

独立行政法人海洋研究開発機構  
平成 24 事業年度

年報



独立行政法人

海洋研究開発機構

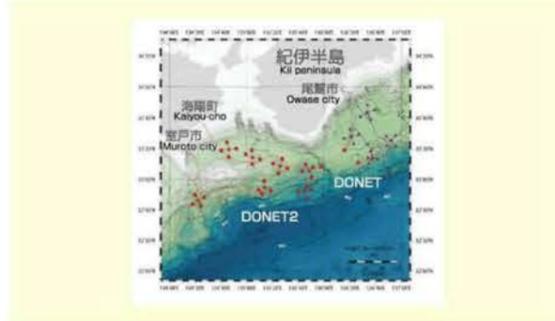
独立行政法人海洋研究開発機構  
平成24事業年度

年報

# 平成24 事業年度 海洋研究開発機構のあゆみ



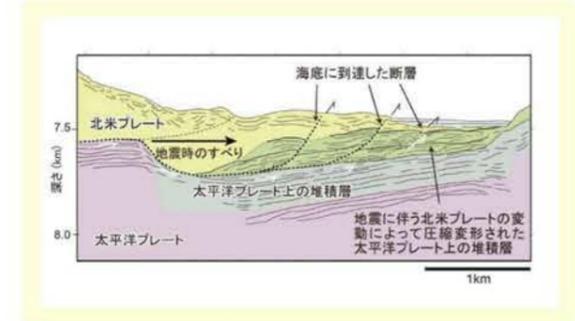
平 朝彦 理事長が就任



南海地震に備えた「地震・津波観測監視システム (DONET)」の整備が進む



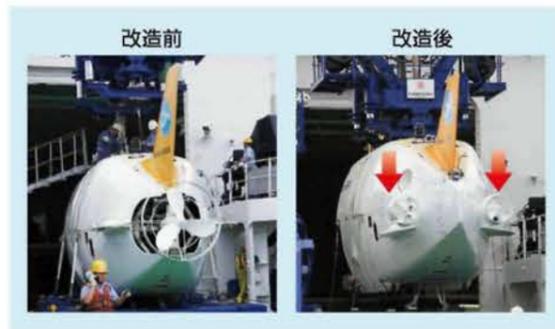
マリアナ海溝世界最深部に生息するカイコウオオソコエビから有用な新規酵母を発見



海溝軸まで及んだ東北地方太平洋沖地震の地震断層を確認



人工熱水噴出孔の創出と鉱物の回収に成功



有人潜水調査船「しんかい 6500」の改造工事が完了



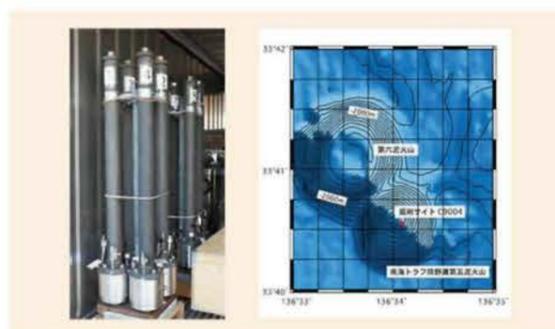
伊豆大島南東の大室ダシが活動的な海底火山であることを確認



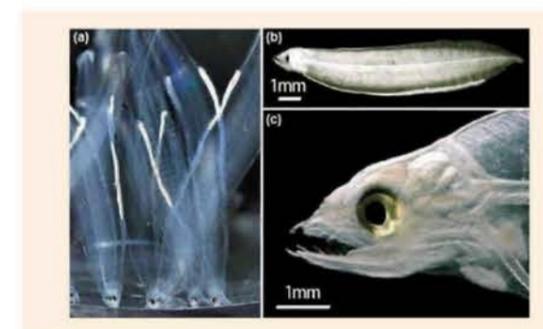
青森県八戸沖にて海洋科学掘削における世界最高掘削深度からのコア試料採取に成功



有人潜水調査船「しんかい 2000」長期外部展示のため新江ノ島水族館へ



「ちきゅう」用の「ハイブリッド保圧コアシステム」の開発に成功  
南海トラフ熊野灘の海底泥火山から保圧コア試料を採取



ウナギの幼生の食性を解明



「しんかい6500」が世界一周航海「QUELLE (クヴェレ) 2013」に出発



横浜研究所 創立10周年  
地球シミュレータ 10周年



「東北マリンサイエンス拠点形成事業」に参画  
東北沖における海洋生態系調査研究のウェブサイトを公開



深海用プロファイリングフロートを用いた  
南極底層水の長期観測を世界に先駆けて開始



「淡青丸」が退役



「新青丸」が進水

## 序

海洋研究開発機構は今年度で第 2 期中期計画の 4 年目を終え、いよいよ計画期間の終盤を迎えつつあります。

今年度、地球環境変動に関しては、地球全体の気候変動に影響を与える巨大雲群の東進現象について、国際プロジェクトによる観測活動から、その発生メカニズムについていくつかの知見を得ることができました。生物科学の分野では、マリアナ海溝最深部にて発見、採取した超深海性ヨコエビから、極めて反応性の高い新規酵素を発見するなどの成果を上げております。技術開発の分野では、海洋資源調査や海洋環境調査を高効率、高精度に行うための自律型無人探査機を新たに 3 機開発しました。

平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災に関しましては、これまでも「かいれい」による地殻構造調査、「しんかい 6500」による震源域の潜航調査など、研究機関として事態の解明に貢献して参りましたが、今年度は「ちきゅう」による「東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST)」を実施し、巨大地震と津波を引き起こしたと考えられているプレート境界断層の地質試料の採取、孔内温度の長期測定などを実施しました。

さらに、2 月には新しい「新青丸」が進水し、「淡青丸」は 31 年の歴史の幕を閉じました。「新青丸」は今後、岩手県大槌町を船籍港とし、主に東北日本の海洋生態系の調査に従事いたします。この研究調査が東北復興のために役立つことを期待しております。

当機構では、平成 26 年度からの次期中期計画期間の開始を控えて、具体的な計画の立案に着手する時期に差し掛かっています。最近 5 年間における我が国の社会状況の変化、海洋・地球・生命に関する研究開発の進展を鑑みて、当機構が今後 15 年先に達成すべき目標と、そこへ到達するためのアプローチを検討し「長期ビジョン」として纏めました。

このような背景のもと、当機構が進むべき方向性、果たすべき役割等について国際的な視点から助言・提言を得るため、世界の卓越した海洋研究機関の長及び有識者を招き、第 1 回 JAMSETC アドバイザリー・ボード (JAB)

を 3 月に開催いたしました。

会議でいただいたアドバイスをもとに、我々の目標へたどり着くまでの戦略を十分に描き、練ることは、今年度最大の課題の一つであり、その一環として、組織の再編成を考えております。事務・事業の特性に着目して類型化し、類型ごとに最適なガバナンスを構築し、研究組織については、今までのやや硬直化した領域の中に細分化された体制と、やや発散気味であったミッション実施体制の見直しを考えております。

私ども海洋研究開発機構は、これからも国民の皆様、社会からの要請に応えるべく、役職員一丸となってその役割を果たして参る所存です。今後とも、皆様から一層のご支援、ご理解そしてご指導を賜りますよう、お願い申し上げます。



独立行政法人海洋研究開発機構  
理事長 平 朝彦

## 目次

1. 海洋研究開発機構の概要	
(1) 事業概要.....	1
(2) 予算額と職員数の推移.....	1
(3) 本部及び事業所.....	1
(4) 組織図.....	2
(5) 主要施設・設備.....	4
(6) 国際協力.....	5
2. 各部署の概要および主な成果	
地球環境変動領域 (RIGC).....	6
地球内部ダイナミクス領域 (IFREE).....	14
海洋・極限環境生物圏領域 (BioGeos).....	19
地震津波・防災研究プロジェクト.....	25
海底資源研究プロジェクト.....	28
システム地球ラボ:プレカンブリアンエコシステムラボユニット.....	32
システム地球ラボ:宇宙・地球表層・地球内部の相関モデリングラボユニット.....	34
アプリケーションラボ (APL).....	35
むつ研究所 (MIO).....	38
高知コア研究所 (KOCHI).....	40
海洋工学センター (MARITEC).....	44
地球シミュレータセンター (ESC).....	47
地球情報研究センター (DrC).....	52
地球深部探査センター (CDEX).....	58
3. 賛助会について.....	62

# 1. 海洋研究開発機構の概要

## (1) 事業概要

独立行政法人海洋研究開発機構（以下「当機構」という）は、我が国における海洋科学技術の総合研究機関として、海洋に関する基盤的研究と技術開発を通じて、海洋を中心とした地球システムの解明に挑み、そこから得られた成果によって人類の生存にとって重要な課題の解決に貢献しています。

平成 24 年度は平成 21 年 4 月から開始した第 2 期中期目標期間の 4 年目にあたり、中期目標の達成に向けてより一層事業の進展に努めました。また、東日本大震災を転機とした政策等の見直しや研究成果の社会への還元が強く求められる昨今の情勢をふまえ、15 年先を見据えた「長期ビジョン－海洋・地球・生命の統合的理解への挑戦－」を策定し、これから当機構が目指す方向性を明示させて頂きました。さらに、国内外の海洋研究機関の長や有識者から成る海洋研究開発機構アドバイザー・ボードを初めて開催し、当機構の事業について国際的な視点から助言及び提言をいただきました。

東北地方太平洋沖地震に関連した調査研究は地震発生直後から実施しており、平成 24 年度においては、震源域の地下構造データの詳細な解析による地震断層の確認、地球深部探査船「ちきゅう」の掘削によるプレート境界断層を含む地質試料の採取等の成果を上げました。

南海トラフ地震発生帯掘削計画においては「ちきゅう」の掘削孔に長期孔内観測装置を設置し、地震・津波観測監視システム（DONET）に接続することに成功しました。これにより世界で初めて海底下のデータをリアルタイムで取得できるようになりました。また、下北八戸沖石炭層生命圏掘削においてはコア試料の採取、物性データの取得、海洋科学掘削における世界最深度掘削記録を更新するという成果を上げました。

深海底には未知の生物が生息しています。世界で最も深いマリアナ海溝に生息するカイコウオオソコエビから木材等の天然バイオマスの利用につながる画期的な新規酵素を発見しました。また、極限的な環境の生態系の解明を目指す、「しんかい 6500」世界一周航海「QUELLE2013」を平成 25 年 1 月に開始しました。平成 25 年度においても大西洋、カリブ海、南太平洋での調査が予定されており多くの成果が期待されます。

世界第 6 位の広さを誇る我が国の領海および排他的経済水域の海底には、多くの鉱物資源が眠っていることが近年明らかになってきました。当機構では平成 23 年に海底資源研究プロジェクトを立ち上げ研究開発を推進してま

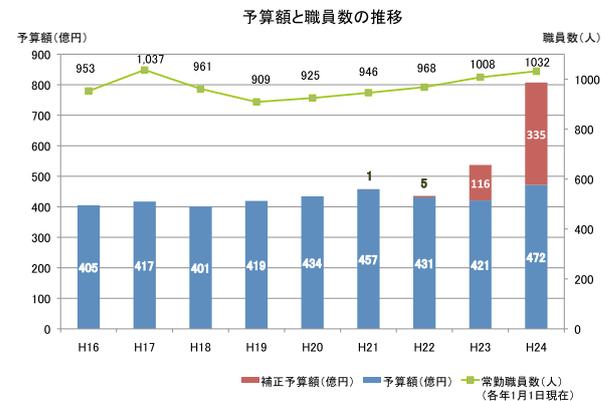
いりましたが、平成 24 年度には、南鳥島周辺の海底に高濃度のレアアースを含む資源泥が分布すること等を明らかにしました。

これらの科学的成果を上げるために、当機構では 8 隻の調査船を運用していますが、平成 25 年 1 月をもって学術研究船「淡青丸」が退役しました。また、2 月に「新青丸」が進水し、平成 25 年度の引渡し後、東北地方沖を中心とした調査活動への活躍が期待されます。

## (2) 予算額と職員数の推移

独立行政法人化以降の予算額と職員数の推移を下グラフに示します。平成 24 年度予算は、東日本大震災の発生等により前年度に引き続き厳しいものとなりましたが、震災復興のための予算として東北地方太平洋沖地震調査掘削の費用が措置されました。また、平成 24 年 11 月の政権交代に伴い大型補正予算が編成され、海底広域研究船の建造費等が措置されました。

職員数は、競争的資金等の増加による任期制職員の増加等のため、近年、増加傾向にあります。国家公務員の給与臨時特例措置（平成 24 年 4 月 1 日から 2 年間）に準じる措置を講じる等、適切な給与水準の維持や人件費の抑制に努めているところです。



## (3) 本部及び事業所

平成 24 年 3 月 31 日時点の本部及び事業所は以下のとおりです。横浜研究所は平成 24 年 8 月に開所 10 周年を迎えました。

名称	所在地
横須賀本部	神奈川県横須賀市
横浜研究所	神奈川県横浜市
むつ研究所	青森県むつ市
高知コア研究所	高知県南国市
東京事務所	東京都千代田区
国際海洋環境情報センター	沖縄県名護市

(4) 組織図

【役員】



理事長  
平 朝彦



理事  
白山 義久



理事  
堀田 平



理事  
土橋 久



監事  
他谷 康



監事  
中原 裕幸

【研究部門】

地球環境変動領域

- 海洋環境変動研究プログラム
- 熱帯気候変動研究プログラム
- 北半球寒冷圏研究プログラム
- 物質循環研究プログラム
- 地球温暖化予測研究プログラム
- 短期気候変動応用予測研究プログラム
- 次世代モデル研究プログラム



地球環境変動領域 (RIGC)  
領域長 深澤 理郎

地震津波・防災研究プロジェクト



地震津波・防災研究プロジェクト  
プロジェクトリーダー 金田 義行

システム地球ラボ

- プレカンプリアンエコシステムラボユニット
- 宇宙・地球表層・地球内部の相関モデリングラボユニット



システム地球ラボ:  
プレカンプリアンエコシステム  
ラボユニット  
ユニットリーダー 高井 研



システム地球ラボ:  
宇宙・地球表層・地球内部の相関  
モデリングラボユニット (SESM ラボユニット)  
ユニットリーダー 草野 完也

アプリケーションラボ

- 先端情報システム創成理工学プログラム
- 予測応用理工学プログラム
- 深海応用理工学プログラム



アプリケーションラボ (APL)  
所長 山形 俊男

地球内部ダイナミクス領域

- 海洋プレート活動研究プログラム
- 固体地球動的過程研究プログラム
- 地球深部活動研究プログラム
- 地球内部物質循環研究プログラム



地球内部ダイナミクス領域 (IFREE)  
領域長 鳥海 光弘

海底資源研究プロジェクト



海底資源研究プロジェクト  
プロジェクトリーダー 木川 栄一

むつ研究所

- 北太平洋時系列観測研究グループ
- 研究推進グループ
- 管理課



むつ研究所 (MIO)  
所長 渡邊 修一

高知コア研究所

- 地震断層研究グループ
- 同位体地球化学研究グループ
- 地下生命圏研究グループ
- 科学支援グループ
- 管理課



高知コア研究所 (KOCHI)  
所長 木下 正高

研究支援部

- 支援第1課
- 支援第2課

海洋・極限環境生物圏領域

- 海洋生物多様性研究プログラム
- 深海・地殻内生物圏研究プログラム
- 海洋環境・生物圏変遷過程研究プログラム



海洋・極限環境生物圏領域 (BioGeos)  
領域長 北里 洋

【運営管理部門】

経営企画部

- 企画課
- 経営戦略室
- 報道室
- 法人統合準備室

総務部

- 総務課
- 人事課
- 職員課
- 施設課
- 職員サポート課
- 横浜管理施設課
- 東京事務所
- 法務・コンプライアンス室

経理部

- 経理課
- 財務課
- 契約第1課
- 契約第2課

安全・環境管理室

- 監査室

【開発・推進部門】

海洋工学センター

- 企画調整グループ
- 海洋技術開発部
- 運航管理部
- 海洋研究船建造室



海洋工学センター (MARITEC)  
センター長 磯崎 芳男

地球シミュレータセンター

- 情報システム部
- シミュレーション高度化研究開発プログラム
- シミュレーション応用研究開発プログラム



地球シミュレータセンター (ESC)  
センター長 渡邊 國彦

地球情報研究センター

- データ技術開発運用部
- 国際海洋環境情報センター



地球情報研究センター (DrC)  
センター長 今脇 資郎

地球深部探査センター

- 企画調整室
- 運用室
- 開発グループ
- 環境保安グループ



地球深部探査センター (CDEX)  
センター長 東 垣

事業推進部

- 推進課
- 国際課
- 広報課
- 図書館課

(5) 主要施設・設備

船 舶

地球深部探査船「ちきゅう」



長 　　さ :210.0m  
幅 　　　 :38.0m  
船底からの高さ:130m  
乗 員 数 :200名  
総トン数 :56,752トン  
最大掘削水深:2,500m  
ドリルストリング長:10,000m  
就 航 年 :2005年

海洋地球研究船「みらい」



長 　　さ :128.5m  
総トン数 :8,687トン  
乗 員 数 :80名  
就 航 年 :1997年

深海調査研究船「かいらい」



長 　　さ :106.0m  
総トン数 :4,517トン  
乗 員 数 :60名  
就 航 年 :1997年

支援母船「よこすか」



長 　　さ :105.2m  
総トン数 :4,439トン  
乗 員 数 :60名  
就 航 年 :1990年

学術研究船「白鳳丸」



長 　　さ :100.0m  
総トン数 :3,991トン  
乗 員 数 :89名  
就 航 年 :1989年

海洋調査船「かいよう」



長 　　さ :61.5m  
総トン数 :3,350トン  
乗 員 数 :60名  
就 航 年 :1985年

海洋調査船「なつしま」



長 　　さ :67.3m  
総トン数 :1,739トン  
乗 員 数 :55名  
就 航 年 :1981年

学術研究船「淡青丸」※



長 　　さ :51.0m  
総トン数 :610トン  
乗 員 数 :38名  
就 航 年 :1982年

(※平成25年1月に退役)

潜水船・探査機

有人潜水調査船「しんかい6500」



最大潜航深度 : 6,500m  
乗 員 数 : 3名  
長 　　さ : 9.5m  
空 中 重 量 : 26.7トン

深海巡航探査機「うらしま」



最大潜航深度 : 3,500m  
最大航走距離 : 300km以上(燃料電池駆動時)  
100km以上(リチウムイオン電池駆動時)  
長 　　さ : 10.0m  
空 中 重 量 : 約10トン(燃料電池駆動時)

3000m級無人探査機「ハイパードルフィン」



最大潜航深度 : 3,000m  
長 　　さ : 3.0m  
空 中 重 量 : 3.8トン

7000m級無人探査機「かいこう7000Ⅱ」



最大潜航深度:(ランチャー)11,000m  
(ブイクル) 7,000m  
長さ、空中重量:(ランチャー)5.2m、5.8トン  
(ブイクル) 3.0m、3.9トン

深海曳航調査システム「ディーブ・トウ」



最大潜航深度 : 4,000  
～6,000m  
長 　　さ : 約3.5m  
空 中 重 量 : 650kg  
～1,350kg

施設設備

「地球シミュレータ」



プロセッサ数 :1280個  
ノード数 :160台  
ピーク性能 :131テラフリップス  
主記憶容量 :20テラバイト

「潜水訓練プール」



「超音波水槽」



「高圧実験水槽」



「コア保管庫」



## (6) 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ます。

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、国際共同計画の推進や国連機関をはじめとする国際機関、あるいは海外の諸研究機関との良好な協力関係の維持及び構築を図っています。

### 1) 多国間国際協力への貢献

国連教育科学文化機関（UNESCO）の政府間海洋学委員会（IOC）に対しては、関連国際会合に専門家を派遣し、IOC 関連活動の支援を行うとともに、国連海洋法条約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ます。平成 20 年 1 月より、IOC の関連事業・会合に対する我が国の推進体制の強化を目的として、当機構内に「IOC 協力推進委員会」が設置され、専門家による各国際研究プロジェクトへの対応等の検討・意見交換が行われています。平成 24 年度には、IOC 協力推進委員会の下に設置された専門部会の中で、2 分野の専門部会において専門家による意見交換が行われ、平成 24 年 6 月に第 5 回 IOC 協力推進委員会を開催し、各専門部会での意見交換の結果を踏まえた今後の IOC 関連活動への対応等が検討されました。また、IOC に対する我が国の貢献に寄与するとともに海洋研究の国際的な展開に貢献するため、平成 25 年 1 月より IOC 本部（フランス・パリ）へ国際課職員 1 名の 2 年間の派遣を開始しました。

さらに、当機構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）等をはじめ、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、その研究活動等に貢献しています。

### 2) 国際共同計画

当機構は以下に示す各国際共同計画への参画、活動への貢献を行っています。

- ・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）
- ・GEOS（全球地球観測システム：Global Earth Observation System of Systems）
- ・GOOS（全球海洋観測システム：Global Ocean Observing System）
- ・ICDP（国際陸上科学掘削計画：International Continental Scientific Drilling Program）
- ・ISC（国際地震センター：International Seismological Centre）
- ・InterMARGINS（国際大陸縁辺海域研究計画：International Margins Program）
- ・InterRIDGE（国際海嶺研究計画：An initiative for international cooperation in ridge-crest studies）
- ・IODP（統合国際深海掘削計画：Integrated Ocean Drilling Program）

- ・OBIS（海洋生物地理情報システム：Ocean Biogeographic Information System）
- ・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、イタリア、インド、オーストラリア、カナダ、韓国、中国、ドイツ、フランス、ロシア、EU 等と日本の政府間協力協定に基づき研究協力を行っています。

平成 24 年度に開催された主な政府間協力会合は以下のとおりです。

- ・平成 24 年 8 月 第 14 回日豪科学技術合同委員会
- ・平成 25 年 1 月 第 12 回日加科学技術合同委員会
- ・平成 25 年 3 月 第 21 回日独科学技術合同委員会

### 4) 海外関係機関との協力

米国、英国、インド、インドネシア、豪州、カナダ、韓国、ドイツ及びフランスの各国関係機関と包括的な機関間研究協力のための覚書を締結しています。平成 24 年度は、6 月に韓国海洋研究所（KORDI）\*、11 月に米国海洋大気庁・海洋大気研究局（NOAA/OAR）と覚書に基づく定期協議を実施しました。また、カナダ天然資源省（NRCan）およびニュージーランド国立水圏大気研究所（NIWA）と覚書を新規に締結するとともに、米国海洋大気庁・海洋大気研究局（NOAA/OAR）およびフランス国立海洋開発研究所（IFREMER）との覚書を更新しました。

世界の主要海洋研究機関のフォーラムである POGO（全球海洋観測パートナーシップ）にも参加しており、平成 25 年 1 月 22 日から 24 日まで南アフリカ共和国・ケープタウンで開催された第 14 回年次総会に機構役員が参加しました。

さらに、当機構は、アラスカ大学国際北極圏研究センター（IARC）との研究協力に関する共同研究協定に基づき、共同研究を実施しています。また、ハワイ大学国際太平洋研究センター（IPRC）との研究協力に関する共同研究協定に基づき、共同研究を実施しています。

\* 韓国海洋研究所（KORDI）：組織再編により、平成 24 年 7 月に韓国海洋科学技術院（KIOST）として新規設立されました。

### 5) その他

カナダ天然資源省（NRCan）、韓国海洋科学技術院（KIOST）、豪連邦科学産業研究機構（CSIRO）、フランス国立海洋開発研究所（IFREMER）等の海外の政府・研究機関等から来訪者があり、施設視察、意見交換等を行いました。

また、国連持続可能な開発会議（Rio+20、平成 24 年 6 月ブラジル・リオデジャネイロ）、地球観測に関する政府間会合（GEO）第 9 回本会合（平成 24 年 11 月、ブラジル・フォズドイグアス）、米国科学振興協会（AAAS）年次総会（平成 25 年 2 月、米国・ボストン）、第 6 回 GEOS アジア太平洋シンポジウム（平成 25 年 2 月、インド・アーメダバード）等において、パネル展示・説明を通じ、積極的に当機構の研究開発事業を紹介しました。

## 2. 各部署の概要および主な成果

### 地球環境変動領域(RIGC)

#### 概要

私たちが暮らしている地球上では、大気・海洋・陸域での自然環境、さらにその中で育まれた生態系が互いに作用し合って地球環境をかたちづくってきました。46 億年に及ぶ地球史の中で、この数千年の間は、地球環境が私たちにさまざまな恩恵を与え、人類の存続とその文明を守り育ててきました。しかし近年、地球温暖化など人間活動に起因する急激な変化が現れてきており、その実態を知り、原因を解明するとともに、さらに自然がもともと内包している変動も含めた将来の地球環境の変化、さらには猛暑、寒波の発生や豪雨の傾向など、より生活の時間スケールを持った予測を通じて社会の持続的な発展に貢献することが、全ての自然科学への課題となっています。

地球環境変動領域は、多様な手法で大気・海洋・陸域・生態系の観測研究を行い、それらの変化の実態をとらえ、それをもとに変化のメカニズムを知り、さらにこれらのさまざまな知識を統合したモデルを開発し、将来の環境変化の予測を行っています。それは、この研究領域が、「我々が自然科学を通じて集積する知識をもって人類と地球環境との調和のとれた持続的かつより生産的な社会構築に役立てる」というビジョンを持ち、そこから「JAMSTEC が自然科学の世界の COE としての基盤を持つだけでなく、日本の、さらには世界の社会的なニーズにも応え得る組織として認識されることを目指して地球環境変動研究を実施する」ためのミッションを遂行しているからに他なりません。実際、2011 年 3 月 11 日の東北関東大震災に起因した福島第一原子力発電所から放射性物質の放出に対応し、海洋モニタリングと、それに基づいた海洋放射性物質の拡散予報が整然と行われ社会への情報提供を行ったことは、GEO (Group on Earth Observations 地球観測に関する政府間会合) 等で世界各国から賞賛されるに至りましたし、気候変動に関する海洋観測や予測は、今や JAMSTEC 抜きには考えられなくなっていることは、現在編纂中の IPCC 第五次報告での主著論文の多さからも明らかになっています。また、地球温暖化予測についても、新たに「気候変動リスク情報創成プロジェクト」が動き出し、当領域がその主要部分を受託するに至っています。先に掲げたビジョンの実現とミッションの遂行を目指し、地球環境変動領域の全ての研究と研究者の不断の努力があり、確かにそれらが実現されつつあることをご理解いただければ、幸せこれに過ぎるものはありません。

#### 過去 10 年間で太平洋に蓄積した CO<sub>2</sub> 量

石油をはじめとする化石燃料の消費、森林の伐採などの人間活動によって大気中に放出された CO<sub>2</sub> (これを人為起源 CO<sub>2</sub> と呼びます) が原因となって大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は増加し続けています。この増加が主要因となって、地球温暖化が進行中であることが、IPCC 第 4 次評価報告書をはじめとする多くの研究論文や報告書で指摘されています。また、海洋は大気中に放出された人為起源 CO<sub>2</sub> の約 30% を吸収し、大気中に留まる CO<sub>2</sub> 量を減らすことで、温暖化の進行を和らげる働きをしていることも明らかとなっています。

海洋のこのような働きは、今後とも続くのでしょうか。この疑問は、いくつかの科学的な知見から生まれてきます。地球温暖化によって海水の温度も上昇しており、水温が上昇すると CO<sub>2</sub> の溶解度が下がり、海水に溶解しにくくなります。また、植物プランクトンによる光合成の働きで、海水中の CO<sub>2</sub> 濃度が下がることが知られていますが、生物も温暖化で影響を受けるため、生物のこの作用にも変化が起こることが考えられます。このようなことから、実際にどの程度海洋が大気中の CO<sub>2</sub> を吸収し海洋内部に蓄積しているかを観測によって明らかにすることが重要です。

以上のことを踏まえて、本研究では JAMSTEC で観測したデータと他の研究機関で観測された CO<sub>2</sub> と関連する項目のデータを用いて、1990 年代から 2000 年代にかけての約 10 年間に、どの程度太平洋の海洋内部に人為起源 CO<sub>2</sub> が蓄積されたかを調べました。

図 1 に、最近の 10 年間で増加した人為起源 CO<sub>2</sub> の分布

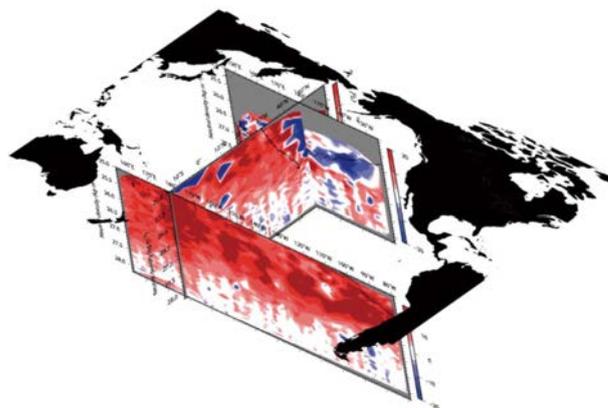


図 1. 観測ライン沿いでの人為起源 CO<sub>2</sub> 増加の分布。日本付近から東に延びる図は、47° N 沿いの観測ライン、オーストラリアから東に延びる図は、17° S 沿いの観測ラインでの断面図を示す。南北の図は、179° E 沿いの観測ラインでの断面図を示す。赤は増加、青は減少を表す。単位は  $\mu\text{mol kg}^{-1}$  である。

図を示します。これらのデータは、JAMSTEC が所有する海洋地球研究船「みらい」で観測されたものです。この図から、人為起源 CO<sub>2</sub> は、特に南太平洋の亜熱帯域でより多く蓄積したことが分かります。対照的に、太平洋の亜寒帯域では蓄積が少なく、逆に減少しているところもあります。この海域はデータ数も少なく、水塊の境目である前線が存在することなど、データの取得に課題が残る海域ですが、生物活動が活発なことや海洋の環境変動の指標となる酸素濃度や栄養塩濃度に 20 年周期の変動がみられるなど、何らかの海洋環境の変動によって人為起源 CO<sub>2</sub> の蓄積が減少している可能性もあり、継続して観測を行う必要のある海域のひとつです。

10 年規模で人為起源 CO<sub>2</sub> がどれほど蓄積したかの計算を、太平洋全体に対して行いました。この計算には、10 年間に少なくとも 2 回の全炭酸濃度の高精度データが必要となりますが、それが得られるのは 1990 年代を中心に行われた WOCE (World Ocean Circulation Experiment の略で、世界海洋循環実験と呼ばれています) プログラムでの観測ライン沿いにしかなく、非常に疎らです。そこで、WOCE プログラムの観測ラインはほぼ緯度・経度に沿っていることから、経度では 20°、緯度では 10°の平均値を計算することにしました。

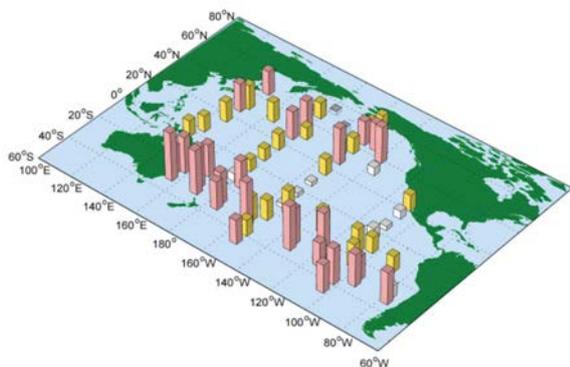


図2. 単位面積当たり1年間当たりの人為起源 CO<sub>2</sub> 蓄積量 (mol m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>) の分布。ピンクは0.7を超えるもの、黄色は0.7～0.5の範囲、白は0.5より小さい蓄積量を示す。

図2に、単位面積当たり1年間当たりの人為起源 CO<sub>2</sub> 蓄積量の水平分布図を示します。図1と同様に、相対的に蓄積率の大きい海域として、北太平洋亜熱帯海域 (> 0.5 mol m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>) と南太平洋亜熱帯海域 (> 0.7 mol m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>) が挙げられます。また、蓄積量の小さい海域として、赤道域と北太平洋亜寒帯域が挙げられます。両半球の亜熱帯域で大きく赤道域で小さいという分布パターンは、産業革命以降から 1990 年代までの人為起源 CO<sub>2</sub> の蓄積量を評

価した結果と同様です。このことから、最近の 10 年間では、少なくとも太平洋全体では、海洋が人為起源 CO<sub>2</sub> を吸収する能力は大きく変化していないと考えられます。

図2を基に、1990年代から2000年代の約10年間の太平洋全体での蓄積量を計算すると、8.5 PgC (炭素に換算して  $8.5 \times 10^{15}$  g) という値が得られました。これはモデルで推定された値 8.0 PgC とほぼ一致しています。

太平洋全体では、人為起源 CO<sub>2</sub> を吸収する能力には変化がないことが確認できましたが、海域によっては蓄積量が異なっていました。特に、南太平洋の亜熱帯域での大きな蓄積量が際立っていました。海洋が大気中の人為起源 CO<sub>2</sub> を吸収することは、地球温暖化の緩和に役立っていますが、その一方で海洋環境に変化を与えることになっていきます。これは CO<sub>2</sub> が弱酸であることから、CO<sub>2</sub> が海水中に溶け込むことによって海水の弱アルカリ性を弱める (酸性側に近づく) ことになるからです。これは「海洋酸性化」と呼ばれている現象で、海洋生物の殻や骨格の成分である炭酸カルシウムの飽和度も低下し、殻や骨格ができにくくなるなど、海洋の生態系に大きな影響を与えるため、最近活発に調査研究が行われています。

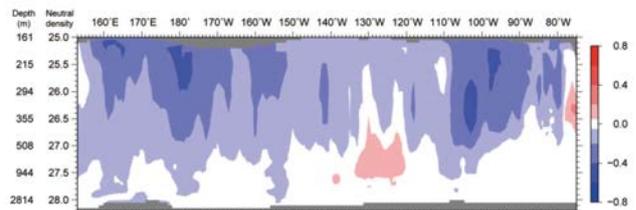


図3. 17°S沿いの観測ラインに沿った炭酸カルシウムの飽和度の変化。この図は炭酸カルシウム鉱物の一種であるアラゴナイト(殻石)の飽和度を示す。青は飽和度の低下、赤は上昇したことを表す。

図3は、南緯17度に沿った観測ラインでの海面から1500m深までの炭酸カルシウムの飽和度の変化を示しています。飽和度の低下の分布は、人為起源 CO<sub>2</sub> 増加の分布とよく対応していることから、人為起源 CO<sub>2</sub> の蓄積によって飽和度が低下していると推定できます。

南太平洋の亜熱帯域で人為起源 CO<sub>2</sub> の増加が大きく、これに対応して炭酸カルシウムの飽和度も低下していることが明らかとなりました。この海域の海水は南大洋を起源としていることから、南極周辺の海洋環境が変化していることが考えられます。今後は、南大洋の調査にも力を入れていきます。

## 冬季アジアモンスーンが赤道域海大陸の降水に与える影響

冬季アジアモンスーンは、シベリア高気圧の発達による強い季節風と、それに伴う寒気の流出とによって特徴付けられています。寒気の流出は、日本周辺のみならず、亜熱帯から熱帯にも及び、しばしば寒気を伴う北風(北風サージ)が赤道を越えて南半球側にも達し、中緯度から熱帯域の気候に大きな影響を与えています。そこで、RIGCは東南アジア域に豪雨をもたらす原因を解明するために、現地での気象観測を行い、衛星観測データや広域的大気場の客観解析データなどを用いて、赤道越え北風サージが東南アジア域の降水変動に与える影響について研究を進めてきました。

