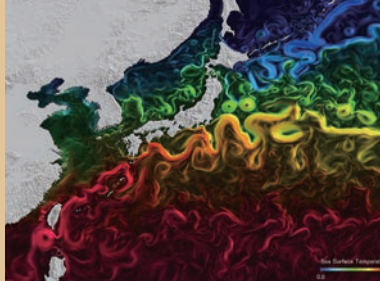




平成23年度 海洋研究開発機構研究報告会

JAMSTEC2012

新しい海洋立国への道



平成 24 年 3 月 14 日

東京国際フォーラム【ホール B7】



独立行政法人

海洋研究開発機構

平成23年度海洋研究開発機構研究報告会 JAMSTEC2012 新しい海洋立国への道

プログラム

13:00 ~ 13:10 開会挨拶

【第1部】「平成23年度成果報告」 コンビナー：白山 義久（JAMSTEC 理事）

13:10 ~ 13:25 「海と地球の理解をめざして -JAMSTEC の2011年の歩み-」
白山 義久（JAMSTEC 理事）

13:25 ~ 13:50 東日本大震災時の海底巨大変動や地震発生メカニズムについて
小平 秀一（JAMSTEC 地球内部ダイナミクス領域 プログラムディレクター）

13:50 ~ 14:15 東日本大震災後の化学・生物環境や海洋生態系の変動について
高井 研（JAMSTEC 海洋・極限環境生物圏領域 プログラムディレクター）

14:15 ~ 14:40 福島原発から放出された放射性物質の海洋拡散について
河野 健（JAMSTEC 地球環境変動領域 プログラムディレクター）

14:40 ~ 15:05 東日本大震災に伴う洋上漂流物のシミュレーション
石川 洋一（JAMSTEC 地球情報研究センター グループリーダー）

15:05 ~ 15:15 東日本大震災と地震学
深尾 良夫（JAMSTEC 地球内部ダイナミクス領域 チームリーダー）

15:15 ~ 15:45 休憩、ポスターセッション

【第2部】「新しい海洋科学技術の展開」 司会：平 朝彦（JAMSTEC 理事）

15:45 ~ 16:00 「海洋科学技術の目指すところ - 熱水環境を例として -」
平 朝彦（JAMSTEC 理事）

16:00 ~ 17:25 パネルディスカッション

田近 英一（東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授）

山田 吉彦（東海大学 海洋学部 教授）

吉田 弘（JAMSTEC 海洋工学センター グループリーダー）

小守 信正（JAMSTEC 地球シミュレータセンター チームリーダー）

江口 暢久（JAMSTEC 地球深部探査センター グループリーダー）

17:25 ~ 17:30 閉会挨拶

理事長ご挨拶

本日は、海洋研究開発機構の研究報告会「JAMSTEC2012」にご来場承りまして、誠にありがとうございます。

今年度は、現在の中期計画の折り返しを迎えた年であり、当機構の前身である海洋科学技術センターが発足してから40周年を迎える節目の一年でありました。

その節目の年度のスタートとして、平成23年4月1日に「海底資源研究プロジェクト」を設置し、我が国の排他的経済水域に眠る海底資源の探査技術に関する研究開発に本格的に着手いたしました。また、平成18年から文部科学省の補助事業として進められている「地震・津波観測監視システム（DONET）」も、東南海地震の想定震源域である紀伊半島熊野灘の全観測点の設置が完了し、本格運用を開始いたしました。運用開始とともに、本システムから得られる全ての地震計データを防災科学技術研究所や気象庁へ提供しており、現在、緊急地震速報に活用するための準備も進められています。

さて、平成23年3月11日に発生した東日本大震災からちょうど一年が経ちました。この間、大勢の方々の努力により、復旧・復興が着実に進んでおります。当機構も研究機関として貢献するため、積極的に調査活動を実施してまいりました。震災直後からは、国の要請に基づき福島沖の海域モニタリング計画に参画して必要な情報を提供し、科学的な調査として、「かいらい」による地殻構造調査、「しんかい6500」による震源域海底の潜航調査などを実施いたしました。報告会第1部では、これらの活動の中心となった研究者より、得られた成果をご報告いたします。

報告会第2部は、「新しい海洋科学技術の展開」をテーマとして、海洋科学技術に関する今後の展望や夢について自由に討論し、本報告会のタイトルでもある「新しい海洋立国」への道筋を見いだしていきたいと考えております。現在「ちきゅう」が愛知県沖で、海底下では世界初となるメタンハイドレートの試験掘削に挑戦しているところですが、やはり海洋開発への挑戦無くして、我が国の発展は難しいと考えます。まず冒頭、当機構理事の平より、当機構の海洋探査技術の現状や今後の展開、とくに人工熱水鉱床や地球内部生命探査に関して展望をご紹介し、引き続き、海洋科学技術の発展を支える中堅の研究者たちによるパネルディスカッションを行います。パネルディスカッションには、当機構の研究者のほか、大学でご活躍の2名の先生にご参加いただきます。私もご来場の皆さまとともに、様々な視点からの活発な議論を期待したいと思います。

本日の報告会では、第1部と第2部の合間にポスターセッションを行います。皆様には、是非そちらもご覧いただき、若手研究者や関係機関の活動に理解を深めていただければ幸いです。

私ども海洋研究開発機構は、これからも皆様からの要請に応えるべく、役職員一丸となって役割を果たして参る所存です。皆様の一層のご支援、ご理解そしてご指導を賜りますようお願い申し上げます。

独立行政法人海洋研究開発機構

理事長 加藤 康宏



平成23年度海洋研究開発機構研究報告会 JAMSTEC2012

目次

■【第1部】平成23年度成果報告	
・海と地球の理解をめざして – JAMSTECの2011年の歩み –	4
理事 白山 義久	
・東日本大震災時の海底巨大変動や地震発生メカニズムについて	6
地球内部ダイナミクス領域 プログラムディレクター 小平 秀一	
・東日本大震災後の化学・生物環境や海洋生態系の変動について	8
海洋・極限環境生物圏領域 プログラムディレクター 高井 研	
・福島原発から放出された放射性物質の海洋拡散について	10
地球環境変動領域 プログラムディレクター 河野 健	
・東日本大震災に伴う洋上漂流物のシミュレーション	12
地球情報研究センター グループリーダー 石川 洋一	
・東日本大震災と地震学	14
地球内部ダイナミクス領域 チームリーダー 深尾 良夫	
■【第2部】新しい海洋科学技術の展開	
・パネルディスカッション パネリスト紹介	16
■平成23年度の主な成果	
・地球環境変動領域 (RIGC)	18
・地球内部ダイナミクス領域 (IFREE)	26
・海洋・極限環境生物圏領域 (BioGeos)	31
・地震津波・防災研究プロジェクト	36
・IPCC貢献地球環境予測プロジェクト	39
・海底資源研究プロジェクト	41
・システム地球ラボ：プレカンブリアンエコシステムラボユニット	44
・システム地球ラボ：宇宙・地球表層・地球内部の相関モデリングラボユニット	46
・アプリケーションラボ (APL)	47
・むつ研究所 (MIO)	49
・高知コア研究所 (KOCHI)	51
・海洋工学センター (MARITEC)	55
・地球シミュレータセンター (ESC)	58
・地球情報研究センター (DrC)	62
・地球深部探査センター (CDEX)	67
・観測システム・技術開発ラボ	69
■知財活動の主な取り組み	72
■組 織	74
■主要施設・設備	76
■賛助会員名簿	77

第 1 部

海と地球の理解をめざして - JAMSTEC の 2011 年の歩み -

海洋研究開発機構 理事 白山 義久



独立行政法人海洋研究開発機構（以下「海洋機構」）は、2004 年 4 月からの最初の「中期目標・中期計画」を、数々の成果を挙げて 2009 年 3 月に終了し、4 月に第 2 期の「中期目標・中期計画」をスタートさせました。文部科学省から示された中期目標では、「海洋機構は、海洋に関する我が国および世界における真の中核的研究開発機関たることを目指し（中略）海洋に関する学術研究の発展に資する事業を重点的に展開していくものとする。（後略）」とされています。この中期目標を達成するために、海洋機構は 2009 年 4 月から新体制に移行し（図 1）、地球環境変動領域（図 2）、地球内部ダイナミクス領域（図 3）、海洋・極限環境生物圏領域（図 4）の三つの研究領域を設け、各研究領域には、数個の研究プログラムを設けました。

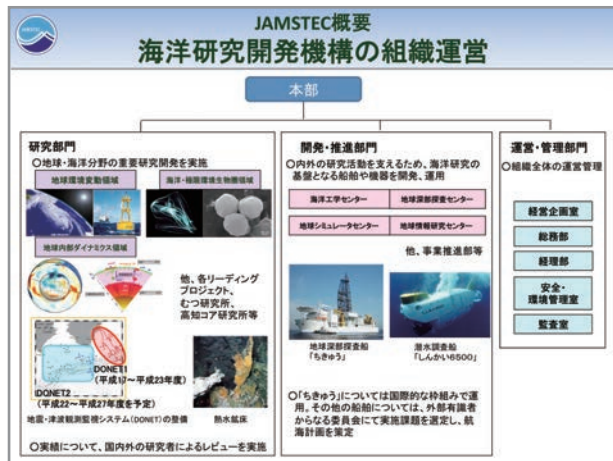


図 1. 海洋研究開発機構の組織図

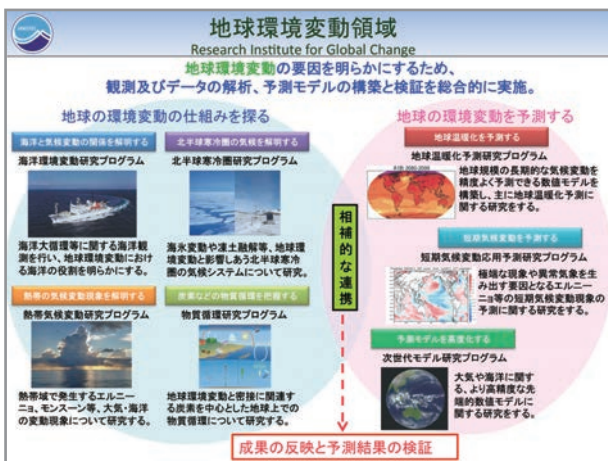


図 2. 地球環境変動領域

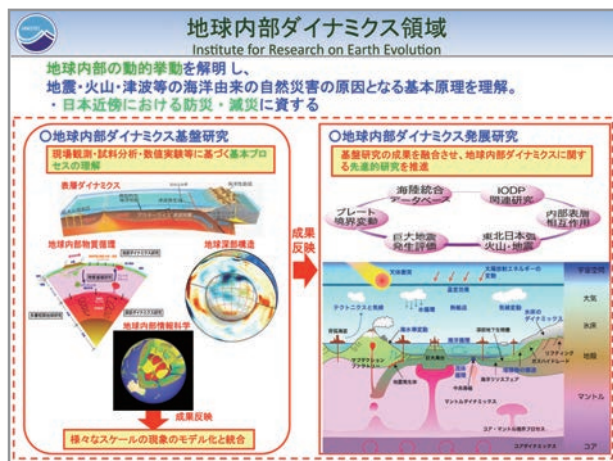


図 3. 地球内部ダイナミクス領域

各研究領域は、5年間の中期計画期間の3年目という折り返し点をすでに過ぎ、最終的な目標に到達すべく日夜努力をしています。その成果として、2011年には、科学論文約1000編を出版し、1200件以上の学会発表を行いました。(2012年2月調べ)その他に特許20件を取得するなど、順調に研究成果を積み重ねています。本日は、その中から特筆すべき成果4件ご報告します。具体的には、1) MJOと呼ばれる特異な現象をターゲットに2011年秋に実施したインド洋における大規模国際海洋観測プロジェクト「CINDY2011」について、2) 「海の天気」が表層海洋生態系に及ぼす影響について、3) 火山の噴火のメカニズムについて、および4) 超高圧下でも増殖する微生物について、です。



図4. 海洋・極限環境生物圏領域

加えて、2011年3月11日に発生した東日本大震災に対応して、海洋機構では緊急の研究体制を整備し、合計で331日の研究航海を実施して、多数の貴重なデータ・試料を収集しました。これらの1000年に一度しか入手できない貴重な科学的知見を後世にきちんと残すことは、2011年の海洋機構のもっとも重要な使命であったと認識しています。この研究成果は、別途4題の講演として、みなさまにご報告させていただきます。

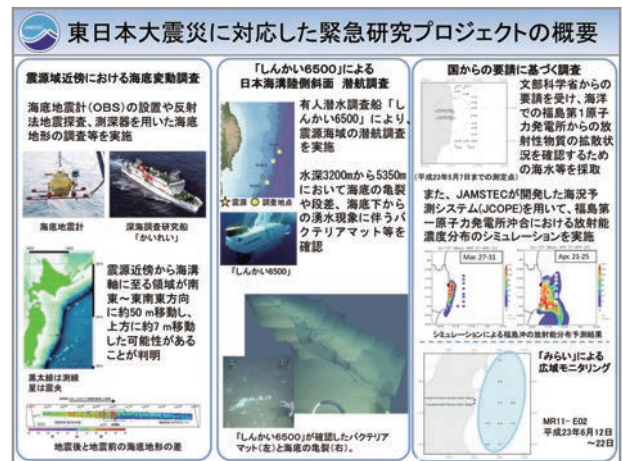


図5. 東日本大震災に対応した緊急研究プロジェクトの概要

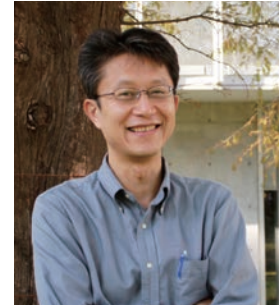
海洋機構は、これまでの国からのサポートによって、7隻の大型海洋調査研究船、地球深部探査船「ちきゅう」、地球シミュレータなど、世界でもユニークな研究インフラを備えています。これらの優れたインフラを、国内外の研究者とともに最大限に活用して、「海洋地球のフロンティアへの新たな挑戦」をモットーに、海洋地球に関する研究開発において世界をリードする中核的研究開発機関すなわち Center of Excellence (COE) を目指しています。

第 1 部

東日本大震災時の海底巨大変動や地震発生メカニズムについて

－ 緊急調査から見えてきた大変動の実態 －

海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域
海洋プレート活動研究プログラム プログラムディレクター 小平 秀一



1. はじめに

2011 東北地方太平洋沖地震の破壊域は日本海溝に沿って長さ約 500 km 幅 200 km に及んでいる。これまでに、地震波、津波、地殻変動などのデータから地震時の断層すべり量分布のモデルが提出されているが、最も特徴的な点は、地震時の大きな滑りが、海溝軸周辺まで及んでいる点である。しかしながら、どのデータを用いても滑り域の上限を厳密に決めるのは困難である。また、海底地殻変動のデータからも海溝近傍の大きな変位が観測されているが、それら海底地殻変動観測では、観測点の変位しか見積もることができず、観測点より海溝側にどこまで地震時の変動が及んだかを明らかにすることはできない。以上の理由から、これまでのところ地震、津波、地殻変動データからは今回の断層破壊の上限が厳密にどこまで及んだか、十分理解されていなかった。

2. 海底地形データ

地震、津波のデータから断層上の大きな滑りが予想される宮城沖では、海洋研究開発機構によって 1999 年と 2004 年に同一測線上で地震探査調査が行われており、その際同時にマルチナロービーム音響測深機による海底地形データも取得していた。そこで、地震前後の海底地形データを比較することによって、地震に伴う海底地形変動を検出する目的で、地震の直後に 3 月 14 日から 31 日にかけて、過去の測線と同一の測線で、マルチビーム地形調査、および地下構造探査を実施した。(図 1、図 2a)。

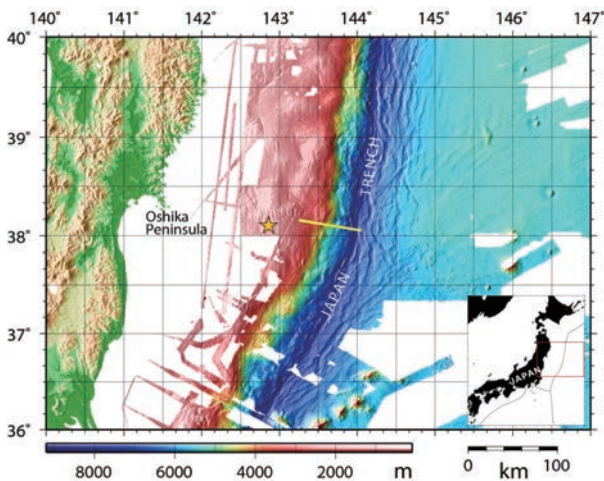


図 1. 観測領域図。黄色線が図 2 に示した地形調査の測線位置。星は震央をしめす。

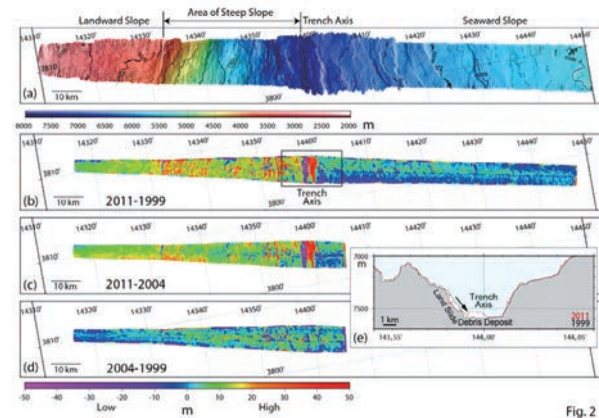


Fig. 2

図 2. a 地震発生直後に得られた海底地形データ b 1999 年と 2011 年の地形データの差、c 2004 年と 2011 年の地形データの差、d、2004 年と 1999 年の地形データの差 e 海溝軸付近の海底地形

3. 解析結果

図 2b に補正後の 1999 年に対する 2011 年の差、図 2c には 2004 年に対する 2011 年の差を示す。また、参考として 1999 年に対する 2004 年の差を図 2d に示す。これによると、地震前後を比較した、図 2b,c ともに海溝軸 (144° 00'E 付近) を境にして明瞭な違いが現れた。1999 年と 2011 年の差では、地形の傾斜が大きい (約 5.5°) 海溝軸から 40 km の範囲で地形の上下偏差が 15-30 m を示している (地震後が高い)。傾斜が変化した 40 km 付近を境に偏差は小さくなり、その偏差は 10m 程度である。2004 年度 2011 年の比較は、偏差の値は小さく見えるが、海溝軸を境に陸側で地震前後の地形偏差が大きいという傾向は同様である。一方、地震前の二つを比較した図 2c では海溝軸を挟んで明瞭な違いは確認されず数 m 程度のばらつきが見られるのみである。

これに加えて、図 2b,c とも海溝軸極近傍で、+50 m の変差と -50 m の偏差と隣接して確認できる。1999 年と 2011 年の地形断面を比較してみると、海溝軸陸側の斜面が長さ 1 km にわたって崩落し、海溝軸底に東西幅 1.5 km、高さ 50 m のデブリとして堆積していることが分かる。この偏差の様子は海溝軸付近で海底地滑りがあったことを示している (図 2e)。

次に、図 2b の偏差の内、海溝陸側斜面の地形偏差を最小にするよう、2011 年の地形データの 143° 43'E ~ 143° 57' E の間全体を水平方向にシフトさせて、海底地形の変動量を見積もった。なお、この見積りの際上記の地滑り地形が確認された、143° 57'E から東側の地形は解析域から除外した。この結果、1999 年データに対し、2011 年データを 50m 西北西にシフトさせると残差が最小になることが分かった。また、この補正後でも残差は +10m 残っている。言い換えると、1999 年と 2011 年の間に海溝陸側において、東南東に 50 m、上下方向に 10 m の変動があったとすると、観測された地形偏差が説明できる (図 3)。また、強調すべき点はその変動は海溝軸ぎりぎりまで及んでいる点である。これまでの、地震、津波、地殻変動データの解析からは今回の地震に伴う滑りの上限が確定できていなかったが、本研究により、滑りの上限が海溝軸ぎりぎりまで及んでいたことが初めて確認された。また、これまで起きた海溝型地震に、地震に伴う大きな滑りが海溝軸まで及んだことを観測データによって直接的に示したものはなく、本研究が初めての証拠となる。

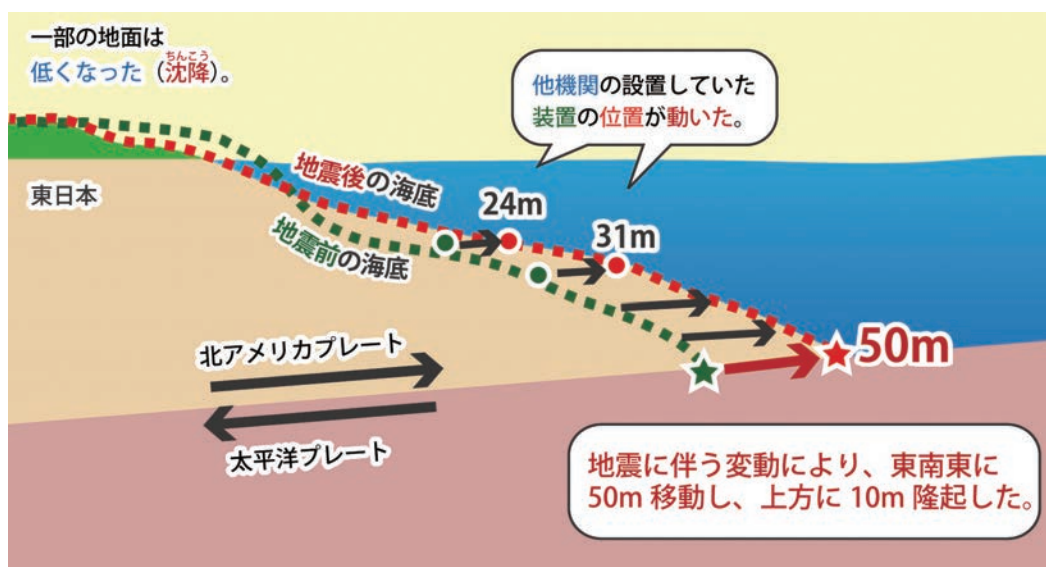


図 3. 観測された地形変動の解釈図

第 1 部

東日本大震災後の化学・生物環境や海洋生態系の変動について

海洋研究開発機構 海洋・極限環境生物圏領域
 深海・地殻内生物圏研究プログラム プログラムディレクター 高井 研



震災後5ヶ月にわたる緊急調査の概要と結果

2011年3月11日に起きた「東北地方太平洋沖地震」は、観測史上最大級の地震であり、日本海溝地震発生帯の広範囲において、これまでに観測されたことのない、大規模な海底および海底下での変動を引き起こしました。そしてその地震が引き起こした変動は、海洋底及び海水にもたらされる堆積物の擾乱および地殻内微生物の放出、そして測りしれない化学フラックスの変化をもたらしたと考えられます。しかしながら、このような超巨大海溝型地震の発生が、現実にはどのように深海化学フラックスや深海生態系に影響を与えるかについては、未だ研究例はありませんでした。

この未曾有の自然災害の科学的な全貌を明らかにし、記録・発信・共有することで、日本や世界の人々の安全や将来の対応へ役立つ事は、海と地球の研究を推進する海洋研究開発機構や日本国内の研究機関のすべての研究者の使命であると思います。我々、海洋・極限環境生物圏領域では、JAMSTECの他部門や日本中の大学や研究機関と協力して、「よこすか」や「みらい」、「ディーブトゥー」や「しんかい6500」を用いて、地震の実態、津波生成のメカニズム、地震・津波に伴う海洋生態系への影響評価に関する集中的な調査観測を行いました。

まず地震発生後、1, 2, 3, 5ヶ月の日本海溝の深海における化学環境と微生物群集の変化を調べたところ、堆積物の乱泥流による海水の濁りが、日本海溝の極めて広範囲において発生していることがわかりました。そのパターンから、乱泥流の発生は本震だけでなく余震も含めて頻繁に起きていると考えられました。また乱泥流によって、最大海底変動域である海溝軸付近の海底近くの水塊には、マンガンやメタンといった堆積物にトラップされていたような化学物質が供給されていることがわかりました。一方、海溝軸から離れた

陸側斜面では、乱泥流による物質拡散以外に、海底下深部由来のメタンの供給が存在していることが示唆されました。これらの化学物質の挙動から、東北地方太平洋沖地震による海底・地殻変動による海底下流体の化学組成や移動様式を予想することができ、そのモデルは、JAMSTEC地球内部ダイナミクス領域が中心となって調査を行った結果明らかにした海底地形や地震波による海底下構造の変動のパターンや成因の説明とよく整合していることもわかりました。

さらに深海の微生物群集の解析から、化学フラックスの変動が最も激しかった地震発生1ヶ月後に、海底近くの水塊中に、普段の深海では見られないような微生物バイオマスの増大、微生物グループの出現といった変化が起きていることが明らかになりました。そしてその変化が、3ヶ月後には収束していることも確認されました。この結果は、東北地方太平洋沖地震による海底・地殻変動による海底下流体の化学組成や移動様式の変化に対応した微生物群集の応答反応であることを意味し、世界で初めて地震による深海微生物生態系への影響を捉えることに成功したと言えるでしょう。

一方震災後5ヶ月後には、震源域や海底変動が大きかった日本海溝の海溝域に有人潜水艇「しんかい6500」を用いて、実際の海底面における変動の様子や環境擾乱、そしてそれに対する海底微生物・生物群集の応答についての調査を行いました。まだ余震が続くなか、「しんかい6500」でしか為し得ない調査の必要があったため、万全の準備をした上でJAMSTECの深海調査に関わるすべての人間の誇りにかけて、世界初の調査を成功させました。「しんかい6500」による潜航調査で得られた成果として、無数の海底亀裂の発見、多数の新たなバクテリアマットの形成とそれを支える海底下流体の湧水の発見、ベントスの大量斃死と埋没に再生した新しいベントスの高密度群集の発見、が挙げ

られます。深海微生物群集の研究成果と同様に、深海水塊中だけでなく、海底面や海底直下の堆積物中でも、地震の環境擾乱に対して速やかな生態系の変化と応答が見られました。ある意味、深海生態系は1000年に1度の未曾有の変動に対して、速やかに、そしてしなやかに再生（復興）を遂げていると感じました。

地震学から見た東北地方太平洋沖地震ではなく、地球生命科学から見た東北地方太平洋沖地震の科学的解釈

東北地方太平洋沖地震で発生したエネルギーは 10^{15} ジュールにも及び、それは世界的な気候変動を引き起こす程の巨大火山噴火に匹敵するエネルギー量であり、また世界中における総発電量の3倍のエネルギー量に相当します。たしかに白亜紀に恐竜を絶滅された隕石衝突に比べれば1000分の1に過ぎませんが、そのエネルギーの巨大さが理解できると思います。しかし、既に述べたように、そのエネルギーの巨大さに比べて、深海の化学・生物環境に与えた影響は思いのほか小さく感じざるを得ません。我々は、超巨大地震のエネルギーは、形を変えて日本海溝の深海のさらにその海底環境に蓄積されたと考えています。その一つが地震によるプレートや断層のすべりや岩石の破壊によって生じた水素ガスとその行方です。2011年にJAMSTEC高知コア研の廣瀬丈洋研究員達は、室内実験により、地震によって機械化学的に生成する水素を定量的に見積もることに世界で初めて成功しました。その結果に従えば、東北地方太平洋沖地震で発生したエネルギーの最大10%程度は水素ガスとして日本海溝の海底下地殻に放出された可能性があります。我々JAMSTECにおいて研究が蓄積されてきた海底下微生物生態系の機能や役割から考えると、地震によってもたらされた水素は、海底下の微生物群のエネルギー源として、比較的速やかにその生態系の維持・拡散・活性化に利用されます。その結果として海底下には膨大な量のメタンが蓄積されるのではないかと考えています。東北地方太平洋沖地震によって発生する水素がすべてメタンに代謝されると仮定すると日本近海に眠るメタンハイドレートの賦存量の3.5%に相当します。つまり、東北地方太平洋沖地震のもたらす化学・生物環境への影響のほとん

どは、海洋へ放出されることなく海底下に留まり、海底下微生物生態系を支えるとともに、長期的に見れば将来の海底下エネルギー資源の源になっている。我々は、震災後の地震の実態、津波生成のメカニズム、地震・津波に伴う海洋生態系への影響評価に関する集中的な調査を通じて、そのような巨大海溝型地震の地球環境に与える影響についての全く新しい科学モデルの創成に至りました。

このモデルの検証のために、2012年4月から行われる「ちきゅう」による日本海溝掘削航海では、海底下の流体と微生物群集の分布や組成、移動に関する研究を行う予定です。

日本海溝海洋生態系研究の東北沿岸域への拡張

我々の大震災後の日本海溝震源域における地震の実態、津波生成のメカニズム、地震・津波に伴う海洋生態系への影響評価に関する集中的な調査は、海洋研究開発機構だけにとどまらず、研究組織や分野を超えた総合的な研究体制で行われた包括的な研究調査でした。この研究で培われた研究体制やその成果を、より社会・人間活動や産業にとって重要な東北地方沿岸域における海洋生態系の環境応答や水産資源の回復過程の研究に拡張するため、東北マリンサイエンス拠点形成事業として「海洋生態系に対する東日本大震災の影響と復興に関する科学的調査研究」を立ち上げました。

これは、東北大学と東京大学大気海洋研究所と海洋研究開発機構が主導するオールジャパンの研究体制で東北沿岸海域の海洋生態系変動メカニズムを解明し、それを通じて漁業の復興と産業の創出に寄与していくことを目的としています。海洋研究開発機構は、これまでの日本海溝深海域での総合調査で培った調査・観測ツール、分野横断的研究体制を駆使し、日本海溝深海域から沿岸に続く連続的な変動として、底層での瓦礫マッピングと資源生物の動態の把握、生態系の長期のモニタリングとハビタットマッピングを詳細に調べることを通じて地震による海洋環境の変化と回復過程を明らかにするつもりです。

第 1 部

福島原発から放出された放射性物質の海洋拡散について

海洋研究開発機構 地球環境変動領域
海洋環境変動研究プログラム プログラムディレクター 河野 健



東日本大震災に伴い発生した福島原子力発電所の事故により放射性物質が海洋に放出されました。この放射性物質が海洋中をどのように拡散し、ひいては海洋における物質循環系にどのように取り込まれるかは、国内のみならず国際的にも極めて関心が高い課題です。

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では事故直後から、以下のような活動を実施してきました。

- ・ 文部科学省の「海域モニタリング計画」の一環として（財）海洋生物環境研究所からの委託をうけた福島沖での試料採取ならびに海域における放射能濃度のシミュレーション
- ・ 放射性物質の北太平洋における広域拡散シミュレーション研究
- ・ 北太平洋におけるセシウムの拡散調査研究

本公演では、これらの活動内容とこれまでに得られた結果について紹介したいと思います。

海域モニタリング

3月22日に文部科学省は、福島県沖（発電所沖合30km圏外の海域）における「海域モニタリング計画」を発表しましたが、JAMSTECはその翌日（23日）に学術研究船白鳳丸を現地に派遣し、モニタリングを開始しました。その後、「みらい」、「かいいい」、「よこすか」、「なつしま」、「かしよう」と船を変え、事故直後には、30km付近において、その後は調査海域を徐々に広げながらこれまでに計12回の航海を実施しています。航海においては、放射能濃度測定用の海水、大気塵、海底土サンプリング、空間放射線量率の測定などを行いました。放射能濃度測定の結果は文部科学省のホームページで公開されています。30km以遠のセシウム137の濃度は、4月半ばに186Bq/Lという最大値を観測した後、徐々に薄まり、9月末には全ての観測点で9Bq/L（その時点での計測限界以下）となっています。



図1.「みらい」船上において海水試料を採取している所。IAEAのオブザーバーが視察している。

広域拡散シミュレーション

JAMSTEC が開発した日本沿海予測可能性実験 (JCOPE) システムを活用して海域モニタリング計画の一環として海域における放射能濃度のシミュレーションを実施していました。このシステムをさらに応用して放射性セシウムの海洋内での広がりを広域で把握し、予測することを試みています。一連のシミュレーションの結果から、放射性物質の広がりは複雑な様相を呈していて、これを正しく把握・予測するためには、沿岸部での風の変動や沿岸波動に伴う流れ、また沖合では混合水域の海流系や黒潮が重要な役割を果たしていることが解りました。また、大気を通じて海洋へ運ばれた放射性物質は、直接流入したものよりも広範囲に分布していることも分かってきました。

北太平洋におけるセシウムの拡散調査研究

事故およそ1月後の4月14日から5月5日、および6月27日から8月4日に掛けて西部北太平洋において大気エアロゾル、海水、海水懸濁粒子、プランクトン、海水中沈降粒子に含まれる放射性セシウム (134と137) に着目した調査研究を実施しました。その結果、大気経由で輸送された放射性セシウムが西部北太平洋表層の広い範囲に存在しており、そのうちの一部が懸濁粒子やプランクトンなどの粒子に吸着 (または吸収) され海洋内部に移行していることが解りました。また、12月から2月にかけて、放射性セシウムなどの拡散状況を把握するために東経149度線に沿った詳細な海洋観測も実施しています。

今後はこれらの活動を通じて得たデータを基に、国内外の研究者とも協力しながら放射性物質の挙動に関する観測研究やシミュレーション研究を行っていく予定です。

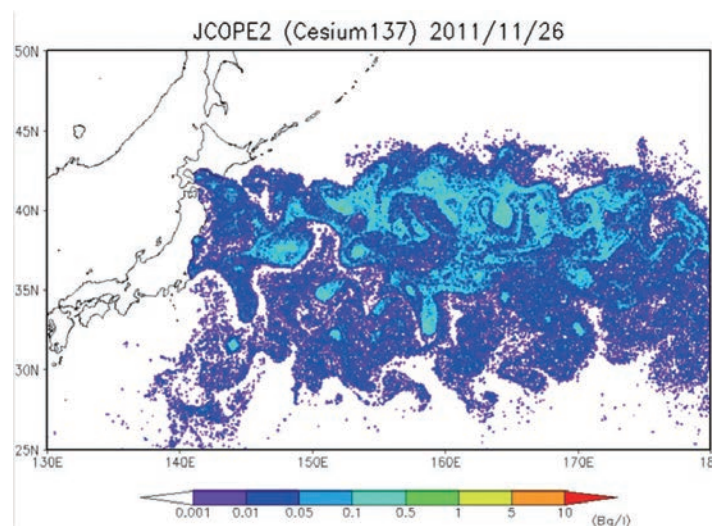


図2.放射性セシウムの拡散シミュレーション結果。非常に薄まりながら広範囲に広がる。黒潮の蛇行により複雑な様相となっている。

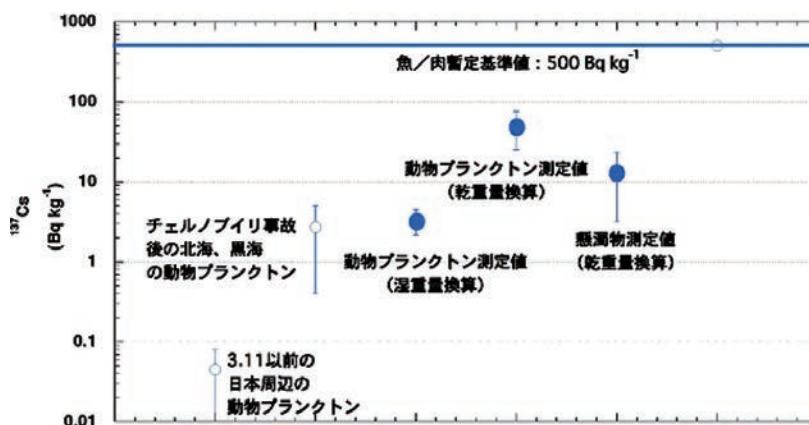


図3.北太平洋における動物プランクトン、懸濁物のセシウム-137濃度測定値

第 1 部

東日本大震災に伴う洋上漂流物のシミュレーション

海洋研究開発機構 地球情報研究センター データ技術開発運用部
データ統融合・付加価値グループ グループリーダー 石川 洋一



2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震によって引き起こされた津波は、北海道から千葉県にかけて太平洋側の沿岸域に押し寄せ、広い範囲に浸水被害をもたらしました。この津波により、陸上からは家、コンテナ等、また洋上からは漁船や養殖設備に関連した漁具などが流出しました。これらの流出物の一部は既に海底に沈んだものと考えられますが、一部は依然として海洋上を漂流しているものと考えられています。

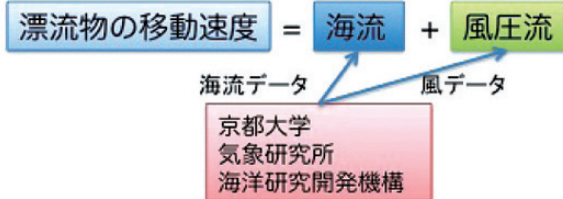
これらの洋上漂流物に対応するために内閣官房総合海洋政策本部事務局取りまとめの下、関係省庁・機関が連携し、衛星・航行船舶等からの情報収集等による漂流物の現状調査およびシミュレーションによる漂流物の予測が行われています。このうち、環境省が担当するシミュレーションによる漂流物の予測について、京都大学を代表機関として気象庁気象研究所、日本原子力研究開発機構、宇宙航空研究開発機構および海洋研究開発機構が協力して、最先端の技術を用いたシミュレーションシステムの開発を行っています。ここでは特に海洋研究開発機構の関わっている長期予測について、どのように震災によって流出した漂流物の予測するかについて説明するとともに、現在得られている予測結果の紹介を行います。

海上の漂流物をシミュレーションは、海流によって流される速度と海上の風によって流される速度（風圧流）を足し合わせて、漂流物の移動速度を計算することにより行われます（図 1）。これらの計算に必要な海流データと海上風データについて、日本近海の詳細なデータについては気象研究所が、太平洋全域にわたる 1 年以上先の予測データについて海洋研究開発機構が作成しています。また、風圧流は漂流物の海上における形状などによって決まるので、このときの係数は海上保安庁から提供いただいた資料に基づいた値を用います。

海洋研究開発機構が担当している半年以上先の海流

データと海上風データを作成するためには、大気海洋結合モデルを用いる必要があります。なぜなら、数ヶ月以上の長い時間スケールでは大気海洋間の相互作用が重要な役割を果たすので、相互作用を直接表現した数値モデルが必要となるからです。また、数値モデルを用いた予測においては、どのような初期条件を設定するかが予測精度を大きく左右しますが、データ同化という観測データと数値モデルを組み合わせる最先端のシステムを利用してこの初期条件を求めています。

漂流物の予測手法



風圧流の計算(海上保安庁による)

