとめを行い、報告書等を作成した。

5) 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年度から

静岡県では、駿河湾における海洋深層水の有効利用事業を進めている。本研究は、当事業計画の効率的な推進および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した。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った。

海洋深層水の取水施設が静岡県により平成13年9月に整備され、これ以降、汲み上げ深層水(深度：397 m, 687 m)および表層水(深度：24 m)について継続的な水質調査を行っている。

平成15年度は本プロジェクト研究の最終年度として、この取水施設で汲み上げた海水について、水温、硝酸塩、懸濁粒子および溶存有機炭素を調べた。その結果を図10に示す。

水温については、表層(24 m)水では変化の範囲が大きい、これに比べて深度397 m水では平均9.4°C(最高11.4°C、最低8.1°C、n=44)、深度687 m水では平均7.1°C(最高8.5°C、最低6.5°C、n=44)であり、周年比較的安定して低温であった。

硝酸塩については、深度397 m水では平均26 μM(最高30 μM、最低21 μM、n=37)、深度687 m水では平均33 μM(最高36 μM、最低31 μM、n=34)であり、周年比較的安定して高い濃度であった。

懸濁粒子については、大雨による河川からの懸濁物質の供給増大のために、突発的に高濃度になることがあった。このような高濃度(2 mg・L⁻¹以上)の値を除くと、深度397 m水では平均1.0 mg・L⁻¹(n=39)、深度687 m水では平均0.4 mg・L⁻¹(n=42)であった。海洋深層水利用という観点では、深度397 m水の値はやや高いといえる。

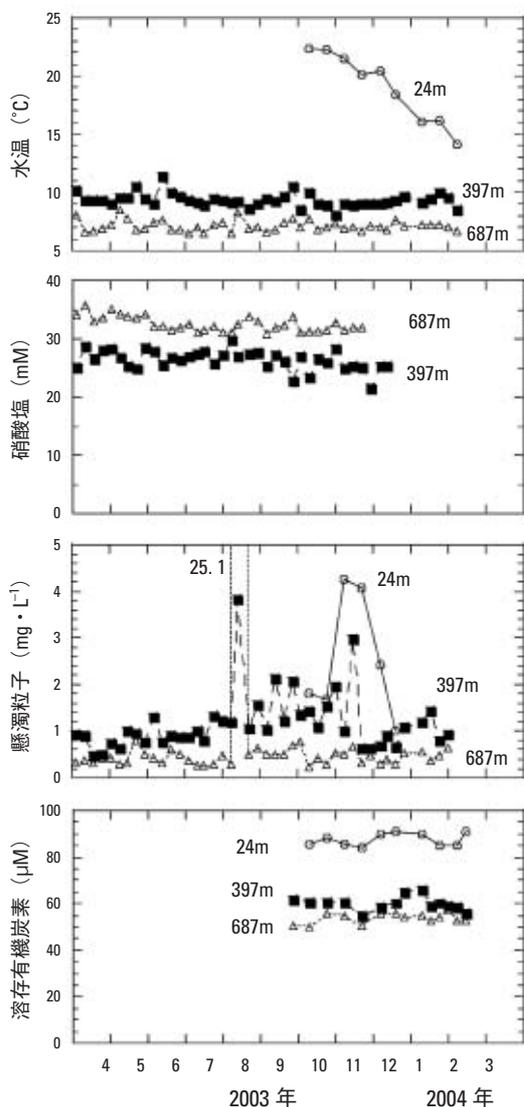


図10 静岡県の海洋深層水取水施設で汲み上げた深度24 m、397 mおよび687 mの海水の水温、硝酸塩濃度、懸濁粒子濃度および溶存有機炭素濃度の周年変化

溶存有機炭素濃度については、表層(24 m)水では平均 $87 \mu\text{M}$ (最高 $91 \mu\text{M}$ 、最低 $84 \mu\text{M}$ 、 $n=9$)とやや高かったが、これに比べて深度397 m水では平均 $60 \mu\text{M}$ (最高 $66 \mu\text{M}$ 、最低 $55 \mu\text{M}$ 、 $n=13$)、深度687 m水では平均 $54 \mu\text{M}$ (最高 $58 \mu\text{M}$ 、最低 $50 \mu\text{M}$ 、 $n=13$)であり、周年安定して低い濃度であった。

これらの結果から判断すると、静岡県の取水施設で汲み上げた海洋深層水の特長としては、水温は低温で周年安定しており、栄養塩(硝酸塩)は高濃度で周年安定していることが分かった。しかし、清浄特性に係わる懸濁粒子については、深度687 m水については比較的低い値であったが、深度397 m水についてはやや高く、利用分野によってはろ過処理が必要になる。なお、深

度397 mと687 mの水については溶存有機炭素濃度が低いので腐敗しにくい水であると考えられる。これらのことから、深度397 mの水については、ろ過処理によって懸濁粒子を除去すれば良質な水になるので、静岡県が運用している海洋深層水取水施設に関する提言として、取水施設にろ過装置を備え、分水する海洋深層水の用途によってはろ過処理を施すことが望まれる。

6) 内湾環境修復の研究

期間：平成13年度から

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。

第1回目の海域実験が長崎県琴海町(形上湾北端部)において平成15年1月から開始され、今年2月まで継続的に気象や水質、底質、生物の調査が行われた。

その結果、実験区では養殖筏が沈むほどにカキが丸々と大きく成長した(図11)。

実験区の海底近くの溶存酸素濃度を7月初旬から10月初旬にかけて連続して計測した結果、溶存酸素濃度の平均値は 6.4 mg/l (目標値は 4.3 mg/l 以上)と良好に維持されていた(図12)。一方、形上湾の南端部で行われていた通常のカキ養殖場では今年ほとんどのカキが死滅し収穫には至らなかった。

今回の結果から「内湾の持続的利用と環境修復は両立できる」という仮説を検証できる見通しが得られた。

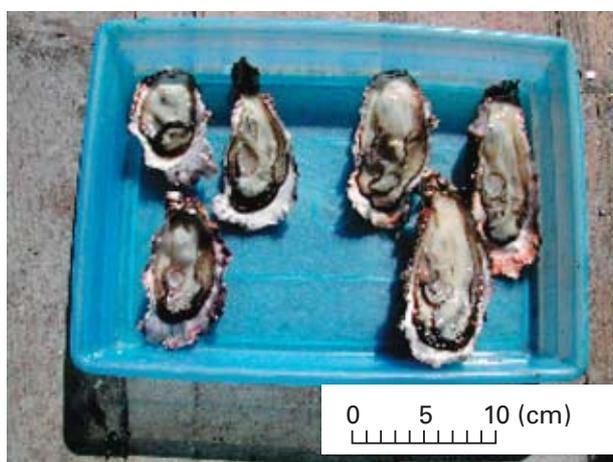


図11 実験区で育ったカキ(右)と通常養殖ガキ(左)。身の大きさに明らかな違いが見られるだけでなく、実験区で育ったカキ(右)は白い部分(グリコーゲン)が大きくくまみが増すといわれている。

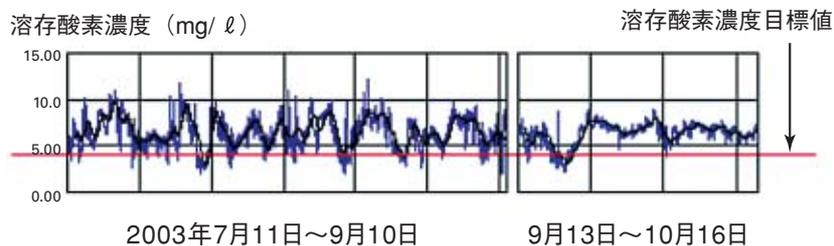


図12 実験区海底直上の溶存酸素濃度連続測定結果

(3) 特別研究

1) 氷海域及び深海底調査用無人探査機の研究

期間：平成15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。

本年度は、自律して作業するために最適な制御プラットフォームを開発し、ハードウェアを試作した。(図13) また、それを制御するためのソフトウェアを製作し、実海域で潜航試験を行った。(図14) 加えて、小型で安価なARGOS/GPS無線通信装置を試作し試験を行った。



図13 制御プラットフォーム用ハードウェア試作品



図14 海域試験風景

(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DSPを用いたフィルタバンク型受信装置を設計・試作した。電磁パルス発生装置(図15)を製作した。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により海底下の伝播シミュレーションを行った。



図15 電磁パルス発生装置と受信アンテナ

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

有人潜水船や深海無人探査機の運動性能向上やペイロード確保のためには、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。

本研究ではエンジニアリングセラミックス製の中空体を、軽比重・高強度浮力材として用いることを目的とする。エンジニアリングセラミックスは、その材料特性から深海用耐圧容器の材料として古くから検討対象となっていたが、セラミックスが持つ脆さの壁に阻まれて活用は進んでいない。

平成15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た中空球体の製作や、小径球体に対する形状測定方法の検討を行った。また本試作球と約20年前に製作したセラミックス球体の製作精度を比較し、形状歪みが大幅に改善されていることを確認した。また、この結果を基に製造工程の改良点について検討した。

3) 位相共役波による水中音響技術の研究

期間：平成15年度から

平成15年度は、まず、位相共役波の基本的な特性である収束特性を把握するためのシミュレーションと水槽試験を行った。

シミュレーションは、水深100 m程度の浅海域について検討し、下記のような特性があることが判った。

- (i) 水平方向数千mの長距離においても位相共役波が焦点に収束し、所望の波形を焦点で受信できること。
- (ii) 送受波アレイの素子数を減らしても位相共役波の収束性は大きくは崩れないこと。
- (iii) 送受波アレイが傾斜したり、上下してもその収束性は大きくは崩れないこと。
- (iv) 海底に設置するような水平のアレイでも位相共役波を発生させることが出来ること。
- (v) 伝搬路の音速分布が一様でなくても位相共役波は収束すること。
- (vi) 伝搬路の音速分布が変化しても収束性は大きく崩れないこと。

また、音速分布が一様な浅海域を模擬した水槽試験を行い、位相共役波によって実際に音波を収束させることが出来ることや、上記の(ii)、(iii)などの特性を確認することが出来た。

4) プロトタイプ合成開口ソナーによる実証的研究

期間：15年度から

合成開口ソナーとは、目標からの反射波を移動しつつ何度も受信し、仮想的に長いアレイを合成することで、飛躍的に高い解像度の海底画像を得るソナーである。このソナーは遠距離でも近距離と同等の解像度が得られる事から、実現すれば大水深における海底調査の効率が飛躍的に向上する。

本研究はこれまで行った基礎研究の成果を踏まえ、潜水機などに搭載可能なプロトタイプ合成開口ソナーを試作し、それを用いて実際に海底面走査を行ってデータの収集をする。このデータを基に、ソナー構成機器に必要な性能や、潜水機の動揺がソナーに与える影響とその補償方法を検討し、合成開口ソナー実用機の製作に向け実証的な研究を行う。

本年度はソナー動揺の影響を補償するプログラムの製作と補償シミュレーション、およびプロトタイプの概念設計を行った。

5) 技術試験衛星VIII型を利用した深海巡航探査機

「うらしま」の情報伝達

期間：平成15年度から

技術試験衛星VIII型を用いると、浮上中の深海巡航探査機「うらしま」と陸上設備、または母船と陸上設備の間で、圧縮画像の伝送等の高速な通信が実現できる。しかし、「うらしま」に搭載できるような小型で耐圧性能を有する、衛星追尾型のアンテナは既存しない。本研究では、搭載に最適なアンテナと追尾装置を研究開発し、実際に「うらしま」に搭載し試験を行う。

本年度は概念検討を行い、技術試験衛星VIII型を利用する場合の無線回線設計を行った。また、アンテナのプロトタイプ(図16)を製作し、伝播暗室において特性試験を行った。

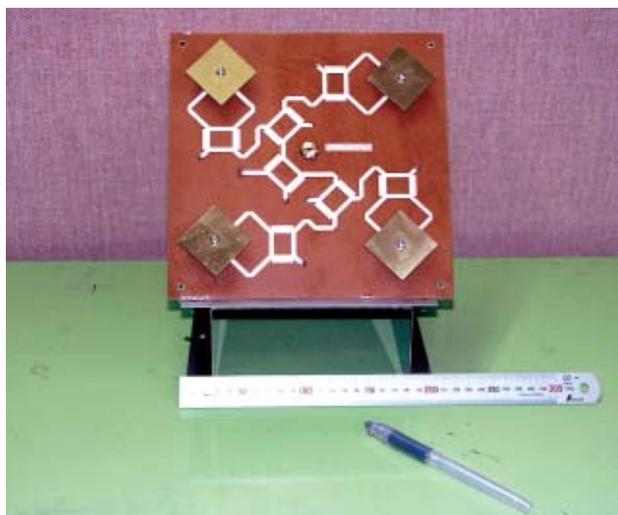


図16 アンテナのプロトタイプ

6) 熱水噴出域における熱伝変換技術を用いた電源装置の研究

期間：平成15年度から

熱エネルギーを直接電気エネルギーに変換できる熱電変換素子を用いた熱電変換技術は、深海における観測機器への電力供給手段として有用な技術であると考えられる。そこで本研究では、熱電変換技術の深海、特に熱水噴出域への応用を考え、現在の熱電変換技術に関する調査検討を行った上で、水中かつ高圧下という厳しい深海環境における利用技術を開発する。平成15年度は、既往の熱電変換技術に関する調査検討を行った。

(5) 共同研究

1) 海洋深層水の産業利用に関する研究

期間：平成13年度から

本共同研究は、様々な分野での海洋深層水の機能を引き出すとともに、海洋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した。さらに、これらにより、海洋深層水の基礎的知見に基づいた産業利用の促進を目指した。

本年度は、本共同研究の最終年度にあたり、各実施分野での海洋深層水の機能をまとめた。実施概要を以下に述べる。

我が国周辺海域の取水施設(富山県、静岡県、高知県、沖縄県及び、北海道熊石町)で汲み上げられる海洋深層水について、特に清浄性の観点から検討した。

その結果、懸濁物質、溶存有機物、粒状有機物、総菌数、生菌数、有害微生物およびダイオキシン類は濃度が低く、これらの海洋深層水は清浄であると評価された。

海洋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、仕込み試験を行なった。その結果、酵母の増殖が促進されることが示唆された。海洋深層水の成分によって特異的に増殖が早くなる酵母の存在も考えられ、今後はこのような酵母の探索が重要であることが指摘された。

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、殺菌作用等に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、海洋深層水を混合すると、薬用効果は低減したが薬物の苦味をマスキングする効果が認められ、海洋深層水をこの分野に有用に活用できる可能性が示された。

食品分野への海洋深層水利用の有効性については、第一に安全性(人為的汚染物質が非常に少ない)が重要視された。さらに海洋深層水中のマグネシウムを選択的に高めた飲料水を作成し、人の健康への影響を調べた結果、血中の中性脂肪の低下や血糖値の低下が認められた。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月発売)に活かされた。

水産加工分野については、海洋深層水から調製された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、また味においては旨味、甘味、塩カドの点で通常塩より好ましい品質のものが得られた。なお、好結果の因子解明が今後の課題になっている。

本共同研究の期間中に開発された製品は1種類であったが、他の研究課題についても製品開発の芽が育まれており、それぞれの分野で製品開発を達成するためには、さらに数年の期間が必要である。

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。

前年度に引き続き、ISFETの動作不良原因を調査したところ、半導体構造のベースとなるn型Siのシールド方法に問題があることがわかった。この対策としてはISFET製造工程においてシールド用マスクを追加することが望ましいと考えている。光センサについては光コネクタ、光ファイバーなど高圧下で使用する光学部品の特性試験を行うための装置を製作し、まずは、光コネクタ試作品について高圧下シールド性能が良好であることを確認した。現場観測は東大・生産技術研究所所有のAUV「r2D4」を用いて黒島海域にて、「ハイパードルフィン」を用いて鹿児島湾海域にて実施した。

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500 m以浅で変化が大きいため、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。

本年度は機体の製作、遠隔制御方式の検討を行った。製作した機体を用いてプールにて試験を行った。(図17)



図17 浅海用ハイブリッド型(AUV/ROV)無人潜水機のプールでの試験

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(現：独立行政法人 海洋研究開発機構)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、排出等の技術を確認することを目的とする。

本年度は、平成14年度に引き続き炭素系試料のガス吸着特性試験を実施した。また、試料を耐圧容器に収めた場合の特性を把握するための試験を実施した。

5) 深海微生物培養装置における耐熱培養槽に関する研究

期間：平成14年度から

深海微生物実験システムには、培養槽に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、高温域での耐久性や耐熱性、耐 H_2S 性等に問題があるため、現状では $150^{\circ}C$ 以上での培養は困難であった。本研究の目的は、高温域での培養でネックとなっている培養槽に着目し、 $300^{\circ}C$ まで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。

平成15年度は、平成14年度に引き続き、高温使用に耐えうると思われるゴム材料について、基礎試験($200^{\circ}C$ 、連続1週間の耐熱耐久試験)を実施した。試験後のゴム硬度、体積歪みの結果から $200^{\circ}C$ 程度までゴムベローズやOリングに適用出来る可能性があることが判った。この結果から詳細な材料試験を行う必要があると判断し、実験に必要な高温Oリング試験用装置(試験環境：最高温度 $300^{\circ}C$ 、試験圧力67 MPa)の設計製作を行った。

平成14年度に製作した改良型ゴムベローズ／ガラス内槽(ベローズ：バイトン製、蓋をステンレス製のランプ式に変更)について高温高圧試験(試験環境：温度 $150^{\circ}C$ 、試験圧力67 MPa)を実施した。

実験の結果、従来型に比べて実験後の蓋の緩みが少なく、良好な結果を得た。また、平成14年度「極限環境維持技術の開発研究」で製作したピストン式／チ



図18 ピストン式／チタン内槽

タン内槽(図18)について高温高圧試験(試験環境:温度150°C、試験圧力67MPa)を実施した。試験の結果、ピストンからバックアップリングがはみ出し、O-リングも破損・変形を起こしていた。トラブルの原因は、ピストン外径とチタン内槽の隙間が大きく、圧力差も加わって、O-リングがはみ出したものと推察された。

6) 光ファイバセンサアレイの研究

期間:平成15年度から

光ファイバは通信に用いられるだけでなく、陸上では温度センサ、歪センサ、ジャイロなど多くの分野でセンサとして利用されている。光ファイバは電氣的な誘導雑音の影響を受けないこと、長期的な安定性と信頼性が高いこと、細径で軽量であること、安定した温度特性を持つなどの優れた特徴を持つため、深海の特殊な環境化でのセンサとして、大きな可能性を持っている。また、近年発展してきた光波長多重通信技術や光増幅技術と組み合わせることにより、多くのセンサを海中に面的に展開し、空間分解能や感度を向上させること、複雑な電子回路は陸上に配置することにより、システム全体の信頼性を向上させることなどが可能となってきた。本研究は光通信系と組み合わせることで、海中で面的に展開することが可能となる光ファイバセンサのプロトタイプを開発することを目的としたものである。

本年度は、各種の観測方式の比較検討を行ない、光ファイバ伝送系との組み合わせが良い2周波干渉方式を用いた光ファイバセンサについて机上検討を行うとともに、主要機材を購入し、実験の準備を進めた。

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15年度ではプロジェクト研究4件、経常研究3件ならびに共同研究3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、船舶観測およびトライトンブイや中層ADCPブイによる係留ブイ観測と高解像度モデルを用いた数値実験を行っている。

平成15年度には、「みらい」航海2回、および「かいよう」、「よこすか」による航海を行い(表1)、トライトンブイや中層ADCP係留系の設置、CTD、XCTD、船舶搭載ADCPなどの海洋観測や大気観測を行った。また、トライトンブイの水温・塩分データの時間ドリフトについて補正法を確立した。これらの水温・塩分・流速時系列データや高解像度モデルから以下のような解析をすすめた。

西部太平洋の暖水プール域における研究関係では、まず、トライトンブイの時系列データから、ハルマヘラ渦海域における水温・塩分変動についてインドネシアボゴール農科大学および応用技術評価庁との共同研究をすすめた。図1から観測当初には躍層内に低塩分水が1ヶ月程度卓越している、この低塩分水は、このとき船舶ADCPのデータからハルマヘラ渦が弱くミンダナオ海流から分岐した北赤道海流が南遍しており、北半球起源の北太平洋熱帯水であると考えられ

表1 平成15年度プロジェクト研究「熱帯域における大気・海洋観測研究」にて実施の観測航海の概要

クルーズ番号	期間	船舶	寄港地	主な内容
MR03-K03	2003.6.7~7.30	みらい	Guam (米国)	トライトンブイ：7点設置
			ー 沖縄中城	8点回収
			ー プリスベン(豪州)	ADCPブイ：2点設置 3点回収
KY03-12	2003.10.30~11.29	かいよう	横須賀	トライトンブイ：3点設置
			ー コロール(パラオ)	3点回収
				ADCPブイ：2点設置 2点回収
YK04-02	2004.1.19~2.26	よこすか	Guam (米国)	トライトンブイ：6点設置
			ー Guam (米国)	7点回収
			ー 横須賀	ADCPブイ：1点設置 1点回収
MR04-01	2004.2.22~3.22	みらい	フリーマントル(豪州) ー 横浜	ドップラーレーダー等の定点観測

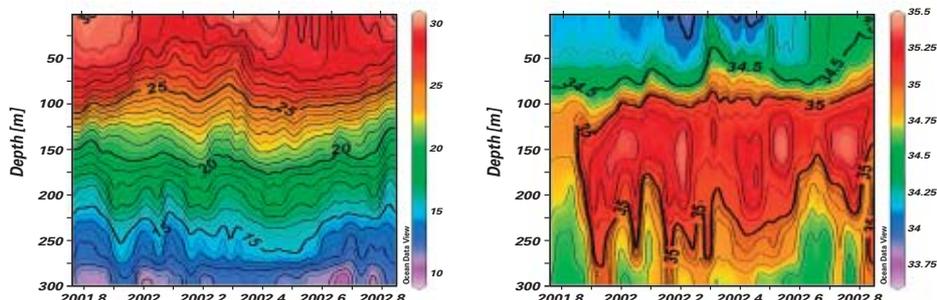


図1 ハルマヘラ渦海域北緯2度、東経130度のトライトンデータの水温-深度(左図)、塩分-深度(右図)。

る。その後、ハルマヘラ渦の強化とともに南半球起源の高塩分の南太平洋熱帯水が数十日の季節内変動を示しながらこの海域で卓越する。これは、西太平洋西岸境界近くでの南北両半球の海水の分布がミンダナオ海流やハルマヘラ渦により大きく変動することを示したものであり、これらが赤道潜流やインドネシア通過流の海水の形成に大きな影響を持つという意味で重要なプロセスである。

ミンダナオ沖の中層ADCPデータからミンダナオ海流の経年変動についての解析し、2002-2003エルニーニョの発達期にミンダナオ海流が発達していたことが示された。この他、トライトンブイデータとアルゴフロートデータの1ヶ月ごとの最適内挿法による水温・塩分のマッピングから赤道域の塩分変動や西太平洋での暖水蓄積の過程が抽出できることを示した。これらの結果は高解像度の数値モデル結果と矛盾しない。エルニーニョの発生・消滅に、西部熱帯太平洋における赤道域及び赤道外の暖水輸送の重要性が指摘されており、海面から水温20°Cの深度までを熱帯域の暖水の定義として、その時間変動を全球1/4度の解像度を持つ数値モデルの結果を用いて解析した。2002/03エルニーニョの発生以前には、フィリピン沖に顕著な暖水の蓄積が認められ、エルニーニョの発達とともに西部では暖水偏差は弱まり、赤道上を東部へ輸送される。フィリピン沖での暖水の時間変動(図2a)はラニーニャ期に蓄積、エルニーニョ期に減少することを示しているが、1997/98エルニーニョ終焉後から2002/03エルニーニョの発生までの期間は、過去20年間においてフィリピン沖で最も暖水が蓄積していた時期であった。この時期に、西部熱帯北太平洋の風応力の回転は顕著な負の偏差を示し(図2b)、さらに、風応力回転は同海域の海面水温変動と高い相関があ

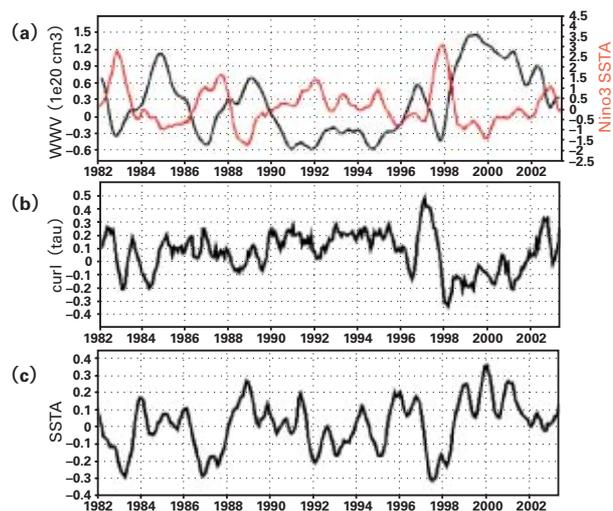


図2 (a) フィリピン沖(北緯8度~16度、岸~東経156度)の暖水量偏差(黒線)およびニニョ3海域の海面水温偏差(赤線)の時系列。(b) 西部熱帯北太平洋(北緯5度~15度、東経130度~170度)での風応力の回転、(c) 同海域での海面水温の時系列。

る(図2c)。このことは、西部熱帯域での局所的な大気海洋相互作用の重要性を示唆している。

この他、フランスのIRDのグループと中層ADCPデータ等から暖水プール域における表層海流の収束について解析した、また、ドイツのキール大学のグループとは、中層フロート、中層ADCP、船舶データ、モデル等を用いて南極中層水のニューギニア沖での経路について共同解析を始めた。

東部インド洋の暖水プール域の関係ではトライトンブイデータからその季節内変動や季節変動について解析をすすめる、そのシグナルに鉛直伝播がみられることを示した。また、IPRC(国際太平洋研究センター)のグループと季節内変動にともなう海洋表層の変化の特徴について解析を実施している。これらの研究を進展させていくためにも、今後とも長期に渡りデータ

を取得していく必要がある。

次に「みらい」による大気観測航海の結果について報告する。大気-海洋相互作用が活発な西部熱帯太平洋の暖水プール海域において、赤道季節内振動(MJO)に伴う100 km規模の雲群からもたらされる降水システムのメカニズム解明を目的として、「みらい」MR04-01観測航海(2004年2月22日に豪州フリーマントル出港、3月22日横浜港帰港)を実施した。この間、3月2日から14日までの12日間は北緯2度、東経138度の海域において定点観測が行われ、ドップラーレーダー、ラジオゾンデ、CTD観測などが行われた。

停船期間の後半にはMJOに伴う対流活発域が到達し、100 km規模に発達したメソ対流降水システムを多数観測することができた(図3)。図4はラジオゾンデにより求められた東西風の高度-時間断面(図4a)、上昇凝結高度(図4b)と可降水量(図4c)の時間変化を示す。MJOに伴う対流が近づくにつれ対流圏下層で西風が卓越し、さらに日変化を示しながら時間とともに凝結高度(雲のでき始める高さ)は低くなり、可降水量(大気に含まれる水蒸気量の総量)が増加している様子が明瞭に捉えられている。つまり下層収束により雲が効率よく生成され、海面付近の湿った空気が積雲対流により上空に輸送されていることがわかる。今後は個々の積雲対流の発達過程と一般場の関係や、積雲対流に伴う水・熱の再分配などに焦点をあてた解析研究を行っていく予定であり、MJOにおける個々の積雲対流の役割が明らかになっていくことが期待される。

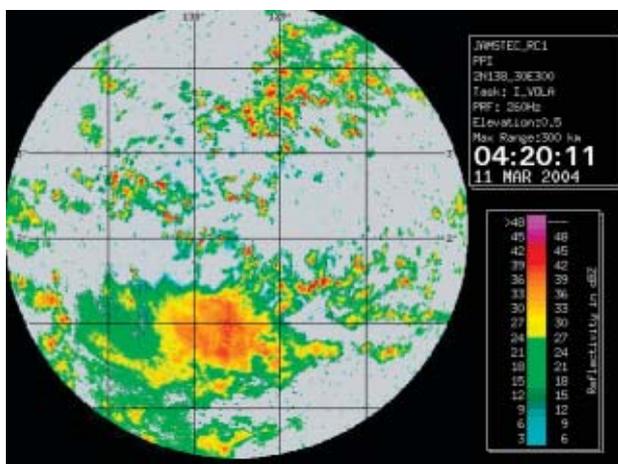


図3 2004年3月11日04:20UTCに北緯2度、東経138度にてドップラーレーダーにより観測された反射強度分布。

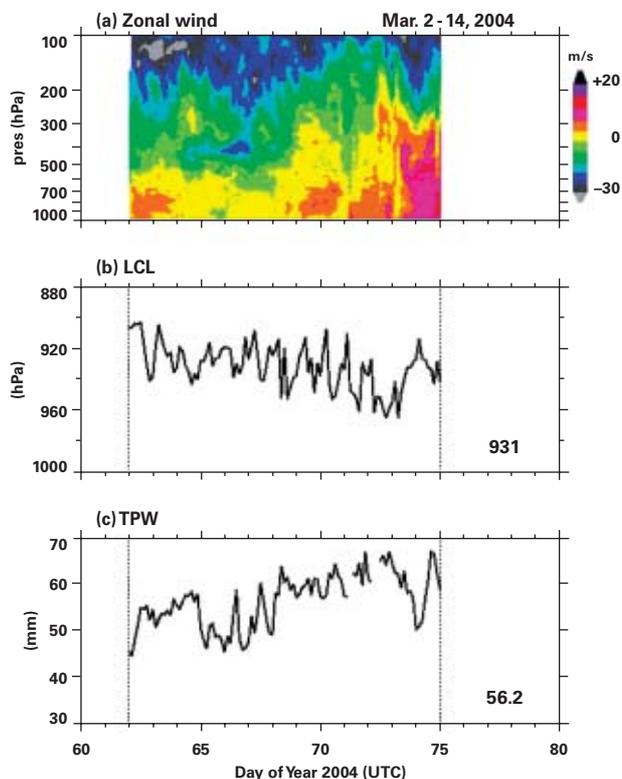


図4 ラジオゾンデにより得られた(a)東西風成分の高度-時間断面、(b)上昇凝結高度及び(c)可降水量の時間変化。(b),(c)中の右下の数値は期間平均値。DAY62が3月2日に当たる。

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

地球気候の決定、さらにはその変化に海洋が大きく関与していると言われて久しい。しかし、直接的に気候に関わる熱、栄養塩等の物質輸送量とその海域的な収束量およびその時間的な変動についてすら、実証的な定量化までに達していない。これは、気候変動としての地球温暖化の全球的な実態が不明であると同時に、特に熱、物質の移動について気候変動モデルの実証データが不在であることを意味しており、早急な対策が講じられるべき問題である。

本観測研究では、主要な大陸間高精度観測を実施し、大洋スケールでの貯熱量、溶存物質量の分布と表層、深層両循環によるそれらの輸送実態を解明する。その結果を、過去の観測結果と比較することから、10年以上の時間スケールを持った変動を明らかにする。また海域を特定した集中観測から、大陸間横断観測では捉えられないような、表層循環間での熱、物質輸送の実態、および、海盆間での深層水交換の実態を解明する。

(a) 太平洋横断・縦断観測

平成15年度には、海洋科学技術センター30周年記念事業の一環として、海洋地球研究船「みらい」による南半球周航航海(Beagle 2003)を実施した。図5に、観測線を示す。

ブリスベン(オーストラリア)を2003年7月30日に出航し、途中、パペーテ(タヒチ)に9月5日から9月9日の5日間寄港、次にバルパライソ(チリ)に10月16日から19日まで寄港、さらにマゼラン海峡を越え、サントス(ブラジル)に11月2日から6日まで、ケープタウン(南アフリカ)に12月5日から9日まで寄港した。ケープタウン出航後、タマタブ(マダカスカル)に12月20日、ポートルイス(モーリシャス)に12月27日に寄港した後、2004年1月24日にフリーマントル(オーストラリア)に入港した。その後、フリーマントルから更に南下し、ケルゲレン海台近傍での観測を行ったのち、再びフリーマントルへ2月19日に入港し、Beagle 2003を終えた。本研究では、このうち、ブリスベン-バルパライソ間、サントス-ケープタウン間、ケープタウン-フリーマントル間において観測研究を行った。これらの区間は過去に

WOCE(World Ocean Circulation Experiment:世界海洋循環実験)のHydrographic Program(WHP)で観測が実施されており、それぞれP6、A10、I3/I4とされている。合計493測点(図6)において、以下のような観測を実施し、得られたデータについて、品質管理に着手した。

- (a) CTD/O₂/LADCPによる海面から海底までの水温・塩分・溶存酸素・流速、蛍光の測定
- (b) 塩分、溶存酸素、栄養塩、CFC、アルカリ度、DIC、DOC、pH、N₂Oの現場採水分析
- (c) RMS採水による炭素同位体比、ヘリウム同位体比分析サンプル収集
- (d) 表層大量採水による基礎生産量測定
- (e) 航路上でのpCO₂、海面水温、塩分、表層流速、水深、海上気象の連続観測

観測結果の一時的な解析として、過去に行われた同じ観測線における水温の観測結果と今回得られた観測結果を比較した。その結果を図7に示す。上段は縦軸にポテンシャル密度、横軸に経度を取り、本観

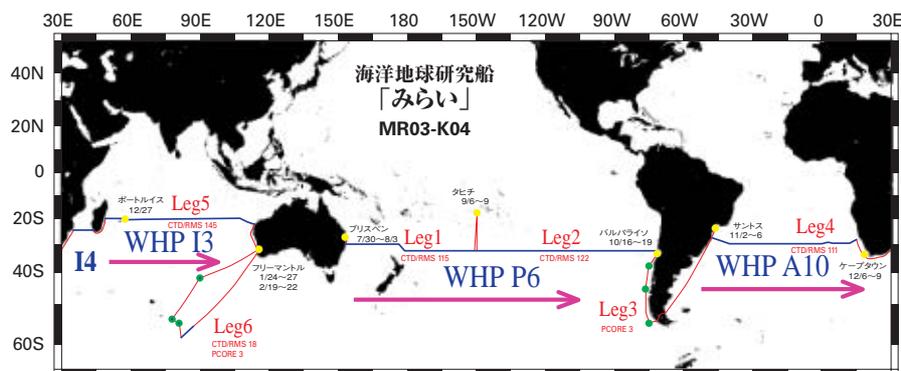


図5 南半球周航航海。

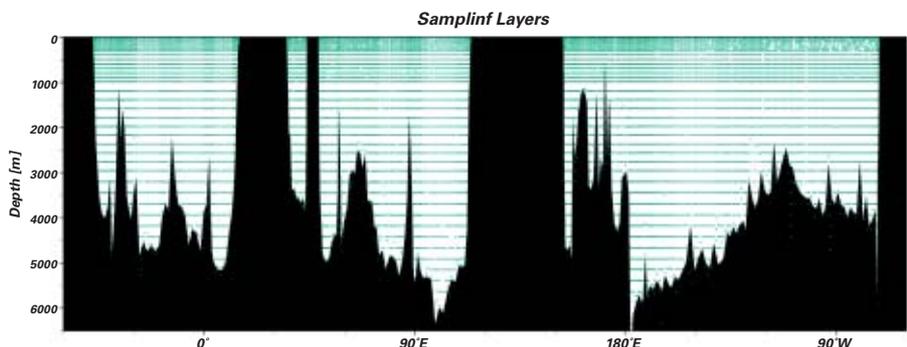


図6 南半球周航航海の測点と採水層(WHP P6/A10/I3/I4)。

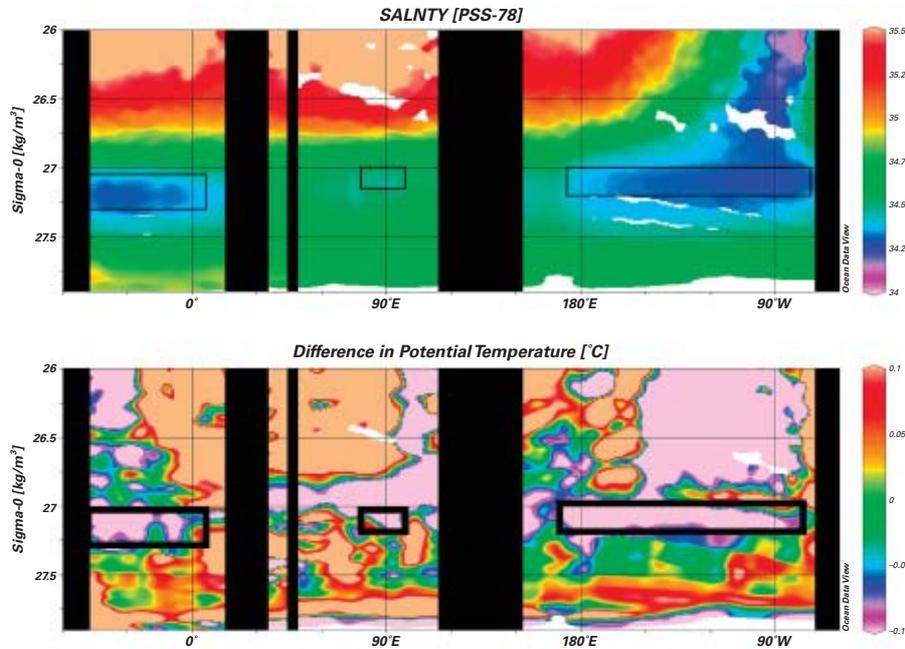


図7 塩分(上)とポテンシャル水温の差(下)の分布。縦軸はポテンシャル密度、横軸は経度を示す。黒枠で囲った部分が南極中層水を示す。

測航海のCTD観測で得られた塩分の分布を示したものの、下段は同様に、過去に同じ測線で行われた観測によって得られたにポテンシャル水温と本観測航海で得られたポテンシャル水温の差の分布をしめしたものである。南極オーバーターンによって形成される南極中層水(AAIW)は、塩分極小によって特徴づけられる。図7の黒枠で囲まれた部分が、各大洋における南極中層水である。この水塊のポテンシャル水温差をみると、水温が低下していることがわかった。

(b) 局地集中観測

(i) 黒潮続流域観測

平成14年度までに日本東方の黒潮続流域で取得した観測データを用いて黒潮続流の鉛直構造を解析し、これまでに理論的には可能性が示されつつも実測例の無かった黒潮続流の深層到達を示すとともに、体積輸送量の評価を行った。表層にコアを持つ黒潮続流は、海底付近においても15 cm/s以上の流れを持ち、表層の流れに対して深度とともに流れの右側にシフトする(図8)。また、黒潮続流の北側にも10 cm/s程度の順圧西向流が存在することが実測により明らかになった。海底付近の流れに準拠した地衡流分布から算出される東向の体積輸送量(黒潮続流の流量)は、東経

146.4度で163Sv以上、東経152.5度で116Svであった(図9)。過去の研究結果と比べ、非常に大きな流量が得られたが、これは深層に及ぶ順圧流の寄与が傾圧成分の寄与の二倍程度に及ぶためであった。また、再循環流の存在を示唆する離岸後の流量増大、その後の減少傾向が得られた。

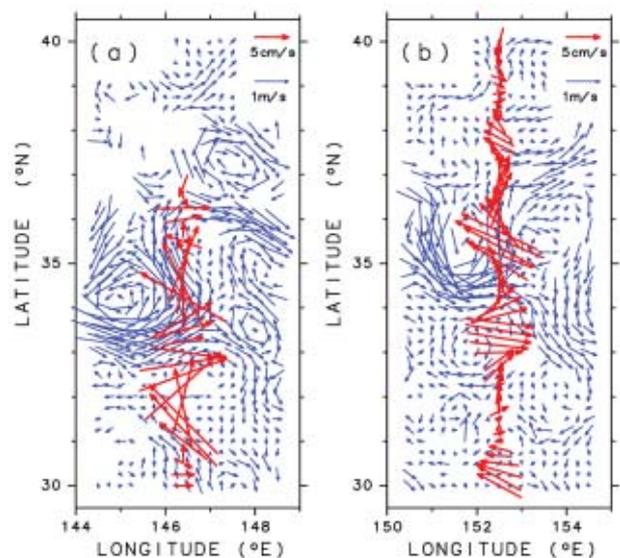


図8 黒潮続流域の表層と深層の流れ分布。赤い(青い)矢印は深層(表層)の流れを示す。(a) 東経146.4度 (b) 東経152.5度。

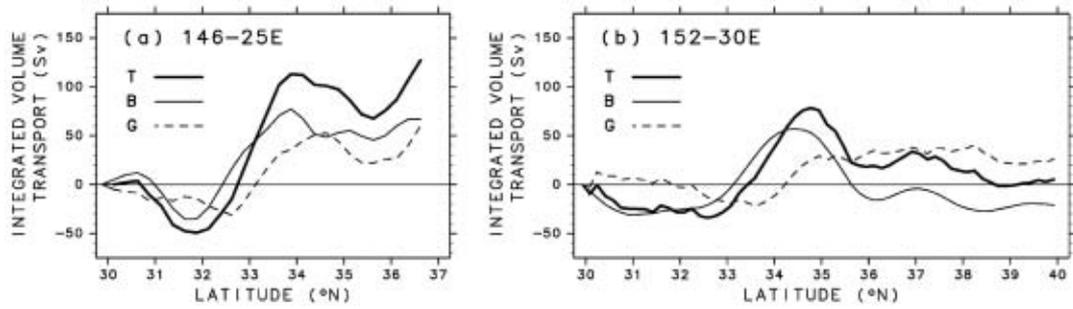


図9 北緯30度から積算した体積輸送量の緯度分布。(a)総体積輸送量の分布(太い実線)、(b)順圧成分の分布(細い実線)、(c)傾圧成分の分布(破線)。黒潮統流の輸送量分布は順圧成分と傾圧成分でその緯度が一致しない。黒潮統流の北側にある西向の反流は順圧成分にだけ見られる。

(ii) ウェーク島深底層流観測

平成15年度は、「みらい」MR03-K02航海で、ウェーク島深底層流観測を開始した。ウェーク島付近の深海通路に、5系の係留系を設置した(図10b)。係留流速

観測は九州大学と共同で行った。また、係留測点およびそれらの中間点の9測点で、CTD/採水/LADCP観測を行った(図10c)。得られたCTDデータから、ポテンシャル水温1.2°Cの等温線深度を無流面と仮定し地

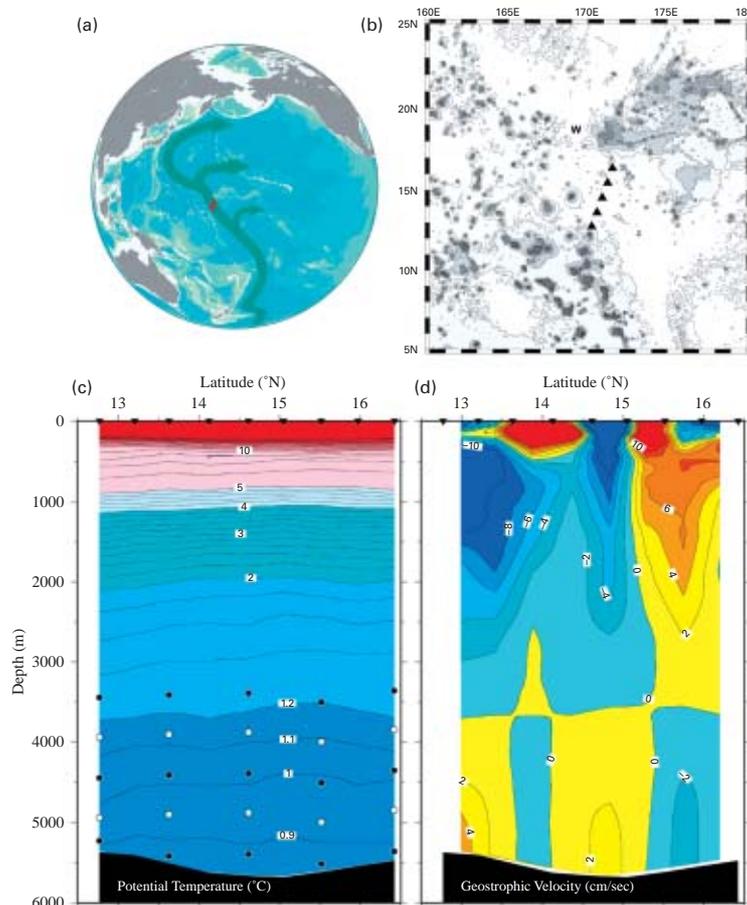


図10 (a)太平洋深層の流れの模式図。赤線は係留測線の位置を示す。(b)係留測点配置図。▲は係留測点、Wはウェーク島深海通路を示す。海底地形のコンター間隔は1000 mで、5000 m以浅の領域に影を付けている。(c)船舶によるCTD観測で得られた水温断面図。●は係留CTD/流速計、○は係留CTDの設置深度を示す。(d)地衡流断面図。西北西向きを正とした。

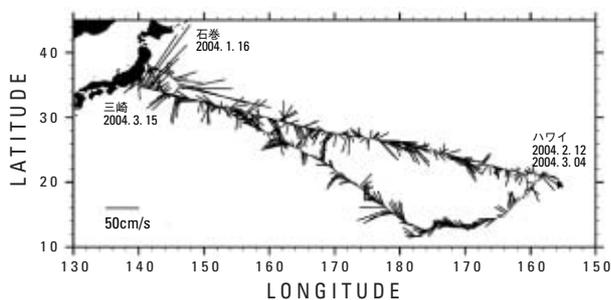


図11 平成15年度第3次航海の航路上で取得された表層200 mの平均流速分布(平成16年1月～3月)。

流速分布を求め(図10d)、南太平洋から供給される変性を受けた北大西洋深層水(ポテンシャル水温 1.2°C 以下の海水)の断面を通過する正味の流量を求めると 2.5Sv (1Sv は $10^6\text{ m}^3/\text{s}$)であった。また、高精度の係留CTDデータを取得するために、係留系の設置前に行った船舶によるCTD観測時に、係留CTDを採水器のフレームに取り付け、係留CTDの現場校正データを取得した。同様に回収時にも船舶によるCTDとの同時観測を行うことで、係留CTDデータの校正を行う予定である。

(c) 基礎資料収集および解析

東京・小笠原間の定期船「おがさわら丸」を利用して伊豆・小笠原海嶺上の黒潮の流速断面、水温断面の観測をそれぞれ行い、資料の蓄積をはかった。東北大学大学院理学研究科と協力して宮城県が所有する水産高校実習船「宮城丸」の船底流向流速計に拡張装置を設置し、亜熱帯再循環流および黒潮の流量時系列の取得を開始した。今後、宮城県石巻市または神奈川県三浦市からハワイにおける日本東方の表層流速分布を年間3往復計測する。

3) 北極海域における海洋観測技術の開発及び観測研究

(a) JWACS 2003 (Canada Basin, Chukchi and Beaufort Sea)

北極海の主要海洋循環であるポーフォート循環については、その構造、水塊分布は良く知られていない。一般的には、海水の高気圧性循環であるポーフォート海水循環と同じ水平スケールを持つと考えられてきた。しかしながら、ポーフォート循環は全カナダ海盆に及んでいるのにも関わらず、近代海洋観測に関しては、東部カナダ海盆では行われてこなかった。いわば、海洋学

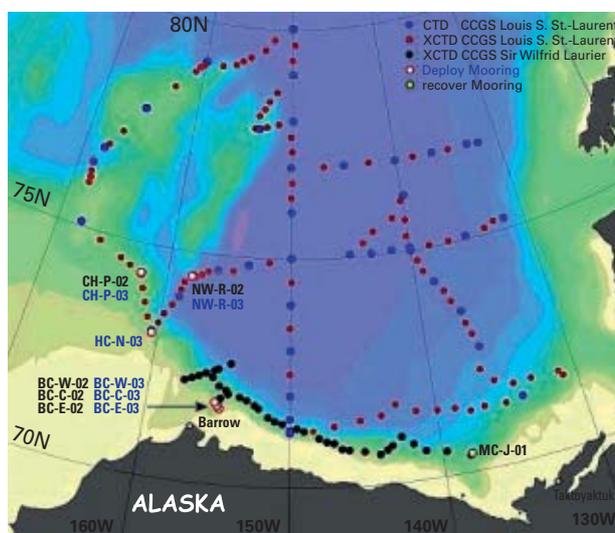


図12 JWACS 2003のCTD, XCTD観測点及び係留系設置回収場所

の地理的空白地帯であった。2003年は、カナダ漁業海洋省海洋科学研究所(IOUS)とのプロジェクトJWACS(西部北極海気候研究)の年次計画に従い、カナダ沿岸警備隊砕氷船にて観測を実施した。海水の高気圧性ポーフォート循環の中心は、気候値では北緯80度西経150度に位置することが知られている。しかし、JWACS2002年のデータ等から、海洋のポーフォート循環の中心はそれよりもさらに南の北緯75度付近に位置することが想定された。そこで、海洋循環の中心を軸とした、南北及び東西セクションを設定し、さらに、海洋観測の地理的空白地帯である東部カナダ海盆にセクションを設定した。やはり、海洋循環の中心は、海水循環の中心よりも南に位置しており、海洋循環の軸の部分で、太平洋からの冬季流入水が、アラスカ沿岸チャクチ海で更なる高塩分化を受けた低渦位水で占められていることがわかった。つまり、海洋循環は、海水循環による表面応力によってのみ駆動・規定されるものではなく、太平洋からの流入水自体の影響で能動的に形成されるプロセスも重要であることが示唆された。

(b) NPEOにおけるJ-CAD観測

2000年より始まったNPEO(North Pole Environmental Observatory:北極点環境観測)プロジェクトにおいて、2003年4月28日北極点近傍・ロモノロフ海嶺のアラスカ側になるマカロフ海盆(北緯 88.59° ・東経 167.38°)にJ-CAD 6を設置した。今回のブイ観測では、これまでと同

様の上層海洋の水温・塩分・流向流速の観測と合わせて、磁極近くでのコンパスの性能評価を行うためのGPSブイによる位置(方位角)観測と、海水の生成・融解や大気-海水間の熱収支を測定するためのIMB (Ice Mass Balance)ブイ観測(米国ワシントン大学・NOAA)も行った。図13は、これらのブイ配置図を示す。これらのブイ観測から、例えばJ-CADに取り付けられているコンパスのうち、3軸Flux gate型のワトソンコンパスは磁場が弱い領域でも正しく方位角を測定できるが、2軸Flux gate型であるWH-ADCPに内蔵されたコンパスではある程度水平磁力が強くと(3000 nT以上)なければ正しく方位角を測定することができない、また磁気インダクティブ型のコンパスでは低温且つ水平磁力が弱い環境で使うのは不適であることが分かった。

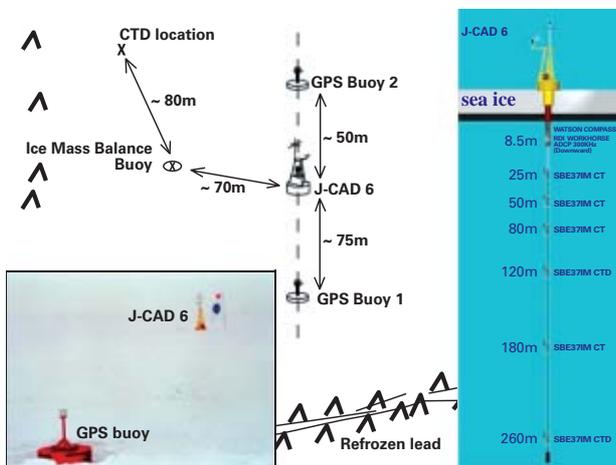


図13 (左) J-CAD 6設置時のブイ配置図。(右) J-CAD 6の構成図

2000年以降のJ-CAD及びNPEOによる観測結果を調べた結果、2000年代前半(2000-02)には対流型冷たい塩分躍層(冬季の冷却の影響を強く受けた塩分躍層)がナンセン海盆から北極中央海嶺上に分布していたことが分かった(図14)。この解析結果を踏まえて1990年代の北極海での観測データを調べて、その分布範囲の変動を示した。図15は1991-93年(90年代初期)、1994-96年(90年代中期)、1997-99年(90年代後期)それぞれの対流型冷たい塩分躍層の分布範囲

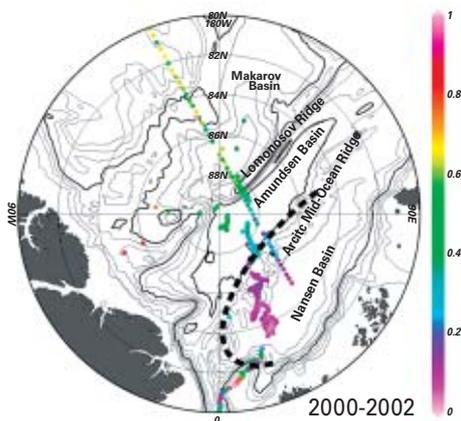


図14 2000-02年の対流型冷たい塩分躍層の分布範囲。塩分34.1上の結氷温度からのずれが0.2度以下の領域(太い破線の範囲内)がこれを示している。

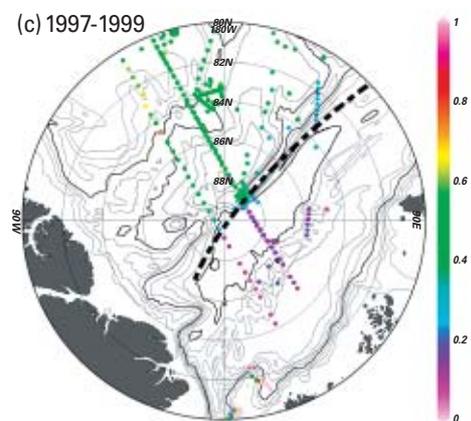
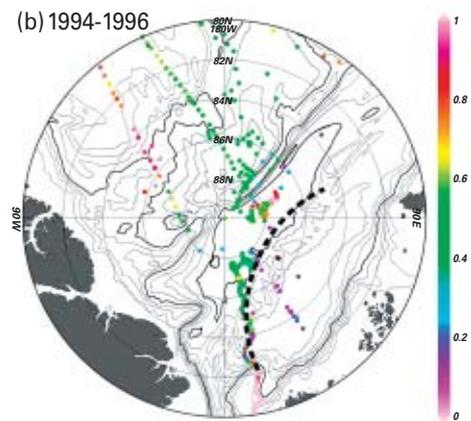
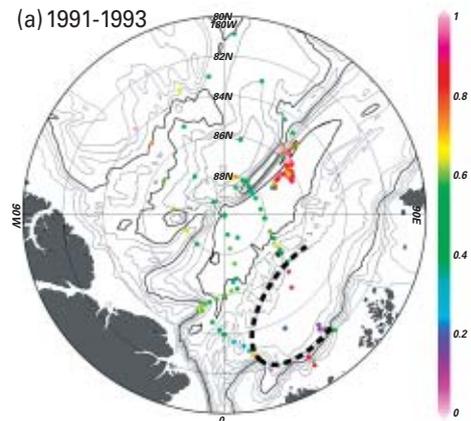


図15 (a) 1991-1993年、(b) 1994-96年、(c) 1997-99年の対流型冷たい塩分躍層の分布範囲

を示している。90年代初期にはナンセン海盆にしか存在しなかったこの水塊が、90年代中期には北極中央海嶺まで広がり、90年代後期には北極点近くのロモノソフ海嶺にまで広がっていることが分かる。図14で示したとおり、この後2000年代初期には再び北極中央海嶺近くまで、この水塊の分布範囲は戻っている。これらの変動は、海水の動きの変動と関係していると考えられる。近年の研究から北極振動に伴う海水運動の変動が知られるようになってきた。今回示している水塊の分布範囲の変動は、数年のずれを持って海水運動の変動と対応が取れることが分かった。

4) 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

(a) 研究活動の方針

海洋は、大気との間で温室効果気体をはじめとする物質の交換を行なっている。このため、海洋内部の物質の分布が変化すると、物質の交換を通して気候に影響を及ぼすこととなる。したがって、海洋内部の物質分布の変化を検出し、その変化の要因について解明することは、重要な課題となっている。本研究では、そのために、先ず、過去に観測が行なわれている海域における物質分布の現在との違いと、その変動を今後5年から10年をかけて把握する。

(b) 研究開発の概要

平成15年度は、化学成分の断面分布を得ることを目的にMR03-K04航海(BEAGLE 2003)に参加し、基礎的な化学成分分布及び海水に溶存する二酸化炭素に関わる成分、クロロフルオロカーボン類(CFCs)の分布を得た。また、放射性炭素、全溶存有機物、ヘリウムの分布を得るための試料採取を行なった。また、MR03-K04航海Leg6では、ケルゲレン海台東斜面で、南極底層水の形成に関する知見と南極域での生物起源気体生成に関する知見を得るための観測を行なった。

(c) 研究開発の内容

(i) 二酸化炭素に関わる成分

MR03-K04航海(BEAGLE 2003) leg1, 2, 4, 5において、全炭酸、アルカリ度、pHを測定し、その分布を把握した。その分布図を図16から図18に示す。

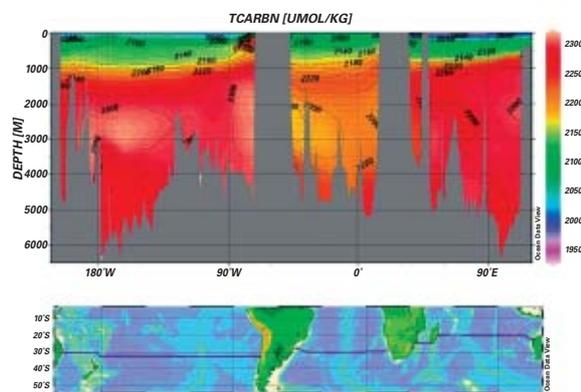


図16 南緯30度付近での全炭酸の鉛直分布

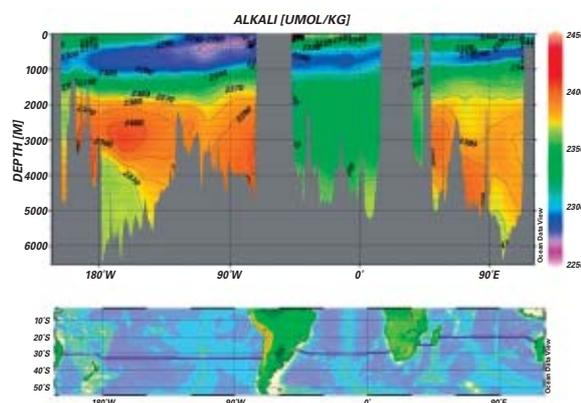


図17 南緯30度付近でのアルカリ度の鉛直分布

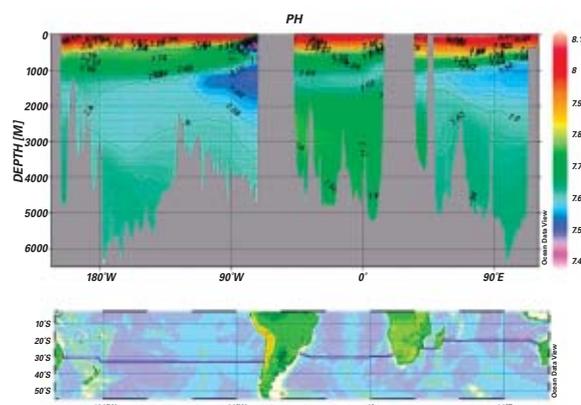


図18 南緯30度付近でのpHの鉛直分布

(ii) クロロフルオロカーボン類(CFCs)

MR03-K04航海(BEAGLE2003) leg1, 2, 4, 5において、CFCsを測定し、その分布状況を得た。航海中で得られたCFC-11の大西洋の断面分布を図19に1990年代はじめの観測結果とともに示す。比較して明らかのように、底層にCFC-11が10年間の間に増加している。特に、東側では、10年前に比べ、有意にCFC-11の存在が確認できる。

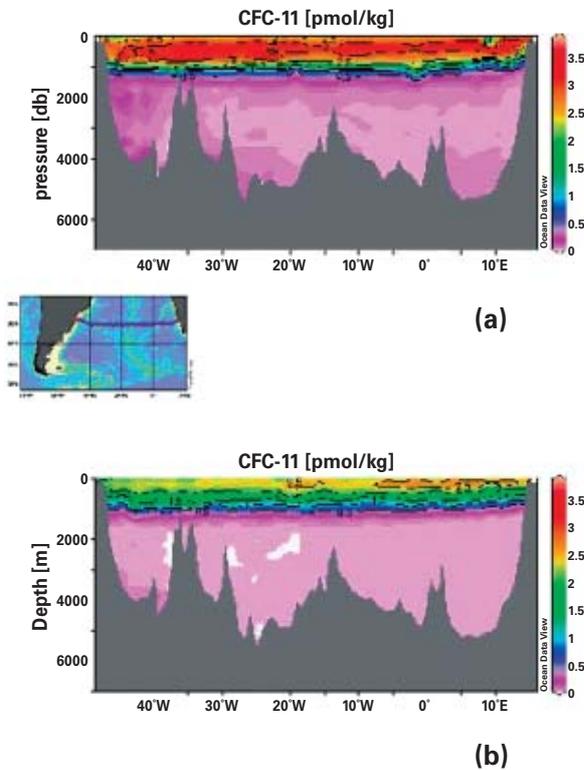


図19 南大西洋南緯30度付近のCFC-11の分布。(a) MR03-K04航海Leg4で得られたCFC-11濃度分布。(b) 1990年代WOCE観測で得られたCFC-11濃度分布

(iii) ケルゲレン海台付近の観測 (MR03-K04, Leg 6)
 ケルゲレン海台東斜面においてCTD-RMS観測を行ない、温度・塩分構造、化学成分の分布構造状況を

明らかにした。また、温暖化に関連する生物起源気体についても観測を行なった。その結果、ケルゲレン海台東側底層に周囲より低塩、高CFCs濃度、高溶存酸素濃度の水塊が確認された(図20)。CFCs濃度、溶存酸素濃度が周囲より高いことから、この水塊は30年以内に表層にあった水塊である事が推測される。

(3) 経常研究

1) 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亜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。これらの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、CFC-11、CFC-12、CFC-113および四塩化炭素(CCl_4)の分析精度および感度向上のための検討を行い、分析精度に関してCFC-11およびCFC-12について観測の国際的な指針の基準を越えた。さらに、船上分析の際に重要となる一試料あたりの分析時間を大幅に短縮することに成功した。MR03-K04航海における断面観測でこの分析法を用い、良好な結果を得た。

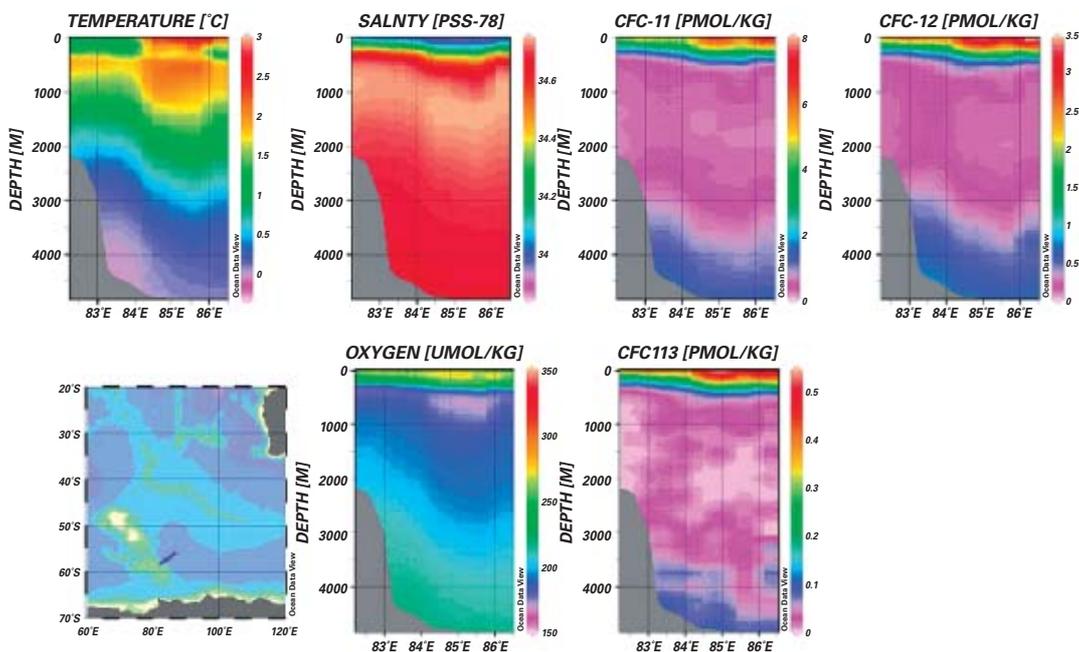


図20 ケルゲレン海台東側斜面の温度・塩分・溶存酸素・CFC-11・CFC-12・CFC-113の断面分布

2) 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

地球規模で気候変動に影響を及ぼすENSOの変動サイクルに、通常のサイクルより長周期の変調の存在が指摘されている。その変調は中緯度太平洋から西太平洋熱帯域へ伝播するシグナルが重要であることが大気海洋結合モデルの研究から示唆されているが、詳細は明らかでない。本研究では、まずそのシグナルの伝播経路や変動特性を数値モデル・観測データ解析の両面から探ることを目的とする。

モデル結果の解析から、1997/98エルニーニョ後、2002/03年エルニーニョ発生前までの期間は、過去20年間で最も西部赤道外域(フィリピン沖)で暖水が蓄積した期間であり、アルゴフロートを用いた解析でもその傾向がはっきりと見られた。そしてその暖水は、2002/03年エルニーニョの発生に伴い、赤道域に運ばれ、エルニーニョに伴う東部赤道太平洋での暖水の増加に寄与していることが分かった。

2002年夏(MR02-K04)と2003年夏(MR03-K03)のXCTD観測で捉えられた水温変動は、エルニーニョ後に、東経130度に沿って北緯8度付近を境として

北側では降温傾向、南側では昇温傾向を示していた。北緯8度上では、西岸境界付近(東経130度)で降温傾向にもかかわらず、それより沖側(東経138度)で昇温傾向を示していた。この傾向は、タオ/トライトンブイによる20度等温面分布図でも確認され、中央太平洋からのロスビー波の西方伝播が西岸境界流域まで到達していないことを示している。この東西偏差はミンダナオ海流を横切る測線でも観測され、南北熱輸送に重要な役割を果たす西岸境界流に影響を及ぼしていることが示唆される。

3) 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。

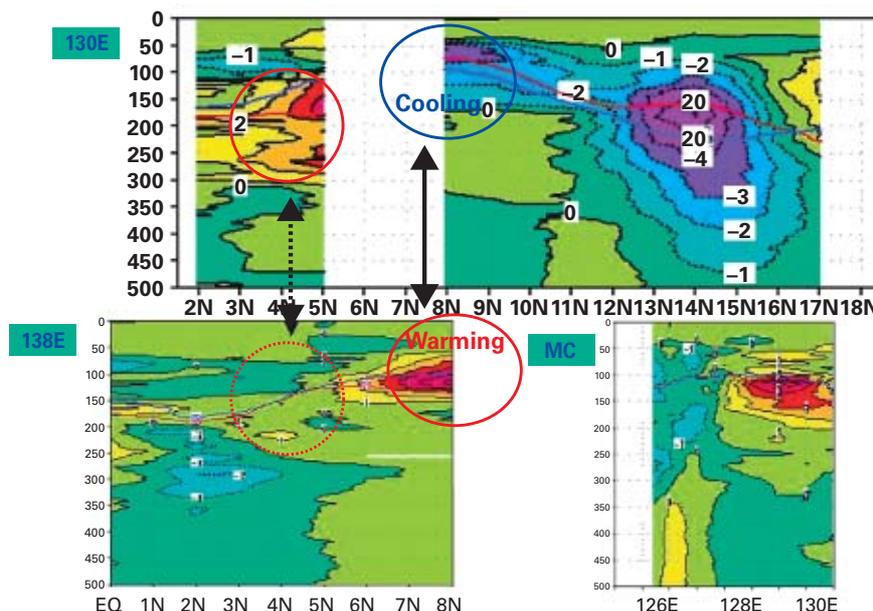


図21 XCTD観測による2003年6月と2002年6月との水温偏差断面。(上)東経130度、(下左)東経138度、(下右)ミンダナオ海流を横切る断面(北緯5度～北緯7度)。エルニーニョ発達時の2002年より昇温部分を暖色系、降温部分を寒色系で示す。青丸・赤丸で示される部分は北緯8度、東経130度の降温傾向と、北緯8度、東経138度および北緯5度、東経130度付近の昇温傾向を示す領域に該当する。また、青線、赤線はそれぞれ2002年と2003年の20度等温面を示す。

開始2年度目である本年は、トライトンブイ付設の静電容量式雨量計を引き続き展開したが、前年度展開の雨量計を回収した際、特に鳥糞による影響が大きかった為、この影響を事前に防ぐ工夫を行なった。一方、トライトンブイ光学式雨量計については、その特性を確かめる為、より熱帯に近い特性の雨が降る沖縄において比較観測を行なった。一方、MR01-K05の観測期間に得られたデータの解析結果を日本海洋学会で報告した。

(4) 共同研究

1) 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、平成9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

平成13年度、平成14年度に採取、分析したデータの解析を行い、研究のとりまとめを行った。

2) 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

東シナ海は、大陸棚上では黒潮の影響や風によって鉛直混合され、高濃度の栄養塩とともにクロロフィルa、一次生産量も増加する。我々は2004年2月から3月にかけて調査船「かいよう」により、宇宙航空研究開発機構と共同で衛星と同期した海洋観測を東シナ海で実施した。観測期間中には衛星データから、大陸棚上で黒潮に伴う暖かい海水が流れ込んでいる様子を捉えた(図22)。東シナ海は生産力の高い海域である一方で懸濁物が多く、衛星データからの各種パラメータの推定が難しい海域でもある。このような海域で衛星と同期した海洋観測を実施することで、衛星データによるクロロフィルa、一次生産量等のパラメータを精度良く推定するためのデータセットを作成する。

3) 北太平洋における広域CO₂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CO₂交換(CO₂フラックス)は、大気中のCO₂濃度の変動に大きな影響を与える。しかしながら、これまで行なわれてきたCO₂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

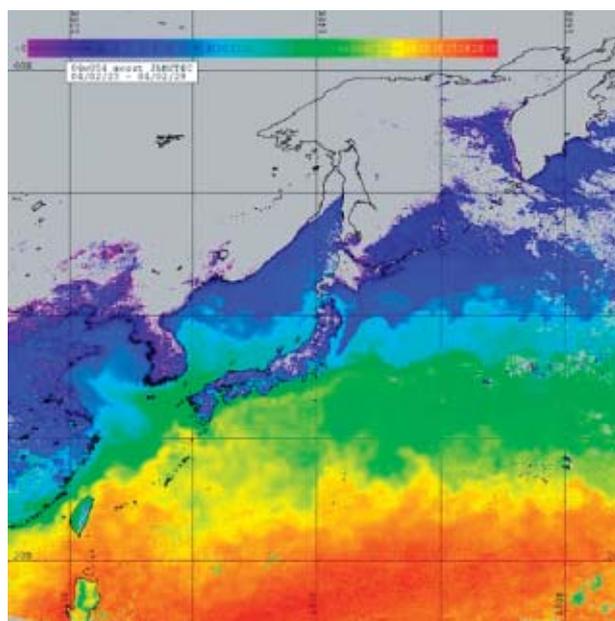


図22 NOAA/AVHRRによる観測航海中における海表面水温(2004年2月23～29日の週間合成画像)

は、両研究機関の観測データを使って、気候変動・変化がCO₂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

南極海から北太平洋への海洋循環によるCO₂の輸送量を見積もるため、南太平洋の南緯30度に沿って断面観測を行なった。

(c) 研究開発の内容

1990年代に実施された研究プログラム(世界海洋大循環実験: World Ocean Circulation Experiment (WOCE))の南太平洋を横断する観測ラインであるP6ラインに沿って全炭酸、アルカリ度、pH、pCO₂の測定を行ない、空間的に密で高精度なデータを取得した。

4. 海洋生態・環境研究部

(1) 研究活動の方針・概要・内容

近年の海洋生物学研究において、中・深層域から深海底、さらには海底下地殻内に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された。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の再構築」、「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を示唆している。そこで海洋生態・環境研究部では、プロジェクト研究として「地球システムにおける海洋生態系の構造と役割の解明」を打ち立て、「海洋生態系の生物生産と物質循環に関する研究」と「海洋生物の多様性を生み出すメカニズム解明」を2本柱にして研究を展開している。さらに、これらの研究の基礎を支えるために「海洋生物をとりまく環境に関する研究」にも取り組んでいる。そして表層から深海底・堆積物中へと広がる海洋生態系の構造と役割の解明に必要な基礎データの収集を実施している。また、プロジェクト研究をとりまくような位置づけで経常研究や共同研究を配置し、より効果的な展開を図っている。

(2) プロジェクト研究「地球システムにおける海洋生態系の構造と役割の解明」

1) 海洋生物の多様性を生み出すメカニズム解明

海洋生態系は、複雑な海洋環境条件に適応した多様な生理機能を示す多くの生物種により構成されている。この海洋生物が有する多様性は、地球システムの変遷に応じて生物群集が生み出してきた適応進化の結果である。かつては、生物進化においては遺伝子の変異による適応進化が主なプロセスと考えられていた。しかし、最新のゲノム解析や細胞の微細構造解析による知見は、共生による遺伝子獲得が生物進化を促進してきた可能性が高いことを示唆している。

宿主動物と共生微生物の関係には生理的依存性が高い細胞内共生と依存性が低い細胞外共生がある。どのような進化過程を経て相互依存が密接な細胞内共生系が確立されたのか、共生に必要な生理機能や制御機構、また微生物が宿主に障害を与える寄生や感染とどのように異なるのかなどの課題はいまだに解明されていない。一方で、海底火山活動にともなった熱水域に生息する生物は高濃度重金属環境や高温環境に適応し、化学合成細菌とも共生している。これらの生物の環境適応において、化学合成によるエネルギー代謝は共生細菌によりもたらされているが、熱水環境への耐性機構は共生系ではなくむしろ遺伝子変異

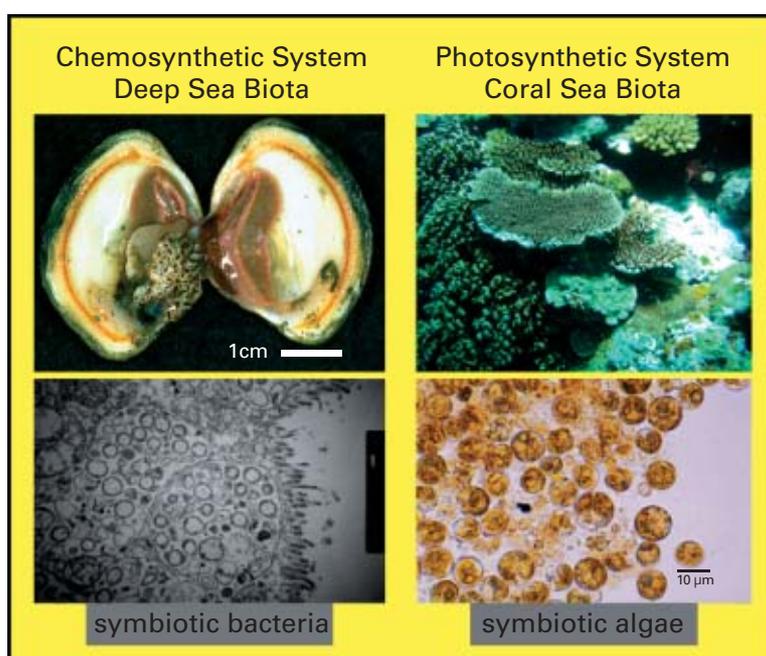


図1 共生による環境適応

により獲得された可能性が高いと推定される。本研究開発では、採集した海洋生物の系統分類や遺伝子解析だけでなく、海洋生物の生理機能と種の多様性は共生と環境適応により生み出されたという進化仮説を、共生生物系のゲノム解析、生理機構の解析および熱水域の生物が示す環境適応の機能解析により比較検証することを目指す。

2) 海洋生態系の生物生産と物質循環に関する研究

海洋生態系の生物生産は、浅海域や海洋表層での光合成生物生産を中心に見積もられてきた。しかし最近の海洋生物学研究では、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群が生息していることが明らかになってきた。中・深層域から深海底にかけては太陽光エネルギーにより生産された有機物の沈降物に依存した光合成生態系、深海底のなかでもプレート境界域にある火山域やプレート沈み込み域また海底下地殻内にかけては地球内部から供給される化学物質をエネルギー源とした化学合成生態系が分布している。これまで、海洋生態系の生物量や物質生産に関する研究は、海洋表層や沿岸域でデータが蓄積されてきているが、中深層域・深海底・海底下地殻内において、生態系の構造を定量的に解析した例は皆無に等しく、深海化学合成生態系の底生生物の生物量が通常の深海底の一万倍におよぶ生物量といったおおま

かな推定がなされてきたにすぎない。また、海洋生態系全体では光合成生産が優占するが、全地球的に広がるプレート境界の生態系を考える場合には化学合成による生物生産は無視できない存在と推定される。そこで、海洋生態系の生物生産を正確に見積もるためには、表層での光合成から深海底の化学合成、さらには中深層域での物質変換(消費と再生産)という鉛直方向での物質収支と循環を生物群間での過程として解明する必要がある。海洋資源を有効かつ持続的に利用する方策を確立するためには、生物生産と生物群間での物質循環のプロセスを明らかにすることが不可欠である。日本列島から東アジアにかけての西太平洋側には、海底火山域やプレート沈み込み域が広がっており、実際に化学合成生態系の宝庫であることがわかってきている。そこで、日本が中心となり、深海底からもたらされる生物生産の恩恵が海域の生物資源に与えている影響を明らかにするべきであると考えている。この研究では、光合成生態系に比べてデータの蓄積が不足している深海底の化学合成生態系とそれを取り巻く中・深層生態系を対象に、群集構造(食物連鎖・組成・個体群サイズなど)、生産力と物質循環(微生物ループ、増殖量、現存量など)を定量化するとともに、生物群集の長期観測による精度の高い生物群動態の時系列変化の解析へと研究を展開する。

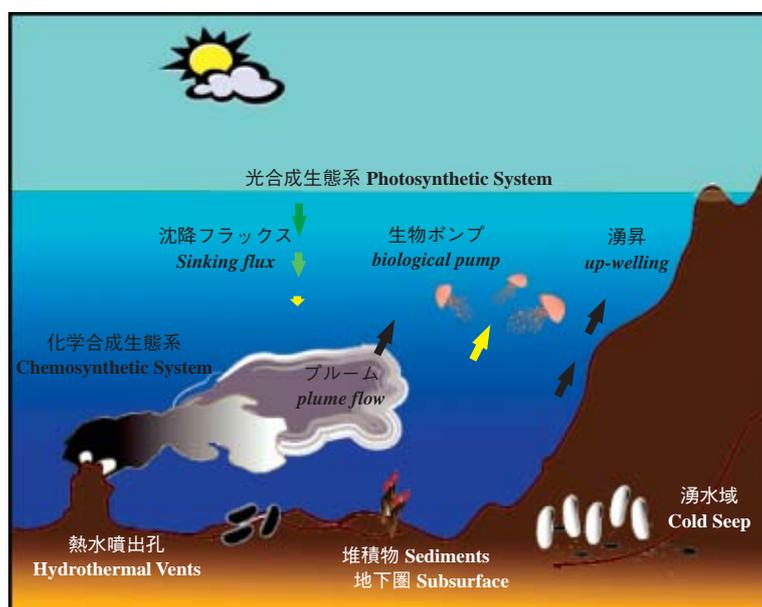


図2 海洋表層から深海底へと広がる海洋生態系の概念モデル

3) 海洋生物をとりまく環境に関する研究

海洋生態系は単調で均質な海水に満たされた環境に形成されているわけではなく、多様な物理化学条件による局所的あるいは微小な生物生息環境により構成されている。海洋生物群の多様性や生物量、またその生物生産力は、生物を取り巻く環境に強く影響されている。海洋生物群の動向を知るためには、広範囲の海洋環境よりむしろ狭小な生物生息環境での環境条件の変動を観測することが必要である。また環境変動が生態系に及ぼす影響を評価するためには、生物と環境因子を長期に観測して基礎データを蓄積することが必要である。海洋生物と生態系の動態を解析するためには、施設での生物飼育や環境モデル実験だけでなく、現場での長期にわたる観測が必要である。また陸上施設では困難な現場モデル実験を海洋環境に設置した実験ステーションで実施することも計画する。このようなモデル実験では、現場環境の物理化学因子を連続的にモニターして解析する。この研究は、海洋生態系の生物生産と物質循環に関する研究、海洋生物の多様性に関する研究と密接な連携のもとで実施する。さらに蓄積されたデータをもとに、生物と環境条件の関連を時系列で解析して環境変動と生態系変動の予測モデルまた海洋生態系の進化モデルの構築へと展開する。

4) プロジェクト研究による平成15年度の成果

(a) 鯨骨 "ステッピング・ストーン" 仮説の検証と鯨骨生物群集の遷移に関する研究

熱水噴出域、冷水湧出域に出現する生物の分散に関して、鯨骨生物群集がステッピング・ストーンとして機能するためには、深海化学合成生物群集と同種の生物がそこで繁殖していなくてはならない。これを検証するため、鹿児島県野間岬沖で2002年2月1日に海洋投棄された12頭のマッコウクジラの遺骸を調査した。特に、深海化学合成生物群集と同種もしくは近縁種であるイガイ科二枚貝とキヌタレガイ科二枚貝について、組織化学的手法を用いて性的成熟度を測定してその繁殖状況を解析している。

(b) 二枚貝の微小成長量測定手法の開発

二枚貝の貝殻にストロンチウムをとりこませ年輪状の成長線にマーキングする。それを電子顕微鏡で観察し、従来では数十マイクロメートル単位でしか測定できなかった二枚貝の成長量をマイクロメートル単位で測定した。この方法は、成長の遅い深海性二枚貝の成長速度を見積もることに応用でき、また深海生態系の物質循環などの解析手段として利用可能である。

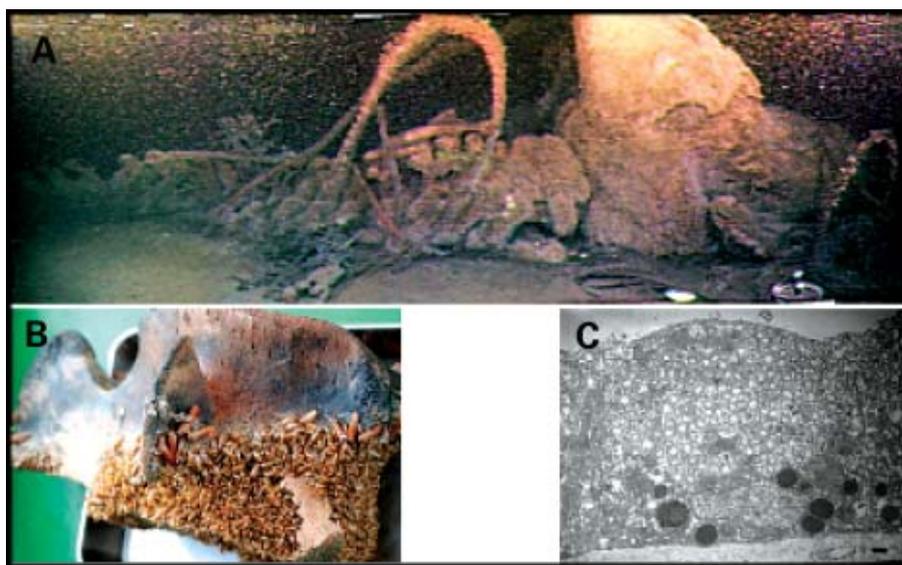


図3 鯨骨生物群調査

A: 深度300 mの海底に横たわるマッコウクジラの遺骸。投入されてから1年6ヶ月が経過し、軟組織の大半は消失していた。B: 採取した鯨骨(背骨)に付着する二枚貝。C: イガイ科ヒラノマクラ(*Adipicola pacifica*)のエラ上皮細胞組織の電子顕微鏡像。共生細菌の存在が確認された。

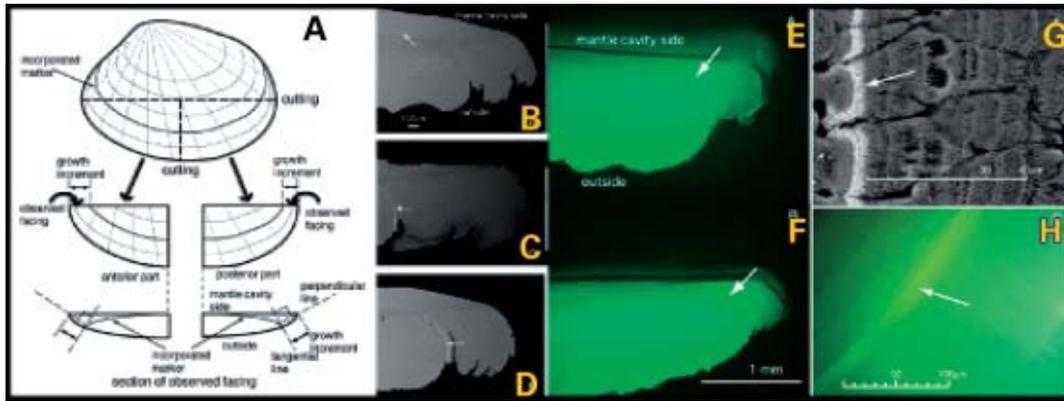


図4 二枚貝の貝殻成長線の検出

A: マーキングした二枚貝の貝殻を切断して研磨する。B, C, D: 貝殻切断面のSEMバックスカッターイメージ。ストロンチウムは貝殻の主成分であるカルシウムより原子量が大きく、一次電子像で観察すると白く見える特性がある。マーキング濃度が高い貝殻(D)では明瞭なストロンチウム・バンドが観察された。E, F: 蛍光色素カルセインによるマーキングの蛍光顕微鏡観察像。ライムグリーンの蛍光がマーキング・バンドである。G: ストロンチウムによるマーキング・バンド。電子顕微鏡1200倍での観察により、マイクロメートル単位での成長線を識別できる。H: カルセインによるマーキング・バンドの蛍光顕微鏡600倍での観察像。蛍光色素の場合はバンドの境界が見えにくい。

(c) 化学合成共生系生物の共生細菌のゲノム解析

平成15年度は、日本海、相模湾、鹿児島湾等の化学合成生物群集の調査を重点的に行い、環境の微生物相を解析すると同時に、化学合成を基本とした宿主共生系の機構を解明するためにベントスを採取した。採取したシロウリガイ、サツマハオリムシ等のサンプルから共生細菌を分離し、そのゲノム解析を進めている。

(3) 経常研究

1) 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

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

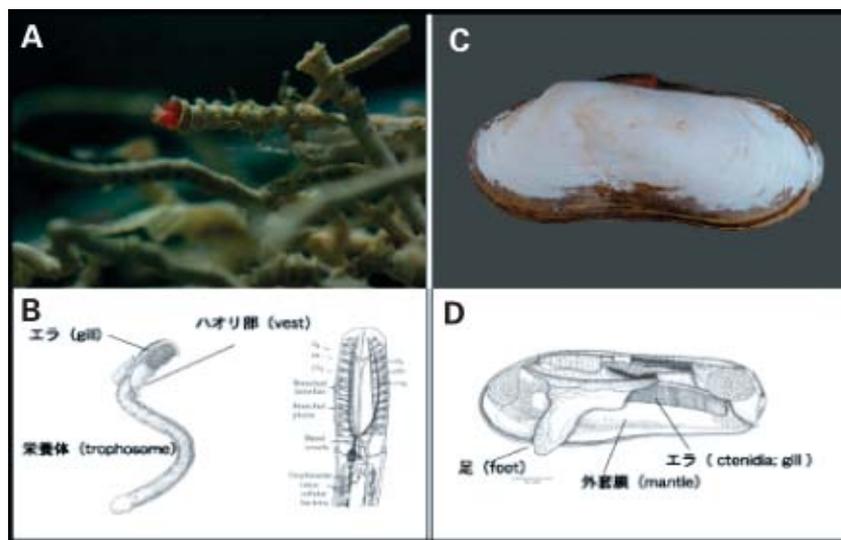


図5 共生細菌に依存する化学合成生物

A-B: サツマハオリムシ (*Lamellibrachia satsuma*) は、棲管内に隠れている栄養体に共生細菌を保有している。C-D: シロウリガイ (*Calyptogenia laubieri*) は、エラ上皮細胞内に共生細菌を保有している。

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(あるいは黒潮反流)が流れている。この黒潮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考えられる。

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年間の衛星画像と水温分布、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した。また、サンゴ礁海域(石西礁湖と瀬底島)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した。ボックスモデルを用いた石西礁湖の海水交換に関する解析をした。

2) 底生樹状動物の表現形の多様性に関する研究

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。八放サンゴ類の基本的な分類、及び進化に対しては遺伝的多様性の研究を実施する。

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を行う。深海域生息種に関しては、分類的基礎を築くことを目的とする。深海域生息種に関しては、東大海洋研などのサンプルを用いて分類、分布に重点を置いて実施し、浅海域生息種に関しては、フィールドにおける採集や、生殖様式、時期等の調査研究をした。

3) サンゴの元素取り込み過程に関する基礎研究

サンゴの成長・分布は、水温、塩分、日射量などの環境要因の影響を受ける。現在サンゴ礁海域に分布しているサンゴは、これらの環境要因の長期的な変動によって形成されると考えられている。サンゴに対する環境要因の長期的な変動をとらえることは、サンゴの成長、分布過程を把握するうえで重要である。サンゴの骨格には年輪構造がありその年輪にそって特定の元素含有量あるいは元素比を計測することによってサンゴが形成されてきた過去の環境要因の変化が把握できると考えられている。本研究では、海域から採集したサンゴ(ハマサンゴ類)及び飼育条件下のサンゴを試料とし、海水の諸元素のサンゴ虫、骨格への取り込み量の定性・定量的計測を行う。これによって指標として利用可能な元素、元素比等を求めてゆく。これまでに、マイクロサンプリング法の導入により、サンゴの元素取り込み変化が、1カ月よりさらに短い時間間隔(約2週間)で追跡できるようになった。また、炭素・酸素同位体比相関とサンゴの成長について相関関係が確認された。その原因について考察を行ったところ、ハマサンゴの成長に対する反応は酸素・炭素ともに同じように起こるが、光合成に対する反応は炭素のみ起こり、このことは古環境指標として有用なことが示唆された。分析サンプル数を増やしたことにより、試料採集地点によってサンゴ成長と元素比の特徴が違っていることが判明し、サンゴの成育環境と成長の違いは明らかに起こること、またその程度が示唆された。ストロンチウム、マグネシウム、カルシウムの比について、ICP-MS分析を行ったところ、水温変動にある程度相関している傾向が見られた。また、炭素および酸素同位体比変動について、日射量および成長速度が主要な要因となっている可能性が高いことを検証するため、光条件を変えた飼育実験に着手した。

4) クラゲ類の形態・遊泳・胃内容物の関連性に関する研究

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。我々はクラゲの傘の形態、遊泳様式、捕食する餌タイプの間以下のような仮説を立てており、これを検証することを目的とする。

浅い傘→連続遊泳→小さな餌と遭遇機会増→
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、これらの観察・解析を複数種のクラゲについて行う。本年度は、沿岸性5種の実験・観察から、仮説に沿った結果が得られた。飼育水槽とプランクトンネットについて再検討を行い、クラゲ類に適した形状のものを製作した。分類群によってクラゲ固定時の胃内容物吐き戻し状況が異なることを明かにした。さらなる検証のために、(1)これまでに結果の得られている5種以外の、形態・遊泳行動・胃内容物解析のデータセットを取得する、(2)飼育観察に加えて現場環境下においても遊泳行動を観察する、(3)餌生物との遭遇率(遊泳速度と接餌可能範囲の広さから算出)を見積もり種間比較を行う。

5) 顕微測光法によるゲノムサイズ測定法の確立

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。植物においてはシロイヌナズナやイネが全ゲノム解析の対象生物となり、現在これら2種の解析はほぼ終了し、次なる全ゲノム解析の対象となる多細胞植物が求められている。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など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。本研究では、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。本年度におい

ては、コンブ科植物は胞子体の成熟誘導法が確立されていないため、遊走子が得られる時期は年に1度と限られ、その時期の年変動も大きい。また、より効率的に精度の高い測定を行うためには測定までの試料の調製が重要となる。遊走子以外のステージについて調製法を検討したが、測定に適した試料は得られなかった。コントロールに関してもショウジョウバエの精子やテトラヒメナの核を分離し、調製したが適当な試料は得られなかった。よって、顕微測光法を用いてコンブ科植物のゲノムサイズを測定するには、シロイヌナズナをコントロールに遊走子を用いて測定するのが妥当であると考えられた。

6) クラゲ類の成長解析と日齢測定法の検討

クラゲ類は中・深層および近底層に莫大な量で存在するが、これらのクラゲ類を十分に支えるだけの餌生物が供給されているかは不明であり、溶存有機物を利用している可能性がある。また、クラゲ類は餌が不足すると体サイズを減少させる能力を持つため、身体の大きさは齢と比例せず、個体群動態を考えるうえで非常に問題となっている。今後、中・深層生態系を研究してゆくうえで、クラゲ類の溶存有機物摂取および個体群動態を追跡することは必須事項であり、本研究はその基礎的研究に位置する。本年度では、環境に影響されないクラゲ類の時系列を刻む形質(齢形質)の存在を検索するために、クラゲ類をさまざまな餌環境下(動物プランクトン、溶存有機物等)で飼育し、生息環境が成長に伴う器官形成にどのような影響があるのかを調べた。

(4) 共同研究

1) 室戸沖長期観測ステーションを用いた深海生物研究

本研究では、深海底から海洋生態系を観測する方法論としての長期観測ステーション利用法を改善することを目的とし、将来における海洋生態系観測の手段として確立することを目指す。そのための具体的テーマとして

- ・シロウリガイ類の放卵・放精現象観察：生殖イベントを映像観察し環境要因との関連性を比較検討する。
- ・深海の季節性と生物行動観測：地中温度計、流向流速計、CTD、ADCPのデータを解析し、表層での季節性を反映しているか検討する。同時に、TV映

像から生物量の増減、生物行動、出現種の変遷などを観察し、季節性との相関を検討する。

- ・生物分散と深層流：流向流速計、CTD、ADCPのデータから、室戸周辺の深層流の移動距離・方向を積算し、深層流による生物幼生の運搬能力を推定する。相模湾の長期観測ステーションのデータとの比