衛星観測より得られた海上風分布からは、冬季アジアモンスーンに伴う北風サージが赤道を越え、南半球のジャワ島へ到達する様子が捉えられます(図4)。赤道越え北風サージは毎年発生していますが、インドネシアの首都ジャカルタに豪雨をもたらした2007年2月のように、一週間以上持続する強い赤道越えの北風サージは、数年に一回程度発生しています。そこで、赤道越え北風サージの発生と東南アジア熱帯域の降水量分布との関係について統計的に調べた結果、赤道越え北風サージが東南アジア熱帯域に広く降水量の増加をもたらす、特にジャワ島北部やジャワ海で、顕著に降水量が増加することが分かりました(図5)。また、赤道越え北風サージの発生時のジャワ島北部の降水量の年々変動は、雨季全体(12月から3月)の降水量の年々変動と良く一致し、赤道越え北風サージが、雨季の降水量変動を決定する一つの重要な要因であることを示しています。

2007年のジャカルタ豪雨では市街地の大半が浸水し、死者100人以上、避難民30万人という大きな被害が発生しました。また、豪雨は連日、夜間と早朝に発生する特徴が見られました。この地域の雨季には、ジャワ島南部山岳域で午後から夕方にかけて、激しい対流雲に伴う雷雨がしばしば発生します(図6a)。夕方になると、山岳域の雷雨が衰えるに連れ、降水により冷やされた空気が山の斜面に沿って下り、ジャワ海へ向かう陸風が吹きます(図6b)。夜から早朝にかけて、この陸風と赤道越え北風サージがお互い向かい合うので、沿岸部のジャカルタ付近で強い収束域を作り、連日、夜間と早朝に豪雨を引き起こしていたと考えられます(図6c)。

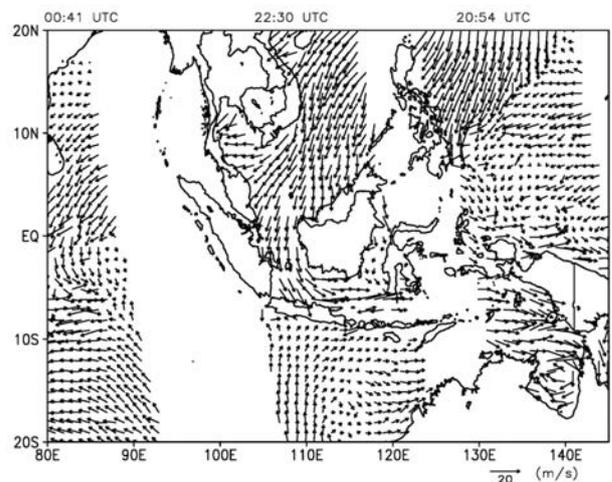


図4. 2007年2月1日における地球観測衛星QuickSCATで観測された海上風分布

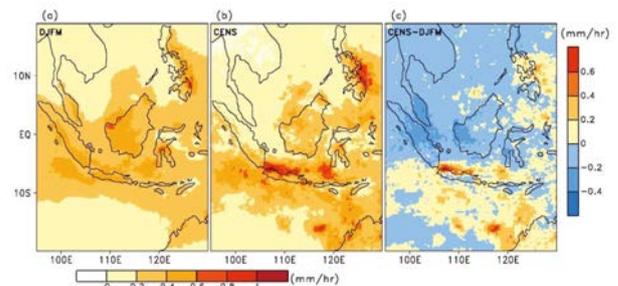


図5. 海大陸域における降水量分布。(a)気候値(雨季 12月~3月)、(b)赤道越え北風サージ発生時、(c)サージ発生時 (b)と気候値(a)の差

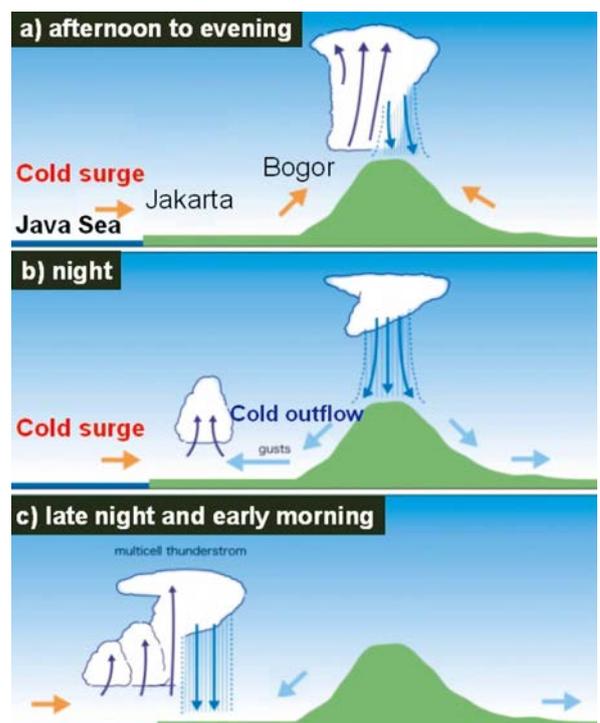


図6. 赤道越え北風サージによるジャカルタ豪雨発生メカニズムの概念図

## 北極海の急激な海水減少がもたらす影響を探る

寒冷圏の大気・海洋・陸域変化は地球温暖化とともに変化し、海水減少や凍土融解などの現象が発生していますが、未だ数多くの現象の実態が分からず、過去再現・将来予測が求められています。このため、鍵となる場所での観測を行い、実態を把握し変動プロセスを明らかにすること、そしてそれが環北極・中緯度・全球に及ぼす影響を評価することが重要です。

1990年後半から北極海・海水面積は顕著に減少し始め、2012年には夏季終りの海水面積が史上最小になったのは良く知られていますが、この変化が大気や周辺陸域の気候にもたらしている影響について2つの新しい結果が得られました。

- (1) 北極海の雲の構造の変化を捉えた：2010年の海洋地球研究船「みらい」の北極航海において、海水縁で発生・発達する低気圧をラジオゾンデやドップラーレーダー等で直接観測することに成功しました。北極海の低気圧の観測に成功するとともに、雲の構造についても新しい知見を得ました。海水の減少に伴う大気海洋間の激しい熱交換過程によって、高度500m以下に雲底高度を持つ下層雲が30%減少したことも実証されました（図7）。雲の変化は、海面/海水面の熱収支を変化させるだけでなく、降水現象にも影響が及ぶため、今後も監視していく必要があります。

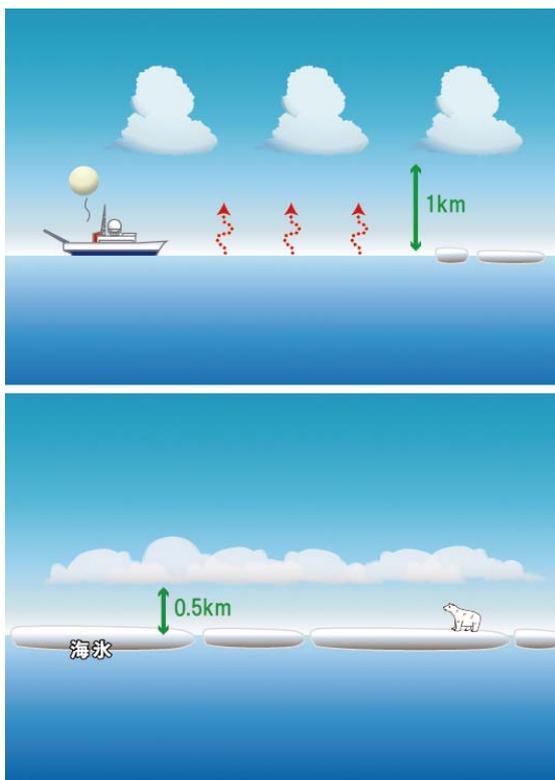


図7. 海水の有無による雲底高度の違い。上が海水減少時の状況。

- (2) 環北極陸域地域の気候変化に影響：北極海の海水減少は冬季の寒気団の東アジアへ輸送など広域に影響が出ていることは知られていますが、環北極陸域地域の気候変化との関係を調べました。1976～2006年を対象に、海水面積（9月）と、引き続き冬季（12月～2月）の平均気温と平均積雪深に関する回帰解析を行いました（図8、正値が気温・積雪深の上昇・増加、負値が低下・減少を示す）。海水面積の減少と気温の関係（b）は、北米では正値、シベリア地域では負値で、特に西シベリア地域で強い負の関係があり、大陸間で大きな差が見られている点に特徴があります。一方、積雪深（c）は多くの地域で回帰係数が負値であり、海水減少に伴い積雪深が全体的に減少していると言えます。その中で回帰係数が有意な増加を示している地域が北東シベリアで見られる点が特徴的であり、原因としては気温低下の影響とともに秋の降水量増加が積雪深増加に影響していると考えられます。

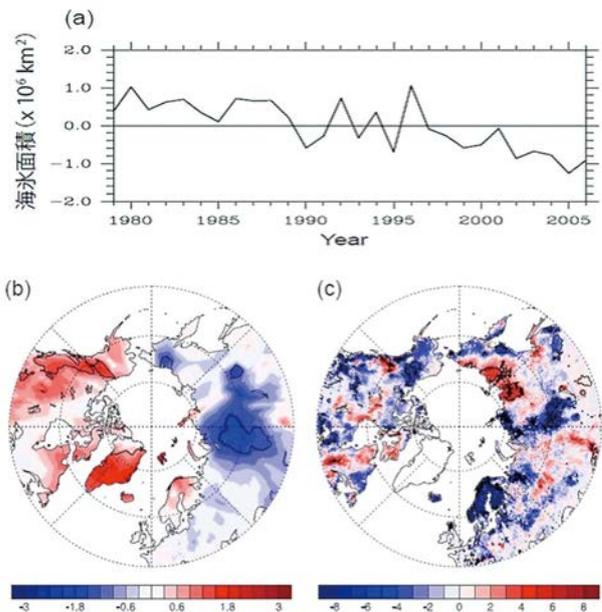


図8. (a) 9月北極海・海水面積の時間変化。(b)、(c)：それぞれ(a)の毎年の海水面積と12～2月の冬季気温と積雪深の回帰係数（正値は海水減少に伴い気温が高く、積雪が多くなっている場所に対応）を示す。黒い線で囲まれた場所は統計的に有意な所を示している。

## 西部北太平洋における物質循環の観測的研究

近年、社会経済活動の活発化による気候変動が海洋や陸域の環境を変化させ、物質循環に深くかかわっている生態系過程の変化が懸念されるようになってきました。物質循環研究プログラムでは気候変動に対して、生態系を介した物質循環がどのように応答するかを調べるために、西部北太平洋において海洋の物理学・化学・生物学が異なり、また季節風・中規模渦・陸起源物質供給等の外的変動要因が異なる、亜寒帯および亜熱帯循環域に二つの観測定点（亜寒帯域：K2, 亜熱帯域：S1）を設けて、2010 年以降、海洋地球観測船「みらい」を中心とした季節毎の船舶観測と、係留系・人工衛星による遠隔時系列観測を実施してきました。その結果、海洋物質循環過程の起点となる基礎生産力、海洋生態系へ影響を与える陸起源物質の供給過程、および生態系の変化に関して以下のような知見が得られてきました。

### 1. 基礎生産力の制限要因：亜寒帯と亜熱帯海域

観測定点 K2, S1 の基礎生産力はともに大きな季節変動を持つことが明らかとなりました。亜寒帯域の K2 では 6-7 月にかけて基礎生産力が最大となり、1-3 月に最小となっていました。一方亜熱帯域の S1 では 2 月に最大となり、秋に最小となりました。基礎生産力の年間平均値は K2 が約  $290 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 、S1 が約  $270 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  と計算されました。この基礎生産力が何によって制限されているのかを解析したところ K2 では光、S1 では栄養塩が制限因子である事が明らかになりました（図 9）。このことは今後地球温暖化が進行し海洋の成層化が進んだとしても、栄養塩が豊富な K2 では光条件が良くなるため基礎生産力が上昇する可能性があることを示唆しています。ただし船上での鉄添加実験の結果を見ると K2 では鉄も制限因子になっている模様です。今後この鉄の供給メカニズム、供給量の変化も注目する必要があります。

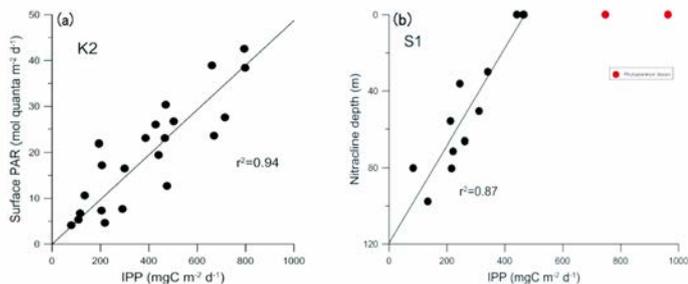


図 9. (a) K2 における基礎生産力 (IPP) と光合成有効放射 (PAR) の関係 (b) S1 における基礎生産力 (IPP) と硝酸躍層 (Nitracline depth) の関係

一方、これまでの観測の結果、S1 の基礎生産力が K2 の基礎生産力に匹敵するか、若干低い程度であるという、驚くべき結果が得られました。何故なら、十分に栄養塩のある K2 に対して、S1 の栄養塩濃度は極めて低いか、あるいは枯渇していたからです。このような状態のもとでの栄養塩の供給メカニズムとして、栄養塩の豊富な亜表層からの鉛直的供給や亜寒帯循環域からの水平的供給等の可能性が考えられました。衛星データ解析からは、水温が低い時にクロロフィル濃度（植物プランクトン現存量）が高くなることが観測されました（図 10）。また地球環境変動研究プログラムが実施した S1 付近でのアルゴフロート集中投入観測では中規模低気圧性渦の発生と亜表層での酸素濃度の増加が観測され、これは我々が実施しているセジメントトラップ実験で観測された沈降粒子フラックスの増加と同調していました。これらのことから S1 では中規模渦の通過に伴う海洋浅層への鉛直的な栄養塩供給が亜熱帯海域の予想外に高い基礎生産を維持している可能性が明らかとなりました。

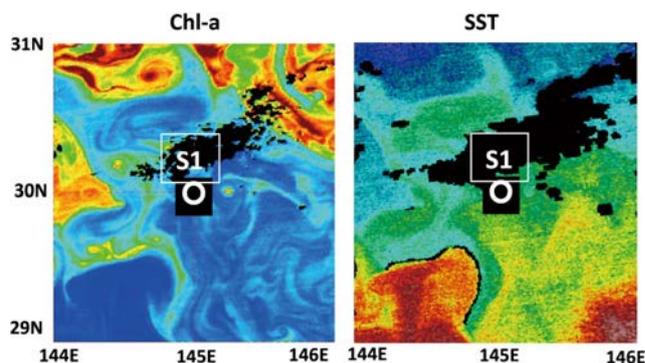


図 10. 衛星から観測された S1 周辺海域におけるクロロフィル a 濃度 (左) 及び海面温度 (右) (観測日: 2011 年 4 月 11 日、空間解像度は 1 km)

### 2. 陸起源物質の供給

海洋表層への栄養塩類（硝酸やリン酸、および鉄）の供給メカニズムとしては大気を経由した陸起源物質の供給も考えられます。そこで航海中にエアロゾル粒子を捕集し、微量元素分析、主に鉄に着目した解析を行ってきました。晩春～夏の航海では鉄質量濃度が微小粒子で  $0-43 \text{ ng m}^{-3}$ 、粗大粒子で  $0-74 \text{ ng m}^{-3}$  の範囲で測定され、鉄の供給に関しては自然起源の鉱物ダストが主である粗大粒子と同時に、人為起源物質が主と考えられる微小粒子の寄与も無視できないことが分かりました。また、エアロゾルの（鉄 / アルミニウム比）解析からは、K2 では黄砂粒子とともに、別の発生源の影響を受けていることが示唆されました。また（バナジウム / アルミニウム比）解析から、重油燃焼などの人為起源汚染の影響が遠く外洋域まで広がっていることもわかってきました。

### 3. 亜寒帯循環域の酸性化と生物

海洋変動の中で注目されているのが海洋酸性化です。我々の観測の結果、亜寒帯域の K2 では海水中二酸化炭素濃度が増加、pH が低下し、酸性化が進行中であることが明らかになってきました。海洋酸性化が炭酸塩殻を持つ生物に対してどのように影響を及ぼしているかを定量的に把握するため、K2 のセジメントトラップ試料中に含まれる石灰質浮遊性有孔虫について、マイクロフォーカス X 線 CT 技術を用いた骨格密度の測定を行ってきました (図 11)。その結果、冬期 (1 ~ 3 月期) の浮遊性有孔虫の骨格密度は、他の時期の健全な成体と比較して最大 60% 低下していることが明らかとなりました。本海域の冬期の主要な浮遊性有孔虫はグロビゲリナ・ブロイデス (*G. bulloides*) ですが、炭酸塩の溶解が本種に対して選択的に影響していることが示唆されました。K2 においては冬期に混合層が深くなることで、表層のカルサイト飽和度 ( $\Omega$ ) が低下していることが明らかとなっています。これらのことから、(1) 北西部北太平洋の海洋酸性化には季節性が存在すること、(2) これによる浮遊性有孔虫の溶解が発生していること、(3) 特定の石灰化生物に対して異なる作用を与える可能性があること、(4) 今後酸性化が進めばこれらの傾向がより顕著になること等が明らかになってきました。

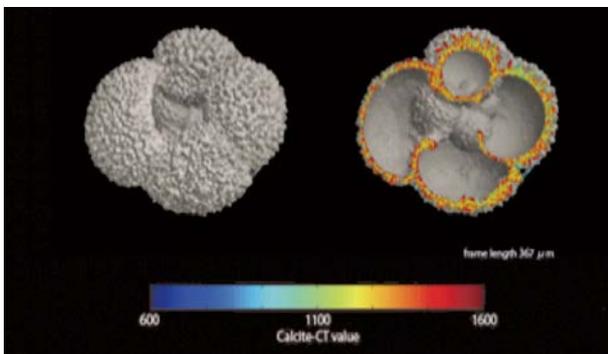


図 11. Stn. K2 の沈降粒子中に含まれる石灰質浮遊性有孔虫 *G. bulloides* 一個体の CT 密度画像。左側は表面構造、右側はその断面をコンピューター上で切断して表示したもの。殻断面の骨格密度の違いを色で表現した。暖色系が高密度、寒色系が低密度を表す。骨格の溶解は一樣に進行せず、モザイク状に進行することを表している。

### RCP4.5 濃度シナリオに対する許容炭素排出量の不確実性

将来の気候変化の予測結果を解釈する際には、その不確実性を考慮することが不可欠です。ここでは、簡略気候モデルを用いて、確率的アプローチによりアンサンブル実験を使用し、RCP4.5 濃度経路に対する将来の気温上昇や二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) 排出量の不確実性の範囲を推定しました (図 12)。RCP4.5 とは IPCC の報告書のために導入された 4 シナリオのうち、想定される大気  $\text{CO}_2$  濃度の上昇が 2 番目に低いものです。

### 不確実性の取り扱い

不確実性の範囲は、物理的 (平衡気候感度を含む)・生物地球化学的パラメータとエアロゾル量を既存研究と矛盾しない範囲内で変化させることによって推定しました。さらにその結果について、最近の気温、海水温、炭素排出量、植生関連の観測データとの比較によって重みをつけました。

### 温度上昇および許容される炭素排出量の不確実性

観測データによる制約にもかかわらず、RCP4.5 濃度シナリオに対する温度上昇の不確実性は大きいままであり、産業革命前から 2300 年までの全球平均気温の上昇は制約前・後でそれぞれ 1.5 ~ 3.9 K、1.8 ~ 4.0 K (5 ~ 95% パーセンタイル) となりました。

この時に許容される炭素排出量はピーク値で 6.7 ~ 13.3  $\text{PgC/year}$  および 9.0 ~ 12.8  $\text{PgC/year}$  でした。(同じパーセンタイル)。特に 2100 年より後に、許される炭素排出量は非常に低いものとなり、社会活動を維持するための最低限の二酸化炭素を許容するために  $\text{CO}_2$  の直接隔離が必要となるかもしれません。

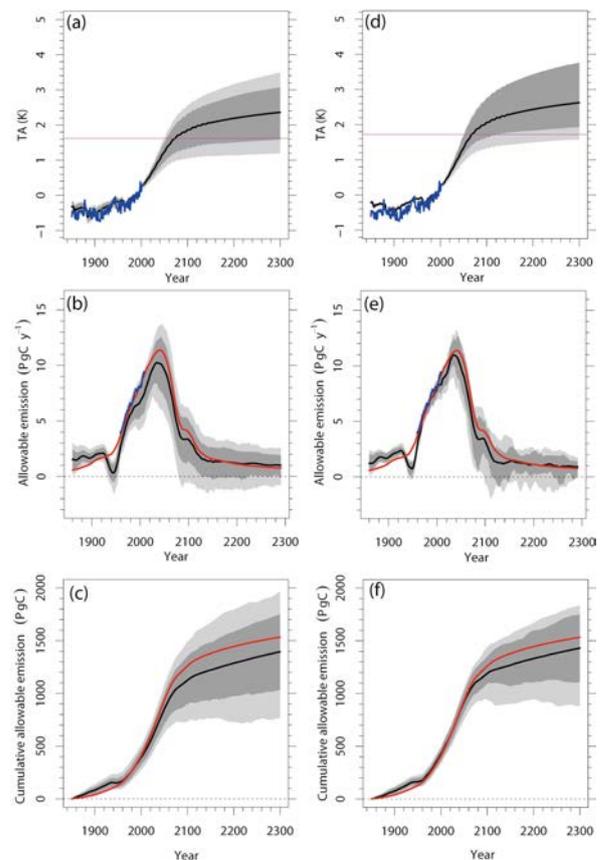


図 12. RCP4.5 に対する 1850-2300 年の (a) 平均地上気温、(b) 許容年間炭素排出量、(c) 累積許容炭素排出量の変化。黒線: アンサンブル平均、濃淡グレー: 68 (16 ~ 84 パーセンタイル値)、90 (5 ~ 95 パーセンタイル値) % の範囲に相当する。青色の曲線は (a) では HadCRUT3 データ、(b) では排出量の歴史的推定値 (CO2now.org)。 (b) (c) の赤線は MAGICC 値 (RCP4.5 排出量シナリオ)。 (a) は 1980 ~ 1999 年の平均からの差を示しており、水平なマゼンタの線は、産業革命以前 (ここでは 1850 ~ 1869 年の平均) から 2K の上昇を示す。 (d) ~ (f) は (a) ~ (c) に 8 種類の観測データを用いて重みづけをした場合の結果。

### 排出された炭素の行き先

海洋が引き続き炭素吸収源として機能する一方、多くのパラメータセットについて陸域は 21 世紀中に炭素排出源へと変化することが確認されました。累積許容排出量の不確実性は観測データとの整合性を考慮して重みをつけた後でも非常に大きく、また例えば排出量が得られたとしてもそれに対する温度上昇を予測することは非常に困難です。

海洋炭素吸収については、熱帯の海域のみが平均としては炭素排出傾向ですが、大きな不確実性を持っていました。一方、許容排出量に強い影響を及ぼす陸域の炭素貯蔵量については、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度が安定した後においても、北半球高緯度とアマゾン流域で大きな減少がみられました。

### 不確実性を引き起こすパラメータ

許容炭素排出量の不確実性の最大の要因となるのは気候感度の不確実性であり、それに次いで垂直拡散係数などの海洋の物理的パラメータでした。また、いくつかの植生関連のパラメータ（例えば、最大光合成速度や植生呼吸の温度依存性）も無視できない影響を与えることが分かりました。

### 東シナ海に現れた黒潮沿いの降雨帯

日本付近の天候は、偏西風とともに移動する高・低気圧や梅雨前線に代表される停滞前線などの影響を受けています。海面の水温が高い熱帯では、海水温の高低が天候に強く影響するのですが、海面温度の低い中・高緯度では、海洋は天候にあまり重要ではなく、ほとんど大気内の力学で決まっていると考えられてきました。しかし、私たちのグループの研究から、中・高緯度でも海洋が気象・気候に積極的な役割を果たしていることが明らかになりつつあります。特に黒潮は、中緯度にも温度の高い海水を運ぶ存在として重要です。

その端的な例として、2010 年 5 月 20 日前後に興味深い降水帯が現れました。レーダによる観測は、沖縄西方の東シナ海に細長く伸びた強い降水帯を示していました（図 13a）。この時の梅雨前線は降水帯よりも北に位置がずれており（図 13b）、降水帯を説明することができません。むしろ直下に存在する黒潮に伴う高い水温の海域（図 13b の暖色）が降水をもたらしているのではないかと考えられました。

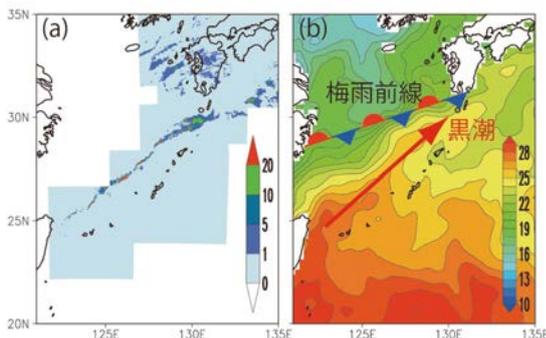


図 13. (a) 2010 年 5 月 20 日午前 9 時（日本時間）に観測された降水分布 (mm/時)。 (b) 同日の海面温度観測値 (°C)。

降雨帯が黒潮の高い水温によってもたらされていることは、どのようにして確かめることができるでしょうか？ こういう時は、コンピュータシミュレーションが有効な方法の一つとなります。まず、シミュレーションで降雨帯が再現できることを確認します。再現できればしめたもので、次に黒潮の高い水温を意図的に消して、降雨帯が消えるか「実験」してみることができます（「数値実験」と呼ばれる手法です）。

図 14 が、その実験結果です。図 14a は現実的な海面水温場を用いて計算した結果です。観測に見られるような細長い降水帯（図 14a のカラー）が、黒潮のため周辺より温度が高い海域（図 14a の等値線が北へ凸になっている所、図 13b のカラーも参照）に沿って再現されていることがわかります。一方で黒潮による海面温度の特徴をなめらかにして消した（図 14b の等値線）実験の結果では、細長く伸びた降水帯は消えてしまいます。このことからこの降水帯は、黒潮の高い海水温によってもたらされたものだと結論できます。

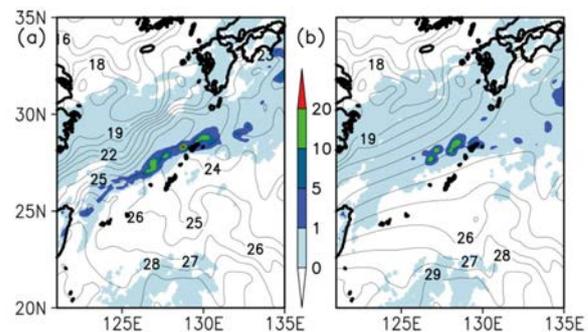


図 14. 数値実験の結果。カラーの陰影は降水量 (mm/時)。等値線は海面温度 (°C)。 (a) 現実的な海面温度を与えた場合。 (b) 海面温度をなめらかにして黒潮の特徴を消した場合。

実験を通してわかった降水帯形成のメカニズムを概念図にしたものが図 15 です。大陸からの冷たい乾燥した空気と、南からの暖かく湿った空気（蒸発を通してこのような空気を作るのも海洋の役割です）は、本来なら大気の前線である梅雨前線でぶつかり雲をつくるはずでした（点線）。しかし、この時は、手前に黒潮の暖かい海水温が存在したため、急速に下から暖められ上下に不安定になり、対流圏上部にまで達する積乱雲を作り（実線）、強い雨が形成されたのです。

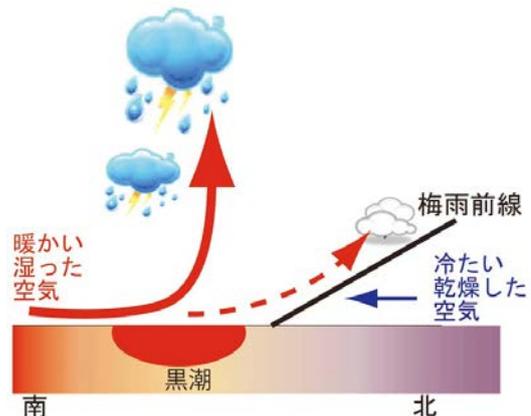


図 15. 黒潮沿いの降雨帯形成メカニズムの概念図

以上のような結果は、中緯度域でも海の状態が大気に影響を与えうることを示しています。最近の研究では、日本に大きな被害をもたらした豪雨が、海の高い水温により強化されていたと考えられる事例も見つかっています。このことは、日本のある中緯度域での気候の予測、さらには災害予測のためにも、大気ばかりでなく、海の状態もしっかりと把握し、理解していく必要があることを示唆しています。

### 地球温暖化適応策とヒートアイランド緩和策

地球温暖化に伴う将来の気候変化予測は、地球全体の大気状態を計算できる全球気候モデルを用いて行われており、予測精度の向上や予測の不確実性の評価などの研究が進められています。最近では府県などの地域規模で将来の温暖化に備えるための適応策の研究も始まっています。そのためには数 km から十 km 程度の高い解像度で将来気候を予測する必要があり、全球気候モデルで予測された気候データでは粗すぎます。そのため我々のチームでは、全球気候モデルの予測データを領域気候モデルに与え、特定の範囲の気候を高解像度で計算する「ダウンスケーリング手法」による研究を行っています。

日本の主要都市の過去 100 年間に於ける地上気温の上昇量は、IPCC (2007) による温室効果ガス増加に伴う地球全体の気温上昇量 0.74℃よりも大きいことが観測により明らかとなっています。これは、都市域の気温には、地球温暖化に加えて、都市化によるヒートアイランドの影響があるためです。将来の都市域の気温変化も、ヒートアイランドにより世界的な気温上昇よりも大きくなることが予想されます。ヒートアイランド緩和策は、地域スケールの熱環境改善のための有効な手段の一つであり、地域規模で実行可能な温暖化適応策ともなり得るという認識が高まりつつあります。

2010 年夏は日本全域で記録的な猛暑となり、東京の月平均気温は 29.6℃と過去 135 年の観測史上最高を記録しました。図 16 の赤棒グラフは東京における 2010 年 8 月の毎時間に観測された気温の出現頻度を表しています。同じ図の白棒グラフは、2070 年代 8 月の平均的な気温の出現頻度の予測で、ほぼ 2010 年と同程度であることがわかります。この結果より、記録的猛暑年となった 2010 年 8 月の気温は、2070 年代では普通の 8 月に相当しそうです。

ヒートアイランドの緩和策には、都市形態の変化、建物の屋根や壁面の緑化、屋根面反射率の増加、透水性資材の利用などがあります。ここでは 2010 年 8 月の気候に対して、都市形態を変化させたことによる熱環境の緩和効果について数値モデルを使って評価しました。仮定した都市形態シナリオは、現状の都市分布、応用都市経済モデルで見積もった集約型都市（コンパクトシティ）および分散型都市の 3 つです。応用都市経済モデルでは、商業地は現在と同じとし、住宅地の分布が土地需要と建物需要に応じて変化すると仮定します。分散型都市は自動車依存型都市であり、駅から離れた

郊外に都市が広がる分布としています（図 17a）。集約型都市は、基本的に自動車利用禁止で鉄道を利用するシナリオであり、現状都市よりもさらに鉄道沿線に沿った都市分布になります（図 17b）。現状都市を、分散型都市と集約型都市に変えた場合の夜間の気温変化量を図 17c と図 17d に示します。分散型都市では、都心部を除いた広い地域で気温は高くなります。特に茨城や千葉では約 0.6 度の大きな昇温となっており、都市面積の増加が他よりも大きいことに対応しています。集約型都市では地上気温が現在よりも広い範囲で 0.1 度程度下がりますが、都心では逆に気温が上昇しています。人口密度を考慮した夜間の実感ヒートアイランド強度（都市があることによる気温上昇量を人口密度で重み付けした値）の現状都市との差を示したのが図 17e と図 17f になります。集約型都市は住宅地や商業地を駅周辺や街の中心部に集約することで、自動車利用の減少や冷暖房等で消費されるエネルギーの集中・効率化により街全体のヒートアイランドは抑制されますが、中心部では気温が上昇し、熱環境はさらに悪化する可能性もあります。

今回紹介した都市の形態とヒートアイランドの関係からも分かるように、地域規模での温暖化適応策を具体的に検討していくためには、領域気候モデルによる定量的な評価が重要です。

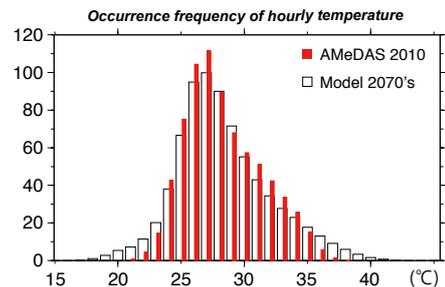


図 16. 東京における一時間毎の気温の出現頻度：2010年8月（赤）、ダウンスケーリングにより見積もった2070年代の平均的な8月（白）。2070年代の方が頻度分布の幅が大きいのは年々変動を含む10年平均であるため。

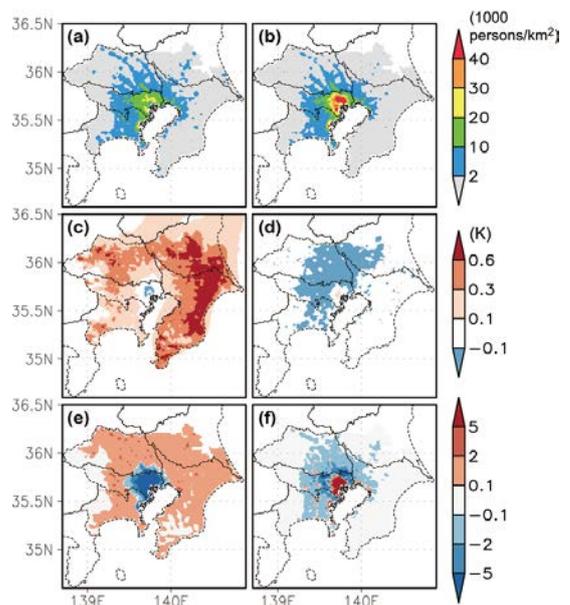


図 17. (a) 分散型都市と (b) 集約型都市の人口密度分布。現状都市を (c) 分散型都市と (d) 集約型都市に変えた場合の 2010 年 8 月夜間の平均気温の変化量。 (e) 分散型都市と (f) 集約型都市における実感ヒートアイランド強度の現状都市からの差。

