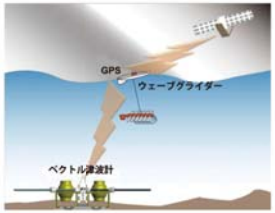
独立行政法人海洋研究開発機構
平成26事業年度 年報

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26事業年度 年報

平成 26 事業年度　海洋研究開発機構のあゆみ

第3期中期計画の開始

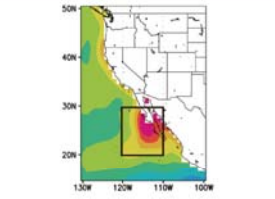


新しい海底津波観測手法の立証と実海域
リアルタイム観測の成功

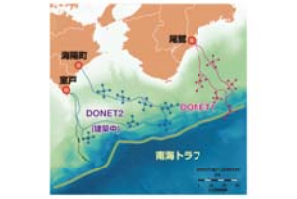
新たな国際協力を展開
(引用写真:PORTAL DO MINISTÉRIO DA CIÊNCIA,TECNOLOGIA E INOVAÇÃO)

大槌港にて東北海洋生態系調査研究船「新青丸」
○一般公開を実施

横須賀本部専用岸壁桟橋新設工事及び
無人探査機整備場増築工事竣工

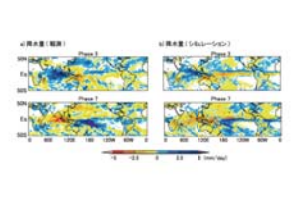


カリフォルニア・ニーニョ/ニーニャ現象を
世界で初めて発見

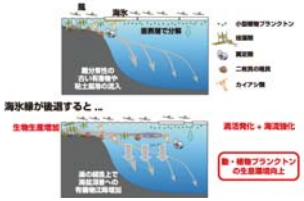


「地震・津波観測監視システム（DONET）」
により得られる観測情報を地方自治体や
民間企業へ提供開始

深海動物と夕部共生菌の見えざる関係性を
世界で初めて科学的に実証

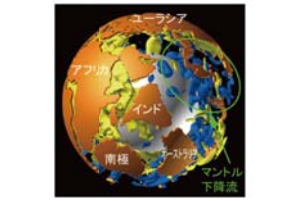


熱帯域におけるマッデン・ジュリアン振動（MJO）
の1ヶ月予測が実現可能であることを実証

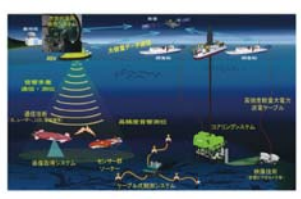


北極海で渦によりプランクトンの生息環境が
向上したことを発見

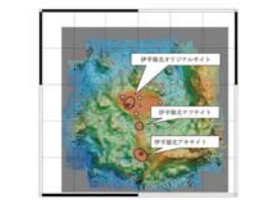
高知コアセンターに掘削コア試料の
新保管庫棟が完成



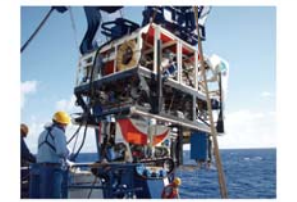
スーパーコンピュータで大陸移動を再現、
原動力を解明



「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）
次世代海洋資源調査技術」を開始



沖縄海域の伊平屋北海丘に
広大な熱水溜まりを発見



マリアナ海溝の超深海水塊に独自の微生物生態系を発見

地球シミュレータのシステム更新
初代地球シミュレータと比較し、32倍の演算性能

序

海洋研究開発機構は、今年度より第 3 期中期計画をスタートさせました。本計画の推進のため、当機構は、これまでの体制を改め、より組織横断的かつ戦略的な研究・開発を実施できるよう組織再編を実施しました。その新体制の下で、国の海洋政策等に示された重要課題の解決に貢献するべく、以下の事項を重点研究開発と位置づけています。

(1) 海底資源研究開発
(2) 海洋・地球環境変動研究開発
(3) 海域地震発生帯研究開発
(4) 海洋生命理工学研究開発
(5) 先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進
(6) 先端的融合情報科学の研究開発
(7) 海洋フロンティアを切り拓く研究基盤の構築

これらの課題の遂行により得られた科学的知見を活かして、海洋・地球・生命システムの統合的理解を目指し、さらに国家的、社会的ニーズに機動的かつ重点的に対応していきます。

今年度も多分野においてさまざまな成果が得られました。地震津波観測研究分野では、北海道南東沖において地下構造探査システムおよび海底地震計を用いて地殻と上部マントルの大規模構造調査を実施した結果、プレート運動の原動力に関する新たな発見がありました。また、地震・津波観測監視システム（DONET）により得られる観測情報を地方自治体や民間企業へ提供する試みをスタートさせました。

地球環境変動に関しては、北極海で海洋渦によりプランクトンの生育環境が向上したことを発見しました。これは、地球温暖化に伴う北極海の海氷減少の影響で、強化した海洋渦が栄養豊富な大陸棚由来の海水を多く運び込んだためです。

また、東北海洋生態系調査研究船「新青丸」が船籍港である大槌町に初入港し、記念講演会ならびに一般公開を実施しました。一般公開では東北マリンサイエンス拠点形成事業などのブースが設置され、多くの町民の皆様にお越しいただくことができました。なかでも、三陸沖の深海底の様子や深海生物の貴重な映像は大きな反響を呼んでいました。

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）においては、当機構が主導する「次世代海洋資源調査技術」課題における「海洋資源の成因に関する科学的研究」の一環として、沖縄海域の伊平屋海丘での科学掘削調査を実施し、広大な熱水溜まりを発見いたしました。

平成 27 年 4 月 1 日より、私たち独立行政法人海洋研究開発機構は、国立研究開発法人海洋研究開発機構となります。「海洋」「地球」「生命」の総合的理解を進めるため世界最先端の研究と技術開発を推進することに加え、海洋の視点による価値創造、たとえば海洋資源の利用、海洋生命工学の展開、海洋地球情報の高度化など、海洋国家である我が国が未来を切り開いていくうえでの必須の活動に一層邁進してまいります。

今後とも、皆様からのご支援、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 2
（2） 人員 3
（3） 予算 3
（4） 外部研究資金 3
（5） 本部及び事業所 3
（6） 組織図 4
（7） 主要施設・設備 6
（8） 国際協力 8
2. 各課題の概要および当該年度の主な成果
（1） 海底資源研究開発 10
（2） 海洋・地球環境変動研究開発 15
（3） 海域地震発生帯研究開発 21
（4） 海洋生命理工学研究開発 29
（5） 先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進 35
（6） 先端的融合情報科学の研究開発 41
（7） 海洋フロンティアを切り拓く研究基盤の構築 44
3. 研究開発基盤の運用及びIODPの推進
（1） 研究船・深海調査システム等の運用 48
（2）「地球シミュレータ」の運用 52
（3） 海洋地球観測データ・サンプルの管理と公開 55
（4）「ちきゅう」の運用及び IODP の推進 56
4. 賛助会について 58

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）が果たすべき役割は、人類社会に対し、様々な影響をもたらす海洋を中心とした地球環境の変化に関する科学的知見の創出です。このため、当機構は海洋・地球・生命を 1 つのシステムとして捉え、種々の時間・空間スケールから成る様々なプロセスを定式化することにより、海洋・地球・生命システムの統一像の解明を目指し、人類的課題の解決や我が国の将来にわたる持続的な成長と社会の発展を実現するための研究開発を推進します。

当機構の事業は、文部科学大臣の定める中期目標を達成するために、認可された中期計画に沿って実施されます。平成 26 年度は第 3 期中期目標期間の初年度で、国家的・社会的ニーズを踏まえた出口志向の重点研究開発を組織横断的に推進するため、以下の事項を重点研究開発課題と位置づけました。

①海底資源研究開発
②海洋・地球環境変動研究開発
③海域地震発生帯研究開発
④海洋生命理工学研究開発
⑤先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進
⑥先端的融合情報科学の研究開発
⑦海洋フロンティアを切り拓く研究基盤の構築

1）研究部門

分野を越えた総合的な研究を活性化するため、課題解決型の戦略研究開発領域（5 研究開発センター、アプリケーションラボ及び 2 プロジェクトチーム）と、課題の根幹となる分野の先進的研究を行う基幹研究領域（11 研究分野）に再編しました。

a. 戦略研究開発領域

出口志向の課題への対応、国際科学プロジェクトの主導等、重要課題を迅速かつ集中的に実施します。このため、課題解決型の研究開発組織として研究開発センター、アプリケーションラボ及びプロジェクトチームを設置しました。

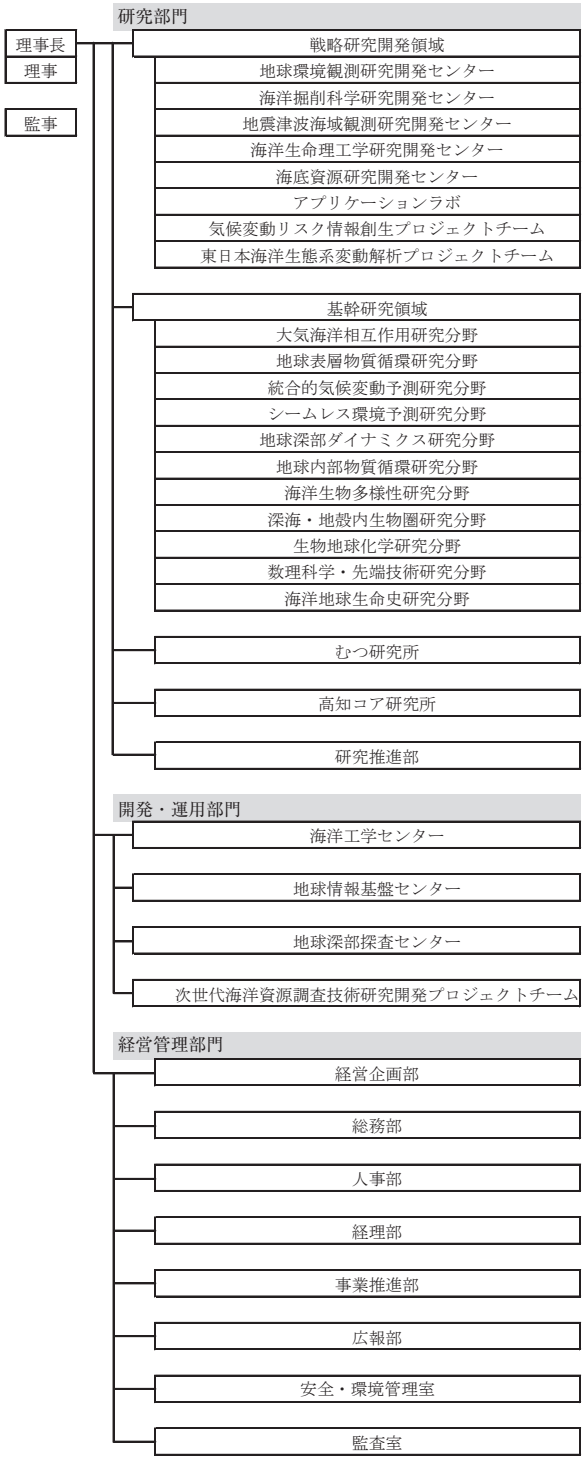
b. 基幹研究領域

出口志向の課題やイノベーティブな課題の根幹となる分野について、新たな科学的知見の開拓に資する先進的な研究を行います。このため、共通の科学目標をめざすフラットな組織として「研究分野」を設置しました。

2）開発・運用部門

情報基盤の開発・運用を一括して推進するため、旧地球シミュレータセンターの開発・運用機能と旧地球情報研究センターのデータ・サンプルの管理・公開機能とを統合し、新たに地球情報基盤センターを設置しました。

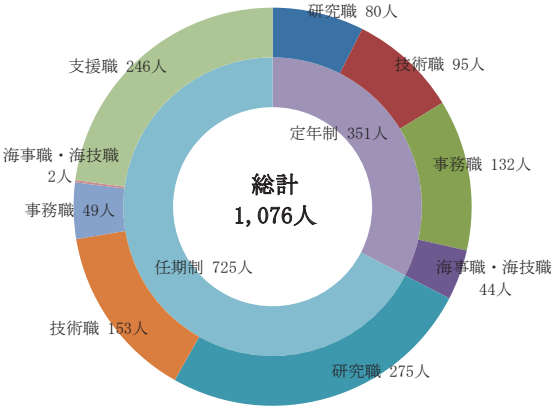
組織改編後の組織図



(2) 人員

職員数は、競争的資金等の獲得に伴う任期制職員の増加等により増加傾向にありますが、人事院勧告に伴う給与水準や国からの要請に基づく社宅制度の見直し等に対応し、適切な人員・人件費等の管理に努めました。

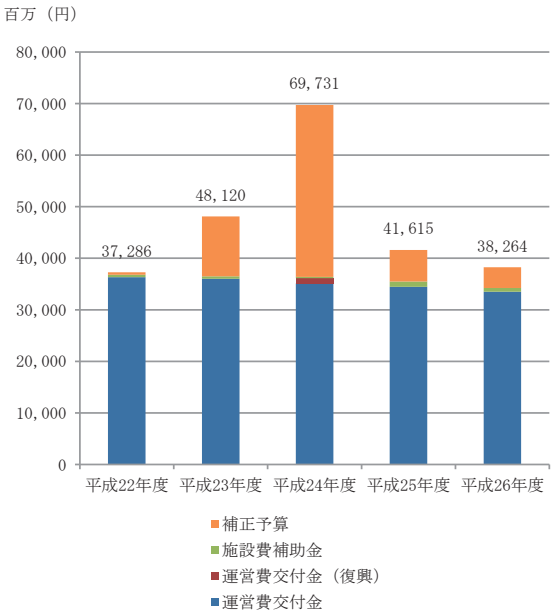
人員構成(H27.3.31時点)



(3) 予算

平成22年度以降の過去5年分の予算額の推移を以下に示します。施設整備費補助金及び船舶建造費補助金の交付額は年度によって差異があるものの、運営費交付金については年々減少傾向にあり、運営の効率化や外部研究資金等収入の多様化が求められています。

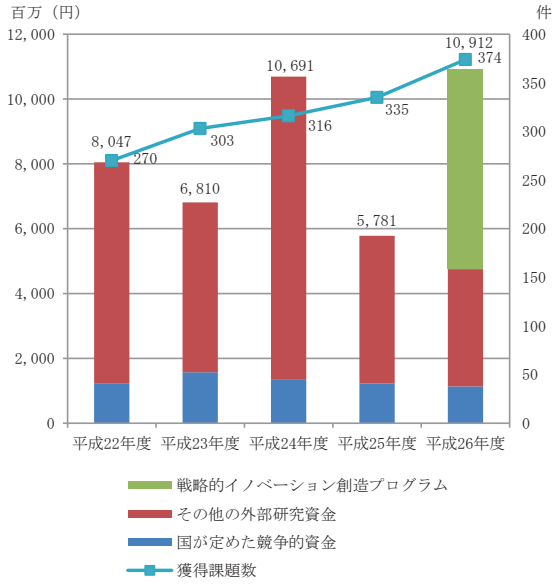
予算額の推移



(4) 外部研究資金

外部研究資金の獲得に関しては、1件あたりの金額が減少傾向にある一方、獲得課題数は増加しています。平成26年度は内閣府による戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の「次世代海洋資源調査技術」に関する資金を獲得しました。

外部研究資金獲得の推移（H27.3.31時点）



(5) 本部及び事業所

平成27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）

(6) 組織図

■ 役員

理事長
平　朝彦

研究担当理事
白山　義久

開発担当理事
堀田　平

経営管理担当理事
土橋　久

監事
他谷　康

監事（非常勤）
前田　裕子

■ 研究部門

戦略研究開発領域

- 地球環境観測研究開発センター
- 海洋掘削科学研究開発センター
- 地震津波海域観測研究開発センター
- 海洋生命理工学研究開発センター
- 海底資源研究開発センター
- アプリケーションラボ
- 気候変動リスク情報創生プロジェクトチーム
- 東日本海洋生態系変動解析プロジェクトチーム

執行役
東　垣

基幹研究領域

- 大気海洋相互作用研究分野
- 地球表層物質循環研究分野
- 統合的気候変動予測研究分野
- シームレス環境予測研究分野
- 地球深部ダイナミクス研究分野
- 地球内部物質循環研究分野
- 海洋生物多様性研究分野
- 深海・地殻内生物圏研究分野
- 生物地球化学研究分野
- 数理科学・先端技術研究分野
- 海洋地球生命史研究分野

執行役
深澤　理郎

- むつ研究所
- 高知コア研究所
- 研究推進部

むつ研究所
所長　渡邉　修一

高知コア研究所
所長　木下　正高

■ 開発・運用部門

海洋工学センター

- 企画調整室
- 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
センター長　磯崎　芳男

地球情報基盤センター

- 企画調整室
- 先端情報研究開発部
- 統合地球情報研究開発部
- 情報システム部
- 地球情報技術部
- 国際海洋環境情報センター

地球情報基盤センター
センター長　高橋　桂子

地球深部探査センター

- 企画調整室
- 運用部
- 技術部
- 科学支援部
- 環境保安グループ

地球深部探査センター
センター長　堀田　平（兼務）

次世代海洋資源調査技術研究開発プロジェクトチーム

■ 経営管理部門

- 経営企画部
- 総務部
- 人事部
- 経理部
- 事業推進部
- 広報部
- 安全・環境管理室
- 監査室

(7) 主要施設・設備

船　舶

地球深部探査船
「ちきゅう」

全　　長：210.0m
幅　　：38.0m
船底からの高さ：130.0m
総トン数：56,752トン
定　　員：200名
最大掘削水深：2,500m
ドリルストリング長：10,000m
就 航 年：2005年

深海潜水調査船支援母船
「よこすか」

全　　長：105.2m
総トン数：4,439トン
定　　員：60名
就 航 年：1990年

海洋調査船
「なつしま」

全　　長：67.3m
総トン数：1,739トン
定　　員：55名
就 航 年：1981年

深海調査研究船
「かいれい」

全　　長：106.0m
総トン数：4,517トン
定　　員：60名
就 航 年：1997年

学術研究船
「白鳳丸」

全　　長：100.0m
総トン数：3,991トン
定　　員：89名
就 航 年：1989年

海洋調査船
「かいよう」

全　　長：61.5m
総トン数：3,350トン
定　　員：60名
就 航 年：1985年

海洋地球研究船
「みらい」

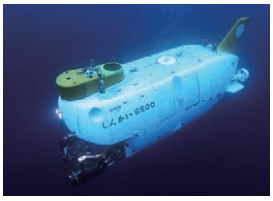
全　　長：128.5m
総トン数：8,706トン
定　　員：80名
就 航 年：1997年

東北海洋生態系調査研究船
「新青丸」

全　　長：66.0m
総トン数：1,629トン
定　　員：41名
就 航 年：2013年

潜水船・探査機

有人潜水調査船「しんかい6500」

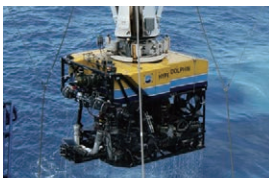


最大潜航深度 ：6,500m
定　　員　　：3名
全　　長　　：9.7m
空 中 重 量　：26.7t

深海巡航探査機「うらしま」

最大潜航深度 ：3,500m
全　　長　　：10.0m
空 中 重 量　：7.0t

無人探査機「ハイパードルフィン」



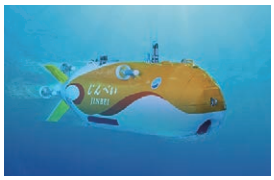
最大潜航深度 ：3,000m
全　　長　　：3.0m
空 中 重 量　：3.8t

無人探査機「かいこう」

<ランチャー>
最大潜航深度：11,000m
全　　長　：5.2m
空中重量　：5.8t

<ビークル（Mk-IV）>
最大潜航深度：7,000m
全　　長　：3.0m
空中重量　：6.0t

自律型無人探査機「じんべい」



最大潜航深度 ：3,000m
全　　長　　：4.0m
空 中 重 量　：1.7t

自律型無人探査機「おとひめ」

最大潜航深度 ：3,000m
全　　長　　：2.5m
空 中 重 量　：0.85t

自律型無人探査機「ゆめいるか」

最大潜航深度 ：3,000m
全　　長　　：5.0m
空 中 重 量　：2.7t

無人探査機「ABISMO」

最大潜航深度　11,000m
<ランチャー>
全　　長　：2.7m
空中重量　：3.0t

<ビークル>
全　　長　：1.3m
空中重量　：0.35t

施設設備

地球シミュレータ（横浜研究所）

プロセッサ数　：5,120個
　　（コア数:20,480個）
ピーク性能　：1.31ペタフロップス
主記憶容量　：320テラバイト

コア保管庫（高知コア研究所）

(8) 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 26 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 26 年 6 月に第 7 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）へ派遣している機構職員 1 名の派遣期間を平成 29 年 1 月まで延長しました。

さらに、我が国をはじめ世界 90 カ国以上が参加する地球観測に関する政府間会合（GEO）が推進する「全球地球観測システム（GEOSS）」構築に向けて、地球観測および観測データの公開普及などを通じ取り組んでいます。平成 26 年 5 月に東京で開催された第 7 回 GEOSS アジア太平洋シンポジウムでは、機構は「海洋観測と社会」分科会の日本側議長機関を務め、アジア太平洋諸国の海洋気候観測関係機関とのデータ共有に関する協議を取りまとめ、同地域における地球観測と GEO/GEOSS の普及に寄与しました。その他の海洋関連国際機関・プロジェクト会合に対しても、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：Climate Variability and Predictability）
- GOOS（全球海洋観測システム：Global Ocean Observing System）
- GCOS（全球気候観測システム：Global Climate Observing System）
- GO-SHIP（全球海洋船舶観測プログラム：Global Ocean Ship-Based Hydrographic Investigation Program）
- 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：International Cooperation in Ridge-Crest Studies）
- IODP（国際深海科学掘削計画：International Ocean Discovery Program）
- IOCCP（国際海洋炭素データ統合プロジェクト: International Ocean Carbon Coordination Project）
- 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、ノルウェー、ニュージーランド、ブラジル、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 26 年度に開催された主な政府間協力会合及びワークショップは以下のとおりです。

- 平成 26 年 9月　第1回日独海洋地球科学ワークショップ
- 平成 26 年 10月　第8回日印科学技術協力合同委員会
- 平成 26 年 10月　日露北極研究ワークショップ
- 平成 26 年 11月　第9回日英科学技術協力合同委員会
- 平成 26 年 11月　日英北極気候変動観測技術ワークショップ
- 平成 27 年 2月　第5回日諾科学技術協力合同委員会
- 平成 27 年 3月　日米北極政策・戦略ワークショップ

4）海外関係機関との協力

平成 26 年 8 月 ブラジル科学技術イノベーション省（MCTI）と海洋研究・開発の協力推進に関する意図表明文書、インド地球科学省（MoES）傘下の複数研究機関と海洋地球科学分野における研究協力を開始するための意図表明文書を新規に締結しました。

日伯両首脳前で覚書等文書発表式
（左より、平理事長、安倍総理、ジニス大臣）
引用写真：PORTAL DO MINIST//www.mcCIPERLINK "http://wE INOVALIN

他に、米国、英国、インド、インドネシア、ベトナム、オーストラリア、カナダ、韓国、ドイツ、ニュージーランド、ブラジル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 26 年度は、6 月にフランス国立海洋開発研究所（IFREMER）、10 月にインドネシア科学技術評価応用庁（BPPT）と覚書に基づく定期協議を実施しました。また、オーストラリア地球科学研究所（GA）、インド国立海洋研究所（NIO）、ベトナム地質・鉱物資源研究所（VIGMR）ベトナム海洋天然資源・環境調査センター（MGMC）及び、今後 10 年間にわたる地球深部探査船「ちきゅう」を用いた掘削プログラムへの参加を目的として ANZIC（豪州、ニュージーランド IODP コンソーシアム）を含む、計 4 機関・1 コンソーシアムと覚書を新規に締結しました。

各国関係機関との意図表明文書及び包括的な機関間研究協力のための覚書及び共同研究のための実施取決めを 22 ヶ国 66 機関及び 2 コンソーシアムと締結しています。平成 26 年度は、インドネシア技術評価応用庁（BPPT）、ドイツ アルフレッド・ウェゲナー極域・海洋研究所（AWI）、フィリピン大学地質科学研究所（NIGS/UP）他と実施取決めを更新、さらに、フィリピン科学技術省気象庁他と実施取決めを新規に締結しました。

世界の主要海洋研究機関のフォーラムである全球海洋観測パートナーシップ（POGO）の日本から唯一の参加機関として世界の海洋研究機関との連携を深めており、平成 27 年 1 月にスペイン・テネリフェで開催された第 16 回年次総会に参加し、海洋観測等に関する情報交換を行いました。

5）その他

平成 26 年 4 月以降の主な海外政府、研究機関及び大使館関係者の来訪実績は以下のとおり。カナダ漁業海洋省（DFO）、駐日オーストラリア大使館、日仏海洋開発専門部会参加者、ノルウェーリサーチカウンシル、駐日欧州連合代表部、在京科学技術外交官サークル（S&TDC）、オーストラリア工学アカデミー、駐日ブラジル大使館、日露北極研究ミニワークショップ 準備会合メンバー、ニュージーランド GNS Science、“青少年大使”プログラム インドネシア高校生、カナダ大西洋地域開発庁、タイ工業省鉱物資源局（DMR）、米国スクリプス海洋研究所（SIO）、国際海洋法裁判所（ITLOS）書記、フランス科学ジャーナリスト団体（AJSPA）、ノルウェー科学技術大学（NTNU）、オーストラリア産業大臣、日英北極気候変動観測技術ワークショップ、ブラジル科学技術イノベーション省（MCTI）、ベトナム天然資源環境省（MONRE）、韓国地質資源研究員（KIGAM）、欧州委員会（EC）研究・イノベーション総局、タイ政府省庁、ブラジル国家自然災害モニタリング・警報センター（CEMADEN）、米国海洋大気庁（NOAA）、駐日フランス大使館及びタイ地理情報・宇宙技術開発機関（GISTDA）等、施設視察、意見交換等を行いました。

その他、第 7 回 GEOSS アジア太平洋シンポジウム（平成 26 年 5 月、東京）、地球観測に関する政府間会合（GEO）第 11 回本会合（平成 26 年 11 月、スイス・ジュネーブ）、において、ポスター展示を通じ、積極的に当機構の研究開発事業を紹介しました。

“青少年大使”プログラム インドネシア高校生御一行、横浜研究所への来訪。

2. 各課題の概要および当該年度の主な成果

(1) 海底資源研究開発

概要

本課題では、海底資源の成り立ちに関係する多様な元素、同位体及び化学種を定量的に把握するとともに、海底資源を地球の大きな物質循環の一部としてとらえ、成因を総合的に理解するため、「海底熱水鉱床の成因解明とそれに基づく調査手法の構築」「コバルトリッチクラスト・レアアース泥の成因解明とそれに基づく高品位な鉱床発見に貢献する手法の構築」「海底炭化水素資源の成因解明と持続的な炭素・エネルギー循環に関する研究」「環境影響評価手法の構築」の4つの課題を掲げて、研究を行っています。

以下に、平成 26 年度の成果トピックスを紹介します。

1) 海底熱水鉱床の成因解明とそれに基づく調査手法の構築

① 高速網羅的音響探査の確立

中部沖縄トラフにおける未発見の海底熱水系の探索を、海洋調査船「なつしま」や深海潜水調査船支援母船「よこすか」による高速網羅的音響探査と深海巡航探査機「うらしま」による詳細物理探査、無人探査機「ハイパードルフィン」による海底観察と試料採取を通じて行い、新しい熱水噴出サイト(5 箇所)を発見しました(図 1)。その熱水(微)生物生態系の基礎構造や分布に関する詳細なレポートを作成し、一部プレスリリースとして発表しました。

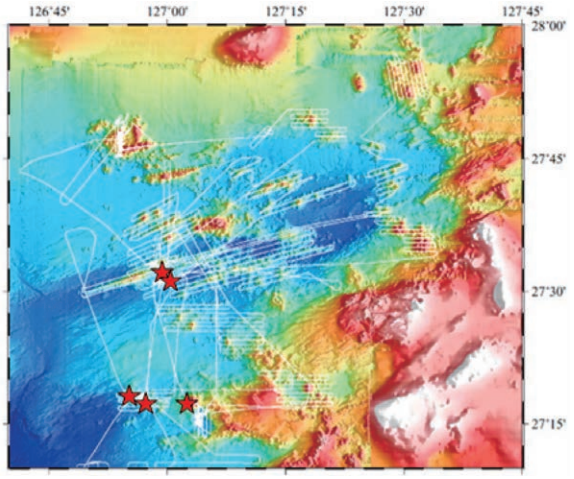


図 1. YK14-17「よこすか」による調査航海での航跡図と新発見サイト(☆)

② 人工熱水噴出孔での熱水燃料電池発電能力連続計測に成功

「なつしま」NT15-02 航海で設置した深海熱水燃料電池の出力電圧経時変化を示します(図 2)。設置時の電圧は約 0.35V でしたが、急速に電圧が低下し 0.2V 前後を推移しました。しかし、設置 4 日後に電圧が上昇に転じ、最終的に約 0.6V にまで達し安定しました。この 0.6V という値は熱力学計算によって予想されるこの熱水燃料電池が得られる電圧の最大値と一致します。すなわち、エネルギーロスのない理想的な発電ができていることが実証されました。

設置 4 日後以降に電圧が上昇した理由に関しては(1)アノード電極(熱水側)に硫化鉱物が成長したことで硫化水素酸化のエネルギーロスがなくなった、または(2)カソード電極(海水側)に微生物が繁殖したことで酸素還元のエネルギーロスがなくなったなどが考えられます。現在、回収した電極の解析を進め、この理由を検討しています。

少なくとも 12 日間の設置後半においてエネルギーロスのない発電が確認できたので、今後は(1)電極の表面積を増大させての発電量の増量試験、および(2)更に長期的な(数ヶ月～数年の)発電試験を行っていく予定です。

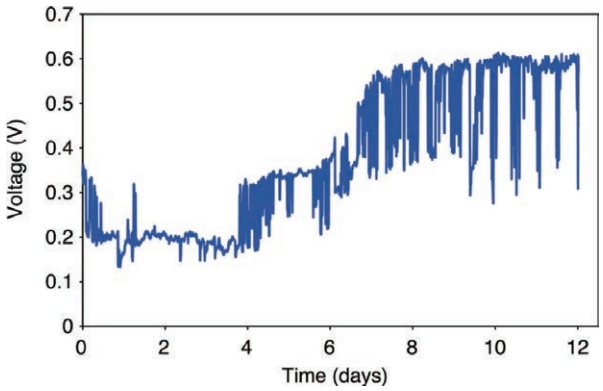


図 2. 深海熱水燃料電池の出力電圧経時変化

③ 日立鉱床、松峰鉱床の Re-Os 年代

別子型(海嶺型)鉱床のひとつである日立鉱床に関して、533Ma という Re-Os(レニウム−オスミウム)年代を公表し、プレスリリースも行いました。この年代は、日本列島の鉱床年代としては最古です。

④ 熱水噴出孔直下海底下微生物生態系調査

地球深部探査船「ちきゅう」による沖縄トラフ熱水噴出孔直下海底下微生物生態系調査(IODP331 次掘削航海)において、緩やかな海底下熱水−海水混合が観察された掘削サイトのコアにおける微生物群集の群集構造やその機能の鉛