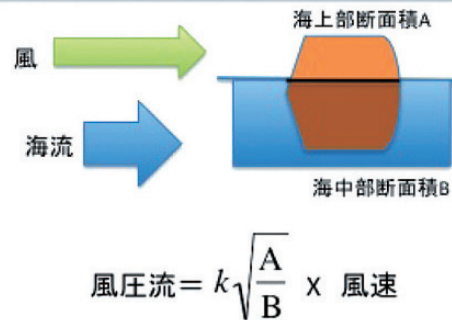


図 1. 漂流物予測シミュレーションと風圧流の計算方法

図2はこれまで説明してきた方法を用いて、大気海洋結合予測システムを用いて予測された表層の海流場と、このデータを元に日本原子力研究開発機構で計算した漂流物の分布を示します。ただし、このシミュレーションでは日本沿岸から仮想的な粒子を放出しているのですが、実際の漂流物のように途中で沈むプロセスを含んでおらず、すべての物体が海流と風圧流によって広がっていく様子を示しています。この結果をみると、日本沿岸から放出された粒子は、黒潮続流の強い流れにのって東向きに運ばれながら、南北にも少しずつ広がっていく様子が分かります。この図では漂流物は2011年末に西経160度あたりまで広がっていますが、これは震災直後に福島県沖に投入されたアルゴ型フロートの

のうち最も東にあるものが2011年末に西経170度付近まで到達していることと良く一致しています。

現在、より信頼性の高いシミュレーションを行うために、海流、海上風予測システムを含めたシミュレーションシステム全体の改良を進めています。また、このようなシミュレーションを行う場合にはその不確実性の評価についても重要となってきますが、その評価方法についても開発を行っており漂流物の広がりを確率的に評価できるようなシステムへの拡張を計画しています。

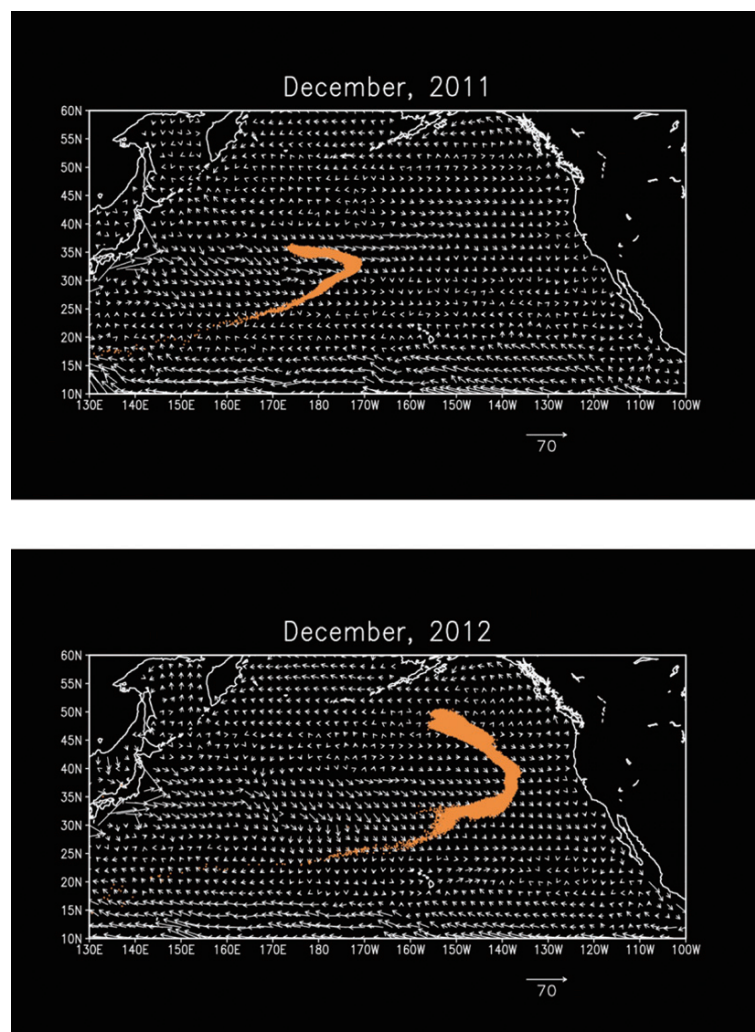
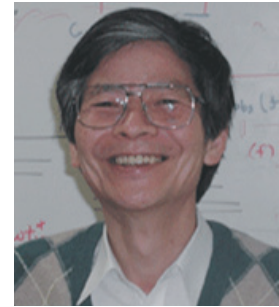


図2. 大気海洋結合モデルで予測された海洋の表層流と、シミュレーションによって得られた海洋漂流物の分布予測図。(上) 2011年末と(下) 2012年末の予測。

第 1 部

東日本大震災と地震学

海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域 海洋プレート活動研究プログラム
 海底ネットワークデータ解析チーム チームリーダー 深尾 良夫



1. はじめに

地震学には大きく分けて地震現象そのものを研究対象とする方向と地震波の伝わる地球全体を対象とする方向とがあります。私は後者の方向から地球内部変動のメカニズムを探ることを専門としていて（図 1）、そのベクトルは地震防災に向かうベクトルとは相当に異なります。しかし 2011 年東北沖地震は図 1 全体をカバーするスケールのイベントで、自然が研究者の専門枠などはるかに超えてシームレスな世界であることを改めて見せつけました。地震から半年後、図 1 の様々な方向の地震研究者が一堂に集う地震学会の主催で「地震学の今を問う-東北地方太平洋沖地震の発生を受けて」と題する特別シンポジウムが開かれました。会場には人が溢れ活発な議論が交わされ、地震研究者の受けた強い衝撃を専門枠を超えて共有する場となりました。

2. 「想定外」

地震研究者の受けた衝撃は、地震直後には「想定外」という言葉で、のちには「地震学の敗北」といった言葉で語られました。その意味する所は以下のようなものであったかと思います。地震研究者の間では、次の宮城県沖地震（マグニチュード 7 クラス）が切迫していることは常識でした。そして仮に次の宮城県沖地震が起きても東北日本に対する太平洋プレートの引きずり込みは到底解消しきれないだろう、というのもまた常識でした。1 番目の常識にたいしては、実際に起こったのはマグニチュード 7 ではなく 9 という超巨大地震だったので、その意味で地震が「想定外」だったのは事実です。しかし地震研究者が「敗北」という言葉を使ったのはむしろ 2 番目の常識があったからでした。この常識からすれば、超巨大地震によって太平洋プレートの引きずり込みを一気に解消する可能性もあったのです。けれどもそれが学問的に深く追及されることはありませんでした。この可能性を追求しなかったことを少なからぬ地震研究者が負い目とし「敗北」と感じたのです。しかし学問の世界では、可能性としては認識されながら本格的な追及はずっと後になっ

てからという事態はままあることです。私はこの点において地震研究者が敗北を感じる必要はないと思っています。問題は、地震学においてはこうした事態が学問の枠に収まり切らず大災害と結び付くことがありうる点です。

3. 反省

こうした地震学の特性を考えると、いくつか反省すべき点が見えてきます。超巨大地震の可能性を深く追求しなかったのは、他の可能性との優劣をつける手段がなかったことでもあります。単に主流意見・伝統的見解を鵜呑みにして追求を怠った面もあるのです。これなど研究者レベルでの反省課題でしょう。その一方で、どのような観測をすれば超巨大地震の可能性を予測できるのか、ようやく展望も見えてきました。新しい観測体制の構築にあたってはこうした観点からの検討も必要ですが、これは明らかに国レベルでの課題です。それでは既存の観測体制が、今回の災害軽減に十分生かされていたかという点、ここには新しい観測を云々する以前の問題があったように思えます。特に、機関や省庁間の連携が十分だったか、個々の地震研究者が関心を持って連携を支えてきたかなどは、国と個々の研究者の双方のレベルで反省が必要な課題です。国レベルの課題については、日本の地震調査研究を一元的に推進する役割を担う政府機関の姿勢が問われていると考えます。

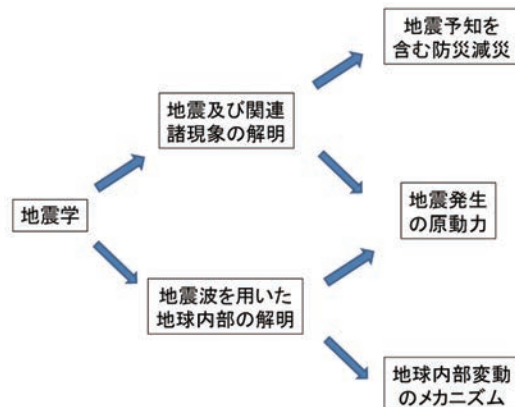


図 1. 地震学の研究対象

第 2 部 新しい海洋科学技術の展開 パネルディスカッション パネリスト紹介

■ パネリスト

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻 教授

田近 英一 (たちか えいいち)

東京大学大学院理学系研究科地球物理学博士課程修了。東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻准教授、文部科学省学術調査官(併任)などを経て現職。日本地球惑星科学連合理事、日本惑星科学会副会長などを務める。物質循環による地球環境進化に関する理論的研究により第29回山崎賞、日本気象学会堀内賞を受賞。地球や惑星の長期的な環境進化から海洋生物化学循環を通じた地球環境の短期的変動まで幅広い関心を持つ。主な著書に「凍った地球」(新潮社)、「地球環境46億年の大変動史」(化学同人)などがある。



■ パネリスト

東海大学 海洋学部 教授

山田 吉彦 (やまだ よしひこ)

海洋政策研究財団客員研究員。海洋問題研究家。埼玉大学大学院経済科学研究科博士課程修了。東洋信託銀行(現三菱UFJ信託銀行)勤務、日本財団(日本船舶振興会)勤務を経て、2008年東海大学准教授に就任、2009年より現職。主な著書に「海の政治経済学」(成山堂書店)、「日本は世界4位の海洋大国」(講談社+α新書)、「海洋資源大国 日本は「海」から再生できる」(海竜社)などがある。



■ パネリスト

海洋研究開発機構 海洋工学センター 海洋技術開発部 探査機技術グループ グループリーダー

吉田 弘 (よしだ ひろし)

専門は電磁物理学。1985年東京都立工業高等専門学校卒。無線機システムメーカー勤務後退職し、1994年金沢大学大学院へ進学。1999年博士号(理学)取得。2002年に海洋科学技術センター(現・海洋研究開発機構)入所。入所後は無人探査機の研究開発に携わる。これまでに6機の無人探査機を世に送り出した。現在は資源探査のための自律型無人探査機の開発プロジェクトを担当。ライフワークとして深海環境での電磁物理についても研究を進めている。



■ パネリスト

海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター シミュレーション応用研究開発プログラム
観測システム設計手法開発研究チーム チームリーダー

小守 信正 (こもり のぶまさ)

専門は海洋物理学・計算気候学。2002年京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻博士後期課程修了。同年4月、海洋科学技術センター（現・海洋研究開発機構）入所、地球シミュレータセンターにて大気海洋結合モデルの開発・改良および大規模シミュレーション研究に従事。2011年4月より主任研究員、6月より現職。現在はシミュレーションを応用した観測システム研究およびアンサンブルデータ同化手法開発の陣頭指揮を執る。



■ パネリスト

海洋研究開発機構 地球深部探査センター 運用室 IODP推進グループ グループリーダー

江口 暢久 (えぐち のぶひさ)

東京大学理学系研究科博士課程修了。2001年に海洋研究開発機構に設置されたiSAS Officeにて、深海掘削計画（ODP）から統合国際深海掘削計画（IODP）への移行期よりサイエンスコーディネーターとして計画に関わる。その後2004年よりIODP中央管理組織に所属し、サイエンスコーディネーターとして、IODP科学諮問組織の管理運営を行う。2007年に海洋研究開発機構地球深部探査センターに移籍し、ちきゅう船上研究区画およびIODP航海の管理・運営を担当する。2010年4月より現職。地球深部探査センター国際関係担当および研究区画管理・運営、IODP航海のマネジメントを行う。複数のIODP航海でExpedition Project Managerを担当。



■ 司 会

海洋研究開発機構 理事

平 朝彦 (たいら あさひこ)

テキサス大学大学院博士課程修了。高知大学、東京大学海洋研究所を経て、2002年から海洋研究開発機構地球深部探査センター長、さらに2006年より理事を務める。現在、開発推進部門を担当。プレート沈み込み帯における付加作用の研究で、2007年に日本学士院賞受賞。東京大学名誉教授。深海掘削に長く参画しており、IODPと「ちきゅう」の総合的推進に中心的な役割を果たしている。



平成23年度の主な成果

地球環境変動領域 (RIGC)

概要

私たちが暮らしている地球上では、大気・海洋・陸域での自然環境、さらにその中で育まれた生態系が互いに作用し合って地球環境をかたちづいています。46 億年に及ぶ地球史の中でも、この数千年の間は、地球環境が私たちにさまざまな恩恵を与え、人類の存続とその文明を守り育ててきました。しかし近年、地球温暖化など人間活動に起因する急激な変化が現れてきており、その実態を知り、原因を解明するとともに、さらに自然がもともと内包している変動も含め、将来の気候、さらには地球環境の変化を予測することが、社会にとつて緊急かつ大きな課題となっています。

地球環境変動領域は、多様な手法で大気・海洋・陸域・生態系の観測研究を行い、それらの変化の実態をとらえ、それをもとに変化のメカニズムを知り、さらにこれらのさまざまな知識を統合したモデルを開発し、将来の環境変化の予測を行っています。それは、この研究領域が、「我々が科学を通じて集積する知識をもって人類と地球環境との調和のとれた持続的かつより生産的な社会構築に役立てる」というビジョンを持ち、そこから「科学的な情報を社会に提供し、JAMSTEC が日本の、さらには世界の経済的な、あるいは社会的なニーズに応え得ることを目指して観測と予測からなる環境変動研究を総合的に実施する」というミッションを遂行しているからに他なりません。2011 年 3 月 11 日に「想定外」の東北地方太平洋沖地震が発生。2 万人以上の方が犠牲もしくは行方不明となられ、さらに福島第一原子力発電所から放射性物質の放出という未曾有の事態を招きました。多方面で科学技術への不信が広がったのも事実ですが、当機構では、文部科学省からの直接の要請のもと、海洋モニタリングと、それに基づいた海洋放射性物質の拡散予報が整然と行われ社会への情報提供を行いました。これらの活動は、GEO (Group on Earth Observations 地球観測に関する政府間会合) 等で世界各国から賞賛されるに至りましたが、地球環境変動領域の存在、そしてそれを支えるビジョンとこれまでに培われた実力があつたればこそその活動でした。

全ての地球環境変動メカニズムを解明し、それを確実に予測するのは大変に難しいことです。しかし、ビジョンの実現に一步でも近づくために、地球環境変動領域の全ての研究と研究者の不断の努力があること、まだ確かにビジョンへの接近がなされつつあることをご理解いただければ、幸せこれに過ぎるものはありません。

「海の天気」と生態系変動の高密度観測

海洋環境変動研究プログラムでは、全球海洋の 2000m 深までの水温・塩分を約 3000 台のプロファイリングフロートで準リアルタイムにモニタリングする観測網 Argo (アルゴ) の構築を、アルゴフロート投入及びデータ管理の面から推進してきました。Argo の構築により大規模な水温・塩分などの物理環境変動のモニタリングが可能となりました。当プログラムは、Argo を生物・化学パラメータにまで拡張しようという世界の動きをリードする試みに着手しました。日本と関わりが深い北西太平洋に焦点を当てた観測プロジェクト、北西太平洋物理-生物地球化学統合観測実験 (INBOX: Western North Pacific Integrated Physical- Biogeochemical Ocean Observation Experiment) です。

INBOX は、栄養塩などの物質の輸送や植物プランクトンなどの生物活動が、数日から数カ月の時間スケールと数十から数百 km の空間スケールをもつ中規模渦などの海洋物理現象、つまり「海の天気」とどう関わっているかを明らかにすることを目的としています。物質循環研究プログラムが黒潮続流南側 (30N,145E) に設置している物質循環観測定点 S1 には、基礎生産や有機物の沈降を連続観測する定置係留ブイが設置されており、その周辺では生物サンプルの採取を含む密な船舶観測が実施されています。その定置ブイを中心とした 150km 四方を実験海域とし、アルゴフロート約 25 台を展開しました。30km に 1 つのフロートを配置し、2 日に 1 回、同時刻に全フロートが浮上して観測を行う設定によって、全球アルゴ観測網の実に 500 倍に相当する時空間観測密度を持つ領域観測網を実現しました (図 1)。これらのフロートには水温・塩分センサーだけでなく、生物活動の指標となる溶存酸素を測定するセンサーも取り付けられており、そのデータを係留ブイや船舶による観測データと統合することにより、「海の天気」と生物活動とが結び付いた海の営みの理解に大いに貢献するものと期待されます。

このような時空間的に高密度な観測から「海の天気」と生態系変動過程を明らかにするためには、高精度なデータが必要です。予備調査の結果などから、中規模変動に伴う一次生産の強化による溶存酸素の増加は、 $10\mu\text{mol}/\text{kg}$ 程度であると見込まれ、溶存酸素データには、この変化を分解できる精度が必要です。水温・塩分データについては高精度に品質管理する手法が確立されていますが、溶存酸素データの品質管理手法はまだ確立されていません。当研究チームで

は、世界の関係機関と連携してこの手法の確立に努めています。品質管理には、投入前の事前のセンサー検定と、投入後のデータ補正の2つを必要としますが、今回は後者に関する成果を紹介します。

フロート投入時に採水観測によって計測されたほぼ真値に近い溶存酸素データとフロートの溶存酸素センサーによるデータを比較したところ、表層の溶存酸素データが、フロートの方が採水データよりも最大約 $30\mu\text{mol}/\text{kg}$ 低い値となりました。これは、センサー単体の公称精度が $8\mu\text{mol}/\text{kg}$ または溶存酸素濃度絶対値 ($200 - 300\mu\text{mol}/\text{kg}$) の5%のどちらか大きい方であることを考慮すると、センサー測定値の誤差がセンサーの公称精度を大幅に上回っていることを意味します。この誤差を補正するために、センサーの原理に基づいて提案された溶存酸素値補正式を用いて、船舶観測による採水データを利用した補正方法を考案し、フロートデータへの適用を試みました。

その結果、補正前と比較して補正後の溶存酸素濃度の値は大きく改善されました。水塊が安定しセンサー精度の検証を行いやすい2000m付近の溶存酸素濃度の標準偏差を求めたところ $3.3\mu\text{mol}/\text{kg}$ でした(図2)。この値はセンサー公称精度よりも小さいことから、この補正方法が、今まで困難であったフロートによる生態系時空間変動の定量的な解析に道を開くことが示されました。

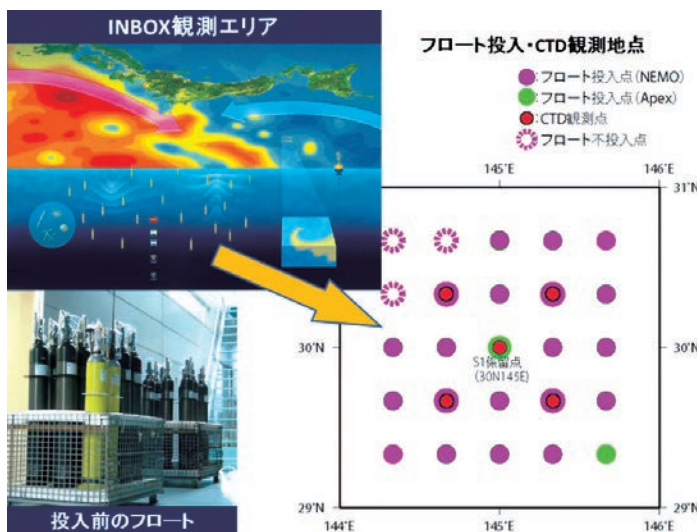


図1. INBOX観測エリア概念図(左上)、投入前Argoフロート(左下)およびフロート展開図(右)。中央30N,145Eは生態系観測係留ブイ設置位置を示す。

MJO発生之谜を追う

MJO (Madden Julian Oscillation マッデン・ジュリアン振動) は、米国の研究者 R. Madden と P. Julian が、1971年に発見した熱帯大気の変動現象なのでこう呼ばれます。MJOの特徴として、(1) 数千 km の大きさを持つ雲群が時速 20km 程度のゆっくりとした速さで東向きに進む、(2) 雲群は主にインド洋で発生し、暖かい海水が広がる西部太平洋まで見られる、(3) 30-60日程度の周期で現れる、等が挙げられます。

MJOは熱帯の日々の天気と大きく影響を与えているだけではなく、季節の入れ替わり(モンスーンの開始)、エルニーニョ現象の発生・終息、さらに熱帯低気圧発生への関与も明らかになっています。またインド洋付近でMJO対流が活発化すると冬季には日本付近の降水活動が活発化するという報告もあります。すなわち、MJOは熱帯だけでなく地球規模での気候や異常気象にも影響を与える現象なのです。

1. MJOの何が分かっていないのか

MJO発見以後40年の間に、その特徴が少しずつ理解されてきましたが、(1) 大規模な雲群がどのようにインド洋上で発生するのか、(2) 出来上がった雲群はどうしてゆっくりと東向きに進むのか?等の基本的な問題点が未だに解明されていません。その理由は主に、熱帯海洋上での観測データの圧倒的な不足です。また、MJOに関する我々の理解不足を反映して、日々の天気予報等で使われる殆どの数値モデルはMJOが適切に再現できず、大きな問題となっています。

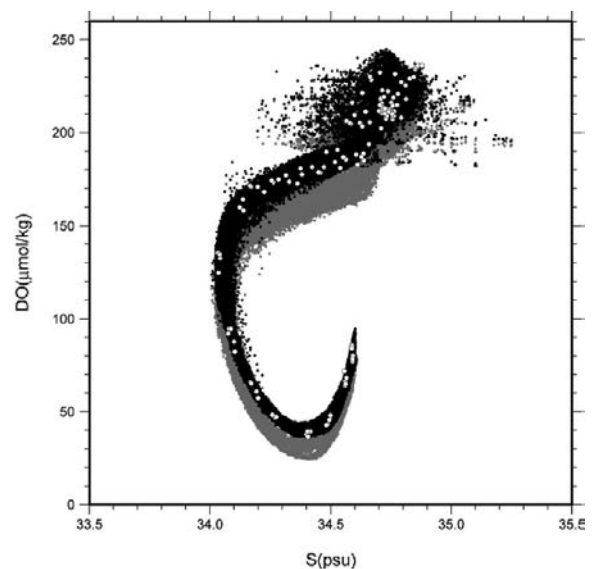


図2. アルゴフロートおよび投入時採水データの、塩分と溶存酸素の関係図。灰色は補正前、黒色は補正後のフロート溶存酸素値分布。白丸は採水データを示し、補正後の溶存酸素値と良い一致が見られる。

2. インド洋における国際集中観測 CINDY2011

上記の問題の答を得るには、この現象に対応して良く設計された大規模な現場観測が必要で、それは一研究機関だけでは手におえません。そこで我々は国際プロジェクト CINDY2011 (Cooperative Indian Ocean experiment on intraseasonal variability in the Year 2011) として観測計画を提案して世界中から研究機関の参加を求め、日・米・印・仏・豪など 10ヶ国以上、300名を超える研究者の参加を得て計画が実現しました。観測は MJO 対流の最も活発化しやすい海域と時期である中部熱帯インド洋で 10-1 月を観測海域・期間としました。これまでの経験を踏まえ、水蒸気 / エネルギーの正確な収支解析が可能となるよう 2つの島と海域の 2か所に日・米・印の調査船を交互に定置して矩形の観測点を構築し、これを中心とする観測網により 2011 年 10 月～2012 年 1 月の 4ヶ月間に集中観測を行いました (図 3)。JAMSTEC からは集中観測網の一角に「みらい」を送り、ラジオゾンデや CTD 等の観測を 2ヶ月間実施したほか、インドネシアの観測船を用いた航海や、モルディブ諸島での観測も実施しました。本プロジェクトには各国の現業及び研究機関から数値モデル研究者が多数参加し (その 1つが次世代モデル研究プログラムの研究チームです)、集中観測期間中は数値予報結果を適宜発信し続けました。今後も現象の再現実験や再解析データが作成される予定です。

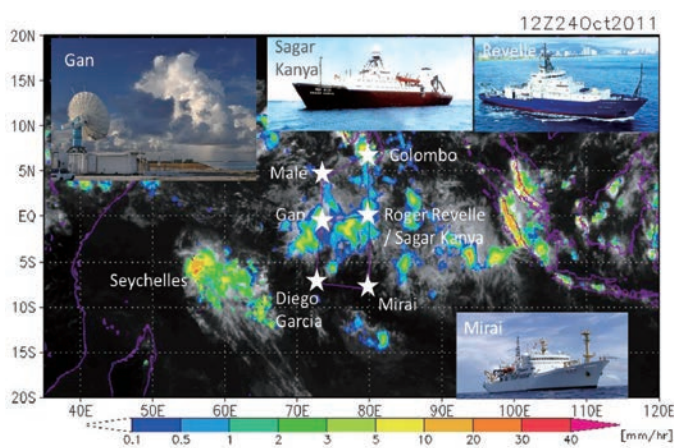


図3. 観測網の配置 (2011年10月-2012年1月)。ガン島 (0.75/73.2E)、ディエゴガルシア島 (7.35/ 73.4E) と 80.5E 沿の 2箇所 (赤道/8S) に船舶を定置した矩形を主に、アフリカからインドネシアに至る赤道帯の各地に観測点。「みらい」は 8S/80.5E で約 2カ月の観測を実施。

3. 3つのMJO現象の観測に成功

本稿執筆段階 (2011 年 12 月) で、CINDY2011 観測網は 10月下旬、11月下旬および 12月下旬の 3度に渡り、インド洋で発達した MJO 現象を捉えることに成功しました。ただし、「みらい」が観測を行った最初の 2つの対流の中心は赤道付近に位置し、「みらい」上空の高湿潤化は顕著ではなく、むしろ上空は乾燥し対流不活発な状態が観測されました。「みらい」の観測海域では南東貿易風が卓越しており、観測海域にとってエネルギー供給源側に位置していたことがわかります。

今後は本プロジェクトのデータポリシーに基づき 1 年を目途に全データが公開される予定で、解析研究の進展と、数値モデル研究と連携した成果が輩出し、MJO の謎が解けていくものと期待が膨らみます。観測結果等は、CINDY2011 のウェブサイトで見ることができます (<http://www.jamstec.go.jp/iorgc/cindy/>)。

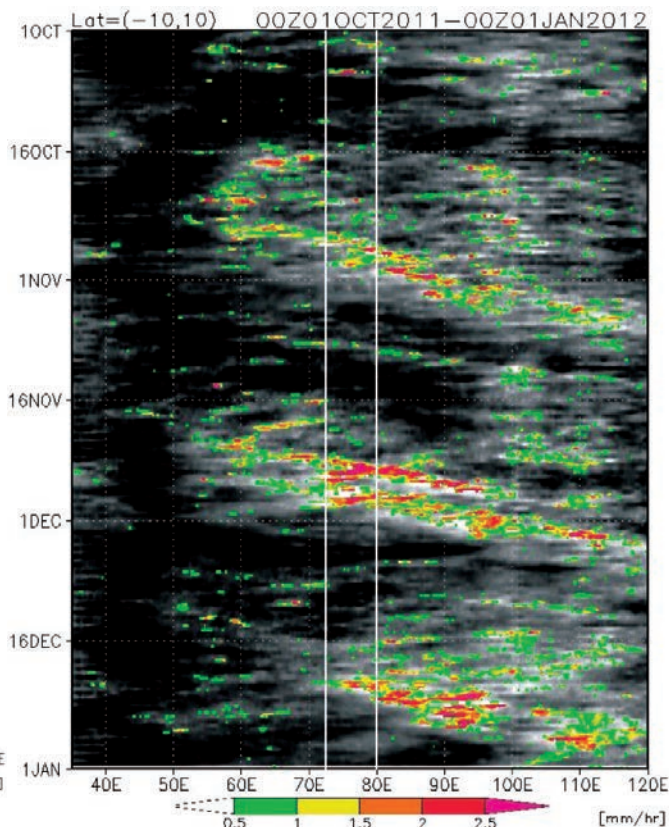


図4. CINDY2011 集中観測時の雲 (白域) 及び降水 (カラー) の経度 - 時間断面図。赤道を挟んで南北 10度平均したもの。時間軸は上から下に進み、10月1日から1月1日までの3か月分。白い縦の線は集中観測網として展開した島と船のおおよその位置を示す。10月下旬と11月下旬には西部インド洋で、12月下旬は中部インド洋で発生し、その後東進 (図では右下がりの傾斜) している。

北極域の急激な変化と影響を探る

1. はじめに

寒冷圏の大気・海洋・陸域変化は、地球温暖化とともに、海水減少や凍土融解などの現象が発生しているか実態が分からず、将来予測という課題もあります。観測による実態把握と変動プロセスを解明すること、その変化が中緯度・全球に及ぼす影響の評価を目指しており、2011年度には以下の発見がありました。

2. 巨大渦が運ぶ栄養分が生態系に影響

北極海の海水が減少しており、今世紀の中頃には夏季には北極海は海水がほとんどなくなると予測されているため、このことが北極海環境へ与える影響を評価するための研究を行っています。2010年の海洋地球研究船「みらい」による北極航海からは、これまでに見られなかった／捕えられなかった現象を見出しました。アラスカ沖合のカナダ海盆では、直径約100kmにもなる巨大な暖水渦が見つけれ詳細な観測が行われました（2011年8月26日プレス発表）。巨大暖水渦の観測結果から、この暖水渦は中心の水温が+5℃以上（周りは0℃以下）にもなること、陸棚起源の栄養分（アンモニア）に富んでいること、アンモニアを栄養分とする小型の植物プランクトンが暖水渦の上で周りよりも多く生息していることが明らかになりました（図5）。栄養分が乏しい北極海の家盆域にこのような渦が栄養分を運ぶことで生態系に影響を及ぼしていることを初めて観測し、実態を明らかにしました。

3. 北極海で発生・発達する低気圧の観測に成功

同じく、2010年の北極航海において、北緯79度付近の北極海の氷縁域で発生した低気圧の発生・発達過程の詳細な観測に世界で初めて成功しました。本研究によってこの低気圧が中緯度で発生する低気圧と酷似した形態であること、また、低気圧の通過にともなって海洋の大量に蓄積された熱が短期間で大気との熱交換により放出されていることを明らかにしました。これは近年北極域で進行している海水減少・北極温暖化のメカニズム解明に極めて重要な知見であります。

4. 2つの大陸で異なる積雪の減少傾向

環北極域では強い温暖化の影響で積雪が長期的には減少していますが、大陸（ユーラシア大陸と北米大陸）により減少傾向が異なることを見出しました。各大陸北緯45度以北の北極陸域について積雪深の分布の経年変化（1948～2006年）をCHANGEという最近作成された水文モデルを用いて計算しました。気温と各年の1～3月の平均の積雪面積と積雪深を図6に示しましたが、1980年以降の温暖化傾向の時期、両大陸で類似した気温上昇にもかかわらず、積雪面積は両大陸でともに減少しているのですが、平均積雪深

はユーラシア大陸で余り変化がないのに対し、北米大陸では変動が大きく減少を示しています。これは積雪の変化を決める寒候期の降水量の変化と気温の上昇が、より強く北米大陸に影響を与えていることを示しています。事実、カナダでは寒候期の積雪の減少が暖候期の土壌水分に影響し農業に悪影響を与えているとのことです。

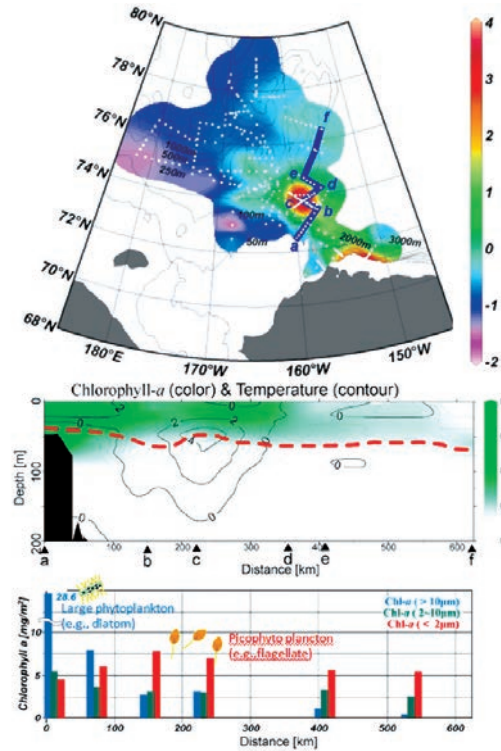


図5. (上) 平成22年海洋地球研究船「みらい」北極航海で得られた水深50mの水温分布。白点が観測点を、a～fの青線は中・下の図の観測線を示す。アラスカの沖合に、直径100km程度の巨大な暖水渦があることが確認できる。(中) 巨大渦を横切る鉛直断面での水温（等値線、0.5度間隔）とクロロフィルa濃度（色）の分布。赤線は有光層の深さを示す。(下) 巨大渦を横切る観測線でのサイズ別クロロフィルa量の分布。陸棚上でサイズの大きな植物プランクトンが多く、巨大暖水渦の上でサイズの小さな植物プランクトンが周りよりも多く生息していることが示されている。[Nishino et al., 2011より]

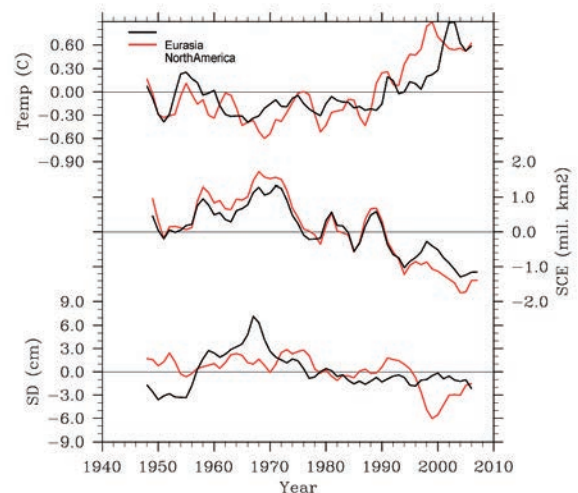


図6. ユーラシア及び北アメリカ大陸における年平均気温（Temp）、積雪深（SD）、及び積雪面積（SCE）の偏差の経年変化

福島第一原発事故により放出されたセシウム の西部北太平洋への拡散状況調査

物質循環研究プログラムは、所内外の研究グループと協力して、2011年3月11日に発生した福島第一原子力発電所(FNPP)事故一ヶ月後における人工放射性核種セシウム-134、-137の西部北太平洋における拡散状況調査を「みらい」MR11-03航海を利用して実施しました。航跡に沿って約1度毎に表層海水を、観測定点K2とS1では動物プランクトンや懸濁粒子を捕集し、これら試料中のセシウム-134、-137放射能測定を行いました。さらに観測されたセシウム分布を説明するために、汚染水の拡散状況については日本海予測可能性実験モデル2(JCOPE2)により、また大気中へ放出された放射能が大気塵によって拡散する状況は非静力学領域大気数値モデルにより、数値シミュレーションを実施しました。結果、海水中のセシウム-137濃度は三陸沖で最も高い状況でした(図7)。また北緯40以北のセシウム-137濃度平均値は、北緯35度以南のものよりも高いものでした。今回観測されたセシウム-137濃度平均値(0.048 Bq kg⁻¹)は国が定める飲料水の暫定基準値(200 Bq kg⁻¹)よりはるかに低い濃度でしたが、3月11日以前の日本周辺表層海水のセシウム-137濃度(約0.001 Bq kg⁻¹)の約50倍に相当するものでした。またほぼ全ての地点で3月11日以前には検出されなかったセシウム-134が検出され、セシウム-134とセシウム-137の比(134/137)はFNPP排水口付近の(134/137)値(約1)とほぼ一致しました。このことからFNPP事故一ヶ月後には西部北太平洋の広い範囲にFNPP由来の人工放射性核種が拡散していたことが明らかとなりました。数値シミュレーションの結果、三陸沖の高い値は汚染水の拡散により説明可能でしたが、北緯40度以北のセシウム濃度は説明できませんでした。大気塵拡散のシミュレーションの結果、FNPP放出の人工放射性核種が大気塵としてK2を含む北緯40度以北へも輸送されていることが明らかとなりました(図8)。以上のことからFNPP事故一ヶ月後の西部北太平洋における人工放射性核種の拡散は、汚染水とともに汚染塵によるものと推定されました。一方、表層、垂表層の懸濁物、動物プランクトンからセシウム-134が検出され、(134/137)もほぼ1でした。これらのことからFNPPから約1900km離れたK2、950km離れたS1の懸濁物、動物プランクトンもFNPP事故一ヶ月後にはFNPP由来の人工放射性核種の影響を受けていた事が明らかとなりました。動物プランクトンのセシウム-137濃度は3月11日以前に報告された動物プランクトンの値より二桁高いものでしたが、国の定める肉/魚の暫定基準値500Bq kg⁻¹に比べるとはるかに低いものでした。同調査はMR11-05航海でも実施され、より多くの試料を採集しました。近い将来、海水や動物プランクトンに加え、沈降粒子、大気塵、海底堆積物のセシウム濃度についても報告する予定です。

氷床モデルにおける「情報落ち」と数値実験への影響

氷床モデルとは、一般的には、ある与えられた気候(降雪・融解など)や地形などの外部条件下で、氷床の厚さや速度の時間変化を計算するものです。世界には現在10以上の氷床モデルがあり、モデル内で再現された氷床は多かれ少かれ、それぞれ異なります。外部条件の違いや、採用している氷床の物理過程の違いなど、物理的な違いだけでなく、時には、方程式を計算機で表現するための細かな手法の違いが、氷床モデルの違いを生み出すことがあることも知られています。

自然現象を完全に計算機の中で再現することは原理上不可能です。一つの数の表現でも、小数点以下の無限に記録することは出来ず、必ずある桁から下を無視することになります。桁が限られているという性質のため、単純な計算でも結果が期待されるものにならないことがあります。例えば極端な例として、10進数で2桁分しか表現出来ない計算機があったとします。この計算機では10と0.1の二数は完全に表現する