## 地球内部ダイナミクス領域(IFREE)

### 概要

2011年3.11東北沖地震の及ぼした日本列島周辺域のプレート変形は、プレート境界域の多様な緩和過程のひとつであり、太平洋プレートとその上に乗る日本列島の地殻およびくさびマンツルの力学過程に大きな足跡を残しています。IFREEでは海底地震計を多数配置し、これを回収しつつ、MCSによる地下構造探査を行い、緩和過程の詳細を明らかにしてきました。この結果、日本列島の地殻上部においてはさまざまな方向の正断層による概略東西方向の伸張変形が卓越し、また、海溝軸からその太平洋プレートがやはり東西に伸長する正断層群による地震群が発生していることを明らかにしました。後者はアウターライズのプレートが沈み込みに伴う曲げ変形に起因するものと考えられ、浅部から深部への割れ目の進行にともなう地震群の移動が初めて明らかにされました。又、2012年12月7日にはM7.4のアウターライズでの地震が起こり、あらためて、緩和過程での大きな地震の注意が喚起されました。また、実用化段階にはいった精密MCSによる日本海溝軸の詳細構造探査により、海溝軸に抜けた境界断層が海溝軸における成層堆積物を大きく変形させたことも明らかにされました。

グローバル地震学はグローバルネットに加えて重点的な領域の精密探査のために局所的に密結合された機動的観測ネットを国際共同研究事業により展開し、西太平洋域におけるスタグナントスラブの詳細構造が明らかにされました。この結果、沈み込む太平洋プレートはマンツル遷移層において周囲の粘性層と不安定境界を作りながら進行し、周囲のマンツルに熱および応力に関する不安定構造を与えていることが明らかにされました。また、深海における海水の変位ベクトルを直接測定可能な観測装置として海底電磁気観測計が開発され、実用化に成功しました。この装置により、高次元の津波観測が可能となり、その物理過程の解明と災害の軽減に大きく貢献すると期待されています。

JAMSTECは、地球深部探査船「ちきゅう」による3.11東北沖地震の直後の断層面直接掘削探査に成功し、科学研究史にこの貢献を果たしました。この結果、震源面近傍のデコルマから人類にとって未知の岩石様物質が採取され、また上部のコラムにおける著しい水素ガスの蓄積が観測されました。これらの成果は今後続々とIODP国際共同研究の成果として発表されます。プレート境界域に発達す

る付加体の形成過程に関する実スケールの重力と移動速度を精妙に取り入れたDEM計算機実験の結果、次第に発達する高ポロシティ帯とそれを境とした応力不均質が明らかにされ、実際の南海トラフ沿いの付加体の観測結果と整合的であることが示されました。また、実用段階に入ったDONETによる付加体の内部における長周期地震群および媒質の異方性の地域性が発見されています。

IODP国際共同研究による大陸地殻形成プロジェクトであるIBM研究が本格的に開始され、すでにIFREEを中心に明らかにされた伊豆小笠原マリアナ島弧の地殻厚さとマグマの関係が中部地殻の形成速度に依存していることなどについて集中的にハワイ国際会議で議論され、次年度以降に実施予定の深部掘削研究への弾みを作りました。

### 2011年東北地方太平洋沖地震が太平洋プレート内部の応力場に与えた影響について

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、地震の発生に伴って震源域周辺の広い範囲で地震活動が活発化しています。海溝東側の太平洋プレート内部でも、本震の約40分後にM7.5の地震が発生したのを初め、正断層型のメカニズムを持つ地震が数多く発生しています。海溝東側(海溝海側斜面)の太平洋プレート内部で発生する地震は震源が比較的に浅いため、大規模な地震が発生した場合に大きな津波を伴うことが懸念されます。例えば三陸沖で1933年に発生し、大きな津波被害をもたらしたM8.1のプレート内正断層地震(昭和三陸地震)は、津波地震として知られる1896年M8.2の地震(明治三陸地震)の震源域東側の太平洋プレート内部で発生しています。

東北地方太平洋沖地震の震源域東側に位置する、日本海溝の海溝海側斜面は陸から遠く(約250km以上)離れているため、陸上観測からこの領域に発生する地震の正確な震源分布を求める事は困難です。そこで、本研究では、太平洋プレート内部で発生している地震の震源位置と震源メカニズムを正確に求めるため、海溝東側(海側斜面)の太平洋プレート上の水深5000mから6000mの海域に自己浮上型海底地震計20台を設置し、海底地震観測を行いました。海底地震計20台の設置は、2011年4月下旬に、深海調査

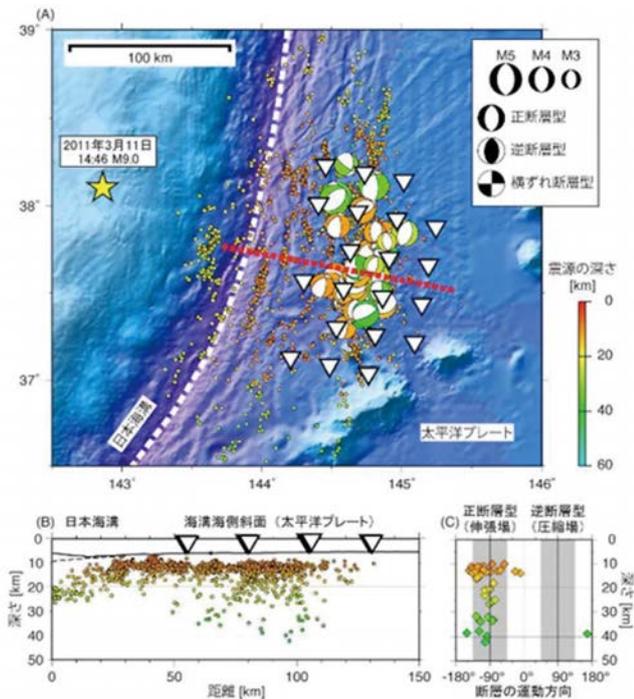


図1。(A)：海底地震観測により決定された地震の震央と震源メカニズム。色は震源の深さを表す。震源メカニズムの大きさは地震のマグニチュードに比例。赤い破線に沿った断面を(B)に示す。(B)：(A)に示す赤い破線に沿った震源分布の断面。海溝海側斜面の太平洋プレート内部において、深さ40km付近まで地震が発生していることが分かる。(C)：断層の運動方向と震源の深さの関係。純粋な正断層の場合に-90°を示す。地震の深さによらず、正断層型の地震が発生していることが分かる。

研究船「かいらい」による東北地方太平洋沖地震の震源域の地殻構造・海底地形調査とあわせて行われ、2011年7月上旬までに深海潜水調査船支援母船「よこすか」で全て回収されました。この回収された自己浮上型海底地震計によって観測された地震波の記録から、地震の震源位置と、震源メカニズムを解析しました。

約2ヶ月間の観測期間中に得られたデータから、約1700個の地震の震源を決定するとともに、50個の地震について震源メカニズムを決定しました(図1)。その結果、太平洋プレート内部で発生している地震は、約40kmの深さまで分布しており、深さによらず正断層型の震源メカニズムを持つ事が分かりました。

海溝海側斜面の太平洋プレート内部の応力場は、海溝からの沈み込みに伴うプレートの折れ曲りにより、浅部で伸

張場となるのに対し深部では圧縮場であると考えられています(図2.左上)。東北地方太平洋沖地震の発生前に東北大学等が本研究の調査海域で実施した海底地震観測(Hino et al., 2009)では、正断層型の地震の発生は深さ20kmまでに限られるのに対し、深さ40km付近では逆断層型の地震が発生していることが示されており、プレートの折れ曲りにより生じるとされる応力場と調和的です。

一方、本研究で求められた震源メカニズムは、深さ40km付近まで深さによらず伸張場が卓越している事を示しています(図2.右下)。地震前後での太平洋プレート内部の応力場の違いは、2011年東北地方太平洋沖地震の影響により、太平洋プレート内部の深さ40km付近が圧縮場から伸張場に変化した可能性を示しています。このような応力場の変化が、本震発生以後の太平洋プレート内部での活発な正断層地震活動に結びついていると考えられます。

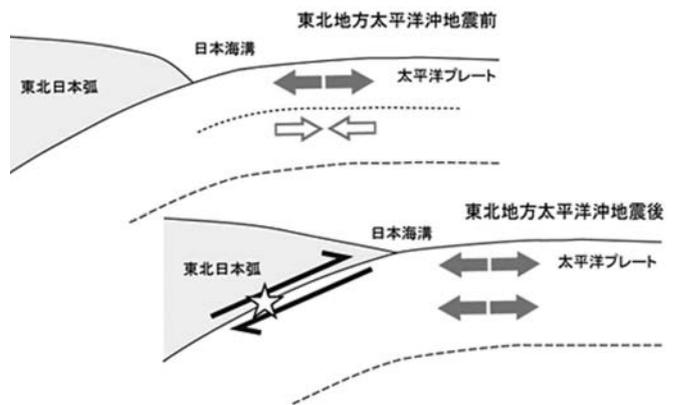


図2. 東北地方太平洋沖地震前後の太平洋プレート内部の応力場の比較。地震発生前は太平洋プレート内の浅部と深部で応力場が異なっていたが、地震発生後は深さ40km付近まで全体的に伸張場となっていることが示された。

## 固体地球動的過程研究プログラム

東北地方太平洋沖地震調査掘削航海 (IODP Expedition 343: JFAST) に参加し、掘削同時検層にて、自然ガンマ線、電気抵抗計測値を行い、深度 720m, 820m 付近に厚さ数 m の断層帯が存在し、このうち 820m 付近の断層がプレート境界であることを示唆することに成功しました。また、海溝底からの地層をピストンコアリングで採取し、地震後にできた海溝底の地形の高まりは、海底地滑りと考えられていましたが、磁気ファブリックが乱れていない事から、そうでない事が示唆され、一方、海溝陸側斜面の表層は著しく乱れている事がわかりました。

一方、コスタリカ沖地震発生帯掘削航海 (IODP Expedition 344: CRISP-2) においては、ワイヤーライン検層を実施し、電気抵抗画像により現在の地震発生帯上部の水平最大応力方向が東西 (現在の地殻移動方向と直交) であることを見出し、さらに過去の応力履歴復元に成功しました。また、過去のコスタリカ沈み込み帯における掘削航海 (IODP Exp. 334) で得られたコアを用いた検討から、浸食型沈み込み帯における地震サイクルに対応した応力変遷の情報獲得に成功しました。

さらに、南海トラフ陸側斜面で 2011 年に掘削された海底地滑り層の磁気ファブリックの解析を行い、方向、変形の度合いの違いから海底地すべり層の滑動履歴復元史を試みました。

断層運動に関するモデリング研究においては、これまでに地震が繰り返し発生する断層において、低速滑り (数 cm/yr 程度) における摩擦強化の性質は地震発生を不可能とすると考えられていましたが、高速滑り (1 m/s 程度) 時の顕著な断層の弱화가組み合わさった場合、伝播してきた破壊により大きな地震性滑りを発生する可能性がある事を数値計算により明らかにしました。また、そのような場所は地震間において多様な挙動 (固着やクリープ) を示す事が明らかになっています。本成果は Nature に投稿・受理されました。また、長時間の付加体発達過程の数値実験においては、複数デコルマ形成に対する新しいメカニズムを発見し、それと整合するような応力場の時空間変化が付加体内で生じていることを示しました。

また固体地球の数値シミュレーション研究においては、熱力学平衡計算によって得られた鉱物物理パラメータを直接的に取り入れたマンテル対流シミュレーションを行い、これまで、地震波解析と鉱物物理だけで行われてきた最下部マンテルにおける地震波速度異常の成因に新しい解釈が必要であることを提唱しました。一方、惑星衝突を伴うコア形成シミュレーションコードを用いて、地球深部に存在しうる溶融分化プロセスの不均質性を評価しました。さらにコア形成シミュレーションコードに温度

場の影響を取り入れることで、地球内部の熱対流の初期条件を調べることを可能にしました。また深部マグマだまりの影響を再現する事を目的として、ES2 向けのストークス流れ (高粘性流) と粒子の混相流コードを開発することに成功しました。

3次元磁気流体シミュレーションコードを用いたケルビン・ヘルムホルツ不安定の3次元非線形発展を調べる研究においては、僅かな面内磁場であっても不安定の成長に伴って増幅され、非線形発展を抑制することがわかりました。また、同じコードを用いて、磁気回転不安定の非線形飽和レベルを調べた結果、不安定の成長によって増幅された磁場の圧力がガス圧を上回る場合は、スローモードの散逸により、磁気ストレスの非線形飽和レベルが抑制されることがわかりました。

## ベクトル津波計の開発

2011年東北地方太平洋沖地震による津波は日本に甚大な被害をもたらし、将来の津波災害軽減のためには、日本沿岸に到達する津波の大きさと到達時刻を早期にかつ精度高く予測するための新しい津波監視システムを構築することが、緊急な課題となっています。IFREEでは、この課題達成に貢献するべく、海底での津波観測のための新しい観測装置を開発、製作しています。この装置はベクトル津波計 (VTM) とよばれ、地震の発生に伴う地震動、地殻変動と津波に伴う水位変化を圧力変化として捕らえる海底微差圧計 (DPG) と津波伝播による海水の流れによって誘導される電磁場変動を検出する海底電磁気観測装置 (OBEM) を組み合わせた装置です。ベクトル津波計によって、津波伝播に伴う水位変化、海水の流れ、津波の伝播速度、伝播方向と、地震に伴う地殻変動とを分離して観測出来るので、震源過程での津波の発生過程や、複雑な地形の場所などの津波伝播の様子を詳細に把握することが可能となり、沿岸での津波予測の信頼性向上に、貢献することが期待されています。このベクトル津波計の1号機は2012年11月に完成しKR12-18航海によって四国海盆の海底 (25° 45.94' N, 137° 0.48' E, depth=4898m) に設置され、観測が行われています。

## 横たわるスラブと中国東北部火山活動

中国東北部は中国・北朝鮮国境の長白山や中国・ロシア国境付近の五大連池火山に代表されるように火山活動が盛んで、これらは沈み込み帯における島弧火山と違う特異な火山です。一方、日本海溝から沈み込んだ太平洋プレートは深さ約 600 km 水平方向に横たわり中国に達していると過去のトモグラフィー研究などから指摘されていて中国東北部における火成活動・テクトニクスとの関連が注目されています。



図3. (上)ベクトル津波計 (VTM) の「かいらい」からの投入風景、(下)かいこう7000IIIによって撮影された海底に設置されたVTMの写真

そこで日中米による共同プロジェクトを立ち上げ、2009年9月から2011年8月まで日本・中国・アメリカ共同で臨時地震観測を行いました。観測点は120点におよび、間隔は100 km未満、差渡し1000 kmをこえるかつて例を見ない巨大で稠密な広帯域地震計アレイ観測です (図4)。

この高密度の地震データを使いトモグラフィーを行い、マントルのP波速度構造を求めました。解析においては周波数によって観測される地震波速度が異なるという分散を考慮することで、過去のイメージよりも高解像度のイメージを得ることに成功しました。結果、従来は地球深部で太平洋プレートが広範囲に横たわっているとされていた場所で、火山活動の中心に位置する松遼盆地の下には横たわるプレートは存在せず、ちょうど穴があいたようになっていることが分かりました。図5は日本を横切り中国に達する断面図です。日本海溝から沈み込んだ太平洋プレートは高速異常 (青色) でイメージされています。松遼盆地の南端を通る断面図 (図5B) では横たわるプレート

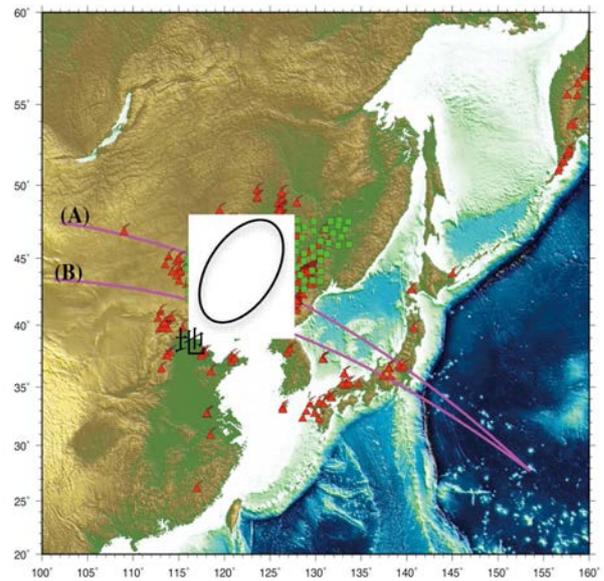


図4. 中国東北における高帯域地震計観測点 (緑四角) と第四紀、新第三紀に噴火した火山 (赤)

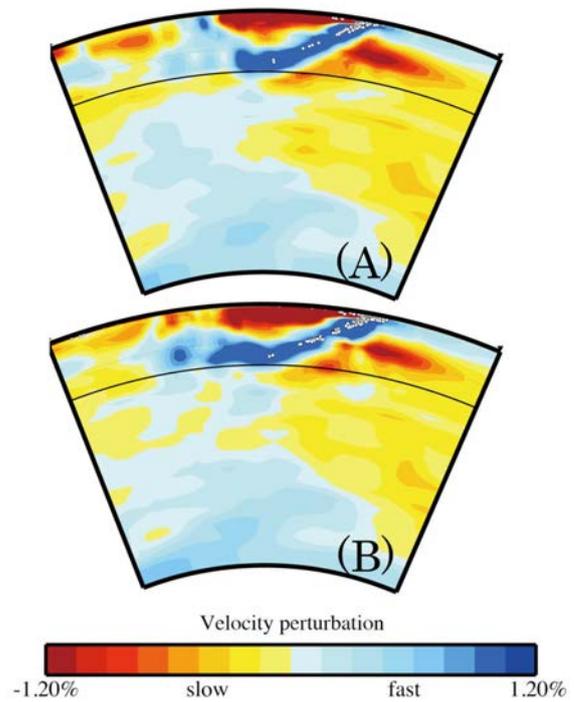


図5. P波速度構造の図2中、曲線(A)、(B)に沿った断面図

が明瞭に見えるのに対して、これに比べ松遼盆地の中央を通る断面図 (図5A) ではほとんど横たわっていません。このため、中国東北部における火山活動は、横たわるプレートが原因というよりは、下部マントルへの崩落により横たわるプレートが存在しないことが原因だと考えられます。

### 地殻成長過程解明への手懸かり

太陽系の中でも地球に特有な、大陸地殻の成因、海洋地殻から大陸地殻への成長過程の解明は、地球惑星科学の中心的課題の一つです。IFREE は、海の存在が大陸地殻の生成に大きな役割を担っている、と考えます。そのことを明らかにするためには、海底を掘削して、大陸ができる「もともとの場所」(中部地殻)を調べなければいけません。そこで、IFREE では、大陸地殻の解明を目指して、IODP (国際統合深海掘削計画)に4つの掘削計画提案および事前調査を行ってきました。日本がリードして、米国および世界各国の科学者と共同で、伊豆小笠原弧の4地点を掘削して、島弧地殻の成長と大陸地殻の成因を明らかにしようというものです(図6)。IBM-1掘削のターゲットは沈み込みの始まる以前の海洋地殻です。IBM-2は、沈み込みが始まった直後の、現在とは全く異なるマグマの噴出した、初期島弧地殻を掘削します。IBM-3は、地殻の東西変化を明らかにするために、海溝から離れた背弧側を掘削します。IBM-4は、地球深部探査船「ちきゅう」を用いて、海底下5.5キロまで掘り進み、大陸地殻がまさにできている場所、中部地殻を掘削します。人類は、いまだ、できつつある島弧の中部地殻に到達したことがありません。しかし、「ちきゅう」には、島弧超深部まで掘削する能力があります。この掘削提案の重要性は、国際的に高く評価されました。その結果、2014年に米国の掘削船ジョイデス・レゾリューション号が、6ヶ月かけてIBM1、IBM-2、IBM-3を掘削することが決定しました。IBM-4掘削に関しては、2012年9月の国際ワークショップにおいて、その重要性がさらに議論されました(<http://www.jamstec.go.jp/ud2012/>)。人類初の試みに向けて準備が着々と進行しています。

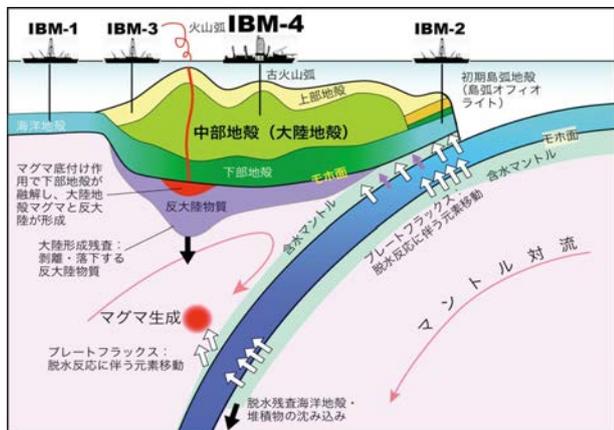


図6. IFREE が提出している掘削提案。IBM-1、IBM-2、IBM-3は米国の掘削船ジョイデスレゾリューション号によって行われる。IBM-4は地球深部探査船「ちきゅう」を用いて、海底下5.5キロまで掘り進み、人類初の試みである。

このような地殻形成に関する研究では、マントルから供給されたマグマがどのような経緯で地殻を厚くするのに関与するかを詳細に知る必要があります。IFREE では、島弧火山に典型的なソレイト質とカルクアルカリ質の玄武岩マグマの成因を検討した結果、マントルで発生するマグマはカルクアルカリ質であることを明らかにしました。ソレイト質玄武岩マグマは下部地殻を作る角閃石を含む岩石が、マントルからのマグマの熱によって融解し、発生した事を明らかにしました。

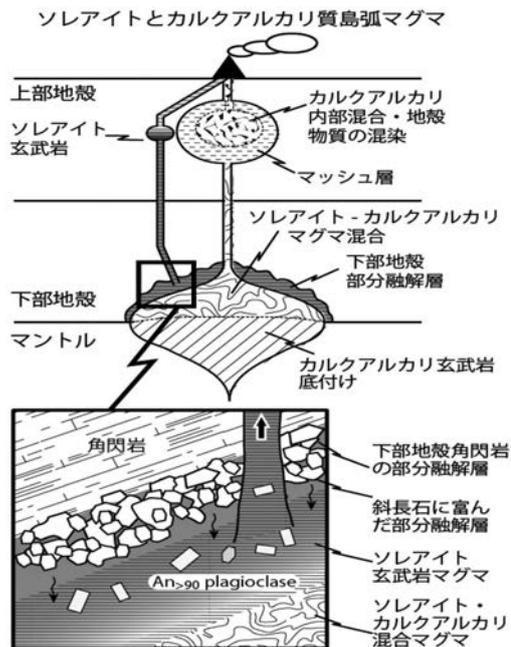


図7. マントルに由来するカルクアルカリマグマが下部地殻を融解する様子 (Takahashi et al., 2012)。

さらに、マグマ中に含まれる揮発成分の分析をもとに、マグマ溜りが地殻内のどの深度で出来るかなどの研究を精力的に進めています(図8)。興味深いことに、安山岩マグマは上部地殻と中部地殻の境界で、玄武岩マグマは中部地殻と下部地殻の境界部で滞留し、マグマ溜りをつくっているようです。中部地殻形成との関係解明が期待されます。

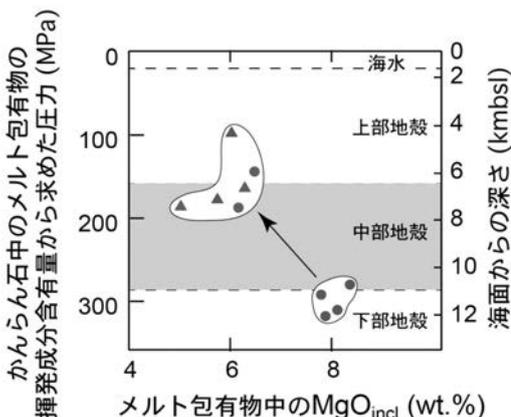


図8. 揮発成分元素の含有量によるマグマ溜り形成深度の決定

## 海洋・極限環境生物圏領域(BioGeos)

### 概要

海洋・極限環境生物圏領域は、海洋を中心とする生物圏について、生物の調査および生態・代謝機能等の研究を行っています。とくに、深海、熱水系、冷湧水系、嫌気環境あるいは地殻内等、生物にとって極限的な環境を対象としています。また、海洋・極限環境に適応する生物群の資源としての潜在的有用性と役割を掘り起こし、社会と経済の発展に資する知見、情報を提供しようとしています。さらに、これら、海洋生物圏の大気・海洋や固体地球との相互関係を理解することを通じて、将来発生しうる地球環境変動が生物圏に与える影響を評価することに貢献することも目指しています。

このため、海洋生物多様性研究、深海・地殻内生物圏研究、海洋環境・生物圏変遷過程研究の3プログラムに所属する70名を超える研究者らが、以下の具体的なテーマにしたがって研究を展開しています。

#### 1) 生命の起源と進化のメカニズムの解明(生物多様性の理解)

- \*生命の起源から初期生態系進化(生命の限界)
- \*真核生物進化(細胞内共生による真核生物誕生の理解)
- \*単細胞から多細胞へ(細胞分化、情報伝達など)

#### 2) 海洋を中心とする地球生命圏の構造と機能の解明

- \*生物地球化学循環とその変遷
- \*海洋環境のモニタリング(海洋酸性化、多様性変動)
- \*極限環境生物の適応生態(高温高圧、低温、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、無酸素 etc → 特殊な代謝系、細胞内共生)

#### 3) 生物素材・酵素などの機能分子、微生物の応用研究

- \*バイオリクターによる二酸化炭素固定と $\text{CO}_2$ 回収貯留(CCS)
- \*生物、酵素を用いたエネルギー開発( $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8$ )
- \*有用酵素・膜物質などを用いた試薬・素材の開発

以上の研究を展開するにあたっては、さまざまな技術開発が必要です。本研究領域では、新たに、さまざまな生物・化学分析手法、極限環境生物培養手法、現場生物環境モニタリング手法などを開発しています。海洋・極限生物圏研究領域は、以上の研究手法およびJAMSTECのファシ

リティーを駆使し、IODP、InterRidge、CoMLなどの国際的な研究プログラムに参加することを通じて世界をリードする研究成果を上げています。

2011年3月11日に起こった東日本大震災と原発事故は、東北日本の海洋生態系に大きな影響を与えました。私たちは、震災発生後、いち早く沖合を中心とした調査を開始し、巨大地震と津波が海洋生態系にどのような影響を与え、どのように回復していくのかを継続的に観測する調査を行っています。また、昨年度、立ち上がった東北マリンサイエンス拠点研究事業を基軸にしながら、三陸沖の大陸棚から大陸斜面上部の調査を行っています。その結果、三陸沖の詳細な海底地形図を作成するとともに、大陸棚から大陸斜面上部にかけて瓦礫が多く分布しており、その分布は三陸北部と南部で異なっていることを明らかにしました。このような情報は、水産業に従事する方々に資すると考えており、関係諸機関に連絡し、情報共有を行なっているところです。

2013年には、南大洋を中心とした深海に分布する極限環境を、よこすか/しんかい6500を用いて集中的に調査する、世界周航航海を実施します。インド洋中央海嶺、南大西洋ブラジル沖海域、カリブ海ケイマン凹地、トンガケルマディック海溝域を対象としています。航海全体の愛称は、QUELLE(クヴェレ)2013と名付けました。QUELLEとは、Quest for Limit of Lifeの下線部の文字を繋ぎ合わせて作っていますが、ドイツ語で起源あるいは根源という意味の単語です。私たちは、深海極限環境に適応して生きる生物群を研究し、その適応生態、エネルギー利用を理解する事を通じて、生命の起源や進化のメカニズムに迫ろうとしていますので、象徴的なタイトルであると考えています。

### 海洋生物多様性研究

海洋生物多様性研究プログラムでは、海洋特に深海における生物の多様性、生物間の捕食や共生などの相互作用および多様性が生態系において果たす役割、生物の分布を決めている要因、さらに生物の多様性が生み出されるための進化機構などを研究しています。また、多様な生物の中には、有用な物質や工業的に利用可能な酵素があると思われることから、有用物質や酵素の探索や、それらの生産システム、そして、そのような酵素の利用の研究も行っています。このような研究から明らかになった生物の多様性

は JAMSTEC の地球情報研究センターや国際海洋環境情報センターと連携して AMSTEC のデータベース BISMAL (Biological Information System of Marine Life) として発信しています。このデータベースは、国際的な海洋生物データベース OBIS (Ocean Biogeographic Information System) にリンクしています。現在、BISMAL には、多様性指数など、多様性の解析や生物分布の解析のためのツールが準備されつつあり、将来、生物の多様性を研究する世界中の研究者が利用できるようになります。

### 新奇な化学合成群集の発見

光の届かない深海では化学合成共生生物群集が有機物の生産者として重要な役割をはたします。このような生物群集は湧水域や熱水噴出域のメタンや硫化水素が多いところで見いだされます。そのような生物群集を形成する代表的な生物である二枚貝のシロウリガイの仲間ですが、この度、我々は海上保安庁、静岡大学、深田地質研究所および米国のアイオワ大学、テキサス大学ダラス校、ハワイ大学、ロードアイランド大学と共同で「しんかい 6500」を用いて、マリアナ海溝南部のチャレンジャー海淵北東方の海溝陸側斜面の前弧域の、水深 5620 メートルの深海底の Shinkai Seep Field (SSF: しんかい湧水フィールド) と名付けた場所で、マンタル物質(蛇紋岩化したカンラン岩)の変成によって生じる硫化水素を利用する新しいタイプの深海化学合成生態系と新種のシロウリガイ類を発見しました(図 1、2)。この成果は、マンタルと湧水の相互作用に由来する新しい地球化学的な環境に化学合成生物群集が形成されることを示しただけではなく、この場所が地球の生命の初期の環境に類似した環境であることから、今後、生命の初期過程を考えるための良い研究場所になる可能性があります。

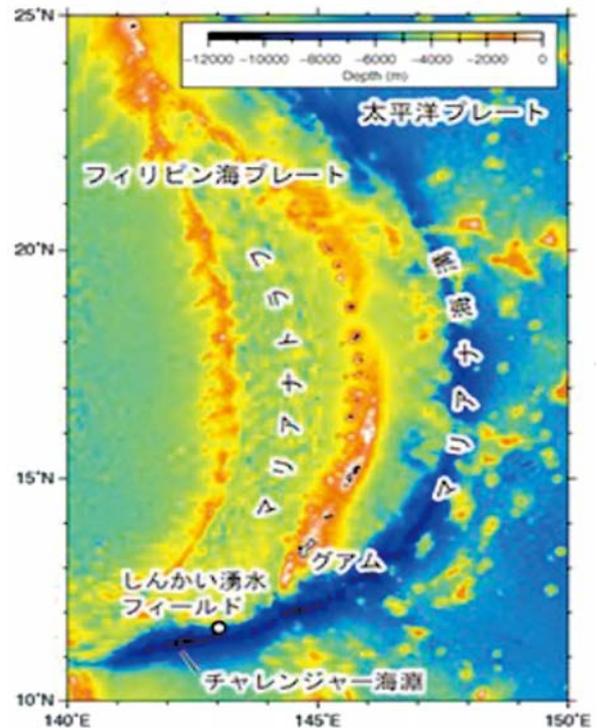


図 1. 新種と思われるシロウリガイ類の新しい群集が見いだされたマリアナ海溝(しんかい湧水フィールド)



図 2. しんかい湧水フィールドで見いだされた新種と思われるシロウリガイ類(左上)とその群集

### 深海共生生物、ホネクイハナムシの完全飼育

2004年に海底に沈んだ鯨の遺骸に生じた生物群集（鯨骨生物群集）で見いだされた、新しい環形動物であるホネクイハナムシ類は、その後、世界の各地の鯨骨生物群集から多くの種類が見いだされてきました。この生物は、ハオリムシに近い仲間で、消化管を持たず、鯨骨に穴をあけて生息します。鯨骨に埋まっている体の部分（菌根部と呼ばれます）に従属栄養細菌を共生させています。我々は世界に先駆けて、この動物の長期飼育に成功し、成体から得た受精卵を用いて全生活史を実験室内で明らかにしました。加えて、ホネクイハナムシの共生細菌に非常に近縁な細菌の単離培養に成功し、この細菌をホネクイハナムシの発生途中に与えることで、両者が共生することを証明しました（図3）。この成果により、この動物の生理学、発生学、共生生物学などが大きく進歩することになりました。

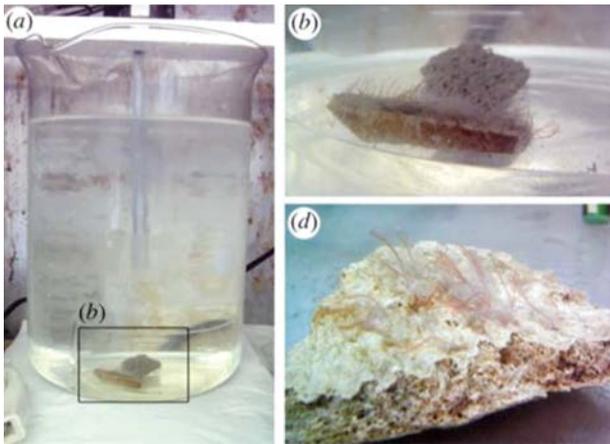


図3. 実験室で飼育可能になったホネクイハナムシの飼育状況。

### シロウリガイ類の無機炭素の利用メカニズム

化学合成共生動物であるシロウリガイ類では、鰓の細胞内に共生する化学合成細菌が無機炭素（炭酸ガスや重炭酸イオン）から有機物を合成して、その有機物を栄養として動物が利用します。そのため、普通の動物では呼吸で生じた無機炭素を外界である海水中に放出するのではなく、逆に海水中の無機炭素を動物が取り込んで共生細菌に供給する必要があります。化学合成共生細菌を有するシロウリガイ類と、共生細菌を有しない二枚貝などを比較検討することから、宿主であるシロウリガイ類は鰓の共生細菌を有する細胞の中に炭酸脱水酵素と呼ばれる酵素を大量に発現させていることが明らかになりました。この酵素が、無機炭素を共生細菌に供給する重要な機能を果たしていると思われ（図4）。

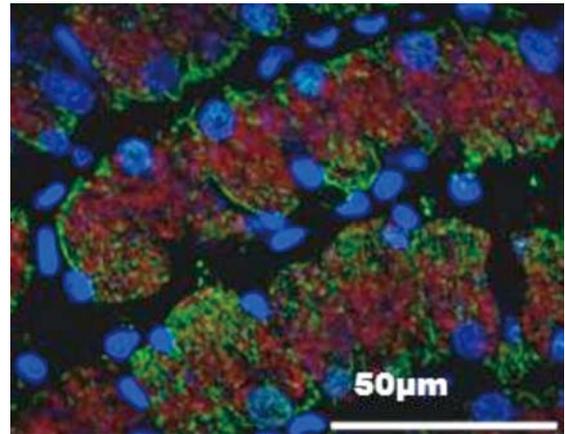


図4. シロウリガイ類鰓細胞内の炭酸脱水酵素の局在性。青は鰓細胞の核、赤は共生細菌、緑が炭酸脱水酵素を示す。

### 加圧環境下で生物の生態を観察する

実験室内で深海生物に加圧し、行動を顕微鏡下で詳細に観察するための、加圧観察チャンバーシステムを構築しています。観察窓を備えた小さな耐圧容器を加圧ポンプに接続し、海水をいろいろな水圧で流し込みます。このチャンバーを用いて、生物飼育で広く用いられているアルテミア（シーモンキー）を加圧してみました。水深2000mに相当する圧力まで加圧しても活発な運動が観察されましたが、それ以上に加圧すると運動は見られなくなります。しかし、6000mの圧力まで加圧し、運動がみられなくなった後に減圧すると、運動機能の回復が見られました。今後深海性種との比較を行い、圧力への耐性や応答がどのようになっているかについて追求していきます。（図5）。