直変化と堆積物の物性や海底下水理構造の相互作用を明らかにし、研究論文を発表しました。

また、同航海に伴う熱水環境の擾乱と熱水化学合成生態系の応答について、3 年以上の長期観測に基づいた定量的な観察結果について研究論文を発表しました。

2) コバルトリッチクラスト・レアアース泥の成因解明とそれに基づく高品位な鉱床発見に貢献する手法の構築

① Os同位体層序によるクラストの年代測定

拓洋第 5 海山、ミクロネシア M-10 海山ほか、シャツキー海台、オントンジャワ海台、ブラジル沖等で採取されたクラストについて Os 測定を行いました。その結果、拓洋第 5 海山、流星海山のような北西太平洋域では、1,500 万年前から現在にかけて水深や海域に関係なく、成長速度が一定であることが明らかになりました（図 3）。一方、ミクロネシア M-10 海山では、成長速度が 1-4mm で時代によって変化しています。また、拓洋第 5 海山では、数千万年前に 1,500 万年余りにわたる成長停止期間があったことを示している一方で、ミクロネシアは、同じ西太平洋域に位置するも、比較的連続的に成長していることを示すデータを得ました。さらに、ブラジル沖で有人潜水調査船「しんかい 6500」によって採取されたクラストについては、鏡面的な化学組成と Os 同位体組成を示しており、おそらくクラストが両方の面に向けて同時に成長をしたことを示しています。

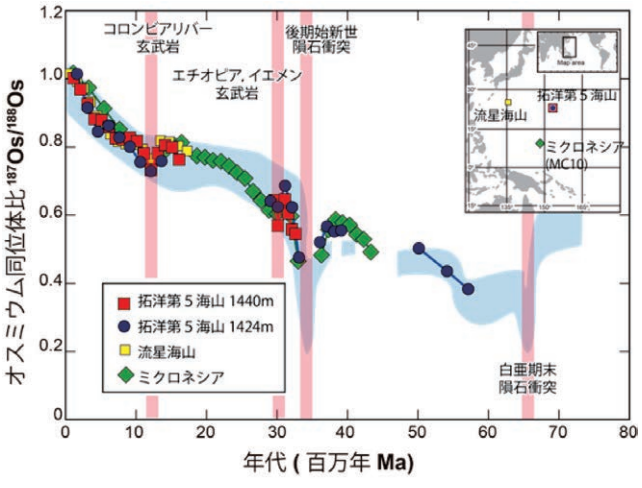


図 3. マンガンクラストのオスミウム同位体比層序

② レアアース泥のOs同位体層序による年代測定

深海調査研究船「かいれい」KR13-02 航海による非常に高い濃度のレアアースを含む層が、海洋地球研究船「みらい」MR14-E02 航海によって採取したコア試料の分析によって、西に広がっていることが明らかになりつつあります。また、堆積物の Os 同位体比測定によって、「かいれい」KR13-02 航海の PC04、PC05 において、ともに高濃度層の年代が後期始新世の隕石衝突時に一致することが明らかになりました（図 4）。

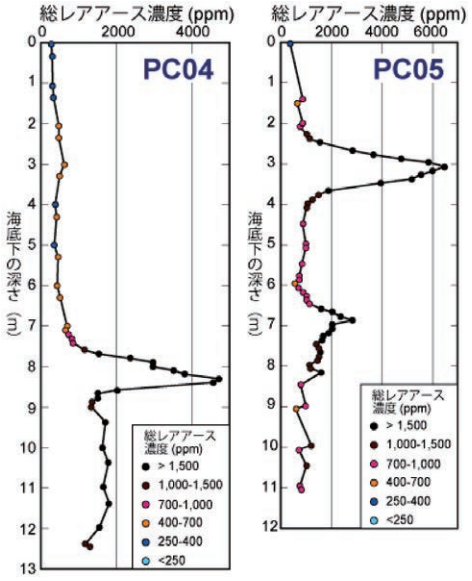


図 4. 非常に高い濃度のレアアースを含むコア試料のレアアース濃度図

3) 海底炭化水素資源の成因解明と持続的な炭素・エネルギー循環に関する研究

① 南海トラフ熊野海盆泥火山群における水・炭素循環に関する研究

一般に、火山付近の温泉水のように、高温を経験した水ほど軽い Li（リチウム）同位体組成（低 $^{7}Li/^{6}Li$ 比）を持つのに対し、海水や周囲に熱源が存在しない場所の地下水は重い Li 同位体組成（高 $^{7}Li/^{6}Li$ 比）を持つことが知られています。さらに、水（液相）と岩石や泥（固相）に含まれる Li の同位体比の違いから、液相と固相が反応して Li が溶出された場所の温度を推定することが可能です。この性質を利用し、2012 年に「ちきゅう」航海による南海トラフ熊野灘第 5 泥火山の山頂より採取された掘削コア試料の間隙水に含まれる Li の同位体比（$^{7}Li/^{6}Li$ 比）から泥火山の形成に寄与した水の起源や温度履歴を明らかにしました。同位体比分析の結果、熊野海盆第 5 泥火山から採取された掘削コア試料の間隙水には、軽い Li 同位体組成（低い $^{7}Li/^{6}Li$ 比）を持つ Li が多く含まれ、泥火山に含まれる水の一部が 210℃～310℃という高温・大深度の履歴を持つことが示唆されました。

本研究成果は、南海トラフに点在する泥火山の水の起源が、海底下 5km 以浅（海底下 60℃～ 150℃）で起きる粘土鉱物の脱水作用（スメクタイト−イライト変化）によるものだけではなく、さらに深くの巨大地震の震源域付近に相当する海底下 20km 以深に由来する水が含まれている可能性が

示唆されました（Nishio et al., EPSL, 2015）（図 5）。また、本研究成果は、海底下深部における水の生成や動きが、これまで考えられてきたより複雑で、大きな空間規模で起きていることを示しています。さらに、巨大地震の震源域に相当する深部環境から流体のインプットがあるという観点から、海底下深部と表層をつなぐ「天然のパイプライン」としての重要性が高まりました。

今後、科学掘削や深海調査により得られた地形データやサンプル等を詳細に調査することにより、泥火山の形成要因や活性と地質変動との関わり、深部から運ばれた物質の化学的特徴や元素循環の過程などを解明していくことが期待されます。

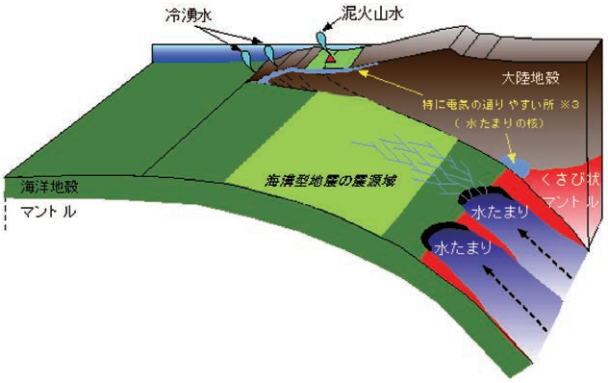


図 5. 約 300℃（もしくはそれ以上）の深部由来の水の上昇が、南海トラフ熊野灘の海底泥火山供給される経路を示した模式図

他方、海底資源研究開発センター地球生命工学研究グループの井尻らを中心として、南海トラフ熊野灘第 5 泥火山の山頂から掘削された海底下約 200 メートルまでのコア試料の生物地球化学的・微生物学的研究データを蓄積しています。中でも、泥火山浅部堆積物の微生物活動によるホモ酢酸生成（微生物の CO_2 還元による酢酸生成）の影響や泥火山深部における好熱性メタン生成を示唆する生物地球化学的なデータが得られていることは特筆に値します。また、マサチューセッツ工科大学との共同研究により、ハイブリッド PCS システムにより泥火山内部より採取されたガス試料から、泥火山に含まれるメタンの推定生成温度について検討を行っています。

② 種子島沖泥火山群における水・炭素循環に関する研究

種子島沖には、比較的沿岸に近い場所に、数多くの泥火山様マウンド形成が群発しています。これまでに、石油公団等によるピストンコアリングが実施され、メタンハイドレートを示す低い塩濃度異常や深部熱分解起源のメタンを示す炭素同位体比組成等が報告されています。しかしながら、泥火山の分布や活性、メタンの規模や陸およびプレート境界とのトランセクトにおける発生様式および化学組成・炭化水素組成等の詳細な分布については未解明であり、膨大な科学的・資源的ポテンシャルを有する海域が未だ手つかずの状態になっています。

海底資源研究開発センターでは、平成 24 年度より、詳細な地形・泥火山分布の把握を目的として、船底装備のマルチビーム測深機を用いた広域マッピングにより、精査の対象となる活動的な泥火山を選定し、「うらしま」によるマッピングを行ってきました。

その結果、種子島沖に多数の泥火山を確認し、海底音響画像から泥質流体の明瞭な噴出痕を確認しました。この泥質流体は、マウンド頂部火口から山体斜面に海底谷を形成しながら流出し、末端に扇状地地形を形成していました。また、幅 2,000m 程度以上の大きな泥火山では、北側に泥質流体が流出する傾向にあることがわかりました。地下構造調査を行った泥火山ではいずれの泥火山も山体の下部の反射面が不明瞭であり、ガスを多く含む堆積物で構成されている可能性が高いことも確認しました。

③ 下北沖海底下石炭層生命圏と炭素循環に関する研究

2012 年、統合国際深海掘削計画（IODP）及び最先端研究基盤事業の一環として、青森県八戸沖の沖合約 80km の地点にあるサイト C0020 において、「ちきゅう」のライザー掘削による掘削調査を実施しました。同掘削調査では、それまでの科学海洋掘削における世界最高到達深度を上回る海底下 2,466m までの掘削コア試料を断続的に採取し、有機物に富む大陸沿岸の嫌気的な生命圏の限界域に挑む国際共同研究を実施しています。

本航海で得られた試料は、約 2,000 万年以上前の古第三紀に、北日本沿岸域に分布した湿原や湿地帯が海底下に埋没したものです。これまでに得られた地球化学的・微生物学的データから、埋没した有機物が地質学的な時間をかけて石炭層へと熟成し、天然ガスやメタンハイドレートといった非在来型炭化水素資源を形成するまでの生物・非生物プロセスが解明されつつあります。

同掘削航海により採取された堆積物コア試料から直接抽出した環境ゲノム DNA の遺伝子解析により、生命圏の限界に近い、極めて低濃度の微生物群集の存在が示唆されています。平成 26 年度は、米国クレイグベンター研究所と共同で、掘削泥水や空気・水・実験試薬などから混入する外来微生物の塩基配列を網羅的に解析し、海底下深部に固有の生命シグナルの抽出と評価を実施しました。さらに、海底下約 2km のコア試料からメタンを生成する嫌気的微生物群集の集積培養に成功しています（図 6）。

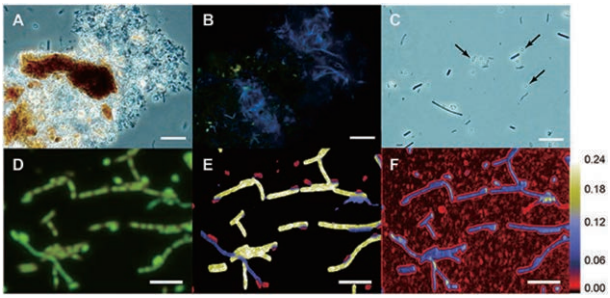


図6. 海底下約2kmの石炭層のコアサンプルから、下降流懸垂型スポンジリアクターを用いて培養された世界最深部の海底下微生物群集。現場温度に近い約40℃の嫌気・無酸素条件で培養を行い、石炭を基質にメタンを生成する微生物群集の増殖が確認された（A-C）。
（A）石炭層に付着する微生物細胞の光学顕微鏡写真。（B）紫外線によって蛍光励起されるメタン菌に特異的なF420補酵素の自家蛍光（青色）を示す蛍光顕微鏡写真。遺伝子解析により、メタノバクテリウム属に近縁なメタン生成菌が増殖しているのが確認されている。（C）胞子様の細胞（矢印）を示す光学顕微鏡写真。本培養液に安定同位体炭素（^{13}C）で標識された二酸化炭素を添加し、超高空間分解能二次イオン質量分析計（NanoSIMS 50L）を用いて細胞の元素組成イメージ分析が行われた（D-F）。（D）細胞内のDNAに特異的に吸着する蛍光色素（SYBR Green I）を用いて染色した細胞の蛍光顕微鏡写真。（E）$^{13}C/^{12}C$の元素組成比と（F）^{12}Cの元素組成を示すNanoSIMS二次イオンイメージ分析画像（Dと同視野）。色が赤から黄色に近づくにつれて元素組成比が高くなることを示す。白線のスケールは10㎛を示す（1mmの1/100）。

④ メタン菌の補酵素F430によるメタン生成場に関する研究

補酵素 F430 は、メタン菌がメタン生成の代謝経路で必ず使う鍵酵素です。堆積物中に含まれる F430 を定量化できれば、海底下におけるメタン生成能の深度分布が解明されると共に、メタン生成場の温度・圧力など生成条件の解明に繋がります。本研究では、堆積物の中に極微量しか含まれていない F430 を抽出・分離・定量する方法論の開発に成功しました。本技術を下北沖で採取された堆積物コア試料に適用したところ、海底下深度 60-70 m 付近に、F430 の濃度が他の深度よりも一桁近く高い層があることが見出されました。

4) 環境影響評価手法の構築

① 調査観測

高解像度の調査と観測技術は、海洋生態系の変動に関する研究に必要な基礎情報を提供する手段であり、時系列データを蓄積することで環境変化にともなう変遷過程や変動メカニズムの研究に不可欠です。

平成 26 年度の成果のうち、2010 年の IODP 科学掘削後に発生した環境変化から熱水依存性生物群集の形成初期過程と変遷を観測した結果は、希少な観察事例であり熱水生態学の知見としての意義が大きいです（図 7）。この事例で特筆すべきは、長期観測によるデータ蓄積において、探査機カメラの画像から生息分布を定量化する手法の開発をし（Nakajima et al 2014）、それまで死蔵されていた映像記録から生物分布データおよび海底環境の変化を読み出すことに成功した点です。以前に実施された調査航海の試料と環境データから生態系ベースラインを読み出したことで、掘削地点での生物相の変遷と変動を明確に検証することができました（Nakajima et al. 2015, in press）。

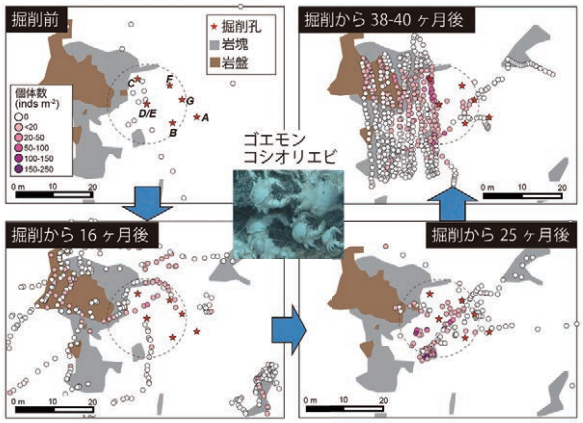


図7. ゴエモンコシオリエビの分布の遷移

船舶および無人探査機による音響探査データから効率的に熱水活動を検出する手法を確立し、中部沖縄トラフにおいて新たな熱水活動域を発見した成果は、海域における熱水生態系の広がりとその影響を解析する上で価値ある結果です。その探査手法は、熱水鉱床の探査技術としてのみならず、環境影響評価や熱水生物群集の保全などの方策の立案において不可欠な情報である熱水活動域の範囲と生物群集の分布状況を調査する技術としても利用できます。

先進技術を利用した観測機材の開発では、深海環境での高解像度データの収集を目指しています。プロジェクトでは、情報量が多い映像データの収集、現場センサーによる環境データの収集に力点を置いています。

超高解像度ビデオカメラ（8K カメラ）による観測システムは、探査機に搭載するための耐圧容器の設計、光多重伝送装置での光波長変換用基板の製作を完了しました。またステレオカメラによる画像内でのサイズ計測手法の有効性を確認しました。

現場観測システムについては、設計、製作、試験をしました。海底ケーブル接続型の生態系モニタリング装置については基本設計をし、投入型海底観測プラットフォームについては熱水環境に適応した仕様への改良をし、現場計測センサーでは深海環境でのメタンセンサーの計測手法を確立しました。

② データ解析

プロジェクトでは、生物の分布と個体数については映像情報の解析、メイオファウナ（小型底生生物）から微生物の群集構成では環境メタゲノムによる解析、生態系の現状評価と

変動予測での数理解析等に重点を置いて研究開発を進めています。

ビデオ映像のデータ解析システムでは、複数のビデオカメラ映像をひとつのコンソール画面に表示して解析する手法を開発しました(梅津　2014)(図 8)。機構の深海調査データベースから、潜航ごとに記録された環境データを読み出して時系列データに整形する R プログラムを開発しました。これらを利用して、過去の潜水調査のビデオ映像から動物プランクトンの生息分布の再解析を進めています。

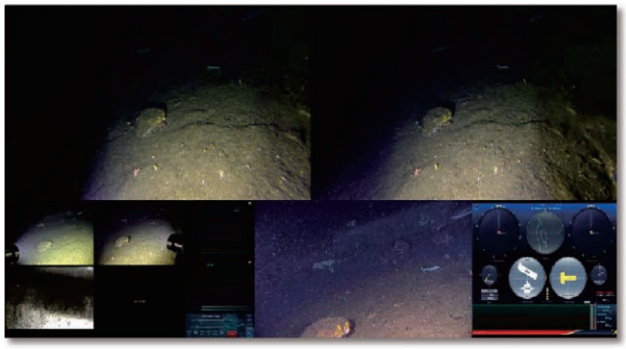


図 8. 複数の探査機映像を統合表示するシステム

メイオベントス群集の遺伝子系統を環境メタゲノムの手法で解析した結果、生息環境ごとに形成された群集構成を明確に識別することができました。この結果は、環境メタゲノム解析を利用した手法が生物群集のモニタリングに有用であることを強く示唆しています。

環境メタゲノム解析システムを改良するため、遺伝子配列データから微生物群集の機能群を同定解析するシステム（MAPLE: Metabolic And Physiological Potential Evaluator）の基本プログラムのバグを解消して機能を向上しました。さらに、高速サーバの導入と代謝機能評価システムの描画機能などを改良し、作業速度と解析機能を向上しました。次世代シークエンサー（Miseq）の導入により、試料処理、遺伝子データの読み出し、データ解析に至る一連の工程を機構内で実施できる環境メタゲノム解析システムを整備しました。これにより環境メタゲノムの解析技術を試料処理の段階から全工程にわたり検証し、環境影響評価の実用手法への応用を図ることで、効率よく民間へ技術移転ができます。

外洋および深海における環境評価には明確な基準がまだなく、資源開発などでの影響評価についても試行の段階にあります。プロジェクトでは、生物多様性条約の枠組みにおいて海域の重要度を判定する基準として提案された EBSA（Ecologically or Biologically Significant Area：生物学的、生態学的に重要な海域）を利用して日本周辺海域の化学合成生物群集の保全について解析して論文にし（Nakajima 2014）、その解析手法について検証を加えました（Yamakita 2015）。現状では深海環境のデータ不足のため再解析の必要がありますが、国際基準として利用されている EBSA の手法を応用した点は、深海での環境影響評価手法の実用化と基準の標準化につながる成果です（図 9）。

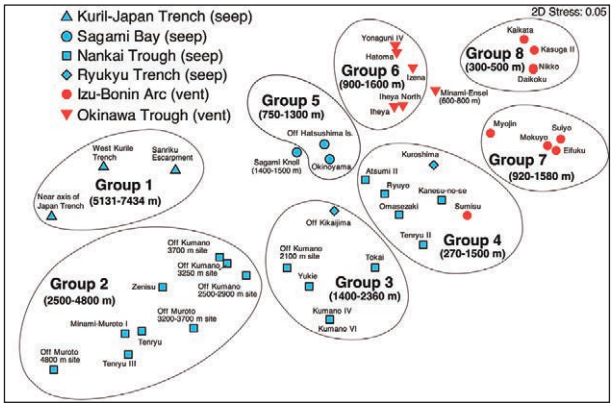


図 9. 日本周辺の深海化学合成生物群集の構成とＥＢＳＡ判定基準による解析結果

③ 実用化と標準化

この研究開発課題では、海洋環境の状態を評価する実用的なシステムを開発して民間への技術移転を図り、海底資源開発における環境影響評価のガイドラインでの国際標準にすることを目標としていますが、その達成のためには民間企業からの意見と協力が必要です。平成 26 年度は、民間調査会社のヒアリングにより現状を確認し、協働の条件や課題について検討しました。

環境評価の基準や手法の標準化では、国際的な視野からの技術検証が不可欠です。そのため、環境影響評価について共同研究を検討していたフランス国立海洋開発研究所（IFREMER）と協力して 2015 年 6 月末に国際ワークショップを開催することを決め、趣意書とプログラムを作成しました。

（2）海洋・地球環境変動研究開発

概要

本課題では、人類にとって喫緊の課題である地球規模の環境問題の解決に向けて、海洋・大気・陸域における変化の実態を正確に捉え、地球環境変動を統合的に理解し、信頼性の高い予測を行います。

気候変動、物質循環、海洋生態系の変化・変動に関する新たな観測データを収集・蓄積・分析し、地球環境の変動について包括的に理解するとともに、我が国の気象等への影響を評価します。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）等の国際的な取組へ科学的な知見を提供することにより機構と我が国の国際的プレゼンスの向上を目指します。

主な成果の概要

A：大洋縦・横断船舶観測に基づく海洋大循環の長期変化

海洋大循環による海盆スケールでの熱や物質の輸送とそれらの中長期変動について理解するため、世界各国が協同で大洋を縦・横断する高精度・多項目船舶観測を繰り返し実施しています（図 1）。JAMSTEC では 1999 年以降、海洋地球研究船「みらい」により、10 測線以上の国際協同観測線上で CTD 採水観測を実施し、観測データの高精度化に取り組むとともに品質管理済みデータを公開してきました。得られたデータを過去の観測データと比較することで、海盆スケールでの熱や物質輸送とそれらの中長期変動の評価が可能になると考えています。

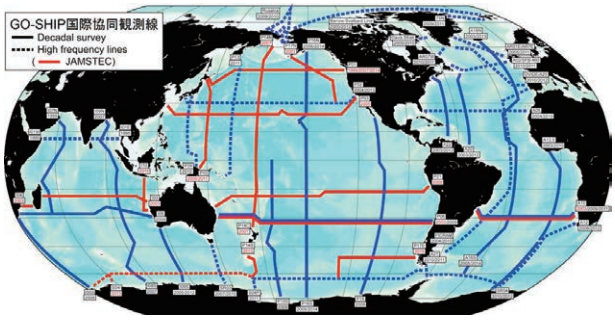


図 1. 大洋縦・横断国際協同観測線

熱については、1999 年に実施された太平洋北緯 47 度に沿った P01 測線の再観測により、世界に先駆けて海盆スケールでの大規模な底層昇温を発見しました。その後に続く他の測線での再観測により全球規模の底層昇温が明らかになり、IPCC 第 5 次評価報告書にもまとめられています。数値実験によれば、海盆スケールの底層昇温は、南極周辺で沈み込む底層水の量が減少し、その情報が海洋波動として速やかに伝搬することが原因とされています。約 10 年間に 2 回の観測データのみから底層流量の減少を実証することは容易ではありませんが、より長期間に渡る複数回の高精度観測データが蓄積されつつあり、観測データに基づく海洋大循環の長期変化の記述が期待できます。

北太平洋 P01 測線は、海盆スケールの底層昇温を世界に先駆けて発見した測線でもあり、気候変動監視のための最重要測線の一つに位置づけられています。

2007 年に引き続き今年度（2014 年）も「みらい」による再観測を実施し（図 2）、30 年間に 4 回の高精度観測データが蓄積されました。特に 2007 年と 2014 年は「みらい」により高度に比較可能性が確保された高精度データが得られ、従来は比較可能性の問題で難しかった海洋深層での熱・物質の僅かな変化の議論が可能になりました。また、2014 年「みらい」航海では、従来の物理・化学成分の測定に加え、微生物生態研究のための微生物計数試料の採取（図 3 の全ての採水層）や微生物遺伝子解析用試料の採取（図 3 の黒点）を実施するとともに、硝化および窒素固定活性等の船上測定実験を行いました。微生物分布と海洋循環・水塊構造との関係から、微生物生態解析は海洋環境研究の新たなツールとして期待できます。

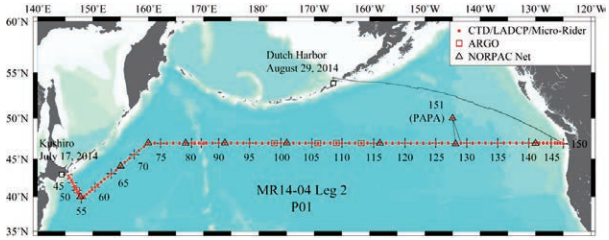


図 2. 2014 年「みらい」P01 再観測測点

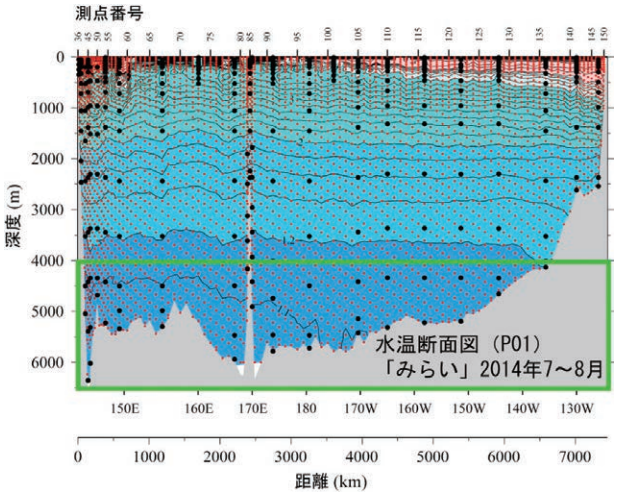


図 3.「みらい」P01 再観測で得られた水温断面図。赤点は物理・化学成分分析用試料の採水層、黒丸は微生物遺伝子解析用試料の採水層を示す。

北太平洋 P01 測線等で得られた観測結果を基に、北太平洋底層（4,000m 以深の平均値）の水塊の変化を調べました（図 4）。水温については、過去の研究で明らかになった昇温トレンドが継続していました（10 年あたり 1.4mK）。塩分については、有意なトレンドは検出できませんでした。溶存酸素については、一様な減少トレンドが発見されました（10 年あたり -1.0μmol/kg）。これらの結果を北太平洋 P02 測線（北緯 30 度）および P03 測線（北緯 25 度）での観測結果と組み合わせることで、北太平洋全域での同様な昇温・低酸素化が明らかになりました。

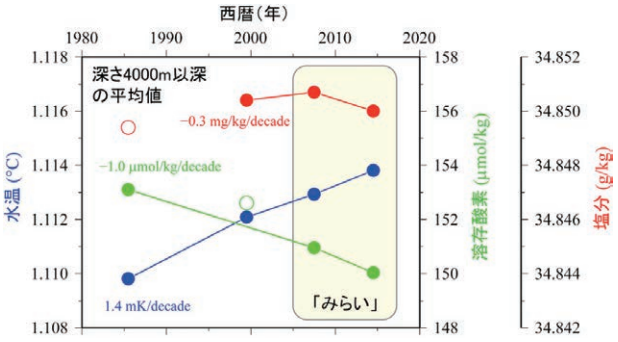


図 4. P01 測線における深さ 4,000m 以深の平均水温・塩分・溶存酸素の長期変化。白抜きはデータ品質を考慮し長期トレンドの推定に使用していない。

底層昇温が海洋波動の伝搬による底層水塊の南への後退に起因すると考えると、北太平洋底層での水温・塩分・溶存酸素の南北勾配から、観測された昇温に対応する塩分および溶存酸素の変化は 10 年あたり 0.2mg/kg の低塩化、0.5μmol/kg の低酸素化と見積もられます。この低塩化は現状の測定精度では検出できませんが、低酸素化は観測された低酸素化の約半分を説明できます。放射性炭素同位体比と溶存酸素の関係から有機物の分解に伴う底層水の酸素消費速度は 10 年あたり 1.2μmol/kg と見積もられ、観測された低酸素化は深層循環の弱化を示唆します。実際に、北太平洋 P02 および P03 測線を通過して北上する底層水の流量を 4,000m で流れが無いと仮定して求めると、1985 年以降の 30 年間で 10 年あたり 0.4Sv（1Sv は 106m3/s）ずつ一様に減少していました。北太平洋全域での底層昇温・低酸素化・底層流量減少は、地球温暖化に伴う深層循環の弱化を矛盾なく説明しています。

B：北極海で海氷減少に伴ってプランクトンの生息環境が向上していることを解明

北極海における近年の急激な海氷減少は社会的関心事の一つです。中でも海氷減少による動・植物プランクトンへの影響を評価することは、魚類や海生哺乳類の生息環境が今後どのように変化していくかを予測するために重要です。本研究では、北極海カナダ海盆西部に位置するノースウィンド深海平原（以下、NAP）においてセディメントトラップ係留系による観測を実施し（図 5）、さらにその観測結果を踏まえた渦解像海氷海洋結合モデルによる数値実験を行うことで、同海域が海氷減少に伴ってプランクトンの生息環境が向上していることを示しました。

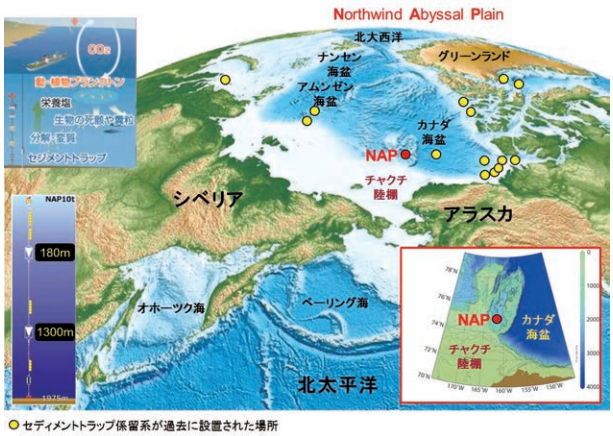


図 5. 研究対象海域およびその周辺地勢
カナダ海盆の西側に位置するノースウィンド深海平原（NAP：北緯 75° 西経 162°）にセディメントトラップ係留系（左下の模式図参照）を設置。左上図は生物ポンプの概念図。セディメントトラップによる現場観測は北極海でもこれまでに数ヵ所で行われてきたが、太平洋起源水の下流域である NAP 周辺海域での複数年に渡る観測実施は本研究が世界で初めてである。

一般に植物プランクトンの生産活動は光・水温・栄養塩（海水に溶けている窒素やリンなどの栄養素）の条件に依存します。海水は日射を遮るので、海氷で覆われる時期が短くなれば植物プランクトンの成長に好都合となります。一方で海氷の融け水は海洋表層の栄養塩濃度を低下させるため、プランクトンの成長が抑制される場合もあります。このように海氷減少は海洋生態系を支える植物プランクトンに複合的な形で大きな影響を与えます。さらに、植物プランクトンの生産および動物プランクトンによる捕食は、粒子状有機物を沈降させる過程を通じて大気中の CO_2 を海洋深層に隔離する「生物ポンプ」の役割も持っています。すなわち、北極域の気候変動が動・植物プランクトンに与える影響を調べることは、地球全体の物質循環の変化を炭素も含めて科学的に評価することにもつながります。

本研究では、北極海における海氷減少が海洋生態系に与える影響を調査するため、北極海カナダ海盆西部に位置する NAP にセディメントトラップ係留系を設置し、2010 年 10 月から 2014 年 10 月まで 4 年にわたり、沈降粒子を捕集する時系列観測を行いました（図 5）。このセディメントトラップで得られた試料を分析した結果、極夜が始まる 10 月以降の初冬期に新鮮な二枚貝の稚貝を多く含む有機

