

平成16年度JAMSTEC研究報告会

JAMSTEC 2005

JAMSTECが拓く海洋地球のフロンティア



平成17年2月17日(木)
14時00分～17時35分
経団連会館14階 経団連ホール

独立行政法人

 海洋研究開発機構

シミュレータが拓く未来設計	1
地球シミュレータセンター長 佐藤 哲也	
深海底からの贈りもの -深海極限環境生物-	7
極限環境生物圏研究センター長 堀越 弘毅	
「ちきゅう」の運用と新しい地球・生命科学の創成	11
地球深部探査センター長 平 朝彦	
特別講演「知のフロンティアを拓く」	17
講師：相澤 益男 東京工業大学 学長	
海洋科学技術センターにおけるこれまでの主要な成果	
・地球環境観測研究センター	21
・地球内部変動研究センター	29
・極限環境生物圏研究センター	41
・海洋工学センター	47
・地球環境フロンティア研究センター	53
・地球シミュレータセンター	59
・地球深部探査センター	65
・情報業務部	71
・むつ研究所	77
主要施設・設備	81
海洋研究開発機構の組織	82
賛助会員名簿	83

JAMSTECが拓く 海洋地球のフロンティア



海洋研究開発機構 理事長
加藤 康宏

平成16年4月1日をもちまして、海洋科学技術センターは独立行政法人海洋研究開発機構として新しいスタートを切りました。

海洋研究開発機構は、海洋に関する基盤的研究開発、それらに係わる成果の普及および活用の促進、海洋の学術研究に関する協力等を総合的に行うことにより、海洋科学技術の水準の向上を図るとともに海洋に関する学術研究の発展に資することを目的として設置されました。地球を、海洋を中心とした一つのシステムとして捉え、地球環境変動を解明するための研究開発として様々な観測研究、予測研究、技術開発等の基盤的研究開発を実施するとともに、成果の広報・普及・啓発活動を通じ人類の持続的な発展、安全安心の確保、社会経済の発展、知識の進化拡大に貢献するよう努力していく所存です。

本年度の研究報告会では、「JAMSTECが拓く海洋地球のフロンティア」をテーマとして、シミュレーション研究、深海極限環境研究、そして、平成17年度より試験運用が開始され、平成19年度中に国際運用が予定されている地球深部探査船「ちきゅう」で予定されている研究を中心に、当機構の研究成果について報告致します。

さらに特別講演として東京工業大学の相澤益男学長をお招きし、「知のフロンティアを拓く」と題して御講演頂きます。

海洋研究開発機構はこれからも海洋を中心とした地球の探求を通じて人類の未来を切り拓くべく努力して参りたいと存じます。

皆様の一層の御支援、御理解そして御指導を賜りますようお願い申し上げます。

シミュレータが拓く未来設計

佐藤 哲也

地球シミュレータセンター長

地球シミュレータ計画の概要

地球シミュレータの運転を開始し、ほぼ丸3年が経過した。開始早々の2002年4月のニューヨークタイムズの第一面に大きく報道されたのを皮切りに欧米の関心が日増しに高まっていった。完成直前には、ほんの一握りの気候研究に興味のある人たちにはある程度知られていたが、その人たちは、どちらかといえば、日本の気象研究者が十分使いこなせないであろうという懐疑的な反応であったのを、ネイチャーやサイエンスのインタビューなどの中で強く感じたのを昔日の出来事として思い出す。

私自身センター長引き受け打診があったのが完成前数ヶ月前であり、それまではこの地球シミュレータの存在すらほとんど知らず、ましてやその開発の経緯や開発に纏わる人間模様は全く知らなかった。これが幸いして、完成までの数ヶ月の間の前職との兼務期間中に地球シミュレータの有する想像以上の性能の良さとそれを取り巻く環境をほぼ把握することができ、地球シミュレータ研究計画の進むべき大きな方向性をほぼ心の中に描くことができた。

それは、日本が世界の21世紀の科学技術を率先して導いていけるという確信である。地球シミュレータは、あらゆる分野においてこれまで創造し得なかった発想を生みだし、その発想を量的に実現していくさきがけとなるだけの潜在能力と新規性を有している。

このような状況把握のもとに、資源の55%を地球シミュレータ開発の第一義的目である地球環境変動予測、そして、地球シミュレータによってはじめて生まれるであろう画期的な課題に対してもある程度資源を開放（15%）するとともに、地球シミュレータ研究計画を国際的なプロジェクトとして世界的に認知させるため協定（MOU）を結び国際協力を進めるための資源や産業界にシミュレーションによる新製品を開発するための資源を20%用意している（戦略的研究枠）。その他、計算機科学の推進として10%の資源を確保している。戦略的研究枠を除き、公募形式を採用している。戦略枠はセンターとの共同研究として枠内で進める。