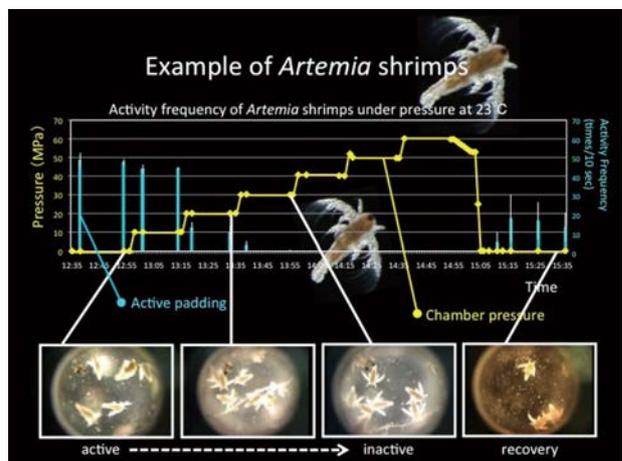


図5. アルテミアに圧力をかけた時の運動の様子。縦軸は圧力（20MPaが約2,000m水深の圧力に相当する）。青い線はアルテミアの活動を示す。それぞれの圧力時の様子は下に写真で示されている。

## 深海微生物からの有用酵素の探索

紅藻類の一種であるスギノリ目(ツノマタなど)の仲間にはカラギーナンと呼ばれる多糖が含まれており、古くから増粘剤として飲料・食品に添加して利用されてきました。カラギーナンはガラクトースやアンヒドロガラクトースが  $\alpha$ -1, 3、 $\beta$ -1, 4 結合で交互に繋がった 2 糖を繰り返し単位とする直鎖状骨格を基本構造として硫酸基置換を多く受けている、その硫酸基パターンに基づき、カッパ型、イオタ型、ラムダ型の 3 タイプに大別されます。深海微生物から探索を行った結果、カッパ型、イオタ型、ラムダ型各々を特異的に切断する 3 種の酵素(イオタカラギナーゼ、カッパカラギナーゼ、ラムダカラギナーゼ)の発見に短期間で成功しました。特にラムダ型のカラギナーゼの発見は世界初であり、国際生化学分子生物学連合が管理している EC 番号(EC 3.2.1.162)の新規設定を行いました。これら 3 種の酵素の基質特異性を調べたところ明確な基質特異性が確認できました。この厳密な基質特異性を利用することで混合物中に含まれるカラギーナンの種別と量を解析することが可能でした。そこで、これら 3 種の酵素を応用した、食品・飲料品素材中に含まれるカラギーナンの簡易同定法を提案しました(図 6)。

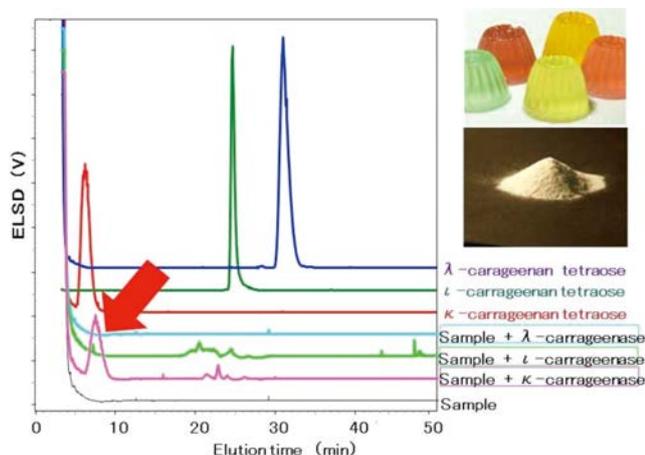


図 6. カラギーナンの利用されている食品の例(右上)および、あるカラギーナンサンプルを今回発見した酵素で分析した結果(左)により、その成分がカッパカラギーナンであることを示したデータ。

## 深海・地殻内生物圏研究

### (1) 超深海海溝生命圏の多様性

深海・地殻内生物圏研究プログラムでは、これまで暗黒の生態系の探索やそのエネルギー・物質・遺伝因子・機能因子循環の解明において、深海熱水域や冷湧水域といった環境に焦点を当ててきましたが、2012 年度には西太平洋の沈み込み帯における超深海海溝生命圏の研究を展開しました。

小笠原海溝の水深約 1 万 m の海底堆積物中の微生物群集の構造解析や機能解析の結果から、その超深海海溝の堆積物では、表層光合成生産による有機物の分解に伴う独自の従属栄養性微生物群集の活動とその代謝によって無機化されたアンモニアを再利用するアンモニア酸化による再生産、さらにはその再生産によって生成された硝酸還元や嫌気アンモニア酸化が複雑に絡み合う代謝ネットワークを有した活動的な微生物生態系が形成されている事が明らかになりました。

一方、同じ西太平洋の沈み込み帯における超深海海溝であるマリアナ海溝では、水塊から堆積物に至る一連の微生物群集の構造解析と機能解析を行いました。小笠原海溝の海底堆積物とは異なり、現在および過去の表層光合成生産による有機物の分解に伴う独自の従属栄養性微生物群集は、堆積物中ではなく、超深海水塊中で発達し、堆積物においては水塊から供給されるアンモニアに依存したアンモニア酸化微生物群集が卓越する微生物生態系であることが予想されます。小笠原海溝とマリアナ海溝における超深海海溝生命圏の存在様式や駆動原理が異なる理由として、表層生産力の違いや海溝内海流による閉鎖的環境の形成といった物理・化学・海洋学的要因が考えられます。

### (2) 暗黒の生態系における遺伝因子研究

小笠原海溝、マリアナ海溝、下北沖前弧海盆の堆積物環境における遺伝因子、特にウイルスに対するメタゲノム解析を行いました。超深海海底堆積物のウイルスの多様性やその動態に関する研究はほとんど行われていませんでした。すべての堆積物環境からは、一本鎖 DNA を遺伝因子とする一本鎖 DNA が優占していることが明らかになりました。また、ウイルスの構造解析の結果から、超深海海底堆積物で特異的に優占する分類群が存在していることが明らかになりました。またそれらのウイルスの多くが溶原型ウイルスであることがわかりました。

一方、掘削調査によって採取された海底下コア試料中のウイルスバイオマスの定量を行いました。下北沖前弧海盆、カスカディア海盆、メキシコ湾大陸斜面の海底下数メートルに及ぶコア試料について、微生物のバイオマスとウイルスのバイオマスの関係性および堆積物学的特性との関わりを探りました。その結果、海底下環境の微生物生産や活動度とウイルスバイオマスが必ずしも相関しないことが明らかになりました。海洋堆積物中に感染型ウイルスが少なく、溶原化ウイルスが卓越するというメタゲノムの成果と整合的であり、また微生物群集生産以上に堆積物の物理続成(圧縮)がウイルスバイオマスの維持(保存)に大きな影響を与えている事が分かりました。

また、暗黒の生態系の遺伝子因子として重要な化学合成微生物からの溶原化ウイルスの分離に成功し、そのゲノム配列の決定に成功しました。深海熱水環境での重要な一次生産者イブシロンプロテオバクテリアのプロファージを溶原化させ、そのウイルスのゲノム配列を決定し、宿主とウイルス間の遺伝因子の伝播について重要な成果を得ました。多くの深海熱水環境中のイブシロンプロテオバクテリアには、イブシロンプロテオバクテリアの進化と分散以前の祖先型に感染したプロファージが存在しており、イブシロンプロテオバクテリアの進化と適応放散に重要な役割を果たした可能性があります。2011年度の深海熱水環境中におけるウイルスバイオマスの定量に続き、2012年度には暗黒の生態系における遺伝因子の研究が大きく進展しました。

### (3) マリアナ海溝ヨコエビからの新規セルラーゼの発見

深海・地殻内生物圏研究プログラムでは、超深海海溝生命圏における生態系の包括的な理解を目指してマリアナ海溝底泥のメタゲノム解析も進めています。一方で、貧栄養なこの超深海海溝生命圏の食物連鎖の頂点に位置するカイコウオオソコエビの生態を知るため、消化管内消化酵素の解析を行いました。その結果、少なくとも4種類の多糖分解酵素が存在しており、中でも、セルラーゼはこれまで知られたものとは全く異なる新規な酵素である事がわかりました。このカイコウオオソコエビのセルラーゼは、結晶セルロースから直接グルコースとセロビオースを2:1で生産することができます。これまで、セルロースから直接グルコースを生産できる酵素は皆無です。これらの結果からカイコウオオソコエビは、深海底泥にも見つかる木片などを食物としている可能性が強く示唆されました。本研究は8月の論文化に伴いプレス発表され、大きな反響を得ています。本酵素の大量生産へ向けた遺伝子のクローニングを進めています。

### (4) 深海の極限環境に学んだ新規ソフトマター材料創成

深海熱水活動域では、部分的にところによっては気/液臨界点(純水の場合 374℃、218 気圧)を越えた超臨界状態にあります。そのような高温・高圧の極限状態では、油と自由に混ざり合うなど、通常とは全く異なる性質を示すことが知られています。深海・地殻内生物圏研究プログラムでは、このような極限状態の水の特質を利用した、従来法とは根本的に異なる原理に基づく乳化手法を確立しました。この方法によって、直径が 100 nm 以下の極微細な油滴を水に

分散した透明度の高い乳化物(ナノエマルジョン)を、10秒以内という短時間で調製できることがわかりました。食品、化粧品、医薬品など、乳化が必要な様々な技術分野で利用可能であり、今後の実際の応用に向けた共同研究の進展が期待できます。

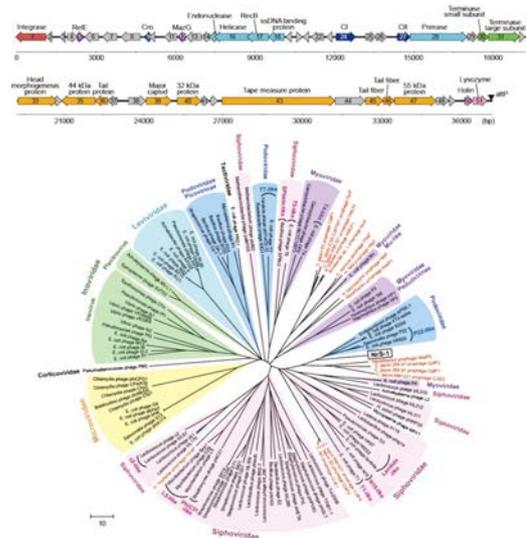


図7. イブシロンプロテオバクテリア *Nitratiraptor* sp. から分離され、ゲノム配列が決定された溶原ファージ Nrs-1 のゲノム配列遺伝子構造とウイルス分類学的位置

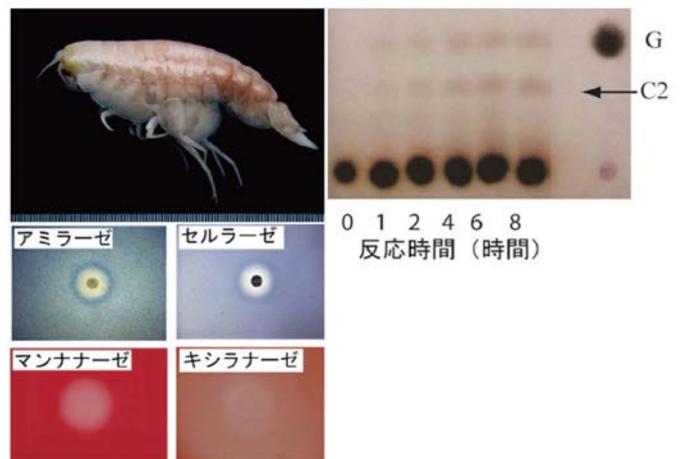


図8. マリアナ海溝から採取されたカイコウオオソコエビと4種の多糖分解酵素と新規セルラーゼの反応産物。セルロースの分解基質が、グルコースとセロビオースの2種しか存在しないことが薄層クロマトグラフィーの結果からわかります。

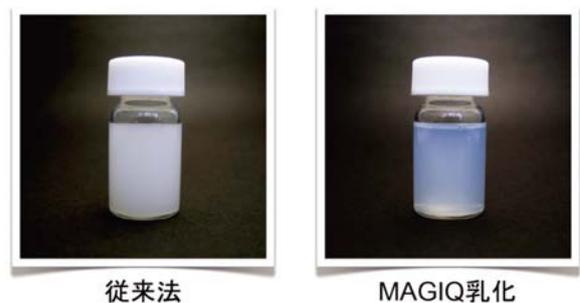


図9. 超臨界流体中で生成された透明度の高い乳化物(ナノエマルジョン)の写真。

## 海洋環境・生物圏変遷過程研究

### ウナギの幼生の食性を解明

本プログラムで開発した「アミノ酸窒素同位体比を用いた食性解析法」を応用すれば、自然界における様々な生物の食性について知ることができます。この新しい方法論を用いて、ウナギの幼生レプトセファルスの食性解明を東京大学の塚本勝巳教授らと共同で行いました。近年、ウナギの漁獲量は大幅に減少しており、完全養殖技術の確立が求められています。しかし完全養殖の鍵となる「ウナギレプトセファルスが自然界で何を食べるのか」という点については、マリンスノー説、オタマボヤのハウス説、ゼラチン質動物プランクトン説などに分かれ、長年議論されてきました。本研究では、マリアナで採取されたウナギレプトセファルスや養殖によるものを分析し、それらの栄養段階を推定しました。その結果、植物プランクトンを専食する動物プランクトンに近い 2.4 という数値を得ました(図 10)。これは、栄養段階「3」以上を必要とするオタマボヤのハウス説などを否定すると同時に、マリンスノー説を支持する結果です。これによって、長年の議論に決着をつけることができました。

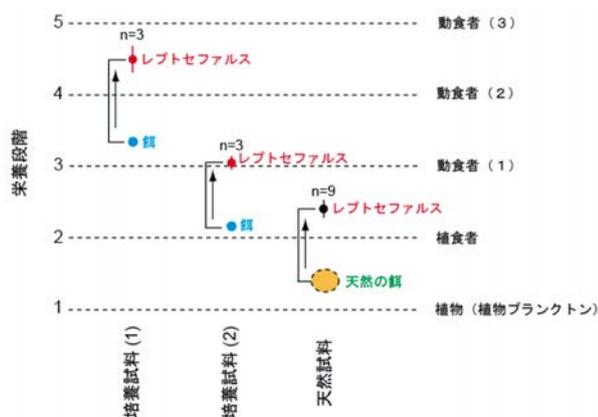


図 10. 培養やマリアナで採取されたウナギレプトセファルスの復元された栄養段階。

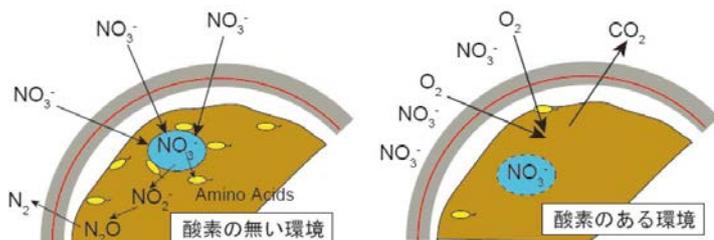


図 11. 実験結果から推定される、底生有孔虫内での硝酸塩の利用のようす。酸素のある時には酸素呼吸を行うが、酸素が無いと硝酸塩呼吸を行い、その結果、細胞のアミノ酸の窒素同位体比が重くなる。

### 干潟に生息する有孔虫の嫌気環境への適応

真核単細胞生物である有孔虫は、堆積物中に数多く生息すると同時に、さまざまな代謝サイクルを持ち、海底面付近での物質循環に影響を与えています。また、その多様な代謝サイクルは真核生物の進化過程を考える上でも興味深いテーマです。我々は、浅海性の底生有孔虫 *Ammonia beccarii* を用いた飼育実験と、アミノ酸窒素同位体比の測定を行い、酸素のある環境下、酸素の無い環境下でその呼吸様式がどのように異なるのかを明らかにしました。*A. beccarii* は、酸素があると酸素呼吸を行います。酸素の無い環境下では微生物とともに硝酸塩呼吸を行い、環境に適応していることがわかりました(図 11)。また、酸素の無い環境下では、有孔虫の細胞と、有孔虫が作る炭酸カルシウムの殻ではアミノ酸の窒素同位体比に大きな違いが見られ、この差を見ることで、自然界に生息する有孔虫の呼吸様式を推定できると期待されます。

### 海洋生態系の食物連鎖

海洋生態系は様々な生物群集から構成され、捕食-被食の複雑な生物間の相互作用の上に成立しています。その構造を明らかにすることは、環境変化に対する生物の応答様式を追跡する上でもとても重要です。わたしたちは、本プログラムで開発されたアミノ酸の窒素同位体比分析に基づく栄養段階の推定法を用いて、海洋生態系の構造と役割、構成する海洋生物の進化や共生を介した環境への適応様式を理解することを目的とした研究を展開してきました。これまでに、上記の栄養段階の推定法が、光合成生態系の生物だけではなく、化学合成生態系の生物にも適用できることを明らかにし、広く海洋生態系で応用可能であることを示しました(図 12)。

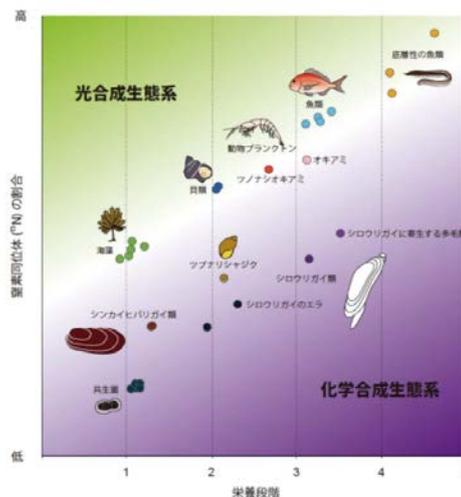


図 12. 相模湾で採取した海洋生物のグルタミン酸とフェニルアラニンの窒素同位体比を明らかにし、それをもとに栄養段階を計算し、光合成生態系と化学合成生態系を明瞭に区別した。

## 地震津波・防災研究プロジェクト

### 概要

地震津波・防災研究プロジェクトでは、地震や津波による被害の軽減を目的とした調査・研究・技術開発を行っています。

2011年に起きた東日本大震災は近代日本における未曾有の大津波災害でした。

日本は、周囲を4つのプレートで覆われている世界有数の地震国であり、これまでも巨大地震や津波が繰り返し発生し、その度に被害が多発しています。

日本の地震研究は、世界のトップレベルです。しかし、東日本大震災以降、海溝型地震研究については不十分な点があったこと、またこれまでの研究成果が防災・減災への啓蒙活動、災害対策や避難対策などに活かされてきたのかという点について議論が盛んに行われています。東日本大震災を踏まえ、海溝型地震研究課題の見直しや地震研究成果の情報発信・活用は、今後再来が危惧されている南海トラフ巨大地震や首都圏直下地震への備えにおいて喫緊の課題であるといえます。

以下に、地震津波・防災研究プロジェクトが現在実施している各研究プロジェクトについて、今年度の成果を中心に紹介します。

### 地震・津波観測監視システム (DONET)

今年度は、地震・津波観測監視システム第2期（以下、DONET 2）に関する事前調査を実施しました。主な実施内容は構築予定海域（図1：水色の破線で囲まれた部分）での音響測深機による海底地形調査、深海曳航調査システム（ディープ・トウ）による海底ケーブル敷設予定ルート

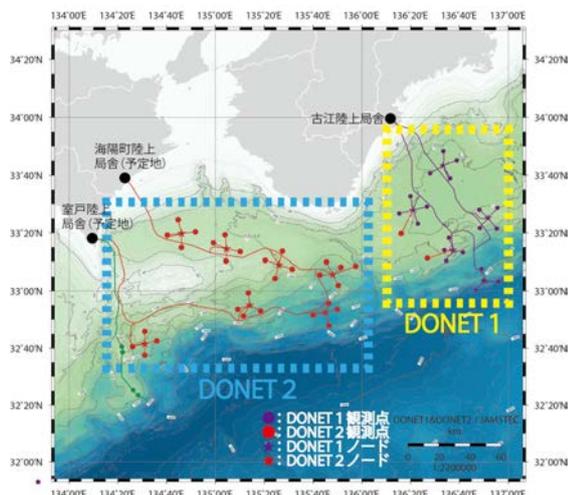


図1. DONET 1（運用中）と、DONET 2敷設予定海域

サーベイ、および観測点構築予定地点におけるピストンコアによる採泥調査です。これらの調査結果から、海底ケーブル敷設ルートと観測点構築位置を決定しました。また、今年度内に観測センサーなどの海中中部を構成する機器の開発、および製造を行いました。

また、陸上局設置予定地点では海底ケーブルを陸揚げするために、弧状推進工法により陸上から浅海部までの管路構築を行っています。

熊野灘沖に設置されたDONET 1と比較し、DONET 2はより多くの観測点を構築するため、ROVによる海底作業の効率化が重要となります。稠密な観測点はDONETの特長の一つです。この観測点の構築にはROVによる展張ケーブルの敷設が欠かすことができません。展張ケーブルの敷設作業は、長時間にわたる繊細な敷制御が必要であるため、ROVの自動化による効率的な敷設が望まれていました。

今年度は展張ケーブル敷設作業のうち、最も重要な作業であるケーブル繰り出し量の調整を自動的に行う装置を開発し、実海域試験において装置の有効性を確認しました。この装置では、ROV後部に取付けられたドップラー式対地速度計（DVL）によりROVの対地速度を計測し、これに基づき展張ケーブル繰り出し量を制御しています（写真1）。



写真1. 自動化された展張装置

2012年10月27日にカナダのクイーンシャーロット諸島付近で発生したマグニチュード7.7の地震について、現在運用中のDONET 1の観測点で地震波・津波を明瞭にとらえることができました。

10月28日の12時（日本時間）過ぎに地震波を観測し、22時前に津波の第一波を観測しました（図2）。

水圧計の記録から、観測点のひとつ（KME20観測点、水深：

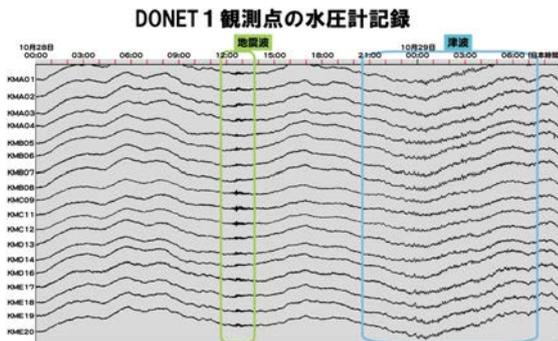


図2. DONET 1 観測点の水圧計記録による観測波形（潮汐は除去済）。

1977m) で波高 7mm の津波が確認できました。また、第一波観測後、後続する津波が多数観測されました。津波の周期は、短周期側で周期 3 分程度までのものが観測されました。

### 南海トラフ巨大地震の連動性評価研究

南海トラフで繰り返し発生してきた巨大地震の中には、東海、東南海、南海地震が連動して発生したものもあり、今後この様な連動型の地震が発生する可能性が指摘されています。どのような場合に相互が連動し、より巨大化するのかを解明するため、2008 年度から他の大学や研究機関とともに文部科学省からの受託研究としてこの研究を実施しています。

JAMSTEC では南海トラフ全域について、沈み込むフィリピン海プレートの形状、プレート境界周辺の詳細構造を把握するため、トラフ西側から順に海底地震計を用いた構造探査、地震活動観測、反射法地震探査を実施しています。今年度は東海沖の構造探査と地震観測を実施しました。

今までに取得された観測データを解析した結果、日向灘域のプレート形状モデル並びに陸上観測点の記録を利用した海陸境界深部構造を推定することができました。なお、下記に調査側線図を示します（図 3）。

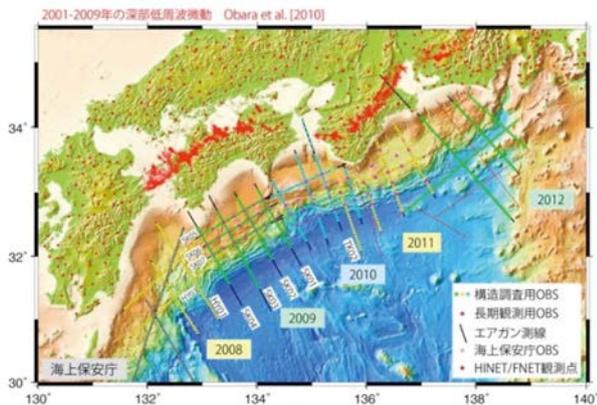


図3. 調査側線図

これまでの構造解析の結果から、日向灘から四国沖にかけてのフィリピン海プレートの形状や上盤プレート内部の構造変

化が詳細に把握でき、巨大地震震源域との関係が整理されつつあります（図 4）。

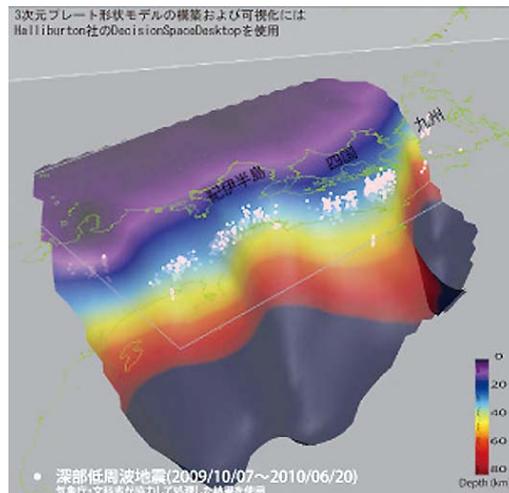


図4. 日向灘から四国沖までの構造情報を用いたプレート形状モデル

一方、深部低周波地震現象の発生領域の構造についても各地域での構造解析が求められてきました。特に紀伊水道周辺の構造探査データの一部の解析の結果、深部低周波地震活動の空白域周辺で、上盤プレート内部に通常の地殻内反射に比べて反射強度の顕著な反射面の存在が確認できました。これは、南海・東南海地震震源域境界における急激な変化を示唆している可能性があります。

またこの研究では、大学や研究機関とともに、国や地方の行政、ライフライン企業等が参加する「地域研究会」を高知、大阪、名古屋、紀州、九州などで開催し、研究成果を地域の防災・減災施策の立案に役立てる活動を進めています。

### ひずみ集中帯の重点的調査・観測研究

東北日本の日本海側では、2007 年の新潟県中越沖地震等大きな被害を伴う地震がしばしば発生し、「ひずみ集中帯」と呼ばれる地域が存在しています。

JAMSTEC では 2009 年度より文部科学省からの受託研究としてこのひずみ集中帯において、活断層および活褶曲等の活構造の全体像を明らかにするため、反射法地震探査と海底地震計による調査研究を実施しています。その観測データをもとに震源断層モデルを構築し、地震の規模の予測や発生時期の評価、強振動評価の高度化を目指しています。

今年度の調査海域は、1983 年日本海中部地震の震源域を中心に日本海東縁部・男鹿半島南方沖から青森県西方沖において、マルチチャンネルストリーマを用いた反射法地震探査（MCS 探査）と海底地震計（OBS）を用いた屈折法・広角反射法地震探査（OBS 探査）を実施しました（図 5）。

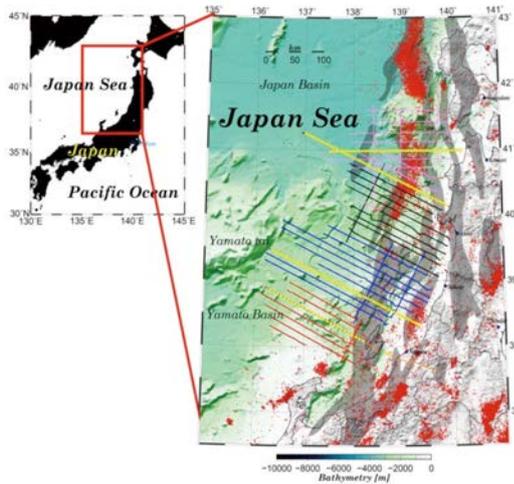


図5. 測線図 平成21年から平成24年実施測線

北緯 39 度 30 分付近を境に、北側（秋田沖～西津軽沖）と南側（佐渡沖～山形沖）で短縮変形している領域と地殻構造の対応の傾向が異なることがわかりました。南部では、佐渡海嶺に発達している主に西傾斜の逆断層、最上トラフ・大陸棚周辺の堆積盆周辺に沿った形など日本海形成時の構造がインバージョンしたと推定される活構造が多く認められますが、これらのほとんどは大陸地殻が形成されている構造内に発達しています。それに対して北部では、南部と同様に大陸地殻が形成されている領域である大陸棚周辺や西津軽海盆などでインバージョンした短縮変形構造が多く認められますが、1983 年日本海中部地震震源域から西側に関しては地殻構造の境界の領域と対応して、短縮変形した構造が認められます。

### 「京」コンピュータによる地震・津波予測の高精度化の研究

2011 年度より文部科学省補助事業「HPCI 戦略プログラム」において、地震発生予測の高精度化研究、津波予測の高精度化研究、都市における地震等自然災害に関するシミュレーション研究等を進めています。

2012 年 9 月末には「京」の本格的な運用がスタートしました。各シミュレーションモデルのチューニングにも一定の目途が立ち、「京」への実装、精緻な計算による今後の成果創出が期待されています。

### 長期孔内観測装置の技術開発

この計測技術は、2010 年に IODP の南海トラフ地震発生帯掘削航海で地球深部探査船「ちきゅう」が掘削した孔井（水深 1,938m、海底下約 750 ～ 940m の深度）に地震計、傾斜計、ひずみ計、温度計等のセンサーパッケージを投入し、長期間にわたり海底下の様々なデータを取得する技術です（図 6）。

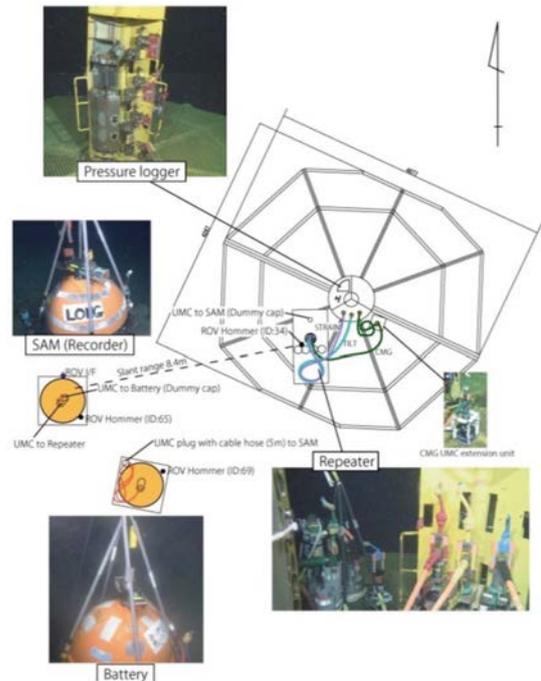


図6. 長期孔内観測装置 C2 ステーション

今年度 1 月に実施した調査航海にて長期孔内観測装置は、DONET 1 と接続しました。これにより、海底および海底下総合リアルタイム観測監視ができることにより、地震発生予測のより高精度化が期待されます。

### リアルタイム深海底観測システム

リアルタイム深海底観測システムの水圧式津波計のデータの気象庁への提供を 2012 年 3 月 9 日より開始しました。同年 3 月 14 日に発生した三陸沖の地震に伴う津波を釧路・十勝観測システムにて観測しました。この地震で発生した津波は、えりも町庶野と浜中町霧多布で 10cm でした。釧路・十勝観測システムの津波計は、北海道沿岸の検潮所より 20 分程度早く津波を観測しました（図 7）。

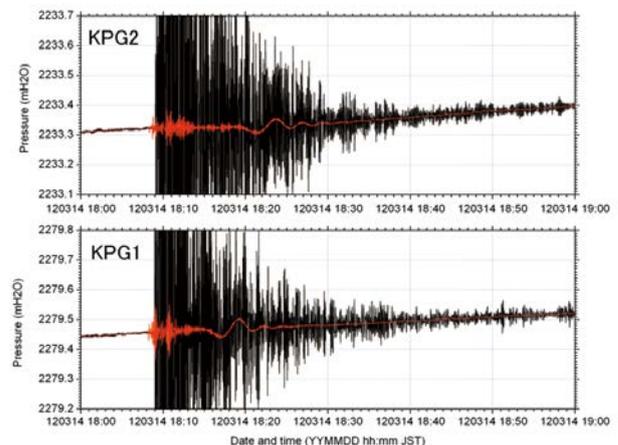


図7. 釧路・十勝沖システムの津波計で観測された津波

## 海底資源研究プロジェクト

### 概要

海底資源研究プロジェクトでは、2012年4月、新たな研究グループ「環境影響評価研究グループ」を設置しました。海底資源の開発にあたっては、そこに存在する生態系をしっかりと把握し、開発がどのような影響を与えるかの評価が必須です。環境影響評価研究グループは生態系から分子微生物学まで多分野にわたる研究者で構成しており、JAMSTEC が保有する試料と調査データを生かして、将来の開発に際しての環境に対する影響を評価する研究を進めています。2012年度は、海底資源研究プロジェクトが主体となって実施した調査航海は8航海、関連する航海を含めると13航海にのぼります。これらの調査航海を通じて、沢山の新しい知見が得られました。沖縄トラフ伊平屋小海嶺周辺で実施した自律型無人探査機（AUV）「うらしま」による調査では、未発見の熱水噴出域の存在の可能性が明らかになりました。また、JAMSTEC としては初めての種子島沖泥火山の調査では、同じく AUV「うらしま」を用いて、泥火山表面の詳細な海底イメージを得ることができました。いくつかの調査海域は2013年度以降も引き続き調査を実施し、海底資源の実態の把握からそれらの形成モデルの構築に至るまで、調査・研究を推進していきます。海底資源研究プロジェクトは2年目を迎えて様々な研究成果が上がってきました。以下に、各研究グループの成果トピックスをご紹介します。

### 地球生命工学研究グループ

地球生命工学研究グループでは、日本近海の炭化水素資源環境をテストフィールドとした、持続的な炭素循環システム創出のための基礎的・応用工学的研究を行っています。

2012年6月23～28日にかけて、地球深部探査船「ちきゅう」の HPCS と「ちきゅう」専用開発・改良されたハイブリッド保圧コアシステムを用いて、南海トラフ熊野灘第五泥火山の掘削調査を行い、泥火山山頂から約200メートルまでの泥火山内部試料の採取およびメタンハイドレートを含む保圧コア試料の採取に成功しました（図1. 2012年7月8日プレス発表）。また、泥火山内部の現場温度計測の結果から、流路内のメタンハイドレートの安定下限領域が頂上から深度約590メートルの区間であると推定されました。本掘削航海にて得られたコア試料を用いて、地球化学・微生物学・堆積学の詳細な研究が展開されています。

また、2012年10月5日～15日には、種子島沖泥火山

の海底地形調査を実施し、AUV「うらしま」のサイドスキャンソナーを用いた詳細な海底イメージを捉えることができました。2012年度も引き続き調査を実施し、種子島沖泥火山群の実態の把握を目指します。