物粒子が大量に捉えられていることが明らかになりました。

更に沈降粒子の中には鉱物や沿岸でよく見られる珪藻種も存在していたことからも、水深が浅い大陸棚からの海水の輸送が関与していると推測されます（図 6）。

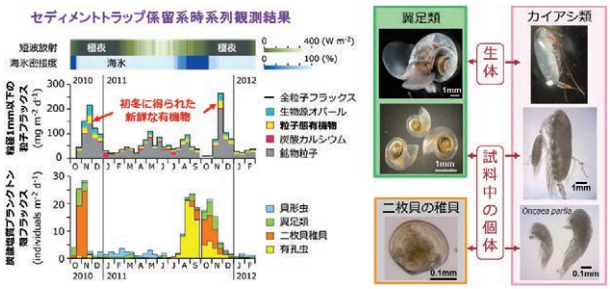


図 6.（左）NAP 地点におけるセディメントトラップ係留系の時系列観測（2010 年 10 月～ 2012 年 2 月）の結果。上から短波放射量、海氷密接度、粒径 1mm 以下の沈降粒子フラックス、炭酸塩質プランクトンの殻フラックス。（右）トラップ観測で捉えた動物プランクトンの顕微鏡写真。

この観測結果を踏まえ、本研究では NAP 地点で冬季に沈降粒子量が最も多くなるメカニズムを調べるために、海氷海洋物理モデル COCO に海洋生態系モデル NEMURO を結合させた北極海全域を対象とする数値モデルを新たに開発しました。

これを用いて JAMSTEC 地球シミュレータ上で数値実験を行うことで、NAP 地点における生物由来粒子の季節変動の要因を調査しました。数値実験の結果から、陸棚水の輸送には、アラスカ沿岸で生成される海洋渦が重要な役割を果たすことが分かりました。すなわち、栄養塩豊富なチャクチ陸棚水を多く含む直径数十 km の海洋渦がアラスカ沿岸で生成され、その内部で動・植物プランクトンの生産活動が長期間継続しており、NAP 係留地点を渦が通過する初冬期に生物由来粒子の沈降量がピークとなることが判明しました。本研究ではさらに海氷の厚さの条件を変える数値実験を行い、海氷減少のインパクトも調べました。実験結果の解析から、海氷が多い（厚い）場合は海氷が海水の流れを抑える蓋の役割を果たしていましたが、海氷が少ない（薄い）時には海洋表層の海流や渦などの海水の動きが強化されることが分かりました。併せて、陸棚域の栄養塩の豊富な海水が活発化した渦活動により海盆域に多く運ばれることで、陸棚水の経路上では魚類等の餌となる動・植物プランクトンの生息環境が向上することを明らかにしました。このプロセスは「生物ポンプ」の活発化も伴うことを示しています。

本研究により、北極海のノースウィンド深海平原およびカナダ海盆南部において、魚類の餌となる動・植物プランクトンの生息環境が海氷の減少に伴って向上していることが明らかとなりました（図 7）。これは将来的に北極海盆域が水産資源を産み出す潜在性を有することを示唆するとともに、今後の地球温暖化研究において北極海の役割が見直される可能性も示しています。今後も当海域における時系列観測を継続し、数値モデルのさらなる改良、幅広い分野の研究者との連携など多方面からの研究を進めていくことで、低次生産者であるプランクトンから高次の魚類や海生哺乳類を含む北極海洋生態系の全体的な変動について、より詳細なプロセスを明らかにする必要があります。

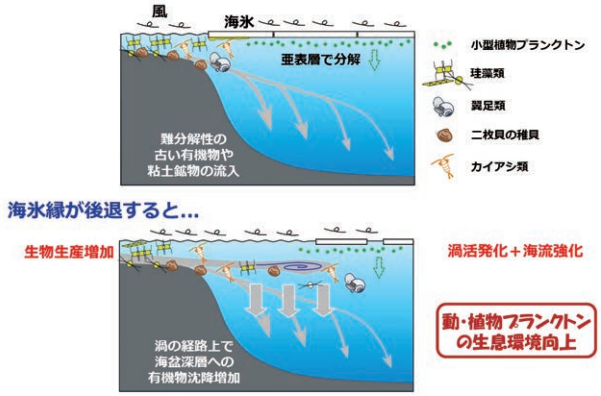


図 7. 海氷減少に対する北極海カナダ海盆における海洋生態系の応答を示した模式図

C：衛星観測が大気汚染ガス濃度を過小評価している可能性を指摘

2007 年から継続してきた MAX-DOAS（Multi-Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy）法（複数仰角における太陽散乱光分光計測・差分吸収測定法）による日本、中国、韓国、ロシアでの地上観測網データを取りまとめ、大気汚染ガスである二酸化窒素（NO_2）に関する衛星センサー OMI（Ozone Monitoring Instrument）のデータを世界で初めて系統的に検証したところ（図 8）、衛星観測に 3 ～ 5 割の過小評価があり、その原因の一つが、大気中の微小粒子 PM2.5 などのエアロゾルが、衛星観測のプローブ光（対象を検出するための光）である太陽光の経路を撹乱し、地表付近の NO_2 を観測されないように覆い隠してしまう「シールド効果」である可能性を見出しました。

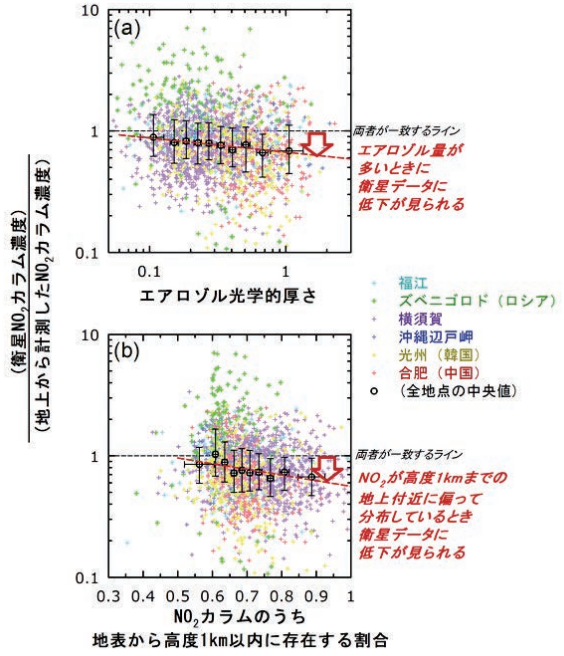


図8. 大気の光学的厚さ（a）やNO_2が地表付近に偏在する割合（b）と、衛星観測（OMI）と地上観測によるNO_2濃度の比との関係。OMI衛星の値が地上からの計測による真値より低くなる（縦軸に示した比の値が 1 より系統的に低くなる、赤矢印）のは、（上）エアロゾルの光学的厚さが大きいとき、（下）NO_2が地表付近 1km以内に偏在する場合であることがわかった。

アジアの経済発展は、近年注目されている PM2.5 エアロゾルに加え、オゾンなどのガス（気体）状汚染物質の増加など、地球の気候にも影響を与えています。衛星観測は、地球環境の変化を把握する上で欠かせない役割を果たしてきましたが、微弱な吸収（1% 以下）の定量性、成層圏の NO_2 や雲の影響などに関する不確かさが高く、検証観測の実施が望まれていました。一方、地上観測では衛星観測の場合と比べて、エアロゾルの影響や、NO_2 の高度分布などを正確に把握することが可能となり、より多くの情報量を加味して「対流圏 NO_2 カラム濃度」をより高精度で決定することができます。検証の結果、衛星データのほうが地上観測値と比べて NO_2 の量が多くなるのは、(1) 大気中に共存するエアロゾル量（光学的厚さ）が大きいときや、(2) NO_2 が高度 1km までの地上付近に偏って分布しているときであることを見出しました。

本成果は、これまで衛星データに基づいて推計された窒素酸化物の発生量見積もりを上方修正する必要があることを意味し、人間活動の地球環境への影響がこれまでの予想以上である可能性を示唆しています。また、衛星観測から NO_2 の量を導き出す際の精度を高めるには、PM2.5 などのエアロゾル粒子の光撹乱効果を適切に考慮することが重要であることを観測結果から初めて裏付けました。

D：海洋窒素循環−同位体モデルを用いた西部北太平洋窒素循環メカニズムの解明

本研究では、濃度やフラックスとともに、窒素同位体比の観測値も用いることで、海洋窒素循環モデルの不確定性の低減と、同モデルを用いた海洋窒素循環メカニズムの解明を試みました。平成 26 年度は、MR14-04 に参加し、西部北太平洋の亜熱帯と亜寒帯の 2 つの定点近辺（K2 と S1）において、硝酸・クロロフィル同位体比測定用試水の採取を行いました。これらの試料は現在分析中です。また、KY14-09 による S1 の硝酸同位体比測定用試水と KH14-02 による K2 の硝酸同位体比測定用試水も取得し、これらの窒素同位体比を測定しました。また、平成 26 年度は、これまでに得られた窒素同位体比を含む観測データをもとに、既存の海洋窒素循環−同位体モデルに、新たに一酸化二窒素（N_2O）を導入し（図 9）、K2 と S1 に適用しました。モデルは観測されたクロロフィルと硝酸の濃度と窒素同位体比の季節変化を概ね再現することができました（図 10）。また、N_2O の濃度と同位体分子種の季節変化を概ね再現することができました（図は省略）。同モデルによる N_2O 放出量は、K2 が 32.3 mg N/m2/yr、S1 が 2.7 mg N/m2/yr、と見積もられました。同モデルを用いた感度実験の結果、K2 では主に硝化によって、S1 では硝化とともに硝化菌脱窒によって N_2O が生成されていることが示唆されました。また、両サイトにおいて、アンモニア酸化細菌とともにアンモニア酸化古細菌の寄与が約半分を占めることが示唆されました。この結果は、前年度に行った古細菌阻害剤と ^{15}N トレーサーを用いた培養実験による N_2O 生成速度の見積もり結果と整合的でした。

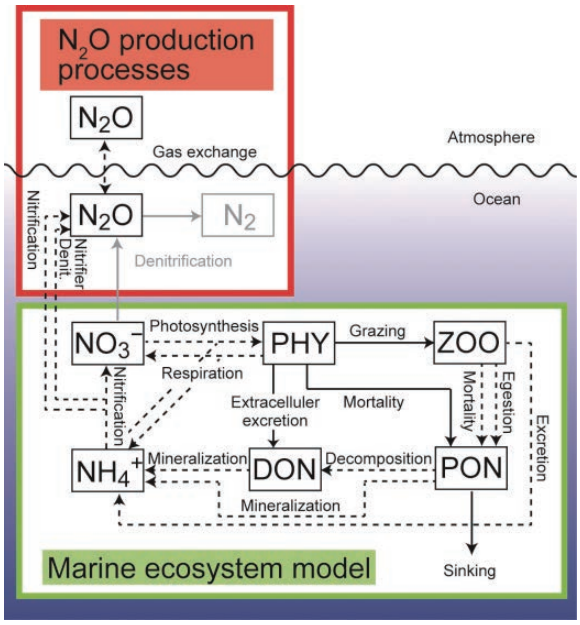


図9. 海洋窒素循環―同位体モデル

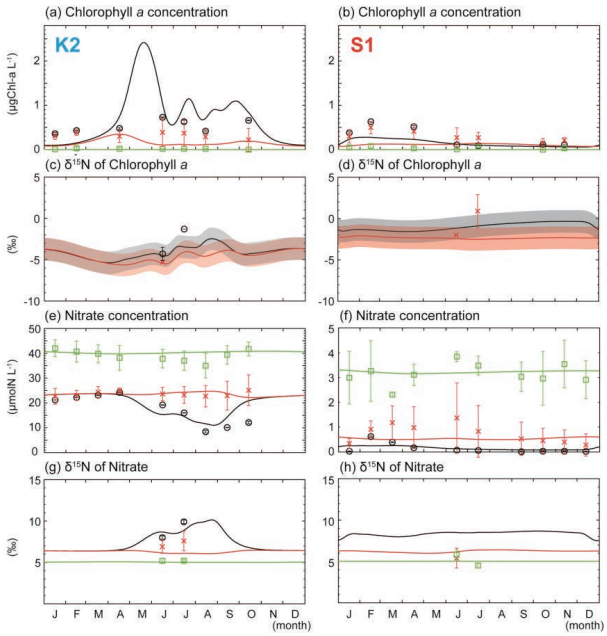


図 10. K2とS1におけるクロロフィルと硝酸の濃度と窒素同位体比。上層は黒、中層は赤、下層は緑、シンボルは観測、実線はモデル結果である。

E：成層圏水蒸気の年々変動の実態とそのメカニズムを解明

成層圏水蒸気は全球の放射強制力に寄与し、気候変動に重要な役割を果たしています。例えば、成層圏水蒸気量の変化と地表面温度の変化が対応すると指摘する研究もあります。成層圏では、赤道域で上昇し、そこから南北両半球に広がり、高緯度では下降する、ブリューワー・ドブソン循環（BD 循環）と呼ばれる大規模な循環が存在し、水蒸気は BD 循環に沿って成層圏の幅広い範囲に運ばれます（図 11 の左（a））。対流圏から成層圏に運ばれる水蒸気の入口は、BD 循環の出発点に相当する熱帯域対流圏界面にあります。成層圏へ運ばれる水蒸気量は、対流圏界面の温度を関数とした飽和水蒸気圧に従って決まるため、熱帯圏界面の温度変動が成層圏水蒸気の変動に深く関わっています。10 年程度前までは、成層圏水蒸気を高精度且つ長期間計測できる観測機器は無く、成層圏の水蒸気変動に関しては未知な部分が多く残されてきました。2004 年 6 月に打ち上げられた Aura MLS 衛星によって、これまでにない精度で成層圏水蒸気を測ることができるようになったことを踏まえ、最新の衛星観測、気候モデル実験及び CMIP5 気候モデルを有機的に組み合わせ、成層圏水蒸気の年々変動の実態とそのメカニズムを明らかにすることに取り組みました。

観測データのスペクトル解析から、成層圏水蒸気の年々変動成分は赤道準 2 年振動（QBO）に伴う成分が卓越していたため、QBO の位相を基準としたコンポジット解析を施しました。図 11 の右（b）に成層圏水蒸気の年々変動成分の時間−高度断面図を示します。赤道域上部成層圏では時間と共に下方伝播する水蒸気偏差の存在が発見されました。一方で赤道域上部対流圏から下部成層圏にかけては、上方伝播する成分が卓越しており、まるでブーメランのような構造をしています。

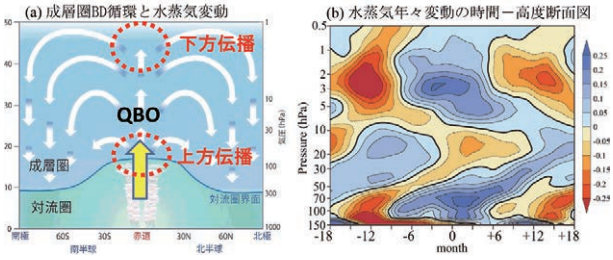


図 11. 成層圏の大規模循環（BD 循環、白矢印）とQBOが引き起こす赤道域水蒸気の年々変動（赤点線）。対流圏から成層圏に入った水蒸気（黄矢印）はBD循環によって全球に輸送される。(b)MLS衛星に現れた成層圏水蒸気の年々変動の時間−高度断面図。上部（下部）成層圏で下方（上方）伝播する成分が卓越。

次に得られた現象について、MIROC-AGCM による気候モデル実験及び CMIP5 に参加した世界の気候モデルを用いてそのメカニズムの解明を試みました。成層圏水蒸気生成の

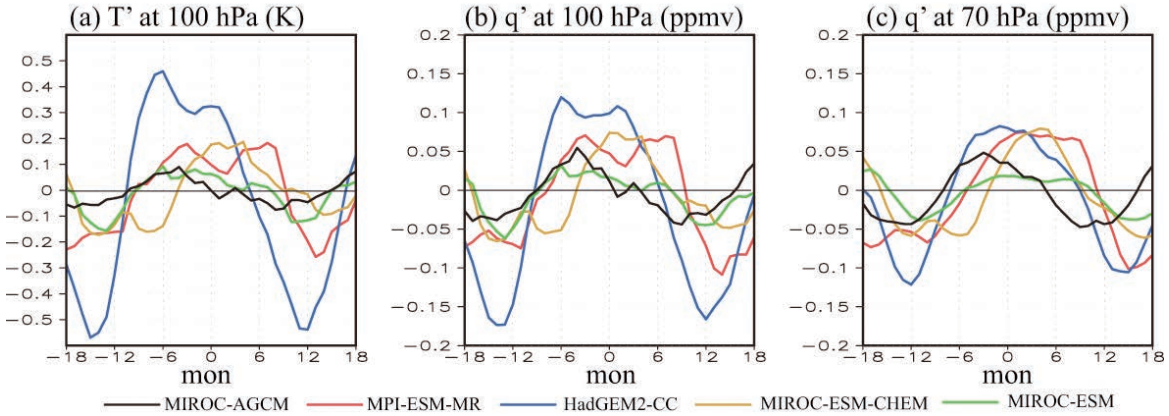


図 12. MIROC-AGCM及びCMIP5気候モデルによる(a)高度100hPaの温度と(b)100hPa及び(b)70hPaにおける水蒸気の年々変動成分の時間変化。対流圏界面付近100hPaのQBOに伴う温度振幅と水蒸気の間に強い正相関があり、それが下部成層圏70hPaにおける水蒸気の年々変動を決定している様子を示す。

物理過程（メタン酸化）をきちんと取り込んだモデルのみ、観測で見られた上部成層圏の水蒸気変動の再現に成功していました。上部成層圏の下方伝播シグナルに関しては、QBOが引き起こす 2 次的な鉛直循環と、メタンの酸化によって上部成層圏で水蒸気が作られる効果の掛け合わせによって説明できることが分かりました。一方下部成層圏の上方伝播シグナルに関しては、対流圏界面まで下りてきた QBO が、その場所で温度偏差を作ることによって引き起こされていました。すなわち QBO 振幅に伴う対流圏界面の温度偏差が暖かく（冷たく）なる時に、より多くの（少ない）水蒸気量が成層圏へと運ばれ、下部成層圏における水蒸気の年々変動と、対流圏界面付近での QBO 振幅との間に高い相関があることが明らかになりました。図 12 に各気候モデルの高度 100hPa における温度と水蒸気、及び高度 70hPa における水蒸気の年々変動成分の時間変化を示します。QBO に伴う圏界面温度変動が大きいモデルほど、100hPa の水蒸気変動が大きく、それが下部成層圏 70hPa の水蒸気変動を決定している様子が確認できます。成果はアメリカ気象学会の Journal of the Atmospheric Sciences に掲載されました。

F：国際集中観測 CINDY2011/DNAMO 期間に発生したマッデン・ジュリアン振動（MJO）に先行する大気の湿潤化過程

MJO は、ゆっくりと赤道上を東に進む巨大な（数千 km）雲域を伴い 30 − 60 日の周期性により特徴づけられる、熱帯の代表的な変動現象です。その規模の大きさや周期の長さから、アジア域に災害をもたらす気象現象（台風や集中豪雨）を始め、世界各地の天候に大きな影響を及ぼすことが知られています。MJO のメカニズムを理解し、その予測可能性を高めることは、気象・気候予測において重要な課題です。特に、インド洋における MJO の発生過程については現場観測データが希少であり数値モデルによる予測も困難です。そこでこの問題に取り組むため、2011 年の秋から冬にかけて国際集中観測 CINDY2011 が実施されました。取得された観測データおよび NICAM を用いた準リアルタイム予測計算データは公開中です。（http://www.jamstec.go.jp/iorgc/cindy/index_j.html）。

MJO の開始の要因として水蒸気の蓄積過程が重要視されており、観測データや計算データを用いた研究が行われています。本研究では、客観解析データ・衛星データ・ラジオゾンデ観測データおよび NICAM による計算データを用いて、集中観測期間中（2011 年 10 − 11 月）に発生した 2 回の現象を対象とする解析を行いました。ここでは、客観解析データの解析から得られた知見を中心に報告します。全ての物理量を周期によって高周波（20 日以下）、MJO（20 − 80 日）、基本場（80 日以上）成分に分離し、MJO に伴う水蒸気収支を診断しました。その結果、2 つの事例に共通して MJO に伴う大規模な対流の活発化の 8 − 10 日前から MJO 程度の周期（20 − 80 日）の東風偏差が強化され、インド洋上で（図 13、囲み域）より湿潤な東側（海洋大陸付近）からの水蒸気輸送が増加することで対流圏中層の湿潤化が促進されたことが分かりました。加えて、対流圏の中層を中心に、ゆっくりした風速の変化が水蒸気の分布を変えることにより MJO の発生に好都合な条件を作り出していたことが示されました。更に、この東風偏差は、中緯度の高低気圧の変動（ロスビー波活動）により強化された可能性が示唆されました。高周波成分の役割としては、水蒸気輸送に正の寄与があるほか、10 月の事例においては、伝播性の擾乱が MJO に伴う大規模な対流域の活発化のトリガーの役割を果たした可能性が示されました。ウェーブレットを用いた解析により、この伝播性の擾乱は対流を伴う赤道ケルビン波と同定され、数値計算データの解析により、この擾乱は対流圏全体に及ぶ深い潜熱放出をもたらしたことが確認されました。以上の研究成果は、MJO の発生過程の予測において中緯度擾乱や高周波成分を考慮することの有効性を示唆します。今後、シームレスな数値モデル（世界各地の日々の天候から全球規模の気候変動までを同一の枠組みでシミュレートできるモデル）の開発および活用による進展が期待されます。

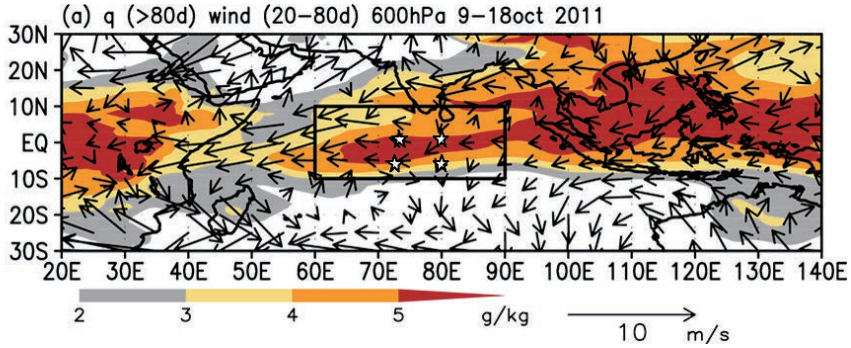


図 13. 2011 年 10 月後半の MJO 現象の発生前（10 月 9 − 18 日平均）の対流圏中層（600 hPa）水蒸気量（色）と水平風偏差（20 − 80 日周期、矢印）。☆はゾンデ集中観測点。

（3）海域地震発生帯研究開発

概要

本課題では最新の海域観測技術、先進的なシミュレーション研究、モニタリング研究を駆使して地震・津波発生の実態像を明らかにするとともに、地震津波災害の軽減に貢献するための様々な観測データや研究成果を社会に発信します。また、地震・津波が海洋生態系に与えた影響と回復過程についての科学的知見を蓄積し、災害からの復興対策に貢献することを課題としております。

○プレート境界域の地震発生帯実態解明研究

地震発生帯の地震・津波像の解明に資するため、地殻構造、地殻活動及び地震発生履歴等について精緻な調査観測研究を実施します。また、地震・津波観測監視システム（DONET）等の海域地震・津波観測システムから得られるデータや関係する研究機関とのデータ相互交換の枠組みを活用し、地震発生、地震動及び津波の予測精度の向上に資する解析研究を行います。さらに、地震発生帯における諸現象のシミュレーション研究等を実施し、海洋科学掘削で得られた研究成果との統合を図ることにより、巨大地震発生帯の実態解明に資する新たな科学的知見を蓄積します。

東北地方太平洋沖地震に伴う繰り返し地震の揺らぎを再現～地震予測研究に重要な解析手法を実証～

釜石沖の繰り返し地震（図 1）は、発生間隔と規模がほぼ一定となる、規則的な活動をする地震（固有地震）としても世界的に知られていました。このような固有地震のほとんどは、周期が長く被害をもたらすような大型の地震がほとんどですが、釜石沖の繰り返し地震は、固有周期が短く、固有マグニチュードが小さいため，地震の発生モデルを検証することが比較的容易であり、また近年の高精度観測データによって小さなシグナルも捉えられるようになってきたことから、プレート境界型地震の発生メカニズムを研究する上で非常に重要な対象となっています。

ところが、2011 年に M9 の東北地方太平洋沖地震（東北地震）が発生し、釜石沖の繰り返し地震の発生間隔や規模に大きな「揺らぎ」が生じました（図 1）。研究チームはこの原因が、巨大地震後に発生した「余効すべり」の釜石沖への伝播にあるのではないかと考えました。東北地震で発生した大規模な余効すべりが釜石沖にまで達した結果、従来の釜石沖での繰り返し地震のサイクルに影響を及ぼしたのではないかというのが研究チームの立てた仮説です。

このような規模の大きく異なる地震サイクルの数値シミュレーションは大規模な計算を要することから、JAMSTEC が所有するスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」に適用することで、初めて再現検証を行うことができました。数値シミュレーションの結果、余効すべりの通過に伴って小規模地震の固有性が大きく揺らぐ現象が良く再現できました（図 2）。

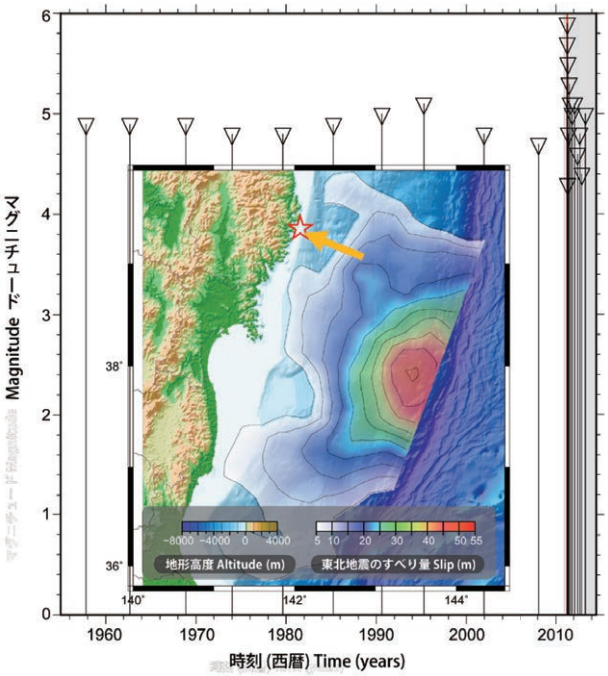


図 1．釜石沖の繰り返し地震の震央（☆）と活動履歴。時系列で白色と灰色の境界線は東北地震が発生した時刻を、地図中の矢印（←）は本研究によって推定された余効すべりの伝播方向を、それぞれ示す。

再現されたシナリオによると，小規模地震が固有的に振舞う期間では，摩擦不安定域（スケートリンクのようにすべり速度が速いほど摩擦抵抗力が小さく、一旦止まると凍りつくように凝着する性質をもつ領域）の中心付近だけが部分的に地震を引き起こすほど高速にすべり、その周辺（摩擦安定域：粘性のように、すべり速度が大きいほど摩擦抵抗力が大きくなる性質をもつ領域）ではゆっくりとすべる現象が繰り返し起きています。それが、大地震発生に伴った大規模な余効すべりが通過すると、摩擦不安定域全体を覆うように地震性の高速すべりが発生し、通常よりも規模の大きな地震が発生します。このとき、大規模な余効すべりは、小規模地震震源域の連鎖破壊によって、伝播速度がその周辺で速くなります。その後、周りの余効すべりのフロントが追いつこうとする一方で、小規模地震震源域で先行した余効すべりのフロントは停滞するため、小規模地震震源域内のせん断応力（物体内部のある面の平行方向に、すべらせるように作用する応力）は、余効

すべり伝播方向の前面側で局所的に高まります。その結果、部分破壊が中心からずれたかたちで2回に渡って発生し、両者は相補的な位置関係にあることが確かめられました。

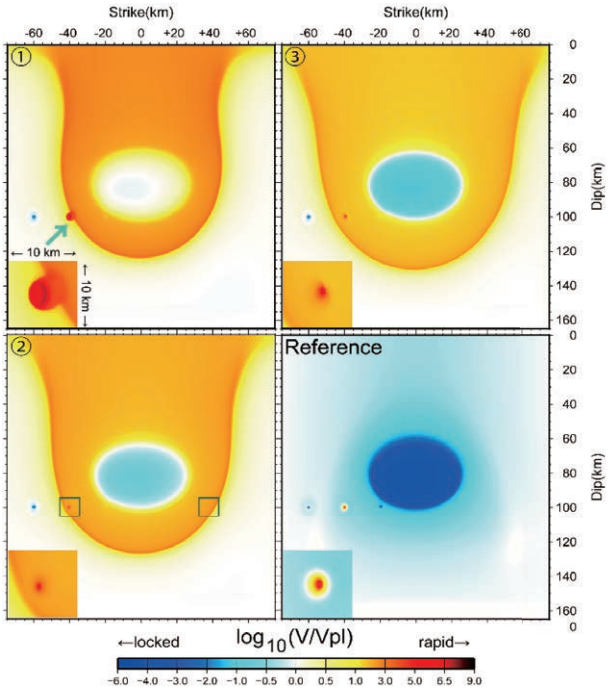


図2. 数値シミュレーションから再現された沈み込みプレート境界面におけるすべり速度分布のスナップショット。暖色系が高速すべり、寒色系が固着を示す。左下は小地震震源域周辺の拡大図。

このような震源域の空間的な揺らぎは、釜石沖でも見られています。釜石沖の地震について上記の解釈を当てはめると、東北地方太平洋沖地震の余効すべりは、釜石沖では東南東から西北西方向へ伝播したと解釈することができます（図1の矢印）。

このことから本研究の成果をまとめると、繰り返し地震発生メカニズムを理解する上で有望な知見を得るとともに、1. 摩擦特性および摩擦構成則について小規模地震の固有性が揺らぐ条件に基づく数値シミュレーションから（岩石実験とは独立して）絞り込めること、2. 余効すべりの伝播方向を測地学とは独立して推定できること、となり、新たな解析手法の妥当性が今回の数値シミュレーションから示されたことになります。

今回の研究成果は、釜石沖に限らず、他の繰り返し地震にも適用することが可能であり、南海トラフでも適用されることが期待されます。特に文部科学省が進める南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトとして進められている、日本周辺における海溝型巨大地震のモデル化を行う際に、摩擦特性や摩擦構成則などの条件を設定する上で、重要な知見を与えるものです。

また、同プロジェクトでは、南海トラフ沿いに設置された地震・津波観測監視システム（DONET）を活用し、陸上からの観測が難しい、海溝付近で発生する小規模の繰り返し地震も対象に含めることで、微小な海底地殻変動を検知する研究が進められています。

ベクトル津波計によるリアルタイム海底津波監視システムの実海域での試験観測に成功

東日本大震災では、明治三陸地震以来の巨大津波が発生し、東北地方の沿岸に甚大な被害をもたらしました。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、かつ高精度で予測することが緊急の課題です。この課題達成にむけて「ベクトル津波計（VTM）」（図3）を開発してきました。

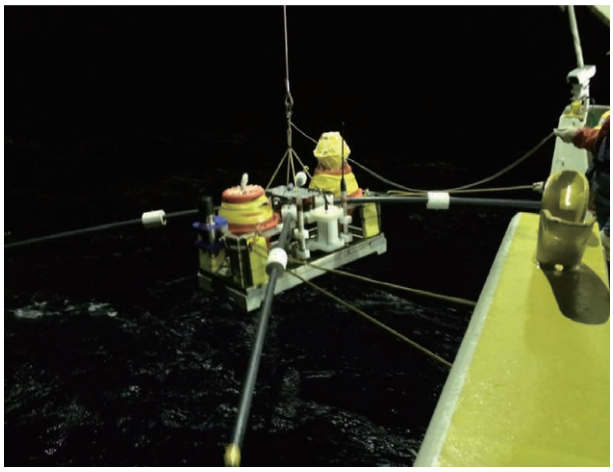


図3. ベクトル津波計の設置風景

VTMは、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ます。

海底電磁場変動の観測によって、東日本大震災で発生した津波が巨大化した原因として注目されていた短周期の津波の発生場所を特定することに成功しました（平成25年10月4日発表プレスリリース「東日本大震災で発生した津波が巨大化した原因となった場所を特定」）。また、2010年チリ地震に伴う津波の伝播過程を、海底電磁気観測装置によってアレー観測することに成功しました（平成26年1月8日発表