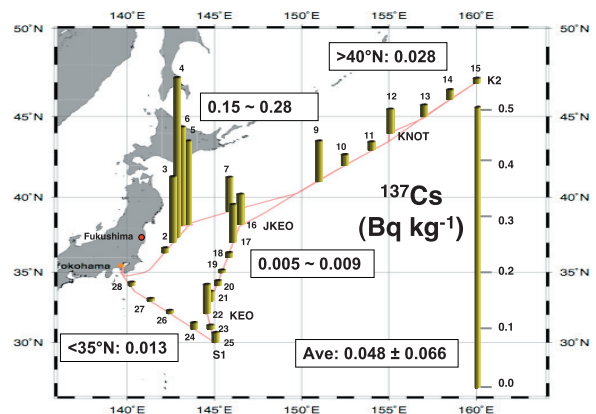


図7. 西部北太平洋表層海水のセシウム-137濃度の水平分布

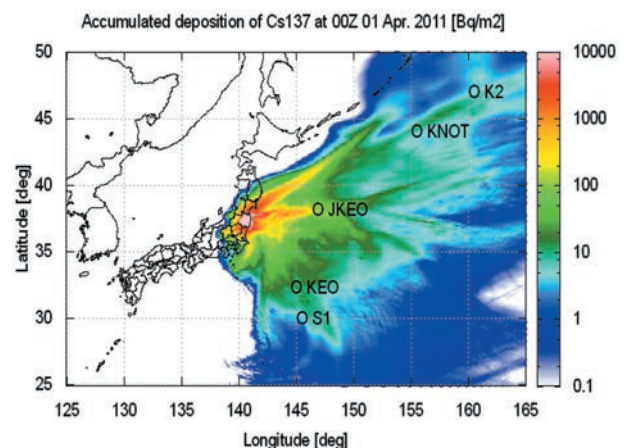


図8. 大気塵によるセシウム-137拡散状況シミュレーション結果(3月11日から4月1日位置までの積算値)

ことが出来ます。しかし、この二数の和は 10.1 と 3 桁になるので、この計算機では上から 2 桁を取って、10 と表現することになります。これが「情報落ち」と呼ばれる現象です。これだけならば仕方のないこと、と考えることも出来ますが、例えば 10 に 0.1 を 10 回加えても、10 のままであり、期待する結果からさらに遠くなります。しかし、ここで 0.1 を 10 回加える、という計算を先に行くと、こちらは 2 桁の限界におさまるので、1 になり、従って最後の答は期待通り 11 になります。このように、「情報落ち」があることにより、式の上では完全に同じものでも、計算機内の演算の順序で結果が変わることが知られています。多くの数値モデルでは 10 進数で 15.6 桁分、あるいはそれ以上の表現が出来るよう作られています。従ってこの例であげたような計算順序の違いによる結果の違いは、通常目に見えるまで大きくなることはなく、結果に影響はほとんどない、と考えてよいでしょう。しかし、時には、数値モデルで計算を続けていく過程で、その誤差が積み重なって、実験から期待される結果を再現出来なくなる場合可能性もあります。

氷床モデルを用いた、ある理想的な条件下の数値実験で、結果に大きな影響があることがわかりました。Calov et al. (2010) では 9 つの氷床モデルを用いた比較実験を行いました。実験設定が線対称であるにも関わらず、6 つの氷床モデルで非対称の結果が得られました。JAMSTEC/東京大学共同開発の氷床モデル IcIES を用いて、Calov et al. (2010) と同じ実験をしたものが図 9 です。一つはモデル内の全ての式の計算順序を注意深く吟味して対称性がこわれないようにしたもの、もう一方は解析的には完全に同じ式ですが、ある式の計算順序だけをかえて、意図的に非対称の結果を計算するよう修正したモデルによる実験です。実験設定から期待される

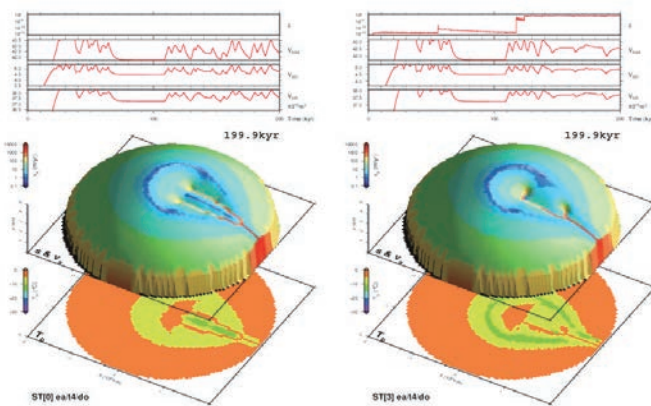


図9. ある理想的な条件下での氷床モデル実験の結果。左が結果の対称性を保つモデル、右が計算順序を変更して意図的に非対称にしたモデルによる結果。それぞれ一番下の図がある時刻の底面温度、その上に氷床の表面高度と、色で表面速度の分布を示した。上の図がいくつかの変数の時系列で、Vtot (二番目の図) が氷床全体の体積の 20 万年の時間変動である。体積の時系列から、対称モデルの結果の振動のふるまいが、非対称モデルで著しく弱いことがわかる。

対称性を保つ実験の場合に見られる、氷床体積変動の時系列は、非対称モデルでは完全に挙動が違うことがわかります。

このように、氷床モデル内の計算順序を注意深く吟味すれば、対称を期待される条件下で、(計算機で表現出来る最後の桁まで) 完全に対称性を保つことが出来ます。逆に、そうしない場合は小さな非対称性がつもりつもって、氷床変動全体にまで影響をおよぼし、ついには数値実験で課題となっている氷床のふるまい(この場合は氷床の変動の周期と振幅)すら、全然異なるものになることがわかりました。特殊な条件下での、一つの極端な例ですが、氷床モデル、およびの従来の氷床モデル実験の信頼性にも大きな影響がある結果と考えられます。氷床モデル構築の際は、このような非常に小さな不具合も注意深く除去する必要があるといえます。

放射性物質の海洋拡散シミュレーション

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災とそれに伴う津波により福島第一原子力発電所の事故が発生し、多くの放射性物質が大気や海洋へ放出されました。陸上では多くの測定結果をもとに分布図が作成されていますが、海洋へ入った放射性物質は、どこをどのように広がって、どのような分布になっているのでしょうか。

私たちはこれまで、日本付近の海洋表層の状況(主に流れや水温、塩分の分布)を精度良く予測するために日本沿海海況予測システム(JCOPE)を構築し、海況変動のメカニズムを明らかにするとともに、得られる予測データを様々な社会経済活動へ応用利用することを推進してきました。流れ場だけでなく、物質循環も含めた海洋環境変動予測を目指すための 1 つのステップとして、放射性セシウムの海洋拡散シミュレーションも行っています。

JCOPE は最先端の海洋モデルを入れ子状に設定したモデルで、北太平洋全域のモデルの中に、北西太平洋域を対象として水平方向に約 8km のメッシュサイズを持つ JCOPE2 が入り、さらにその中に日本近海を対象とする約 3km のメッシュサイズの JCOPE-T が入っています(図 10)。観測データを取り込む「データ同化」手法を用いて、過去の現実的な海況場および予測のための初期値を作成し、1 ~ 2 ヶ月先までの流れや水温などの変動を予測しています。放射性物質は、この流れに乗って流され、また拡散するのです。

福島第一原子力発電所から直接海洋に流出した放射性セシウムのシミュレーション結果から、3 月下旬の福島沿岸付近では、放射性物質は岸沿いの南下流によって南へと流され、その後風の影響により徐々に沖に向かって広がることが分かり

ました。さらに、沖合の南下流で南へと流された放射性物質は、黒潮に取り込まれて急速に東へと広がるが示されています（図 11a）。その後は、中規模渦と呼ばれる渦擾乱や黒潮の不安定性に伴う変動等によって、黒潮と親潮に挟まれた「混合水域」と呼ばれる海域で、広範囲に広がって行きます（図 11b）。また、黒潮の南方へと広がるものは、一旦東 11

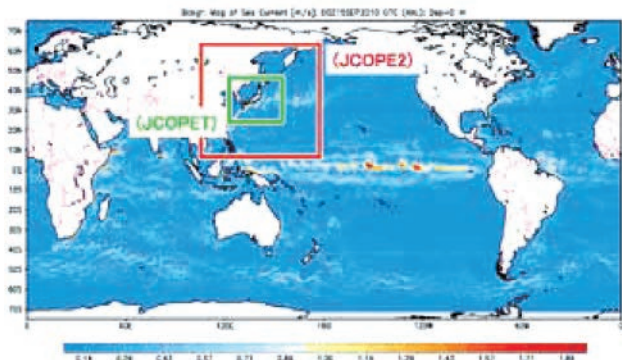


図 10. 全球モデルおよび JCOPE2、JCOPE1 の領域。カラーで示されているのは、全球モデルで計算された海面での海流の強さの分布。

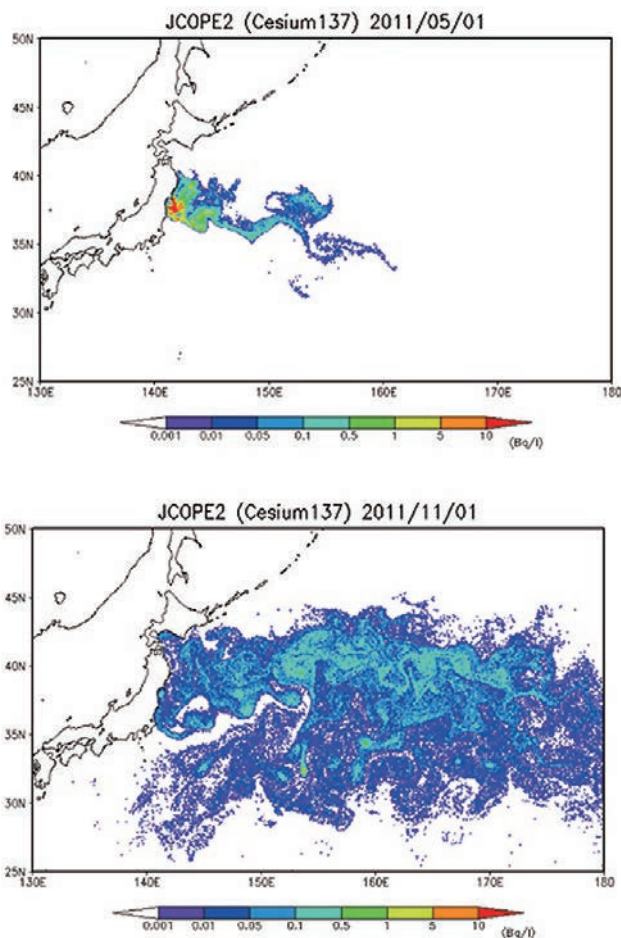


図 11. JCOPE2 によるセシウム 137 の拡散シミュレーション結果。(a) 2011 年 5 月 1 日および (b) 11 月 1 日の分布。紫色が示す 0.001 Bq/l は、今回の事故以前に福島沿岸域で観測されたセシウム 137 の濃度と同程度の値である。

輸送されたものが回り込んでいることも分かりました。セシウムの分布は、8 月から 9 月にかけて日付変更線付近まで達しますが、かなり希釈されることが分かります。

一方、一度大気へと放出された放射性物質が海面に降り注いで流入する分は、北西太平洋の広い範囲に分布し、3 月半ばから 4 月にかけての海洋表面付近の濃度に影響を及ぼしているが、時間が経つにつれ、直接流入分の影響が顕著になることも明らかになりました。

今後は、河川や地下水経由での流入分を考慮し、さらに海洋内での粒子への沈着や海底土への蓄積過程についても検討して行く必要があります。このような放射性物質の拡散モデルの高度化を進めるとともに、沿岸域での変動過程、沿岸域と外洋との相互作用プロセスを理解することで、より精度の高い沿岸海洋環境変動予測が行えるようにする必要があります。

熱帯集中観測における全球雲解像モデル実利用

熱帯大気海洋の変動現象は地球全体の変動と密接に関わっています。地球環境変動領域では、船舶を駆使した集中観測（熱帯気候変動研究プログラム）や全球雲解像モデル NICAM を用いた大規模数値計算（次世代モデル研究プログラム）を行って熱帯の変動現象のメカニズム解明に取り組んできました。2010 年度からは、現場観測とモデル計算を融合した発展的な研究体制を強化しています。2010 年度には NICAM を用いた準リアルタイム数値予報システムを開発し、集中観測 PALAU2010 において研究船への予報データの配信を実現しました。2011 年度にはこの予報システムに改善を加えて国際集中観測 CINDY2011 において運用し、現場観測に役立てました。

国際集中観測 CINDY2011 の主な狙いは、熱帯大気の最も重要な変動の 1 つであるマッデン・ジュリアン振動（Madden-Julian Oscillation; MJO）のメカニズムを明らかにすることです。MJO は大規模な対流活動を伴い赤道域全周に及ぶ現象で、台風の発生やモンスーンの開始などに深く関わり、中緯度の天候にも大きな影響を及ぼします。地球環境の変動予測において MJO がどのように変化するかは重要な問題です。NICAM は全球の雲を高解像度で厳密に計算するため MJO の研究には非常に適しています。

予報計算では「みらい」観測点（8S, 80.5E）を中心に格子サイズを集中的に細かく取ることによって計算コストを下げ（領域集中格子、最小水平格子サイズ 14 km）、専用の並列計算機を用います。初期値データ（米国環境予測センター客観

解析データ) 取得から予報データ配信までに要する時間は約13時間です。観測期間(2011年10月-2012年1月)を通して1日1回1週間の予報計算を行いました。予報データは研究船「みらい」に配信するほかインターネットを通して公開し¹、米国大気研究センター地球観測室(NCAR EOL)のデータカタログにも提供しました。

観測期間中には顕著なMJO事例が3回発生し、特に10月後半の事例においては西インド洋において異例の対流活発化が観測されました。図12はMJOの振幅と位相の標準的指標であるRealtime Multivariate MJO Index(RMM; Wheeler and Hendon 2004)を示したものです。MJOの予報は現業予報においても難しい課題とされていますが、NICAMによる予報は西インド洋におけるMJOの振幅増大を捉えており、各国の現業モデルと比べて遜色ない精度をもつことが確認されました。

雲降水現象については、MJOに伴う西進雲クラスターや赤道波に伴うメソスケール雲システム、そして熱帯低気圧など

が多数観測され、それらの多くは予報計算にも見られました。図13は10月後半のMJOの対流活発期に連続発生した2つの台風予報例(積分開始後2日目)です。台風発生場所や日時については初期値が現実の台風発生日に近いほど精度がよく、2~3日を境に誤差が大きくなる傾向が見られました。今回の運用実績は、個々の雲降水現象を正確に予報するための改善の必要性を示唆します。

10月後半の西インド洋でのMJOの急発達や台風の連続発生理由として、この海域が平年より遥かに湿潤であったことの影響が考えられます。今後、取得した観測データと予報計算データを組み合わせてこれらの関係やメカニズムの解明を行います。計算データでは現場で直接観測することが難しい、雲による潜熱加熱率や運動量・熱・水蒸気輸送を見積もることができ、観測から得られる知見を補うことができます。

今後の集中観測に向けて、動的観測での実利用に耐える精度の達成を目指し、モデルの誤差の原因追究を行うと同時にモデルの高解像度化や初期化問題にも取り組みます。

1 http://www.jamstec.go.jp/iorgc/cindy/nicam/nicam_latest.html

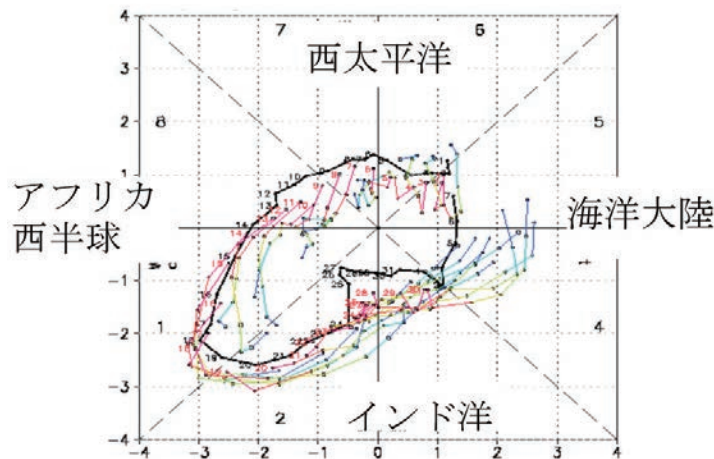


図12. NICAMによる準リアルタイム予報計算におけるMJOインデックス(RMM)。2011年10月1日初期値計算から11月7日初期値計算までの計算結果をプロット。濃い黒線は観測値(オーストラリア気象局web siteよりデータ取得)。中心からの距離がMJOの振幅、各象限がMJOの位相(対流活発域の位置)を表す。

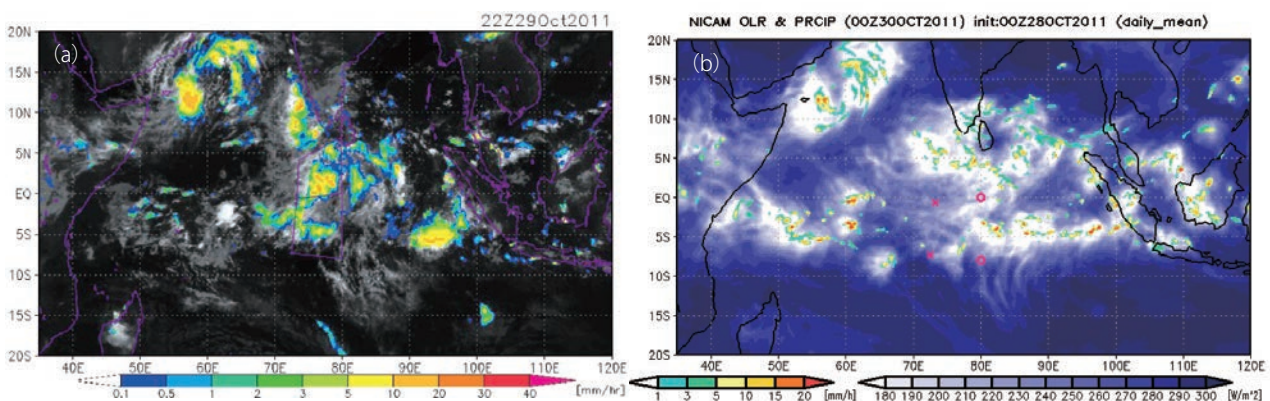


図13. 2011年10月30日の(a)衛星画像(赤外:FY2D-IRと地表降水:GSMaP) CINDY web siteより転載。(b)NICAMによる準リアルタイム予報計算結果(積分開始後2日目。日平均値)。(外向き長波放射、地表降水)。台風Keila(15N, 60E)とTC04Aの初期擾乱(2N, 76E)が予報されている。観測アレー(赤紫の4点)右下が「みらい」観測点。FY2D-IRはCERES 4VL web siteより取得。GSMaP NRTは宇宙航空研究開発機構地球観測研究センターにより開発・提供。

平成23年度の主な成果

地球内部ダイナミクス領域 (IFREE)

概要

地球内部ダイナミクス領域 (IFREE) では、海洋プレート活動研究プログラム、固体地球動的過程研究プログラム、地球深部活動研究プログラム、地球内部物質循環研究プログラムの4つのプログラムによって、海洋での地球物理観測や物質科学的測定、全成分精密分析、同位体化学分析、高温高压実験、数値シミュレーション、室内モデル実験などのさまざまな手法を駆使して、地殻、マントル、地球中心核および大気海洋に至る地球システムに起こるさまざまな時間スケールの変動と地球進化の過程を研究し、その全体像を描きだし、社会的にもその知識を役立てようとしています (図1)。これらの基盤的な研究は、人間活動に関わりの深い地震・火山現象を引き起こす地球内部活動や、表層の環境変動の基本過程の解明に貢献します。IFREE がめざすことのもう1つは、分野横断型の研究によって、地球の進化を包括的に理解することです。そのために4つのプログラムは、基盤的な研究を融合・発展させ、世界をリードする総合的かつ萌芽的な研究を行なっています。研究項目は、海底から海洋リソス

フェアまでの構造や変形を観測やシミュレーションによって理解する「浅部ダイナミクス」、海底観測によってより深部の構造や動的挙動、深部と表層の物質科学的相互関係を研究する「深部ダイナミクス」、海底調査を通じて岩石学・地球化学的に地球内部の物質循環や進化を明らかにする「物質循環」、地球圏におけるミクロスケール現象と大規模構造の形成などマクロスケール現象を階層間結合を通じて統一的に理解する「非線形動的過程」、沈み込み帯の構造を海陸観測データによって明らかにし、巨大地震発生のシミュレーションをおこなう「巨大地震発生評価」、海域地球物理・化学データの統合データベースの構築と可視化をおこなう「海底ネットワーク観測系」、IODP (統合国際深海掘削計画) の下で日本の掘削船「ちきゅう」を利用した掘削計画提案や事前研究をおこなう「IODP タスクフォース」などがあります。さらに日本海溝から東北日本、日本海の地下構造・地震火山活動に対して分野横断型研究で取り組む研究や、地球内部活動と表層変動の関係解明に取り組む萌芽的な研究も行っています。

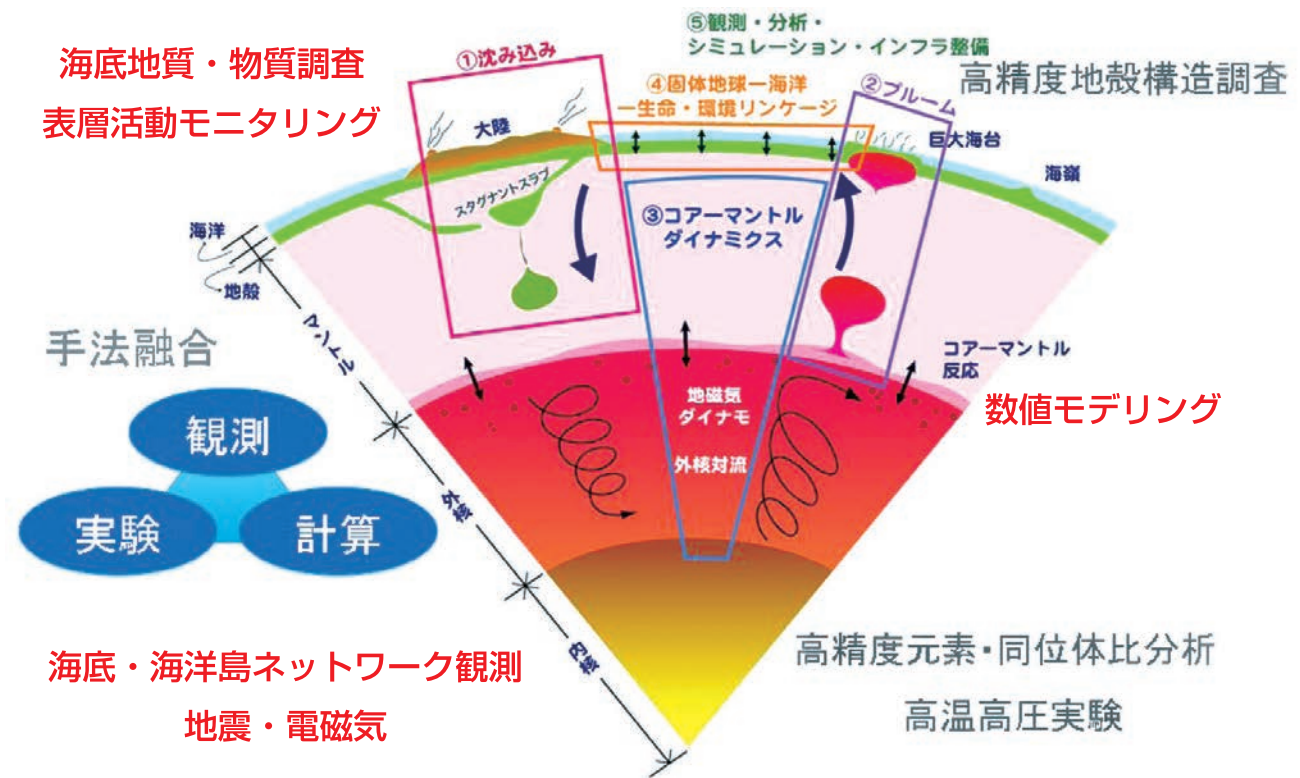


図1. IFREEの研究分野、研究手法の概念図

緊急調査から明らかになった東北地方太平洋沖地震の実態

2011年3月11日に発生したモーメントマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震は、地震の揺れとこの地震によって引き起こされた巨大津波によって大きな人的、物的被害をもたらしました。地震波や測地データを用いた解析から、この巨大地震の断層破壊は太平洋プレートが沈み込む日本海溝軸近傍の浅部にまで及び、そのことによって巨大津波が発生したと考えられています。この地震の断層破壊が震源域から海溝軸にかけての海底地形や地下構造にどのような変化をもたらしたのかを明らかにするために、地震後の2011年3月下旬にマルチナロービーム音響測深海底地形調査とマルチチャンネル反射法地震探査を実施しました(図2A, B)。得られた海底地形データと地震前の1999年と2004年に実施した同一測線のデータを用いて、地震前後の海底地形の変動量を求めました。

地震前後の海底地形データの比較から、鉛直方向に数m、水平方向に約20mの誤差が含まれていますが、海溝軸から陸側に位置する陸側斜面の海底地形が地震後に上昇していることが明らかになりました。これは、東北地方太平洋沖地震の断層破壊がプレート境界に沿って海溝軸まで達したことを示していると推測されます。この海底地形が上昇した範囲の内、海溝軸から陸側へ西約40kmにある斜面の傾斜変換点までの陸側斜面の最外側部において、特に海底地形が上昇しており、地震前の1999年と地震後の2011年の間で海底地形は海溝軸から海側に位置する海側斜面に対して平均16

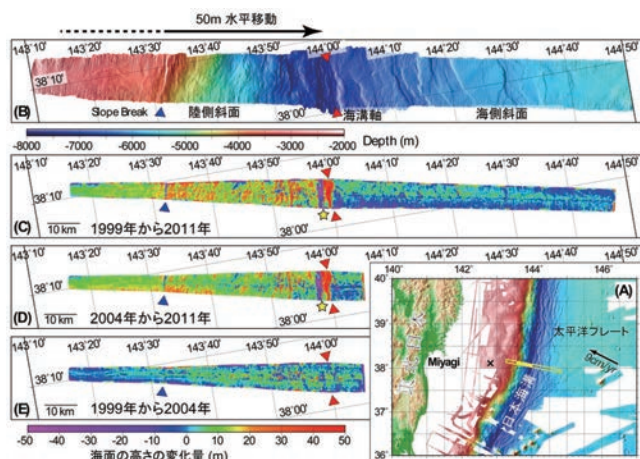


図2. 地震前後の海底地形比較。(A) 調査域海底地形図、×印は本地震の震源を示し、(B) 2011年の調査測線に沿った海底地形図を示す。2011年(地震後)と1999年(地震前)(C)、2011年と2004年(地震前)(D)、2004年と1999年(E)の海底地形比較図。赤、青三角印は海溝軸、傾斜変換点、黄星印は海底地滑りによる地形変化が見られた場所を示す。

±9m 浅くなっており、地震前の2004年と2011年の間でも同じ傾向が見られました(図2C, D)。また、海溝軸の海底に高さ約50mの高まりが局所的に見られ、海溝軸底の直近の陸側部に地形が低くなった斜面を確認できました(図2C, D)。これらの海底地形の変化は海底地滑りに伴って形成されたものと考えられます。一方、地震前の1999年と2004年のデータの比較では、海溝軸から陸側、および海溝軸付近の海底地形に変動は見られませんでした(図2E)。

陸側斜面の最外側部で観測された海底地形の変動量から、この地震によって引き起こされた海底の鉛直、水平変動量をそれぞれ求めました。求めた海底地形の鉛直と水平変動量から、陸側斜面の最外側部の海底は1999年と2011年の間で、東南東方向に50m、上方に7~10m地震時に移動したものと考えられます(図3)。

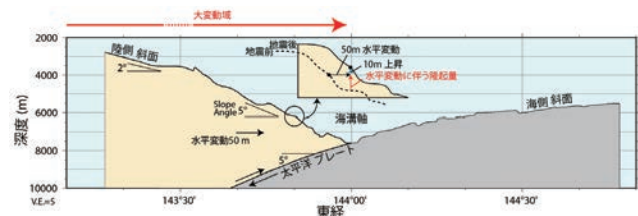


図3. 緊急調査から明らかになった地震に伴う変動。

本結果は、宮城沖に展開されていた他の研究機関の海底地殻変動観測の研究結果と併せると、海底地形の鉛直、水平変動量は海溝軸に向かうにつれて大きくなり、海溝軸近傍の陸側斜面において最も大きく変動していることが明らかになりました。また、以前の研究から、斜面では水平変位量が正味の隆起量に追加され、さらに海底を上昇させることが知られています。海溝軸近傍の急斜面域である陸側斜面最外側部の大きな水平変動は、4~6m(海底上昇量11~16mと求めた地震時の隆起量7~10mの差)の海底上昇効果を引き起こしたことが考えられます。この水平変動の海底上昇効果が追加されたことによって、観測された短波長で大振幅の津波の原因になった可能性があります。

文献

Fujiwara, T., S. Kodaira, T. No, Y. Kaiho, N. Takahashi, and Y. Kaneda, The 2011 Tohoku-Oki earthquake: Displacement reaching the trench axis, Science, 334, 1240, 2011.

南海トラフ地震発生帯の掘削研究成果

国際統合深海掘削計画 (IODP) 南海トラフ地震発生帯掘削計画ステージ I (2007-2008) では、紀伊半島沖の東南海地震震源域の巨大分岐断層 (従来の地震発生帯の浅部) と沈み込み帯先端のプレート境界断層 (従来の非地震帯) を掘削し試料が採取されました。断層コアに含まれる堆積有機物の一つであるビトリナイトの熱変質状態を詳細に分析したところ、両方の断層が高い温度を受けていたことが明らかになりました (図 4 参照)。これは海溝軸まで地震性破壊が伝播したことを示しています。こういった海溝軸までの破壊伝播は、2011 年の東北太平洋沖地震と類似しており、同様の津波が南海トラフでも起きる可能性があります。この成果は、将来の南海トラフの想定津波域の見直しに反映されました。

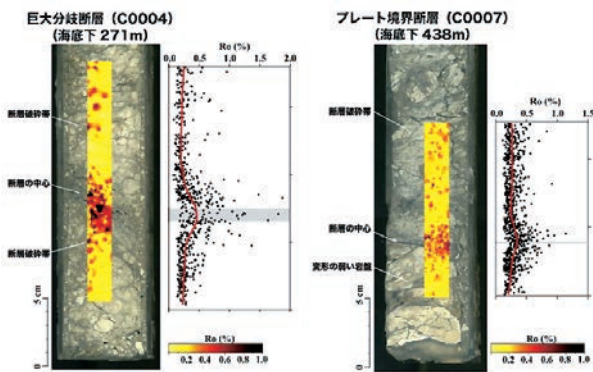


図4. 堆積有機物であるビトリナイトは、過去に受けた温度が高いほど反射率 (Ro %) が増加するため地質温度計に利用可能である。どちらの断層でも断層帯の部分だけが高温を受けている。このような局所的な高温は摩擦加熱の特徴であり、断層が地震にともなって高速ですべった証拠である (Sakaguchi et al., 2011)。

一方、南海トラフ地震発生帯掘削計画第 2 ステージの 2 航海 (Expeditions 322/333) で得られた沈み込み初期物質の解析から、以下の 2 点を解明しました。

- 1) フィリピン海プレート北部の火山・堆積テクトニクス: ①約 8Ma に伊豆火山弧北部で噴出した大規模軽石質火砕岩の発見とその西方供給プロセス、②約 14 Ma に西南日本外帯から供給された酸性火砕岩の特徴とその南方運搬プロセス、③南海トラフ海側の間欠的隆起プロセスが復元され、中新世以降のテクトニクスに新たな制約を与えた (Kitamura & Yamamoto, 2011; Saito et al., 2011)。
- 2) 南海トラフに沈み込む玄武岩の岩石学的・鉱物学的解析: 沈み込む玄武岩は海洋底低温変質作用によりその 3 割がサボナイト化し、玄武岩は 10% の層間水を持ち込んで沈み込むことが判明した。この水は地震発生領域で緑泥石に相転移する際に放出され、地震発生領域の水源に成り得ることを示した (Kameda et al., 2011)。

地球内部進化研究成果

大陸地殻生成によって発生すると考えられている超塩基性残渣物質の行方について高温高压実験によって見積もられた密度分布や、複雑な相転移現象を数値モデルに導入し、大陸地殻を含んだマントル対流シミュレーションによって、実験結果から示唆されている地球内部の物質循環像の検証を行いました。その結果、超塩基性残渣物質は大陸地殻直下のコアーマントル境界上に堆積することが再現されました。しかし、海洋プレート直下にはほとんどその物質は運ばれませんでした。この結果は、物質科学とモデルシミュレーションの融合によって得られたものであり、地球内部進化の具体的な描像に迫る一つの鍵になります。

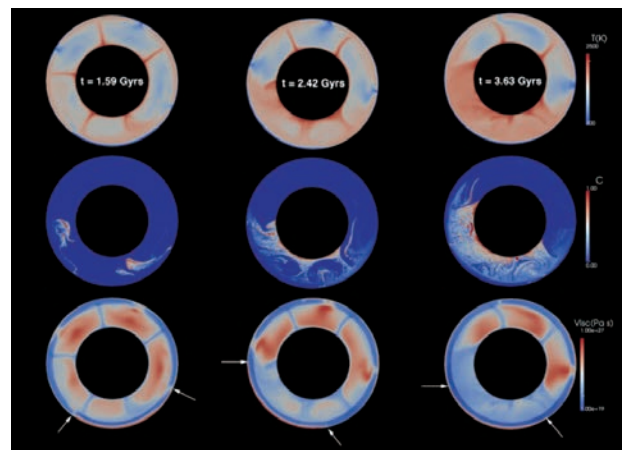


図5. 上: ポテンシャル温度。中: 超塩基性残渣物質の分布。下: 粘性率。時間は左から右へ流れている。超塩基性残渣物質は周りのマントル物質より 3.5% 程度密度が高い。大陸地殻はマントル対流が作る流れに乗って移動する。矢印は大陸地殻縁辺部の位置を示す。

海底電位磁力計 (OBEM) による津波電磁気シグナルの観測

2011 年東北地方太平洋沖地震による津波は日本に甚大な被害をもたらしました。将来の津波災害軽減のためには、この地震による津波が巨大化した原因を解明し、日本沿岸に到達する津波の大きさと到達時刻を早期にかつ精度高く予測するための新しい津波監視システムを構築することが、緊急な課題となっています。IFREE では、この課題達成に貢献する成果として、津波に伴う電磁場変動を、世界で初めて海底で観測することに成功しました。海水は電気を良く通す導体であるため、地球磁場中での津波伝播に伴う海水の流れは、海水中に誘導電流を発生させ、それによる電磁場変動が海底で観測されます。津波電磁気シグナルの観測は、津波計による水位変化の観測と違って、津波による水平流速を測定する

ため、津波の大きさに加えて津波の到来方向を知ることができ、新しい津波観測手段として期待されるものです。また海底電磁気観測装置は、主に構造探査のために海洋底に広く展開されており、海底電磁気観測装置による津波観測は、従来の沿岸中心の津波観測を補うことができます。平成 23 年度には、IFREE では、東京大学地震研究所、京都大学理学部との共同研究によって、2010 年チリ地震、2011 年東北地震による津波伝播に伴う電磁気シグナルを、海底ネットワーク観測によって検知し、遠洋での津波の伝播を直接モニターすることが出来ました。この中で東北地震による津波シグナル観測点を図 6 に示します。図に示す海底電磁気観測点と、NOAA による津波監視システムによる観測点は、海溝の外側の津波観測ネットワークを構成します。この観測ネットワークは、沿岸の観測点に比べて水深が深い場所にあるために、海溝沿いの地震によって発生する津波が早期に到達し、さらに沿岸の複雑な地形によって乱されない波形をもち、津波波源の情報を直接得ることができるので、津波監視に重要な役割を果たします。このネットワークによる観測によって 2011 年東北地震津波の発生メカニズムと、津波の伝播の様子について、重要な知見を得ることができました。

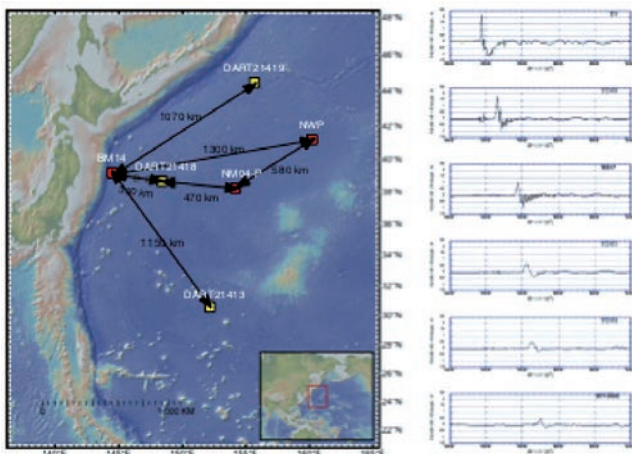


図 6. 海溝の外側での 2011 年東北地震の津波観測点 (BM14, NM04-P, NWP - 海底電磁気観測点、DART21418, 21419, 21416 - NOAA による DART 観測点) と各観測点での津波波形を示す。

顕生代大規模火成活動と表層環境変動

IFREE では、地球内部の変動による大規模な火山活動 (大規模火成活動岩石区 LIP) や隕石衝突による表層環境変動を研究しています。その際、堆積物中のオスミウム (Os)、鉛 (Pb) 同位体比変動が火成活動や隕石衝突で変化することを利用して、例えば、生物の大量絶滅で知られるペルム紀末や三畳紀末、あるいは白亜紀の海洋無酸素事変 (OAE) などの環境変動が、大規模火成活動によって起きたことを明らかにしてきました。図 7 は白亜紀海洋無酸素事変のデータです。オントンジャワ海台 (OJP) を形成した火成活動が、海洋無酸素事変を引き起こしたことを強く示唆しています。図 7 の中の①、②が示すように、Os 同位体比が 2 度に渡って低くなっていますが、その変動幅、タイミングから、次のようなシナリオが導き出せます。オントンジャワ海台の最初の噴火 (海上噴火) によって、二酸化炭素などの温暖化ガスが大気中に放出されました。そのため、その後火成活動が一時休止する間に、温暖化と大陸風化が進み (Os 同位体比は上昇)、それに伴って、海洋無酸素事変が引き起こされました。その後、海中で 2 度目の噴火活動が 1 度目より大きな規模で、長期間にわたって起きたことをデータは示しています。