較解析をする。本年度、研究開始とほぼ同時に室戸長期観測ステーションのTVカメラシステムに不具合が発生し、水中ライト1灯のみ作動、カメラのパン・ティルト機能使用不可という状況になった。そこで、この条件下でできる効果的な観測条件の設定を行い、1日2回6分間の映像取得を行うことにした。

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15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)」を継続して実施した。

(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、当初は6 Mbpsの回線を用いて試験環境の構築を行ってきた。試験環境は、横浜研究所から100 MbpsのATM回線を經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側では、直接JGNのアクセスポイント(沖縄-:名護市マルチメディア館)にFast Ethernetで接続する経路となっている。

今年度は、回線速度を6 Mbpsから44 Mbpsに増速し、接続パラメータの調整を行うことにより最適な接続設定の検討を行った。これによりスムーズな画像伝送を行うことに成功している。蓄積された深海映像は、エンコーディング及びインデキシングが行われ、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。本研究は、平成16年1月に東京で行われたギガビットシンポジウム2004において、アプリケーション賞(教育・科学技術部門)を受賞し、その成果が広く一般にも認められる結果となっている。



図1 システム概念図

(3) 経常研究

深海画像アーカイブの効率化および高度化に関する研究
期間：平成15～17年度

海洋科学技術センターがこれまで実施した潜航調査・海洋調査及び深海観測ステーションによる長期観測により、膨大な量の画像データが、主にビデオテープの形で蓄積され、また今後も蓄積されつつある。これらの映像・データは、研究者の他、教育現場やコンテンツ制作会社等における利活用の要求も多く、また過去の画像の見直しによる新種生物の発見など、いわゆる「お宝画像」とでも呼ぶべき重大な発見につながる貴重な画像情報が埋もれている可能性もある。潜航調査により得られた約17,000本の深海映像については、現在沖縄県名護市の国際海洋環境情報センター(GODAC)においてアーカイブ作業が進行中であるが、デジタル化のみで今後何年もの時間を要する上、膨大な画像データの有効活用のためには、適切なインデキシング(画像からのイベント抽出及びそれに対応した情

報の付与等)が必要である。一方、これ以外の画像データ、例えば約4,500本の相模湾初島沖深海観測ステーション画像のアーカイブは行われていない。今後も深海映像が引き続き取得・蓄積されることを考えると、効率的なアーカイブ方法を開発する必要がある。

以上のような背景のもと、平成15年度下半期より開始された本研究では、まず潜航調査に比べ背景の変化の少ない初島沖ステーションの画像データを利用し、アーカイブ作業を効率化するためのイベントの自動抽出や自動識別手法並びに知識ベースを備えたインデキシング手法等を開発し、さらにこれらの潜航調査画像への適用を目指している。

平成15年度は、電気回路基板等の製造現場や監視カメラによる防犯等における既存の自動認識技術や放送局のインデキシング技術研究等を対象に内外の技術の調査を行った。また本研究用の素材作成とともにアーカイブを目的として、民生品のDVDレコーダを用いた初島沖ステーション画像のデジタル化を開始した。

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)どん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につとめる。

(2) 研究開発状況の概要

深海および深海熱水噴出孔や活動的地殻内環境に棲息する微生物の分離、同定を行い、多くの新規微生物を分離するとともに、地殻内微生物圏における微生物の多様性と分布について研究している。適応機構の研究では、引き続き圧力など極限環境への適応機構の解明に取り組んでいる。また、生物を取り巻く物理化学環境として極限的な超臨界水中における生体関連物質等の研究を行っている。ゲノム解析研究では、遺伝子レベルから極限環境への適応機構の解明に努めており、得られた生物情報を統計学的視点から解析することも試みている。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細胞培養技術の開発と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。深海バイオベンチャーセンターでは、企業との共同研究を進めている。

(3) 主な研究開発の内容

1) ゲノム解析研究

好熱性 *Geobacillus kaustophilus* HTA426株のショットガンフェーズの配列決定から、形成された各コンテグ間のギャップ埋めの作業を行い、塩基配列決定を完了した。また、これに伴いゲノム配列からの遺伝子検索、アノテーション作業を行い、全ゲノムデータを DDBJ に登録した。その後、*G. kaustophilus* HTA426

株と他の *Bacillus* 属関連種との比較ゲノム解析を行い本菌ゲノムの特徴付けを行った。

一方、配列決定を行った2つの菌株の遺伝子機能解析、ゲノム構造解析を行い、昨年度同様、*B. halodurans* C-125株の大きな特徴である好アルカリ性に関係する遺伝子の検索と機能同定をDNAマイクロアレイを用いたトランスクリプトーム解析、2次元電気泳動や質量分析法を用いたプロテオーム解析を通じて行った。また、本年度からゲノム情報、その他の生物情報を用いて生命現象を解明する新しいアプローチとして、生物情報を数学的、統計学的な視点から解析する試みも行った。

(a) *G. kaustophilus* HTA426株の全ゲノム配列決定と生物情報学的解析

(i) *G. kaustophilus* HTA426株の全ゲノム配列決定

昨年度、ショットガンシーケンスとギャップ領域の取得により、全塩基配列の99%以上を解読し、残り1ヶ所のギャップ領域のクローン化を進行中であることを報告した。残り1個のギャップ領域を取得できない理由として、シーケンス精度が悪い領域や反復配列のために隣接しない塩基配列が間違っ て連結したキメラコンテグが構築されることが考えられた。そこで、コンテグ配列中の精度の悪い領域や反復配列を検出し、その繋がりを再度PCR法にて確認した。その結果、反復配列によるキメラコンテグを1ヶ所検出し、残り1ヶ所のギャップ領域のクローン化に成功した。ここで取得したギャップ領域の塩基配列を決定することにより、3,544,776塩基対の染色体と47,890塩基対のプラスミドからなる全ゲノム配列決定を完了した。染色体及びプラスミドのGC含量は52.1%と44.2%であった。

G. kaustophilus HTA426株ゲノムのGCプロファイル(図1)を作成するため、*G. kaustophilus* HTA426株の染色体を *oriC* 領域で切断して線状にし、全塩基配列から500塩基ずつ、ずらしながら順番に1,000塩基ずつ取り出した領域のGC含量をグラフ化した。GCプロファイルよりゲノム中のGC含量は、平均して45-55%であった。枯草菌ゲノムにおいては、prophage由来と考えられる極端にGC含量が低い領域が7ヶ所(PBSX、SPb、skin element)存在するが、本菌株ゲノムのGCプロファイルにおいても、極端にGC含量が低い領域が11ヶ所

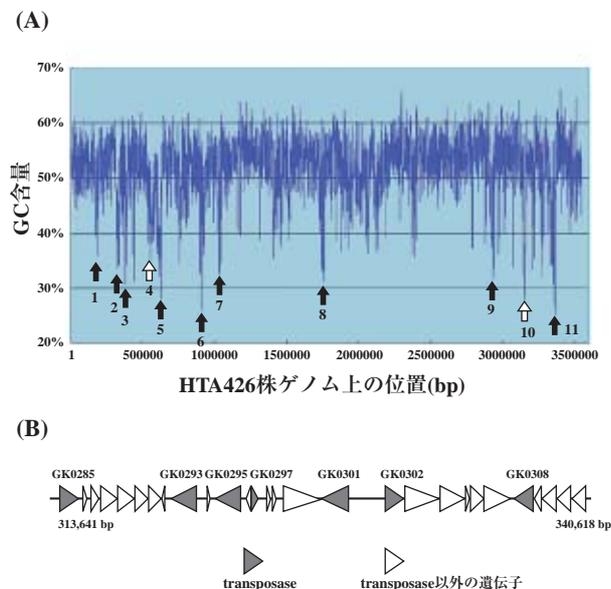


図1 HTA426株ゲノム配列のGCプロファイルと低GC含量領域遺伝子構成。(A) HTA426株ゲノム配列のGCプロファイル。極端にGC含量が低い領域。(No.1; 169 Kbp~184 Kbp, No.2; 314 Kbp~341 Kbp, No.3; 377 Kbp~392 Kbp, No.4; 537 Kbp~580 Kbp, No.5; 595 Kbp~629 Kbp, No.6; 891 Kbp~907 Kbp, No.7; 1,019 Kbp~1,042 Kbp, No.8; 1,737 Kbp~1,757 Kbp, No.9; 2,926 Kbp~2,940 Kbp, No.10; 3,142 Kbp~3,155 Kbp, No.11; 3,325 Kbp~3,366 Kbp)を矢印で示した。これら領域の中で複数のtransposase遺伝子を含む領域を黒矢印で、それ以外の領域を白矢印で示した。(B)低GC含量領域(314 Kbp~341 Kbp)の遺伝子構成。11ヶ所の低GC含量領域の中で、最も数多くtransposase遺伝子を含む314 Kbp~341 Kbp領域(No. 2)の遺伝子構成を示した。

存在し、特に537 Kbp~580 Kbpの領域(図1(A)のNo.4領域)には、多くのprophage由来の遺伝子が含まれていた。他の9ヶ所の領域(図1(A)の黒矢印)には、トランスポーズ遺伝子が多数存在し、特に314 kbp~341 kbpの領域(図1(A)のNo.2領域)には28遺伝子中、7種類のtransposase遺伝子が存在した(図1(B))。これら領域は、GC含量が低く、さらに転移因子が存在することからも、外界から伝播してきたものと考えられる。

次に、*G. kaustophilus* HTA426株ゲノム中に存在し、塩基配列決定の際の大きな障害となった反復配列を解析し反復配列のゲノム上での位置を確定した。本解析により、*G. kaustophilus* HTA426株のゲノム配列には、33種類(REP01~REP33)の反復配列が139ヶ所存在することが明らかになった。これら配列には、17種類の挿入配列(IS)由来notransposase遺伝子と1種類のgroup II

intronのreverse transcriptase/maturase/endonuclease (RT) 遺伝子がコードされていた。これら反復配列上の遺伝子以外にも、1コピーで存在する12種類のtransposase遺伝子と1種類のRT遺伝子が存在した。HTA426株のゲノムには、*Bacillus*属細菌のなかで最も多い29種類のIS及び2種類のgroup II intronが存在することが明らかになった。これら反復配列のなかで最も多く存在するREP08は、ゲノム上に16コピー存在し、ゲノム全域にわたり分散していた。この遺伝子産物は、*Photorhabdus luminescens*のIS4ファミリーのtransposaseと類似性を示した。REP07は*Oceanobacillus iheyensis* HTE831のgroup II intronのRTと類似性を示した。

(ii) *G. kaustophilus* HTA426株のrecA遺伝子内に挿入されたGroup II intronの解析

好熱性*Geobacillus kaustophilus* HTA426株のゲノム中にあるrecAはgroup II intronの挿入によって分断されていることが本菌の全ゲノム解析から明らかになった。もし、group II intronが挿入されているrecA遺伝子が正常に機能しているとすれば、スプライシングが実際に起きているものと考えられる。しかし、group II intronがコード領域に挿入されている例がバクテリアゲノムではほとんど報告されていないため極めて興味深い。そこで、group II intronのセルフスプライシングがどのように行われているかを明らかにすることを目的として、まず*in vivo*においてgroup II intronのスプライシングの確認を行った。*G. kaustophilus* HTA426株からtotal RNAを抽出した後、group II intronの上流と下流域の特異的な塩基配列から設計したプライマー(RECA3, RECA4)を用いてRT-PCRを行い、RT-PCR産物を電気泳動にて確認した(図2-I)。その結果、recA遺伝子のホモロジーサーチの結果から予測された約460 bpのバンドが確認された。そこで、次にrecA遺伝子に挿入されているgroup II intronの構成単位長を正確に把握するために、スプライシングによって得られた先のPCR産物の配列決定を行い、*G. kaustophilus* HTA426株ゲノムのrecA近傍の塩基配列との比較を行った。その結果、recA遺伝子に挿入されているgroup II intronは2782 bpからなっていることがわかった(図2-II)。一方、*in vitro*におけるスプライシングは、まずgroup II intronを含むrecA遺伝子領域を染色体DNA

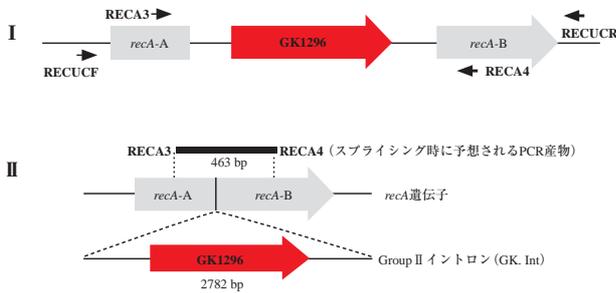


図2 *G. kaustophilus*株ゲノム中に存在する *recA* 遺伝子領域の構成。I. *recA* 遺伝子領域の遺伝子構成。II. スプライシング時に予想される *recA* 遺伝子。矢印は *recA* 遺伝子領域を合成する際に用いられたPCR用プライマー。

から *recA* 遺伝子の両端から設計したプライマー (RECUCR, RECUCF) を用いてPCRにより取得後クローン化し、SP6 RNA polymeraseを用いて合成したRNAを用いて *in vivo* の場合と同様に確認した。

その結果、先の *in vivo* スプライシングの場合と同様に約460 bpのバンドが確認された。したがって、*G. kaustophilus* HTA426株ゲノムに見いだされたgroup II intronは、セルフスプライシング能を有するイントロンであることが明らかになった。

Group II intron (Gk.Int) 領域に見いだされたCDS (GK1296) はreverse transcriptase/maturase/endonucleaseと高いホモロジーを示し、他の酵素と同様に三つのドメインからなっていた(図3)。N末端側にあるreverse transcriptase (RT) 活性ドメインは一般的に8個のサブドメインからなっており、その主要部分はドメインIVであることが知られている。C末端側にはZnフィンガーモチーフと、それにオーバーラップする形でDNAエンドヌクレアーゼモチーフが存在し、RTドメインとZnフィンガー領域の間にはgroup II intronの生体内でのスプライシング促進に重要であるmaturase活性を有するドメインXとよばれる領域が存在する。本研究におい

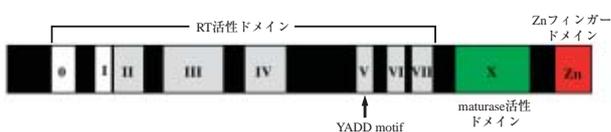


図3 Group II intron中にあるCDS (Reverse transcriptase/maturase/endonuclease) のドメイン構造。他のRTとの比較において高い相同性を示すドメインVにスプライシングに重要な役割を果たすと思われるYADDモチーフが存在する。

てこれらのドメインを他の酵素と詳細に比較したところ、GK1296にはRT活性ドメインを構成する8個のサブドメインのうち、0, Iの各サブドメインが存在しないことが明らかとなった。

これらの違いが、Gk.Intのスプライシングメカニズムとどのように関係しているのかは現在のところ不明であるが、今後Gk.Intのスプライシングメカニズムを研究していく中で明らかになっていくものと思われる。

(iii) *G. kaustophilus* HTA426株の全ゲノム配列情報に基づく耐熱性タンパク質の予測

全塩基配列決定が終了した微生物のゲノム配列から推測された全タンパク質のアミノ酸組成と微生物の生育温度には相関関係があることが知られている。特に、80°Cを越える超好熱性古細菌(アーキア)と一部の細菌の間で顕著に相関関係が見られる。しかし、これまで全ゲノム配列が決定された超好熱菌のほとんどがアーキアであることから、この相関関係がアーキア特有のものであるのか、好熱性菌の特徴であるのか、詳細な議論がなされてこなかった。また同様に、ゲノム配列決定が終了した一部の好熱性細菌についても、それらと類縁性の高い非好熱、非耐熱性菌が存在しないこと、あるいは存在してもゲノム配列情報がないため、好熱性細菌に見られたアミノ酸組成の特徴が、本当に好熱性細菌に特有な特徴であるのか、単に種の特異性を反映した結果なのかを正確に議論することが困難であった。

そこで本研究では、同属内及び非常に類縁性の高い属内に70°C前後を生育上限温度とする好熱性菌や、様々な生育上限温度を有する非好熱性菌が存在する*Bacillus*属関連種に着目した。これら*Bacillus*属関連種では、これまで4つの非好熱性*B. subtilis*、*B. halodurans*、*Oceanobacillus iheyensis*、*B. cereus*の全ゲノム配列が明らかにされてきたが、好熱性*Bacillus*属関連種の全ゲノム情報が得られていなかったため、我々が本研究において解析を行った好熱性*G. kaustophilus*ゲノムの全塩基配列情報を用いた。次に、これら5種を含む全ゲノム配列が明らかにされた120種の微生物が持つタンパク質のアミノ酸組成を主成分分析法により解析したところ、*Bacillus*属関連種においても第1主成分がGC含量と、第2主成分が生育上限

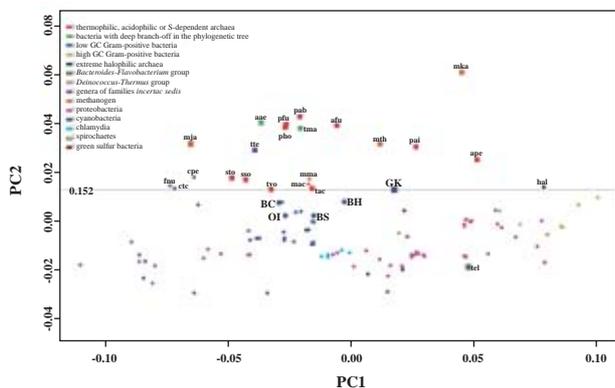


図4 全ゲノム配列が決定された微生物由来のタンパク質のアミノ酸組成に基づく主成分分析。■は好熱または超好熱菌で●は非好(耐)熱性菌を示す。GK, *Geobacillus kaustophilus*; BH, *Bacillus halodurans*; BS, *Bacillus subtilis*; BC, *Bacillus cereus*; OI, *Oceanobacillus iheyensis*

温度と相関を示すことが明らかとなった(図4)。そこで、解析に用いた*Bacillus*属関連5種間に1:1の関係で共通に存在する965タンパク質の主成分得点を第2主成分に対する各アミノ酸の固有ベクトル(各アミノ酸の重み係数)の値から求めた。

この際、完成はしていないがdraftシーケンシングが終了しており、ほぼ同じ生育上限温度を有する*G. stearothermophilus*のゲノムサーバーから5種に共通

な965タンパク質に対応するアミノ酸組成を抽出して同様に主成分得点を算出し、*G. kaustophilus*との差分を計算した。その結果、これら2種の差分のばらつきが-0.01~0.01の範囲にあることがわかった。そこで同様に、好熱性*G. kaustophilus*の各タンパク質の主成分得点と非好熱性4種の値の差分を算出し、この範囲に入るものをこれら2種のタンパク質同様に耐熱性を有するタンパク質と判断した(図5)。

次に、非好熱性4種に耐熱性タンパク質が実際に存在するか否かを調べるため、培養菌体を破碎した上澄み液を粗タンパク質溶液として生育上限温度を越える60°C、70°Cで熱処理後、残存するタンパク質を電気泳動により確認した。また、同時に活性染色法により、酵素活性が簡便に検出できるエステラーゼに耐熱性があるかどうかを確認した。その結果、好熱性*G. kaustophilus*では熱処理により殆どタンパク質の電気泳動パターンに変化が見られなかったのに対し、非好熱性の4種では熱処理により変性したタンパク質がある一定の割合で失われていることがわかった。

図5のピンクでマークされたドットが耐熱性を有するタンパク質として示されている。その結果、非好熱性*Bacillus*属関連種にも好熱性*G. kaustophilus*同様に耐熱性タンパク質がある一定の割合で存在することが示唆された。

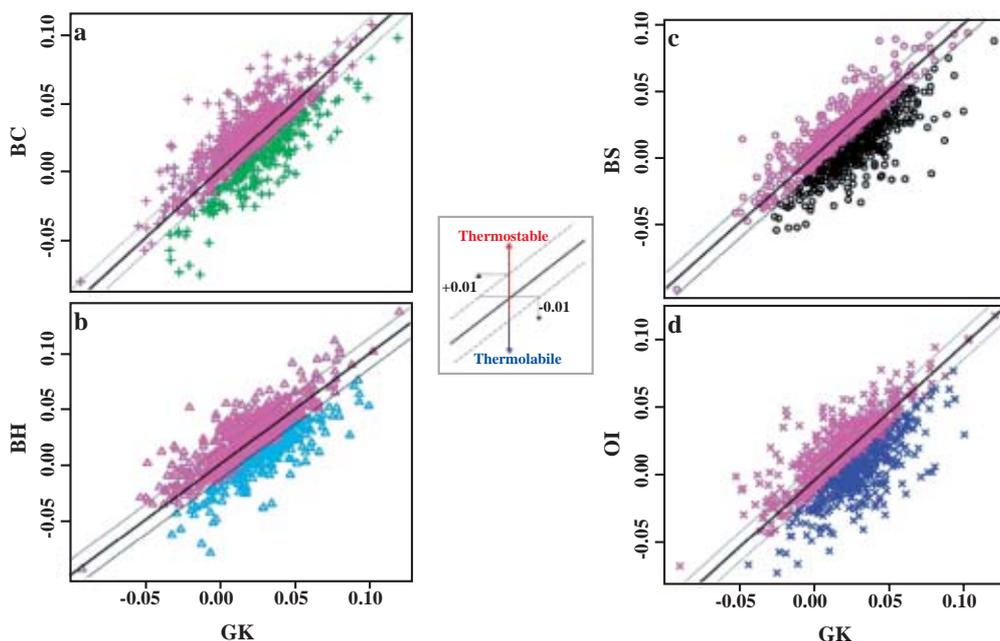


図5 好熱性*G. kaustophilus*と非好(耐)熱性*Bacillus*関連種の各タンパク質の主成分得点の差に基づく相関図。a, *Bacillus cereus*; b, *Bacillus halodurans*; c, *Bacillus subtilis*; d, *Oceanobacillus iheyensis*

その一方、主成分分析から予想されたように、熱処理により変性しなかったと思われるタンパク質が電気泳動パターンにより確認されており、一部の種ではエステラーゼは60°C、10分間の熱処理後でも酵素活性を有していることが明らかとなった。また、*B. subtilis*における生育必須遺伝子の一つであるGroES、バチルス属関連種に共通に保存されている代表的なタンパク質のひとつであるHag (Flagellin)については、各微生物からPCRにて遺伝子を増幅し、大腸菌を用いてクローン化したものを用いて先と同様に耐熱性の検証を行った。クローン化され精製された各タンパク質を非加熱、60°Cで10分間加熱、70°Cで10分間加熱、のそれぞれの処理した後でのネイティブPAGEのパターンを検討した。Hagタンパク質については、BC以外の全てについては、70°Cの加熱処理によっても未処理時とほぼ同様にバンドが維持されていた。GroESタンパク質については、BCとBSが60°C以上の加熱処理によりわずかに薄いバンドしか確認されなかったことから、熱処理によってタンパク質が分解されたと考えられるが、他のGK、OI、GKについては未処理とほぼ同様にバンドが維持されていた。このことは、非好熱性細菌では、その種類により、耐熱性を保持しているものと保持していないものがあるということを示しており、好熱性細菌の対応するタンパク質との相関を計算することにより、非好熱性細菌が産生するタンパク質の耐熱性を判別する方法が、タンパク質の耐熱性を的確に予測していることを意味している。

(b) *B. halodurans* C-125株のポストシーケンシング解析
(i) DNA マイクロアレーによる*B. halodurans* C-125株ゲノムからの細菌性

Flotillin遺伝子の同定

DNA microarray解析を用いて全ゲノム遺伝子の発現強度をExpression Ratio (log2) で計算し、比較したところ、BH3500遺伝子の発現比がもっとも高く、中性と比べアルカリで13-19倍の高値を示すことが分かった。アミノ酸配列に基づくBLASTサーチから、本遺伝子はFlotillinと最も相同性が高く、prokaryotic Flotillinであることが示唆された(図6)。ClustalXを用いてアライメントを行い、系統樹を作成したところ、既知の*Bacillus*属ともかなり離れた新しいタイプのFlotillin

であることが示唆された。BH3500にはSPFH (stomatin/prohibitin/flotillin/HflK/C)ドメインとFlotillinドメイン、およびcasein kinase II, tyrosine kinases, protein kinase C酵素のリン酸化サイトが保存されており、C末端には独特のAEA-repeat構造が保存されていることがわかった。これらの特徴ある領域は線虫をはじめ、さまざまな真核細胞のFlotillin familyに見られる共通な構造である。また、flotillin-1と同じように、glutamic acid-rich regionも存在する。疎水性解析では、既知のflotillinと同様に、BH3500のN末端は疎水性を示し、膜タンパクであることが推定された。これらの結果から、BH3500はflotillin familyの一員であることが示唆された。本文にはこの*B. halodurans*由来の新しいflotillinをFLO^{bh}と略記した。

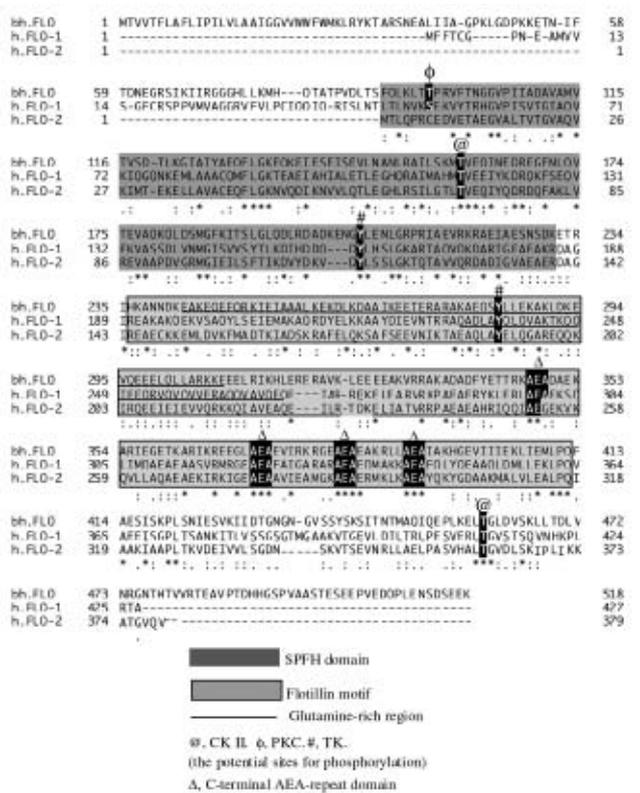


図6 BH3500 アミノ酸シーケンスのアライメント。ClustalXを用いてBH3500のアミノ酸配列をヒトFlotillin (FLO-1, FLO-2)とalignmentを行い、相同性を検討した。SPFH (shaded in gray)、flotillin (boxed and shaded in gray)ドメインおよびAEA-repeat 構造(Δ)が認められた。また、casein kinase II (@), protein kinase C(Φ)とtyrosine kinases(#)リン酸化サイトも保存された。Glutamine-rich regionはアンダーラインで示した。

次にFLO^{bh}タンパクの性質を調べるため、FLO^{bh}遺伝子を大腸菌にて発現させ、タンパク精製を行った。これにより、予想した約58 kDaのタンパク質が確認され、LC/MS/MS解析により本タンパクが目的のFLO^{bh}タンパクであることを確認した。このタンパクはアルカリと界面活性剤難溶性の特性を有し、既知のヒトFlotillinタンパクと同様な性質を示した。菌体から抽出し、精製した後、ウサギに免疫して、anti-FLO^{bh} antibodyを作製した。Flotillinはカベオラ及び脂質ラフトなどのマイクロドメインに存在する。これらのマイクロドメインは細胞膜における情報交換の中心的な部位であることが示唆されているが、原核細胞にはこのようなマイクロドメインについての報告はない。我々は真核細胞のマイクロドメイン抽出法を用いて、*B. halodurans* C-125株のカベオラ及び脂質ラフト類似物の抽出を行い、その画分にFLO^{bh}の局在をwestern blotting法で調べた。低温Toriton X-100処理した細胞ホモジネートをショ糖密度勾配遠心にかけて、低密度画分を回収した。さらにアルカリ抽出を行った。anti-FLO^{bh} antibodyにより、カベオラ及び脂質ラフト類似画分にFLO^{bh}の存在が確認された。さらに、このFLO^{bh}タンパクの発現量は中性(pH7.0)に比べてアルカリの培養(pH10)では、多く発現することが示された(図7)。

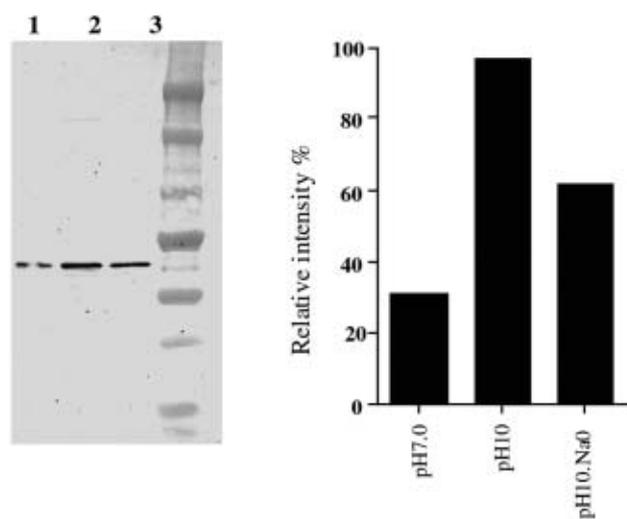


図7 BH3500の局在及びpHによるタンパク発現量の変化。アルカリ及び界面活性剤不溶性膜画分を抽出し、Western Blotting法でBH3500の局在を検討した。レーン1：pH7.0, 2%NaCl；レーン2：pH10, 2%NaCl；レーン3：pH10, 0%NaCl

FLO^{bh} mRNAの解析を行うため、Northern hybridizationを行った。KOHでさまざまなpHを調整し、*B. halodurans* C-125株を培養した。同じモル数のKClでK⁺イオンのコントロールとした。FLO^{bh} mRNAの発現がpHと正の相関性を示し、pH10, 11においては発現が最も高かった。*B. halodurans*をpH7.0および10で培養した。また、運動性と生育がともに低下した変異株と野生株を同じ条件(pH10)で培養し、DNAマイクロアレイ解析を行った。発現強度のクラスタリング解析を行なった。アルカリで生育速度の低い変異株で発現低下が見られた遺伝子の多くが、野生株のアルカリ培養において強く発現することが示された。したがって、これら共通遺伝子群がアルカリ適応に関わる可能性が大きいと思われる。これら共通する遺伝子の中で、FLO^{bh}の発現強度比はpH10以上の時には中性に比べ13-19倍の高値を示し、全遺伝子の中で最も高かった。本研究では、*B. halodurans*の細胞膜の脂質マイクロドメイン類似画分に、アルカリpHにより強く発現する新規なflotillinタンパクが存在することを明らかにした。ノーザン及びDNAマイクロアレイ発現解析により、FLO^{bh}は菌体内pH恒常性の維持に最も重要な遺伝子の一つであることが示唆された。しかし、*B. halodurans*には真核生物のカベオラのような構造があるのかないのか、FLO^{bh}はどのように情報と物質の交換に関与しているか、多くの課題が残されている。今後、コレステロール除去剤で処理することによってFLO^{bh}が失われることで、*B. halodurans*にどのような生理学的変化が生じるのかを検討する予定である。さらに、FLO^{bh}遺伝子欠損株の作製によりFLO^{bh}の機能を検討し、DNAマイクロアレイを用いたFlotillin遺伝子の発現に関わる調節機構も調べる予定である。神経生理学の研究では、Flotillinは受容体としてNaチャンネルの分子コンフォメーションを引きおこし、Naチャンネルを開かせる。Voltage-gated channelsを開くことにより、活動電位を引きおこす。*B. halodurans*には新しいNaチャンネルが報告されており、今後両者の関連性についても追求したい。本研究は進化の視点から高等生物のflotillin研究に新しい知見を提供できると考え、また、アルカリ細菌における新しい物質輸送及びシグナル伝達経路の探索にも役たつものと考えられる。

(ii) プロテオミクス的手法による *B. halodurans* C-125 株の pH 応答遺伝子産物の解析

プロテオミクス的手法を用いた解析により、pH に依存する可能性の高い 30 のタンパク質を特定することができた。異なる条件での遺伝子産物を分離、精製し、N-末端アミノ酸配列解析と質量分析法で同定したところ、アルカリ性でより特異的に発現するタンパク質は主に酸化還元酵素 (EC1 群) と加水分解酵素 (EC3 群) で、呼吸鎖と有機酸類の合成を促進する酵素やプロトンを生産調節する酵素などであることがわかった。またそのほかのものとして分子シャペロン様タンパク質も同定された。ClpP, GroEL, thioredoxin などは ATP とプロトンの代謝に深く関係あるタンパク質である。これらのタンパク質が、環境ストレスなどに関わることは真核生物でも報告され、*B. halodurans* C-125 株のアルカリ性環境適応に重要な役割を果たしていると推定される。つまり、アルカリ性環境で生育した *B. halodurans* C-125 株は、より多くのプロトン呼吸に伴って作り出し、細胞内外の pH を調節すると考えられる。好アルカリ性 *B. halodurans* C-125 株における pH のホメオスタシス機構は単純なものではないが、今回見出した pH の変化に依存して発現量が増えるタンパク質とアルカリショックに対する遺伝子産物の発現パターンを総合的に分析すると、有機酸類の代謝に深く関連する新たな細胞内 pH のコントロール経路が存在するものと示唆された。すなわち、Alanine dehydrogenase と pyrroline-5-carboxylate dehydrogenase と phosphotransacetylase はアルカリシ

ックで短時間内に大量増加することから、*B. halodurans* C-125 株の細胞はアルカリ性環境を感知し、すぐに細胞内のプロトン蓄積の可能性が高いと考えられた。図 8 にはアルカリショックによる Alanine dehydrogenase 及び機能未知の 11 kDa タンパク質の挙動を示した。

アルカリ性条件下で発現量が顕著に増加した 11 kDa の function unknown タンパク質と Hag 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 11 kDa 機能未知タンパク質を ARP11 (alkaline response protein 11 kDa) と名付けた。ARP11 タンパク質をコードする遺伝子がアルカリ性条件において発現量が増加していることを転写と翻訳の両方のレベルで確認し、アルカリ性に依存するかどうかノーゼン解析で調べた。まず、90 mM (約 0.5%) のナトリウムを添加した培地を作製し、pH を KOH で調整した。カリウムイオンの影響を除くために同モル数の KCl を添加した pH7 の培地をコントロールとして転写、翻訳に及ぼす pH の影響を調べた。それぞれの培地において培養した *B. halodurans* C-125 の菌体から全 RNA を抽出し、Northern hybridization を行った。その結果、ARP11 の転写産物はアルカリ性に依存して増加することが明らかになった。一方、ARP11 は中性 (pH7.0) 条件下においてはナトリウム依存性を示したが、アルカリ条件下ではナトリウムイオンの影響は認められなかった。また、ARP11 の転写、翻訳に関しては、鞭毛の構成タンパク質 Hag とほぼ同様な傾向を示した。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

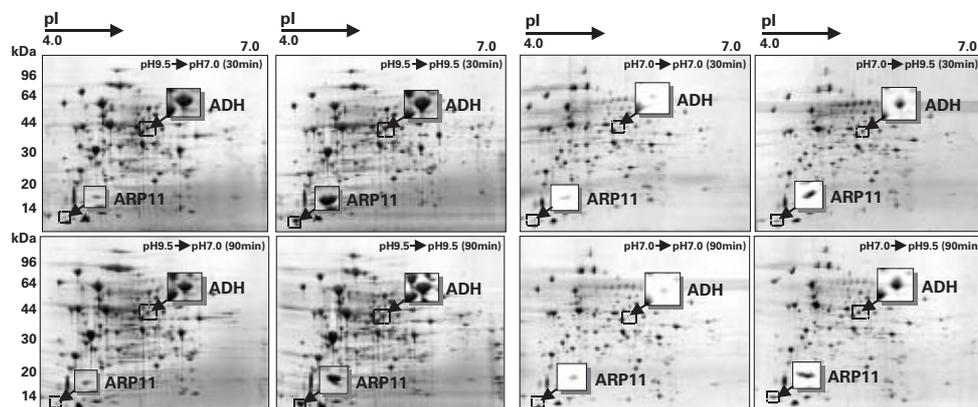


図8 ADHとARP11がアルカリショックで短時間内に発現増加する。対数増殖期の *B. halodurans* C-125 ($OD_{600}=1.5$) を pH7.0 中性の培地から pH9.5 アルカリ性及び中性の培地にシェットし 30 分と 60 分培養してサンプリングした。同様に pH9.5 の培地から中性とアルカリ性の培地にシェットし、それぞれの全タンパク質パターンを二次元電気泳動で解析した。

た。アルカリ性条件で特異的に発現する遺伝子が直接アルカリ性適応に関係するかどうか不明な点が多いが、これらの遺伝子の発現調節機構は非常に興味深い。

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二次元電気泳動により調べた結果、アルカリ依存性の11 kDaの新規タンパク質を膜画分に見出すことができた。したがって、本タンパク質はアルカリ依存性で膜上に存在する11 kDaの新規タンパク質であることがわかった。一方、この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。大腸菌の大量発現系を用いてタンパク質の大量発現と精製を行ない、抗ARP11ポリクローナル抗体の作製を行った。次に、この抗体を用いてARP11の各培養条件における定量的な解析及び免疫沈降法による相互作用因子の解析も行った。通常ARP11のような膜タンパク質は、複合体で存在する可能性が高いため、相互作用するタンパク質のスクリーニングによって、ARP11の性質が推定できるのではないかと考えられる。そこで、アフィニティーカラムとARP11の抗体を用いて免疫沈降法によりARP11と相互作用しているタンパク質の検索を行い、ARP11と相互作用しているのではないかと考えられるタンパク質が少なくとも数種類存在することを確認した。その中のメインバンドをLC/MS/MSを用いてHagタンパク質であると同定したことにより、ARP11は鞭毛タンパク質と相互作用する初めてのタンパク質であることが示された。また、pH及び塩濃度など種々条件に対し、ARP11とHagの発現パターンが同様の挙動を示すことから、ARP11は *B. halodurans* C-125株の運動性及びアルカリ環境適応に関わることが示唆された。

(c) 生物情報に基づく数学的視点からの生命現象の解析
ゲノム上に記録されている遺伝情報の発現・制御に関しては既に多くの研究報告がなされているが、その制御機構の説明の多くは、合目的的表現によってな

れているというのが現状である。しかしながら、この説明では明らかに生命現象を語るには不十分であると言わざるを得ない。例えば、生物の代謝経路には冗長性が存在するが、これは、同一の外部情報のinputに対し同一のoutputをする複数の経路があるということである(図9)。ところが、冗長性の存在は認められているものの、その存在条件については全く議論がなされていない。同じ情報に対し複数の道筋を經由して同じ結果を出すのであるから、これらの系を制御するためには、何らかの相関関係が存在しなくてはならないはずである。つまり生物が持つ冗長性を議論する場合、冗長性が存在するための必要条件を考えなくては本質的な理解にならないと考えられる。更にこの冗長性に関して別の問題も生じてくる。例えば「微生物の環境適応機構としての細胞膜組成変化」という現象が挙げられる。この場合その変化は「細胞膜の流動性を一定に保つため」と説明されることが多いが、その細胞膜組成比が何故一意的に決まるのかについては全く議論がなされていない;「流動性を一定に保つため」だけなら(冗長性の存在を考えてみると)複数の細胞膜組成比が条件を満たす可能性がある。この例のように冗長性が存在するにもかかわらず、微生物がある環境においてとりうる生理的状態の一意性については何ら言及されることがない。このように合目的と言うことだけでは生物学的現象を議論することはできない。

そこで我々は、(生物学的情報、つまりDNAにコードされているアミノ酸情報を考えずに)まずDNAの持つ非可換性と半群の性質に着目して、DNA構造を数学的に表現した。次に、遺伝子発現はDNAと環境との何らかの相互作用から引き起こされるものであることに着目して、抽象的環境空間と抽象的DNA空間との相互作用(エネルギー)を数学的に表現した。この全相互作用エネルギーの計算には最小原理を適応し、相互作用エ

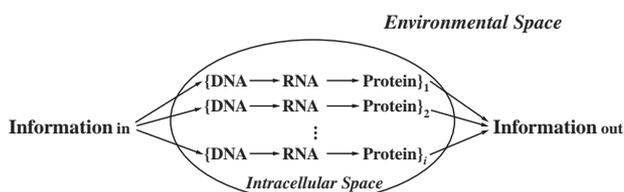


図9 冗長性:細胞内には、ある外部環境の情報(温度, pH, etc; Information_{in})に対して同じ結果(Information_{out})を与える情報系(DNA → RNA → Protein)が複数存在する。

エネルギーが同調して大きなエネルギーとなり一定の閾値を越えた場合(可積分項)とエネルギーが打ち消しあって閾値を越えなかった場合(不可積分項)に分離した。更にDNAが、全体に作用したものは部分的に作用したものの和となることを示すthe first Chern class的性質を持つと考えるとsymplectic構造で表すことができるので、ベクトル空間を指数関数的に表現する1径数正準変換を適応し計算することができる。その結果、全相互作用エネルギーは、DNAの塩基配列に関する情報の和という形で相互作用エネルギー積分の解が与えられ、遺伝子発現とは環境空間とDNA空間との相互作用によって変化するエネルギーを相補するエネルギーに相当すると結論付けられた。つまり、遺伝子発現とはエネルギー保存則の帰結であると言える。

次に冗長性という性質を数学的に表現することを試みた。ゲノム上の情報のある適当な操作によって固有の空間に変換する。図10(a)に示したように、冗長性を持つ遺伝子群(冗長性を持つ各空間)において、それらは共有する空間で与えられると考えられる。すなわち、冗長性が存在するための必要条件は、 X という共通項を持つ共通空間によって表現できる。したがって、これをホモロジー代数を用いて議論すれば良いことになるが、一般に用いられている生物学的なホモロジーという概念は、単純な配列の比較であるため $|X_1| = |X_2|$ であるが、 $X_1 \neq X_2$ の場合を考慮できていないのが現状である。

次に、我々は生物学的適応機構の例として環境変化に伴う細胞膜組成の変化に着目した。細胞膜の持つエネルギーを細胞膜を構成する分子濃度と分子間相互作用エネルギーとの関数とし、これをハミルトニアンとして表現した。このハミルトニアンを分配関数に代入しWickの理論を用いてそこに現れる無限積の解釈を行った。すると、この無限積の存在(分配関数の解の存在)は、適当な細胞膜組成比の存在と同一視することができる。これにより解の一意性(すなわち、ある環境における細胞膜組成の一意性)は、分配関数の摂動展開に現れる無限積が存在するための条件として導かれた。

これまでの研究の過程から、生物学的現象の数学的構造は「微分位相幾何学」や「場の量子論」によって記述されるべきことが見えてきた。更に「Homology代数」における数学概念を利用することによって、「遺伝

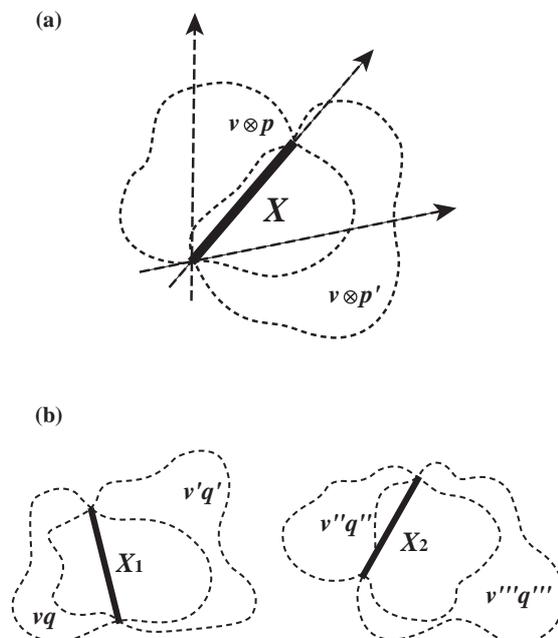


図10 冗長性の抽象空間でのイメージ： $v \otimes p, vq$ 等は各遺伝情報に張る固有の空間を表す。(a) 冗長性の関係にある空間は共通の空間 X を持つ。(b) エネルギーの大きさ的には等しくても($|X_1| = |X_2|$)、空間としては一致しない($X_1 \neq X_2$)エネルギー空間が存在する。遺伝情報を単純な配列のみから議論するとこれらを区別することは出来ない；したがって過剰な情報が含まれてくる。

情報の発現及び制御」「代謝制御」といった生物学的現象を「空間間の写像」という形で数学的に記述できそうであることも見えてきた。今後は、上記のような「遺伝子の固有な空間への分解」という考え方を応用することで、現在増えつつあるマイクロアレーの実験データと重ね合わせて議論できるようになると考えている。

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

(i) 新規細菌の分離

新規微生物や有用酵素生産菌の分離・同定を目的に、従来分離を行ってきた深海底泥とは異なるサンプル、異なる培地および培養条件により、日本海後志トラフの深度3,100 mの化学合成生物群集生息域(図11)の底泥および鹿児島野間岬沖深度230 mに投入された鯨の死体(図12)付近から採取した底泥を船上で10種類の培地に塗布または接種し、3段階の培養温度条件により、新種の各種細菌、有用酵素生産菌等の分離を行った。



図11 日本海後志トラフ深度3,100 m バクテリアマット



図12 鹿児島野間岬沖深度230m 鯨遺体

プレート培養では、生育したコロニーからシングルコロニーアイソレーションで純化した。その結果、好冷性細菌約100株を含む計1,000株を分離した。特に鯨死体サンプルからはアガラーゼ生産菌が50株以上、その他キシラナーゼやケラチナーゼなどの有用酵素生産菌も多数分離できた。得られた好冷菌、中温菌ともにDNAを精製し、16S rDNAをPCR法で増殖、t-RFLP

法による解析及びシーケンスを行っている。

(ii) アガラーゼ生産菌の同定

昨年度分離したアガラーゼ生産菌3株は同定試験の結果、それぞれ*Microbulbifer*属近縁の新種であることが分かった(図13)。これらの菌の生産するアガラーゼは非常に耐熱性に優れている。

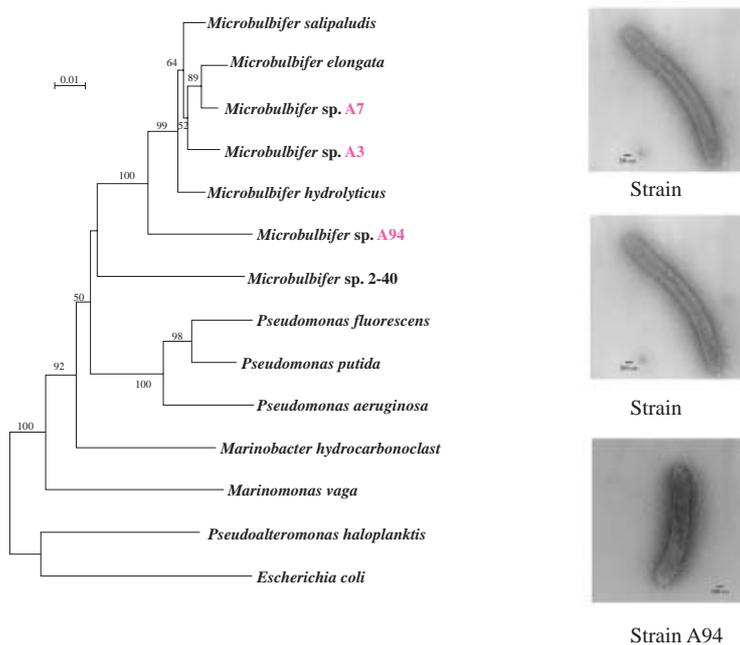


図13 近隣接合法で作成した16S rRNA geneに基づいた*Microbulbifer*属の分離株A3, A7, A94と近縁既知種。

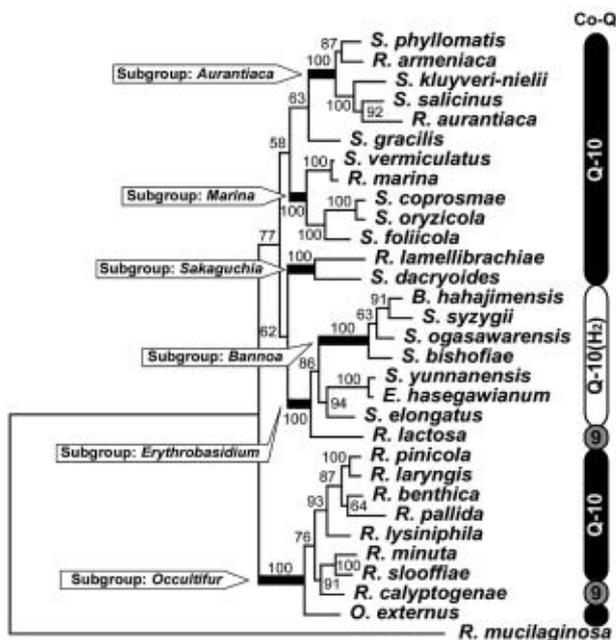


図16 18S rDNA, ITS, 5.8S rDNA, 26S rDNA, EF-1alpha (第一、第二コドン)の部分塩基配列からの結合データセットに基づく最尤樹。

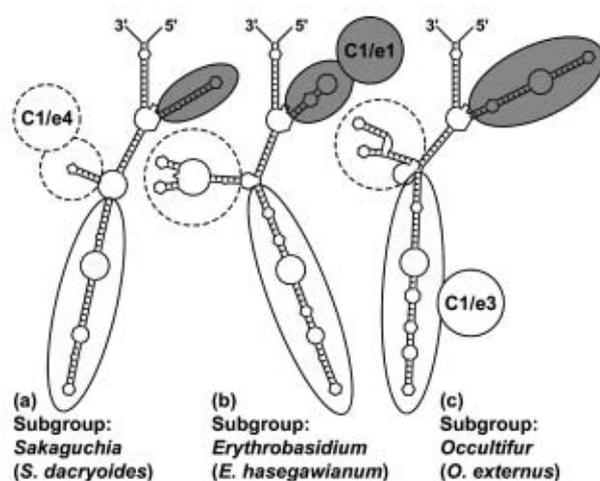


図17 エリスロバシディウム進化系統群の3代表種の、26S rRNAのC1ヘリックス予測的二次構造。それぞれのヘリックスを、C1/e1(灰色), C1/e3(実線), C1/e4(実線)のように示した。この図の(a), (b), (c)は表1の脚注に対応する。

表1 エリスロバシディウム進化系統群内各サブグループ間の、26S rDNAのC1ヘリックス二次構造の比較。

Subgroup	Species	C1 helix structure	
		C1/e1	C1/e4
Aurantiaca	5 spp.	Long	2 stems
Aurantiaca or Marina	<i>S. gracilis</i>	Long	Loop+2 stems
Marina	5 spp.	Long	Loop+2 stems
Sakaguchia ^a	<i>Sa. dacryoides</i>	Short	Short
	<i>R. lamellibrachiae</i>	Short	2 stems
Bannoa	4 spp.	Short	2 stems
Erythrobasidium ^b	4 spp.	Short	Loop+2 stems
Occultifur ^c	9 spp.	Long	2 stems

a, b, ^cRepresentatives shown as Figure 5a, 5b, and 5c, respectively.

(v) サンプル保存について

①深海サンプル

今年度の深海底泥サンプルは、「しんかい6500」で日本海から13種、ハイパードルフィンで鹿児島沖から14種採取し、合計27種類について液体窒素での保存を行った。これにより現在深海底泥サンプルは328種が保存されている。

②細菌保存

各研究者が分譲を受けた各種Type strainなどの株は、新たに35株が追加され現在149株がいつでも使用できる形で保管されている。

深海底泥より分離した細菌 550株(中温菌 500・好

冷菌 50)を新たに保存した。

③酵母保存

鹿児島湾の鯨骨近傍から採取した10底泥サンプルから19株、相模湾採取シロウリ貝から6株を分離した。これらは10%グリセロール存在下で、液体窒素による凍結保存を行なった。保存株は合計478株となった。

(b) 圧力生理学から探る細胞機能と深海微生物の圧力適応機構の研究

昨年度までに、①出芽酵母*S. cerevisiae*のトリプトファンの取り込みは著しい圧力感受性を示すこと、②高親和性型トリプトファン輸送体Tat2の高発現株は高

圧／低温条件下で良好に増殖すること、③HECT型ユビキチンリガーゼRsp5(=Hpg1)の変異やその結合タンパク質であるBul1/Bul2の欠損により酵母が高圧増殖能を獲得することなどを明らかにしてきた。本年度は、Tat2とそのホモログである低親和性型トリプトファン輸送体Tat1の細胞内局在とユビキチン化による制御メカニズムを解析しつつ、細胞膜上における両者の動態を圧力を用いて解析した。

高圧増殖変異株HPG1株やbul1bul2破壊株、あるいは脱ユビキチン化酵素遺伝子DOA4の破壊株では細胞内Tat2量が2～4倍に増加していた。ところが、細胞内Tat1の量はこうした変異や遺伝子破壊の影響を受けなかった。一方、加圧すると野生株ではTat2と同様Tat1も分解され、変異株ではどちらも安定化した。従って定常状態(大気圧下)における両者の制御は異なるものの、ともに加圧するとユビキチン化により分解されるという点では共通していた。

細胞内局在を調べたところ、Tat1の大部分が細胞膜に存在したのと対照的に、Tat2はゴルジ体やエンドソームなどの内膜系に多く分布していた。実はこの違いが生体膜に存在するドメイン構造を反映したものであることがわかった。すなわち、Tat2が流動性に富むグリセロリン脂質に存在するのに対し、Tat1はスフィンゴ脂質やエルゴステロールに富むタイトなドメイン(ここではラフト[raft]と呼ぶ)に局在した。Rsp5活性が低下すると不思議なことにTat2はラフトに移行し、結果としてラフトを多く含む細胞膜に運ばれることになる。ところがRsp5活性が正常であってもTat2そのもののユビキチン化部位に変異が入ると(つまりユビキチン化されないと)、同様にラフトに移行し細胞膜に運ばれる。一方、Tat1の局在はRsp5活性の影響を受けない。この一見複雑なユビキチン化とTat2のラフト局在の関係を筆者らは膜タンパク質の準変性モデルを掲げて解釈している。すなわち、グリセロリン脂質はラフトに比べ熱的な摂動にさらされ易いので、Tat2はTat1より変性しやすい環境に存在するものと考えられる。

圧力をパラメーターとして用い、トリプトファンの取り込みに伴う活性化体積(Activation volume; ΔV^\ddagger)をTat1とTat2について調べた。その結果、それぞれ89.3 ml/molおよび50.8 ml/molという値が得られた。このことは、タイトなドメインに局在するTat1の方が、流動性の高

いドメインに存在するTat2に比べ、活性化状態で大きく構造変化することを示唆している。言い換えると、圧力実験により活性化体積を測定することで、膜タンパク質のダイナミズムのみならず、局所ドメインの構造を推測できるという新たな可能性を提示するものである(図18)。

S. violacea DSS12株は至適増殖圧力が50 MPaである好圧性細菌である。この菌体からRNAポリメラーゼホロ酵素とシグマ70因子の結合していないRNAポリメラーゼコア酵素をヘパリンアフィニティークロマトグラフィー、ゲルろ過クロマトグラフィー、陰イオン交換クロマトグラフィーにより精製した。精製酵素標品を140 MPaの条件下で電気泳動し、コア酵素とホロ酵素のサブユニット構造の高水圧下での安定性の違いについて解析を行い、シグマ70因子の有無による安定性の比較を行った。その結果、DSS12株のRNAポリメラー

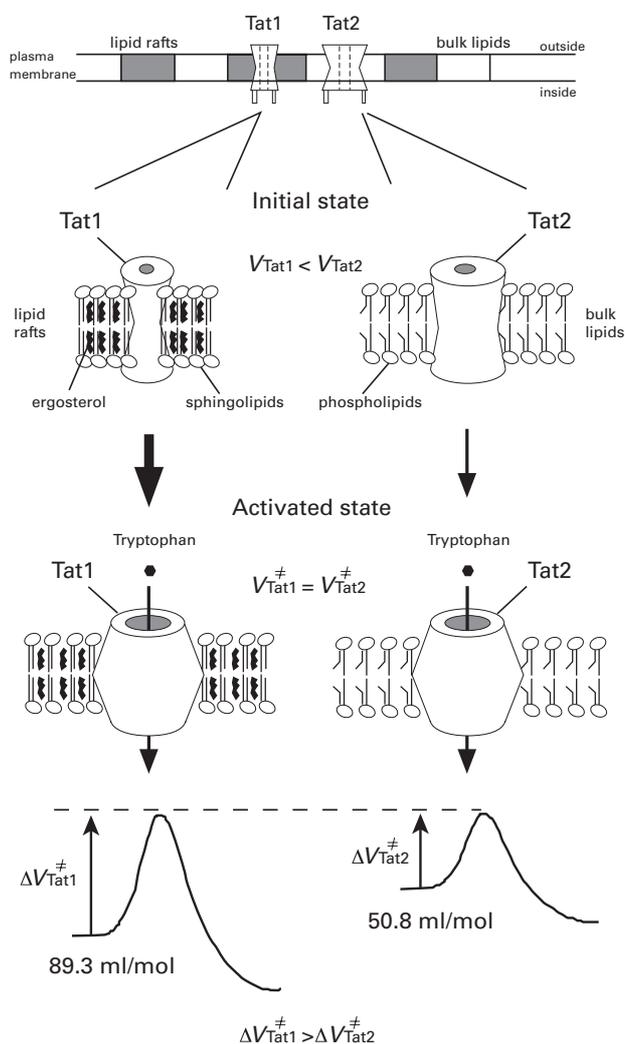


図18 Tat1とTat2の活性化モデルとRaft構造

ゼのコア酵素は140 MPaで解離したのに対し、ホロ酵素は解離せず安定であることが分かった。このことは、シグマ70サブユニットがRNAポリメラーゼの高圧下での安定性を高めることを示唆している。また、DSS12株のシグマ70因子の立体構造を予測するため、すでに結晶構造が明らかにされている大腸菌のシグマ70サブユニットを鋳型としたホモロジーモデリングを行ったところ、DSS12株のシグマ70は大腸菌のシグマ70に見られるループドメイン部位に2つのβシート構造を有していることがわかった。以上の結果から、好圧性細菌のRNAポリメラーゼの高圧下における安定性にはシグマ70因子の2つのβシート構造が重要な役割を果たす可能性が示唆された。

3) 深海環境応答研究

(a) 深海多細胞生物が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だけではなく、多くの多細胞生物も存在する。そこで、深海環境とそこに棲息する多細胞生物、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する。

これまでに、深海多細胞生物(深海魚等)の捕獲機、地上実験施設における高圧力下飼育装置、高圧力下における細胞観察顕微鏡の開発を行うと共に、深海多

細胞生物の大気圧環境下飼育、深海多細胞生物の初代培養細胞の開発、ならびに高圧力環境下での動物培養細胞応答を試みてきた。本年度も引き続き深海多細胞生物の捕獲を試み、高圧力環境下飼育、大気圧環境下飼育、組織細胞培養を行った。また、対比実験としての動物培養細胞の高圧力変化を観察した。

(i) 深海多細胞生物の保圧捕獲

「しんかい6500」を用い、ペーロード上に捕獲機・保圧水槽・吸引ポンプを設置し、深海多細胞生物の捕獲を試みた。相模湾初島沖水深1,200 mの海底でコンゴウアナゴ、オハラエビ、バイガイの一種、ゲンゲの一種を保圧捕獲した。また、ソコビクニンの一種を日本海後志海山の水深2,000 mから保圧捕獲した(図19)。保圧状況は、開閉弁の強度調整や開閉手順の改良で、80%の保圧捕獲を確認した。

(ii) 深海生物の飼育(DEEPAQUARIUM)

現有の深海生物捕獲飼育装置(DEEPAQUARIUM)を用いた3ヶ月の高圧環境飼育実験により、60%の割合で深海多細胞生物が飼育可能であることが示された。生存保持ができなかった場合の原因は深海生物捕獲飼育装置の装置トラブルに起因した。特に連続使

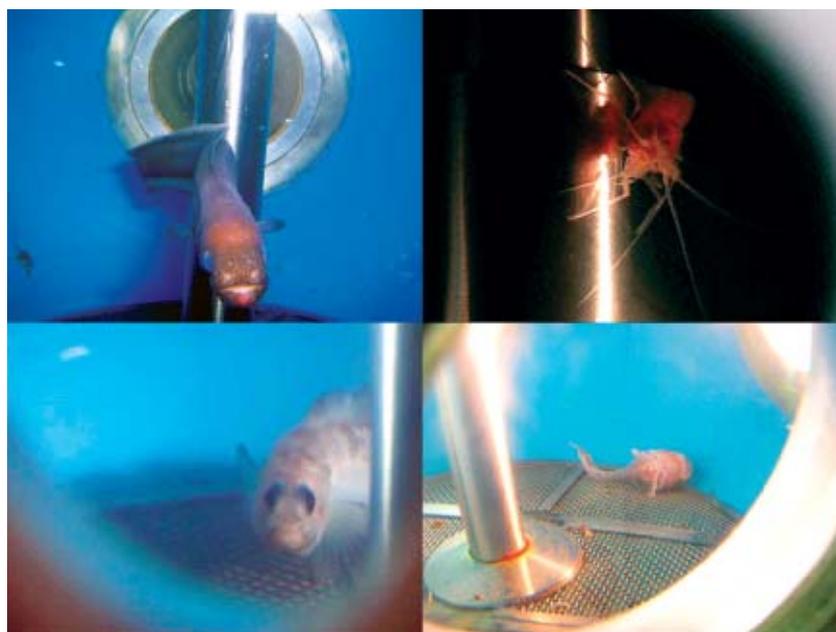


図19 保圧捕獲してきた深海生物。左上：コンゴウアナゴ(10 MPa:3month)、右上：オハラエビ(10 MPa:3month)、左下：ゲンゲの一種(未記載種 10 MPa:3month)、右下：ソコビクニンの一種(日本海、未記載種、20 MPa,1 day)

用による老朽化と考えられる加圧ポンプのプランジャーリングからの液漏れと保圧水槽と循環ユニットとの接合部からの液漏れは致命的であり、大きな課題となった。DEEPAQUARIUMに関しては、今後も改良を重ねる。

3匹のオハラエビを昨年度末に相模湾初島沖海底から保圧捕獲し、その後保圧飼育を継続した。オハラエビは深海熱水噴出孔に多く棲息する目のないエビで、頭部に熱線を検出する器官を有するエビである。10 MPaから0.1 MPaまで2ヶ月間かけて減圧し、大気圧環境下まで生態を観察した。3匹のうち2匹のオハラエビは、保圧当初から腹に卵を抱いており、大気圧条件まで減圧することによって初めて孵化が誘導され、孵化の瞬間をハイビジョンカメラで撮影できた(図20)。飼育方法は、小型ガラス水槽を用いた止水式で、餌料としてアルテミアを与えた。飼育水温は2~4℃とした。孵化から幼生に変態するまでを観察した結果、孵化後15日目以降から体の形状が変わり、目が発生した。この目の発生には脱皮は関与しなかった。オハラエビの幼生は74日目でカビの発生により死滅した。

ユメカサゴは一般の漁で採取される深海性の魚類

である。駿河湾沖水深300 mで捕獲したユメカサゴを用いた加圧飼育を行った。温度上昇においては水温9℃でヒートショックに由来する行動異常(痙攣・嘔吐)が観察された。圧力変動に関しては0.02-28 MPa/hrの範囲の速度で加圧した場合、6.5 MPaまでは水槽底面に着底し、7 MPaを超えると中層で回避行動を示した。圧力適応を期待し、6.5 MPaで120 hr保持した後、0.3 MPa/hrで加圧した場合、9 MPaまで回避行動を示さなかった(図21)。

人工的な深海環境を再現した水槽内で生きた状態で多細胞生物を長期間保存・飼育できるかどうか、または大気圧環境下でも長期間保存・飼育できるかどうかを今後も検討する。これらに関して水族館など他の飼育設備との連携を模索した。深海生物の長期飼育法に関する研究を江ノ島ピーエフアイとの共同で進める準備を行った。飼育設備が充実している水族館を活用し、研究材料のストックヤードとしての可能性を検討するとともに、深海生物の長期飼育とその行動観察、および活用に関し専用水槽を準備した。場所は新江ノ島水族館に設け、当館は4月16日に新規開館する。

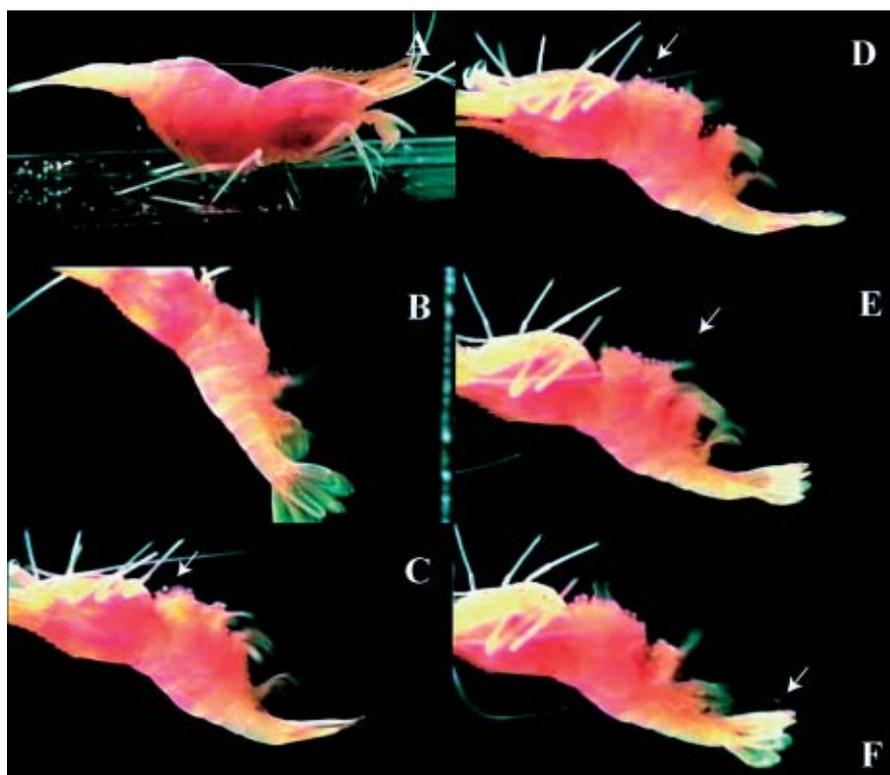


図20 オハラエビの孵化。A：水槽下に見える細かい点が幼生、B-Fまで：連続写真。足を細かく動かし、オハラエビが孵化をした幼生を分散させる行動をとった。矢印が孵化をした直後のオハラエビ。

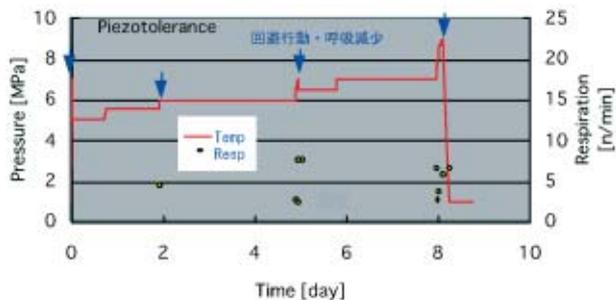


図21 ユメカサゴの加圧変化に対する応答。

(iii) 組織培養技術

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り、複数種類の組織培養細胞が必要である。深海からの保圧捕獲を行ったコンゴウアナゴのヒレ由来の線維芽細胞の初代培養が実現できた(胸びれ組織切片を4g/LのNaClを添加した20%FBS含有L-15(pH7.3)培地中にてエクスプラント法で培養し、4℃コラゲナーゼ-ディスペパーゼで一晩酵素処理した後、同培地で培養を試みた結果、線維芽様胸びれ細胞の単離に成功した)。現在も連続継代培養を行っており、完全株化を試みる。ユメカサゴの尾ヒレ組織の初代培養も試みた。L-15, 10% FBS, 4g/L-NaCl, 1%PN/ST1培地を用いたが、組織から細胞は増殖せず、14日後にアポトーシスが始まり、死滅した。今後も入手できる深海性脊椎動物を用い、組織培養細胞の開発を試みる。

(iv) 深海環境下における動物培養細胞の応答特性

多細胞生物特有の生体機能は、細胞においても細胞骨格構造形成や分化等による機能発現により確認できる。そこで、通常の入手可能な動物培養細胞において、深海環境を再現した状態での挙動を観察し、新規現象の探索を試みた。

細胞の骨格構造が最も特異的に分化した神経細胞を用い、圧力とその構造形成能力の相関性を検討した。PC12細胞を用いることにより、軸索の成長過程を詳細に検討することができ、圧力が成長先端を積極的に阻害することが明らかとなった(図22)。深海環境と細胞の石灰化との関係を探るため、ラット骨髄間葉系幹細胞から分化誘導した骨芽細胞(RBMS-OB)の培養を開始した。



図22 高圧力環境下での分化誘導されたPC12細胞の神経様突起の収縮過程。40 MPaの加圧により、突起先端部分から収縮する過程が観察された。

(b) 超臨界水中における生体関連科学およびコロイド科学に関する研究

(i) 高温・高圧光学顕微鏡を用いた超臨界水中での高分子物質のその場観察

これまでに、高温・高圧光学顕微鏡システムを開発し、超臨界水を含めた極限環境下の水の中での、様々な物理化学現象の可視化を試みてきた。本年度は、亜臨界水中でのセルロースの溶解挙動に対する、酸触媒添加の影響を検討した。種々の濃度の硫酸の存在下、亜臨界水中でのセルロース(分子量、結晶化度%)の溶解挙動を観察した。得られたビデオ画像から、画像解析ソフトウェアを用いて相対透過率を算出し、溶解に伴う画像の明るさの変化を定量化した(図23)。硫酸の濃度に関わらず、相対透過率は260℃までは温度に依存しなかったが、約260℃を境に透過率が上昇した。260℃以上での透過率の温度依存性は、硫酸濃度に強く依存し、硫酸濃度が高いほど変化率は大きかった。

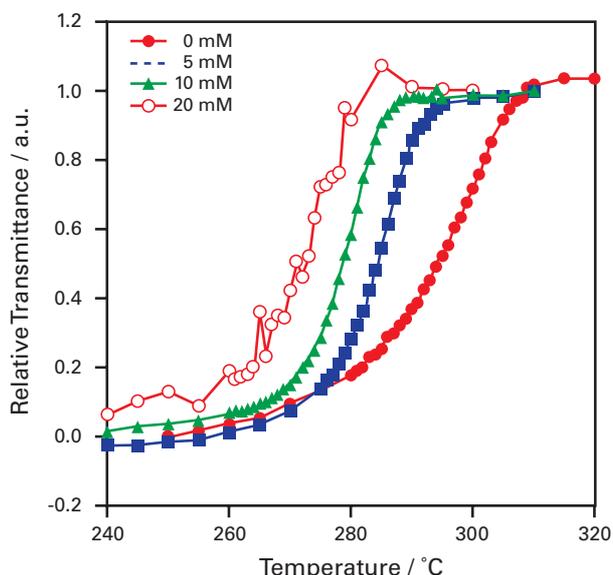


図23 その場観察像の相対透過率の温度変化。

セルロースのガラス転移温度が250°C前後であることから、260°Cを境にした透過率の温度依存性の変化は、セルロース結晶構造の転移を反映したものと推察される。一方、透過率の変化度の硫酸濃度依存性は、ガラス転移後の水の浸透速度あるいは加水分解速度の違いを反映しているのかも知れない。なお、本研究は本年度より文部科学省科研費を受けている。

(ii) 亜臨界水環境における超好熱菌の耐熱性に関する研究

超好熱菌の高温環境への適応能力は、一般的にその生育温度で表現される。これとは別に耐熱性を表す指標として、生育温度より高い温度でどれだけの時間生存できるかを考える必要がある。実際、超好熱菌が採取された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。特に、海底熱水噴出孔では200°C以上の水からでも生菌が発見されることがある。海底熱水系では、地殻内に流入した冷海水がマグマで熱せられて勢い良く上昇し、噴出孔から湧き出るとまたすぐに冷やされるという循環流がある。地殻内ではマグマ近傍の超高温環境から冷海水に到る温度勾配があり、ちょうど良い温度の所で超好熱菌は生育しているが、その一部は熱水の流れに乗り生育温度以上に熱せられて噴出孔から出てくる。この高温に熱せられる時間がどの位までなら生きていられるのか？これまで、致死的高温環境に対する耐熱性について、数十分～数時間と比較的長い熱処理時間を用いた研究が行われてきた。本研究では、より現実の熱水噴出孔環境に近いと考えられる秒オーダーの熱処理後の耐熱性を明らかにすることを目的とする。

昨年度に構築した熱水噴出孔を模擬した実験装置を用いて、超好熱菌 *Thermococcus* sp. Strain 1-95 (SUGARグループがインド洋海底熱水孔(海水温度350°C)から採取)の熱死滅温度を測定した(図24)。その結果、熱処理時間1.5秒、圧力0.5 MPaの場合、約114°Cまで熱耐性を有することが明らかになった。さらに、25 MPaの圧力下では118°Cまで約4°C熱耐性が上昇した。また、熱処理した菌体を圧力調整弁の前と後でサンプリングすると見かけの耐熱性に差が出たこと等から、*Thermococcus* sp. Strain 1-95の熱死滅の第一要因は細胞表層タンパク質の熱変性であることが示唆された。

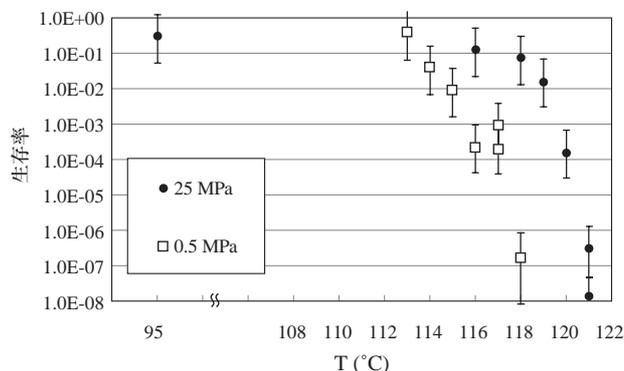


図24 1-95の耐熱性。圧力の影響。

(iii) 超臨界水中におけるコロイド科学の研究

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。

- ①温度・圧力によって溶媒物性が広範、かつ連続的に変化する。
- ②臨界点近傍では、激しい密度ゆらぎが存在する。

①は超臨界水中では、コロイド粒子表面間に働く力が、温度・圧力による比誘電率、屈折率等の分散媒物性の変化を通して変化することを意味する。常温常圧では、これらの物性値は溶媒に固有の定数であり、分散媒の物性を通して表面間力を制御する試みは、添加物による以外不可能である。唯一、超臨界水を用いることでのみ、組成変化を伴うことなく、温度・圧力によって表面間力を変えることができる。一方、コロイド粒子の拡散および分散安定性は、臨界点近傍においては、②の影響を強く受けると予想されるが、このような不均一な媒体中でのコロイドを扱った研究は、実験・理論両面において一切無い。本研究は、超臨界水を、特異な物性を有する分散媒としてとらえ、超臨界水中でのコロイドの挙動を明らかにすることを目的とする。

これまでに、独自に開発した高温・高圧動的散乱を用いた測定により、ポリスチレンラテックスや金コロイドなど、常温常圧の下で高い分散安定性を有するコロイド分散液も、亜臨界・超臨界水中では速やかに凝集することを明らかにしてきた。本年度は、化学的に異なる様々な粒子の分散液を用いた測定を繰り返し、現象の普遍性を検証した。試料として、我々が独自に見いだしたC₆₀微結晶分散液および粒子サイズの単分散液を行った粘土鉱物分散液を用いた。全ての試料は、亜臨界水中で速やかに凝集し、現象の普遍性が強く

表2 様々なコロイドの凝集開始温度。

粒子	凝集開始温度(°C)
ポリスチレンラテックス	300
金コロイド	350
C ₆₀ 微結晶	275
粘土鉱物	250

示唆された(表2)。また臨界ゆらぎ中でのコロイドの直接観察を目指し、セル内部の試料の温度の均一性を高めた新しい高温・高圧セルを設計・制作した。

なお、本研究は、昨年度(財)日本宇宙フォーラム、第6回宇宙環境利用に関する地上公募研究の微小重力物理学分野における重点研究に採択され、(財)日本宇宙フォーラムからの受託研究として行っている。また本年度より、(財)住友財団 基礎科学研究助成を受けている。

4) 地殻内微生物研究領域

(a) 地殻内微生物圏における微生物の多様性と分布

(i) 沖縄トラフ伊平屋北部の熱水活動域

深海底熱水孔環境に見られる莫大なバイオマスは、現場に生息する化学合成細菌の一次生産に大きく依存していると考えられている。これまでの分子生物学的手法を用いた研究によると、熱水孔環境における最も重要な一次生産者は、*Aquificae*や ϵ -*Proteobacteria*に属する水素／硫酸化細菌であることが示唆されている。しかし、それらの微生物の培養例は少なく、そのポピュレーションに関する定量的な知見は限られている。ましてや、その生理活性や生態系におけるインパクトはほとんど推測の域を出ていなかった。

昨年度の報告書で述べたように、中部沖縄トラフ伊平屋北熱水活動域において採取したサンプルを希釈培養法に供することによって、ほぼすべての系統群にわたる ϵ -*Proteobacteria*約100株および*Aquificae*約20株を定量的に分離培養することに成功した。しかし各分離株の生理学的性状や、環境に存在する微生物相の全体像は明らかではなかった。そこで、各分離株がどのような電子受容体・電子供与体の組み合わせで増殖可能であるかを解析すると共に、各サンプルから環境DNAを抽出し、分子生物学的手法を用いて現場環境における微生物全体の群集構造を解析した。

まず、各分離株に関して代謝特性を解析した結果、低温環境に優占していたもののほど、幅広い基質を利用して増殖可能であることが明らかとなった。つまり、*Aquificales*の中でも*Aquifex*属は主に硫黄化合物のみをエネルギー源として利用したのに対して、*Persephonella*属は硫黄化合物に加えて水素もエネルギー源として利用した。さらに ϵ -*Proteobacteria*の中でも、チムニー表層や噴出孔周辺の高温暖環境に優占するGroup DやGroup Aに属する好熱菌よりも、噴出孔周辺の低温環境に優占するGroup FやGroup Bに属する常温菌の方が幅広い電子供与体・電子受容体を用いて増殖することが明らかとなった。

一方、分子生物学的手法を用いて各熱水孔環境微生物の分布様式を解析した結果、*Aquificales*および ϵ -*Proteobacteria*のポピュレーションは噴出孔近傍ほど大きく、噴出孔から離れるにしたがって減少することが明らかとなった。噴出孔近傍から周辺環境へと向かって、優占する微生物種は*Aquifex*→*Persephonella*→ ϵ -*Proteobacteria* Group D→ ϵ -*Proteobacteria* Group A→ ϵ -*Proteobacteria* Group F→ ϵ -*Proteobacteria* Group B→ γ -*Proteobacteria*とシフトした。このような熱水噴出孔を中心とする微生物群集の空間的推移は、希釈培養法によって得られた分離株の系統学的な特性と概ね一致していた。さらに、噴出孔近傍ほど培養可能なポピュレーションの割合が高い傾向が認められ、噴出孔を極大として活発な一次生産の場が広がっていると考えられた。

(ii) 沖縄トラフ第4与那国海丘及び伊是名海穴の熱水活動域

①第4与那国海丘の熱水活動

第4与那国海丘熱水活動域は沖縄トラフ南部に位置し、豊富な堆積物が存在する。この熱水活動域では過去2回「しんかい6500」及び「しんかい2000」による調査が行われており、ブラックスモーカーが存在し非常に活動的であること、二酸化炭素ハイドレートが存在すること等が報告されているが、詳細な微生物学及び地球化学調査はこれまで行われていなかった。YK03-05 Leg.1航海(7月1-14日)ではブラックスモーカーを含む複数の熱水噴出孔を有するマウンド(Tiger chimney mound)及び、未固結の泥層堆積物中から直接

100°Cの熱水が湧き出す珍しい熱水孔(Abyss vent)を中心に微生物学、地球化学試料の採取及び熱流量測定等の調査を行った。Tiger chimney mound上には、いずれも300°Cを超えるブラックスモーカー及びクリアスモーカーを噴出する高さ約10 mのチムニー(Tiger chimney)及び、頂部に傘状のフランジ構造を有する高さ約3 mのチムニーが存在した。一つのチムニーからブラックスモーカー及びクリアスモーカーが噴き出す現象は、このマウンドの下で気液二層分離が起こっていることを意味する。このチムニーでは熱水やチムニーの採取を行うと共に、自己記録式温度計付現場培養器を用い、ブラックスモーカーの温度を4日間にわたり連続測定した。一方、Abyss ventでは、熱水を採取すると共に、熱水孔周辺で堆積物を採取、その地温勾配を測定した。さらに、今回の一連の調査潜航ではAbyss vent以外の地点からも堆積物を多数採取したが、そのほとんどの試料から浮上中に多量の気泡が発生し、二酸化炭素ハイドレートが既知の地点に限らず広範囲に分布していることが明らかになった。表層に現れる二酸化炭素ハイドレートの規模は伊是名海穴を上回っていると思われる。現在、培養法による解析を行っており、その過程でAquificales目、 ϵ -Proteobacteria、 δ -Proteobacteriaに属する新属新種と考えられる株及びThermodesulfobacterium属の新種と考えられる株の分離培養に成功している。

②伊是名海穴の熱水活動

2003年8月に稲垣らを中心として伊是名海穴におけるハイパードルフィンを用いた潜航調査が約10年ぶりに行われた。JADEサイトは1988年に発見されたカルデラ内北東部尾根南側斜面水深1,300 m～1,600 mに分布する熱水活動域である。NT03-09航海では、ハイパードルフィンを使って本海域の熱水活動を重点的に調査した。10年前に報告のあったBlack smoker (TBS)の熱水活動は依然活発で、黒色の流体が噴出していた。TBSから斜面にそって20 mほど北上すると、TBSと同様にマウンドの頂上部から熱水噴出が発見された。本熱水噴出孔はクリアスモーカーであり、最高温度は250°C、MBCと命名された。TBS・MBCの北側、約1,320-1,340 m付近には、10年前にも報告のあったNiwatoriチムニー(最高温度118.2°C)やRed Star

チムニー(最高温度64.5°C)などの比較的温度の低い熱水噴出孔が確認された。一方TBS・MBCの南方水深1,500 mまでの範囲には、多くの白色変色域や、活動を停止した硫化物チムニーマウンドが多く発見されたが、熱水の噴出は確認されなかった。

NT03-09航海の大きな成果の一つとして、JADEサイト尾根最南部水深1,520 mに半径50 mの元素状硫黄からなる巨大な熱水性マウンドが発見されたことが挙げられる。本マウンドはクリーム色～レモン色の元素状硫黄含有層状堆積物からなり、サルファーリーフ(Sulfur Reef)と命名された。このような大規模な元素状硫黄からなる熱水性マウンドは世界的にみてもこれまでに例がなく、極めて珍しいといえる。液体の炭酸ガスハイドレートの存在とアンモニアや硫化水素濃度を多く含む気相に富んだ熱水の特異な性質など、伊是名海穴独自のいくつかの条件が重なって形成されたものと考えられる。

伊是名海穴のカルデラ内南部には、金属鉱業事業団の調査などによってHAKUREIサイトと呼ばれる巨大な熱水性鉱床マウンドの存在が知られていたが、潜水艇による詳しい調査がなされていないため熱水活動の規模等に関する知見はこれまでに得られていなかった。NT03-09航海では、2003年4月に行われたハイパードルフィンの慣熟訓練および事前調査で得られた情報を元に、カルデラ南部の熱水活動の観察を行った。HAKUREIサイトの熱水活動の中心は、カルデラ中央部近くに位置するドラゴンチムニー付近である(図25)。

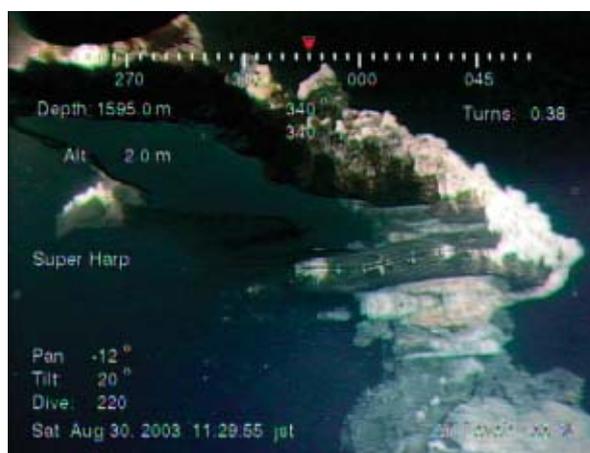


図25 写真、HAKUREIサイトで発見されたドラゴンチムニー。金属硫化物からなる世界最大級のフランジ構造物がチムニー頂部に発達しており、フランジ下部には320°Cを越す熱水溜まりが存在していた。

ドラゴンチムニーは、主に金属硫化物からなる巨大なフランジ構造物がチムニー頂部に発達しており、フランジ構造物の下には幹の本流からオーバーフローしている320°Cの熱水が溜まっている。

(iii) ODP Leg.201 & Leg.204

①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、稲垣が日本で唯一の微生物学者として参加した。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・消費に関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(図26)。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、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解析用試料の採取などが行われた。

地殻内微生物研究領域では、ペルーから採取されたメタンハイドレートを含まない有機物リッチな堆積物コアSite 1227とメタンハイドレートを含む堆積物コアSite 1230の2か所に加え、ODP Leg.204航海にて、オレゴン・カスカディア沖の南ハイドレートリッジで採取された、ハイドレートを含むSite 1244、1245、1251の堆積物コア中の微生物群集構造解析を行った。Site 1244と1245は南ハイドレートリッジの中腹から、Site 1251は西側麓から採取されたコアである。各コア試料から直接DNAを抽出し、16S rRNA 遺伝子を増幅後、深度毎のクローンライブラリーを作成し、DNAの塩基配列から堆積物中に存在する微生物群集構造が評価された。約2,800クローンの分子系統学的解析の結果、これまでに未知の系統群のアーキア及びバクテリアの存在が明らかとなった。ほとんどの系統群が分離・培養例がないために、それらの生理・生化学的な特性は依然謎のままであるが、本研究は世界ではじめ

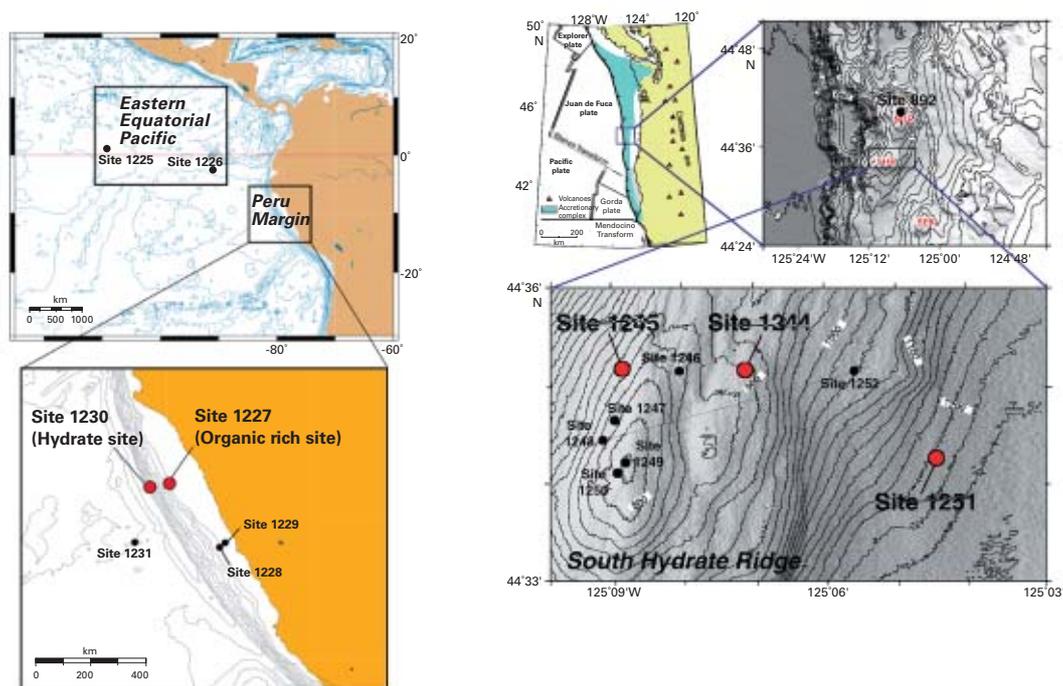


図26 ODP Leg. 201ペルー沖(左)とLeg. 204カスカディア沖(右)の掘削地点。赤で示したサイトで採取された堆積物コア中の微生物群集構造が評価された。

てODPによって掘削されたメタンハイドレートを胚胎する海底深部堆積物中の微生物群集を評価したものである。現在他の地球化学的および地質学特性と絡めて議論が展開されている。

② Cascadia Margin付加体堆積物における海底微生物圏の探索

ODP Leg.204航海はメタンハイドレートの総理解を目的として、オレゴン沖のCascadia Marginで行われ、South Hydrate Ridgeを中心に計9地点が掘削された。我々はFrederick Colwell (Idaho National Engineering and environmental Laboratory: INEEL)らとグループを組み、16S rDNAによる群集構造解析を分担することで、ODP Leg.204 (Drilling gas hydrates on hydrate ridge, Cascadia Continental Margin)に参画した (INEELのM. Delwicheが乗船)。なお、過去の解析及び船上での解析からCascadia Marginのメタンハイドレートは微生物起源であることが有力視されている。我々は、メタンハイドレートが海底面近くまで発達したHydrate Ridge頂部のコア堆積物 (海底面下0-272 m) 及びメタンハイドレート層の薄いHydrate Ridge斜面のコア堆積物 (海底面下0-420 m) 中の微生物群集構造を、バイオマスの測定 (DAPI染色による直接計数)、Archaea及びBacteriaの16S rDNAクローン解析、ならびにQuantitative PCR解析により明らかにした。その結果、メタンハイドレートを含む海洋底堆積物に生息する微生物群集の大部分がクローンのみが知られている全く未知の微生物であり、既知のメタン菌はほとんど検出されないこと、群集構造は鉛直方向にはほとんど変化しないことなどが明らかになった。

(iv) マリアナ前弧域蛇紋岩海山における微生物圏

昨年度の成果報告書において述べたように、地殻内微生物研究の分野においては、地球 (惑星) 内部エネルギー (= 水素 + 二酸化炭素) にのみ依存した地殻内独立栄養微生物生態系 (スライム) の探索が注目を集めている。我々は、深海底熱水孔下環境の物理的及び化学的背景から、熱水孔下微生物圏にこそ、超好熱性のスライム (ハイパースライム) が存在するという仮説を提唱し、インド洋中央海嶺熱水活動域熱水孔下環境に、ハイパースライムを中心にしたサブVENTバイオスフェア

が存在することを明らかにした。

ハイパースライムの存在を支える地球科学的な条件は、超高温 (700°Cを超える) のマグマ或いは岩石と海水との熱物理化学反応による水素 + 二酸化炭素の供給にある。このような地球内部エネルギーの供給メカニズムは、深海底熱水孔下環境や陸域地下熱水溜りのような場所にのみ起こりうると考えられていた。一方、海洋地質学の分野では、マリアナ沈み込み帯前弧域における蛇紋岩海山列の生成メカニズムの研究が徐々に明らかになりつつあった。マリアナ海溝で沈み込む太平洋プレートの一部が圧縮脱水され、フィリピン海プレートの地下の上部マントル物質 (カンラン岩) と比較的低温 (400°C以下) で反応し、蛇紋岩化する (蛇紋岩ダイアピルの形成)。密度の小さい蛇紋岩ダイアピルは前弧域の断層を上昇し、蛇紋岩海山を形成する。実は、この過程において、超塩基性岩であるカンラン岩と水の化学反応によって、水素及び二酸化炭素が供給されると同時に、ケイ酸鉱物及び炭酸塩の溶解によって強アルカリ環境が形成されることが分かってきた。この蛇紋岩海山海底下に起こりうる環境は、地球において最も強アルカリ環境 (>pH12.5) であり、地球内部エネルギーにのみ依存した好アルカリ地殻内独立栄養微生物生態系 (アルカリスライム) が存在することが予想される。

我々は、マリアナ前弧域蛇紋岩海山海底下のアルカリスライムの存在を明らかにするため、Ocean Drilling Project Leg.195において採取された海底50 mまでのコアサンプルの微生物解析を行った。その結果、海底好アルカリ環境に適応した海底微生物圏の微生物 (新規 *Marinobacter alkaliphilus* sp. nov.) の優占が明らかになった。しかしながら、アルカリスライムの一次生産者であるべき好アルカリメタン菌の検出には至っておらず、かつ *Marinobacter alkaliphilus* のポピュレーションが、海底環境のごく表層 (深層海水との混合により有機物のインプット或いはpHの緩和が生じる領域) にのみ限られるということが観察された。これらの結果から、蛇紋岩海山海底下における好アルカリ地殻内独立栄養微生物生態系 (アルカリスライム) が存在は、かなり可能性が低いことが考えられた。2003年8月-9月にかけて行われた「しんかい6500」を用いた潜航調査における表層域における詳細な地球微生物学的調

査の結果においても、表層域での *Marinobacter* の卓越が確認され、ODP Leg.195の結果を再確認するものであった。蛇紋岩海山海底下に好アルカリ地殻内独立栄養微生物生態系(アルカリスライム)が存在する可能性は、地温勾配によって比較的温和な温度条件が形成されうる深部海底下に絞られたと言える。その深部好アルカリ地殻内独立栄養微生物生態系の存在を明らかにするため、現在、深海掘削船「ちきゅう」を使ったアルカリスライム探索を目指した深海掘削プロポーサルをIODPに提出しており、2005年の実施を目標に、準備等を進めている。

(v) 菱刈金山の微生物生態系

昨年度までに行った16S rRNA 遺伝子系統解析、FISH、機能遺伝子系統解析、マット間隙水分析などから、その概要が明らかとなった菱刈金山地殻内における湧出熱水域の微生物相の変化について、本年度は

特にFISHと機能遺伝子の定量について実験の再現性を確認した。その結果、湧出熱水の流れに沿った微生物相の変化がより信頼性の高いものとなった。FISHの一例と、機能遺伝子(メタン酸化酵素遺伝子 *pmoA*、アンモニア酸化酵素遺伝子 *amoA*、亜硝酸酸化酵素遺伝子 *norB*)の定量結果について図27、28に示す。

変化の概要というのは、熱水の湧き出し口付近(上流域)におけるメタン酸化細菌、水素・硫黄酸化の優占、そして中・下流域におけるアンモニア酸化細菌および亜硝酸酸化細菌の優占という、太陽光の降り注ぐ地表温泉流れとは特に中・下流域で全く異なったものであった。この違いは、菱刈金山地殻内の母岩が海洋性堆積岩であるため地下熱水中にアンモニアが豊富であるといった地質学的要因に加え、アンモニア酸化細菌のもつアンモニア酸化酵素が光感受性を示すことも原因の一つであると考えられる。更に、亜硝酸酸化細菌がエネルギー源として用いる亜硝酸は、主にアンモ

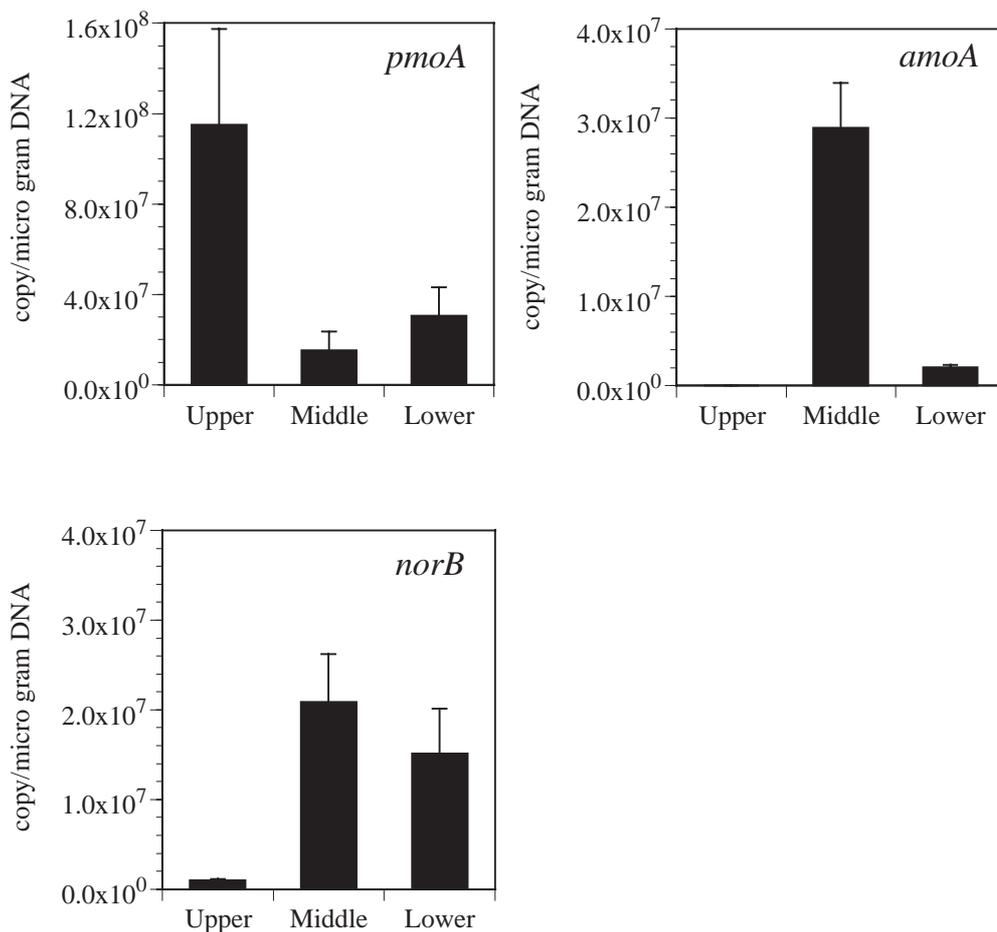


図27 菱刈金山地殻内湧出熱水流れの上流、中流、下流における *pmoA*, *amoA*, および *norB* 遺伝子の競合PCR法による定量。

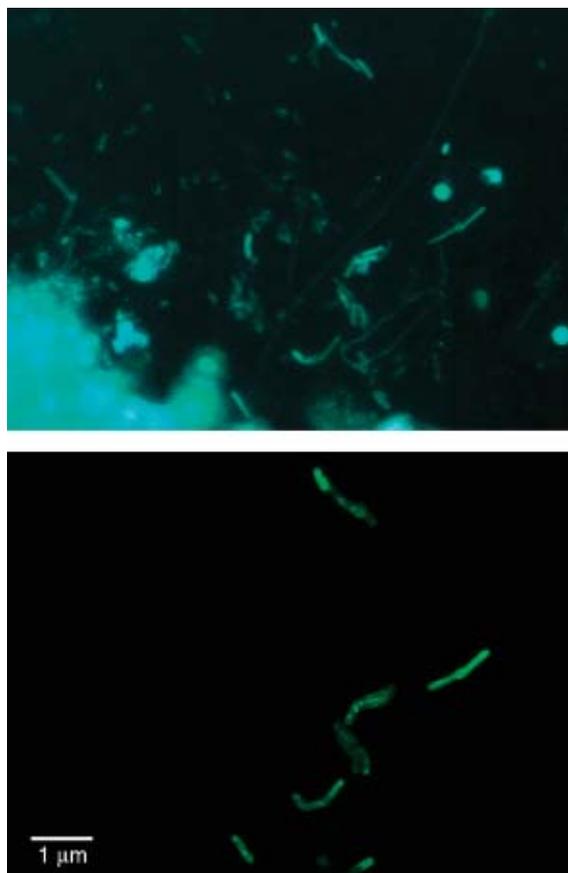


図28 β -Proteobacteriaに属するアンモニア酸化細菌の特異プローブを用いた蛍光in situハイブリダイゼーション法による検出。上図：DAPI染色による全細菌、下図：特異プローブにより検出されたアンモニア酸化細菌。

ニア酸化細菌による代謝産物として供給されることが考えられることから、アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌の優占は、まさに太陽光が全く届かない地殻内環境に特異的な生態系と言えるかも知れない。

(vi) 深海底熱水活動域における硫酸還元菌の分布、多様性及び動態評価

硫酸還元菌は地球上の硫黄循環の一端を担う重要な微生物である。近年、深海熱水噴出孔のブラックスモーカーより好熱性硫酸還元菌が分離培養された。さらに、硫黄安定同位体比の解析から25億年より古い時代に既にグローバルな硫黄循環が存在し、その循環に好熱性硫酸還元菌による生物学的硫酸還元が大きな役割を果たしたといった仮説が提唱された。しかし、始原的な微生物生態系解明への糸口になりうると考えられている深海底熱水活動域における好熱性硫酸還元菌の生態学的役割は未知である。そこで、熱

水噴出域に生息する好熱性微生物による硫黄代謝(循環)解明のための基盤的情報および知識の創出を目的に、深海底熱水活動域における硫酸還元菌の分布、多様性について調査した。

試料は、インド洋Kaireiフィールド、沖縄トラフ伊平屋北部、および水曜海山の深海熱水噴出域から回収されたチムニーの表層を用いた。チムニーからDNAを抽出後、硫酸還元菌の異化的亜硫酸還元酵素をコードする遺伝子の特異的に増幅するPCRプライマーを用い、PCR反応に供した。PCR増幅された異化的亜硫酸還元酵素遺伝子はクローニング解析、塩基配列の決定、系統分類学的解析により評価した。

その結果、インド洋Kaireiフィールド試料からは好熱性硫酸塩還元古細菌*Archaeoglobus*および好熱性硫酸塩還元細菌*Thermodesulfobacteria*の異化的亜硫酸還元酵素遺伝子に近縁な遺伝子が検出された。沖縄トラフ伊平屋北部試料からは*Thermodesulfobacteria*の他に、好熱性硫酸塩還元細菌*Thermodesulfovibrio*の異化的亜硫酸還元酵素遺伝子と系統分類学的により深い新規遺伝子が検出された。水曜海山試料からは*Desulfobulbus*の異化的亜硫酸還元酵素遺伝子に近縁な遺伝子が検出された。以上の結果より、深海熱水噴出域のチムニーの表層に多様な硫酸還元菌が生息することが明らかになった。さらに、本研究と他の研究内容との比較により、最も原始的と考えられている好熱性硫酸塩還元細菌*Thermodesulfobacteria*科に近縁な微生物が地球上の深海底熱水活動域に広く分布していることが示唆された。

(b) 地殻内からの新規微生物の分離

(i) 地殻内からの新規微生物

① *Sulfurimonas autotrophica* gen. nov., sp. nov.