プレスリリース「海洋ダイナモ効果を利用した新しい津波観測手法の立証」）。これらの成果は、海底に設置したＶＴＭによる津波観測が、津波の発生と伝播に関わる情報を正確に検知できることを示しています。

一方で、これらの成果は、津波発生の数ヶ月後に海底観測装置を回収して、記録されたデータを解析することで得られたものです。ＶＴＭを沿岸での正確な津波予測に役立たせ、将来の津波災害の軽減に貢献するためには、このＶＴＭによる観測データをリアルタイムに陸上まで伝送し、津波を常時監視する体制を作ることが必要となります。

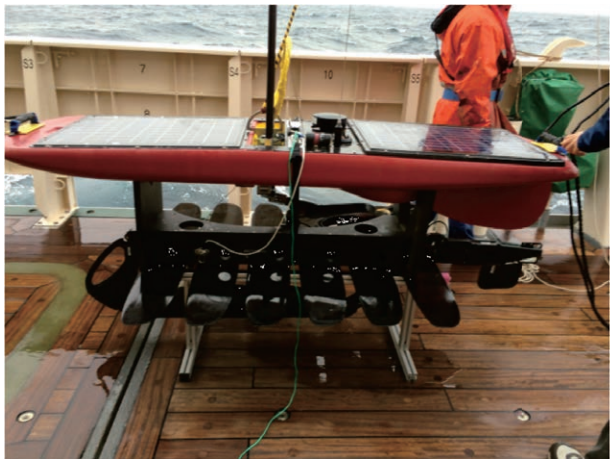


図４. 投入前のウェーブグライダー

このため、ＶＴＭによるリアルタイム観測システムの開発を進めてきました。このシステムは、海底で記録されたデータは音響伝送装置を用いて海面まで伝送し、さらに海面から陸上までのデータは、ＶＴＭの直上の海面に自律型の海上プラットフォームであるウェーブグライダー（図４）を浮かべ、海底からの観測データを受け取り、衛星通信により陸上まで伝送するシステムです。ウェーブグライダーは、海面の波を推進力として燃料無しで海面を動き続けることが出来る装置で、長期間の観測には適しています。このシステムによりベクトル津波計が観測する海底の様々な状況（磁場、電場、傾斜、水圧等）を、リアルタイムに陸上まで伝送することができます。

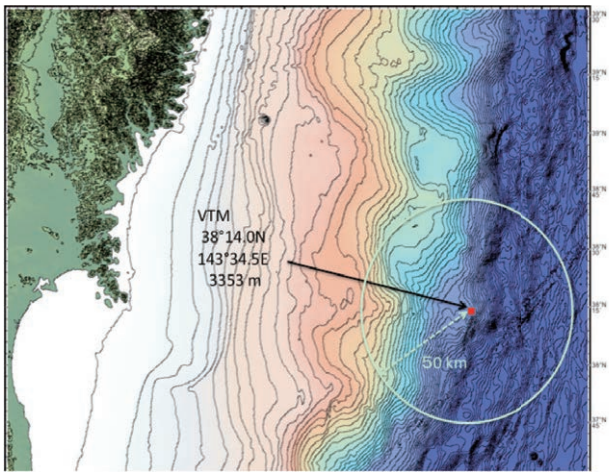


図５. 本システムの観測地点

本システムは、平成 26 年 3 月 13 日に仙台沖約 200ｋｍの海域（水深約 3,400m：図５）に海洋調査船「新青丸」を用いて設置しましたが、その後数ヶ月に渡って運用され、海底に設置したベクトル津波計から信頼性の高いデータをリアルタイムで陸上に伝送できることが確認されました。このシステムは、約４時間という極めて短い時間で設置することができました。システム全体を設置して陸上までのデータ伝送を開始するまでの作業が短時間で可能なことは、本システムの機動性を立証しているといえます。

本システムの観測期間中、4月２日（日本時間）にチリで発生した地震に伴い日本の太平洋岸に到達した津波について、本システムは３日早朝にリアルタイムで津波の伝播過程（波源の方向、速度、波高等）を詳細に捉えることに成功しており、その有用性が確認されています（図６）。

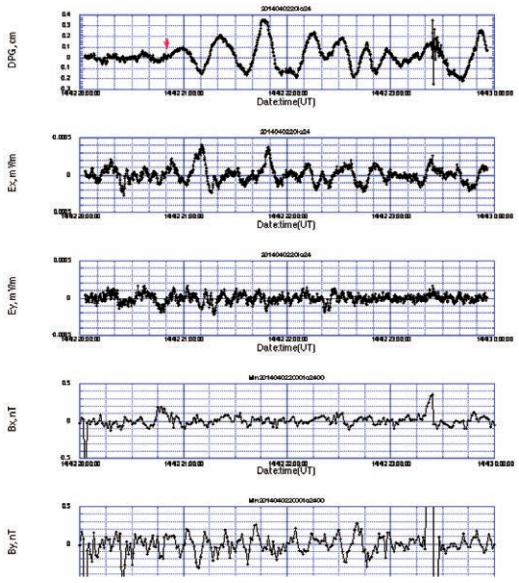


図６. 2014年チリ地震による津波記録

本年度行なった実海域試験で、精度の高い津波計であるベクトル津波計を用いたリアルタイム津波監視システムを構築し、試験観測を実施することができました。ここで得られた運用データに基づき、今後本システムの実用化に向けた研究開発に取り組んでいきます。

南海トラフの微小地震活動によって励起された地球の常時振動～常時振動の新しい励起源の発見～

地球には大気や海洋、それから岩石で構成される固体地球が存在します。地球は常に静止しているわけではなく、それらの相互作用によって様々な場所が振動していることが知られています。最もよく知られた例では、地震が起こると、その地震によって引き起こされた地震波が地球上を伝わって固体地球だけでなく、大気や海洋も振動させます。その地震の規模が大きければ大きいほど、地震波は地球全体を長い時間揺すり続けます。しかし、地震の場合は、このような振動が確認されるのは地震が起きた直後に限られます。

その一方で、地震が起きていないときはどうかというと、このときは、大気や海の波によって固体地球が常に揺すられていることが知られており、この現象は「常時地球自由振動」や「脈動」と呼ばれています（図 7）。それぞれの振動の周期は常時地球自由振動が数百秒、脈動が 5–15 秒程度で、周期が長ければ長いほど地球の深部までその振動のエネルギーが伝わります。そのため、これらの振動を解析することで、地球や惑星の内部構造を調査することが可能となります。その一方で、周期が短ければ短いほど、より浅部の内部構造を詳細に調べることができます。しかし、これまでの研究では、脈動よりも短い周期帯では常時振動は見つかっていませんでした。また、このような常時振動について、地震は単発的な振動であり、発生間隔も不規則であることから、その励起源となるとは考えられていませんでした。

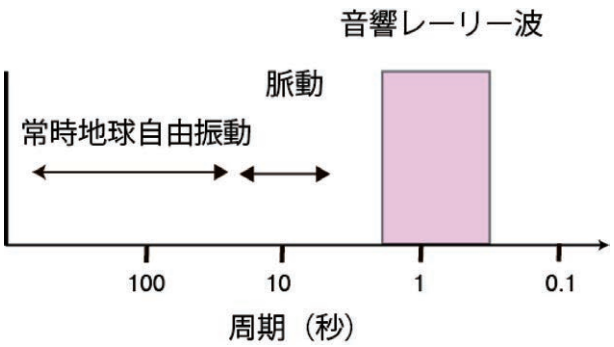


図 7. 常時地球自由振動、脈動、音響レーリー波の卓越周期

研究グループでは、2011 年 9 月–12 月に南海トラフ付近の海底に設置された約 150 観測点のハイドロフォンのデータに地震波干渉法を適用し、常時振動の存在を探しました。世界中の沈み込み帯でこれほど稠密に展開された観測網はほとんどなく、海溝やトラフ付近で観測されたノイズのデータに地震波干渉法を適用して常時振動の存在を調べたのは、本研究が世界で初めてです。

この結果、これまで知られていた常時振動よりも短い周期帯 0.5–1.4 秒において、音響レーリー波が常に伝播していることがわかりました（図 7）。ハイドロフォンを設置していた 3 ヶ月間、この波動が観測できるかどうかを日ごとのデータを用いて解析した結果、毎日観測することができました。また、この波動がどの深さにエネルギーを持つかを理論的に計算した結果、海中と海底下の固体の両方にエネルギーを持つことがわかりました。これは、この波動が海特有の現象で、海中だけでなく海底下の固体も振動していることを示唆しています。

さらに、この波動が伝わる方向を調べたところ、南海トラフの東側ではトラフ軸付近から北および南向きに波動が伝わっており、西側ではトラフ軸の北側では南北方向、トラフ軸の南側では南向きにのみ波動が伝わっていることがわかりました。この波動が進む方向とこの付近で発生している地震の震源分布を比較すると、地震がたくさん起きている場所から音響レーリー波が射出されていることがわかりました（図 8）。これは、地震が音響レーリー波を発生させていることを示唆しています。この音響レーリー波は、減衰しにくく伝播速度が遅いという性質があるため、微小地震がたくさん起きることで定常的に音響レーリー波を存在させることができます。

以上の結果から、沈み込み帯で起こるたくさんの小さな地震が音響レーリー波を励起し、その波動によって常に海中と海底下が振動していると結論づけました（図 9）。これまでの研究では、常時振動を発生させる要因は流体のみと考えられてきましたが、本研究の結果から、地震もその要因となり得ることを明らかにしました。

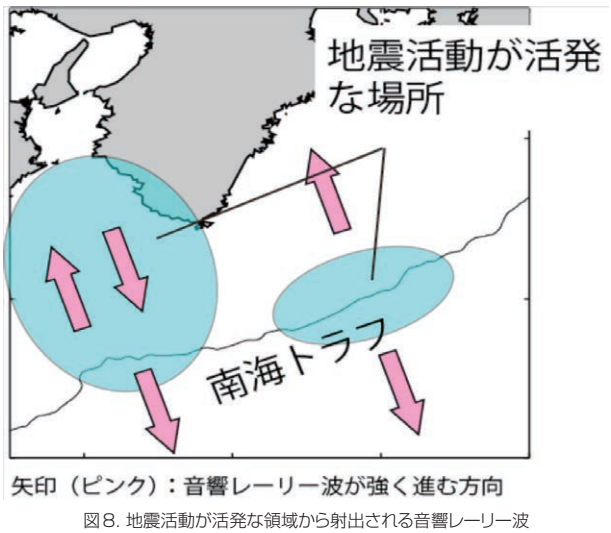


図 8. 地震活動が活発な領域から射出される音響レーリー波

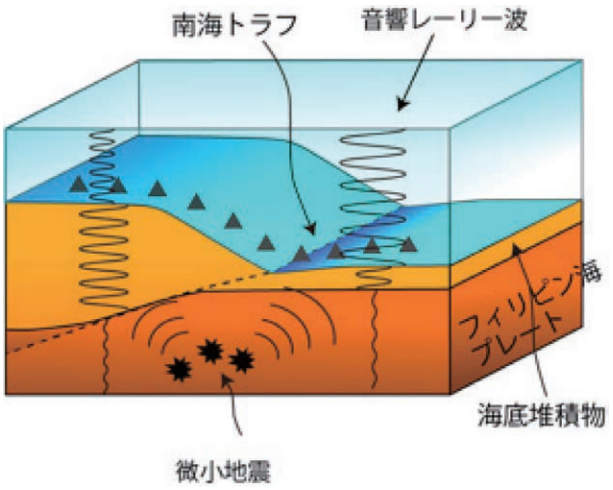


図9. 微小地震活動による定常的な音響レーリー波の励起

また、今回の研究で観測された音響レーリー波は海底下の浅部の地震波速度構造に応じて、進む速さが大きく変化します。そのため、音響レーリー波の伝播速度を詳細に調べることで、浅部構造を明らかにすることができます。これは、海底に観測装置を設置するだけで地球内部の構造の調査が可能となるため、今後の海底観測の効率性や経済性の向上につながることも期待されています。

また、DONET で取得されたデータでも音響レーリー波を観測することができるため、今後、この波動の進む速さをリアルタイムでモニタリングすることで、海底下に存在する流体の動きなども捕らえることができる可能性があります。そのため、沈み込み帯のダイナミクスの理解にもつながることが期待されています。

○地震・津波の総合災害ポテンシャル評価研究

東日本大震災の教訓を踏まえ、現実的な地震・津波像に基づく地震・津波シミュレーション研究を行います。南海トラフ、南西諸島域及び日本海溝等の日本列島周辺海域における地震・津波被害像の評価を進めます。ともに、防災・減災対策へ実装するため、各種予測計算等の準備を実施し、日本海や南海トラフ周辺海域等の地震・津波による被害の軽減に向けた情報基盤プラットフォームを構築します。これらを活用し、海域地殻変動や海底変動に起因する災害ポテンシャルの評価とそれに基づく地域への影響評価を行います。

即時津波予測システム実装

地震津波海域観測研究開発センターでは、地震・津波観測監視システム（DONET）の情報を地域の防災・減災対策に役立てるため、和歌山県や中部電力・尾鷲市と即時津波予測システム開発を目的とした共同研究を実施しています。DONET は、強震計や広帯域地震計、水圧計、微差圧計、ハイドロフォン、精密温度計など複数のセンサーを用いて海底で発生する様々な情報を観測し、海底ケーブルを用いてリアルタイムでデータ伝送するシステムです。今後、数十年間の連続観測を実現するため、海底ケーブルをループ状に敷設することで冗長化を図り、拡張用分岐装置と観測点の接続に対して海中ロボット（ROV）を用いて接続することで、観測点の拡張性やセンサーのメンテナンス性を確保しています。DONET は、熊野灘の DONET1 と紀伊水道沖の DONET2 から構成されますが、現在、DONET1 の 20 観測点を運用しており、DONET1 に 2 観測点、DONET2 に 29 観測点を新たに構築中です（図 10）。これにより、熊野灘から室戸岬沖までのエリアの地震や津波をリアルタイムで観測することができるようになります。

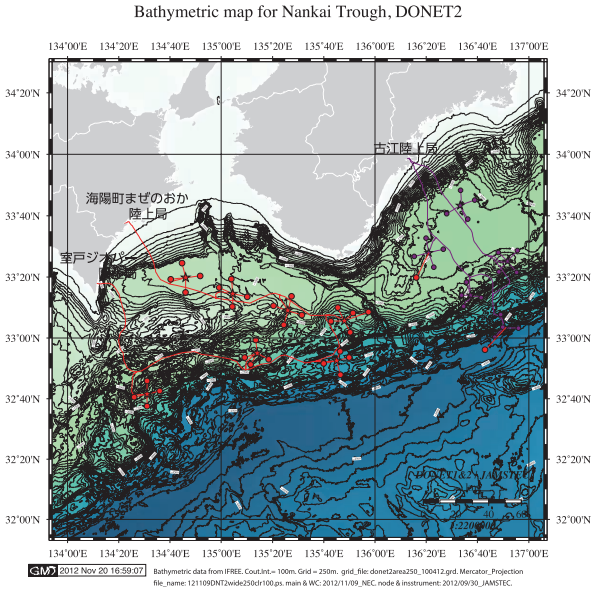


図10. DONET観測点。紫色は既に運用しているDONET1、赤色は現在構築中のDONET2を示す。

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、尾鷲港より約 15 分前に津波を観測しました。このように、海域で発生する海溝型地震に対して、早期に地震や津波を観測できることが DONET の強みになります。津波は水深によって速度が決まりますが、津波伝搬が浅海域に達すると、徐々にその高さを増していきます。この津波の増幅は津波伝搬経路の地形や海岸線の形などに起因するため、事前にシミュレーションを通じてその増幅を評価することができます。地震津波海域観測研究開発センターでは、その点に注目し、事前にこの津波増幅率を評価し、DONET の水圧計で観測される津波高に応じてリアルタイムで対象ポイントの津波高や津波到達時刻、その周辺の浸水マップを表示するシステムを構築しました（高橋他，2015）。現在、DONET2 を構築中ですの

で、使用データはDONET1の20観測点です。このシステム構築には、DONETデータをサーバーにリアルタイムで伝送すること、事前に即時津波を予測する対象ポイントを決めておき、DONET観測点と対象ポイントの津波計算をして津波データベースを構築しておくことが必要になります。以下、その内容を説明します。

DONETデータの伝送は毎秒行われますが、その都度、本システムは、事前に計算して構築した津波データベースから該当する断層モデルとそれに紐付く計算波形と浸水マップを抜き出して表示します。伝送するデータは強震計3成分（200Hz）と広帯域地震計3成分（200 Hz）、水圧計（10 Hz）の計9成分のデータです。また、データ伝送は、現実の防災・減災対策に資するため、冗長化を図ることとしました。古江陸上局から尾鷲市までは陸上回線と尾鷲市が管理する尾鷲市防災ネットワーク（無線回線）を用い、中部電力には尾鷲市経由の陸上回線と古江陸上局からの衛星回線を用い、JAMSTEC横浜研究所には尾鷲市経由の陸上回線と衛星回線を用いてデータを伝送しています。いずれもDONETデータのリアルタイム伝送に十分な品質があることを確認しています。なお、和歌山県には、古江陸上局から陸上回線を用いて伝送しています。

津波計算については、房総沖から日向灘に至るエリアにおいて、1500ケース以上の震源モデルを仮定し、DONET観測点51ヶ所と対象となるポイントの津波波形を6時間分計算しました。現在、使用するDONET観測は20観測点ですが、今後の高度化を見据えて51観測点で計算しています。20観測点の絶対値平均と対象となるポイントのそれぞれの最大波高の比を計算すると、ばらつきを伴いつつも全体的に正の相関があることがわかります（Baba et al., 2013）。DONET観測点で津波を自動検知すると（Takahashi et al., 2014）、水圧計の入力振幅に合わせて、津波データベースから複数の該当モデルを抜き出し、津波高、津波到達時刻、浸水マップを表示し、水圧計の振幅が大きくなるにしたがって、その都度予測を改訂することになります（図11）。本システムでは地震計データから震源の方位を評価して震源モデルを絞り込むことで予測の精度向上を図っています。但し、現在は熊野灘に設置してあるDONET1のみの使用ですから、南海地震には対応できません。今後、DONET2観測点を含めて高度化を図り、南海地震にも対応する予定です。また、データベースの中では各地点の浸水深情報を抜き出すことも可能です。これらの情報の表示の方針は、使用するユーザーとの議論の中で対応します。

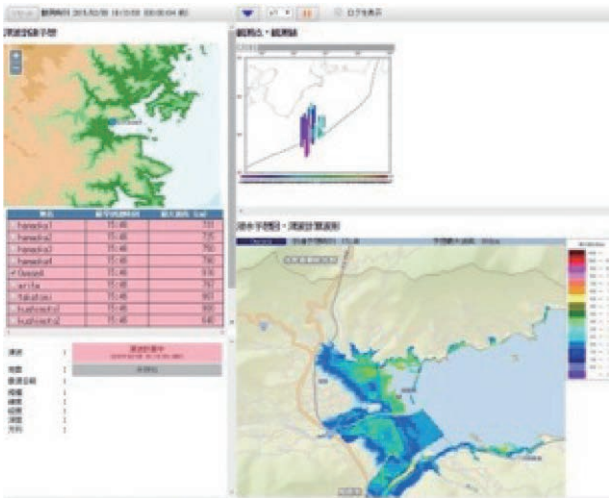


図11. 尾鷲港の津波即時予測例。左側に津波の到達時刻や津波高を表示、右上にDONET水圧計をリアルタイム表示、右下には浸水エリアを表示している。

このシステムのメリットは、市町村単位よりも細かいエリアの予測が可能となることです。津波の高さは、沿岸域の湾の向きや海底地形で大きく変わります。この津波計算では沿岸部では5-10 mの細かい地形を用いて計算しています。そのため、防波堤など構造物を含めた細かい地形を考慮することができます。防風林や防砂林など、より細かい情報を反映させるためには、津波計算の時点で土地利用に応じた水と地面の摩擦係数として反映させることになりますが、現在の計算では、そこまで細かい情報を入れていません。こういった情報の取り扱いはユーザーの方針に関わることです。本システムは、ユーザーの方針の違いを津波計算の中で吸収する形をとっています。

但し、この即時予測には当然誤差が含まれますし、データ欠損の可能性があることをユーザーは理解してもらう必要があります。本システムでは、その誤差を理解してもらうために、入力したDONETの水圧計データに応じて選択された複数のモデルを合わせて表示しています。また、データ伝送の冗長化は図りましたが、データ欠損の可能性がなくなったわけではありません。そのため、本システムを使用する場合には、リアルタイムでDONETデータの波形も合わせて表示して運用する方針としています。和歌山県は、本システムを用いて串本町の津波到達時刻と津波高の気象業務許可を得ました。更にDONETデータの利活用を目指して、DONET2観測点を導入し、特に南海トラフエリアで発生する津波の即時予測の高度化を図る予定です。

○地震・津波による生態系被害と復興に関する研究

2011年3月11日に起こった地震と津波は、東北沿岸から沖合の海洋生態系を著しく撹乱しました。本事業では、東北

沿岸域からその沖合海域において攪乱された底層環境と海洋生態系の実態を明らかにする調査研究を 10 年間にわたって行っています。本事業では、東北の被災地の方々と連携して研究を進め、巨大地震後の生態系擾乱からの回復を記録するとともに、その科学情報を被災地を中心とするコミュニティーに提供し、水産業復興のために貢献することを目指しています。

本事業の研究システムは先駆的であるため、今後、日本を含む世界各地で起こることが予想されている海洋生態系の撹乱とそれからの回復をモニタリングするモデルにしたいと考えています。ここでは、いくつかのトピックを紹介します。

底層生態系変動解析並びに環境影響評価

東北沖合の生態系に瓦礫が与えた影響を明らかにするためには、まず海底地形情報が必要です。そこで船舶を用いた海底地形図作りを継続しました。その結果、宮城県、岩手県沖を中心に漁業の実施される水深 1,000m 以浅では 7 割を越えるエリアで海底地形図を完成させることができました（図 12）。

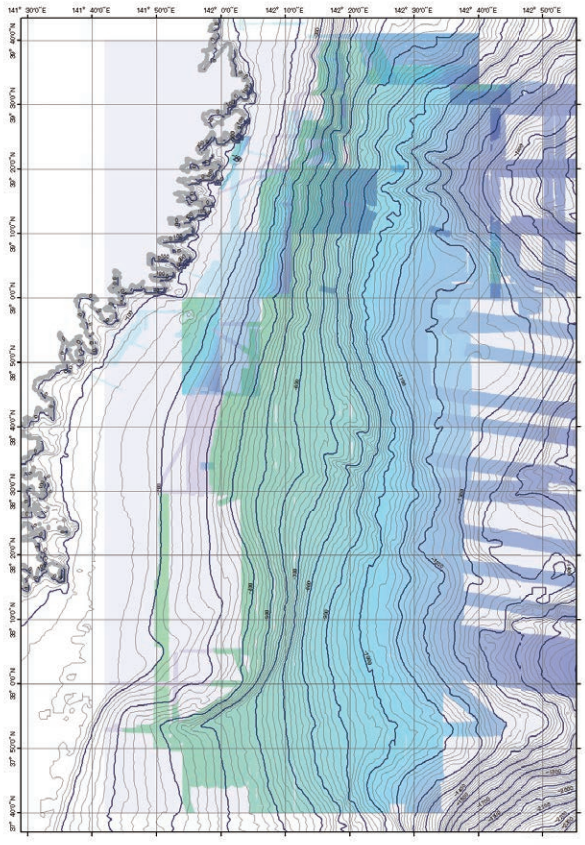


図 12. 東北沖合の海底地形図

瓦礫調査に関しては、音響探査を実施して特異点を選定し、その後、無人探査機を用いて目視観察する作業を行いました。その過程で、宮城−岩手県境、水深 115m 付近に全長約 70m の船舶と推定する大型の構造物を見つけました（図 13）。無人探査機を用いて目視観察したところ、音響で発見した大型構造物は船舶でした。船舶の構造などから震災以前に沈んだものである可能性が高いこともわかりました。調査結果は岩手・宮城両県、および塩竈にある第二管区海上保安部に連絡しました。

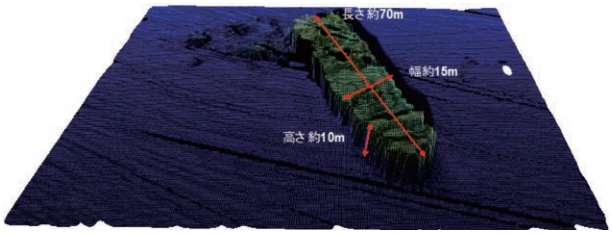


図 13. 沈船の音響画像

海洋環境変動のモニタリング

三陸沖合の海洋環境及び海洋生物の変動を物質循環の観点から評価し、震災後の回復過程を評価するために海洋観測、海底境界層付近の長期連続観測、表層堆積物の観測、生物体内のアミノ酸の窒素同位体測定、有害物質の測定を継続しています。

【海洋観測】

2015 年 3 月に大槌沖合の海洋観測を実施した結果を図 14 に示します。50m 以浅には親潮系（沿岸親潮を含む）の水塊と推測される低温・低塩（3.5℃以下、塩分 33 以下）の海水が見られ、また、150m 付近は津軽暖流が変質した海水と考えられる温度 5.5℃以上、塩分 33.5 以上の水塊で占められていました。

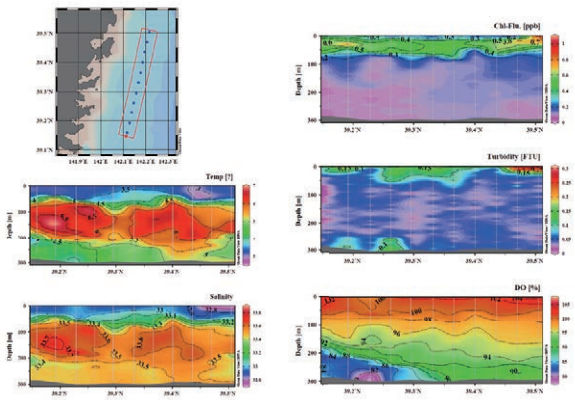


図 14. 傭船「第八開洋丸」により2015年3月に行った大槌沖合の海洋観測結果
左上図：観測点図、左中図：水温（℃）、
左下図：塩分、右上図：クロロフィル（ppb）、
右中図：濁度（FTU）、右下図：溶存酸素（%）

2014 年 3 月の新青丸 KS-14-3 航海で得られた結果を津軽海峡東口尻屋－恵山観測線の結果等と比較しました。2014 年 2-3 月には通常年より低塩・低温の沿岸親潮が下北半島側へ接岸し、漁業に大きな被害を出しています。この現象は例年日本海から太平洋へ流出する対馬暖流を起源とする暖かな海水が津軽海峡を通過しているのに対し、2014 年は日本海亜表層水（日本海固有水の性質に近い水塊）が流出したために起きたと推定していますが、この日本海亜表層水は、新青丸 KS-14-3 航海で得た 2014 年 3 月の青森・岩手の県境に近い観測線にも見られています。なお、大槌沖合の観測線では見られませんでした。

【海底観測ステーション（ランダー）】

海底変動を把握するためにランダーを大槌沖合に設置しています。2013 年度に大槌沖合 300m と 998m に設置したランダーから得られたデータの解析を進め、次のような結果が得られました。

①300m設置のランダー

- 一時的に逆転することもあるが基本的に北北東から南南西へ同深度に沿った0 ～ 30 m/secの流れで、12、24時間の周期性が見られました（図15）。潮汐の影響を受けていると考えられる現象です。

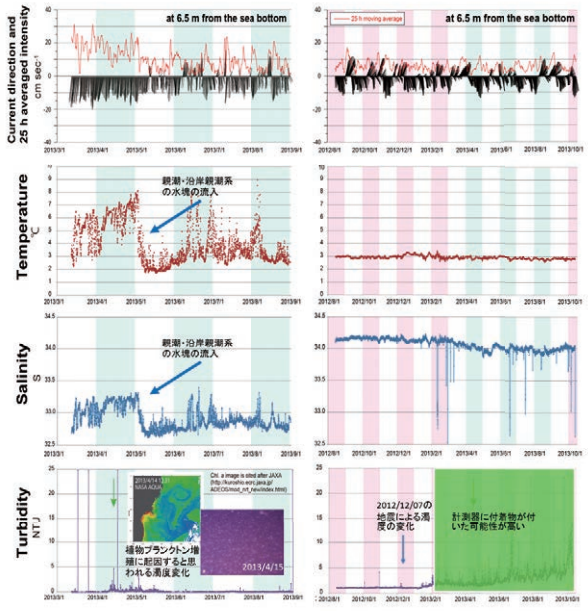


図 15. ランダーから得られた流向・流速、温度、塩分、濁度
左側は大槌沖合水深300m（設置期間：2013/3/12 ～ 2013/9/2）、右側は998m（設置期間：2012/8/14 ～ 2013/10/14）に設置したランダーから得られた結果。

- 2013年5月初旬に8 ℃、塩分33.3から2 ℃、32.8に急減しています（図15）。後者は沿岸親潮・親潮に分類され、漁業者が冷や水と呼ぶ水塊の流入と推測されます。
- また、海面での植物プランクトンブルームと関連して濁度が変化する傾向が見られました。浅い海底では沈降粒子の影響が強いと考えられます（図15）。

②998m設置のランダー

- 北北東から南南西へ同深度に沿った0 ～ 15m/secの流れで、12、24時間の周期性が見られます。300mと同様潮汐の影響を受けていると考えられる現象です（図15）。
- 2012年12月7日宮城県沖を震源とする地震（M=7.3）に伴うと思われる濁りが観測されています。映像から海底表面や底生生物が泥で覆われる現象が確認されましたが翌日には元に戻っています（図16）。海底直上の撹乱が容易に起こり、それはすぐに回復することを示している可能性があります。

図 16. 大槌沖合998mのランダーに記録された2012年12月7日の地震による濁度の変化と地震前後の海底の様子。
上段：濁度の変化、写真上から12月6日、7日、8日の海底の様子。

（4）海洋生命理工学研究開発

概要

本課題は、①海洋生態系機能の解析研究と②極限環境生命圏機能の探査、機能解析及びその利活用の2つのサブ課題から構成されています。

サブ課題①海洋生態系機能の解析研究では、海洋生物多様性を生み出すメカニズムや、深海を含む海洋における特殊な環境への生物の適応過程を明らかにするため、

- 真核生物の新規系統群を探索します。
- 深海生態系の基礎構造を解析します。
- 海洋生物が独自に発達させた生態系やその進化過程、多様な構造・機能について解析します。

サブ課題②極限環境生命圏機能の探査、機能解明及びその利活用では、機構が保有する探査システム等を活用し、極限環境生命圏の探査を行い、

- 極限環境生命圏の探査を行い、微生物生態系の構造や環境−微生物−生物間における共生システムの相互作用及び生命の進化プロセスに関して科学的知見を蓄積します。
- 極限環境下での物理・化学プロセスの理解を進めるとともに、特有の機能に関する応用研究を展開し、更なる生命機能の利用可能性を示します。
- 深海・海洋生物が生産する有用な酵素、生理活性物質等の機能及び生産技術に関する研究を実施します。