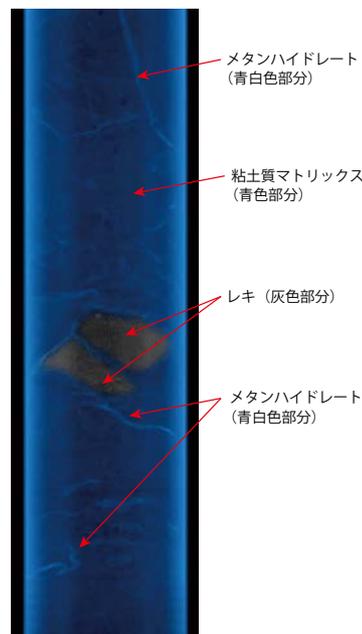


図1. 約200気圧のアルミ製圧力容器内の南海トラフ熊野灘第五泥火山のコア試料のX線CT画像

2012年7月26日～9月26日にかけては、地球深部探査船「ちきゅう」による統合国際深海掘削計画第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏探査」を実施し、科学海洋掘削における世界最高到達深度となる2,466mを達成し、夾炭層コア試料の採取や、天然ガス成分の連続的な同位体組成分析、詳細な孔内検層などに成功しました（2012年7月12日、9月6, 10, 27日プレス発表）。本掘削航海にて得られたコア試料や各種船上分析データを用いて、石炭層を根源とする生物地球化学的な炭化水素システムや、大深度夾炭層環境への二酸化炭素隔離（CCS）の可能性、および二酸化炭素の再資源化（バイオ CCS）等に関する研究を展開します。

さらに、海底下の温度・圧力条件を再現可能な新規多連式高圧リアクター「ジオバイオリアクターシステム」を用いて、石炭層・砂岩からなる夾炭層への CCS を模した「二酸化炭素—鉱物—生命相互作用」の研究に着手しました。マイクロフォーカス X 線 CT スキャンや電顕観察による堆積物微細構造の観察（図2）や、液体・超臨界二酸化炭素流体の浸透率の測定、微生物作用による炭素変換促進技術開発等に関する様々な再現実験・応用工学研究が展

開されています。また、天然の深海底堆積物やメタンハイドレート露出環境を活用した CCS 環境動態研究の準備を進めています。

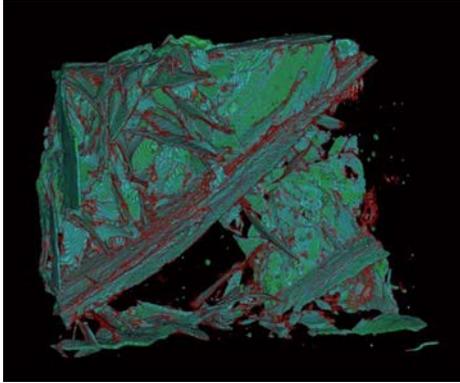


図2. 石炭(始新統浦幌層群)のクリート構造と鉄分の分布を示すマイクロフォーカスX線CTスキャン画像

## 海底熱水システム研究グループ

統合国際深海掘削計画の枠組みの下、2010年9月に行われた地球深部探査船「ちきゅう」を用いた研究の成果によって、沖縄トラフの深海熱水域には、世界最大級の熱水鉱床が人知れず存在している可能性が明らかになりました。そこで、本研究グループでは、マルチプル調査プラットフォームと地球生物学的熱水センシングを組み合わせた次世代探査によって、沖縄の深海に超巨大海底熱水鉱床を探査し、海底下の熱水循環システムの駆動力と海底生態系との関わりを理解、日本の海に眠る資源の開発基盤の創造、を目指しています。

2012年度には、探査の第一ステップとして、既に実績のある AUV「うらしま」による水中音響精査と化学センサー探査を統合し、さらに、熱水流路推定に資する浅部構造探査としてシングルチャンネル反射法地震波(SCS)探査を組み合わせた調査を沖縄トラフで行いました。この調査によって、伊平屋小海嶺に複数の未発見の新しい熱水活動域が存在する可能性が明らかになりました。一方、本研究グループは調査船の詳細なマルチナロービーム音響探査でも、AUV同様の熱水探査が可能であると考えています。今年度の伊平屋北フィールドの調査中に海洋調査船「なつしま」のマルチナロービーム音響探査をテストし、化学的には捉えにくいとされてきた熱水プルームを可視化できることを確認しました。調査船によるマルチナロービーム音響探査が、熱水探査の最広域調査の武器になる事がわかりました。

一方、マルチプル調査プラットフォームと地球生物学的熱水センシングを組み合わせた次世代探査を目指すきっかけ

となった AUV「うらしま」による水中音響精査と地磁気探査による熱水探査の統合による南部マリアナ海盆「うらしま」熱水域発見を論文化しました。その方法論の有効性が、論文を通じて広く認識されるでしょう。2012年度後半には、中央インド洋海嶺ロドリゲス三重点における熱水探査に挑戦します。

沖縄トラフに多く存在する深海熱水域では、これまで熱水化学や微生物生態系の多様性については理解が進んできましたが、熱水硫化物沈殿物(チムニー)の鉱床学的・鉱物学的多様性や沖縄トラフ地質セッティングとの関わりについては、全く報告例がありませんでした。本研究グループの保管する沖縄トラフ熱水域のチムニー試料の数と種類は世界最強です。その試料の全元素組成や同位体比を分析し、データを蓄積しつつあります。その初期解析の結果、沖縄トラフの熱水活動域の中でも、その金属硫化物の鉱床学的組成がかなり変化に富むことが明らかになりました(図3)。金に富む第四与那国海丘や銀とアンチモンが破壊的な鳩間海丘、レアメタルをバランスよく含むオールラウンド伊平屋北、というような結果です。これらの結果は、我が国の海底金属資源量を定量的に推定する上で極めて重要な基盤情報であり、かつ沖縄トラフの鉱床成因やその鉱床学的特徴を理解する上で鍵となる科学データです。将来的には、科学界や産業界への公開データベースとして、社会的に有益な基盤情報の確立を行います。

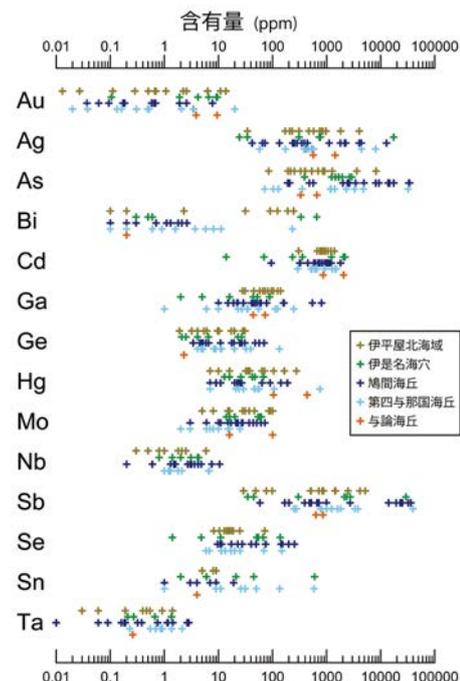


図3. 様々な沖縄トラフ熱水域から採取されたチムニー中のAuやAgの含有量の例。伊平屋北からの平均値は、第四与那国海丘や鳩間海丘よりは低くなるが、高含有チムニーも採取されている。

## 資源地球化学研究グループ

地球上に生成されるメタンの多くは、微生物によって生み出されたものです。しかし、海底下あるいは地中のどの深さで、どのくらいの速度でメタンが生成されているのかについては、ほとんど知られていません。当研究グループは、この問題に新しい化学的手法を開発して切り込むことを目指しています。

それは、微生物の細胞内でメタンが生成される一連の生化学反応の最終ステップを触媒する「F430」と呼ばれる補酵素を定量し、メタン生成の潜在能力を推定するというやり方です。海底を掘削して得られる堆積物コア試料中に含まれる F430 の濃度は、メタン生成の潜在能力を示し、その炭素や窒素同位体比は、メタンを生成する微生物がどのような炭素源や窒素源を用いているかなどメタン菌の代謝について教えてくれるはずで

す。ただしマトリックスを多量に含んだ天然物中から F430 を抽出、分離し、定量することはこれまで行われた例がなく、その分析法も当然ながら確立されていません。当研究グループでは発足以来、天然物、特に海底堆積物に含まれる F430 の正確な定量法の確立を目指して研究を継続してきており、昨年度に続き 2012 年度も F430 分析法の開発に主眼を置いています。

特に堆積物中から F430 の抽出効率を増大させること、より短時間かつ簡便に分析できる方法論を確立すること、安定した収率を実現することに注意を払い、分析法の最適化を行いました(図 4)。



図 4. 抽出した F430 を含む分析用試料

これまでの研究によると、低温暗所においては保存溶液の pH を 1 以下にまで下げることによって、F430 の安定性は飛躍的に増大することを明らかにしました。また分析において F430 をメチルエステル化すると、これまで以上に安定した分析結果が得られることも見出しました。現在の測定下限は 10 pmol ですが、近々導入する高感度のフォトダイ

オードアレイ検出器を用いると、それは 1 pmol にまで下げることができるだろうと考えています。これらと同時に、正確な定性および定量に欠かせない標品作りを行っています。現時点で、約 1 ミリグラムの標品の作成に成功しています。

また、試験的に行った分析によると、下北沖で地球深部探査船「ちきゅう」によって採取された海底堆積物コア(深さ 106m) と陸上土壌堆積物から、F430 を見出すことにも成功しました。

## 資源成因研究グループ

本研究グループでは、海底鉱物資源を中心とした様々な資源を対象に、それらが地球史上いつの時代にどこで生成したのか、どのような化学反応によって生成したのか、などの様々な時空間スケールから究極的な資源の成因解明を目指します。これらは、資源生成に関与する環境変動やその解読法の開発、あるいは人工的な有用元素回収法の開発など、海底資源に秘められた可能性を多方面から開発することに繋がります。

今年度は、拓洋第 5 海山をモデルサイトに位置付け、無人探査機「ハイパードルフィン」によって系統的に採取された鉄マンガンクラストの総合的研究を精力的に進めました(図 5)。



図 5. 拓洋第 5 海山で採取した鉄マンガンクラストの断面

これまで鉄マンガンクラストの生成メカニズムには、成長停止期間の有無や、酸素極小層の関与など、様々な主張がされてきましたが、決定的な証拠はありません。その大きな要因として、これまで有効な年代決定法に乏しかったことが挙げられます。そこで我々は海水のオスミウム同位体比変動を利用して鉄マンガンクラストの成長年代決定を試みました。様々な水深から採取されたクラスト試料の成長方向に沿ってオスミウム同位体比を分析し、海水のオスミウム同

位体比経年変動曲線と合わせることで、鉄マンガングラスタの生成年代を決定することに成功し、1,500 万年前から現在にかけて水深に関係なく成長速度が類似していることが明らかになりました。今後は、本手法を様々な海域の試料に適用していく予定です。

また、SPring-8などの放射光施設を用いて、分子レベルでの元素濃集プロセスの研究も進めています。鉄マンガングラスタはコバルトリッチグラスタとも呼ばれますが、レアメタルの1つであるテルルを特異的に濃集します。我々はその原因がテルル分子の形状に起因する水酸化鉄との共沈反応であることを突き止めました。また、同族元素のセレンをはじめ、モリブデンやタングステン、ヒ素やアンチモンなどの解析も行い、オキソアニオンの濃集率の差異が吸着構造の違いから系統的に説明できることが分かりました。

さらに、鉄マンガングラスタの有する高い金属吸着能に着目し、バイオリクターを用いたレアメタル回収法の開発を試みています。鉄酸化菌やマンガングラスタの培養に最適な条件を探し、より吸着能の高い鉄マンガングラスタの効率的な合成法を検討しています。今後はレアメタルの濃集率と化学状態を同時に解析することにより、最終的に高効率なレアメタル回収法の確立を目指します。

上記以外にも、放射光を用いた「レアアース泥」へのレアアース濃集メカニズムの解明や、日本近海に分布する「レアアース泥」の調査研究航海も実施します。また、高温高圧熱水実験による黒鉱床の人工合成実験や、鉱床母岩の元素溶脱過程の研究など、マイクロとマクロ、天然と実験などをキーワードに様々な資源成因研究を行っています。

## 環境影響評価研究グループ

環境影響評価研究グループでは、科学掘削により擾乱を受けた熱水活動域を資源開発のモデルとして調査研究を進めています。様々な事例を調査研究することで、擾乱を受けた海洋の生態系が示す復元力の本質を理解し、これを基準にした評価法の考案を目指しています。高解像度ビデオカメラによる海底観察画像から海底の生物と底質の分布を調べ、生息環境を記録したハビタットマップの作成を進めています(図6)。また、環境DNAによる遺伝子系統解析による堆積物中の微生物群集の多様性解析を開始しました(図7)。事例研究と技術検討により、深海底での資源開発に適した環境影響評価の方法を提案したく思っています。

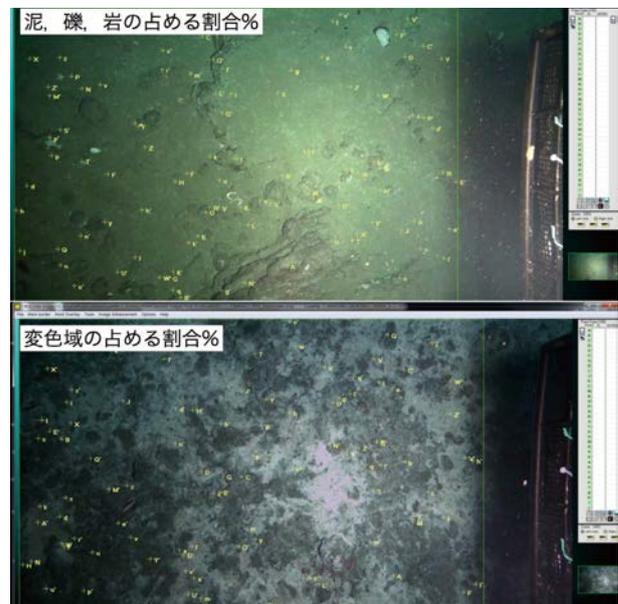


図6. ビデオ映像の解析からハビタットマップの作製

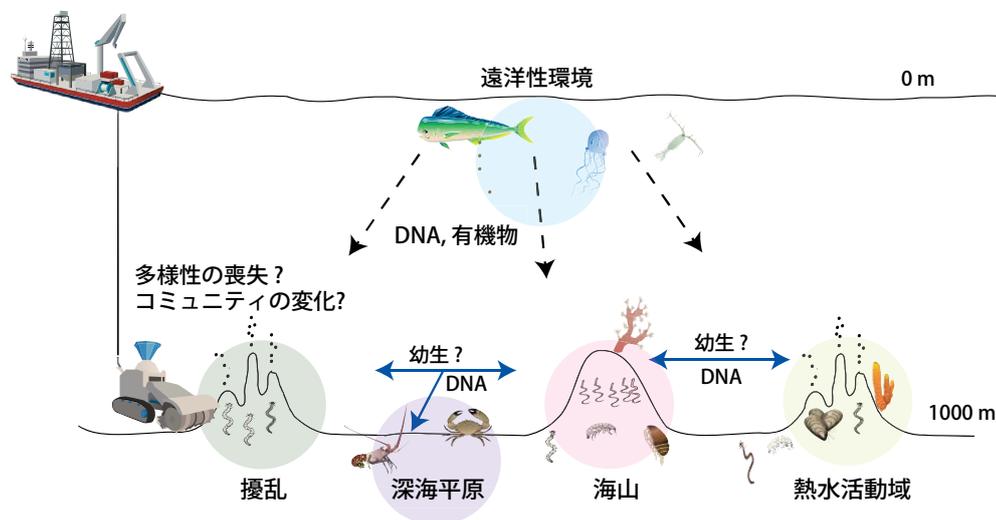


図7. 熱水活動域での調査研究の概念図

## システム地球ラボ：プレカンブリアンエコシステムラボユニット

### 研究概要

「地球が生命に満ちあふれた希有な惑星」に成り得た真の原理を明らかにすることは、人類に共通する最大の知的好奇心対象であり、「太陽系を含めた宇宙における生命の可能性や存在条件」を知る最も重要な手がかりです。プレカンブリアンエコシステムラボは、その原理の答えとして、地球と生命の誕生から初期進化過程においてすでに、地球と生命が「マントル－海洋－大陸－大気－生命」、すなわち「地球－生命」の相互作用システム体として発生し、機能・進化し続けてきたことであると考えています。「地球－生命」の相互作用システムのほとんどあらゆるメカニズムは、6 億年より遙か以前（先カンブリア代）に既に完成されていたと考えられます。プレカンブリアンエコシステムラボでは、この原始地球生命システムの初期進化（先カンブリア大爆発）の解明を究極の目標として、最初の持続的生命システムの誕生から、汎地球的な海洋環境への進化・伝播過程（光合成システムの獲得とエネルギー代謝の多様化）に至る先カンブリア代の全ストーリーを、現世の地球に残された地質記録、現世の微生物に刻み込まれた機能やゲノム情報、現世の地球の類似環境で起きる物質循環や生態系機能、から復元し、実験室内で再現実験を行うことで明らかにしてゆこうとしています。

プレカンブリアンエコシステムラボは現在、3 名の本務研究員、8 名の兼務研究員、1 名の受入研究生から構成されています。

### (1) 太古代全球的二酸化炭素濃度変化の全解読研究における新展開

現世の地球の炭素循環を支配する最も大きな要素は海底火山活動による CO<sub>2</sub> の海洋への放出、大陸棚浅瀬での炭酸塩岩の沈殿です。一方太古代の地球には大陸はほとんどなく、現在のような大陸浅瀬の炭酸塩岩は形成されていませんでした。この場合、初期地球においては海底火山活動によって大気海洋に CO<sub>2</sub> が放出され続けていたと考えられますが、理論的研究や様々な地質記録からは地球形成後から大気海洋の CO<sub>2</sub> の量は徐々に減少してきたことが推定されています。しかしその減少過程のメカニズムやタイミング、劇的な地質イベントの関係性は全く不明のままなのです。プレカンブリアンエコシステムラボは、この先カンブリア大爆発にとって最も大きな環境要因となったであろう太古代における大気－海洋－地殻の二酸化炭素濃度変化やフラックスを全解読に挑んでいます。

2011 年度には、初期太古代（32 億年前）の海洋地殻の熱水変質プロセスの化石（炭酸塩岩）の量論と同位体比の解析から、32 億年前の大気－海洋－地殻における炭素フラックスを明らかにする事ができました。海洋から海洋地殻へ

の CO<sub>2</sub> フラックスは現在の 100 倍。つまり大気中の二酸化炭素濃度も現在の 100 倍以上であったことを明らかにしました。2012 年度は、同じく西オーストラリアに残された 26 億年前の海洋地殻の熱水変質プロセスの化石（炭酸塩岩）の量論と同位体比の解析を進めました。この 26 億年前という時代は、地球上に大きな大陸が形成され始めた時期であり、プレカンブリアンエコシステムラボの予想に従えば、大陸棚浅瀬での炭酸塩岩の沈殿が促進され、大気中の二酸化炭素濃度が急激に減少し始めたはずなのです。結果はドンピシャでした。26 億年前の大気や海洋に存在していた二酸化炭素は 32 億年前から 6 億年のうちに 1/10 に減少している証拠が得られました。

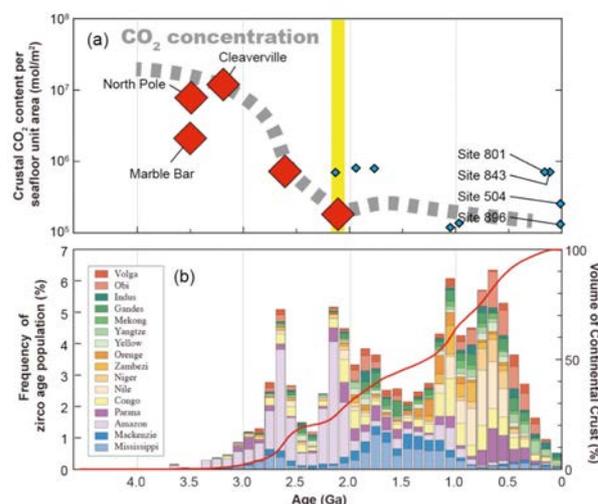


図 1. 地球史における二酸化炭素濃度変化 (a) と大陸成長曲線 (b)。図中の赤い印の部分でプレカンブリアンエコシステムラボで解読された二酸化炭素濃度。

一方、大気や海洋中の二酸化炭素濃度が減少すると、プレカンブリアンエコシステムラボの切り札の方法論である海洋地殻熱水変質炭酸塩による地球－生命史再現研究手法の適用が困難になってきます。熱水変質鉱物が炭酸塩ではなく硫酸塩になってしまうからです。そこで、それとは異なる海洋地殻熱水沈殿物中に保存された流体包有物からの地球－生命史再現研究手法を開発してきました。この手法を 22 億年前の「スノーボールアース」（全球凍結）時の海洋地殻熱水変質の化石に応用しました。スノーボールアースがどのような原因で起きたかについては未だ諸説が入り乱れている状態です。このスノーボールアース時の大気－海洋中の二酸化炭素を直接的に定量した研究例はありませんでした。22 億年前に鉱物中に封入されたの太古の熱水に含まれていた二酸化炭素濃度と同位体比を直接測定しました。「海底熱水に含まれる二酸化炭素濃度は必ず海洋中に溶存していた二酸化炭素濃度を上回る」ということがこれまでのすべての深海熱水の研究から導かれる事実です。22 億年前の熱水中の二酸化炭

素濃度の最低値は7mMでした。この数値は、22億年前の海洋中に溶存していた二酸化炭素濃度が7mM以下であったことを意味します。それは現在の海洋の2-3倍にしかすぎません。つまり当時の大気中の二酸化炭素濃度は現在の2-3倍にしか過ぎなかったという証拠が得られました。この結果は、22億年前の「スノーボールアース」が大気中の二酸化炭素の減少によって引き起こされたとする仮説を支持する世界で初めての定量的な証拠でした。

## (2) 地球－生命史および先カンブリア大爆発解読のための革新技術：多重相同位体比システムテックス研究

地球における生命の誕生から化石として記録されやすい大型多細胞生物の出現に至る先カンブリア大爆発の詳細なプロセスの進化を地質記録から解読するためには化学化石と呼ばれる物質の量論と同位体比の情報が極めて重要です。しかし各化学反応や生物・代謝プロセスにおける同位体比分別や同位体比平衡は極めて脆弱な実験データ・理論的背景に基づいており、経験則的な化学指標の域に留まっている部分が多いです。また単独の元素の単一の同位体比だけでは分解能が低く、化学・生物・代謝プロセスを解読するには複数の元素と同位体比を組み合わせた多重同位体比分析が必要となってきます。「多くの元素の量論と複数の同位体比による多様な化学・生物・代謝プロセスにおける同位体比分別や平衡指標を組み合わせた、高精度地図とGPSの組み合わせによる先カンブリア大爆発ナビゲーションシステム」を、プレカンブリアンエコシステムラボでは、多重相同位体比システムテックス研究と呼び、精力的な研究を進めています。

全球的な窒素循環を考える上でこれまでの研究は、窒素ガスと有機体窒素の量論と窒素同位体比に焦点を絞ってきました。地質記録に残された窒素同位体比指標は、窒素ガスと有機体窒素を直接結びつける窒素固定代謝の寄与が重要ですが、主に光合成微生物の動態と進化との関わりだけで議論されてきました。その理由は、光合成微生物の窒素固定代謝のみ研究が行われていたからです。プレカンブリアンエコシステムラボでは、先カンブリア大爆発において最も重要な一次生産者である好熱性水素資化メタン菌の窒素同化代謝における多重相同位体比システムテックス研究を行いました。その結果、好熱性水素資化メタン菌の窒素固定が、光合成微生物と異なる同位体比分別を導く特徴を有している事を世界で初めて明らかにしました。その結果を地質記録に残された窒素同位体比指標の解釈に適用した場合、35億年前の化学化石の中に窒素固定代謝の痕跡が残されていることが分か

りました。つまり生命誕生時から窒素固定が地球の生命活動を支える窒素の利用に用いられていたことを明らかにしました。

また同様に、窒素固定や窒素同化だけでなく、研究が遅々として進んでいない窒素異化における多重相同位体比システムテックス研究においても大きな進展がありました。アンモニア酸化、亜硝酸酸化、嫌氣的アンモニア酸化、脱窒といった複雑な窒素異化代謝ネットワークでの窒素化合物の量論と同位体比分別・平衡の体系的な研究により、個々の代謝における反応速度やフラックスが定量化できる事を示しました。

一方、地球－生命の共進化史を通じて最も重要な化学指標であるメタンについての多重相同位体比システムテックス研究でも大きな成果が挙っています。メタンの炭素同位体比と水素同位体比は、単独あるいは複合的にメタンの起源・生成プロセス・蓄積－移動プロセス・消費プロセスを知る指標として多用されています。しかし、それぞれのプロセスにおける同位体比分別や平衡の詳細は未知のままです。2012年度には、好熱性メタン菌によるメタン生成において、基質となる水素が直接メタンに取り込まれる「メタンの水素固定」という現象が世界で初めて実験的に証明されました。この結果は、 $H_2O-H_2-CH_4$ の同位体システムテックスの常識を覆すものであり、メタンの炭素同位体比と水素同位体比の解析から、メタンの起源・生成プロセス・蓄積－移動プロセス・消費プロセスを推定する方程式を改訂する必要があることを示しました。また一方で、 $H_2$ と $CH_4$ の間に直接的な同位体比相互関係が存在する事を明確に示したものであり、先カンブリア大爆発における至高のエネルギー源である水素の起源や供給源と最重要一次生産者であるメタン菌の関わりを紐解く鍵を与えたことになります。

さらに2012年度には、深海・地殻内生命圏システム研究プロジェクトと共同で、JAMSTEC 萌芽アワードの支援の下、塩化メチルの迅速・高精度塩素同位体比分析法を開発しました。塩化メチルの炭素同位体比と塩素同位体比の多重同位体比分析によって、塩化メチルの起源や供給プロセスを明らかにできることが期待されます。しかし、その方法論の開発には、さらに壮大な目標が隠されています。つまり、地球における海洋の進化を紐解く鍵となる塩素同位体比の微量分析が可能になったと言う事です。極めて微妙の地質記録中の熱水や海水の化石から、その塩素同位体比を分析し、その進化プロセスを解読する切り札になることが期待できます。さらに言えば、「はやぶさ2」等の宇宙探査機によるリターンサンプル試料や隕石の塩素同位体比の分析を行うことによって、地球以外の惑星における宇宙海洋の生成プロセスや進化史を解読するツールとしても期待できるのです。

## システム地球ラボ：宇宙・地球表層・地球内部の相関モデリングラボユニット

## 概要

地球表層の環境と生命は、地球内部と宇宙から絶えず影響を受けながら、変動と進化を続けています。また、その結果は地球内部変動にも大きな影響を与えています。特に、地球環境の長期変動や大規模な環境変化のメカニズムを捉え、これを予測するためには、宇宙と地球環境を一体のシステムとして理解する必要があります。

本ラボユニットでは、図 1 に示すように宇宙、地球表層、地球内部を含む複合的な多圏間の相互作用を、最先端の数値シミュレーションと超高压実験・観測研究を通して定量的に把握し、現在の地球の活動や、地球史における大規模な地球環境変動のメカニズムを明らかにすることによって、未来の地球の姿を探ることを目標としています。

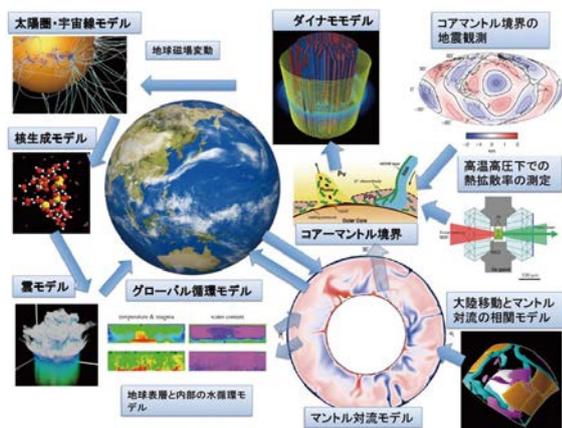


図 1. 宇宙・地球表層・地球内部の相関モデリングラボユニットで取り組んでいる研究課題

## 氷期の太陽と気候変動の関係性を実証

氷期の気候には千～数千年スケールのダイナミックな変動が見られることが知られています。しかし、その発生原因は長らく未解明で、大きな議論となっていました。我々は、氷期の気候をより厳密な時間スケールで復元することによって、これらの気候変動が太陽活動の 1000 年周期と 2000 年周期の 2 つによってもたらされたものであることを突き止めました (Obrochta et al. 2012)。これによって、太陽活動の影響は、氷期においてより顕著に表れることも判明しました。太陽活動の影響の大きさとメカニズムに手がかりを与える研究成果として、国際的に注目を集めています。

## ScS-S 走時解析による西太平洋直下マンテル最下部 S 波速度構造の解明

太平洋直下のマンテル最下部には、大規模 S 波低速度域 (Large Low Shear Velocity Province, LLSVP) が存在しています。その西側周縁部 (ニューギニア直下) の S 波速度構

造を東西と南北の十字に交差する波線をもつ ScS 波と S 波の走時差で詳細に調べたところ、高速度域が低速度域に隣接して存在することが示唆されました (Idehara et al. 2012)。これは沈み込んだスラブ物質が LLSVP のすぐ隣まで移動している可能性があることを意味する新しい発見として注目されています。

## 地球型惑星におけるマンテル構造進化のシミュレーション

岩石マンテルにおけるマグマの生成とそれに伴う放射性熱源の移動を考慮した地球型惑星の進化モデルを構築し、50 億年におよぶ構造発達史のシミュレーションを実現しました。このモデルでは表層とマンテル間での水の循環も考慮しています。このシミュレーションによって、火星ではプレートの沈み込みがないため 20 億年ほどでマンテルの大部分が脱水しますが、わずかに残る水の効果により火成活動が 40 億年超にわたり継続することが明らかとなりました (Ogawa & Yanagisawa 2012)。これは最近まで火山活動があるという火星探査機による結果と整合しています。

## 超高压下における MgO の熱伝導率測定とコアマンテル境界の熱流量

コアマンテル境界の熱流量はコアの冷却速度を理解するために極めて重要です。近年発見されたポストペロフスカイト相転移により、マンテル最下部の温度構造が明らかになりつつあります。熱流量は温度勾配と熱伝導率の積で与えられるため、この領域の熱伝導率が求めれば、コアからの熱流量の推定が可能になります。私たちは既に、下部マンテルの主要鉱物ペロフスカイト相/ポストペロフスカイト相の熱伝導率を実験によって決定しています。今回は 2 番目の主要鉱物である MgO についての測定を行いました。

ダイヤモンドセル装置に封入された MgO 試料について 130 万気圧までの測定を行ったところ、マンテルの底ではおよそ 20 W/m/K という熱伝導率を持つことが分かりました。この結果から、マンテル最下層がペロフスカイト相と MgO からなると考えると、コアからマンテルへの熱流量はおよそ 10 テラワットと見積もられます。この値は従来の推定値よりも高い値であり、コアの速い冷却速度、内核の若い年齢が示唆されます。またこの値は、私たちのコアの熱伝導率の研究から見積もられたコアの対流が起きるために必要なコアマンテル境界の熱流量とほぼ同じであり、コアの高い熱伝導率と整合的であると言えます。

## アプリケーションラボ(APL)

### 組織概要と未来に向けて

アプリケーションラボは海洋研究開発機構が培ってきた海洋地球科学の基礎研究をふまえて、研究と社会ニーズの相互啓発により、科学イノベーションを実現し、ひいては持続可能な社会の形成に貢献することをめざしています。2009年度にバーチャルな組織として発足しましたが、2012年度には先端情報システム創成理工学プログラム、予測応用理工学プログラム、深海応用理工学プログラムの三プログラムとして経常予算化され、実質部分を備えた組織として発展しました。

まだ芽生えて間もない組織ですが、東日本大震災とそれへの対応でも痛切に感じたように、海洋地球科学は、社会と共に発展してゆくことがますます重要になっている折から、その意義は深まっていると感じています。未来予測に関して言えば、実際の社会に活用される予測でなければならず、海洋地球資源の開発や利用に関しては生物圏も含めた地球環境の持続的な保全に配慮し、人間社会のより良き営みに貢献するものでなければなりません。幸い、国際科学会議（ICSU）や国際社会科学協議会（ISSC）などの学術国際組織の主導の下で、地球環境劣化の流れをくい止めて、人と地球のより良き共生をめざす分野横断型の新学術の創成をめざす「未来の地球（Future Earth）」という大きな計画が始まろうとしています。アプリケーションラボはこうした世界の潮流を先取りする形で導入されました。以下に2012年度に行われた3プログラムの活動をご報告します。

### 先端情報システム創成理工学プログラム

本プログラムは大気、海洋に関係するシミュレーションや観測から得られる社会的要請の高い情報について可視化技術を中心にわかりやすく発信する手法を開発し、それに基づいて情報発信・知識共有が一体となった情報システムのプロトタイプを構築することをめざしています。2012年度は、そのための基礎となる技術を、次の3点を主眼に開発してきました。

- ・新たな情報発信システムの構築に必要な基盤要素技術の開発
- ・モデル、シミュレーション、観測間の比較に必要な新しいコンテンツの開発
- ・新たな応用に向けた展開と共同研究体制の構築

ビジュアルデータマイニング（VDM）手法の研究開発を進めています。データマイニングとはデータの中から意味のある情報を抽出する新しい手法です。図1は多変量解析を応用したVDMの一例で、黒潮などの特定の海流構造を抽出することに成功しました。本研究は高く評価され、2012年11月

に米国で開催されたハイパフォーマンスコンピューティングに関する国際会議 SC12において The Best Poster Award を受賞しました。

数値データの新しい表現と情報発信のために、新しい可視化技術 EXTRAWING の研究開発も推進しています。EXTRAWING は、シミュレーションデータや観測データを3次元的に可視化し、地球儀上でリアルに再現する手法を確立しました。複数のデータや異種データを重ね合わせながら、上下左右から起こっている現象の内部にまで入り込み、3次元のあらゆる視点から、シミュレーションや観測結果を自由自在に観ることができます（図2）。多くの研究者や興味のある方々が容易にインターネットを介して観察できるしくみも構築しました。このしくみや開発したツールの海洋・地球観測への応用を検討するために、観測、シミュレーションおよび可視化の各分野の研究者を一堂に集めたミニワークショップを頻繁に開催し、領域横断的な議論展開を進めています。

また、新たに準リアルタイムの予測シミュレーションを定期的に発信する自動予測システムの構築をほぼ完了し、本年度末からは、情報発信を開始する予定です。加えて、社会的な関心が高い大気拡散問題、海洋拡散問題について新たな知見を得ることができました。これらについても、新しい情報コンテンツとして発信する予定です。

2012年7月には、産官学からなる地球環境未来都市研究会の設立に貢献しました。この研究会は、横浜国立大学が中心となって、横浜市をモデルに気候変動に頑健な都市、港湾地域を創造するための共同研究体です。この共同研究を通して、私たちは、水源となる山岳地域から里山、都市、港湾、沿岸域までを含む総合的な視点から、良好な環境の構築指針を提案していきたいと考えています。