Sulfurimonas autotrophica (図29)は、中部沖縄トラフ鳩間海丘のピストンコア堆積物表層から分離された、新属新種の常温性硫黄酸化細菌である。元素状硫黄およびチオ硫酸を唯一のエネルギー源として利用し、10%以下の酸素を電子受容体として生育する、絶対好気性独立栄養硫黄酸化細菌である。また、少量の硫化物を添加した培地においても若干の生育が認められる。分子系統はこれまで分離例のない ϵ -Proteobacteria Group Bに属し、深海底熱水活動域か

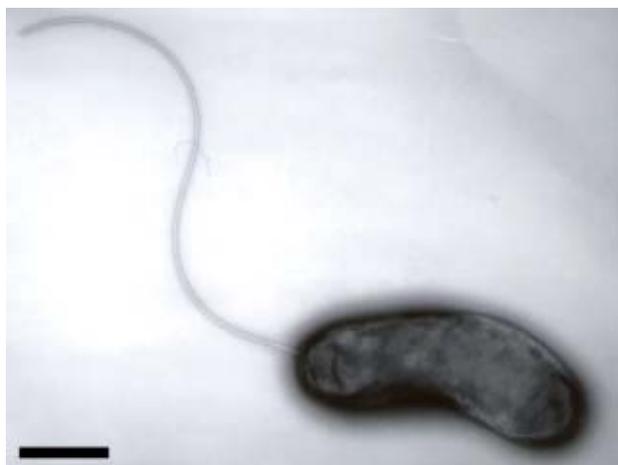


図29 *Sulfurimonas autotrophica*の写真

ら採取された常温性硫黄酸化 ϵ -*Proteobacteria*では世界で初めての分離例である。環境生態学的な研究から、本菌は沖縄トラフ熱水活動域における最も存在量の多い一次生産者であることが示されている。

② *Sulfurovum lithotropicum* gen. nov., sp. nov.

Sulfurovum lithotropicum (図30)は、中部沖縄トラフ伊是名海穴熱水活動域で分離された、新属新種の常温性硫黄酸化細菌である。元素状硫黄およびチオ硫酸を唯一のエネルギー源として利用し、10%以下の酸素および硝酸を電子受容体として生育する、偏性好気性の硫黄酸化細菌である。硫化物存在下での生育は認められないが、高濃度の硫化ナトリウム存在下での生育が可能である。至適温度は30°Cと*S. autotrophica*に比べて若干高く、硝酸を電子受容体として使える点で異なっている。また、本菌は鞭毛を持たない運動性のない球菌である。分子系統は ϵ -*Proteobacteria* Group Fに属し、多くの化学合成生物群集の共生細菌群の系統に近縁である点は特筆に値する。

③ 好熱硫黄酸化細菌

鉱脈内熱水中における優占クローンの近縁種であるC55株 (図31)は、 β -*Proteobacteria*に属する新規中程度好熱性微好気性硫黄酸化細菌であり、系統的にはアメリカのイエローストーン国立公園温泉の高温嫌気性堆積物中から検出されたOPB37クローンと非常に近縁であった。これまでに近縁クローンがイエローストーンと菱刈、という地理的に非常に離れた場所からしか

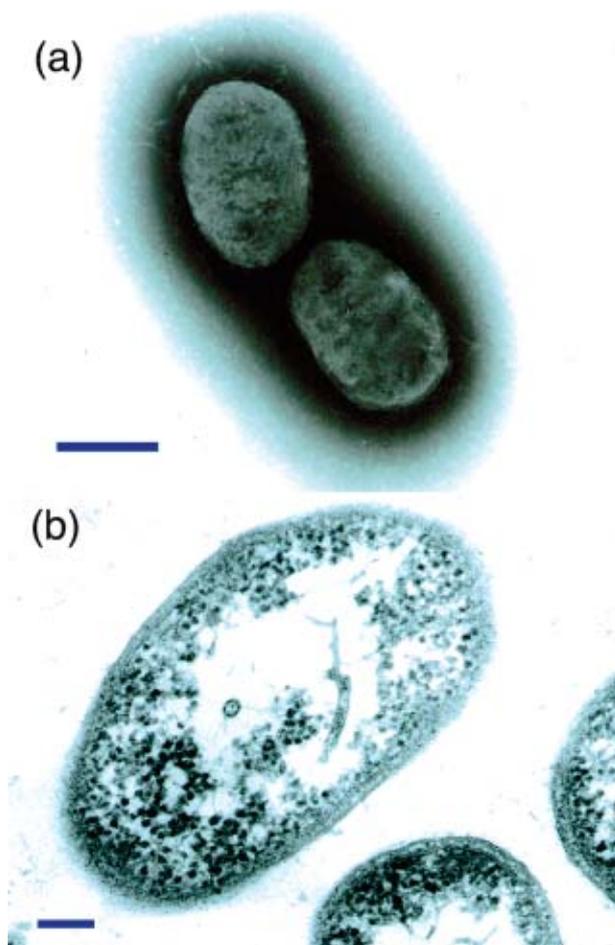


図30 *Sulfurovum lithotropicum*の写真

検出されていないのは非常に興味深い。C55株、関連クローン、そしてOPB37クローンは、他の β -*Proteobacteria*のどの属とも系統的に離れており、今後新属・新種として報告する予定である。



図31 C55株の電顕写真。

④好熱メタノローフ

地下湧出域上流における16S rRNA遺伝子解析から、最も優占しているバクテリアクローンの近縁種として γ -*Proteobacteria* の新規中度好熱性微好気性メタン酸化細菌HTM55株(図32)を分離した。この菌の分離の試みは約2年前からサンプリングの度に行ってきたが、これまで初代培養には成功したものの継代は一度も成功していなかった。本年度でついに安定した継代に成功し、その生理的性質が明らかになりつつある。

電子顕微鏡観察によりメタン酸化細菌に特徴的な内膜構造が認められ、その内膜構造のタイプおよび16S rRNA遺伝子解析から、これまでに知られている γ -*Proteobacteria* のType I methanotrophに分類されることが示唆された。しかしながら、詳細な16S rRNA遺伝子系統解析、およびメタン酸化酵素pMMOの遺伝子 *pmoA* の系統解析からは、これまでのType I methanotrophとは明らかに異なる系統を示すことが分かった。さらに興味深い点は、16S rRNA遺伝子の系統樹上、 γ -*Proteobacteria* 系統において非常に根に深い分岐を示すこと、またハンガリーの温泉からの近縁分離株 thermophilic methanotroph HB株は、*Proteobacteria* の中で最高の生育温度である72°Cを記録したという報告があることである(なお、現在のところHTM55株の最高生育温度は62°C程度である)。Thermophilic methanotrophは正式に記載・寄託され

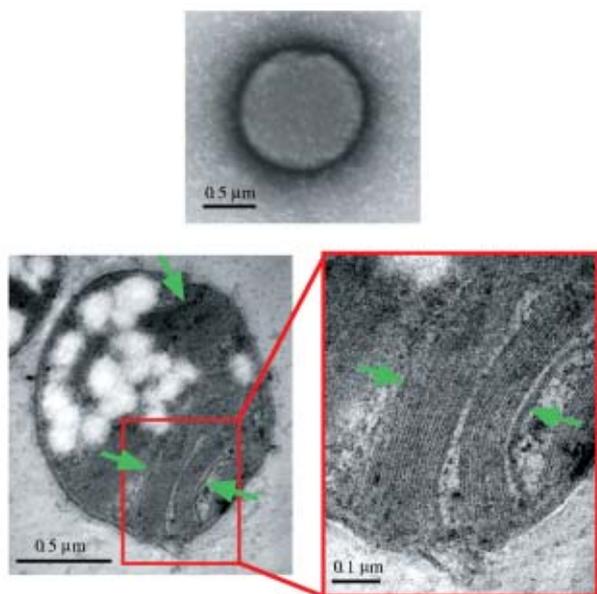


図32 HTM55株と内膜の電顕写真。

ていないので、HTM55株を今後詳細に解析し新属・新種、さらには新規のメタン酸化細菌系統グループとして報告する予定である。

⑤*Balnearium lithotrophum* gen. nov., sp. nov.

Balnearium lithotrophum(図33)は、水曜海山熱水活動域から分離されたバクテリアの中で最も始原的な系統を有するDesulfurobacteriales目の新属新種の好熱菌である。特徴的なひょうたん型の形態を有し、水素を唯一のエネルギー源として、元素状硫黄を唯一の電子受容体として用いる完全嫌気性独立栄養微生物である。極めて興味深いことに、本菌は硝酸存在下で、増殖阻害を受ける。このことから、本菌は海水が混合するようなニッチでは生息できないことが予想され、水曜海山熱水活動域における熱水孔下微生物生態系の一次生産者として重要な役割を果たしていると考えられる。

⑥*Hydrogenimonas thermophila* gen. nov., sp. nov.

Hydrogenimonas thermophila(図34)は、インド洋中央海嶺かいいりフィールドの熱水活動域から分離され



図33 *Balnearium lithotrophum*の電顕写真。

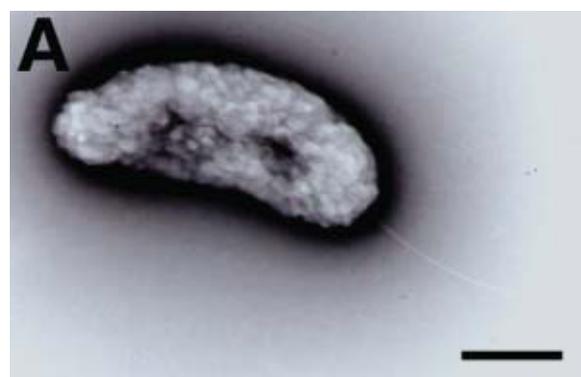


図34 *Hydrogenimonas thermophila*の電顕写真。

た ϵ -Proteobacteriaに属する好熱菌である。深海底熱水活動域に優占する ϵ -Proteobacteriaの中でグループAとグループDと呼ばれる系統が好熱菌を含んでいることが昨年の我々の研究によって知られていたが、本菌はグループAにおける初めての分離株である。水素を唯一のエネルギー源とし、分子状酸素、硝酸を最終電子受容体として用いる通性嫌気性独立栄養微生物である。これまでに知られていた好熱性 ϵ -Proteobacteriaの *Caminibacter*や *Nautilia*とは、系統的及び生理的に大きく異なり、 ϵ -Proteobacteriaの生理や多様性を明らかにする上で極めて重要な研究対象となる。

⑦ *Aeropyrum camini* sp. nov.

Aeropyrum camini(図35)は、水曜海山熱水活動域から分離された超好熱好気性アーキアである。*Aeropyrum pernix*は日本各地の海水が混じった温泉や浅海底熱水噴出域から分離されており、ゲノム解析がなされた超好熱

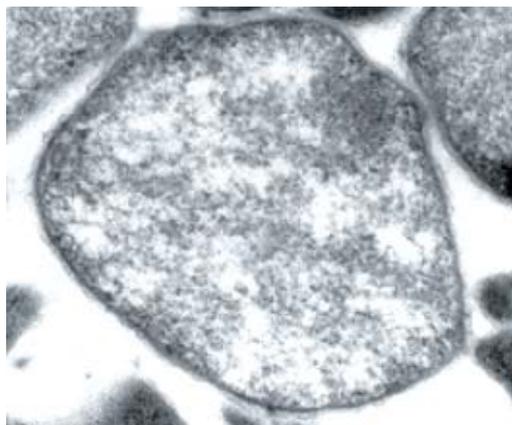


図35 *Aeropyrum camini*の電顕写真

菌であったが、これまで深海底熱水活動域から分離された報告例はなかった。本菌は、*Aeropyrum pernix*とほとんど同じような生理を有していた。

(c) 地殻コアサンプルの無菌的採取方法の評価

ゲルコアリングシステムの実用性を検討するために生菌数の計測による汚染度の評価を行った。微生物が 4.0×10^5 cells/ml含まれ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岩石サンプルを用いて、抗菌性ゲルを用いた条件と用いない条件の掘削試験を行った(図36)。採取された試料内の微生物数を測定した結果、表層部のサンプルにおいて、ゲルを用いない条件ではおよそ 2.0×10^3 cells/g-Sampleの微生物が検出されたが、用いた条件ではカビ以外の微生物は検出されなかった。したがって、本法は微生物汚染を防止したコア試料を採取するために適用可能であることが示された。

微生物汚染を防止したコア試料を採取するために、コア試料表面上に抗菌性高分子を塗布する能力を有するピストンコアラーを開発し、その実用性を検討した。コアラーの抗菌性ゲル塗布能力の評価は、ゲルに含まれる蛍光ビーズのコア試料表面上の分布を調べることにより行った。抗菌性ゲル充填能を持つピストンヘッドを装填したピストンコアラーを使用して、高粘性および低粘性の蛍光ビーズを混合させた抗菌性ゲルを用いてサンプリングを行った。採取されたコア表面の全体を縦5.0×横2.5 cmの格子状に区切り、それぞれの区画表面の試料を薄く掻き取った。各区画試料中の蛍光ビーズをフィルターに回収した後、蛍光顕微鏡を用いて計測した。高粘性ゲルを用いた試験において

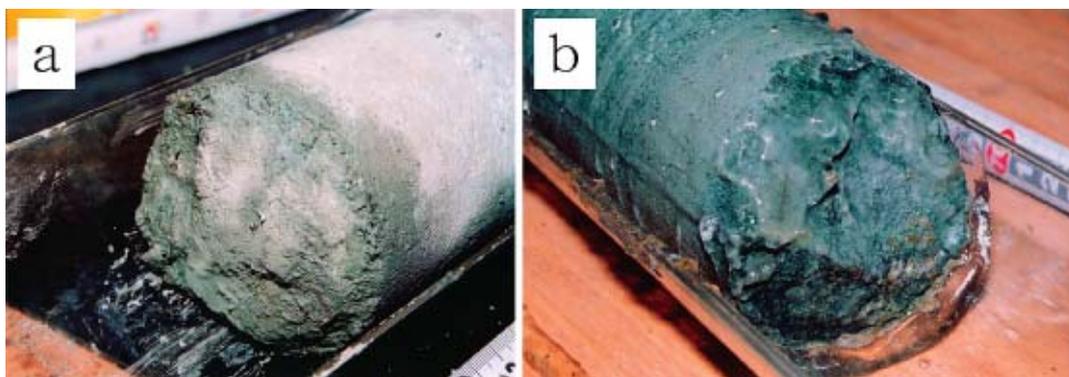


図36 高分子ゲルを用いずに採取されたコア試料(a) および高分子ゲルを用いて採取されたコア試料(b)

は、ビーズがほとんど検出されなかった区画は29ヶ所存在したが、低粘性ゲルを用いた試験のそれは、3ヶ所のみであった。したがって、低粘性の高分子を適用することにより、抗菌性高分子塗布機構付きピストンコアラは実用可能であることが示された。

他に、無機系抗菌剤を含有した天然高分子ゲルの開発、およびウォータージェットを用いたコア試料半割手法の評価を行った。

(d) バイオミネラリゼーション

バイオミネラリゼーションは生物が無機結晶の形成をタンパク質などの有機物を用いて制御し、生物学的に有益な機能を引き出す過程である。現在、この過程を模倣した新規材料合成法の探索 (biomimetics) 及び磁性細菌の磁性ナノ粒子を代表としたバイオミネラルの産業利用が盛んに試みられている。近年インド洋 Kairei field で硫化鉄のうろこを持つ新規巻貝 (図37) が発見され注目されている。貝の分類学的な観点からの研究は行われているが、バイオミネラリゼーションの視点からは研究されておらず、多角的な手法でキャラクターゼーションを行った。最初に硫化鉄の原子レベルでの結晶学的解析を行い、うろこ中の有機物マトリックス中では3-5 nmの黄鉄鉱 (FeS_2) 粒子が結晶学的方位を共有して配列し、有機物マトリックス外では縦20 nm横200 nmの強磁性結晶であるグレイガイト (Fe_3S_4) が結晶形を揃えて形成していることを解明した。現在グレイガイトの



図37 うろこを持つ巻貝とそのうろこの実体写真

ナノ粒子の磁性を California Institute of Technology の Kirschvink 教授と共同で測定しており、全てのうろこ中のグレイガイトは単磁区構造 (つまりひとつの磁区から成り立っている状態) であり、巻貝が結晶形のみならず磁性も制御していることが判明した。

興味深い事に、うろこ中に硫酸還元細菌が共生していることが、電子顕微鏡観察及び分子系統学的手法により明らかになり、本研究が硫酸還元共生細菌についての2件目の報告となる。最初に報告されたゴカイ中の硫酸還元共生細菌は組織中にランダムに取り込まれているのに対し、巻貝はうろこ軟体部の境界部に螺旋状に共生細菌を固定しており共生構造が異なることが明らかになった。共生細菌の硫化鉄形成の関与が示唆されたため、共生細菌からの硫化水素の供給の有無を明らかにするために硫黄安定同位体測定を行った。その結果、うろこ中の硫化鉄の大部分が熱水由来であることがわかり、共生細菌は硫化水素の供給以外で硫化鉄の形成に関与していると推測された。現在うろこ中のタンパク質の解析を行っており、結晶化タンパクの同定及びその由来を明らかにしている。また硫化鉄のうろこは黄鉄鉱ナノ粒子とタンパク質の複合素材であり、硬いがしなやかな物性を持つと期待される。現在、ナノ物性の測定を行っている。

(e) 地殻内有用遺伝子資源の探索

平山らの研究により菱刈金山坑道内で湧出する熱水 (約70°C) 中では Hot water crenarchaeotic group (HWCG) に属するアーキアが優占することが明らかになっている。HWCGは16S rDNA クローンとしてアイスランド等で検出され、その16S rDNAに基づく系統樹上の位置は Hyperthermophilic crenarchaeota と Marine crenarchaeotic group I - Soil group crenarchaeota の両クラスターの間位置する。しかし、これまで全く培養されたことはなく、地下温泉の微生物生態系の主要なメンバーであるにも関わらず、代謝も不明である。また生息環境から推測される増殖温度は60-70°Cであることから、Crenarchaeotaの低温環境への適応の仕組みを知る、あるいは古細菌の進化を考える上で、新たな遺伝子資源としても興味を持たれる。そこで、HWCGが優占し、HWCGゲノムを対象とした効率のよいスクリーニングが可能な菱刈金山坑道内の

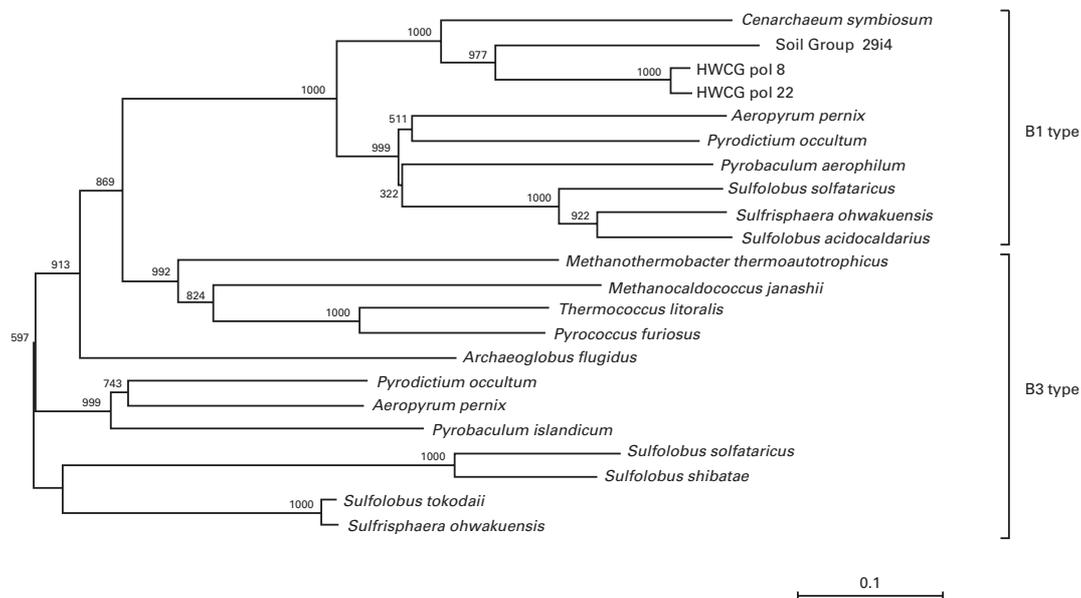


図38 菱刈金山より検出されたB型DNA polymerase遺伝子断片を含む系統樹。HWCG pol8、22が今回検出されたクローン。

熱水湧出孔に発達した微生物マットより、ゲノムライブラリーを構築し、有用遺伝子の探索を行うことにした。

現段階ではその手始めとして16S rDNA及びB1型DNA polymeraseをコードする遺伝子をプローブとして作成し、スクリーニングを行っている。なお、DNA polymerase B1は既に塩基配列の明らかになっているHyperthermophilic crenarchaeota、Marine crenarchaeotic group I、Soil group crenarchaeotaのpolB1のアライメントよりプライマーを作成し、約1000bpの断片を得た。バクテリアはB1型DNA polymeraseを持たないこと、増幅された遺伝子断片を元に作成した系統樹ではMarine crenarchaeotic group I及びSoil group crenarchaeotaのクラスターに含まれ、16S rDNAの系統解析結果とは大きな矛盾は生じないことから、増幅したpolB1はHWCGのゲノムに由来すると考えられる(図38)。一方、B3型DNA polymeraseについても、PCR法によるスクリーニングを試みたが、これまでのところ成功していない。

(4) 深海バイオベンチャーセンター

1) バイオベンチャーフォーラムの開催

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関連企業に紹介することにより、企業との共同研究の可能性を探ることを目的に7月18日(金)、笹

川記念会館(東京都港区三田)において第3回深海バイオベンチャーフォーラムを開催した。

・議事次第

開会挨拶	理事	千々谷真人
		「極限環境生物フロンティア研究システムの研究」
	システム長	掘越 弘毅
		「海底下地殻内に地圏と生命圏との接点を探る」
		稲垣 史生
		「ゲノム科学が変える生物学の応用とその展望」
		高見 英人
		「海底から宇宙まで広がる微生物研究の世界」
	東京薬科大学	大島 泰郎
(特別講演)	生命科学部教授	
		「深海熱水噴出孔の物理化学」
		出口 茂
		「深海微生物を求めて」
		秦田 勇二
		「ベンチャーセンターへの参加について」
	研究推進課長	高橋 賢一

・参加企業

民間企業を主体に53社の参加を得た。例年にくらべ、多数の企業、官庁関係、ベンチャー会社、情報関

連会社の参加があった。参加企業等にアンケートをとったところ、必ずしもバイオベンチャー関連研究に留まらず、海底下地殻内生命圏や深海熱水噴出孔の物理化学(超臨界)に興味を持った参加者も多かった。

2) 応用微生物の研究と企業との共同研究

深海バイオベンチャーセンターは、既に10を超える企業との共同研究に着手している。深海や地殻内微生物から有用酵素を多数発見し、その一部を特許出願と論文投稿した。

研究テーマとその研究成果はつぎのとおり、

① 遺伝子発現用ホスト・ベクター系の構築とタンパク質の大量生産の確立

深海微生物などから強力なプロモーター、分泌制御遺伝子、ターミネーターを探し、大腸菌や枯草菌の菌体内外に著量のタンパク質を発現させた。遺伝子産物の同定と機能解明のためのタンパク質大量発現用ホスト・ベクター系の構築を行なった。

② 生物ゲノム情報と深海底泥サンプルからの新規酵素探索

深海、地殻内生物ゲノムの遺伝情報解析、深海底泥サンプルから、新規酵素を多数発見した。

③ 生物ゲノム情報に基づくプロテオーム解析

タンパク質大量発現用ホスト・ベクター系の開発に関連し、それぞれの発現タンパク質試料を2次元電気泳動等により分画した。遺伝子破壊により、ホストの2種のプロテアーゼを破壊し、2次元電気泳動で確認した。

④ 新規機能性タンパク質の構造決定とホモロジーモデリング

タンパク質高発現系を用い、結晶化に適する多数の新規サンプルを供給した。得られた結晶をSPring 8等で解析し、極めて迅速に構造決定を行なった。

⑤ 有用菌株が生産する新規機能性タンパク質の機能同定

多数の新規酵素の遺伝子配列とタンパク質の特定化に成功した。遺伝子自体の新機能、発見されたタンパク質が判明し、特許を出願した。

以上

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

当フロンティア研究システムは発足後3年目に入り、研究活動も軌道にのって来た。本年度の主要な研究としては、昨年度に引き続き、

- ・ 太平洋域グローバル地球物理観測網による同地域のマントルの構造および物理的性質の解明
- ・ 西太平洋の島弧地殻の形成と進化
- ・ 南海トラフおよび日本海溝付近のプレート構造およびダイナミクス
- ・ 現行堆積過程の観測と精密地層解析を通じた新生代寒冷環境および白亜紀温暖期環境に代表される地球環境システム変動の理解、および
- ・ 地球シミュレーターを用いた地球内部のダイナミクスについての各種シミュレーション

等で、これらの研究において当フロンティア研究システム独自の研究成果が出始めている。これらおよび関連する研究の成果については、査読付きの国際学術雑誌に約140編、査読なしの学術誌等に40編の論文として、また国際学会、国内学会においてそれぞれ、160件以上の発表を行った。本年度はそれらの研究成果の中から5件につきプレス発表を行った。その中で特筆すべきは、坪井プログラムディレクターが中心となって行ったグローバルな地震波伝播に関するシミュレーションである。すなわち、地球内部を50数億個の格子に分割し、種々の物理的条件を入れたモデルを構築し、そのモデルに基づくシミュレーションによってアラスカにおける実際の巨大地震による全地球内部の地震波の伝播を再現し、世界各地での地震波の実測と極めてよく一致することを示した。

本年度はまた、当フロンティアの目的の一つである領域横断的な共同研究の進展にも引き続き努力がなされ、地球内部の水、伊豆・小笠原・マリアナ弧および全地球的異常環境についての学際的な研究成果も出始めている。

国内外の研究機関の研究者との共同研究も進展しつつある。本年度は昨年度に続き、東京大学、北海道大学、京都大学、静岡大学等14の国内研究機関、またカリフォルニア工科大学、ハワイ大学、サウスハンプトン大学、パリ大学等14の海外研究機関との共同研究

が進み、成果もあがり始めている。また、本年度にスタートしたIODPへの関与および貢献としては、科学計画、運用計画、サイトサーベイ、日本掘削科学コンソーシアム等において、当フロンティア研究システムの研究者が重要な役割を果たしている。

今後IFREEは、上記の研究をさらに進展させるとともに、国内外の共同研究や国際的プロジェクトにおいても主要な役割を果たし、わが国のみならず世界における地球科学の中核的な研究機関となることを目指す。

なお、本年度、国内外の学会から、以下のIFREE関係者が表彰を受けた(受賞順)。

- ・ The Geological Society of London
ウォラストーンメダル：久城育夫システム長
- ・ 第43回物理探査学会賞：金田義行領域長、鶴哲郎グループリーダー、朴進午上級研究員
- ・ 日本地質学会賞：巽好幸領域長
- ・ 2003年ゴードン・ベル賞：
坪井誠司プログラムディレクター

(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トル・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。その結果及びマントル対流・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研究を推進している。

地球内部のイメージングにおいては、既存の陸上観測網のデータを利用するとともに、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太平洋ネットワークと、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。背弧海盆やブルーム上昇域などマントルダイナミクスの鍵となる地域にターゲットを絞った海底地震・電磁気観測を行い、マントルの温度・組成などマルチパラメータモデルの構築を目指した研究が行われている。

地球内部モデリングは、マントル対流では地球シミュレータを、コア対流では室内流体実験を駆使することによって、対流素過程の理解とマントル対流の再現を目指す。その結果はトモグラフィーによる地球内部構造の

モデル化と照らし合わせて、地球内部のダイナミクスと進化過程を明らかにする。

平成15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。

(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。

短周期波形データを用いて、観測P波波形から理論のS波波形を合成し観測波形と相関をとることでS-P走時差を測定する手法を確立した。またこの手法によるS-P走時差と、立ち上がりを直接読み取ったS-P走時差との比較から、これまで慣習的に受け入れられてきた物理分散のリファレンス周波数1 Hzという値より高周波の波が、遠地実体波の実効的な立ち上がり周波数となっていることが分かった。このことはさらに、1 Hzというリファレンス周波数によって短周期と長周期のデータをつないでいる地球モデルのあり方にも修正を要求する。そのような代表的なモデルとしてPREMの修正案を提示した。

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、海底広帯域地震観測データ、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、さらに表面波位相速度など合計して約11万データを蓄積した。

(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

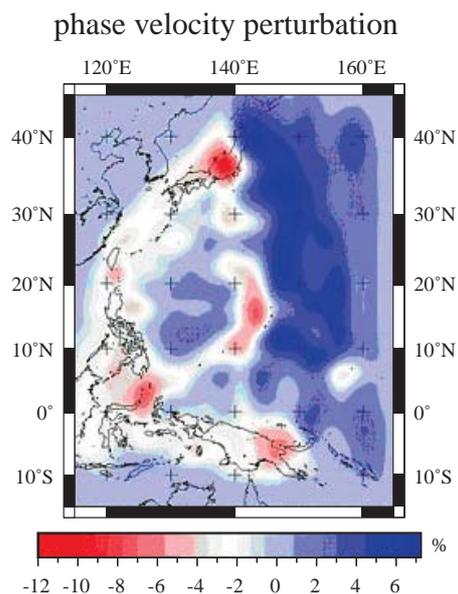
近年、フィリピン海プレート周辺域での陸上広帯域地震観測点数が増加し、またフィリピン海プレート内の広帯域海底地震計による地震観測が行われている。このことにより、フィリピン海プレートの構造を従来以上

に高解像度で求めることが可能になってきている。特に海底広帯域地震観測は、従来得ることの出来なかったフィリピン海プレート中央部での観測を実現しており、フィリピン海プレート内の構造を詳細に解析するためには重要である。

そこで我々はフィリピン海プレート及びその周辺域の位相速度分布を求めた。フィリピン海プレートとその周辺域の地震、観測点(陸上及び海底)を選び、それぞれの地震-観測点間の1次元表面波位相速度を求めた。位相速度測定にはNeighborhood Algorithmを用いた完全非線形な波形インバージョン法(Yoshizawa & Kennett, 2002)を用いた。得られた1,114波線の位相速度をもとにトモグラフィー手法を用いて2次元位相速度マップを求めた。周期約40秒(深さ50km以浅のS波構造を反映)での構造モデルを図1に示す。太平洋プレートに比べフィリピン海プレートの速度が遅いこと、現在の拡大軸であるマリアナトラフ上の速度が遅い様子が見られる。

(iii) sScS後続波を用いた日本下上部マントル不連続面の研究

地表とコア-マントル境界を往復するS波であるsScSnの後続波でさらにマントル不連続面上面で反射する波に着目し、理論波形との相関をとることで理論走



T = 41.67 sec, Reference velocity = 3.93 km/s
 図1 周期41.67秒の位相速度異常。青、赤はそれぞれ位相速度の高速、低速異常を表わす。

時との差を求め、410 kmおよび660 kmマントル不連続面の深さを推定した。用いたデータは2002年6月28日のウラジオストック付近で生じた巨大深発地震に対する高感度地震観測網(Hi-net)の観測点に設置している傾斜計(高感度加速度計, 555点)と広帯域地震観測網(F-net, 64点)の波形記録である。これらの密な観測網データによって従来にない高い空間分解能が可能となった。また理論波形はSpectral Element Method(SEM)を用いて地球シミュレータで計算し、地殻構造の不均質性や地形の影響までも取り込むことにより観測との波形合致度を向上させた。求めた不連続面の深さ異常(図2)をP波マントルトモグラフィーと比較すると、日本列島下に沈みこんだスラブが660 km不連続面上に停留している西南日本下では、660 km不連続面の深さが西に行くほど緩やかに下降している。西南日本全体で平均約10 kmの下降が見られ、九州下では30 km近く下降が見られる。410 km不連続面に関しては西南日本下に沈み込むスラブを横切って、スラブの中央で

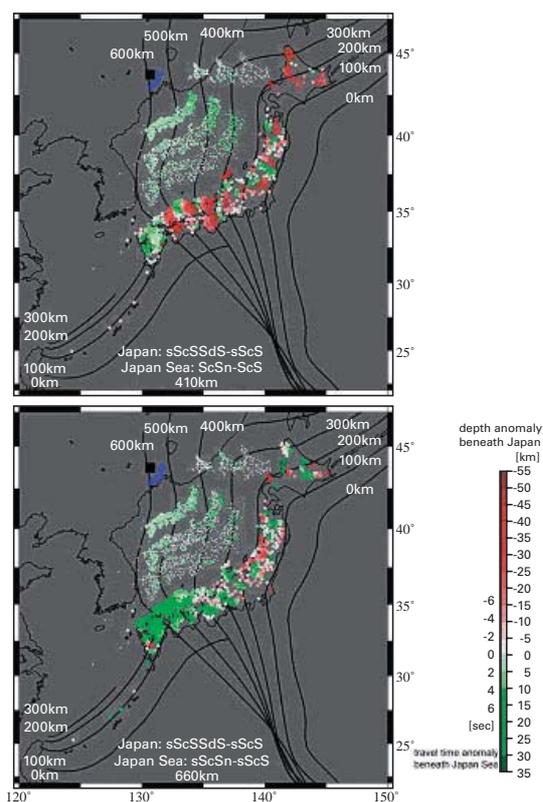


図2 日本下の "410 km"、"660 km" 不連続面の深さ異常。異常の大きさによって色を変え sScS 後続マントル不連続面での反射点にプロットしてある。比較のため ScSn-ScS または sScSn-sScS 走時異常を日本海上にプロットしてある。

約15 km上昇する長波長(約300 km)の変形とそれに重なった振幅20-30 kmの短波長の凸凹が見られた。

スラブが660 km不連続面上には停留していない東北日本下では、410 kmと660 km不連続面の深さはやや上昇傾向が見られるが、平均的には660 kmの不連続面は標準的な深さで、410 km不連続面は約10 km浅いという結果が得られた。

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

フィリピン海下の410、660 km不連続面の深さと地震波トモグラフィーから得られた地震波速度異常から、沈み込むスラブが横たわっている場所でのマントル遷移層の温度や組成異常を推定した。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を用いて、レーザ関数法で410、660 km不連続面の深さを求めたところ、マリアナトラフから大東海嶺にかけてそれぞれ405-410 km、695-708 kmとなった。一方、P波トモグラフィー(Obayashi & Fukao, 2001)では660 km付近のP波速度はマリアナトラフで0.5%、パレスベラ海盆で0.8%、大東海嶺で1.4%である。フィリピン海は水を含んだスラブが沈み込んでいる可能性がある場所なので、温度以外の要因として水を仮定し、温度異常と水含有率を推定した。かんらん石の高温高压実験から求められたポストスピネル相転移の温度・水依存性や γ スピネルP波速度の温度・水依存性を用いて温度・水含有率を求めると、300-500 Kの低温異常と0.6-0.7重量%となった(図3)。

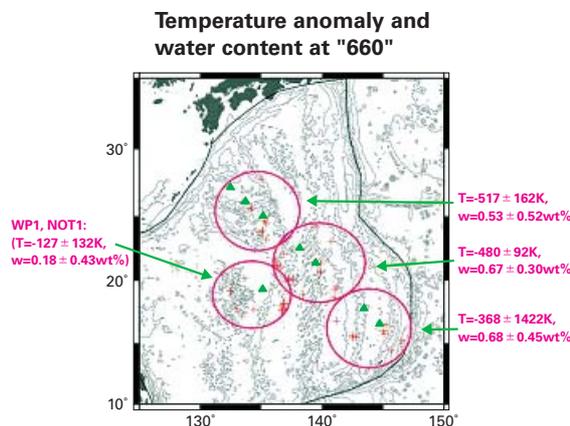


図3 フィリピン海の "660 km" 不連続面付近の温度と水含有率。三角は海底観測点、十はPs変換波が深さ660 kmを横切る点。

(v) 2003/11/12紀伊半島沖地震で観測されたS-P変換波の変換面推定

2003年11月12日、紀伊半島南東沖深さ398 kmで起きたMw6.3の地震により、防災科学技術研究所Hi-netの観測網でP-S間で特有のフェーズが観測された。その特徴をまとめると次のとおりである。

- ・ P波の後約20秒前後に現れる。
- ・ 見かけ速度はP波より若干速い。
- ・ 震央距離1.5～4度、方位345～15度の範囲、主に中部地方で観測される。
- ・ 上下動成分にのみ現れ、水平動成分ではほとんど見えない

これらの特徴から観測されたフェーズはS波からP波への反射変換波と考えられる。そこで観測走時に合うように変換点を見積もり、その上でスネルの法則を満たすような平面を推定した。その結果変換面は、浜名湖付近(震央距離約1.2～1.7度)深さ約440～370 kmにおいて、傾斜角約73度、走向約110度の面となった(図4)。

P波トモグラフィーの断面図や地震の分布と比較すると、この面は沈み込むスラブの下面付近に分布しているが、深発地震面の角度よりは急峻な面となった。求まった変換面は(1)スラブの下面、または(2)スラブ内に生じた正断層面と解釈出来るかも知れない。前者であるとするスラブ下面は深発地震面とは平行ではない。後者であるとする、この付近のスラブは折れ曲がって沈み込んで行くためスラブに亀裂が生じているかもしれない。

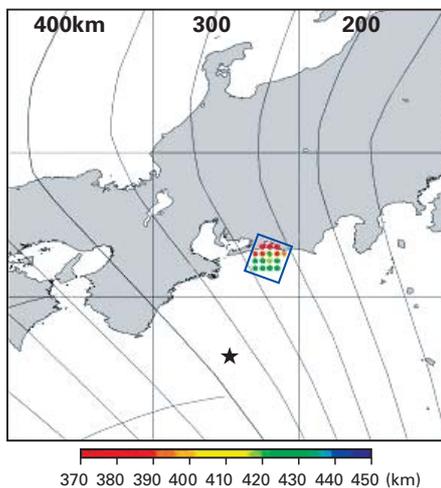


図4 推定されたS-P変換面。色は変換点の深さを表わす。星印は震源。

(b) 海域観測：海底地震

(i) 海底地震観測

①日米共同マリアナ長期海底地震観測

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2003年6月から2004年4月まで実施した(図5)。本地域では深さ600 km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、エアガンによる浅部3次元構造探査・前弧の泥火山活動モニタリング・遠地地震による表面波解析など、多種のデータ解析を予定している。

②マリアナでの詳細な深発地震活動と速度構造

上記の日米合同観測に先行して、2001年から約1年間の長期海底地震観測を同一地域で行っており[図5中のLTOBS(2001)]、その観測データの解析として地震の検出と震源決定を行った。グローバル観測網では観測期間中に60個程度の地震が見出されているだけであるが、深発地震活動域直上での観測により3,000個以上の地震を検出し、詳細な深発地震活動の様子を解明した(図6)。また、多数の地震データを用いて3次元の地震波速度構造と震源の同時決定を現在進行中である。

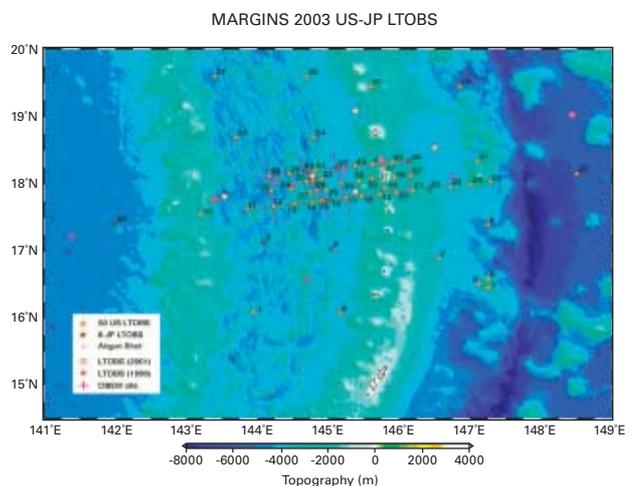


図5 長期海底地震計(LTOBS)とエアガン探査の測線配置。米国側による臨時陸上観測点も北緯15度から19度の複数の火山島に設置された。

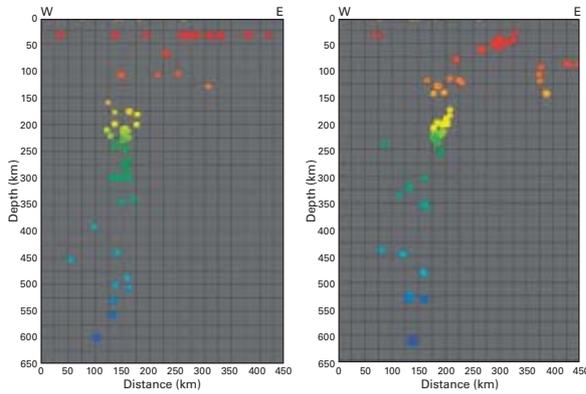


図6 震源の鉛直断面図で、左はグローバルな観測網によるもの(PDE)、右はLTOBSの観測データによるもの。沈み込むスラブの形状が見えるようになるほか、震央が北西に大きくずれていたことも判明した。1次元速度構造は地殻部分を除き iasp91 を用いた。

(ii) 海底電磁気観測の成果

① マリアナ電磁気観測

平成13年度より、神戸大学、東京大学地震研究所と共同で行ってきた中部マリアナ海域での電磁気観測については、平成14年度のデータ回収以降データ解析が進み、最終的な2次元上部マントル電気伝導度構造を推定することができた(図7)。背弧側上部マントルは深さ約70 kmまでは低伝導度で、無水のマントル伝導度に近い。それより深部では高伝導度で水の存在を示唆する。このような特徴は東太平洋海膨でも見られ、背弧拡大にともなう部分熔融プロセスの結果、マントル物質中の水がメルト中に抜き去られることに対応すると考えられる。

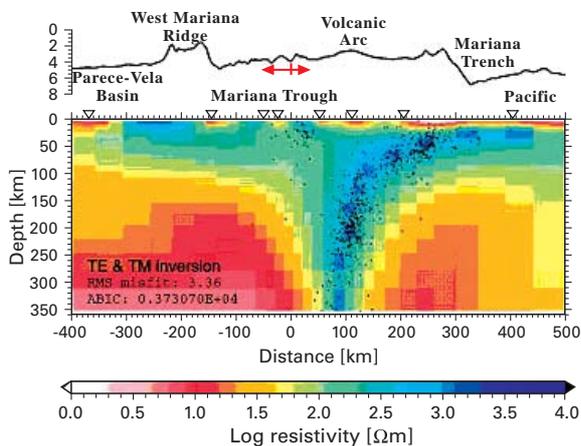


図7 中部マリアナ海域における2次元電気伝導度構造モデル。横軸はマリアナトラフ軸からの距離。▽は観測点の位置を示す。図中の点は震源分布。

② マントル下降流域での地震・電磁気観測

イ) 日本海東縁部における電磁気観測

日本海東縁部(図8)は、前節のマリアナ地域と対照的に、より低角の沈み込みと発達した島弧、リフティングの名残を示す厚い地殻で特徴付けられる。この海域の上部マントル電気伝導度構造を推定するために、富山大学、千葉大学、東京大学地震研究所と共同し、平成14年度よりOBEM 6台を設置してMT観測を行ってきた。平成15年7月の研究船「淡青丸」を用いた航海で、5台のOBEMを回収し、うち4台が有効なデータを記録していた。OBEMのデータに陸上で得られた4観測点のデータを加え、予備的な解析を行ったところ、図9に示すような2次元電気伝導度構造モデルを得た。日本海東縁では100 km以深に高伝導度帯が存在し、その上面は島弧側に向かって浅くなるようである。現在も解析は進行中で、今後より確からしいモデルを構築していく予定である。

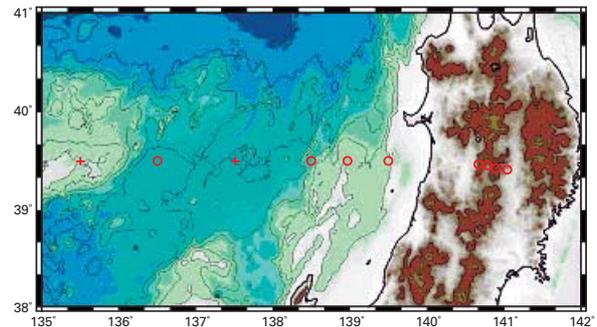


図8 東北日本弧および日本海東縁の地形(コンターの間隔は500 m)と、観測点分布(○と+はそれぞれ有効なデータが得られた点、得られなかった点)。

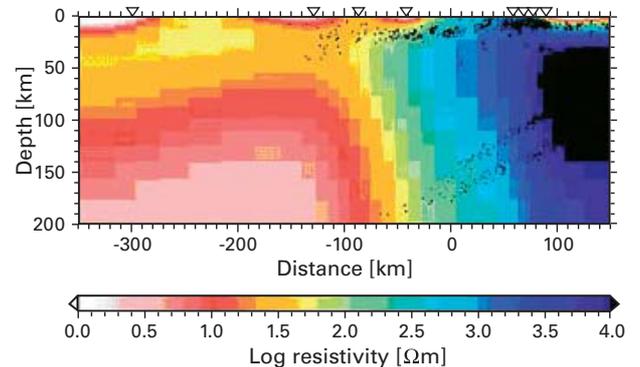


図9 2次元上部マントル電気伝導度構造モデル。横軸は海岸線からの距離。▽は観測点の位置を示す。図中の点は震源分布。

ロ) プレート下、マントル下降流補償性上昇プリュームの研究

地震波トモグラフィーによれば、沈み込むプレート下側に沈み込みを補償するような小規模上昇流の存在が示唆されている(図10)。この小規模湧昇流の電気伝導度構造を解明する為に、2点のOBEMを設置して機動観測をスタートした(図10, 11)。電気伝導度構造解析では、この湧昇流の根がマントル遷移層にとどま

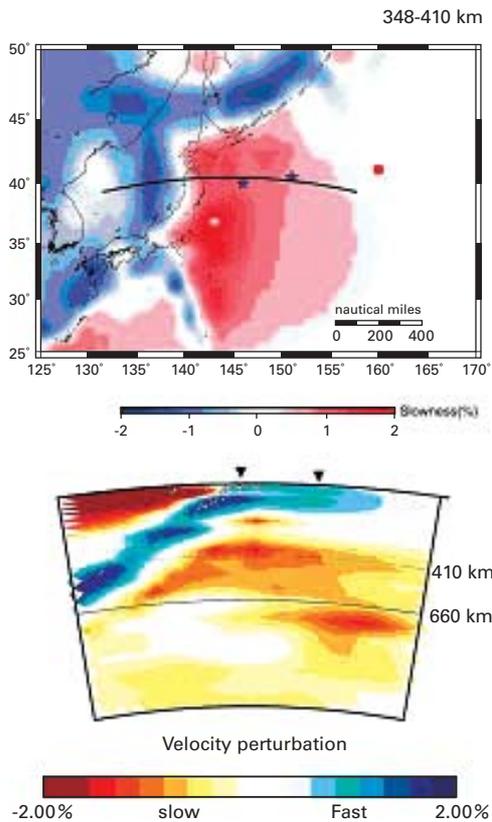


図10 上:地震波P波トモグラフィー(大林・深尾2001)の深さ348-410 kmのレイヤー平面図とOBEM2観測点(星印)。実線は断面図位置。下:同トモグラフィー断面図とOBEM観測点(逆三角)。

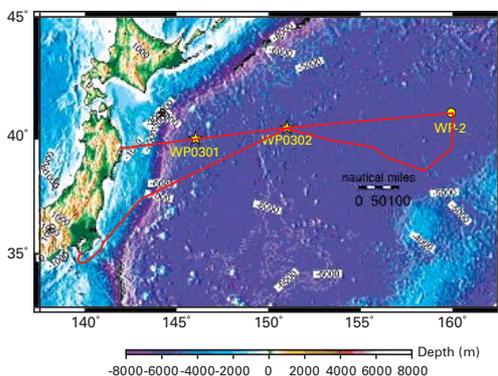


図11 プレート下マントル地震波低速度異常を解明。

るものか、それを貫いて下部マントルに起源を持つものかの解明に絞って解析する。沈み込むプレートがマントル対流に与える影響を新しい知見で検証する。

(c) マントル・コア対流のモデリング

地球の内部構造とその進化、及び内部または表層で起きている様々な活動は、「対流」という地球内部で起きている物理現象に支配されている。外核で生じる対流は地球の固有磁場を生み出し、またマントル対流は、プレート運動や大規模火成活動の主要な駆動源である。即ち、地球内部各所で生じている対流の物理を明らかにすることは、地球の様々な活動の理解、および内部構造とその進化を明らかにする上で極めて重要である。よって我々は、地震波トモグラフィーおよび様々な観測量に基づく地球の内部構造をモデル化する為に、様々な対流現象を室内実験と数値実験により明らかにすることを研究目標としている。

マントル対流は、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によって特徴づけられる。我々はこれら様々な要因が各々対流に対してどのような影響を持つのかを、室内実験、数値実験の双方から取り組んでいる。特に数値実験は地球シミュレータを用いた三次元地球マントル対流シミュレーションを実行することにより、今までに無い高解像度で広範囲なパラメータ領域での計算が可能となった。現在は、大陸移動などの地表活動がもつある周期性を理解するために、マントル遷移層の存在がマントル対流に与える影響を調査中である。660 kmの深さでは相転移圧力の温度係数が負であることが推定されており、このことは相境界を越えての対流運動を妨げるため、沈み込みスラブの滞留や下部マントルへの間欠的な崩落を引き起こす。このような間欠性が、様々な地表および内部での活動のリズムを作り出していると予測される。従って、どのような強度の対流の時、相境界がどのような傾きを持つと、このような間欠的な対流となるのかを統計的に調べ、その滞留や崩落の空間および時間スケールが何に支配されているのかを調査した(図12)。

一方、外核で生じている対流は、液体金属の流れであることから、マントル対流と本質的に異なる現象である。液体金属は熱拡散に対して粘性抵抗が非常に弱く、

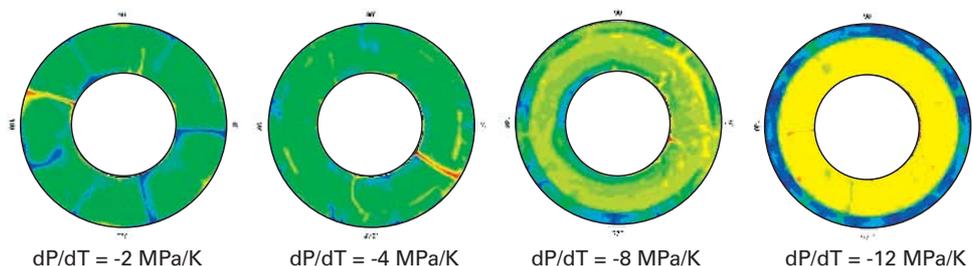


図12 地球シミュレータによる3次元球殻でのマントル対流の計算：温度構造の子午線断面を表示している。解像度は地表面で水平約30 km、約1億点の格子点を持つ計算である。左から右にかけてクラペイロン勾配の絶対値が大きくなり、それに伴い対流パターンが全層対流、間欠性対流、二層対流へと変化している様子がわかる。

流れは乱流状態となっているため、対流の物理を理解する為には室内実験が不可欠である。しかし液体金属が持つ不透明性からその流れを可視化する事が出来ず、データ収集の上で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行うことにより、液体金属の流れのパターンの可視化に取り組んでいる。超音波ドップラー効果を用いた流速測定法を熱対流が持つ低速度を測定するために新たなアルゴリズムを開発した。実際に液体金属としてガリウムを用いた対流実験が可能とな

り、液体金属中に生じている乱流対流が作り出した大規模流のロール状パターンの計測に成功した(図13)。今後は磁場や回転を取り入れることにより、より現実的な外核対流のアナログ実験を行う予定である。

2) 地球内部物質循環研究領域

概要：

固体地球の進化過程で、プレート収束域(沈み込み帯)はサブダクションファクトリーとして、重要な役割を果たしてきた(図14)。すなわちこの工場では、マントル内へ落下する海洋プレート(変質した部分と新鮮な

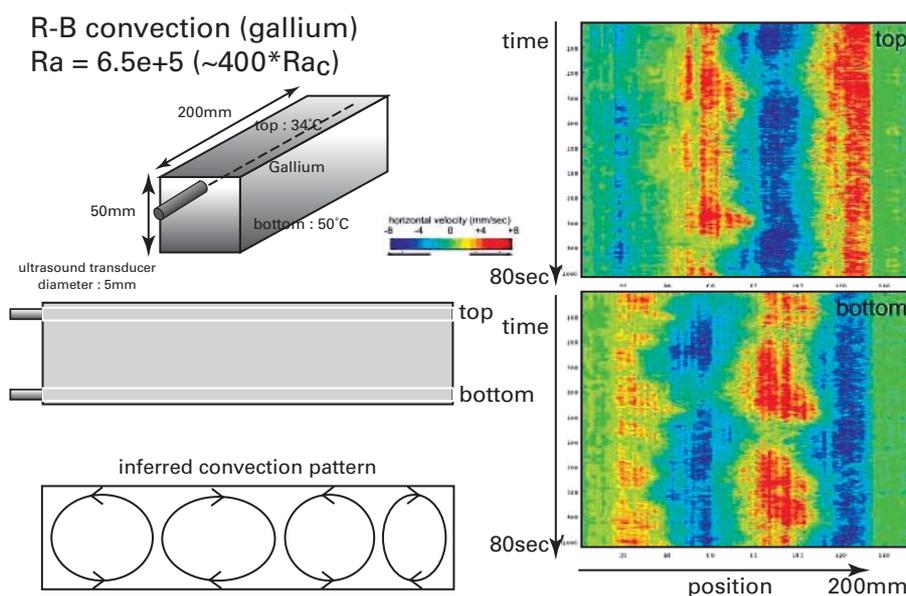


図13 ガリウムを用いた熱対流実験。左上図は計測装置の設定。左中図は計測に用いたトランスデューサ(超音波の発信・受信)の位置。左下図は速度計測の結果予測される対流パターン。右図は流れの速度の時系列。正の速度を持つ領域と負の速度を持つ領域が交互に現れている様子、およびその領域が時間と共に振動している様子がわかる。

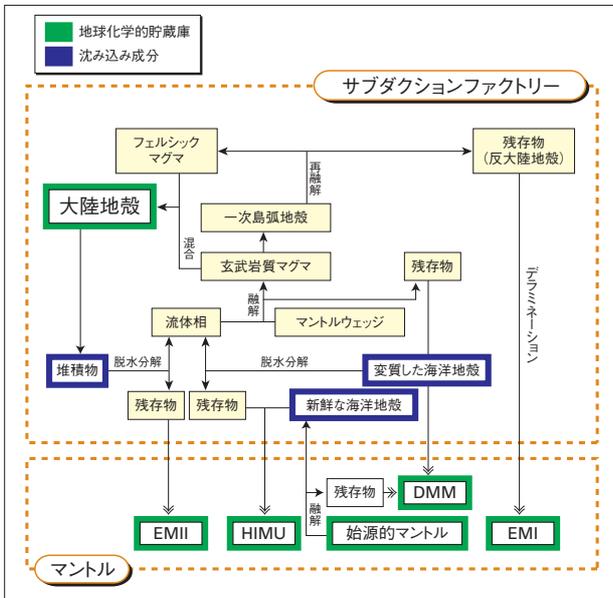


図14 サブダクションファクトリーの、地球化学的貯蔵庫の形成、固体地球の進化における役割。

部分)、プレート移動によって持ち込まれる堆積物、などの沈み込み成分を原材料として、固体地球における軽元素の貯蔵庫である大陸地殻という製品を作り出し、その製造工程で生まれる廃棄物(脱水分解の残存物や反大陸地殻物質)は、マンテル深部で熟成されて、EMI, EMII, HIMUと呼ばれるマンテル端成分物質となり、マンテルブルームの上昇に伴って、ホットスポットマグマの起源物質として再利用される。

本研究領域では、上述した地球内部における物質循環と固体地球の進化を包括的に理解することを目指し、その目的を達成するために、沈み込み帯、ホットスポットマグマを対象とした、地質学・岩石学・地球化学的解析、および地殻マンテルの物性を決定するための高温高压実験を実施している。これらの研究は、IFREE内の分析解析センター、他研究領域、JAM-STECH深海研究部、京都大学大学院・東京大学・東京工業大学・岡山理科大学に設置された連携研究拠点などと共同で行っている。

研究成果概要:

(a) スラブ融解とマンテルメルト反応: 高Mg安山岩の成因

現在の地球上の多くの沈み込み帯においては、沈み込む海洋プレートは脱水分解反応によって、H₂Oをマンテルウェッジへ供給し、それにとまなう融点降下に

よってマグマが生成されている。しかし、プレート・マンテルが現在よりも高温であった初期地球では、プレートの融解を伴うマグマ活動が起こり、それによって安山岩質の大陸地殻が形成された可能性がある。この現象を詳細に検討するために、1) 若いプレートが高温のマンテルウェッジ内へ沈み込んだことが予想され、2) 安山岩質大陸地殻の形成に役割を果たした可能性が指摘されている「高Mg安山岩」を産する、西南日本弧の瀬戸内火山帯について、スラブ融解の地球化学的モデリングによる検証を行った。

高Mg安山岩マグマは、含水条件下で上部マンテル物質と平衡共存することは、これまでの実験岩石学的な検討によって確立されている。この条件を生み出すメカニズムとして、以下の2つが考えられる: 1) 沈み込むプレートからH₂Oをマンテルウェッジへ供給し、マンテル物質の含水融解を引き起こす。2) 含水プレートの融解によって生じた含水メルトがマンテルウェッジ物質と反応する。

今回のモデリングにおいては、これら2つのメカニズムによって生産される高Mg安山岩マグマの微量元素・同位体比組成を比較検討した。図15に示すように、

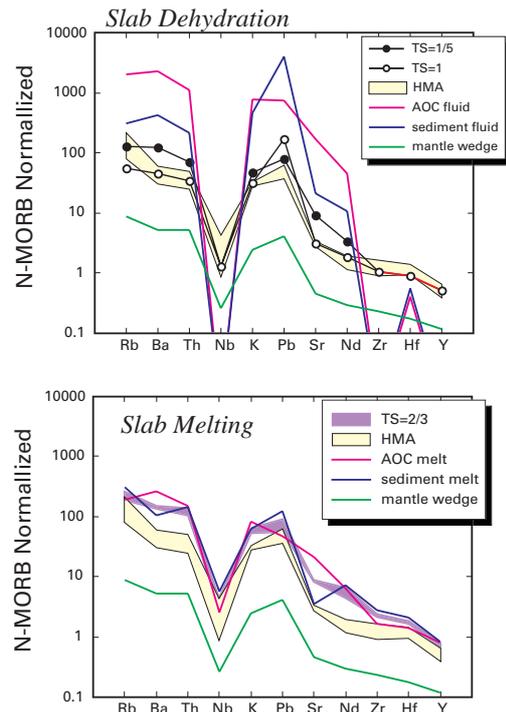


図15 プレート脱水分解とプレート融解によって生成された高Mg安山岩マグマの微量元素組成。いずれの場合でも、瀬戸内火山帯に産する高Mg安山岩の化学的特徴を合理的に説明することができる。

瀬戸内火山帯の高Mg安山岩の微量元素組成の特徴は、上記のいずれのメカニズムによっても再現することができる。一方、同位体比組成を検討すると、上記1)のメカニズムでは、瀬戸内火山帯の高Mg安山岩のSr-Nd-Pb同位体比を定量的に説明することが不可能であることが確認できた。即ち、Sr-Nd同位体比に関しては、0.5-1%の堆積物由来流体相の添加が必要であるのに対して、Pb同位体比については、0.1%以下の添加で十分である(図16)。またこのメカニズムでは、高Mg安山岩の特徴である低いHf同位体比を定性的にも説明することはできない。これに対してプレート融解を考慮すると、全ての同位体比について定量的に、かつ包括的に高Mg安山岩の化学的特徴を説明することができる(図17)。ただし、Hf同位体比に関しては、陸源堆積物に加えて、遠洋堆積物の関与が必要である(図17)。

以上述べたように、高Mg安山岩の生成はプレート融解が重要な役割を果たしたことが明らかになった。今後、高Mg安山岩と大陸地殻に相当する組成を有する安山岩との成因関係を検討し、初期地球での大陸地殻形成過程における、プレート融解の役割を解明してゆく。

(b) 地殻内におけるマグマの再融解;サブダクションファクトリーにおける新工程

沈み込み帯のマントルで発生したマグマは様々な過程を経て地表に噴出する。マントルで発生したマグマは冷却することによって結晶を晶出し、分化し、組成を変えて、ついには溶岩として固結する。つまり、マントルでできた熱いマグマが徐々に冷え、最後には固結するというのが従来からの常識であり、この常識に則って、逆に溶岩のルーツを辿り、マントルの初生マグマを求め、沈み込み帯のマントルのダイナミクスまで解明しようという試みがなされてきた。しかし、最近の研究はこの常識が必ずしも成り立たないことがあることを明らかにしつつある。例えば、西南日本の大山火山の溶岩を詳細に調べると、多くの結晶が中心部から周辺部にかけて逆累帯構造をしているのが判明した(図18)。これはマグマの温度が徐々に冷却しているのではなく、逆にマグマの温度がある時期に上昇し、晶出していた結晶が溶け出し、より高い温度で再び結晶の成長が始まったことを意味している。また、大山火山には斑晶に富んだデイサイトから、斑晶に乏しくそれらの斑晶も溶

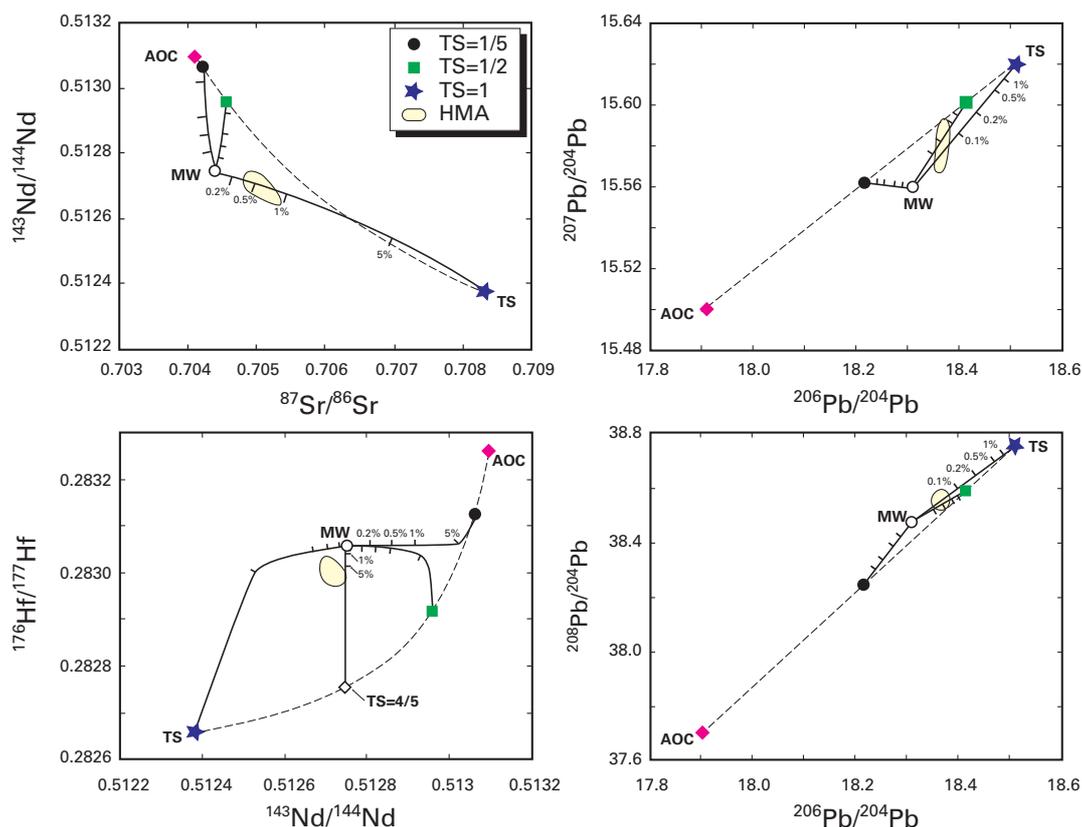


図16 プレート脱水分解によって生成された高Mg安山岩マグマの同位体比組成。瀬戸内火山帯の高Mg安山岩の特徴を定量的に説明することはできない。

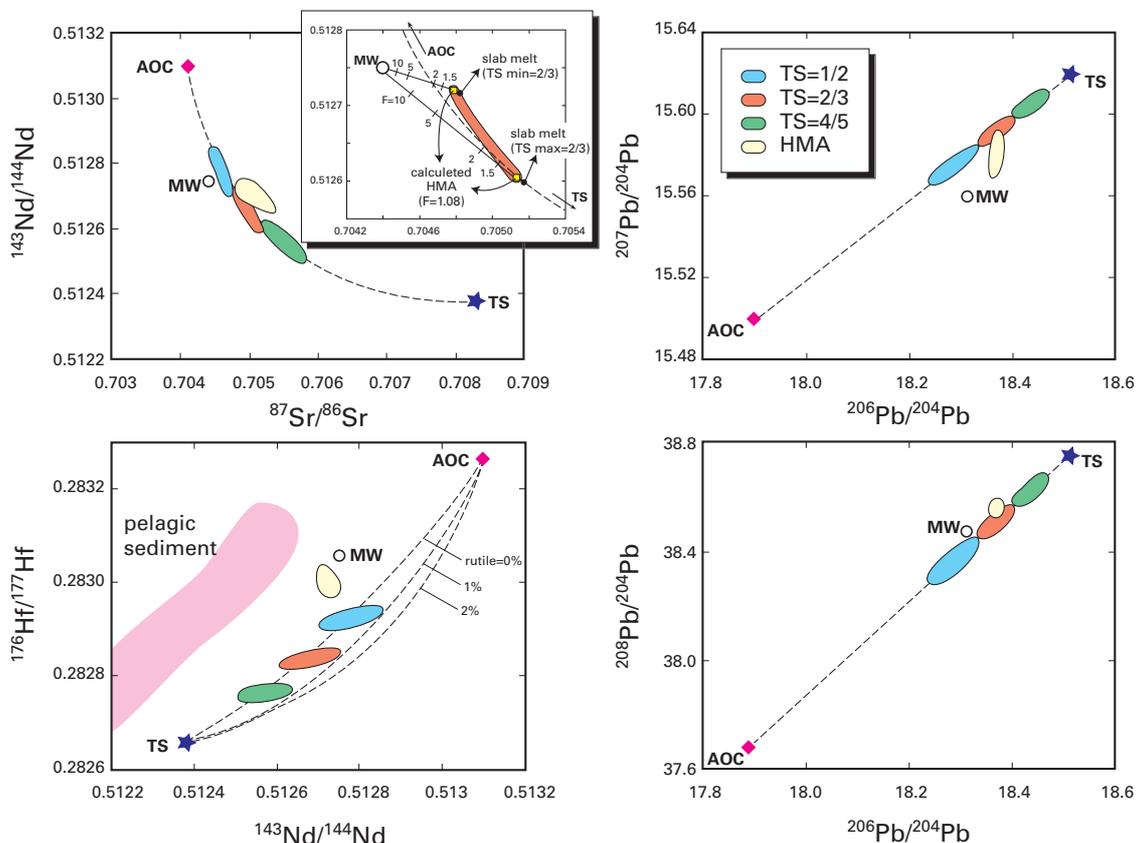


図17 プレート融解とメルト-マントル反応によって生成される高Mg安山岩マグマの同位体比組成。遠洋性堆積物の関与を考慮すると、全ての同位体比について、定量的に高Mg安山岩の化学的特徴を説明することができる。

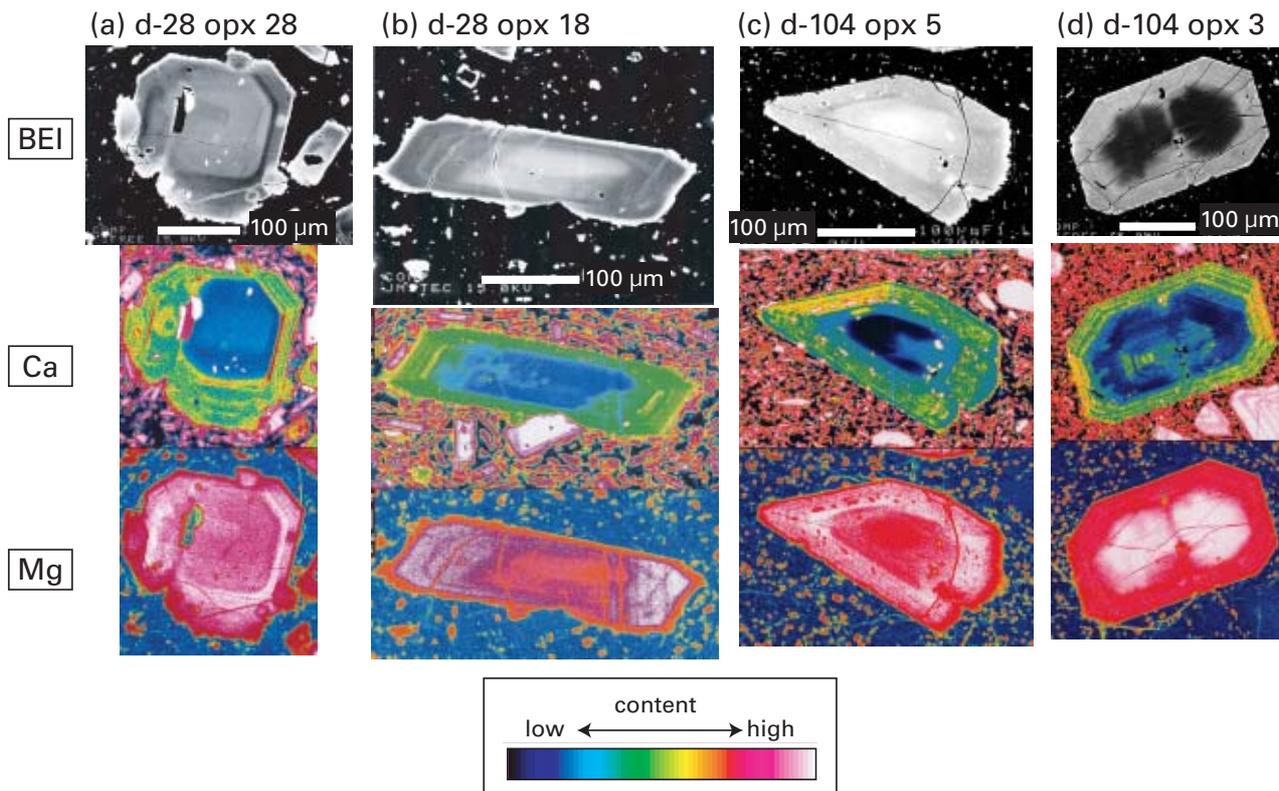


図18 大山火山の斑晶鉍物に見られる組成累帯構造。

融組織を持つ安山岩から、全く斑晶を含まない無斑晶質安山岩まで連続的に露出している。これらの岩石の組織、化学組成、結晶から求めたマグマの温度などを総合して図19のようなモデルを提案している。マンテルで生じた水に富んだマグマは地表まで上昇できず、地殻内で固結する(図19a, b)。固結した岩体はより高温のドライな玄武岩マグマにより加熱され、再熔融し、斑晶に富んだデイサイトから無斑晶質安山岩溶岩として地表に噴出する。つまりマンテルでできたマグマのかなりの部分は地下(地殻内部)で固まり、それらは新たに供給されるマグマによって加熱され、再熔融し、再びマグマとして地表に現れる。よってマグマの記憶は途中でリセットされ、マンテルでの融解現象に関する情報は完全に失われている場合もある可能性が高い。

このような地殻内における冷却過程のマグマ岩体の再熔融現象は、サブダクションファクトリー内での新しい工程として認識すべきであり、今後この工程の詳細と、その役割を検討してゆく。

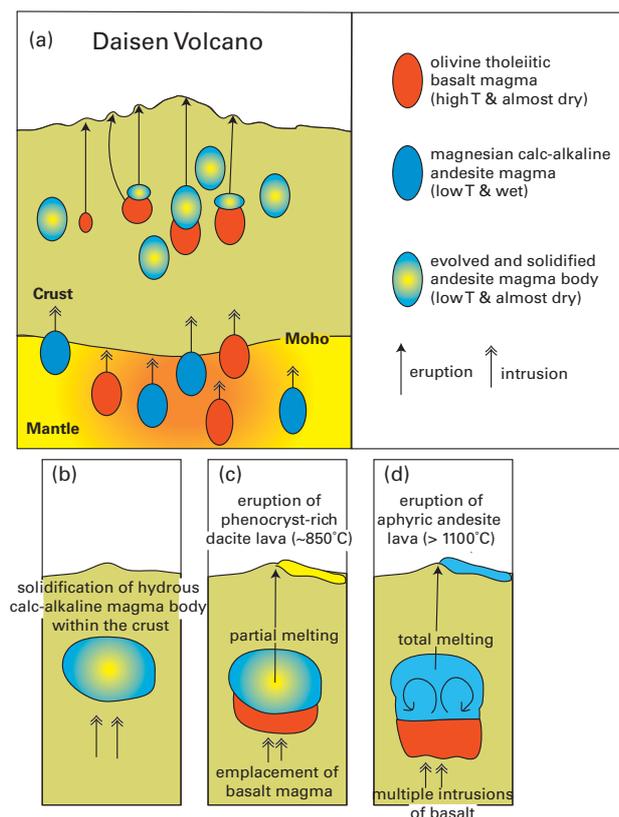


図19 サブダクションファクトリーにおける新工程である地殻内マグマ岩体の再融解モデル。

(c) 伊豆小笠原弧マグマに関する物質科学的検討

沈み込み帯におけるマグマの成因を理解するには、マンテルでの融解プロセス、起源マンテルの化学的特性など、マンテル内の現象を明らかにする必要がある。しかしマンテルモードの議論をする場合、マンテル由来のマグマの固結物、つまりサブダクションファクトリーの最終的な製品である地殻の存在が障害となる。つまり、より分化した化学的特性を持つ地殻物質の混染によってマンテル由来のマグマの化学組成が改変される場合が多い。それ故、古い地殻がなく、地殻そのものも薄い海洋性島弧が、沈み込み帯におけるマグマの成因を議論するのに適している。伊豆小笠原弧は代表的な海洋性島弧であり、その個々の島弧火山を詳細に研究することは沈み込み帯におけるマグマの成因に関して本質的に重要な、マンテルモードの情報を与えてくれる可能性が高い。伊豆小笠原弧のマグマ活動を総合的に解析する目的で、まず火山フロントの第四紀火山、スミスカルデラ火山に着目し、潜水艇しんかい2000、ROVドルフィン3K、ドレッジ、シングルチャンネルおよびマルチチャンネル音波探査等により詳細な調査を行った(図20)。その成果の1つは、一つの火山の玄武岩マグマであっても一様ではなく、マグマ中の含水量とマンテルにおける部分熔融度に差がみられ、それらがお互いに正の相関を持つことを見いだしたことである。図21はスミスカルデラ火山における2種の玄武岩マグマの希土類元素濃度パターンを示したものである。これらの2種のパターンは地殻内における結晶分化作用では説明できず、マンテルにおける部分熔融度の違いをあらわしている。さらに、部分熔融度の大きいマグマは斑晶組み合わせなどの岩石学的情報から含水量に富んでいたことが示唆され、また水にけ込む元素にも富んでいることが判明した。このような発見は、地殻内のマグマのバッファゾーンが未発達である海洋性島弧においてのみ可能である。今後、さらに未成熟島弧である伊豆小笠原弧について調査検討を行い、島弧地殻の進化過程と大陸地殻形成過程の解明を行ってゆく。

(d) ポストペロブスカイトの発見

これまでの地震学的解析と高温高压実験の結果から、670 km不連続面以深の下部マンテルは、 $MgSiO_3$ 組成のペロブスカイトが主要構成相であることが判明

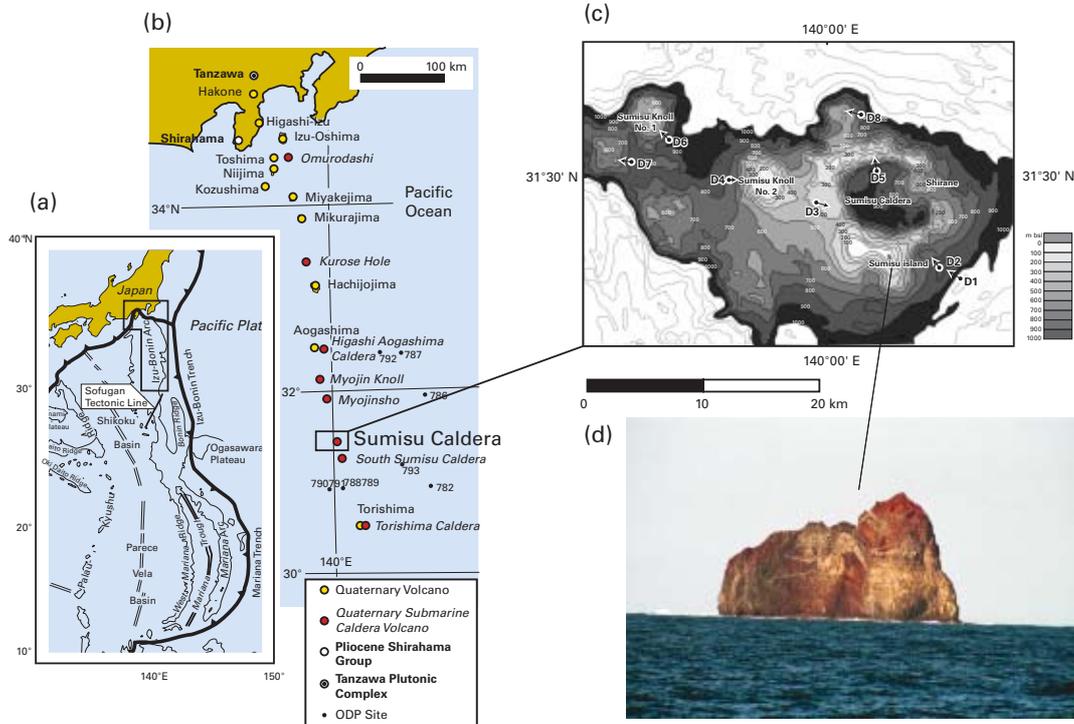


図20 スミスカルデラの位置および地形。

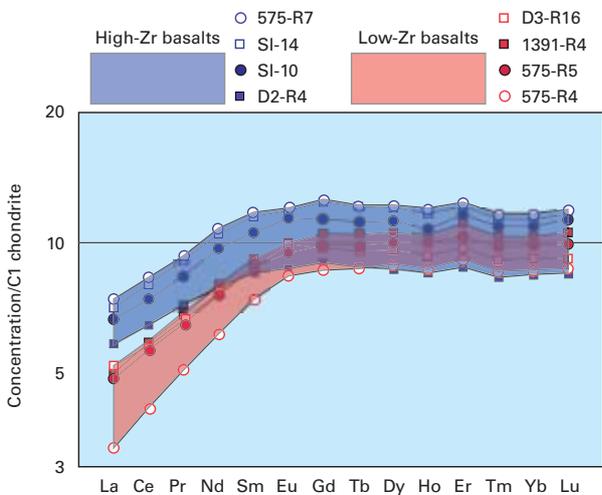


図21 スミス火山で見いだされた2種類の玄武岩質マグマの希土類元素組成。

している。しかし、下部マントル最下部、核-マントル境界直上にはD"層と呼ばれる地震波速度異常域が存在し、その異常の原因は不明であった。地球内部物質循環研究領域では、高輝度光科学研究センター (SPring-8)、東京工業大学と共同で、核・マントル境界の環境に相当する超高温高压条件を発生させるために必要なレーザー加熱ダイヤモンドアンビル装置を用いた高温高压発生技術の開発を行いつつ、X線回折法を用いた極微小領域での観察実験を行い、地球内

部物質の物性変化(相転移)の解明を進めている。本年度得られた最大の成果の一つは、上記のD"層の成因に関するものである。

今回の高温高压実験、X線その場観察により、 $MgSiO_3$ 組成のペロブスカイトは、マントル最下部付近の温度条件下では125GPaの圧力で、より高密度かつ層状の鉱物(ポストペロブスカイトと命名)に相転移することを世界で初めて見いだした(図22)。この圧力はD"層上面の圧力に相当することから、D"層の形成は、ポストペロブスカイト転移による可能性が高い。

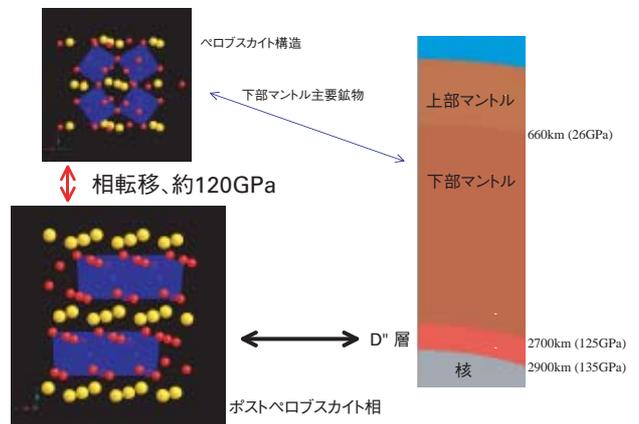


図22 ペロブスカイトの相転移によるポストペロブスカイトの形成とD"層の成因。

今後は更に、ポストペロブスカイトの物性に関して実験・理論的検討を行い、定量的な議論を進めていきたい。また、沈み込んだ玄武岩質海洋地殻がD"層を構成する主要な要素である可能性もあり、この組成についても高温高压実験に基づく検討を行うとともに、D"層起源と考えられるホットスポットマグマの地球化学的解析結果と融合させて、より包括的な物質循環を考察する予定である。

(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結果と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15年度は、地殻構造研究では、文部科学省よりの受託研究として「東南海・南海地震の想定震源域におけるプレート形状等を把握するための構造調査研究」を開始するとともに、これまで取得した構造データ解析に基づく構造評価を行った。地震発生メカニズム研究としては、震源領域における断層構成物質の検証研究等を継続的に実施しており、モデリング研究では、地球シミュレータを用いてプレートの複雑な形状等を考慮した地震サイクルシミュレーションなどを実施した。

(a) 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、機動的な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、および地質学的・物質科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。

成果：

(i) 南海トラフ地震発生帯

①東海スロースリップの原因となる地下構造の発見

中部日本海陸統合地震探査データの解析から、東海スロースリップの原因となる地下構造のイメージングに成功した。得られた構造からは南海トラフから海岸線にかけて2列の海嶺が確認でき、さらに深さ20-45 kmの中部日本下ではプレート上面の2 km程度の凸構造として海嶺が確認できる。中部日本下の海嶺部分では以前の地震波トモグラフィーの結果から高ポアソン比帯が確認されており、今回得られた構造から、高ポアソン比帯は沈み込んだ海嶺域に対応することが明らかになった(図23a, b)。また、この領域ではプレート上

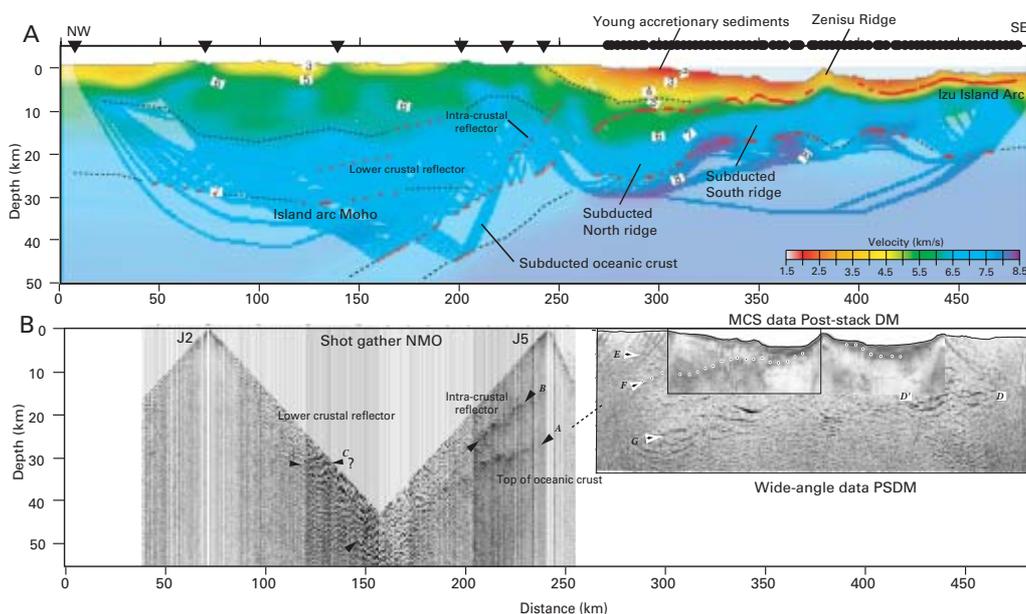


図23a 中部日本海陸統合探査で得られた地下構造イメージ。

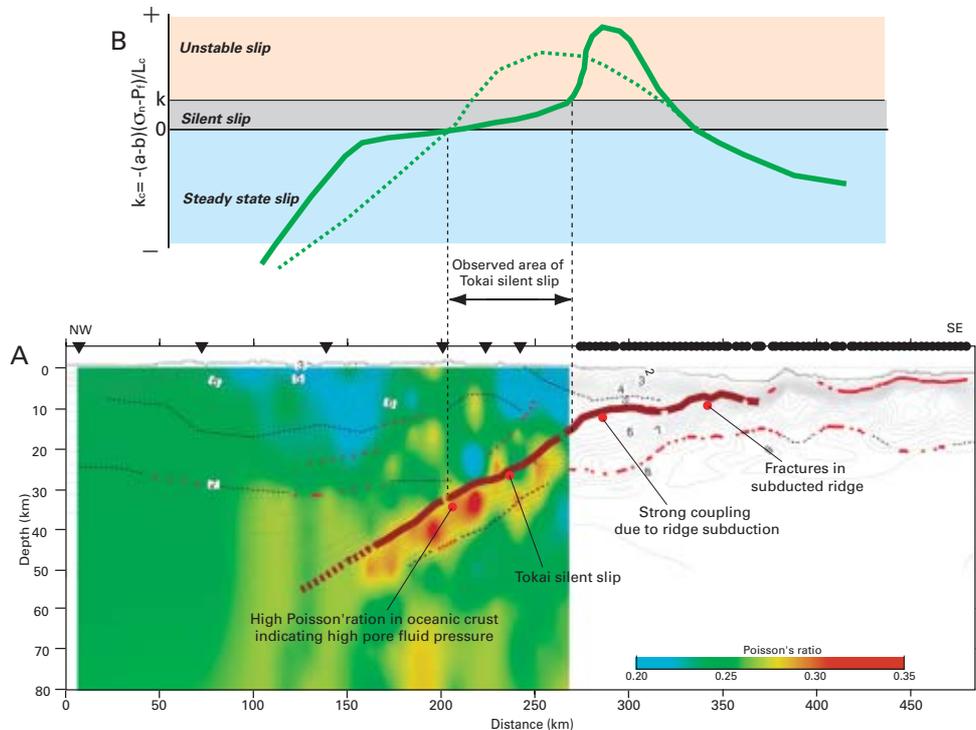


図23b Kamiya and Kobayashi (2004)によるPoisson構造と中部日本海陸統合探査で得られた構造の比較、及び推定されるプレート境界の摩擦特性。