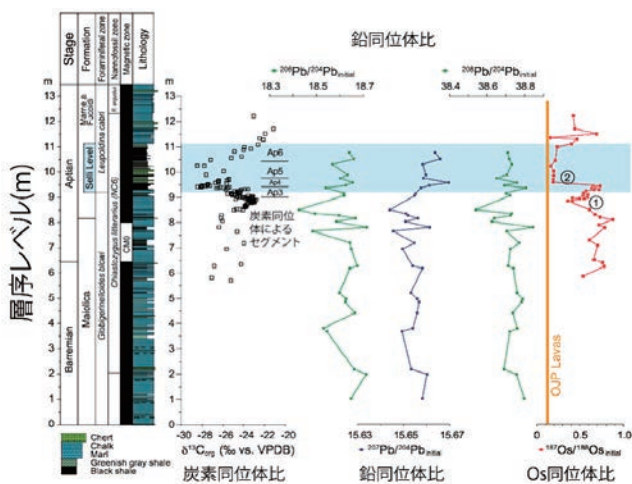


図 7. イタリア Gorgo a Cerbara セクションのオスミウム (Os)、鉛同位体データ。青い帯が白亜紀海洋無酸素事変 1a (OAE1a)。Os、鉛データはそれぞれ、Tejada et al. (2009), Kuroda et al. (2011)。

島弧地下構造解明と島弧マグマ成因論の新展開

日本列島のように、海洋地殻がマントル内に沈み込んでいる島弧には、多くの火山があります。この島弧火山をつくるマグマがどうやって発生するかは、地球科学の重要な研究課題の1つです。島弧は地球上で最も活発なマグマ発生場です。マグマは深さ30～150kmのマントル内で発生し、地表まで上昇-噴火して火山災害を引き起こしたり、地下で冷え固まり地熱資源や鉱産資源のもとになります。地下で冷え固まったマグマは島弧地殻を厚くさせ、島弧地殻は集積していずれは大陸をつくれます。すなわち、島弧マグマのでき方(成因)を理解することは、地球史における大陸やマントル進化を理解する上でも重要です。

IFREEでは、詳細な地殻マントル構造の観測と、マグマの化学成分の研究にもとづいて、伊豆-小笠原弧で安山岩質大陸地殻が誕生しつつあることを明らかにしてきました。さらに東北日本で海洋地殻の構造探査と、海洋地殻物質の化学成分分析を実施し、陸域の構造やマグマの化学成分とあわせ研究することにより、島弧マグマの成因に迫りました。

東北日本の下に沈み込む海洋地殻と海洋マントル(海洋プレート)は、沈み込む直前の屈曲と変形によって深部まで亀裂ができ、深さ5kmをこえて海水が侵入し、変質している

ことがIFREEの探査で新たに明らかになりました(図8右)。多くの水を含んだ海洋プレートはマントル内に沈み込み、温度・圧力が上昇して変成作用が進みます。海洋プレートに侵入した水は、深さ80～150kmで脱水し、マントル内を上昇してマントルを溶かし、マグマが発生する様子が地震波の観測から予想されています(図8左)。

IFREEではさらに、海洋プレートやマントル岩の化学成分の精密測定(図10右)、岩石の高温高压実験やモデル計算をもとに、海洋プレートからの脱水量の推定(図9挿図)や、脱水によって変化する海洋プレートの化学成分(図10左)、脱水した水によってマントルに運ばれる化学成分と、その水がマントルを溶かして発生する島弧マグマの化学成分の関係(図10中)を、はじめて定量的に求めました。

IFREEはこのようなモデルを検証するため、様々な島弧の比較研究を実施しています。「しんかい6500」や「ハイパーダルフイン」を用い、マリアナ弧などの海洋島弧からマグマを採取して分析・解析を実施しています。さらに、地球深部探査船「ちきゅう」による伊豆-小笠原弧の島弧地殻掘削の科学提案は、統合深海掘削計画(IODP)において、いよいよ実施計画の検討段階に入りました。IFREEはモデルと実証を研究の両輪として、旺盛に研究活動を展開しています。

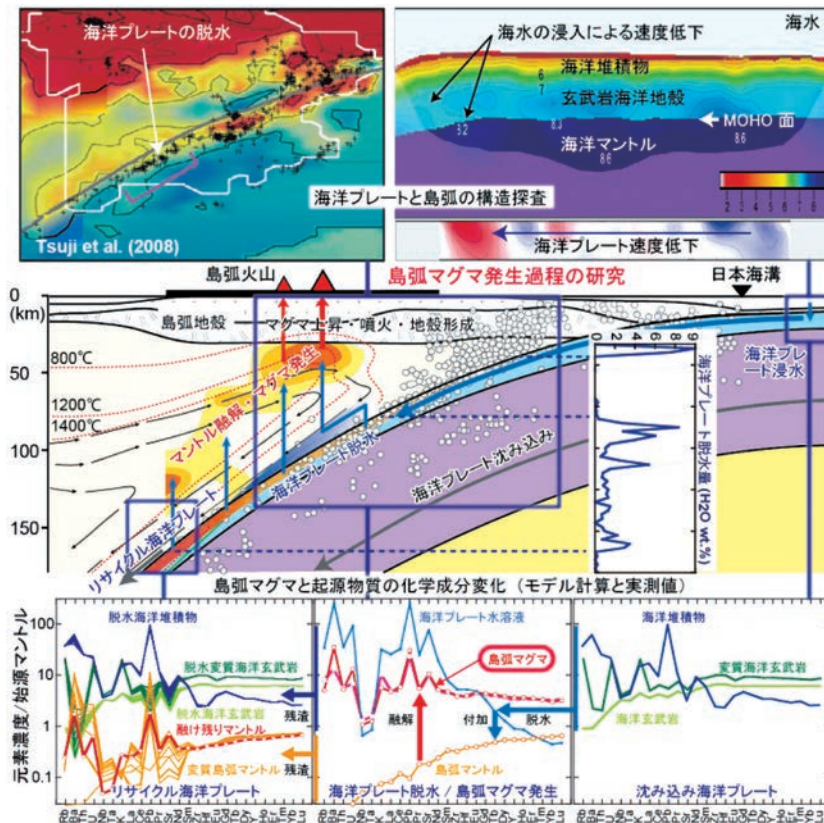


図8. 海洋プレートと島弧構造探査結果。右：日本海溝に沈み込むプレートは、屈曲によって生じた亀裂で海水が進入する。左：進入した海水は海洋プレートの沈み込みにもともなって脱水し、浅部の島弧マントルに供給される。

図9. 東北日本弧沈み込み帯の地下構造と沈み込む海洋プレートの浸水と脱水(青矢印)。島弧マントルでは脱水した水が付加することによって、マントルが融解し、島弧マグマが発生する。右の挿図は海洋プレートからの深度ごとの脱水量シミュレーション結果。

図10. 島弧マグマとその起源物質の化学成分。右：海洋プレート物質(堆積物と玄武岩)の化学成分。中：海洋プレートから脱水した水溶液・マントル・マグマの化学成分。赤はマグマ成分の実測値でピンクは計算値。左：脱水後に深部マントルへリサイクルする海洋プレート物質とマントル物質の化学成分。

平成23年度の主な成果

海洋・極限環境生物圏領域 (BioGeos)

概要

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

このため、海洋生物多様性研究、深海・地殻内生物圏研究、海洋環境・生物圏変遷過程研究の3プログラムに所属する60名を超える研究者らが、以下の具体的なテーマにしたがって研究を展開しています。

1) 生命の起源と進化のメカニズムの解明 (生物多様性の理解)

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

2) 海洋を中心とする地球生命圏の構造と機能の解明

- *生物地球化学循環とその変遷
- *海洋環境のモニタリング (海洋酸性化、多様性変動)
- *極限環境生物の適応生態 (高温高压、低温、 CH_4 、 H_2S 、無酸素 etc → 特殊な代謝系、細胞内共生)

3) 生物素材・酵素などの機能分子、微生物の応用研究

- *バイオリアクターによる二酸化炭素固定と CO_2 回収貯留 (CCS)
- *生物、酵素を用いたエネルギー開発 ($\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8$)
- *有用酵素・膜物質などを用いた試薬・素材の開発

以上の研究を展開するにあたっては、さまざまな技術開発が必要です。本研究領域では、新たに、さまざまな生物・化学分析手法、極限環境生物培養手法、現場生物環境モニタリング手法などを開発しています。海洋・極限生物圏研究領域は、以上の研究手法および JAMSTEC のファシリティーを駆使し、IODP、InterRidge、CoML などの国際的な研究プログラムに参加することを通じて世界をリードする研究成果を上げています。

2011年3月11日に起こった東日本大震災と原発事故は、東北日本の海洋生態系に大きな影響を与えました。私たちは、震災発生後、いち早く沖合を中心とした調査を開始し、巨大地震と津波が海洋生態系にどのような影響を与え、どのよう

に回復していくのかを継続的に観測する調査を行っています。今年度、立ち上がった東北マリンサイエンス拠点研究を基軸にしながら、継続して調査を行っていく予定にしています。

海洋生物多様性研究

1. 東北地方太平洋沖地震による深海生態系への影響 (緊急調査)

東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) による破壊域に最も近い生態系は、深海生態系です。我々は地震が深海生態系にどのような影響を及ぼし、また今後どのように変化するのかを明らかにする目的で、「しんかい 6500」や深海曳航式 TV カメラによる深海調査を行いました。震源近くの海底には亀裂が生じるなど (図 1) 様々な変動が観られました (化学環境の変化や微生物生態系の変化については後述)。深海動物に対する影響について具体的に観られた変動は、ベントス死骸の密集、ナギナタシロウリガイの埋没、クマナマコ類の高密度出現といった現象でした。今後、これらの深海動物が関わる生態系の擾乱を記述し、継続してモニタリングする必要があります。

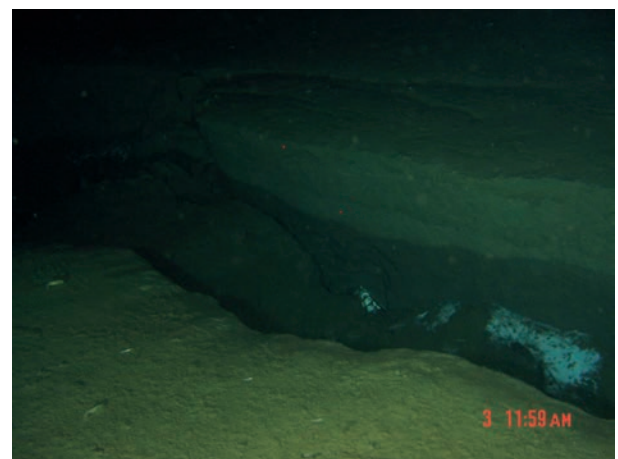


図1. 東北地方太平洋沖地震に日本海溝陸側斜面水深約5350mで見られた海底亀裂。

2. イガイ科二枚貝と微生物との共生の進化

イガイ科二枚貝は元来沿岸性で自ら摂食します。しかしその一部は深海底に沈んだ動植物の遺骸周辺で硫酸酸化細菌との共生関係を構築したのち湧水域や熱水域にも進出し、一部でメタン酸化細菌との共生関係を構築するものも出現したと推定しました。また、共生様式は細胞外共生から細胞内共生へと進化した可能性が高いことを示唆しました (図 2)。

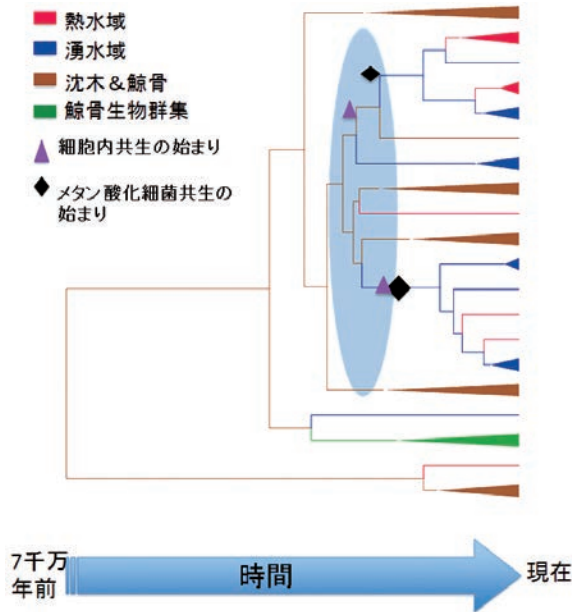


図2. シンカイヒバリガイ類共生様式の進化

3. シロウリガイ類共生細菌のゲノム縮小進化

共生細菌が宿主細胞内に共生し、さらに宿主の卵を介して垂直伝達されるようになると、共生菌のゲノムが縮小し、ゲノム塩基組成の GC 含量が小さくなることが知られています。この現象には、遺伝子の組換えに関わる *recA* 遺伝子や遺伝子修復に関わる *mutY* 遺伝子の関与が考えられ、現生のシロウリガイ類共生細菌では、これらの遺伝子がちょうど失われつつあることが明らかとなりました。GC → AT への突然変化を修復する *mutY* が失われると GC 含量が低くなることが明らかとなり、遺伝子の脱落がゲノムに与える影響が見えてきました (図 3)。

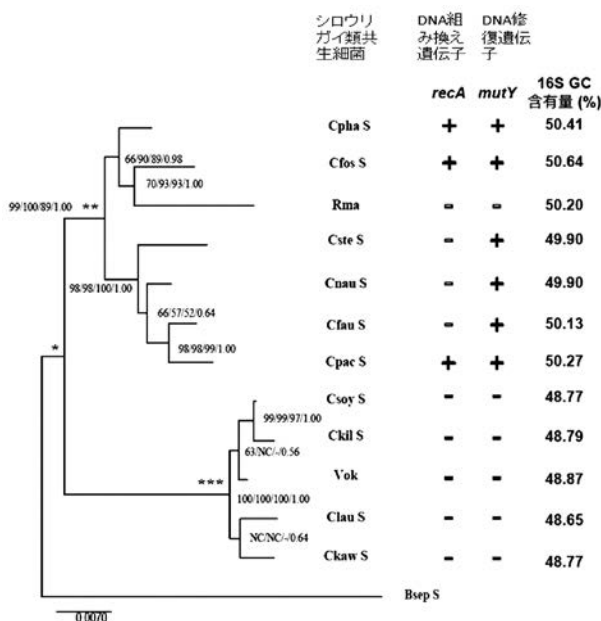


図3. シロウリガイ類共生菌の系統樹と遺伝子組換え・修復遺伝子の有無とGC含量

4. 微生物を電気で集める

土壌や沈殿物の中に含まれる微生物をどのように回収するか、は重要だが難しい問題です。電極に弱い電流を流すことにより、土壌中の微生物を効率良く電極に吸着・離脱させる技術を開発しました (図 4)。

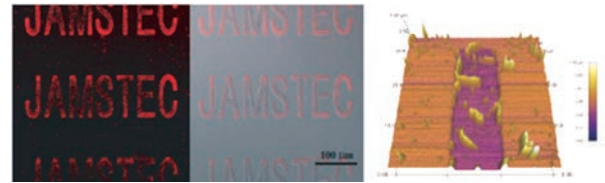


図4. JAMSTECという字形の電極に集められた大腸菌 (左) とその一部を原子間力顕微鏡で拡大したところ (右)

5. 深海微生物が持つ機能の産業応用

深海には様々な微生物が生息しているが、その応用は進んでいません。我々は今までに、深海から、耐熱性アガラーゼなど、人の役に立つ酵素の探索を行ってきましたが、現在陸上植物が作る難分解性物質の代表であるリグニン分解について、深海微生物の利用可能性を研究し、リグニンの利用方法も検討しています。

この他にも深海化学合成生態系を対象に様々な研究が展開され、例えば南部マリアナトラフの3つの熱水域では、形成年代が古いサイトほど構成生物の遺伝的多様性は高い傾向があることや、原生生物の一部は、真核生物特有のステロールではなく、テトラヒマノールを有し、それが食細胞作用に重要な役割を果たしており、その合成遺伝子は真核生物間の遺伝子転移によって獲得された可能性などが示されました。

深海・地殻内生物圏研究

1. 超巨大地震が及ぼした深海生態系への影響の解明

2011年3月11日に起きた「東北地方太平洋沖地震」は、観測史上最大級の地震であり、日本海溝地震発生帯の広範囲において、これまでに観測されたことのない、大規模な海底および海底下での変動を引き起こしました。そしてその地震が引き起した変動は、海洋底及び海水にもたらされる堆積物の擾乱および地殻内微生物の放出、そして測りしれない化学フラックスの変化をもたらしたと考えられます。しかしながら、このような超巨大海溝型地震の発生が、現実にもどのように深海化学フラックスや深海生態系に影響を与えるかについては、未だ研究例はありませんでした。

この未曾有の自然災害の科学的全貌を明らかにし、記録・発信・共有することで、日本や世界の人々の安全や将来の対応へ役立てる事は、海と地球の研究を推進する海洋研究開発機構や日本国内の研究機関のすべての研究者の使命であると思います。我々、海洋・極限環境生物圏領域では、JAMSTECの他部門や日本中の大学や研究機関と協力して、「よこすか」や「みらい」、「ディープトゥー」や「しんかい6500」を用いて、地震の実態、津波生成のメカニズム、地震・津波に伴う海洋生態系への影響評価に関する集中的な調査観測を行いました。深海・地殻内生物圏研究プログラムでは、海底・海水懸濁物や化学組成・フラックス、海底・海水イベント由来微生物種の放出や微生物群集構造・機能の変化、海底・海水生態系の変化に焦点を当てて研究を行いました。

地震発生後、1、2、3、5ヶ月の日本海溝の深海における化学環境と微生物群集の変化を調べたところ、堆積物の乱泥流による海水の濁りが、日本海溝の極めて広範囲において発生していることがわかりました。そのパターンから、乱泥流の発生は本震だけでなく余震も含めて頻繁に起きていると考えられました。また乱泥流によって、最大海底変動域である海溝軸付近の海底近くの水塊には、マンガンやメタンといった堆積物にトラップされていたような化学物質が供給されていることがわかりました。一方、海溝軸から離れた陸側斜面では、乱泥流による物質拡散以外に、海底下深部由来のメタンの供給が存在していることが示唆されました。これらの化学物質の挙動から、東北地方太平洋沖地震による海底・地殻変動による海底下流体の化学組成や移動様式を予想することができ、その予想は実際に海底地形や地震波による海底下構造の変動のパターンとよく整合していることもわかりました。

さらに深海の微生物群集の解析から、化学フラックスの変動が最も激しかった地震発生1ヶ月後に、海底近くの水塊中

に、普段の深海では見られないような微生物バイオマスの増大、微生物グループの出現といった変化が起きていることが明らかになりました。そしてその変化が、3ヶ月後には収束していることも確認されました。この結果は、東北地方太平洋沖地震による海底・地殻変動による海底下流体の化学組成や移動様式の変化に対応した微生物群集の応答反応であることを意味し、世界で初めて地震による深海微生物生態系への影響を捉えることに成功したと言えるでしょう。

また、深海の化学環境の変化や微生物生態系の変化を捉える事によって、東北地方太平洋沖地震がどのような影響を与えたかを理解するだけでなく、どのようなメカニズムによって起きたかを知ることに大きな手がかりを得ました。物理探査の結果からも、陸側プレートの全体が海溝軸に向けて、プレート境界を滑り上げたシナリオが提出されていますが、我々の結果からも、地震によるプレート滑り流体は、プレート境界に沿って海溝軸へと移流した可能性が強く示唆されました。しかも、地震の影響が極めて広範囲に、かなりの時間スケールで起きることがわかったことによって、海溝型超巨大地震の人間生活に与えるマイナス面だけでなく、沈み込み帯におけるメタンハイドレートのような海底資源の生成・胚胎といった、これまで全く未知であったプラス面が存在することを初めて示す成果となりました。

2. 多くの培養困難・性状未知の地殻内微生物の培養に成功

2011年度には多展開中の環境工学的フローリアクター培養や極限環境条件再現培養により、これまで培養できなかった海底下メタン菌を初めとする地殻内微生物の培養に成功しました。海底下堆積物中に、莫大なエネルギー資源であるメタンハイドレートが眠っているのはよく知られています。またその多くは、海底下メタン菌によって作られたメタンであることも知られています。しかし、そのメタン菌がどのような種類でどのようにメタンを作り出しているかは、そのメタン菌が培養できない限り、本当の意味でわからないのです。その謎の主役だった海底下メタン菌を多数培養・分離することに成功しただけでなく、それらのメタン菌と共栄養（パートナー）関係にある海底下従属栄養微生物も培養・分離することができました（図5）。

分離に成功した海底下微生物

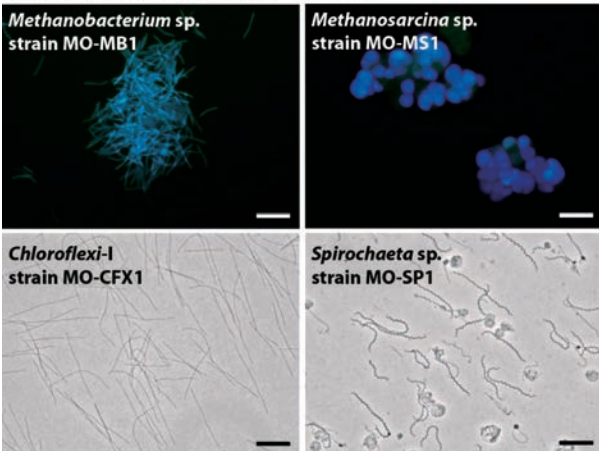


図5. 下北沖海底下堆積物から環境工学的フローリアクターにより培養・分離された海底下微生物の写真。これらの微生物の性状を明らかにした上で、成果として発表した

海洋環境・生物圏変遷過程研究

2011 年度は、東北地方太平洋沖地震に応じて実施された緊急調査に貢献する一方で、通常の研究業務を推進しました。

1. 東北地方太平洋沖地震緊急調査

緊急調査航海では地震動によって底層環境がどのような影響を受けたかを調べるために、「しんかい 6500」および深海カメラシステムにより、海底の観察と採泥を行いました。複数の地点で最近再堆積したと見られる表層堆積物を認めました。有孔虫群集解析などを通じ起源推定など検討を進めています。

2. 海洋酸性化が石灰化生物に与える影響

大気中に人為起源の二酸化炭素が増加するに連れて、海洋の二酸化炭素分圧が増加し、pH が低下する「海洋酸性化」が新たな国際的な社会問題としてクローズアップされています。本年は海洋の主要な炭酸塩生産者の一つである有孔虫に着目し、海水の pH が低下したとき、細胞内の pH がどのような影響を被るかを検討しました。環境の pH が変動しても、細胞内の pH 分布は類似でした。しかし、沈着した一つのチャンバーの大きさに違いが見られ、pH が低い条件ではチャンバーが小さくなる傾向が見られました(図6)。また、付加したチャンバーの数にも違いが見られました。海洋酸性化が進行すると、有孔虫細胞内の環境を保つために、より多くのエネルギーを費やしていることが示唆されます。

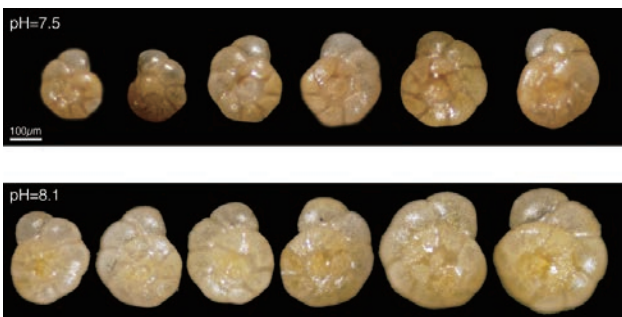


図6. 異なる pH 条件で同じ期間に成長した有孔虫殻を比較した。pH が低い(上)と通常(下)より殻が小さい。

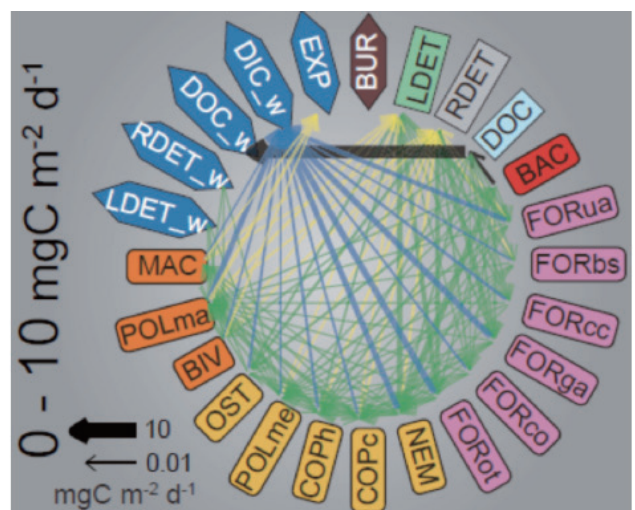
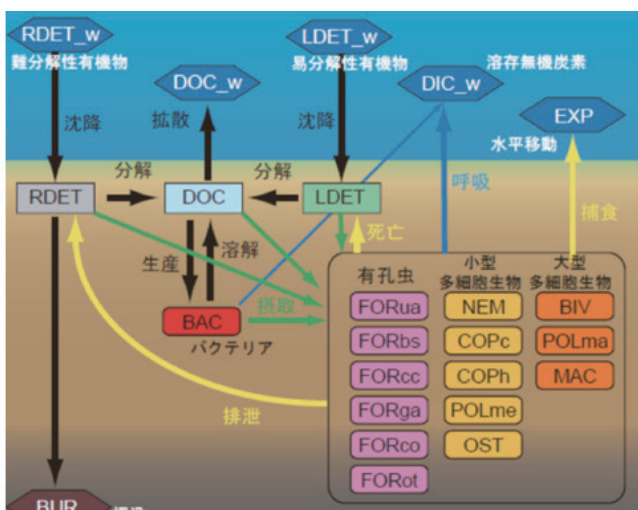


図7. (左) 相模湾深海底におけるこれまでの観測・現場実験結果を統合した Linear Inverse Model の構造。(右) LIM により計算された、各要素間の炭素フラックス。これまでの観測結果を矛盾のない形で炭素循環として定量化するとともに、春には線虫によるバクテリアの捕食が増加するなど、未測定の数値も推測できる。

3. Linear Inverse Modelを応用した相模湾深海底の炭素フラックスの見積もり

私たちは、個別の炭素の流れを線形関数で表し、それらを行列の形で統合して、これまで得られた観測値から計算して行列を解く、Linear Inverse Modelの手法を用いて相模湾深海底の堆積物表層5cmにおける炭素循環を推定しました。

モデルの結果から、海洋表層の一次生産量の季節変化により引き起こされる沈降有機物の季節的変動が、深海底に生息する生物間の炭素の流れを制約し、生態系内の被食捕食関係にも影響を与えていることが示唆されます。また、Linear Inverse Modelを用いることで、今後解明すべき重要な炭素フラックスを推察することができます(図7)。

4. 簡便な酸素イメージング装置の実用化

研究成果を社会還元する点にも注力しています。近年、光を使って酸素濃度を測定する方法が登場しましたが、一般に高価で、誰にでも使えるものではありませんでした。そこで市販のデジタル一眼レフカメラを使った、安価で簡便な酸素濃度イメージングシステムを開発しました(図8(上))。

神奈川県横須賀市の平潟湾の潮間帯において、本装置を用い堆積物-水境界断面の酸素濃度分布を可視化しました(図8(下))。平潟湾の堆積物は有機物に富んだ泥質ですが、堆積物内部にはゴカイや二枚貝などのベントスが見られます。このため、水中からの拡散によって堆積物内にもたらされる酸素は、わずか3mmで好気分解によって消費されつくされてしまいますが、ベントスの活動によって、拡散では到達しない、3mmよりも深い所まで酸素が供給されることが分かります。

今後装置の扱いやすさの検討、コストダウン、温度補正などを適用したより高い精度の達成などの改良によって実用化することで、安価で簡便な二次元酸素イメージングがさまざまな分野で普及することが期待できます。

5. サンゴの窒素同位体比を用いた環境解析法

炭酸カルシウムでできたサンゴ骨格中には極微量の窒素が含まれています。当研究プログラムによって近年開発された微量安定同位体質量分析計を応用し、サンゴ骨格中の窒素に安定同位体比($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比)として記録されている窒素サイクルの情報を、高時間解像度で解析する研究を北海道大学と共同で行いました。研究に用いた試料は、沖ノ鳥島で採取された2002年から2006年の間に成長したサンゴ骨格です。わずか0.8mm間隔(1ヶ月に対応)で採取された試料中に含まれる窒素の安定同位体比は、台風により亜表層からの硝酸の供給を反映し、断続的に重い窒素同位体比をもつとともに、それ以外の時期では窒素固定が卓越することが示されました。今後、さらに過去の試料を分析することにより、台風通過の指標として用いることができると考えられます。この結果は、北海道大学と共同でプレスリリースされました。

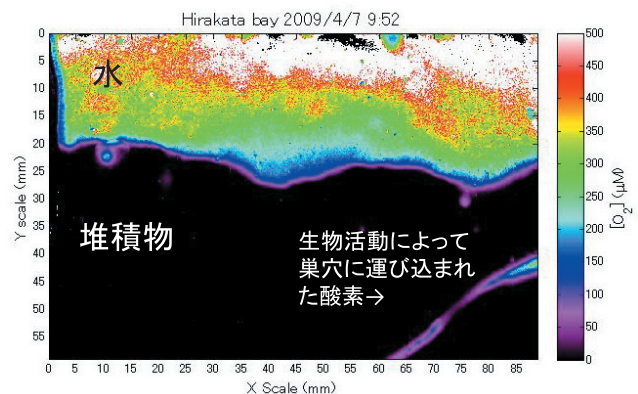


図8. (上) 酸素イメージング装置 (下) 平潟湾干潟における酸素濃度分布画像。表面3mmで酸素が枯渇しているが、生物の巣穴にそってより深いところにまで酸素が供給されている。

平成23年度の主な成果

地震津波・防災研究プロジェクト

概要

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、これまで想定していた宮城県沖地震、三陸沖地震といった個別の地震が連動して起こり、約200km×500kmの広範囲の震源域が破壊され、日本では最大級のM9地震、及び最大遡上高40mにも及ぶ大津波が発生し、多数の尊い命と財産が失われたことは記憶に新しいです。

一方、南海トラフでもこれまでにおよそ100年から200年の時間間隔で東海、東南海ならびに南海地震が複雑な多様性を持って連動しながら発生しており、巨大地震の再来が危惧されています。想定を超える巨大地震と大津波に対して如何に備えるかは、日本の最重要課題の一つです。以下に、地震津波・防災研究プロジェクトが現在実施している各研究プロジェクトの本年度の成果を中心にご紹介いたします。

地震・津波観測監視システム (DONET) の構築

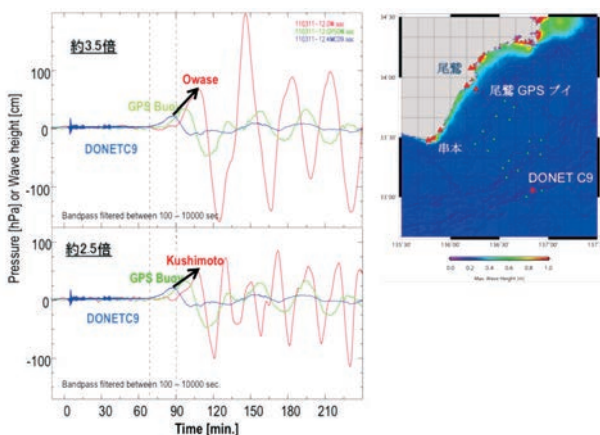
南海トラフの地震、津波を常時観測監視するため、文部科学省の受託研究として2006年より研究開発を進めてきた熊野灘沖東南海地震の震源域における地震・津波観測監視システム (DONET) は、2011年7月に20基の観測点全てが基幹ケーブルにつながれ、システムの完成を見ました。各観測点には強震計、広帯域地震計、水晶水圧計、微差圧計、ハイドロフォンならびに精密温度計が設置され、地殻変動のようなゆっくりし

た動きから大きな地振動まであらゆるタイプの海底の動きを確実に捉えられるようになりました。東北地方太平洋沖地震の際は、遠く離れた場所で発生した津波が紀伊半島沿岸部にまで到達し、その第一波は半島の各地で観測されました。DONETの東南部の観測点C9の水圧計では、尾鷲検潮所の記録(波高約70cm)より20分も前に、波高約20cmを検知することができました。その時の串本検潮所の波高記録は約50cmでした。単純には沖合のDONETの観測値と各検潮所との比較から津波の増幅率を求めることにより、各地に迅速な津波警報を出すことができるものと期待されています(図1)。

DONETで観測された地震と津波のデータは、尾鷲市古江町に設置された陸上局から専用回線でJAMSTEC横浜研究所に送られ、地震メカニズム決定や津波の波動伝搬計算などに利用されるほか、気象庁や独立行政法人防災科学技術研究所にもリアルタイムで送られ、緊急地震速報等にも利用される予定です。

2010年度からは、新たに潮岬沖から室戸岬沖の南海地震震源域で地震・津波観測監視システム (DONET2) の整備を開始しました。本年度は約30点の観測点の位置と基幹ケーブルルート及び陸上局を選定するとともに、設置海域の漁業従事者との各種調整を進めています(図2)。

両システムが完成すれば、南海トラフで発生する巨大地震とそれに伴う津波の早期検知に貢献するものと期待されています。



沿岸での津波波高 = 増幅率 × DONETデータ

図1. 津波到達時間差と波高データの比較

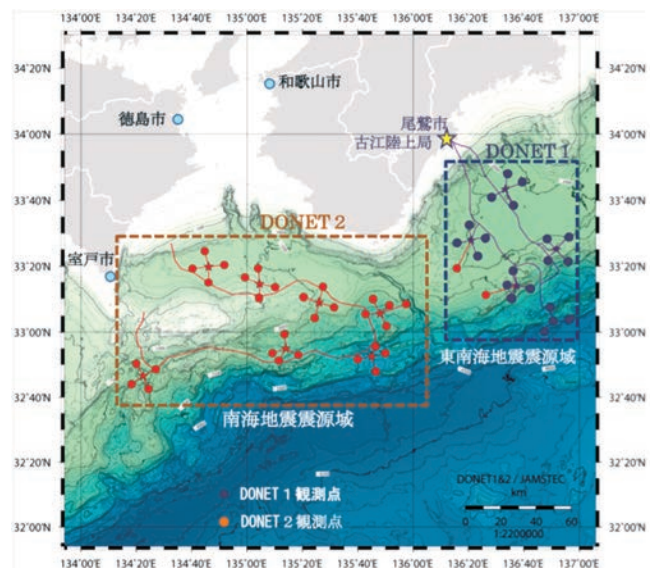


図2. DONET1 および2の観測点配置図

南海トラフ巨大地震の連動性評価研究

南海トラフで繰り返し発生する巨大地震の中には、東海、東南海、南海地震が連動して発生する可能性が指摘されています。どのような場合に相互が連動してより巨大化するのかわらかにするため、2008年度より大学や研究機関とともに文部科学省からの受託研究として本研究を実施しています。

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

今までに取得された観測データを解析した結果、日向灘域のプレート形状モデル（図3）、陸上観測点の記録を利用した海陸境界深部構造を推定することができました。この成果により、1946年の南海地震の西縁にあたる豊後水道の東と西で深部低周波微動の発生領域が異なり、西側では島弧モホとプレート上面接合部が、また東側はやや浅いプレート境界が微動発生領域であることが明らかとなりました。

東北地方太平洋沖地震では、沈み込み帯浅部の海溝軸のごく近傍（海底面）まで地震性すべりが生じたと考えられ

ています。そこで南海トラフについても、昨年度作成した地震発生サイクルのシミュレーションモデルに基づき、地震性すべりがトラフ軸近傍にまで広がる場合を含めた地震サイクルの起こり方を検討しました。その結果、トラフ軸近傍まで大きなすべりが発生する場合（図4の上）と、その手前ですべりが止まる場合（図4の下）とが370年以上の間隔の中で交互に繰り返す様子が見られました。これは巨大地震による津波が数百年に一度繰り返すといった過去の記録と整合しています。

また、この連動性評価研究では大学や研究機関とともに、国や地方の行政、ライフライン企業等が参加する地域研究会を高知、大阪、名古屋、三重などで開催し、研究成果を地方の防災・減災施策の立案に役立てる活動を進めています。

ひずみ集中帯の重点的調査・観測研究

東北日本の日本海側では、2007年の新潟県中越沖地震等大きな被害を伴う地震がしばしば発生し、「ひずみ集中帯」呼ばれる地域が存在しています。JAMSTECでは2009年度より文部科学省からの受託研究として、このひずみ集中帯において、活断層および活褶曲等の活構造の全体像を明らかにするため、反射法地震探査と海底地震計を用いた構造

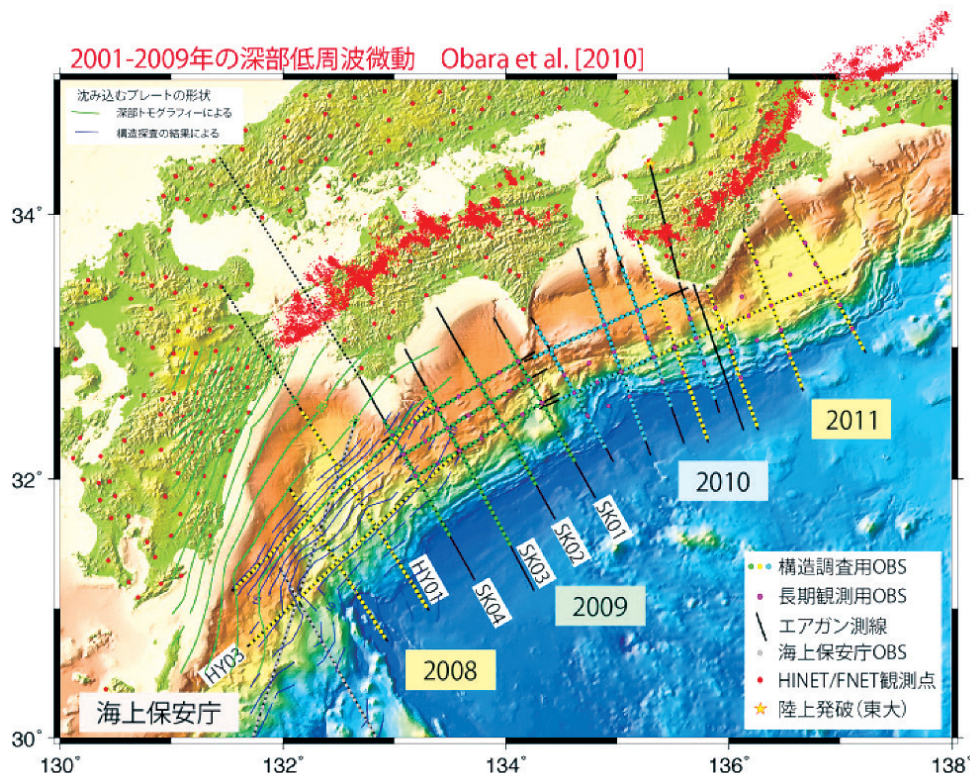


図3. 調査観測側線図。黒線は地震探査、赤丸は長期自然地震観測用海底地震計、それ以外の色付き丸は構造探査用海底地震計の位置。

探査を実施しています。その観測データをもとに震源断層モデルを構築し、地震の規模の予測や発生時期の評価、強振動評価の高度化を目指しています。

本年度の調査海域の北側は、1983年に日本海沿岸部に大きな被害を与えた日本海中部地震（M7.7）の震源域に位置し、南側は近年大地震の発生の報告がない地震空白域に当たります。まだデータ解析中ですが、日本海中部地震余震域には東傾斜の逆断層を伴った背斜が発達し、男鹿半島周辺の大隆起では主に西傾斜の逆断層を伴った背斜の発達が認められ、日本海盆はモホ面が大和盆地より顕著にイメージされました。