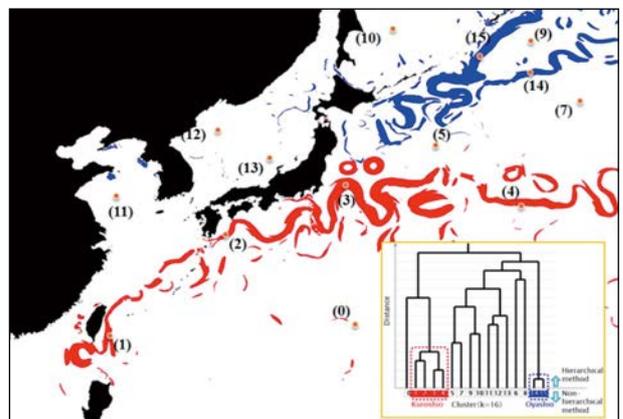


図1. ビジュアルデータマイニング手法による海流構造の抽出

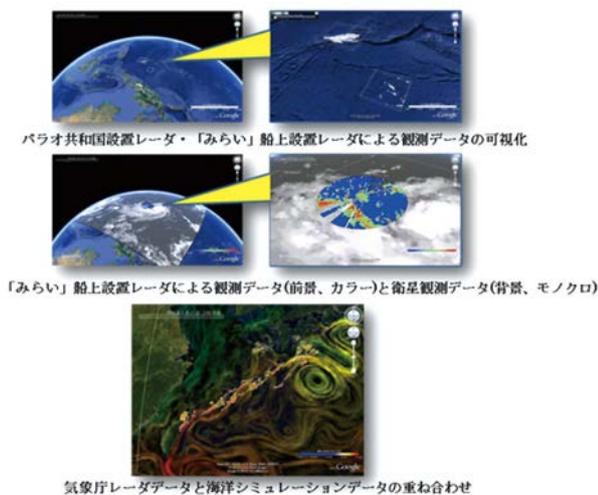


図2. EXTRAWINGによる3次元可視化事例

## 予測応用理工学プログラム

本プログラムでは、異常気象をもたらす気候変動現象など大気海洋現象の発生予測情報と社会のニーズとの相互啓発により、社会イノベーションを実現することを目的としています。現在は、1) 気候変動、海洋変動等の予測と応用情報の提供・検証、2) 全球雲解像モデルによる熱帯及び東アジア域での気象予測と応用情報の提供・検証、3) 対流圏オゾン拡散モデル等による大気化学変動予測と応用情報の提供・検証などを行っています。上記1)については、インド洋ダイポールモード現象やエルニーニョ現象の予測基礎研究で世界を先導してきた実績を生かし、国際協力機構 (JICA) と科学技術振興機構 (JST) の支援を受けて地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS) 課題「気候変動予測とアフリカ南部における応用」を推進してきました (図3)。本計画では、地球シミュレータを使用した全球大気海洋結合モデルによる季節予報とその精度向上のための研究開発、およびアフリカ南部地域の局所的な極端気象現象を予測するための研究開発を行い、予測成果を地域住民や農業関係者へ周知する早期警戒システムの基盤構築を目指しています。このプロジェクトによって、アプリケーションラボは国際共同研究により、その活動分野を南アフリカに広げ、発展途上国との協力関係を構築することに成功しました。以下は本プログラムの2012年の代表的な研究成果です。

熱帯太平洋に私たちが見出したエルニーニョもどきと呼ばれる気候変動現象が、近年、頻繁に観測され、国際的に関心を集めています。従来型のエルニーニョ現象が南アフリカに干ばつをもたらすことが多いのですが、私たちはエルニーニョもどきが多雨をもたらすことを発見しました (Ratnam et al. 2012a)。エルニーニョもどきは海洋温暖化の影響で頻繁に発生するようになったのではないかと考えられており、この成果は気候変化が気候変動に与える影響を把握する上でとても重要です。

また、私たちは、南インド洋の海面水温変動に顕われる亜熱帯ダイポールモード現象も同定していますが、この現象も南アフリカの気候変動と密接に関係していることを明らかにしました。さらに大気海洋結合モデルによる実験により、南極周極波動やエルニーニョ現象が引き金となって南インド洋の亜熱帯ダイポールモード現象が発生することを示しました (Morioka et al. 2012)。しかし、気候変動予測に使用されるほとんどの全球大気海洋結合モデルはインド洋の平均場を正確には再現しておらず、特にインド洋南西部の巨大な湧昇域であるセーシェルドームの再現性にも問題があることがわかっています (Nagura et al. 2012)。モデルを改良し、より信頼できる気候研究を行うことは重要な課題です。

南アフリカの局地的な気象に関しては、領域大気海洋結合モデルを用いて SINTEX-F 全球結合モデルの予測結果をダウンスケールし、南アフリカの各地方の気象を半年程度前に予測することに成功しました (Ratnam et al. 2012b)。また、南アフリカの夏の降雨の大半を引き起こす Tropical Temperate Trough (TTT) 現象を詳細に解析し、新たに TTT 指標を導入することによって、その発達過程を明らかにし、TTT とエルニーニョ現象などの気候変動モードとの相互作用を初めて明らかにしました (Ratna et al. 2012a)。開発した領域気象モデルを用いて TTT の形成メカニズムに関する研究も行っています (Ratna et al. 2002b)。

数値モデルによって得られた予測結果が南アフリカで実際に使用されるようになったことも大きな成果です。SINTEX-F の季節予報の結果は、南アフリカの研究者によって開発されたマルチモデル・アンサンブル予測システムに組み込まれています。私たちが開発した領域大気海洋結合モデルは、SATREPS プロジェクトにおいて南アフリカのプレトリア大学に供与された計算機に移植され、数値予測や熱波の研究に使われています。数値予測システムによる予測結果は、現地の農業試験所・気象庁・大学との連携により、地域住民および農業関係者などに広く配信される予定です。

学術的な共同研究に加えて、研究者の相互交流や人材育成支援も行っています (図4)。2012年には一つのワークショップと二つのシンポジウムを東京大学および南アフリカの科学産業技術研究所で開催し、日本と南アフリカの研究者が研究成果を発表し、活発な議論を行いました。学生向けのレクチャーとして、日本側研究者が南アフリカの五つの大学に計四週間滞在し集中講義を行いました。南アフリカの研究者も JAMSTEC と東京大学に一週間滞在し、ワークショップを通じて日本側研究者と情報交換を行いました。これらの成果を基盤として、私たちはアフリカ南部の他の地域や広く世界に活動拠点を広げ、人類のよき生活に資する研究開発を行っていきたいと考えています。



図3. 気候予測データの様々な分野への応用可能性



図4. JICA-JST 地球規模課題対応国際科学技術協力プロジェクトの展開

### 深海応用理工学プログラム

今年度からスタートした深海応用理工学プログラムでは、海底資源採掘などヒューマンインパクトが海洋環境に与える影響についてのアセスメントと開発後のリハビリテーション評価に資する科学的予測を行うことを目標としています。その中で、開発に必要な海洋での地盤安定評価、施工技術及び長期連続測量などの基礎技術開発を行います。これらの予測や技術開発では、JAMSTEC で培われてきた海洋学、海洋生態学、地質学、鉱床学等の地球科学的知見を融合し、海洋開発と保全との調和を見据えた Neo-Engineering として社会にアピールしてゆきます。また、これらの社会貢献を強く意識した応用研究の他に、JAMSTEC 内においても、相互研究協力を積極的に推進させる活動を行います。

深海応用には洋上から海底オペレーションは基礎技術の一つとなります。本プログラムでは、地球深部探査船「ちきゅう」による深海掘削においてドリルパイプの触れまわり問題についての研究を、CDEX の技術開発グループと共同で開始しました。その中で我々のプログラムでは問題の理論的側面を担い、本年度は、弾性棒のねじりの非平衡動力学的解析を行いました。一般的に弾性棒の両端に外的にねじり応力を加えると内部にねじりひずみが様にたまり、その値が臨界値を超えると曲げ変形が起きます。非平衡状況下でさらにねじり応力を加えると、ねじりひずみが内部で非一様となる可能性が出ます。この場合、振れ回りと呼ばれる曲げられた弾性棒の公転運動が起きます。

我々はこの公転周期がねじりひずみの非一様性パラメータ、曲げ弾性率、ねじり弾性率、張力によって決定されることを示し、振れまわりの動力学が Stuart-Landau 方程式と呼ばれる普遍的振動方程式で記述されることを理論的に示しました。

また、深海応用理工学プログラムでは、粒子モデルに基づく高度な計算技術を広く産業界に応用する取り組みも行っております。また、その活動では、単なる研究開発にとどまらず、実用的なソフトウェアとして商用化することで、知的財産収入を獲得し、JAMSTEC の予算獲得にも貢献しています。2012 年度の実績としては、当プログラムで開発された「パラストに生じる衝撃荷重の伝播解析に関する研究に基づく追加ソフトウェア九十九弾性要素法プログラム GPU バージョン (Allemande GPU ver.)」と、「Hidem (2012)」の外部有償利用により合計 800 万円の知的財産収入を得ました。

また、当プログラムで開発している固体粒子と流体を連成した大規模高速シミュレーション解析技術は、ナノテクノロジー産業からも注目を浴び、本年度下半期から民間企業、同志社大学と共同で「ナノ粒子生成過程における濾過プロセスのシミュレーション研究」に着手しました。この研究により、実験では観察が困難な粒子の微視的挙動や粒子間相互作用力を知ることができ、それらが濾過速度に与える影響を調べることで、より合理的濾過の設計法を見出すことが可能となります。図5に、濾過シミュレーションによって見えてきた分散系と凝集系における流線と沈降速度分布の違いを示します。また、図6に、濾過速度の時間変化を示します。両図から、粒子の凝集特性が濾過速度に大きな影響を与えていることが理解されます。

粒子系分布がある場合 (5成分、最大粒子径:最小粒子径=5:1)

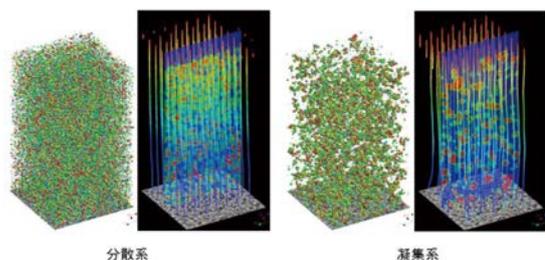


図5. 粒子径分布がある場合の沈降速度と空隙率分布

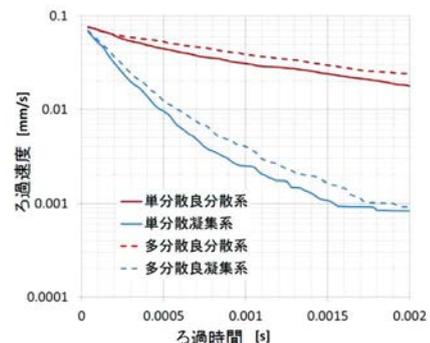


図6. 沈降速度の時間変化

## むつ研究所(MIO)

### 概要

むつ研究所 (MIO) は、原子力動力実験船「むつ」の船体を利用して建造された世界最大級の海洋地球研究船「みらい」で行われる多くの研究を支援するための地方事務所として開設され、施設が整った後に北太平洋の物質循環研究を実施する研究所と整備されました。研究所発足後、10 数年を経た今日のむつ研究所の役割は海洋地球研究船「みらい」支援業務、北太平洋を対象とした北太平洋時系列観測研究、そして、海洋科学の普及活動の 3 つに大きく分けられます。

支援業務の第一は世界の海洋観測研究の最先端を担う観測船としての評価を得た「みらい」の母港として入出港に関する種々の調整、大型計測機器の整備、「みらい」で採取された試料の処理・分析等です。むつ研究所には、この支援業務を支えるためにむつ研究交流棟、観測機材整備場、試料分析棟が配置され、トライトンパイを整備するための種々の施設、アルゴフロートの浮力調整を行う高压装置、クリーンルーム等化学物質を扱うための各種実験室、ICP-MS、放射性炭素測定の前処理装置等をはじめ種々の分析機器が配置されています。

むつ研究所の研究、北太平洋時系列観測研究は北太平洋を対象とした海洋環境がどのような変動・変化をしているかを物質循環の立場から捉えることを目的にした研究です。今日の人類活動による環境負荷が北太平洋域にどのような変化として現れるかを逐次観測の積み重ねから捉えようとする研究です。この研究を通して海水中の二酸化炭素濃度の経年変化や生物を介して鉛直的に輸送される炭素についての知見を集積してきました。数年前から、研究対象海域を外洋域から環境変化の影響を強く受ける沿岸域へ広げることを目的に津軽海峡東口の観測研究を試行しています。津軽海峡を通過する暖流は北部北太平洋に影響を与える暖流の一つですのでこの研究は北部北太平洋域の環境変化の理解をより確かなものにすると思います。なお、これらの研究活動を進めるために北海道大学大学院水産科学研究院、青森県産業技術センターとの包括連携を結んでいます。

海洋科学の普及は、行政、教育機関、地域 FM 局等と連携し、一般海洋科学の知見、機構及び研究所の得た成果をむつ・下北を中心に発信しています。2012 年度もローカル FM 局から海洋の知識の発信、シンポジウム、沿岸観察会、施設一般公開等を実施しています。

### 北太平洋時系列観測研究

「みらい」MR12-02 航海を実施し、セジメントトラップの回収及び時系列データの収集・蓄積を行いました。

時系列観測点 K2 (北緯 47 度、東経 160 度、水深 5200m) 及び S1 (北緯 30 度、東経 145 度、水深 5900m) の水深 500m 及び 4810m 層に繫留していたセジメントトラップから得たそれぞれの 2011 年 3 月 25 日以降、4 月 6 日以降の沈降粒子試料から Cs-137 及び Cs-134 が検出されました。Cs-134/Cs-137 比はほぼ 1 であり、この結果から、検出された放射性セシウムは福島第一原子力発電所事故によって放出されたセシウムであると考えられます。沈降粒子の形成・輸送に関する知見を与える重要なデータです。

また、これまでの観測から得られたデータを時系列にならべ、北太平洋亜寒帯域の酸性化の状況の解析を行いました。得られた観測データは季節が異なるため温度極小層から冬季の混合層中での二酸化炭素分圧等の推定を試みるなど種々の内外挿をしています。その結果、冬季の混合層中での二酸化炭素分圧の上昇に加え、全アルカリ度 (TA) の僅かな上昇を捉えることができました (図 1)。TA の増加は二酸化炭素分圧の増加を緩和する効果を持っています。そこで、TA の変化する要因について考えてみました。TA と種々のパラメータを比較したところ相関が良いパラメータは冬季混合層の厚み (温度極小の深さ) でした。気候パラメータを解析したところ混合層の厚みは、冬季にユーラシア大陸から吹き出す風が弱まって海面が上昇し、密度躍層が深化したことに起因

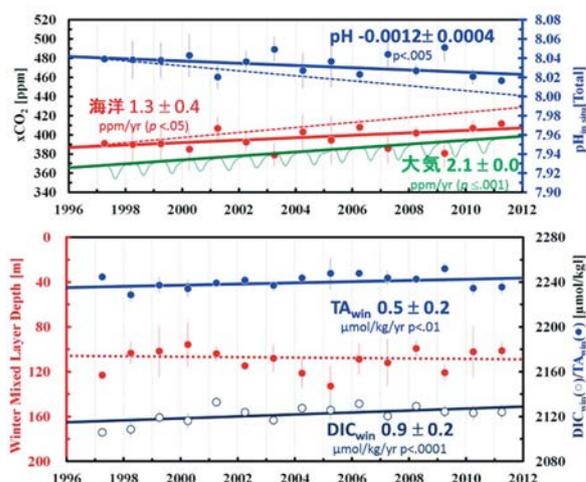


図 1. 北太平洋亜寒帯域の時系列観測点で得られたデータから推定された冬季混合層内の二酸化炭素分圧、pH の変化 (上図) と全炭酸、全アルカリ度、冬季混合層深度の経年変化 (下図)。なお、pH は全炭酸とアルカリ度のからの計算値、冬季混合層深度 (Winter Mixed Layer Depth) は温度極小層の深度から推定。

記号の説明:

上図 赤: 海洋表層の二酸化炭素分圧、緑: 綾里 (岩手県) で測定された大気中の二酸化炭素分圧 (報告値)、青: pH、破線は大気に追従する場合の予想値。

下図 紺青: 全炭酸、青: 全アルカリ度、赤: 混合層深度。

していると推測されました。今後、この結果をもとに北太平洋亜寒帯域における二酸化炭素収支について将来予測を行いたいと考えています。

なお、これらの成果は地球環境変動領域物質循環研究プログラム海洋物質循環研究チームとの共同で行われた観測研究の成果です。

### 津軽海峡域を対象とした研究（試行）

下北半島周辺域における海生生物分布状況とその変化を把握する観測のほかには北海道大学大学院水産科学研究院との連携により津軽海峡東口での観測を実施しています。2011年に取得した4回（2月23、24日、5月15日、7月27、28日、11月18日）の海洋観測データのうち温度、塩分の分布を図2に示します。南側（各図では右側）には相対的に高

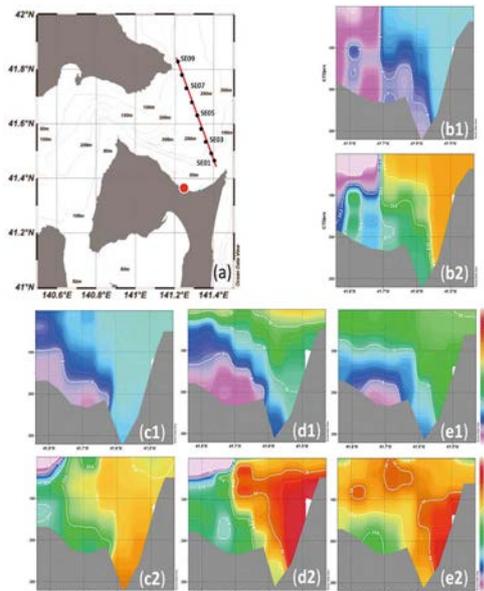


図2. 2011年の観測に得られた津軽海峡東口の温度・塩分断面図 (a): 観測点図、(b1)から(e1): 2月、5月、7月、11月の温度分布、(b2)から(e2): 2月、5月、7月、11月の塩分分布、(b2)

温・高塩分の水塊が常に存在し、津軽暖流が関わっていることを伺わせます。また、北側表層には比較的低温・低塩分の水塊があり、沿岸親潮系の水が占めていることを伺わせます。この水塊は、季節によって南側への張り出しに消長がある様です。また、北側 200m の海底付近には常に低温・低塩分の水塊が常に見られます。

2011年の航海では採水層の一部から植物プランクトン検鏡用の試料を採取し、検鏡を行いました。その結果が図3です。2月末に北側の観測点SE09から得られた試料中の植物プランクトンの計数が他と比べて多く、5月に採取された試料でもかなりの数が計数されました。そのほとんどが珪藻網でした。この知見は親潮系の水塊で見られる特徴と一致しています。南側の測点



図3. 津軽海峡東口の観測点、SE03、SE09に置ける各観測時の植物プランクトンの計数値 (a)とSE03、SE09の種組成 (b)、(c)

SE03での植物プランクトンの計数値はSE09に比べて非常に少なく、観測した4期では5月が最も沢山の植物プランクトンが計数されました。種組成は、やはり珪藻網が卓越していました。

### そのほかの研究活動

文部科学省 海洋開発および地球科学技術調査研究促進費地球観測システム構築推進プラン地球温暖化・炭素循環観測研究プロジェクト「海洋二酸化炭素センサー開発と観測基盤構築」（2005年度～2009年度）で開発した漂流型自動二酸化炭素分圧計測装置を用いた観測を南極海で開始しました。国立極地研究所、南極観測船「しらせ」の協力を得て2012年12月に図4に示す放流地点付近で漂流型自動二酸化炭素分圧計測装置を合計11台放流しました。温度、塩分、海水の二酸化炭素分圧を1日6回の測定を週1回、1年間行う予定です。予想される漂流範囲は赤枠内でこれまでに得られなかった頻度で分圧値を得て、大気・海洋間の二酸化炭素輸送量を見積もる予定です。なお、本観測研究は日本学術振興会科学研究費補助金の事業の支援を受けて実施されています。

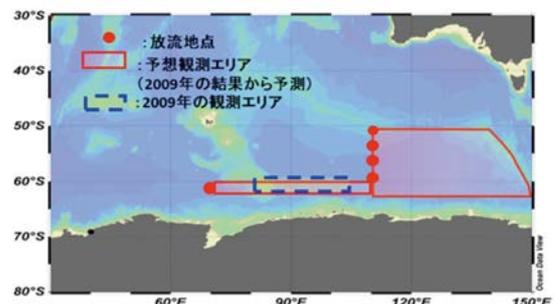


図4. 漂流型自動二酸化炭素分圧計測装置の放流地点と予想観測エリア。

## 高知コア研究所(KOCHI)

### 「コア試料」研究の世界的拠点(部署概要)

高知コア研究所(KOCHI)は、統合国際深海掘削計画(IODP)のコア保管拠点の一つとしてキュレーション業務を行うとともに、最先端手法を用いたコア試料分析研究を通して、掘削科学研究の中核的研究拠点として活動しています。また、高知大学所有の施設や質量分析計、非破壊計測装置や微生物関係の分析機器などを維持管理し、高知大学海洋コア総合研究センターと共有することで、他に例を見ない効率的な研究環境を実現しています。

KOCHIでは、日本近海からインド洋にかけての海域から得られた約94kmにのぼる海洋コアを保管しています。さらに、微生物分析のためマイナス80℃以下でのコア試料の凍結保管(Deep Biosphere Samples: DeepBIOS)や、X線CTスキャナーで撮られた3次元解析画像データ(バーチャルコアライブラリー)を含めた海洋コアの情報を管理し、Webサイトで公開するなどを実施し、貴重なサンプルが今後の地球環境・資源・災害等の研究者にフルに活用されることを目指しています。



写真1. IODP第343次研究航海「東北地方太平洋沖地震調査掘削(JFAST)」のコア試料の搬入風景(7月27日)。10月5日には、IODP第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」などのコア試料も高知コアセンターのコア保管庫に搬入された。



写真2. コア凍結試料の保管DeepBIOS(液体窒素タンク(左)と凍結試料(右))

KOCHIでは、海洋科学技術の普及啓発を目的として、高知大学海洋コア総合研究センターと共同で施設の1日公開(11月3日(祝)、来訪者1,287名)を実施するとともに、地元の要請によるイベントへの展示や講演での協力、また学校への出前授業等を通して、地域の人々に科学に対する関心を高める機会を提供するとともに、連携大学院やコアスクールなどを通して将来の掘削科学研究を担う人材育成にも取り組んでいます。

7月15日(日)には、室戸市の要請により室戸岬漁港にて、海洋調査船「なつしま」と無人探査機「ハイパードルフィン」の一般公開を実施しました(来場者1,178名)。また、船舶一般公開に先駆け7月14日(土)には、室戸市保健福祉センターにおいて、室戸市民向けの講演会「海溝型巨大地震はどのように起こるのか」を実施し、108名の参加がありました。



写真3. 高知コアセンター1日公開(保管庫ツアー)



写真4. 海洋調査船「なつしま」一般公開(室戸岬漁港)

## 地球深部探査船「ちきゅう」など掘削船の研究航海に参加

### ① IODP第343次研究航海「東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST)」

東北地方太平洋沖地震では、M (マグニチュード) 9 という地震の規模もさることながら、巨大津波が災害を大きくしました。その直接の原因としてもっとも有力な仮説が、プレート境界断層が海溝軸まで大きく滑ったというものです。地震時に大きな滑りが生じたのであれば、そこでは摩擦熱のため非常に温度が上昇したであろうし、地震に伴って応力と歪が解放されたはずですが、

これらを実証するため、宮城県牡鹿半島東方沖で「ちきゅう」による掘削を行いました (KOCHI から3名の研究者が乗船)。極めて大きな水深 (約 6,890m) の困難な条件下で、プレート境界断層を貫通する3孔の掘削に成功しました。孔内物理検層、断層摩擦熱を検出するための温度モニタリング機器の設置を行ったほか、海底下のプレート境界断層を含む深さ 648 ~ 844.5m の区間でコア試料を採取しました。なぜ、海溝付近の震源断層で 50m にもおよぶ大きなすべりが発生したかについて、KOCHI では地震断層研究グループ、同位体地球化学研究グループが中心となって、その解明に多方面から総合的に取り組んでいます。

まず、断層付近の地震発生後の応力状況を明らかにし、その応力状況は地震前の逆断層型から地震発生以後の正断層型に変化したことを突き止めました。このような応力の変化は、従来地震性すべりが発生しないとされていた海溝付近の断層が能動的に滑ったことを示唆し、断層の高速滑り弱化の作業仮説と一致しました。また、掘削で採取した断層試料の高速摩擦実験を行うことにより、物質科学的なアプローチから実験的に高速滑り弱化の特性の解明に取り組んでいます。高速滑り弱化の要因の一つとして、断層の高速滑りに伴う摩擦発熱による流体圧の急激な上昇 (Thermal pressurization) が推測されており、KOCHI は断層岩や断層周辺の母岩試料の浸透率構造の変化を解明し、地震時の流体圧上昇や断層すべり挙動に及ぼす影響を明らかにする研究をしています。さらに、コア試料及びそこから抽出された間隙水の微量元素・同位体分析を行い、断層内の流体の移動や地震時の断層の温度上昇を理解するための研究に取り組んでいます。

東北地方太平洋沖地震から学ぶことは、遠くない将来に発生すると考えられている南海トラフの巨大地震の理解にも役立つことが大いに期待されています。

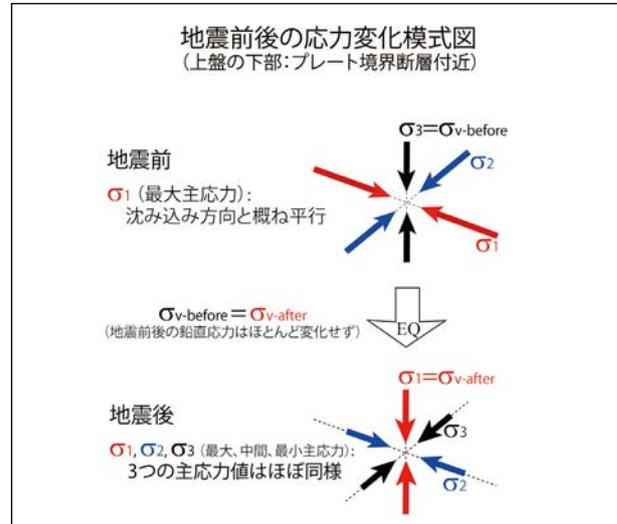


図1. 東北地方太平洋沖地震に伴う、海溝軸付近断層直上の応力状態変化を示す模式図 (Lin et al., 2013 *Science*)。地震発生前の逆断層型から正断層型へ変化を示す。

### ② 熊野灘の海底泥火山から保圧コア試料を採取

世界各地のプレート収束帯に点在する海底泥火山は、海底下深部に由来する流体やガスを含む密度の低い変質粘土が噴出したものです。熊野灘には、断層帯に沿って十数カ所の泥火山が確認されており、堆積盆と付加体境界付近における粘土鉱物の脱水と断層活動がその成因の一つと考えられています。

6月23日から28日にかけて、「ちきゅう」を用いて、熊野灘の泥火山群の中で最も活動的だと考えられている第五泥火山の掘削調査を行いました (首席研究者: 地下生命圏研究グループ 稲垣史生グループリーダー)。「ちきゅう」専用に関発されたハイブリッド保圧コアシステム等を用いて、海底泥火山における世界最高掘削深度となる約 200m までのコア試料の採取に成功しました。現在、地下生命圏研究グループを中心とする国際チームによって、詳細な地球化学・微生物学・堆積学の研究が行われています。(7月8日プレス発表)

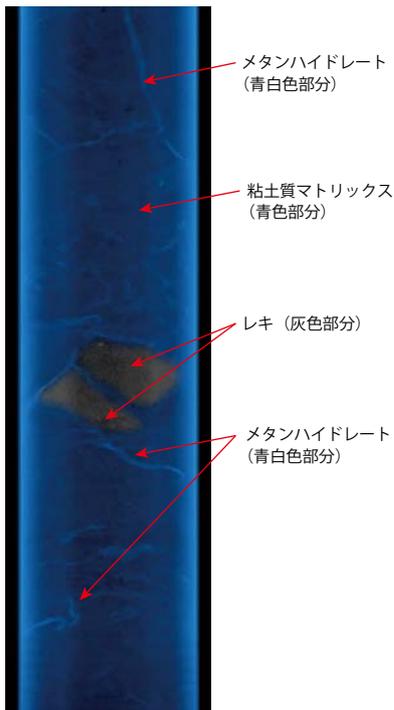


図2. 南海トラフ熊野灘第五泥火山の山頂部から「ちきゅう」のハイブリッドPCSシステムによって採取されたメタンハイドレートを含む保圧コアのX線CT画像



写真5. 高知コアセンターに保管されている保圧コア

本掘削により、海底下 650m から科学海洋掘削における世界最高到達深度となる 2,466m までのコア試料の採取に成功しました。また、ライザー掘削に用いられる泥水によって運ばれる天然ガス成分の連続的な地球化学分析や、電気検層による詳細な地下構造探査および砂岩層の地層流体の現場採取に成功しました。海底下 2,000m 付近には、熟成度が低い褐炭層と、鉄分に富む軟質の砂層・シルト岩からなる夾炭層構造が確認されました。本航海で得られたコア試料は、全て嫌気条件下で X 線 CT スキャン分析がなされたのち、1,700 以上の微生物学・有機地球化学分析用の試料が採取されました。現在、地下生命圏研究グループを中心とする国際チームによって、詳細な微生物学・地球化学分析が展開されています。(7月12日、9月6、10、27日プレス発表)

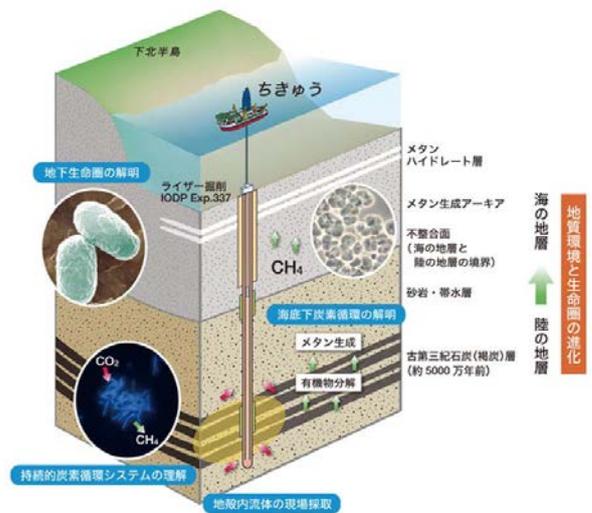


図3. 下北八戸沖石炭層生命圏探査航海の主な科学目標

### ③ IODP 第 337 次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」

2012 年 8 月から 9 月にかけて、青森県八戸沖約 80km の海底（水深 1,200m）にて、「ちきゅう」のライザー掘削システムを用いた IODP 第 337 次掘削航海「下北八戸沖石炭層生命圏探査」を行いました（共同首席研究者：稲垣史生）。本航海は、半世紀の科学海洋掘削史上初めての本格的な地球科学・生命科学融合研究を目的とした本格的なライザー掘削による掘削研究です。主要科学目標は、(1) 深部石炭層を根源とする炭化水素システムの解明、(2) 海底下深部生命圏の実態と生物学的炭素循環に対する役割の解明、(3) 持続的な炭素・エネルギー循環システムを創出するための基盤的・応用工学的研究、の 3 つです。

			
特徴	深海で形成された地層 (二枚貝や巻き貝の化石が含まれる堆積物)	石炭層 (厚さ7mの褐炭層の一部)	浅海～陸で形成された地層 (砂岩に石炭や石灰質粒子の薄い地層が含まれる堆積物)
採取区間 海底下 (m)	1,747-1,756.5	1,919-1,928.5	1,973-1,981.5

図4. 下北八戸沖の海底から採取されたコア試料の例

また、下北半島八戸沖から採取されたコア試料から環境DNAを抽出・精製し、次世代シーケンサーによる網羅的環境メタゲノミクス研究を行い、さらに同海底下環境の単一微生物細胞から抽出・増幅したゲノムDNAを用いたシングルセルゲノミクス研究を展開するため、米国クレイグベンターゲノム研究所との共同研究協定を締結しました。

#### ④ IODP第344次研究航海「コスタリカ沖浸食型沈み込み帯における地震発生過程の解明2」

中米コスタリカ沖東太平洋では、ココスプレートが中米（北米プレート）の下に沈み込んでおり、日本と同じような大地震に見舞われています。コスタリカ沖の地震発生過程を解明するため、米国の科学掘削船「ジョイデス・レゾリューション号」による「コスタリカ沖浸食型沈み込み帯における地震発生過程の解明2」の研究航海が10月23日から12月11日に実施され、高知コア研究所地震断層研究グループの研究員1名が参加しました。また、乗船研究者と共同で応力状態の解明や、熱物性の測定研究にも参加しています。

南海トラフと異なり、陸側プレートが削られてプレートと一緒に沈み込む浸食型で、どのように地震が起きるのかを比較研究することで、巨大地震の発生メカニズムの理解が大いに進むものと期待されます。

#### 地球惑星科学—生命科学システム研究の強化

次期科学海洋掘削の新しい科学目標「New Science Plan」のアウトラインは、国際的な掘削科学コミュニティの総意として、生命・海洋・地球惑星の起源と成り立ち、そしてその動的メカニズムの実態と行方を理解することが重要であると示されています。KOCHIでは、地震断層研究グループ・同位体地球化学研究グループ・地下生命圏研究グループが横断的に連携し、「ちきゅう」により掘削されたコア試料を主な研究対象とした超高感度・高精度分析による最先端の地球惑星科学—生命科学システム研究を目指しています。特に、生命と地球の共進化において重要な共通因子である「水」と「炭素」の空間分布と化学的・物理的動態は、生命や海・地球惑星の起源や進化プロセス、プレートテクトニクスや断層活動、地球環境変動などをシステムレベルで理解する上で極めて重要です。コア試料等に含まれるそれらの情報を最大限に正確に分析・評価するために、超高解像度二次イオン質量分析計 NanoSIMS をはじめとする各種超高感度質量分析機器による高精度同位体・元素分析や、地質固体試料からの超高精度の生命検出・定量技術の開発、シングルセルレベルのセロミクス・ゲノミクス分析技術の確立、現場再現・シミュレーション実験研究などを強化・推進し、最先端の地球惑星科学—生命科学システム研究を目指しています。



写真6. 超高解像度二次イオン質量分析計 NanoSIMS

## 海洋工学センター (MARITEC)

### 概要

海洋工学センターは、海洋に関する基盤的技術開発、船舶・観測機器の運用・管理・機能向上などの研究支援及び技術者の育成に関する活動を行っています。

### 基盤的技術開発について

海洋工学センターが開発した次世代型巡航探査機技術及び大深度高機能無人探査機技術を活かし、地球科学調査や海底資源探査を広域かつ高精度に行える自律型無人探査機 (AUV) 及び遠隔操作型無人探査機 (ROV) の建造、実用化を進めています。また、将来を見据えた先進的の海洋技術の研究開発も行っています。

探査用途によって、その機能が異なる3基の AUV は 2011 年度末に完成した3機の AUV は、それぞれ異なる機能を備え、探査用途に合わせた特徴のある観測機能や運動制御機能を用いることができます。これらには次世代型巡航探査機技術として独自開発してきた要素技術が随所に織り込まれています。たとえば、海水の pH と CO<sub>2</sub> 濃度を高精度で同時計測できるハイブリッド型センサー、従来の数十倍の解像度が得られる合成開口ソナー、ハイビジョンステレオ視カメラ、小型高精度の慣性航法装置、高密度大容量の深海リチウムイオン電池などが装備されています。2013 年度はこれら新 AUV を早期に実運用に移行させることを目指して、慣熟運転を行いながら一部の観測ミッションも行う複数回の海域試験を実施しました。