課題全体としましては、「海洋生命と地球システムの統合的理解を進め、社会的諸課題の解決に資するイノベーション創出の礎となる知的基盤を確立する」ことを目標に、深海底や海底下に広がる極限環境生命圏の調査を行い、生態系の構造や進化の解明等に関する研究開発を行うこと、および極限環境で生物が独自に発達させた生存戦略の解明に向けた研究開発を行います。

・海洋生物が独自に発達させた生態系やその進化過程、多様な構造・機能について解析する。

A：初期海洋環境と原核生物の共進化プロセスの理解

初期海洋環境と原核生物の共進化プロセスを理解するために、特に海洋生態系の誕生から初期進化をへて細胞生理の大進化が起きた先カンブリア紀に焦点を当てて研究展開を行っています。海洋・大気の組成とその変動の鍵を握る二酸化炭素濃度の変動と全球炭素フラックスの復元・定量について、これまでの35億、32億、27億年前に続いて、22億年前の全球凍結時の地殻内熱水変質帯に記録された流体包有物中の二酸化炭素を分析することによって、当時の海洋・大気中の二酸化炭素濃度の復元・定量に成功しました。その結果は22億年前の全球凍結が急激な二酸化炭素濃度の減少によって引き起こされたことを強く支持するものでありました。一方、先カンブリア紀の海洋生態系の初期進化を地質記録から解読する際に鍵となる微生物による安定同位体分別／平衡効果指標の確立を目指しています。初期生命進化において重要な役割を果たしたと考えられる水素資化好熱性メタン菌の窒素固定やメタン生成における安定同位体分別／平衡効果を培養実験によって精査し、従来の常識を覆すような安定同位体分別／平衡効果を発見し、新しい安定同位体分別／平衡効果指標の体系化に成功しました。さらに今年度には、海洋生態系の誕生を準備する原始海洋環境での化学進化プロセスおよび初期微生物代謝進化において深海熱水硫化物沈殿を介した電気化学触媒反応が極めて重要な役割を果たしたとする仮説を提唱しました。（図1）。

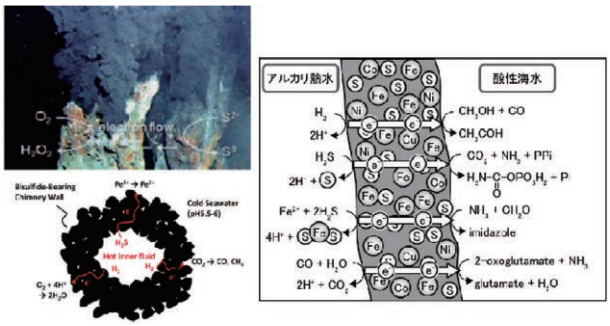


図1. 深海熱水硫化物沈殿構造物を介した電気化学的化学進化仮説

・真核生物の新規系統群を探索する。

B：真核生物における多様性創出メカニズムの理解

嫌気的な底泥中から新規な嫌気性原生生物の単離／培養に成功し、それは真核生物の大系統群であるストラメノパイルの中の独立の系統（綱レベルで新規）でCantina marsupialisとしました（in press）。C. marsupialisはクリステ構造が退化的なミトコンドリアを有しており、高電位キノン（ユビキノン）がミトコンドリア内で機能するユニークな代謝機能を有していました。好気から嫌気環境へ進化適応するミトコンドリアは、低電位キノン（ロドキノン）を用いたフマル酸呼吸能を獲得することは知られていますが、このミトコンドリアは、その過程をスキップして嫌気環境へ適応しています。本研究対象はミトコンドリアの嫌気環境への適応過程における進化を知る上で重要なオルガネラであることを示しました（図2）（submitted）。

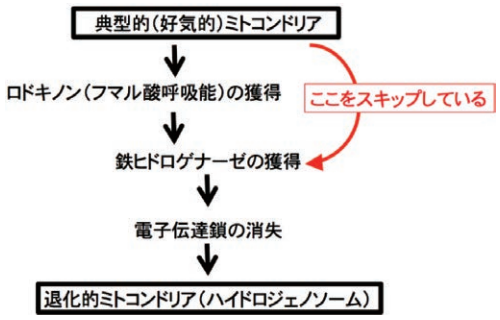


図2. ミトコンドリアの嫌気環境適応進化プロセス。*Cantina marsupialis* のミトコンドリアは最初のステップをスキップしている。

真核細胞内のオルガネラ共生の理解のモデルとして、化学合成共生細菌を有するシンカイヒバリガイ類における共生者の機能及び取り込みのメカニズムを解析しました。水素濃度が低い熱水域にいるシチヨウシンカイヒバリガイの共生細菌は、宿主1個体内において同一共生細菌種でありながら、エネルギー代謝遺伝子群（例えば水素代謝遺伝子群など）を持つ亜集団と、欠損する亜集団が存在しました。熱水域では水素はエネルギー源として使いやすいです。シチヨウシンカイヒバリガイは、1 個体内に水素や硝酸をエネルギーとして使える遺伝子群の有無をもつ亜集団を環境に応じて取り込み、エネルギー代謝の可塑性を保持していることが示唆されました（図3）。

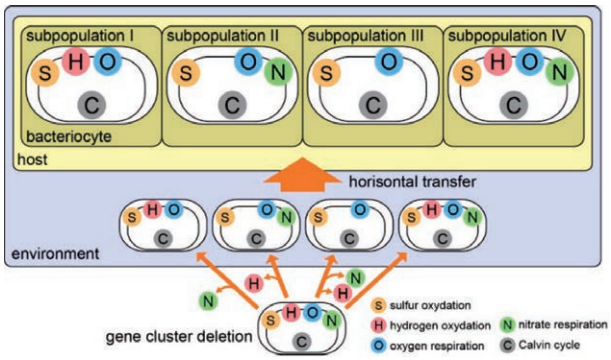


図3. シチヨウシンカイヒバリガイの生息環境には、同一細菌種でありながら水素や硝酸などのエネルギー代謝遺伝子群を欠損したものが生息。シチヨウシンカイヒバリガイはそれらを共生細菌として取り込み、生息環境に応じて変化させてエネルギーを獲得している。

また、三陸沿岸のシロサケ稚魚の胃内容物のミトコンドリアDNA（COI 領域）の多様性解析を行ったところ（別プロジェクト）、高次レベル（門）で新規な多細胞動物に由来すると思われる遺伝子配列が高頻度で得られました。今後、系統・形態分類を進めます。

・深海生態系の基礎構造を解析する。

C：深海域におけるトップ・プレデターの解明

深海生態系の高次捕食者を明らかにするために、主に駿河湾から 37 種、計 230 検体を入手しました。（データベース登録）。高次捕食候補者試料の収集を行いました。20 種 40 個体分について全有機窒素、炭素の安定同位体比解析からユメザメ、モミジザメが高次捕食者になることが示唆されました。8 種についてアミノ酸窒素安定同位体比解析を行い、ユメザメ、チヒロザメの栄養段階が 4.4 ～ 4.5 となりました。この値は浅海域の頂点捕食者と類似します。頂点捕食者候補種から非致死的に組織試料を多数サンプリングすることを目指して、現場バイオプシー装置「IBIS」(In Situ Biopsy System) の開発に着手し概念設計を実施しました（図 4）。主な構成はビデオカメラ、LED 照明、バイオプシー装置、トリガー発生装置、超音波式流向流速計などとしました。また今年度はバイオプシー針の形状の検討、各針の静止貫入試験、高速貫入試験などを行い、バイオプシー針の形状とサンプルリターン方法の概要を決定しました。

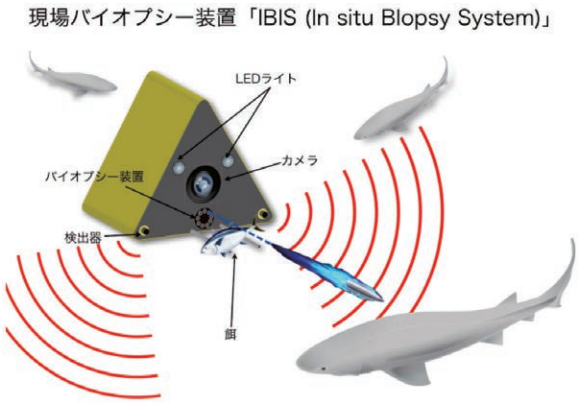


図4. 現場バイオプシー装置の概念

D：生態系の数理モデル研究

多層ネットワークにおける系の安定性評価理論の構築を目指しています。生物は各生息域で補食活動を行い、また、生息域間を移動します。生息域間の移動様式が生物によって異なる場合、このダイナミクスは多層ネットワークにおける反応拡散系を用いて数理モデル化されます。このような系に対しては、従来の反応拡散系において重宝されてきた安定性評価手法（線形安定性解析など）が通用しません。本テーマでは上記の系の安定性を近似的に評価する手法の開発を行ない、数値実験によりその有用性を確かめました（図 5、論文投稿中）。

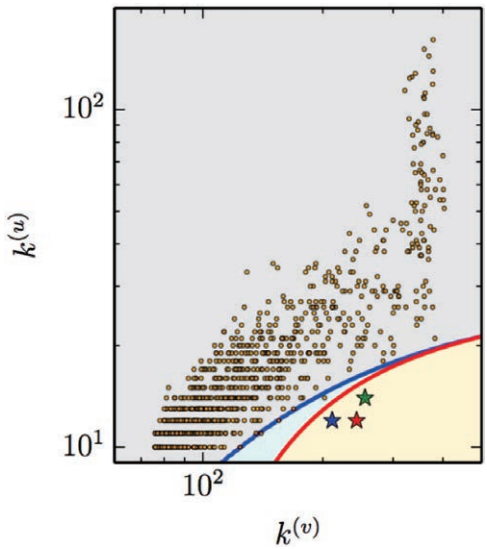


図5. 赤曲線が近似理論が示唆するパラメータ空間における安定・不安定領域の境界。丸印、星印はそれぞれ数値実験により安定・不安定性が確認されたパラメータ。

ネットワーク上における移流の自己組織化について研究に取り組んでいます。連続媒質上においては、移流による物質輸送が系の不安定化を引き起こし得ることが知られています。しかしながら、一般の構造を持った媒質（ネットワーク系）において、この移流誘起不安定化は調べられていませんでした。本テーマではネットワーク系における移流誘起不安定化の理論を構築するとともに、数値実験で理論の正当性を確かめました（図6、論文準備中）。

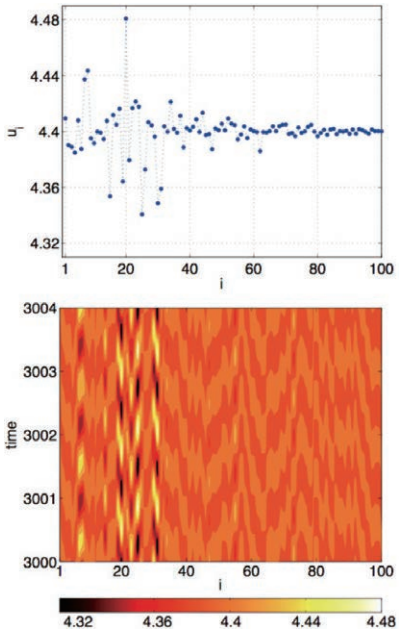


図6. 移流誘起不安定化が引き起こす自己組織化パターンの一例。横軸はネットワークノードの番号で、移流強度の強い順番に番号をつけている。

E：海洋で実際に機能する生化学プロセスの解明

同位体ラベル化とGC/MSの新規ソフトMassWorksを用いる微量メタボロミクス法を開発しました。この方法は、NMRを用いる従来のものに比べ3桁以上微量化でき、微生物など微量試料の代謝解析に応用可能となります。図7は、^{13}C-ラベル化した酢酸を基質として培養したThermosulfidibacter takaii の炭素固定経路を調べた例です。上記以外に2つの成果があります。^{15}N-ソフトラベル化した硝酸を用いて底生有孔虫を現場培養したところ、有孔虫は脱窒菌を共生細菌としてもち海底面付近の窒素循環をコントロールするプレーヤーとして機能していることを明らかにしました。黒海のメタンシープで採取された古細菌マットを各層に分け、それぞれに含まれるアミノ酸の炭素同位体比を分析したところ、古細菌の細胞内でアミノ酸と脂質が、全く新しい生化学プロセスを経て合成されていることを明らかにしました。これらの成果については，いずれも論文を準備中です。

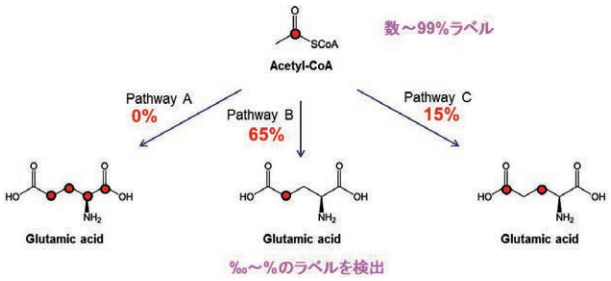


図7. ^{13}C-ラベル化した酢酸を基質として培養した*Thermosulfidibacter takaii* の炭素固定経路。

・極限環境生命圏の探査を行い、微生物生態系の構造や環境ー微生物ー生物間における共生システムの相互作用及び生命の進化プロセスに関して科学的知見を蓄積する。

A：マリアナ海溝における超深海・海溝生命圏の発見

世界最深の海であるマリアナ海溝チャレンジャー海淵内の超深海（水深6,000m以深）水塊（水温や塩分などの特性が比較的均質な海水の広がり）中に、上層に拡がる深海層水塊とは明瞭に異なる微生物生態系、即ち、独自の超深海・海溝生命圏が存在することを明らかにしました。本研究の結果、海溝内超深海層と上方の深海層（水深4,000～6,000 m）では、密度、温度、栄養塩濃度等環境的にも、また微生物数にも明瞭な違いが見られないにも関わらず、超深海の微生物群集構造は、深海層の微生物群集とは明瞭に異なり、従属栄養系統群が優占することが明らかになりました（図8）。

このことは、超深海環境特有の有機物源に依存する微生物生態系が超深海で発達していることを示唆しており、海洋

微生物生態系像に全く新たな知見をもたらすものです。また、海溝内での有機物分解フラックスの上昇は、硝化菌群の組成変化からも確認されました（図 9）。

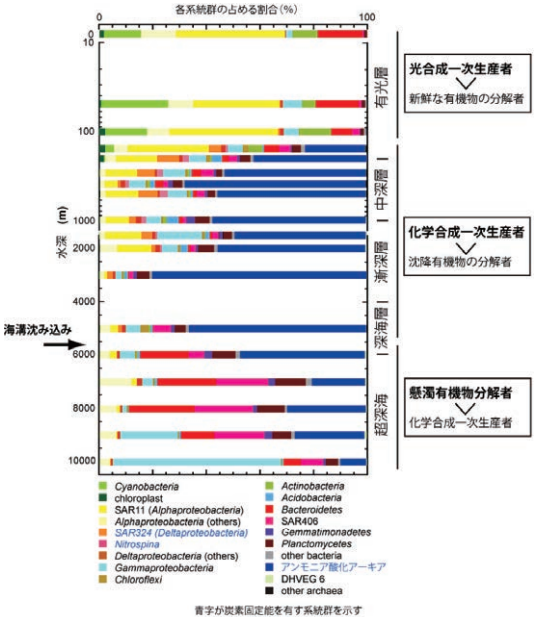


図 8. マリアナ海溝チャレンジャー海淵上の微生物群集構造
SSU rRNA遺伝子タグ解析により示す。中深層から深海層ではアンモニア酸化アーキアを初めとする炭素固定能を有す系統群（青字）が優占するが、超深海・海溝水塊では、従属栄養系統群が優占する。

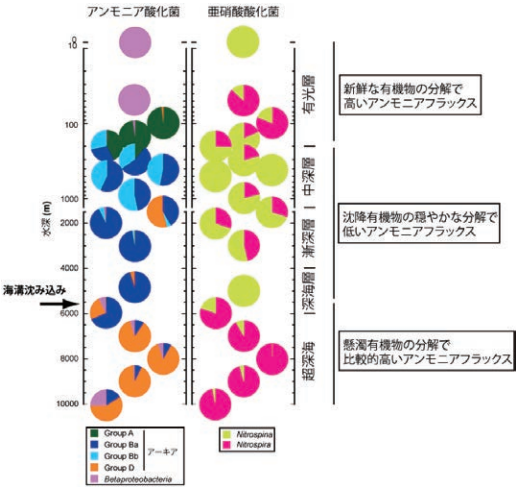


図 9. マリアナ海溝チャレンジャー海淵上における硝化菌（アンモニア酸化菌・亜硝酸酸化菌）群集の組成変化
この海域から検出されたアンモニア酸化菌（アンモニア酸化アーキア系統群及びBetaproteobacteriaに属すアンモニア酸化バクテリア）、亜硝酸酸化菌（Nitrospina及びNitrospira属）について、遺伝子レベルでの定量解析を行い、それぞれの系統群の各深度における分布量を割合で示した。なお、エネルギー物質（電子供与体）に対するそれぞれの系統群の好みを高濃度側から並べるとアンモニア酸化菌では、Betaproteobacteria > Group D > Group A > Group Bの順に、亜硝酸酸化菌では、Nitrospira > Nitrospinaとなると考えられている。

B：ゴエモンコシオリエビと外部共生菌の見えざる関係性を世界で初めて科学的に実証

これまでにも世界の深海熱水噴出域で化学合成バクテリアを体に付着させている深海動物が数多く発見されてきましたが、いずれの場合もその付着したバクテリアの役割、特に宿主動物（共生する相手の生物）の栄養源になっていることを明確に証明するには至っていませんでした。本年度、現場環境再現実験や長期飼育によって、沖縄トラフの深海熱水噴出孔の周囲一面に生息するゴエモンコシオリエビ（学名：Shinkaia crosnieri）の外部共生システムの機能解析と栄養の受け渡しに関する研究を行い、ゴエモンコシオリエビが、自身の体毛に付着する化学合成バクテリアを食べて栄養とする直接的な証拠を得ることに成功しました。

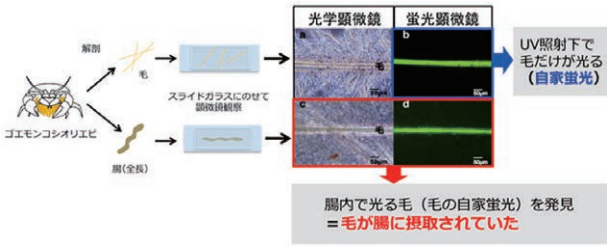


図 10. ゴエモンコシオリエビの毛の光学顕微鏡写真（a）と、蛍光顕微鏡写真（b）
腸内で見つかった毛の光学顕微鏡写真（c）と、蛍光顕微鏡写真（d）

- 極限環境下での物理・化学プロセスの理解を進めるとともに、特有の機能に関する応用研究を展開し、更なる生命機能の利用可能性を示す。

C：極限環境（微）生物に特有の代謝機能ならびに、バイオミメティクス応用に向けた技術体系の解明

微量メタボローム技術を用い、菌体収量の極めて小さな好熱性水素酸化菌 Thermosulfidibacter の代謝機能の解析を進め、可逆的な新奇 TCA 回路が存在することを見出しました。

海洋・深海生物の技術体系に基づくバイオミメティクス研究を新たに開始しました。本年度は数理科学・先端技術研究分野の研究者と共に議論を重ね、海綿動物（以下「カイメン」）の水溝系（体内の水路）を自律型の水輸送ネットワークと捉え、異分野連携によって水溝系の構造と機能を明らかにすることを目的とした研究開発を開始しました。バイオミメティクスの観点から興味が持たれるのは

1）カイメン水溝系のトポロジー的特徴が持つ機能
2）鞭毛運動による水流創生メカニズム

の2点です。今年度はカイメンを凍結乾燥し、X 線マイクロ CT によって3次元画像を得たのに加えて（図 11）、画像情報に対して統計解析を施した結果、カイメン水路のネットワー

ク構造に予想されたフラクタル分布ではなくベキ分布を発見しました。

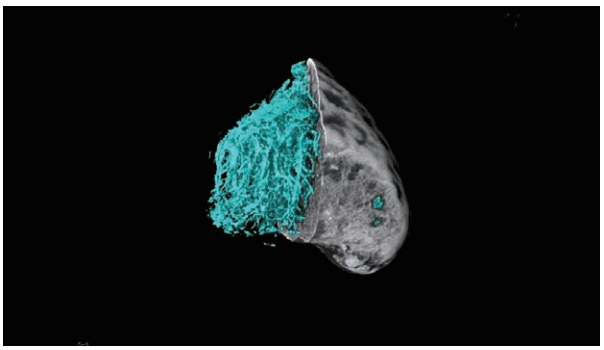


図11. カイメン水溝系ネットワークのX線CTマイクロ像

また、Magnetic Resonance Imaging（MRI）を利用して生きたカイメンの体内を流れる水の流速測定にも成功しました。加えて襟細胞室内での鞭毛運動の可視化・定量化に向けて、淡水カイメンを用いたモデル実験系の構築を進めました。

有孔虫は海水に含まれるカルシウムイオンを利用して石灰の殻を形成しています。しかし有孔虫が実際に石灰化時にカルシウムを吸収するのか、蓄えたカルシウムを石灰化時に使うのかは未だ明らかではありません。これはいまのところ細胞外のカルシウムの挙動が有用な精度で観測できないためです。そこで本研究では、石灰化時にカルシウムを直接測ろうとするのではなく、石灰化を制御する上で需要と考えているpHを分析することにより、石灰化のダイナミクスを間接的に検証することを試みました。石灰化時のpHを視覚化し、その空間分布データをプロトンの反応拡散モデルと照らし合わせた結果、プロトンの流出量が石灰化に必要な石灰量と同じオーダーであることが確かめられました。この結果は有孔虫がプロトンカルシウム交換体を用いてカルシウムを環境から能動的に吸い込んでいることの有力な傍証です。

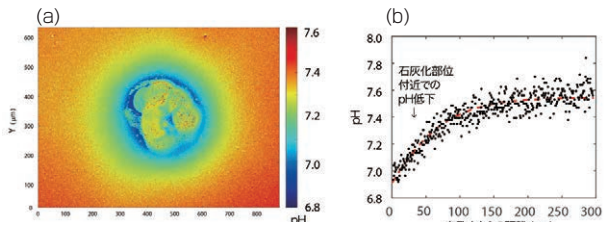


図12. 有孔虫のpH動力学分析。(a)有孔虫の石灰化過程におけるpHのグレースケールイメージ。ここで暗い部分ほどpHが低いことをあらわしている。(b)pHの空間分布の理論解析。点が実験値で点線は理論曲線。

D：極限環境を利用したソフトマテリアルの創生、並びにソフトマテリアルを利用した生物探索技術

昨年までに熱水噴出孔に見られる高温・高圧水の特異な性質を利用して、従来技術とは根本的に異なる原理に基づくナノ乳化技術（MAGIQ）の研究開発を進めてきました。従来の乳化プロセスが粗大油滴にエネルギーを加えて微細化する「トップダウン」であるのに対し、MAGIQは相分離を利用して「ボトムアップ」で微細油滴を生成するのが大きな違いです。本年度は、2つの手法の差異を明確にするための研究開発を進め、MAGIQでは生成する油滴のサイズと用いる乳化剤のHLBの間に良い相関があることを見出しました。また本技術の産業分野での利用・普及を目指して、民間企業と共同でMAGIQ装置の市販に向けたプロトタイプの共同開発を開始しました。加えて加圧下で短時間だけ超高温に加熱することを特徴とするラジカル重合の研究に着手し、実際に反応が進行することを確認して特許出願を行いました。さらに重合装置を新たに開発して研究開発を進め、反応条件によっては1分の反応時間で重合転化率90%以上や狭い分子量分布（Mw/Mn ≦ 1.5）を達成できるなど、本手法が高いポテンシャルを有することを明らかにしました。

ナノファイバー基質を用いた酵素反応の超高感度アッセイについては、数理モデルを利用した反応機構解明に向けた実験系の構築を進めると同時に、バイオマテリアルへの利用を目指したゲル表面加工技術の確立に向けた技術的検討を行いました。

・深海・海洋生物が生産する有用な酵素、生理活性物質等の機能及び生産技術に関する研究を実施する。

E：深海・地殻サンプル由来の微生物から新薬リード化合物・産業用酵素を探索

今日までに放線菌から数多くの抗生物質や工業的に重要な二次代謝産物が発見されており、放線菌は期待度の高い微生物であると言えます。地殻から採取したサンプルを微生物資源とし、これまでとは異なる新培養法を用いて新種の放線菌を多数分離培養することに成功しました。その一種が力価の高い抗MRSA活性物質を生産していることを発見できました（MRSAは多種の抗生物質に耐性を示す多剤耐性菌であり、医療現場で大きな問題となっている）。今後は国立感染症研究所との共同研究で本物質の医療分野への応用を目指し研究を進めていきます。

リグニンは地球上のバイオマスとしてはセルロースに次いで2番目に多いです。各国でリグニンの有効利用に関する研究が注目され始めているのは、リグニンはその構造から石油を原料とする化学製品の95%を代替するポテンシャルがあると言われており、所謂バイオリファイナリーの原料として大きく期待されているからです。深海微生物の一種がリグニンからフェノール性モノマー（フェニルプロパン骨格を持つ化合物）を選択

的に抽出する能力を有することを発見（特許出願）しました。本技術をJST 主催の技術説明会で紹介したところ 18 民間企業から技術内容に関する問い合わせがありました。

また、製品化（試薬酵素：ニッポンジーン社）されている深海微生物由来の耐熱性アガラーゼを結晶化し、X 線照射による立体構造解析を行い、その耐熱機構を解明し、本研究成果を論文発表しました。

F：オープンイノベーションによる深海生物資源開発に向けた取り組み

産業界と連携した深海生物資源の開発は、従来は技術シーズや深海微生物分離株を提供することによって進めてきました。本年度からは、オープンイノベーションによる深海生物資源開発を一層加速するために、新たに深海から採取した堆積物などのサンプルを外部提供する仕組みの構築を開始しました。産学連携課において制度設計が進められており、来年度には体制整備が完了し、試験提供を開始する予定です。

(5) 先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進

概要

本課題は5つのサブ課題から構成されています。まず本課題の遂行に必要な（イ）技術開発を実施し、同時にその成果を活用して主な4つの掘削研究ターゲットである（ロ）プレートの生成と沈み込み、（ハ）地下生命圏、（ニ）堆積物記録、（ホ）マントル、の各サブ課題に取り組んでいます。

「技術開発」では、超硬岩層や高温域掘削・大深度掘削のための基盤技術と、掘削によって得られた試料を高精度・高分解能で分析するための手法、さらに掘削で得られるkmからmmスケールにわたる多種多様なデータを統合するための技術開発を実施し、計画通りの進捗と成果を得ています。

「プレートの生成と沈み込み」では、計画段階から10年以上の時間をかけて実現した小笠原海域における6ヶ月間の掘削航海を実施して貴重な試料やデータを取得したほか、大陸のでき方に関する新しい仮説を提唱しました。また、東北地方三陸沖における地震履歴の解明などを目的とする新規掘削提案を国際科学プログラムである国際深海科学掘削計画（IODP）に提出したほか、南海トラフプレート沈み込み帯での地震滑りによる摩擦熱の温度条件について、微量元素・同位体分析・平衡モデル計算などを複合させた新解析法を開発しました。

「地下生命圏」では、海底下生命活動とそれを支える水・炭素・エネルギー循環との関連性を解明するために地球深部探査船「ちきゅう」をはじめとする様々な深海調査・先端的分析基盤技術を駆使した分野横断的研究を実施し、全海洋底の約4割で海洋地殻玄武岩直上までの堆積環境に酸素に満ちた超低栄養生命圏が存在していることを実証した論文を発表しました。このほか、過去10年間の統合国際深海掘削計画における科学的成果を総括した書籍の出版など多様かつ国際的な成果発信や、新規掘削提案における最高評価獲得など、顕著な成果が創出されました。

「堆積物記録」では、3つの新規掘削提案の立案を主導したほか、掘削試料等の利用による古環境復元と地球内部変動の解明に向けた研究や、新規研究手法の開発が計画通りに進捗しています。

「マントル」では、マントル対流とプレート運動の関連を解明するために、物質科学と地球物理学の両面から地球内部構造の把握を進めたほか、数値シミュレーションによる解釈を併せて実施しました。その結果、大陸下でのコールドプルームの発生を伴うマントル対流が現在の大陸配置やトモグラフィーから推定される密度異常と整合的であるなど、計画を上回る進捗と成果を得ています。

（イ）掘削試料・掘削孔を利用した地殻活動及び物質循環の動態解明

本サブ課題は3つのテーマに大別され、概要と達成状況は以下の通りです。

(1) スケールの異なる各種試料やデータを高精度・高分解能で分析できる手法の構築

掘削試料を用いた地震断層・地球環境変動・マグマ等諸過程における物質循環・素過程の解析手法の構築を目的として、高精度同位体分析法と高分解能同位体分析法の開発を行いました。前者では、マルチコレクターICP質量分析計（MC-ICP-MS）等を用い、海洋酸性化や流体岩石相互作用研究に有効なホウ素同位体の高精度迅速分析や局所鉛同位体高精度分析の基礎技術を確立するとともに、高精度銅同位体分析を用いた海洋大循環の新指標を開発しました（図1）。後者では、サブミクロンまでの空間領域をシームレスにカバーする尖鋭的微小領域分析システム構築に向けた新規導入分析機器の立ち上げおよび、超高解像度二次イオン質量分析計（NanoSIMS）を用いた同位体イメージング技術開発を行いました。これらは計画通り達成、ないし想定以上に達成されました。

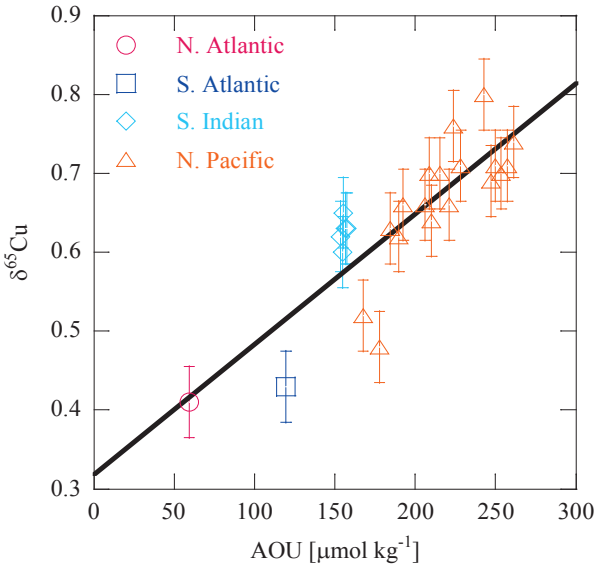


図1. 銅の微量高精度同位体分析

(2) 掘削技術・計測技術、大深度掘削を可能とする基盤技術の開発

「ちきゅう」が所期の研究成果を挙げるために掘削オペレーションを安全かつ効率的に実施するための運用及び機器・シ

ステムに係る技術開発、および船体を含むシステム全体の効率的な維持・管理に資する知見の蓄積を行いました。具体的には超硬岩層や高温域掘削に向けた泥水駆動型高機能コアバーレル（TDCS の内部装置）の耐久性向上と性能評価を行い実海域試験が可能な段階に到達させたほか、超大深度掘削に向けたアルミ製ドリルパイプの強度データ取得と設計ツール製作、超大水深ライザー掘削に向けた新素材を用いた軽量ライザー管の小スケール試験体試作と性能評価、南海トラフ掘削孔の長期孔内観測システム構築に向けた資機材準備と陸上試験を行いました。これらの技術開発は、計画通り達成されました。