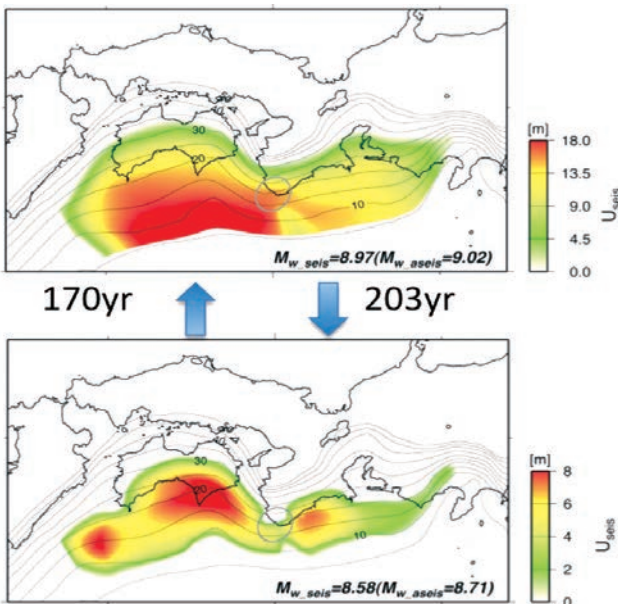


図4. シミュレーション研究で得られた地震時のすべり分布図

「京」コンピュータによる地震・津波予測の高精度化の研究

2011年度より文部科学省補助事業「HPCI 戦略プログラム」において、「京」コンピュータを用いた防災・減災に資する地球変動予測研究が開始されました。この研究では、東京大学や東北大学等と協力しながら地震発生予測の高度化研究、津波警報の高精度化研究、都市における地震等自然災害に関するシミュレーション研究等を進めます。

「京」コンピュータの本格的稼働は2012年11月ですが、現在地球シミュレータで研究開発が進められている強振動シミュレーションモデルの分解能を数倍に高め、周波数5Hz以上の短周期地震動を含む広帯域の地震動評価を行うべく準備が進められています。津波予測では、地震発生と同時に

DONETからの地震・津波観測データを用いて津波評価を行うことにより、津波予測精度の格段の向上が期待されます。さらに、地震動で生じた液化化の後に津波が漂流物とともに遡上して建物を破壊するといった複合的な災害の予測や、複合災害時の避難誘導のためのシミュレーション研究も進められています。

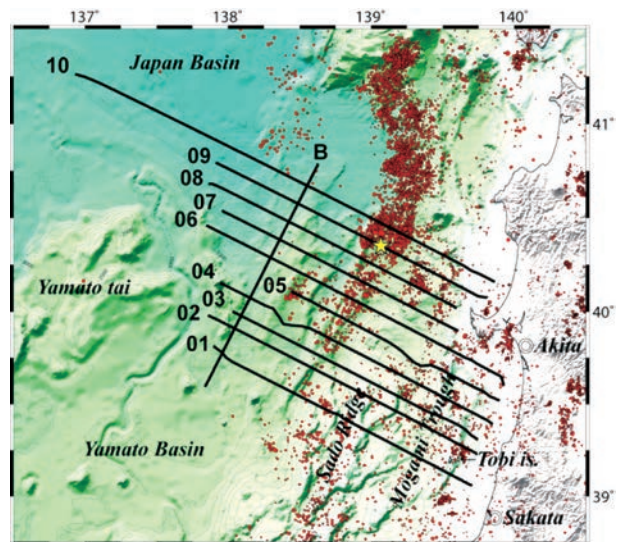


図5. 調査海域図。黒線が地震探査測線、赤丸が気象庁一元化震源（2000～2011年）、星印が日本海中部地震の震源。

長期孔内計測技術開発

2010年にIODPの南海トラフ地震発生帯掘削航海で地球深部探査船「ちきゅう」が掘削した孔井（水深1,938m、海底下約750～940mの深度）に地震計、傾斜計、ひずみ計、温度計等のセンサーパッケージを投入し、長期間にわたり海底下の様々なデータを取得するものです。当面は海底にデータレコーダを設置し、オフラインでデータを収録しますが、2012年度に予定されている航海で孔内計測機器がDONETネットワークに接続されると、海底および海底下総合リアルタイム観測監視が可能となり、地震発生予測のより高精度化が期待されます。

平成23年度の主な成果

IPCC 貢献地球環境予測プロジェクト

概要

IPCC 貢献地球環境予測プロジェクトは、文部科学省の委託研究「21世紀気候変動予測革新プログラム」、HPCI戦略プログラム分野3:防災減災に資する地球変動予測、および環境省の委託研究「地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究」の一部を実施しており、温暖化予測モデルの高度化、予測不確実性の低減、自然災害に関する影響評価や防災・減災などについての研究を行い、想定されるIPCC第5次評価報告書への寄与と、気候変動対応の政策へ科学的基礎を提供することを目的としています。以下、本プロジェクトの研究内容・成果の中の2点をご紹介します。

新地球システム統合モデルによるシナリオ予測実験

100年を超える環境変化予測を行うために新しい地球システム統合モデル(MIROC-ESM)を開発しました。新ESMは、図1のような濃度シナリオを与えれば、気候の変動と同時に陸域植生の種類の変化を含む生態系の変動を予測し、炭素循環の変動やオゾンホールに関与する諸物質の変動も予測するものです。この新ESMは20世紀に観測された気候変動の特徴をうまく再現しています。この新モデルを用いて地球環境に関する将来シナリオに沿った予測実験を行いました。将来シナリオには図1に示したようなRCP2.6、4.5、6.0、8.5があり、将来の二酸化炭素の大気中濃度変化を与えます。

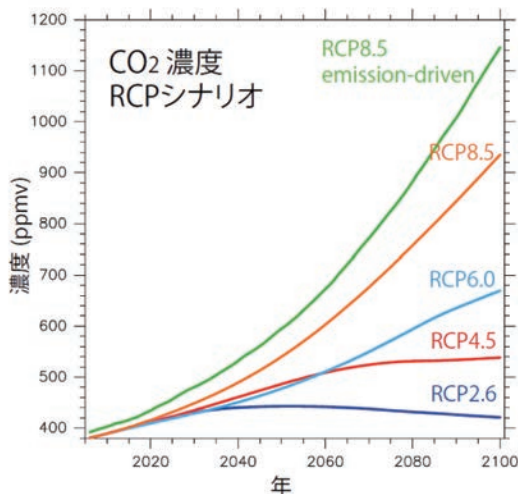


図1. 実験に用いた4つの二酸化炭素濃度シナリオと、RCP8.5の排出量シナリオを元に新ESMで予測した二酸化炭素濃度の時間変化。

図2はこれらの濃度シナリオを用いた実験から得られた一つの結果を示しています。これは、用いた濃度シナリオを将来実現させようとしたとき、将来の化石燃料起源の二酸化炭素排出量をどのように制御しなければならないかを示すものです。RCP2.6を実現させようとする、2040年代には化石燃料起源の二酸化炭素排出量をほぼゼロにしなければなりません。RCP4.5(2100年の二酸化炭素濃度が約550ppmv)の場合でも21世紀後半における二酸化炭素排出量は現在の35%程度でなければなりません。

今回のRCPシナリオは土地利用の変化も考慮しています。RCP2.6では樹林から耕作地への転換を行い、トウモロコシなどから作るエタノールの生産を増やし、化石燃料の使用を減らすことを想定していますが、このような土地利用変化は炭素循環に無視できない影響を与えることも明らかになりました。

新モデルは温暖化時の成層圏循環の変化、対流圏・成層圏のオゾン量の変化も予測しており、成層圏のオゾンホールに関しては今世紀半ばにはほぼ回復するという予測になっております。オゾン層の回復と同時に地上に届く紫外線量は減少すると考えられていましたが、人為起源のエアロゾルが今後減少する効果も併せて考慮すると、日本付近では10%程度増加することが分かりました。

RCP4.5シナリオについては2300年までの長期予測実験を行いました。このシナリオでは大気中のCO₂濃度などの温室効果気体濃度は2100年以降ほぼ一定となることを想定していますが、全球平均地上気温(海面水温)は21世紀中に約2.5℃の、そしてその後200年間に0.4℃の上昇、全球平

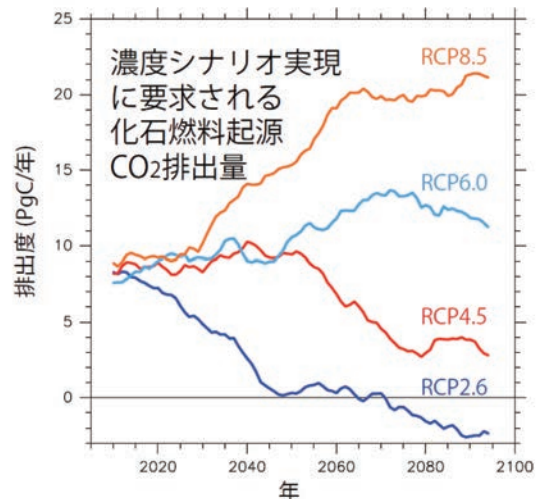


図2. 濃度シナリオを実現させるために要求される化石燃料起源二酸化炭素排出量を、予測実験データより求めたもの。

均海面水位に及ぼす海水温上昇寄与分は 2000 年以降の 300 年間に約 66cm の上昇、となる予測結果を得ました。

新モデルは陸域生態系の変化を予測していますが、それによれば 2300 年頃までに、特に変化の顕著なシベリア域においてはカラマツなどの針葉樹林は衰退し、代わってエゾマツ、トドマツなどの常緑樹林が広がることを予想しています。

その他の諸解析は継続して行っております。

近未来気候変動予測研究の成果

上では 100 年を超える長期予測研究を紹介しましたが、今後 30 年程度先までをより詳細に予測しようという研究にも取り組んでいます。このために気候変動を予測する大気海洋結合モデル (MIROC) を元に近未来気候変動予測のためのデータ同化・予測システムを開発しました。これにより、目先の数十年間、どのような気候状態を経て温暖化が進行していくのか、また、温暖化する状況下で地域的にはどのように気候状態が発生するのかを理解することを目指し研究に取り組んでいます。

これまでに行った当システムによる諸実験から、太平洋で顕著に見られる十年規模気候変動 (PDO: Pacific Decadal Oscillation、図 3 参照) には予測可能性があることが分かりました。これ以外の 10 年規模の気候変動現象についても同様に予測可能性を見出すことができました。実用的な利用にはまだまだ問題があるものの、長期的な気候変動予測の実用の可能性が高まりました。

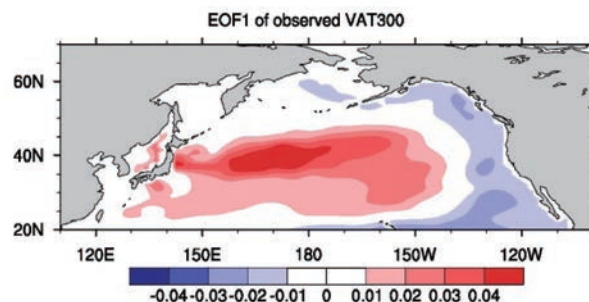


図 3. PDO の空間パターン。

近未来気候予測実験は、気候モデル相互比較プロジェクト (CMIP5: Climate Model Intercomparison Project Phase 5) の下で、国内外の研究機関によって実施されています。各機関からの実験結果が徐々に整備されつつあり、現在、プロジェクトは佳境に入っています。図 4 に、英国のハドレーセンターと気象研究所との結果を比較した一例を示します。2010 年 7 月から 2020 年までの期間で初期値を選んで予測を行ったものです。近年は温暖化が弱まる様相を呈しましたが、これから 10 年先は、再び温暖化傾向が強まるとの予測結果となっています。地域的には、高緯度域、陸上、そして北太平洋の中央部で大きな気温上昇が、各機関に共通して確認できます。

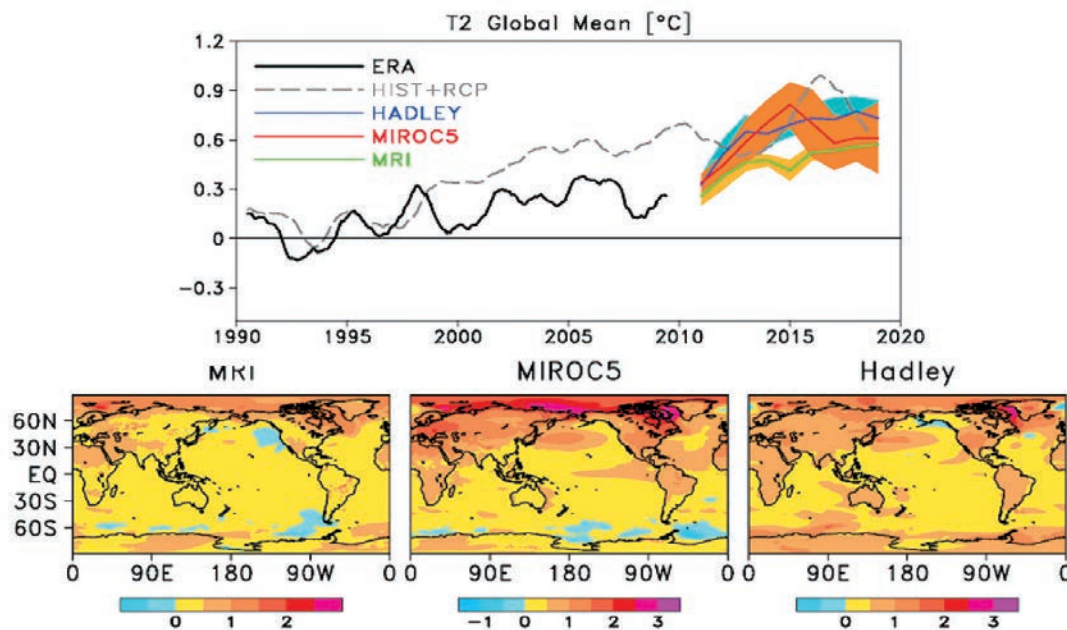


図 4. ハドレーセンター (Hadley)、気象研究所 (MRI)、および当システム (MIROC5) による将来予測実験の結果。2011 年 1 月 1 日以前の初期時刻から 2020 年末まで、それぞれ複数の予測実験を実施した。上図は、全球平均地表面気温偏差 (°C) の時系列で、黒が観測、破線は従来方式による温暖化予測実験結果。下図は、予測開始 1 ~ 5 年目の気温偏差

平成23年度の主な成果

海底資源研究プロジェクト

概要

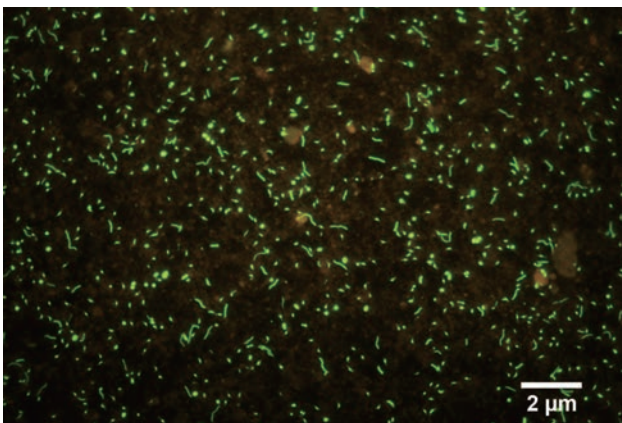
「海底資源研究プロジェクト」は、リーディングプロジェクトの1つとして、2011年4月1日に新しく設置されました。

近年、資源問題への関心の高まりから、深海底に存在する様々な資源が大いに注目されています。日本は狭い国土ながら、世界第6位の広大な排他的経済水域（EEZ）を持っており、このEEZ内に眠る海底資源を利活用することは、日本の経済成長を支えるのみならず、人類の持続可能な発展のために非常に重要です。

海底資源研究プロジェクトでは、海底資源研究の推進に必要な調査を計画・実施するとともに、海底資源科学に関する最先端の研究を行っています。巨大な鉱物資源として有望視されている海底熱水鉱床の存在様式と規模、コバルトリッチ・鉄マンガンクラストの成因の解明、海底下の炭化水素資源の生成メカニズムと炭素循環システムの地球生命工学的研究、海底下のメタン生成システムの解明などを推進します。JAMSTECがこれまで培ってきた豊富な経験と技術を活かした調査・研究を行うことにより、将来、我が国が海底資源を利活用するために必要不可欠な知見が得られることが期待されます。

海底資源研究プロジェクトは、4つの研究グループと2つの支援グループから構成されています。各研究グループでは、個々の研究員の専門性を最大限に活かして、それぞれの研究目標に向かって最先端の研究を行います。2つの支援グループ（調査研究推進グループ・調査研究企画調整グループ）は、海底資源調査の計画立案と実施、JAMSTEC内外との連携・調整業務を行い、研究グループと一体となってプロジェクト全体を推進します。また、本プロジェクトは海洋工学センターと密接に連携し、無人探査機などを積極的に活用して、技術開発を含めた調査・研究を効率的に実施していきます。

2011年度の成果トピックスとして、各研究グループの研究成果を以下にご紹介します。



地球生命工学研究グループ

地球生命工学研究グループでは、海底堆積物内におけるメタンハイドレートを含む天然ガスや石炭などの炭化水素資源環境の包括的理解、および同資源環境場を活用した持続的な炭素循環システムの構築を目指した研究に着手しました。

まず、日本学術振興会による最先端研究基盤事業「海底下実環境ラボの整備による地球科学-生命科学融合研究の強化（地球深部探査船「ちきゅう」を活用）」の一環として、統合国際深海掘削計画（IODP）との連携による下北八戸沖石炭層生命圏掘削調査（IODP Expedition 337）の実施準備をほぼ完了しました。本航海は、2011年3月15日から約2ヶ月間の実施予定でしたが、3月11日の東日本大震災の影響により一旦延期し、2012年7月に実施する予定です。

その間、高知コア研究所に超高空間分解能二次イオン質量分析計（NanoSIMS）や単一細胞レベルのゲノム分析などを可能にするシングル分析ラボを無塵クリーンルーム内に設置し、さらに海底堆積物の物理化学的条件を再現し、実環境下における二酸化炭素貯留隔離を介した持続的炭素循環系を構築するためのジオバイオリクターシステムの設計・構築を進め、「ちきゅう」で使用可能な新規保圧掘削システムを開発するなど、海底資源に関する地球生命工学的研究の基盤を築きました。

さらに、2006年に「ちきゅう」により掘削されたメタンハイドレートを含む約46万年前の堆積物に生息する微生物の基質同化活性をNanoSIMSによって評価し、海底下深部の微生物細胞が生理学的に“生きている”状態であることを突き止めました（図1、2011年10月11日付プレス発表）。

2012年度以降は、下北沖石炭層生命圏をはじめ、南海トラフや種子島沖の泥火山、上越沖の海底面に露出したメタンハイドレートなどの日本近海の海底炭化水素資源を研究対象に、同環境の包括的理解と持続的な炭素循環システムの構築にむけた実働的な地球生命工学研究を展開します。

図1. 「ちきゅう」によって下北半島八戸沖の海底下219mから採取されたコア試料中に生息する微生物細胞の蛍光顕微鏡画像。これらの微生物群集の代謝活動は、海底下の炭化水素循環プロセスに重要な役割を果たしている可能性があり、生命活動を利用した地球生命工学的な研究によって新しいグリーンイノベーションの創出が期待される。

海底熱水システム研究グループ

IODP の枠組みの下、2010 年 9 月に行われた「ちきゅう」を用いた研究の成果によって、沖縄トラフ伊平屋北熱水フィールドの海底下には世界最大の「海底熱水湖」が存在し、巨大な黒鉱型熱水鉱床が眠っている可能性が示されました。つまり、沖縄トラフの深海熱水域には、世界最大級の熱水鉱床が胚胎している可能性が明らかとなったわけです。そこで、本研究グループでは、マルチプル調査プラットフォームと地球生物学的熱水センシングを組み合わせた次世代探査によって、沖縄の深海に超巨大海底熱水鉱床を探査し、海底下の熱水循環システムの駆動力と海底下生態系との関わりの理解、日本の海に眠る資源の開発基盤の創造、を目指しています。

「ちきゅう」による掘削調査によって得られた海底下試料を用いて、海底下生命圏の存在限界の解明や黒鉱型熱水鉱床の成因メカニズムに関する研究が進められているところですが、一方で「ちきゅう」による掘削後に設置された世界初の人工熱水孔の掘削後調査が行われました。2つの完全人工熱水孔、2つの裸孔において、掘削後 1 年間にわたる安定した海底下熱水の噴出が観察されました（図 2）。気液二相分離と海底下熱水溜まりにおける密度成層に伴う塩水に富んだ海底下熱水の採取を目指しましたが、現在までのところそれを裏付ける結果は得られていません。しかし、1 年にわたる人工熱水孔の観察によって、海底下熱水溜まりから直接噴出する人工熱水孔におけるチムニー形成の速度や鉱物組成が、自然熱水孔と大きく異なることが明らかになりました。この成果は、深海熱水活動域を掘削することによって初めて得られた結果であり、この新しい発見は、海底下の熱水循環システムの駆動力と海底下生態系との関わりの理解、日本の海に眠る資源の開発基盤の創造、において極めて重要な意味を持つ成果と言えます。

資源地球化学研究グループ

メタンハイドレートをはじめ、地球上に分布する天然資源メタンの多くは、もともと微生物によって生み出されたものです。しかし、海底下あるいは地中のどの深さで、どのくらいのスピードでメタンが生成されているのかについては、ほとんど知られていません。したがって、微生物によるメタン生成をコントロールしている環境要因についても明らかにされていません。このような現状は、そういった場所での現場培養実験やモニタリングが技術的に極めて難しいことを反映しています。

本研究グループは、この問題に新しい化学的手法を開発して切り込むことを目指しています。つまり、メタンが微生物の細胞内で生成される際に働く「F430」と呼ばれる補酵素を定量し、メタン生成の潜在能力を推定するやり方です。海底を掘削して得られる堆積物柱状試料中に含まれる F430 の濃度はメタン生成の潜在能力を示し、その炭素や窒素同位体比は、メタンを生成する微生物がどのような炭素源や窒素源を用いているかなどメタン菌の代謝について教えてくれるはず（図 3）。

2011 年度は、堆積物中から F430 を抽出する方法論の開発をはじめ、分離法、定量法などについて研究を進めました。その結果、蟻酸と MOPS を用いた抽出法、イオン交換樹脂を用いた分離法、高速液体クロマトグラフィー／コロナ CAD 検出器を用いた定量法が最良の方法論であると結論づけました。

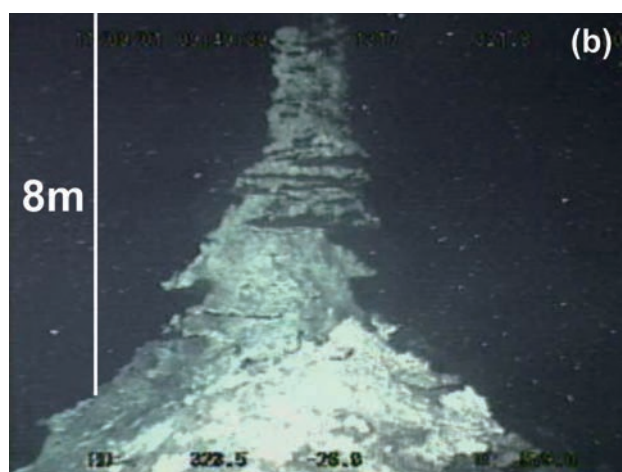


図 2. 沖縄伊平屋北フィールドで掘削した人工熱水孔の写真。(a) 掘削前と (b) 掘削から約 11 カ月の経過後、成長したチムニーの様子。

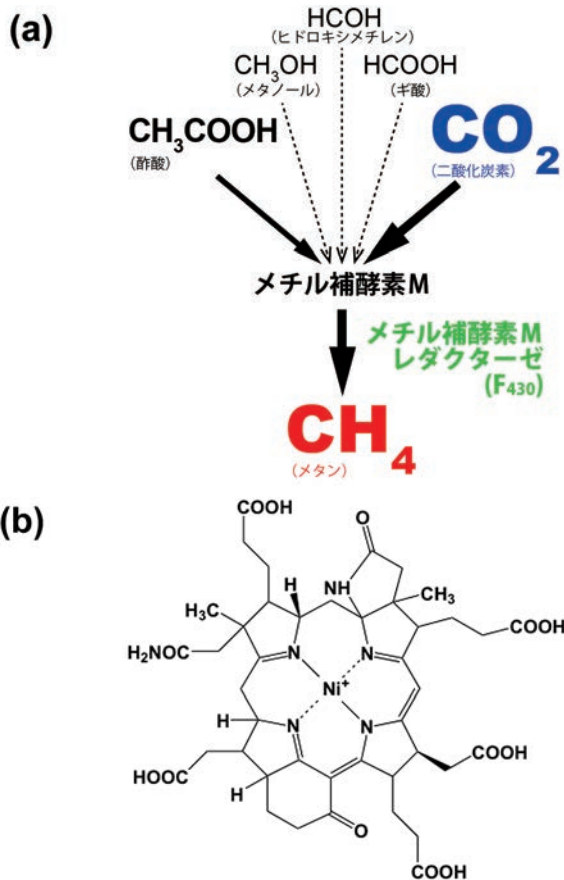


図3. (a) 微生物によるメタン生成の元となる主な物質。代謝経路の最後でメタンを生成する際に必ず補酵素F430が使われます。(b) 補酵素F430の構造式。

資源成因研究グループ

資源成因研究グループでは、海底資源の生成メカニズムを明らかにすべく、コバルトリッチ鉄マンガンクラスト、別子型硫化物鉱床などの化学組成・同位体組成分析、化学状態分析を行ってきました。

別子型鉱床は、ニッケル、銅などの有用金属を多く含む硫化物鉱床であり、過去の海底海嶺火成活動によって形成されたと考えられています。それがプレート運動によって島弧に付加した鉱床であり、日本では九州から四国、近畿に至る三波川帯に広く分布しています。資源成因研究グループでは、東大と共同で、硫化物の年代を直接決めることが可能な Re (レニウム)–Os (オスmium) 同位体時計を用いて、三波川帯の別子型鉱床の年代を測定したところ、分析した 10 を超える鉱床のすべてで、ジュラ紀末期の約 1 億 5 千万年前という結果を得ました (図 4)。この時代は、火成活動が非常に盛んであった時期であり、それによって大気中の二酸化炭素濃度が高くなり、温暖化が進んだ時期です。硫化物は酸素の多い海水中では溶けやすいことを考え合わせると、別子型鉱床の形成は、この海洋環境の変化と深くリンクしていることが示唆されました。

マンガンクラストは、海底の露岩上に数千万年という長い時間をかけて、鉄マンガン酸化物が成長した化学堆積物です。レアアース、白金族元素に富み、有望な資源として古くから注目されてきました。資源成因研究グループでは、東大、高知大などとの共同で、拓洋第 5 海山から無人探査機 (ROV) によって採取した、世界で初めて採取地点の明らかなクラスト試料の化学分析値から、元素濃集度を明らかにしました。また、クラストの成長方向のオスmium同位体比分析を行い、クラストの成長速度を見積りしました。さらに、モリブデンなどの化学状態分析を放射光実験施設で行い、元素吸着メカニズムを明らかにしつつあります。今後、これらの結果と、最近話題になっているレアアースに富んだ海底堆積物とを比較検討し、海底での化学反応による金属元素濃集機構の総合的な理解が必須になってくると考えられます。

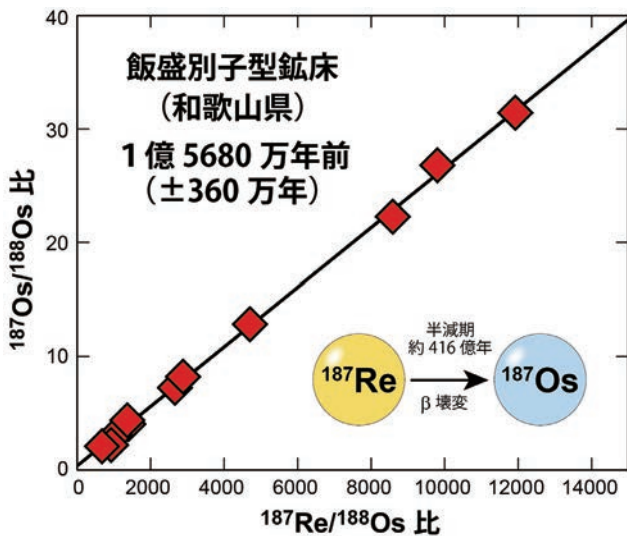


図4. Re-Os同位体を用いた和歌山県飯盛鉱床の年代決定例 (Nozaki et al. 2010)。放射性核種 ^{187}Re は β 壊変して ^{187}Os になります。Re-Os年代決定法ではこれらの元素を質量分析計で測定し、安定同位体 ^{188}Os とこれらの比を取る。Re、Osは鉄・マンガン酸化鉱物、硫化物、有機物に濃集する性質があるため、コバルトリッチ鉄マンガンクラスト、硫化物鉱床、黑色頁岩、石油などの年代を直接的に決定することが可能である。

平成23年度の主な成果

システム地球ラボ：プレカンブリアンエコシステムラボユニット

研究概要

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

太古代の二酸化炭素フラックスの解明

現世の地球の炭素循環を支配する最も大きな要素は火山活動による CO_2 の大気海洋への放出、河川から海洋への流入、堆積性炭酸塩岩の沈殿です。一方太古代の地球には大陸はほとんどなく、現在のような堆積性炭酸塩岩はほとんど形成されていませんでした。この場合、初期地球においては海底火山活動によって大気海洋に CO_2 が放出され増加し続けたと考えられますが、理論的研究や様々な地質記録からは地球形成後から大気海洋の CO_2 の量は徐々に減少してきたことが明らかになっており、プレカンブリアンエコシステムラボでは、そのシンクが熱水活動による海洋地殻の炭酸塩化作用であることを予測していました。しかし、それを証明するためにはその定量的なフラックスを見積もる必要がありました。

そこで、本研究では地質記録に基づき太古代の海洋地殻を詳細に調査しました。西オーストラリアの荒野には約 32 億年前の海洋地殻の断面が数キロメートルにわたって露出しています。我々は、この地域を詳細に地質調査し、当時の海洋底玄武岩の化学分析を行い当時の海洋地殻にどれだけの CO_2 が固定されているかを見積もりました。

その結果、32 億年前の海洋地殻には海底熱水循環により大量の CO_2 が炭酸塩鉱物として固定されており、その量は現在の海洋地殻の約 30 倍であることが明らかになりました。また、炭酸塩鉱物の炭素同位体比から CO_2 の起源が海水中に溶けていた CO_2 であることもわかりました。このことから初期地球のまだ大陸のない時代では海洋地殻が大気海洋の CO_2 のシンクになっていたと考えられます。さらに、マントルの熱史から当時の海洋地殻拡大速度は現在の 3 倍であると予測されていることも考慮すると、海洋から海洋地殻への CO_2 フラックスは現在の 100 倍もあったと予測されます。また、沈み込み帯での炭酸塩鉱物の安定性を熱力学的に計算すると、熱水活動により海洋地殻に固定された CO_2 の約半分がマントルへと運ばれることがわかりました。このことから、太古代では熱水活動により大気海洋の CO_2 が海洋地殻に固定され、プレート運動によってマントルへと CO_2 が除去されていたと考えられます（図 1）。

実験から明らかになった「超高水素濃度を発生させた冥王代コマチアイト」

プレカンブリアンエコシステムラボでは約40億年前の最古の生態系誕生と繁栄は、現世の地球では地殻最深部や上部マントルにしか存在しないような超マフィック岩ではなく、当時の海洋地殻に豊富に分布していたであろう「コマチアイト」の水素発生により支えられたと予言し、実験的にも水素が発生することを確認しています。しかし、コマチアイトの組成は時代とともに変化する、時代とともに発生する水素の量も変化することが予測されます。本研究では特に水素発生に影響すると考えられるコマチアイト中のアルミナ (Al_2O_3) 量に注目して実験を行いました。地球上に分布するコマチアイトには Al_2O_3 量が5%から10%程度までばらつきがありますが、マントルの温度が徐々に低くなるとともにコマチアイトの Al_2O_3 量は時代とともに多くなっていきま

す。本研究では Al_2O_3 が5%と10%のコマチアイトを合成し、それぞれ 300°C 、500気圧でコマチアイトと人工海水を3ヶ月以上反応させ、発生した水素の濃度を測定しました。その結果、 Al_2O_3 に富むコマチアイトでは2mM程度の水素濃度である一方、 Al_2O_3 に乏しいコマチアイトでは22mMという非常に高い濃度の水素が発生することが明らかになりました。これは現在の海洋底にも見つからない非常に高い値です。

本研究成果は、冥王代・太古代ウルトラエッチキューブリンケージの正当性を証明するだけでなく、我々の共通祖先である水素に支えられた最古の生態系が、より古い時代のマントルが熱かった地球に誕生しやすかったことを示しています。

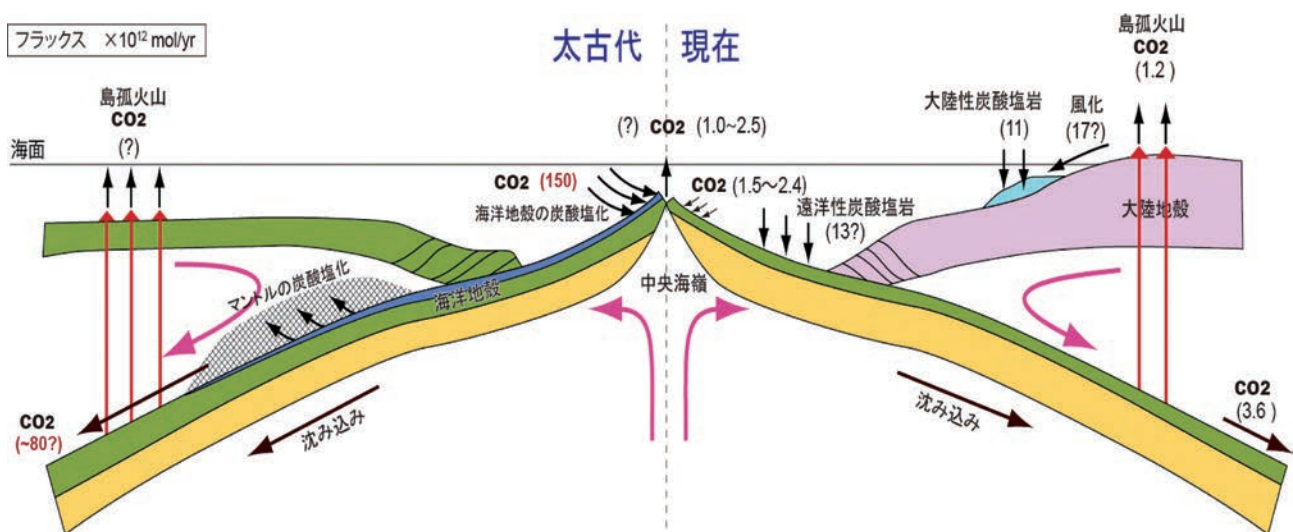


図1. 太古代と現在の CO_2 循環の概略図。太古代の CO_2 循環において熱水が極めて巨大な CO_2 シンクになっていることを明らかにした。

平成23年度の主な成果

システム地球ラボ：宇宙・地球表層・地球内部の相関モデリングラボユニット

概要

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

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

大規模太陽フレアの予測可能性を実証

太陽系最大の爆発である太陽フレアは高エネルギー粒子や X 線の放射を通して極域オゾン層の破壊や人工衛星の故障の原因となるため、地球環境と我々の社会基盤に多大な影響を与えます。我々は、これらの被害を最小化するためにその発生を事前に予測する研究を精密なシミュレーションと観測データの比較を通して行い、大規模フレアが発生する数時間前に特徴的な磁場構造が太陽表面に現れることを突き止めました。この事実は詳細な観測と精密な解析を通して大規模太陽フレアの予測が可能であることを初めて示すものとして世界的に注目を集めています。

銀河宇宙線の環境影響に関する新事実を発見

太陽黒点活動が地球環境の長期的な変動の一原因になっている可能性は古くから指摘されてきましたが、そのメカニズムは未だに謎のまま残されています。我々は太陽黒点活動に伴って変化する銀河宇宙線が雲核の生成を増強することにより気候変動を促すという仮説に基づいたシミュレーション研究を行っています。本年度は独自に開発した超水滴法シミュレーションを駆使して、雲と降水の平衡状態が雲核生成率にどのように依存するかを精密に調査しました。その結果、雲核生成率の変化によって、雲と降水のダイナミクスは2つの異なる状態を遷移することを見出しました。特に、雲核生成率が一定値を超えると雲量は増えるが降水量は減る状態が現れることが示唆されました。この新事実は銀河宇宙線のわずかな変化が大きな気候変動の原因となる可能性を示唆しているため、長期的な環境変動の理解にとって重要な発見であると言えます。

地球外核での新しい相転移と対流を発見

大型放射光施設 SPring-8 の高圧構造物性ビームラインを用いて地球外核の半ばの深さで外核の成分である FeO の結晶構造が新しい相転移を示すことを発見しました。この相転移は外核内の対流の障害となるため、地磁気を生み出すダイナモ作用に大きな影響を及ぼす可能性があります。特に、この相転移は外核内の対流が従来考えられていたような一層ではなく、二層対流となることを示唆しているため、地磁気の生成と変動のメカニズムを考える上で重要な発見として注目されています。この成果に関する論文は米国サイエンス誌に掲載されました。