面が強反射面としてイメージされており、このことから中部日本下に沈み込んだ海嶺域では、沈み込んだ地殻からの脱水により高間隙水圧帯が形成されていると考えられる。さらにこの高間隙水圧帯はプレート間の滑り特性を条件付不安定とする領域を拡大しており、この構造が東海スロースリップを誘発していると考えられる(図23b)。

②日向灘沖南海トラフ地震発生帯で沈み込む九州-パラオ海嶺のイメージング

マルチチャンネル反射法探査を用い、日向灘沖南海トラフ地震発生帯において沈み込む九州-パラオ海嶺のイメージングに成功した(図24)。幅~70 km、高さ~2 kmと推定されるこの海嶺は、地磁気異常データ、海底地形データ、海底地震計による屈折法探査データ、及び陸上地形データを総合的に考察することで、東部九州の地下まで伸びていると推定される。特に、上部プレートとの接触領域が過去のプレート間地震(マグニチュード6~7クラス)発生域とほぼ一致することが特徴的である。最近のGPS連続観測データや自然地震発生分布との比較により、沈み込んでいる九州-パラオ海嶺は、アスペリティとしてだけでなく、プレート間地震、例えば、1968年の日向灘地震(マグニチ

ュード7.5)破壊の伝播を抑制する役割も果たしてきた可能性が考えられる。

③機動的観測による紀伊半島沖南海トラフ周辺の地震活動

紀伊半島沖の南海トラフでは、1944年東南海地震の破壊領域内では現在殆ど地震が発生していないのに対して、トラフ軸周辺では地震活動が比較的活発であることが昨年までの研究によって示された。このトラフ軸周辺の地震の詳細な震源分布と発生メカニズムを解明するために、30台の海底地震計(OBS)を用いた自然地震観測を行った。この観測では震源決定に用いる地震波速度構造の精度向上を図るために、エアガン発振も行われた。解析の結果、トラフ軸周辺で沈み込むフィリピン海プレートの海洋性地殻内部に、いくつかのクラスター状の地震活動が得られた。これらの活動は、沈み込みに伴う、海洋性地殻の変形によって発生していると思われる。一方で、フィリピン海プレートの最上部マントルで発生する地震も観測された(図25)。

④受託研究「東南海・南海地震の想定震源域におけるプレート形状等を把握するための構造調査研究」

東南海・南海地震震源域境界における構造要因を抽出する目的で、紀伊半島沖において南海トラフ軸に

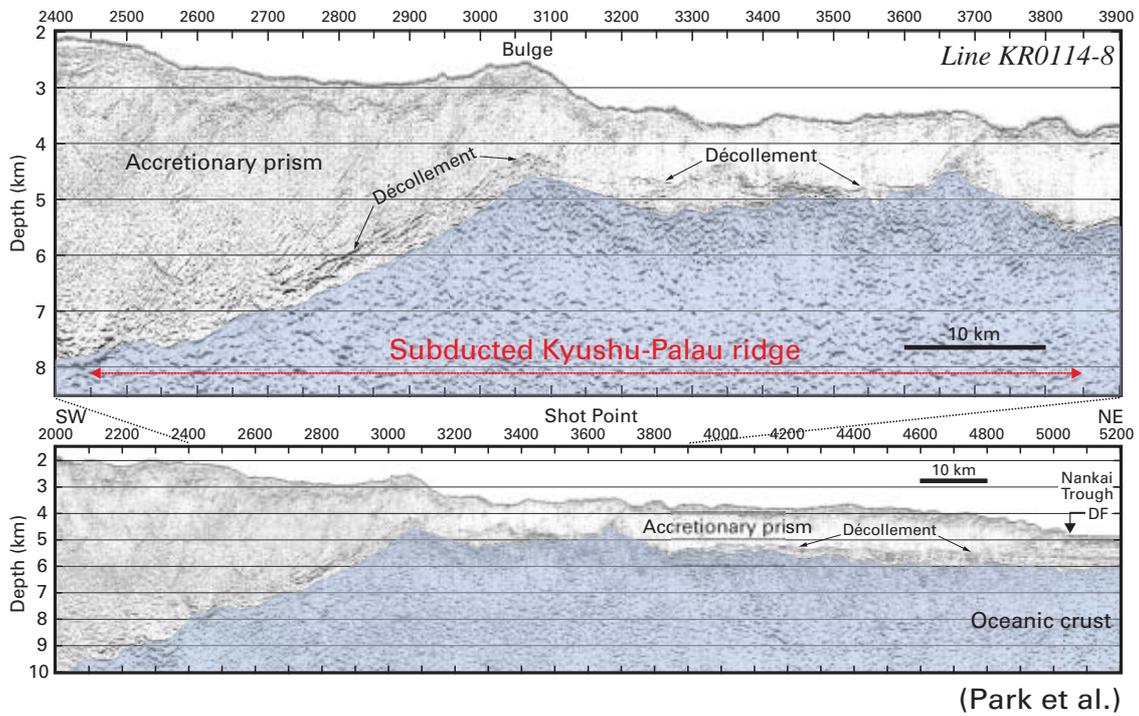


図24 日向灘南海トラフで得られた地下構造イメージ。

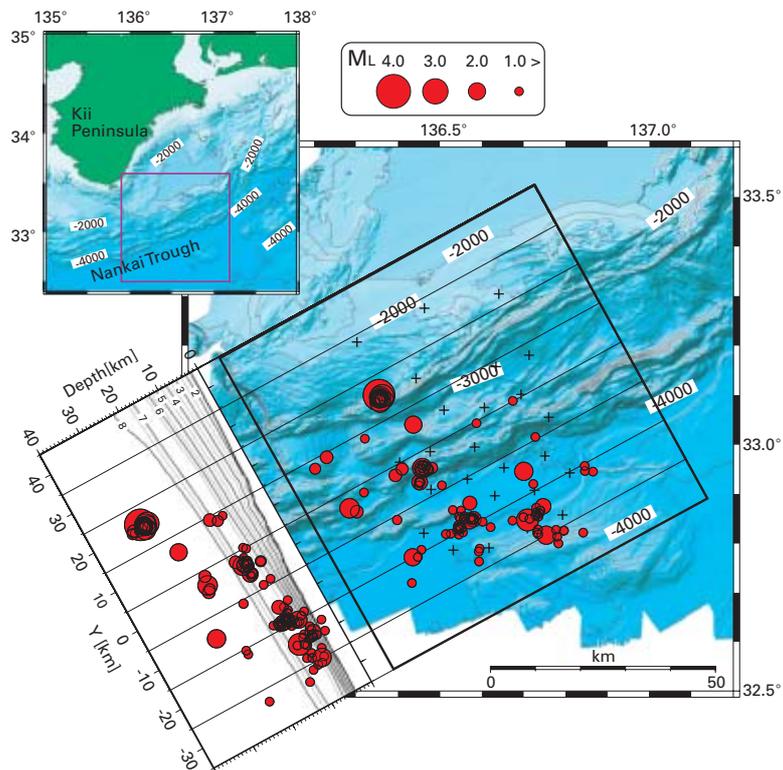


図25 機動的地震観測で得られた震源分布。

平行な3本の調査測線(フィリピン海プレートの沈み込む前後)を設定し、広角反射・屈折法調査を実施した(図26)。また、1946年南海地震の震源域である土佐沖においては機動的地震観測を実施中である。現在、

広角反射・屈折法データを解析中であるが、東南海・南海地震震源域の境界域において強い不均質構造の存在を示唆する結果が示されており、引き続き詳細な解析を行っていく。

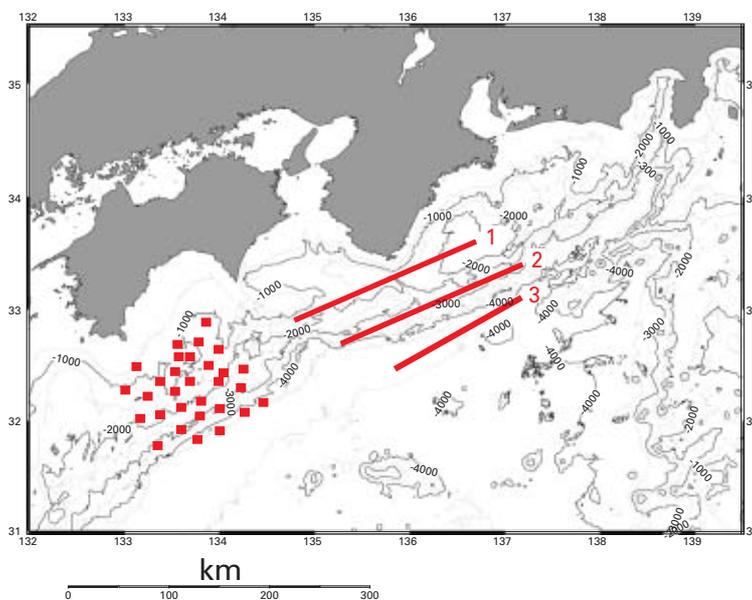


図26 平成15年度実施した構造調査測線と機動的な地震観測海域。

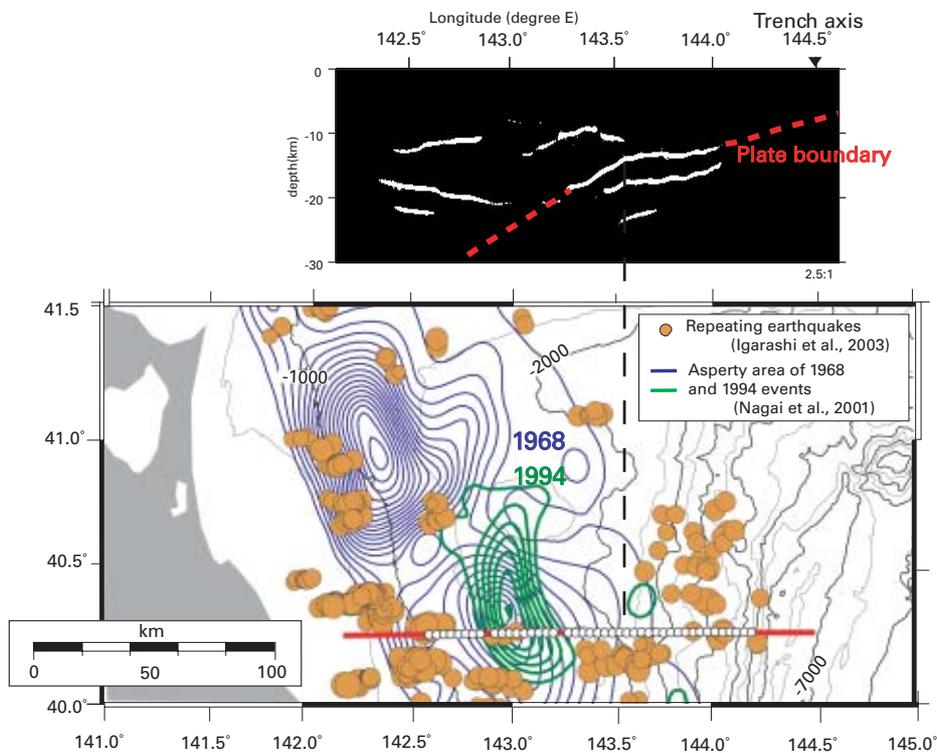


図27 反射波イメージによる三陸はるか沖地震震源域の地下構造と地震活動。

(ii) 日本海溝地震発生帯

1994年三陸はるか沖地震震源域付近で得られた屈折地震探査データに、新たに開発した反射波走時データから直接的に反射面をイメージングする手法を応用した。これにより従来の方法では分解できなかった詳細なプレート沈み込み構造のイメージングが可能になった。この結果、三陸はるか沖地震震源域の海洋

性地殻は、海溝軸から約80 kmに相当する東経143.5度付近で、沈み込み角度を急変していることが明らかになった(図27)。この場所は、巨大地震の固着域(アスペリティ)と相補的な関係にあるとされる相似地震の発生域と空白域の境界に相当する(図27)。このことから、プレート境界面の形状が地震の破壊域を規定している可能性が高いと考えられる。

(b) 地震発生メカニズム研究グループ

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以下の3研究課題のもとで行っている。

- a) 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。
- b) 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の、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。
- c) 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。

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。

成果：

- (i) 震源領域における断層構成物質の実験検証研究
 - ① 未固結粒状物質の摩擦特性と1999年台湾集集地震における適用例

地震発生帯から地殻浅部への地震破壊伝播過程を明らかにするため、未固結粒状物質(石英砂)を用い

て高速(～2 m/s)リングせん断試験を実施した。せん断中非排水条件が成り立つ場合、未固結粒状物質の摩擦特性はせん断前の圧密状態に依存していることが明らかになった。具体的には高速すべりにおいて、間隙比の大きい緩詰め砂の摩擦係数は高間隙水圧下での粒子間すべりを反映して～0.3-0.4と小さいが、間隙比の小さい密詰め砂の摩擦係数はダイレイタンスーによる有効応力増加を反映して～0.7-0.85と大きいことが明らかになった(図28)。

1999年台湾集集地震においてChelungpu断層北部で活動した破碎帯は、未固結の緩詰め砂で構成されている。実測された透水率、貯留係数、断層の幅を用いて間隙水の拡散時間を計算し、観測された地震すべり継続時間と比較した結果、地震時の断層すべりは非排水条件が成立することが明らかになった。すなわち、1999年台湾集集地震のChelungpu断層北部での地震時におけるすべり挙動は、今回実施したリングせん断試験結果が適用できる可能性が高い。Chelungpu断層北部では10 mを越える地表変位を記録しており、これが海底で起これば大津波を引き起こすと考えられる。

リングせん断試験とその台湾集集地震における適用例から、断層浅部において、すべり面の幅が狭く、間隙比の大きい緩詰め粒状物質で構成され、なおかつ周囲の岩石が相対的に低透水率の場合、地震時に粒子間すべり・高間隙水圧発生を伴いながら低摩擦抵抗ですべり、地震発生帯からの破壊伝播を促進させ、地表での大変位・津波をもたらす可能性があることが明らかになった。

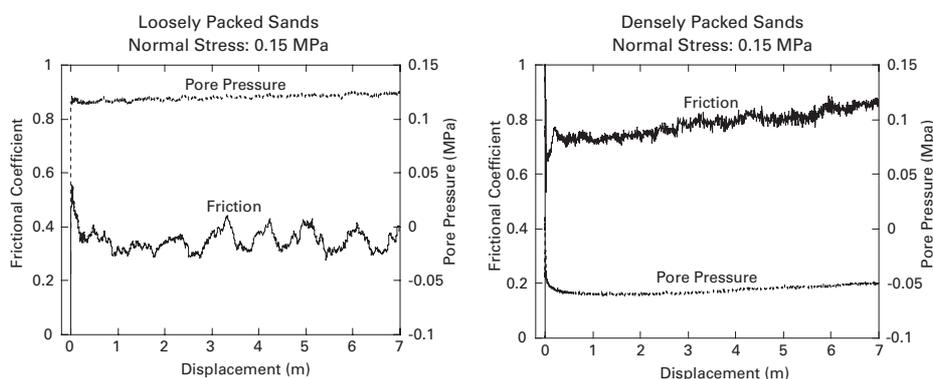


図28 リングせん断試験の結果。緩詰め砂の摩擦係数は高間隙水圧下での粒子間すべりを反映して～0.3-0.4と小さいが(左)、間隙比の小さい密詰め砂の摩擦係数はダイレイタンスーによる有効応力増加を反映して～0.7-0.85と大きい(右)。

②過去の震源断層周辺の水理特性とせん断破壊過程の性質

沈み込み帯で起こる地震の発生過程を記述するためには、断層帯を構成する岩石のせん断破壊構成則や透水率の評価が必要不可欠である。そこで、陸上付加体に存在する過去の断層帯周辺の岩石を用いて、震源域に相当する温度・圧力条件下(岩石圧: 140 MPa、間隙水圧: 105 MPa、温度: 250°C)でせん断破壊実験・透水率測定を行った(図29)。

断層帯中のせん断集中部は透水率が高いが、せん断集中帯を覆うコヒーレント(整然層)な砂岩は逆の性質を有することを見いだした。また、温度の上昇に伴い透水率が減少し、かつ保持時間とともに徐々に減少することを示した。これらの結果をふまえ、透水率の低いコヒーレントな砂岩がキャップロックとなり、沈み込む堆積物から脱水する水がトラップされることで深部反射面(DSR)が形成されるというモデルを提唱した。

さらに、上記の環境条件下での破壊実験により、せん断集中部とメランジュ中の泥岩は周囲の岩石よりもせん断破壊強度が弱く、かつ脆性領域の花崗岩にくらべ破壊過程の安定性が大きいことを示した。せん断集中部やメランジュは硬いコヒーレントな砂岩と海洋地殻に挟まれたまま、低応力下で安定的に歪みを解放する可能性が考えられる。

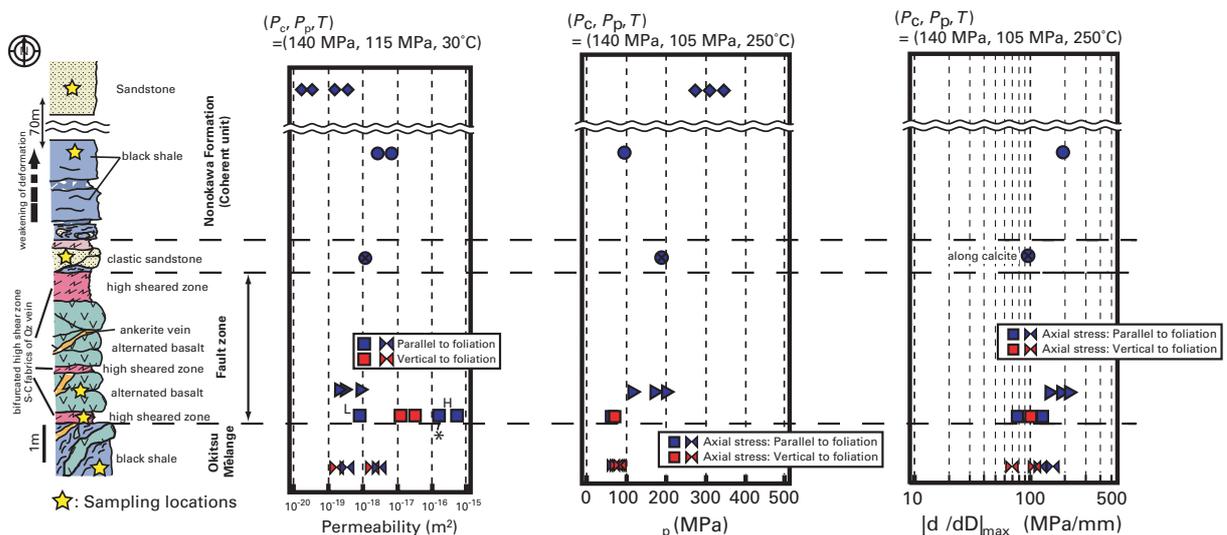


図29 地震発生帯の断層岩を用いた透水率測定・せん断破壊実験結果。断層帯中のせん断集中部は透水率が高く、せん断集中帯を覆うコヒーレント(整然層)砂岩は透水率が低い(左)。せん断集中部とメランジュ泥岩は周囲の岩石に比べせん断破壊強度が弱く(中央)、脆性領域の花崗岩に比べ破壊過程の安定性が高い(右)。

(ii) プレート境界物質の調査分析研究

①震源断層の詳細分析

四国東部の白亜系牟岐メランジュ(地震発生帯温度・圧力条件下でデュプレックス構造を形成して底付け付加した地質体)中に発達する断層岩を対象に地質調査・試料分析を行った。このうち、デュプレックス構造のルーフスラストから、摩擦溶融に伴って形成されたシュードタキライトを新たに発見した(図30)。シュードタキライトは、ルーフスラストを構成する頁岩主体の破碎帯と上盤砂岩との境界に沿って発達している。電子顕微鏡による微細構造観察とEPMAによる化学分析に基づく、シュードタキライトは少なくとも1,150°C以上の高温でイライト、カリ長石、斜長石(一部石英)などが溶融して形成されており、摩擦溶融は圧力溶解による低速クリープ変形と交互していることが明らかとなった。また、シュードタキライトとその源岩のラマン分析とXRD分析を組み合わせることにより、粉碎・溶融に伴ってイライトの結晶構造が失われ非晶質になることを示す新たな指標を確立した。

これらの成果により、付加体における地震すべりについて、以下の新知見・新見解が得られた。

- ・ルーフスラストの破碎帯外縁部に変形が局所化し、上盤砂岩が摩擦溶融を伴いながらシュードタキライトが形成された。

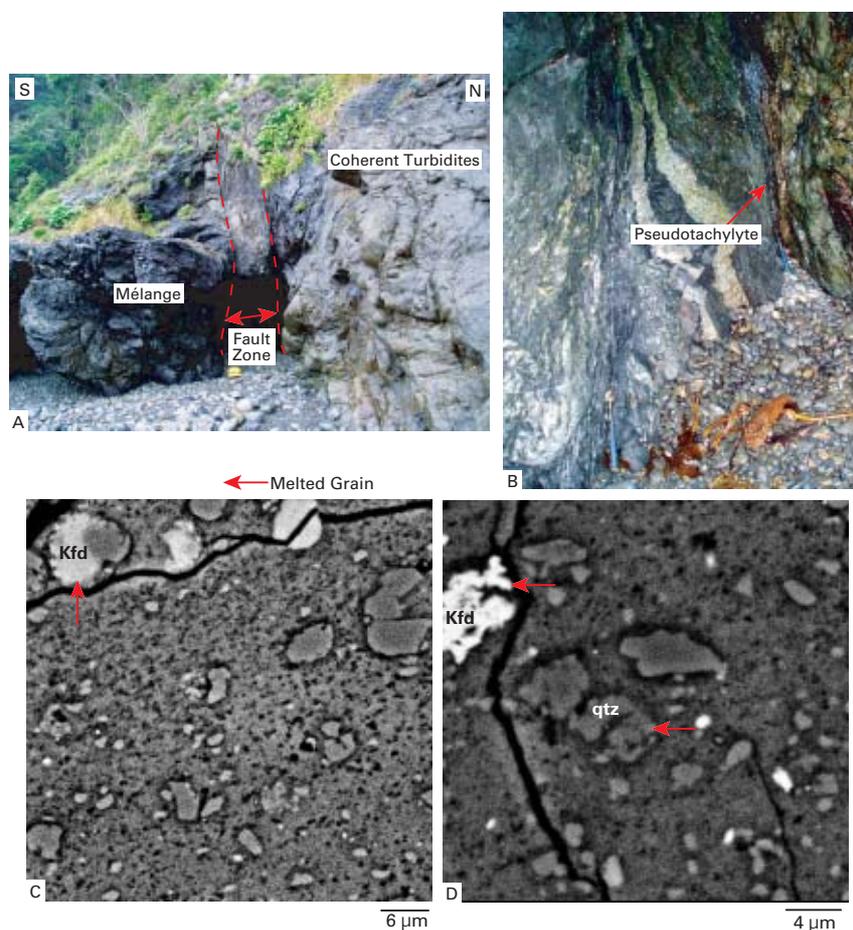


図30 (A)断層はメランジュユニットとコヒーレントユニットの境界に発達している。(B)シュードタキライトの露頭での産状。(C、D)電子像によると、カリ長石(kfd)や斜長石、一部石英(qtz)などが溶蝕している。

- ・ 摩擦溶融は高温・低粘性の粘性流動で特徴づけられる。
- ・ 従来の摩擦試験に基づくと、イライトは低速領域では速度強化の安定すべりを示すが、高速領域ではイライトはメルト形成を伴いながら地震すべりを促進させる可能性がある。

②アウトオブシーケンススラストの構造発達過程と流体相互作用

九州四万十帯を岩相、地質年代、地質構造的に二分する延岡スラストは、沈み込み帯付加体の震源性アウトオブシーケンススラスト(もしくは分岐断層)に相当し、そこには断層深部の変形組織構造や、断層と流体の相互作用を理解する上で重要な情報が記録されている。

詳細な地質構造解析および断層岩分析の結果、次のことがわかった。断層中心帯が変形・破壊が最も進行しているが、それを挟んで上下の岩盤の変形構造は全く異なる(図31)。両岩盤とも頁岩優勢の岩相である

が、上盤は塑性変形が卓越し、その幅はわずか数m程度である。一方の下盤は破砕的なメランジュ状の構造が幅約100 mにも及ぶ。この脆性破砕帯はY/P変形組織が発達しており、P面上の伸張クラックには石英や炭酸塩鉱物脈が沈殿している。ビトリナイト反射率や流体包有物による温度圧力分析結果は、上盤が約320°C/深度8-9 kmで形成され、下盤が約250°C/深度6-7 kmで形成されたことを示し、両岩盤の温度圧力差から断層の累積変位量は8-10 kmであったと推定される。ただし断層中心帯付近の鉱物脈に限っては間隙流体の温度圧力条件が300°C/230-250 MPaと、周囲の岩盤の温度よりも高かったことを示し、クラック中を周囲よりも高温の流体が流れていたことを示している。しかしこの傾向は断層中心帯から離れるほど弱くなり、流体流路の成熟度が下位に進化しているものと解釈される。

以上のような断層中心部における歪の局所化と下盤

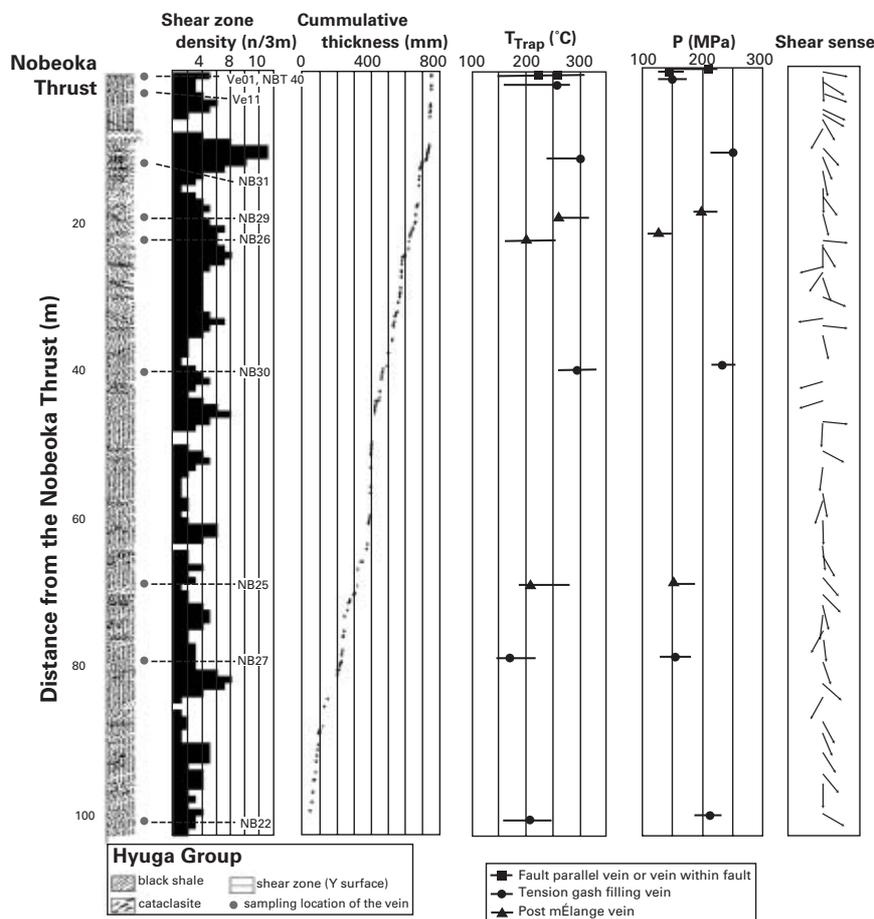


図31 延岡スラストの下盤の脆性破砕帯。破砕帯は約100 m以上の厚さを持つ。上部の断層中心帯ほどせん断断面密度は増加し、流体包有物分析によるクラック中の間隙水の温度も高い値を示す。

への拡大という一見相反する構造発達過程は、底付け作用が累進している沈み込み帯付加体深部におけるアウトオブシーケンススラストが流体に富むことと関連しているのかもしれない。

(iii) プレート挙動のレオロジーモデル研究

① 下部マントル鉱物の自己拡散実験

地球シミュレータにて、100万体のMgO結晶、すなわち下部マントル物質であるペリクレスの自己拡散係数を、分子動力学法を用いて決定した。その結果、1,800C、200GPaまでの温度圧力領域(下部マントルに相当)において、圧力依存性はないとした従来の見解に反し、50GPa付近で自己拡散係数が減少から増加に転じることを見出した。これにより、下部マントルの粘性率分布が、深度約1,500 km以深で約2桁減少することが明らかとなった(図32)。

(c) プレート挙動モデリング研究グループ
概要:

モデリング研究グループでは、数値シミュレーションによる固体地球ダイナミクスの理解とその変遷・将来予測のためのモデル構築と地球シミュレータをはじめとする大規模高速計算機を用いたシミュレーションコードの開発を行っている。このようなシミュレーションによる研究は、地殻構造とその複雑なダイナミクスを理解する上で必要不可欠であるだけでなく、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の理解や、今後の調査計画に大いに役に立つ。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、断層帯のマイクロメカニクスや物理化学的反応が、グローバルな地殻活動に与える影響についても言及できるモデリングを追及することが可能となる。そこで、本グループでは積極的に、IFREE内外との共同研究を推し進め、1) 震源となる断層規

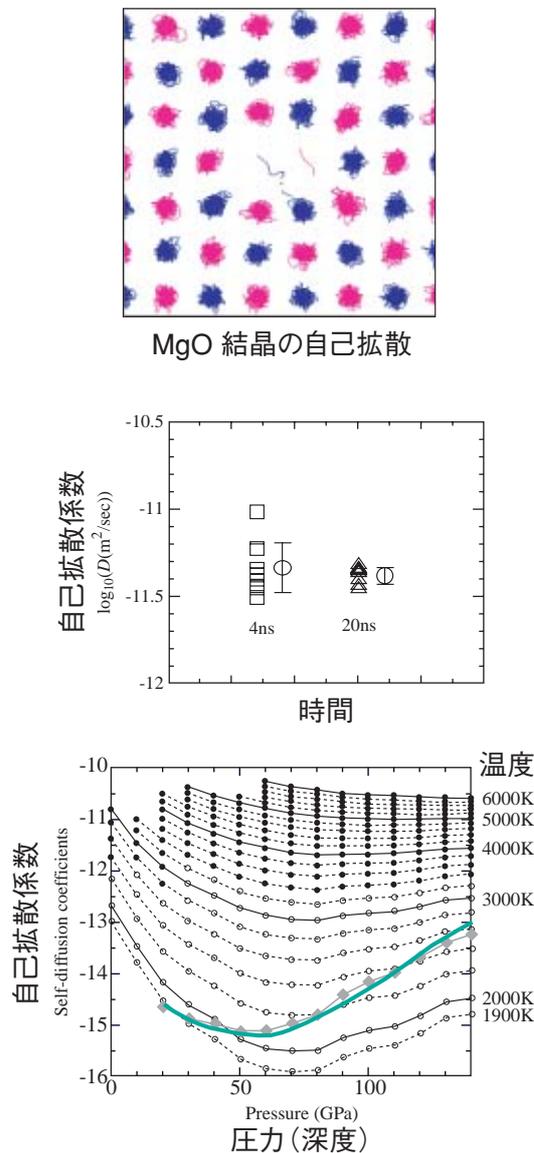


図32 ペリークレースの自己拡散係数と圧力依存性。100万体のMgO結晶について分子動力学法を用いて自己拡散係数を決定した(上)。500 Gpa付近で自己拡散係数が減少から増加に転じ、1,500 km以深で下部マントルの粘性が2桁減少することを示す。

模、2)日本海溝、南海トラフなどプレート境界規模、3)複数のプレートを考慮した日本列島規模、4)すべてのプレート運動が連動する全地球規模の4つスケールに対応したプレート挙動シミュレーションの実現に向けた活動を行っている。

成果：

- (i) プレートの複雑な形状と収束速度の不均質性を考慮した地震サイクルシミュレーション
- 西南日本下にはフィリピン海プレートが場所によって

異なる角度で沈み込んでいることが知られており、そのような複雑な形状をもつプレート境界において繰り返し巨大地震が発生してきた。沈み込み角度の場所による違いが巨大地震の発生過程に与える影響を調べるため、地震サイクル数値シミュレーションを地球シミュレータ上での大規模計算によって行った。構造探査を元に推定されたプレート境界の深さに応じた摩擦特性の不均質性を考慮すると共に、測地データを元に推定されたプレート収束速度の不均質性も考慮した。その結果、沈み込み角度と収束速度が比較的大きい紀伊半島付近で破壊が開始しやすいことが示された(図33)。

(ii) 海底水圧計データを利用した津波マグニチュードの決定に関する研究

沖合の海底水圧計で観測された津波振幅から津波マグニチュードを決定する方法を検討した。通常、沖合の津波振幅は沿岸のそれに比べて小さい。津波マグニチュードの決定式は沿岸での津波振幅をもとに決められているので、これを沖合での津波振幅に用いると過小評価してしまう。進行中の津波振幅は、エネルギー保存則から水深の1/4に反比例し、固定端(海岸)での反射によって2倍に増幅する。これまでの決定式にこれらの効果を考慮した補正式を考案した。補正式を使用し沖合の津波振幅から求めた津波マグニチュードは、沿岸の津波振幅から求められた津波マグニチュードに近い値を示した(図34)。

一般には沿岸での津波振幅は地震波から求めたマグニチュードと震源位置から予測できる。しかし、まれにマグニチュードの割に大きな津波を発生させる地震

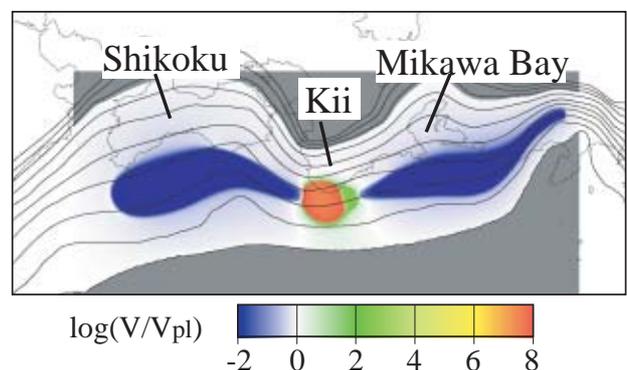


図33 破壊開始直後のすべり速度分布。すべり速度はプレート収束速度で規格化して対数をとっている。青色は固着領域。オレンジ色は地震性すべり領域を示している。

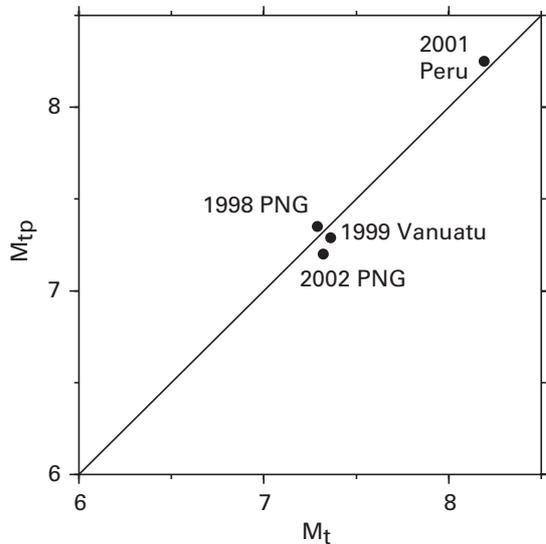


図34 沿岸の津波振幅とAbe (1979)の決定式から決めた津波マグニチュード。(横軸) 沖合の津波と本研究で考案した補正式から求めた津波マグニチュード。(縦軸) 沖合での津波の振幅データのみから正しく津波マグニチュードを算出できている。

(津波地震)が発生することがあり、その場合は正しく津波振幅を予測できない。沖合での津波観測とこの補正式を用いた方法であれば、津波地震による津波に対しても正しく津波振幅を予測できることが明らかになった。

(iii) フィリピン海プレート内で発生する地震の地震規模と震源の深さの関係に関する研究

紀伊半島・九州北部の下に沈み込むフィリピン海プレート内で発生する地震の地震規模と震源の深さの関係を調べた高精度の震源分布を得るために、1985年から1996年までの気象庁(JMA)と国立大学観測網地震カタログ(JUNEC)のデータセットを統合し、さらにDouble-Difference震源決定法を用いて震源再決定を行った。(Double-Difference震源決定法とは震源から観測点への波線がほぼ共通になるような地震のペアの観測走時残差と、計算走時残差の差(Double Difference)を最小にする震源を求める方法であり、仮定した速度構造・地震ごとに異なる観測点配置・系統的な読み取り誤差などによる影響を受けにくく、再決定された震源の相対精度は高くなる(図35)。

得られた高精度な震源分布とそのマグニチュード(M)から、震源の深さと地震規模の関係が明らかになった。プレート境界近傍のフィリピン海プレート内

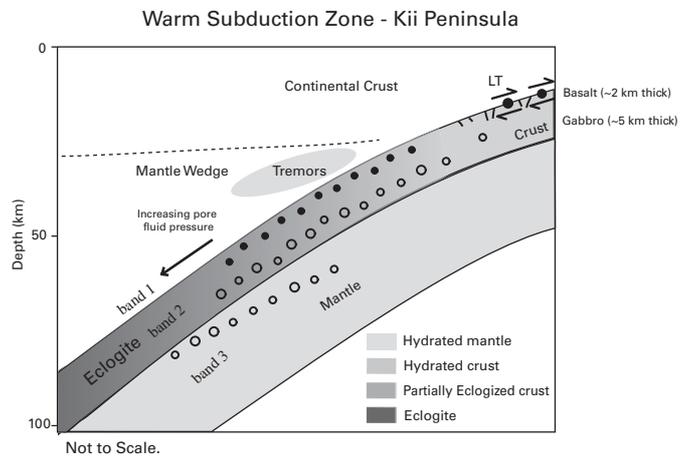


図35 沈み込むプレート内地震の概念図:プレートの最上部は、過去に破砕された玄武岩質の地殻(厚さ2 km)であり、発生する地震規模は小さい(band 1)。その下ははんれい岩質の地殻(厚さ5 km)であるため、発生する地震規模はやや大きくなる(band 2)。深部の海洋性マントル内では、さらに大きな地震が発生する(band 3)。海洋性マントル内の地震活動は温度によって支配されるので、プレート上面と平行に分布しない。

では、主にM3.0未満の小地震が発生している。M3.5以上の地震はそれよりも深部の海洋性地殻内、または海洋性マントルで発生している。プレート境界から離れるにつれて、沈み込むプレート内で発生する地震の規模が大きくなる。この地震規模と震源の深さの関係は沈み込むプレートの脱水によると考えられる(図36)。

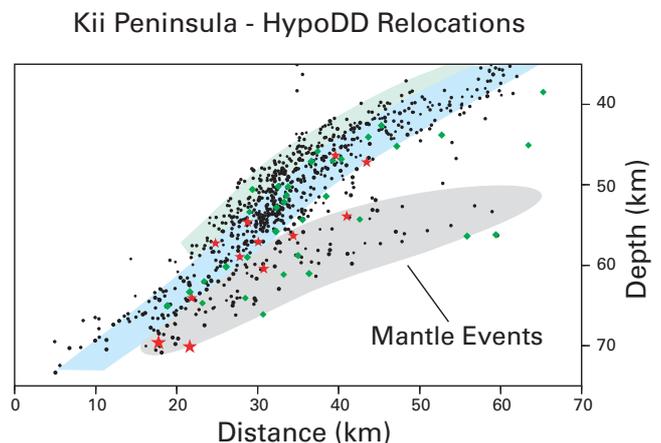


図36 紀伊半島下の震源断面:緑の領域が図35のband 1、青の領域がband 2、灰色の領域がband 3に対応する。赤の星印は4.0 < M、緑の四角は3.5 < M < 4.0を、黒点はM < 3.5の震源を示す。

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、国策である大陸棚画定プロジェクトに資する研究として、伊豆-小笠原海域を中心とした構造調査研究が計画されており、各研究領域の連携研究課題の一つであるIBM研究(伊豆-ポニー-マリアナ)にとって重要な構造研究成果が期待される。

なお、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。

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、「地球内部の活動と地球表層の環境や生物の変遷は、いままで考えられていた以上に密接に相関している」という新しい「地球-生命観」の確立を目指している。研究は、現在の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ターゲットに設定し、次の3つの柱に従って進めている。1) 現在のモデル海洋に於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特に緊急性のある以下の3項目について研究を行っている。

- a) 白亜紀の温暖地球環境と嫌氣的な海洋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 -
- b) 新生代の活動的な大陸縁辺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 -
- c) 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、a), b), c)について平成15年度における研究の進行状況を報告する。

(a) 白亜紀温暖地球

(i) 白亜紀黒色頁岩のモデル海洋研究

① ポルフィリンを用いた古環境復元の基礎的研究

クロロフィルやカロチノイドは光合成を担う色素化合物群で、地球表層の炭素サイクルにおいて最も重要な役割を担っている化合物群である。クロロフィルには真核生物がもつクロロフィル(Chl) *a*, *b*, *c* および光合成細菌がもつバクテリオクロロフィル(BChl) *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *g* などがあり、カロチノイドには真核生物がもつβカロチンや光合成細菌がもつイソレニエラテン・オケノンなど様々な種類がある。われわれは、当研究領域がモデルオーシャンとして位置づけて研究している鹿児島県貝池において採取された懸濁態サンプルから、これらの光合成色素化合物の単離・精製に成功し、それらをオンライン型の元素分析計/質量分析計を用いて炭素および窒素安定同位体比を測定した(図37)。その結果(Nakajima et al., 2003)と16S rDNA分析の結果(Koizumi et al., 2004)は、1) 0.01 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 以下という非常に

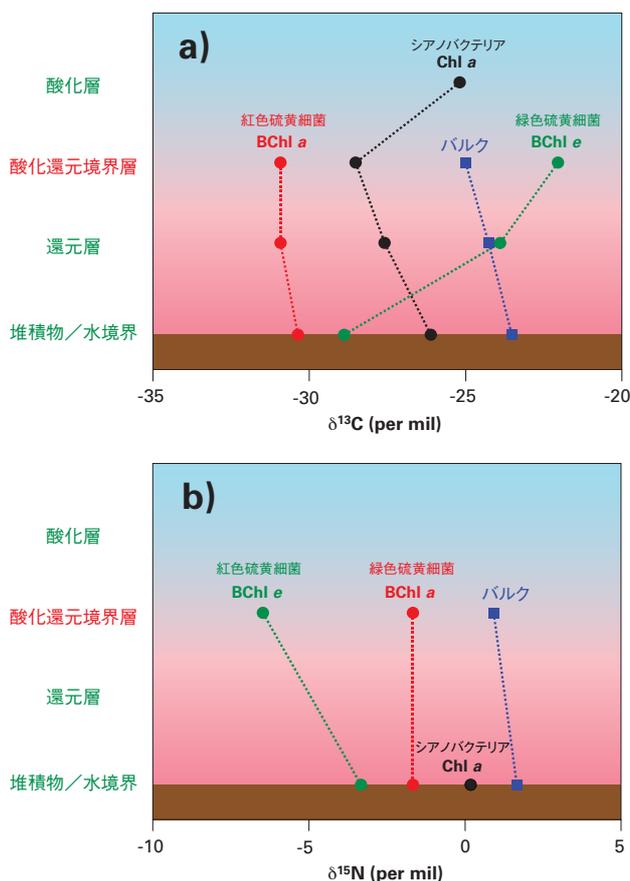


図37 嫌気海洋のモデルオーシャンである貝池(鹿児島県上甕島)において見出された色素化合物の a) 炭素同位体比と b) 窒素同位体比。

弱光環境の深層水中においても緑色硫黄細菌 *Pelodyctyon luteolum* が生息し活発に光合成を行っていることと、2) 化学躍層中では緑色硫黄細菌 *Chlorobium phaeovibrioides* は窒素固定をしている一方で紅色硫黄細菌 *Halochromatium* sp. やシアノバクテリア *Synechococcus* sp. は亜硝酸を同化していることを示した。このような光合成微生物間における生理生態の違いはこれまで知られておらず、地球化学的および遺伝学的な情報をカップリングさせることにより今回初めて明らかにすることができたものである。貝池は、酸化還元境界が有光層内に存在した白亜紀の海洋無酸素事変や、先カンブリア代の海洋環境の現代版である。このような場における生物地球化学的プロセスを見出していくという志向性をもつ研究が、地質学的な記録が不完全な古代地球環境の本質の解明に役立つのである。

これらのクロロフィル化合物の核をなすポルフィリン環は非常に難分解性であり、通常の堆積岩だけでなく強い続成作用を受けてきた石油中においても、種々のポルフィリン化合物として普遍的に見出すことができる。したがって非常に応用面の広い地質学的トレーサーになる可能性を秘めている。さらにポルフィリン化合物は、炭素・水素・窒素の3元素の同位体情報を持ち、地質時代における炭素サイクルおよび窒素サイクルに関する「質の良い」古環境情報を保持していると考えられる。現在我々は、白亜紀の黒色頁岩をはじめ多くの地質学的試料の中からこのポルフィリン化合物を単離・精製し、その構造決定を行い、水素を含めた同位体組成の分析法の確立に精力的に取り組んでいる。数年後には、これまでに類を見ない高精度な古環境解析の手法が確立されるであろう。

②嫌気海洋に生息する底生有孔虫の発見

貝池の北側に隣接するなまこ池の湖心部の堆積物中には、硫化水素に富む環境であるにもかかわらず、原生物の底生有孔虫 *Virgulinea fragilis* が生息している。この有孔虫細胞には、硫黄酸化細菌 δ -Proteobacteria と珪藻 *Chaetoceros socialis* 葉緑体由来する粒子 Kinetoplast が分布している(図38a, b, c)。これらの細胞内生物あるいは粒子がホストの有孔虫細胞と共生関係にあるのかどうかはこれからの研究の課題であるが、これらの生物あるいは粒子の存在が有孔

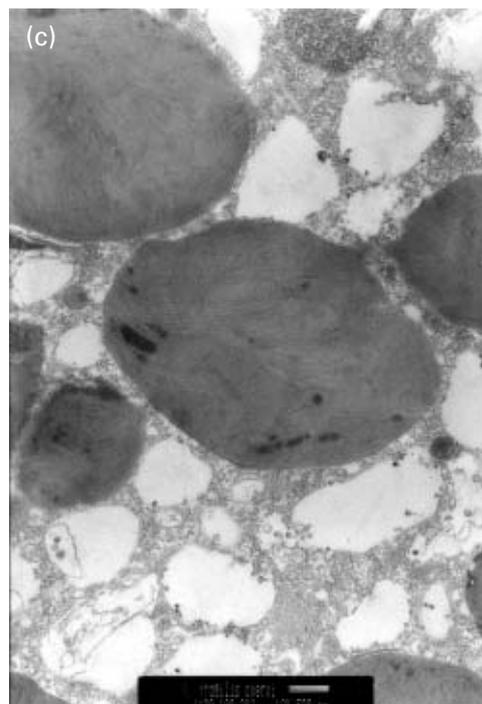
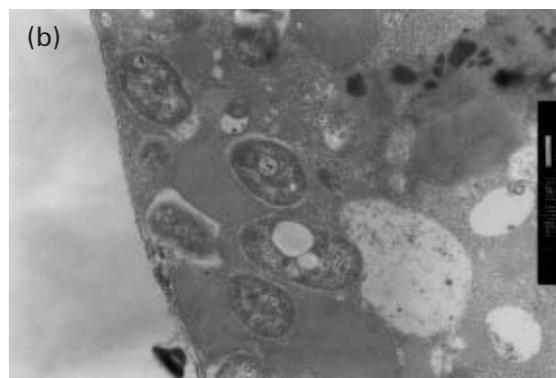
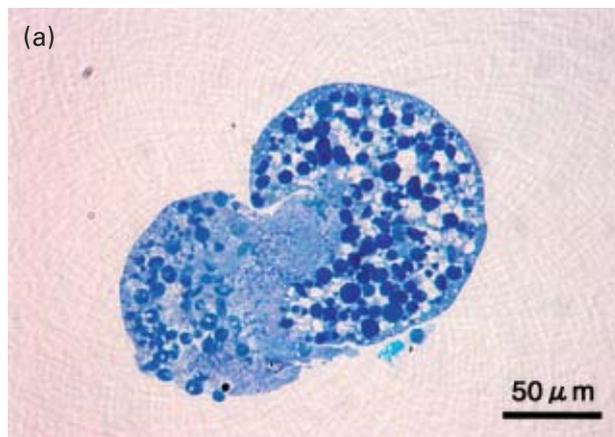


図38 (a) *Virgulinea fragilis* の細胞断面。成長方向に横断する断面。(b) 細胞表面付近に偏在するバクテリア細胞。はっきりとした細胞壁に取り巻かれている。(c) 細胞中心部に分布する珪藻由来した Kinetoplast 粒子。細胞壁ははっきりしない。

虫種の硫化水素環境への適応に強く関与している可能性は高い。*Virgulinitella fragilis*は、日本のほかニュージーランド、オーストラリア、アラビア海沿岸、ナミビア沿岸、カリアコ海溝など、多量の硫化水素とわずかな酸素が存在する海洋環境に普遍的に存在している。いつ、どのようにして極限的な環境に適応したのか? 世界中の海洋に散在する極限環境にどのようにして分布したのか? 地域間の遺伝的な交流はあるのか? などの問いを解くべく、細胞および殻の形態解析、遺伝子解析を進めている。硫化水素存在環境下では、単細胞生物へ微生物が共生することが一般的であり、始生代の相同環境において真核生物が誕生したメカニズムを解く鍵を提供する可能性がある。

(ii) 白亜紀黒色泥岩試料の精密地層解析

過去2億年間の地球史の中で現在に比べて温暖な環境であったと考えられている白亜紀温室地球の解明は、温暖化した地球システムの挙動を深く理解するために重要である。この時期に地球規模で形成された黒色頁岩層(海洋無酸素事件、Oceanic Anoxic Event; OAE)の高精度の地層解析を行うことで、実証的に白亜紀の環境の復元とその特殊性の理解に取り組んでいる。

白亜紀当時、テチス海から大西洋に向かう海路部にあり、西側と北部に陸域が広がっていた半遠洋性堆積盆と推定されている、ボコンティアン堆積盆(フランス南部)から得られたアプチアンからアルビアン階の黒色頁岩層、とくに、ゴグエル層(OAE1a相当層、約1億2000万年前)、パキール・キラン層(OAE1bに相当:約1億1000万年前)を対象とし、主に、詳細な岩相柱状図の作成、有機炭素量および同位体比の分析、非破壊蛍光X線コアログによる元素マッピングを行った。

本地域では、炭酸カルシウム含有量が平均40%程度の塊状泥灰岩を主体とし、その中にラミナ(縞状構造)が明瞭に保存された黒色頁岩層が挟在する。黒色頁岩は、数十~数百 μm 単位の有孔虫を主体とする明色ラミナと、粘土鉱物・有機物に富む暗色ラミナから構成される。これらのラミナは、数mm~数cm単位で有孔虫の多い部分と少ない部分が律動的に繰り返す構造をなす。さらに数cm~十数cm単位で、明瞭なラミナの発達する黒色頁岩、弱いラミナの発達する黒色頁岩、塊状泥灰岩が交互に繰り返す。

有機炭素濃度は黒色頁岩層で最大で約4wt%となり、上下の泥灰岩に比べ約4倍である。有機炭素同位体比は、ゴグエル層(OAE1a)の開始時期の粘土層に約6パーミルの負の異常がみられ、地球規模なOAEイベントであることを確認した。一方、黒色頁岩層の開始は負の同位体比異常の前に始まっていることから、少なくとも、ガスハイドレートの崩壊のようなイベントが黒色頁岩を形成する嫌気環境の開始のきっかけではないことが示された。黒色頁岩断面の非破壊蛍光X線コアログ解析からは、特にCaとAl濃度について、数十cm、数cm、数mmの三つのスケールの非対称な変動パターンが明確に把握された。Caの増加は有孔虫の明瞭な縞状構造に対応し、有孔虫の縞状堆積の増加とそれが徐々に減少し、粘土鉱物が増加するというサイクルが3つの時間スケールで発生している。線形堆積速度を仮定した場合、これらは数万、数千、数十年の変動周期に対応する。

OAE時には、海洋循環の停滞した状態において、水塊中の酸素還元境界の深度、表層での陸上起源物質の流入、海洋表層生物生産変動がかなり変化に富むものであったことが明らかになってきた。そのレベルは以下の3つの状態が存在する。(1)底層付近では生物攪乱生物が生息できる弱還元状態で塊状もしくは生物攪乱が認められる淡藍色マールが堆積し、表層では浮遊性プランクトンが生息できる状態であるが、相対的に有機炭素含有量は少ない。(2)底層付近では生物攪乱生物が生息できない中還元状態で、表層では浮遊性プランクトンが少ない状態で、塊状の黒色マールが堆積する。(3)底層付近では生物攪乱生物が生息できず硫化鉄鉱が沈殿する強還元状態で、ラミナが発達する黒色頁岩と、ラミナの発達の見られない硫化鉄鉱の微少ノジュールを含む黒色マールが堆積する。海洋表層付近で浮遊性プランクトンの生産が活発に行われた場合にはラミナが発達する。

2003年12月には、北海道大学および九州大学の研究者と共同でボコンティアン堆積盆Les Sauzeriesに分布する黒色頁岩ゴグエル層の陸上掘削を行った(図39)。世界で始めて半遠洋域ボコンティアン堆積盆におけるOAE1a相当層を含む合計62 mの連続的掘削コア(約1千万年間の堆積記録)が得られ、今後、連続的な解析を行う予定である。

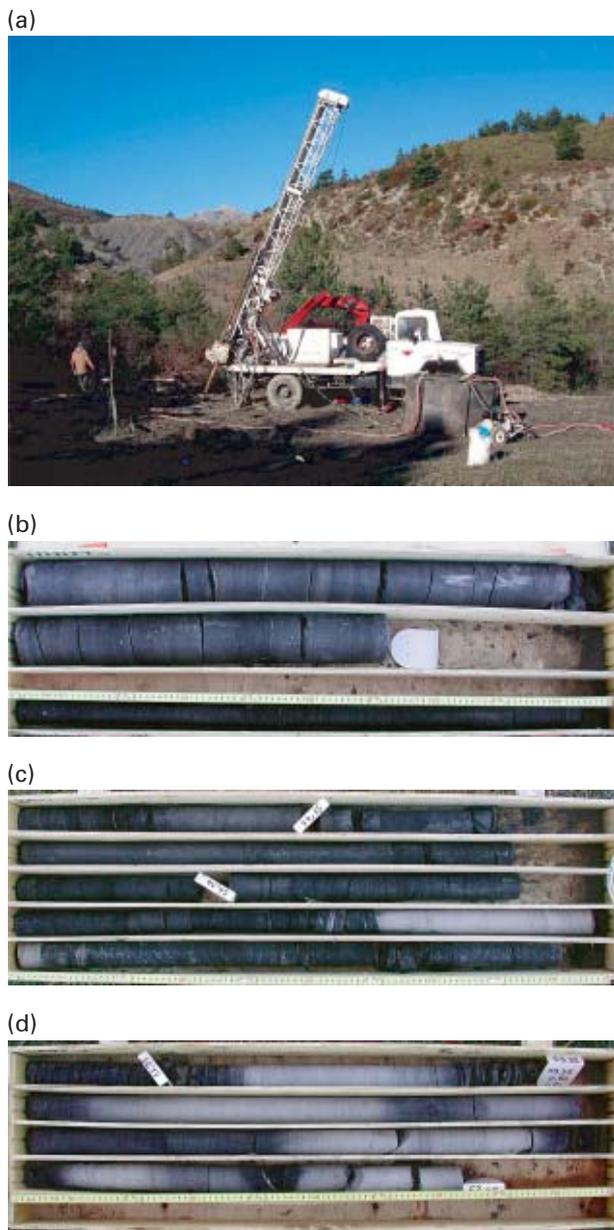


図39 白亜紀黒色頁岩層の陸上掘削。(a) フランス南プロヴァンス Les Sauzeries (南アルプスの西翼、標高約1,000 m)での掘削の様子(2003年12月)。地層の傾斜を考慮し、75度の傾斜掘を行うFORACO社の掘削トラック。(b) 掘削された黒色頁岩ゴグエル層の最下部(海洋無酸素事変OAE-Ia層、約1億1,900万年前～1億2,000万年前に堆積)。掘削進度51.7～54.15 m部分。コア箱の横長が約1 m。写真に対し左上が地層の上位。(c) ゴグエル層の下部層。掘削進度54.15～58.50 m部分。下から2列目の白色層は石灰岩層で、この上位(写真左側)からゴグエル層の堆積がはじまる。(d) ゴグエル層の下部の石灰岩・泥灰岩互層。掘削進度55.50～62.00 m部分。黒色頁岩層の下部は石灰岩・泥灰岩が繰り返し堆積する。

(b) 新生代寒冷地球

(i) 堆積速度が早い大陸縁辺部における堆積プロセスの観測

堆積物付加の多い大陸縁辺海のモデル海洋として、相模湾において堆積過程と物質循環の観測を行っている。海洋表層、あるいは陸からの堆積物の移動集積については、1996年以降、観測を継続しており、堆積過程の概要はすでに明らかにした(Kitazato et al., 2003)。2003年度は堆積物-水境界における物質循環を定量することを目的として、ROV, Hyperdolphinで支援した自立型ランダーに搭載したmicroelectrodeおよび2D-optodeを用いた μm オーダーでの堆積物-水境界の化学環境の現場観測を行った。観測はコペンハーゲン大学との共同研究である。その結果、相模湾中央部の深海底は、間隙水に遊離酸素が含まれる酸化層の厚みが数mmであり、場所によってその厚さが大きく変化する、極めてダイナミックな環境条件下にあることが明らかになった(図40、41)。2005年度には、長時間観測を行い、ダイナミックに変動する様子を記録することを計画している。

Data examples from Sagami-cruise 2003 (only rough calculations - to be treated)

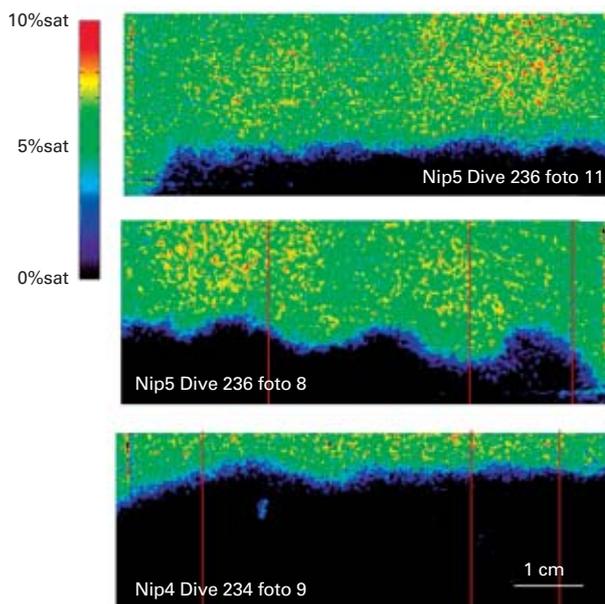


図40 酸素微小電極を用いた堆積物-水境界の酸素プロファイル。場所によって酸素濃度プロファイル、すなわち酸素浸透深度が異なることに注意したい(マックスプランク海洋微生物学研究所。T. Wenzhöfen博士提供)。

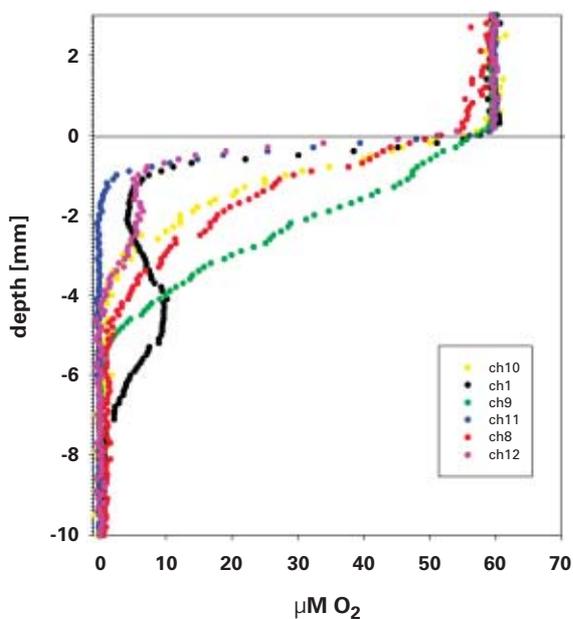


図41 2D-オプトードを用いた二次元酸素濃度。酸素浸透深度は2~8 mmと薄い(コペンハーゲン大学海洋生物学研究所R.N. Glud博士提供)。

堆積物-水境界で水中を沈降してきた有機物がどのような生物によってどれくらい分解されるのかを明らかにするために、 ^{13}C で標識した単細胞藻類およびバクテリアを海底現場で与える培養実験をROV, Hyperdolphinを用いて行った。その結果、相模湾底の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、有孔虫が沈降有機物の一次消費者であることを示した(Nomaki et al., submitted)。有孔虫による有機炭素取り込み速度、呼吸量および生物生産量データを用いて、相模湾底における炭素収支を計算すると、有孔虫類は沈降してきた有機物の最大30%を無機化していることが明らかになった。なお、全体としては $100 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$ の有機炭素が堆積物中に埋没している計算になった(Kitazato et al., in prep.)。この結果は、碎屑物粒子の速い集積によって有機炭素が多量に堆積物中に埋没することを示唆している。相模湾底では、冷湧水の湧きだしとそれに伴う化学合成生物群集の存在が知られている。これは、湾中央で多量に沈積し、埋没した有機物が、地層内の微生物による分解を受けたのち、海底に絞り出されてきた結果であることを示している。

(ii) オホーツク海海底堆積物コア解析による寒冷地球における急激な気候変動の解明

過去2億年において最も寒冷な新生代第四紀後期について、寒冷地球システムにおける急激な気候変化の研究が重要である。この間、国際全海洋変動研究(IMAGES)でオホーツク南西部から得られたMD01-2412コア(水深1,250 mで採取)の分析を行っている。コアの年代は、底生有孔虫の酸素同位体比、火山灰層序、無機炭素(有孔虫)の加速器質量分析計による放射性炭素年代測定によって決定した。コア最下部は約11万年であり、平均堆積速度が 52 cm/kyr と非常に速い。コア試料の陸上碎屑物粒子中に含まれる漂流岩屑の含有量から過去11万年間の海水変動を復元した。オホーツク海水は、数千年規模で急激に増加し、その増加時期はグリーンランド氷床コア(GRIP)で復元された北極域大気循環の強化される時期に対応している。このことから、極域大気循環がオホーツク海水の増加を促進する「極域大気循環-海水増加仮説」をまとめた。このほか、国内共同研究者などと共に、 microfossil 群集から、太平洋域の気候・海洋変動に大きな影響をもつと考えられている北太平洋中層水の一つの起源とされるオホーツク中層水が数千年規模でその水塊の性質を変化させるという「オホーツク中層水の経時変化仮説」をたて、またアルケノン分子による温度・塩分推定から、氷期においてアムール川から供給される高温・低塩分河川水と、拡大した海水が融解される際に放出される低塩分水の両方によって、オホーツク海南西部に温暖で低塩分な水塊が発生するという「氷期オホーツクにおける低塩分水ダブルインパクト仮説」を提唱した。また、底生有孔虫の炭素同位体比が氷期において最大3パーミル負にシフトする現象が過去11万年に10回以上~特に亜間氷期に発生することが見出された。有孔虫殻の保存状態、殻の微細構造、その他の証拠を検討し、メタンハイドレート崩壊による同位体的に軽い炭素の放出や、急激な温暖化との関連など、負のシフトの理由の検討を試みている。これらの結果は、現在準備段階に入ったIODPオホーツク海・ベーリング海の深海掘削計画の科学提案の中心課題となる可能性があり、重要である。

5) 分析解析センター

概要:

分析解析センター・試料分析部門は、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、効果的な分析手法を開発し、精度、確度ともに高いデータを生産している。データ解析部門は太平洋域地球物理観測網で得られた地球物理観測データのデータベースとその利用システムを開発し、併せて広帯域地震波形及び電磁気データの解析手法を開発している。地殻構造探査解析部門では、地殻構造探査データベースの構築を進め、データ公開サイトを立ち上げている。併せて広角反射法マルチチャンネル反射法探査データの統合イメージングに関する研究を行っている。

(a) 試料分析部門

(i) 地質試料中の元素存在度、同位体比測定法の確立

専門研究者・技術者によって維持管理された次に掲げる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。

- ①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。
- ②表面電離型質量分析計(TIMMS): 岩石試料中の微量Pb及び極微量Sr, Nd, Os, Ru同位体比分析法を確立。
- ③四重極型ICP質量分析計(QP-ICP-MS): 岩石試料中の極微量元素及び白金族元素定量法を確立。
- ④蛍光X線分析装置(XRF): 岩石・堆積物中の主成分元素(SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅)と、微量元素(Rb, Ba, Th, Nb, Pb, Sr, Zr, Y, Ni, Cu, Zn, S)の定量法を確立。
- ⑤希ガス用質量分析計: 希ガス同位体の分析およびK-Ar年代測定法を確立中。
- ⑥マイクロドリル: 鉱物(主に斜長石)中の微小領域試料を採取、そのSr同位体比を分析する方法を確立。
- ⑦クリーンルーム: 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実施。

(ii) 初期大陸地殻の進化

初期地球の大陸地殻の進化を明らかにするために、オーストラリアPilbara地区のMarble Barの34.6億年のチャートのRe, Osを分析した。その結果、これらのチャートは34.5 ± 8.8億年のRe-Os アイソクロンを形成し(これがこれらチャートの生成年代を示すと考えられる)、その初生¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os同位体比は0.93という非常に高い値を示すことが明らかになった(図42)。ここで、初生¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os同位体比は、その岩石の生成時の同位体比を示す。大陸地殻のOs同位体比はマントルに比べて遙かに高いため、チャートの示す高いOs同位体比は、35億年前にすでに進化した大陸地殻が存在したことを示唆する。今回の結果は、地球初期にかなりの量の大陸地殻が普遍的に存在し、それが現在に至るまでに風化によって削られて、マントルにリサイクルしているというモデルを支持する。

(iii) 鉱物中の微小領域Sr同位体比

従来、多くの火山岩の研究では、マグマの起源物質の推定などに"全岩"の元素組成・同位体比が用いられて来た。しかし、全岩からはマグマの発生から固結までのダイナミックプロセス(例えばマグマ混合)を明らかにする事が困難である。火山岩の斑晶鉱物は、斑晶鉱物がマグマ中で晶出し始めてからマグマが固結するまでの、マグマの組成変化を記録している。従って、斑晶鉱物内部の同位体比変化を知る事で、マグマのダイナミックプロセスを議論する事が出来ると考えられる。

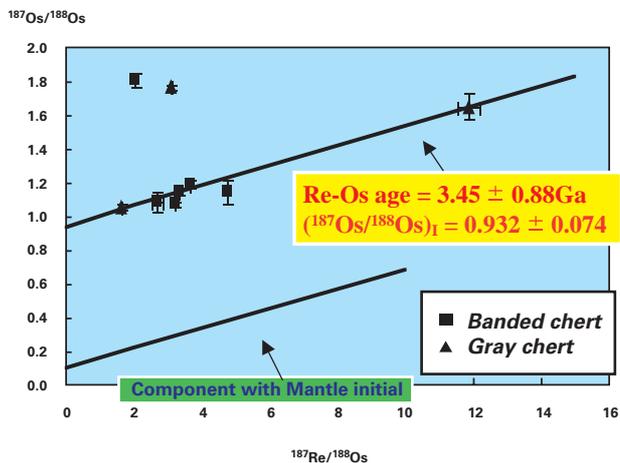


図42 ピルバラ産マーブル・バー・チャートのRe-Os等時代線。

近年分析技術は向上したが、依然として微小領域分析では高精度での同位体分析が困難である。そこで本研究では、連携研究拠点、京都大学地球熱学研究施設と共同で、マイクロドリルを用いた微小領域の高精度微量元素組成・同位体分析法を開発した。開発した方法を用いることにより、一般的な火山岩に含まれる斜長石斑晶であれば、直径200-300 μm 、深さ100-200 μm の掘削穴から得られた斜長石粉末試料のSr同位体比を分析する事が可能である。

東北日本、蔵王火山に産するカルクアルカリ系列安山岩について局所Sr同位体分析を行った(図43)。その結果、斑晶鉱物内部のSr同位体比と石基および全岩のSr同位体比が、異なっていることが明らかとなった。

(b) データ解析部門

(i) 理論地震波形記録計算手法の開発

分析解析センター・データ解析部門では、太平洋域地球物理観測網で得られた広帯域地震波形記録のデータベースを構築している。このデータを解析するために必要な理論地震波形記録計算手法の開発も行っており、今年度はスペクトル要素法を用いて地球シミュレータ上で全地球上の観測点における周期3.5秒までの精度をもつ理論記録を計算する手法を確立した。この手法を2002年アラスカ・デナリ地震および2003年十勝沖地震に対して適用し、観測データとの一致が十分満

足のいくものであることを確認した(図44)。この研究は、2003年のコンピューター・パフォーマンスの世界最高の賞であるゴードン・ベル賞を受賞した。

(ii) 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、汎用型電磁気データ提供システムの開発を行っており、2003年8月よりweb上で公開を開始した(データサービスURL: <http://www.jamstec.go.jp/pacific21/index.html>)。これにより、原理的に複数機関のデータを1つのシステムより取得することが可能となり、従来複数機関より個別にデータを取得する必要のあったデータ利用者側の作業量を、大幅に軽減できることになり、結果としてデータ利用量の増加につながるものとなる。

今年度は開発拡張作業として、データ利用者側の利用フォーマットの選択肢を広げる目的で、複数のデータフォーマットへの対応を行った。従来のOHPフォーマットに加え、広く普及しているWDC1分値、INTERMAGNET IMF V1.22、INTERMAGNET CD-ROM (simple searchのみ)、IAGA2000、IAGA2002フォーマットの5つを対象とした。データ利用者からデータのリクエストを受けると、本システムは元のOHPフォーマットデータからリクエストされたダウンロードフォーマットへデータ変換およびgzip圧縮を行ったのち、全ファイル

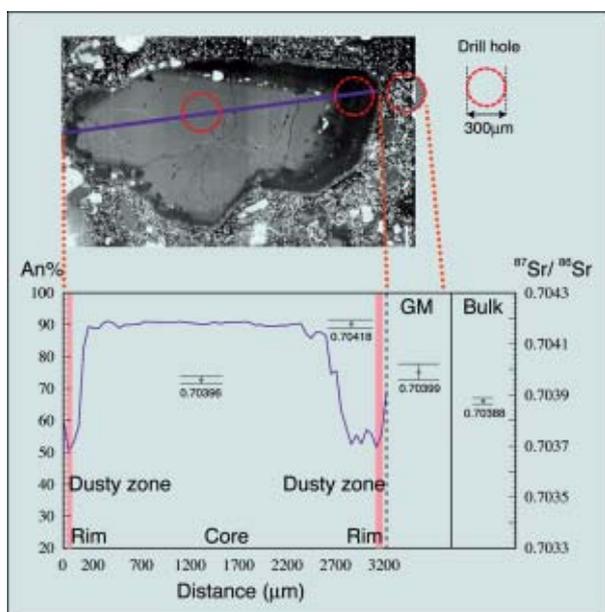


図43 局所Sr同位体解析。

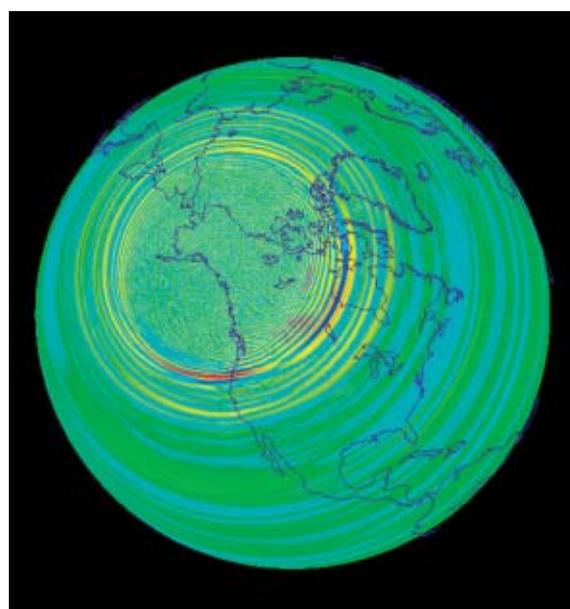


図44 2002年11月3日にアラスカで起きた地震による地震波の伝播シミュレーション。

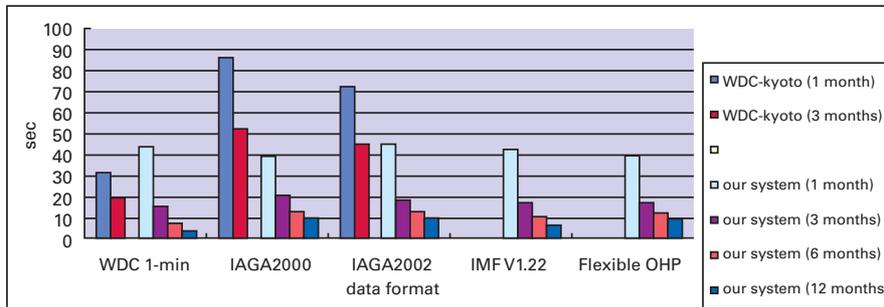


図45 データリクエストからダウンロードまでにかかるデータ作成処理の実時間計測結果。横軸はデータフォーマット、縦軸は1ヶ月分のデータに換算したデータ作成作業実時間。WDC京都ではWDC 1分値、IAGA2000、IAGA2002のみをサポートしている。本システムの計測にはAdvanced searchを使用した。

を1つのtarファイルへアーカイブ化する。データ利用者はこのアーカイブファイルをHTTPポート経由でダウンロードすることになる。また、本開発拡張の最大の特徴として、このデータアーカイブ作成の工程で最も作業量の多いデータフォーマット変換部をマルチスレッド処理することにより、データアーカイブ作成時間を大幅に削減することができた。本システムの性能試験として、本システムのデータ作成時間を、これまで広く一般に利用されているWDC京都の地磁気データ提供サービス (<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>) によるデータ作成時間と比較を行った(図45)。その結果、実質2倍から5倍程度、本システムの方が高速であることがわかり、本システムの有効性を示すことができた。

(iii) GPSデータ提供システム

西太平洋地域には、東京大学地震研究所が海半球ネットワークとして設置したGlobal Positioning System (GPS) 観測網があり、プレート運動及びプレート内変形を観測している。観測点はカムチャッカ半島から南太平洋の島々までわたり、1996年から観測を続けている。分析解析センター・データ解析部門では、海半球ネットワークと共同でこのデータの提供システムを開発した。Javaを用いたこのシステムを使うと、一般的なブラウザからインターネット経由でデータを取得出来る。このシステムは、地震及び電磁気と同様にNew Interface for Networked JAVA Applications (NINJA)と呼ばれる(図46)。現在はこのGPS-NINJAシステムを用いて西太平洋地域の8観測点のデータが、<http://www.jamstec.go.jp/pacific21/gpsdmc/gpsdmc/initial.do>から公開さ

れている。GPS-NINJAシステムではRINEXまたはHatanakaフォーマットがデータの保管に用いられるが、データ提供にはHatanakaフォーマットのみが用いられる。ネットワーク経由で提供されるデータには、以下の情報も含まれる: 利用可能な観測点及び観測点の変更履歴、観測点ログ、写真TEQCツールを用いたデータ品質検査結果及びデータヘッダー。データは時間、観測点名または観測点位置を元に検索され、データを取得する前にデータの存在や品質について調べることが出来る。検索したデータをダウンロードする際にはバックグラウンドで実行することが出来るので、利用者は次のデータの検索を行うなど別の作業に取り掛かることが出来る。GPS-NINJAはデータサーバーがファイアーウォー

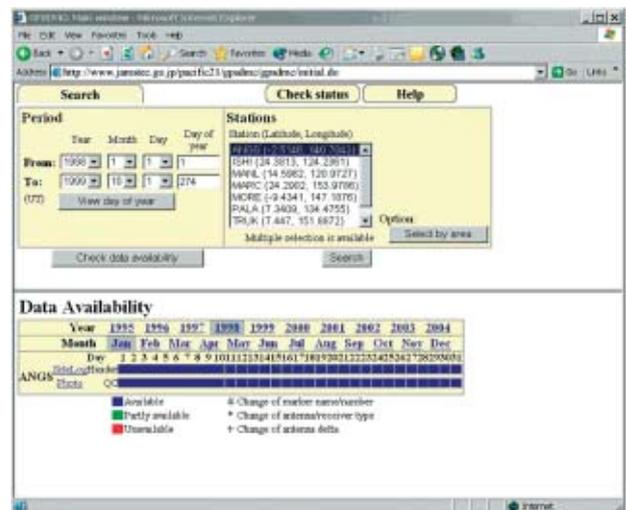


図46 GPS-NINJAシステムにより利用可能なデータを解析するインターフェース。観測機器やマークの変更についての情報も図式化されている。

ルでネットワークから遮断されている場合でも、Java-RMIプロトコルをhttp上で記述することにより、ファイアウォールを通過することが出来る。これにより、ファイアウォールのポートを新たに開放する必要がない。今後はこのシステムを他機関のデータセンターにもインストールし、共通のユーザーインターフェースでデータを利用出来る環境を構築する計画である。

(c) 地殻構造探査解析部門

(i) 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。このデータベースは、構造研究の一環として収集された異なる種類の観測データから、各々の物性情報を抽出し、それらを統合した地殻構造モデル(統合物性地殻構造モデル)を構築することを目的としている。図47に、統合物性地殻構造モデルの概念図を示す。現在取り扱っている観測データには、海底地形・重力・地磁気、海底地震計を用いた屈折法データ、マルチチャンネル反射法データ、コア・検層データがある。

平成15年度は、これらのデータの一部を外部研究機関にも公開するための公開サイトを開設した。現在、公開対象とするデータは、「かいいい」および「かいうう」によって取得されたマルチチャンネル反射法データおよび屈折法データである。公開時期は、基本的には観測終了後2年経過した時点としている。公開サイトは、

海洋研究開発機構のホームページからアクセスできるようになっており、1996年以降実施した構造探査によって得られた構造をweb上で公開している。

まず、データ量の多いマルチチャンネル反射法データから公開準備を整え、このデータについては2002年までの全てのデータを閲覧できるようになっている。海底地震計を用いて収録された屈折法データについても、公開準備が出来たデータから順に閲覧できるようにしている。重力および地磁気データについては、地震探査測線上で同時計測した直線的なデータと、夜間に測定した面的なデータなどがあり、公開サイトには、調査測線情報を掲示していく。利用者のニーズに従って、生データや補正值などの情報も提供していく予定である。さらに、画像データだけでなく、波形データの公開も実施している。図48は、公開サイトのメインメニューであり、ここから各データの閲覧および利用申請ができるようになっている。

(ii) データ解析および手法開発

IFREEで実施するマルチチャンネル反射法探査において収録されるデータは、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15年度は、海底地震計で収録される広角反射法データとマルチチャンネル反射法データとの統合イメージング技術に関する研究開発を開始した。開発目的は、両者のイメージングにおける長所

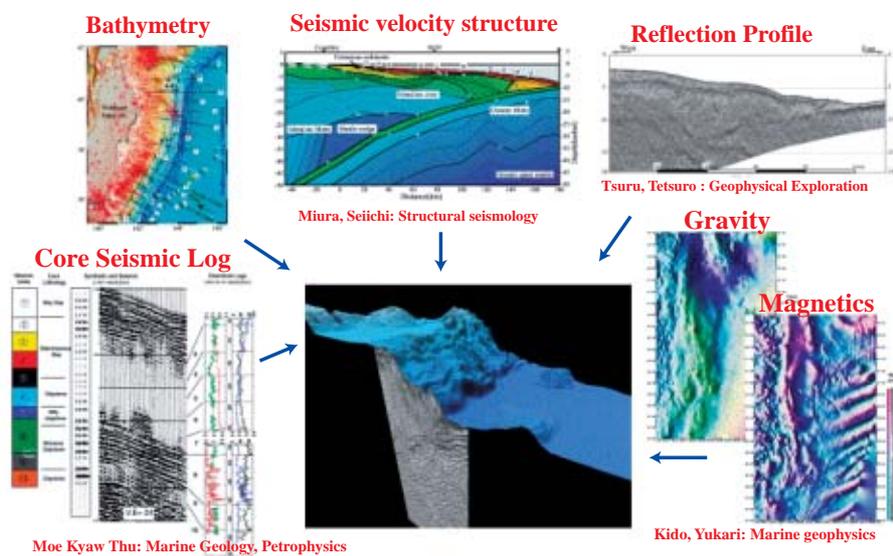


図47 統合物性地殻構造モデル。

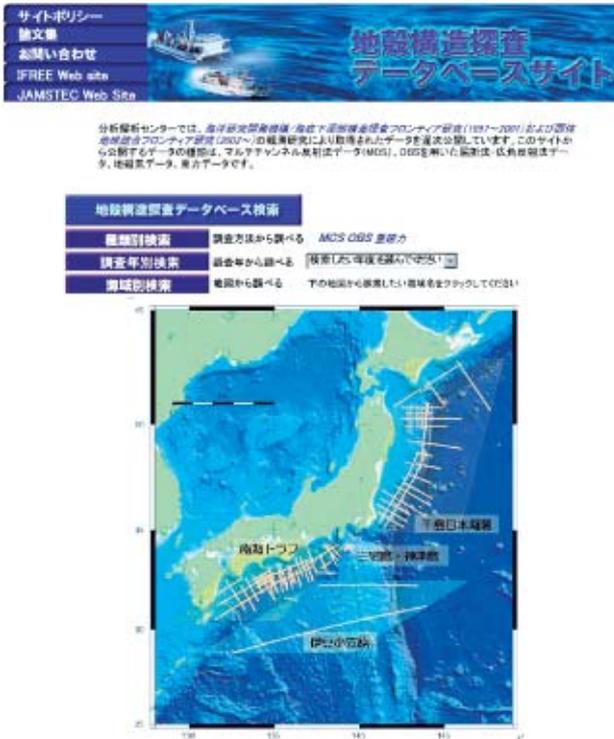


図48 地殻構造調査データベース公開サイト。

を統合することである。マルチチャンネル反射法データは、深度10 kmまでは非常に分解能の高いイメージを与えるのに対し、それ以深では構造をほとんどイメージできない。逆に、広角反射法データの場合は、10 km

以浅では解析可能なイメージは得にくい、それ以深から到来した反射波が記録中に明瞭に認められるため、深部での高精度なイメージングに適していると考えられる。イメージング手法としては、キルヒホッフ型重合前深度マイグレーションアルゴリズムを採用した。重合前深度マイグレーションは、マルチチャンネル反射法データについては従来から実施されている手法であるが、広角反射法データに適用された例はほとんどない。

ここで、宮城沖の広角反射法データに対して試験的に重合前深度マイグレーション処理を実施した結果を図49に示す。同図から、マルチチャンネル反射法データでイメージされた海洋性プレート上面が、広角反射法データによって、より深部で比較的明瞭にイメージされているのが分かる。すなわち、前者ではほとんど見えなかった深度12 km以深のプレート境界が、後者によって連続性の良い反射面として15~20 kmまで認識できる。興味深いことに、この海域では、この深度からプレート境界型地震の破壊域になることが、地震のアスペリティ解析から知られている。

さらに、2003年9月に発生した十勝沖地震の3年前と3ヶ月後に収録した海底地形データおよびマルチチャンネル反射法データを用いて、地震前後での地形や物性変化の抽出処理を実施した。

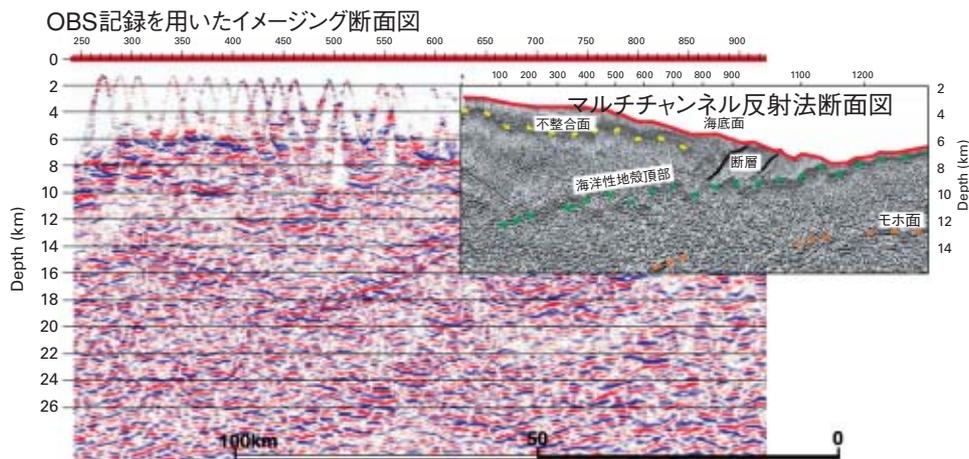


図49 広角反射法データのイメージング処理例。

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(FRSGC)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15年10月で発足7年目を迎えた。第一期の後半5年を前にして、平成13年には、外部からの中間評価を受け、それを受けて平成14年度に5カ年計画を策定した。一方、平成14年度からは、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から3課題が採択となってプロジェクトを開始し、また、「地球シミュレータ」が本格稼動し、地球フロンティア研究システム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。平成15年度には、次年度からの「独立行政法人化」に向けての目標設定に向けての活動を開始した。大きな出来事としては、地球温暖化予測研究領域に時岡達志博士が専任の領域長として着任したこと、また、気象庁及び文部科学省のもとで、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の国内の第一作業部会に関する支援活動を開始した。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) 温暖化予測研究領域長に時岡達志が就任

温暖化予測研究領域長に、平成15年4月2日付けで、時岡達志(ときおかたつし)博士が就任した。温暖化予測研究領域長のポストは、1997年発足以来、領域長を勤めてきた真鍋淑郎博士が2001年11月に退職、米国に帰国後、松野太郎地球フロンティア研究システム長が兼任し、その研究活動を推進してきた。平成15年4月1日まで気象大学校長であった時岡領域長は、大気大循環モデルの開発等で、多くの優れた研究実績があり、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)等への国際貢献に対しての評価も高い。

2) 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の国内の第一作業部会に関する支援活動を開始

文部科学省では、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書(AR4、2007年発行予定)

作成に貢献するため、IPCCの第一作業部会(WG1)に関連する温暖化将来予測及び気候変化研究を行っている我が国の研究機関及び研究者間の連携・協力を促進することを目的として、平成15年6月、海洋科学技術センター(以下JAMSTEC)のフロンティア研究推進室においてIPCC/WG1への支援・協力体制を整備した。これを受けてJAMSTECでは、地球フロンティア研究システムが中心となって支援・協力を推進してきた。その後、IPCC国内連絡会が正式に発足されたことに伴い、JAMSTEC地球フロンティア研究システムがWG1の国内支援事務局として支援・協力することとなった。

IPCC/WG1国内支援事務局は、その運営の為に、幹事会を設け、国内の研究機関・大学等の関連分野の研究者がメンバーとなり、当事務局における支援業務の企画立案を行っている。また、国内で、IPCC/WG1を担当している気象庁と文部科学省に対し、研究者としての意見を提案する役割も担っている。IPCC/WG1国内支援事務局の主な支援業務として、国際会議等への対応、国内研究の進捗状況調査、海外動向調査、ワークショップ等の開催、関連情報のとりまとめ等を行っている。

3) 国際研究協力のための会合等

(a) CAMP-FRSGC合同ワークショップ

米国の国立科学財団(NSF)の助成プロジェクトとして、国際北極圏研究センター(IARC)が中心となって行われている「北極の気候：モデリングとプロセス」(CAMP)との合同ワークショップが、6月10日と11月5日に横浜研究所で開催された。第一の会議では、IARCの科学者とFRSGCのモデル研究者および他の研究機関の科学者が参加し、共同研究、特に地球シミュレータを用いた共同研究の可能性について話し合った。その結果、地球シミュレータを用いた全球海洋モデルの計算、解析を共同で研究することとなった。第二の会議では、その共同研究の進捗状況が報告された。全球海洋モデル計算の結果、北極海の物理過程、例えば大西洋水層や高密度水塊の形成について有益な結果が得られた。FRSGCとCAMP/IARCの本共同研究の最終目標は、全球大気海洋海水結合モデルを用いて、高緯度の大気-海洋系固有の10年規模振動がもたらす海洋-海水

(e) 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合同成果発表会

平成16年3月23日から24日まで、横浜研究所三好記念講堂にて、例年実施している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合同研究成果発表会が開催された。

これまでの合同成果発表会は、研究成果の普及・広報を目的に行っていたが、出席者へのアンケート等を分析・検討した結果、より充実した成果発表会とするため、今年度は一般を対象にした成果報告のためのシンポジウム(2004年1月14日日本科学未来館にて開催)と、研究者を対象にした成果発表会とをそれぞれ開催することとなった。本シンポジウムは後者の発表会で、地球フロンティア並びに観測フロンティア内の領域間の研究を推進するため、これまでの成果について情報交換の場を提供するとともに、独法化後の研究方針について議論することをねらいとして実施された。今回は特にフロンティア内部の研究者を対象としていたため、積極的な周知を行わなかったにも関わらず、気象研究所、通信総合研究所等外部からの出席者もあり、フロンティア内部の研究者も含めた延べ100名の出席者による活発な意見交換がなされた。

4) 参加行事

(a) 第23回国際測地学・地球物理学連合総会

平成15年6月30日(月)から7月11日(金)まで、北海道札幌市において、第23回国際測地学・地球物理学連合総会(IUGG2003)がアジアで初めて開催され、約100か国から5000名を超える参加があった。

JAMSTECがIUGG総会の後援を行っていたこともあり、地球フロンティア研究システムは、合計約100名の研究員の参加を含め、総会への積極的な参加を行った。また、研究者や技術者との交流、研究開発の促進、研究成果の世界への発信等を目的として、総会の開催中セッションと平行して実施される約50の企業や各種団体による展示場で、JAMSTEC展示の2つのテーマ(Toward the Prediction of Global Change, Toward the Monitoring and Prediction of Crustal Deformation and Related Hazards)下、地球シミュレーションセンター、海洋観測研究部、地球観測フロンティア研究センターと共に、Toward the Prediction of Global

Changeのテーマにて活動を紹介した。展示ブースへの参加者は、専門家、関係者が多く見られた。最新の研究成果を世界各国の専門家へ向けて発信できたことで、地球フロンティア研究システムの活動が周知され、今後の活動への推進が計られた。

(b) 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第21回総会・第一作業部会第9回会合出席報告

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第21回総会及び第一作業部会第9回会合が、2003年11月3-7日に、オーストリアのウィーンにて開催され、126カ国、13国際機関・非政府機関(NGO)等、計485名が参加した。IPCC第4次報告書(AR4)への貢献に向け、研究活動を進めている地球フロンティア研究システムからも、地球温暖化予測研究領域長の時岡達志(第一次報告書の代表執筆者)、モデル統合化領域特任研究員の近藤洋輝(第3次IPCC日本政府代表)等が出席した。IPCC総会では、各種報告書の骨子やガイドライン、ビューロー選挙の手続き、AR4作成に向けての作業計画や予算といった点が話し合われた。総会中日には、作業部会ごとに会合を開き、主にAR4の章立てについて議論し、総会後半に、それぞれの作業部会で合意されたAR4骨子案が報告された。また、今回の総会の主要なポイントの一つで、各作業部会からの情報を統合し、政策にとって適切な内容を、質問と回答という形式で標記している統合報告書の作成の要否について、活発な議論が行われた。

5) 受賞

国内の受賞にとどまらず、アメリカ気象学会からも様々な栄誉があった。アメリカ気象学会は、大気や海洋学の研究に関して卓越した業績を挙げ、気象学のみならず、気象学に関連した分野、またその発展に大きな影響を与えた科学者を名誉会員に選ぶが、松野システム長は、平成15年度の名誉会員に選ばれた。また、気候変動予測研究領域の山形領域長は、「海洋力学と気候力学に関する研究、特に太平洋におけるエルニーニョ現象とインド洋における大気海洋相互作用現象の研究」において著しい成果を挙げたことにより、同学会より、大気と海洋の相互作用に関する研究で顕著な貢献をした科学者に贈られるスベルドラップ

金メダルを受賞した。国内では、モデル統合化領域の河宮研究員が、「数値生態系モデルによる北太平洋の低次生産機構に関する研究」で、平成15年度の日本海洋学会岡田賞を受賞した。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

気候変動予測研究領域では、季節から数十年規模の気候変動を研究の対象としており、それに関連するインド洋を含むアジア太平洋域の熱帯、亜寒帯、寒帯の海の現象も研究対象に含まれる。対象とする気候変動を引き起こす基本的な諸過程を理解する為に、我々は多様な解析手法と様々な自由度の大気・海モデルを駆使し研究を推進している。また、全球規模の気候変動が、世界各地域の気象海洋現象に与える影響についての基礎的予測可能性とその応用研究も重要な研究テーマである。以下に、平成15年度の主な研究成果を示す。

(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、インド洋ダイポールモード現象 (IOD) とその全球的な気候への影響に関する研究を

継続した。日欧協力体制の下、地球シミュレータ (ES) を利用した SINTEX-F1.0 結合モデルの220年積分を行った。その結果、IODの発生がエルニーニョ/南方振動 (ENSO) の位相や低中緯度域の季節変動とは無関係であることが確認され、西部および中央インド洋域の海面水温偏差に対して、海洋内部のロスビー長波の伝播が重要であることを示した。さらに、AGCM (FrAM-1.0) 実験から、IODがアフリカ大陸東部の降水とオーストラリアモンスーンのみならず、ヨーロッパから東アジアまでの広い範囲に影響を及ぼしていることが分かった。さらに、太平洋における経年 ENSO や ENSO の十年から数十年規模の変調なども現実的に再現され、それらのメカニズムの解明とともに、IOD や ENSO の予測可能性に関する基礎研究を継続した。

(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およびARGOフロートなどの現場観測データの同化手法を開発してきた。今年度は、表層水温塩分データや衛星海面高度計データなどを同化する JCOPE の準オペレーショナルな運用を開始した。一連の予測計算結果から、日本南岸における黒潮流路変動は約1ヶ月の予測スキルがあることが示された。特に、2003年3月から5月にかけて起こった小蛇行の発生とその東進過程を予測することに成功した (図1)。

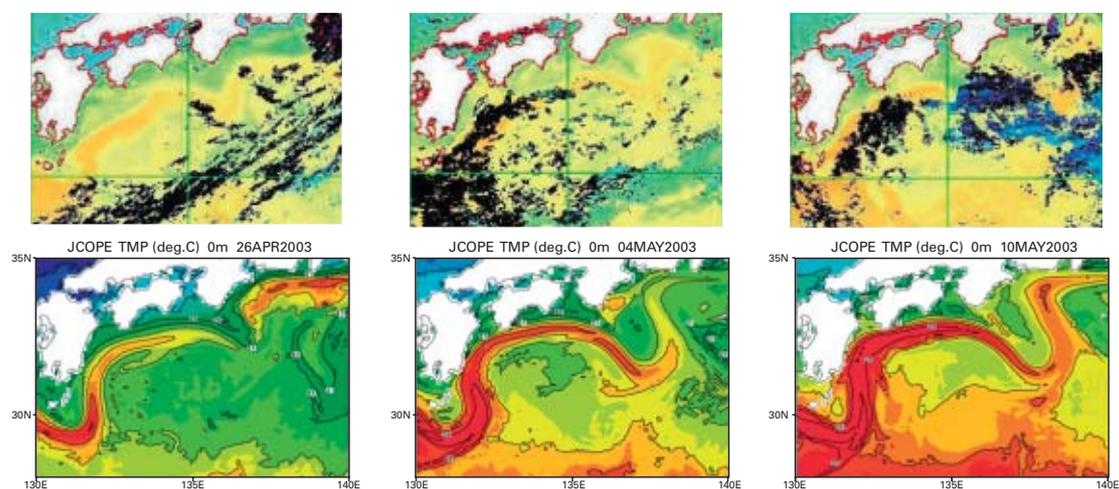


図1 2003年4月26日から2003年5月9日にかけての本州南岸黒潮域における海表面水温分布の変動。(a) NOAA人工衛星による観測データ(海上保安庁提供)。(b) 2003年4月16日の状態を初期条件としてJCOPEモデルを用いて予測した結果。

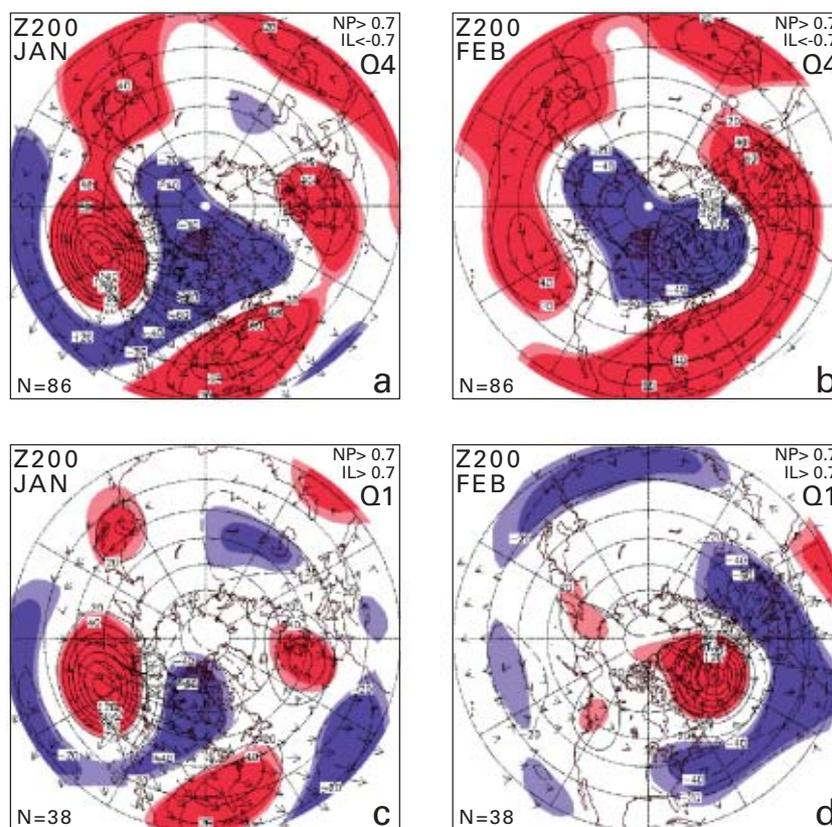
(iii) 地球シミュレータセンター(ESC)との共同研究

水平0.1度・鉛直54層のOFES(ES用に最適化されたOGCM)渦解像全球海洋循環モデルを用いて、1950年から2003年までの日平均外力で駆動したハインドキャスト積分を完了した。50年間の気候値積分結果に比べ、中規模渦活動の気候学的特徴はさらに現実的なものとなった。また、太平洋熱帯域のENSOやインド洋のIODなどの重要な短期気候変動に伴う海洋変動も非常に良く再現された。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)についても、気候値外力を用いた実験を継続中である。

(b) 気候診断グループ

(i) 中高緯度大気の変動

コロンビア大学、及び本領域予測可能性研究グループとの共同研究を通じて、ECHAM4大気大循環モデルで再現されたアリューシャン(AL)・アイスランド(IL)両低気圧強度の間に見られる経年変動のシーソー関係(AIS)に関する研究を発展させた。過去50年間に観測された海面水温を下方境界条件として与えた24メンバーのアンサンブル再現実験を解析し、中高緯度大気的外部・内部いずれの変動モードにおいても、AISがAL偏差から東方へと射出される定常ロスビー



20

図2 コロンビア大学ECHAM4大循環モデルのアンサンブル再現実験における内部変動モードに伴い再現された、アリューシャン・アイスランド両低気圧間のシーソー(AIS)の正の位相(1月太平洋に高気圧性偏差、2月大西洋に低気圧性偏差)の形成に伴う(a)1月と(b)2月の200 hPa高度偏差(m)の合成図。(c, d):(a, b)と同様。ただし、両低気圧偏差が同位相(1月太平洋に高気圧性偏差、2月大西洋にも高気圧性偏差)についての合成図。信頼度95%、99%の偏差に各々、陰影と濃影(赤:高気圧性;青:低気圧性)。矢印はTakaya and Nakamura(2001, J. Atmos. Sci.)の定義によるロスビー波の活動度フラックス(局所的な群速度に平行)。スケール($m^2 s^{-2}$)は図の下。同位相の偏差形成時に比べて、AIS形成時には太平洋の偏差が持続する傾向に注意。Honda et al.(2004; submitted to J. Climate).