分野別資源配分をはじめ、地球シミュレータの運営、利用形態など運営にあたっての重要事項はセンター長の諮問機関である計画推進委員会で審議する。また、公募プロジェクトの選定に対しては課題選定委員会が行っている。計画推進委員会は様々な分野の外部の研究者や有識者、産業界やメディアからも入っていたり、23名で構成されている。また、課題選定委員会はセンター長が委員長となり、各分野からの10

名で構成されている。

公募は基本的には単年度とし、毎年行うことになっている。採用された全ての課題に対し年度末に報告会において報告をする義務がある。計画推進委員は報告会に出席し、各課題の評価をし、次年度の計画に反映させると同時に、課題選定委員会の選定に対する指針を与える。

初年度（平成14年）は7月から開始されたが、二年度、三年度は4月1日から翌年3月末までを年度とする会計年度と合わせている。毎年おおよそ40件のプロジェクトが採用されている（継続も含め）。

活動のあらまし

得られた成果は基本的には利用者が地球シミュレータを用いた研究成果であることを明記し、論文にまとめて発表する。地球シミュレータセンターとしては、全ての採用された課題に対しその年度の終わりに成果レポートを提出してもらい、Annual Report of the Earth Simulator Centerとして公表している。また、地球シミュレータセンターの活動を毎年英文及び和文のパンフレットにして各方面に配布している。代表的な成果のアニメーションを納めたCD-ROMやセンター活動のDVDも製作して配布している。

特筆すべき出版事業として、今年度からJournal of the Earth Simulator (JES) という雑誌の発行を開始した。創刊号は既に発行した。第二号がまもなく出版される。また、毎年一度一般市民向けに公開シンポジウムを開いている。本年は、地球温暖化(野田彰)、地磁気の逆転(陰山聡)、超伝導テラヘルツ発振器(立木晶)、バイオシミュレーション(高田俊和)の4課題のやさしい解説と「シミュレーション文化を拓く人類と地球の未来」というテーマでの小松左京、立花隆両氏と私の3人によるパネル討論がシンポジウムの内容であった。

シミュレータが若者を救う

地球シミュレータがもたらした最も大きなインパクトは、従来のシミュレータがシステムの一部しか対象にすることができなかったのを、一挙にシステムを丸ごとシミュレーションするという質的飛躍をもたらしたことである。この部分から全体（丸ごと）への飛躍の意義は、部分シミュレーションがシステムの改良に役立つのに対し、全体シミュレーションは全く新しいシステムを創り出せることにあるといえる。新しいものを創り出せるということは、未来を設計できるということの意味している。言い換えると、部分改良は元のシステムの枠を抜け出せない、保守的であるのに対し、未来設計は全く新しいものを創り出すことであり、革新的である。新しいパラダイムへの転換を可能にしてくれることである。

デカルト的要素還元に基づく近代西洋科学は、17世紀から20世紀半ばまでに宇宙を創造してきたほとんど全ての基本法則を発見してしまった。そしてその後の50年の間に、基本法則を応用して、人間の望むほとんど如何なるものをも創り出せる技術を完成させ



てしまった。更に、ここ10年ほどの間に、情報という人間のこころを操る技術が跋扈し、インターネットが張り巡らされ、あつという間に情報が世界中に伝わる時代になってしまった。情報は秘密にしておいてはじめて価値をもつものである。みんなが知ってしまったらもはや情報ではなくなる。情報の普及は人の心の潤いを枯らしてしまう。自分だけの情報をいくつかもっていることによって、人は他との違いを感じ、そこに自らの楽しみ、優越感をもちうるものである。インターネットの普及は、個々人のささやかな優越感をも取り上げてしまった。取り上げられた若者は、物に対する憧れも、心の中の優越感をも取り上げられ、人間性をだんだんと失っていきつつある。最近の理由の無い不可解な犯罪の増加はこの物と心の乾燥化の当然の帰結であろう。

この無味乾燥化の傾向を食い止める方策を早急に考え出さなければ、人間は人間であり続けられないであろう。地球シミュレータの基本計画の中に、社会に還元し、人と自然の持続的共生関係を見出す役割が規定されている。人間社会の無味乾燥化が、若者の興味をそそる具体的対象の欠乏、やる気を起こさせる対象の欠乏、実現可能な夢の欠乏にあるならば、そのような対象、夢を創り出すことが地球シミュレータセンターに課せられているとも解釈できる。