また、地球シミュレータを用いた精密な地球ダイナモのシミュレーション研究を進め、エクマン数と呼ばれるパラメータが小さい程、微小な自転変動が大きな磁場変動を励起することを明らかにしました。さらに過去の地磁気変動を精密に探るため高精度磁場強度測定装置を整備し、中国で採取したペルム紀スーパークローンの岩石試料の古地磁気測定を開始しました。

火星マンツルの構造進化シミュレーション

マンツル対流に対する水の影響を評価するため、岩石の融解と物質分化、およびそれに伴う熱源の分配を組み込んだマンツル対流シミュレーションを開発し、火星の45億年史を再現する計算を実行しました。その結果、層構造が自発的に形成されるとともに深部は高温のまま保たれることが分かりました。また、水の効果で火成活動が顕著に長期化するため、火星探査と一致する結果を得ることができました。

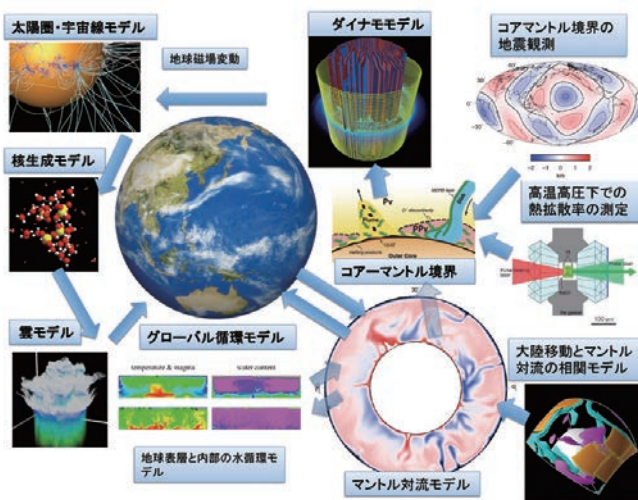


図1. 宇宙・地球表層・地球内部の相関モデリングラボユニットで取り組んでいる研究課題

平成23年度の主な成果

アプリケーションラボ (APL)

概要

アプリケーションラボは、大気海洋科学の基礎研究に基づく研究成果を社会に直接還元し、研究と社会との相互的啓発と持続的連携によってイノベーションを実現することを目的としています。現在は、1) 気候変動、海洋変動等の予測と応用情報の提供・検証、2) 全球雲解像モデルによる熱帯及び東アジア域での気象予測と応用情報の提供・検証、3) 対流圏オゾン拡散モデル等による大気化学変動予測と応用情報の提供・検証など、を行っています。上記 1) に関連して、これまでインド洋ダイポールモードやエルニーニョの予測研究で世界をリードしてきた実績を生かし、気候変動リスクに対して脆弱な環境にある発展途上国への社会応用を目指した JICA-JST 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム研究「気候変動予測とアフリカ南部における応用」を昨年度から開始しました (図 1)。本プロジェクトでは、地球シミュレータを使用した全球大気海洋結合モデルによる季節予測とその精度向上のための研究開発、および南アフリカの局所的な地域の気象現象を予測するための研究開発を行い、予測成果を地域の住民や農業関係者へ周知する早期警戒システムの基盤構築を目指しています。このプロジェクトによって、アプリケーションラボは競争的資金を導入して国際共同研究を展開し活動分野を広げるとともに、発展途上国との協力関係を構築しています。

2011年のラニーニャ再発達の予測

これまでの研究で、南アフリカの気象は熱帯太平洋で発生するエルニーニョおよびラニーニャの影響を受けるとことが知られていました。エルニーニョおよびラニーニャの予測に関しては、私たちは SINTEX-F 数値モデルを開発し世界の研究をリードしています。近年の成功例は 2011 年のラニーニャの再発達の予測が挙げられます (図 2)。2010 年の春から太平洋ではラニーニャの状態が続き、世界各国の気象予測センターは 2011 年の夏頃にはラニーニャが終息するだろうと予測していました。しかしながら、実際には私たちのモデルが予測したように、2011 年の夏ごろからラニーニャは再び活動を強め、現在もラニーニャの状態が続いています。このラニーニャ状態に伴って 2012 年 1 月現在ブラジルで豪雨が発生しており、河川の氾濫によって一万人余りが避難する事態になりました (図 3)。この豪雨についても SINTEX-F は予測に成功しており、社会に直接的に役立つ画期的な成果が得られています。また、SINTEX-F モデルは地球シミュレータを用いて駆動されていますが、計算機資源の乏しい発展途上国での使用を想定して計算機負荷が少ない数値モデルも開発しており (Tozuka et al. 2011)、2011 年 8 月に南アフリカ科学産業技術研究所に譲り渡され現地で使用されています。

南アフリカの気象は、アフリカ大陸周辺の南インド洋および南大西洋の海面水温の変動の影響も受ける可能性があります。そこで、これらの海域の海面水温変動に特徴的なパターンを最新の統計手法を用いて分析し、数値モデルを用いて現象の発生及び終息のメカニズムを調べると共に、南アフリカの降雨量への影響を評価しました (Kataoka et al. 2012; Morioka

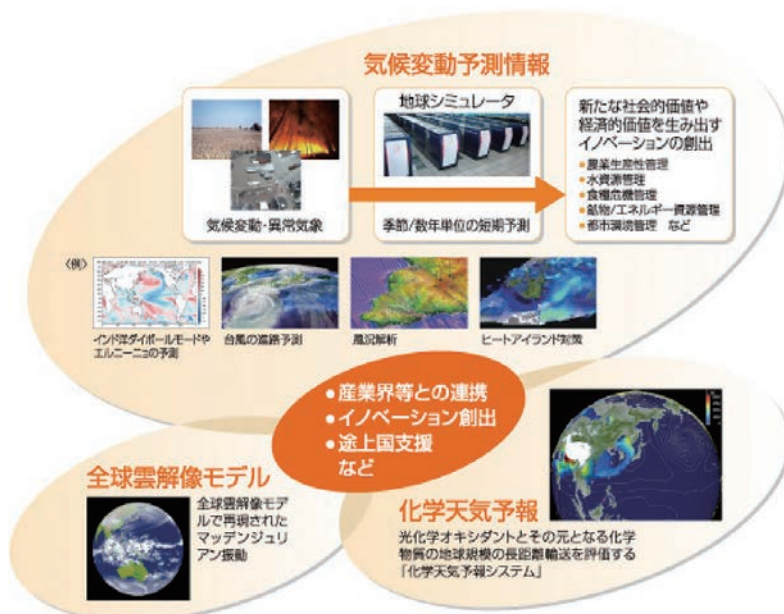


図 1. 気候予測データの様々な分野への応用可能性

et al. 2010, 2011, 2012; Richter et al. 2010)。これらのメカニズムの発見によって海面水温の変動が数値モデルで再現・予測され、南アフリカの気象予測の改善につながる事が期待されます。このような数千 km スケールの大規模な気候変動を調査する一方で、南アフリカの局所的な気象現象のメカニ

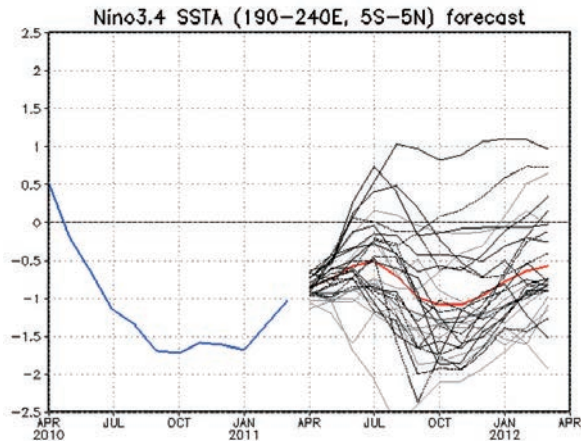


図2. SINTEX-Fによるラニーニャ予測の成功例。Nino 3.4 領域 (5S-5N; 120W-170W) における海面温度偏差。青線は2011年4月までの観測値、黒線は2011年4月から2012年3月までの予測結果、赤線は予測結果の平均値を示す。



図3. 洪水によって破壊された道路。数日間に及ぶ豪雨によってリオデジャネイロ北東のMuriae川が氾濫した。(2012年1月5日)

ムを調べ (Nakamura et al. 2011)、局所的な気象現象に特化した領域大気海洋結合モデルを開発し南アフリカの夏季の気温と降水量を再現することに成功しました (Ratnam et al. 2011)。これらの数値モデルを組み合わせ得られる予測結果は、現地の農業試験所や大学と連携しなから、地域の住民および農業関係者などに広く発信される予定です。

研究者の相互交流と人材育成支援

学術的な共同研究に加えて、研究者の相互交流や人材育成支援も行っています (図4)。2011年度には南アフリカの三つの大学および東京大学において二度のシンポジウムと二度のワークショップを開催し、日本側と南アフリカ側の研究成果を発表すると共に活発な議論を行いました。学生向けのレクチャーとしては、日本側の研究者が南アフリカの計5つの大学に合計で一ヶ月超滞在し、気候変動や最先端のシミュレーションなどについての集中講義を行いました。また、人材育成支援の一環として、南アフリカの学生や博士研究者が海洋研究開発機構に一ヶ月程度滞在し研修を行いました。その他にも、第17回気候変動枠組条約締約国会議 (COP17) への参加や南アフリカの他のプロジェクトの関係者との会議を通じて私たちの活動を広く紹介し、相互連携を試みています。これら南アフリカとの共同研究成果は、国内外への応用、適用が可能です。そこでJSTのご支援を受けてYOUTUBEやDIGINFO社のビデオ情報サービスを用いた世界発信も行っています。これらの成果を基盤に、更なる国際展開を進めていきたいと考えています。



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

平成23年度の主な成果

むつ研究所 (MIO)

概要

2000年10月に発足した「むつ研究所」は、海洋地球研究船「みらい」の母港として「みらい」の観測を支援する業務と「みらい」を利用した北太平洋時系列観測研究に関わる業務を主に実施してきました。2011年度は12月までに「みらい」の2度の出入港に関わるとともに、北太平洋時系列観測研究として2010年度の「みらい」MR10-06航海とMR11-02航海に続きMR11-03航海とMR11-05航海における観測に参加しました。また、2008年度までに取得されたデータについて再評価を実施し、「みらい」データサイトから各航海のSample Analysis Dataとして公表しました。

むつ研究所は下北半島の津軽海峡側に位置しています。津軽海峡の東口は津軽暖流系の水系が占めていますが、その一方で親潮系の影響も受けています。そのため各海流の勢力の変化や上流域（外洋域）における僅かな環境変化が海浜・沿岸域の生物に大きな影響を与えると考えられ、沿岸域の環境変化を捉えやすい場所とも言えます。その様な地理的な特徴を生かし、北太平洋時系列観測研究の一部として外洋域から沿岸域にかかる環境変化を捉える研究準備を行ってきました。2009年度に締結した北海道大学大学院水産科学研究院との連携協定に加え、2011年度は地方独立行政法人青森県産業技術センターと連携・協力に関する協定書を交わし（図1）、津軽海峡周辺域での研究活動を行う環境、地域と関わりを持った研究活動を行う活動基盤を整えました。

「みらい」の活動状況や最近得られた海洋研究の知見や成果の普及を目的として、むつ研究所一般公開、沿岸観察会（講演会と観察会）、各種シンポジウム、市民講座等に取り組みました。また、小中学校および高校での講義、インターシップの受け入れ等を行いました。

北太平洋時系列観測研究

北太平洋亜寒帯域の表層付近のカルサイト（方解石、炭酸カルシウム、 CaCO_3 ）の飽和深度（炭酸カルシウムが飽和“溶けない状態”から未飽和“溶ける状態”に変わる深度）に注目した解析を行いました。その結果、北太平洋亜寒帯域に在る2つの時系列観測点（東経155度、北緯44度及び東経160度、北緯47度）において、観測が始められた1998年以降、カルサイトの飽和深度が年に 2.7 ± 0.9 mの速さで急激に浅くなっていることが分かりました（図2）。

一般に炭酸カルシウムからなる生物が作るカルサイトおよびアラゴナイト（あられ石）は、二酸化炭素を過剰に加えた溶液中では溶けてしまいます。海洋深層では有機物の分解によって生じた二酸化炭素が加わることと炭酸カルシウムの溶解度積が圧力依存して大きくなるために炭酸カルシウムは溶ける状態（未飽和）にあります。一方、現在の大気に二酸化炭素分圧が近い海洋表層では炭酸カルシウムが溶けない状態（飽和）になっています。ここで、人間活動によって放出された二酸化炭素が海洋表層に溶け込んで海洋表層中の全二酸化炭素量が増加すると、表層付近の炭酸カルシウムは未飽和の方向に向かい、そのため炭酸カルシウムの飽和深度が浅い方向へ移動します。このことはモデルによる将来予測でも北太平洋亜寒帯域以外の海域での観測でも確認されています。

今回“飽和深度が年々浅くなる”ことが明らかになった北太平洋亜寒帯域は、冬期の表層の全炭酸（全二酸化炭素量）が比較的多いため、他の海域に比べ飽和深度はもともと浅い深度（200m付近）にあります。表層付近の全炭酸の増加がこのまま進み、観測結果から示された2.7m/年の速



図1. 地方独立行政法人青森県産業技術センターとの連携協定締結式（2011年7月12日、青森県庁会議室に於いて）

度で飽和深度が浅くなれば、炭酸カルシウムに対して未飽和の層の厚みは急激に小さくなります。つまり炭酸カルシウムが海水中に溶け出さない層が浅く限定されていくことを意味します。これは、亜表層に棲息して炭酸カルシウムの殻を形成する生物にとって、その殻を作り難くするなどの影響を与えることになります。なお、亜表層（等密度面 $26.9\sigma_\theta$ ）の pH は年々 0.005 ± 0.001 の速さで減少している（酸性化）していることが観測データから推定され、酸性化の生物に与える影響についても考慮する必要が明確になっています。

津軽海峡沿岸域観測研究

北太平洋時系列観測研究の新しい展開と外洋域で得られる環境変動の研究結果をより効果的に利用するために沿岸域の環境変動研究を計画しています。そのため、北海道大学大学院水産科学研究院、地方独立行政法人青森県産業技術センターと連携協定を結び、今後の研究に関する検討及び津軽海峡東口での海洋観測を四季に1回の頻度で実施してきています。環境変動は海浜の生物に大きな影響を与え、変化をもたらしている可能性があります。そこで津軽海峡に面した下北半島津軽海峡側のちぢり浜（青森県むつ市）において市民参加型の沿岸観測会を前年に引き続いて2011年7月2-3日に開催し、海藻・貝類の分布状況について調査を行いました（図3）。この調査データは整理中ですが、寒冷域、温暖域に棲息する種々の生物が見られることを示しました。なお、2011年沿岸観測会の一部は「日本海洋学会青い海助成事業」の助成を受けて行われました。

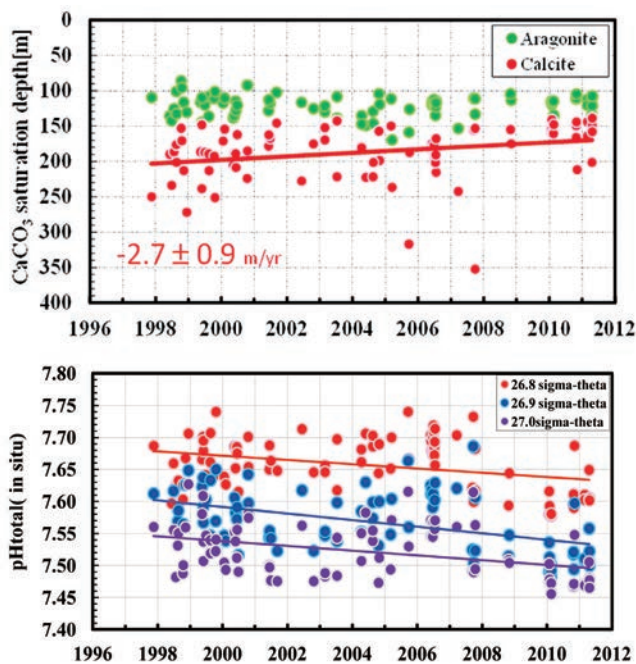


図2 北太平洋亜寒帯域時系列観測点（東経155度、北緯44度及び東経160度、北緯47度）で得た炭酸系データから計算された炭酸カルシウム（カルサイト（赤）とアラゴナイト（緑））の飽和深度の経年変化（上図）と等密度面 $26.9\sigma_\theta$ 付近の pH の経年変化（下図）



図3 下北半島ちぢり浜において2011年7月2-3日行われた沿岸観測会の様子

平成23年度の主な成果

高知コア研究所 (KOCHI)

「コア試料」研究の世界的拠点

高知コア研究所は、統合国際深海掘削計画 (IODP) の世界三大コア保管拠点の一つとしてコアキュレーション業務を行うとともに、コア試料の分析と研究、保管といったプロセスを通して掘削科学研究の中核的研究拠点として活動しています。

高知コア研究所では、日本近海からインド洋にかけての海域の約 93km にのぼる海洋コアを保管しています。さらに微生物分析のためマイナス 80℃以下でコア試料の凍結保管 (RMS) をしています。また、X 線 CT スキャナーで撮られた 3 次元解析画像データ (バーチャルコアライブラリー) を含めた海洋コアの情報をコンピュータで管理し、Web サイトで公開しています。

また、施設公開 (11月3日、来訪者 1,602 名) や学校への出前授業等を通して、地域の人々に研究成果を紹介し、科学に対する関心を高める機会を提供するとともに、連携大学院 (11月7日、広島大学で合同シンポジウムを開催) やコアスクールなどを通して将来の掘削科学研究を担う人材育成にも取り組んでいます。

6月6日には、室戸ジオパーク推進協議会と普及啓発の推進などを目的とした協力協定を締結し (写真 1)、室戸ジオパークの世界ジオパーク加盟認証 (9月17日) に寄与しました。また、10月7日の室戸ジオパークのビジターセンター (道の駅キラメッセ室戸「鯨館」内) のオープンにあわせ、室戸沖約

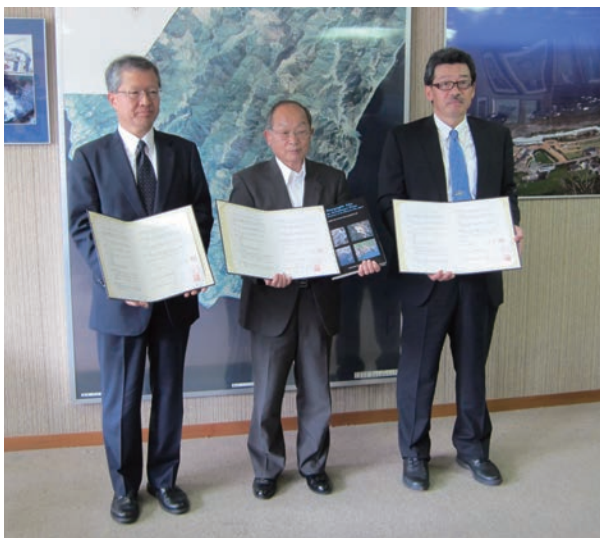


写真 1. 室戸ジオパークに関する包括的連携の調印 (中央: 室戸ジオパーク推進協議会会長 小松幹侍 室戸市長、右: 高知コア研究所 黒田芳史 所長)

140km の南海トラフで掘削されたコア 2 本を貸し出すとともに、その展示に協力しました。

地震の要因である断層潤滑効果を岩石摩擦実験で確認

— 大地震発生プロセスの解明へ前進 —

過去十数年間おこなってきた地震時の高速断層すべり運動を再現した岩石摩擦実験の結果を、断層面で消費される摩擦エネルギーという視点から体系的に解析し、地震時には、すべり面で発生する摩擦発熱によって活性化される物理化学反応によって断層潤滑現象 (断層の摩擦強度が劇的に低下する現象) が起こることを明らかにしました。

断層面に働く力 (地殻応力) を支えきれなくなった時に、断層はすべりはじめます。そのすべりとともに断層の摩擦強度が低下して、断層すべりは増幅され、地震が起こります。そのため、地震時に大きな強度低下をもたらす断層潤滑作用が実験によって確認されたことは、地震発生プロセスの解明につながる大きな一歩です。今後は室内実験で明らかとなった断層潤滑現象が実際の地震断層で起こっているのかについて、「南海トラフ地震発生帯掘削計画」をはじめとする深部地震断層掘削によって検証されることが期待されます。

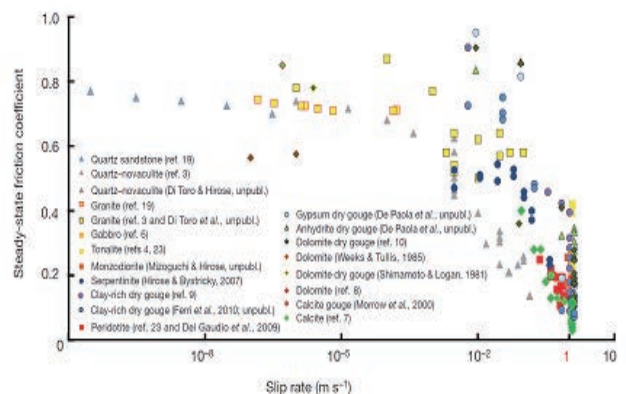


図 1. プレートの運動速度 (約 10-9 m/s、数 cm/year) から地震時のすべり速度 (数 m/s) における、模擬断層の摩擦係数のコンパイル。断層を構成する岩種が異なってもすべり速度が数 cm/s より速くなると、摩擦係数が 0.6 ~ 0.8 から 0.3 以下に減少する。このような高速すべり時における断層の摩擦抵抗の著しい減少 (地震断層潤滑現象) が、地震時に起こっていると考えられる。

地震断層運動時に発生する大量の水素ガス ～地震ガスを食べる地下生態系が存在!?!～

地震断層運動を実験室で再現し、地震時に断層面から発生する水素ガスの量と地震のマグニチュードの規模との間に強い相関関係があることがわかりました。この相関関係を用いて、地震時に発生する水素ガスの量を見積もったところ、マグニチュード 1 以下の小規模な地震でも大量の水素ガスが発生し、地震断層帯に生じる水素ガス濃度は水素ガスをエネルギー源とする化学合成生態系を維持するのに十分なものであることが明らかとなりました (図 2、3)。

プレート境界周辺など、微小地震が継続的に起こっている環境に、地震活動にエネルギー源を依存した地下・海底下生物圏が存在する可能性を示しています。さらにこの結果は、水素ガスをエネルギー源とする化学合成微生物の一種であるメタン生成菌が地球生命の共通祖先の最有力候補と考えられていることと合わせると、「地球生命は水素ガスの豊富な海洋底の高温熱水域で誕生し、進化してきた」という従来の仮説に加え、「地震断層活動が起こる環境も始原的生態系が存在しうる場である」という新しい可能性を提示するものです。

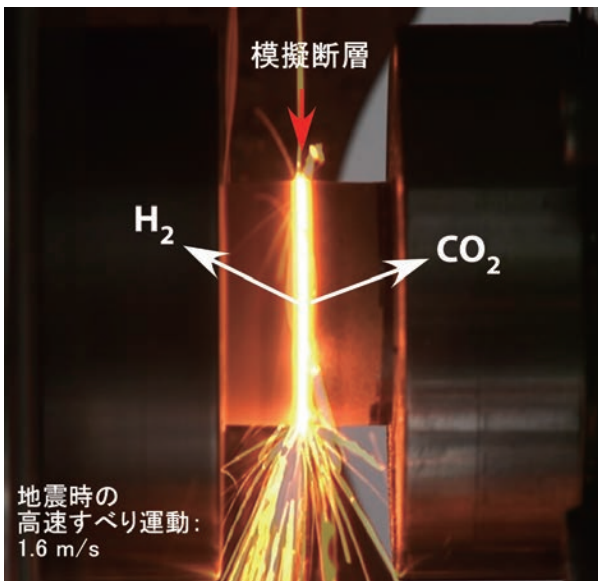


図2. 地震時には莫大なエネルギーが地下深部で放出されます。大部分は熱になり、その熱によって化学反応が起こり、様々な種類的气体(水素・二酸化炭素等)が発生します。図はマグニチュード 2 程度の地震を再現した実験です。実験中に発生するガスの濃度をガスクロマトグラフを用いて測定しています。

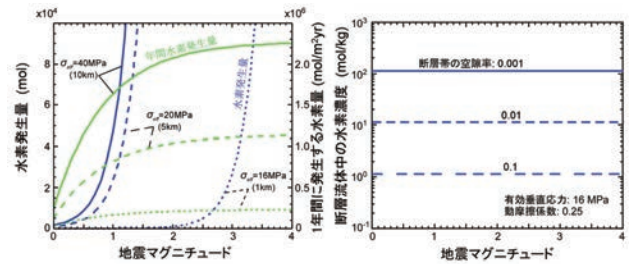


図3. 私たちが揺れをほとんど感じないほどの比較的小規模な地震でも大量の水素ガスが発生し、断層帯中の流体の水素ガス濃度が 1.1 mol/kg 以上になります。豊かな化学合成生態系の存在が知られる海底熱水噴出孔でさえ水素ガス濃度は高々 0.02 mol/kg ですから、地震断層帯に生じる水素ガス濃度は化学合成生態系を維持するのに十分なものであると考えられます。

これは始原的地球環境のみでなく、地球外の岩石型惑星での生命の存在可能性を考える上でも重要な知見です。

下北半島八戸沖の46万年前の海底下地層中に大量の“生きている”微生物細胞を確認

地球深部探査船「ちきゅう」により、下北半島八戸沖約 80km の海底から得た掘削コア試料を用いて、地球のバイオマスの約 10% を占めるといわれている海底下の微生物群集の生存活動の解明に取り組み、生命維持に不可欠とされる炭素や窒素の代謝の実態解明に挑みました。

本研究では、海底下の微生物の代謝を調べるため、追跡可能な物質として分子内の炭素原子や窒素原子をそれぞれの安定同位体原子 (^{13}C , ^{15}N) で置換した様々な栄養源を試料に加え (グルコース [ブドウ糖]、酢酸、ピルビン酸、重炭酸、アミノ酸、メタン、アンモニア)、東京大学大気海洋研究所およびフランスキュリー研究所が所有する高解像度二次イオン質量分析装置 (NanoSIMS) を用いて、個々の細胞 (大きさは 0.5 ~ 1 マイクロメートル程度) ごとに栄養源の取り込みを可視化し、取込みの量と速度を評価しました。

各種栄養源を添加した海底下の微生物細胞を分析したところ、メタンを除いたすべての炭素・窒素化合物が取り込まれていることが確認できました (図 4)。また、栄養源を取り込むことのできる (生存している) 微生物の割合は最大で全体の 76% を占めており (図 5)、過去約 46 万年に形成された海底

下深部の地層（深度約 219m）中に、現在でも膨大な数の微生物が“生きている”ことが、世界で初めて細胞単位で実証されました。

微生物が栄養源を細胞内に取り込む速度は、一細胞が平均一日あたり約 10-16 グラム（1 京分の 1 グラム）に相当し、大腸菌などの一般的な微生物の活性と比べて極めて遅い（大腸菌の約 10 万分の 1 以下）ことが明らかになりました。これは、従来不明確であった海底下深部の微生物細胞の代謝活動を世界で初めて定量的に評価した画期的な成果です。

さらに、海底下の微生物に添加した窒素の取り込み率が、炭素の取り込み率よりも高い傾向が認められました。これは、微生物細胞が窒素の取り込みをコントロールすることにより、細胞内エネルギーを節約し、海底下という栄養源に乏しい環境下で長期間生存していることを示唆しています。これらの成果は海底下における生命進化や極限環境への適応能力の解明につながる可能性があります。

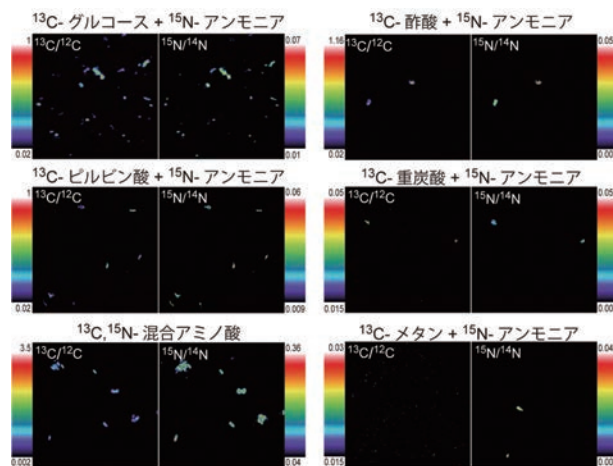


図4. 炭素 (^{13}C) および窒素 (^{15}N) 安定同位体でラベルされた栄養源を取り込んだ微生物細胞の NanoSIMS 画像. 海底下の試料に添加した安定同位体 (^{13}C または ^{15}N) の取り込みが大きい微生物細胞が可視化されている。細胞一つあたりの大きさは約 0.5-1 マイクロメートル（1 マイクロメートルは 1000 分の 1 ミリ）。

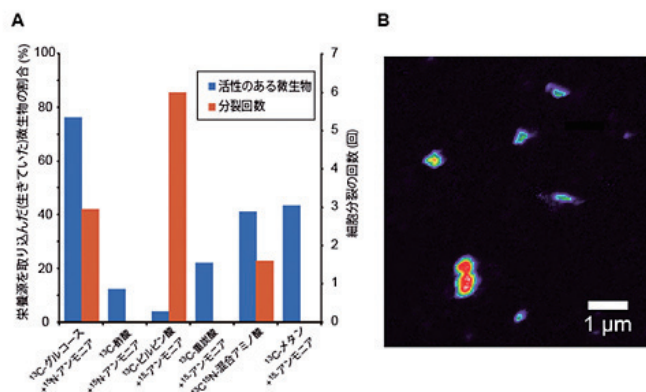


図5. (A) 各種栄養源を取り込んだ微生物の割合と栄養源添加による細胞分裂の回数。グルコース、ピルビン酸、混合アミノ酸を添加した系では細胞数の増加が見られたのに対し、酢酸や重炭酸、メタンを添加した系では細胞数の増加は見られなかった。(B) 炭素安定同位体 (^{13}C) で標識されたグルコースを取り込んだ細胞の NanoSIMS 分析画像の例。

最先端研究基盤事業 地球科学

一 生命科学融合研究拠点の整備 一

高知コア研究所では、2010 年度から 2011 年度にかけて、文部科学省および日本学術振興会による最先端研究基盤事業「海底下実環境ラボの整備による地球科学-生命科学融合拠点の強化（「ちきゅう」を活用）」の一環として、高解像度二次イオン質量分析装置（NanoSIMS）や単一細胞高速分析システム、実環境バイオ CCS リアクターシステムなどが整備されました。

また、2012 年 2 月 15 日（水）には、地球科学や生命科学・分析科学・宇宙科学分野における国内外の著名な研究者を交え、将来の地球深部探査船「ちきゅう」による大深度科学海洋掘削等を通じた最先端の地球科学-生命科学融合研究の展開や、我が国における海底資源環境の理解と持続的炭素・エネルギー循環システム構築のためのイノベーション研究の戦略、さらに地球外惑星を含む生命と惑星の発生と進化プロセスに関する新しい研究アプローチなどについて議論する最先端研究拠点国際ワークショップ「地球惑星科学-生命科学融合研究の最前線」が高知コア研究所で実施されました。

・ NanoSIMS イオンイメージラボ

高解像度二次イオン質量分析装置（NanoSIMS）や卓上走査型電子顕微鏡からなる高解像度質量分析システム。実環境試料中の地球化学的・生物学的特性等を詳細に研究する。

・ ジオバイオリアクターラボ

海底下深部と同様の高温・高圧・無酸素条件下で、栄養・エネルギー基質の連続供給による地下微生物群の活性化や分離培養を可能とするシステム（実環境 CCS バイオリアクターシステム）。海底下深部環境における炭素・エネルギー循環システムを調べる。

・ シングルセル分析ラボ

高速セルソーター・次世代高速シーケンサー等から構成される単一細胞高速分析システム。多種類・多数のバクテリア細胞が混在するサンプルからシングルセル（細胞 1 個）をピックアップし、ピックアップした細菌細胞が持っているゲノム情報を解読する。

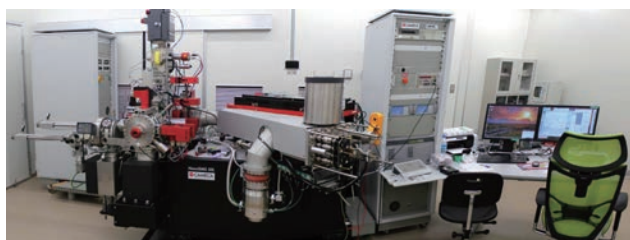


写真 2. JAMSTEC NanoSIMS イオンイメージラボ。中央が、高解像度二次イオン質量分析装置（NanoSIMS）。

東北地方太平洋沖地震に関わる調査研究

地震時の強振動によって海底地すべりは発生し、津波を増幅する可能性があります。その際、海底の表層粒子は巻き上げられ、海水の濁度異常が起これと考えられます。M9 の巨大地震発生後、「みらい」（MR11-03）や「よすか-しんかい 6500」（YK11-E06）による緊急調査によって、海底付近の濁度異常分布を突き止めたとともに、海底堆積物試料を用いて、その濁り現象を説明できるラボの実験研究も行いました。時間が経つにつれ、濁り現象は解消されるので、今回の緊急調査は貴重なデータを得ることができました。

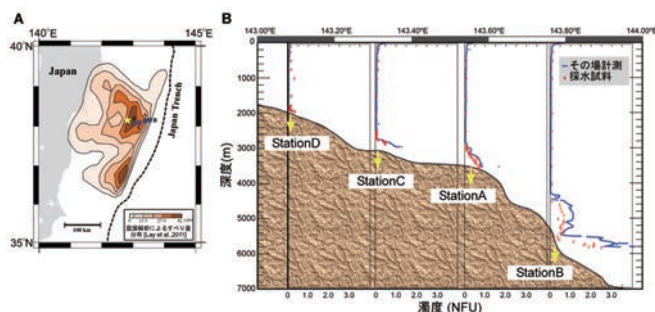


図 6. (A) 緊急調査研究の一環として行われた濁度計測地点（A-D）と東北地方太平洋沖地震のすべり量分布。星印：東北地方太平洋沖地震の震源。(B) 海水濁度の深度分布。

また、地層中の応力は地震発生前の期間において蓄積して徐々に大きくなり、断層の耐えられる限界に達したとき、地震が発生します。一方、地震の発生に伴って、蓄積されていた応力はエネルギーの放出とともに解放されます。したがって、地震発生サイクルのメカニズムを理解するために、地震前と地震後の応力状態を知ることが重要です。高知コア研究所では、地震前の ODP 航海で取得された孔内検層のデータを再解析して、東北地震の震源域における地震前の応力状態を明らかにしました。これは、地震前の応力状態を示す実測データとして世界で唯一で、かつ地震発生後の今後では取得のできない貴重なデータです。

平成23年度の主な成果

海洋工学センター (MARITEC)

概要

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

基盤的技術開発について

海洋工学センターが開発した次世代型巡航探査機技術及び大深度高機能無人探査機技術を活かし、海底資源探査等を目的とした自律型無人探査機 (AUV) 及び遠隔操作型無人探査機 (ROV) の建造を開始しました。また、将来を見据えた先進的海洋技術の研究開発を行っています。

次世代型巡航探査機技術については、2011年度までに、動力源として従来品の1.7倍の容量を持つ深海用リチウムイオン電池を実用化しました。自機の位置・速度検出システムでは、クラスで世界最高水準の位置精度0.5 Nm/hr (平均誤差半径) を達成した小型慣性航法装置を実用化しました。



図1. 高性能小型慣性航法装置

また、制御信号等の演算処理については、CPUの負荷を低減してシステム全体の信頼性を向上させた分散制御CPUシステムを、深海映像処理に関しては、3次元ステレオ視計測が可能な高機能画像システムをそれぞれ実用化しました。これらの技術を活かし、2011年度末までの機体完成をめざして、海底資源探査用巡航型AUV及び地球科学調査用巡航型AUVの建造を開始しました。さらに、これらのAUV建造と併せて、次世代の通信技術として音波の位相共役波現象を利用した音響による長距離通信技術の開発を進めており、2011年度に、水平方向600kmの双方向長距離音響



図2. 左：海底資源探査用巡航型AUV / 右：地球科学調査用巡航型AUV

通信の実海域でのデータを取得しました。

大深度高機能無人探査機技術については、2011年度までに、高強度低比重浮力材、母船と探査機を繋ぐ高強度軽量ケーブル、水中部の回転するケーブルドラムに用いる光ロータリージョイント、全周囲画像システムを開発しました。

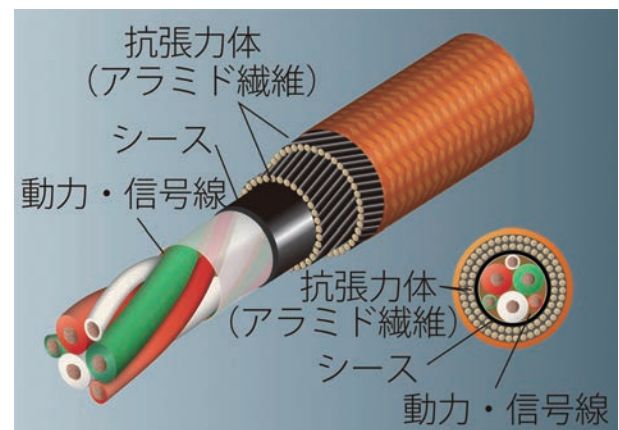


図3. 高強度軽量ケーブル

これらの技術を活用し、2012年度までの組立て完了をめざして、海底での資源の連続柱状サンプリングや、作業目的により作業機器の構成を変更できる海底資源探査用ROVの建造を開始しました。

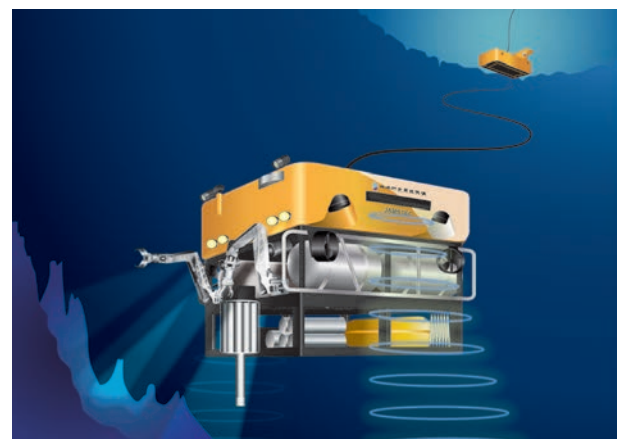


図4. 海底資源探査用ROV

先進的海洋技術では、これまで実現されていなかった深海での高精度な距離計測技術として、海中自動光軸合わせ機能と 1mm 以下の分解能の距離測定機能を目標とするレーザー式海中距離測定システムを試作し、実海域での基礎試験に成功しました。