波束を通じて形成されることを確認した。このAIS形成に基づく、欧州・大西洋域における晩冬の循環偏差の予測可能性に特に着目すると、真冬の北太平洋上の循環偏差の発達は、AIS形成の必要条件ではあるものの、十分条件ではないことが判明した。寧ろ、真冬に北太平洋で循環偏差が1ヶ月以上持続すると、東方への波束の伝播が維持されて、AIS形成の確率が高まるようである(図2)。

一方、冬季東アジアモンスーンの変動メカニズムの理解へ向けて、シベリア高気圧の力学に関する研究も行なっている。観測データの解析から、シベリア大陸上のどの地域でも、地上高気圧の増幅は上空のブロッキング高気圧の形成に伴うことが分かった。そして上空のブロッキング形成が、平年場の極東上空のトラフの東と西とで大きく異なることも分かった。トラフの西では、ブロッキング形成はユーラシア大陸上を伝播してくるロスビー波束に伴う一方、東側では北太平洋上の高気圧性偏差が西方へ発展してくることでブロッキング形成が起こることも分かった。上空のブロッキング形成は、それがいずれの型に因るにせよ、地表に引き起こす風偏差による寒気移流の増大が、地表の寒冷高気圧の形成を促すことも分かった。

(ii) 中高緯度大気-海洋結合系の変動

気候診断グループでは、高解像度の船舶観測データとOFESなどの高解像度OGCMの出力データの解析を通じ、中緯度北太平洋固有の10年規模変動、及びその大気変動との結合のメカニズムを調査している。我々は、北太平洋亜寒帯前線帯に集中する10年規模の海面水温偏差が、他の海域とは異なり、海洋から大気への熱供給偏差の符号を規定することを発見した。さらに、OFESなどの高解像度OGCMにおいて、水温偏差が亜寒帯、及び黒潮統流の両前線帯に集中すること等、北太平洋固有の10年規模変動が現実的に再現されていることを確認した。

(iii) 地球シミュレータセンターとの協力

超高解像度大気大循環モデルAFESの開発と改善への協力として、水平解像度20 km・鉛直48層(T639L48)の解像度でアンサンブル予測再現実験に参加した。対象は、2002年8月欧州に大洪水をもたら

した上空の切離低気圧と同年11月にスペイン沖でタンカーの座礁事故を引き起こした低気圧の急発達である。最新のデータ同化を施してはいないものの、いずれの対象についても3~4日予報は比較的良好であった。何れの場合でも、東方に素早く伝播するロスビー波束の碎波に伴いフィラメント化した高渦位域が低気圧発達の引き金となっていた。これと並行して、高解像度大気海洋結合モデルCFESの開発に関しても、地球シミュレータセンターと共同している。

(c) 予測可能性グループ

(i) 高解像度大気予測可能性実験: Emanuelスキームの導入

湿潤対流と降水形成は気候システムの中で最も重要なプロセスの一つである。残念ながら既存の気候シミュレーションモデルでは、それらのプロセスを全球気候シミュレーションの中で解像することができなく、パラメタリゼーションに頼っている。それらのパラメタリゼーションの殆んどは非常に大雑把で、完全な物理的理論によらないものであり、気候モデルによる変動の予測などは全く意味のないものになっている。比較的新しい物理的理論に基づいたKerry Emanuel博士開発のスキームを、背景流れ場のシアの微物理パラメータへの効果を考慮した改良を加えて、大気モデルに組み込んだ。この新しいスキームのおかげで大気モデルは他のパラメタリゼーションを使ったときよりも、特にモデル解像度を高くしたときに、全体的により現実的な降水パターンが形成されるようになった。

(ii) 非平衡散逸系としての気候システムの統計的性質

気候システムが持つ統計的性質を調べる為に、海洋の熱塩循環の多重安定解の統計的安定性を海洋大循環モデルの数値実験によって研究した。その結果、境界に小さな擾乱を加えると、有効エネルギーの供給率の小さい状態から大きい状態へと優先的な変化が起きる事が分かった。この有効エネルギーの供給率の最大化は、外からの有効エネルギーの供給を増やすような速度擾乱が発達するという正のフィードバック過程によって説明できること、そしてこの最大化は様々な種類の非線形・非平衡散逸系についてなりたつことが分かった。

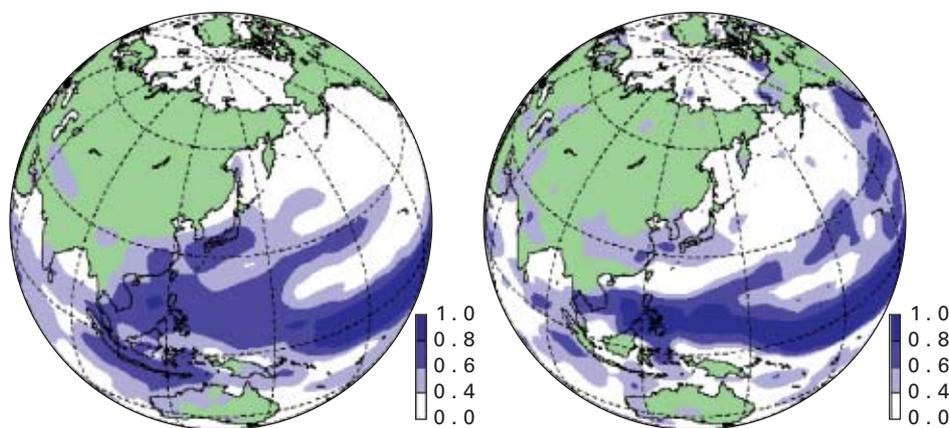


図3 期間1980-2000年の冬季降水量の潜在的予測可能性(左図)と観測された冬季降水量の経年変動と数値実験との間の相関係数(右図)。

(iii) 中緯度大気の潜在的予測可能性

大気大循環モデルを用いた過去50年のハインドキャスト数値実験(大気モデルの下部境界条件に観測された海面水温と海水分布を与える数値実験)のアンサンブルデータを統計解析することにより、季節時間スケールの大気変動の潜在的な予測可能性について調査した。大気の潜在的季節予測可能性は、季節平均した大気場の経年変動の分散に対する海面水温などの外部強制の経年変動に伴う大気場の変動の分散の割合で定義される量である。一般に、中・高緯度大気の潜在的予測可能性は赤道域のものに比べて低いことが知られている。我々の数値実験の解析から、冬季の南日本領域の大気の潜在的予測可能性が、同じ緯度帯の予測可能性に比べて高いことが分かった(図3)。この比較的高い予測可能性は熱帯域の海面水温の経年変動と密接に関係していることが示された。

2) 水循環予測研究領域

人間活動による温室効果ガスは年々確実に増加している。この温室効果ガスの増加に伴う地球規模での温暖化が現在、人類の大きな課題となっている。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、温室効果ガスの増加に伴って、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、ユーラシア大陸およびアジアモンスーン地域における水循環、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、国際プロジェクトGAME(アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画)などの特別観測データや衛星データ、および高解像の気候・水文モデルなどを用いて、積極的に取り組んでいる。

(a) 広域水循環過程研究グループ

このグループは、全球客観解析、衛星観測、現地観測などのデータを用いて、気候変化・変動に関連した大陸スケールから地域スケールまでの水循環変動とその気候へのフィードバック過程を解明することを目指している。また、大気大循環モデル(GCM)や領域気候モデル(RCM)による水循環過程の評価、検証も行い、水循環モデルの開発、改良への貢献も行う。2003年度の成果は以下の通りである。

(i) 全球、大陸、地域スケールの水・エネルギー循環変動の実態解明

ユーラシア大陸におけるエネルギー・水循環の季節変化・経年変動を、GAME再解析データやGAME-AAN(自動気象観測システムネットワーク)による現地観測データによる結果と、既存の客観解析や衛星データなどによる結果との比較評価を行った。その結果、GAMEによるデータは、季節変化などで、より現実に近い結果を示すことが明らかになった。

Fukutomi et al.(2003)により見出されたユーラシア大陸上の6-8年周期の水収支・水循環の東西シーズン現象に伴い、図に示されるように、低気圧活動ある

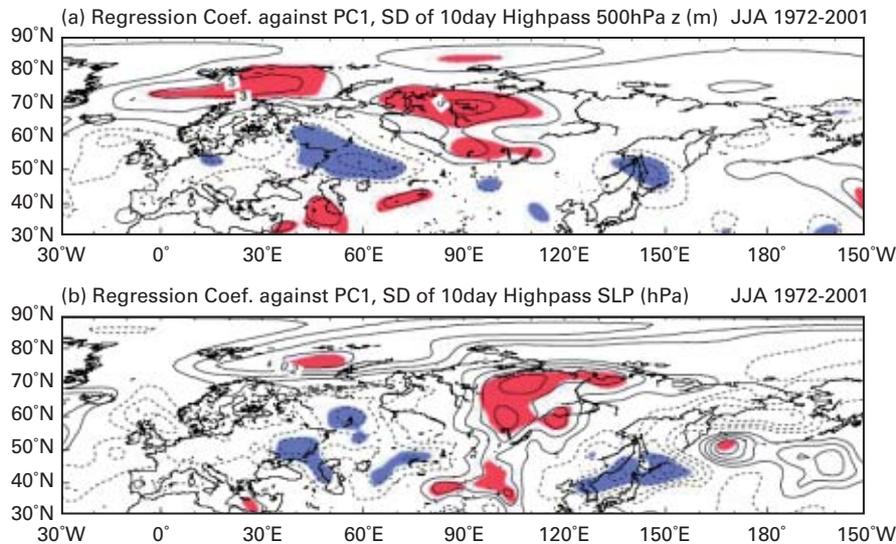


図4 (a) 500 hPa高度の10日以下の短周期成分の標準偏差と、水循環東西振動モードの係数との相関分布。実線(破線)が正(負)の相関域。95%以上で有意な地域に色がつけられている。(b)同じ相関分布。ただし、地上気圧の短周期変動成分との相関。(Fukutomi et al., 2004)。

いはストームトラック活動にも対応する顕著な東西の振動が存在し、これがこのシーソー現象の機構にも大きな役割を果たしていることが明らかになった。

(ii) ユーラシア大陸上での大気-陸面相互作用と気候の変動性

大陸スケールの積雪面積変化と、北極振動(AO)や北大西洋振動(NAO)などの半球スケールの大気循環変動モードとの関係を、1971-2001年の期間について、10年スケールの変動も含めて明らかにした。季節変化スケールについては、冬季のAOは先行する秋の積雪と強い相関を有すること、この関係は解析期間の前半については、10年スケール変動においても有意であることが明らかになった。しかし、この関係は、1980年代後半になると、(冬の偏差同士が相関するという)ほぼ同位相の関係に変化した(図5)。これは、秋-冬-春の季節進行における積雪と大気の関係が変化したことに関連していることが示唆された。一方、北米地域では、冬季のNAOと夏季の積雪面積が強く関係していることが示された。

(iii) 中国地域におけるエネルギー・水循環の経年変動と長期変化傾向

Xu and Haginoya(2001)は、定常地上気象観測デ

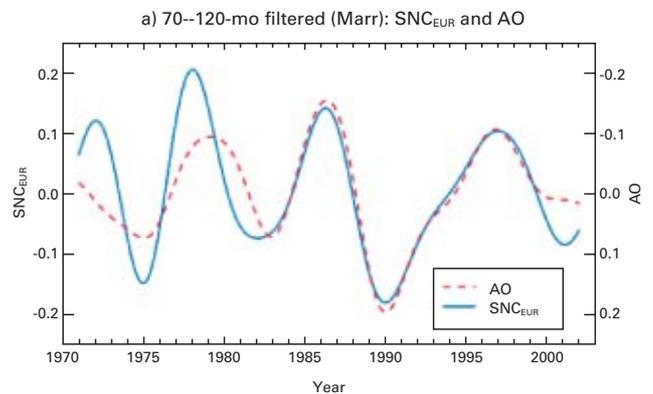


図5 ユーラシア大陸上の積雪変動の長周期成分(70-120ヶ月バンドパスフィルター)(実線; SNC)と北極振動(AO)指数(破線; スケールは右)。(Saito et al., 2004)。

ータにより、地表面での熱・水収支を評価するモデルをすでに開発したが、このモデルと地上観測データを用いて、チベット高原上での1997年、1998年の2年にわたる地表面熱・水収支の変化を算定し、GAME-IOP(集中観測)データでこの結果を評価した結果、かなりよい一致を示した。

これらの結果により、1997年と1998年の熱収支の空間分布や季節変化の比較を行い、降水量の両年の違いなどへの説明も試みた。また、計算された湿潤度指数(wetness index)は、衛星データから求めた植生指数(NDVI)と非常によく対応することが明らかとなった。

また、通常地上気象観測で行われている日照時間データから日射量を、地上気温、湿度から下向き長波放射量をそれぞれ推定し、30年間(1971-2000)の中国全域における地上の放射収支の変化を推定した。放射データのある地点では、これらの推定値の検証、比較も行った。その結果、大都市では日射量が減少していること、すべて(31地点)の地点で気温が上昇していることなどが明らかになった。衛星から測定された地上での放射収支(SRB)と比較したところ、農村地域ではふたつはよく一致していること、チベット高原上では、SRBデータより大きいこと、大都市域では逆に小さいことが明らかになった。これらの系統的な差は、中国における都市化や人間活動による大気の混濁度などの変化が放射収支に影響していることを強く示唆している。

(b) 陸面水循環研究グループ

陸面水循環研究グループでは、水資源の将来予測を目標に、陸面におけるエネルギーと水循環の解明と水循環過程の包括的なモデリングを実施している。アジア大陸には水循環変動の特性から見て、実に多様な地域が存在している。たとえば、凍土が卓越している地域、熱帯雨林やモンスーン樹林が卓越している地域、あるいはアジアの中緯度にある乾燥地域などの水循環過程は互いに大きく異なっている。

現在、モンゴルのセレンゲ川の流域で水文モデルによる研究を推進している。半乾燥地域にあるこの流域は流域面積が28万平方キロメートルで、平均年降水量は300 mmである。水文モデルにより流域内にある4つの観測点の河川流量を、その季節変化および年々変動とも、再現することができた。

我が国の冬季の積雪量の年々変動についてもモデル研究を推進している。図6(a)は気象庁のアメダスデータから作成したもので、典型的な多雪である1995/96年と少雪年の1997/98年の冬季(12、1、2、3月)の降水量の差を表している。この図は日本海側で雪が少ない年は太平洋側では逆に降水量が多いことを示している。図6(b)は高分解能の領域気候モデルにより再現された両年の差を示す。(a)図と比べると、領域気候モデルは降水量の違いの地域分布を良く再現している。降水量、なかでも冬の降雪は山岳地域においては観測点の標高に強く依存することが良く知られている。また山岳地の観測点は、保守の都合上からか必ずといって良いほど、周辺の平均標高より低い谷間に設置されている。このため地上の観測データから山岳地域全体の降雨量や積雪量を推算することは容易ではない。ここで開発された領域気候モデルは、山岳地域の水資源量を正確に把握することに役立つばかりでなく、温暖化などによる気候変動による水資源量の変化を予測する有力な手段になると期待できる。

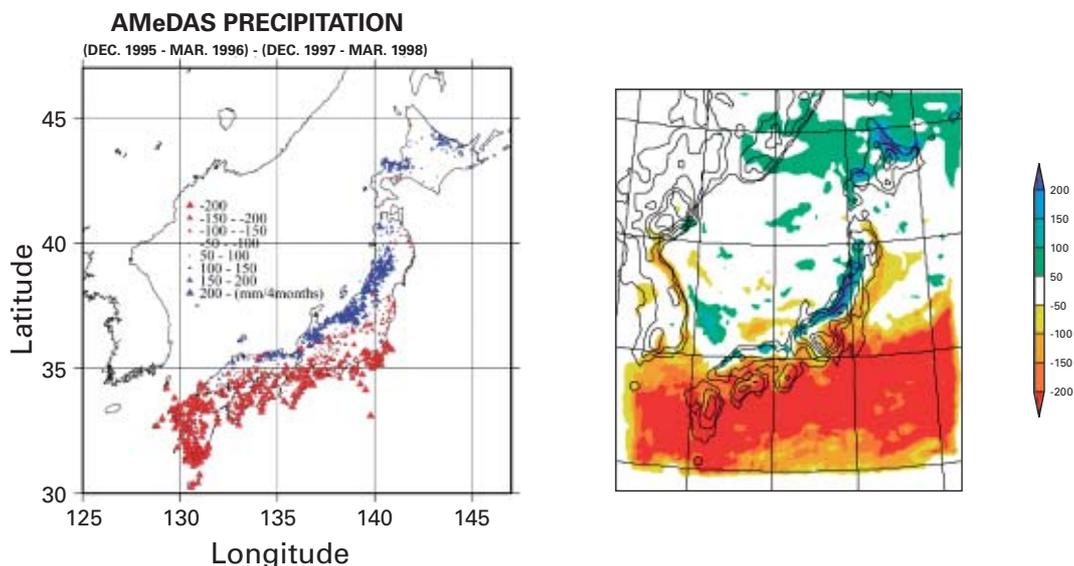


図6 (a)多雪年と少雪年の降水量の差。(b)領域気候モデルの再現結果(格子間隔20 km)。両者の分布は非常によく一致している。

(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

エアロゾル・雲の相互作用、すなわち、エアロゾルの間接的影響の研究を進めるために、混合(ラグランジュ流/オイラー流)微物理雲モデルの開発および改良を行った。このパラメータ化は、エアロゾルの間接的气候影響を見積もるためにGCMモデルで使用される。

(ii) 3次元放射モデルの開発

現在、雲の3次元構造を考慮した新しい放射伝達モデルを開発中である。このモデルでは、水平方向に均質という仮定が必要ではない。この方法の一般的な実用可能性を調べたところ、高い性能が実証された。

(iii) 雲解像モデルの改良と数値実験

メソスケール対流解像モデル(MCRM)では、台風の雨量分布およびその他の特徴について他のモデルよりもはるかにすぐれたシミュレーションを行うことができ

た。今後さらにMCRMを改良することが望ましいが、水平格子サイズ5-20 km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(あるいは陰的表現)に関して、このモデルの性能は十分なレベルにほぼ達していることが示唆された。

(vi) メソスケール対流システムの物理過程の理解

寒気団の移流、梅雨前線システムおよび台風システム内で発達するメソスケール雲システムのシミュレーションを行おうとした。これらの雲システムのシミュレーションのために、雲解像モデル "CReSS" を開発してきた。この種のシミュレーションには並列計算や巨大メモリが必要なので、CReSSを地球シミュレータで利用できるように最適化した。地球シミュレータによって小さな格子サイズ(0.5 km - 1 km)を持つ広範なドメインサイズ(~1000 km×1000 km)についてシミュレーションすることが可能になったので、構成されたメソスケール雲システムのマルチスケールな擾乱間の階層構造や相互作用をシミュレートすることに成功した(図7)。

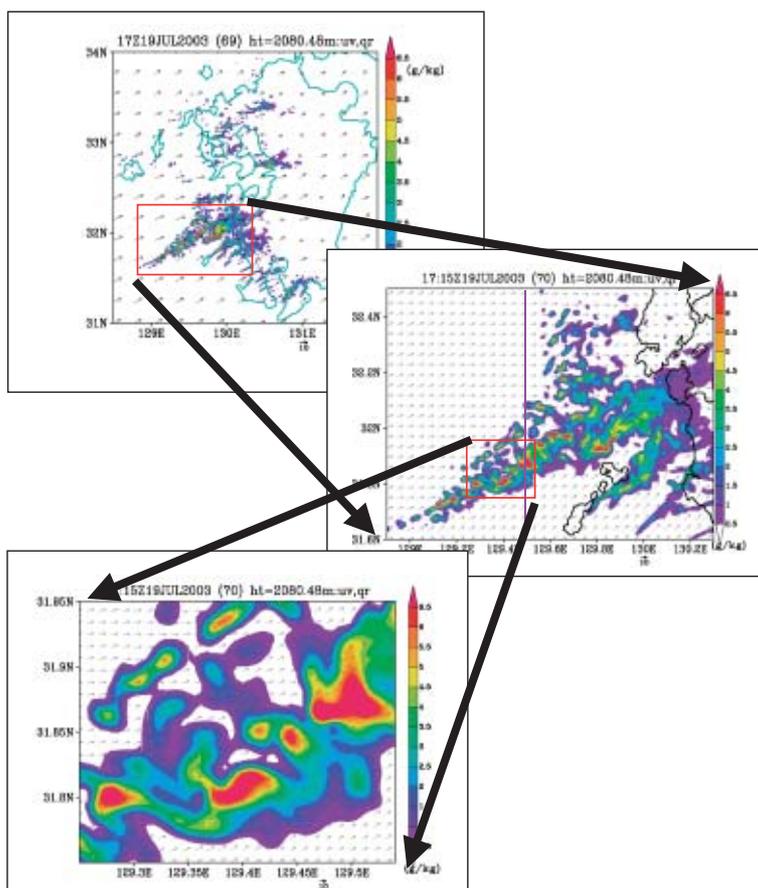


図7 CreSSによってシミュレートされた降雨帯のマルチスケール構造

(v) IARCとの協力

1999年、2000年および2002年に、研究船「みらい」の北極圏クルーズに参加した。研究の主な目的は、海洋境界層雲およびメソスケール雲システムの形成および構成過程、降雨メカニズム、エアロゾル・雲の相互作用を研究すること、及び様々なリモートセンサのグラウンドトゥールズデータを作成することである。通常では、海表面付近の顕熱および潜熱のフラックスは非常に小さかった。しかし、上方への乱流熱フラックスおよび下方へのCO₂フラックスはともに、寒気団が発生すると大幅に増加した。95 GHz 雲・レーダおよびCバンドのドップラレーダを用いて、北極海上の降雨雲システムのメソスケール特徴および降水の垂直分布を調べた。

3) 地球温暖化予測研究領域

温暖化予測研究領域は精度の高い地球温暖化予測とその理解を主な目的とし、温暖化、炭素循環及び古気候の研究の三グループから構成されている。昨年度、当プログラムの炭素循環グループでは全球海洋生態系モデルを用いて初の成果をあげた。このモデルは海洋炭素循環問題、海洋生態系システムのシミュレーション、気候変動と海洋生態系変動の関連等、将来の幅広い研究に適用できる。また比較的解像度の粗い気候モデルを用いて高濃度大気中二酸化炭素(CO₂)に対する大西洋熱塩循環(THC)の応答の数値実験を行い、THCの変化の時間変動を支配する過程を詳細に調べた。以下、これらを含めて平成15年度の研究概要を記す。

(a) 地球温暖化研究グループ

(i) 気候感度と雲の相変化パラメタリゼーション

大気中二酸化炭素濃度の倍増に対する全球平均地表気温の平衡応答の見積もり(平衡気候感度)は、10年前に1.5°C~4.5°Cと推定されてから、現在までその幅がほとんど縮められていない。気候感度の見積もりがこのような大きな幅があることの原因は、地表気温偏差の放射による減衰過程において雲のフィードバックが果たす効果を、高い信頼度を持って決定できないことである。Tsushima and Manabe(2001)は気候モデルの雲フィードバックを解析し、全球規模において雲による日射の反射率が地表気温の上昇に伴って顕著に

増加することを示した。これは、観測データによる結果と異なる。詳細に調べると、モデル結果に見られるこの反射率の増加は、気温が-15°Cから0°Cの層における雲水分布の変化と関係していることが分かった。この層は、雲氷と雲水が共存する領域である。この結果に基づき、Emori(2003)は雲のパラメタリゼーションを変更し、雲氷が融解した場合には雲水にならずに雨として地表まで直接落下するようにした。Ogura(2003)は、雲水の相(液体か氷か)を診断する関数の形を変更し、モデルの気候はこの小さな変更非常に敏感であることを示した。これらにより、モデルの気候感度は3°C程度も低下した。

(ii) 20 km格子大気大循環モデルによる熱帯低気圧の気候学的性質再現の試み

文部科学省の人・自然・地球共生プロジェクト課題4「高精度・高分解能気候モデルの開発」の一環として、超高分解能大気大循環モデルの開発が進められている。2003年度は、気象研究所や地球科学技術総合推進機構との共同研究として、開発中の20 km格子大気大循環モデルにおいてシミュレートされた熱帯低気圧の気候学的性質を吉村が調べた。その結果、モデル出力における熱帯低気圧の年間発生数は73個で、これは現実大気中での発生数と同様な水準であった。また、熱帯低気圧の850 hPa面での最大風速別に調べた出現頻度分布も妥当なものであった(図8)。

(b) 炭素循環研究グループ

(i) 全球海洋生態系モデルの開発

昨年度開発した海洋大循環モデルに生態系物質循環モデル "NEMURO" を結合させたものを用いて、我々は、重要な動物プランクトンの1グループであるカイアシ類の季節鉛直移住の亜寒帯域の海洋生態系に対する役割について考察を行った(Aita et al, 2003, Fisheries Oceanography)。1000 m深におけるカイアシ類の鉛直移住に伴う物質輸送は、沈降粒子(いわゆるマリンスノー)によるものの5-10%と見積もられるため、海洋物質循環をより現実的に再現するためには、鉛直移住もモデルに組み込んでいく必要があるだろう。NCEPから提供された日々変動するデータを用いて、1948年から2002年までの経年変動実験を行った。予

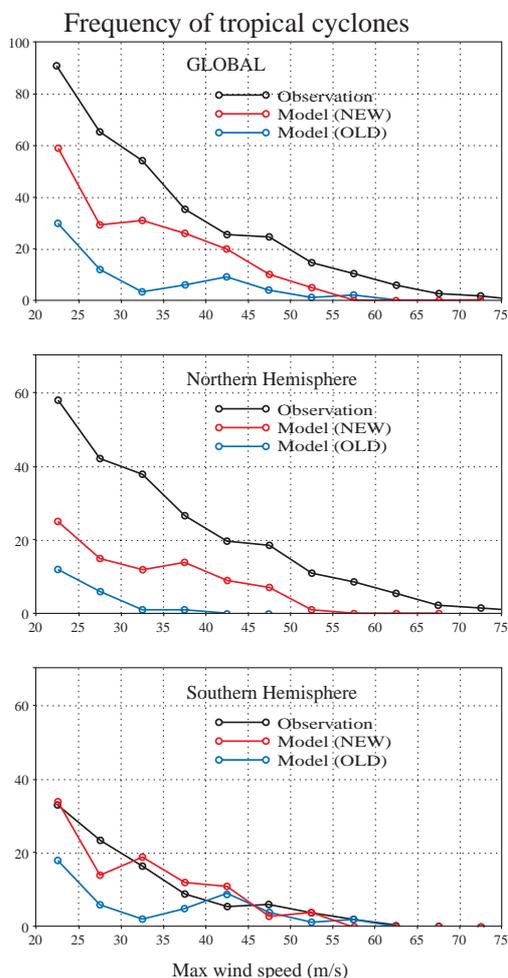


図8 熱帯低気圧の出現頻度分布。各熱帯低気圧を24時間ごとに、最大風速別にカウントしたもの。

備的実験の結果では、PDO (Pacific Decadal Oscillation) に伴う1970年代の気候シフトをよく再現している(図9)。1980年代の西部北太平洋における生物基礎生産は、1960年代に比べ、亜熱帯域では減少し、亜寒帯域では増加した。これらは、Chai et al. (2002) が指摘したメカニズムと調和的である。

(ii) 海洋中規模渦高解像大循環モデルによるトレーサー実験

地球シミュレータ上で中規模渦分解能を持つ中規模渦解像高分解能モデル(水平分解能1/10度)を用いて、フロン分布に対する中規模渦の効果を理解するために、海洋のフロン分布を調べた(Sasai et al., 2004)。全球海洋における1994年のフロン貯留量は、 $5.1 \times 10^8 \text{ mol}$ であり、この値は、WOCEで観測から見積もられた誤差範囲に入る(Willey et al., 2004)。モデルは、ウェッデル海やロス海から南極低層水に伴って沈むフ

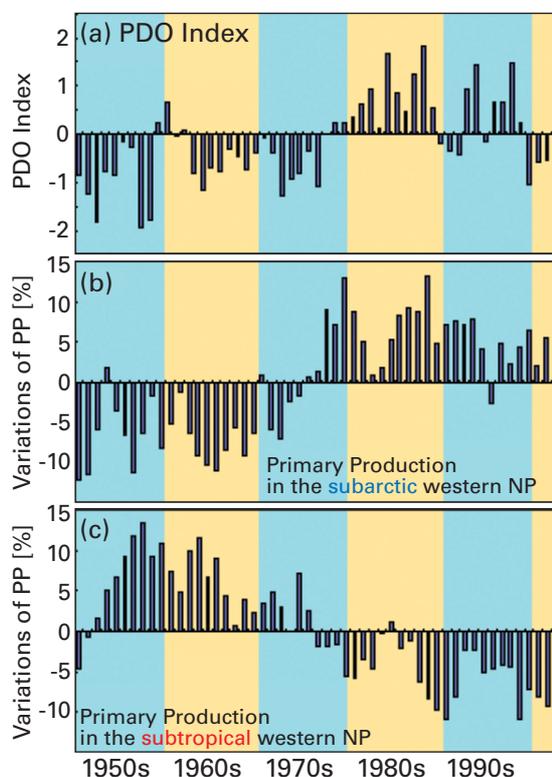


図9 1948年から2002年までの(a) PDO (Pacific Decadal Oscillation) と西部北太平洋における(b) 亜寒帯域と(c) 亜熱帯域の生物基礎生産の時系列。

ロンの深海における分布を再現するのに成功した。ウェッデル海から子午線に沿った南北-深度断面(AJAX)に到達する2つの経路を明らかに示した。一つの経路は、南スコシア海嶺を超えスコシア海に入り、南極周極流に伴って東向きに流れるものであり、もう一つは南スコシア海嶺に沿ってウェッデル循環の北側よって東向きに運ばれるものである。我々のモデルの結果は、超高分解能全球モデルは、一航海で観測されるような局所的なフロン分布などの研究にも有効であることを示した(図10)。

(i) 古気候研究グループ

(i) 大気海洋結合GCMによる古気候および地球温暖化の数値実験

2003年度は共生プロジェクトの一環として文科省から承認された共同研究(本領域および東京大学気候システム研究センターと環境省環境研究所で共同実施している)の中で次期IPCCレポート用の地球温暖化実験に用いる結合GCMを開発した。この大気海洋結合GCMはいわゆる「フラックス調整」を使わないモデルで、

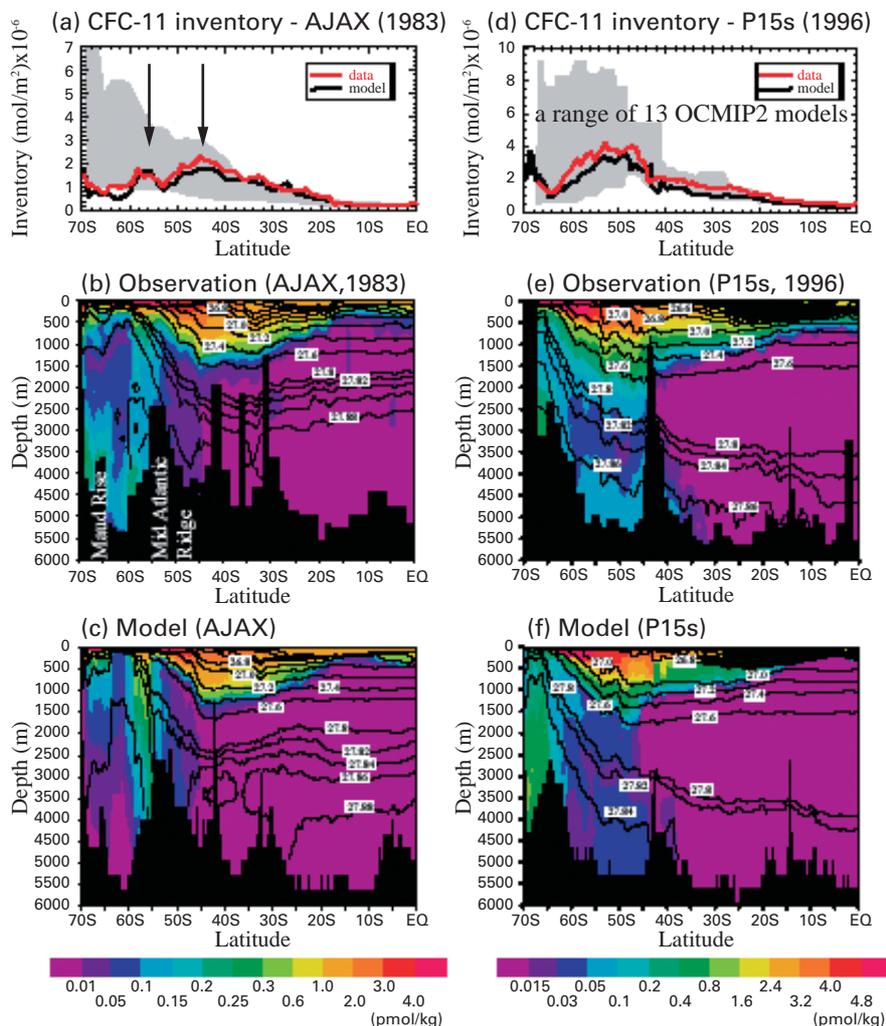


図10 モデルから得られたフロン(CFC-11)の水柱貯留量(mol/m^2)と観測とモデルによる南北一深度断面におけるフロン分布とポテンシャル密度(実線)。(a)–(c)は1983年における南大西洋子午線に沿って、(d)–(f)は1996年における南太平洋の西経170度に沿っての断面図である。ハッチを付けた領域は、Dutay et al. (2002)による(我々の以前のモデルを含む)13モデルの結果の範囲を示している。

本領域では中程度の解像度(大気は約250 km、海洋は約50~100 km)のものを開発し、観測データに合わせた調整と試験を行った。二酸化炭素の漸増および漸減という過渡応答の実験の他、それぞれ千年程度のモデル積分からなる六千年前(完新世暖候期)および二万年前(最終氷期最大期)のシミュレーションを最新の結合モデルを使用して行った。

(ii) 中間階層に属する気候モデルの開発

GCMによる実験企画や結果の解釈を補助するためにGCMより早く時間積分できる簡易化した大気海洋氷床結合モデルの開発を継続し、更に試験的な古気候実験を開始した。

(iii) アンサンブルカルマンフィルターによる気候モデルの不確実性の定量化

気候予測の不確実性は、モデルのパラメタリゼーションの不確実性に起因するところが(少なくともシナリオによっては)大きい。確率論的な気候予測は本質的には非線型モデルにおける多変量パラメータの確率論的推定の問題といえる。我々はアンサンブルカルマンフィルターを使うことで、パラメータの効果的な確率論的推定システムを開発した。これは大気海洋結合GCMを使って客観的に最尤アンサンブル予測を行うものである。我々は低解像度の3次元海洋と2次元大気を結合した地球システムモデルにこの推定法を適用してその効果を示し、さらに人為的な気候変動の予測

結果をいくつか示した。この方法により、低解像度モデルは幾つかの点に於いて最新GCMsと同じか、もしくは良い性能にまで改善された。

(iv) 古気候における海洋の役割に関する感度数値実験の研究

①高濃度大気中二酸化炭素に対する大西洋熱塩循環の応答

大気中の二酸化炭素濃度を現在の4倍にして、氷床がある場合(4×CO₂ run)と無い場合(4×CO₂nis run)の実験を行った。また、氷床がある場合で大気中の二酸化炭素濃度を現在の8倍にした(8×CO₂ run)実験も行った。実験に用いたモデルはGFDLの気候モデル(大気がR15、海洋が4.5°×3.75°)である。4×CO₂ runから、北大西洋の熱塩循環の強さの変化は4つのステージに分けられることが分かった(図11)。始めの第1ステージでは、200年で熱塩循環の強さが急激に弱まり、2ないし3Svの最小値に達する。その後、第2ステージでゆっくりとした回復が約1000年間続く。第3ステージでは、100年程の急激な回復が起こり、最後に平衡状態(第4ステージ)に達する。この平衡状態での熱塩循環の強さは、大気中二酸化炭素濃度が現在値の場合(control run)の強さよりやや強く、また、より大きな変動をとまっている。

熱塩循環の回復中、低緯度の垂表層から深層で昇温が続いている。そして、1000から1500 mの深さで、高温高塩分水が低緯度から高緯度にひろがっていく。これらの深さでの昇温による密度変化は、高緯度で最終的に対流不安定を起こし、その後、熱塩循環を回復させるということが分かった。

②気候モデルでシミュレートされた南大洋・南東太平洋海盆での大気海洋結合数十年振動

①で述べられたモデルを用いたcontrol runの1万年積分から、自然変動の周期とその空間パターンを調べた。南大洋の南東太平洋海盆で35年周期の変動が見出されたが、それは年輪、氷床コア、海底堆積物といった古気候指標から見積もられている数十年変動の周期に近いものである。この振動のメカニズムを知るために、22年から66年の周期に対してバンドパスフィルターをほどこしたデータについてコンポジット解析を行った。その結果、海水厚と海面気圧が強く結合して振動してい

ることが分かった。この結合振動において地上風が振動の復元ファクターとして働いており、海洋の渦度の束縛条件 f/H (f :コリオリパラメーター、 H :水深)によってこの振動は南東太平洋海盆内にとどまっている。

③地中海流出水の南半球極域への影響

①で述べられた気候モデルを用いて、地中海から大西洋への流出水が無い場合に南半球極域での気候がどう変化するのか調べた。地中海流出水を無くすと、北大西洋北部とともに南大洋でも大きな気候変化が見出された。最も大きな変化は南緯50°から60°の太平洋セクターで見られ、約1.5°Cの海面水温の低下がある。また、0.7°Cの海面水温低下がインド洋セクターで見られた。これらの海域では、海面塩分の低下も著しい。この塩分低下によって、極域と赤道域の海水の密度の差が小さくなり、南極底層水に関する熱塩循環の強さが2.6Sv(20%)程度減少した。

④パナマ地峡のオープニングによる深層水形成海域の北大西洋から北太平洋への交替

パナマ地峡を開いた場合に、深層水の形成海域が北大西洋から北太平洋に移ることが気候モデルの感度数値実験で見出された。これは、開かれた地峡を通して大西洋から太平洋に塩が運ばれたためで、実験開始後の積分500年で大西洋の熱塩循環が停止し、1000年で太平洋に熱塩循環が発達した。

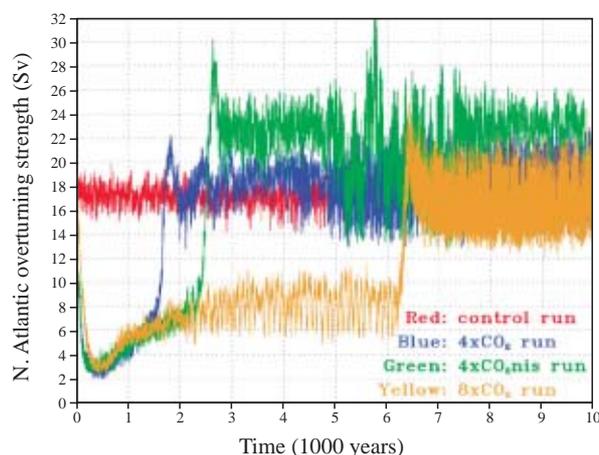


図11 北大西洋の子午面循環の強さの時系列: control run, 4×CO₂ run (CO₂濃度 1200 ppm), 4×CO₂nis run (CO₂濃度は 1200 ppm, 氷床無し), 8×CO₂ run (CO₂濃度は 2400 ppm)

4) 大気組成変動予測研究領域

経済成長と人口増加に伴う温室効果ガス及び大気汚染物質の排出量の増加は、地球規模・地域規模環境に対して世界の各地で大きな影響を与えつつある。特にこれら物質のアジアからの放出量の著しい増加による大気組成の変化は、この地域の持続的発展のみならず、地球環境変化の観点からも深刻な問題である。大気組成変動予測研究領域のミッションは、先端化学・輸送モデル及び化学・気候モデルを用いて、アジア太平洋地域における地域規模及び地球規模大気汚染のメカニズムを解明し、大気組成変化の気候に対する影響、気候変化の大気組成変化に対する影響を明らかにすることにある。

地域規模・地球規模における大気組成変化とそれらの相関を明らかにするために、本領域ではユーラシア大陸に焦点を当て大気微量成分の放出・輸送・変質・沈着における物理過程と化学過程の研究、各スケールにおける化学天気図の作成を行う。これらの研究における対象物質としては、長寿命温室効果ガス(CO₂, CH₄, N₂O等)、短寿命反応性ガス(O₃, CO, NO_x, VOC, SO₂, OH, HO_x等)及びエアロゾル、の3つのカテゴリーの化学種とする。

具体的な研究目標としては、大気汚染物質の大陸

間・大陸規模長距離輸送、対流圏光化学、エアロゾルの組成変化などの重要なプロセスのモデル化、逆モデルを用いた温室効果ガスのソース・シンクの議論、温室効果ガスの炭素・酸素同位体比の時間的・空間的変動の解析、アジア太平洋地域におけるオゾン及びエアロゾルによる大気質変化予測、化学的フィードバックを含む地域的大気質変化と気候変化の関係の解明などが挙げられる。

国際研究プログラムに対する寄与としては、ABC (Atmospheric Brown Cloud-Asia) /UNEP、GEIA (Global Emission Inventory Activity) /IGBP、ITCT (Intercontinental Transport and Chemical Transformation) /IGAC/IGBP、CO₂のソース・シンクの逆モデル国際比較プログラムである TransComなどに参加している。

(a) 全球化学輸送モデリンググループ

FRSGC/UCI化学輸送モデルを用いて、オゾン及び前駆体物質についてシベリア及び日本に対するヨーロッパ及び北米からの影響を定量的に研究した。図12はヨーロッパ及び北米からのO₃及びCOの日本に対する影響の高度別季節変化を示したものである。輸送過程と化学過程の複合影響により、これら物質の日本

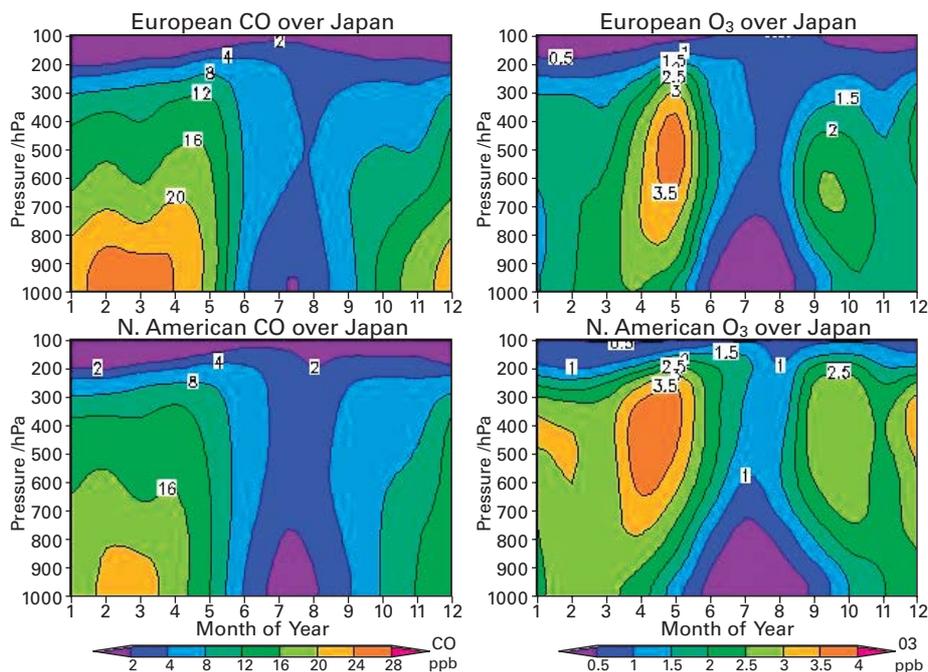


図12 日本のCO(左パネル)、オゾン(右パネル)に対するヨーロッパ(上パネル)と北米(下パネル)の影響。

に対するヨーロッパの影響は春季に最大となる。我が国の地表付近 O_3 のヨーロッパの影響は平均では2.5 ppbvと必ずしもそう大きくはないが、その時期が O_3 濃度が環境基準(1時間値60 ppbv)近くに到達している時期と重なるため、環境基準達成の観点からは重大な影響を及ぼしている。北米からの影響は、地表付近の O_3 、COに対してはヨーロッパからの影響に比べて小さいが、中部対流圏に対する影響はむしろヨーロッパより大きいことが図12から見てとれる。これは北米から放出された大気汚染物質は、ヨーロッパに比べてより活発な上昇気流及び低気圧活動によって O_3 寿命の長い対流圏上層に運ばれ、より効率よくオゾンを生じると共に、偏西風によってより効率よく長距離輸送されるためである。これに対しヨーロッパからの流出は、オゾン生成の効率が低く、寿命も短いより低い高度で起こるため、東アジアへの距離が近いにもかかわらず北米からの影響と同程度となっていることが分かった。

新しく開発された化学気候結合モデルCHASERを用いて、地球温暖化が対流圏オゾンに及ぼす影響とそのフィードバックについて、化学・気候相互作用の研究がなされた。本研究ではIPCCシナリオに基づいてオゾンとエアロゾルの将来予測を行った。オゾン前駆体物質の放出量変化のみを考慮した場合、将来その増加により東アジアの光化学的オゾンの生成は当然増加するが、本研究ではこうした前駆体放出量増加による対流圏オゾンの増加が将来の気候変化(温暖化)によってかなりな影響を受けることを示した。気候変化を取り入れることにより、放出量変化由来の下部対流圏のオゾン増加は、温暖化に伴う水蒸気の増加によるオゾンの光化学的消失量の増加により減少する。他方、低中緯度の上部対流圏においては、気候変化に伴う成層圏オゾンの下降量の増加により、オゾンが増加することが分かった。これは、気候変化に伴い成層圏-対流圏循環が活発化することためであり、このことは地球温暖化に対して対流圏オゾンは正のフィードバックを及ぼすことが示唆される。

CCSR/NIES AGCMの輸送特性を明らかにするために、モデルで計算された成層圏大気平均年齢を CO_2 及び SF_6 の観測値と比較して評価を行った。この数値計算には地球シミュレータを用いた10年の計算が行われた。また、海洋境界層中の反応性ハロゲンとVOCの光

化学的相互作用についてボックスモデルSEAMACを用いて研究した。モデル計算によると海洋からのアセトアルデヒド及びアルケンの放出が、Br原子のHBr及び安定な有機臭素化合物への変換を促進し、海洋境界層中のハロゲン化学を大きく左右することが分かった。

(b) 地域スケール化学輸送モデリンググループ

東アジアにおける境界層オゾンの季節変化について、地域スケール大気質モデルRAQMSを用いて研究した。RAQMSは東アジア地表オゾンの日変化・季節変化の観測データを再現することにより検証された。この地域におけるオゾンの季節変化は東アジアモンスーンシステムと光化学生成活動との結合によってコントロールされている。モデル結果からは図13に示されるように、夏季に 35° - 45° N、 70° - 130° Eの地域に高濃度オゾンのベルト地帯が形成されることが見いだされた。このベルト地帯の内 110° Eより東の地域的大気汚染領域における高濃度オゾンは主として光化学生成に起因し、オゾンの流出地域となっていることが分かった。これに対し 110° Eより西の地域では、高濃度オゾンは輸送によってもたらされ、光化学的には弱い正味の消失となっている。この地域の高濃度オゾンは東部・中部中国、南・中央アジア、さらにはヨーロッパからの輸送によってもたらされている。本研究では、中国青海省チベット高原にあるワリグアン(Waliguan, WMO/GAWステーション)における地表オゾン濃度が、他の北半球リモート地域にみられる春季最大・夏季最小と対照的に、夏季最大・冬季最小となる特徴的季節変化に対し、その理由が移流によるものであるという明確な理由を与えることに初めて成功した。

(c) 温室効果ガスモデリンググループ

大気輸送のための新しい高解像度逆モデルの開発がなされた。時間依存逆モデル(time dependent inverse model, TDI)の空間解像度は64領域に増加され、これはTransCom-3に比較して陸域では4倍(42領域)、海洋域では2倍(22領域)の解像度である。本研究では解像度の増加に加えて、NCEP/NCAR再解析データからの年々変動気象場を利用した。本研究でのフラックスの解析から得られた陸域生態系及び海洋における CO_2 の取り込みはそれぞれ 1.15 ± 0.14 及び

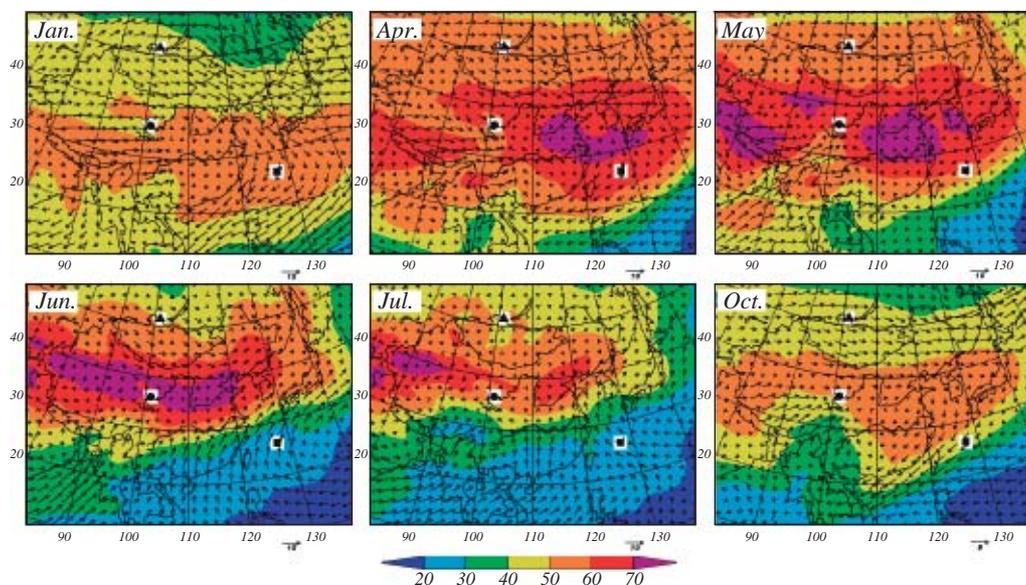


図13 1996年1、4、7、10月における境界層(約1km)における月平均オゾン濃度(ppbv)と風ベクトル(m/s)。ワリグアン、沖縄、モンディの位置を●、■、▲で示す。

1.88 ± 0.18 Pg-C yr⁻¹である。図14は海洋及び陸域のCO₂フラックスのアノマリの年々変動を示す。本研究の結果によるとエルニーニョ(ラニーニャ)期間における全陸域からのCO₂ソース(シンク)の増加に対しては、森林火災の影響が大きいことが示唆された。モデルから得られた北方アジアからの正のフラックス偏差は森林火災インベントリーと良く一致した。海洋フラックス偏差はエルニーニョ/ラニーニャ期間に対し陸域と逆の変動を示す。海洋フラックス偏差は太平洋10年振動(PDO)、エルニーニョ/南方振動(ENSO)、北大西洋振動(NAO)、北極振動(AO)のような気候変動の主モードと良い相関があることが分かった。このように本研究により、より高い空間解像度の逆モデルを用いてより多くの観測ステーションからの情報を効率よく利用することにより、全球及び地域フラックスの年々変動がより現実的に捉えられた。

432の陸域/海洋領域からの年平均フラックスを推定するために逆モデルのさらなる高解像度化を行ない、GOSATのような将来衛星計画ミッションによるGHG観測の提案に対する有効性評価を行った。本研究の結果から、陸域からの地表フラックスの不確定性を減少させるためには、惑星境界層(PBL)を含む陸域上のコラム全量の測定が必要であることが分かった。

プロセスベースの生態系モデルBiome-BGC及びNIES/FRSGC全球輸送モデルによってシミュレートされ

たCO₂日変化フラックスを用いて、気候変動の生物圏活動に対する影響及びその1960-2002年のCO₂大気濃度の年々変動への寄与の解析を行った。その結果、全球での純一次交換量(Net Ecosystem Exchange, NEE)は気温とは負の相関、降水量とは正の相関があるが、地域的なNEEの応答は必ずしも全球でのNEEアノマリとは一致していないことが分かった。例えば、2002年のエルニーニョ年には北方アジアは純一次生産量(Net Primary Production, NPP)は気温との高い正相関、降水量との負相関のため炭素シンク(0.2 GtC/yr)となるが、全球スケールでは土壤呼吸の減少に比べNPPが極端に減少するため生態系は炭素ソース(1.4 GtC/yr)となっている。図14に示されるように、気候の年々変動によって引き起こされるNEEの変動を考慮することによって、大気中CO₂濃度の偏差の多くの部分を説明することが出来る。モデル実験によれば、大気輸送の年々変動は北半球、特に高緯度地方のCO₂アノマリと良く相関しているが、南半球では輸送変動の影響は小さいことが分かった。

GHGの観測データベースを空間的/時間的変動解析、及びモデルの検証・比較のためアップデートした。日本上空での航空機観測によるCO₂濃度の解析から、日本上空の大気中のCO₂の垂直勾配は明らかにENSOと相関した年々変動を示しつつ、増加トレンド(下部対流圏で0.02 ppm/yr)が続いていることが分かった。

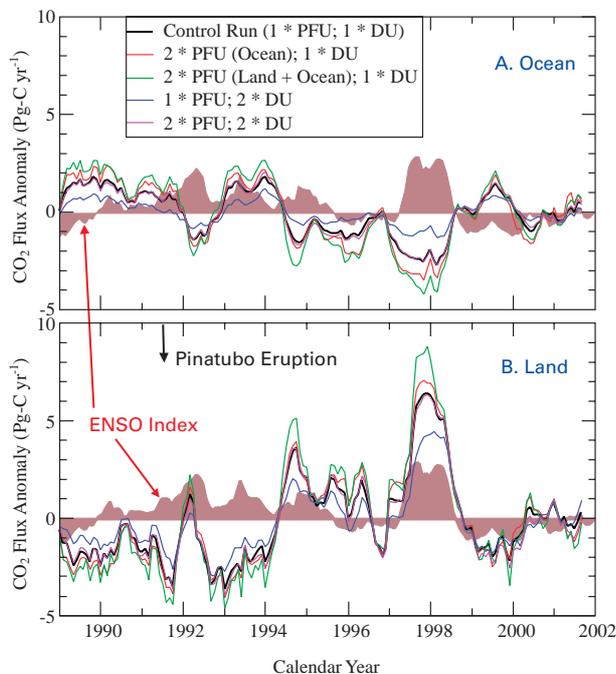


図14 TDIモデルから導かれた1989-2000年の(A)海洋(B)陸域におけるCO₂フラックス・アノマリの年々変動。先験的に決めたフラックスの不確定性(prior flux uncertainty, PFU)及びデータ不確定性(data uncertainty, DU)を変化させたケーススタディが示されている。またENSO指数がバックグラウンドにプロットされている。

(d) 大気組成データ解析グループ

東アジアにおけるオゾンと一酸化炭素の通年濃度変動データを入手するために、文科省共生プロジェクトの下で4カ所の大気組成観測サイトを立ち上げた。その

内の3カ所は中国の急発展・高汚染地域を代表する山岳地点、1カ所は東シベリアのリモート山岳地域のバックグラウンド・サイトである。2003年4, 5, 6月に中国東部の泰山において、極端に高いオゾン・エピソード(最大値、それぞれ80, 120, 160 ppbv)が記録された。

現在の対流圏化学理論を検証するため、2003年9月に北海道・利尻島での野外キャンペーンで得られたOH, HO₂ラジカル濃度のシミュレーションを行い、観測値との比較を行った。モデル計算に当たっては、OH/HO₂の前駆体物質・反応物質濃度及びキーとなるパラメータ(光分解速度、気温)については同時に測定された観測値に拘束した。図15に見られるように日中のHO₂濃度についてのモデル計算の結果は観測値に比べ、平均で89%高めに予測される。またモデルはOHについても35%高めに予測しているが、HO₂濃度を実測値に拘束した場合にはそのようなオーバー・エスティメーションは起こらなかった。このことは海洋境界層内での日中の光化学反応過程において、HO₂に未知の消失過程があることを示唆している。そのような未知の消失過程の可能性として、1)エアロゾル表面上におけるHO₂の消失、2)ヨウ素化学の関与、の2つの可能性を検討した。

赤外吸収スペクトル解析に基づく北半球高緯度(30°-90°N)における2002年1月から2003年3月の一酸化炭素カラム全量測定値と、地表で観測されたCO混合比及びTerra/MOPITT衛星観測の結果とを比較した。通

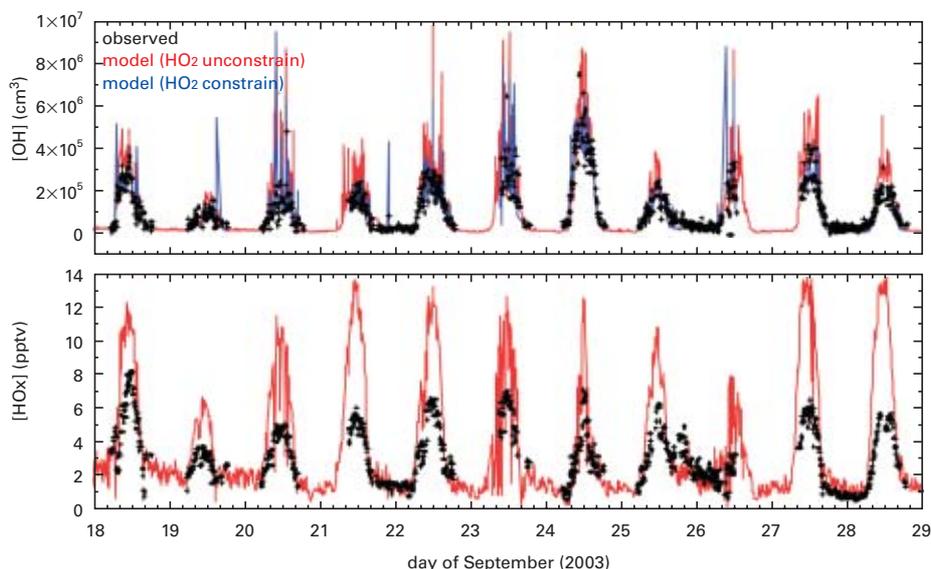


図15 観測されたOHとHOx(= OH + HO₂濃度)(+)と、モデルによってシミュレートされた濃度(赤線)との比較。HO₂濃度を観測値に拘束した場合のOH濃度を青線で示す。

常年である2000-2001年と比較して、2002-2003年の期間には2002年9月及び2003年8月に極大を持つCOの偏差が全ての観測において見られた。簡単なボックスモデルを用いて見積もった結果、CO放出の偏差は2002年に98 Tg、2003年には142 Tgとなり、1996年及び1998年の偏差に匹敵することが分かった。これらの大気中COの増加は、北方林の森林火災によってもたらされたものと考えられる。

(i) エミッションインベントリー・サブグループ

中国における1995年、2000年の燃焼起源SO₂、NO_x、CO、BC、OCその他の化学種の放出量の推定を行った。SO₂、NO_x、CO、BC、OCの2000年の放出量はそれぞれ20.8、10.7、70.5、0.88、2.8 Tgと見積もられた。我々の推定結果は一般にRAINS-ASIAやStreetsらによるこの地域に対する推定結果と良く一致している。しかし全球インベントリーEDGARとは特にSO₂について、かなり大きな不一致が見られた。この不一致の原因は、排出係数(燃料中の硫黄含有量)及び排出規制効果の見積りの差によるものと考えられる。

土壌からのNO_x放出量の野外測定データに基づき、土壌有機炭素(SOC)含有量、土壌pH、土地被覆タイプ、気候、窒素供給量などのNO_x放出量への影響を記述する非線形混合モデルを開発した。このモデルを用いた統計的な推定結果によると、NO_x放出量はSOC含有量と正の相関、土壌pHと負の相関があることが分かった。乾燥地域及び温帯の土壌は寒帯及び熱帯の土壌からのNO_x放出ポテンシャルが大きい。農地及びサバンナ土壌は、湿地及び森林土壌と対照的にNO_x放出量が大きい。全球での土壌からの年間NO_x放出量は6.88 Tg Nと推定され、キャノピーの上では4.79 Tg Nに減少する。工業化以前(1900年)の全球土壌起源のNO_x放出量(キャノピーの上)は土地利用変化、窒素供給量変化からは3.17 Tg N yr⁻¹と推定されるが、土壌の酸性度の変化をも考慮するとこの値は2 Tg N yr⁻¹まで減少しうる。1995年の0.5度メッシュでの年間NO_x放出量(キャノピーの上)のマッピングがなされた。

南アジア・東南アジア・東アジアにおける家畜からのNH₃、N₂O、CH₄の放出データベースを1995年から2000年にアップデートした。2000年におけるこれらの放出量は4.7 TgNH₃-N、0.51 TgN₂O-N、and 29.9

TgCH₄と得られた。NH₃とN₂Oの放出量推定にあたっては、アジアのいくつかの家畜に対し地域に特有なN-放出量を考慮した排出係数を適用した。本研究の放出量推定結果は従来の推定に比べてかなり小さな値を与え、このことは従来のアジアからのNH₃及びN₂Oの放出量推定は過大評価されている可能性を示唆している。2000年におけるNH₃、N₂O、CH₄についての0.5度メッシュのグリッドデータを高解像度の土地被覆データセットによる重み付けを用いて作成した。

5) 生態系変動予測研究領域

生態系変動予測研究領域では、生態系の有する機能が温暖化などの地球規模での環境・気候変動にどのような影響を与えているのか、逆に、地球規模での環境・気候変動が生態系にどのような影響を与えるのか、その機構を解明し、モデル化することを目標とする。特に、生態系に関する広域分布パラメータの計測や、系内における物質循環モデルの構築、また、大気と生態系間の相互作用のモデル構築を中心に研究を進める。

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る。

(a) 生態系-大気結合モデル研究グループ

本グループでは全球炭素循環と気候システムの鍵となる大気-生態系間二酸化炭素交換に注目し、モデル開発とその応用を行っている。今年度は、これまで開発してきた陸域生態系モデル(Sim-CYCLE)を、全球、地域、プロット(局所)スケールに適用するようモデルの改良を行った。

(i) 陸域生態系のWUE(Water Use Efficiency)

陸域生態系においては、炭素循環と水循環は密接な関係を有するため、水文情報は炭素循環モデル予測の結果の精度を検証するために有効な情報となる。ここではWUE(水利用効率)を、全球スケールのSim-

CYCLEに適用して調べた。その結果、年間一次生産は $130.2 \times 10^{15} \text{ g C yr}^{-1}$ で地理的多様性を示した(図16a)。蒸発は約 $41.5 \times 10^{15} \text{ kg H}_2\text{O yr}^{-1}$ (図16b)、で生態系における平均WUEは $3.13 \text{ g C}(\text{kg H}_2\text{O})^{-1}$ であった。C₃/C₄比、キャノピー、気孔の違いのためモデルシミュレーションはWUE土地表面の多様な分布(1~10 $\text{g C}(\text{kg H}_2\text{O})^{-1}$)を示した(図16c)。

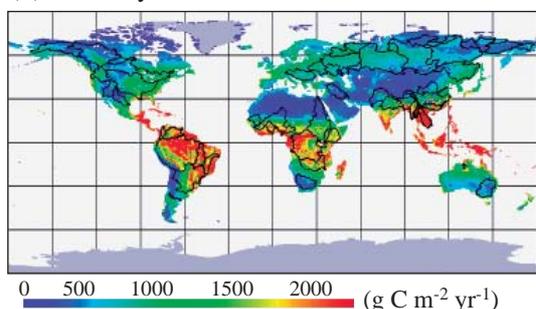
(ii) 東シベリアにおけるバイオマス火災の年変化

炭素循環モデル(Sim-CYCLE)と森林火災現象モデルを結合した炭素循環・火災モデルを開発し、ロシ

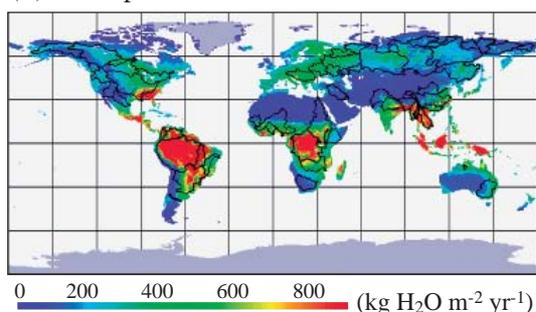
ア、ヤクーツク近郊の火災に頻繁に起こる生態系のカラマツ森林に応用した。モデルは10コンパートメントと格子点ベースの火災発生スキームを持つ。貯蔵燃料とバイオマス火災はこれらの発生を関係づけている。

(iii) フラックス観測地点における生態系二酸化炭素交換
炭素循環を念頭にし、観測で得られた純生態系二酸化炭素フラックスを元にしたプロットスケールのプロセスベースモデルを開発した。モデルは長短期スキームを含む。このモデルを中央日本の高山の寒冷帯落葉広葉樹林に応用した(1998-2000)。渦相関法を用いた短期スキームは純二酸化炭素交換において日周及び季節変化を認めた。

(a) Photosynthesis



(b) Transpiration



(c) WUE(= a/b)

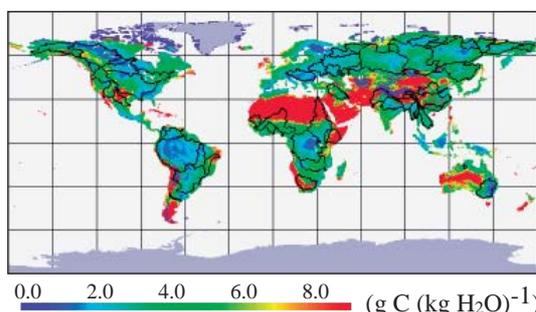


図16 0.5度の空間分解能全球モデル(Sim-CYCLE)のシミュレーション結果。(a)光合成炭素同化量 (b)蒸散による水分ロス (c)水利用効率(WUE: 光合成炭素同化量/水分ロス)

(b) 生態系アーキテクチャモデルグループ

本グループでは、陸域最大の有機炭素のプールである森林システムの気候環境変化への応答の長期予測を行う。このために、3-D生態系アーキテクチャを開発し、また、多様なスケールでの生態系プロセスモデルを構築する。

(i) Pipe-Tree シミュレーター

シュートスケールの生理学的プロセスベースモデルを改良し、特に、今年度は根系の機能を明らかにし、モデル化した。根系は有機炭素の貯蔵機能、水・有機物の吸収機能、植物体の固定機能を有する。本研究では、植物の有する水ポテンシャルを推定するモデルを作成した。

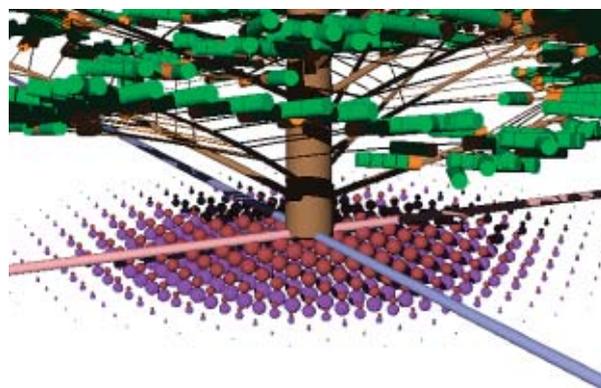


図17 Pipe Treeシミュレーターにおける根茎の空間的分布。根体積は活発に吸収する短命の根と錨の役割をする長命の根に分けている。

(ii) スタンド(立木)レベルモデル

森林システムの暴風雨や干ばつなどの攪乱に対するスタンドレベルの応答を、パーマネントプロット(長期実験区)における調査データ(センサデータ)をもとにパラメータ化した。調査では森林は熱帯泥炭森林や冷帯サブアルペン針葉樹林を対象とした。

攪乱が介在する森林構造は、天候や地形要因だけでなく、過去に受けた攪乱そのものの頻度や激しさにも影響されている可能性が示された。ボルネオ島インドネシアの中央カリマンタンにある淡水泥炭湿地林では、1997-98年の厳しい干ばつとその後の1998-2000年の期間で、樹木の生存は起伏のある微地形の影響を受けて異なっていた。また、知床半島の針葉樹林では、暴風と地滑りによる攪乱の頻度と激しさにより、森林景観もやがて変化することが、我々の植生動態モデルにより明らかになった。これらの結果から、干ばつ、暴風雨、地滑りなどの自然攪乱は、生態系の発達過程や個体群動態に大きく影響していることが示された。

(iii) 動態全球植生モデルの構築

本研究では、陸上生態系の機能(炭素や水の循環など)や構造(植生の分布や構成など)における短期的・長期的変化を予測するために、全球動態植生モデル(DGVM)を開発している。これは、異なる計算間隔を有する複数の素過程モジュールを結合したものであり、幾つかのモジュールを環境条件の関数とすることで、生態系の環境応答をシミュレートできるようにしたものである。このモデルの基本的なデザインは、陸域炭素循環モデルSim-CYCLEに、LPJ-DGVMの植生動態コンポーネントを組み合わせたものであるが、さらに林分の空間構造を明示的に組み込み、木本を個体ベースで扱うという野心的な拡張を行った(図17)。これらの拡張によって、森林ギャップの再生過程や樹木個体間の競争過程が的確に表現され、植生動態に伴う炭素収支変化や、気候変動に伴った植生分布変動の速度などを、これまで構築されてきたどのDGVMよりも正確に予測できることが期待される平成15年度中までに、一林分の計算を行うプログラムコードの開発がほぼ完了し、現在このプログラムによる試行計算を繰り返す事で、諸パラメーターの推定作業を行っている。

(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は、従来のデータと共に衛星観測データを使い陸域生態系と気候システムの関係进行分析、モデル化することを目標とする。2003年度は、1) PARと陸域炭素循環の衛星ベースのモデリング、2) 衛星データの生態系過程モデルへのリンク、3) 北アジアにおける植生-気候関係と水文生態系に焦点を合わせた。

(i) 陸域炭素循環のための光合成有効放射(PAR) 観察

本研究は全球レベルPARをモデル化するための新しい衛星ベースの観測手法を開発することを目的とする。*in situ* PARデータの解析はPAR散乱への雲の影響の理解をもたらした。この結果のキャノピー光合成モデルへの応用は陸域の第一次生産の正確なモデリングのためには雲による散乱のPARのスペクトル変化を組み込む事の必要を示した。

さらに、南アメリカのアマゾン熱帯雨林での全球及び拡散PARの地理的・時間的・多様性を調べた。拡散PARの減少は過去何十年間の被雲率が低下してきているという報告と合致し、アマゾン河域での光合成や二酸化炭素吸収の低下の可能性を示した。これらの結果は放射の変化の陸域炭素循環への影響をより詳しく調べることの必要を示した。

(ii) リモートセンシング衛星データを生態系プロセスモデルにリンクさせる

本研究では、陸域生態系モデルの高度化に向けて、衛星により観測される植生パラメータを生態系モデルに同化する手法を開発することを目的とする。本年度では、MODISより推定された葉面積指数(LAI)データSimCYCLEに同化するためのナッジング(調整)手法を開発した。

(iii) 北方アジアの植生と気候の関係及び環境水文学

広域に渡る植生の経年変動は、蒸散(ET)を通して陸-大気の水収支の変化をもたらすと考えられる。本研究では、北アジア地域について、植生と蒸散(ET)の経年変動の研究を行った。植生については、AVHRR-Path Finderデータセットから植生指数(NDVI)を算出し、ETについては、NCEPによる大気データ(客観解析データ)とCPCからの降雨データを

用いて推定した。1982年から2000年にかけての月ごとの計算を行った(図18)。その結果、植生の季節変動は、その蒸発活動を通して蒸散へかなりの影響を与えていることが示された。

(d) 海洋生物過程モデルグループ

本グループでは地球温暖化予測モデルの精度向上に寄与することを目的として、気候変動が北太平洋の海洋生態系の生産過程に及ぼす影響の評価を行っている。そのために過去約30年間の歴史的資料を解析することで、親潮水域および日本海の海洋生態系の長期変動の実態と気候変動との関係を明らかにした。

(i) 親潮における海洋生態系の数十年スケールのトレンド

北太平洋亜寒帯水域の西端に位置する親潮は地球上で最も生産性の高い水域の一つである。ここでは冬季の鉛直混合によって栄養塩類や鉄が中層から表層へ供給され、春に上部混合層深度が臨界深度よりも浅くなると、豊富な栄養塩類や鉄を利用して植物プランクトンが大増殖する。この植物プランクトン生産はカイアシ類を中心とした動物プランクトンの生産を支えている。我々はこの親潮域の生物生産過程に変化の徴しがあることを明らかにした。まずこの30年間に冬季の鉛直混合が徐々に衰退していることが、中層の溶存酸素量の減少トレンドから明らかになった。その原因として表層の低塩化によって成層化が強まったこ

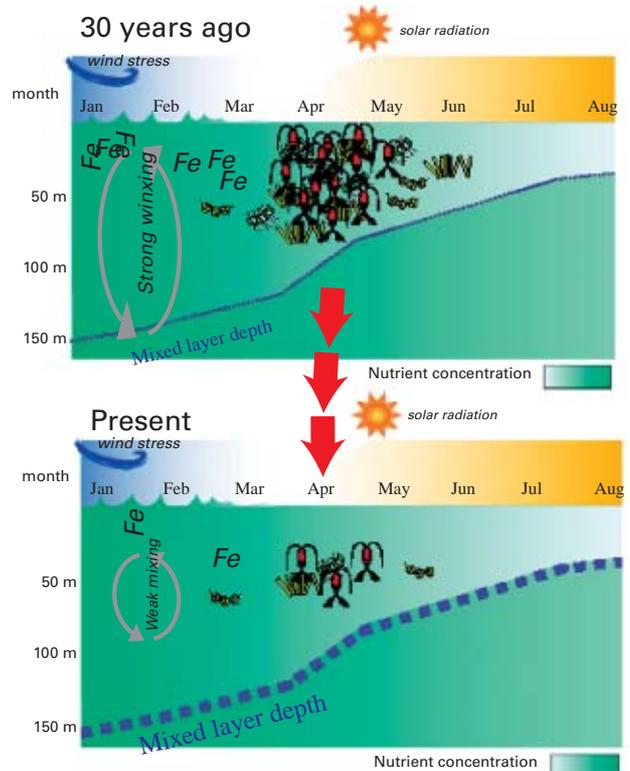


図19 30年前(上)および近年(下)の親潮での生物生産過程の模式図。30年前には活発な冬季鉛直混合によって中層から表層へ鉄が供給され、春には大規模な植物プランクトンのブルームが発生した。さらに、植物プランクトンを餌とする動物プランクトンの現存量も大きい。近年では鉛直混合が弱まり中層から表層への鉄の供給量が減少したことで植物プランクトン生産が減少し、動物プランクトン現存量も減少した。

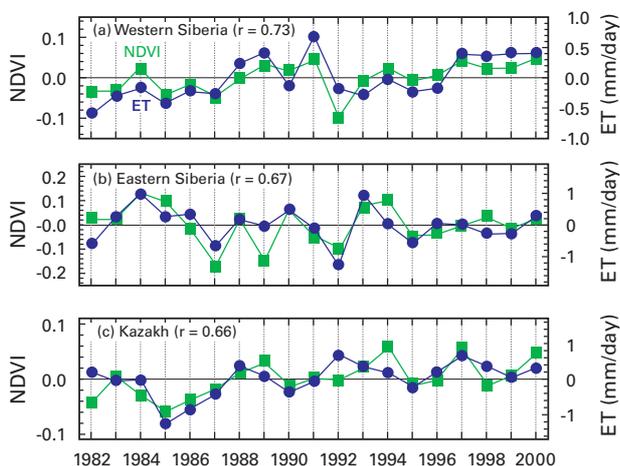


図18 北アジアの3地域(a)西シベリア、(b)東シベリア、(c)カザフでのNDVI及びET異常平均経年変動。相関係数はrで示している。

とが考えられた。さらに春の新生産、植物プランクトン現存量および動物プランクトン現存量についても同様の減少トレンドが見られた。これは鉛直混合が衰退することで中層から表層への鉄の供給量が減少したためと考えられた。

(ii) 日本海における海洋生態系の経年変動の南北比較

本研究は南の対馬暖流域と北の亜寒帯水域を比較することで日本海全域の海洋生態系の経年変動メカニズムを明らかにすることを目的としている。亜寒帯水域では1970年後期以降、対馬暖流域では1980年代前期以降、表層の水温上昇によって成層化が進み上部混合層深度が上昇した。この上部混合層深度の上昇に対応して亜寒帯水域では植物・動物プランクトン現存量が増加し、逆に対馬暖流域では減少した。亜寒帯水域では光量が一次生産量を決めているため上部

混合層深度が上昇したことで光を効率的に利用できるようになり、植物プランクトン生産が増加しさらにその捕食者である動物プランクトンも増加したと考えられた。一方、対馬暖流域では栄養塩量が一次生産量を決めているため、上部混合層深度が上昇したことで利用可能な栄養塩量が減少したことで、植物・動物プランクトンも減少したと考えられた。日本海は、比較的小さな半閉鎖系の海域ではあるが、大洋と同様の特徴を兼ね揃えており、本研究で解明された変動メカニズムは地球規模の海洋生態系の経年変動メカニズムの解明に応用できるものと考えられる。

6) モデル統合化研究領域

本領域の目的は、2002年3月に完成した世界最速の「地球シミュレータ」を利用する「新しい」気候モデル、地球環境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。開発の現在の目標は以下の通りである。

- I) 水平解像度T213鉛直50層のスペクトル大気モデル、水平解像度0.1鉛直50層の海洋モデル、および両者を結合したA-O GCM。目的は海洋を含む渦による長期的地球温暖化実験を行うことである。
- II) 水平格子間隔5 km以下で熱帯雲群およびその他のメソスケール大気システムを表現する大気モデル。同様に、渦解像世界海洋モデルを開発中である。地球を正6面体格子および正20面体格子(ほぼ一様な格子)で覆う座標系を採用する。
- III) 他の領域に協力する現存の気候モデルを基に、雲への大気化学エアロゾル効果や陸面および海洋の炭素循環等の新しい要素を含む地球環境モデルの開発。
- IV) 上記のモデル開発に加えて、本領域では海洋データ同化システムの開発も行う。4次元変分により人工衛星や現場観測データを数値モデルに組み込んだデータ同化システムが開発の目標である。このシステムにより適切な予測をするための現実的な初期状態および海洋循環プロセスを正確に推測するために役立つ再解析データセットを提供することができる。

2003年度に高解像度結合モデルの最初のバージョンが完成し、地球温暖化実験が開始された。そこで、2004年度に本グループは地球温暖化予測研究プログラムに移った。

(a) 大気・海洋結合モデル開発

1999年度以来、本グループは東京大学気候システム研究センター(CCSR)および国立環境研究所(NIES)と協力して、地球シミュレータ(ES)を利用した地球温暖化実験に適用される高解像度大気・海洋結合モデルの開発を行ってきた。もともとCCSRとNIESによって開発された結合AOGCMを基礎として採用し、FRSGCグループが高解像度のモデルを開発した。2002年度および2003年度には、この活動をCCSR、NIESおよびFRSGCの共同研究プロジェクトである共生プロジェクト1のFRSGCの課題(サブテーマ)として行い、IPCC第4次評価報告書への貢献を目指し、ESを利用した世界最高の解像度CGCMによる地球温暖化の数値実験を行った。

2003年度には、本モデルの最終バージョンが完成した。AGCMの解像度はT106/L50で、OGCMの解像度は経度 $1/4^\circ \times$ 緯度 $1/6^\circ$ でL46である。OGCMの球座標の極はグリーンランドと南極大陸上に位置するように調整した。

本モデルの最終調整と並行して、モデルの性能を調べるとともに、いくつかの興味深い現象のメカニズムを調べるために様々なテスト計算を行った。その中で、二つの興味深い結果について、以下に報告する。

一つ目は、赤道波モードおよび季節内変動のAGCMでの再現である。最近、対流活動と結合した赤道波モードが熱帯域におけるOLRの時空間変動内で検知された(Takayabu, 1944; Wheeler, 1999)。同じ解析方法を所定のSSTを与えた大気循環モデル(GCM)の数値実験結果に適用した。

図20は、赤道対称成分(上段パネル)および赤道反対称成分(下段パネル)について、OLR変動のスペクトル強度を東西波数(横軸)および周波数(縦軸)の相関関数として示したものである。図20において、(a)と(e)は観測されたOLR変動の東西波数-周波数スペクトルである。(b)と(f)は(a)と(e)と同様の東西波数-周波数スペクトルであるが、T106での結果を示す。また、

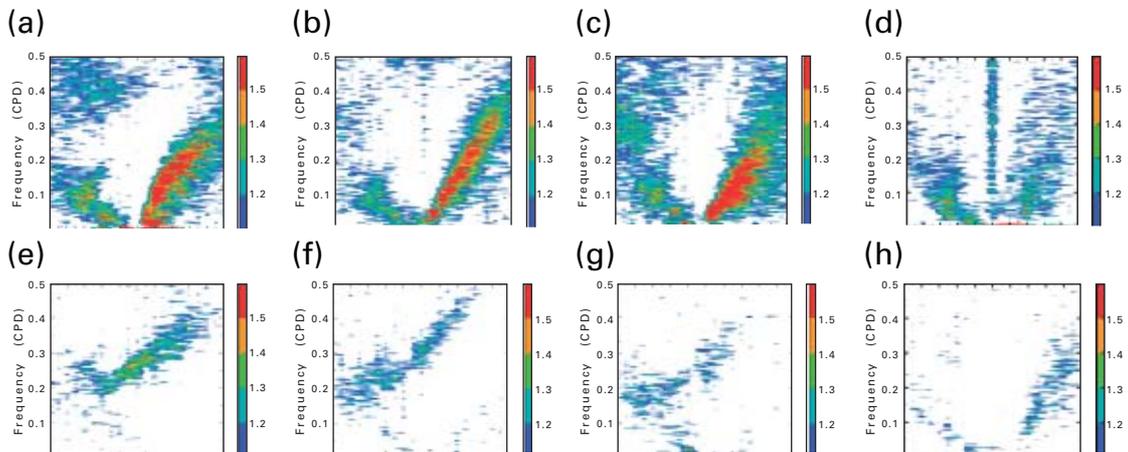


図20 日単位OLR放射の時空スペクトル。東西波数を横軸に、周波数を縦軸にとっている。(a)から(d)は赤道対称成分のスペクトル、(e)から(h)は赤道反対称成分のスペクトルである。詳細については本文参照。

同様に(c)と(g)はT42での結果である。(d)と(h)はT106による、対流発生を抑制する働きをするトリガー効果がない場合の結果である。強度を含めて、東方や西方に動く赤道波の分散関係がT106とT42のモデルによって十分再現されているように見えるが、対流パラメタリゼーションでトリガーを取り除いた場合((d)と(h))、パワー強度は他のケースと比較して著しく弱くなる。トリガー制御がなければ対流は容易に発生し、他のケースあるいは観測と同様に、より大規模な状態(赤道波)が対流の発生を調節することはないという事実が示唆されている。波・対流結合の現実的なシミュレーションを行うためにトリガー制御が必要であるという推測を裏付ける結果となった。

二つ目の興味深い結果は、ハワイの島陰による反流がCGCMで再現されたことである。Xie et al.(2003)の研究報告によると、ハワイ諸島の風下では、東風(貿易風)の存在により、収束風とそれに伴う上昇気流(雲バンド)の細い帯が生じ、その結果、大気と海洋の間の特有の結合メカニズムにより海面水温の上昇と共に細い東向き海流が生じる。このシステムがハワイ諸島から3,000 kmにわたって広がる(図21(a)参照)。

Xie et al.は、観測データからこの現象を示し、大気または海洋モデルのいずれかを使用して、一方にシステムの構造をあらかじめ与え、他方にそれを強制として渡すことによって発生のメカニズムを検討した。

高解像度(約20 km)の海洋成分による我々の結合AOGCMでは、大気と海洋の結合メカニズムが自動的に働き、その結果、図21(b)に見られるように、ハワイ

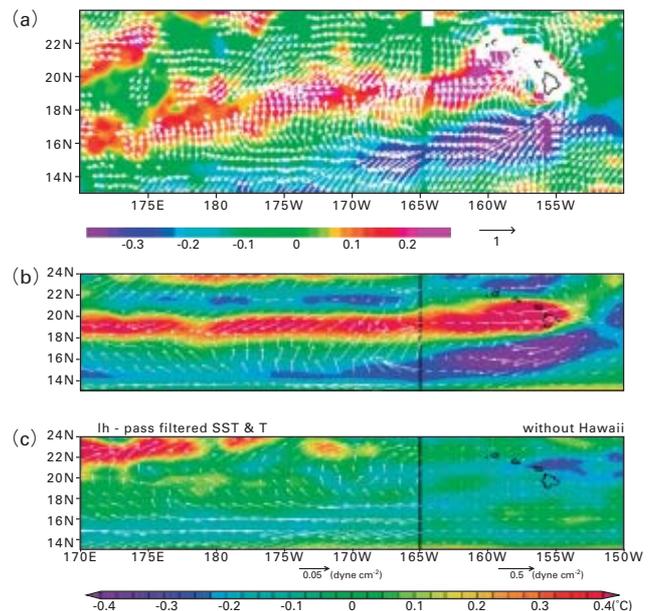


図21 ハワイの島陰海流システムを示す SST 分布および海面付近の風。(a)観測結果 (b)シミュレーション (c)ハワイ諸島を取り除いたシミュレーション

の島陰海流システムが自然に形成された。対照実験として、ハワイ諸島を取り除いた場合のもう一つのシミュレーションを行った。この場合には、図21(c)に見られるように島陰のシステムは完全に消えている。

(b) 次世代大気・海洋モデル開発

(i) 次世代大気モデリンググループ

①目的

本プロジェクト目的は超高解像度の気候大循環モデルを開発することである。地球シミュレータを用いて水平方向に数キロメートルの格子間隔をもつ全球モデル

を開発する予定である。このような高解像度では積雲に伴う運動をあらわに計算する必要がある。この目的のため、本グループでは地球シミュレータ上で効率のよい準一様格子に基づく新しいモデルを開発している。

② 全球雲解像モデルの開発

昨年度までの段階で新しい大気モデルの力学コアを開発した。このモデルは非静力学方程式系を支配方程式とし、正20面体格子を採用している(図22)。われわれはこのモデルを非静力学正20面体格子モデル(Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model; NICAM)と呼んでいる。2003年度の主たる目標は、地球シミュレータを用いてNICAMの力学コアを3.5 km格子間隔で走らせ、NICAMの計算効率の向上を図ることと、さまざまな物理過程を導入して全球雲解像計算の準備を行うことである。

Polvani et al.によって提唱された温帯低気圧のライフサイクル実験を力学コアを用いて行った。この実験は約10日程度の積分時間を必要とする初期値問題的なテストケースであり、高解像度計算に適切な実験である。異なる水平解像度120, 60, 30, 14, 7, 3.5 kmを用いて実験を行った。図23は3.5 km格子間隔の実験結果である: 10日目の地表付近の温度分布を示す。低気圧の発達に伴って非常に温度勾配の急な前線の生成がみられる。格子間隔が小さくなるに従い低気圧の微細構造がより顕著になる。また鉛直速度の最大値は分解能が細くなるほど大きくなることが分かったが、この実験では非静力学効果は顕著ではない(図は省略)。