図1. 海底資源探査用巡航型 AUV「ゆめいるか」、地球科学調査用の巡航型 AUV「じんべい」と作業型 AUV「おとひめ」

大深度高機能無人探査機技術については、2011 年度までに、新しい要素技術として高強度浮力材、母船と探査機を繋ぐ高強度軽量光動力複合ケーブル、大容量光伝送システム、また、水中部の回転するケーブルドラムに用いる光ロータリージョイント、全周囲表示画像システム等を開発しました。これらの技術を活用し、海底鉱物資源のサンプリングや、探

査目的により大容量の観測・探査機器の搭載が可能な海底資源探査用重作業型 ROV の建造を開始し、年度末に機体製作・組立を完了しました。性能確認・調整のための海域試験を 2013 年度に実施の予定です。



図2. 海底資源探査用重作業型 ROV

日本海洋事業株式会社と共同で次世代型の海底地震計 (OBS) を開発しました。従来品と比べ、軽量・小型化し、非接触電力伝送や無線技術を採用してメンテナンスやデータ読み出し時の手間を大きく省いたことで、運用効率の飛躍的な向上を実現しました。観測データ品質の向上と合わせて、より大規模・高密度観測が可能となり、高度化する研究ニーズに合わせた調査活動へ利用されるようになりました。



図3. 左: 新開発の次世代型 OBS 右: 従来型の OBS

また、京セラ株式会社と共同開発した 11,000m 水深への対応も可能なセラミックス耐圧球を用いた超深海型海底地震計 (OBS) を実用化し、東北地方太平洋地震の震源域調査で 7,000m を超える日本海溝の海溝軸の構造探査、地震探査へ貢献しつつあります。

## 学術研究に関する船舶の運航等の協力について

学術研究船「白鳳丸」、「淡青丸」は東京大学大気海洋研究所が事務局を務める研究船共同利用運営委員会が策定する計画に基づき、運航管理を行っています。2012年度の航海日数は「白鳳丸」が265日、「淡青丸」が266日の合計531日でした。

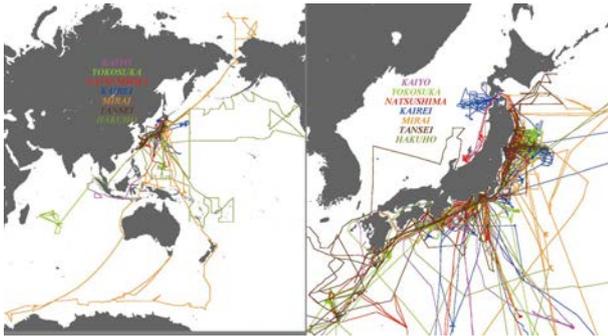


図4. 2012年度研究調査船航行軌跡

## 研究調査船、深海調査システム等の供用について

研究調査船と深海調査システムについては、外部有識者を含む海洋研究推進委員会が採択した公募利用研究課題と機構が自ら実施する研究課題を基に策定した運航計画に基づき、運航管理を行っています。また、運航に際して必要な漁業関係者等との調整、他国の排他的経済水域内での調査許可取得のための国内外の調整等を行っています。

今年度の特記事項としては、海洋調査船「なつしま」が7月から8月にかけて「ハイパードルフィン」による伊豆大島大室ダシの調査を行い、そこが活動的な海底火山であることを明らかにしました。

海洋調査船「かいよう」は6月に東インド洋の小型トライコンブイの設置・回収を行いました。また、2011年度から運用を開始した東南海地震震源域での「地震・津波観測監視システム」に続き、南海地震震源域での同システム構築のための事前調査を実施しました。新規に製作したAUV「ゆめいるか」、「じんべい」、「おとひめ」の試験・運用も「かいよう」で行いました。

有人潜水調査船「しんかい6500」および深海調査船支援母船「よこすか」は昨年度と同様、東北地方太平洋沖地震の震源域付近の海底観測調査等を行いました。また、「よこすか」が2009年7月にマリアナ海溝チャレンジャー海淵で11Kフリーフォール採泥カメラシステムを使用して水深

10,897mの海底から採取した「カイコウオオソコエビ」がバイオエタノールの生産等に大きく寄与することが期待できるという研究結果が発表されました。



図5. 捕獲したカイコウオオソコエビ

なお、「しんかい6500」、「よこすか」は2013年1月に「QUELLE2013 (クヴェレ2013)」と名付けられた世界一周航海に、最初の調査海域であるインド洋向け横須賀を出港しました。

深海調査研究船「かいいい」は「東北地方太平洋沖地震」以後、一般の関心が高まった地震調査を三陸沖、南海トラフ等で実施しました。

海洋地球研究船「みらい」は9月から10月にかけて北極海での観測を実施するとともに、12月から2月には初めて南緯60°以南の南極海で観測を実施し、南北両極域での調査を行いました。なお、この航海途上、係留索の切断により2ヵ月間漂流中だった豪州気象庁の気象・海洋観測ブイの回収を行いタスマニア島のホバートに寄港、引渡しました。

各船による一般公開は、4月に「白鳳丸」が下関で、5月の横須賀本部施設一般公開で「なつしま」船内公開と「かいよう」体験乗船、6月に韓国で開催された「2012EXPO麗水」で「よこすか」、「しんかい6500」、7月に「なつしま」が室戸、「かいいい」が尾道、8月に「かいいい」、「かいこう7000Ⅱ」が仙台、11月に「かいいい」が新宮で実施しました。



図6. 改造後のしんかい6500

各研究調査船の2012年度における航海日数は、「なつしま」が274日、「かいよう」が265日、「よこすか」が280日、「かいいい」が301日、「みらい」が300日の合計1420日でした。

有人潜水調査船「しんかい 6500」、深海巡航探査機「うらしま」、無人探査機「ハイパードルフィン」、「かいこう 7000 II」は、公募等により広く内外研究者のための運用を実施しました。「しんかい 6500」は就航以来の大規模改造工事を終え、深海調査に活躍しています。「うらしま」は制御 CPU の換装に合わせ、大型耐圧容器を分割化する作業を終えました。また、東京大学地震研究所が開発中の「移動体搭載型重力計システム」を「うらしま」に搭載し、重力計としては世界で初めて、海底に接近しての無人データ取得に成功しました。

赤道帯で発生して広範囲で異常気象を引き起こす気候変動現象のメカニズムを解明するため、大気海洋状態をモニ

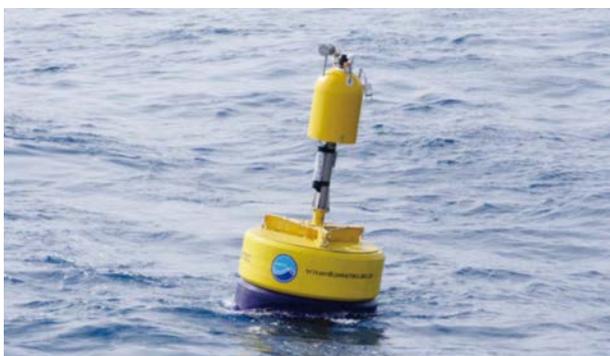


図 7. 南緯 60 度東経 140 度付近の南大洋ブイ



図 8. 出港搭載前の津波監視ブイ

ターする係留型の海洋観測ブイシステムを設置しています。

西太平洋では TRITON ブイ 15 基を、インド洋で小型・軽量タイプの m-TRITON ブイ 4 基を運用し、西太平洋で 1 基流出、インド洋で 1 基亡失の被害にあいながらも取得したデータを公開しました。また今後の継続的なブイ網維持のため、国際共同運用の拡充として 2013 年度完了を目標に m-TRITON ブイ技術のインドネシアへの移管にも取り組んできています。また、2012 年 1 月、東京海洋大学練習船「海鷹丸」により、南大洋アデリーランド沖南緯 60 度東経 140 度付近の位置に設置された南大洋ブイが、約 1 年に及ぶ試験係留を無事に終え回収されました。表面係留型海洋観測ブイによる同海域の高緯度域における観測成功は世界初の快挙であり、気候変動研究のキーになる技術として期待されています。

JAMSTEC の音響通信技術と強流域での係留観測ブイ技術を応用した津波監視ブイを開発・試作し、12 月に紀伊半島沖に試験設置しました。このブイには JAXA と東北大学の技術による地殻変動計測システムも搭載されており、今後の防災システムとして期待されています。

さらに、東北地方太平洋沖地震で被害を受けた漁場の復興を目指し、同地震が海洋生態系へ及ぼした影響に関する調査研究を実施するため、2013 年 6 月末の完成に向けて東北海洋生態系調査研究船「新青丸」の建造を進めています。また、2015 年度末の完成に向けて、「海底広域研究船」にかかる企画提案公募を開始しました。



図 9. 東北海洋生態系調査研究船「新青丸」

これらの研究調査船、深海調査システム等による研究成果は、機構施設の一般公開や成果報告会を通じて広く一般へ周知しており、2013 年 2 月に成果報告会「ブルーアース 2013」を開催しました。また、海洋工学センターの活動を一般の方々にご理解頂くことを目的として 9 月に「第 1 回技術報告会」を開催しました。

## 研究者および技術者の養成と資質の向上について

研究者および技術者の養成と資質の向上について機構の施設・設備を利用して、外部技術者等を対象に、潜水技術研修及び管理者向けの潜水管理業務研修を実施しました。また、海洋技塾を開催し、新入職員への技術研修を実施しました。



図 10. 潜水技術研修

## 地球シミュレータセンター (ESC)

### 概要

地球シミュレータは、2002年の運用開始から2年半の間、TOP500スーパーコンピュータランキングで1位に認定され、その性能によって地球科学ならびに関連科学技術の発展に多くの貢献をしてきました。2009年3月には新システムへの更新が完了し、131TFLOPS (1TFLOPSは毎秒1兆回の浮動小数点演算速度)の理論ピーク性能と高い実効性能で、様々な物理現象が複雑に絡み合う気候変動や地球温暖化などの海洋地球科学分野を中心に、産業利用等を含め幅広く研究開発に利用されています。HPCチャレンジアワードの性能測定では、Global FFT (高速フーリエ変換の総合性能)の指標で11.88TFLOPSの実行性能を示しています。これは2012年11月現在で理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」、米国IBM研究所のシステムに次ぐ世界第三位です。測定に用いたスーパーコンピュータ「京」の理論ピーク性能は地球シミュレータの81倍ですが、Global FFTの性能では17.3倍であり、地球シミュレータは4.7倍の高い実行効率を示しています。



図1. 地球シミュレータ

### マルチスケールモデリングの研究

地球上の気象や気候現象は、大気、海洋、陸面、海水、生態などの自然環境に加え、人間活動から排出される多くの化学物質などの複雑な相互作用を通して成り立っています。これらの現象は、様々な時空間スケールで成り立っているため、気象から気候変動現象までをシームレスに予測するために、The Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment (MSSG: メッセージと呼ぶ)の研究開発に取り組んでいます。このような予測モデルの研究開発は、

地球温暖化に伴ってエルニーニョ現象やインド洋ダイポールなどの気候変動現象が変化し、さらにそれらに影響を受けて、台風や豪雨、都市環境が、気候変動からどのような影響を受けるのかについての予測を可能とするものです。

このMSSGを使用して詳細なシミュレーションを実施し、温暖化が進んだ時の都市の環境予測を実行したところ、都市の境界層付近の気温は、道路、建物、土地利用による影響を強く受け、温暖化による気温上昇に加えて、都市域ではさらに約0.4～3℃さらに高温化することが明らかになりました。これらの気温上昇は、人工排熱が30%現状より増加した時と比較してもより高温です。これらの結果は、東京都における温暖化の将来対策に役立てるために、東京都へ報告されました(図2)。また、海洋の物質拡散過程メカニズムを解明するために、高解像度の高精度モデルによるシミュレーションを実施し、鉛直混合の精緻なモデル化の重要性を明らかにしました(図3)。

今後は、季節変動予測と局所的な災害を直接結び付けるメカニズムを解明するためのシミュレーションや、さらに具体的な施策や適応策の提案もしていきます。

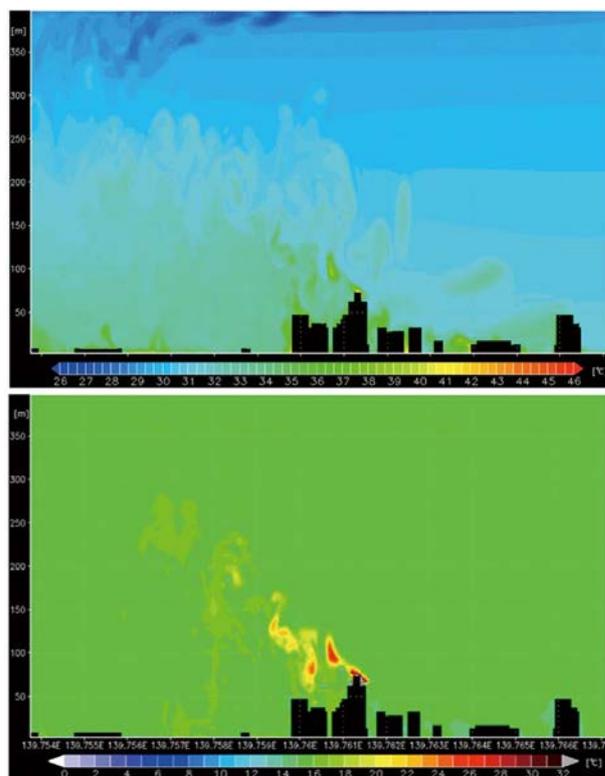


図2. 人工排熱を30%増加させたときの水平5m解像度の超高解像度シミュレーション結果。鉛直の気温分布(上図)と比湿分布(下図)

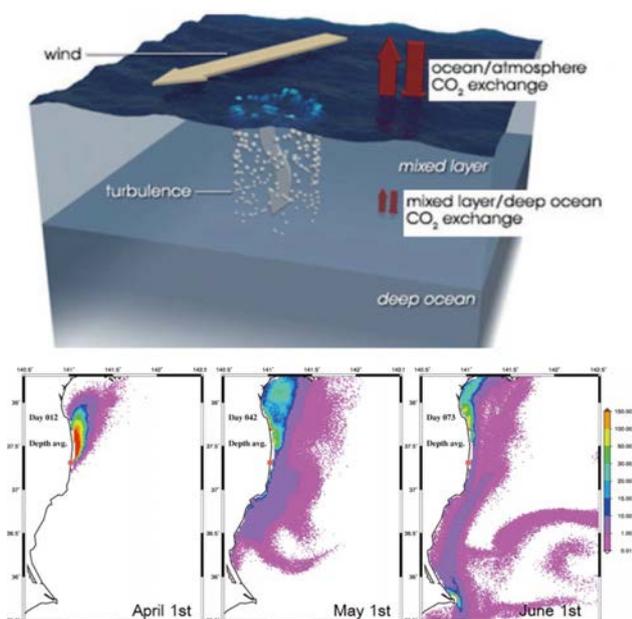


図3. 海洋の表層と深層における物質拡散のメカニズム（上図）。表層と深層では混合の仕方が異なる。このようなメカニズムを考慮した混合モデルをMSSGに導入し、海洋における物質拡散過程を、高精度にシミュレーションが実現できることを示した（下図）。

### 高度計算表現法の研究

シミュレーションデータをグラフィカルに表現する科学的可視化技術は、シミュレーションの結果を瞬時に把握しより確かなデータ解析につなげるための必要不可欠な手段です。また、シミュレーションで得た成果を内外に発信していく上でも欠かせません。地球シミュレータを用いたシミュレーションによって得られる膨大なデータを高速に可視化し効率よく有用な情報を引き出すため、我々はCAVEシステム「BRAVE」を用いたバーチャルリアリティ（VR）可視化、ビジュアルデータマイニング、そして社会への貢献を目指した可視化結果の発信手法の開発等、様々な先進可視化手法の研究を進めています。

VR技術を使った可視化に関する研究として、可視化ソフトウェアの操作履歴から、必要な操作のみを再適用するためのユーザインタフェースの研究を進めています。図4は、開発したWebアプリケーションを使って、スマートフォン上に表示された操作履歴の中から特定の可視化操作を選択している様子です。これを実現することにより、VR装置内でのインタラクティブな操作により描画された全ての可視化結果の中から、興味深い三次元構造を持つ可視化結果のみを選択的に利用することが可能となり、VR可視化をこれまで以上に効率的に行うことができるようになります。

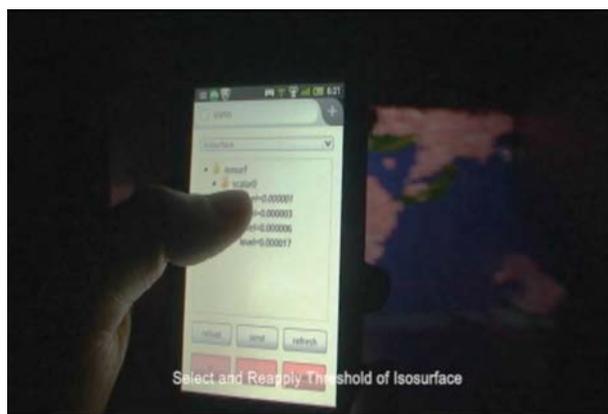


図4. スマートフォンを使ったVR装置用可視化ソフトウェアの操作の様子

次に、ビジュアルデータマイニングを海洋大循環モデルの結果に対して適用した例の一つを図5に示します。この例では、多変量解析の手法を用い、周辺の領域とは異なる特徴をもった構造を、変数空間における密度として計算しています。温度や密度、塩分等からなる多次元の変数空間におけるデータの密度を実空間に投影することにより、一つの物理量だけではなく、複数の物理量を総合的に見た特徴的な領域が抽出されています。特徴的な領域として、メキシコ湾流や赤道海流、カリフォルニア海流や海流前線、渦等が強調して表現されているのが解ります。何らかの現象が起きていると思われる注目すべき領域を直観的に認識することができるため、発見的な可視化、解析手法への応用が期待されます。

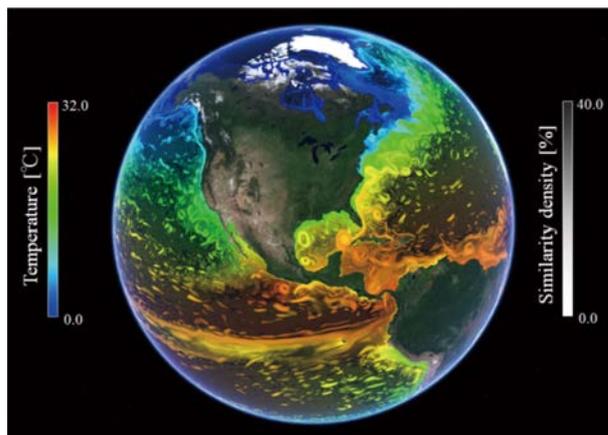


図5. 海洋大循環モデルの結果に対してビジュアルデータマイニング手法を適用した例

また我々は、シミュレーション研究成果の新しい表現と社会への成果発信のための研究開発プロジェクト「EXTRA WING」を推進しています。その一例として、本プロジェクトで開発したWebアプリケーションプログラムの外観を図6に示します。本

プログラムはインターネット上に公開されており、手軽な操作で誰でも簡単にシミュレーション結果を外側からも内側からも自由に観察することを可能にします。他にもシミュレーション結果の3次元表現技法、EXTRAWING コンテンツ作成用可視化プログラムの開発、そしてBRAVEを含むVR装置を用いたEXTRAWING コンテンツの立体的な観察手法の開発など、さまざまな表現手法、情報発信手法への展開を進めています。



図6. EXTRAWING Webアプリケーションの外観。  
<http://www.jamstec.go.jp/esc/extrawing/>

### 地球流体シミュレーションの研究

気候変動とその予測可能性の理解を向上するため、海洋モデル、大気モデル、大気・海洋結合モデルを用いてシミュレーション研究を行っています。大気・海洋結合モデルを用いた研究の一例として、ハワイ諸島から西方に日付変更線を越えて数千 km 延びる東向き海流であるハワイ風下反流の大気海洋相互作用の研究を紹介します。近年の衛星観測による研究から、ハワイ風下反流に沿って、海面水温の極大が分布、その水温極大に向かって海上風が収束、雲が生成されることが確認されました。また、全球大気・海洋結合モデルCFESでも、水温極大と海上風の収束を伴うハワイ風下反流が再現されていました(図7)。そこで、CFESの標準実験と海面フラックスの算出に用いる海面水温の極大を平滑化した感度実験、それぞれのアンサンブル実験を実施し、それらのアンサンブル平均を比較して海面水温極大による大気海洋相互作用を調べました。その結果、風の収束帯で生成される風の回転成分に海洋が応答し、ハワイ風下反流の南側で海流が加速、北側で海流が減速することが明らかにされました。南側の海流の加速は、北側の減速よりも顕著で、海面水温極大による大気応答に引き続く海洋への力学的フィードバックがハワイ風下反流を加速・維持していることを示唆して

います。また、この力学的フィードバックによる流速変化は熱を移流して、ハワイ風下反流の付近の水温に影響を及ぼします。本研究で実施した大気・海洋結合モデルの感度実験手法は、他の海域の海面水温前線がもたらす大気海洋相互作用のメカニズムの解明にも適応できる可能性があります。

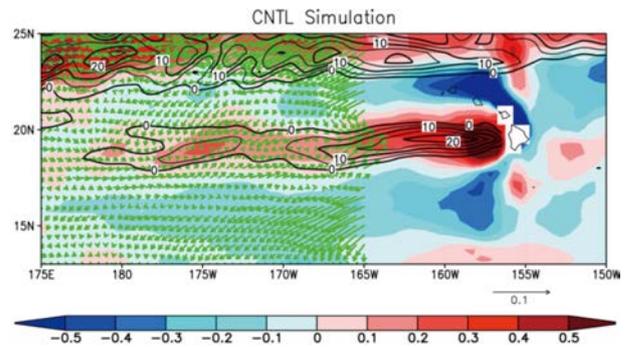


図7. 中解像度全球大気・海洋結合モデルで再現された海面水温極大と風の収束を伴うハワイ風下反流(色:海面水温 °C、コンター:海面流速  $\text{cm s}^{-1}$ 、ベクトル:風応力  $10^{-1} \text{N m}^{-2}$ 、海面水温、風応力は緯度方向の高周波成分)

### 観測システム設計手法の開発研究

観測とシミュレーションとを融合する世界最先端のアンサンブル解析システムを開発し、これを用いた観測システムの最適化や予測可能性について研究しています。このチームには、地球シミュレータセンターの研究者だけでなく、地球環境変動領域の複数のプログラムからも研究者が参加しています。また、メリーランド大学および同志社大学の研究者の協力を受けて研究を実施しています。

独自の解析システムを持っていれば、特定の観測データを使用した場合と使用しない場合とで解析結果がどのように異なるかを調べることにより、その観測データの影響や重要性を定量的に評価することが可能となります。このような研究は「観測システム実験」と呼ばれています。

海洋地球研究船「みらい」による2010年の北極海航海では、水縁で発生・発達した低気圧の詳細な観測に世界で初めて成功しました。北極海上では現業的なラジオゾンデ観測点が存在しないため、限られた期間ではあったものの、世界中に通報された「みらい」の観測データは極めて貴重なものであったと考えられます。

実際、我々のチームで開発したアンサンブル解析システムを用いてその影響を評価したところ、「みらい」のラジオゾンデ観測データを使用することにより、対流圏界面の折れ込みをより現実的に再現することが可能となり、300 hPa面の気温で5 K以上の差が生じることがわかりました(図8)。

また、その影響は広く 60°N 付近にまで及び、再現された亜寒帯前線ジェットも対流圏中上層で数 % 強化されていました。現在は引き続き、このような時間的に密な観測データが日本などの中緯度域に与える影響についても研究を進めています。

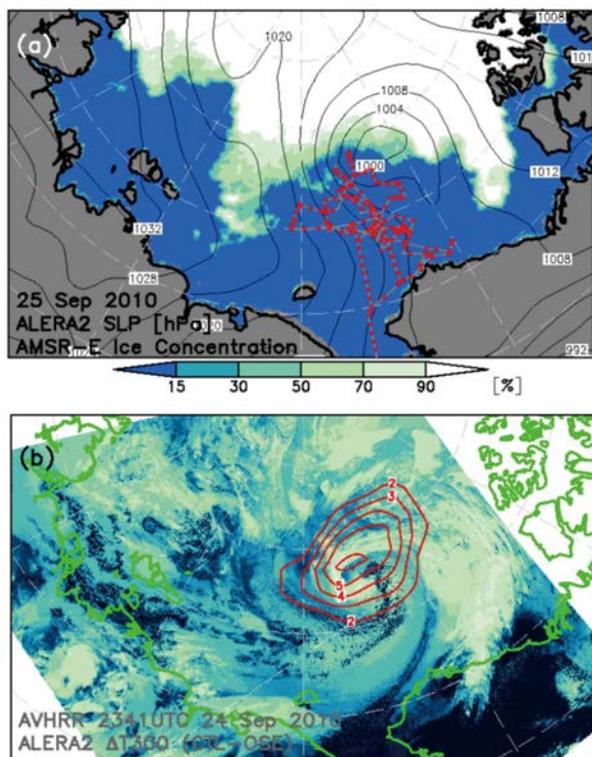


図8. (a) 海洋地球研究船「みらい」2010年北極海航海での高層気象観測点(赤点)および9月25日における海水氷接度(色)と海面気圧(等値線)。(b)「みらい」観測データを使用した解析と使用しなかった解析の300 hPa面における気温の差(赤実線)。背景は人工衛星画像。地図は、中央上端付近が北極点、左下がユーラシア大陸、右下が北アメリカ大陸。Inoue et al. (2013) より引用。

## シミュレーションの応用研究

地球シミュレータの産業界での研究・開発、設計・製造への活用を促進するため、文部科学省の先端研究施設共同促進事業による補助を受けて「地球シミュレータ産業戦略利用プログラム」を実施しています。2012年度は、利用分野「環境負荷を低減する技術開発」に9課題、「安全・安心な社会を実現する技術開発」で4件を採択し、計13課題の技術支援を実施しています。

その一例として、川崎重工工業株式会社による「大規模数値解析による電気機器高効率化技術の開発」を紹介します(「地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012 利用成果報告書」より引用)。モータ、トランス、リアクトルといった電気機器の高効率化は、省エネルギーの観点から非常に重要な課題です。高効率電気機器の新規開発設計において、電磁気シミュレーションは必要不可欠のものであり、そ

の技術力向上が開発の鍵を握るといっても過言ではありません。本課題では、地球シミュレータ上で電気機器の三次元有限要素法による大規模磁界解析を実行し、これまで詳細にみるのが困難であった、電気機器における詳細な電磁気現象を明らかにするとともに、電気機器の高効率化技術を開発することを目的としました。主にリアクトルの解析を実施し、コイルの素線を細分化する際の詳細な電流密度分布、磁束密度分布を明らかにするとともに、高効率化に対する課題を明らかにしました。

図9に解析モデルを、図10に、コイルの渦電流損失密度分布を示します。コイルの分割パターンを変えて解析したところ、素線が太い場合は、鎖交磁束密度が大きく、渦電流損失が大きくなるのが分かります。分割数を大きくすることが、損失低減に非常に大きく寄与することが分かります。

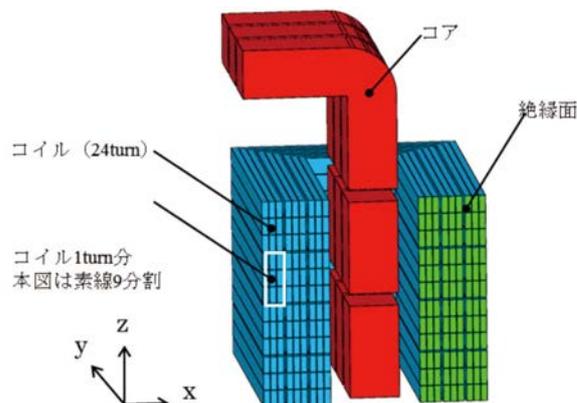


図9. 解析モデル

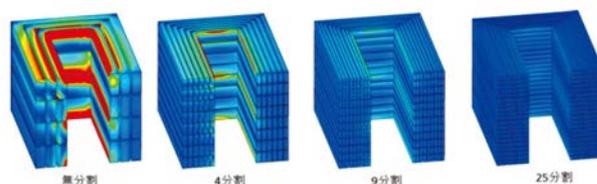


図10. コイルにおける渦電流損失密度分布(60Hz)

大規模数値解析により、リアクトルのコイルにおける磁束密度ベクトル分布、渦電流密度ベクトル分布、渦電流損失密度分布といった磁気現象が、定量的に明らかになりました。さらに研究を進めることにより、より高効率の電気機器の設計が容易となり、省エネルギー化への貢献、あるいは、冷却の簡素化による必要資源の低減に寄与するものと考えています。

## 地球シミュレータの有償利用制度について

地球シミュレータの利用では原則として利用者情報や研究概要が公表されますが、それらが公表されない非公開型の「成果専有型有償利用」制度も実施しています。この制度では、ユーザからのご相談に応じて専門スタッフがプログラム開発やチューニング等の技術支援をしています。はじめての利用で不安のあるユーザは、無償での試用（事前評価）も可能です。

2012 年度では、日本最大級の製造業向け専門展である設計製造ソリューション展（「日本ものづくりワールド 2012」、入場者総数 75,015 人（主催者発表））で、この有償利用制度のご紹介と幾つかの企業での活用事例を展示したところ、複数の企業からのお問合せをいただきました。

## 計算科学技術推進体制の構築

日本は毎年のように、台風、集中豪雨、地震、津波などに見舞われ大きな被害を被っています。特に、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖を震源とする超巨大地震とそれに伴う超巨大津波は、東北地方を中心に 2 万人近い犠牲者と壊滅的な被害をもたらしました。このような大規模な自然災害は社会・経済活動に深刻な打撃を与えることから、防災・減災に向けた迅速で効率的な対策が喫緊の課題となっています。大規模な自然災害をもたらす自然現象（ナチュラル・ハザード）に関しては、野外実験によって影響を評価し検証することは不可能であり、大規模シミュレーションによる検討が不可欠です。JAMSTEC ではこれまでも「地球シミュレータ」を用いて大規模シミュレーションを行ってきましたが、昨年度より「HPCI 戦略プログラム分野 3 防災・減災に資する地球変動予測」（統括責任者：今脇資郎地球情報研究センター長）も推進しています。本プログラムでは京速コンピュータ「京」と「地球シミュレータ」を連携させて、これらのナチュラル・ハザードに関する大規模で高精度のシミュレーションを全国の大学や研究機関と共同で実施し、地球温暖化時の台風の強さや数を全球的に予測すること、集中豪雨や局地的大雨の直前予測を実証すること、次世代型の地震ハザードマップのための基盤を構築すること、津波警報の高精度化を図ること、都市全域を対象とした自然災害シミュレーションにより被害の軽減を図ることなどを目標としています。

これらの研究推進のため、地球シミュレータセンターでは「京」が設置されている計算科学研究機構内（神戸市）の研究室と計算科学振興財団内の研究室を賃借し、「JAMSTEC 神戸サテライト」として運用しています。2つのスーパーコンピュータ、「地球シミュレータ」と「京」を利用する相乗効果を最大限に追求し、次代を担う若手研究者の育成にも努めてまいります。また、今年度より全国の計算資源を効率よく利用するための体制整備を行う HPCI (High Performance Computing Infrastructure) 及び、計算科学技術コミュニティの意見集約を行う HPCI コンソーシアムに参画しました。今後の効率的な計算資源の運用、および地球科学に関わるユーザコミュニティの代表として意見集約と発信に尽力してまいります。

## 地球情報研究センター (DrC)

### 概要

地球情報研究センター (DrC) は、JAMSTEC が取得するデータやサンプル情報の管理・公開と、それらに必要な情報システムの整備・運用に加え、様々なデータを統合することで新たな価値を生み出す付加価値データや、教育・研究および社会経済ニーズに対応した実利用プロダクトの開発・提供を行なっています。

データ技術開発運用部では、横浜研究所においてデータやサンプル情報の受領、保管、品質管理と、それら情報の公開システム構築を進めるとともに、昨年度に引き続き、震災・復興・防災対応関連業務についても、地震波形データ表示システムの構築や、太平洋の震災漂流物シミュレーションへのデータ提供、さらに東日本海洋生態系変動解析プロジェクトチームに参画して、東北大学・東京大学・JAMSTEC の連携による東北マリンサイエンス拠点形成事業のオフィシャル Web サイトを公開して、関連情報の発信を開始しました。

また、DrC の情報発信の拠点である国際海洋環境情報センター (GODAC: ゴーダック) では、沖縄県名護市において、DrC で扱う各種データや深海映像情報の公開、ならびに地域における理解増進活動を行っています。GODAC では、新たに沖縄県北部地域の教育機関や博物館等との連携協力体制の構築を進めており、沖縄県北部地域での人材育成や海洋科学技術の理解増進のためのイベント協力や、コンテンツ開発の協働化の検討を開始しました。

## 1. 海洋地球観測データ・サンプルの管理と公開

### 1) データ検索サービスの提供

DrC では JAMSTEC が公開しているデータベースを横断的に検索するシステムとして、地図上で観測データを検索できる「データ検索ポータル」と分類ツリー上のキーワードからデータベースを絞り込むことができる「データカタログ」を公開しています。今年度は文部科学省の依頼により「地球観測データおよびメタデータのアーカイブと連携利用の促進」のために「2011 年度の我が国における地球観測の実施計画」の登録事業についてデータ公開サイトのメタデータを「データカタログ」から DIAS データ俯瞰システムに提供しました。

「データ検索ポータル」には約 40,000 件のデータ・サンプル情報が、「データカタログ」には 35 件のデータベース・データサイト情報がそれぞれ登録されています。

### 2) 船舶観測データ・サンプル情報の公開

JAMSTEC の船舶、潜水船などで得られた観測データやサンプル情報を公開してきた「観測航海データサイト」をデータベース化した「航海・潜航データ探索システム (DARWIN)」を昨年度に構築しました。今年度は旧サイトからデータを移行した他、新規公開するデータを追加して DARWIN の一般への公開を開始しました (図 1)。公開済みのデータ数は約 4,205 件 (航海数は約 862) となっています。

DARWIN では、充実した検索機能と俯瞰機能により必要な情報に少ない手順でアクセスできる他、複数のデータをまとめてダウンロードできるなど、ユーザーの利便性を向上させています。また、管理機能の強化によりデータの登録・公開の効率化も図りました。



図 1. 「JAMSTEC 航海・潜航データ探索システム」のページ例

DARWIN に掲載しているクルーズレポートなどの文書データは、「文書カタログ」で管理・公開されています。文書カタログでは、JAMSTEC の研究成果としての論文や報告書、広報用書誌などの文書データが、現在約 2,500 件公開されています。

「深海底岩石サンプルデータベース (GANSEKI)」では、公開データの充実、ユーザーインターフェースの改善、他の航海情報データベースとの機能統合などを目的として、新システムへの移行を進めました。2009 年より連携している国際的な岩石化学ポータルサイト EarthChem へのメタデータ提供も継続しており、研究・教育や広報等の目的で岩石サンプルを提供しました。GANSEKI の登録済みメタデータは 22,702 件、サンプル数は 11,114 件、化学分析データは 17,981 件に増加しました。