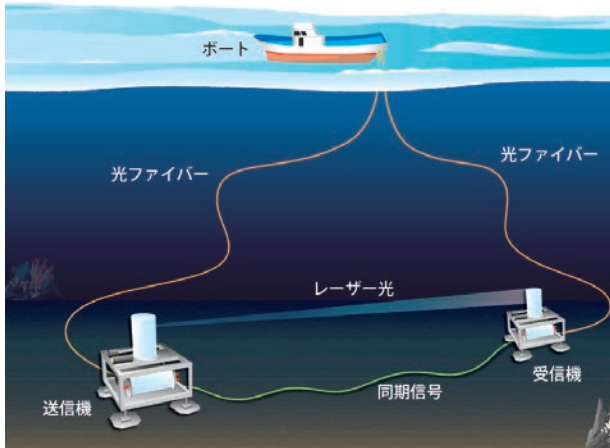


図5. レーザー式海中距離測定システム

また、7,000m 以深の高水圧・低温環境下における観測・作業用の水中機器の構造材として、炭素繊維・金属の複合材やセラミックス材料を利用した耐圧容器の試作・評価を行い

ました。また、海洋観測ブイや探査機に搭載して二酸化炭素を計測するための小型で高精度なセンサーを開発しました。

学術研究に関する船舶の運航等の協力について

学術研究船「白鳳丸」、「淡青丸」は、研究船共同利用運営委員会が策定する計画に基づき、運航・管理を行っています。2011 年度の総航海日数は、「白鳳丸」は 270 日、「淡青丸」は 272 日の見込みです（2011 年 12 月現在）。

研究調査船、深海調査システム等の供用について

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

今年度は、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋

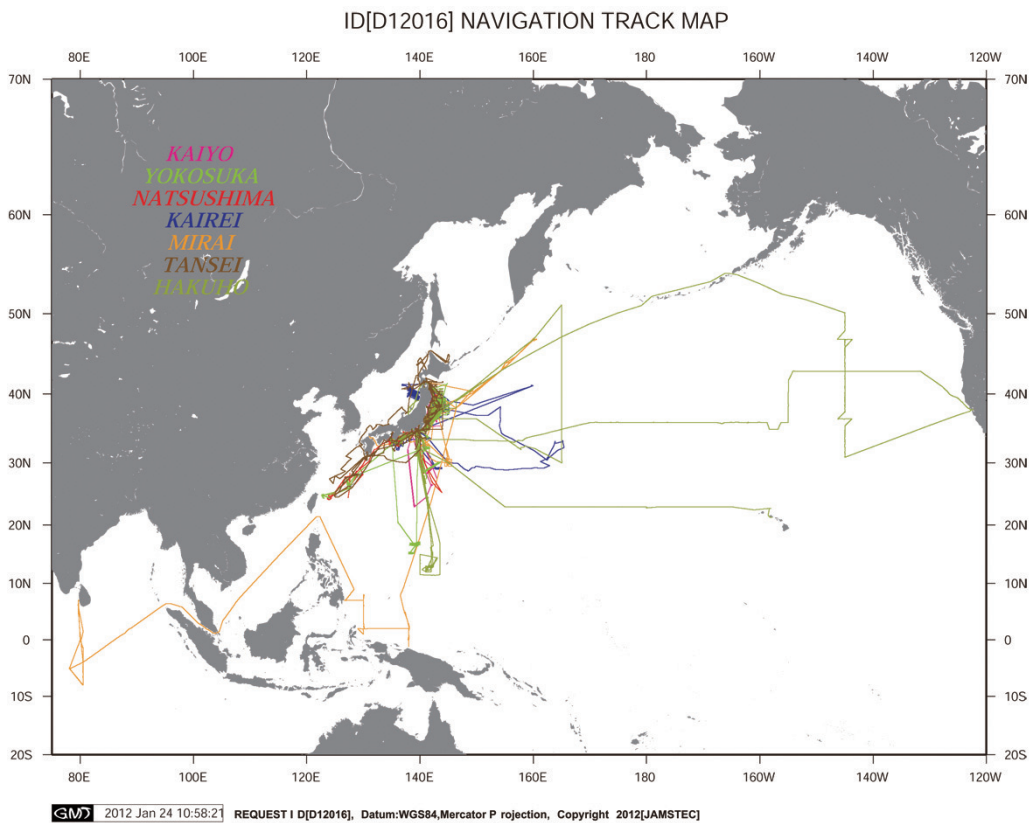


図6. 平成 23 年度研究調査船航行軌跡

沖地震の対応として、当初の運航計画を変更・調整し、緊急調査を実施しました。震災直後の3月14日から深海調査研究船「かいらい」による震源域での地殻構造探査を行い、三陸沿岸から海溝軸に至る海底が同地震により東南東方向約50m、上方向7～10m移動したことを確認しました。また8月には有人潜水調査船「しんかい6500」による海底観測調査等を行い、海底上の多くの亀裂を発見しました。また、国の要請に基づく福島第一原子力発電所からの放射性物質放出状況調査として、3月22日から、「白鳳丸」、「みらい」「かいらい」他計6隻での延べ12航海により、岩手県から千葉県までの沖合の広い海域で空間線量率測定、海水採取などの海域モニタリングを実施しました。

各研究調査船の2011年度の総航海日数は、「なつしま」は254日、「かいらい」は237日、「よこすか」は266日、「かいらい」は260日、「みらい」はインド洋から西太平洋への航海を含め315日の見込みです（2011年12月現在）。

さらに、東北地方太平洋沖地震で被害を受けた漁場の復興を目指し、同地震が海洋生態系へ及ぼした影響に関する調査研究を実施するため、2013年春の完成に向けて東北海洋生態系調査研究船の建造を開始しました。



図7. 東北海洋生態系調査研究船

「しんかい6500」、深海巡航探査機「うらしま」、無人探査機「ハイパードルフィン」・「かいこう7000 II」は、公募等により広く内外研究者のための運用を実施しました。このうち「ハイパードルフィン」は紀伊半島沖熊野灘で地震・津波観測監視システム第一期のケーブル展張作業を7月に完了しました。潜水調査船や無人探査機などの機能向上にも取り組んでおり、「しんかい6500」は操船性向上のための推進システム換装等、就航以来初めての大規模改造工事を行います。

定点観測システムについては、異常気象を引き起こす太平洋のエルニーニョ/ラニーニャ現象やインド洋のダイポールモード現象などのメカニズムを解明するため、大気海洋状態をモ

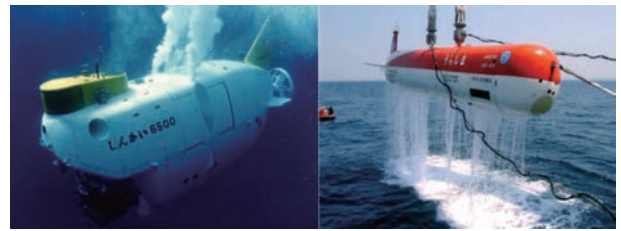


図8. 左：「しんかい6500」/右：「うらしま」

ニターする係留型の海洋観測ブイシステムを設置しています。西太平洋ではTRITONブイ15基を、インド洋では小型・軽量タイプのm-TRITONブイ3基を運用し、観測データをインターネット等で公開しました。

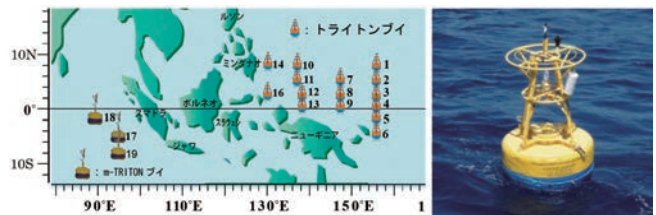


図9. TRITONブイの展開

これらの研究調査船、深海調査システム等による研究成果は、機構施設の一般公開や成果報告会を通じて広く一般へ周知しており、本年度は、2012年2月に成果報告会「ブルーアース'12」を開催しました。

研究者および技術者の養成と資質の向上について

機構の施設・設備を利用して、外部技術者等を対象に、潜水技術研修及び管理者向けの潜水管理業務研修を実施しました。また、海洋技塾を開催し、新入職員への技術研修を実施しました。



図10. 潜水技術研修

平成23年度の主な成果

地球シミュレータセンター (ESC)

概要

地球シミュレータは、2002年の運用開始から2年半の間、TOP500スーパーコンピュータランキングで1位に認定され、その性能によって地球科学ならびに関連科学技術の発展に多くの貢献をしてきました。2009年3月には新システムへの更新が完了し、131TFLOPS (1TFLOPSは毎秒1兆回の浮動小数点演算速度)の理論ピーク性能と高い実効性能で、様々な物理現象が複雑に絡み合う気候変動や地球温暖化などの海洋地球科学分野を中心に、産業利用等を含め幅広く研究開発に利用されています。HPCチャレンジアワードの性能測定では、Global FFT (高速フーリエ変換の総合性能)の指標で11.88TFLOPSとなり、理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」に次ぐ世界第二位となりました。測定に用いた京速コンピュータの理論ピーク性能は地球シミュレータの18倍ですが、Global FFTの性能では2.92倍であり、地球シミュレータは6.16倍の高い実効効率を示しています。

マルチスケールモデリングの研究

地球上の気象や気候現象は、大気、海洋、陸面、海氷、生態などの自然環境に加え、人間活動から排出される多くの化学物質など、それらの複雑な相互作用を通して成り立っています。マルチスケールモデリング研究グループは、その複雑な現象を、様々な時空間スケールで捉える事が可能な、加えて、気象～気候変動現象までをシームレスに予測可能なモデル The Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment (MSSG: メッセージと呼ぶ)の研究開発に取り組んでいます。このような予測モデルの研究開発は、地球温暖化に伴ってエルニーニョ現象やインド洋ダイポールなどの気候変動現象が変化し、さらにそれらに影響を受けて、台風や豪雨、都市環境などのメソスケールあるいは局所的な気象や気候変動がどのような影響を受けるのかについての予測を可能とするもので、私たちの生活に直接関係する重要な役割を担える可能性があります。

このような予測を実現するためには、それぞれ単独スケールを扱うモデルの高度化とともに、スケール間相互作用を扱うことが可能な物理的連成メカニズムの解明、さらに、地球シミュレータを最大限に活用できるアルゴリズムや並列計算手法を同時に研究開発する必要があります。

MSSGは、雲を解像可能な非静力学を扱う大気と海洋、陸面、海氷を結合したモデルです。MSSGに含まれているダウンスケーリング手法を用いて非常に詳細な予測情報は、温暖化適応策など、社会貢献へ直接結びつけることが可能です。新たな応用へ向けて、MSSGのさらなる高精度化を進めています。



図1. 地球シミュレータ

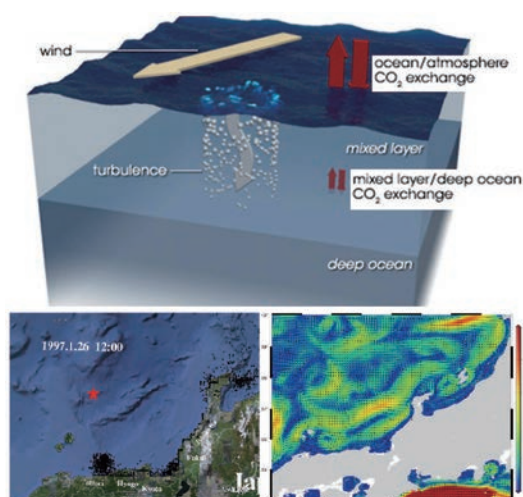


図2. 海洋の表層と深層における物質拡散のメカニズム (上図)。表層と混層では混合の仕方が異なる。このようなメカニズムを考慮したMSSGを用いた高解像度日本海シミュレーション結果 (下図)。ナホトカ重油流出事故での重油の拡散のようす (左下)と、その時の海洋の流れ場のようす (左右)。能登半島に回り込む重油拡散のようすが捉えられている。黒丸は重油、赤い星印は、事故が起こった場所を示す。

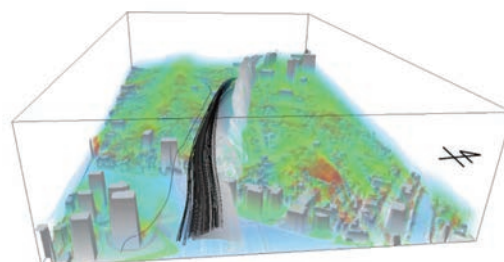


図3. MSSGを用いた超高解像度シミュレーション結果 (水平解像度: 5m)。京橋川を再生した場合の気温分布と風の渦構造。河川が存在する場合は、風の縦方向の渦の位置が変化し、この付近の風場が変化する。これらの環境影響評価は、都市計画の新たな設計手法となる。

高度計算表現法の研究

シミュレーションデータをグラフィカルに表現する科学的可視化技術は、シミュレーションの結果を瞬時に把握しより確かなデータ解析につなげるための必要不可欠な手段です。またシミュレーションで得た成果を内外に発信して行く上でも欠かせません。シミュレーション技術と車の両輪の関係にあるこの可視化技術は、大規模化するシミュレーション技術と同歩調で高度に発展することが強く求められています。高度計算表現法研究グループは、地球シミュレータを用いたシミュレーションによって得られる膨大なデータを高速に可視化し効率よく有用な情報を引き出すため、大規模データ可視化、CAVEシステム「BRAVE」を用いたバーチャルリアリティ可視化、ビジュアルデータマイニング、そして社会への貢献を目指した可視化結果の発信手法の開発等、様々な先進可視化手法の研究を進めています。

図4は海洋シミュレーションの結果に対して現在進めているビジュアルデータマイニング手法を適用した例の一つです。この例では、多変量解析の一手法である非階層的クラスタ分析を行うことで、図4(a)に示すように海洋表層を特徴的ないくつかの構造に分割しています。さらに、分割結果に対して

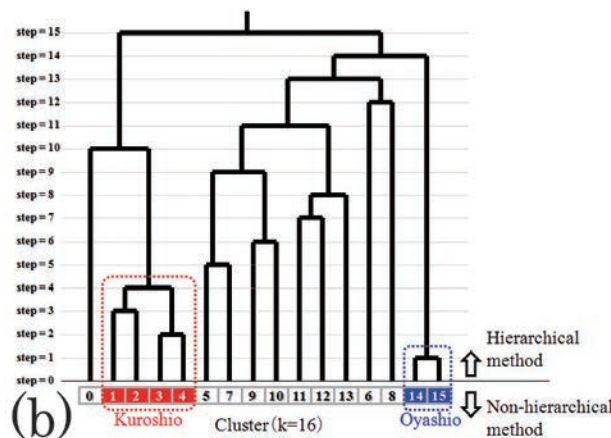
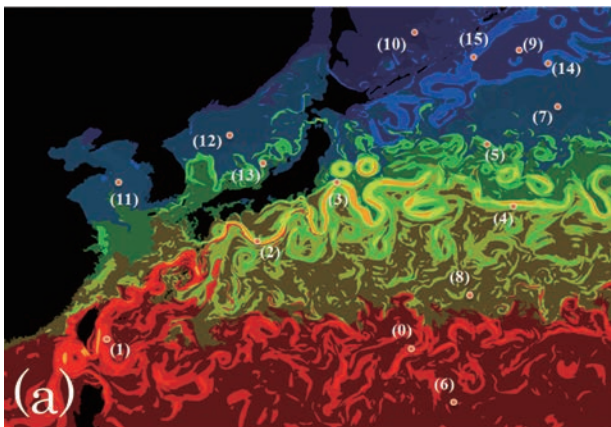


図4. ビジュアルデータマイニング手法を用いた海洋シミュレーションにおける海流の構造の抽出。

階層的クラスタ分析を用いて解析することで、図4(b)に示すように海流（黒潮や親潮）等の階層的な構造を抽出しています。このような手法を可視化に応用することで、従来の可視化手法では理解するのが困難であった、複数の物理量からなる構造や、構造同士のつながりを分かりやすく表現することができるようになります。

また高度計算表現法研究グループはマルチスケールモデリング研究グループと共同で、シミュレーション成果の新しい表現と社会への成果発信のための研究開発プロジェクト「EXTRAWING」を推進しています。その一例として、本プロジェクトで開発したWebアプリケーションプログラムの外観を図5に示します。本プログラムはインターネット上に公開されており、手軽な操作で誰でも簡単にシミュレーション結果を外側からも内側からも自由に観察することを可能にします。他にもシミュレーション結果の3次元表現技法、EXTRAWINGコンテンツ作成用可視化プログラムの開発、そしてBRAVEを含むバーチャルリアリティ装置を用いたEXTRAWINGコンテンツの立体的な観察など、さまざまな表現手法、情報発信手法への展開を進めています。



図5. EXTRAWING Webアプリケーションの外観。本プログラムはWebブラウザ上で誰でも利用可能。

URLは <http://www.jamstec.go.jp/esc/extrawing/>

地球流体シミュレーションの研究

地球流体シミュレーション研究グループでは、気候変動とその予測可能性の理解を向上するため、海洋モデル、大気モデル、大気海洋結合モデルを用いてシミュレーション研究を行っています。ここでは、高解像度の全球大気・海洋結合モデルによるシミュレーション結果の一例として、海洋の中・深層で観測されている東西带状流ジェットの研究を紹介します。近年の衛星観測による高解像度の海面高度のデータなどから、海洋の中・深層に带状の東西流ジェットの存在することが確認されるようになってきました。一方で、高解像度海洋大循環モデルでも東西流ジェットの再現されるようになりました。そこで我々は、高解像度の全球大気・海洋結合大循環モデル CFES の中で、東西流ジェットのどのような構造を持っているのかを調べました。海洋側の水平解像度 25 km のシミュレーションでは、海洋の中・深層に東西带状流ジェットの再現されていました(図 6)。それに伴う水平解像度 50 km の大気側のシミュレーション結果は、海洋ジェットの海面水温に残したシグナルが大気境界層が応答し、風応力の微細構造が逆に海洋ジェットを駆動して強化・維持しているという、新たな大気海洋相互作用の可能性を示唆しています。この結果は現在、JAMSTEC の地球環境変動領域、国際太平洋研究センター (IPRC) などとの協力のもと、精力的に解析が進められています。

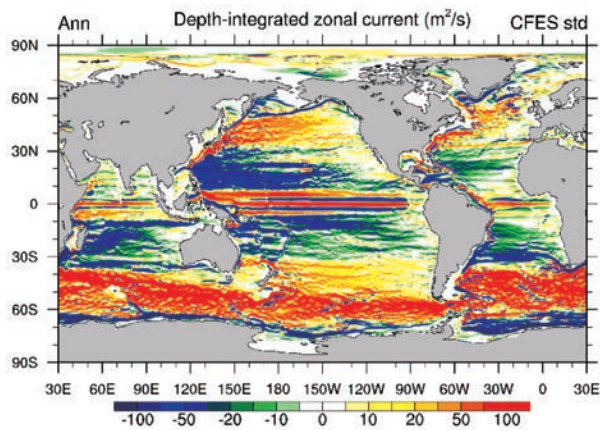


図 6. 高解像度全球大気・海洋大循環モデルで再現された、東西流の鉛直方向の積分値。単位は $m^2 s^{-1}$ 。

観測システム設計手法の開発研究

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

解析結果に加えて、そのばらつき (スプレッド) が得られ、これは誤差の指標となります。既存の解析手法では得られなかったこのような情報は、観測密度だけでなく、大気の流れに応じて日々変化し、どこを観測すれば効果的かを示すため、観測システム設計に利用できます。現在のアンサンブル解析システムは大気大循環モデルを使用しており、海面水温や海水分布は共通の境界条件として与えているため、大気下層でのスプレッドが過小評価されています。また、大気と海洋の相互作用が本質的な現象の再現性は十分ではありません。そこで、大気大循環モデルを大気海洋結合モデルに置き換えたアンサンブル解析システムを開発しました。図はテスト開始から 40 日後の 2008 年 9 月 10 日における潜熱フラックスのスプレッドで、図 7(a) が現システム、図 7(b) が開発中の新システムの結果です。新システムの方が、一般的にスプレッドが大きくなっており、特に西部北太平洋 (フィリピン付近) では、台風 13 号に伴う極大がより強調されています。今後は様々なテストを重ねるとともに、海洋の観測データも取り扱えるシステムへと改良・強化していく予定です。

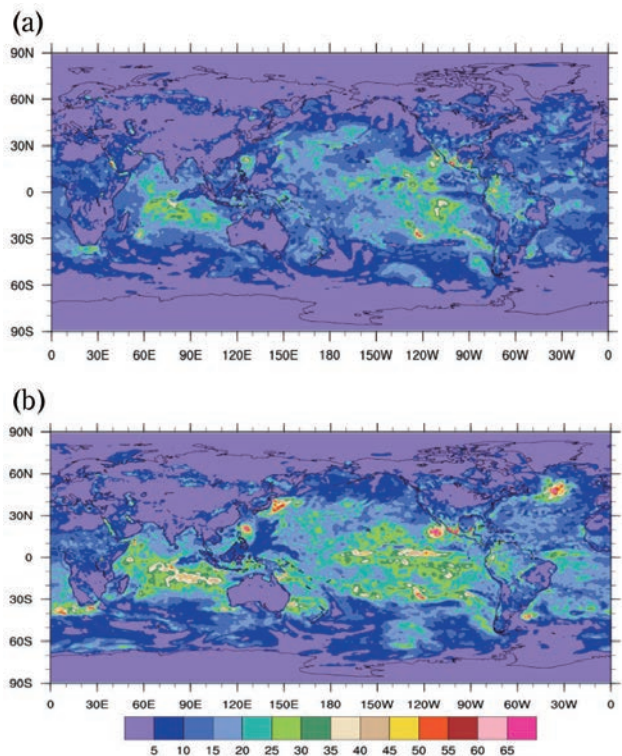


図 7. 2008 年 9 月 10 日における潜熱フラックスのスプレッド。(a) 大気大循環モデルを使用した現システムの結果、(b) 大気海洋結合モデルを使用した開発中の新システムの結果。

シミュレーションの応用研究

地球シミュレータの産業界での研究・開発、設計・製造への活用を促進するため、文部科学省の先端研究施設共用促進事業による補助を受けて「地球シミュレータ産業戦略利用

プログラム」を実施しています。2011年度は、流体、ナノ材料、磁界解析、環境負荷低減、防災など様々な分野にわたる13課題を採択し、技術支援を実施しています。その一例として、大成建設株式会社による「二酸化炭素地下貯留に関する大規模シミュレーション技術の開発」を紹介します。二酸化炭素地下貯留とは、地球温暖化対策の一つとして、火力発電所や製鉄所から排出される二酸化炭素ガスを、地下深部の地層中に圧入するものです。大成建設株式会社では、本技術の実用化を目指し、圧入後の二酸化炭素の地下挙動をシミュレートすることにより、長期的な安全性や環境影響リスクを予測する技術の開発を目指しています。本年度は、解析コードの高速化を進めるとともに、二酸化炭素を溶解した地下水の重力対流現象に着目したシミュレーションを実施し、CO₂の長期安定性に及ぼす影響を検討しました。地中に圧入された直後の二酸化炭素は、超臨界状態と呼ばれる流体となり水よりやや比重が軽く、地下水の中で浮力が作用します。一方、CO₂が周辺の地下水に溶け込むと比重が若干増加するため、負の浮力を有する安定性の高い貯留状態になると考えられています(図8)。地球シミュレータを用いて、PCでは取り扱うことが不可能な高解像度の計算を実現することにより、CO₂の地中での長期挙動を精度良く再現することが可能になりました。その結果、重力対流現象により超臨界CO₂の地下水への溶解が大きく促進されることがわかりました(図9)。

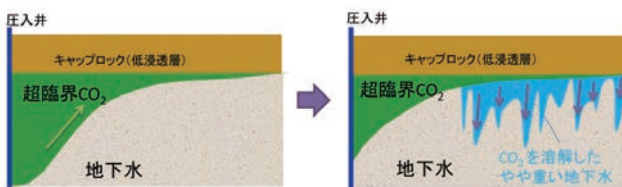


図8. 重力対流によるCO₂溶解の促進

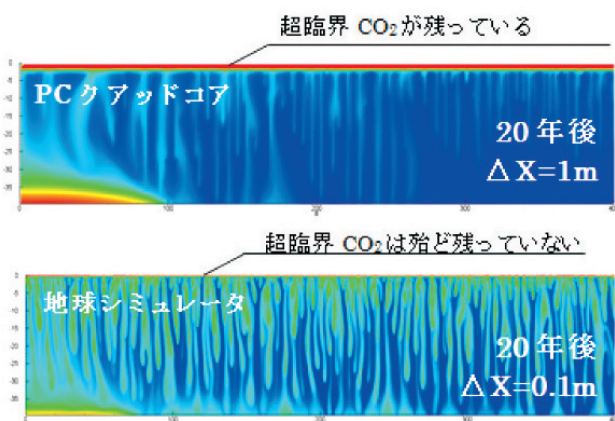


図9. 地下1kmの貯留層内における地下水中のCO₂溶解量の分布(解析格子サイズによる計算結果の違い。計算時間は格子数の約1.5乗に比例)

地球シミュレータの有償利用制度について

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

2011年度では、日本最大級の製造業向け専門展である設計製造ソリューション展(「日本ものづくりワールド2011」内、入場者総数84,509人(主催者発表))で、この有償利用制度のご紹介と幾つかの企業での活用事例を展示したところ、複数の企業からのお問合せをいただきました。

計算科学技術推進体制の構築

日本は毎年のように、台風、集中豪雨、地震、津波などに見舞われ大きな被害を被っています。特に、2011年3月11日の東北地方太平洋沖を震源とする超巨大地震とそれに伴う超巨大津波は、東北地方を中心に2万人近い犠牲者と壊滅的な被害をもたらしました。このような大規模な自然災害は社会・経済活動に深刻な打撃を与えることから、防災・減災に向けた迅速で効率的な対策が喫緊の課題となっています。

大規模な自然災害をもたらす自然現象(ナチュラル・ハザード)に関しては、野外実験によって影響を評価し検証することは不可能であり、大規模シミュレーションによる検討が不可欠です。JAMSTECではこれまでも「地球シミュレータ」を用いて大規模シミュレーションを行ってきましたが、昨年度の準備研究を経て、本年度より「HPCI戦略プログラム」分野3防災・減災に資する地球変動予測の本格実施を開始しました。本プログラムでは京速コンピュータ「京」を用いて、これらのナチュラル・ハザードに関する大規模で高精度のシミュレーションを全国の大学や研究機関と共同で実施し、地球温暖化時の台風の強さや数を全球的に予測すること、集中豪雨や局地的大雨の直前予測を実証すること、次世代型の地震ハザードマップのための基盤を構築すること、津波警報の高精度化を図ること、都市全域を対象とした自然災害シミュレーションにより被害の軽減を図ることなどを目標としています。

これらの研究推進のため、2011年4月より「京」の設置されている計算科学研究機構内(神戸市)に研究室を借り受け、11月からは隣接する計算科学振興財団内の研究室を賃借し、両研究室を「JAMSTEC神戸サテライト」として運用しています。2つのスーパーコンピュータ、「京」と「地球シミュレータ」を利用する相乗効果を最大限に追求し、次代を担う若手研究者の育成にも努めてまいります。

平成23年度の主な成果

地球情報研究センター (DrC)

概要

地球情報研究センター (DrC) は、JAMSTEC が取得するデータやサンプル情報の管理・公開と、それらに必要な情報システムの整備・運用に加え、様々なデータを統合することで新たな価値を生み出す付加価値データや、教育・研究および社会経済ニーズに対応した実利用プロダクトの開発・提供を行うこと等を目的に 2009 年 4 月に発足しました。

データ技術開発運用部では、横浜研究所においてデータやサンプル情報の受領、保管、品質管理と、それら情報の公開システム構築を進めるとともに、今年度には付加価値プロダクトの開発を強化するため、データ統融合・付加価値グループと地震研究情報データベース構築チームが新設されました(図 1)。

また、DrC の情報発信の拠点である国際海洋環境情報センター (GODAC: ゴーダック) では、沖縄県名護市において、DrC で扱う各種データや深海映像情報の公開、ならびに地域における理解増進活動を行っています。GODAC の施設は、沖縄県北部地域での情報通信関連企業の誘致、雇用創出およびマルチメディア分野の人材育成促進を目的として、名護市により 2001 年に整備され、JAMSTEC が運用業務を開始してから、今年度で創立 10 周年を迎えることができました。

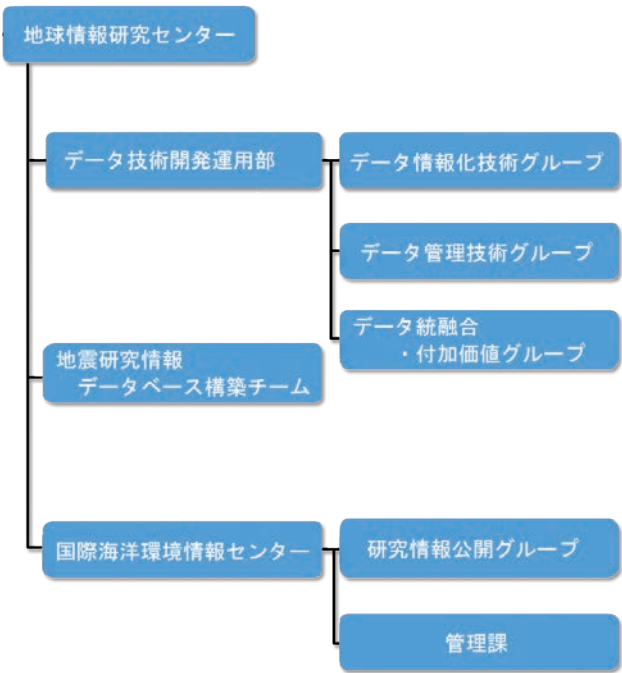


図 1. 地球情報研究センターの組織図

1. 海洋地球観測データ・サンプルの管理と公開

DrC では、船舶や潜水船の取得した各種観測データやサンプル情報、その他の陸上観測・係留観測のメタデータについて収集・管理・公開を行っています。今年度はより使いやすくするため、映像・画像のデータベースを始めとした各種サイトの更新や新たな検索サービスの提供を進めました。さらに船舶観測データの公開サイトのデータベース化を進めています。また、ユーザーニーズの取り込みのためアンケートやサイトアクセス数の解析を始めました。

1) データ検索サービスの提供

JAMSTEC が公開する各種データサイトを検索するシステムとして、「データカタログ (図 2)」を公開しました。JAMSTEC が行う幅広い調査・観測や研究活動から得られたデータは、データの種類や観測手段、プロジェクト等毎にそれぞれ公開されています。「データカタログ」では研究分野やキーワードから目的のデータが公開されているサイトを絞り込むことができます。

もう一つの検索サービスである「データ検索ポータル」では、新たに係留機器・海底設置型機器の観測情報を公開し、公開数は 31,000 件以上となりました。

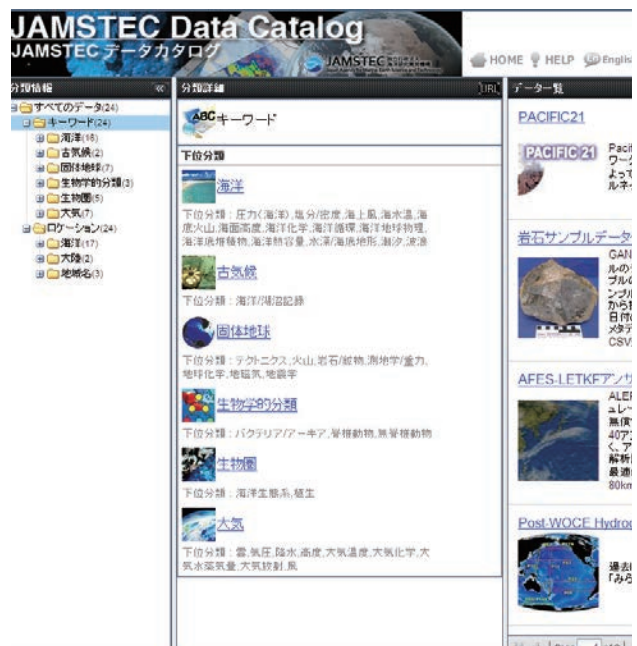


図 2. JAMSTEC データカタログ

2) 船舶観測データ・サンプル情報の公開

多様な船舶観測データを航海ごとに取りまとめ、「観測航海データサイト」から発信しています。データ取扱いルールが関係者に浸透してきており、メタデータの提出率の向上も見られました。新たにドップラーレーダーや全磁力計のデータ公開を始めたほか、地球深部探査船「ちきゅう」のJAMSTEC独自航海によるデータの公開も開始しました。これまでに約500航海、3,700件以上のデータを公開しています。

このサイトをデータベース化し「JAMSTEC 航海・潜航データ探索システム (DARWIN)」を構築しています。メタデータや地図からのデータ検索やデータを俯瞰しながら絞り込むことができる機能のほか、オンデマンドでのデータの可視化、複数データファイルの一括ダウンロードなど利便性の高いサイトを目指しており、2012年度の本格運用を予定しています。

「海洋生物サンプルデータベース」は、分類ツリー検索の追加や、画面遷移の見直しを行いました。また、標本ラベルの自動作成、サンプルの保存方法や同定情報の履歴の記録など、サンプル管理の現場に役立つ機能も増強しました。サンプル情報を研究者が船上で定型シートに入力する形が定着しつつあり、データ登録も効率的に行えるようになりました。このデータベースは2009年度から運用していますが、海洋生物多様性研究プログラムの生物サンプル情報も登録を進めており、12,000件以上を公開するに至りました。それを合わせて合計23,000件以上のデータを公開しています。引き続きBISMaLを通じて国際的なデータベースであるOBISへのデータ提供を行っています。

深海底岩石サンプルデータベース「GANSEKI」では、地図で検索範囲指定や化学分析データを引用した文献のリスト化などの機能向上を行いました。また、2009年より連携している国際的な岩石化学ポータルサイトのEarthChemへメタ

データ提供を定期的に行っています。アーカイブサンプルの受取から保管・管理までを行うとともに、利用申請に対して適宜サンプルの提供を行いました。登録済みメタデータは20,231件、サンプル数は7,256件、化学分析データは12,271件に増加しました。GANSEKIやアーカイブサンプルの利用拡大のために、学会やシンポジウムでの発表や学術誌に紹介文を載せるなどの活動も行いました。

海底堆積物の柱状試料(コアサンプル)についてはサンプル管理を担当する高知コアセンターと連携し、サンプルの利用促進に努めました。今年度はコアデータサイトの機能向上により、微化石による年代情報を公開しました(図3)。データの公開数は658コアから730コアに、サンプルの公開数は1,900コアから4,300コアへと着実に増加しています。データとサンプルの公開数増加にともない、サンプルの利用申請も11件から21件へと増加しました。

3) 映像・画像データの公開

JAMSTECの潜水調査船や無人探査機などにより撮影された貴重な深海調査の映像を管理・公開しています。これまではテープ録画された映像をデジタル化してバックアップを取得し管理してきましたが、映像がハードディスク録画されるようになったことに対応して、保管・管理の運用を拡張しました。また、映像・画像データはこれまで「深海映像データベース」「深海画像データベース」「深海ビデオキャスト」の3サイトでインターネット配信してきましたが、映像・画像の利用促進や深海環境の理解増進、映像公開作業の効率化を目的とした新システム「深海映像・画像アーカイブス(J-EDI)」に3,636潜航分のデータ移行を行い、2011年11月に公開しました(図4)。

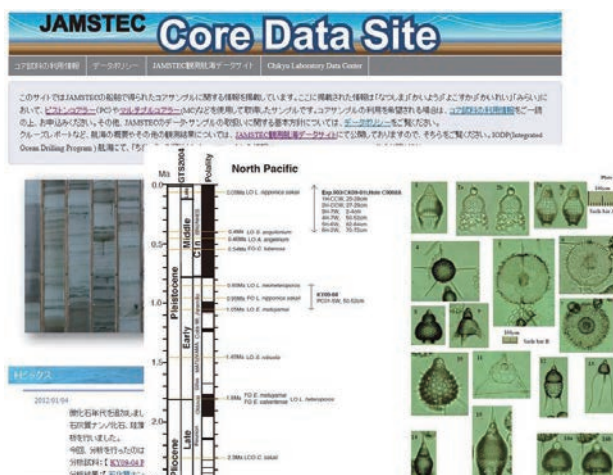


図3. コアデータサイトの微化石年代情報



図4. 深海映像・画像アーカイブス

4) 生物多様性情報の公開

海洋生物の多様性・分布情報を扱う統合データサイト「海洋生命情報バンク基盤システム (BISMaL)」(図 5) は、JAMSTEC の生物関連情報を提供するとともに、国際的な海洋生物多様性データベースである海洋生物地理情報システム (OBIS) の日本ノード (J-RON) を担うシステムです。DrC は海洋・極限環境生物圏領域との連携の下に本システムを構築、運用しています。

今年度は、外部からの生物出現記録の受入準備として、生物分類群名などを拡張し、約 33,000 種とされる既知の日本産海洋生物のうち、10,000 種超の動物に関して登録・公開しました。外部機関からのデータ提供を促進しその管理を容易にするために、外部からのオンラインデータ提供・登録、各データセットの概要の表示を付加したほか、深海映像・画像アーカイブスとの連携の追加、海洋生物サンプルデータベースとの連携の向上を実施しました。

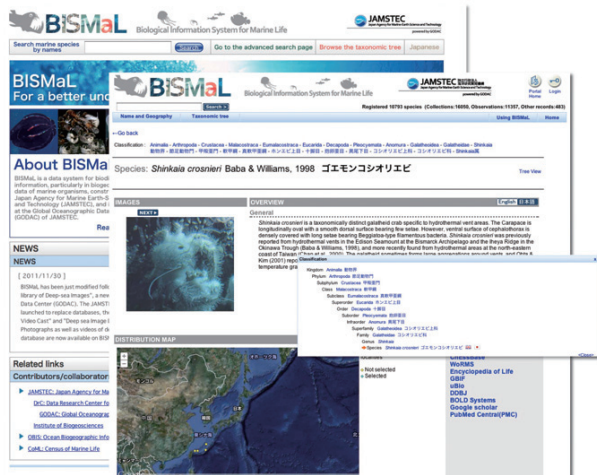


図 5. BISMaL 表示画面

5) その他のデータ管理・公開

これまで公開してきた「文書データベース」に代わり、JAMSTEC が刊行する広報誌や学術誌などを誌名や発行年月などで分類するとともに検索機能などを充実させた「JAMSTEC 文書カタログ」に 2,356 冊子を登録し、2011 年 11 月に公開しました (図 6)。