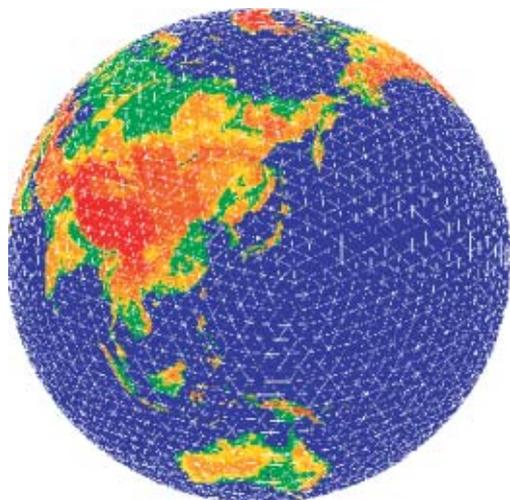


図22 正20面体格子

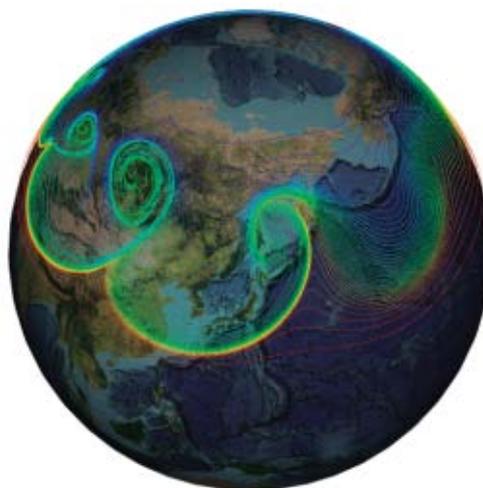


図23 3.5 km格子間隔での温帯低気圧のライフサイクル実験。10日目の地表付近温度の全球分布。

もう一つのケースとして、湿潤過程を伴う統計的平衡状態のテスト実験を行った。すなわち一様海面条件における放射対流平衡の直接計算である。この実験は全球モデルの気候感度を調べるための第一ステップと位置づけられる。積分時間はまだ5日と短い、平均温度は265K、加降水量約40 kg/m²であった。これらの値は熱帯の典型値よりも若干小さい。おそらく違いは全球熱帯条件としたことでハドレー循環やウォーカー循環に伴う大規模上昇流を考慮していないことによるものと思われる。以上の準備計算には特段の問題はないと思われるので、われわれは、地球サイズの条件で、積雲の運動と大規模循環が共存する全球雲解像実験を行う準備ができたことになる。

(ii) 次世代海洋モデルグループ

高い計算性能と物理パフォーマンスを持つ海洋大循環モデルの開発を目指している。このプロジェクトの目的は中規模渦の役割を地球規模で研究するための高性能渦解像海洋モデルを開発することである。今年度は、昨年度に開発した浅水波モデルを発展させて3次元の力学コアの開発した。これと平行して既存の海洋モデルを使用して南大洋における中規模渦の物理的役割を研究した。

高い計算性能を実現するために開発中の次世代海洋モデルでは準一様格子である立方体格子を採用することにした。この格子では従来の緯度経度格子系にみられるような極付近への格子の集中がなく、時間積

分での時間ステップ幅が大きく取れ、高い計算効率が期待できる。また基本的に四角形の構造なので従来の海洋モデルで用いられてきた計算手法を容易に導入できる。さらに、この格子は構造格子なので、地球シミュレーター上で高速に実行するためのベクトル化、並列化が容易にできる利点がある。昨年度は立方体格子系で海洋モデルが開発できることを検証するために、この格子を用いた浅水波モデルを開発、評価し、良好な結果を得ることができた。今年度は、この浅水波モデルを発展させ、3次元力学コアを開発した。時間積分法としてバロトロピックとバロクリニック方程式の時間積分法を分離するスプリット陽解法を用いた。バロトロピック方程式はフォワード・バックワード時間積分法を、またバロクリニック方程式に関してはリープ・フロッグ時間積分法を用いた。地衡流平衡を正確に表現するために荒川Bグリッドを採用した。鉛直座標については σ -zハイブリッド座標系を採用した。図24に開発した3次元力学コアを用いて計算した海面高度を示した。この計算における格子間隔は約100 kmである。

これらの開発と平行して既存の海洋モデルを使用して南大洋の南極周極流における中規模渦の物理的役割を研究した。海洋モデルは東大気候システムセンターで開発されたCOCOを用いた。図25に渦による海水輸送を子午面循環で示した。この計算では経度1/8度、緯度1/12度の解像度を用いた。

来年度は開発した力学コアの計算性能と物理パフォーマンスを評価するとともに、中規模渦の力学の研究も引き続き行う予定である。

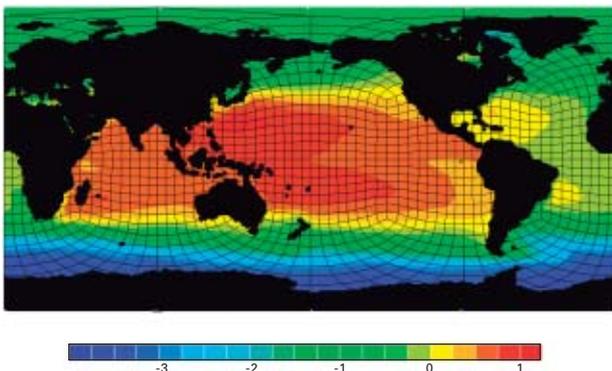


図24 1000年間積分した後の海面水位の分布 (m)。使用したグリッド幅は約100 kmでモデルはHellerman、Rosensteinの風応力とLevitusの海面気候値でスピン・アップした。

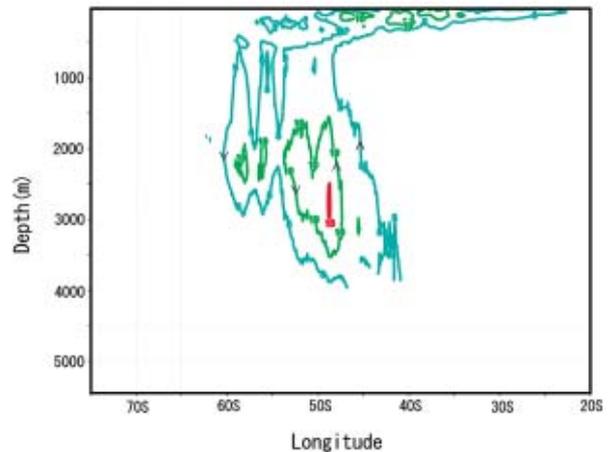


図25 渦子午面循環 (Sv)

(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、CO₂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 III) 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。地球フロンティア研究システムは、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

(i) 1996年～2002年の海洋大循環の力学的状態の解析の改善

気候変動に関するより大きな情報と予測能力を提供する目的で、我々の4次元変分法(4D-VAR)結合データ同化(DA)システムの海洋成分を1996年～2002年の再解析実験に適用した。この実験では、全観測データ(水温、塩分、海面高さ偏差データ、最近のARGOフロートデータ)を海洋大循環モデル(OGCM)に同化した。我々のOGCMが4D-VARアジョイントモデルを使用するための優れたプラットフォームであることはすでに立証されている。OGCMの水平解像度は、鉛直36層、経度、緯度はともに1度である。

観測データおよびモデルの最適な組み合わせによって、モデル単独、あるいはデータ単独に比べて、季節内、年々の気候変動に関してより大量の情報や予測ポテンシャルを提供できる力学的に整合性のあるデータベースが作られる。例えば、図26は1996年から1999年間の太平洋赤道域沿いの海面水温(SST)の時系列を示している。観測、シミュレーションおよび同化のそれぞれの結果の中から図を比較すると、1997/1998年に発生した20世紀最大のエルニーニョ現象が4次元変分法データ同化システムによってよりよく再現されていることがわかる。

さらに、1996年から1998年間のニーニョ3 SSTの時間変化について、観測と同化の間の誤差は0.69 Kであり、シミュレーションの場合との差は1.60 Kである。このように同化によるニーニョ3 SSTの変化の再現性の向上は、我々のこの地域の気候変動に関するデータセットの有効性に自信を与えるものである。

(ii) 海面下循環の表現に関するARGOフロートデータの効果

前記の再解析データセットを利用して、ARGOフロートから取り出される海面下データの効果を調べた。海洋全体を対象とするために最近導入されたARGOフロートは、従来の方法よりも質の高い海面下の情報を提供することを目的としたものである。従って、その詳細な評価が必要である。

我々の再解析データセットは現実的な海面下の水塊分布を示している。例えば、海面下の塩分が極小という特徴をもつ北太平洋中層水の再現に成功している。海洋循環の改善に関するARGOデータの重要な効果を示すもう一つの証拠は、図27に示されるように、ジャイア間プロセスの精度向上が特に北大西洋とベーリング海において目覚ましいことである。これらの結果は、ARGO海面下データの同化によってモデルの力学を通して海洋の状況をより明らかにすることができることを示唆している。

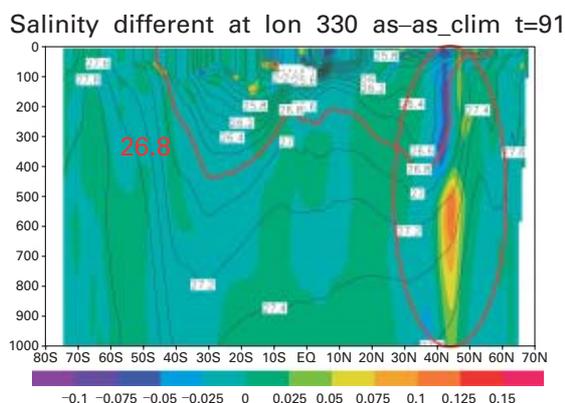


図27 海洋循環の改善に対するARGO海面下観測の効果(30Wに沿った垂直断面)。色の濃淡はARGOデータを加えた同化実験結果とARGOデータを加えない同化実験結果との塩分差を示す。

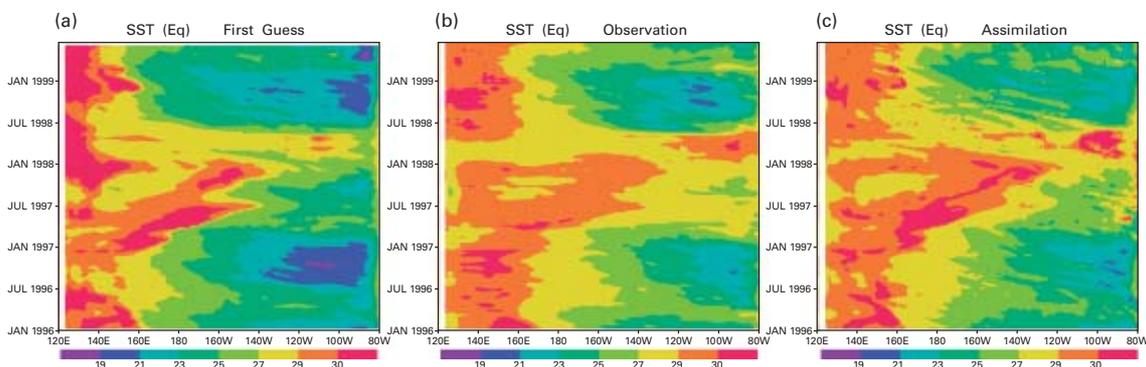


図26 1996年1月から1999年6月までの太平洋赤道域沿いの海面水温。(a)シミュレーション (b)観測 (c)同化

7) 国際太平洋研究センター(International Pacific Research Center)

ハワイ大学にある国際太平洋研究センター(IPRC)の地球フロンティア研究システムに関連するプログラムはIPRCの研究活動全体に統合されている。IPRCは「地球的展望に立った日米のコモン・アジェンダ」に基づき発案された気候研究センターである。またIPRCは、日本及び米国の研究機関からの資金を受け、JAMSTECとハワイ大学の協定に基づき運営されている。IPRCでの研究はアジア太平洋の気候に影響を及ぼす大気海洋プロセス(必要に応じ陸域プロセスも考慮)とグローバルな気候変動に焦点を当てた四つの課題に分けられている。IPRCにおける研究では様々な種類の時間空間スケールをもったデータセットを多方面で利用するため、2001年、IPRCの一部として、アジア太平洋データ研究センター(APDRC)が設立された。以下の要約はIPRCの各研究課題とAPDRCの過去の成果のいくつか(全てではない)に焦点を当てて述べたものである。2003年度においては、IPRCの研究員が投稿した論文で、査読付き学術雑誌で発表されたものが66あり、更に31の論文が採用されて印刷待ちの状態にある。更なる詳細はIPRC発行の年2回のニュースレターと年報、そしてIPRCウェブサイト(<http://iprc.soest.Hawaii.edu>)を参照していただきたい。

(a) インド洋・太平洋地域の気候(Indo-Pacific Climate)

この課題では、海洋が気候と気候変動に果たす役割を研究している。この研究プロジェクトは、「海洋プロセス」、「大気-海洋相互作用」、「気候変動」の3分野に大別されている。今年の「大気-海洋相互作用」の研究では、大気-海洋相互作用に果たす山岳の役割が継続して研究された。広く知られてはいながらも説明がつかない現象の一つに、東部熱帯太平洋の熱帯収束帯(Intertropical Convergence Zone: ITCZ)が北半球の冬の間に太平洋暖水域の南端に移動するという現象がある。IPRC領域モデル(IPRC Regional Model: IPRC-RegCM)を利用した研究では、この現象は貿易風の妨げとなっている中央アメリカ山脈の存在に起因するものと考えられている。すなわち、太平洋側(風下側)に下降風と乾燥状態を引き起こしている。この地域での夏季間の衛星データの解析から、この山脈の谷を通過する強いジェット風がSSTを強く低下させていることが明らかになった(図28)。そのような海洋の応答の一つであるコスタリカドーム(Costa Rica Dome)は、逐次大気に影響を及ぼし、夏季のITCZに明瞭な、しかし明らかに記述されてこなかった穴をあける。他の研究機関の共同研究者と共に、南シナ海及びアラビア海における大気、海洋及び山脈間の同様の相互作用についても注目しているところである。

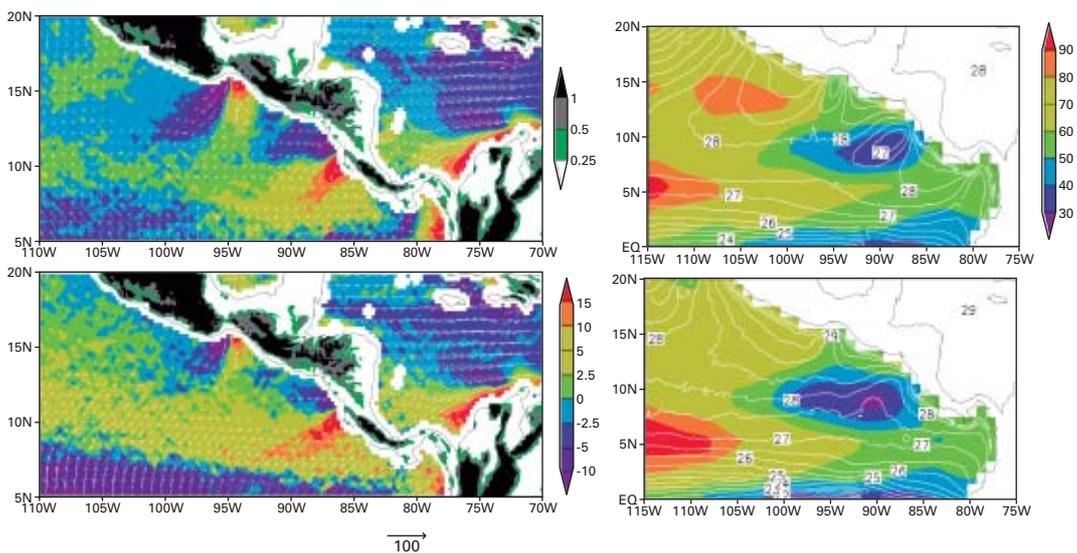


図28 左: QuickSCATによる擬風応力(m^2s^{-2} :ベクトル表示)とエクマンポンピング速度($10^{-6}m/s$:陰影部分)の年平均気候値(上段)と7-10月平均(下段)。陸地山脈の標高はカラー陰影でkm単位で表示されている。右: SST気候値(等値線間隔 $0.5^{\circ}C$)及び $20^{\circ}C$ 等温線深度(m :カラー表示)、年平均(上段)と7-10月平均(下段)

またもう一つの研究では、全球40°Sから40°Nの範囲で、海洋前線付近での大気-海洋パターンが、大規模な場で頻繁に観測されるSSTと風速の負の相関関係とは逆の正の相関関係によって特徴づけられることを報告した。その基本的プロセスは、暖かいSSTが大気境界層を不安定化し、そのために生じる垂直混合によって地表風を強めているものであると考えられる。赤道前線及び東部太平洋赤道域の赤道不安定波におけるこの大気-海洋相互作用のモデル研究は、気圧変化もこの調整機構に影響を与えていることを明らかにした。

「気候変動」の研究では、インド洋での季節間SSTの変動と、インド洋ダイポール (Indian Ocean Dipole: IOD) の気候インパクト、そして太平洋10年規模変動のプロセスについて研究した。IODに関する研究では、例えば、ウォーカー循環 (IODの東西SST勾配に伴う) と東インド洋に起源をもつ定在的ロスビー波列の変化の結果、遠隔地である南北両半球の亜熱帯地域の陸地気温が影響を受けていることなどが示唆された。大気モデル実験からはIODとエルニーニョがインドモンスーン降水量に異なる影響を及ぼしていることが示された。冷たい東インド洋はインドの降水を増加させるが、一方でエルニーニョは干ばつをもたらす。それゆえ、IOD発生数の増加から最近の、ENSOとモンスーンの低い相関関係を説明することができると考えられる。

「海洋プロセス」の研究においては、海洋混合、地域的な海洋の影響に加え、表層流、熱及び塩分輸送の力学、駆動力や変動特性を考慮した。

(b) 領域的な海洋の影響 (Regional Ocean Influence)

この課題における研究では、アジア周辺の沿岸域や、親潮、黒潮、低緯度西岸境界流、インドネシア通過流に注目している。これらの循環は、大気海洋相互作用や、水質混合、熱塩輸送を通してアジアや日本の気候に影響を与えることが知られている。この課題では、これらの海洋輸送経路について記述し、それを維持しているプロセスやその変動要因を理解し、アジア-太平洋の気候への影響を明らかにすることを目指している。

「低緯度西岸境界流」に関しては、今年度は西岸境界流の変動と南シナ海との関連に注目した。観測結果及び地球シミュレータ海洋モデル (OFES) などのモデルシミュレーション、これに四次元変数データ同化技術の活

用をあわせて総合的に解析した結果、そのような関連はルソン海峡を通る輸送を通して存在することが示された。ルソン海峡を通過して入る水塊は、5-7ヶ月後にベトナム東方の低気圧性循環の表面に浮上してくる。この輸送はENSOによって強く影響されており、エルニーニョの期間に最大 (ラニーニャの期間に最小) の強さに近づき、また、東シナ海へ太平洋の状態が伝搬することに決定的役割を果たしているようである。

「黒潮蛇行」に関しては、黒潮経路上における高周波の風のインパクトが、四国沖の再循環環流内での高気圧性渦の非線形応答によるものであることを明らかにした。これは先行研究とも矛盾しない。高周波であり且つ高い波数をもった風は、局地的エクマンポンピングによってその渦の温度躍層の深さを変化させているようである。別のプロジェクトの、亜熱帯北太平洋循環の長期的海洋観測データの解析では三つの表層下のフロントは、そのフロントの北側の低いポテンシャル渦度をもった水塊によるものであることを示した。

気候研究に供するための「海洋変数の、高度化されたデータセットの作成」は、この課題の研究の非常に重要な部分である。流れ場の微細構造を把握するのに十分な高解像度を持つ、平均表層流及び海面水位統合データセットの整備に関しては、誤差を含んだジオイドによって悩まされ続けられていた。今年、ジオイドの見積もりが大きく改良されたNASA GRACEのデータを採用した。図29にそのデータセットからの幾つかの例を示す。流れの場の詳細な構造は10年平均場でも見られている。実際、北大西洋のアゾレス海流のようないくつかのジェットはこれまでこの様に明らかに示されることはなかった。南大西洋海流の分岐にあるような他のジェットは、これまで考えられていたような経路とは一致していない。今後は、海洋表層の力学の研究及びOFESのような高解像度海洋モデルの結果との比較に、この新しいデータセットを活用していく。

(c) アジア-オーストラリア モンスーン システム (Asian-Australian Monsoon System)

この課題下での研究は、アジア-オーストラリア モンスーン システムの気候変動と予測可能性に関するプロセスの理解を目指している。

「マッデン・ジュリアン振動 (MJO)」と「モンスーン季節

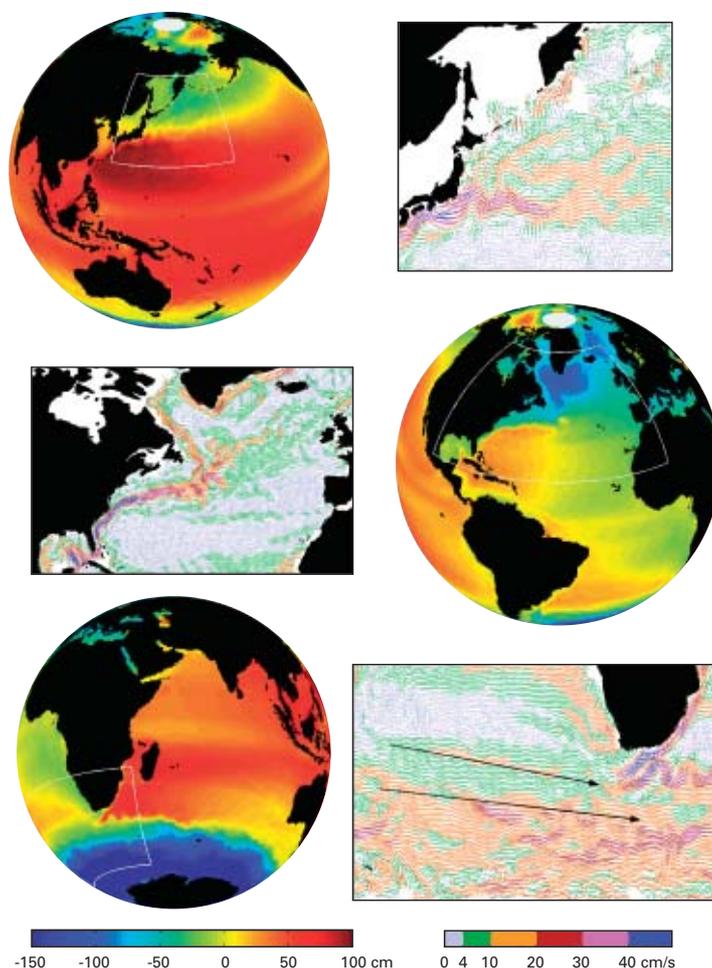


図29 1992-2002年の合成平均海面高度(全球表示)と三つの強い西岸境界流の平均表面流速(四角表示):それぞれ黒潮、メキシコ湾流及びアガラス海流。黒い矢印は南大西洋海流の分岐を示している。色分けされた速度ベクトルはその大きさに比例し、漂流ブイデータが適用された所だけが表示されている。

内振動(Monsoon Intraseasonal Oscillation: ISO)」における海洋-大気相互作用の役割の理解にかなりの進展が見られた。理論モデルがMJOの主な特性をうまくシミュレートすることができ、地表面での熱交換、自由対流圏の波動及び凝結による加熱につながる境界層内での摩擦に起因する水蒸気収束の重要性を提示した。IPRCで開発したハイブリッド結合モデルを用いた一連の実験によって、夏季のISOの現実的な降水シミュレーションには、大気-海洋結合が必要であることが示された。さらに、一般的な大気GCMにおいても、より良い対流スキームを採用することでISOシミュレーションが改善された。第三の研究では、インド、インドシナ、南シナの各海洋における夏季のISOは別々のものではなく、強く相互作用していることが明らかになった。

亜熱帯東部太平洋のような地域での「層積雲」の気候的な重要性にもかかわらず、これらの雲はほとんどの全球大気GCMにおいて十分に示されておらず、この不足がその地域の大気及びSSTの状態を現実的にシミュレート出来ない原因と考えられる。今年、IPRC-RegCMはこの薄い雲の層と気温逆転層による蓋を維持する複雑な物理過程とフィードバック機構を表現する事に成功した。これは気候モデルを改良へと向かわせるものである。

西太平洋の「熱帯低気圧」の研究では、高解像度衛星データの中で、二つの形成過程を立証することができた。すなわち、前の熱帯低気圧のエネルギー分散によって誘起されるロスビー波列及び西寄りのモンスーンと東寄りの貿易風が出会う地域における偏東風波動

によるエネルギー蓄積である。三次元低気圧モデルでこれら二つの形成過程をシミュレートすることも可能であることから、熱帯低気圧形成に関する物理機構について深い理解ができたものと考えられる。この発見は熱帯低気圧の予測に関連している。

「陸面の荒廃」はその上の大気を変え、その結果地域気候に影響を及ぼす可能性がある。砂漠化と森林伐採について研究を行っているのはそれゆえである。砂漠化した土地に森や草を再移植している中国の取り組みがうまく行っているのは、降雨の増大、特にその発生数の増大による。大規模な植生回復の効果を調査するモデル研究において、植生の増大は地表面の総放射量の増大、地表面から大気への総熱フラックス、試験地域上での上昇流及び大気中の水蒸気を増大させることが分かった。しかしながら、降雨はその回数ではなく、主に降雨強度が増大した。これは灌漑なしでは、これらの地域で植物を生育させるための地表面を保持することが困難であることを示している。

(d) 地球環境変化の影響 (Impacts of Global Environmental Change)

この課題については地球環境変化とアジア太平洋気候の関係を特定することに重点を置いている。今年のプロジェクトは放射と陸面変化に対する気候の感度の調査、地域的気候変動へのグローバルな影響の研究、及び高解像度の地球大気モデリングの開発を含んでいる。この研究の多くは他の分野のIPRC研究チームやJAMSTECその他の研究者と共同で行われている。

気温変化への「気候の感度」を調査するため、当センターでは太陽放射の変化に対する結合モデルの応答を調べている。NCARのCSM1.4結合モデルを利用し、太陽常数を現在の値から最大45%増まで変化させた。現在の太陽常数の25%増において、モデル気候は不安定となり、温暖化は制御できなくなった(図31)。大気上端の放射フラックスの詳細な診断から、この暴走した気候応答へ主に寄与しているものは低層雲に伴う短波放射に対するアルベードの減少であることが明らかとな

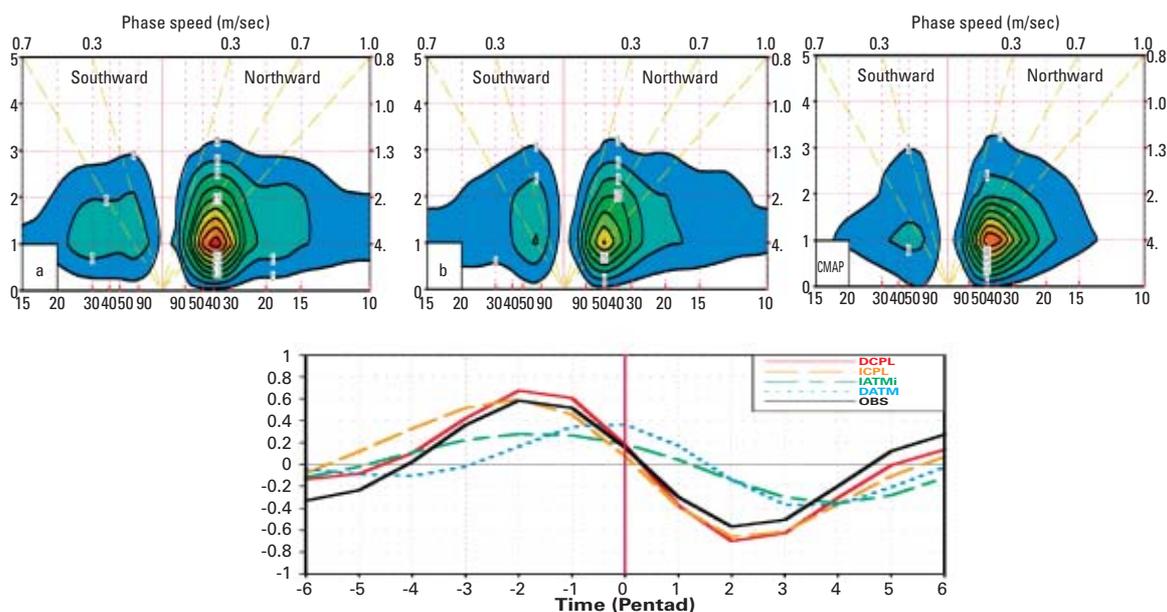


図30 アジア夏季モンスーン湿潤期及び乾燥期の結合モデルシミュレーション結果。上図：波長が1300 km(波数3)から4000 km(波数1)の範囲にあり、10°S-30°Nに伝搬してくる南北波に伴う、65°E-95°E上で平均化した降水量の分散((mm/day)²で表示、等値線間隔3、赤は30、青は3の値である)。(上段左：IPRCハイブリッド海洋大気結合GCM 上段中：結合モデル出力から日毎に特定された海面温度SSTを用いた大気GCM 上段右：CMAPの観測値)。下図：SSTと降水量アノマリーのラグ相関 観測(黒：CMAP降水量/Reynolds_SST)、結合モデルの結果(赤と黄色)、上と同様に特定されたSSTを用いての大気GCMの結果(青と緑)。結合モデルは降雨特性と、SSTと降水量の時間関係の両方を現実に近い形でシミュレートしている。SSTを与えた大気モデルより結合モデルが良い結果を示すことは海洋大気相互作用の重要性を示唆している。

った。現在、NCAR CSM2を用いた長期標準積分と摂動積分の結果と、カナダ気候センターの2つの結合モデルを用いた同様の積分結果との比較を行っている。もう一つの気候感度プロジェクトでは、西太平洋における熱帯低気圧の平均的状态に対する地球温暖化の影響を研究している。具体的には、IPRC-RegCMを使用して温暖化が東部太平洋の熱帯低気圧発生数にどの程度影響を及ぼすかを事前評価している。

「グローバルな影響」の研究においては、冬季の成層圏経年変動及び北半球表面循環の効果を調べるため、全球大気GCMの結果及び観測値を解析している。この研究では1991年の大規模なピナツボ火山の噴火の際の北半球循環の変化をうまくシミュレートすることができた。最近では、熱帯成層圏の準2年振動(Quasi-biennial Oscillation: QBO)についても考察を始めた。季節平均の対流圏循環へのQBOの影響を

シミュレートし、長期観測データとこれらの効果を比較する計画である。

「高解像度大気モデル」の開発に関しては、地球シミュレータセンターの共同研究者が、地球シミュレータ大気モデル(AFES)で様々な解像度での一連のシミュレーションを行った。現在、風と気温の分散スペクトルと、モデルの垂直解像度、水平サブグリッド拡散、水蒸気対流パラメタリゼーションに対するそのスペクトルの依存性を記述するため、その積分結果を共同で解析している。その結果からは、約500 km未満の水平波長をもって実際の大气で観測される浅いメソスケールレジームを含む水平波長の実際のスペクトルをAFESが30年にわたってシミュレートすることができることが示された。現在、より適度な解像度のモデルにおける解像度より小さい規模の現象のパラメタ化への高解像度モデル結果の適用を考察中である。

Maximum local temperature change

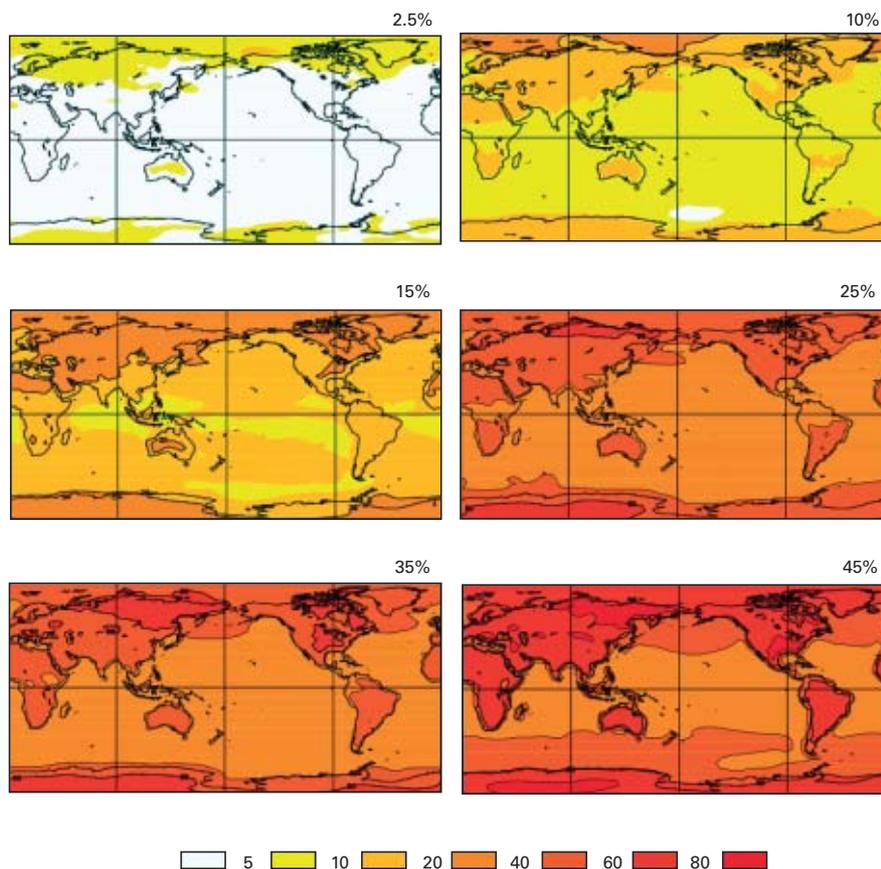


図31 NCAR気候システムモデル バージョン1.4(CSM1.4)で行われた6つの地球温暖化実験における年平均地表面気温の上昇。各実験は現実の値より入射する太陽放射を2.5%、10%、15%、25%、35%、及び45%増加させて行った。単位は°Cである。

(e) アジア太平洋データ研究センター (Asian-Pacific Data-Research Center (APDRC))

APDRCの一つの目的は、気候データの入手を容易にすることである。APDRCでは今年、大規模で高解像度な非常に大きいデータセット(例: OFES)を処理し、提供する能力、また、様々な情報源からの多様なフォーマットを持つデータ(例: 格子及び非格子データ、現場及び衛星観測データ、等)を供給する能力に進展が見られた。

APDRCは次の三つの分野でデータの保有量を増やしている。

1. GrADSの分散型データサーバーによって供給される0.1度の解像度を持ったいくつかのOFESの結果(IPRC内でのみの利用に制限されている)を含む非常に大きな海洋モデルデータセット、及び1/16度のNLOMナウキャスト及び予測ランからの日々の出力値。
2. JAMSTEC Argoデータ、WOCEの現場観測データ、FNMOC/GODAEのプロファイルデータを含んだ現場海洋観測データ。Java Ocean AtlasやHydroBase2、Ocean Data Viewerのような特定の地図を検索したり結果を表示するためのソフトウェアもすべて、現在ではAPDRCで利用可能となっている。
3. アジアでの様々な観測所における現場観測降水量の過去からのデータに加え、降水量の衛星観測値(TRMM, GPCP等)、SST(NOAA)及び電光(LIS)を含む大気データ。時間的に高解像度のECMWFデータ、ERA-40をデータセンター・アーカイブに加えた。

サーバーは現在、直接アクセス、部分データの抽出、比較及びデータ解析を行う能力を有している。例えば、8月の平均SSTとOFESからの上層流速、NLOMからの2003年8月の平均場を、比較目的のために容易にプロットすることができる。

APDRCの研究者は、文部科学省共生プロジェクト(MEXT Kyosei project) 課題7先端的4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(代表: 淡路敏之GL)、及び地球フロンティア研究システムモデル統合化研究領域の活動の一環として、全球の海洋、大気、地表面データの特定と収集、ならびに品質管理と付加価値情報の提供、またデータ解析の提供等によってそのプロジェクトに資する国際的なデー

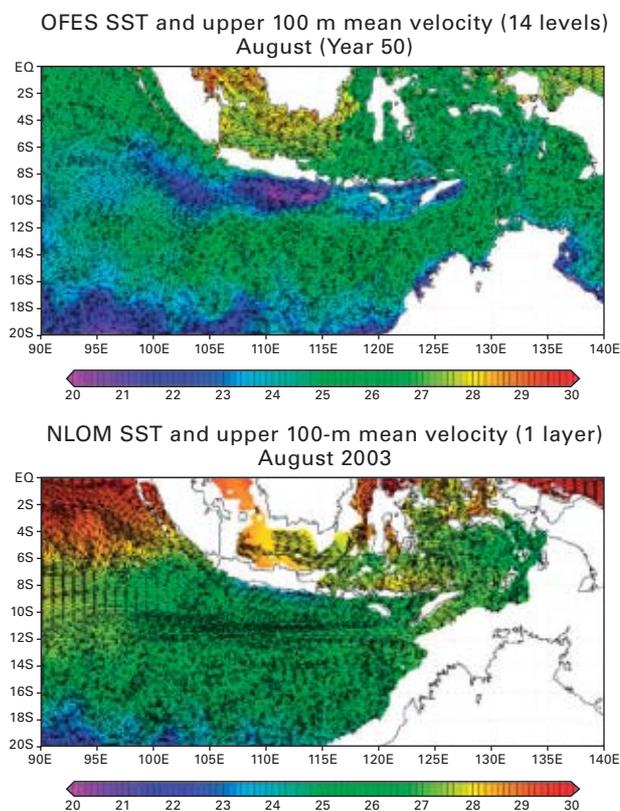


図32 この図はAPDRC GDSを用いて作成され、二つの全球海洋モデルによるインドネシア地域のシミュレーション結果を比較している。両図とも海面から100 mまでの平均流と水温(カラー)を示している。上段はOFESから得られた8月の平均値、下段はNavy Layered Ocean Model (NELM)による2003年8月の結果である。

タネットワークの構築に協力した。とりわけ姉妹サーバーとして横浜にある地球フロンティア研究システムのサーバーを構築する際には、日本のパートナーに技術的な助言を与えている。現在、FRSGC、APDRC、US GODAE Montereyにある各サーバーによる姉妹サーバーシステムは、サーバー間に分散している巨大なデータセットに対してあたかも単一サーバーであるかのようにアクセスできる能力をもっている。

8) 国際北極圏研究センター

(a) 海洋・海水・大気結合システム

(i) 海水・海洋モデル改良・検証

本年度よりモデル研究は、横浜研究所を拠点とする地球シミュレータ・モデル研究グループとIARCを拠点とするモデル研究グループの二本立とし、その連携により進めた。大陸棚上で生成され北極海に拡がって塩

分躍層を形成する高密度水の流動と拡散を表現する理想化したモデルを基にして、その基本的プロセスを理解し、GCMの海底境界層をパラメータ化する基本的シミュレーション実験を実施した。結果の一例をここに示す(図33)。

300 km×300 kmの領域に30 mから330 m水深となる理想化された大陸棚に海水形成時に排出されるブラインを表現するために塩分の導入を30 m水深部に一様に行い、それによって引き起される不安定の発達、渦の発生の様子のプロセスをモデル実験した。その結果、塩分によって引き起される乱流は100日前後で150 km程度の広がりを示し、乱流部に発生する渦の直径は10 km程度であることが判った。

メソスケールの海水運動(特に潮汐)、可塑性に焦点をあて、GPSを用いた観測を実施し、多年氷の内部応力をパラメータ化する。

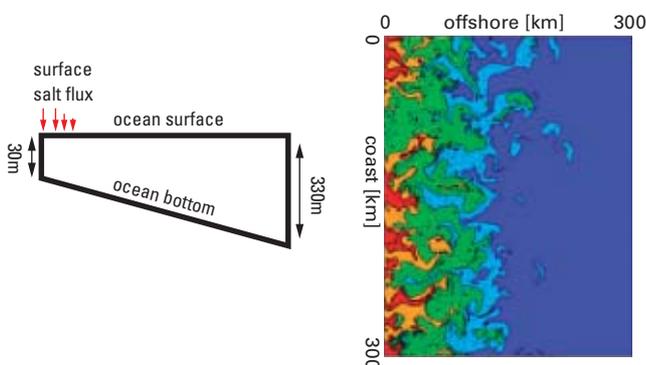


図33 GCMの海底境界層をパラメータ化する基本的シミュレーション実験の結果

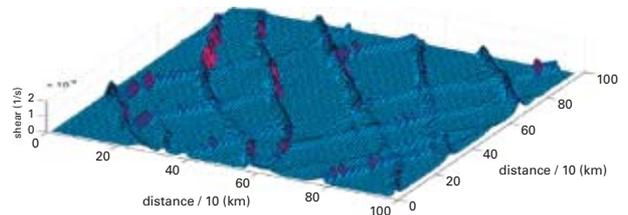


図34 海水原内部シアア発達モデル結果

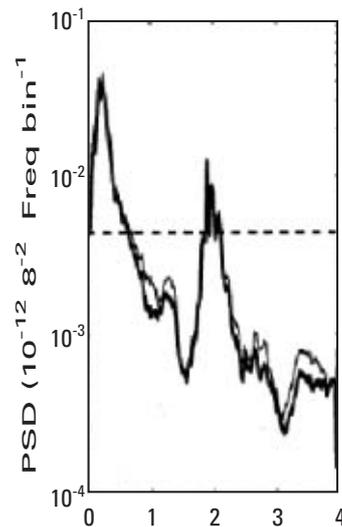


図35 慣性力を考慮したモデル結果と観測結果の比較

地球シミュレータにIARCで開発した北極海も大気、海水、海洋結合モデルを移植して、運用を開始した。詳細なチューニング、結果の妥当性の検討はこれからであるが、下記に示す3月と9月のモデルによって再現された海水の分布は観測データと比較して、大まかには海水の分布をよく捉えていることが判る。

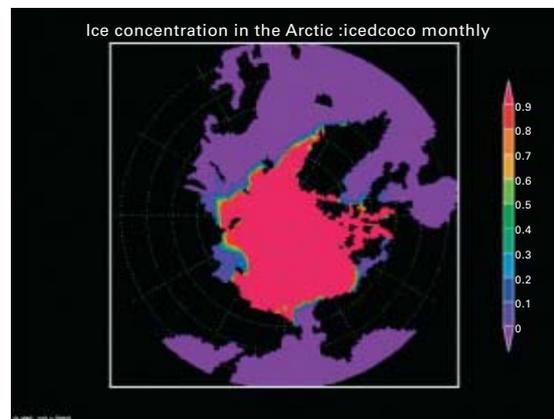
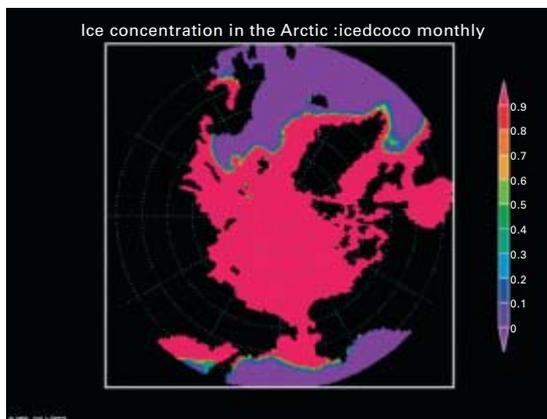


図36 3月(左図)と9月(右図)のモデルによって再現された海水の分布

(ii) 超10年スケール気候変動メカニズム解明・予測

海洋化学データを解析し、北極海の淡水量の分布とその変動、大気場変動との相関を調べる研究に着手している。世界で始めて、アルカリ度を利用して、海水中の淡水をその起源別に別けて、分布を調べる手法を開発した。従来の同位体法と良い結果の一致を得た。

IARCで編纂した北極海のHydrochemistry Atlasを基に河川水起源、海水融解水(負の量は結氷による淡水除去量)の分布を得た。図37は過去60年間の平均場である。今後はAOまたはNAOの気候レジームの異なる時期に別けて、分布の変動を解析していく方針である。

バレンツ海などで19世紀から取得された海水縁デ

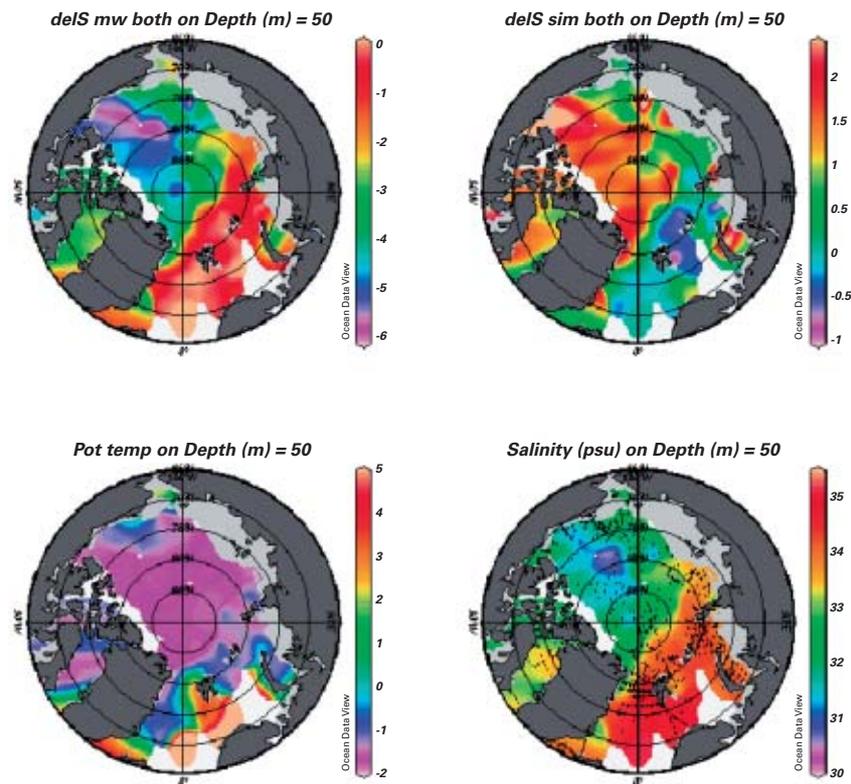


図37 過去60年間のデータを基に作成した50 m水深での河川水、海水融解水平均分布(データソースはIARCハイドロケミストリアトラス)

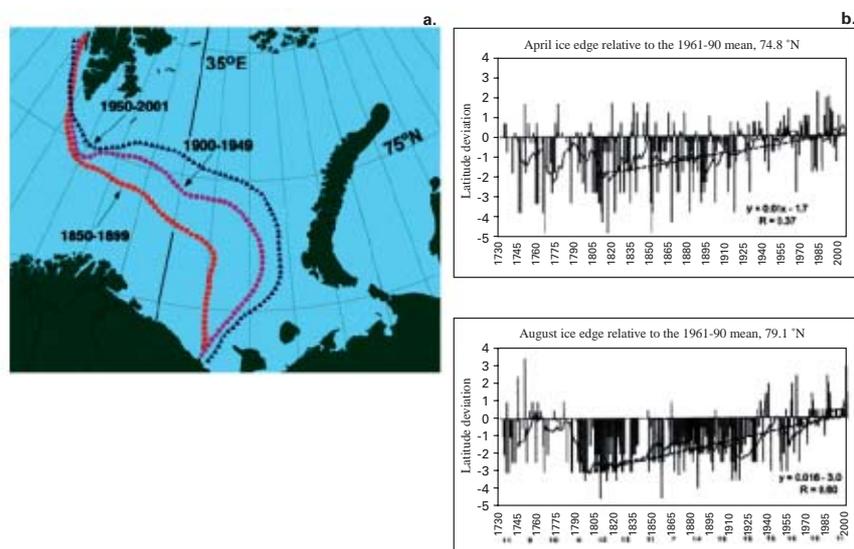


図38 海水縁データ解析結果

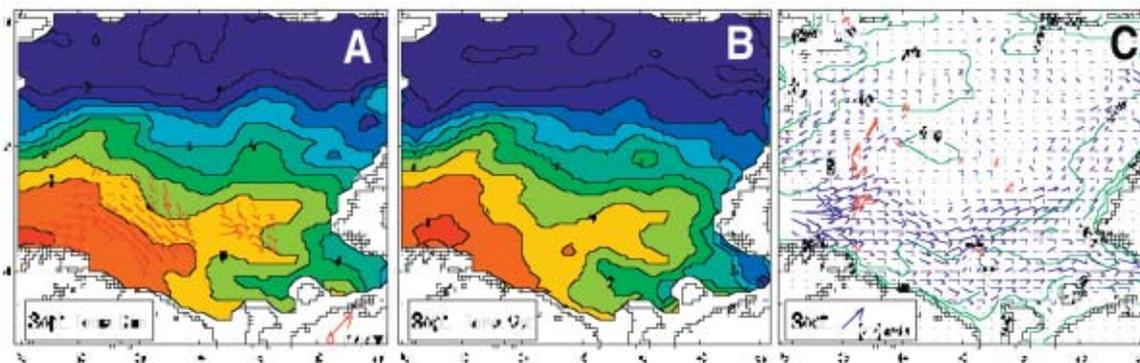


図39 バレンツ海の過去の観測で得られた40 m水深のデータ。A: 平均温度場、ドリフター観測により得られた流速(赤矢印)。B: 水温場。C: 流速場と過去の係留流速計で得られた流向、流速(赤矢印)

ータを収集し、その経時変動の解析を実施した。その結果海氷縁の北進(温暖化)の傾向が確認された(図38a)。加えて気温のデータ解析から得られる50-70年周期の長周期変動も検出された(図38b)。

限られた海流データも考慮して海洋モデルに同化することによって、力学的に矛盾の無い北極海の海水構造と流速場を再現する試みを行った。北極海の海洋観測データは量、観測海域共に非常に限定されているのでこの手法の開発、実用化は北極海の海洋変動の研究に非常に有効なものとなる。

図39のAはバレンツ海の過去の観測で得られた40 m水深の9月の平均温度場、ドリフター観測により得られた流速(赤矢印)である。図Bには本同化法で得られた水温場、図Cには流速場と過去の係留流速計で得られた流向、流速(赤矢印)を示した。限られた場所で得られた係留系のみではバレンツ海の流速場を得ることは困難であることが判る。北極海全体の海水面高の再現も現在着手している。

(b) 北極圏物理化学生物モデル構築・利用

ベーリング海の高分解能物理化学生物モデル構築のための準備段階として、MITGCMを導入、最大水平分解能4.4 km、表層4層6 mを含む38レイヤーを持つ海水、海洋結合モデルを構築、NCEPのデータで大気場のフォーシングを与えて、モデルを駆動した。

図40は表層9 mでの4月1日の水温の計算結果である。アラスカ湾流のベーリング海への流入、大陸棚と斜面の境界域での中規模渦などがよく再現できた。

水深112 m層での流速場の計算結果(図41)と大陸

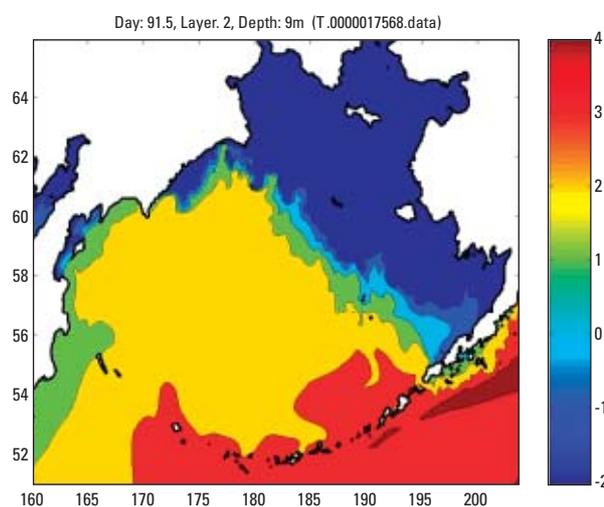


図40 表層9 mでの4月1日の水温の計算結果

棚での海水分布もこれまでの観測結果と良い一致を得ていることが判った。ベーリング海大陸棚南部に設置してある米国NOAAの係留系で観測されたクロロフィル(植物プランクトン現存量の指標)の経時変動と現場の気象データでモデルを駆動して得られた植物プランクトン量、動物プランクトン量の結果を示す(図42)。モデルによる植物プランクトン増殖の始まりが多少実測よりも早く起きているが、最初の2つのブルームはよく再現された。晩春季の3番目のピークは再現できなかったが、4番目の夏季の小ブルームは捉えることが出来ている。3番目のピークの再現が良く出来なかった原因は動物プランクトンの捕食による植物プランクトン減少を過大にモデルでは取り扱っているためであろうと推定される。今後、現場での実測による捕食圧の再評価とその結果を踏まえたモデル改良が必要であると考えられる。

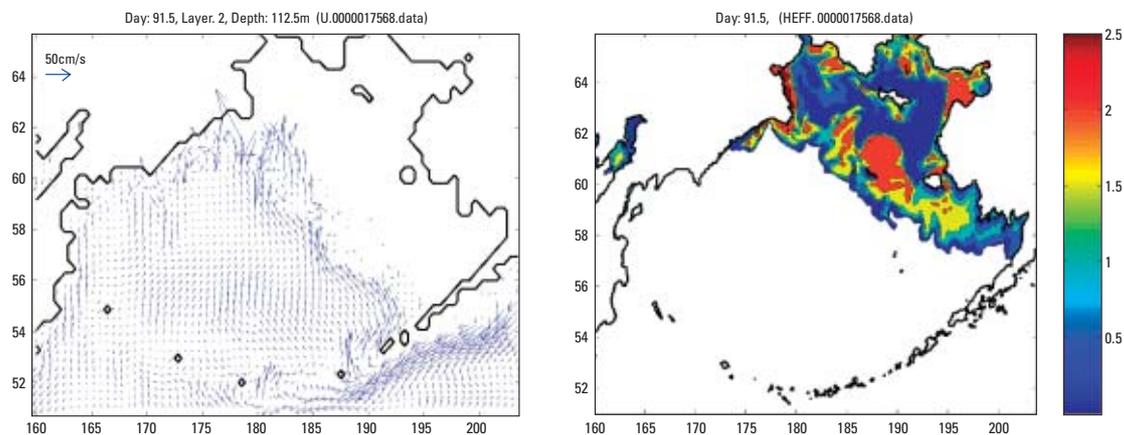


図41 水深112 m層での流速場の計算結果

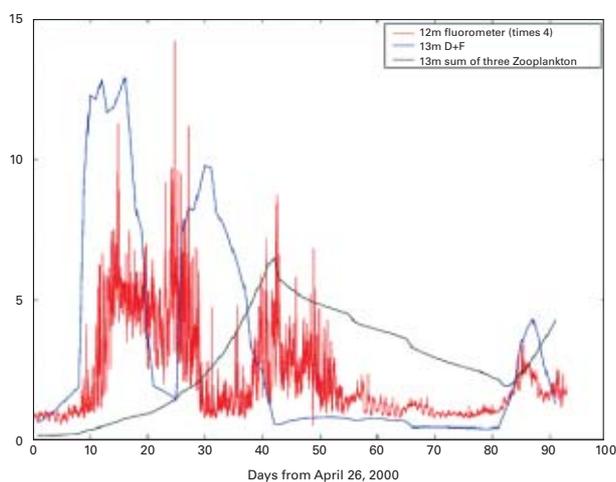


図42 米国NOAAの係留系で観測されたクロロフィル(植物プランクトン現存量の指標)の経時変動と現場の気象データでモデルを駆動して得られた植物プランクトン量、動物プランクトン量の結果

(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)

本プロジェクトは、高解像度の気候システム結合モデルを地球シミュレータ上で用いて、一連の気候変化見直し実験を行い、気候変化見直し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研究システム(FRSGC)のメンバーから成り、代表者はCCSRの住明正教授である。用いるモデルは、CCSR、NIES、FRSGCで共同開発したMIROCである。高解像度結合モデルの利点は、強い降水などの極端な気象に関

係する大気擾乱をよく再現できることや、複雑な海流系、特に熱塩循環に関係する北部北大西洋の海流系などをよく再現できることである。実験としては、コントロール、1%/年CO₂増加を仮定した理想化した温暖化実験、20世紀気候再現実験、および21-22世紀のシナリオ実験を行う。本プロジェクトは以下の4つのサブグループから成る。

- (a) 高分解能大気海洋モデルの開発研究
- (b) IPCC/SRESシナリオに基づく温暖化実験
- (c) 気候モデルにおける要素モデルの開発
- (d) 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(a)のサブグループに属するので、ここでは(a)の活動について報告する。

(a) 高分解能大気海洋モデルの開発研究サブグループ

我々のモデルの解像度は、大気がT106(約1.1°) 56層、海洋が約1/4°×1/6°、48層である。IPCC第4次評価報告書の第一回執筆者会合(2004年9月)までに主要な実験を完了するため、2003年度は主に高解像度結合モデルの改良と検証を行った。高解像度結合モデルの試験バージョンは2002年度に開発されている。

(i) 大気海洋結合モデルによる第0次実験

試験バージョン結合モデルにおけるいくつかの問題を修正した後、CO₂濃度を固定したコントロール実験を56年、CO₂濃度を年率1%複利で増加させた気候変化実験を40年実行した。モデルは、「フラックス調節」無しで、深刻なドリフトも無く数十年安定に走ることが示された一方で、さらなる改良を要する海面水温バイ

アスがあることが分かった。CO₂濃度の上昇に対するモデルの応答は定性的には理に適ったものであったが、定量的には、全球平均2 m気温が40年で1.5°Cと、他のモデルの結果に比較して非常に高かった。

(ii) 高解像度海洋モデルの改良と評価

我々の海洋モデルの解像度は高緯度においては中規模渦を解像するのに十分なほど高解像度では無いため、高緯度においてのみ、層厚拡散パラメタリゼーション(Gent-McWilliams)を導入した。これにより、高緯度での非現実的な渦活動が抑制され、特に南極の周りでの成層、海水生成、深層水生成が改善された。また、乱流クロージャスキームの改良も行い、混合層や海面水温の分布が改善された。

(iii) 気候感度に関連する雲過程の変更

第0次結合モデル実験に用いられた大気モデルは、気候感度が10°C程度と非常に高いバージョンであった。そこで、雲の液相/固相判別について変更し、また雲水が融解した際の取り扱いも変更した(雲水は粒径が大きく、融解すると粒径の小さい雲水でなく雨に変換されるのが適当である)。これらの変更により、気候感度は3.7°C程度と適当な値に下がった。実際は、気候感度の見積もりには大きな不確実性があり、非常に高い気候感度を観測データからは棄却できない。しかし、我々は少なくとも、我々のモデルの中での気候感度に強い影響を与えるメカニズムの一部を理解することができた。

(iv) 高解像度大気モデルの評価

1979年から1998年の観測された海面水温を与えたAMIP型の実験および、その海面水温に、低分解能結合モデルから見積もられたCO₂倍増時の海面水温変化を加えたものを与えた、CO₂倍増タイムスライス実験を行った。日降水強度、熱帯低気圧、および赤道波と結合した対流活動がモデルでよく再現されていることが確認された。また、積雲対流の抑制機構が、現実的な降水強度再現のために重要であることが示された。

(v) 結合モデルに現れたハワイ風下の反流の解析

ハワイ風下の反流がモデル中に明瞭に現れたので、高解像度大気海洋結合モデルに特有の現象の例とし

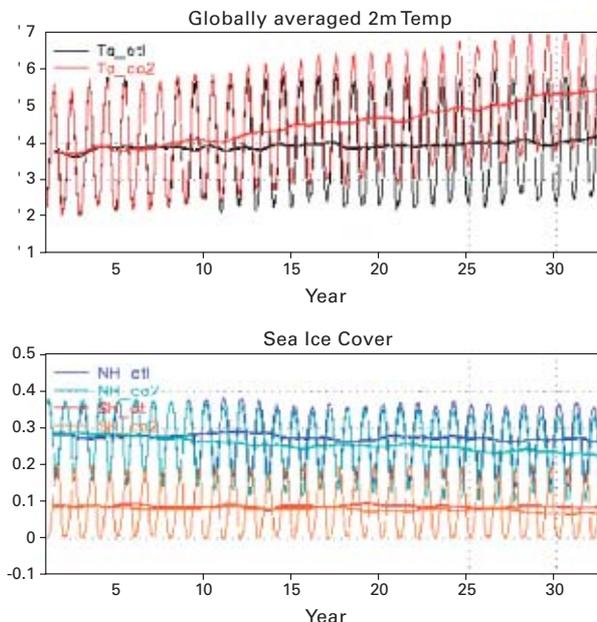


図43 第0次コントロール実験および気候変化実験(年率1%CO₂増加)における、全球平均2 m気温(上)と南北両半球の海氷被覆率(下)

てこれを解析した。感度実験としてモデル中でハワイ諸島の山岳を取り除くと、反流は消えた。これにより、ハワイ風下の反流を維持するのに山岳に対する大気の応答が必要であることが示された。

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、炭素循環・気候変化結合モデル開発

(i) 陸域炭素循環モデル

人為的温室効果ガス排出による地球環境変動予測モデルを構築する上で、陸域生態系による炭素循環をシミュレートするモデルを構築し、当課題で構築する地球システム統合モデルに組み込み、温暖化予測を行うことが当サブグループの目標である。平成15年度は、次に挙げる3点の課題を行った。

① Sim-CYCLEのオフライン評価

陸域炭素循環モデルSim-CYCLEを用いて、人為的温室効果ガス排出シナリオ条件下(SRES-A2, B2)における将来の陸域生態系炭素循環変動のシミュレーションを行った。その結果、20世紀は、バイオマス・土壌炭素ともに徐々に炭素を蓄積するが、21世紀では、温室効果ガス排出シナリオや大気大循環モデルの種類

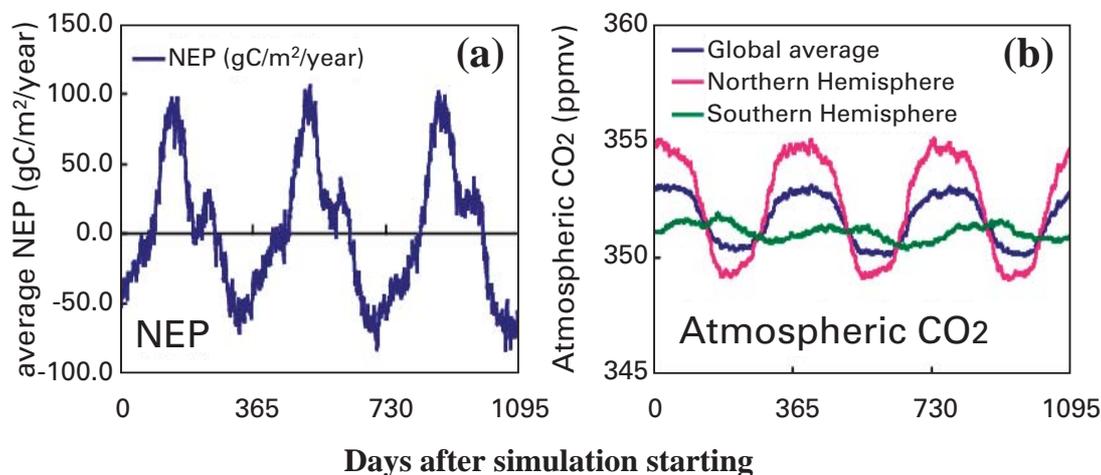


図44 Sim-CYCLEとMATSIRO-AGCM結合の初期結果(a: NEP(生態系純生産), b: 大気CO₂濃度)。Sim-CYCLEを2000年スピンアップさせた後に統合ランを行った(最初の3年間の結果を示す)。

によって、大きく応答が異なった。また、これらのほとんどが気候モデルの温度変化の違いによるものであることが分かった。

②陸域モデルのAGCMへの組み込み

炭素循環と気候の統合モデルを構築するために、CCSR/NIES GCM(含MATSIRO)とSim-CYCLEの結合を行う。図44に結果の一例を示す。NEPについては、GCMの気候場の季節変動に伴って、妥当な季節変動を示している(図44(a))。また、GCMによって計算された風力場に地表面のCO₂収支を乗せた際、大気CO₂濃度の変動は、北半球では、夏に濃度が低下し冬に上昇するといった妥当な濃度季節変動を示した(図44(b))。

③統合モデル相互比較プロジェクト参加のためのモデル拡張

気候-炭素循環の相互作用は、気候変化に対して大きなフィードバックを与えるが、その大きさの不確定性は高い。世界中でのいくつかの研究機関が、炭素循環-気候の統合モデルの開発に動いており、そのような状況の中で、気候-炭素循環結合モデル相互比較プロジェクト(Coupled climate-carbon cycle model intercomparison project: C4MIP)が提示された。このプロジェクトは、共通の入力データ等の実験条件を、様々な独立モデルに用いることによって、気候-炭素循環システムの感度の範囲や各モデルの特性を把握することを目的とする。現在はガイドラインへ対応すべく、土地利用変化による炭素収支プロセスを取り組むためのコーディング作業を進めているところである。

次年度は、①Sim-CYCLEのパラメタリゼーションの精度向上として、共生第3課題や環境省総合推進費S1などのフィールド観測データを用いたモデルの検証や、各種生態系プロセスの新たな地見の取り込み、衛星データ等との比較検証、などを行うこと、②Sim-CYCLEとMATSIRO-AGCMの親和性を高めるため、インターフェースの整備や統合されたモデルの検証を行うこと、③C4MIP対応のためのモデル開発とモデルシミュレーションを行うこと、の3点を計画している。

(ii) 海洋生物地球化学モデル開発

大気海洋結合モデルへの炭素循環過程組み込みの前段階として、海洋単体モデルへ組み込んだ炭素循環モデルを用い、予備的な温暖化実験を行った。すなわち、大気海洋結合モデルを用い過去に行われた二酸化炭素漸増実験の結果得られた風応力、海表面温度を海洋モデルの駆動力として用い、温暖化によって海洋環境が変化した場合とそうでない場合とでIS92aシナリオに従って大気中二酸化炭素濃度が増加したときの海洋二酸化炭素吸収量がどのように異なるのか調べた(図45)。その結果、温暖化による海洋循環変化が二酸化炭素吸収量に与える影響は小さいという結果が得られた。この結果は過去のものとは矛盾しないといえる。本プロジェクトで採用しているモデルはIPCC第3次報告書で採用されているものよりも海洋表層生態系の記述が詳細になっているが、ここでの温暖化実験では過去の実験結果を追認するに終わった。このこ

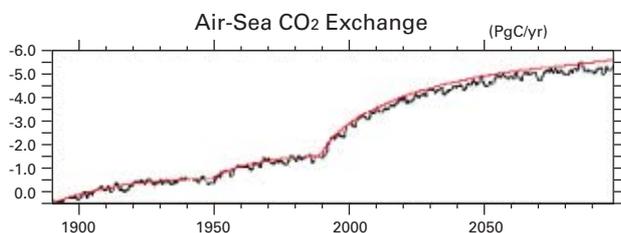


図45 IS92aシナリオに従って大気中二酸化炭素濃度が増加したときの、海洋二酸化炭素吸収量のモデル予測。赤線が温暖化による海洋環境の変化がないとした場合、黒線があるとした場合。

と自体は華やかな結果ではないが、我々のモデルがもっともらしい振る舞いを見せることは確認できたと言える。このことを受け、大気海洋結合モデルへの炭素循環モデル移植にも着手し、現在その原型が完成した段階にある。今後、モデルパラメータのチューニングやコードの整備、十分なスピニアップを行い、炭素循環-気候結合モデル相互比較プロジェクト(C4MIP)への参加、ひいてはIPCC第4次報告書への貢献に備える。

(iii) 地球環境変動予測のための動的全球植生モデルの構築

気候環境は植生の構造や機能を強く規定するが、植生の構造や機能もまた、蒸散、炭素循環、アルベドの変化などを通じて、気候環境にフィードバック的な影響を与える。このような過程を気候環境の変動予測に取り込むためには、生物地理化学過程や植生動態を取り込んだ陸域生態系モデルが必要とされる。

そこで本サブグループでは、陸上生態系の機能(炭素や水の循環など)や構造(植生の分布や構成など)における短期的・長期的変化を予測するために、全球動的植生モデル(Dynamic Global Vegetation Model, DGVM)を開発している。これは、異なる計算間隔を有する複数の素過程モジュールを結合したものであり、幾つかのモジュールを環境条件の関数とすることで、生態系の環境応答をシミュレートできるようにしたものである。

このモデルの基本的なデザインは、陸域炭素循環モデル Sim-CYCLE に、LPJ-DGVM の植生動態コンポーネントを組み合わせたものであるが、さらに林分の空間構造を明示的に組み込み、木本を個体ベースで扱うという野心的な拡張を行った(図46)。これらの拡張によって、森林ギャップの再生過程や樹木個体間の競

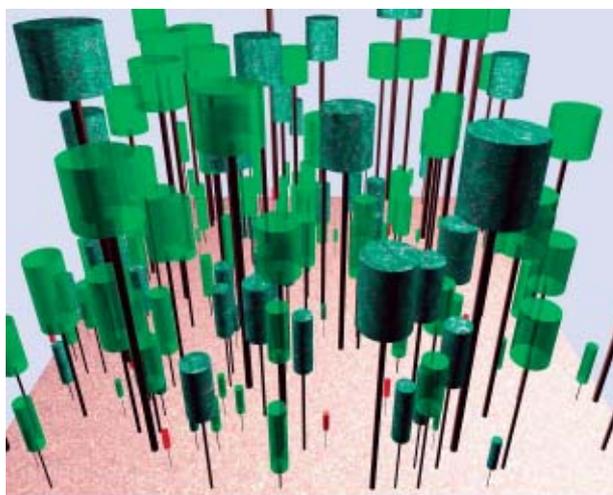


図46 仮想林分のスナップショット(30 m×30 mの温帯混合樹林)。木本は個体ベースで扱われ、それぞれ樹冠、幹、根の3器官から構成される。樹冠と幹は円柱で近似された形態を有すると仮定し、根は生物量のみで扱った。全球におけるシミュレーション実験に際しては、この仮想林分をT42グリッド(128×64)の各グリッドにおいて10ずつ独立にシミュレートさせる。

争過程が的確に表現され、植生動態に伴う炭素収支変化や、気候変動に伴った植生分布変動の速度などを、これまで構築されてきたどのDGVMよりも正確に予測できることが期待される。

平成15年度中までに、一林分の計算を行うプログラムコードの開発がほぼ完了し、現在このプログラムによる試行計算を繰り返す事で、諸パラメーターの推定作業を行っている。今後、ベクトル化、並列化、調整等の過程を経て、平成16年度中までには全球グリッドでのシミュレーション結果を得る予定である。

(b) 温暖化・大気組成変化相互作用モデル開発グループ

(i) 温暖化・大気組成変化相互作用サブモデル

温暖化・大気組成変化相互作用サブモデルでは大気化学過程(オゾン分布など)やエアロゾルの温暖化および海洋・陸域植生変化との相互作用を表現・予測することを主な目的としており、CCSR/NIES AGCMを土台とした全球化学モデルCHASERやエアロゾルモデルSPRINTARSを用いてエアロゾル・化学のオンライン計算を可能にすることが当面の課題である。今年度は本サブモデルを統合モデルに組み込んだ場合の長期実験を念頭に置いてCHASERモデルの高速化を行い実行性能について地球シミュレータ上で評価を行った。

本高速化作業により化学過程に関して大幅な計算コスト削減が実現された。さらに温暖化・大気化学相互作用予測のための前段階的な研究として温暖化を考慮した対流圏化学場の将来予測実験を行った。本年度はこの予測実験について特に温暖化時の成層圏／対流圏間物質交換の変動を重点的に解析し、温暖化による大気循環場の変化により成層圏から対流圏へのオゾン流入量が増加するなどの予測結果を得た。また本年度後半では、CHASERとSPRINTARS両モデルの結合作業を開始した。昨年度から行っている輸送過程の検証について、本年度は特に成層圏への輸送および成層圏中の輸送の評価として空気の年齢分布を計算し、下部成層圏における観測値と比較を行った。今回の計算では赤道域では観測推定値に近い値が得られたが、中・高緯度では空気の平均年齢を過小評価する傾向にあることが分かった。

(ii) 温暖化－雲・エアロゾル・放射フィードバック精密評価

このグループの課題はエアロゾルの間接放射強制力を見積もるパラメタリゼーションを大気大循環モデル(GCM)に適用できるものとして開発することである。雲粒数密度を予測するパラメタリゼーションとして Abdul-Razzak et al. (1998) とここで開発されたもの (Kuba, 2003) の2種類をSPRINTARS (Takemura et al., 2000, 2002) と結合されたCCSR/NIES/FRONTIER AGCMに搭載した。雲粒の有効半径の年平均値の全球分布などを、モデルの結果と衛星データとの間で比較した。現時点ではエアロゾルの中の有機炭素粒子の雲凝結核としての性能が十分解明されていないためにこのパラメタリゼーションでは雲粒数密度が過小評価されている。一方、雲解像全球モデルを開発するために、雲物理過程(バルク法)および放射過程(MSTRNX)がNICAM (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model) に搭載された。さらに、雲解像領域モデルの開発のために、CRESS (Cloud Resolving Storm Simulator) に雲物理過程(ビン法)を搭載すべく作業中である。

(c) 寒冷圏モデル

温暖化に対する氷床の応答特性や海水準への影響を調べるため、現実をよく表現するよう氷床モデルを開発し、グリーンランドと南極への適応性を調べた(Saito

and Abe-Ouchi, 2004)。さらにグリーンランド地域の気候が3～4度温暖化すると海水準3メートル程度に相当する氷床の融解が起こり、南極地域は気候が7～8度以上温暖化してようやく氷床の融解による海水準上昇をもたらすことを示した。一方、温暖化の予測の程度について調べるため、地球シミュレータを用いて人工的なフラックス調節のない大気海洋海水結合モデル(解像度は中程度、大気200 km、海洋100 km程度)の調整や感度実験を行なった。全球と比較してとくに温暖化感度が高い高緯度の気候や海水の再現性や温暖化に対する応答特性を調べた結果、グリーンランド氷床周辺の温暖化の程度は、21世紀末頃に温室効果ガスが安定化したとしても、海水準に有意に影響を及ぼす程度に達する。大気中二酸化炭素増加量が年率1%と仮定して、4倍に達する140年間後までの予測を行った。全球に比べて気温増加が極域とくに北半球で大きく、グリーンランド氷床が海水準に有意に影響する程度となる。南極氷床においては降水量増加の方が気温増加の効果よりやや上回る結果となった。今後、モデルの不確定パラメタや感度の異なるバージョンで同様の実験を行なう。数十年変動や不確定性の幅など極域のより詳しい解析が必要である。さらに、同期した大気－氷床結合(部分統合モデル)の計算を可能にするためのプログラム改変をすすめており、現在調整を続けている。

(d) 気候物理コアモデル改良

本サブグループの目標は地球システム統合モデルの基礎コンポーネントとなる大気大循環モデル(AGCM)の改良である。このAGCMは、共生第1課題の主目的であるIPCC第4次報告書向けに開発されてきたCCSR/NIES/FRSGC AGCM version 5.7bに基づいている。成層圏オゾン等の化学物質の長期予測を行うために、モデルは中層大気(高度80 kmまで)を含むように拡張した。

昨年度まで、このAGCMには重大な欠点があった。対流圏界面付近の温度場に最大10 Kに及ぶ低温バイアスがあり、そのため水蒸気や雲の分布が非現実的なものとなっていた。その原因を探るために、気象庁とハドレーセンターと共同でAGCMの物理過程の相互比較ミニ・プロジェクト(MIPPI)を行った。その結果、

従来版の放射伝達コードである "mstrn-8" において、対流圏界面付近の加熱率がかなり過小評価されていたことが明らかになった。

最近、CCSRの放射グループから、最新版の放射コード "mstrn-X" がリリースされた。その中では、1) 気体吸収に関するHITRANデータベースの更新、2) 連続吸収プログラムをLOWTRAN7からMT_CKD_1のものに変更、3) 気体吸収計算におけるバンドの大幅な増加、4) 積分点選択時の最適化手法の変更、などが行われた。新放射コードを用いた際には、対流圏界面と下部成層圏の低温バイアスは格段に小さくなった(図47)。また、対流圏界面付近の温度場の改善するためには、地形性重力波抵抗パラメタリゼーションを適切にチューニングすることが重要であることも分かった。

今年度に行ったその他の取組みとしては、非地形性重力波抵抗パラメタリゼーションの導入と、そのパラメタリゼーションに用いられる、高解像度版AGCMを用いた重力波のソース分布の見積もりが挙げられる。非地形性重力波抵抗パラメタリゼーションは中解像度AGCMでは陽に表現できない小規模な重力波による大規模循環場の加速・減速を表すものであるため、中層大気のより良いシミュレーションには不可欠である。ここでは他のモデリンググループによって十分なテストがなされてきているHines (1997)による "Doppler-spread" パラメタリゼーションを導入した。

T213L250 AGCMを用いたシミュレーションにより、小規模(水平波長250-1250 km)の重力波に関する水

平RMS風速の全球分布を得た。RMS風速と波の伝播方向を、70 hPa面周辺高度のホドグラフ解析によって求め、月平均を取った(図は省略)。観測事実と整合的な、現実的な重力波の特徴が再現されている。すなわち、1) ストームトラック上空に見られる大振幅で西向き伝播する重力波の卓越や、冬半球中緯度帯の山岳上空における局所的な最大、2) 熱帯や夏半球中緯度に見られる大規模な降水パターンに対応する幅広いピーク(ソース分布の重要さを反映)、3) 両半球の高緯度での小さな値などである。このソース分布に関する情報をHinesパラメタリゼーションに入力した結果、中解像度AGCM(T42L78)でも現実的な熱帯循環をシミュレートできた。

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)

本課題は、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・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。観測データと最先端の大循環数値モデルを変分法最適化理論を用いて融合することによって双方の利点を相乗的に引き出し、季節から経年(S-I)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力学的整合性のある四次元再解析統合データセットを構築することができる。このことに関して、たとえばCLIVARの総合計画書でも、データ同化システムが気候力学研究

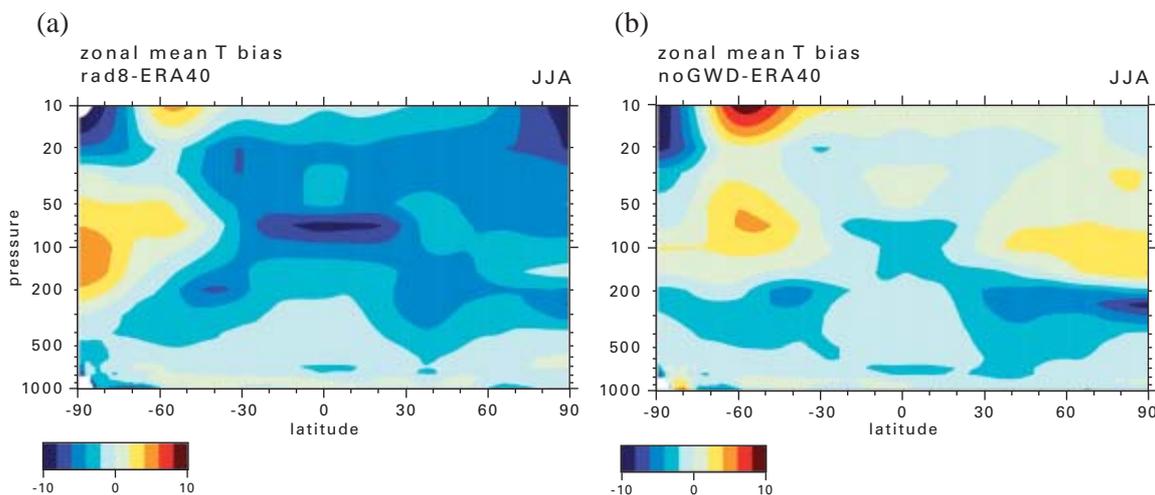


図47 带状平均温度バイアス[K]。T106L56 AGCMを用いたシミュレーションで、(a) mstrn-8使用、(b) mstrn-X使用&地形性重力波抵抗off。(本文参照)

の基盤技術として海盆スケールと全球スケールの気候データセットを統合する必須ツールであることに言及している。「再解析」と言われるこの手法は、近年、現場観測データとリモートセンシングデータを数値モデルに同化することで全球気候状態の時間発展を再現することにしばしば用いられ、その結果、各物理量が力学的に整合し、かつモデルの力学とも整合性を持つ物理場が得られる。

このような背景を踏まえ我々のグループでは四次元変分法(4D-VAR)大気海洋陸域結合同化システムを構築するべく力を注いできた。このシステムは従来の数値力学モデルより多くの情報と予測可能性を提供するひとつの同化プラットフォームとして期待されるものである。

2003年には1)結合モデルの改良、2)データ同化システムの完成、3)フル結合データ同化のパイロット実験を行った。結合モデルとしてはCCSR・NIESモデルを基にした大気コンポーネントを持つ地球シミュレータ用に開発したモデル(CFES)を用いた。CFESに各種の改良とチューニングを加え、その物理性能を大きく向上させることで、全球気候状態の特徴とその変動特性を観測事実と矛盾なく再現することに成功した。改良された結合モデルをベースにその大気、海洋コンポーネントのアジョイントモデルを開発した。これらを含むデータ同化システムを用いた気候学的季節変動を対象としたデータ同化実験の結果、シミュレーション結果と比較してより現実的な気候変動の特徴が再現されることが分かった。このことはフル結合4D-VAR同化システムがS-I変動スケールの変動予測・解析において非常に有用なツールであることを示すものである。

各サブテーマの研究結果の概要を以下に記す。

(a) 結合モデル開発

ここでは物理パフォーマンスの向上を目的としたCFESの改良を行った。サブダクション過程の再現性を向上させるためにIARCの海水モデルを組み込んだ。またいわゆるバケツモデルと呼ばれる簡略陸面モデルの代わりに、高度な陸面パラメタライゼーションスキームであるMATSIRO(FRSGCにより開発されたMinimal Advanced Treatments of Surface Interaction Runoff)を導入した。さらにCFESに各種改良やパラメータチューニングを行い、物理的および計算的性能を向上させた。その例を以下に示す。図48(a)に示されるように、多くの結合モデル実験において、熱帯太平洋の降水量が赤道を挟んで過度の対称性を示すいわゆる"Double ITCZ structure"現象が問題となっている。これに対し、我々のモデル結果では予報モデルの段階ですでに(同化を行う以前に)"Double ITCZ structure"を大きく軽減することに成功した。(図48(b))

図49は海面水温(SST)のS-I変動の空間分布とその振幅を示したものである。図から明らかなようにCFESから得られた結果は空間分布、振幅とも観測から得られたそれに非常に近くなっている。

図50はオフライン実験結果から計算した陸面のボーエン比の空間分布である。大気の外力としてはGSWP-1(Global Spoil Wetness Project)で提供されているデータを使用した。バケツモデルの結果と比較するとMATSIROから得られたボーエン比はかなり高くなっており、これまでの研究結果と同様の傾向を示す。このことは、我々のシステムにおいても陸面過程がより良く再現される可能性が高いことを示唆している。

アジョイント計算から得られる制御情報の精度はモ

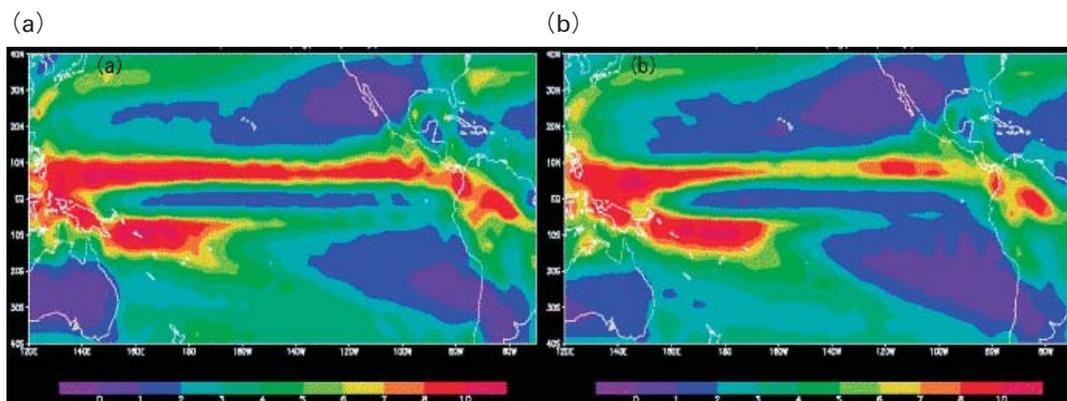


図48 チューニングを行う前(a)後(b)の熱帯域におけるCFESから得られた降水分布

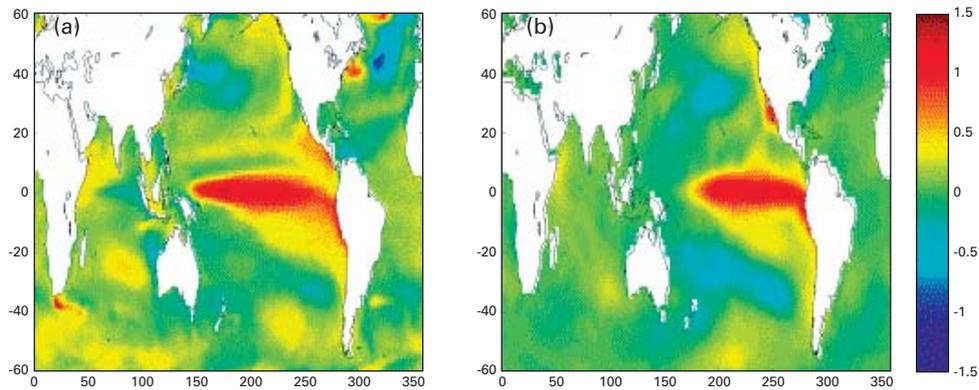


図49 ニーニョ3.4海域における海面水温偏差に対する各グリッドポイントでの線形回帰係数の分布。(a)CFESの結果、及び(b)観測結果(ERSST)。

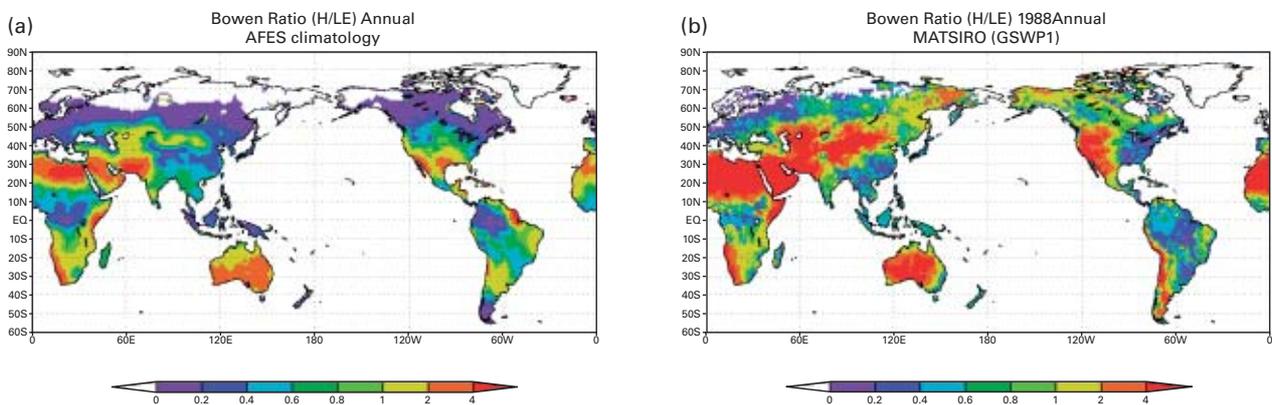


図50 地表面におけるボーエン比の年平均気候値の分布。(a)バケツモデル、及び(b)MATSIROから得られた結果。

デルの性能に大きく依存するため、4D-VAR同化は高精度な数値モデルと併用する必要があることに留意しなければならないのだが、上記のシミュレーション結果は改良されたCFESが4D-VAR結合データ同化システムにとって適した基盤であることを示しているといえる。

(b) 各アジョイントモデルによる同化実験

各モデルコンポーネントのアジョイントコードを作成した。図51は、大気単体同化モデルを用いた同化実験結果である。この実験では月平均値のSSM/I海上風速データのみを同化している。シミュレーション結果(図51(a))と比べると、同化実験(図51(b))において、10 m海上風の観測データとの偏差が大幅に減少していることがわかる。この結果は、我々の大気データ同化システムにより月平均風速場が(ウェザーモードに干渉されることなく)効果的に改善されたことを示している。

次に海洋単体同化モデルを使用し、1996-2002年の

全球の海況を再現するための再解析実験を行った。同化に用いたデータは、水温データ、塩分データ、及び海面高度偏差データである。さらに近年公開されたArgoフロートデータも使用した。海洋モデルは経度及び緯度方向に水平1度、鉛直36層の解像度を持つ。得られた再解析データは過去の重要な気候現象との良い整合性を示す。たとえば、1996-1998年の期間におけるニーニョ3海域におけるSSTの観測値と同化結果の平均二乗誤差は0.69 Kとなっておりシミュレーション結果との差1.60 Kに比べて著しく軽減されている(図52)。ニーニョ3海域でのSSTの良い再現性は、このデータセットが熱帯域でのS-I変動を良く再現していることの一つの試金石となる。さらに我々のデータセットは亜表層水塊についても良い再現性を示す。たとえば塩分極小層で特徴付けられる北太平洋中層水が現実的な分布を示している(図省略)。この観測事実とのよい一致は我々の同化システムにより力学的整合性を

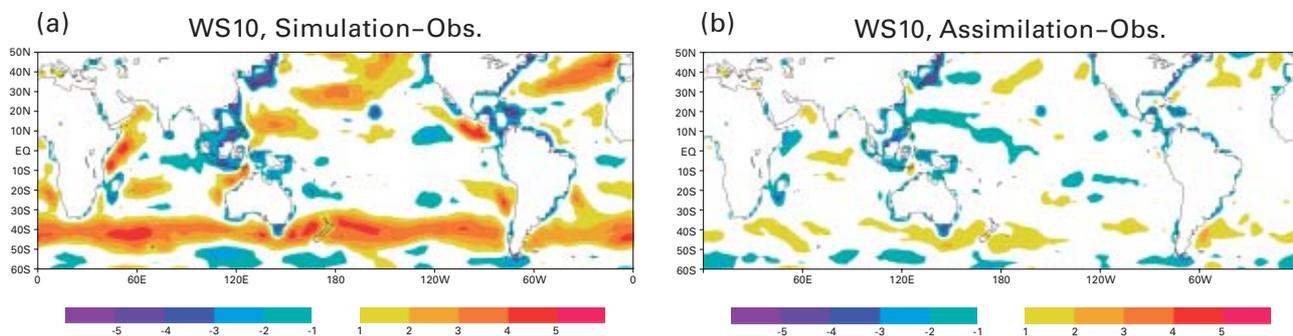


図51 10 m海上風の(a)シミュレーション結果、(b)同化結果と観測値との偏差の分布。

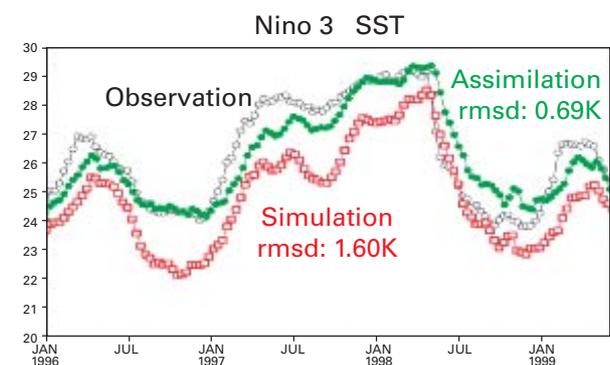


図52 ニーニヨ3海域における海面水温の時間変化。観測(黒)、シミュレーション(赤)、及び同化結果(緑)。

持って修正されたサブダクション過程及び表層循環場の競演によるものである。これらの結果は、データ同化から得られた海洋再解析データセットがモデル単体、観測データ単体から得られるより多くの気候変動に関する情報を保有し、潜在的な予測可能性を持っていることを示すものである。

(c) 4D-VAR結合データ同化

結合部分のアジョイントコードを作成し、上記全てのコンポーネントモデルを結合することで、4D-VAR結合同化システムのプロトタイプを構築した。制御変数を大気-海洋間のフラックス(運動量、熱、淡水)をきめるバルク係数及び海洋物理変数の初期値として、このシステムを適用した同化実験を行った。コスト関数は、海洋部分についてのWOAデータとの偏差、大気部分についての月平均10 m海上風速との偏差、及びモデル変数の周期性コストの和として計算される。予備実験の結果の一部を以下に示す。コスト関数の顕著な減少により結合同化システムの有効性が確認できるが(図省略)、たとえば図53と図54は、降水量と東西海上風速の再現性がシミュレーション結果と比較してより改善されていることを示している(特に熱帯域)。これらは我々の結合同化アプローチに基づく大気海洋フラックスの最適化による結果である。

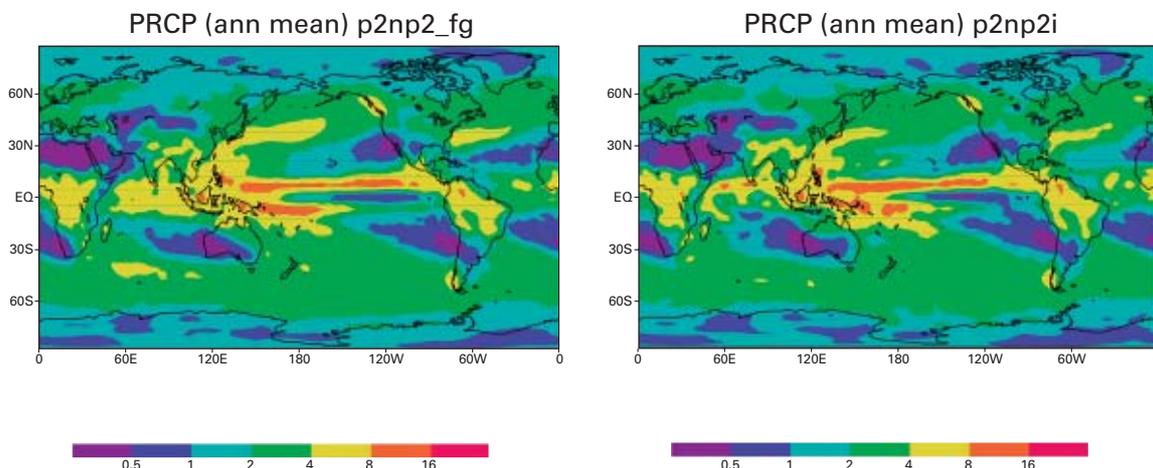


図53 年平均降水量。シミュレーション(左)、及び同化結果(右)。

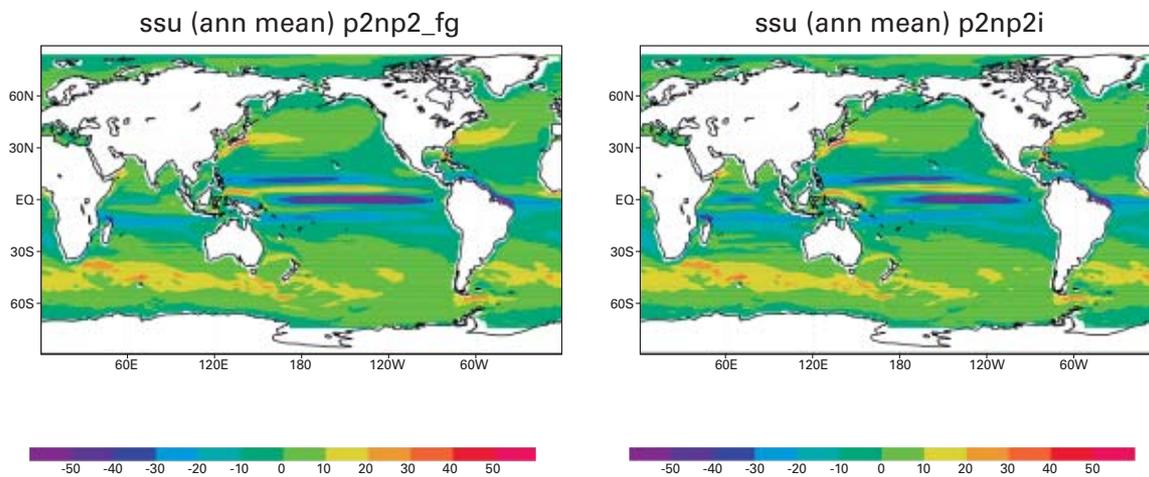


図54 東西海上風速。シミュレーション(左)、及び同化結果(右)。

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。観測フロンティアは平成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。平成15年5月には世界をリードする研究者からなる評価委員会によって中間評価を受けた。この評価報告書にあるように、観測研究計画は順調に進行しており、注目に値する観測研究成果を着々と挙げつつある。