地球シミュレータがシステム丸ごとシミュレーションを可能にしたという事実は、自然界であれ、人間界であれ、その未来を設計し、開発し、予測し、予防することを可能にした。即ち、私たち人間は“未来”を自由に細工し、加工することを可能にする“道具”を手にしたのである。未来が、最早サイエンスフィクション、SF、というSF作家のみの対象から、“シミュレータ”という誰もが操ることのできる道具によって自由に自ら望むものを生み出してくれる対象となったのである。私は、これをサイエンス・リアリティと呼んでいる。

丸ごとシミュレーションによって若者たちが、再び未来というサイエンスリアリティを対象として彼らの夢を生き生きと描き続けることが出来る日が近いことを期待したい。

ベクトルから足し算へ、 足し算から掛け算へ

シミュレータの歴史において、これまで大きなアーキテクチャーの転機が二度あった。最初は1976年のシーモア・クレイによるベクトルアーキテクチャーの発明である。シミュレーションには同じ演算が多数回繰り返されることが多いことに注目し、同じ演算をするデータをパイプラインというベルトコンベア上に順番に並べ、オートメーション的に演算部に送り出す方式を作り出したことである(CRAY-1)。この発明以後、シミュレータはほとんどベクトル方式となった。シミュレータの全盛時代である。

1995年頃を境に、ベクトル方式は科学シミュレーションに対象が限定されることから、その需要は減り、ベンダーの経営が苦しくなり、米国、特に、IBMを中心として、パソコンを多数並べる、いわゆるスカラーパラレル方式がスーパーコンピュータ（スカラーパラレルを意識的に取ってここではシミュレータとは呼ばないことにする）が主役に躍り出る。この特徴はフロップス値が並べたプロセッサの数（N）だけ増え

ることである。即ち、性能を足し算(数)の論理で増やそうという発想である。これが第2の飛躍である。しかしながら、スカラ並列方式は、安価であるが、スカラプロセッサの主記憶容量の小ささから、プロセッサの数を増やす毎に、プロセッサ間のデータ転送の回数がNの二乗で増し、転送時間のオーバーヘッドが猛烈に増し、実行効率がプロセッサ数の増加とともに急激に落ちる。従って、シミュレータとしてはあまり有効ではないことが分かる。地球シミュレータはこの欠点を補うためにベクトルプロセッサをベースとしたベクトル並列シミュレータである。その結果、類まれなシミュレータとなり、未来を志向する丸ごとシミュレーションのさきがけが出来上がった。

地球シミュレータは確かにシステム丸ごとシミュレーションというシミュレーションの発想の大転換に貢献した。ところが、つぶさに見ると、一つの物理法則で記述されたシステムに対してのみ丸ごとを可能にしたのであることが判明する。例えば、大気循環のシミュレーションを見ると、ナビヤ・ストークス方程式で記述できる全球大気のシミュレーションであり、雲形成という異なった法則で支配される物理に対しては、いわゆるパラメタリゼーションという半経験的なモデルを導入せざるを得ない。雲物理はより原理的な物理法則で記述されているにもかかわらずである。全てのシステムは、自然界であれ、人工物であれ、いくつかの階層で構成されている。各階層は異なった物理で記述される。

この自然の階層性に学べばよい。一つのシミュレータで異なった階層を記述しようと考えれば、一番下層(マイクロ層)の最少のマイクロ間隔の空間格子で全システムを覆い、最小のマイクロな時間ステップで時間を刻んで、マクロ時間まで積分しなければならない。これは地球シミュレータでも到底不可能な要求である。今多額の開発投資をして、チップ開発を行い、地球シミュレータの100倍のシミュレータ(3ベタフリップス)を作ったとしても、空間格子間隔は高々5分の1になるだけである。到底別の階層まで含んだシミュレーションを実行することは出来ない。

私の提唱するアーキテクチャーは、メーカーの通常のルーチンによって開発されたチップを用いた地球シミュレータ超級のシミュレータを複数用意し、それらを密結合し、一つのシミュレータを構成する発想である。図1に二階層アーキテクチャーを示