海底堆積物の柱状試料（通称：コアサンプル）の情報公開サイト「JAMSTEC コアデータサイト」では、文献情報や X 線 CT スキャノグラム像の公開を開始し、閲覧可能なデータ種の多様化を進めました。データの公開数は 813 件に、サンプルの公開数は 4,433 件に増加しました。サンプルの利用申請件数は 24 件でした。

今年度は、岩石サンプル・コアサンプルやデータの利用拡大のため学会やシンポジウムで積極的な発表を行いました。

「海洋生物サンプルデータベース」は、JAMSTEC の航海で取得した生物サンプルの情報を一元的に見られるデータベースです。今年度は検索機能の強化、サンプル利用案内等をまとめたページの追加などを行いました。また、サンプルを保管する個々の研究者と連絡をとり、サンプルの現在の保管状況を確認し情報を更新しました。このデータベースは 2009 年度から運用していますが、海洋生物多様性研究プログラムが 1980 年代から収集してきた生物サンプル約 12,000 件の情報に加え、これまでに合計 26,000 件以上のデータを公開しています。そのデータの多くは BISMAL にも共有され、国際的なデータベースである OBIS へのデータ提供にも貢献しています。



図2. 海洋生物サンプルデータベースのトップページと登録されている深海生物サンプル

### 3) 映像・画像データの公開

JAMSTEC の潜水調査船や無人探査機などにより撮影された深海の映像や画像の管理では、保管している全潜航分の映像テープやスチール写真のデジタルファイル化が今年度終了しました。船上でハードディスク録画が主流となったことを受けて、映像ファイルの LTO5 メディアでの保管業務の標準化に取り組みました。また、管理・公開業務を効率化するために、業務フローの見直しやシステム化を開始しました。2011 年 11 月に公開した「深海映像・画像アーカイブス (J-EDI)」では、公開用映像フォーマットの最適化を進めると共に、約 2,700 潜航分の深海調査映像や画像にコメントを付け、旧システムよりも作業効率を大幅に向上させました。さらに、深海映像ギャラリーとして、コメント付を担当するスタッフのお気に入り映像をピックアップしたページを公開しました (図 3)。



図3. スタッフのお気に入り深海映像

### 4) 生物多様性情報の公開

海洋生物の多様性・分布情報を扱う統合データサイト「海洋生命情報バンク基盤システム (BISMAL)」は、JAMSTEC の生物関連情報の公開と、国際的な海洋生物多様性データベースである海洋生物地理情報システム (OBIS) の日本ノード (J-RON) 機能を担うシステムです。DrC は海洋・極限環境生物圏領域との連携の下にこのシステムを構築・運用しています。

今年度は、生物出現情報の受入れ準備として、BISMAL 上の生物分類群データの対象範囲を動物のみからアーキア・バクテリアを含む全生物に拡張し、大型藻類や植物プランクトンを含む 5,500 種の生物名を登録・公開しました。加えて、BISMAL での検索・情報表示方法を見直し、生物出現情報

の検索・閲覧画面追加のための機能強化を進めたほか（図4）、登録されたデータの利用促進を図るために、作図機能を備えた「海洋生物分布可視化・解析支援システム」を構築し、次年度の外部公開を目指して試験運用・機能向上を実施しました。

J-RON への対応としては、外部研究機関の代表者を含む J-RON 運営委員会を設け、J-RON ホームページを開設すると同時に、外部データの受入れを開始し、環境省環境研究総合推進費関連プロジェクトのデータセット（14 データセット、約 11,000 レコード。公開はプロジェクト終了後を予定。）を BISMAL に登録しました。さらに、連携各機関から提供の申し出のあった数万から数十万件のレコードからなる複数のデータセットについて、その登録・公開のため、データの品質チェックや標準化を進めました。

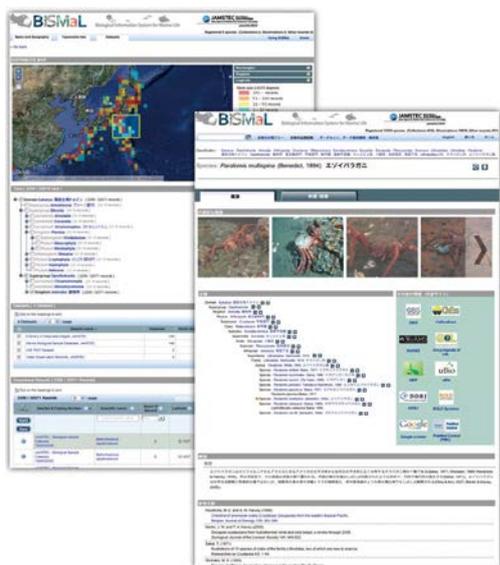


図4. BISMAL 次期バージョンの開発中画面  
（左上：生物出現情報検索・閲覧画面、右下：分類群情報表示画面）

## 5) データ公開サイトのアクセス解析

最近では社会経済的なユーザーも含めたニーズへの対応が意識されてきています。データ公開サイトに対するニーズの把握やサイト改善に結びつく情報を抽出することを目的に、DrC のデータ公開サイトのアクセスログ収集・分析を実施しています。これまでに各サイトのアクセスログを一元的に集約し、日次での自動集計と月次での評価を実施しており、今年度はこれらをルーチン化して、各サイト訪問数（図5）とページビュー数を中心とした集計を行いました。これにより定期的なサイト利用傾向や各サイト改善効果の把握が可能となりました。さらにアクセス元を国別や業種別で分類すると共に、アクセス数上位の抽出を行うことで、各サイトにおける主要ユーザーの特定

を進めました。DrC サイト全体で昨年度に比べて訪問数やページビュー数が概ね増加しているのは、昨年度に公開したサイトが定着してきたことと、学術系機関からの観測データダウンロードが頻繁に実施されたことに因るものと考えています。

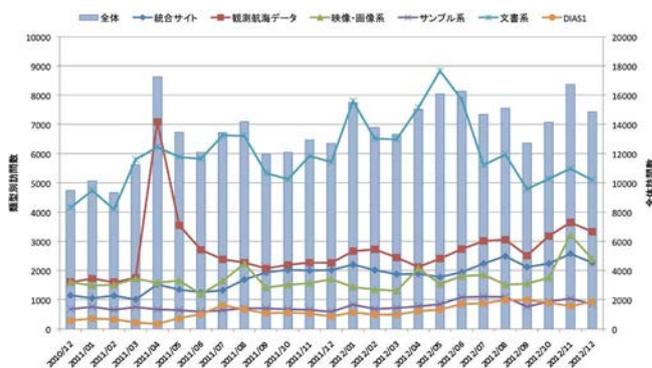


図5. DrCのデータ公開サイト全体および類型別の訪問数の推移

## 2. 社会が必要とする新しいデータの提供

### 1) データ統融合と付加価値プロダクト

DrC は、時系列的にも力学的な解析が可能な大気・海洋・低次生態系結合四次元変分法 (4D-VAR) 同化システムを開発し、現象の逆解析、観測システムの最適配置、季節から経年スケールの予測精度の改善などに役立っている研究を行っています。また、得られた同化プロダクトを基に、より詳細な循環場を求めるためのダウンスケリングシステムの開発研究も行っています。

#### a. 季節・経年変動の予測

季節・経年変動の予測精度を改善するには短期変動成分が除かれた 4D-VAR プロダクトを初期値にすることが有効と考えられています。

今年度より、4D-VAR プロダクトのさらなる改良のために、地球環境変動領域・海洋環境変動研究プログラム・戦略的海洋監視研究チームの協力の下、4D-VAR 同化システムに新たに同化データとしてアルゴフロートデータを加えた実験を行い、より高品質な 4D-VAR プロダクトの作成とアルゴデータのインパクトの科学的な評価に取り組んでいます。

図6は、2010年1月～3月の同化期間でアルゴデータの有無による195m深水温結果の観測との偏差を、予測期間を含めた1年間分でプロットしたものです。アルゴ入り実験では同化期間で偏差が大きく減少しているだけでなく、予測期間においてもその効果が持続していることがわかります。

図7は、2011年4月の海上風プロダクトに関するアルゴデー

タの有無による差を示したもので、アルゴデータ導入による海洋表層・亜表層の水温・塩分場の改善が、4D-VAR 大気・海洋結合データ同化システムを通じて、大気場にもインパクトを与えていることを示しています。アルゴデータ導入による大気海洋場の修正プロセスの科学的な解明をさらに進めていきます。

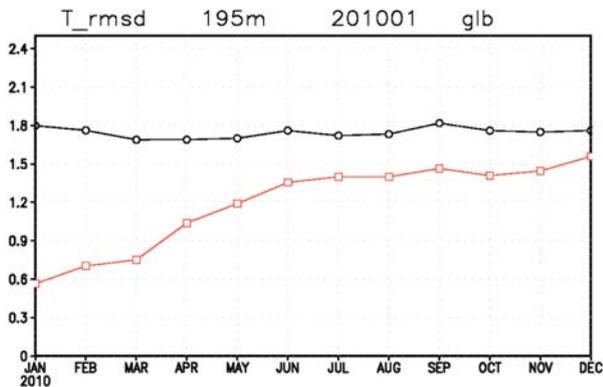


図6. 195 m 深水温のモデル結果と観測 (アルゴ) との二乗平均平方根偏差 (全球平均) の2010年1年間時系列。単位は℃。赤線はアルゴ入り実験、黒線はアルゴなし実験。最初の3カ月は同化期間、その後は予測期間。

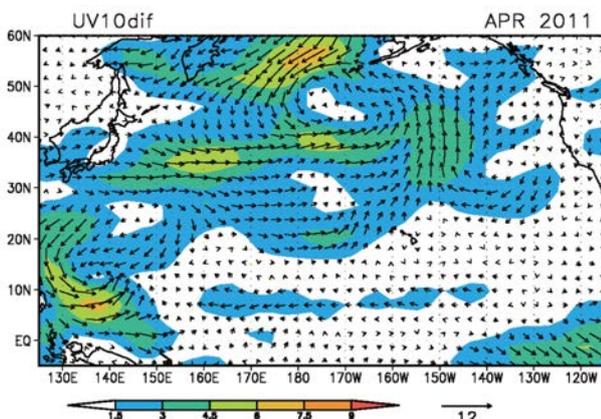


図7. 2011年4月の月平均海上風 (m/s) における、アルゴ入り実験とアルゴなし実験の差。

### b. 水産資源変動の予測

2010年度より文部科学省からの受託業務として、各大学・研究機関と八戸漁協等の協力を得て、アカイカを対象として漁場探索および資源変動予測システムを開発しています。今年度は渦解像データ同化プロダクトに好適生息域モデル (HSI モデル) を適用し漁場推定を行うシステムや、漁業資源の中期変動を予測するシステムの開発を進めるとともに、操業中の漁船に対して、各要素モデルのプロトタイプを用いて得られた漁海況情報の実験的な配信を行いました。図8は2012年5～7月にアカイカ漁場推定モデルの結果をテスト配信したウェブサイトで、各イカ釣り漁船はインマルサット通信を介してこのサイトにアクセスし、日々の漁海況情報を取得できるようにしました。また図8と9は、実際に配信した漁場の水温

や好適生息域分布で、これらの情報配信が実際の操業で役に立つことを確認することができました。

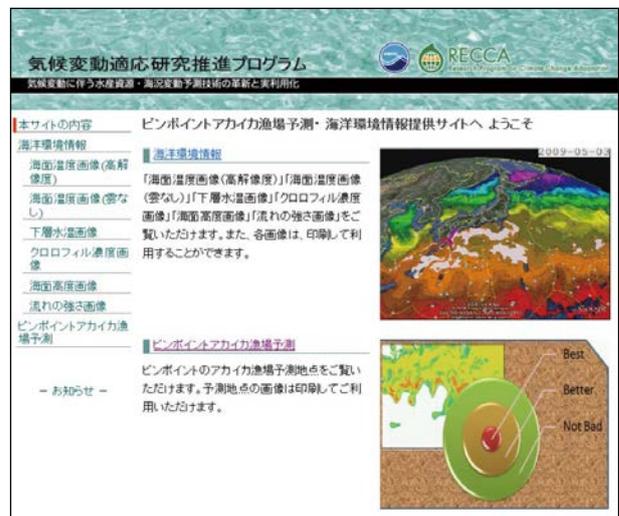


図8. アカイカ漁海況情報テスト配信サイト

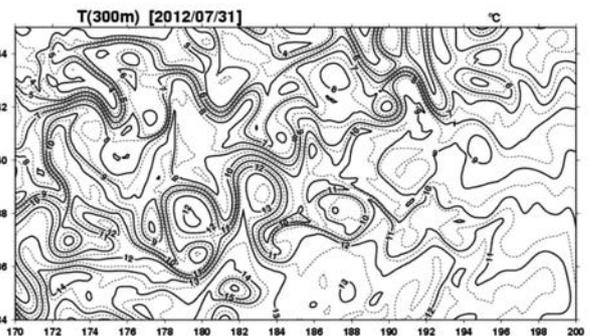


図9. 夏イカ漁場における300m深の水温度分布予測図

### c. データ統合・解析システム (DIAS)

さまざまなステークホルダーとの協働のもと、多種多様な観測データや同化・予測プロダクトと社会経済活動ほかの統計データを融合し、気候変動適応、資源管理、防災など新たな科学知や公共的利益を創出するデータ統合・解析システム (DIAS) の研究開発が2006年度から文部科学省の受託研究で進められています。

その2期目の事業である「地球環境情報統合プログラム」が、東京大学を代表機関として、JAMSTEC、宇宙航空研究開発機構、国立環境研究所ほかとの協働のもと昨年度から実施されています。DrCは大気・海洋結合データ同化プロダクトをさまざまな利用分野に提供するためのシステムのプロトタイプ開発に着手するとともに、2016年度からの実運用段階の開始に向けて、その運用体制についての概念設計を行っています。

## 2) 震災・復興・防災対応

### a. 漂流ガレキの調査

東日本大震災によって流出した大量のガレキや、原発事故によって流出した放射性物質の分布を推定・予測する研究を昨年度に引き続き関係機関と協力して行いました。漂流ガレキや放射性物質は数年かかって北太平洋全域に広がっていくと考えられるため、大気・海洋結合データ同化システムによって得られた再解析プロダクトと季節・経年変動予測から得られた海上風、海洋表層流速場を用いて、流出後の追跡を行いました。漂流ガレキのシミュレーションは政府の省庁連絡会議との連携のもと、環境省から発注され、当機構を代表研究機関として、京都大学、気象研究所、日本原子力研究開発機構および宇宙航空研究開発機構が協力して実施しています。また、放射性物質の拡散シミュレーションは日本原子力研究開発機構との共同研究として実施しています。

### b. 東北マリンサイエンス拠点形成事業への参画

2011 年度に開始された、「東北マリンサイエンス拠点形成事業 (TEAMS)」において、東北大学・東京大学・JAMSTEC を中心とした研究体制による調査観測により得られたデータや様々な活動情報などを管理・公開していくための取組みを進めています。2012 年度は、TEAMS オフィシャル Web サイト (図 10. i-teams.jp) を公開するとともに、TEAMS で扱うデータポリシーの策定や、調査計画情報メタ情報収集の仕組み、それらの受領情報の整理、調査データ受入準備体制の検討・構築を進め、TEAMS データ公開システム基盤や調査観測データセット公開システム (仮称) のプラットフォーム構築を開始しました。

### c. 地震研究情報データベースの構築

2011 年度に 20 観測点すべての設置が終了した海底地震・津波観測ネットワーク (DONET) の観測データは、JAMSTEC 横浜研究所でリアルタイム受信して国際的な標準フォーマットによりデータベースに格納されています。また、地球内部ダイナミクス領域では、海底地震計観測や、マルチチャンネル地震探査により構築された、紀伊半島および四国沖の地殻構造データを収集しています。今後大地震の発生が予想されているこの地域で詳細な地震活動を監視し、大地震の発生メカニズムを研究するために、これらのデータベースを統合した地震研究情報データベースを作り上げることを目的として、2011 年 12 月に DrC に地震研究情報データベース構築チームが設置されました。統合するデータベースは、JAMSTEC 横浜研究所において受信している、DONET のデータおよび、地球内部ダイナミクス領域が構築した地殻構造データと海底地震計データなどで、今後 2 年をかけて、これらのデータベースを統合して利用できるシステムを構築する計画です。

また、横浜研究所で受信した DONET データは win32 形式というフォーマットであり、これを国際的な標準フォーマットである SEED に変換し、公開用のサーバーに保存しています。強震動地震計と水圧計のリアルタイム波形画像を、外部からインターネット経由で閲覧できるシステムを今後 2 年をかけて開発する予定です。これは、東日本大震災により発生した津波が、海底に設置した水圧計を用いて、海岸に到達する以前に検知することが可能であることがわかった事が背景となり、今後、DONET の設置された地域の自治体に向けた、リアルタイム波形画像の提供を念頭に置いたシステム開発を実施する予定です。



図 10. TEAMS オフィシャル Web サイト (i-TEAMS) のトップ画面

### 3. 海洋科学技術の理解増進活動

#### 1) 国際海洋環境情報センター (GODAC:ゴードック) における海洋科学技術の理解増進活動

GODAC では、講義室や映像システム等の各種施設・設備を一般開放するとともに、JAMSTEC の最新の研究活動を紹介する「ゴードックセミナー」(通算 43 回、2012 年度 3 回)、海洋科学への理解増進を目的とした児童向けイベントである「海洋教室」(通算 22 回、2012 年度 4 回)、施設一般公開(2012 年 11 月 23 日実施、来館者数 970 名)、JAMSTEC の活動をより理解していただくための様々な試みや各種イベントを通じて、海洋科学技術の理解増進、普及啓発活動を実施しています。

開所以来の来館者数は 135,632 人(2012 年 12 月末現在)となりました。



図 11. GODAC 施設一般公開の様子

#### 2) 地域関連機関との連携推進

GODAC では、職場体験学習・インターンシップの受入れや、「名護市環境フェア」、「名護夏祭り」などの各種地域イベントへ出展・協力することにより、地域へ向けた活動を実施しています。

2012 年度からは、沖縄県北部地域公共機関(名護市、沖縄工業高等専門学校、琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設、名桜大学、名護博物館、沖縄美ら海水族館等)と地域貢献等を目的に連携・協力する体制の構築を進めています。これらの機関の人材・技術の交流等を通じ、海洋科学技術情報の利活用と人材育成に資する情報ネットワークの構築を目指します。



図 12. 地域関連機関との連携を進めるための全体会議の様子

## 地球深部探査センター (CDEX)

### 概要

地球深部探査センターは、統合国際深海掘削計画(IODP)の主要な実施機関として、国際枠組みのもとで地球深部探査船「ちきゅう」(図1)を安全かつ効率的に運航しています。同時に、「ちきゅう」から得た研究データ等のデータベースを充実させ、データを適切に管理・提供することで、乗船研究者やIODP関連研究者が最大限の能力を発揮できるよう支援を行っています。また、IODPの目標達成のため、次世代海洋探査技術と位置づけられている、「深海底ライザー掘削技術」の開発・技術の蓄積を推進しています。



図1.地球深部探査船「ちきゅう」

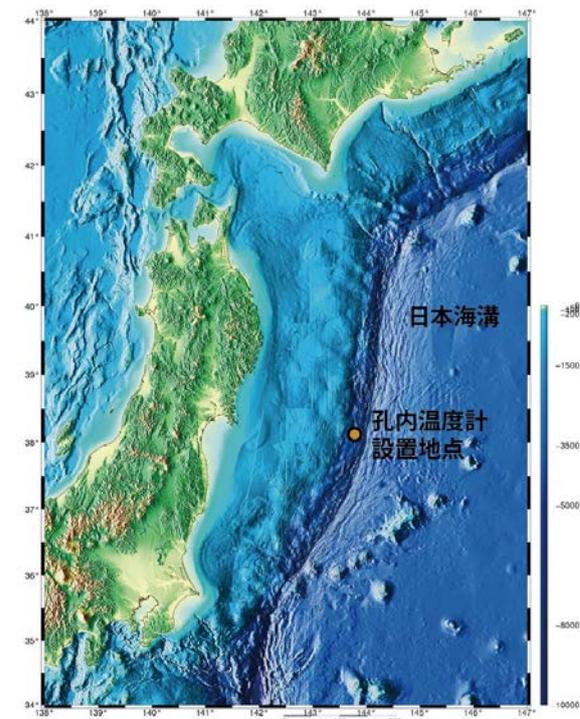


図2. 東北地方太平洋沖地震調査掘削調査海域図

### 東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST I & II)

巨大地震と津波を引き起こしたプレート境界断層の摩擦特性の解明のため、2012年4月1日から5月24日まで宮城県牡鹿半島沖合約220kmの日本海溝海溝軸付近の海域(図2)にてIODP第343次研究航海「東北地方太平洋沖地震調査掘削」を実施しました。

本航海では、海底からプレート境界に到達する海底下850.5mまでの掘削同時検層を行い、地層の物性データを取得するとともに、海底下648m～844.5mの区間で、プレート境界断層を含む岩石コア試料を採取しました。

さらに、同年7月には、プレート境界断層及びその付近での摩擦熱による温度上昇を計測するために長期孔内温度計(図4)の設置に成功しました。海溝型地震において地震発生後早期にプレート境界断層の温度計測を実施することは世界で初めての試みとなります。

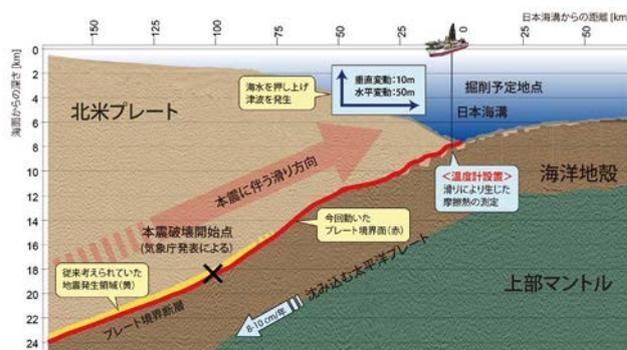


図3. 東北地方太平洋沖地震調査掘削海域海底下構造概念図

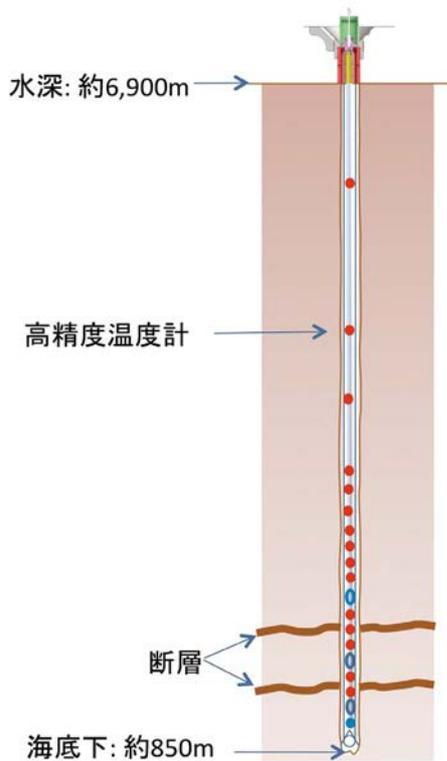


図4. 東北地方太平洋沖地震調査掘削  
長期孔内温度計編成概念図

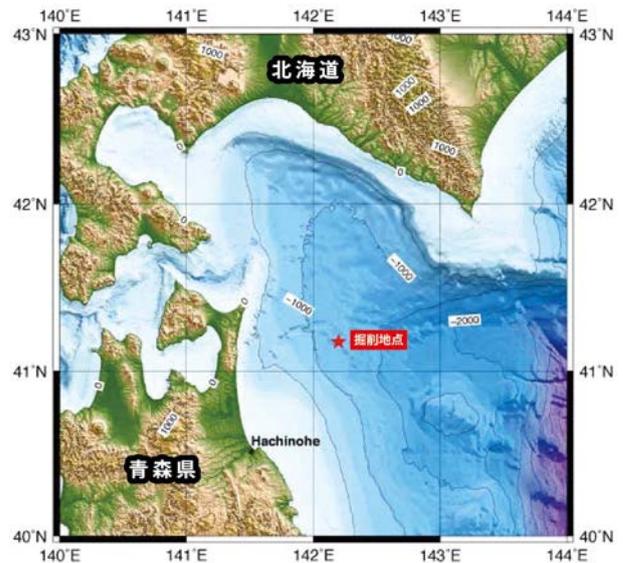


図5. 下北八戸沖石炭層生命圏掘削  
調査海域図

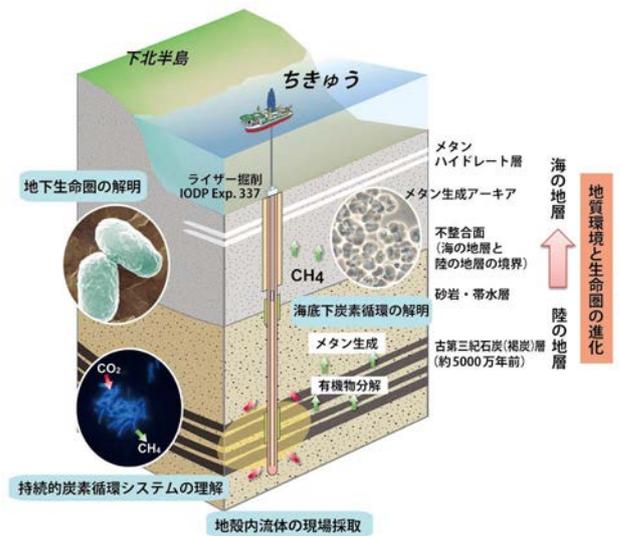


図6. 下北八戸沖石炭層生命圏掘削計画  
科学目標の概略図

### 下北八戸沖石炭層生命圏掘削

下北八戸沖の海底下炭素循環システムと地下生命活動の解明のため、2012年7月26日から9月23日まで、八戸沖約80km(図5)の海域において海底下2,466mまでの掘削を行いました。この計画では、2006年の「ちきゅう」慣熟訓練航海期間中に試験掘削された海底下約650mまでの掘削孔を、レーザー掘削システムを用いて掘進し、海底下1,276.5m～2,466mの区間において地層のコア試料・流体試料(地層中に存在する地下水等)の採取を行うとともに、掘削孔内に検層装置を降下させ、地層の物性データの取得を実施しました。

海底下2,466mまでの掘削によって、1993年に米国のジョイデスレゾリューション号が赤道太平洋エクアドル沖でレーザー掘削により到達した、海底下2,111mの海洋科学掘削の世界最深度記録を更新しました。

現在、海底下深部の石炭層を中心とした地下微生物活動の評価、遺伝子情報の解析や培養観察による微生物代謝機能および進化プロセス等について、地球科学や生命科学を融合した最先端研究を展開しています。

			
特徴	深海で形成された地層 (二枚貝や巻き貝の化石が含まれる堆積物)	石炭層 (厚さ7mの褐炭層の一部)	浅海～陸で形成された地層 (砂岩に石炭や石灰質粒子の薄い地層が含まれる堆積物)
採取区間 海底下(m)	1,747-1,756.5	1,919-1,928.5	1,973-1,981.5

図7. 下北八戸沖石炭層生命圏掘削において海底下から採取されたコア試料の例



また、ライザー掘削時に発生する海底下のガス成分をリアルタイムで分析するための、ガスモニタリングシステムをあらたに船上に搭載しました。本システムにより、これまでは失われていた海底下のガス成分を分析し、サンプルを採取することが可能になりました。本システムは今年度を実施された下北八戸沖石炭層生命圏掘削及び南海トラフ地震発生帯掘削において使用され、海底下のガス成分の起源や流体物質循環の解明の手がかりとなる貴重なデータを得ることができました。



図10. 「ちきゅう」船上ガスモニタリングシステム

## 教育・普及広報

地球深部探査船「ちきゅう」による科学掘削航海と研究内容を広く理解していただくために、動画番組「ちきゅうTV」や広報誌「地球発見ウェブマガジン」をはじめとした研究活動を伝える情報コンテンツを取材制作し、ウェブを通じて紹介しています。



図11. 「ちきゅうTV」東北地方太平洋沖地震調査掘削での船上の様態を特集 ([www.jamstec.go.jp/chikyu/tv/](http://www.jamstec.go.jp/chikyu/tv/))

また、全国各地の学校、科学館等において、地球・生命科学の基礎や研究する醍醐味に触れる野外実習の活動支援や出前授業、講演を実施しています。



図12. 玩具メーカーから一般発売された「ちきゅう」プラモデル (研究活動を紹介する付属解説書を含めて全面監修)

### 3. 賛助会について

海洋研究開発機構の前身である海洋科学技術センターが、1971年10月に我が国の海洋科学技術研究開発の中核的機関として、産学官の密接な協力と支援により、海洋科学技術センター法に基づく民間（経済団体連合会）発起の認可法人として設立されましたが、これに合わせて、研究開発活動について幅広くご理解とご支援をいただくため、賛助会制度が設置されました。本制度は、産業界及び各種団体からの寄付を通じたご支援をいただき、日本の海洋科学技術の発展を共に推進していくものであり、設置後、本制度を通じて産業界及び各種団体各位より多大なご支援をいただき、海洋科学技術に関する総合的研究開発の推進に必要とされる施設・設備の整備や機能向上等を行って参りました。

2004年4月1日に海洋科学技術センターは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、引き続いての本制度を通じた産業界及び各種団体各位からのご理解とご支援の下、地球を一つのシステムととらえ、地球環境変動の予測研究や生命の起源解明に向けた研究等の一層の推進及びこれらの研究を支える各種基盤技術開発を行い、数々の研究成果を生み出して参りました。

この度、賛助会制度が発足して40年を迎えましたが、今後につきましても、引き続き、外部に一層開かれた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、各種研究成果の事業化等を通じた社会貢献を果たすべく、賛助会にご加入いただいております会員の皆様と共に歩んで参りたいと考えております。

厳しい国家財政状況が続く、機構としても経費の節減及び各種プロジェクトの効率化に最大限の努力を払って参っておりますが、この賛助会制度の運営につきましては、今後とも、会員の皆様の従前と変わらぬご支援を賜りたく、引き続いての一層のご理解とご協力をお願い申し上げます。（賛助会費＜寄付金＞の取り扱いについては、法人税法第37条により税法上の特典がございます）

#### ●会員特典

- ・出版物の配布（ブルーアース、なつしま等）
- ・図書等の情報資料の利用
- ・講演会等の開催案内
- ・研修受講の優遇
- ・技術指導等のための指導者派遣
- ・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
- ・知的財産権の使用の優遇
- ・試験研究の受託の優遇
- ・その他

賛助会に関するお問い合わせは、下記までお願いします。

独立行政法人海洋研究開発機構  
総務部 東京事務所

住所：〒100-0011 東京都千代田区内幸町2-2-2  
富国生命ビル 23階

電話：03-5157-3900  
FAX：03-5157-3903

賛助会セミナー



サイエンスカフェ【マルカフェ】



試験潜航視察及び「かきれい」体験乗船



見学会



賛助会員名簿

平成25年3月31日現在、次の企業及び団体の皆様より、賛助会費、寄付金をいただいております。(五十音順)

株式会社IHI	相模運輸倉庫株式会社	トビー工業株式会社
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	佐世保重工業株式会社	株式会社中村鐵工所
株式会社アイケイエス	サノヤス造船株式会社	西芝電機株式会社
株式会社アイワエンタープライズ	三建設備工業株式会社	西松建設株式会社
株式会社アクト	三洋テクノマリン株式会社	株式会社ニシヤマ
株式会社アサツデー・ケイ	株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	日油技研工業株式会社
朝日航洋株式会社	JFEアドバンテック株式会社	株式会社日産クリエイティブサービス
アジア海洋株式会社	株式会社JVCケンウッド	ニッスイマリン工業株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	財団法人塩事業センター	日本SGI株式会社
泉産業株式会社	シチズン時計株式会社	日本海洋株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	シナネン株式会社	日本海洋掘削株式会社
株式会社エス・イー・エイ	清水建設株式会社	日本海洋計画株式会社
株式会社エスイーシー	ジャパンマリンユナイテッド株式会社	日本海洋事業株式会社
株式会社SGKシステム技研	シュルンベルジェ株式会社	一般社団法人日本ガス協会
株式会社NTTデータ	株式会社商船三井	日本興亜損害保険株式会社
株式会社NTTデータCCS	一般社団法人信託協会	日本サルヴェージ株式会社
株式会社NTTファシリティーズ	新日鉄エンジニアリング株式会社	日本水産株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	新日本海事株式会社	日本電気株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	須賀工業株式会社	日本ビューレット・バッカード株式会社
有限会社エルシャンテ追浜	鈴鹿建設株式会社	日本マントル・クエスト株式会社
株式会社OCC	スプリングエイトサービス株式会社	日本無線株式会社
沖電気工業株式会社	住友電気工業株式会社	日本郵船株式会社
株式会社カイショー	清進電設株式会社	株式会社間組
株式会社海洋総合研究所	石油資源開発株式会社	濱中製鎖工業株式会社
海洋電子株式会社	セコム株式会社	東日本タグボート株式会社
株式会社化学分析コンサルタント	セナーアンドバーンズ株式会社	株式会社日立製作所
鹿島建設株式会社	株式会社損害保険ジャパン	日立造船株式会社
川崎汽船株式会社	第一設備工業株式会社	株式会社日立プラントテクノロジー
川崎重工業株式会社	大成建設株式会社	深田サルベージ建設株式会社
株式会社環境総合テクノス	大日本土木株式会社	株式会社フジクラ
株式会社関電工	ダイハツディーゼル株式会社	富士ゼロックス株式会社
株式会社キュービック・アイ	大陽日酸株式会社	株式会社フジタ
共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社	有限会社田浦中央食品	富士通株式会社
共立管財株式会社	高砂熱学工業株式会社	富士電機株式会社
極東製業工業株式会社	株式会社竹中工務店	古河電気工業株式会社
極東貿易株式会社	株式会社竹中土木	古野電気株式会社
株式会社きんでん	株式会社地球科学総合研究所	松本徹章株式会社
株式会社熊谷組	中国塗料株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
クローバテック株式会社	中部電力株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント	株式会社鶴見精機	株式会社丸川建築設計事務所
KDDI株式会社	株式会社テザック	株式会社マルトー
京浜急行電鉄株式会社	寺崎電気産業株式会社	三鈴マシナリー株式会社
株式会社構造計画研究所	電気事業連合会	三井住友海上火災保険株式会社
神戸ペイント株式会社	東亜建設工業株式会社	三井造船株式会社
広和株式会社	東海交通株式会社	三菱重工業株式会社
国際気象海洋株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社	株式会社三菱総合研究所
国際警備株式会社	東京海上日動火災保険株式会社	株式会社森京介建築事務所
国際石油開発帝石株式会社	東京製綱繊維ロープ株式会社	八洲電機株式会社
国際ビルサービス株式会社	東北環境科学サービス株式会社	郵船商事株式会社
五洋建設株式会社	東洋建設株式会社	郵船ナブテック株式会社
株式会社コンボン研究所	株式会社東陽テクニカ	ヨコハマゴム・マリン&エアロスペース株式会社

独立行政法人海洋研究開発機構年報（平成24事業年度）

平成25年6月発行

発行・制作 独立行政法人海洋研究開発機構 事業推進部 推進課



独立行政法人

海洋研究開発機構

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

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)

高知コア研究所

〒783-8502 高知県南国市物部乙 200

電話(088)864-6705(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

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-2

富国生命ビル 23階

電話(03)5157-3900(代表)