そして、平成16年7月には、地球観測フロンティア研究システムは海洋観測研究部と合併し、地球環境観測研究センターが設立される予定である。この新しい研究センターにおいて、観測フロンティアの理念が堅持され、観測フロンティアが今まで行ってきた観測研究が継承・発展されるであろう。

(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し、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、インド洋ダイポール現象、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年度から実施している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、平成14年度から開始したパラオ共和国アイメリークにおけるウインドプロファイラー観測等を継続した。RASS機能付きのウインドプロファイラーは、無人運転にもかかわらず、一年間のほぼ連続したデータを取得することができた。今年度は新たに、アイメリークに地上気象観測装置や降水粒子粒径分布測定装置等を設置し、モンスーンや季節内振動に伴う降水機構の変化の把握に重点を置いた観測を強化した。2～3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、次年度に計画中の可搬型ドップラーレーダー観測にむけ、サイト候補地の調査を行った。

今年度の集中観測では、パラオ共和国コロール国際空港を基地とし、熱帯海洋上におけるスコールライン通過時の大気海洋相互作用や、クラウドクラスター周辺場の大気状態をとらえることを目的として、ガルフストリームII型機を用いた航空機観測を実施した。海洋地球研究船「みらい」MR04-01クルーズの停船観測点を目標空域とし、ドップラーレーダー観測と同期したドロップゾンデ観測を3回行なった。

3月10日のケースでは、発達中のクラウドクラスターを取り囲むように合計8個のドロップゾンデを投下し(図1)、「みらい」では、このクラスターに対応するスコール

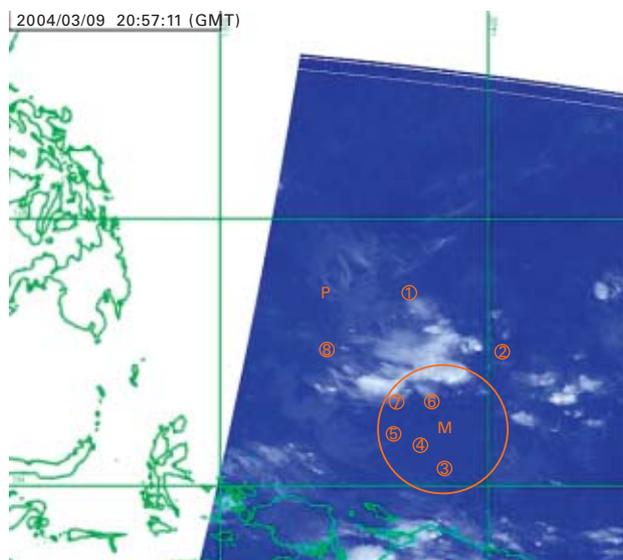


図1 パラオ(P)、「みらい」(M)周辺の衛星雲画像と「みらい」レーダー観測範囲(円)及びドロップゾンデ投下地点(数字)

ラインの通過時に、強い降水や急激な気温低下がみられた(図2)。また、今回の航空機観測では、通信総合研究所及び国立環境研究所との共同研究による雲レーダー及びライダーの観測も実施した。

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係留系を設置している。これまでに約3年間分のデータを蓄積しており、現在も継続観測中である。この流速データから、インド洋赤道上の表層流速には、数十日程度の短周期変動が卓越することが示されると同時に、経年的に卓越周期が変動していることも示された(図3)。さらに「みらい」MR03-K03航海では、船底固定式ADCPやCTD、XCTDにより、赤道域で発生

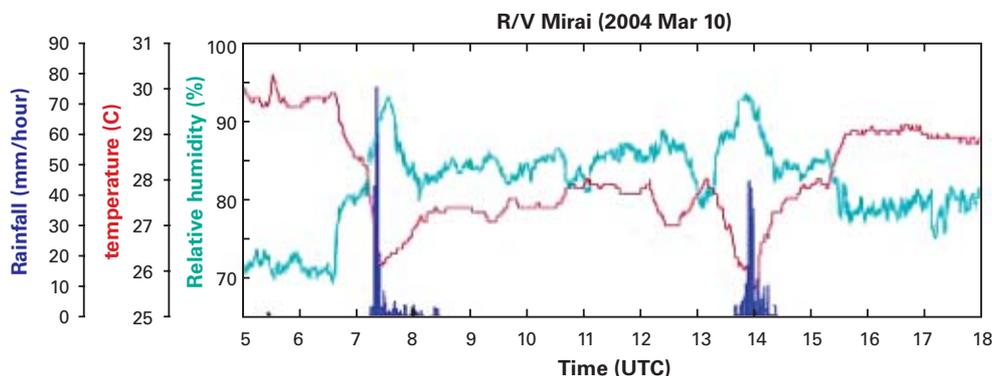


図2 「みらい」で観測された、スコールライン通過に伴う降水、気温、相対湿度の変化

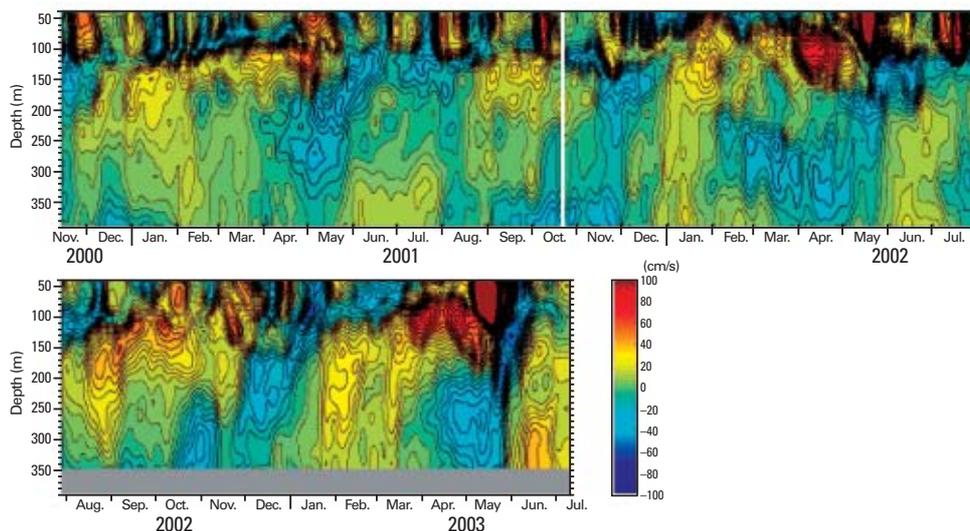


図3 中層ADCP係留系により得られた、2000年11月から2003年7月までの、赤道上東経90度での表層東西流速の時間変化

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、気象庁および独立行政法人水産総合研究センター遠洋水産研究所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。

(b) 亜表層・中層海洋変動グループ

ARGOプロジェクト

亜表層・中層海洋変動グループの研究目的は、気候変動に大きな影響を及ぼしている海洋変動の中でも、特に季節～10年スケールでの北太平洋亜表層～中層の海洋変動の実態を観測研究を通じて明らかにすること及び海洋観測研究部と共同してミレニアムプロジェクト「高度海洋監視システムの構築－アルゴ計画」のフロート展開について中心的な役割を果たすことである。

JAMSTEC(みらい、よこすか)、気象庁(凌風丸、啓風丸)、海上保安庁(拓洋)、極地研究所(しらせ)、東大海洋研究所(白鳳丸)、東京海洋大(海鷹丸)の協力により北太平洋、南太平洋、南インド洋、南大洋に合計97台のアルゴフロートを展開できた(図4a, b, c)。特にみらいの南半球一周航海により南太平洋にJAMSTECのフロートを15台、スクリップス海洋研のフロートを13台投入し、フロート空白域の解消に大きな寄与をした。2004年3月末時点において、世界中で稼働しているアルゴフロートは1,121台で、日本のフロートは

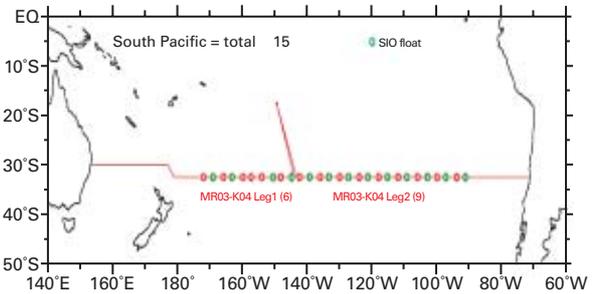


図4b 同南太平洋

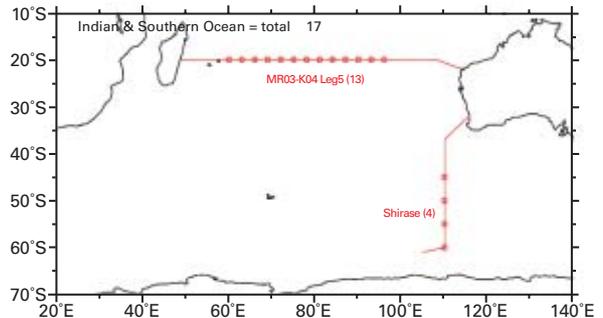


図4c 同南インド洋および南大洋

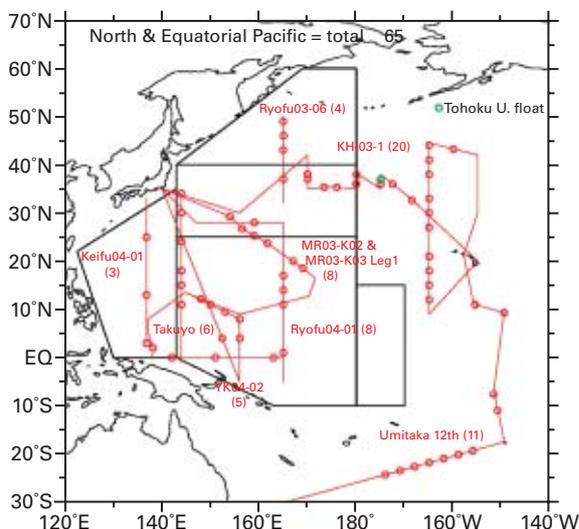


図4a アルゴフロート投入点 北太平洋～南太平洋

208台と米国に次いで世界で2番目の貢献をしている。水産庁の照洋丸と海上保安庁の拓洋によりそれぞれ2台の稼働中のアルゴフロートを回収した。回収したフロートのうち2台は稼働中にエネルギー不足の症状(投入後1～2年以内にバッテリー電圧が急降下する)を示していたが、メーカーにて精査したところアルカリバッテリーパックの内の1個のセルが不良であることが分かり、今後の安全対策の目途が立った。フロートの回収が、国際的な問題となっていた技術的トラブルの解決に大いに役立った。

アルゴ計画にとって、アルゴフロートにより取得されるデータ(水温、塩分、圧力)の品質を高いレベルに維持することは非常に重要である。特に塩分データは、センサーの汚れや経年変化等の影響を受けやすいため、取得データに対して科学的に高度な品質管理が必要となる。Wongが開発した深層の塩分気候値を利用する品質管理手法を国際アルゴとして採用したが、我々は良質なデータベースを利用すれば、この手法により塩分±0.01 psuの精度を達成できることを示した(図5)。この手法に適した太平洋についての良質なデータベースSelected Hydrographic Dataset(SeHyd)を作成し、ウェブサイトを通して公開した。

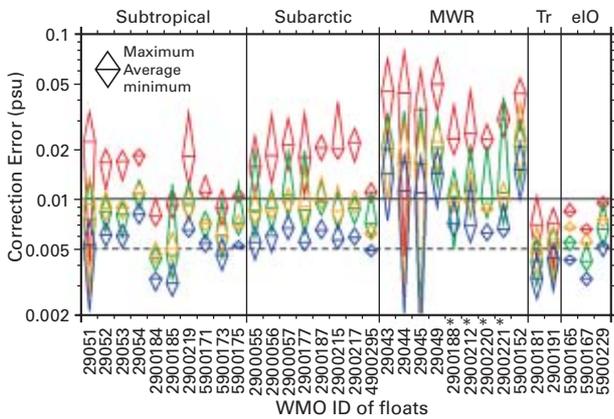


図5 塩分補正エラーの海域・プロファイル深度による違い

従来の気候データに比べて、時空間的に密に存在する2003年冬季のアルゴフロートデータを用いて、北太平洋亜熱帯モード水 (STMW) の形成域における混合層の構造について解析した。STMWの形成域が東経175度まで広がっていること、混合層の深さの分布がその下の水温躍層の深さの分布とよく対応すること等を明らかにした(図6)。

時間・空間に断片的なアルゴフロートデータをグリッド上に再編成することを目的に、地球フロンティアの協力を得て、4次元変分法海洋データ同化システムの構築を進めてきた。2001年と2002年のアルゴフロートデータを対象に、水平1×1度、鉛直36層の解像度の全球モデルを使って同化実験を行った。同化実験の1例(300 m層の水温場)を図7に示す。今後、同化手法の

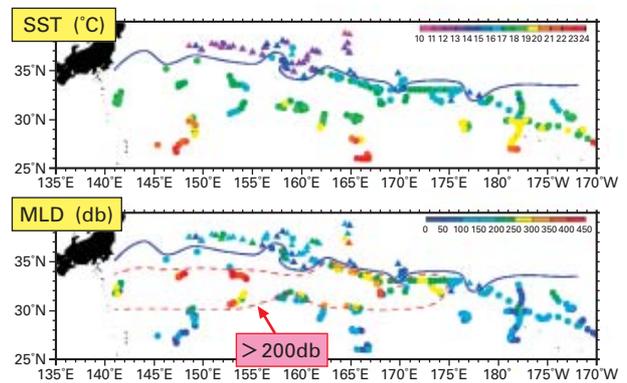


図6 アルゴデータによる海面水温と混合層の深度分布 (2003年2~3月)

更なる改良や他の観測データを取り込む必要がある。

First Argo Science WorkshopをJAMSTECとNOAAの共同で2003年11月12~14日に東京で開催した。アルゴが生み出しつつある最新の科学的な成果、今後の発展等についての発表、議論が行われた。発表件数は口頭45件、ポスター46件、海外22カ国からの99名を含め200名を越える参加者があり大成功であった。

(c) 日本沿海予測実験グループ

黒潮統流域は世界有数の海洋から大気への熱放出量が大きい域である。本州南岸を流れる黒潮は、この黒潮統流域へ熱を運ぶことを通して、気候変動に重要な役割を果たしていると考えられている。日本沿海予測実験グループは、黒潮の流量および流路の変動機

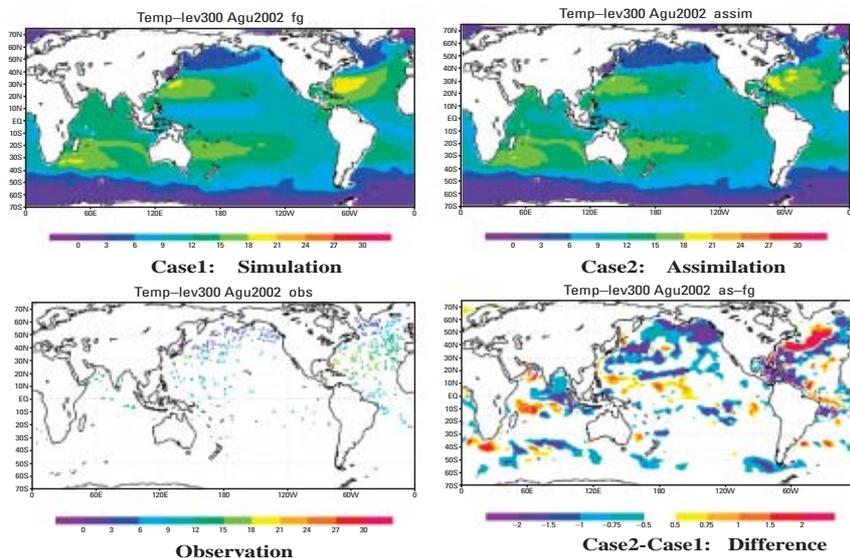


図7 同化実験の1例 300 m層における水温場 (Aug., 2002)

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、気候変動予測数値モデルにおける黒潮の変動予測精度の向上に資することを目的としている。

本州・四国南岸の黒潮は、南西諸島の東側を北東向きに流れる琉球海流系と東シナ海を通り太平洋へ流出する黒潮本流とが九州南方で合流して形成されていると考えられている。しかし、黒潮続流域から頻繁に到達する中規模渦の影響により、この北上流が台湾東方で黒潮から分岐して南西諸島南東海域を北上してきたものなのか、それとも東方からの西向流が沖縄近海で北東に向きを変えて流れているものなのかは確定していない。このため、本グループは、この琉球海流系の平均像とその季節変動の実態と、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の解明を目指して、平成12年度より南西諸島南東海域において観測を続けている。

本年度は、前年度より継続して、長崎海洋気象台・長崎大学・鹿児島大学・米国ロードアイランド大学および海洋観測研究部と共同して、奄美大島南東海域、沖縄本島南東海域、宮古島南東海域、東シナ海黒潮流域、九州南東海域において係留観測および海洋観測を行った。8月1日～9日には、長崎海洋気象台と共同で「長風丸」によって、奄美大島南東海域で2基のPIES(圧力計付倒立型音響測深器)の回収・再設置を行うとともに、九州南方海域でCTD(電気伝導度水温水深計)/LADCP(吊下式音響ドップラー流向流速鉛直分布計)観測を行った(図8のTK、TE、AAおよびAE線)。8月7日～17日には「かいよう」によって、宮古島南東海域と沖縄本島南東海域で5台の係留流速計と1台の係留型ADCP(音響ドップラー流向流速鉛直分布計)の回収・再設置を行うとともに、宮古島南東海域においてXBT(投下式水温水深計)観測を行った(図8のMY線)。8月17日～23日には長崎大学水産学部附属練習船「鶴洋丸」を用いて、奄美大島南東海域と沖縄本島南東海域においてCTD/LADCP観測を行った(図8のOS、EおよびAE線)。

当初は、8月中旬の「かいよう」航海でPIESの回収・設置を行う予定であったが、台風の接近により、11月の鹿児島大学水産学部附属練習船「かごしま丸」航海および12月の「かいよう」航海で実施することに変更した。しかし、悪天候およびその他のトラブルにより、11

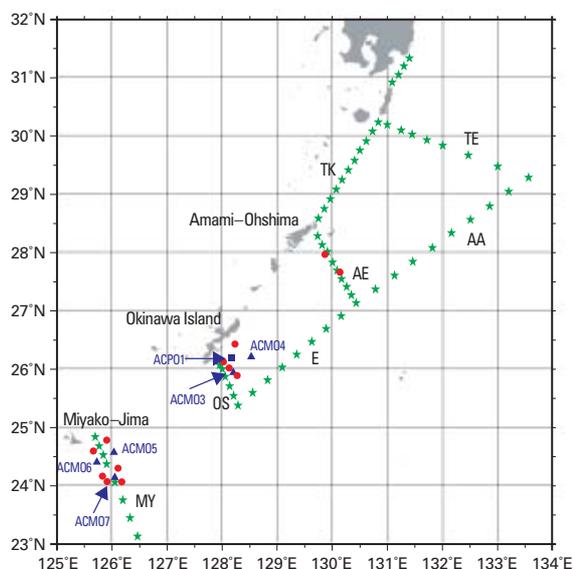


図8 南西諸島南東海域において平成15年8月に行われたCTD/LADCPまたはXCTD観測点(★)と平成16年3月現在の係留系設置点(■:係留ADCP、▲:係留流速計、●:PIES)

月と12月の航海では4基のPIESの回収と6基のPIESの設置にとどまった。平成16年8月に宮古島南東海域と沖縄本島南東海域に設置中の全ての係留機器を回収する予定である。なお、平成16年2月24日～3月11日には、中央水産研究所調査船「開洋丸」によって黒潮流域(図9)においてCTD/LADCP/XCTD(投下式電気伝導度水温水深計)観測と海上気象観測を行い、冬季の海面熱放出量を見積もるための基礎資料を得た。

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。

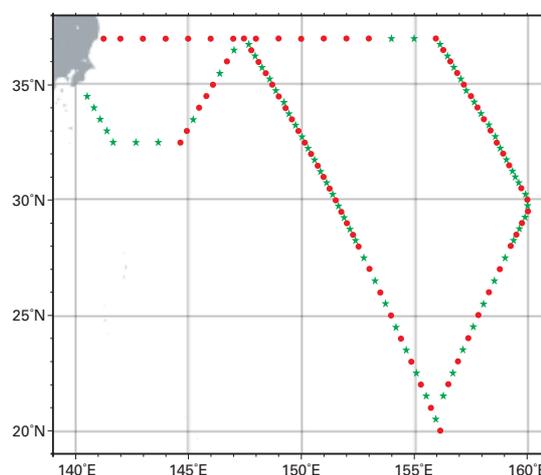


図9 黒潮流域において平成16年2月24日～3月17日に「開洋丸」によって行った海洋観測点(●:CTD、★:XCTD)

- (i) 平成14年12月から平成15年8月までの係留流速計観測により、宮古島南東海域における流速の連続観測資料を初めて取得することに成功した(図10)。
- (ii) 平成12年11月～平成13年8月のPIES資料から求めた地衡流量と同時期の海面高度差との経験式を用いて、平成4年から平成13年までの9年間の沖縄本島南東海域における琉球海流系の流量の長期変動を推定した(図11)。

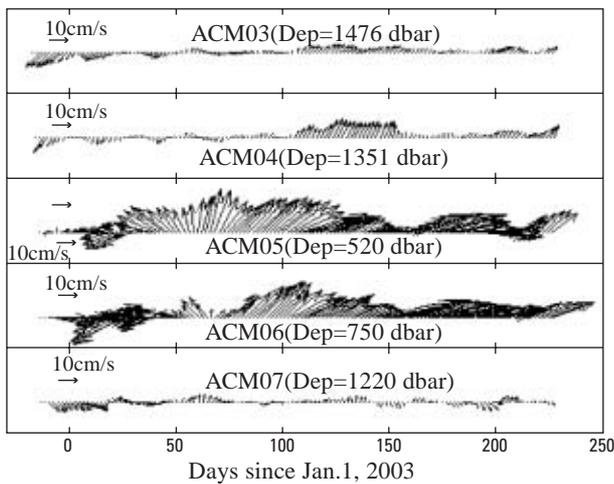


図10 沖縄本島南東海域(ACM03、ACM04)および宮古島南東海域(ACM05、ACM06、ACM07)における流速ベクトルの変動。図の上方が北。ほぼ同じ深度であるACM03、ACM04、ACM07での変動を比較すると、宮古島南東海域では定常的な北東向流が弱いといえる。

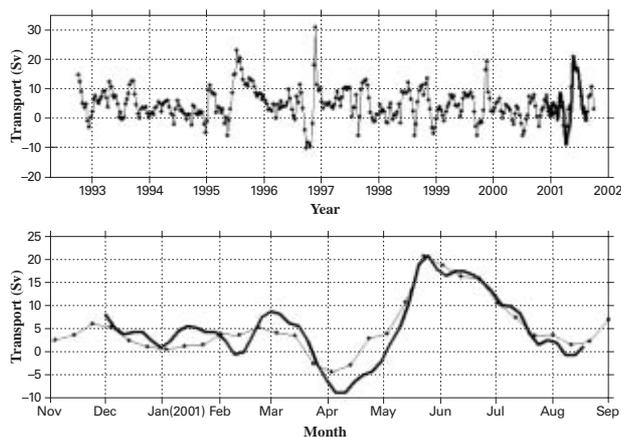


図11 琉球海流系を挟む両側の海面高度差との経験式から推定された沖縄本島南東海域における1992年から2001年の琉球海流系流量の変動(上)と、2000年12月から2001年8月までのPIES観測資料から得られた地衡流量(太実線)と海面高度差から推定された流量(細実線)の変動(下)。106日～160日周期の中規模渦に伴う変動と準2年周期変動が卓越している。平均は北東向きに4.5 Sv。

- (iii) 平成14年5月～12月に奄美大島南東海域において得た流速計係留観測、PIES観測、CTD観測の資料を解析し、係留流速計とCTD観測で検出された200 m～500 m深の北東向きの流速極大コアをPIES観測でも検出できることを確認した。

2) 水循環観測研究領域

水循環観測領域においては、観測システム・観測ネットワークの構築を通じてアジアモンスーン地域からユーラシア大陸を中心として、温暖化に伴うこの地域特有の気候の年々変動、またそれに関わる物理過程を解明し、将来の気候変化を予測する統合モデルの構築に資することを旨とする。

(a) 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、大陸域寒冷圏の陸域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15年度に実施した研究課題は平成14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・熱循環に関する良質のデータセットを構築する。
- (iii) 水・熱循環に関する陸域物理モデルを開発し、またその検証を行う。

この目的に関連し、平成15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)、タイガ帯(ヤクーツク)での多様陸面での水熱交換観測の継続。
- ②モンゴル中北部における水・熱循環の流域観測の開始。
- ③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15年度は東シベリアでの基本観測を継続しながら、②のモンゴル中北部における観測実施に重点を置いた。不連続永久凍土帯であるモンゴルでの観測を付加することにより、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を進める予定である。③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。得られた主要な観測結果は以下のとおりである。

1. モンゴル草地における年間の水循環項や蒸発特性の結果：

凍土・積雪を含む流域の水循環変動の研究の一環として、平坦草地での水熱交換過程を調べている。草の育成状況、積雪・融解など地表面状況の変化に応じた地表面での水熱交換の季節変化が明らかになった。図12に1年間(7月から7月)の蒸発効率と土壤水分・草の水分の関係が示されているが、融雪による土壤水分増加と植生活動により蒸発効率の変動が決まっていることがわかる。

2. 凍結土壌内の水分量・水量変化の特徴の抽出：

モンゴル研究対象流域内に地表層水分観測プロットを作成し凍土と水分状況の観測を行い、凍土内に液体水の挙動について明らかにした(図13)。凍土内で、深さにより液体水の分布、時間的推移の違いを明瞭に見ることが出来る。

3. 固体降水量補正研究に関する進展：

バローにおける強風下における雪粒子の過捕捉に関する実証的データの集積が進み、固体降水に関する補正法の改良に関し新しい知見が得られるようになった。図14が観測サイトであり、図15にトレチャコフ降水量計

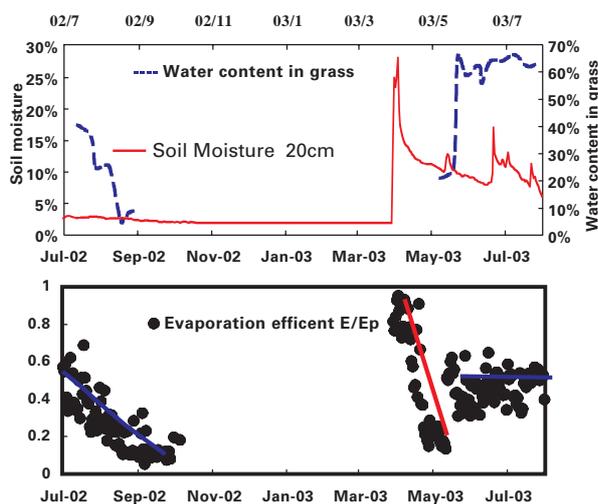


図12 モンゴル研究対象流域内の平坦草地での年間蒸発効率(下;可能蒸発量に対する実蒸発量の比)および20 cm 深の土壤水分(上、赤)と草の保持している水分(上、青)

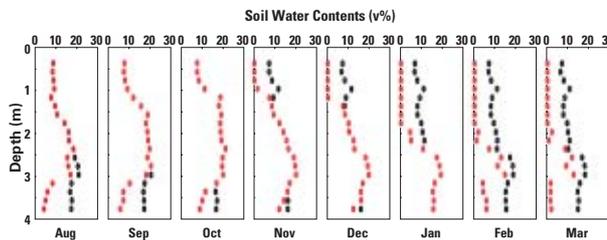


図13 モンゴル実験流域内のプロットにおける4 m深までの総水分量(黒、黒点のない深さでは赤)とそのうちの液体水の量(赤)



図14 アラスカ・バローの実験サイトの降水量計配置。大型の計器がワイオミング型とDFIRであり、その手前に各国の使用雨量計が並べられている。

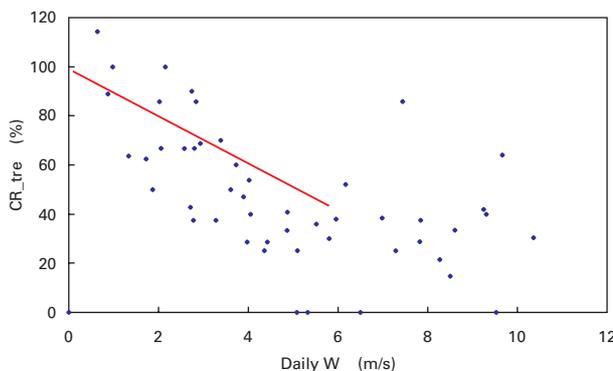


図15 バローでのトレチャコフ降水量計での風速(W)と捕捉率(本降水量計による測定値/真値)の関係。図中の線は過去のWMO捕捉率実験の結果。

(ロシアなどが使用)の風速(W)と捕捉率の関係を示した。気候帯が異なるため、6 m/sまでも勾配が異なること、また強風下では、地吹雪の発生のため、見かけ上の捕捉率が良くなっていることがわかる。これは地域によって補正法が異なり、また風速の近い地域では、今まで降水量を過大評価していたことを意味する。

観測フロンティア発足4年間で当初目指した観測ネットワークの構築が進みつつあり、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

体制が一定程度できたと言える。今後は、一層の観測網の充実により、データの集積、取得データの解析を行い、またモデル構築も並行して行う。

また、類似した研究プロジェクトを実施している研究プロジェクトとの情報交換や研究連携のために12月に「モンゴルにおける陸域変動に関するワークショップ2003」および「北ユーラシア水循環シンポジウム」を実施した。

(b) 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。

中国長江下流域における観測では、平成13年度と平成14年度に特別集中観測を行った。平成15年度の梅雨期集中観測は、過去2年間の経験をもとに中国のドップラーレーダー、ゾンデ、地上観測などにより構成された観測網(図16)を用いて、梅雨前線帯における降水システムの3次元構造及び発達過程とその環境場に関する観測を実施した。

本年度は、梅雨前線とそれに伴う降水システムが頻繁に長江流域の北側に停滞していた。そのため、長江流域の北側に集中的に雨が降っていた(図17)。長江流域の南側の雨量が200~400 mm程度であったのに対し、北側の雨量が600 mmを超えていた。多いところでは800 mmを越え、その地域における1年分に相当する雨量が梅雨期にもたらされたことになる。長江北側の淮河(Huaihe River)流域において、梅雨期における総降水量が例年より約3倍多く、各地で深刻な洪水被害が起こった(図18)。洪水をもたらした豪雨イベントの多くはドップラーレーダー等に観測され、現在、これらの豪雨をもたらした降水システムの

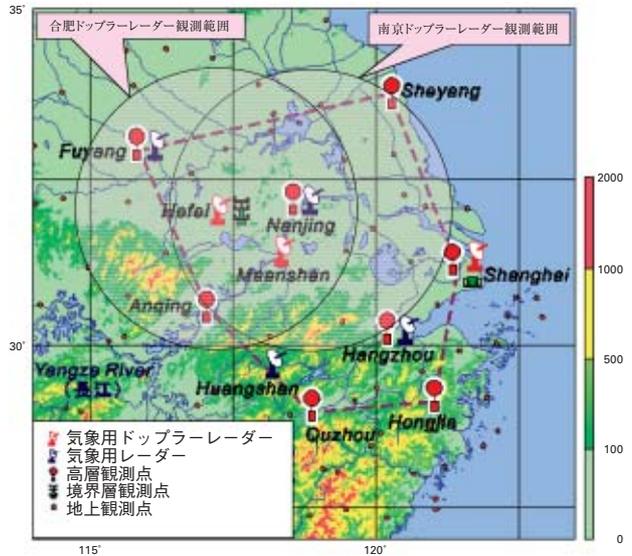


図16 2003年長江下流域梅雨期気象観測網

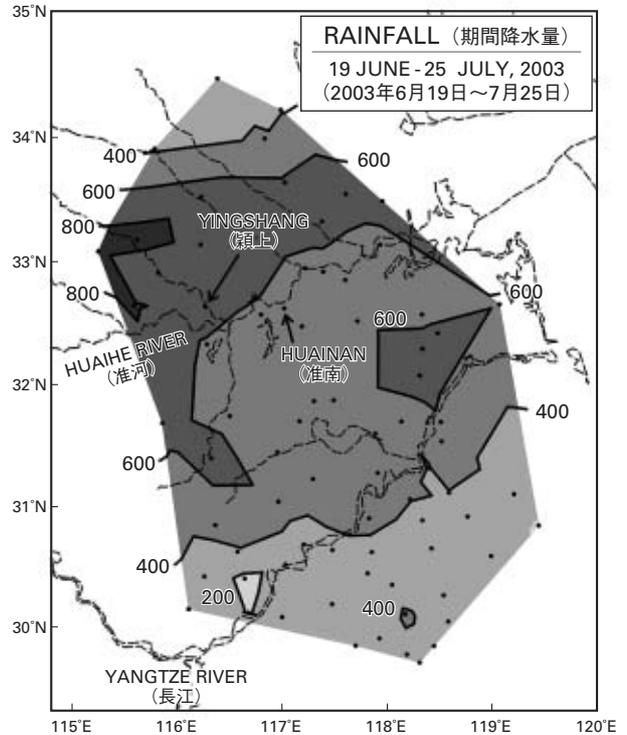


図17 2003年梅雨期における安徽省の総降水量分布

解析を進めている。本年度の観測により、梅雨前線帯の変動の特性と梅雨前線に伴う豪雨の発達過程を理解する上で大変貴重なデータが得られ、その解明に関する研究を進めることが期待される。

西太平洋赤道域(パラオ諸島周辺)における雲・降水過程の観測は気候変動観測研究領域の大気海洋相互作用グループの項を参照のこと。



図18 洪水で大きな被害を蒙った民家(淮河流域瓦埠湖周辺)

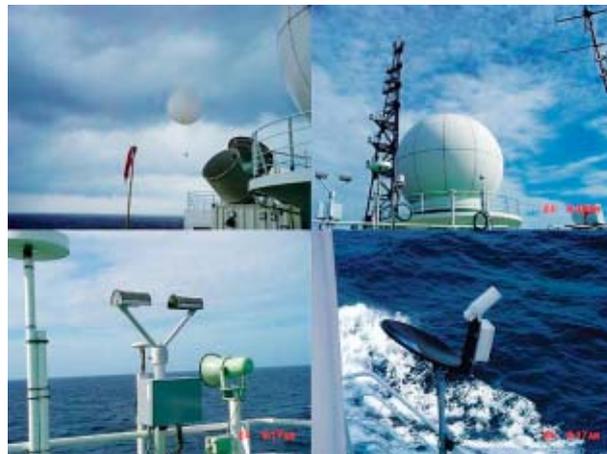


図19 海洋地球研究船「みらい」による東インド洋大気観測
左上から、レーウィンゾンデ、ドップラーレーダー、雨滴
粒径分布、マイクロレインレーダーの設置・観測状況

(c) 広域水循環グループ

広域水循環グループでは、アジアモンスーン域における広域大気・水循環変動過程の解明を目指し、平成13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15年度も継続した。これら観測データの解析に基づく研究成果の国際学会発表および論文刊行も相次いで行われている。

(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た降水特性、顕熱・潜熱フラックス、低層風等の観測および周辺部における自動雨量観測などを継続した。レーウィンゾンデ集中観測(4~8回/日)について平成15年度は延べ約40日行なった。また同島西岸のパダン、その沖のシベル島でも自動気象ステーション観測等を継続した。また、海洋地球研究船「みらい」の東インド洋航海に乗船し、スマトラ島西方洋上における対流活動のドップラーレーダー観測、レーウィンゾンデ観測を行なった。これまでに取得・収集した観測データおよび各種衛星観測データの解析から、スマトラ島および東インド洋に広がる降水ピークの高陸間日周期移動とこれに伴う局地循環系の相互作用を示した他、東インド洋上における季節内変動の活発期・不活発期における降水特性(降水タイプ、エコー頂高度、大気安定度、鉛直シア、組織化等)の差異を明らかにした。また、自動雨量計網データを基にスマトラ島山岳域および沿岸域における降水日変化特性の地理的差異と大規模擾乱との関係を示した(図19)。

(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」について

前年度のGPS解析から明らかとなった、インドネシア・スマトラ島山岳域(コタババン)における水蒸気量の夕方増大のメカニズムを、領域気象モデルを用いた数値実験から調査した。その結果、大規模山脈に沿って水蒸気帯が形成され季節風により風下伝播する現象及び、この日周期変動が月平均値からも確認できる気候学的性質を持つことが示唆された。山岳に隣接するスマトラ西岸域(パダン)におけるGPS観測は、山岳から数時間遅れて日没後に水蒸気量が最大となる顕著な日変化を示し、数値実験が提唱する山岳からの水蒸気輸送を支持する結果を得ている。

シベル島、カリマンタン島東西沿岸及びタイ(バンコク、チェンマイ、プーケット)でのGPS観測も順調に継続しており、アジアモンスーン期の水蒸気日変化を調査中である。

また前年度から調査中であった、チベット-ヒマラヤ地域での水蒸気日周期変化のメカニズムが、GPS解析と数値実験の融合研究から明らかとなった。さらに、チベット高原東部(那曲;ナチュ)・西部(改則;ガイゼ)におけるGPS解析から、モンスーン期には高原東部の水蒸気量の日周期変動が小さいにもかかわらず、雲活動・降水量が顕著な日周期性を示す結果を得ており、そのメカニズム調査が進行している(図20)。



図20 インドネシアバリクパパンに設置したGPS受信装置および自動気象ステーション



図21 マカッサル気象台で採取された9ヶ月分の同位体サンプル

(iii) アジア域における同位体観測ネットワークについて
 アジア域における降水の起源と再循環過程を解明するため、これまでシベリア、チベット、ネパール、インドネシア、タイ、パラオにおいて、降水の安定同位体観測ネットワークを構築し観測を継続している。これらの観測データは、従来の観測における空白域を埋めるとともに、日単位という短時間間隔での観測として、世界的に類を見ない貴重なデータである。

また、東京大学生産研究所の水同位体循環モデルを使い、2001年タイおよびインドネシアで観測した降水同位体の日々変化を再現し、水蒸気の起源を推定した。その結果、タイ3地点ではモンスーン期の降水はインド洋起源が卓越しており、その割合は南ほど多いことを明らかにした。インドネシア・スマトラ島では東岸ではインド洋起源が多いのに対して、西岸ではジャワ海起源が多いことが明らかとなった。これらの成果は国際会議で発表するとともに、国際誌に投稿している(図21)。

なお以上のうち、(i)は京都大学、(iii)は京都大学および東京大学との共同研究である。

3) 大気組成研究タスクチーム(共生第3課題サブサブテーマ)

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

本研究は文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」第3課題サブサブテーマとして、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して開始された。本研究の研究課題は次のようになっている。

(a) 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(O₃)・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。

(b) HO_x(OH, HO₂)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。

(c) 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。

これらそれぞれの課題に対して平成15年度は、次のような研究を行った。

(a) 中国科学院・大気物理研究所との共同研究協定の下に選定された中国の3つの山岳観測地点、Mt. Taishan(泰山)、Mt. Huashan(華山)、Mt. Huangshan(黄山)の3カ所における観測を開始した。これらの地点の内前年度に先行してO₃連続測定装置、CO連続測定装置が設置された泰山では、中国における山岳地点での連続観測データが初めて得られた。得られたデータから、特に2003年の4、5、6月のオゾン濃度はそれぞれ最高値、100、120、160 ppbvを示し、中国のルーラル地域においてオゾン汚染が非常に進行していることが明らかとなった。

(b) 前年度までの研究で世界のトップクラスの装置と同等なところまで検出感度を向上させたOH/HO₂ラジカル測定用のレーザー誘起蛍光法(LIF)装置を用いて、北海道・利尻における集中観測キャンペーン、及び東京における測定を行った。利尻におけるOH/HO₂ラジカルの測定結果を、ボックスモデルの計算結果と比較した結果、OH、HO₂ラジカルともモデルによる理論予測は、推定される誤差の

限界を超えて過大評価となった。しかしHO₂ラジカルの測定値を束縛条件として計算されたOHラジカルの濃度は測定値と良く一致し、不一致の原因が実際の大気中におけるHO₂の未知の消失過程であることが示唆された。

- (c) 中国の将来予測エミッションインベントリーを行うために必要な活動度データなどを北京の清華大学から入手し、インベントリーの精度向上のための手法の開発を行った。

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15年度は、(a) 海洋-海水-大気結合システムの解明、(b) 複合分野プロセスの解明、(c) 生態系モデルの構築の3つの課題に関して研究を実施した。

(a) 海洋-海水-大気結合システムの解明

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15年度は、太平洋水と大西洋水の挙動を明らかにするための観測船を利用した2つの観測を実施した。

- (i) NABOS2003 ラプテック海観測 (ロシア砕氷船 Captain Dranitzyn)

- (ii) JWACS2003カナダ海盆観測(カナダ砕氷船Louis S. St-Laurent)

ロシア砕氷船Captain Dranitzynを利用し、2003年8月26日から9月17日ラプテック海の観測を実施した。本航海では昨年度に投入した繫留系の回収をした後、CTDによるハイドロキャスト、ロゼット採水器による海水採集、鉛直、水平引きネットによるプランクトンと稚魚の調査を実施した。米国COREL、ドイツ、イギリス、ロシア等の海水ブイの設置を5カ所で行った。本航海では、昨年度の繫留系設置場所に加えて、ロシア排他的経済水域内での調査を実施し、新たに繫留系を投入した。観測点、繫留系設置点を図22に示す。今回設置した繫留系の模式図を図23に示した。基本的にはMcLane Mooring Profiler、またはMMP(CTD+流速系)と低層と表層に校正用のCTDで構成されている。



図22

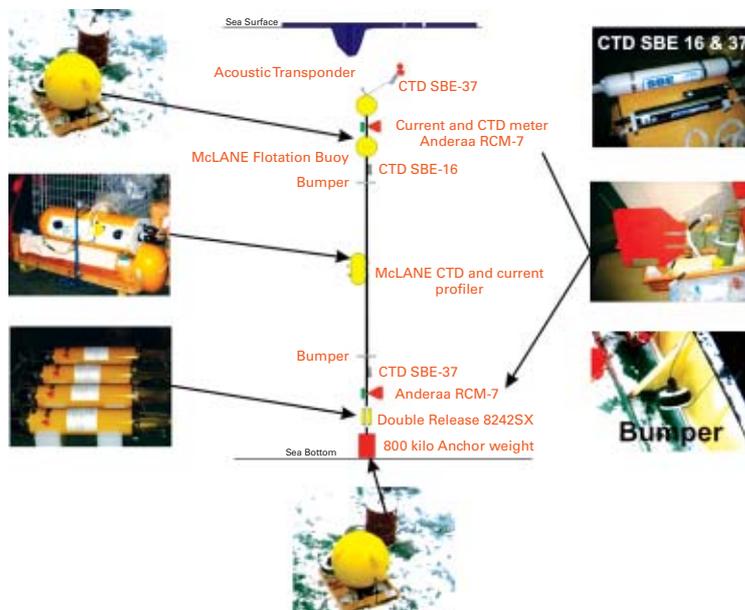


図23

大陸斜面からナンセン海盆にかけての水温断面を典型的な水温、塩分鉛直分布と共に図24に示す。水深150 mから500 mにかけて、比較的水温の高い大西洋起源水の分厚い層を容易に捉えることが出来た。大西洋起源水層中には顕著な水温の階段状構造がみられる。MMPで捉えた水温にも3ヶ月以上の長期間に渡ってこの階段状構造が観測されている(図24)。この構造は非常に広範囲に長期間分布していることが明確になった。大西洋起源水層中の水温極大層の密度は $\sigma_\theta = 27.9$ にある(図25a)。この密度層の水温の水平分布を調べると、比較的水温の高い域と低い域が分布していることがわかった(図25b)。また、水温の階段構造は比較的水温の高いラプテック海北西部に限られていることが観測によって明らかになった。

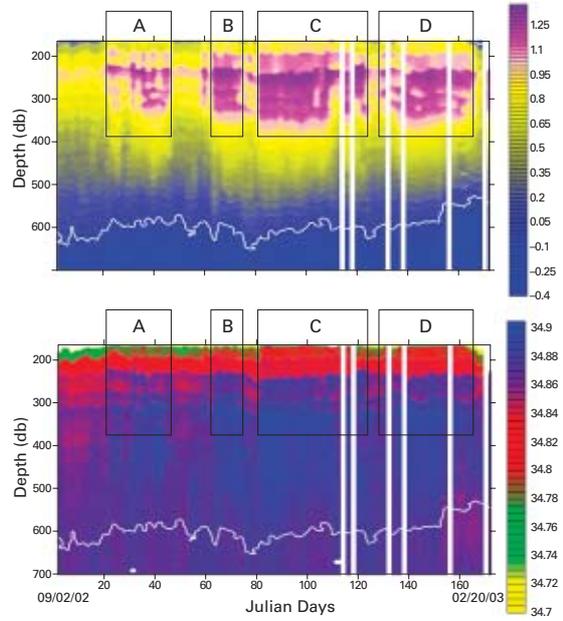


図24

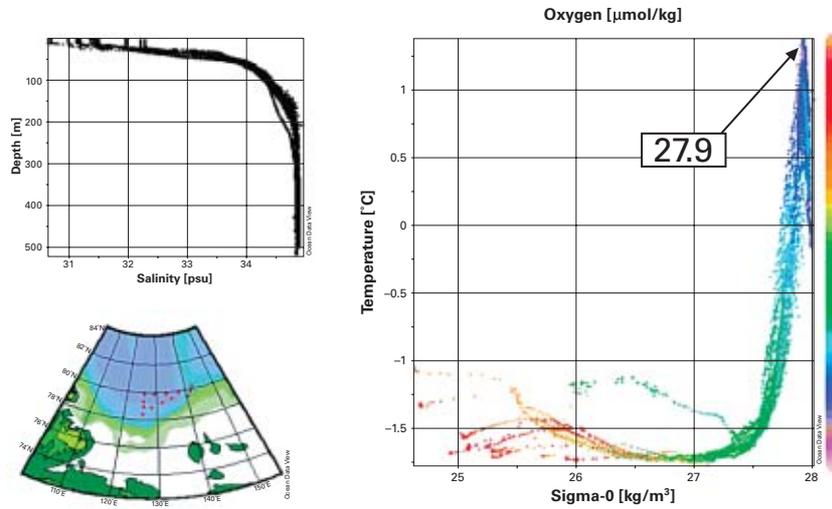


図25a

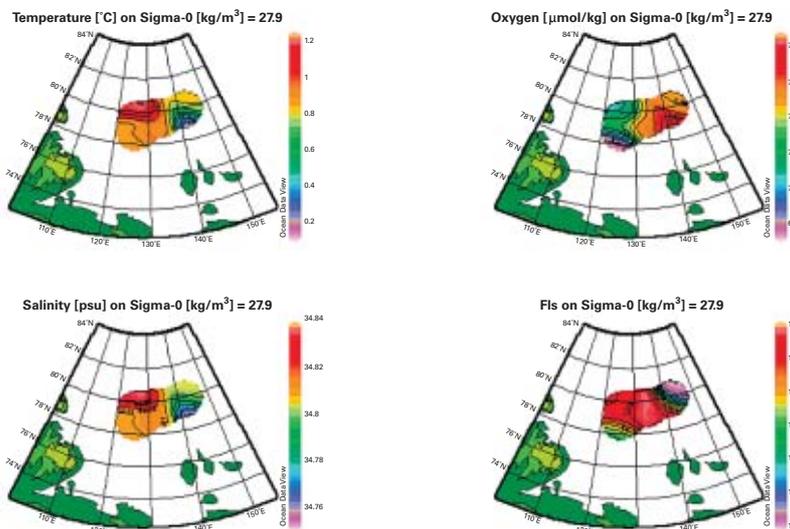


図25b

上記、ロシア砕氷船の観測とほぼ同時期にカナダ砕氷船を利用した JWACS2003 研究航海が実施され、これに参加する機会を得た。JWACS 航海は JAMSTEC 海洋観測研究部とカナダ水産海洋庁の国際共同事業として行われているものである。IARC から 2 名の研究者が本航海に参加し、CTD 観測点で 540 個の同位体用試料、277 個の CDOM の試料を得た。マッケンジー川河口付近に設置してあった MMP 繫留系を引き上げ、データを回収した後、再投入した。航路図を図 26 に示す。MMP データの予備的解析から強い中層渦が捉えられていることが判った(図 27)。この種の渦は衛星や通常の海洋観測では捉えることが困難であるので、貴重なデータと言える。

(iii) 化学トレーサデータベースを利用した北極海淡水分布の研究

北極海の淡水量とその分布の変動は海洋循環、海水生成等と深く関係があり、北極圏の気候を支配する

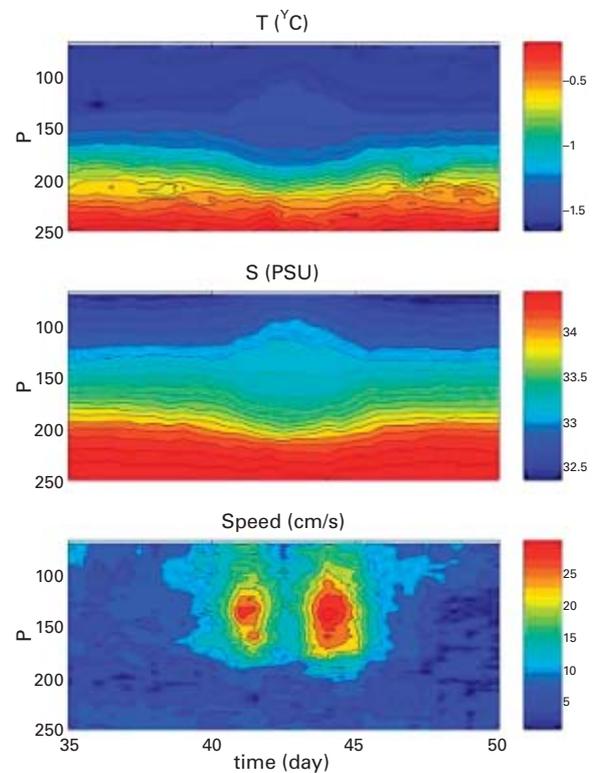


図 27

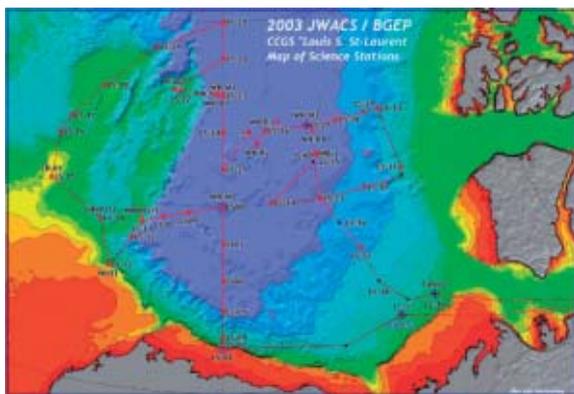


図 26

一つの主要要素である。IARC 地球フロンティアがロシア AARI と協力して編纂した Hydrochemistry Atlas のデータを解析して、起源別に淡水分布を求める方法を開発した。従来は水の同位体情報を用いたが、この方法では過去のデータの蓄積が豊富なアルカリ度を利用した。従来の同位体法でえられた河川起源水含有量と新たにアルカリ度でえられたものを比較すると(図 28)、両者はほぼ完璧に一致することがわかる。アルカリ度法で得られた北極海 50 m 水深での河川水起源

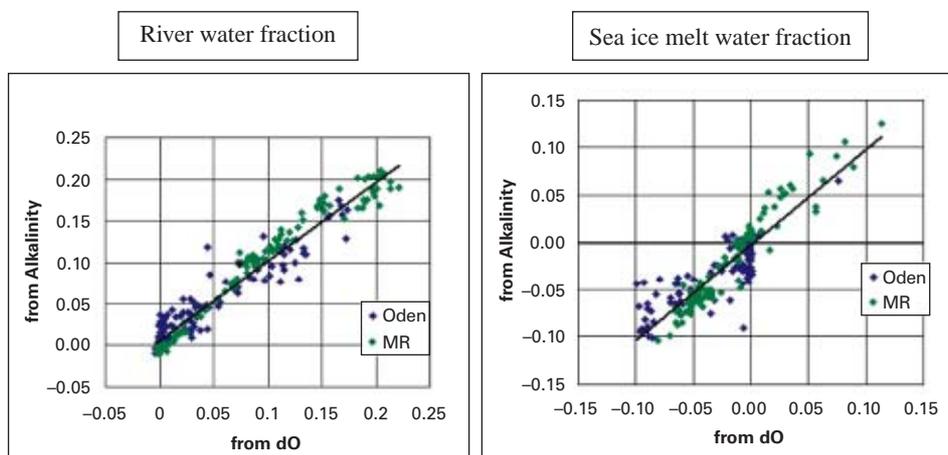


図 28

水、海氷融解水含有量の分布を図29に示す。これは過去50年間の平均場である。今後は北極での主要な気候レジーム変動と分布様式の変動等の解析を行って、北極海の気候における淡水の役割を明らかにしていく予定である。

(b) 複合プロセスの解明

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。

海氷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、海氷組成、気象要素等の観測をUAFと協力して実施してきた。今年度は現場培養法による溶存、粒状有機炭素の生成速度、分解速度の見積りのための観測を実施した。

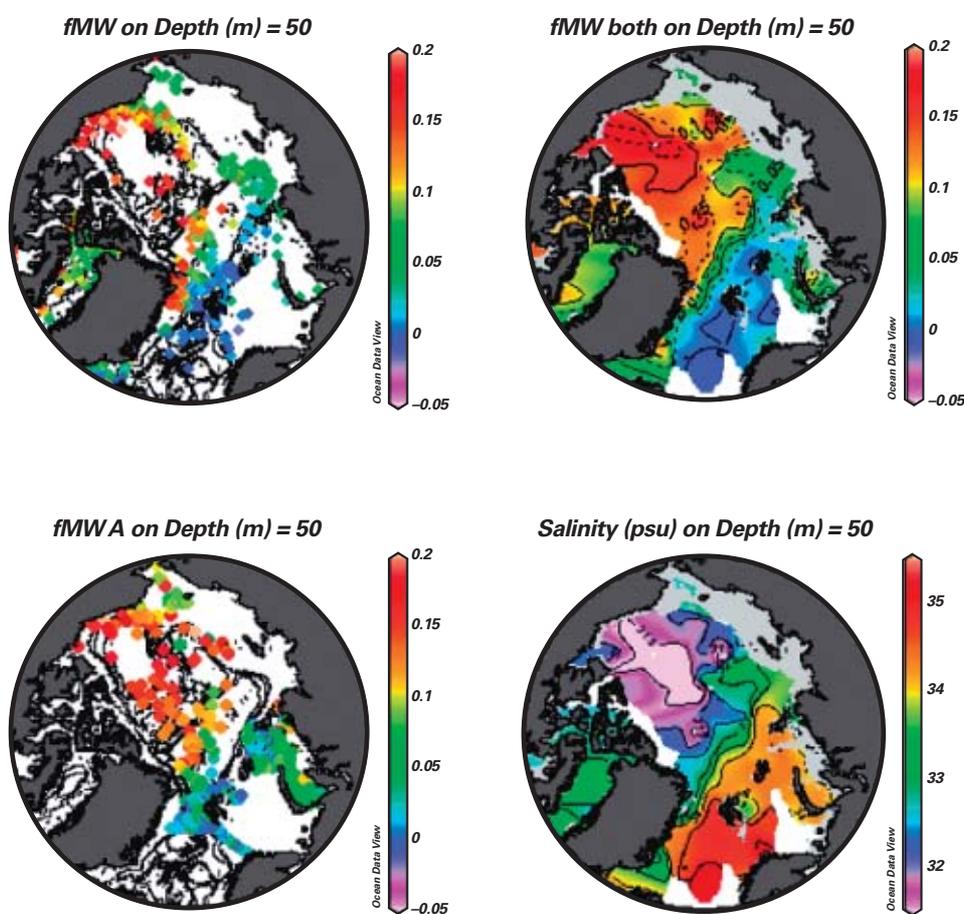


図29

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 21st Century)は、世界で初めてライザー機能を有し世界最高レベルの掘削能力を持つ科学掘削船「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海底地殻深部まで直接掘削し、堆積物・岩石試料の取得及び掘削孔を利用した観測等を実施するものである。取得された試料の研究や観測を通じ、地球環境変動の解明、地震発生帯を含む地球ダイナミクス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、新たな地下生物圏の発見等、20世紀の地球・生命科学に輝かしい成果をもたらしてきた。平成15年10月からはOD21とODPは統合され、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ライザーレス掘削船の運用を中心とした、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)」へと発展した。

IODPは、21世紀の地球・生命科学を大きく発展させるであろう国際プロジェクトである。その科学成果は、地震発生のメカニズム解明、地球環境・エネルギー問題の解決等に貢献できる。人類が現在直面している課題の解決へ向けて、IODPには大きな期待がかけられている。

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きた。来年度には「ちきゅう」の運用組織である地球深部探査センター(CDEX: Center for Deep Earth Exploration)と統合し、IODPのさらなる飛躍に邁進していく。

(2) 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、科学調査に初めて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2,500 m(将来的には水深4,000 m)までの海域において、海底下7,000 m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などの柱状試料(コア)の連続的な回収、掘削孔内における物理・化学的な

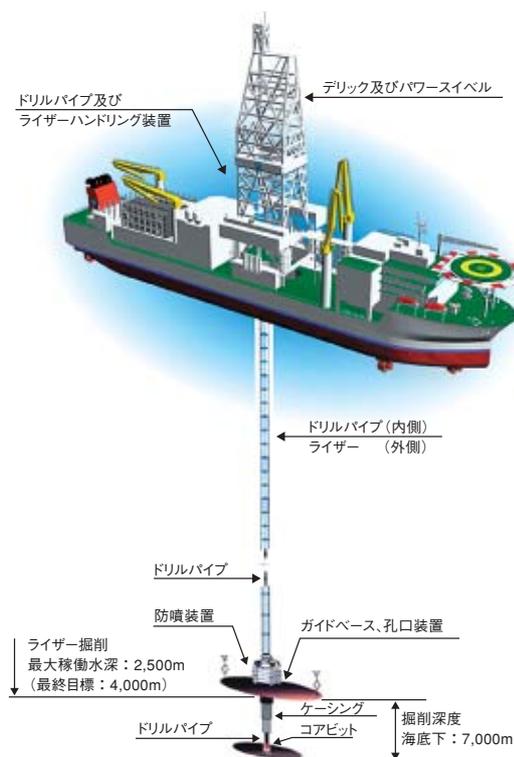


図1 地球深部探査船「ちきゅう」概念図



図2 地球深部探査船「ちきゅう」

各種計測、さらに得られたコアや地層データなどの分析・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、国際深海掘削計画(ODP)と同程度のもの(外径約60 mm)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51.5 m/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。さらに、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、廃棄泥水など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などが進められ、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15年度初旬に、三井造船株式会社玉野事業所において建造していた船体部が完成しその海上試運転を終えた。その後、本船は三菱重工業株式会社長崎造船所へ回航し、ドリルフロアなどの掘削部の構造モジュールが搭載された。また、デリック(檣)、パイプハンドリング関連機器、泥水循環関連機器などの掘削機器の搭載が行われ、一部の機器については船上作動確認試験も実施された。

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	57,500ton
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)

(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(Implementing Organization for Riser Vessel)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、海流調査などの事前調査業務である。

平成15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具体的な運用準備を進めた。

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など、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。

しかしながら、30インチ径のコンダクターパイプ(海底面下約50 mまで)、その内側に20インチ径のケーシングパイプ(海底面下約500 mまで)をセットし、その上に噴出防止装置を据付、「ちきゅう」とこの噴出防止装置をライザーパイプ(21インチ径プラスアルファ)で接続するまでは、ODPと同じく海水を使用した掘削／コアリング方法が採用される。

前述のように、海底面下約500 mまでは海水を使って掘削作業が実施されるため、浅部のガス層等に遭遇した場合には噴出を抑えることが困難になる。また、噴出防止装置を据付、ライザーパイプを接続した後は、海潮流のこのライザーパイプ及び「ちきゅう」に及ぼす影響を考慮する必要が出てくる。

掘削地点で安全且つ効率的な掘削作業を行うために、掘削地点の気象・海象、海底地形、地下構造などを正確に把握する事前調査が不可欠となる。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、安全且つ効率的な掘削作業が可能となる。

平成15年度は、下北半島東方沖の2箇所、前年度に実施した浅層高精度地震探査データ等を使って掘削候補地点のさらに絞り込みを行った。これらの掘削候補地点を対象に、海底面下約250 mまでのハザード調査のためのシングルチャンネル地震探査、海底での滑り面或いは断層があるかどうか等の検出のためのサイドスキャンソナー／サブボトムプロファイラーによる調査を実施した。さらに、これらの海底面状況調査結果に基づき、ピストンコアラーによるサンプリングを実施した。

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、且つ「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。

昨年度に行われた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、「安全衛生および環境保全に関する基本方針」およびCDEX HSE-MS (Health, Safety and Environment-Management System) マニュアル、ライザー掘削手順に関するマニュアル草案の作成に続き、平成15年度は各船上機器のメンテナンス、スペアパーツの管理等を行うPreventive Maintenance System (PMS) の基礎の確立が行われた。

4) 科学サービス体制の整備

「ちきゅう」船上の研究区画整備、陸上コア保管・研究施設の整備、そして得られたデータ(情報)の管理・運営を行うデータベースソフトウェアのプロトタイプ開発を行った。また孔内仕上げの一環として孔内計測機器に関する調査を行った。

「ちきゅう」は定期的な研究区画の保守作業の他に、平成14年度に引き続き新たに導入した機器類(ガスクロマトグラフ、グローブボックス、オートクレーブ、極超低温冷凍庫、純粋製造装置、岩石カッター、薄片製作機、有機炭素分析装置など)の整備、調整を行った。また「ちきゅう」に搭載予定のコア半裁機の基本設計、コア運搬ロジスティックス(運搬コンテナなど)の概念設計を行った。

陸上コア保管施設は高知大学海洋コア総合研究センターとの共同運営覚書を交わし、5月のコアセンター開所式以降導入機器類のトレーニング等を開始すると同時に、作業の安全性を考慮した作業マニュアル作りに着手した。

「ちきゅう」研究区画に設置された機器類から生産されるデータの一元管理、可視化機能を持ったデータベースシステムのプロトタイプ開発を終了した。このシステムをJ-CORES (JAMSTEC Core Systematics) と命名し、外部評価を実施した(図3)。

「ちきゅう」による掘削孔を用いた長期孔内計測に関し、安全で且つ作業可能な機器編成、デザインなどの基本事項の検討を行った。

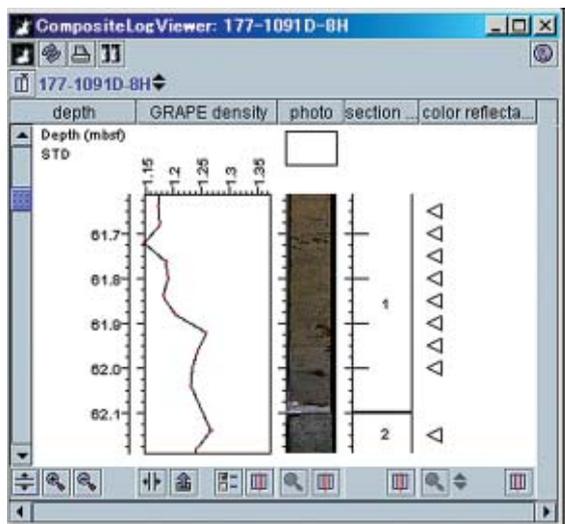


図3 プロトタイプが開発が終わったJ-CORESデータベースシステム。管理データを閲覧ソフトウェアによって同一深度軸でデータを閲覧することができる。

(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(以下、センターという。)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、日米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4月22日に文部科学省と米国国立科学財団との間で覚書の締結を経て、同年10月から正式に開始された。IODPは、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ライザーレス掘削船の2船運用を基本とする国際科学計画である。平成16年3月には欧州12カ国が参加する欧州海洋研究掘削コンソーシアム(ECORD: European Consortium for Ocean Research Drilling)が覚書に署名し正式に参加した。

IODPの準備段階では、国際ワーキンググループ(IWG/IODP: International Working Group for IODP)、IODP暫定科学アドバイズ組織(iSAS: interim Science Advisory Structure)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きた。IODPの正式発足に伴い、IWG/IODP会議は平成15年6月カプリ(イタリア)での開催を最後に閉幕し、その任の多くはIODP評議会に引き継がれて、第1回IODP評議会が同年12月にサンフランシスコにて開催された。

センターは、平成14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支援オフィスに職員を派遣し、IWG等の各種活動の支援を行った。また、平成15年9月まで横須賀本部内に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iSASの支援を行った。その後、計画全体の管理・運営などのIODP中央管理組織の機能を担うIODP Management International Inc.(IODP-MI)の準備が整うまで(平成16年3月まで)の間、引き続き事務所を提供した(いわゆるiSAS事務所)。

IODP-MIは平成15年2月に設立され、その主要な一部機能(科学計画立案支援等)は日本が担当し、日本事務所を札幌(北海道大学内)に設置することが了承されていた。センターは、我が国におけるIODPの総合推進機関としてIODP-MIの運営準備を行うため、財団法人地球科学技術総合推進機構にその業務を委託し、運営体制の構築・整備を行った。

また、IODPの国際的な普及・広報のために、平成15年6月に札幌で開催されたIUGG(The International Union of Geodesy and Geophysics)、9月に米国サンディエゴにて行われたOCEANS、12月にサンフランシスコで開催された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きた。

国内での研究推進体制については、平成15年度より財団法人地球科学技術総合推進機構にIODP国内科学計画委員会(以下、科学委員会という。)の運営を委託し、日本地球掘削科学コンソーシアム(J-DESC: Japan Drilling Earth Science Consortium)IODP部会と連携を図りつつ、7つの専門部会と1つの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暫定科学アドバイズ組織(iSAS)への委員の派遣やパネルの対応、IODP航海への乗船研究者派遣の検討を行った。また、科学委員会はJ-DESCとの共著により、

平成16年3月にIODPにおける我が国の科学計画を達成させるための具体的指針として、「我が国の科学戦略－掘削計画の実現に向けて(1)－」を発行した。さらに、IODP国内関係者のメーリングリストの維持管理を行い、関連する情報を発信した。

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ニューズレターの発行(第15号;和文及び英文)及び地球惑星科学関連学会合同大会、日本地質学会、日本地震学会等におけるブース展示を行い、さらに平成15年10月にはIODP発足記念シンポジウムを開催して、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（平成15年度はVol.5～6を発行）、ホームページの管理等の業務を実施してきた。さらに平成15年度には、地球惑星科学関連学会合同大会及び日本地質学会にて陸上掘削に関するタウンミーティングを開催し、ICDPを含む陸上掘削科学の推進、普及を図った。また、平成15年10月9・10日に長崎にてICDP参加国代表者等22名が参加して行われた第8回AOG（Assembly Of Governors：理事会）の開催支援を行った（図1）。



図1 AOGの参加メンバー（雲仙科学掘削計画の掘削サイトにて）

12. 地球シミュレータセンター

研究開発の概要と方針

地球シミュレータセンターは、世界最高速(平成16年3月31日現在)の超高速並列計算機である「地球シミュレータ」を運用するとともに、大規模シミュレーション研究の推進を行っている。本計画により、エルニーニョ現象等の地球規模の現象から、都市型集中豪雨などの局地的現象の解明・予測が飛躍的に進展することが期待され、また、産業製品や新素材の開発など、人類の存続・経済的發展等に大きく貢献することを目的としている。

(1) 平成15年度地球シミュレータ共同プロジェクトの選定

地球シミュレータの利用については、地球シミュレータ運営基本計画に基づいて、開かれた利用体制において実施すること、利用計画委員会にて利用計画が策定されることが定められている。

この基本計画に基づき、平成15年3月5日開催の第3回利用計画委員会において、平成15年度の①大気・海洋分野、②固体地球分野、③計算機科学分野、④先進・創出分野における各分野の計算機資源の割り当て等の利用計画を策定した。

3月12日から3月30日の期間において、平成15年度の地球シミュレータの利用課題となる「共同プロジェクト」の公募を行った。

平成15年4月10日には、第3回課題選定委員会を開催し、応募のあった57の利用課題の内容を審議し、課題の統合などにより、最終的に合計34の利用課題を、平成15年度の地球シミュレータ共同プロジェクトとして選定した。選定された平成15年度の地球シミュレータ共同プロジェクト一覧を表1に示す。

平成16年1月10日、11日の両日にわたって、平成15年度利用報告会を開催した。

(2) 地球シミュレータセンターにおける具体的研究成果

1) 2002年8月の欧州における集中豪雨の予測可能性

2002年8月にヨーロッパ中部で集中豪雨があり、各地で洪水が発生した。この集中豪雨は数日前からし

か予測ができず、その原因を探るためにシミュレーションを行った。

図1は、集中豪雨がおきた頃の人工衛星による雲の観測結果、図2は集中豪雨が起こる3.5日前の気圧配置などを元にシミュレーションを行った結果である。地中海上の小低気圧とその周りの雲の分布がよく再現されており、北米大陸東海岸の熱帯低気圧が、この集中豪雨発生に大きな影響を与えた可能性があることが判明した。

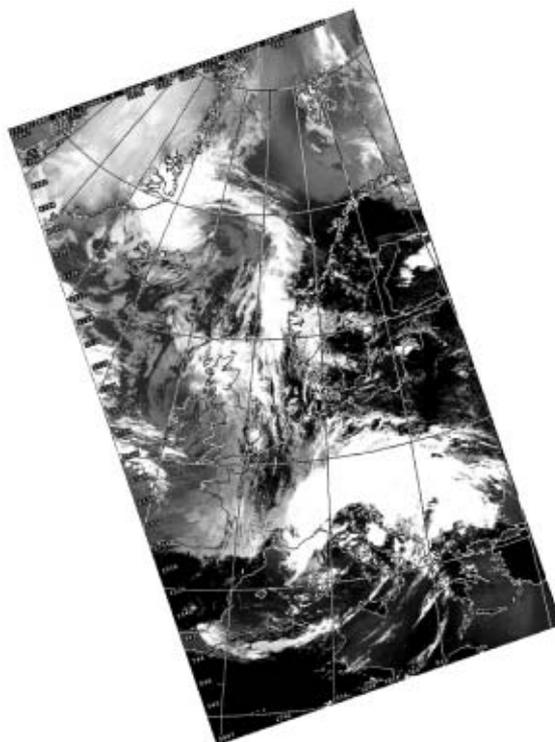


図1 人工衛星による観測結果



図2 シミュレーション結果

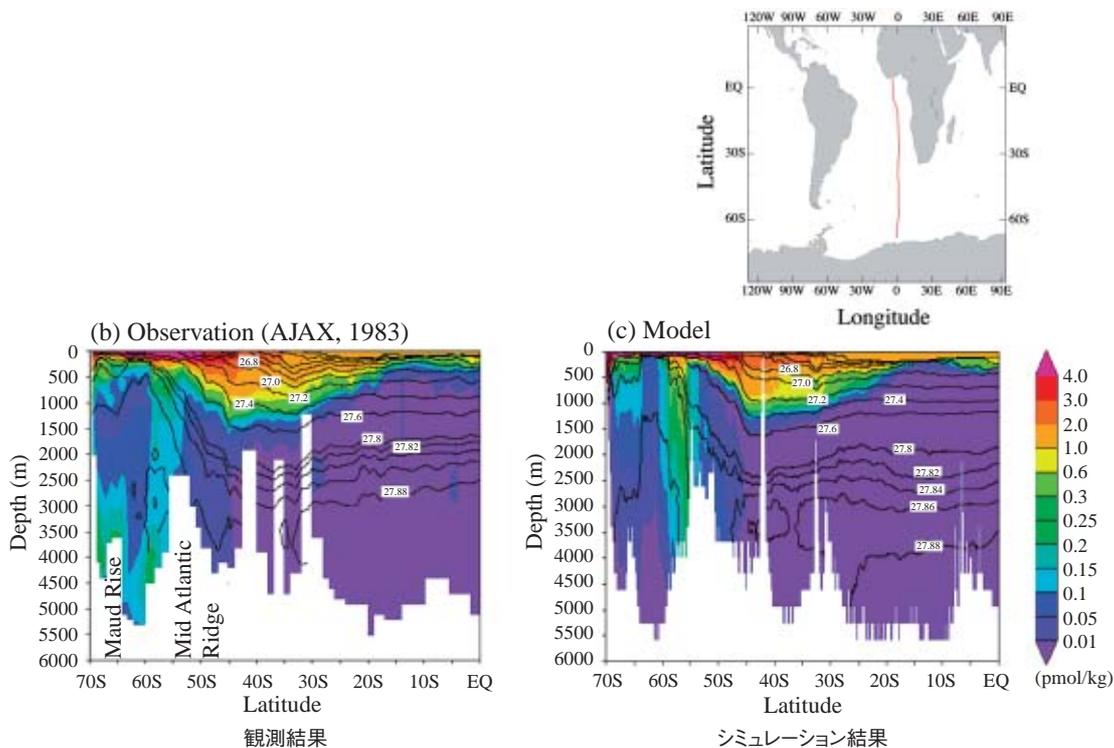


図3 南太平洋のフロン11濃度分布とポテンシャル密度分布(1983年)

2) 高解像度全球モデルOFESを用いたフロンシミュレーション

フロンは非常に安定した物質で、海に溶けたフロンは海水の流れに伴って広がる。その分布を明らかにするシミュレーション研究は、物質の海洋への吸収や海水の循環による移送を調べる上で非常に役立つものと考えられる。

図3は、南大西洋のフロン濃度分布の観測結果とシミュレーション結果を示している。シミュレーションで得られた結果は、南緯45度付近で深さ1000 m程度までフロンが浸入している様子や、南緯55度から60度付近で海底まで広がっている高濃度のフロン分布をよく再現している。

図4は、大西洋西部の2000 m深付近のフロン濃度分布を示している。北大西洋で沈みこんだフロンは、西岸の約2000 m深を北から南にゆっくりと流れる深層の西岸境界流により輸送される。シミュレーションを実施した1950年から1997年までのフロン濃度分布の挙動により、深層の西岸境界流の経路をはっきりと捉えることができた。以上のようにシミュレーションによりフロン濃度分布をよく再現することに成功したが、その要因は高解像度モデルを用いることにより、西岸

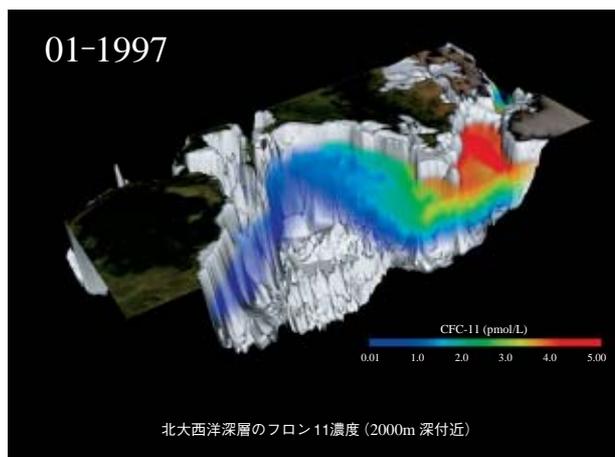


図4 大西洋のフロン11濃度分布のシミュレーション

境界流などの循環場をよく再現し、海底地形も現実的に解像できたことによると考えられる。

3) 陰陽格子系によるマントル対流のシミュレーション

地球シミュレータの性能をフルに活用するため、球の形をした新しい格子系「陰陽格子」を開発した。陰陽格子は、二つの球形状の格子を、部分的な重なり合いを許しながら組み合わせて球面全体を覆うものである(図5の左側)。

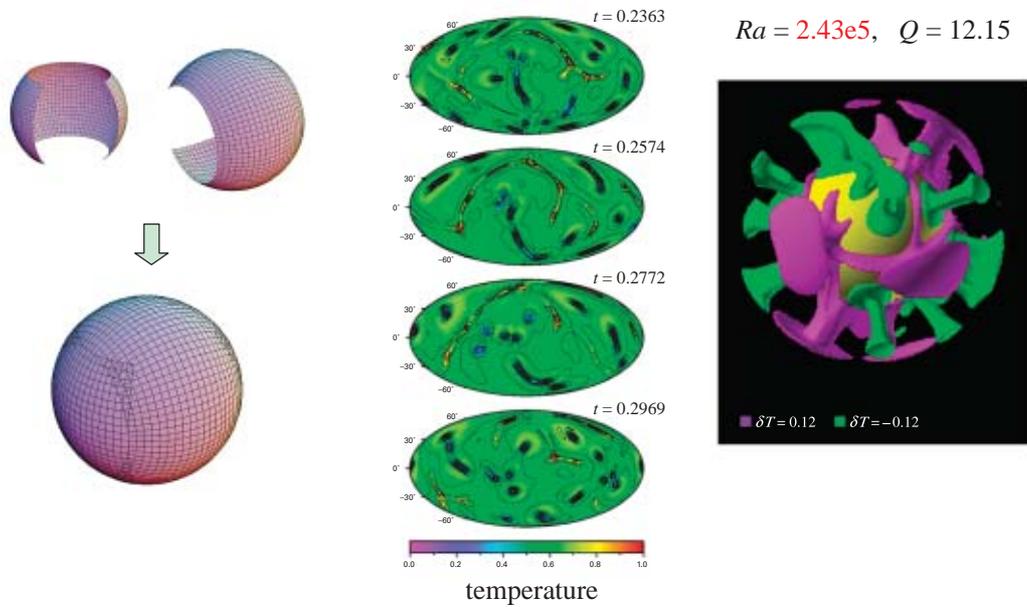


図5 陰陽格子とそれを用いたマントル対流シミュレーション

この陰陽格子を使って、地球内部にある「マントル」と呼ばれる流体の対流の仕組みを調べるためのシミュレーションコードを開発した。

このコードを用いて、マントルの対流する様子を調べた結果が図の右側で、対流しているマントルの同じ温度の分布を示している。赤色は温度が高く、上昇していく流れ、緑色は温度が低く、下降していく流れを表している。

マントル対流のシミュレーション結果を、3次元動画処理装置「BRAVE」を用いて解析した(図6)。その結果、時間的に一定で対称なマントル対流は、互いに交わらないドーナツ型の構造を持っていることを見いだした。

マントル対流のある一点から出発した流れは、一つのドーナツ型をした形の表面を覆うような曲面を構成する。これはマントル対流についての重要な発見の一つである。

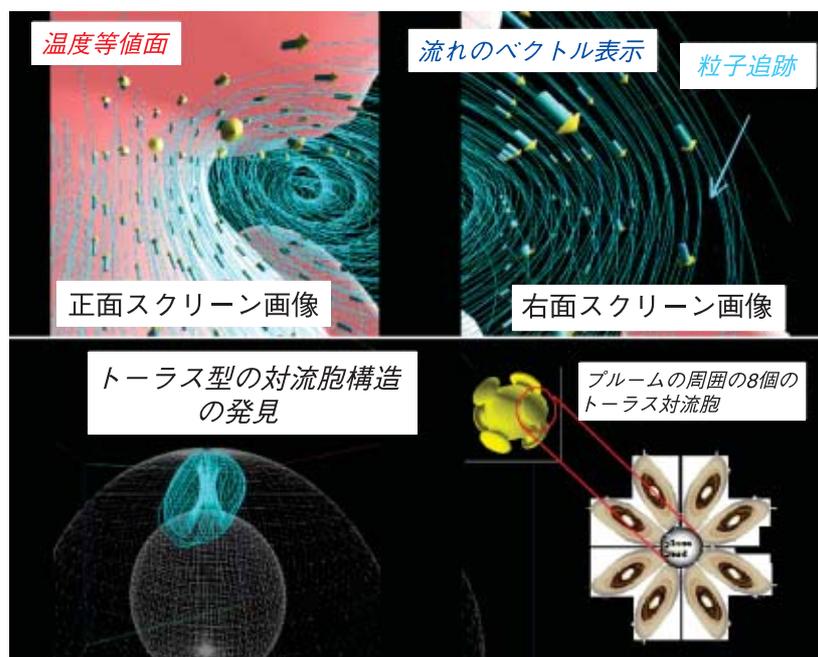


図6 3次元可視化装置BRAVEを使ったマントル対流の空間基本構造の解析

4) 3次元可視化装置BRAVEの導入と画像表示ソフトの開発

地球シミュレータセンターでは、3次元動画処理装置「BRAVE」を平成14年度に導入している。BRAVEは、左右、正面、床の4面の大きなスクリーンの上に画像を映し、その中に入ると画像が立体として感じられるようにする装置である。

人が物を立体として認識できるのは、左右の目が僅かに離れており、それぞれが少し違う角度で物を見ているため、BRAVEは、この原理を応用している。

シミュレーション結果を直感的に理解するため、シミュレーションで得られたデータを右目用と左目用にそれぞれ画像処理を行う。これらの画像は、専用眼鏡を用いることで、頭の中で仮想的な立体として認識することができる。

地球シミュレータセンターでは、実際に画像を作り出すための様々なソフトウェアを開発した。

その一例を図7に示す。夏に近くなると、東アジアでは南からの暖かく湿った空気と北からの冷たく乾いた空気がぶつかり合い、梅雨前線ができて雨が降る。この図は、日本付近の梅雨前線に沿って生まれた雲の量が、時間的に変化する様子をBRAVEを用いて解析している様子である。図中の右の方に、スクリーン内に入って解析している研究者がいる。

(3) MDPSの導入

地球シミュレータを使った計算結果は、大きいもので1ファイルが1TB(1000 GB)を上回る。シミュレーションを実行する際にはこの巨大データを取り扱う必要があるが、従来はこの巨大データをカートリッジテープに保

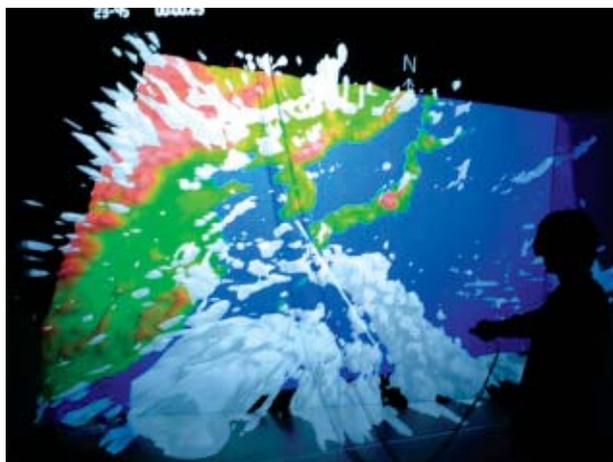


図7 BRAVEを用いた梅雨時の雲水解析

存していたため、データの入出力に長時間を要するばかりでなく、地球シミュレータ本体の計算資源をも消費する構成であった。平成15年10月に導入した大量データ処理システムMDPSによって、データの入出力の際の地球シミュレータの負荷を大幅に軽減するとともに、利用者は地球シミュレータを介せずに計算結果を直接取り扱うことが可能となった。

(4) 国内外の諸機関との共同研究体制

国内の研究機関では、三菱重工株式会社と「広域水循環予測システムに向けたコンポーネントとしての結合モデルの基礎的動作特性及びパラメタリゼーション」に関して共同研究協定を締結した。

国外の研究機関では、表2に示す9機関と国際共同研究に関して合意書を取り交わし、共同研究を開始している。

表1 平成15年度地球シミュレータ共同プロジェクト一覧

大気・海洋分野

	責任者氏名	所属	プロジェクト名
1	田中 幸夫	海洋科学技術センター 地球フロンティア研究システム	準一様格子を用いた超高解像度大気海洋大循環モデルの開発
2	秋元 肇	海洋科学技術センター 地球フロンティア研究システム	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
3	木村 富士男	海洋科学技術センター 地球フロンティア研究システム	高精度雲分解領域モデルの開発及び多目的に渡るメソ研究への応用
4	山形 俊男	海洋科学技術センター 地球フロンティア研究システム	海洋結合モデルによるプロセス研究と季節予報実験
5	住 明正	東京大学 気候システム研究センター	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
6	丸山 康樹	電力中央研究所	大気海洋結合モデルの高解像度化
7	青木 孝	気象庁気象研究所	高精度・高分解能気候モデルの開発
8	淡路 敏之	海洋科学技術センター 地球フロンティア研究システム	フル結合四次元データ同化システムの研究開発と初期値化・再解析データの構築
9	松野 太郎	海洋科学技術センター 地球フロンティア研究システム	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
10	日比谷 紀之	東京大学大学院 理学系研究科	海洋中における乱流拡散のパラメタリゼーションに関する研究
11	大淵 済	海洋科学技術センター 地球シミュレータセンター	大規模場と中規模現象の相互作用による大気・海洋変動の機構と予測可能性
12	高橋 桂子	海洋科学技術センター 地球シミュレータセンター	地球シミュレータ仕様・全球・非静力・大気海洋結合モデルの開発

固体地球分野

	責任者氏名	所属	プロジェクト名
13	坪井 誠司	海洋科学技術センター 固体地球統合フロンティア研究システム	全地球弾性応答シミュレーション
14	浜野 洋三	海洋科学技術センター 固体地球統合フロンティア研究システム	実地球環境での地球磁場・変動シミュレーション
15	深尾 良夫	海洋科学技術センター 固体地球統合フロンティア研究システム	マントル対流の数値シミュレーション
16	松浦 充宏	東京大学大学院 理学研究科	日本列島の地殻活動予測シミュレーション
17	古村 孝志	東京大学 地震研究所	3次元不均質場での波動伝播と強震動シミュレーション
18	平原 和朗	名古屋大学大学院 環境学研究科	複雑断層系の地震発生過程シミュレーション
19	奥田 洋司	東京大学大学院 工学研究科	固体地球シミュレーションプラットフォームの開発
20	鳥海 光弘	東京大学大学院 新領域創成科学研究科	計算地球物質科学による地球内部物質の物性評価計算
21	陰山 聡	海洋科学技術センター 地球シミュレータセンター	コア・マントル結合系のダイナミクス

計算機科学分野

	責任者氏名	所属	プロジェクト名
22	板倉 憲一	海洋科学技術センター 地球シミュレータセンター	地球シミュレータのマルチノード用並列計算ライブラリの構築
23	岡部 寿男	京都大学 学術情報メディアセンター	並列処理言語HPF (High Performance Fortran) を用いた大規模並列実行の性能検証および新規機能の検討

先進・創出分野

	責任者氏名	所属	プロジェクト名
24	宮島 博	宇宙開発事業団	ロケットエンジン内部流れのシミュレーション
25	南 一生	高度情報科学技術研究機構	カーボンナノチューブの特性に関する大規模シミュレーション
26	塩谷 隆二	九州大学大学院 工学研究院	バーチャル実証試験のための次世代計算固体力学シミュレータの開発
27	宇川 彰	筑波大学 計算物理学研究センター	地球シミュレータによる格子上の素粒子標準模型の研究
28	立木 昌	物質・材料研究機構	テラヘルツ発振超伝導素子に関する大規模シミュレーション
29	大村 善治	京都大学 宇宙電波科学研究センター	宇宙環境シミュレータ
30	阪口 秀	高度情報科学技術研究機構	DEMによる内部構造を持つ複雑多相系の粒子モデル
31	大西 楷平	Collaborative Activities for Materials Science Programs (CAMP) グループ	計算材料科学のための物質情報構築法の開発
32	松元 亮治	千葉大学 理学部物理学教室	宇宙の構造形成とダイナミクス
33	郷 信広	バイオシミュレーション研究者の会	バイオシミュレーション
34	奥田 洋司	(社)日本原子力学会 大規模シミュレーション研究専門委員会	原子力関係の大規模シミュレーション研究(※内訳は以下の通り)

※原子力関係の大規模シミュレーション研究の内訳

	責任者氏名	所属	プロジェクト名
	高瀬 和之	日本原子力研究所 那珂研究所	直接数値解析手法による原子炉内複雑熱流動挙動の大規模シミュレーション
	平田 勝	日本原子力研究所 東海研究所	溶液の第一原理分子動力学シミュレーション
	荒川 忠一	日本原子力研究所 計算科学技術推進センター	乱流の世界最大規模直接計算とモデリングによる応用計算
	岸本 泰明	日本原子力研究所 那珂研究所	多階層ダイナミクスが支配するプラズマの構造形成に関する研究
	荒川 忠一	日本原子力研究所 計算科学技術推進センター	大強度陽子加速器計画で用いられる核破砕水銀ターゲット内部の大規模並列流体シミュレーション
	町田 昌彦	日本原子力研究所 計算科学技術推進センター	超伝導ナノアプリケーションによる新奇物性と中性子検出デバイス開発のための超伝導ダイナミクスの研究
	薫木 英雄	日本原子力研究所 計算科学技術推進センター	放射線照射に伴う材料の物性変化と破壊の微視的シミュレーション
	奥田 洋司	東京大学大学院 工学研究科	地下空間における放射性核種移行と地下水挙動の大規模シミュレーション技術に関する研究
	宮下 敦巳	日本原子力研究所 高崎研究所	耐放射線性SiCデバイス用酸化膜の第一原理分子動力学シミュレーション

表2 地球シミュレータセンターとの国際共同研究相手方

機関名	国名	契約締結日	研究協力分野	地球シミュレータセンターへの 来訪実績
スクリプス海洋研究所 (SIO)	米国	H15.12.27	<ul style="list-style-type: none"> ・地域的な気候モデル研究 ・海洋データ同化モデル、海洋モデル、大気海洋結合モデルの開発 ・固体地球・地震モデル研究、及び可視化研究 ・計算機科学 	H15.12.12 - H15.12.22：2名 H16.2.20 - (未定)：1名
ハドレー気候研究センター・全球大気モデリングセンター(CGAM)	英国	H14.12.27	<ul style="list-style-type: none"> ・気候変動研究 ・大気／海洋／海水／陸域を統合した次世代気候モデルの開発 	H16.2.16 - H16.2.20：1名 H16.2.21 - H16.3.5：2名
イタリア航空宇宙センター(CIRA)	イタリア	H14.12.27	<ul style="list-style-type: none"> ・気候変動予測、地震予測に関する研究 ・環境変動の諸現象の地域的モデルによる研究 ・気候変動現象の理解のための数値・観測研究の統合 	なし
カナダ気象庁数値予報研究部(RPN/MSC)	カナダ	H15.4.15	台風(ハリケーン)の予測シミュレーション技術研究の共同開発	H15.11.19 - H15.12.3：1名
国立エネルギー研究科学コンピューティングセンター(NERSC)	米国	H15.4.26	計算機科学分野(ベンチマークテストによる)	H15.12.8 - H15.12.17：6名
テキサス大学、計算可視化センター、計算機工学・科学研究所(CCV/ICES/UT)	米国	H15.9.2	大規模データの可視化に関する研究	なし
フランス国立科学研究センター(CNRS)、フランス国立海洋開発研究所(IFREMER)	フランス	H15.11.12	海洋・大気・固体地球に関するシミュレーション研究	なし

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。なお本研究はウッ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15年度は2回目の係留系回収、時系列データ回収、解析を行った。

3) 研究開発の内容

平成15年10月～11月に実施されたかいいいKR03-11航海において、平成14年9月に北西部北太平洋の3点(K-1:51N/165E、K-2:47N/160E、K-3:39N/160E)に設置した時系列観測装置を搭載した係留系(生物地球化学研究用:BGC mooring、物理学研究用:PO mooring)を回収し、陸上において得られた試料の分析、解析を行った。

今回の係留系には水深50 m付近に深度計が取り付けられていた。図1は係留期間中の深度計の深度、および自動昇降型CTD付流向流速計(MMP)で観測さ

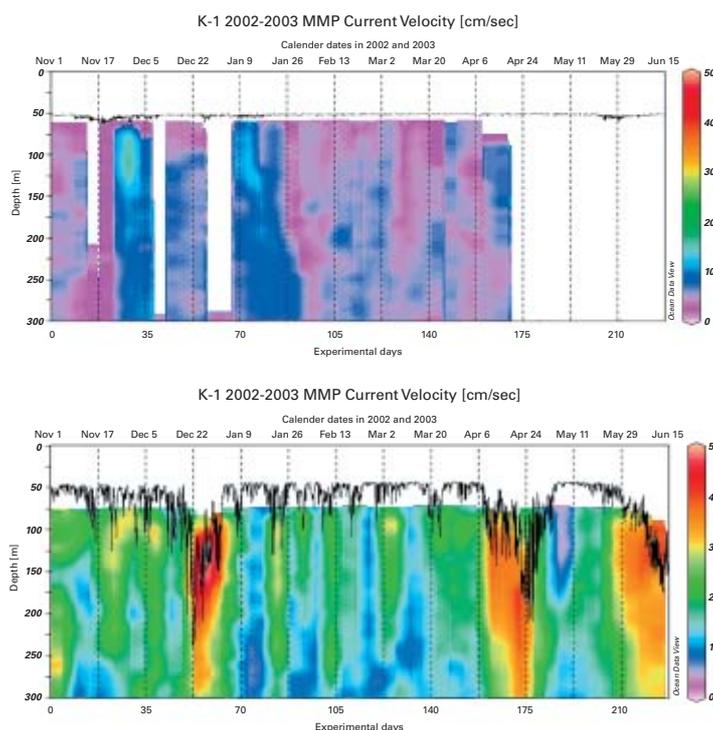


図1 水深約50 mに設置された深度計深度、およびMMPで観測された水深300 m以浅の流速の時系列変化((a) K-1、(b) K-3)