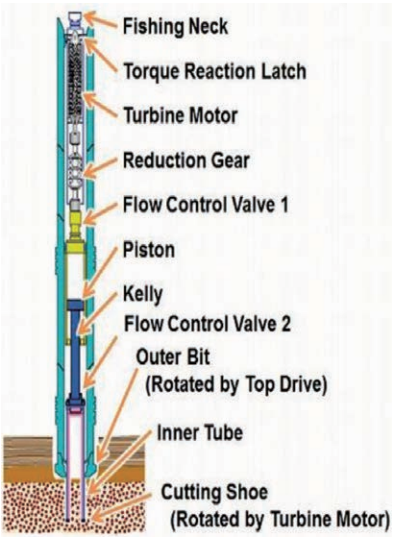


図2. コアリングシステム（TDCS）の構成概要

（3）海底下の構造や性質を重層的に把握するための多種多様データの統合技術の開発

掘削情報を科学目的に使用するためのデータ加工法の検討を進めるとともに、カッティングス・泥水検層の高度利用法の検討と、それらに係わる機器開発を行いました。具体的には、「ちきゅう」による掘削のリアルタイムモニタリングの最適化や基幹技術としての掘削体積比エネルギーデータの分析・利用法開発、リアルタイム掘削データによる岩盤物性把握のための現場実験の IODP への提案を行いました。また、カッティングス／コア試料、検層、地震波のデータを統合的に用いた mm から km スケールのデータ解釈に向けたデータ処理・解析法開発を南海トラフ地震発生帯掘削（NanTroSEIZE）のデータへ適用して実施しました（図 3）。

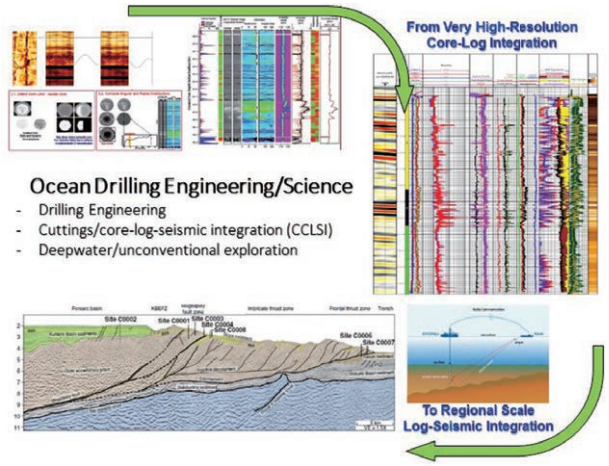


図3. カッティングス／コア試料ー検層ー地震波データ統合（CCLSI）の概念図。

その他、大水深／大深度掘削（IBM 島弧掘削、マントル掘削等）に向けた各種試験や技術的なフィジビリティー研究等を産業界と協働して行いました。これらの研究開発は、計画通り達成されました。

本サブ課題の研究開発は、海洋掘削科学研究開発センター、地球深部探査センター、高知コア研究所を中心とする機構内各部署が連携し、掘削関連産業界（三菱重工、Schlumberger、TOTAL、SHELL 等）、国内企業（三菱レーヨン、三菱重工、NLC）、外部研究機関（東京大、京都大、高知大、産総研等）と協働して行いました。

上記の通り、中期計画および今年度計画の進捗状況は概ね予定通りであり、一部項目で次年度計画を前倒し実施しました。

得られた研究成果については、高精度分析開発研究において世界的にインパクトのある成果の創出がありました。なお、本サブ課題は、サブ課題（ロ）～（ホ）の研究推進に資する基盤技術の開発を目的としており、必ずしも単独でインパクトを追求するものではありません。

成果発信は HP への掲載やプレス発表等を通して行われました。また、「ちきゅう」の世界最高の深海底ライザー掘削技術開発は国家基幹技術と定められており、産業界や外部研究機関と協働して今後需要が増すと見込まれる超深度／超大水深掘削実現等へ貢献しました。また、基盤技術を用いたスクーリング（コアスクール等）による内外の人材育成にも貢献しました。

（ロ）海洋・大陸のプレート及びマグマの生成並びにそれらの変遷過程の解明

本サブ課題の概要と達成状況は以下の通りです。

（1）島弧進化の総合的理解と大陸地殻成因の解明

伊豆小笠原マリアナ（IBM）弧において、ジョイデス・レゾリューション（JR）号による三つのIODP掘削航海（Exp. 350、351、352）を計6ヶ月かけて実施し、目的とするコアの採取や検層をほぼ予定通り達成しました（図4）。本掘削プロジェクトは計画段階から掘削提案書の提出などを経て、10年以上の時間をかけて実現したプロジェクトであり、今後世界に与えるインパクトは大きいと期待しています。

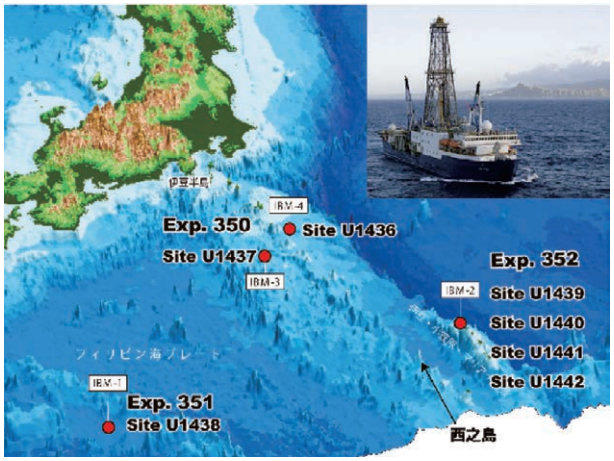


図4. IODP第350次航海、第351次航海、第352次航海の掘削地点

さらに大陸の形成過程について、新仮説を提唱し、それを検証するために「西之島たいりくプロジェクト」を始動させました。この一環として噴火中の西之島の溶岩を採取するための無人調査艇を海洋工学センターおよび東京海洋大学と共同で作成しました。

（2）プレート構造と変遷等の解明

日本海溝における海溝軸先端部変形構造について、東北沖地震の最浅部と、昭和三陸地震の震源域についてマッピングを行いました。この構造には太平洋プレート上の堆積層の厚さや、折れ曲がり断層の分布・比高などと断層帯の発達が関連しています。これらの成果に基づき、断層初期物質の特性解明、海溝軸掘削による地震履歴の解明、断層の広域的広がりの確認を目的として、新規掘削提案 JTRACK を提出しました。

ライザー掘削によるカッティング試料から、レオロジーを解析する上で必要不可欠な応力−歪み曲線や、強度、弾性係数などの物理特性を測定できるシステムの開発に成功しました。さらに、高周波圧電素子と高電圧パルサーを組み込んだ弾性波速度測定システムを構築することによって、弾性波速度を測定することに成功しました（図5、6）。

南海トラフ地震発生帯掘削（NanTroSEIZE）で発見された巨大分岐断層滑り帯では地震滑りによる摩擦熱の発生が確認されていますが、温度条件については議論が分かれていました。そこで、微量元素・同位体分析と平衡モデル計算、反応速度論的計算を組合わせた解析法を新たに開発しました。解析の結果、地震時の断層内流体岩石相互作用は250℃以下の温度条件であったとの成果を得ています。

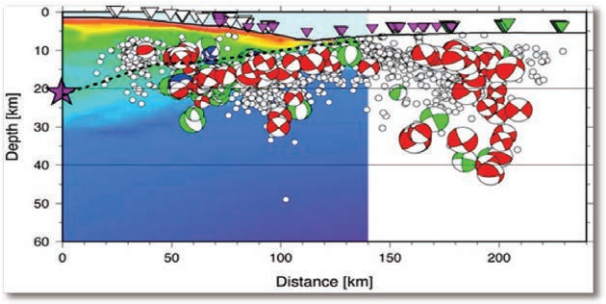


図5. 日本海溝付近の速度構造と震源分布メカニズム

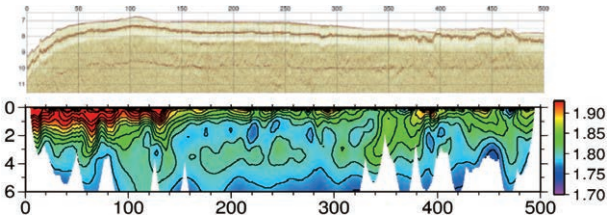


図6. 日本海溝海側のMCS断面と、地殻・マントル構造変化（Vp/Vs）

（ハ）海底下の生命活動と水・炭素・エネルギー循環との関連性の解明

地球に残された最後の生命圏フロンティアとも称される海底下の生命活動とそれを支える水・炭素・エネルギー循環との関連性を解明するために、地球深部探査船「ちきゅう」による海洋掘削科学を国際的な枠組みのなかで主体的に推進すると共に、海洋研究開発機構が有する様々な深海調査・先端的分析基盤技術の研究シナジーを駆使した分野横断的研究を実施しました。

本サブ課題を達成するため、堆積物や岩石等の地質試料に含まれる生命シグナルを高感度・高精度に評価するための新しい分析技術の手法開発に着手し、生命圏の限界域の評価を可能とする超高感度・高精度細胞計数や選択的細胞分取・分析技術、メタン生成指標となるF430バイオマーカーの高精度定量評価技術の開発等に成功しました。それらの先端的分析技術をIODP等により採取された掘削コア試料等に

適用することで、プレート活動に伴う深部流体の移流と生命活動との関わりや、海底下生命圏の限界や炭素循環に係わる生態系機能を規定する物理化学的・熱力学的環境因子との関わり、大陸沿岸域や外洋の堆積物・海洋地殻に存在する地球規模の海底下生命圏の実態と元素循環における役割の解明等、科学的に重大な意義を有する幾つかの命題に対して、科学的理解の顕著な前進及びパラダイムシフトに繋がる新規学術理論の構築が成されました（図 7）。さらに、初期地球における海洋地殻環境を実験的に再現した研究等により、非生命分子進化から生命進化に移行するための原理・現象や、原始地球大気・海洋の全球的な炭素循環フラックスに係わる重要な科学的知見が得られています。

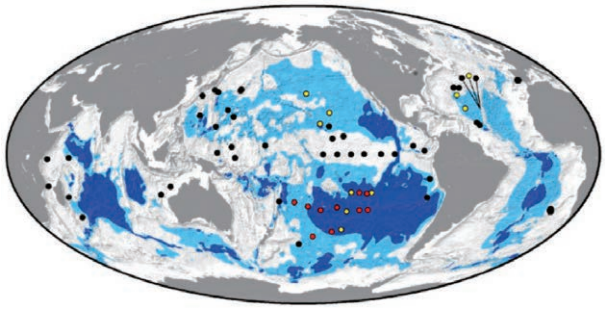


図 7. 青：高い確率で酸素が玄武岩まで到達している範囲。水色：酸素が玄武岩まで到達していると推定される範囲。点：掘削調査サイト。

現在、上記の研究開発により得られた様々なデータを有機的に統合した理論構築を行い、それらを論文としてまとめ投稿する段階にありますが、その一部は既に平成 26 年度内に Nature Geoscience 等の一流科学雑誌に受理・公開され、世界的に高い評価を得ています。さらに、本サブ課題に関する一般向けの解説文や邦文総説を公表する等、プレスリリースや一般向け講演会といった国民との対話・アウトリーチ活動を通じて、広く研究成果を社会に還元することに努めました。また、過去 10 年間の統合国際深海掘削計画における科学的成果を総括し、800 ページを超える総説本をエルゼビア社から世界に向けて出版したことは特筆に値します。

さらに、「ちきゅう」を用いた海洋掘削科学を推進する面において、IODP の科学提案評価パネル（SEP）および外部評価において最高評価を得た「室戸沖限界生命圏掘削調査」（図 8）をはじめとして、「地中海岩塩掘削調査（DREAM）」、「ロードハウライズ掘削計画」等の複数の IODP 掘削プロジェクトの提案に本研究開発課題に従事する機構研究者が主体的な役割を果たしました。

平成 26 年度の年度計画は着実に達成され、科学的意義の高い顕著な成果が創出されています。また、独自に開発された先端的分析技術と潜在データが示唆する新しい学術理論や発見は、将来的に本研究開発課題に係わる顕著な成果の創出が期待されます。

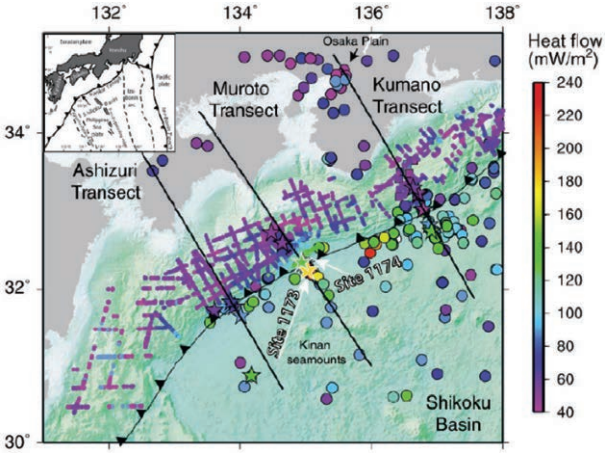


図 8. 室戸沖限界生命圏掘削調査の掘削提案地点（星印）

（二）堆積物記録による地球史に残る劇的な事象の解明

（1）掘削提案書の作成およびその準備

地中海掘削に関して掘削予備提案書を提出し、SEP の評価を受けた結果、本提案書の作成が認められました。さらに岩塩堆積物／微生物に関する提案書作成のために日欧の研究者が集うワークショップを開催しました。

南豪 (Bight Basin) の白亜紀無酸素事変掘削も、掘削予備提案書を執筆・提出し、科学評価パネルの議論を経て改訂プロポーザルを再提出しました。

ロードハウライズプロジェクトについては、掘削予備提案書を提出しました。2015 年 4 月に行われたワークショップに参加し、その掘削の科学的な意義に関する議論に参加しました。

これらのことから、掘削提案書の作成について、当初の計画を達成しました。

（2）掘削試料等の利用による古環境復元と地球内部変動

これまで掘削された試料などを利用した研究では、地中海出口および南極海における試料の結果を論文化し、プレス発表を行いました。また、太平洋の海底堆積物の化学組成に関する総合的解析、水月湖掘削のための準備、長期的な気候変動に影響を与える地球内部活動についても、ほぼ計画通りの進捗がみられました。

（3）研究方法論の開発

中赤外レーザーによる微量気体・同位体測定法（図 9）、重元素同位体高精度分析法など多様な新しい方法論の開発について計画通りに進捗しました。

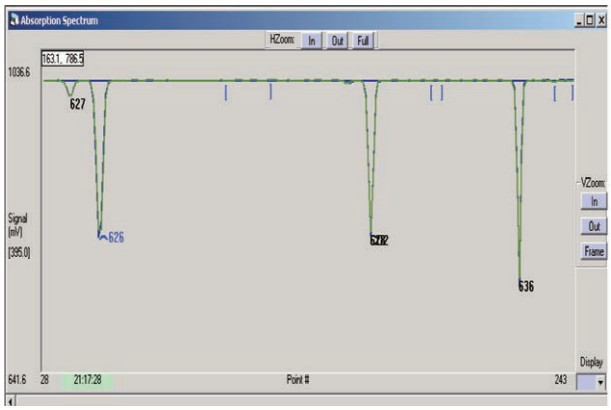


図9. 二酸化炭素ガスの中赤外スペクトル

（ホ）掘削科学による新たな地球内部の動態解明

物質科学および地球物理学の両面から地球内部構造の把握を進め、それらの構造が相互に、またどのようにマントル対流・プレート運動と関連するかを明らかにするために、シミュレーションを介しての解釈を試みました。具体的には、（1）噴出した玄武岩に基づく、マントル東西組成半球構造の詳細マッピング、（2）マントル、特に南太平洋プルーム上昇流地域の地震波・電磁気学的イメージング、（3）大陸の離合集散や水輸送を含むマントル対流の数値シミュレーション、（4）深部物性に関する高圧実験・物性解釈のための基礎研究、および（5）海洋プレートの構造（例えば含水量とその分布）に関する海洋および陸域調査・準備などを行いました。その結果、以下の4つの主要な成果を上げました。

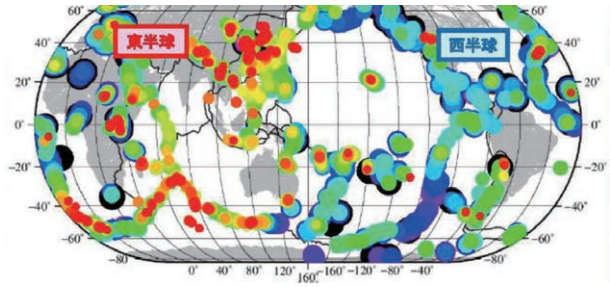


図10. マントルの化学組成

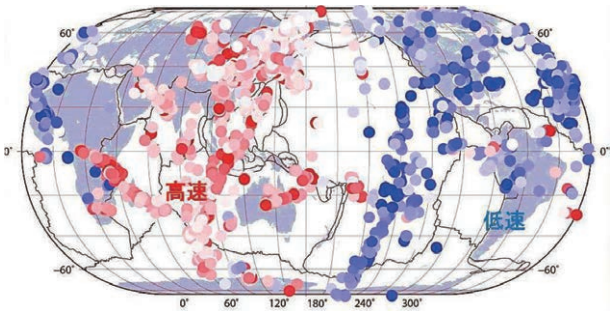


図11. 内核の地震波速度

（A）マントル東半球は、（日付変更線付近を境として）過去に沈み込んだ親水成分に富み、数億年前に存在した超大陸への集中沈み込みによって形成された可能性があることが分かりました。さらに、そのパターンは、内核の地震波速度構造と酷似していることを発見し、マントル対流がコアにも直接的影響を及ぼした可能性を指摘し、「Top-down hemispherical dynamics」モデルを提案しました（図10、11）。これは構造把握を目標とした年度計画を上回る達成状況です。

（B）南太平洋ホットスポット密集地域下において、世界で初めてプルームに伴うと考えられる大規模かつ鉛直に伸びる低電気比抵抗構造の検出に成功しました（図12）。この構造が、下部マントルの大きな地震波低速度領域につながることから、マントル最深部からの上昇流が、深さ1,000㎞付近で枝分かれし、ホットスポットへの熱や物質を供給していると推定されることを明らかにしました。

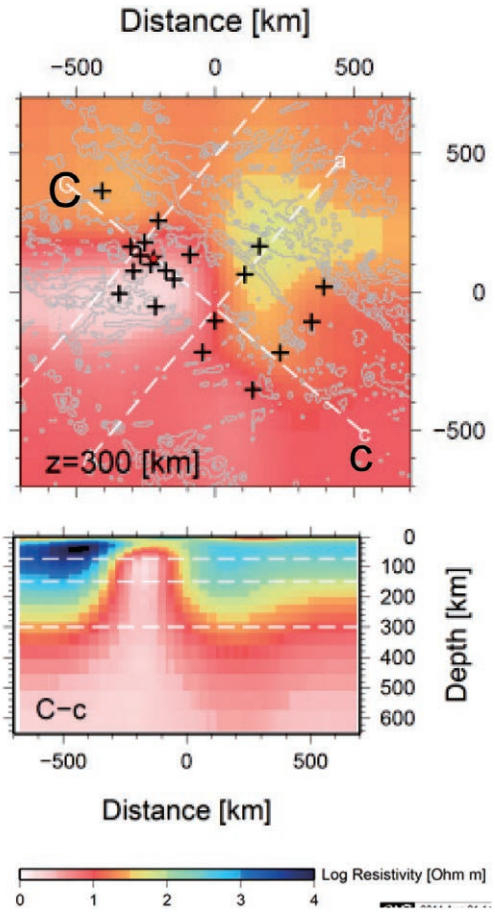


図12. 電磁気トモグラフィーによるタヒチ・ホットスポットの電気伝導度分布。左図は深さ300kmでの平面図、右図は平面図C-cの断面図。

（C）大陸・プレート移動とマントル対流との関係性を、インド大陸高速移動の再現を鍵としてシミュレーションを行い、大陸下でのコールドプルームの発生を伴うマントル対流が、現在の大陸配置やトモグラフィーから推定される密度異常と整合的であることがわかりました。また、沈み込むスラブによって持ち込まれる水が、密度や粘性を低下させる効果を取り込んだ初めてのシミュレーションモデルを構築し、スタグナントスラブ形成、背弧海盆の拡大、さらには 45 億年の熱収支にとって、水が重要な役割を果たしている可能性が示唆されました。これらの成果も、計画より前倒しで進捗しています。

（D）マントルに相当する高温高圧条件を再現する実験装置の開発を行い、ダイヤモンドの高圧下での物性と光学的性質の計測を行いました。高圧実験の新しい圧力指標構築とともに、天然試料の解析の基礎となる成果を発表しました。

(6) 先端的融合情報科学の研究開発

概要

先端的融合情報科学の研究開発では、「地球シミュレータ」を最大限に活用し、これまでに得られた知見を領域横断的にとらえるとともに、新たに拡張・展開し、よりよい将来に向けたアクションと解決策を導き出すことをめざして、海洋地球科学における先端的な融合情報科学を推進しています。

また、社会に利活用可能な付加価値情報を創出する技術の研究開発、情報を広く分かりやすく、効果的に社会に還元するための地球環境情報の基盤構築を進めており、以下の3つのサブ課題を推進しています。

(イ) 先進的プロセスモデルの研究開発

(ロ) 先端情報創出のための大規模シミュレーション技術の確立

(ハ) データ・情報の統融合研究開発と社会への発信

本課題の研究実施体制は組織横断的な連携を前提として進められており、その体制が、先進的プロセス研究、大規模シミュレーション、付加価値情報の創出の一連の成果の創出に結びついています。また、機構外組織との連携においても、国内外の大学、研究機関との情報交換や共同モデル開発に加え、自治体や漁業関係者をはじめとする産業界との連携による社会実装の検討も進んでいます。

(イ) 先進的プロセスモデルの研究開発

先進的プロセスモデルの研究開発では、様々なスケールの諸現象を高精度に予測するため、数理科学を基盤とした領域横断的アプローチにより個別問題を統合問題として捉え、先端的な数理・物理モデルやシミュレーション手法を開発しています。さらに、開発したモデルを用いて数値実験を行い、諸プロセスの再現性を実証的に評価することによりモデルの信頼性を向上させることを目的に研究開発を行っています。

平成26年度においては、先進的プロセスモデルの一つとして地球流体における振動対流の位相同期現象モデルを開発し、ロスビー波のような進行性振動対流において空間と時間の2つの位相パラメータを導入し、これらを常微分方程式により記述できることを理論的に示しました。このような地球流体の位相同期現象の理解につながる理論構築は、関係学会等に大きなインパクトを与える成果を残しました。

また、都会のオアシスとなり得る街区スケールの緑地が熱環境に与える影響について、乱流と3次元放射を考慮した先端的な樹木モデル（超高解像度都市暑熱環境シミュレーション）を開発し、「丸の内パークビル」の熱環境を解析することにより中庭樹木が気温を低下させるメカニズムを再現することに成功しました（図1）。この研究成果は都市部の気象を再現する高解像度のシミュレーションモデルとして、社会的にも関心の高い都市における樹木の効果の評価や豪雨の発生機構の解明に資するものとしてプレスリリースを行いました。

さらに、世界最高水準レベルで詳細なプロセスを考慮した高精度エアロゾルモデル（ATRAS）を構築し、東アジア域における観測結果を用いて検証を行った結果、粒径及び混合状態に応じたエアロゾルの放射影響評価をより適切に行うことが可能となりました（図2）。

これら独創的な新しいモデルを開発し、高精度化のための技術開発も着実に進んでおり、地球流体の振動特性を明らかにするとともに、都市熱・風シミュレーションに関しては日本学術会議による提言に科学的根拠データを提供しています。

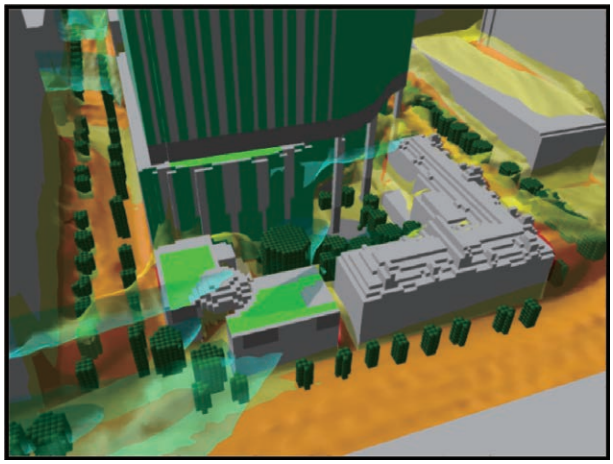


図1. 気温の3次元分布のシミュレーション結果。放射冷却と蒸散の効果が気温低下に寄与している。

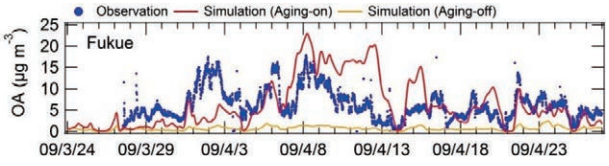


図2. 福江島における有機エアロゾル濃度。エアロゾルの混合状態などを適切に考慮することにより、観測で見られた高濃度イベントの再現性が向上している。

(ロ) 先端情報創出のための大規模シミュレーション技術の開発

先端情報創出のための大規模シミュレーション技術の開発では、海洋地球科学についての統合知識情報を創出し、社会に利活用可能な情報とするために必要となる観測データ等を活用した大規模数値シミュレーション技術及び統合データ処

理・解析技術を開発することを目的に実施しています。

平成 26 年度においては、社会に利活用可能な情報発信のための大規模シミュレーション手法の開発として、高解像度 NICAM（全球雲解像モデル）を用いたアンサンブル実験の結果を解析し、1 ヶ月程度先のマッデン･ジュリアン振動の予報、及び 2 週間程度先の台風発生予報の可能性を示しました（図 3）。この研究成果は多くの新聞や Web メディアに取り上げられるなど、社会的にも価値のあるものとなっています。

大気中の水溶性有機態窒素と燃焼起源鉄に関する全球化学輸送モデル開発においては、有機態窒素を考慮した全球エアロゾル化学輸送モデルを開発し、海洋への有機態窒素の供給量の評価を行いました。これにより、東アジアの大気汚染物質が大気から海洋へ供給される重要な水溶性有機態窒素の供給源となることが示唆されるなどの成果を得ました（図 4）。

また、衛星 SAR シミュレータの構築に向けて新たなエネルギーソース項を数値海洋波浪モデルに導入することで、これまでは再現不可能であった高波数領域におけるスペクトル形状の定量的評価に成功しました。これにより衛星 SAR シミュレータのプロトタイプとなる数値モデルを構築し、大規模シミュレーションの妥当性を確認することができました（図 5）。

これらの研究成果については、国際誌を中心とした論文発表（31 件）、学会発表（72 件）を精力的に行っており、科学的意義の高い研究成果を創出してきています。主要な長寿命温室効果気体の一つである一酸化二窒素の放出に関する成果を例にとれば、高精度観測との組み合わせによるその動態の解明を通して IPCC の活動に貢献するとともに、気候変動予測精度の向上や、地球表層における物質循環変動に人間活動が与える影響の評価にもつながっています。

成果の外部発信については、NICAM 等による気候実験のデータは気候変動リスク情報創生プログラム等、内外の研究者への提供を開始しており、地球温暖化情報の創出に貢献しています。また可視化ソフトウエア VDVGE（Volume Data Visualizer for Google Earth）の開発においては、ソフトウエアを公開することにより大学、研究機関で利用が進んできています。温暖化予測とそのリスク評価については、9 月に一般向け公開シンポジウムを開催し、11 月には専門家向けの国際ワークショップを主催するなど、成果広報にも注力しています。成果の社会還元・貢献についても、領域大気海洋結合モデルによる災害の予測、予防への貢献や、3 次元可視化コンテンツを利用したわかりやすい情報展開など、着実に成果の社会還元を進めています。

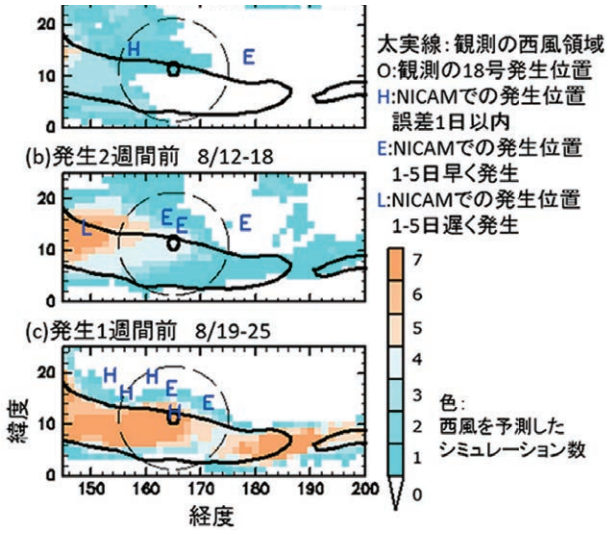


図 3. 2004 年の台風 18 号をターゲットとした台風発生約 3 週間前（上段）、約 2 週間前（中段）、約 1 週間前（下段）を初期値とする 7 回の予測実験の結果。

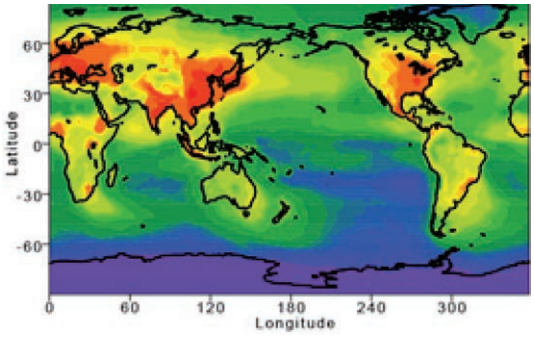


図 4. 水溶性の有機態窒素の大気からの落下による供給の増加量（産業革命以前との比較、合計で 3.5 Tg N yr-1 増）。

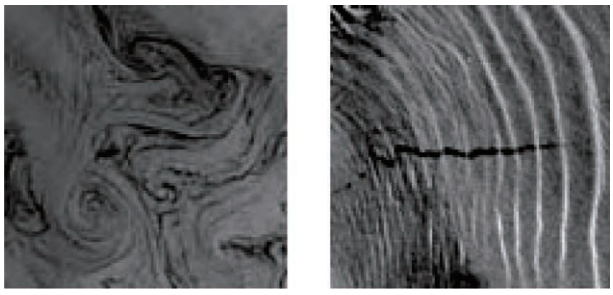


図 5. 海の「さざ波」の変調を示す衛星 SAR 画像の例（ERS-1 SAR ESA©）。従来不明であった波長 50cm までの「さざ波」のエネルギースペクトルを観測とシミュレーションによって解明した。

（ハ）データ・情報の統融合研究開発と社会への発信

この課題では、科学的に有益な統合情報に加え、社会に利活用可能な付加価値情報を創出するため、データ同化手法及び可視化手法を始めとする実利用プロダクトに必要な技術の研究開発を行うことを目的としています。また、観測、シミュレーション及び予測等の統融合データと付加価値情報を、広く、わかりやすく、効果的に社会に還元する具体的な方法について基本検討を行っています。

平成 26 年度においては、観測データとシミュレーションを統合するデータ同化に関する研究開発として、大気中での化学反応も考慮し、複数の異なる大気汚染物質等についても同時にデータ同化できるように拡張した大気微量成分の全球データ同化システム（図 6）の開発を行うとともに、大気海洋結合予測システムによる El Nino Modoki の予測成功など、データ統融合に関して成果をあげています。

統融合データの利活用についても高分解能データ同化を利用してアカイカを対象として水産資源に関する付加価値情報を作成するとともに、漁場予測配信システム（図 7）の構築、アカイカ資源変動メカニズムの解明などの成果を挙げることができました。また、このシステムを用いて漁場情報を実際に漁業関係者に発信することにより、水産分野への新たな貢献への道筋を確立しました。