また、データやサンプルの公開サイトに共通するメタ情報を管理するシステムの運用を開始すると共に、アクセスや認証などの基盤となるシステムの開発を行いました。

さらに各種データベースに共通の航海情報、潜航情報等を一元的に管理するためのシステムの整備も進めています。



図 6. JAMSTEC 文書カタログ

2. 社会が必要とする新しいデータの提供

1) データ統融合と付加価値プロダクト

DrC は、時系列的にも力学的な解析が可能な大気・海洋・低次生態系結合四次元変分法 (4D-VAR) データ同化システムを開発し、資源管理、現象の逆解析、観測システムの最適配置、季節～経年スケールの予測精度の改善などに役立つ研究を行っています。

a. データ統合・解析システム (DIAS)

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

その 2 期目の事業である「地球環境情報統融合プログラム」(代表機関: 東京大学) が今年度から開始されました。DrC は大気・海洋結合データ同化プロダクトをさまざまな利用分野に提供するためのシステムのプロトタイプ開発に着手するとともに、2016 年度からの実運用段階の開始に向けて、その運用体制についての検討を開始しました。

b. 季節変動～年々変動の予測

この 4D-VAR プロダクトを初期値とすることによって季節変動～年々変動の予測精度を改善する研究に取り組んでいます。図 7 は 2011 年のエルニーニョ現象の予測実験結果の一例で、予測の平均値は 2011 年初頭からのラニーニャ状態からの回復状況 (観測データ) を半年以上先までよく再現できています。

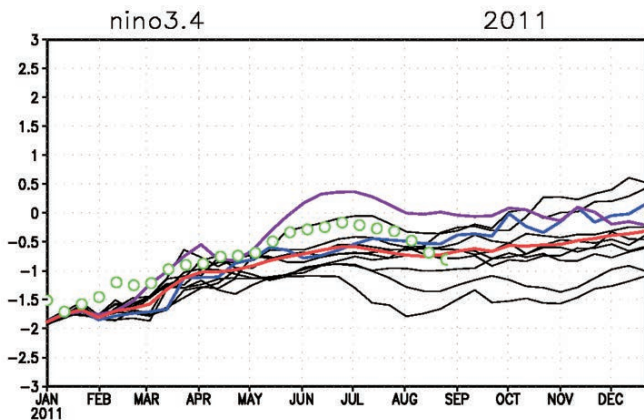


図7. 4D-VARデータ同化システムを用いた2011年のエルニーニョのアンサンブル予測結果（Nino3.4インデックス）。折れ線は各アンサンブル実験結果、赤線はその平均値。緑丸は観測。

c. 水産資源変動の予測

2010年度より文部科学省からの受託業務として、各大学・研究機関と八戸漁協等の協力を得て、アカイカを対象として漁場探索及び資源変動予測システムを開発しています。渦解像データ同化プロダクトに好適生息域モデル（HSIモデル）を組み込むことで得られた情報を操業中の漁船に提供したり、漁業資源の中期変動を予測するシステムについて、今年度は各要素モデルのプロトタイプを完成させました。図8は三陸沖におけるアカイカの漁場推定モデルの結果で、推定された漁場分布が実際の操業位置を良く再現しています。

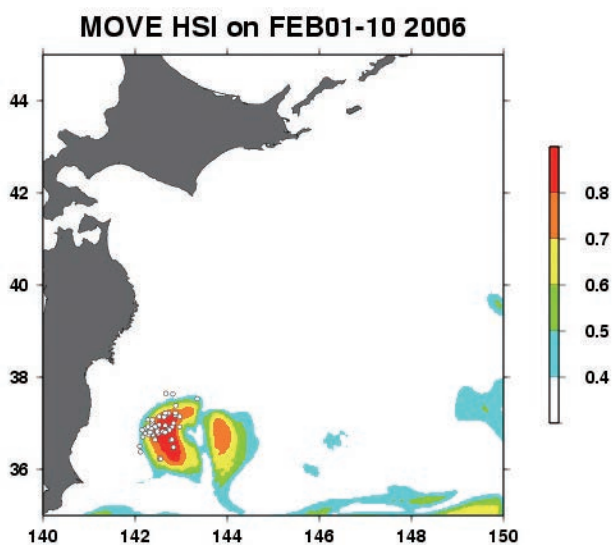


図8. HSI (Habitat Suitability Index) モデルにより推定した2006年2月1-10日における三陸沖のアカイカ漁場分布。カラーコンターはHSI値（ $0 \leq \text{HSI} \leq 1$ ）を示し、値が高いほど好漁場である。白丸は、同期間に実際に操業が行われたイカ釣り漁船の位置を示す。

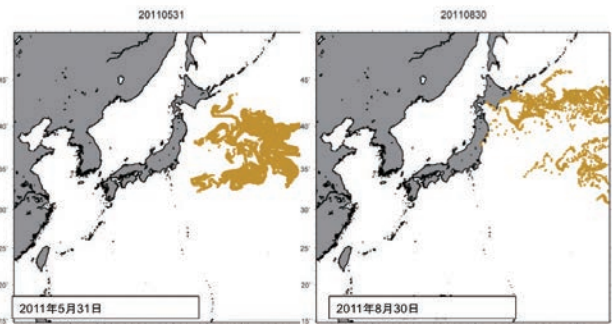
2) 東日本大震災と復興への対応

a. 漂流物及び放射性物質の分布の推定・予測

大震災によって流出した大量のガレキや、原発事故によって流出した放射性物質の分布を推定・予測する研究を関係機関と協力して行いました。

漂流ガレキや放射性物質は数年かかって北太平洋全域に広がっていくと考えられるため、大気・海洋結合データ同化システムによって得られた再解析プロダクトと季節・経年変動予測から得られた流速場を用いて、流出後の追跡を行いました。

うち震災ガレキの漂流予測については政府の省庁連絡会議との連携のもと、環境省からの請負業務により京都大学を代表研究機関とし当機構ほか協力して実施しており、その初期解析結果を図9に示します。



MOVE/MRI.COM-WNP (水平解像度0.1度)の海流場を使用した2011年5月31日と8月30日における漂流物の分布シミュレーション結果

図9. 初期解析結果

b. 東北マリンサイエンス拠点形成事業への参画

東日本大震災は、東北地方太平洋沿岸域の自然環境や生態系に大きな影響を及ぼし、地域産業にも壊滅的な被害をもたらしました。その復興にはインフラ整備に加え、沿岸から深海に至る広範囲の海洋生態系の動態を把握する必要があります。そこで、JAMSTECでは今年度より東北大学および東京大学と連携して研究拠点を形成し、その解明のための取組みを開始しました。DrCは、そこで得られたデータや研究成果情報を国内外の関連研究者、地域の行政、関連産業等へ情報提供していく仕組みの検討・構築を開始しました。

c. 海洋観測データ・Argoフロートデータの公開

JAMSTECでは福島第一原子力発電所での事故に対応して海域モニタリング調査を実施しましたが、放射性物質測定のための採水と同時に取得された水温・塩分等の海洋観測データと、福島沖に投入されたArgoフロートのデータについて専用ウェブサイトを構築して公開しています。

3. 海洋科学技術の理解増進と普及啓発活動

沖縄県名護市にある GODAC では講義室や映像システム等の各種施設・設備の一般開放を行うとともに、海洋科学技術の理解増進、海に関する普及啓発活動を目的とした「ゴードックセミナー」（通算 40 回、今年度 4 回）、「海洋教室」（通算 17 回、今年度 4 回）、水中 TV カメラロボット（ROV）操縦体験、施設一般公開（2011 年 11 月 23 日実施、来館者数 1,014 名）等の各種イベントを実施し、開所以来の来館者数は 121,926 人（2011 年 12 月末現在）となりました。

今年度は館内展示のリニューアルを実施し、沖縄県内の小学校等へ出前授業「おでかけ教室」の提供を開始（通算 11 回：図 11）するなど、JAMSTEC の活動をより理解していただくための様々な試みを実施しました。また、職場体験学習・インターンシップを受け入れるとともに、名護市で行われた「名護市環境フェア」、「名護夏祭り」などの各種イベントに出展・協力するなど、地域の皆様へ向けた多数の活動を行いました。

2011 年 11 月 24 日には開所 10 周年を迎え、名護市稲嶺市長を始め来賓 133 名をお迎えし、「GODAC 開所 10 周年記念式典」を開催しました（図 12）。



図 11. 「おでかけ教室」の様子



図 12. GODAC 開所 10 周年記念式典の様子



図 10. GODAC 外観

平成23年度の主な成果

地球深部探査センター (CDEX)

概要

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



図1. 地球深部探査船「ちきゅう」

東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST)

2011年3月11日に起こった、東日本大震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震断層帯の掘削を目的とした IODP 第343次研究航海を2012年4月から予定しています。本航海では、水深約7,000mの海底に2孔、それぞれおよそ1,000mを掘削し、断層帯のコア試料や検層データを取得、掘削孔内に温度計・水圧計などで構成された長期孔内計測装置を設置します。本航海での研究により、巨大地震を引き起こした断層を構成している岩石の種類やその物性をコア試料および検層データより明らかにし、また長期孔内計測装置を用いて、断層が動いた事によって生じた温度変化を長期的にモニターする事によって、断層の摩擦の大きさを把握し、地震により解放された巨大なエネルギーの大きさを調査することで、巨大地震のモデル構築を行います。

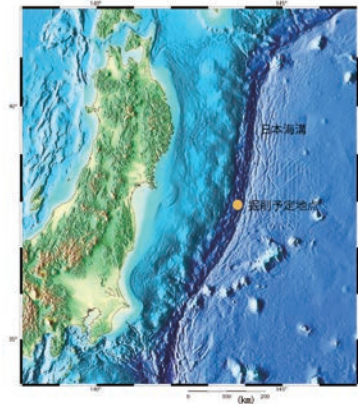


図2. 東日本震災震源およびJFAST掘削予定場所

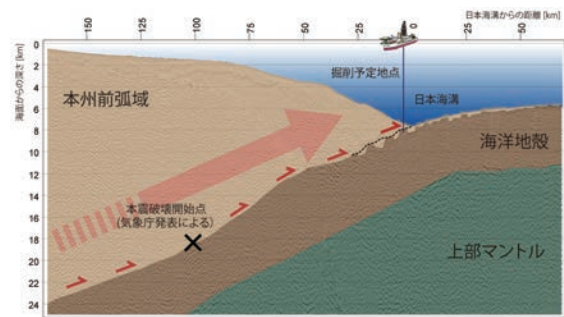


図3. 掘削域の海底下地質構造

技術開発

東北地方太平洋沖地震調査掘削にあたっては、水深約7,000m、海底下約1,000mの掘削を計画しており、このような大水深での高水圧環境下でも長期間にわたって安定に作動し、かつ、内径6cmほどの管内に収まる小型で高精度の温度・圧力計測ロガーシステムの開発を行いました。ロガーに記録されているデータはシステム設置後、半年から数年の間で無人探査機により回収する予定で、余震等さらなる地殻変動による状況変化も考慮に入れ、確実にデータ回収が行えるよう、直接、計測機器を引き上げる方法、および無人探査機が掘削孔に接近してデータのみを回収する方法など複数のデータ回収方法を準備したシステムとしています。

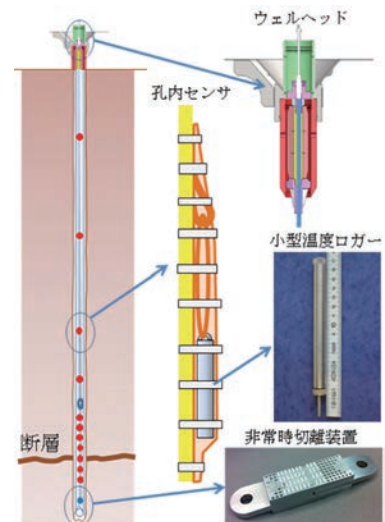


図4. 掘削孔内に設置する計測機器類の一部

下北八戸沖石炭層生命圏掘削

本計画は統合国際深海掘削計画、第 337 次研究航海および日本学術振興会による最先端研究基盤事業「海底下実環境ラボの整備による地球科学 - 生命科学融合研究の強化(「ちきゅう」を活用)」の一環として、2011 年 3 月 15 日から 5 月 21 日まで、地球深部探査船「ちきゅう」を用いて行われる予定でしたが、東北地方太平洋沖地震の影響により、日程等を再調整することとなりました。

研究航海概要は、下北八戸沖において海底下 2000m を超えるライザー掘削を行い、海底下深部に埋没した未成熟の石炭層に関連する炭化水素循環システムと微生物学的・地球化学的プロセスを調査する準備を進めています。

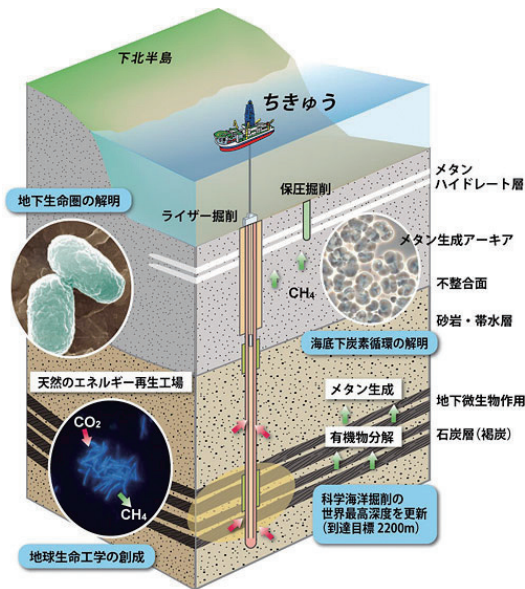


図5. 下北八戸沖掘削海域の海底下構造と研究の概要

南海トラフ地震発生帯掘削計画

東南海地震等の巨大地震震源と想定される紀伊半島沖熊野灘の巨大地震発生帯を掘削する本計画は、全体を 4 段階(ステージ)に分けて進められています。現在、ステージ 3 の研究航海に向け、引き続き準備を進めています。

資源掘削

「ちきゅう」の運用に資する技術をより一層蓄積することを目的に、スリランカ沖において、Cairn Lanka 社が実施する資源開発に関連した掘削業務を、2011 年 7 月 10 日から 12 月 16 日まで実施いたしました。

また平成 24 年 2 月から約 1.5 ヶ月間独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 / 石油資源開発株式会社の実施する東部南海トラフでのメタンハイドレート海洋産出試験のための事前掘削を実施します。

アウトリーチ

地球深部探査センターは、IODP による研究活動の様子や研究成果の広報業務を実施しています。特に、グローバルに研究活動を広報するためにウェブを有効に活用した情報発信に取り組んでいます。

2010 年に行った IODP 第 331 次研究航海「沖縄熱水海底下生命圏掘削-1」では、科学番組の制作に全面的に協力し、2011 年 7 月に NHK 特集番組が放送されました。同時に「ちきゅう」船上の様子を交えた研究紹介番組「ちきゅうTV」やソーシャルネットワークの活用をはじめ、より多くの人が研究に親しんでいただくために、センター広報誌「地球発見」をウェブマガジンにリニューアルし、配信を開始しました。

メディアとの協力や情報発信に加えて、科学リテラシー増進に貢献するため学校との連携を積極的に進めています。2011 年度は 15 件の出前授業や講義を実施、教育の現場に先端研究の実際を紹介しました。また、博物館・科学館への展示協力を行い、2011 年 3 月にリニューアルオープンした名古屋市科学館には、科学掘削による地球深部研究を紹介する常設展示フロアが新規に設けられました。

地球生命科学の科学者や技術者が集う日本地球惑星科学連合大会や世界最大の関連学会である American Geophysical Union などにおいて、IODP の成果の広報活動を実施しました。



図6. 地球深部探査センター広報誌「地球発見ウェブマガジン」
http://www.jamstec.go.jp/chikyu/magazine/

平成23年度の主な成果

観測システム・技術開発ラボ

概要

観測システム・技術開発ラボは、観測システムに関する新分野を開拓する技術の開発を目的として、2009年度に設置されました。海洋の環境変動を把握するためには、様々な地点で長期間に亘って連続的に観測することが必要ですが、海洋は広大であるために、海洋全体を一様にカバーするだけの多くの観測機器を配備することは容易ではありません。この課題を克服するため、次世代の海洋観測システムでは、従来の一様・分散型の観測ではなく、海洋ならびに気候変動のキーとなる海域を選択し、その海域の海底から海面までの環境変動を長期に亘って集中的に観測する技術の開発が必要になります。これには海洋研究者と工学系技術者が、横断的に研究開発ができる体制が望まれます。

このラボは、海洋工学センターと地球環境変動領域を横断する組織であり、上述のような視点から、南大洋表面ブイラボユニットと自律昇降型定域観測ロボット開発ラボユニットを設け、気候変動にとって重要でかつ、これまで定点観測の空白域であった南大洋域での長期連続観測を行う表面ブイ技術の開発と、一定の海域の海底から海面までを長期間に亘って定期的に観測する自律昇降型ロボットの開発を進めています。

南大洋表面ブイラボユニット

南極大陸沿岸域は、冷たく重い南極底層水の生成域であり、世界中の大洋に底・深層水を供給している場所ですが、同時に、深層水生成時には大量の熱が大気中に放出されるため、南極周辺海域は、大気にとっては加熱域となります。そのため、この海域における深層水形成の様態変化は、大気加熱の変化を介して地球温暖化などの気候変動と密接に関わると言われています。こうしたことからこの海域では、継続的な大気海洋間のフラックス計測が可能な観測システムの確立が強く望まれていましたが、荒天や低温と言った過酷な環境のため、これまで実現されていませんでした。そこで南大洋表面ブイラボユニットでは、こうした南緯 60 度以南の低温・荒天域で知られる南大洋域でも運用可能な表面係留型の海洋観測ブイの開発を行っています。

赤道域においては、JAMSTEC ではすでに 1998 年より大深度表面係留型の海洋観測ブイの運用を行っており、南大洋表面ブイでは、そこで培った技術をベースに強風波浪対策、低温環境対策を新たに加味することで開発を進めました。2010 年度には、これまでの試験結果を折り込んだ試作

ブイを製作し、2010 年末から 2011 年 2 月にかけての厳冬期の北海道襟裳岬沖において、約 3 ヶ月にわたる試験係留を実施し、良好な成績を納めることができました。2011 年度は、この試作ブイをベースに、実機となる南大洋表面ブイプロトタイプを製作し、南大洋での 1 年係留に耐えるための対策強化や、設置海域近傍特有の磁極（最大俯角 86.4°）が存在するための方位計の磁極対策、またこれまで設置したことがない底層での CTD、流向流速計（ADCP）の設置対策等を折り込みました。

こうして完成したプロトタイプブイは、2012 年 1 月、東京海洋大学練習船「海鷹丸」により、南大洋アデリーランド沖 南緯 59.9 度東経 140 度の位置に、同海域の高緯度域としては世界初の表面係留型の海洋観測ブイとして設置されました（図 1、図 2、図 3）。本ブイシステムには衛星通信システムが搭載され、表層の気象・水中データがリアルタイムで送信されてきており、気候変動研究のキーになるデータとして期待が寄せられています。



図 1. 南大洋ブイの組立風景（「海鷹丸」船上、氷山をバックに）



図 2. 設置された南大洋ブイ (59.9S, 140E)



図3. 停泊中の海鷹丸でのアンカー投入試験

自律昇降型定域観測ロボット開発ラボ ユニット

自律昇降型定域観測ロボットは、浮力エンジンを用いてロボットの容積、すなわち浮力を制御することにより、海底と海面の間を定期的に往復しながら水温・塩分などを観測します。さらに、翼を利用して水中を滑走して移動することにより、一定の海域に長期間留まります。

図4はそのオペレーションのイメージを描いたものです。長期観測を実現するために、ロボットはほとんどの時間を海底でスリープして待機します。定期的に起動して海面との間を往復しながら観測を行います。海面浮上時にはGPSで測位を行うとともに、イリジウム経由で陸上局との通信を行い、データを伝送するとともに、コマンドを受信します。ロボットは、内蔵電池と重りを移動して重心位置と姿勢を制御します。重心をロボットの長手方向に移動すると、その仰角と縦方向の運動方向を制御することができます。横方向の重心位置を変えると、旋回して、その方位を制御することができます。海流や潮流に流されてその位置が目的の海域から移動した場合には、この運動方向制御機能を利用して、一定の海域に戻ります。

今年度は、水深 3,000m まで潜水可能な自律昇降型定域観測ロボットプロトタイプ「ツクヨミ」(図5)を製作し、曳航水槽でその基本的な運動性能を検証しました。海底と海面の間を効率的に往復できるよう、鉛直方向の運動性能を重視し

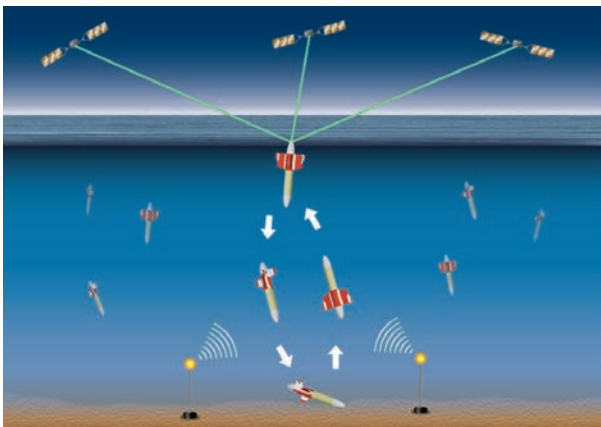


図4. 自律昇降型定域観測ロボットのオペレーション (イメージ)

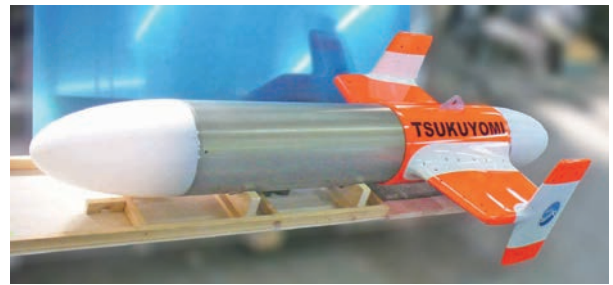


図5. 自律昇降型定域観測ロボットプロトタイプ：ツクヨミの外観
全長約2.5m、空中重量は約150kgである。

た設計を行っています。今年度中に浅海域での実験を行い、その基本的性能を検証する予定です。

今年度はさらに、計算機による運動シミュレーションを行い、その制御方法に関する検討を進めました。図6はその結果の一例で、3,000m の海底までの潜水をシミュレーションしたものです。

この研究開発の一部は、九州大学応用力学研究所と共同で進めています。

深海用プロファイリングフロート Deep NINJA の開発について

アルゴフロートに代表されるプロファイリングフロートは、海洋観測にブレイクスルーをもたらしました。その最大観測水深は 2,000m です。しかし、これまでの研究で、2,000m 以深での長期観測の必要性が認識されるようになりました。

そこで観測システム・技術開発ラボでは、水深 4,000m までの観測を可能とする深海用プロファイリングフロート Deep NINJA の開発を(株)鶴見精機と共同で進めています。Deep NINJA ではツクヨミと同型の浮力エンジンを用いています。今年度はプロトタイプを用いた海洋での浮沈試験を複数回実施して、その基本的性能を検証しました。(図7) 現在、その結果を踏まえて、ソフトウェアの改良と省電力・長寿命化、低コスト化を進めています。2012 年度には水深 4000m までの長期観測実験を行い、実用化へ結びつける予定です。

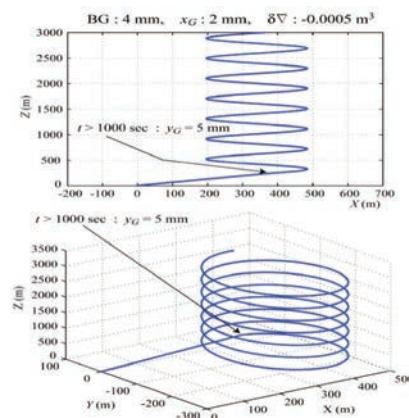


図6. ツクヨミの運動シミュレーション



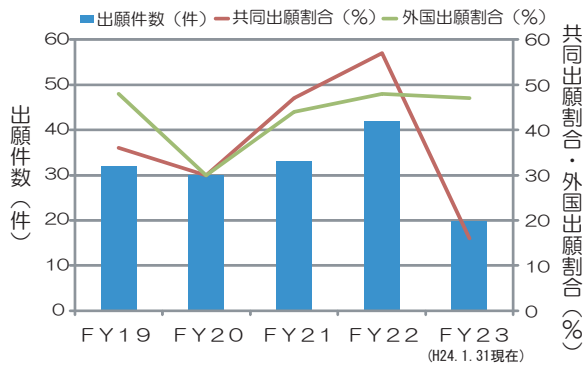
図7. 海中に投入される Deep NINJA

知財活動の主な取り組み

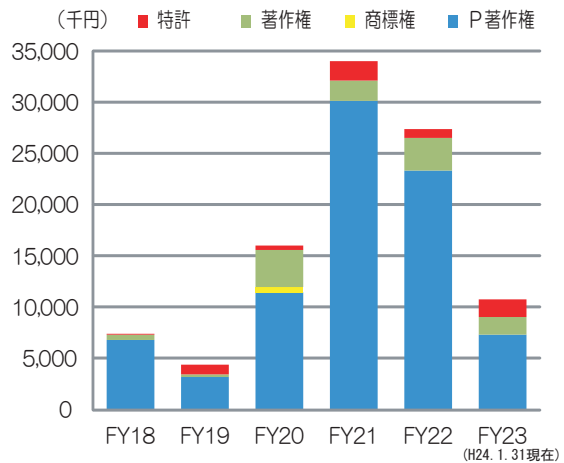
JAMSTEC 知的財産・産学連携の概要

知的財産の保有状況

	国内	海外
特許（特許出願中）	96（95）	30（75）
意匠（意匠出願中）	0（2）	0
商標（商標出願中）	19（3）	0
プログラム著作物	16	-
ノウハウ	4	-



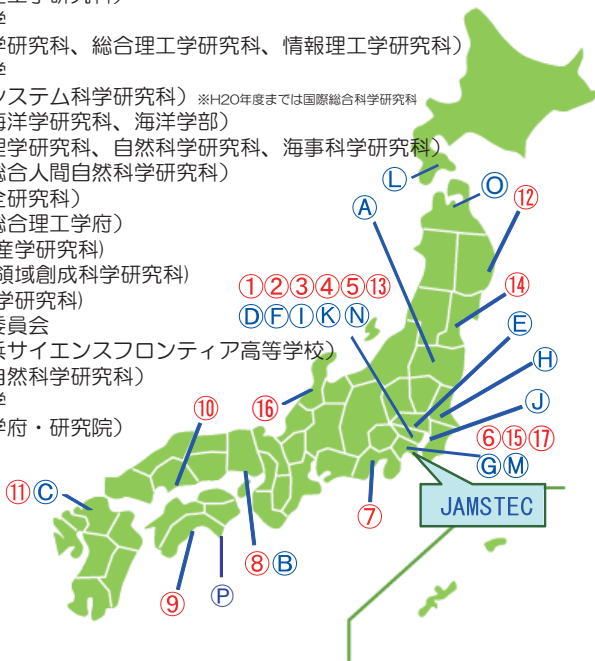
知的財産収入の推移



大学・研究機関との連携の状況

【連携大学院】

- ①東洋大学（工学研究科、生命科学研究科、学際・融合科学研究科）
- ②立教大学（理学研究科）
- ③東京海洋大学（海洋科学技術研究科）
- ④明治大学（理工学研究科）
- ⑤東京工業大学（生命理工学研究科、総合理工学研究科、情報理工学研究科）
- ⑥横浜国立大学（生命ナノシステム科学研究科）※H20年度までは国際総合科学研究科
- ⑦東海大学（海洋学研究科、海洋学部）
- ⑧神戸大学（理学研究科、自然科学研究科、海事科学研究科）
- ⑨高知大学（総合人間自然科学研究科）
- ⑩広島大学（全研究科）
- ⑪九州大学（総合理工学府）
- ⑫北里大学（水産学研究科）
- ⑬東京大学（新領域創成科学研究科）
- ⑭東北大学（理学研究科）
- ⑮横浜市教育委員会（横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校）
- ⑯金沢大学（自然科学研究科）
- ⑰横浜国立大学（環境情報学府・研究院）



【機関連携】

- ①会津大学（地球シミュレータによる研究の地域社会への活用）
- ②神戸大学、兵庫県立大学（次世代スパコンを用いた教育研究）
- ③九州大学（海洋ロボットの研究開発と応用）
- ④宇宙航空研究開発機構（包括的協力）
- ⑤理化学研究所（最先端・高性能汎用スーパーコンピュータの開発利用）
- ⑥石油天然ガス・金属鉱物資源機構（海洋資源分野）
- ⑦国立科学博物館、神奈川県立生命の星・地球博物館（海洋生物データベース）
- ⑧産業技術総合研究所（包括的協力）
- ⑨東京海洋大学（海洋科学技術における連携教育・研究）
- ⑩日本分析センター（分析分野）
- ⑪東京都G機関（文部科学省研究開発局・国土交通省河川局・環境省地球環境局・東京都環境局、国立環境研究所）
- ⑫北海道大学大学院水産科学研究院（海洋科学技術における連携・協力）
- ⑬横浜国立大学（包括協力）
- ⑭(NPO)地学オリンピック日本委員会（普及振興に関する協力）
- ⑮青森県産業技術センター（研究活動全般）
- ⑯室戸ジオパーク推進協議会、高知工科大学地域連携機構（室戸ジオパーク基本協定）

(H24. 1. 31現在)



実用化展開促進プログラム

FSタイプと戦略的連携タイプ

あなたの会社の成果を、JAMSTEC の研究成果や特許、施設・設備と組合せて製品化してみませんか？

< 募集要項 >

1. 募集区分

FSタイプ

JAMSTEC のシーズを用いて、(a) 製品化や事業化、(b) 起業化、(c) 標準化・規格化を目指すための基礎的な調査検討を行います。

- ①実施期間：2年間
- ②提案者：JAMSTEC 職員 または 企業等
- ③経費：最大3百万円/件

戦略的連携タイプ

企業側の技術提案で、企業等のシーズと JAMSTEC のシーズ・施設・設備・ノウハウ等を組合せ、共同開発により製品化等を行います。

- ①実施期間：3年間（各年度末に評価を実施）
- ②提案者：企業等（共同提案者として機構職員）
- ③経費：最大10百万円/年
（JAMSTEC 分担の開発費として）

2. スケジュール（予定）

- ①募集期間：平成24年3月～5月
- ②実用化展開促進プログラム推進委員会（課題選定）：6月中旬
- ③採択課題決定：6月下旬
- ④実施時期：7月～（戦略的連携タイプの場合は、共同開発契約を締結します）
- ⑤成果報告・評価：3月

3. 応募書類

<http://www.jamstec.go.jp/i/about/patent/ip3.html> （詳細が決まり次第掲載します）

4. 問い合わせ

独立行政法人海洋研究開発機構 事業推進部 推進課（担当：黒澤、細谷、山科、小林）
E-mail：chizai@jamstec.go.jp TEL：046-867-9246

※本募集は、平成24年度予算の成立状況によっては事業内容や実施内容を変更する場合があります。予めご了承ください。

組 織
 ■ 理事長
 ■ 理事
 ■ 監事

【研究部門】

地球環境変動領域

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



地球環境変動領域 (RIGC)
 領域長 深澤 理郎

地震津波・防災研究プロジェクト



地震津波・防災研究プロジェクト
 プロジェクトリーダー 金田 義行

システム地球ラボ

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




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

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

アプリケーションラボ

- 気候変動応用ラボユニット



アプリケーションラボ (APL)
 ラボヘッド 山形 俊男

地球内部ダイナミクス領域

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



地球内部ダイナミクス領域 (IFREE)
 領域長 鳥海 光弘

IPCC 貢献地球環境予測プロジェクト



IPCC 貢献地球環境予測プロジェクト
 プロジェクトリーダー 時岡 達志

むつ研究所

- 研究グループ
- 研究推進グループ
- 管理課



むつ研究所 (MIO)
 所長 渡邊 修一

高知コア研究所

- 研究グループ
- 科学支援グループ
- 管理課



高知コア研究所 (KOCHI)
 所長 黒田 芳史

研究支援部

- 支援第 1 課
- 支援第 2 課

海洋・極限環境生物圏領域

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



海洋・極限環境生物圏領域 (BioGeos)
 領域長 北里 洋

海底資源研究プロジェクト



海底資源研究プロジェクト
 プロジェクトリーダー 木川 崇一

【運営管理部門】

- 経営企画室
 - 企画課
 - 技術企画室
 - 報道室
 - 法人統合準備室
- 総務部
 - 総務課
 - 人事課
 - 施設課
 - 職員サポート課
 - 横浜管理施設課
 - 東京事務所
 - 法務・コンプライアンス室
- 経理部
 - 経理課
 - 財務課
 - 契約第 1 課
 - 契約第 2 課
- 安全・環境管理室
 - 監査室

【開発・推進部門】

海洋工学センター

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



海洋工学センター (MARTEC)
 センター長 磯崎 芳男

地球シミュレータセンター

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



地球シミュレータセンター (ESC)
 センター長 藤邊 隆彦

地球情報研究センター

- データ技術開発運用部
- 国際海洋環境情報センター



地球情報研究センター (DrC)
 センター長 今脇 賢郎

地球深部探査センター

- 企画調整室
- 運用室
- 開発グループ
- 科学計画グループ
- 環境保安グループ



地球深部探査センター (COEX)
 センター長 荒俣 雄

観測システム・技術開発ラボ

- 南大洋表面ピラボユニット
- 自律昇降型定域観測ロボット開発ラボユニット




観測システム・技術開発ラボ
 南大洋表面ピラボユニット
 ユニットリーダー 網谷 泰孝

観測システム・技術開発ラボ
 自律昇降型定域観測ロボット
 開発ラボユニット
 ユニットリーダー 松浦 正己

事業推進部

- 推進課
- 国際課
- 広報課
- 図書館課

主要施設・設備

船舶

地球深部探査船「ちきゅう」



長さ :210.0m
幅 :38.0m
船底からの高さ:130m
乗員数 :200名
総トン数 :56,752トン
最大掘削水深:2,500m
ドリルストリング長10,000m
就航年 :2005年

海洋地球研究船「みらい」



長さ :128.5m
総トン数 :8,687トン
乗員数 :80名
就航年 :1997年

深海調査研究船「かいらい」



長さ :106.0m
総トン数 :4,517トン
乗員数 :60名
就航年 :1997年

支援母船「よこすか」



長さ :105.2m
総トン数 :4,439トン
乗員数 :60名
就航年 :1990年

学術研究船「白鳳丸」



長さ :100.0m
総トン数 :3,991トン
乗員数 :89名
就航年 :1990年

海洋調査船「かいよう」



長さ :61.5m
総トン数 :3,350トン
乗員数 :60名
就航年 :1985年

海洋調査船「なつしま」



長さ :67.3m
総トン数 :1,739トン
乗員数 :55名
就航年 :1981年

学術研究船「淡青丸」



長さ :51.0m
総トン数 :610トン
乗員数 :38名
就航年 :1982年

潜水船・探査機

有人潜水調査船
「しんかい6500」



最大潜航深度 :6,500m
乗員数 :3名
長さ :9.5m
空中重量 :26.7トン

深海巡航探査機
「うらしま」



最大潜航深度 :3,500m
最大航走距離 :300km以上(燃料電池駆動)
100km以上(Liチウムイオン電池駆動)
長さ :10.0m
空中重量 :約10トン(燃料電池駆動)

3000m級無人探査機
「ハイバードルフィン」



最大潜航深度 :3,000m
長さ :3.0m
空中重量 :3.8トン

7000m級無人探査機
「かいこう7000II」



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

深海曳航調査システム
「ディープ・トウ」



最大潜航深度 :4,000
~6,000m
長さ :約3.5m
空中重量 :650kg
~1,350kg

施設設備

「地球シミュレータ」



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

「潜水訓練プール」



「超音波水槽」



「高圧実験水槽」



「コア保管庫」



賛助会員名簿

独立行政法人海洋研究開発機構の研究開発につきましては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付をいただき、支援していただいております。(五十音順)

株式会社 IHI
 株式会社アイ・エイチ・アイ・マリンユナイテッド
 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
 株式会社アサツデー・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
 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 SGK システム技研
 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
 有限会社エルシャンテ追浜
 株式会社 OCC
 沖電気工業株式会社
 株式会社カイショー
 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
 川崎重工株式会社
 株式会社環境総合テクノス
 株式会社関電工
 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
 KDDI 株式会社
 京浜急行電鉄株式会社
 株式会社構造計画研究所
 神戸ベイント株式会社
 広和株式会社
 国際気象海洋株式会社
 国際警備株式会社
 国際石油開発帝石株式会社
 国際ビルサービス株式会社
 五洋建設株式会社
 株式会社コンボン研究所

相模運輸倉庫株式会社
 佐世保重工業株式会社
 株式会社サノヤス・ヒシノ明昌
 三建設工業株式会社
 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
 シナネン株式会社
 清水建設株式会社
 シュルンベルジュ株式会社
 株式会社商船三井
 一般社団法人信託協会
 新日鉄エンジニアリング株式会社
 新日本海事株式会社
 須賀工業株式会社
 鈴鹿建設株式会社
 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
 株式会社損害保険ジャパン
 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
 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
 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
 東洋熱工業株式会社
 トビー工業株式会社
 株式会社中村鐵工所
 西芝電機株式会社

西松建設株式会社
 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
 ニッセイマリン工業株式会社
 日本 SGI 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
 日本興亜損害保険株式会社
 日本サルヴェージ株式会社
 日本水産株式会社
 日本電気株式会社
 日本ヒューレット・パッカド株式会社
 日本マントル・クレスト株式会社
 日本無線株式会社
 日本郵船株式会社
 株式会社間組
 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
 株式会社日立プラントテクノロジー
 深田サルベージ建設株式会社
 株式会社フジクラ
 富士ゼロックス株式会社
 株式会社フジタ
 富士通株式会社
 富士電機株式会社
 物産不動産株式会社
 古河電気工業株式会社
 古野電気株式会社
 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
 三菱重工株式会社
 株式会社三菱総合研究所
 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
 ユニバーサル造船株式会社
 ヨコハマゴム・マリン & エアロスペース株式会社



独立行政法人海洋研究開発機構
<http://www.jamstec.go.jp>