れた水深300 m以浅の流速の時系列変化である。Station K-1では深度計の深度はほぼ一定であり、流速も15 cm/sec以下であった。一方、Station K-3では深度計深度が大きく変動し平成14年12月、平成15年4月下旬には200 mまで沈められ、これが40 cm/sec以上の流れにより生じたことが観測された。従ってデータ解析はこれらを考慮して行われた。

図2はStation K-1、K-3において自動培養装置(SID)によって観測された水深50 m付近の基礎生産力の季節変動である。Station K-3の場合、水深70 m(同地点の最大有光層)以深のデータは削除されている。両地点の基礎生産力は冬期に低く夏期に高くなる傾向を示した。また水深50 m付近の基礎生産力の年平均値はK-3の方が高いことが明らかとなった。同図には水中光時系列観測装置(BLOOM)により観測された水深50 mの光強度の季節変動もあわせ示している。光強度はStation K-1に比べるとStation K-3で高く、高い基礎生産力を支持している。またStation K-3では基礎生産力と光強度の間で有為な相関($r = 0.7$)が見られた。

さらに今回SIDで得られた基礎生産力の値を、過去に一般的な方法で得られた北西部北太平洋の基礎生産力の値と比較した(図3)。季節変動パターンは異なるものの同程度の結果が得られ、SIDによる基礎生産力の値が妥当であることが示唆された。

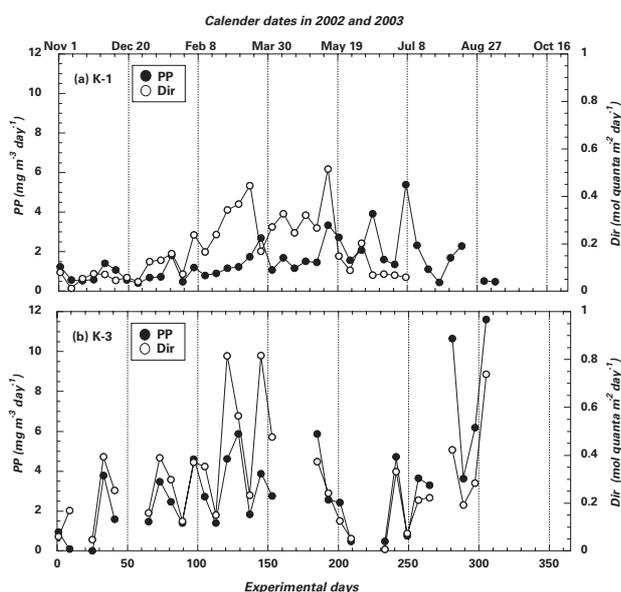


図2 SIDで観測された(a) K-1、(b) K-3における基礎生産力の季節変動(PP:●)、並びにBLOOMで観測されたSID深度の日照量(Dir:○)。

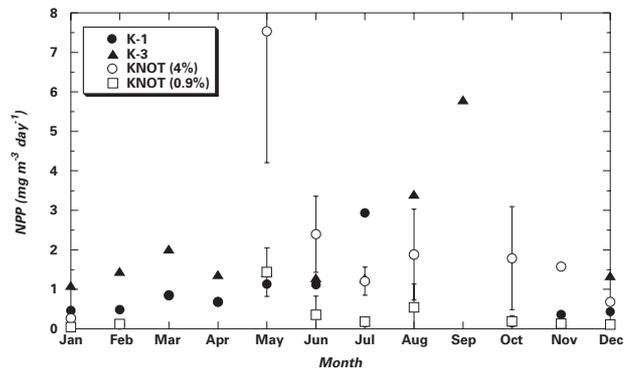


図3 SIDで観測された基礎生産力の月別平均と過去に北西部北太平洋(KNOT)で実施された時系列観測における基礎生産力の月別平均の比較。(●: K-1、▲: K-3、○: 4%日射量深度の基礎生産力、□: 0.9%日射量深度の基礎生産力)

一方、係留系で得られたデータの妥当性を評価するために、また係留系では得られないデータを取得するために平成15年度には年複数回の航海(平成15年7月、11月に「なつしま」NT03-07/NT03-12航海、平成16年3-4月に「みらい」MR04-02航海を実施した。今後は係留系のデータ、および海洋観測データを統合して北西部北太平洋の生物ポンプ過程について明らかにする予定である。

(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

過去に生じた大規模な気候変動を復元し、その要因やプロセスを探ることは将来の気候変化を予測する上で重要な研究の一つと位置付けられている。本プロジェクトは海底堆積物の解析に基づいて過去の気候変動を復元し、そのプロセスの実態を把握することを目標としている。具体的には、海底堆積物に含まれる微化石や炭素同位体比、微量金属や有機分子(バイオマーカー)を用いて、過去数十万年に亘る、氷期-間氷期といった数万~10万年スケールの解析から、高時間分解能の試料を用いて100年オーダーの短期的な古気候・古海洋変動の解析を行う。主に、a) 表層水温や海流系の変動の復元、b) 有機炭素の沈積量変動からみた生物地球化学的サイクルの復元、c) 汎世界的な熱塩循環変動の復元、をテーマとして古海洋環境変動の実態把握に向けて研究を実施している。また古環

境変動の正確な評価のために代替指標（プロキシ）の開発と高精度化に取り組んでいる。

2) 研究開発の概要

本プロジェクトはむつ研究所が発足（平成12年10月）以来、同研究所の主要研究テーマの1つとなる。平成12年から13年にかけては、研究所における実験施設や装置類（カーボネートデバイス、二重収束型誘導結合プラズマ質量分析計、真空ライン、個別有機分子放射性炭素前処理システムなど）の整備、立ち上げに費やした。並行して、「みらい」研究航海MR00-K03、MR01-K03、MR03-K04航海に参加し、海底堆積物や表層に生息する浮遊性有孔虫の採取を行って来た。成果が論文として本格的に出始めたのは平成13年以降である。以下に平成15年度の主な成果について紹介する。

3) 平成15年度の成果

(a) 最終氷期における北西太平洋堆積物からのメタン湧出イベントについて

最近の擬似海底反射面（BSR）の観測によると、日本近海の北西太平洋の縁辺域において、広大なメタンハイドレートの存在が明らかになってきた。過去に遡ってみると、北東太平洋、サンタバーバラ海盆における詳細な地球化学データの解析から、最終氷期において海底深部に蓄積したハイドレートの突発的崩壊によるメタ

ン放出イベントがあったことが確認されている。北西太平洋においても同様なメタン放出イベントがあったのかどうか、またメタン放出イベントと準周期的な気候変動との直接的関連性については未だ解明されていない。ハイドレートのメタンは大変軽い炭素同位体比を持つことから、海底からのメタン放出イベントがあると、周辺の微化石やバイオマーカーの炭素同位体比に影響を与え、それがメタン放出の証拠となる可能性がある。そこで、本研究では北西太平洋堆積物を用いて、サンタバーバラ海盆に認められるような海底からのメタン放出イベントが最終氷期の北西太平洋にも存在したのかを把握するために有孔虫化石の炭素安定同位体比分析を行った。さらに海水中に放出されたメタンが、海底境界層や海底直上水柱で微生物による分解（酸化）を受けたかどうかを調べるため、好氣的メタン酸化細菌のバイオマーカーであるジプロプテンの探索とその炭素安定同位体比分析を行った。

分析に用いたピストンコアは「みらい」MR01-K03航海において、北西太平洋の下北沖合い水深1366 mにて採取された(PC4 and PC5, 41°07.10'N, 142°24.20'E, 図4)。図5にジプロプテンと浮遊性、底生の両有孔虫の炭素安定同位体比の結果を示す。ジプロプテンの炭素安定同位体比は、-41.0‰から-27.9‰（PDBとの相対値）の範囲で変動していた。メタン酸化細菌の寄与が大きいと考えられる層準と同じ層準から産出し

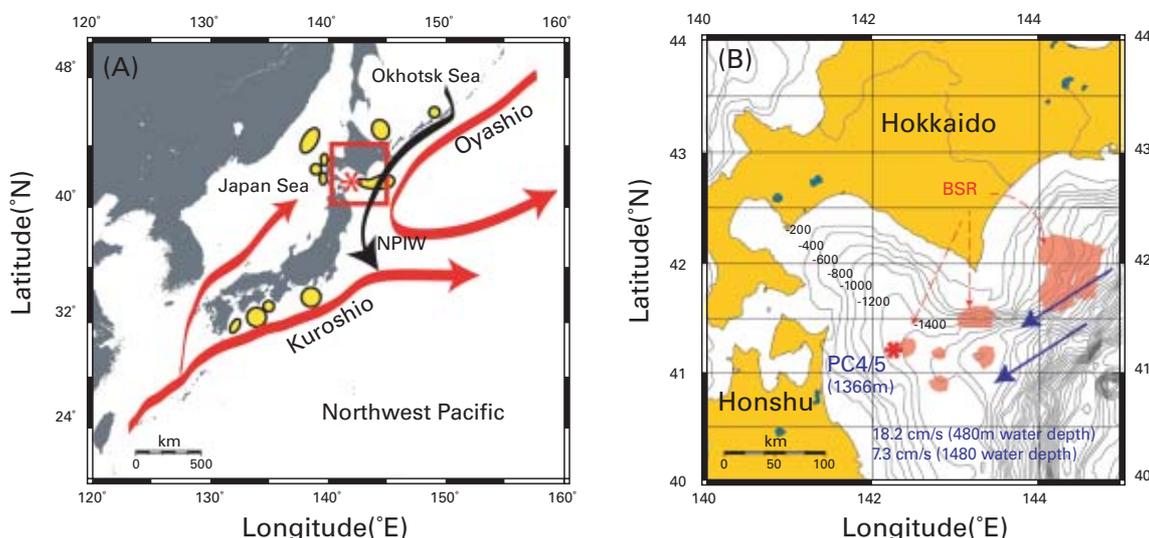


図4 北西太平洋下北沖にて採取された海底堆積物の採取点。地図(A)の黄色いハッチは擬似海底反射面（BSR：メタンハイドレートの存在を示唆）を示す。地図(B)はBSRの詳細位置を示し（地球深部探査センターの調査による）、矢印は西から南西方向への海流を示す。

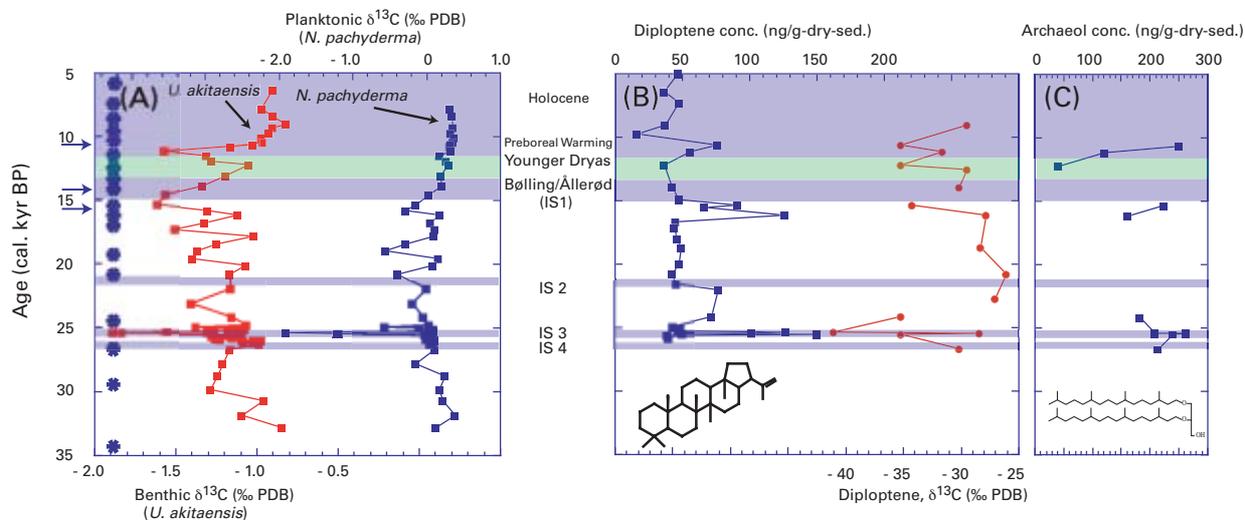


図5 (A)左が底生有孔虫、右が浮遊性有孔虫の炭素安定同位体比組成変動。矢印は1.03万年、1.44万年、1.55万年前に存在するラミナの層準を示し、プレーボレアル、ベーリングアレード温暖期に相当する。薄紫と薄緑の範囲は、グリーンランド氷床で復元された温暖期とヤングドリアス期をそれぞれ示す。星印は、浮遊性有孔虫による放射性炭素年代を挿入した層準を示す。(B)メタン生成細菌とシアノ細菌のバイオマーカーであるディプロプテン(17-(H), 21-(H)-hop-22(29)-ene)の含有量および炭素安定同位体比変動。(C)古細菌のグリセロールエーテル脂質であるアーケオールの含有量変動

た有孔虫の炭素安定同位体比シグナルは、浮遊性も底生も¹³Cが非常に欠乏している値(浮遊性有孔虫: ~-1.9%, 底生有孔虫: ~-0.8%)を示していた。このことは、有孔虫が、¹³Cに欠乏した同位体比をもつメタンハイドレート由来の炭素を取り込んだことを示す間接的な証拠であろう。さらにジプロプテンと有孔虫の炭素同位体比の結果から、最も強くメタン放出が生じていたのは、2.54万年前(歴年代)であることがわかった。この時代は、グリーンランドの氷床コアから復元されている短周期の温暖化イベントである "Interstadial 3" の時期に相当する。これは北西太平洋において、最終氷期にメタンハイドレートが不安定になったことを示す初めての発見である。氷期にメタンハイドレートが不安定化するメカニズムについては、まだ明らかになっていないが、この海域が起源と考えられている北太平洋中層水の循環様相が氷期-間氷期で変動したことや海水準の低下による海底の水温・圧力変化などが、要因となったと考えられる。特に、強くメタン放出が確認された2.54万年前は、氷床コアにも記録されているように全球的に温暖化していた時期に相当することから、メタンハイドレートの崩壊が温暖化により引き起こされたのか、あるいは逆に温暖化に寄与していたのかなど、今後詳細な解析が必要とされる。すなわち本研究結果は、北

西太平洋縁辺域が、メタン放出という形で汎世界的な温暖化と密接に連動していた可能性を示唆するものである。(Uchida et al., in press)

(b) 2000年ベーリング海 *Emiliania huxleyi* ブルーム時に合成されたアルケノンの特徴

アルケノンが、ハプト藻の一種で円石を持つ *Emiliania huxleyi* (*E. huxleyi*)、*Gephyrocapsa oceanica* (*G. oceanica*) によって合成されることが発見されて以来、アルケノンの不飽和インデックス U^{K}_{37} (炭素数が37のメチルアルケノンの濃度の総和(不飽和度2, 3, 4の合計)に対する不飽和度が2のアルケノンの相対比)が水温プロキシとして提案されてきた。アルケノンのパレオプロキシとしての活用は水温以外にも提案されており、例えば炭素安定同位体比は、現場の二酸化炭素分圧や藻類の成長速度の指標としても利用されてきた。しかしながら、必ずしも現場環境とアルケノン指標が一致しない例も多く報告されている。まずは生産されたばかりの粒子が現場の環境因子をどう記録しているのか把握することが必要であろう。従って、ベーリング海において2000年に観測された *E. huxleyi* ブルーム時に懸濁粒子を採取し、アルケノン分析結果と現場の水温のみならず、二酸化炭素分圧や塩分、栄養塩などの比較

を行い、合成されるアルケノンが何を記録し、何のプロキシーとなりうるのか考察を行った。アルケノンの検出とリン酸塩、ケイ酸塩、硝酸塩、アンモニアの各濃度分布との関係を調べた結果、表層における低濃度のリン酸塩および、深層付近のアンモニア濃度の高い海域でアルケノンの検出が顕著であった。

アルケノンにはいくつかの種類があるが、塩分のプロキシーに成りうるのではないかとされている $C_{37:4}$ アルケノンがある。このアルケノンが検出される海域には共通の特徴があり、淡水の流入の影響がある、つまり塩分の変化が大きい海域で主に検出される。大西洋のノルディック海の報告によると、表層の懸濁粒子中の $C_{37:4}$ % ($C_{37:2}$, $C_{37:3}$, $C_{37:4}$ アルケノンの総和に対する $C_{37:4}$ の割合)と現場の塩分は逆相関の関係が示されている。しかも SSTとも逆相関の関係があると報告されている。 $C_{37:4}$ アルケノンの合成は、何によって規定されているのだろうか? ベーリング海東部陸棚域において採取された懸濁粒子の $C_{37:4}$ は比較的高濃度で検出され、多い測点で41.4%を占めた。観測域はユーコン川の影響を受け、観測時の塩分は<32 psuであった。 $C_{37:4}$ %の結果と塩分との関係をノルディック海の結果とともにプロットした(図6)。 $C_{37:4}$ %と塩分の関係には逆相関が見られた。一方、SSTと $C_{37:4}$ %の逆相関関係はベーリング海の結果からは見られなかった。以上のことから $C_{37:4}$ の合成メカニズムは水温よりは塩分変化に規定されていると考えられ、 $C_{37:4}$ %が塩分のプロキシーに成りうることを示唆された。(Harada et al., 2003)

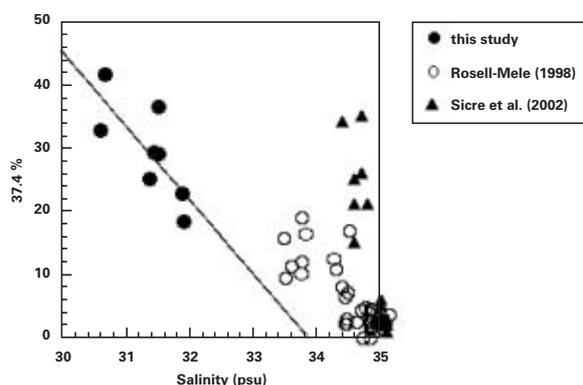


図6 ベーリング海にて採取された懸濁粒子に含まれる $C_{37:4}$ アルケノンの全アルケノンに対する存在比と現場の塩分との関係図。黒丸は本研究で得られた結果で、白丸と黒三角は、大西洋にて得られているこれまでの研究結果(Rosell-Melé (1998), Sicre et al. (2002))。

(3) 経常研究「Th-234を用いた有機炭素粒子沈降量の測定に関する基礎研究」

北西部北太平洋は、珪藻が繁茂することにより粒状有機炭素(POC)が有光層から深層へ効率良く沈降していると考えられ、炭素循環を考える上で非常に重要な海域である。これまで、この生物ポンプ能力を評価するための研究が行われて来ているが、時系列的に有光層からのPOC fluxを捉えることはまだ充分には行われていない。本研究では、北太平洋時系列観測研究の観測地点K1(51N, 165E), K2(47N, 160E), K3(39N, 160E)、およびKNOT(44N, 155E)において、海水中に天然に存在する放射性核種 ^{234}Th (半減期24.1日)をトレーサーとして用いた時系列観測を行う事により、北西部北太平洋の表層からのPOC fluxの季節変化を捉える事を目的としている。また、観測に現場ろ過器を用いて精度の高い値を得ることによって、 ^{234}Th を用いてPOC fluxを測定する方法の検証を行うことも狙う。

平成15年度においては、7月、11月に「なつしま」、9月に「かいいい」、3月に「みらい」での研究航海で本方法を用いてPOC fluxの測定を行った。その結果、北西部北太平洋におけるPOC fluxの季節変化を捉えた(図7参照)。これらの成果を第7回みらいシンポジウムにて発表した。また、Geochemical Journalへも論文を投稿中である。

(4) 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」H14下半期-H16

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

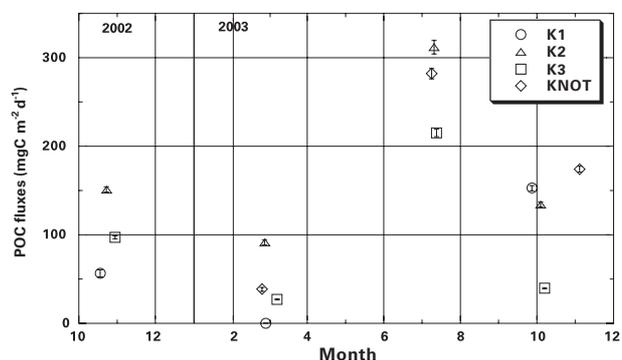


図7 北西部北太平洋におけるPOC fluxの季節変化

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置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棲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及び種内形態変異と、環境変化がどのように関係しているかを明らかにし、現代の海洋学及び古海洋環境復元に資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(41°25'N、141°15'E、水深230 m)を定点観測点として設定し、一ヶ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。

本年度は浮遊性有孔虫の生態に関する知識の蓄積に重点をおいて実験を行った。とくに*Neogloboquadrina incompta*(Cifelli)、*Globigerina bulloides* d'Orbignyに関して、いくつかの現象(チャンバー(殻室)形成、捕食、遊走子放出などの様子)について光学的な観察・記録を行った(図8、9)。また、*N. incompta*の遺伝子解析を行い、その形態と、系統的位置関係についての重要な知見を得た。飼育環境においては、従来の飼育方法に加えて、新たに培養プロセスコントローラー(東京理化器械製)を導入し、飼育環境コントロールを自動化するための準備を開始した(図10)。なお、過去2年間の研究で得た、浮遊性有孔虫の生態の動画をまとめたビデオ映像集の有償配布を計画しており、現在準備を進めている。円石藻については、海水中から円石藻を濃縮する手法を確立し、*Gephyrocapsa oceanica*の単離培養に成功した。

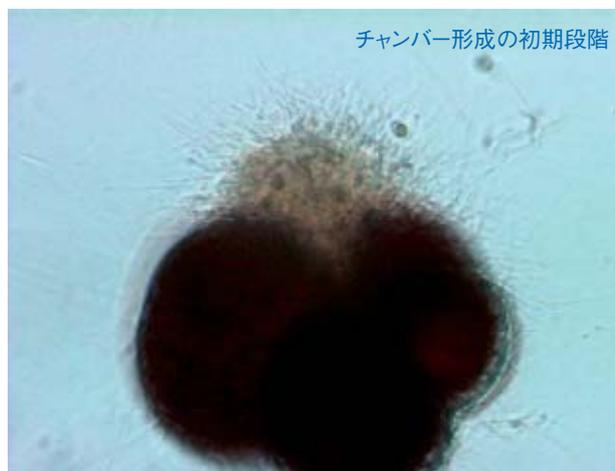


図8 *N. incompta*のチャンバー形成初期。原形質が最終室の主口孔(aperture)より脱出、放射状に広がり、おおまかなチャンバーの外郭を形成する。



図9 動物プランクトン(*Artemia salina*)を捕食する*G. bulloides*。粘着性の高い仮足(pseudopodia)を放射状に広げ、触れたものを引き寄せ、吸収する。

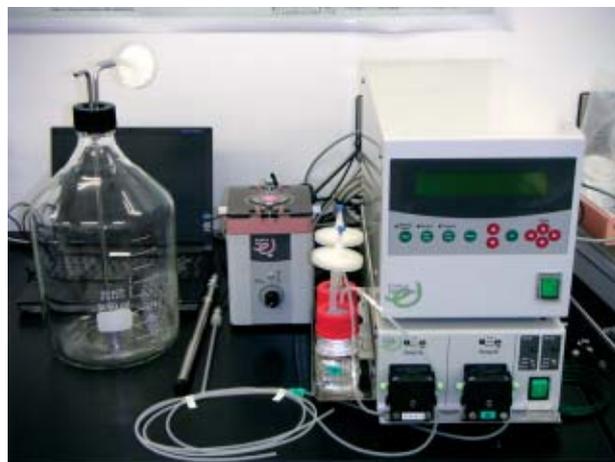


図10 培養プロセスコントローラー。pH、DO、液面等を自動制御できる。

第3章 研究支援活動

1. 情報業務

(1) 業務の概要

海洋科学技術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が観測データの保管、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、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
- ・観測データ管理及び保管と公開・提供に関すること

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

- ・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

本年度は(2)以下の業務を実施した。

(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

昨年度に引き続き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。(表1・2)図書資料に関しては「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(NACISIS-CAT)」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た。JAMSTEC蔵書検索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し、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、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た。

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。

表1 所蔵図書資料

種 類	所 蔵 数	新規受入
和・洋書	18,882冊	7,094冊
寄贈図書	7,620冊	1,468冊
和・洋雑誌	2,920種	566種
視聴覚資料	1,909本	171本

表2 当センター関係出版物

種 類	刊 行 数
定期刊行物	14種
委託研究報告書	6種
そ の 他	—
合 計	20種

- (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、資料室等の運営向上とスキルアップに努めた。
- (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) IAMS LIC(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、本年度は表3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った。

(a) 図書・雑誌

- (i) 見計らい図書情報をJAMSTECメールニュースにて提供。
- (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4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1,426件。

表3 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48, 49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23, 24号
Blue Earth	海と地球の情報誌	第65, 66, 67, 68, 69, 70号
海洋科学技術センター年報	事業報告	平成14事業年度版
JAMSTEC Annual Report	事業報告(英文年報)	2002年度版

表4 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	NACISIS	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

- (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上で提供。
 - (ii) 海洋に関する会議・展示会情報をホームページ上で提供。
- (d) レファレンスサービス等
 - (i) 目録所在情報サービス(NACSIS-CAT)への所蔵登録を随時行った。
 - (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。

5) JAMSTECホームページの運用

最新のセンターの研究成果・情報を一般の方へタイムリーに提供するように更新に努めた。また、内容の充実を目的に、センター刊行物を電子ファイルにて公開した。また、本年度実施された南半球周航航海研究「BEAGLE 2003」の紹介ページなどあらたなコンテンツを公開した。

(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ことを目的とした「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キシングなどの作業を進めている。

海洋地球研究船「みらい」に関しては、「R/V MIRAI Data Web」(図1)を構築することにより、生データを含め、航海終了後なるべく早い段階でのデータ公開を進めている。国内外の研究機関、大学及び企業などからのアクセスが多い。

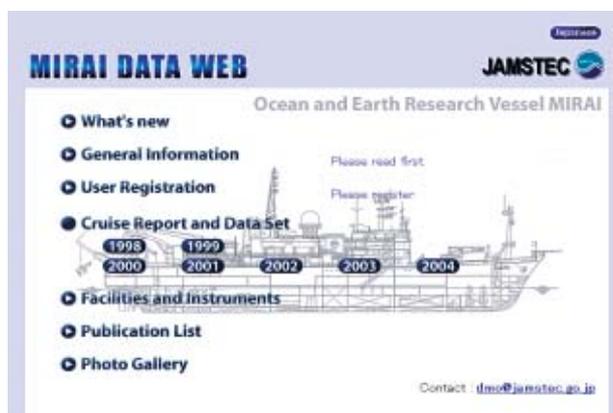


図1 R/V MIRAI Data Web

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に必要なデータベース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、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ため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」、中層漂流フロート「アルゴフロート」、および海洋観測ブイシステム「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つつある。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る。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、時空間的に均質な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を行った。そして、2000～2002年の全世界海洋を対象に、収集した海洋観測データに一定の品質管理を施した後、再解析データを作成した。その結果、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し、期間中に発生していたエルニーニョ、ラ・ニーニャなどの特徴的な物理現象をより合理的に再現することができた。それと同時に、将来的なアジョイント法等のさら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。

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。

本年度も昨年度と同様、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た。

(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、本年度も引き続き運用を行った。

2) ネットワーク

(a) JAMSTECネットワーク

当センターでは平成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、平成10年度に支線LANをFast Ethernetにし、平成14年度に基幹をFDDIからGigabit Ethernetに強化して運用している。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2に本部及び各研究所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月に横須賀構内ネットワークと接続し、平成14年度には接続を横須賀本部への512kbpsの専用回線から横浜研究所への3Mbpsの広域LAN回線に強化している。東京連絡所は平成6年から横須賀構内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LAN回線に強化している。横浜研究所は平成13年3月に100MbpsのATM回線で横須賀構内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 Ethernet)を利用し、国際海洋環境情報センターとの接続が行われ、本年度JGNプロジェクト終了に伴い、回

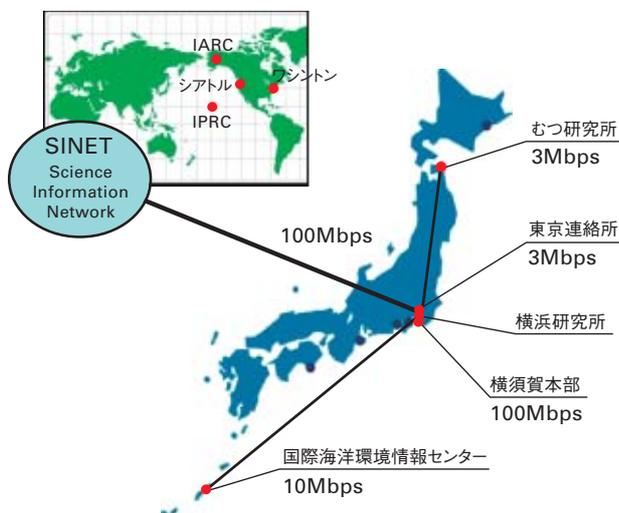


図2 ネットワーク接続図

線接続をJGN経由から、10 Mbpsの広域LAN回線の利用に変更した。現在のJAMSTECネットワークの中心は横浜研究所となっている。

(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年度からはSINETに接続を切り換えて運用している。接続回線についても専用回線からATM回線と変更し、平成14年度にはEthernet専用回線としている。平成13年度に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移動し、現在運用している。

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てインターネット接続を実施している。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することができるようになっている。

(c) セキュリティ

当センターでは、平成8年度からインターネットとの接続口に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。さらには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ている。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及びWebアプリケーションの検査、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、データが流れるサーバ上でウイルスを発見することができ、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)

昨年度に引き続き平成15年度も、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、データベースの構築を実施した。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。さらに、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、さら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) 映像情報・文書情報デジタルアーカイブ業務

映像情報デジタルアーカイブ業務として、「しんかい2000」、「しんかい6500」等による深海調査記録映像をデジタル処理、ショット・パノラマ加工等を行って、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5、図3、4)。また、文書情報デジタルアーカイブ業務として、当センターが刊行している「JAMSTEC深海研究」、「試験研究報告」等の定期刊行物についてもスキャン処理を行い、pdf形式へ変換後、ファイルの容量に応じて、分割・関連付け処理を行った。さらに、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として構築し、公開した(表6)。

2) 地球環境情報提供業務

様々な地球環境情報について、各種研究機関から、インターネット経由によるオンライン収集及び、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

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、広域イーサネット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(図5、6)。

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7、8、9、10、11、別冊資料編14 来訪者表3参照)。

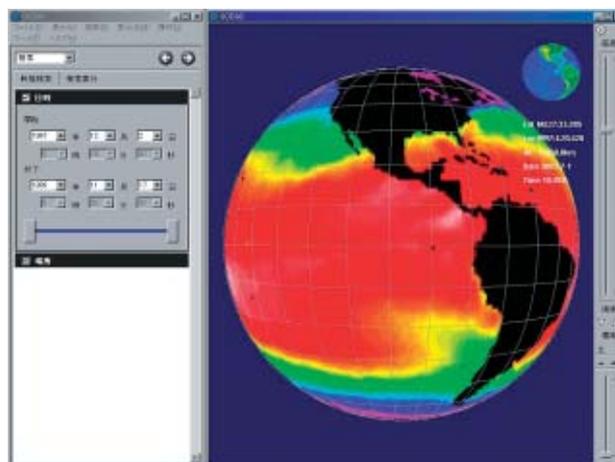


図6 バーチャルアース画面表示例



図5 GODAC Webページ(トップ画面)

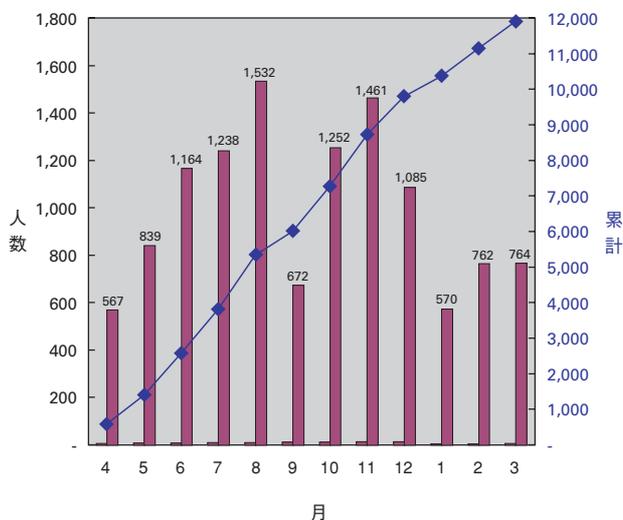


図7 平成15年度GODAC月別来館者数

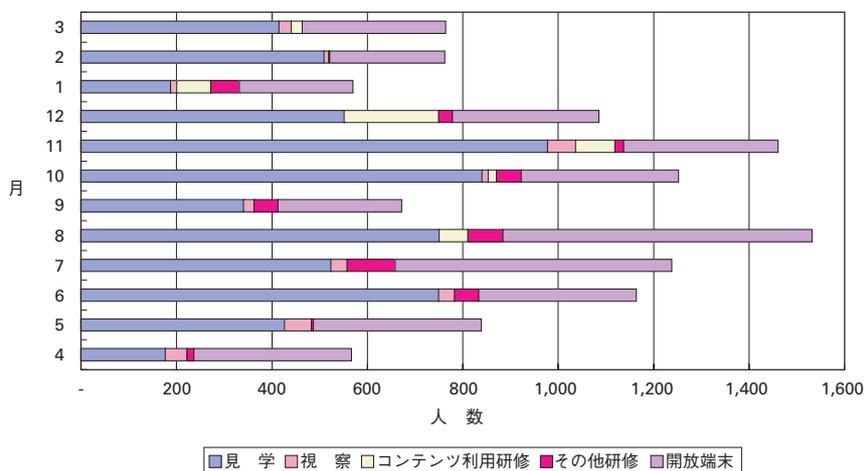


図8 平成15年度GODAC目的別来館者数



図9 展示物を見学する園児(全国生涯学習フェスティバル「まなびピア沖縄」会場にて)



図11 JICA研修員の利用(開放ラウンジにて)



図10 開放端末の利用(開放ラウンジにて)



図12 3D映像を見る園児たち(講義室にて)

2. 研修事業

(1) 活動の概要

海洋科学技術センターでは、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、日本財団からの補助を得て「マリンサイエンス・スクール事業」を実施するとともに、「太平洋赤道域諸国の海洋データ活用能力の向上」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60機関から391名が参加した（図1、図2）。

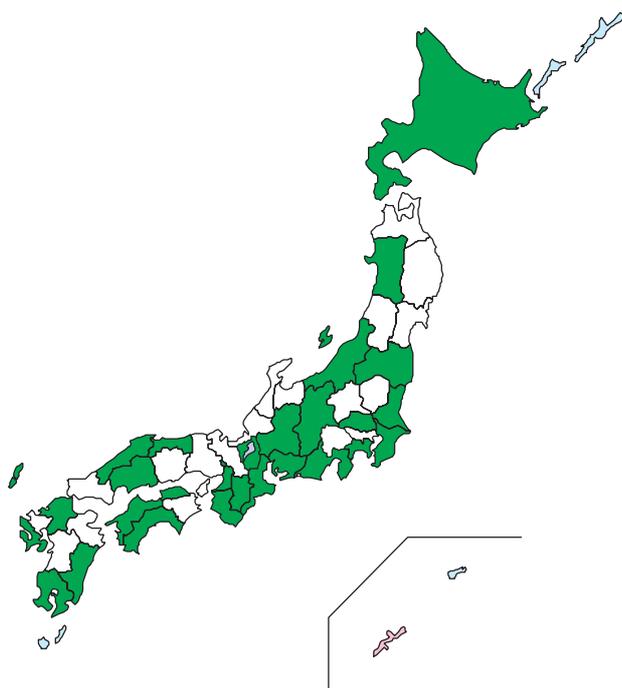


図1 潜水技術研修に参加した都道府県



図2 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11名が参加した。

(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4日～6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。

(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15年8月6日～8月8日に開催し、18名の参加があり、高校生については、平成15年7月23日～7月25日と平成16年3月29日～3月31日に開催し、計44名の参加があった（図3、図4）。



図3 圧力実験装置で深海の圧力について学ぶ



図5 海底地震計の説明を聞く参加者(海洋科学技術学校)



図4 採取したプランクトンの観察(マリンサイエンス・スクール)

(6) 太平洋赤道域諸国の海洋データ活用能力の向上

本研修は、西部太平洋赤道域および熱帯域の島嶼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や気象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年度から開始している。本年度は、ミクロネシア、パプア・ニューギニア、キリバス、ナウル、ソロモン、バヌアツ、ツバル、フィジー、サモア、トンガ、クック等の諸国から海洋に係わる若手研究者、技術者を集め、平成15年10月6日から10月28日までフィジー・スバ市にあるSOPAC(南太平洋地球科学委員会)事務局において、気象観測データや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)。

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。本年度も昨年と同様に横須賀本部にて実施した。平成15年9月2日～9月4日(第1回)、平成16年2月24日～2月26日(第2回)の2泊3日の日程で開催し、計83名が参加した(図5)。



図6 SOPACでの研修



図7 SOPACでの研修

3. 研究業務部

海洋科学技術センターは、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、観測技術、調査船、有人潜水調査船、無人探査機等の運用整備等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) 「深海調査研究」公募システム

深海調査研究は、「深海調査研究中期計画」に基づいた研究課題を公募し、「深海調査研究計画委員会（以下、「計画委員会」という。）」、「深海調査研究実施計画調整部会（以下、「調整部会」という。）」及び「深海調査研究推進委員会（以下、「推進委員会」という。）」（表1 平成15年度深海調査研究組織図及び名簿）で採否決定及び航海計画の策定を行っている。なお、平成15年度は、計画委員長に藤本東北大学教授、調整部会長に蒲生東京大学海洋研究所教授を新たに迎え

表1 平成15年度深海調査研究組織図及び名簿



深海調査研究推進委員会

	氏名	職名
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	斎藤 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 応用生命科学専攻 環境生命科学講座水圏生態学分野 教授
委員	辻井 薫	北海道大学電子科学研究所 附属ナノテクノロジー研究センター 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

深海調査研究計画委員会

	氏名	職名
委員長	藤本 博巳	東北大学大学院理学研究科 教授
委員	歌田 久司	東京大学地震研究所海半球観測研究センター センター長・教授
委員	浦 環	東京大学生産技術研究所海中工学研究センター センター長・教授
委員	浦辺 徹郎	東京大学大学院理学系研究科 教授
委員	加藤 茂	海上保安庁第三管区海上保安本部海洋情報部 部長
委員	小島 茂明	東京大学海洋研究所海洋生態系動態部門 助教授
委員	左子 芳彦	京都大学大学院農学研究科 応用生物科学専攻海洋分子微生物学分野 助教授
委員	白山 義久	京都大学フィールド科学教育研究センター 海域ステーション瀬戸臨海実験所 所長・教授
委員	益田 晴恵	大阪市立大学大学院理学研究科 助教授
委員	湯浅 真人	独立行政法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質調査情報部 地質調査推進室 室長
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
委員	山本 啓之	海洋科学技術センター海洋生態・環境研究部 研究主幹

深海調査研究実施計画調整部会

	氏名	職名
部会長	蒲生 俊敬	北海道大学大学院理学研究科 教授
部員	藤本 博巳	東北大学大学院理学研究科 教授
部員	加藤 茂	海上保安庁第三管区海上保安本部海洋情報部 部長
部員	小島 茂明	東京大学海洋研究所海洋生態系動態部門 助教授
部員	浅川 賢一	海洋科学技術センター海洋技術研究部 主任研究員
部員	木下 正高	海洋科学技術センター深海研究部 副主幹
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

た。これにより、初代委員長玉木東京大学海洋研究所教授並びに初代部会長浦辺東京大学教授のもと設立された深海調査研究は、第2期に移行した。

平成16年度深海調査研究公募は、平成15年9月10日から10月8日までインターネットを用いて実施した。当初は、7～8月に公募の実施を計画していたが、5月末の「かいこう」ピークル漂流事故により、公募対象船舶が確定出来ず、従来通りの公募時期となった。また、昭和58年(1983年)から深海調査研究を推進して来た潜水調査船「しんかい2000」が、厳しい予算削減の影響で運航休止を余儀無くされ、その代わりに無人探査機「ハイパードルフィン」が公募対象機器となった。そのため対象船舶・機器は、潜水調査船「しんかい2000」、無人探査機「かいこう」を除く、潜水調査船「しんかい6500」60潜航、深海調査研究船「かいいい」単独(MCS航海を除く)、海洋調査船「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69課題、研究課題提案者63名、共同提案者608名があり、計画委員会にて審査・ランク付けを行い、調整部会にて航海計画(案)を策定した。その結果、平成16年1月の推進委員会において36課題による航海計画(案)が採択され、平成16年2月の理事会にて承認された。

(2) 「みらい共同利用」公募システム

海洋地球研究船「みらい」による研究航海は、「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(表2 平成15年度「みらい」運用検討委員会組織図及び名簿)で採否を決定している。

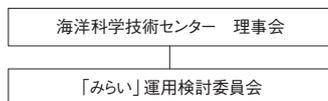
平成16年度の「みらい」公募は、平成15年6月5日から7月4日まで、郵送およびインターネットを用いて実施した。応募総数は83課題、乗船希望者168人であり、「みらい」運用検討委員会にて80課題、乗船希望者149人が選定された。うち、当センターの採択課題は34課題、国公立大学からは33課題、国立研究所等からは13課題が採択され、8月の理事会にて承認された。

公募に先立ち過去5年間の「みらい共同利用」による研究成果の取りまとめとして、平成15年3月31日、「日本海洋学会春季大会」においてシンポジウム「海洋地球研究船みらい -その成果と将来-」を開催し、研究業務部が事務局を努めた。同シンポジウムでは、主な研究成果の報告を行うと共に、多数の外部研究者から、今後の「みらい」の利用について有意義な意見を聴取することが出来た。なお、同シンポジウムの結果は、月刊「海洋」号外No.34に取りまとめられた。

(3) ブルーアースシンポジウム

平成16年1月15日、16日の2日間、ブルーアースシンポジウム(第20回「しんかいシンポジウム」・第7回「みらいシンポジウム」)が、平成14年度に引き続き「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。2日間で前回(1031名)をやや上回る、延べ1100名の参加があった。今年度の特徴は、両シン

表2 平成15年度「みらい」運用検討委員会組織図及び名簿



「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	今脇 資郎	九州大学応用力学研究所 教授
委員	石丸 隆	東京水産大学水産学部海洋環境学科 教授
委員	植松 光夫	東京大学海洋研究所附属海洋科学国際共同研究センター 助教授
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	中西 正男	千葉大学大学院自然科学研究科 助教授
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 副研究部門長
委員	花輪 公雄	東北大学大学院理学研究科 教授
委員	真木 雅之	独立行政法人防災科学技術研究所 防災基盤科学技術研究部門 副部門長
委員	安田 一郎	東京大学大学院理学系研究科 助教授
委員	寄高 博行	海上保安庁海洋情報部環境調査課 課長補佐
委員	渡辺 正孝	独立行政法人国立環境研究所 水圏環境研究領域 領域長
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

ポジウム共通の基調講演に代わってパネルディスカッションを両分野で積極的に観測調査を実施している研究者を中心に実施した。テーマは「有人か無人か」で行ったが、会場からも活発な発言があり大盛況に終わった。ディスカッションの内容はJAMSTECウェブページに掲載中である。また、平成15年3月「しんかい6500」訓練潜航において潜航した宇宙飛行士 毛利 衛 日本科学未来館館長も一潜航者として「しんかいシンポジウム」で発表を行った。「しんかいシンポジウム」は、口頭発表29件、ポスター発表76件、「みらいシンポジウム」は、口頭発表27件、ポスター発表26件であった。年々、発表件数と内容が充実しつつある。特に今回は、増え続ける発表者に対応するため、ポスターセッションのコアタイムを設けたことは参加者に好評であった。

(4) 研究支援

当センターでは、日本海洋事業(株)、(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、トライトンブイ、海底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、ディーブ・トウシステム(深海曳航式カメラ、ソナー)、堆積物採取用20 mピストンコアラー、ドレッジ、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15事業年度のトピックスは、海洋地球研究船「みらい」による南半球周回観測航海「BEAGLE(Blue Earth Global Expedition)2003」の実施である。同航海は、約半年間をかけオーストラリアのブリスベンから同じくフリーマントルまで東回りで実施され、WHP(Wocean Hydrographic Program)により設定された測線に沿って、約500の観測点で表層から海底までのCTD及び採水、並びにピストンコアラー、マルチプルコアラーによる採泥を行い貴重な観測データを多数取得した。同航海における観測技術員による世界最高水準の分析結果は高い評価を受けた。

海底深部構造探査(MCS; Multi Channel Seismic Profiler, OBS; Ocean Bottom Seismometer)は、当初カナダ・ビクトリア島沖においてカナダの研究者と共同で行う予定であったが、カナダ側の問題で実

施出来ず、急遽三陸沖における調査に変更することになった。また、海底地震計を用いた調査では、科学技術振興費「東南海・東海」による130台の運用を行っており、平成15年度の回収率は98.0%である(のべ246台回収/251台設置)。

センターのみならず、国内外の研究者が参加する公募航海において上記観測機器の運用、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、並びに陸上においても取得データの品質管理・提供を実施した。他に、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。

(5) 海洋観測ブイシステム「トライトン」の運用

海洋観測研究部が実施するエルニーニョやアジアモンスーンなどの気候変動に係わる海洋変動研究に資するため、米国大気海洋庁太平洋海洋環境研究所(PMEL: The Pacific Marine Environmental Laboratory)のTAO計画と協調した太平洋赤道全域に展開したTAO/TRITONブイアレイを1998年以来継続的に維持してきている。また、取得したデータの一部は、インターネットを通じて公開している。

平成15年度には17基のトライトンブイの回収と設置を実施した。通常は「みらい」での年2回の航海でブイの交換を行っているが、平成15年度は「みらい」によるBEAGLE2003のため、後期航海分は「かいよう」および「よこすか」でそれぞれ3基および6基の設置・回収を行うこととなった。特に、「よこすか」での本格的なブイオペレーションは初めて実施するものであり、所要機器類の製作と装備、機材の積付けと作業スペースの確保、作業手順の確認など周到な準備を行い、また、現場では乗組員ならびに観測技術員の技術と努力によって無事任務を完遂することができた。

荒天のため予定の「みらい」航海では回収できなかった17号基(インド洋南緯5°、東経95°に設置)は、電池の消耗によるブイ位置情報等の通信途絶が危惧されることもあり、インドネシア技術評価応用庁(BPPT)との協約に基づき、同庁の調査船R/V Baruna Jaya Iによる初めての回収作業を実施した。(図1 R/V Baruna Jayaによるトライトンブイ17号基の回収)同船は1000GTに満たない船舶であり、波・うねりによる動揺も大き



図1 R/V Baruna Jayaによるトライトンブイ17号基の回収

く回収は困難を極めたが、大型のトライトンブイをBPPT関係者で回収するという実績を作った。

ブイ回収時の状況を概観すると、陸に比較的近い海域では漁船が操業しているために、相変わらずブイへの漁具等の絡みが多く見られる。被害を受けた典型的な例として、表層ブイが漂流した16号基(北緯2°、東経130°に設置)が挙げられる。ブイ漂流の原因は、ブイに漁船を係留したまま過大な力で曳引したために細い繊維索の部分で破断したと推定された。(本ブイの漂流は、「よこすか」の当初の行動を変更し本船が緊急回収している)

ブイ運用における改善点はいくつかあるが、風向風速計に関連して、低温時の不具合(熱帯域観測への支障はない)の原因究明を行って製造元に回路変更をさせると共に、これを契機として信号処理回路の機能向上の検討を進めることとした。

この他、南米チリのバルパライソで行われた国際調査船運航者会議(ISOM)に千々谷理事及び門馬研究業務部長、中井海務課係長が出席し、調査船の運航に関わる情報交換を行った。なお、同会議の出席者が、「BEAGLE 2003」の途上、入港中の「みらい」を訪問、見学することが出来た。各国代表者は、「みらい」の大きさと充実した研究設備に一様に驚きの色を隠せなかった。

(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6500」、「ハイパードルフィン」、「かいこう」、「ディープ・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。

各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15年度の法定年次検査工事は、「なつしま」、「かいいい」および「みらい」が年次検査工事、「かいよう」が中間検査工事、「よこすか」が定期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13行動、合計290日の運航を行った。(表3 過去3年間の各船運航実績、表4 実績線表、図2 航跡図)

行動内訳は、「ハイパードルフィン」による潜航行動9行動221日(十勝沖、三陸沖、相模湾、駿河湾、伊豆小笠原、鹿児島湾、鹿児島西方沖、南西諸島)、「ディープ・トウ」による深海曳航行動1行動16日(駿河湾、南西諸島)、単独行動としては、「時系列観測」2行動24日(北西部北大西洋)、「係留系回収並びにピストンコア」1行動18日(三陸沖)他である。平成15年5月10日センター横須賀本部における施設一般公開の一環として、船内公開を行ったほか沖縄県名護(8月23日)の寄港地において一般公開を実施した。

平成15年12月15日から平成16年1月22日の間、ユニバーサル造船京浜事業所において、年次検査工事を実施した。船体構造、推進装置等の船舶としての基本的性能並びに特殊装置の性能維持に関わる工事を実施したほか、3,000 m級マルチナロービーム音響測深装置の新設(図3 船底の送受波器)音響航法装置にOBS測位機能の追加、ラボラトリーの整備、5トンクレーンの作業

表3 過去3年間の各船運航実績(日数)

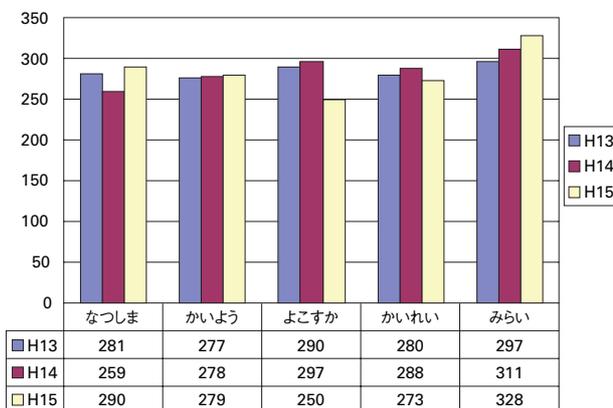


表4 平成15年度「なつしま」運航実績

平成 16. 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			
4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	土	
	横須賀新港	回航	回航	回航	回航	石垣			① #162	②③ #163 #164	④⑤ #165 #166		那覇		⑥ #167	⑦⑧ #168 #169	那覇	海況不良	⑨⑩ #170 #171	⑪⑫ #172 #173	⑬ #174	台風避泊	台風避泊		台風避泊					⑭ #175	⑮ #176			
5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	日		
	海況不良	⑯ #177	⑰ #178	⑱ #179	回航	回航	C				一般公開	陸揚搭載		横須賀新港	横須賀新港	新港	(駿河湾)	清水	回航	回航											台風避泊	台風避泊	台風避泊	回航
6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	木	
	「かいこう」「ビークル」搜索																																	
7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	土	
	C																																	
8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	火	水
	鹿兒島	① #199	② #200	鹿兒島	台風避泊	台風避泊	台風避泊	① #201	②③ #202 #203	④⑤ #204 #205	回航		鹿兒島	① #206	整備	② #207	③④ #208 #209	⑤ #210	⑥⑦ #211 #212	海況不良	⑧ #213	⑨ #214	名護	一般公開	⑩ #215	⑪⑫ #216 #217	⑬ #218	整備	⑭ #219	⑮ #220	⑯ #221	⑰ #222		
9月	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	
10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	土	日	
	⑳ #234	㉑ #235	C	C	㉒ #236	㉓ #237	㉔⑬ #238 #239	㉕ #240	㉖ #241	C																								
11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	水	
	回航	回航	回航		荒天避泊		回航	回航	C																									
12月	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	
	荒天避泊	荒天避泊	回航	回航	①② #260 #261	③ #262	④ #263	⑤ #264	⑥ #265	⑦ #266	回航																							
1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	日		
2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	木	
	⑳ #270		海上試験		㉑⑥ #271 #272	㉒⑦ #273	㉓⑧⑨ #274 #275	C																										
3月	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	
	陸揚	搭載																																

←→ 深海調査研究による公表

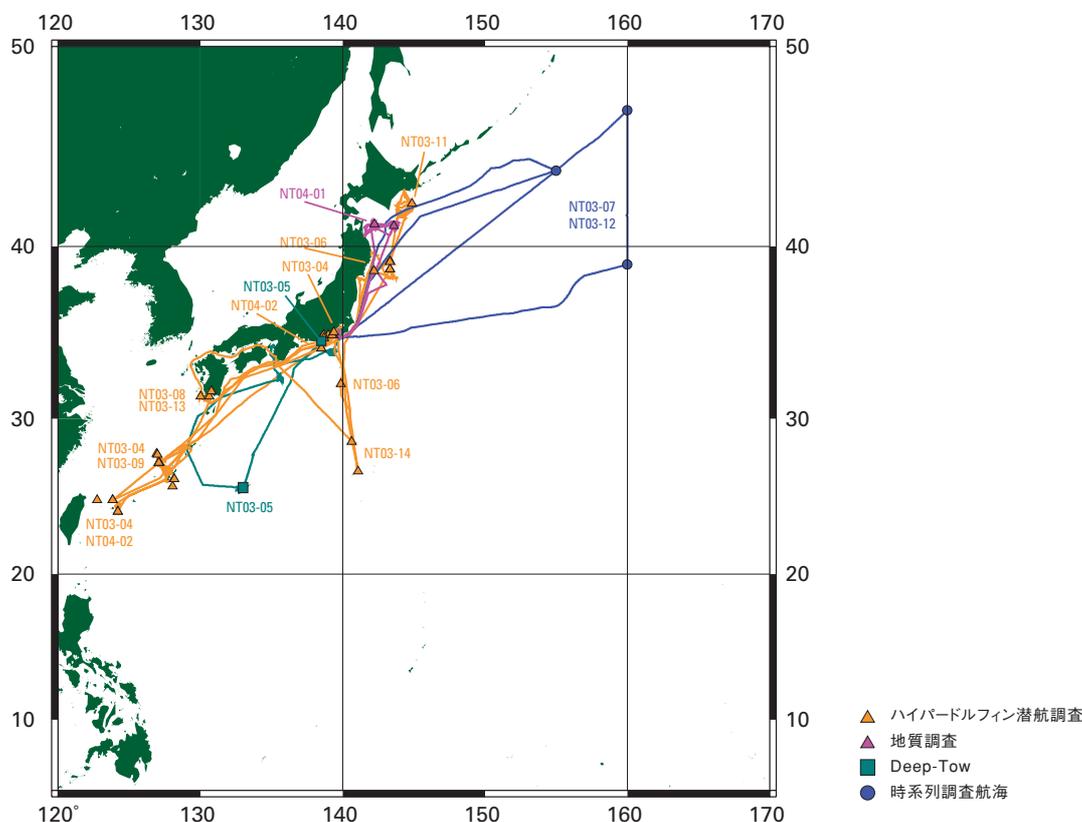


図2 平成15年度「なつしま」航跡図



図3 船底の送受波器

性と安全性の改善、重量物運搬のための旋回式ジブクレーンの新設等の機能向上に関わる工事を実施した。

2) 「かいよう」

「かいよう」は、所内研究課題に基づいて14行動、合計279日の運航を行った。(表5 実績線表、図4 航跡図)

行動内訳は、「ディーブ・トウ」(伊豆小笠原、駿河湾、鹿児島沖)2行動21日、「MCS(マルチチャンネル反射法システム)/OBS(海底地震計)調査」(熊野灘、マリアナ海域、南海トラフ、高知沖)5行動110日、「ディーブ・トウ及びMCS調査」(伊豆小笠原)1行動17日、「日本海予測実験に係る観測」2行動19日、「ヒートフロー計測及びピストンコア」1行動13日、「NSS:自航式深海底採取及び管理システム」1行動16日、「熱帯赤道域における観測研究(トライトンプイの設置及び回収)」(西部熱帯太平洋海域)1行動46日、「基礎生産力観測研究」(南西諸島海域)1行動18日他である。平成15年5月10日センター横須賀本部における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15年4月4日から平成15年5月5日の間、三井造船由良修繕部において、中間検査工事を実施した。船体構造、推進装置等の船舶としての基本的性能並びに特殊装置の性能維持に関わる工事を実施したほか、船内LANシステム使用環境の整備、ラボラトリの整備、Aフレームクレーンの改善等の機能向上に関わる工事を実施した。

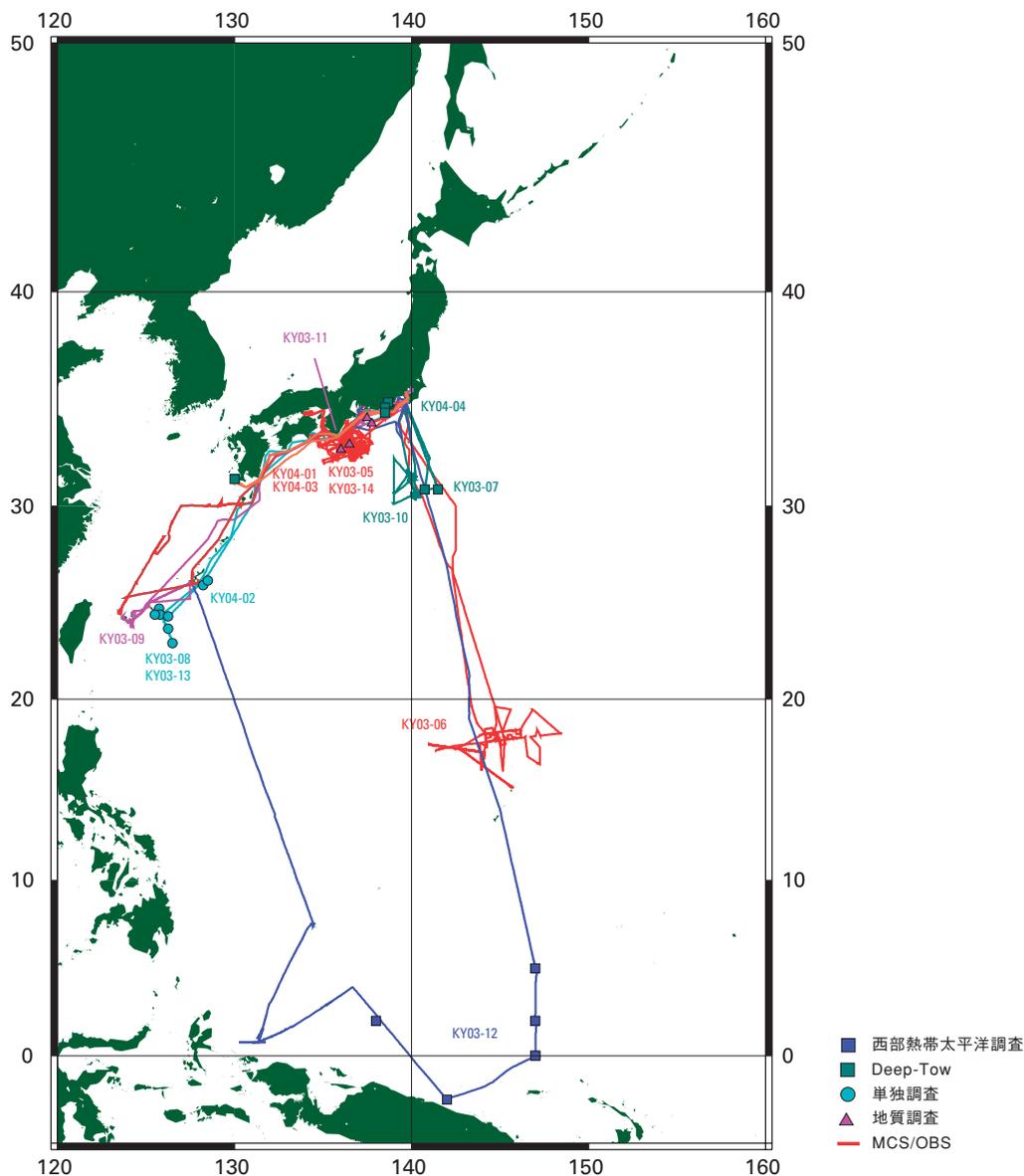


図4 平成15年度「かいよう」航跡図

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12行動、合計250日の運航を行った。(表6 実績線表、図5 航跡図)

行動内訳は、「しんかい6500」による潜航行動5行動149日、深海巡航探査機「うらしま」実海域試験(駿河湾)を3行動17日、海洋ロボット「MR-X1」海域試験(駿河湾)を1行動6日、単独行動としては、「熱水ブルーム観測技術における研究」(南西諸島海域)1行動10日、「沖の鳥島観測システム保守点検作業」(沖の鳥島)1行動12日、「西部熱帯太平洋観測研究(トライトンブイの設置及び回収)」(西太平洋赤道海域)1行動38

日他である。平成15年8月2日「よこすか開国際」の一環として、横須賀新港において一般公開を実施した。

平成15年5月5日から平成15年6月13日の間、川崎造船神戸工場において、定期検査工事を実施した。船体構造、推進装置等の船舶としての基本的性能並びに「しんかい6500」のための着水揚収装置、潜航支援装置等特殊装置の性能維持に関わる工事を実施したほか、トライトンブイ(6基)の設置・回収機能の追加(図6 よこすか格納内のトライトンブイ)、ラボラトリの整備、燃料電池に換装した「うらしま」の整備機能の追加等の機能向上に関わる工事を実施した。

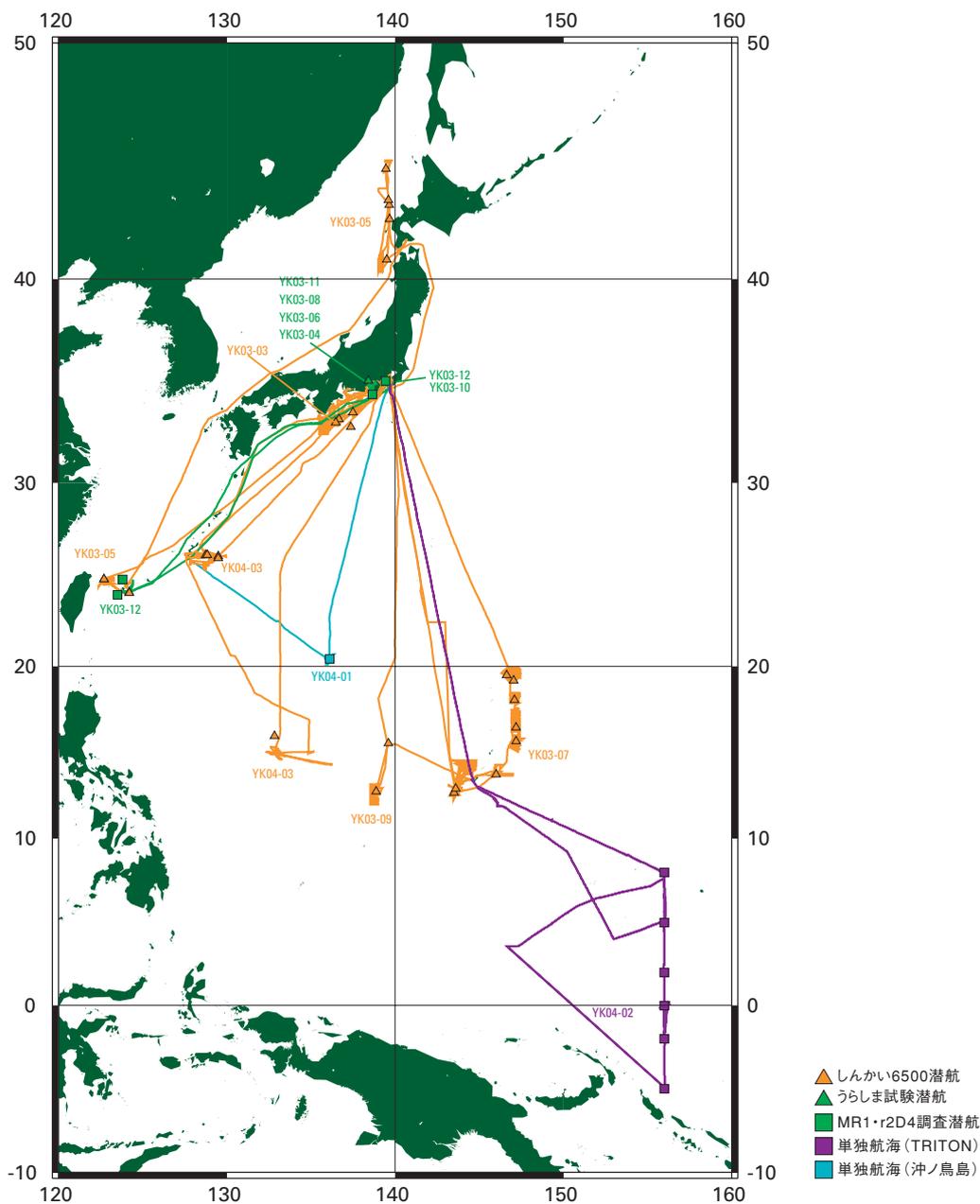


図5 平成15年度「よこすか」航跡図



図6 よこすか格納庫内のトライトンバイ

4) 「かいいい」

「かいいい」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14行動、合計273日の運航を行った。(表7 実績線表、図7 航跡図)

行動内訳は、「かいこう」の潜航行動(伊豆小笠原、西フィリピン海、南海トラフ)3行動45日、「かいこう7000」の試験・訓練行動(伊豆小笠原)1行動5日、単独行動としては、「時系列観測」(北西部北太平洋)1行動28日、当初は予定に無かったが、カナダカスカディア沖でのMCS調査の中止に伴い又、地震発生後の緊急調査により「MCS(マルチチャンネル反射法システム)調査」(三

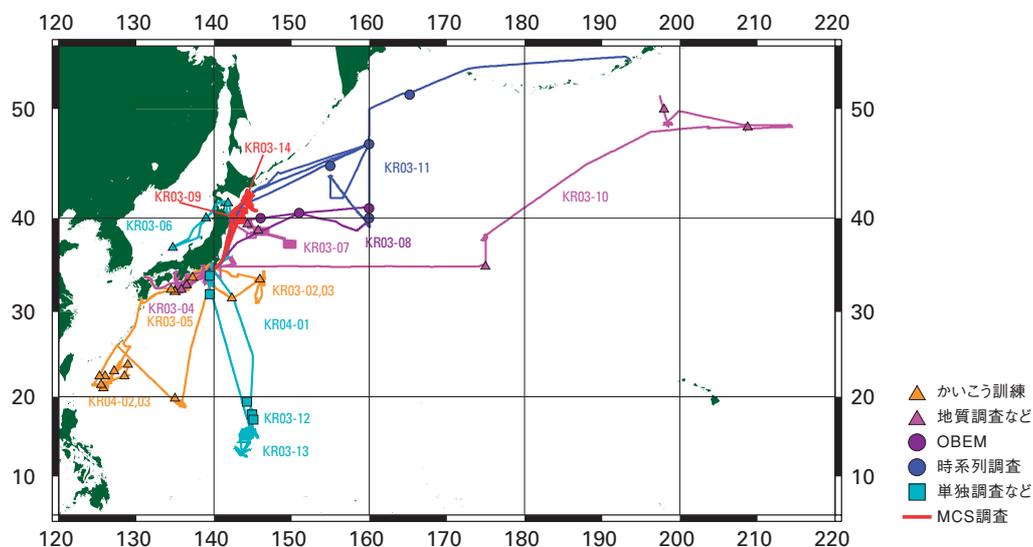


図7 平成15年度「かいいい」航跡図

陸沖、釧路十勝沖)2行動40日のほか、「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」等の機器を用いた調査(南海トラフ、日本海、三陸沖、伊豆小笠原、北太平洋、マリアナ海域)7行動122日である。

平成16年1月28日から3月9日の間、川崎造船神戸工場において、年次検査工事を行った。船体構造、推進装置等の船舶としての基本的性能並びに「かいいい」の着水揚収装置、潜航支援装置及び一次ケーブルハンドリング装置等の性能維持に関わる工事を実施したほか、作業艇の降下・揚収の作業性と安全性の改善、MCSコンプレッサ室の整備、マルチナロービーム測深装置ワークステーション換装等の機能向上に関わる工事を実施した。

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328日の運航を行った。(表8 実績線表、図8 航跡図)

行動内訳は、「海洋大循環による熱・物質輸送とその変動に係る観測研究」(北太平洋中央海域)1行動18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)1行動54日、「BEAGLE2003(南半球周航航海)」(南半球中緯度海域、チリ西方海域、インド洋南方南大洋海域)204日、「大気・海洋相互作用に係る観測研究」(西部熱帯太

平洋海域)1行動32日、「北太平洋時系列観測研究」(北西部北太平洋)1行動5日である。

「BEAGLE (Blue Earth Global Expedition) 2003」航海の概要

2003年5月21日、横浜港大さん橋国際客船ターミナルに於いて、航海の安全と調査の成果を期待し出航式を執り行った。北太平洋中央海域、西太平洋赤道域、東インド洋赤道海域において観測を行った後、7月30日にオーストラリア・ブリスベーンに入港。8月3日より南半球周航観測航海(BEAGLE2003)の開始となった。9月5日はタヒチ・パペーテに寄港し、10月16日にチリ・バルパライソに入港。ここから「みらい」は南に下り、マゼラン海峡を越えて太平洋を北上、11月2日にブラジル・サントスに入港となった。太平洋を横断して、12月5日に南アフリカ・ケープタウンに入港した「みらい」は、続いてインド洋を航行し、12月20日にマダガスカル・タマタブ、12月27日にモーリシャス・ポートルイスに寄港。さらに、インド洋を横断して、2004年1月24日にオーストラリア・フリーマントルに入港した。続いて「みらい」は、ケルゲレン諸島をめざしてインド洋を南下し、2月19日、再びフリーマントルに入港し南半球周航を終えた。

航海の途上、寄港地に於いて一般公開(図9参照)を行ったほか、講演会、盾の交換(図10参照)といった交流イベントを行い、国際親善にも大きな役割を果たした。各船内公開時の参加人数は、ブリスベーン(8月

表8 平成15年度「みらい」運航実績

平成 16. 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					
4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	土			
	← 3月30日下関港入港														年次検査工事 (32)																					
5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					
	← 下関港 一般公開			← 別府			動作確認航海(11) (日本南方海域)											MR03-K02 海洋大循環による熱・物質輸送とその変動に係る観測研究 (北太平洋中央海域)																		
																		← 関根浜		← 関根浜		← 回航		← 横浜大棧橋												
																								出港式		(18)										
6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						
															MR03-K03 西部熱帯太平洋・インド洋の観測研究 Leg1 (西太平洋赤道海域)																					
														← グアム																						
														(23)																						
														← 中城																						
7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					
															MR03-K03 西部熱帯太平洋・インド洋の観測研究 Leg2 (東インド洋赤道海域)																					
														← 中城																						
														(30)																						
														← プリスベン																						
8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					
															MR03-K04 BEAGLE2003 Leg1 (南半球中緯度海域)																					
														← プリスベン 一般公開																						
														(34)																						
9月	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						
															MR03-K04 BEAGLE2003 Leg2 (南半球中緯度海域)																					
														← タヒチ																						
														(38)																						
10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					
															MR03-K04 BEAGLE2003 Leg3 (チリ西方海域)																					
														← バルパライソ 補油																						
														(15)																						
11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						
															MR03-K04 BEAGLE2003 Leg4 (南半球中緯度海域)																					
														← サントス 一般公開																						
														(30)																						
12月	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					
															MR03-K04 BEAGLE2003 Leg5 (インド洋南方南大洋海域)																					
														← ケープタウン																						
														(47)																						
														← タマタブ																						
														(47)																						
														← ホートルイス																						
														(47)																						
1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					
															MR03-K04 BEAGLE2003 Leg5 (インド洋南方南大洋海域)																					
														← フリーマントル 一般公開																						
														(47)																						
														← フリーマントル																						
														(24)																						
2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							
															MR03-K04 BEAGLE2003 Leg6 (インド洋南方南大洋海域)																					
														← フリーマントル																						
														(24)																						
														← フリーマントル																						
														(30)																						
3月	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					
															MR04-01 大気・海洋相互作用に係る観測研究 (西部熱帯太平洋海域)																					
														← 横浜 達成記念式典																						
														(30)																						
														← 横浜																						
														(5+17)																						
														← 4月17日入港																						

← 共同利用

※各航海及び停泊日数は数日の変更が発生する可能性あり

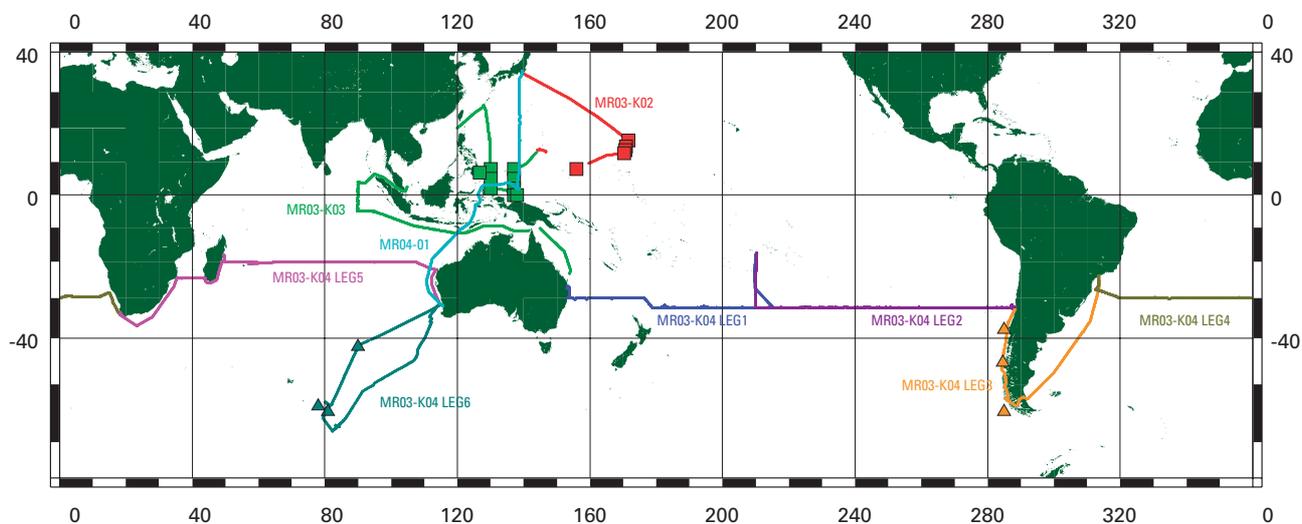


図8 平成15年度「みらい」航跡図



図9 一般公開の様子



図10 寄港地における盾の交換

2日)691名、サントス(11月5日)371名、ケープタウン(12月8日)43名、タマタブ(12月20日)103名、フリーマントル(1月25日)857名であった。

フリーマントルから日本への帰路、西太平洋において観測を行い、3月22日に「みらい」は横浜へ帰港。3月27日、出航式と同じく横浜港大さん橋国際客船ターミナルに於いて観測航海達成祝賀式を執り行った。7ヶ月の南半球周航を含めて10ヶ月に及ぶ長い航海と海洋観測史に残る世界初の3大洋横断海洋観測を無事に達成した。(図11参照)

平成15年4月1日から平成15年5月2日の間、三菱重工下関造船所において、年次検査工事を行った。船体構造、推進装置等の船舶としての基本的性能の維持並びに「BEAGLE 2003」に向けて小型CTDウインチ・ク



図11 観測航海達成祝賀式の様子

レーンの移設、CTD室の改造、小型CTD予備ウインチの搭載、分析室、観測室、倉庫の整備等の工事を行った。そのほか、船内LANシステムの高速度化、高速通信

に対応させるためインマルサットA衛星通信装置をインマルサットB衛星通信装置に換装、交通艇、作業艇の作業効率および安全性向上のためのクレーンの改良、居住設備の整備、廃油焼却炉の換装等を実施した。

(7) 深海調査システム運用

1) 「しんかい2000」

平成16年3月4日付けで船籍を抹消し、廃船とした。

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57回、試験訓練潜航11回の計68回の潜航を、日本海、南海トラフ、南西諸島、マリアナ海域、フィリピン東方沖にて行った。11月8日パレスベラ海盆において通算800回潜航を達成し1990年6月5日の初潜航以来、14年余りにての快挙となった。

平成15年11月25日から平成16年2月27日の間、主として潜水調査船整備場において、中間検査工事を実施した。その後、南西諸島海域において4回の試験潜

航を実施し、3月11日に全ての試験、検査を終了した。

中間検査工事では、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のほかに、主蓄電池装置を酸化銀-亜鉛二次電池からリチウムイオン二次電池へ換装した。(表9 酸化銀-亜鉛二次電池とリチウムイオン二次電池の主要諸元及びコスト比較参照)また、老朽化対策工事として、フレーム溶接部の非破壊検査、トリムタンク管継手部の新替等を実施した。

3) 「ハイパードルフィン」

「ハイパードルフィン」は年間9行動、調査潜航87回、訓練潜航39回の計126回の潜航を釧路十勝沖、三陸沖、伊豆小笠原、相模湾、駿河湾、鹿児島西方沖、鹿児島湾、南西諸島にて行った。

システム全体の性能維持に関わる工事を適宜行ったほか、レーザービームスケール付きデジタルスチルカメラの搭載、ハイビジョンカメラの機能向上として船上装置にHDTVキャプチャー・インポーズ用コンピュータを装備した。

表9-1 「しんかい6500」酸化銀-亜鉛二次電池とリチウムイオン二次電池の主要諸元比較

項目	酸化銀-亜鉛二次電池	リチウムイオン二次電池
形式	油漬均圧方式 (単電池開放型)	油漬均圧方式 (単電池密閉-ベローズ付)
電池装置寸法(1台)	1085 × 1158 × 985 mm	同左
電池装置質量(1台)	1,170 kg	1,140 kg
単電池寸法	110 × 88 × 474 mm	138 × 138 × 484 mm
単電池質量	9.5 kg以下	18.5 kg以下
公称容量	540 Ah	500 Ah
定格容量	400 Ah	同左
寿命	注液後1年または75サイクル	注液後2年または180サイクル
数量	単電池72個 / 群 × 2	単電池30個 / 群 × 2
単電池公称電圧	1.5 V	3.6 V
最大使用圧力	66.69 MPa	同左
振動・衝撃	着水・揚収時に問題のないこと	同左
傾斜・動揺	動揺：±60° 縦傾斜：±30° 横傾斜：±15°	同左
活物質	正極：酸化銀 負極：亜鉛	正極：コバルト酸リチウム 負極：炭素
電解液	水酸化カリウム水溶液	有機電解液
単電池槽材質	ポリサルフォン樹脂	SUS304
保守・点検	活性化放電：15サイクル毎 液面調整：30サイクル毎	約45サイクル毎に、実容量の確認(放電容量確認)を行う事が、望ましい。
体積エネルギー密度	129 Wh / ℓ	154 Wh / ℓ
質量エネルギー密度	60 Wh / kg	73 Wh / kg

表9-2 「しんかい6500」酸化銀-亜鉛二次電池とリチウムイオン二次電池の費用比較

酸化銀-亜鉛二次電池	リチウムイオン二次電池
寿命1年	寿命2年
75サイクル	180サイクル
300万円 / 潜航	170万円 / 潜航

4) 「かいこう」

「かいこう」は年間3行動、調査潜航10回、訓練潜航8回(「かいこう」ビークル捜索潜航3回及び、「かいこう7000」試験・訓練潜航3回を含む)の計18回の潜航を伊豆小笠原、南海トラフ、西フィリピン海にて行った。

5) 「ディープ・トウ」

「ディープ・トウ」による調査は、年間4行動、伊豆小笠原、駿河湾、鹿児島沖、南西諸島において行った。

6) 「UROV-7K」

「UROV-7K」は「かいこう7000」のビークルへと改造工事を行った。(図12参照)

7) 「うらしま」

「うらしま」は、実海域試験を駿河湾にて3行動実施し、昨年度末に換装した燃料電池と各機器システムの作動状況を確認した。

平成15年12月12日から平成16年3月26日までの間、AUV整備場において、年次整備工事を実施した。通常の整備のほかに、緊急時の安全装置の改善等を実施した。

8) 「べんけい」

無人探査機整備場において、適宜整備工事および作動確認を実施した。



図12 「かいこう7000」

(8) 「かいこう」ビークル漂流事故

10,000 m級無人探査機「かいこう」(以下「かいこう」)は、平成15年5月29日、高知県室戸岬沖の南東約130 kmの南海トラフ(水深4675 m)において調査を行い、南海地震に関わる長期観測データの回収に成功した。その直後、二次ケーブルの破断により、「かいこう」ビークルが浮上、漂流した。水野 恵介 独立行政法人水産総合研究センター 遠洋水産研究所 海洋・南大洋部長をグループ長とする『「かいこう」ビークル漂流捜索アドバイザーグループ』(表10参照)による捜索の評価検討及び提言を踏まえた、3週間以上の捜索にもかかわらず、ビークルの行方は、依然として不明のままになっている。

この事故の重要性に鑑み、浦 環 東京大学生産技術研究所教授を委員長とする『「かいこう」ビークル漂流事故調査委員会』(表11参照)を設置し、原因究明を行い、平成16年1月19日、理事長に最終報告書が提出された。

事故原因の二次ケーブル破断は、外部シース開口部アラミド繊維編組が、通常の運用で起こる繰り返し屈曲により劣化して切断に至ったことが明らかになった。

漂流したビークル対応策として、暫定的なビークルの代替機として、7000 m級細径光ファイバ式小型無人探査機「UROV-7K」を改造し、「かいこう」の二次ケーブルと接続して「かいこう7000」を準備した。

平成15年11月27日から平成16年3月31日までの間、無人探査機整備場において、ビークルを除く「かいこう」システムの年次整備工事を実施した。通常の整備工事のほかに、トラブルで電源が遮断されてもランチャー側に給電ができるような電源システムの改造等を行った。また、一次ケーブルの残存強度を確認するために、ランチャー側先端を約400 m切断し、引張試験を実施した。

併行して、「UROV-7K」をビークルの代替機として暫定運用するため、リチウムイオン二次電池を取り外し、高圧トランスの搭載、スラスタを6機増設、マニピュレータの換装、メタルハライドライトの増設等の改造工事を実施した。改造終了後、暫定ビークルの運用システムを「かいこう7000」とした。また、暫定運用のためにNo.4二次ケーブルと同一構造の二次ケーブルを2本製作した。

表10 「かいこう」ビークル漂流搜索アドバイザーグループ

	氏名	所属
グループ長	水野 恵介	(独)水産総合研究センター 遠洋水産研究所 海洋・南大洋部長
グループ員	浦 環	東京大学生産技術研究所 海中工学研究センター センター長 教授
グループ員	浅田 昭	東京大学生産技術研究所 海中工学研究センター 教授
グループ員	井本 泰司	海上保安庁 海洋情報部 環境調査課 漂流予測管理官
グループ員	高田 政幸	気象庁気候・海洋気象部 海洋気象情報室 課長補佐
グループ員	田村 兼吉	(独)海上技術安全研究所 海洋開発研究領域 深海技術研究グループ長
グループ員	海野 幸雄	静岡県水産試験場 漁業開発部 資源海洋研究室 主任研究員
グループ員	川上 治男	深田サルベージ建設株式会社 東京支社 副支社長

表11 「かいこう」ビークル漂流事故調査委員会

	氏名	所属	専門
委員長	浦 環	東京大学生産技術研究所 教授	海中工学
委員	小寺山 亘	九州大学応用力学研究所長 教授	海洋流体工学
委員	畑村洋太郎	工学院大学国際基礎工学科 教授	失敗学
委員	加藤 直三	大阪大学大学院工学研究科 船舶海洋工学専攻 教授	海中工学
委員	鈴木 英之	東京大学大学院工学系研究科 環境海洋工学専攻 教授	海洋工学
委員	増田 光一	日本大学理工学部海洋建築工学科 教授	海洋建築工学
委員	加藤 俊司	(独)海上技術安全研究所海洋開発研究領域 海洋空間利用研究グループ長	リスク管理
委員	白石 悟	(財)沿岸開発技術研究センター 調査部 第二調査部長	海洋施設工学
委員	田村 兼吉	(独)海上技術安全研究所海洋開発研究領域 深海技術研究グループ長	深海技術研究
委員	白崎 勇一	東京大学生産技術研究所 海中工学研究センター 研究員	海中工学
委員	篠原 雅尚	東京大学地震研究所 地震地殻変動観測センター 助教授	海洋地震学
委員	青木 太郎	海洋科学技術センター 海洋技術研究部長	海洋技術研究
オブザーバ	首藤 洋一	東京製綱繊維ロープ株式会社	海中ケーブル
オブザーバ	森田 斌	株式会社OCC	海中ケーブル
オブザーバ	大久保正紀	アクセスケーブル株式会社	海中ケーブル
事務局		海洋科学技術センター 研究業務部	

第4章 研究評価

海洋科学技術センターでは、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(平成13年11月28日内閣総理大臣決定)及び「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」(平成14年6月20日文部科学大臣決定)に基づき、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、研究開発課題の評価を行っている。具体的には、「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」に基づき当センターにおける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プロジェクト及び社会的に関心の高いプロジェクト)については、別途そのための特別の委員会を設置して評価を実施することとしている。

研究課題評価は、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15年度は、事前評価を平成15年8月1日に、中間・事後評価を平成15年10月から平成16年2月にかけて実施した。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、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16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

(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15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	次世代シミュレーションの研究開発	地球シミュレータセンター
2	人工衛星による海洋機器の遠隔制御の研究	海洋技術研究部
3	環境計測技術に関する研究	海洋技術研究部
4	地球深部探査システムの技術開発	深海地球ドリリング計画推進室
5	地球環境データアーカイビングシステムの構築・運用	情報業務部

表2 平成15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	先進的技術の研究開発(第1期)	海洋技術研究部	事後評価
2	自律型無人潜水機の研究開発	海洋技術研究部	中間評価
3	内湾環境修復の研究	海洋技術研究部	中間評価

・ 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	インドネシア周辺ジャワ～スダ海溝系における統合的地球科学的研究	特別研究	深海研究部	事後評価
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	特別研究	深海研究部	事後評価
3	氷海域における無人潜水技術の研究	特別研究	海洋技術研究部	事後評価
4	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	経常研究	深海研究部	事後評価
5	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	経常研究	深海研究部	事後評価
6	大西洋中央海嶺下における海洋地殻形成に関する研究	経常研究	深海研究部	事後評価
7	ケーブル式観測装置を用いた津波及び地殻変動の研究	経常研究	深海研究部	事後評価
8	掘削孔を利用する地球物理学的計測の基礎研究	経常研究	深海研究部	事後評価
9	深層水の水質評価に関する研究	経常研究	海洋技術研究部	事後評価
10	熱水プルームの長期モニタリングによる変動特性の解明に関する研究	共同研究	深海研究部	事後評価
11	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	共同研究	深海研究部	事後評価
12	海底ケーブルによる電界変動計測の研究	共同研究	深海研究部	事後評価
13	海洋底における電磁場変動ネットワーク観測基礎研究	共同研究	深海研究部	事後評価
14	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	共同研究	海洋観測研究部	事後評価
15	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	共同研究	海洋観測研究部	事後評価
16	ニホンウナギの産卵生態に関する調査研究	共同研究	海洋技術研究部	事後評価
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	共同研究	海洋技術研究部	事後評価
18	富山湾深層水の特性解明に関する研究	共同研究	海洋技術研究部	事後評価
19	中・深層生物の長期飼育技術に関する研究	共同研究	海洋生態・環境研究部	事後評価
20	フレキシブルパイプの動的挙動の研究	共同研究	海洋技術研究部	事後評価

表3 平成15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理事
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	木下 健	東京大学生産技術研究所教授(海洋技術開発部会主査)
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	新田 義孝	(財)電力中央研究所 CS推進本部 チーフオーガナイザー
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(海洋固体地球科学研究部会主査)

(委員長他 五十音順)

表4 平成15年度研究課題評価委員会専門部会構成

・海洋固体地球科学研究部会

主 査	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
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	日野 亮太	東北大学大学院理学研究科 助教授
同	湯浅 真人	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	気象庁気候・海洋気象部気象情報課エルニーニョ監視予報管理官
同	若土 正暁	北海道大学低温科学研究所教授

・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	工藤 俊章	理化学研究所中央研究所生物基盤研究部部長

・海洋技術開発部会

主 査	木下 健	東京大学生産技術研究所教授
委 員	井上 清	ユニバーサル造船株式会社商船・海洋事業本部基本計画部海洋プロジェクトチーム担当部長
同	清水 久二	横浜国立大学名誉教授
同	本多 中二	電気通信大学システム工学科教授

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国の研究開発評価に関する大綱的指針の改定等により、研究開発の費用対効果及び計量的評価を行うことが求められるようになってきた。

当センターは、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) 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) 役職員が、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。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、国内における実施例が見当たらず、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、昨年引き続き外部有識者による検討委員会を設置し、手法の検討を続けた。検討委員

会は、東京大学の平澤名誉教授を委員長とする5名の委員で構成し(表5)、合計4回の委員会を開催した。

委員会では、昨年度までに評価マトリックス(研究プロジェクトのサイクルマネジメント(課題の立案、事前評価、進捗の年次点検、中間評価、事後評価、追跡評価等)を行うための基礎資料となる様式)に関する議論を行ってきており、今年度は評価マトリックスの実際の利用について、1年間運用した実績をもとにその検討を進めた。また、NOAA(米国海洋大気庁)に派遣していた当センターの職員による報告会を行い、米国の研究機関等における費用対効果分析の導入事例である、熱帯海洋・地球大気計画(TOGA)、沿岸海洋観測システム(GoMOOS)、静止気象衛星(GOES-R)及び天気予報の経済価値等について議論・検討を行った。

(2) 「しんかい2000」システムの成果・波及効果

外部有識者による検討委員会では、具体的な研究テーマに的を絞り、成果の波及効果に関する調査も行った。本年度は研究開発の例として「しんかい2000」システムの開発及び運用による成果・波及効果に関する調査を実施した。ここでは、「しんかい2000」システムとして、潜水調査船の開発、支援母船の開発、音響航法システムの開発及びそれぞれの要素技術の開発における波及効果について調査を実施した。また、海洋調査・観測運用面、支援体制及び開発体制についても検討を行った。

表5 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

委員長	平澤 冷	東京大学名誉教授
委員	齋藤富士郎	多摩大学大学院客員教授
同	西岡 秀三	独立行政法人国立環境研究所理事
同	丹羽富士雄	政策研究大学院大学教授
同	林 隆之	大学評価・学位授与機構評価研究部助手

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いただき、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、体制の整備を推進し、多くの成果を挙げることができました。

平成16年4月1日に海洋科学技術センターは解散し、独立行政法人 海洋研究開発機構として新たなスタートを切りましたが、今後も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研究開発のセンター・オブ・エクセレンスを目指して参りたいと存じております。

海洋開発・海洋研究の重要性は認められつつも、厳しい国家財政状況を受け、海洋研究開発機構の平成16年度予算における事業費は、海洋科学技術センター当時の平成15年度比約3.1%減の405億円となりました。

独立行政法人化により事業の成果、社会への貢献をこれまで以上に求められ、当機構としましては、さらなる努力が必要と痛感しております。海洋科学技術センターの際には、各方面より多大なご助力を賜りましたが、当機構に対しましても引き続き賛助会員の増加、

賛助会費の増額につきまして産業界各位の一層のご理解とご協力をお願い申し上げる次第であります。

なお、ご賛助いただきました向きには、下記の特典等できるだけの御便宜をお図り致しますとともに、賛助会費(寄付金)の取扱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御承知置ください。

1. ご賛助をいただきました向きには、当機構の事業に関し、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付
- ・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
- ・図書等資料情報利用の優遇

2. 賛助会に関するお問い合わせの節は、下記までお願いします。

独立行政法人 海洋研究開発機構

協力団体連絡室長 米倉 司郎

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16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され賛助会費、ご寄付をいただき当機構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
アイワ印刷株式会社殿
株式会社アクト殿
株式会社アサソーデイ・ケイ殿
株式会社浅沼組殿
アジア海洋株式会社殿
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
海洋電子株式会社殿
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
カネダ株式会社殿
カヤバ工業株式会社殿
川崎設備工業株式会社殿
株式会社川崎造船殿
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
極東貿易株式会社殿
株式会社きんでん殿
株式会社熊谷組殿
株式会社クロスワークス殿
株式会社グローバル オーシャン デイベロップメント殿
ケイジーケイ株式会社殿
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
小倉興産株式会社殿
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
三洋テクノマリン株式会社殿
財団法人塩事業センター殿
ジオテクノス株式会社殿
有限会社システム技研殿
シナネン株式会社殿
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
株式会社大気社殿
大成建設株式会社殿
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
洞海マリンシステムズ株式会社殿
東京海上火災保険株式会社殿
東京製網繊維ローブ株式会社殿
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
戸田建設株式会社殿
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
ニッスイ・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SGI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
日本海洋計画株式会社殿
日本海洋事業株式会社殿
社団法人日本ガス協会殿
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
株式会社日立製作所殿
日立プラント建設株式会社殿
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
富士ゼロックス株式会社殿
株式会社フジタ殿
富士通株式会社殿
富士電機システムズ株式会社殿
物産不動産株式会社殿
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
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
三鈴マシナリー株式会社殿
株式会社みずほ銀行殿
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

郵船商事株式会社殿

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

株式会社緑星社殿

若築建設株式会社殿

海洋科学技術センター

年報(平成15事業年度)

平成16年11月 発行

発行 独立行政法人海洋研究開発機構 情報業務部 情報業務課
制作 財団法人地球科学技術総合推進機構
印刷 株式会社リョーイン

独立行政法人海洋研究開発機構

- 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)
- 東京事務所 〒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)
-