さらに、大気予測情報を発信するため、詳細 3 次元大規模データのリアリスティック可視化手法を開発し、雲水量データに下向き短波放射データを組み合わせた雲の写実的表現が可能となりました（図 8）。これにより、Google Earth の中で立体的な雲の構造をより鮮明に浮かび上がらせ、かつインタラクティブに操作しながら観察することに成功しています（特許出願中）。

成果の社会還元・貢献については、RECCA（気候変動適応研究推進プログラム）の成果が青森県、富山県、長野県などの温暖化適応策の策定に役立てられているのに加え、アカイカ漁場予測情報配信システムはシミュレーション研究に付加価値を加え、情報発信までを行う海洋情報サービスとしてパッケージ化することにより社会実装が実現し、青森県の事業として引き継がれるなど、成果の社会還元が進められています。この他、実験的リアルタイム海洋・大気変動予測を Web ページで提供するとともに、研究成果のプレスリリースなど一般への情報展開を実施しており、着実に成果の外部発信を行っています。

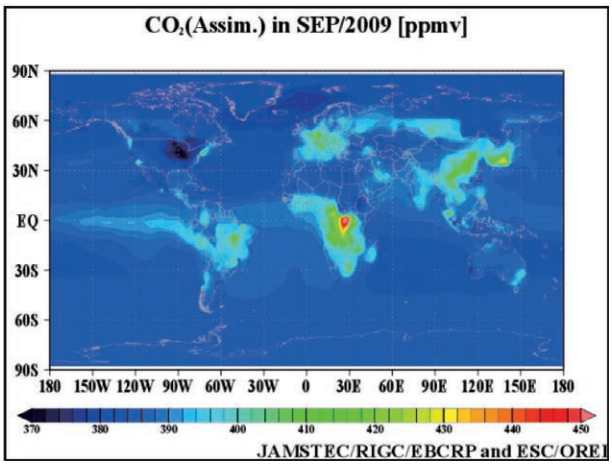


図 6. 温室効果気体の同化データセットや放射性物質についても適用可能とした「化学天気予報」システム

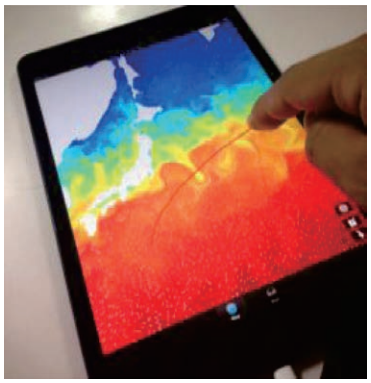


図 7. 海洋環境情報を直感的な操作で視ることができるアプリケーションの開発

図 8. 雲の写実的表示。左：雲物質量のみ、右：下向き短波放射量を考慮。

(7) 海洋フロンティアを切り拓く研究基盤の構築

概要

海洋の調査研究、開発において各種データ等を取得するための船舶、海洋観測網、観測機器等を高度化することは、広大な海洋空間を総合的に理解するうえで必要不可欠であり、我が国の海洋科学技術を推進する上で極めて重要です。このため、未踏のフロンティアへの挑戦、新たな分野の開拓を可能にする先端的基盤技術を開発するとともに、それらを最大限活用することで「海底資源研究開発」、「海洋・地球環境変動研究開発」、「海域地震発生帯研究開発」、「海洋生命理工学研究開発」の研究開発課題を推進するために海洋フロンティアを切り拓く研究基盤の構築に向けて積極的かつ組織横断的に取り組んでいます。

具体的には、有人潜水調査船、無人探査機等の深海調査システムは、研究開発するために不可欠な基盤技術であり、これらを高度化し、必要な要素技術の開発を行うとともに、観測や調査等をより効率的・効果的に推進することを目指し、各システムの運用技術を確立することを、5カ年の中期目標としています（図 1）。

その初年度に当たる平成 26 年度は、目的別に3つのサブ課題（イ）、（ロ）、（ハ）に分け、そのアクション、アウトカムを明確化した上でロードマップを作成し、新たな推進体制のもと当機構の技術開発関連部門が一体となり連携を密にして技術研究開発をスタートさせました。

このうち、（イ）先進的な海洋基盤技術の研究開発については、個々の要素技術開発を進めているほか、地震・津波観測監視システム（DONET）の構築も順調に進めています。（ロ）高精度・高機能観測システムの開発については、AUV や ROV の高度化に向けた技術開発を進展させており、製作技術の開発で外部団体による賞を受けたものや慣性航法装置等製品化したものもあるなど、社会還元・貢献も進めています。（ハ）オペレーション技術の高度化・効率化については、開発したシステムの各種試験を行って実用化を進めているほか、数値解析との連携も進めています。開発された技術は逐次研究現場で応用されています。

それぞれのサブ課題の成果については、以下に詳述します。

(イ) 先進的な海洋基盤技術の研究開発

本サブ課題では、高精度で効率的な観測・探査システムの構築を推進するため、音響通信・複合通信システム、計測・センシング、測位、検知・探知、モニタリング、試料回収、分析等に係る先進的要素技術、探査・観測システム等の長期運用に必要となるエネルギーシステム、深海底での調査や観測のためのセンサや観測プラットフォーム設置に係る技術等について、先進的な技術研究開発を行っています。

平成 26 年度は、以下を行いました。

深海、還元環境、実験水槽などにおける環境計測を行うシステムの開発については、調査や観測のための小型ランダーの開発を目指して、10,000m を超える深海底で長期間・複数回使用可能かつ消費電力が少ない深海 LED ライトの試作を行ったほか、各種センサ等の開発を行いました。海洋・海底下環境における網羅的な現場計測として、メタン濃度センサを導入しました。

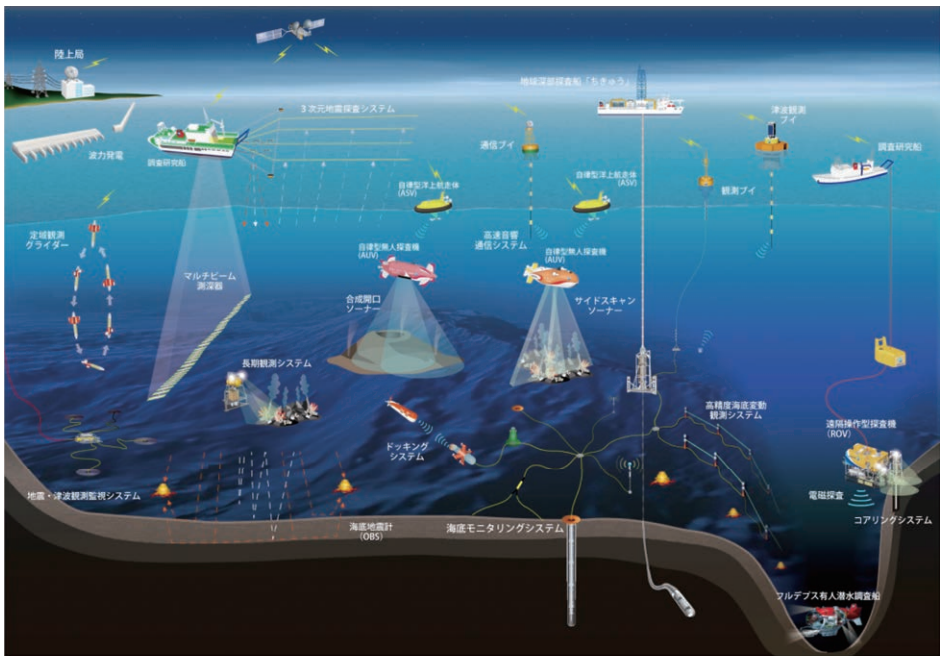


図 1. 探査システムのイメージ

生物実験サンプルの供給を目指した環境再現飼育培養系の開発は、硫化水素を添加した室内飼育法を応用したことで、シロウリガイを129日間にわたって飼育することに成功しました。さらなる長期飼育に向けて圧力の違いなどが影響しているといった、今後の課題を抽出しました。

大型生物から非致死的に生体サンプルを取得するin-situバイオプシーシステムの開発については、針先の形状選定や組織サンプラーの設計などを開始しました。海洋生物の行動を追跡するバイオトラッキングシステムの開発は、ピンガーの試作を行いました。

ISSBL、海中レーザー、新通信手段等の音波・電磁波を用いた技術研究開発に関しては、音響ソーストラッキング技術における解析用プログラムの検討を行うとともに実験機材の準備に着手しました。

画像装置、フロー式分析装置、CO_2自動測定装置等先進的現場計測技術の開発については、標準化まで見越したハイブリッドpH-CO_2センサ（図2）の開発を進め、実海域でのデータ取得に成功しました。また、画像処理による海中生物認識手法の開発については、底生生物ハビダットマッピング手法開発に着手し、システム設計と製作準備を行ったほか、ビデオカメラ映像測位によるROV海底航法の基礎技術調査、及びサンプル映像の解析により今後の課題を抽出しました。

海洋・深海エネルギー技術研究開発については、ブイに搭載する小型波力発電システムにおける模型実験を行い、空気室内波高などの基本特性把握を行いました。次世代プラットフォームの要素技術に関しては、作業型AUV「おとひめ」をモデルとした模型による機体特性の基礎データを取得し、実機の海域試験データを計測しました。また、セラミックス耐圧容器の開発として圧縮強度の体積非依存性を確認するとともに、非線形FEM解析に着手しました。これらを進めるにあたり、民間の研究機関などと連携しました。

海洋システム信頼性高度化技術の開発については、品質管理標準の策定に向けて実例のヒアリングを行うとともに、電気・機械設計のCAD標準化を行いました。

深海底での観測プラットフォームであるDONETについては、効率的に構築するため、展張ケーブルの自動敷設技術や海底ケーシングの効率的な設置手法、固い地盤への海底ケーシングを可能とする油圧ハンマー等の開発を進め、効率的に観測点構築の実施環境を整備しました。

高温対応型データ伝送システムについては、孔内テレメトリ開発に向けて光伝送モジュールについて試験環境を整えました。高温試験用の孔内観測システムを設置予定である2つの観測点用の設置準備を進め、神岡鉱山でのセンサ安定度試験や資材の組み立て試験等を実施しました。また、海底や孔内に設置する水圧計の精度向上のための技術開発を進め、実験室における検証で、これまでの水深10cm相当から水深1.3cm相当まで精度の向上を確認しました。

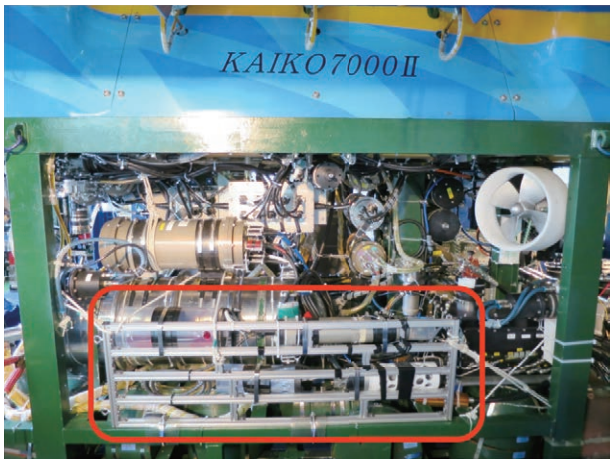


図2. かいこう7000Ⅱに搭載したハイブリッドCO_2センサー（下部の赤枠部分）

（ロ）高精度・高機能観測システムの開発

本サブ課題では、未知の領域を効率的・効果的に探査、利活用するための海中・海底探査システム及びそれらに関連するサブシステム並びに長期にわたり広範囲な3次元空間を高精度で観測するための観測システム開発を行っています。また、プロファイリングフロート等の新たな観測インフラ、センサ及び測定機器等についても開発を進めており、開発が完了したものについては、実用化を加速させるために逐次運用段階へ移行させます。

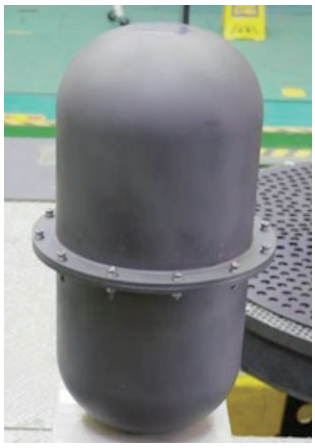
平成26年度は、以下を行いました。

長期の海中計測を可能とするため、深海における動力源である深海用燃料電池のプロトタイプ開発と深海での試運用を目指しており、HEML型2kW燃料電池の開発を行い、海中試験に向けて準備を行いました。

AUV搭載センサについては、海中3Dレーザースキャニング装置の開発を行っており、20m先の物体を2cm以下の解像度で視認することを要素技術開発目標としています。石垣島サンゴ礁のイメージング作成による試作機の海域試験を行い、映像の取得を確認しました。このほか長距離の音響通信技術や、3次元空間を高精度で観測するためのシステムとして深海用小型慣性航法装置の高精度化を行うとともに、各種センサ類の開発も進めました。

長期定域観測用水中フロートの開発は、海域試験を行い、方位制御等の性能を確認しました。また、熱帯域水中観測用の小型多目的フロートの開発は、小型浮上エンジンの評価や各部の要素ごとの耐圧試験を実施し、基本的な要素機能の確認を実施しました。この小型多目的フロート向けに民間企業と共同で実施したチタン製耐圧容器の低価格での製造

図3. チタン容器の製造工程



試作したチタン容器

可能な「ロストワックス精密鋳造法によるチタン合金製の耐圧容器の開発」（図 3）が第 30 回素形材産業技術表彰奨励賞を受賞しました。

強潮流域係留系の性能向上については、水中通信機能の向上と潮流による抵抗低減のため、通信線入り新型ワイヤーロープを試作しました。

ROV の要素技術の高度化については、次世代送電ケーブルの開発に向けて、長尺ケーブルの温度特性、電圧降下特性などの各種評価試験を実施し、ケーブル温度特性モデルを構築し評価しました。また、ROV に搭載する多点コアリングシステムは、陸上で試験掘削を行いデータを取得し、ROV による掘削に適した掘削条件の検討を行いました。さらに、推進システム及びアラウンドビューモニターシステムについては、小型の陸上試験機を製作して陸上試験を実施し、今後の改良点等を確認しました。

大深度における超高強度浮力材の開発は、サンプルの耐圧試験を実施し、実用性を確認しました。

水中レーザーによる超高精度連続測量網システムの開発は、前年度の実験データをまとめ国際学会に発表するとともに、海底の地盤強度の測定などへの応用に向けたシステム検討を行いました。

光ファイバーケーブルを利用した海底状況の連続モニタリング技術の開発とそのデータをもとにした変動モデルの構築については、海底面変動を連続モニタリングする計測システムの製作及び設置を行い、暴浪時の海底面変動のリアルタイム計測に成功しました。

（ハ）オペレーション技術の高度化・効率化

本サブ課題では、観測や探査・調査等をより効率的・効果的に推進するため、AUV 及び ROV の機能や複数機同時運用等の運用技術の高度化、これらを用いた海底ケーブルネットワークの効率的な構築や運用保守技術の開発については、平成 27 年度を目途に一部について運用を開始し、これらを加えた統合的な調査・観測システムを効率的に運用するための基本技術の構築を行っています。

平成 26 年度は、以下を行いました。

AUV の開発に関しては、「ゆめいるか」及び「おとひめ」の海域試験および性能確認試験を実施し、オペレーション技術の向上と実用化に向けた取組みを行いました。また、複数機同時運用に向けて、洋上中継器の試作機を製作し海域試験を行いました。「じんべい」は、3 回の海域試験を行い、機構船舶以外での運用を可能とすべく可搬型の着水揚収システムの実運用化に向けた試験や訓練を実施しました。

ROV「かいこう Mk-IV」（図 4）のオペレーション技術の高度化・効率化に関しては、平成 25 年度に引き続き建造後の性能確認試験として、水深 1,000m において機体各部の動作確認及び本年度新規製作機器の作動油冷却装置など機体整備後のシステムの健全性を確認しました。また、海底航走試験では、本 ROV の特徴の一つである自動運動制御機能（自動高度保持機能・自動深度保持機能・自動方位保持機能・自動定点保持機能・オートクルーズ機能）の動作試験を実施し、「8の字航走」「オートクルーズ航走」において所定精度による自動運動制御が行われていることを確認しました。

図4. かいこうMk-Ⅳ

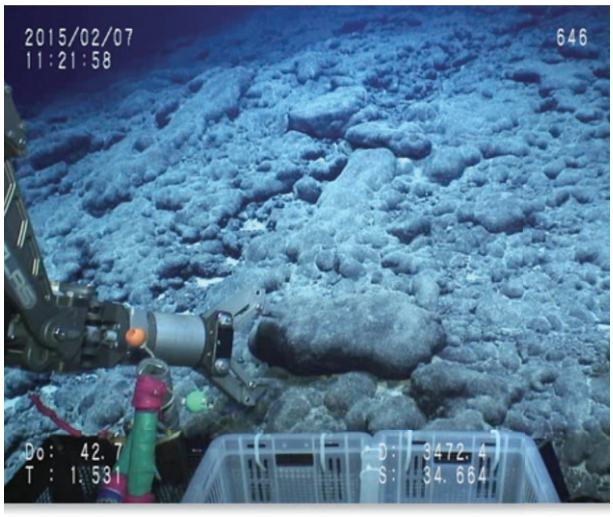


図5. かいこうMk-Ⅳ
マンガンクラストサンプルの採取

これら性能確認試験の良好な結果を受け、今年度後半の「かいこうシステム」を使用する航海において「かいこうMk-IV」を建造後初となる実際の調査潜航に活用しました。まず、拓洋第5海山におけるマンガンクラスト成因調査では、油圧式ロータリーカッターをマニピュレータに装備し、本機初となる水深4,000mを越える同海山海域からマンガンクラストサンプルの切出しによる採取に成功した他、搭載されている大型マニピュレータ（最大リーチ時：持上げ荷重最大250kg）を駆使しマンガンクラストを軽々と持上げサンプルバスケット内に収納するサンプル採取作業を行いました（図5）。また、他の2航海では、海底電磁場観測ステーション設置と、孔内長期水理学的モデリング装置（A-CORK）のデータ回収、海底設置型圧力計の設定、簡易間隙水圧プローブの試験を実施し、実運用に向けた準備を行いました。平成27年度の公募航海から「かいこうMk-IV」を段階的に実運用に使用する計画です。

海洋観測ブイについては、運用を維持しつつ、ブイ本体やセンサのメンテナンス等について見直しを行った他、水温トレーサビリティ体系の確立に着手しました。また、洋上観測の代替手段として、ウエーブグライダーの導入を検討するなど効率的な運用を進展させています。

超長尺ドリルに関しては、「ちきゅう」のドリリング作業において大深度掘削の安全性、効率性の向上を図るため、回転する超長尺ドリルがもたらす動的不安定現象の解明に向けて、カッティングスと泥水の混合流体について3次元SPHシミュレーションコードを開発し、ライザーパイプ内循環を数値的に再現すること（図6）に成功しました。また、同様に現実の場をシミュレーションにより再現する手法を用いて行った鉄道バラストの沈下挙動の大規模シミュレーションは、日本計算工学会よりグラフィックスアワード特別賞を受賞しました。

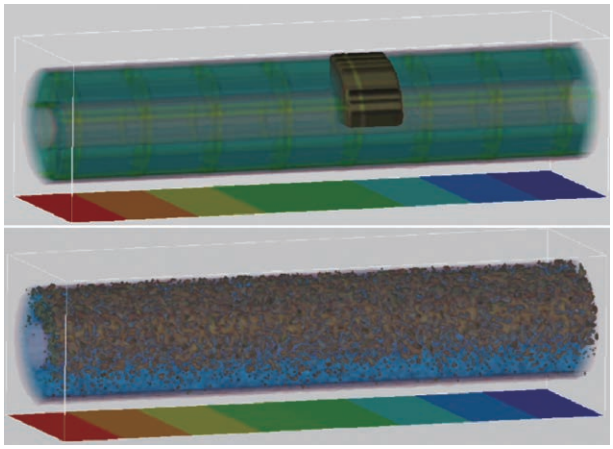


図6. ライザーパイプ内の泥水とカッティングス混合物の循環シミュレーション
（上）初期配置（下）定常状態　擬似スラリーがバラバラになり管中を循環

3. 研究開発基盤の運用及びIODPの推進

(1)研究船・深海調査システム等の運用

概要

海洋研究開発機構が所有する研究船（「ちきゅう」を除く）の運航は、主に外部委員で構成される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、および研究船共同利用運営委員会（事務局：東京大学大気海洋研究所）が採択した研究課題に基づき計画し、実施しました。

平成 26 年度の 7 船の研究航海日数は、内航、外航を合わせて延べ 1770 日で、1船当たり 253 日の研究航海に供しています。(図 1)。

研究船の運用においては、調査研究航海の実施に先立ち、調査海域で漁業操業を行っている水産関係者等との調整や他国の排他的経済水域内での調査許可取得のため、国内外の調整等を行いました。また、音源の発振を伴う構造探査については、平成 25 年度に策定した「音波による構造探査における海洋哺乳類への影響緩和ガイドライン」に従い、ブリッジに海洋哺乳類を監視する者を配置し、ソフトスタート（発振を最初に最も低いレベルで起動して徐々に最大まで上げていく手法）などにより実施しました。

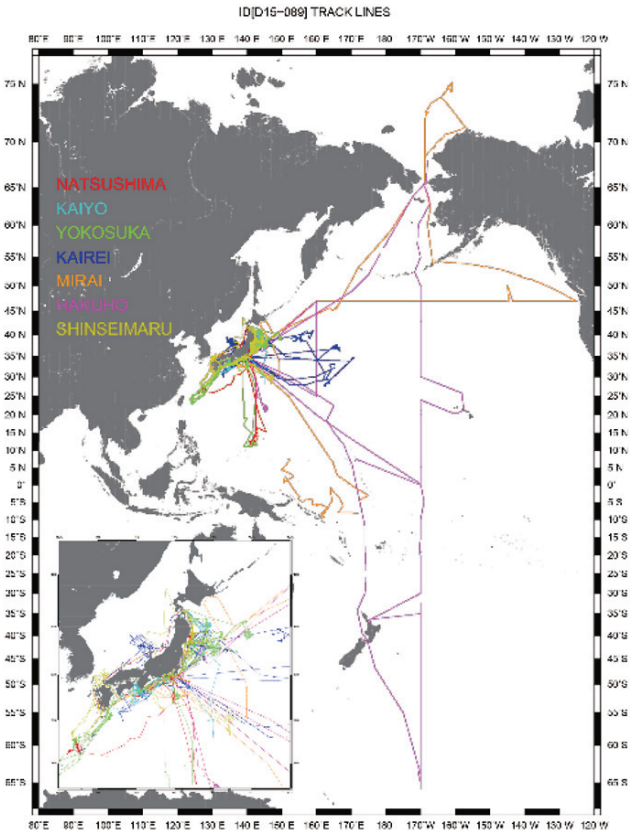


図 1. 平成26年度研究調査船航行軌跡

各研究船の平成 26 年度の特記事項としては、以下のとおりです。

学術研究船「白鳳丸」は、12 月初めから 2 月末までの期間、西太平洋から南極海にかけての長期航海を実施しました。この航海では、南極底層水によって駆動される大規模な深層循環系の中で採水調査等を実施し微量元素と同位体の 3 次元分布を明らかにしました。

東北生態系調査研究船「新青丸」は、9 月に震災後初めて母港である大槌港にて帰港着岸して一般公開を実施しました。また、この一般公開では、「おでかけ授業」として大学の研究者にも講演をしていただき地元の住民の皆様から大好評でした。

海洋調査船「なつしま」は、5 月に西マリアナ海嶺付近においてウナギの産卵生態を解明するための調査航海を行い、深海探査カメラシステム「江戸っ子 1 号」（図 2）等によるウナギの産卵行動の映像撮影を試みましたが、残念ながら目的の映像は得られませんでした。6、7 月には三陸沖合における海洋生態系変動メカニズムを解明するための調査航海を行い、「ハイパードルフィン」による瓦礫の詳細な状況把握や、バイオトラッキングシステムを用いたズワイガニやキチジ（キンキ）等の行動調査に成功しました。

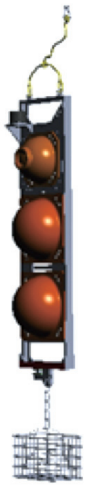


図 2. 江戸っ子 1 号

海洋調査船「かいよう」は、「地震・津波観測監視システム（DONET Ⅱ）」構築作業を通年で行いました。また、AUV「ゆめいるか」、「じんべい」の試験等も実施し、2 月には AUV の複数機同時運用システムを構築するための洋上中継器（ASV（図 3））の初めての海上試験を実施しました。

図 3. ASV

深海潜水調査船支援母船「よこすか」は「しんかい6500」と「うらしま」の潜航調査を通年行い、「うらしま」は資源探査航海にも活用されて成果を挙げました。

深海調査研究船「かいれい」は、7月に日本海における地震調査を実施しました。この日本海側地震調査では、東京大学地震研究所が実施する海陸統合地震探査測線と接続し、統合した地殻構造イメージを得るための調査を実施しました。

海洋地球研究船「みらい」は、平成 10 年の運用開始以来、降雨観測用ドップラーレーダーを常設する研究船として極域から熱帯地域にいたる環境下にて観測を行ってきましたが、装置の老朽化が著しくなったため平成 26 年に換装しました。送信機の固体素子化および二重偏波方式を採用した最新型のレーダー（図 4）となり、降水強度をより精度よく観測できるようになりました。

図4. ドップラーレーダードーム

また、換装にあたりレーダードームを 3m かさ上げして運用することにより、旧レーダーでシャドウと呼ばれる電波障害域が軽減され観測エリアを拡大することができました（図 5）。

北極域、熱帯域などで連続観測を行い、特に、北極海での定点観測では北極低気圧を、北太平洋では台風から温帯低気圧への変質過程を捉えることに船舶搭載型 2 重偏波レーダーとして世界で初めて成功しました。また、西太平洋では運用中の TRITON ブイ 11 基を回収し、新たに 8 基を設置しました。インド洋では小型・軽量タイプの m-TRITON ブイ 3 基の入れ換えを行って運用を継続し、取得したデータを公開しています。今回の西太平洋のメンテナンス航海で新たなブイ設置を行わなかった 3 箇所の観測点は、近い将来ブイに代わる観測手段に代替予定であり、一時的に観測を停止しました。

一方、深海探査システムの運用については、「しんかい6500」が 4 月初めの訓練潜航を皮切りに、4 月 10 日から 24 日まで日本海溝と北西太平洋の調査、7 月にはマリアナ海溝の潜航調査を行うなど、建造以来 25 年を経過してなお健在で、深海調査研究に供されこれまで同様にさまざまな成果を上げています。

AUV「うらしま」は、基盤ツールによる小型重力計や合成開口インターフェロメトリーソーナー（図 6 赤丸部）の開発試験に供されたほか、公募研究航海にも活躍し多大な成果を上げています。

図6. うらしま合成開口インターフェロメトリーソーナーの搭載

「かいこう Mk-Ⅳ」（図 7）は、機器運用の慣熟を目的とした試験運用を開始、今後水深 11,000m での運用を目指し

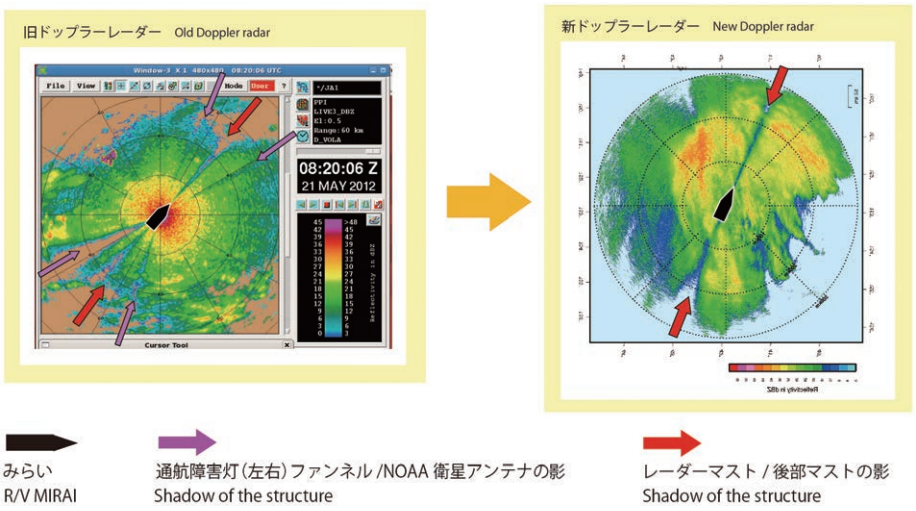


図5. シャドウ域軽減比較

た改良を行いながら調査航海への投入を予定しています。

「ハイパードルフィン」は、その主たる母船である「かいよう」、「なつしま」の平成 27 年度中廃船という状況にあって、新たにコントロール盤を製作し、「新青丸」での運用を目指して調整を行っています。

図 7. かいこうMk-Ⅳ

曳航体については、既存の 6,000m 級曳航体を更新して、カメラシステムとしての運用も可能な曳航体へと進化させ、その実用実験を実施しました（図 8）。今後さらなる作りこみを経て、調査航海への投入を予定しています。

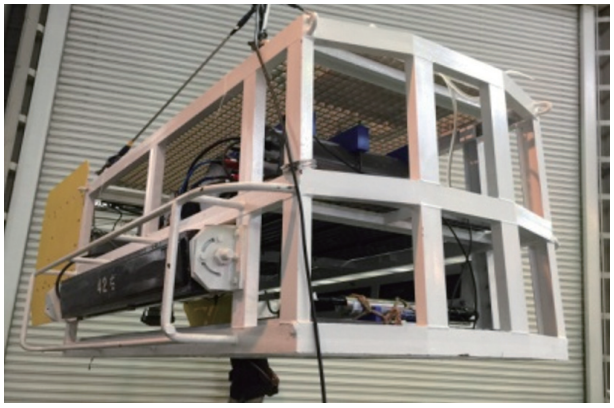


図 8. 6,000m級曳航体

「海底広域研究船」の建造

海底広域研究船は、海底設置型掘削装置等による海底サンプリング調査、3 次元地震探査システムによる海底下地殻構造探査、自律型無人探査機（AUV）の複数機運用や音響機器による海底の精密広域調査等を通して、我が国周辺海域に存在する海洋資源など海底の広域科学調査を加速することを目的として建造を進めています（図 9）。

図 9.「海底広域研究船」完成予想図

主要目は次の通りです。

全長×幅×計画満載喫水：約 100m×19.0 m×6.0 m
国際総トン数：約 5,800トン
定員：65 名（船員 27 名／研究者等 38 名）

主要装備：
- 2 次元・3 次元対応地震探査システム
- 40m 大型ピストンコアラーシステム
- 海底設置型掘削装置
- パワーグラブ
- 10,000m 級 CTD・採水システム

平成 26 年度は、模型試験による船体性能の確認を行うとともに、後部作業甲板の 1/10 模型及び研究室等の 3 次元モデルを用いた審議を行うなど平成 25 年度に引き続き詳細設計を進めました。また、10 月に船体の建造を開始し、1 月より船台へのブロック搭載工事を行いました（図 10）。

本船は平成 27 年度末に完成する予定です。

図 10. 建造中の「海底広域研究船」（2015年3月）

有人潜水調査船「しんかい6500」完成25周年

「しんかい 6500」は平成 26 年度は竣工から 25 周年を迎え、その記念イベントの一環として 4 月に幕張メッセで開催された「ニコニコ超会議 3」に実物展示を行い多くの人に見学していただきました（図 11）。千葉港から会場までの輸送経路を深夜にゆっくりと約 1 時間かけて移動し、その様子はライブ配信されました。

図 11. しんかい 6500 ニコニコ超会議 3 展示

また、3 月に行われた JAMSTEC2015 では、「しんかい 6500」就航 25 周年の軌跡と未来について講演を行いました。

平成 26 年 2 月にフルデプス有人潜水調査船開発が日本学術会議の学術大型研究計画にノミネートされたことからも判るように、学術研究にとって有人潜水調査船は有用なものと考えられます。

平成 26 年度は、建造後 25 年を経た「しんかい 6500」の技術を継承するために次世代有人潜水船の開発を目指し、基礎的な検討の一環として耐圧殻等の検討を行うとともに、CFRP 材料の応用に関して素材メーカーからの聞き取り調査や、3D プリンターをもちいた浮力材の制作に関して東京大学と意見交換を行いました。また、フルデプス有人潜水調査船「しんかい 12000」の構想図（図 12）をまとめ、外部に発表しました。

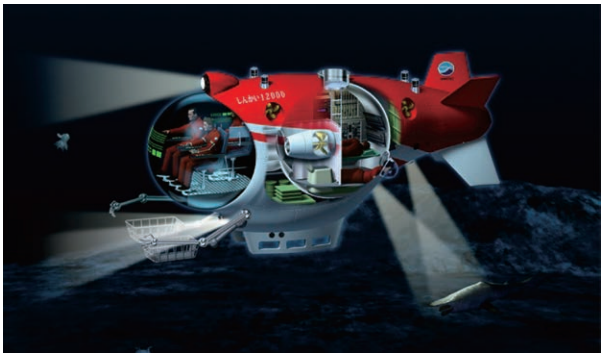


図 12.「しんかい 12000」構想図

潜水研修の実施及び事業の終了

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業務管理研修を平成 26 年度は 14 回実施し、326 名が受講しました。

機構主催の潜水技術研修は、昭和 62 年度から平成 26 年度までの間、多くの研修終了者を輩出し産官学に大いに貢献しました。研修中の事故もなく、総受講者数は 6,949 名となりました。近年、機構が研究開発法人として位置づけられたことにより、潜水技術研修は異なる事業として位置することになりました。このため、本年度をもって潜水技術研修事業を終了しました。

図 13. 潜水研修事業終了報告会後の集合写真

(2)「地球シミュレータ」の運用

概要

地球シミュレータは、初代のフラッグシップマシンとしての役割を完了し、現在稼働している 2 代目地球シミュレータ（ES2）は、平成 21 年 3 月に導入し（表1）、IPCC 第 5 次報告書に代表される地球温暖化をはじめとする気候変化や気候変動分野など海洋地球科学分野を中心に様々な研究に利用されました。ES2 は、平成 27 年 2 月末日をもって運用を終了し、3 月からは新地球シミュレータの試験運用が開始されました。ES2 のユーザ登録は運用終了時点において426 人、平成 26 年度は計算資源の 90% 以上をシミュレーションの実行に利用し、計画保守を含むノード停止時間は 3.7%、稼働期間全体を通じて安定した連続運用を実現しました（図1）。

計算ノード	
CPU数	8
コア数（CPU当たり）	1
演算性能（CPU当たり）	102.4 GFLOPS
メモリ容量	128GB
メモリバンド幅	2048 GB/s
システム	
総ノード数	160
総CPU数	1280
総合演算性能	131 TFLOPS
総メモリ容量	20 TB
総メモリバンド幅	328 TB/s

表1. ES2の仕様

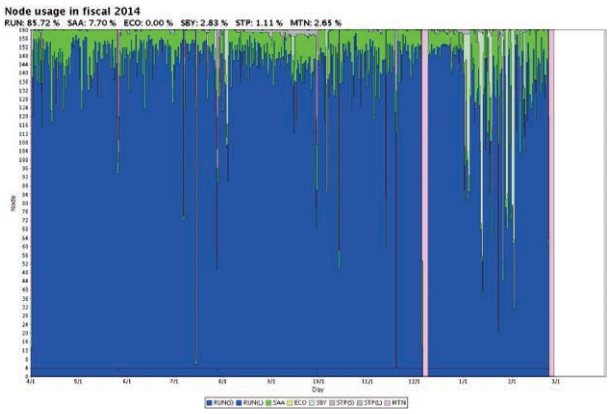


図1. 平成26年度ES2ノード使用状況

新地球シミュレータの調達と導入

ES2 の後継機としてのスーパーコンピュータの導入にあたっては、平成 24 年より技術動向調査およびユーザの必要資源調査を継続的に実施し、学術的および技術的な国際競争力を維持し、更に向上するための必要条件について外部有識者との協議結果も踏まえ継続検討をしてきました。加えて、国際調達指針に基づき、公正で透明性の高い調達を計画的に推進しました。入札による機種決定後は、ただちにシステム設計とユーザプログラムの移行を並行して進め、可用性検査やシステムのトータル性能の検証などを経て、予定通り平成 26 年 3 月から全体の 50%システムに対して試験運用を開始しました。

本調達においては、特に「研究開発成果の最大化」の実現を最優先事項とし、その実現に必要な最適な計算機システム環境の実現を図りました。機構にて選定した代表的な6つの実アプリケーションプログラムのターンアラウンドタイムを最小化可能な実効性能要件を最重視した計算性能評価を行い、競争入札により NEC 社製 SX-ACE の導入を決定しました（図 2）。新地球シミュレータは、世界最大規模の分散メモリ型ベクトル並列計算機で、総計 5120 ノードの計算ノードを有し、各計算ノードは 1 基の CPU（4 コア）と 64GB のメモリを搭載しています（表 2）。

この調達によって、諸調査結果をもとに算出した当初見積価格に対して約 66% の価格で要求計算性能（ES2 の 8 倍）を上回る 10 倍以上の実行性能を達成するシステムを調達することができました。同時に、水冷方式の導入により従来の 3 分の 2 以下の低消費電力化を達成しました。また、欧米の主要気象機関とのシステム性能比較において遜色のない計算性能を示す国際競争力を維持することができるシステムを実現しました（図 3）。

平成 26 年度の国立研究開発法人評価（文部科学大臣による評価）においては、上記の調達プロセスに対し堅実で透明性のある効果的な導入実績が評価され、「『研究開発成果の最大化』に向けて将来的に顕著な成果の創出への期待等が認められる。」として A 評価を受けました。

図2. 設置作業の完了した新地球シミュレータ

計算ノード	
CPU数	1
コア数（CPU当たり）	4
演算性能（CPU当たり）	256 GFLOPS
メモリ容量	64 GB
メモリバンド幅	256 GB/s
システム	
総ノード数	5120
総CPU数	5120
総コア数	20480
総合演算性能	1.3 PFLOPS
総メモリ容量	320 TB
総メモリバンド幅	1.3 PB/s

表２ 新地球シミュレータの仕様

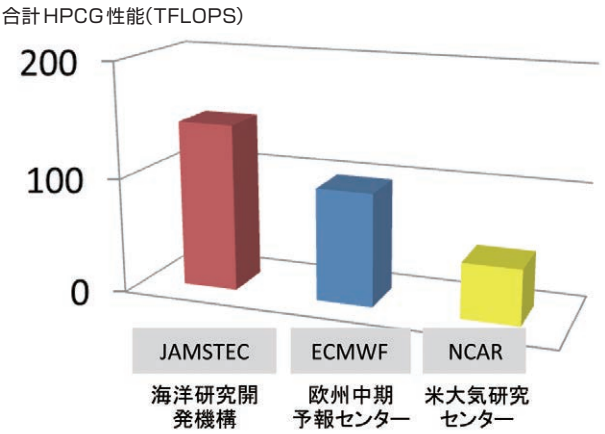


図３. 計算性能の比較（各システムのHPCG性能）

相談窓口を常設し、各種の技術的な問題に関する解決支援業務を実施しています。具体的には、計算機の利用方法やプログラミングに関する相談、専門技術要員によるプログラム最適化の実施、ジョブ実行に関する運用上の支援などをおこなっています。

これらの技術サポートの実施体制（図４）は、地球情報基盤センター情報システム部の計算技術グループと基盤システムグループを中核に、ベンダーの運用支援部隊・技術支援部隊が連携する体制を構築しています。利用者である研究者のニーズを詳細に把握して研究面に踏み込んだコンサルティングも可能な当センターの技術サポート要員と、ハードウェア・ソフトウェアを熟知しているベンダーとの連携体制を構築する事で、利用者のニーズに即した、かつ非常に高度なレベルの技術サポートを実現しています。

図４. スーパーコンピュータ利用者への技術支援体制

技術サポート

地球情報基盤センターでは、「地球シミュレータ」をはじめとする計算資源を効率的に活用し、利用者の成果創出が加速されるよう計算技術と運用の両面で、利用者に対する様々な技術サポートをおこなっています。平成 26 年度は、新地球シミュレータへの対応準備を進めるとともに、ES2 での利用者サポートの一層の充実及び地球シミュレータのプリポスト処理システムとして位置づけられている大規模共有メモリシステム（SGI 社製 UV2000）の利用環境整備を目標として実施しました。

利用者への情報提供として、各種利用のための手引書や技術資料を整備し、最新の情報が利用者向けホームページから一元的に入手出来るようにしています。
（https://www.jamstec.go.jp/es3support/）

また、利用者のプログラミングなどを技術面から支援するため、利用者が直接、あるいはメール等で相談出来る利用

この利用相談窓口に寄せられた案件数は、平成 26 年度では 160 件ありました。その内訳は利用方法 66 件、リモートアクセス 13 件、プログラミング相談 13 件、その他 68 件でした。平成 26 年度は ES2 のデータ退避や新地球シミュレータについての質問が多数寄せられたことが特徴として挙げられます。一次回答までの平均所要時間は 24 時間以内を達成しており、相談対応に要する時間の短縮によるサポート充実を継続して進めています。

技術サポートとしては、効率的なジョブ投入方法の提案、プログラムのコンパイルやデバッグなどの支援、利用者から希望のあった計 11 件のフリーソフトウェアや商用ソフトウェアの移植・動作確認などを行いました。これらのサポートの内容は、Ｗｅｂや展示会、口頭発表などにて情報公開をし、広く利用の拡大や利用技術の向上に役立てていただいています。

「地球シミュレータ」の産業利用

「地球シミュレータ」の利用普及をはかるため、「成果専有型有償利用」と、文部科学省の補助金事業である「地球シミュレータ産業戦略利用プログラム」による「成果公開型有償利用」の二つの利用制度を通じて産業界などからの利用を推進しました。

「地球シミュレータ」の「成果専有型有償利用」は平成19 年度から実施しています。産業界等から使いやすくするため、申込の常時受付やプログラムの移植・最適化に関する技術相談・支援を継続的に行なっています。また「地球シミュレータ」のプリポスト処理システムとして位置づけられている大規模共有メモリシステム（SGI 社製 UV2000、図 5）についても、「地球シミュレータ」の有償利用推進の一環として平成26 年度下半期より成果専有型有償利用を開始しました。

理論性能：49.152TFLOPS
総プロセッサー（コア）数：256CPU socket（2,560core）
【Intel Xeon E5-4650v2（2.4GHz, 10core)】
総メモリ容量：32TB
OS：SUSE Linux Enterprise Server 11 SP3

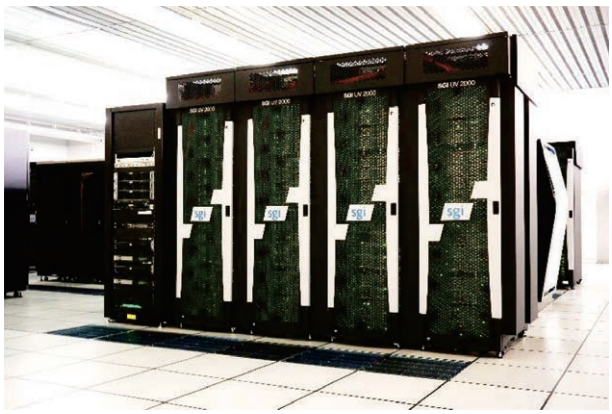


図 5. 大規模共有メモリシステム（SGI 社製 UV2000）

さらに、産業界向けアプリケーションである流体力学ソフトウェア OpenFOAM やマルチフィジックス対応有限要素法ソフトウェア ElmerFEM、分子動力学ソフトの Amber、Gromacs について UV2000 への移植・動作確認を行い、それぞれのソフトウェアについて、大規模データを用いた並列性能調査を行い、良好な並列性能を確認しました。それらの成果はドキュメントとしてまとめ、成果専有型有償利用の利用促進にも活用しました。

一方、「地球シミュレータ産業戦略利用プログラム」による「成果公開型有償利用」は、平成 21 年度から補助金による「先端研究施設共用・プラットフォーム形成事業」として実施しています。本制度では、最大 2 年もしくは 2 回までの利用についてはトライアルユースが認められ無償での利用が可能で、平成 26 年度は 12 課題中 8 課題がトライアルユースでの利用でした。本事業で導入した大規模共有メモリシステムを稼働させ、利用課題に開放し共用を開始しました。平成 26 年 10 月 23 日に、利用企業による成果報告を中心とした「地球シミュレータ産業利用シンポジウム 2014」を開催しました。本シンポジウムでは、新たに稼働した SGI UV2000 の有効性・利便性を示すことを目的として、初の試みとしてスパコンの産業利用で利用される代表的なソフトベンダーを招待講演とし、併せて、それらソフトウェアを SGI UV2000 に実装した紹介を行いました。ベンダーの顧客からの注目もあり、たいへん盛況で参加者は 130 名でした。本シンポジウム以降は、利用できるソフトウェアの問い合わせも増え、ユーザからの注目が増えました。

シミュレーション技術の高度化を目的として、東京大学の生産技術研究所と「産業界における先端的な研究開発のための基盤となる計算科学シミュレーションソフトウェアの高度化に関する共同研究」を平成 20 年度より実施しており、平成 26 年度は材料、バイオの分野で必要とされるシミュレーションソフトウェアの高速化を図り、産業界の利用を増やすべく活動を行いました。

本事業では、利用課題の 12 機関に対して技術支援を行うことで、産業界における数値シミュレーション技術の発展・拡大に貢献し、得られた成果についての利用成果報告書の発行ならびにシンポジウムの開催、ホームページ上での情報発信などを行い、スーパーコンピュータを用いた産業利用事例の広報を実施することで社会へ貢献しました。アドバンスソフト株式会社の課題では、5つのソフトウェアを SGI UV2000 上に実装し、本システムの利用評価を行い、本システムを有償利用することを前提とした“スーパーコンピューティング・サービス”を開始することとなり有償利用の促進につながりました。

(3) 海洋地球観測データ・サンプルの管理と公開

概要

地球情報基盤センター 地球情報技術部では、機構が様々な研究活動で取得した海洋および地球に関する調査観測データや各種サンプルに関して受領・収集、保管、データの品質管理、データ公開システムの開発と運用などを行っています。平成 26 年度までに、約 46,500 件の観測データ・サンプルのメタデータや 49 件のデータベースやデータサイトのメタデータを公開しました。

平成 19 年度に制定した「データ・サンプルの取り扱いに関する基本方針（データポリシー）」を元に、機構が運用する船舶の航海、それらを母船とする潜水調査船・無人探査機で得られたデータ・サンプルの管理・保管や観測データの公開システムの整備・運用を行っています。平成 26 年度も継続してデータの登録・公開を行っているとともに、主要な潜水調査船等で撮影された標準画質の映像についてデジタル化作業が完了しました。

新たな取り組み

また、潜航調査の航跡を三次元的に表示する「深海調査データビューア」の公開や、航海で得られたデータを公開している「航海・潜航データ探索システム」へのグラフ表示の追加などを実施しました。さらに、むつ研究所が設置した海洋短波レーダーで計測される津軽海峡東方海域の海表面流向・流速のデータを準リアルタイムで配信するための「津軽海峡東部海洋レーダーデータサイト（MIO Ocean Radar Data Site for the Eastern Tsugaru Strait：MORSETS）」を構築しました。

震災復興への対応

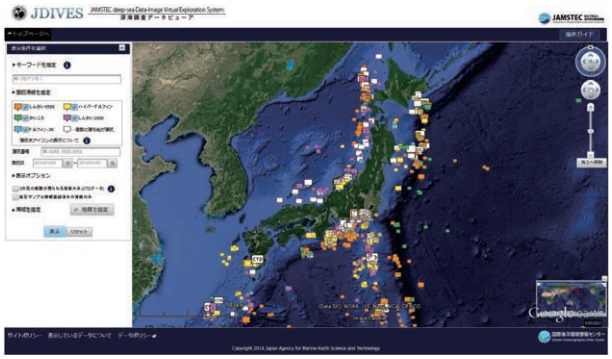
東日本大震災後の東北沿岸域の海洋生態系の変化解明と漁業等の復興に貢献するため、平成 24 年 2 月に開始した「東北マリンサイエンス拠点形成事業（海洋生態系の調査研究：TEAMS）」に参画し、本事業で得られた成果や情報を発信・提供するデータ管理体制の整備と、データ共有・公開システムの構築を進めています。平成 26 年度は、本事業のデータポリシーを基にデータ (調査計画書・報告書、観測データ・メタデータ、成果概要届) の収集・保管・公開を継続するとともに本事業関係者間での情報の共有環境として「TEAMS Members Site」の運用を開始しました。また、生物情報の蓄積、共有の促進のために「TEAMS 生物観察記録アーカイブシステム（BORAS）」の試験運用も開始しました。

地震情報の公開

平成 23 年度に 20 観測点すべての設置が終了した熊野灘沖の地震・津波観測監視システム（DONET）の観測データは、機構の横浜研究所でリアルタイム受信されています。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、地震研究情報データベースの構築を進め、平成 26 年 4 月より研究情報公開グループがデータベースの運用・管理を行っています。平成 26 年度は、海底地震計データをリアルタイムで公開するリアルタイム地震関連情報表示システムの実証運用を開始し、地震イベント波形データを研究者に提供する DONET イベントデータ提供システムの試験運用も開始しました。

生物多様性情報の公開

海洋生物の多様性や分布情報を扱う情報システム Biological Information System for Marine Life（BISMaL）を運用し、機構が保有する生物関連情報を統合的に発信するとともに、日本周辺の海洋生物多様性情報を収集し、体系的に整理した上で広く公開しています。機構は平成 22 年から国際的な海洋生物のデータベースである Ocean Biogeographic Information System（OBIS）の日本ノードとして、BISMaL のデータを OBIS に提供しています。平成 26 年度には OBIS がユネスコ政府間海洋学委員会（UNESCO/IOC）の国際海洋データ情報交換システム（IODE）傘下に移行したことを受け、平成 27 年 1 月に IODE 連携データユニット（IODE Associate Data Unit：ADU）に承認されました。



深海調査データビューア公開画面

（4）「ちきゅう」の運用及びIODPの推進

概要

地球深部探査センター（CDEX）は、日本・米国・欧州を始めとする世界 26 カ国が参加する国際深海科学掘削計画（IODP: International Ocean Discovery Program、以下「IODP」という。）の主力掘削プラットフォームである地球深部探査船「ちきゅう」（図 1）の運用を担っており、同計画の主要推進機関として国際的枠組みのもと、「ちきゅう」の運航、掘削、科学サービス、技術開発を総合的に運営管理しています。「ちきゅう」はライザー掘削システムを搭載する世界で唯一の科学掘削船であり、従来の科学掘削船や研究船では成し得なかった大水深・大深度での掘削調査を通じて、巨大地震・津波のメカニズム・地球規模の環境変動メカニズム・地球内部エネルギーに支えられた海底下生命圏・海底資源生成環境などの人類が共有する科学命題の解明を目指しています。

図1. 地球深部探査船「ちきゅう」

IODP参加国との覚書締結

IODP の枠組みのもと、平成 26 年 4 月に、豪州及びニュージーランドの 2 ヵ国における 25 の研究機関や大学からなる海洋研究掘削に関する共同体である、豪州・ニュージーランド IODP コンソーシアム（ANZIC : Australia New Zealand IODP Consortium）との覚書を締結しました。本覚書には、「ちきゅう」が行う IODP 研究航海において、豪州及びニュージーランドの研究者の乗船が可能となることなど、日本と豪州及びニュージーランドの協力関係促進に関する事項が盛り込まれております。

米国との「ちきゅう」－「JR（ジョイデス・レゾリューション号）」相互乗船などについては、平成 25 年 10 月の国際深海掘削科学計画開始の段階で書類締結を行っています。

これらの協力体制の下「ちきゅう」は引き続き IODP の科学的課題の解明に取り組んでいきます。

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）への供出

平成 26 年 7 月には、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）への課題「次世代海洋資源調査技術」における「海洋資源の成因に関する科学的研究」に「ちきゅう」を供出しました。

平成 22 年の IODP 第 331 次研究航海「沖縄熱水生命圏」による科学掘削調査により発見された海底下熱水溜まりおよびその周辺を対象として、掘削同時検層を行い、伊平屋北海丘海底下の熱水溜まりの分布と地層物性データを入手しました。

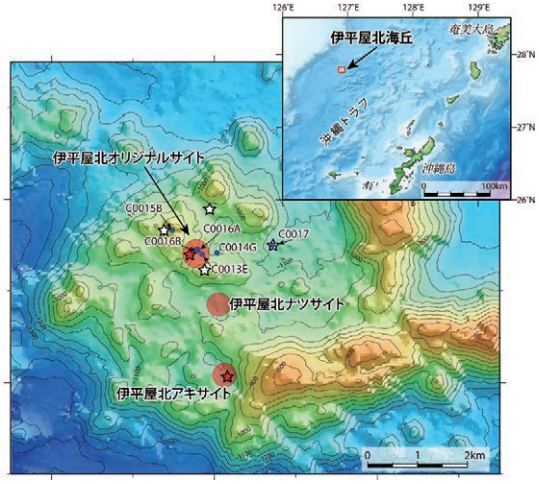


図2. 掘削地点

学会展示

参加国の科学コミュニティに向け、現在の計画の最新情報の周知を目的とし、地球科学系の国際学会である日本地球惑星科学連合大会（JpGU）、アジア・オセアニア地球科学会（AOGS）、米国地球物理学連合（AGU）にてブース展示を行いました。また、IODP 加盟国参加者が最も多い AGU において、米国・欧州の運航機関とともに共催事業として、IODP タウンホールミーティングを企画・運営いたしました。

図3. AGU IODPタウンホールミーティングの様子

広報活動

広報活動については、国立科学博物館との共催によりシンポジウム「統合国際深海掘削計画 10 年の成果」などを行いました。また、講演会・出前授業は 25 件、国内外メディア取材協力を 22 件、国内外メディア出版関係への動画・画像提供を 63 件行いました。

また、ホームページリニューアルを行いました。従来は一般向けと IODP 関係者向けの情報が混在する構成になっていたため、リニューアル時には、「ちきゅう」サイト（www.jamstec.go.jp/chikyu）、「地球深部探査センター」（www.jamstec.go.jp/cdex）、国際深海科学掘削計画（www.jamstec.go.jp/iodp）の 3 つに大きく分類しました。

図 4. 新「ちきゅう」サイト

来年度にむけて

平成 27 年 7 月に、「ちきゅう」は就航 10 周年を迎えます。これを記念し、各種イベントを開催することを検討しています。

また、10 年目の定期検査工事が予定されており、各種機器の換装や研究区画の改装を実施する準備を行っているところです。

4. 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）発足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、本制度を通じて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などを行って参りました。

2004 年 4 月独立行政法人へ改組後も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など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。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く会員の皆さまと共に良き明日を目指すパートナーとして歩んで参ります。

（賛助会費＜寄付金＞の取り扱いについては、法人税法第 37 条により税法上の優遇措置が受けられます）

● 会員特典

JAMSTEC賛助会におきましては、私どもが開発して参りました研究開発成果を会員の皆様にご活用していただくために、様々な特典をご用意致しております。

- 各種セミナーやサイエンスカフェ、技術交流会等を通じた**研究開発成果に関する情報の提供**
- 研究船や有人潜水艇、無人探査機、等JAMSTECが保有する各種設備や施設群をご利用いただいてのご会員の技術開発のご支援等、会員の皆様への**事業サポート**
- JAMSTEC保有施設等のご使用における**各種優遇措置**
- 会員の皆様の社内研修会等への技術指導者や講師等の派遣による**技術提供**

賛助会員にご入会いただきますと、これらの特典がご利用いただけます。

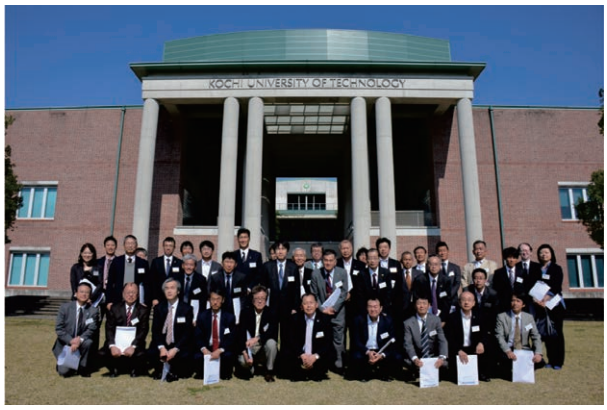
賛助会に関するお問い合わせは、下記までお願いします。

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
E-MAIL：sanjokai@jamstec.go.jp

賛助会セミナー

サイエンスカフェ「マルカフェ」

賛助会見学会 < 高知方面 > - 1



賛助会見学会 < 高知方面 > - 2

試験潜航視察及び「かいれい」体験乗船

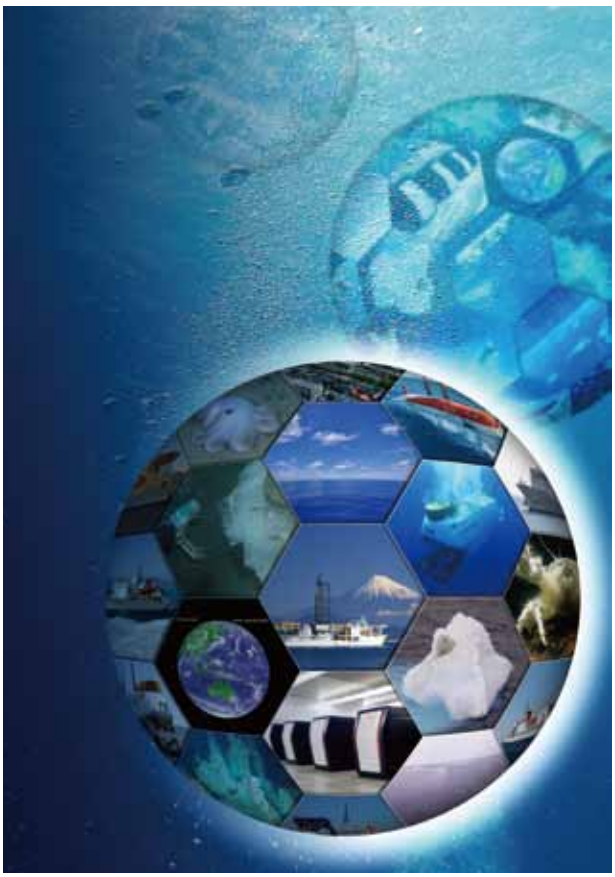
技術交流会

賛助会員名簿

平成27年3月31日現在、次の企業及び団体の皆様より、賛助会会費、寄付金をいただいております。（五十音順）

株式会社IHI
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社
株式会社アイケイエス
株式会社アイワエンタープライズ
株式会社アクト
株式会社アサツーディ・ケイ
朝日航洋株式会社
アジア海洋株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ
株式会社安藤・間
泉産業株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所
株式会社エス・イー・エイ
株式会社エスイーシー
株式会社SGKシステム技研
株式会社エヌエルシー
株式会社NTTデータ
株式会社NTTデータCCS
株式会社NTTファシリティーズ
株式会社江ノ島マリンコーポレーション
株式会社MTS雪氷研究所
株式会社OCC
株式会社オキシーテック
沖電気工業株式会社
オフショアエンジニアリング株式会社
海洋エンジニアリング株式会社
株式会社海洋総合研究所
海洋電子株式会社
株式会社化学分析コンサルタント
鹿島建設株式会社
川崎汽船株式会社
川崎重工業株式会社
株式会社環境総合テクノス
株式会社キュービック・アイ
共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
共立管財株式会社
極東製薬工業株式会社
極東貿易株式会社
株式会社きんでん
株式会社熊谷組
クローバテック株式会社
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KSP
KDDI株式会社
京浜急行電鉄株式会社
鉱研工業株式会社
株式会社構造計画研究所
神戸ペイント株式会社
広和株式会社
国際気象海洋株式会社
国際石油開発帝石株式会社
国際ビルサービス株式会社
株式会社コベルコ科研
五洋建設株式会社
株式会社コンポン研究所
相模運輸倉庫株式会社
佐世保重工業株式会社
三建設備工業株式会社
三洋テクノマリン株式会社
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー
JFEアドバンテック株式会社
株式会社JVCケンウッド
財団法人塩事業センター
シチズン時計株式会社
シナネン株式会社
株式会社シーフロアコントロール
清水建設株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社
シュルンベルジェ株式会社
株式会社昌新
株式会社商船三井
一般社団法人信託協会
新日鉄住金エンジニアリング株式会社
須賀工業株式会社
鈴鹿建設株式会社
セイコーウオッチ株式会社
スプリングエイトサービス株式会社
住友電気工業株式会社
清進電設株式会社
石油資源開発株式会社
セコム株式会社
セナーアンドバーンズ株式会社
株式会社ソリッド・ソリューションズ・インク
損害保険ジャパン日本興亜株式会社
第一設備工業株式会社
大成建設株式会社
大日本土木株式会社
ダイハツディーゼル株式会社
大陽日酸株式会社
有限会社田浦中央食品
高砂熱学工業株式会社
株式会社竹中工務店
株式会社竹中土木
株式会社地球科学総合研究所
中国塗料株式会社
中部電力株式会社
株式会社鶴見精機
株式会社テザック
寺崎電気産業株式会社
電気事業連合会
東亜建設工業株式会社
東海交通株式会社
洞海マリンシステムズ株式会社
東京海上日動火災保険株式会社
株式会社東京チタニウム
東京製綱繊維ロープ株式会社
東北環境科学サービス株式会社
東洋建設株式会社
株式会社東陽テクニカ
トピー工業株式会社
新潟原動機株式会社
西芝電機株式会社
西松建設株式会社
株式会社ニシヤマ
日油技研工業株式会社
株式会社日産クリエイティブサービス
株式会社日産電機製作所
ニッスイマリン工業株式会社
日本SGI株式会社
日本海工株式会社
日本海洋株式会社
日本海洋掘削株式会社
日本海洋計画株式会社
日本海洋事業株式会社
一般社団法人日本ガス協会
日本サルヴェージ株式会社
日本水産株式会社
株式会社日本製鋼所
日本電気株式会社
日本ヒューレット・パッカード株式会社
日本マントル・クエスト株式会社
日本無線株式会社
日本郵船株式会社
濱中製鎖工業株式会社
東日本タグボート株式会社
株式会社日立製作所
日立造船株式会社
深田サルベージ建設株式会社
株式会社フグロジャパン
株式会社フジクラ
株式会社フジタ
富士通株式会社
富士電機株式会社
古河機械金属株式会社
古河電気工業株式会社
古野電気株式会社
株式会社ベッツ
株式会社マックスラジアン
松本徽章株式会社
マリメックス・ジャパン株式会社
株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社丸川建築設計事務所
株式会社マルトー
三鈴マシナリー株式会社
三井住友海上火災保険株式会社
三井造船株式会社
三菱重工業株式会社
三菱スペース・ソフトウエア株式会社
株式会社三菱総合研究所
三菱電機特機株式会社
株式会社森京介建築事務所
八洲電機株式会社
郵船商事株式会社
郵船ナブテック株式会社
ヨコハマゴム・マリン&エアロスペース株式会社
株式会社落雷抑制システムズ

独立行政法人海洋研究開発機構年報（平成26事業年度）
平成28年3月発行
発行・制作　国立研究開発法人海洋研究開発機構 事業推進部 産学連携課



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)