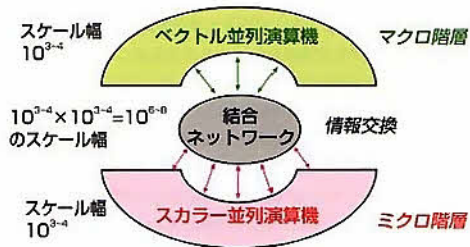


図1 2階層シミュレータの概念図

す。このアーキテクチャーによって、図2に示すように、時空に階層化された巨大な時空のシステムが一度に難なく取り扱いが可能となる。その結果、二つのシミュレータの性能(時間も空間も)の掛け算の性能と同等のシミュレータが実現できることになる。両者が演算性能100テラフロップス及びメモリ50テラバイトだとすると、100テラ×100テラ=10の13乗ペタフロップス、50テラ×50テラ=2.5×10の12乗ペタバイトという信じられないほどの性能が実現することになる。これをマルチプリケーション(掛け算)アーキテクチャーと呼ぶことにする。

これは、ベクトル化、パラレル化に続く、マルチプリケーション(掛け算)化という第3の飛躍である。この発想は、今後如何なる高速度の演算素子、例えば、量子素子が開発されても生きている基本的な発想である。

未来はほぼ自由に設計できる

この連結階層シミュレータ、あるいは、マイクロ・マクロ・マルチプリケーション (M3)・シミュレータの最大の特長は、地球シミュレータと同じ程度の費用で今すぐにも開発できるということである。

このシミュレータは上に述べたように、あらゆる階層化されたシステムをリアルにシミュレーションできる。従って、自動車であれ、ロケットであれ、創業であれ、ナノ材料であれ、バイオ機能であれ、気候・気象現象であれ、地震であれ、都市のヒートアイランド現象であれ、何であれ十分設計でき、また、正しく予測できることになる。

従って、若者たちが十分に自らの現実的な喜びと楽しみと夢を簡単に見出せる時代がすぐにも到来する。

講演の中では、この連結シミュレーションが絵に描いた餅ではなく、実際に働く発想であることを地球磁気圏大規模対流と電子・イオンが絡み合ったマイクロな電子加速(オーロラ粒子)との階層間結合によるオーロラ発生シミュレーション、及び、大気循環と台風による局地的災害を例にとりて話すことにしたい。

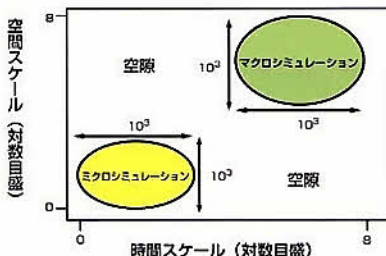


図2 2連結シミュレータの取り扱い得る時空スケール

深海底からの贈りもの

-深海極限環境生物-

掘越 弘毅

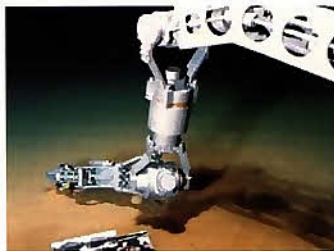
極限環境生物圏研究センター長

惑星における微生物の探査が行われている今日でも、地表の三分の二が海で「水の惑星」といわれる地球、その深海や地殻内はまだ殆ど人の手の及ばない未知の世界です。

深海や地殻内は人間がとても住めない極めて過酷な自然環境であり、深海底は高圧力、低温（2-4℃）、暗闇の世界です。しかも、そこには300℃を超える熱水を噴出する超高温も存在しています。地殻内には低酸素、貧栄養、低水分の極限環境にあり、7000mの地殻内では2000気圧、300℃と推測される世界です。このような極限環境には生物は存在し得ないと考えられてきました。しかし、1977年米国の潜水調査船「アルビン号」がガラバゴス諸島の深海底で熱水噴出孔を発見し、その周辺に多くの生物を見出し、このような過酷な極限環境下にもエビ、貝、魚などの高等生物が生息していることがわかりました。

厳しい環境下に生息する極限環境微生物の研究については、1964年（昭和39年）にわが国が世界に先駆けて本格的な研究に取り組み世界の極限環境微生物研究の先導的役割を果たしてきました。

海洋科学技術センター（現・海洋研究開発機構）では、1990年（平成2年）から地球上の未踏領域である深海の研究開発を推進するため、自らの有する有人で世界で最も深く潜水できる有人潜水調査船「しんかい6500」、世界最深部マリアナ海溝の10,000mをも探査できる無人探査機「かいこう」などを活用して深海底の特殊環境下に生息する微生物を研究対象とした「深海環境フロンティア」を創設し、さらに



マリアナ海溝底での底泥サンプルの採取



有人潜水調査船「しんかい6500」

2001年（平成13年）には発展改組した「極限環境生物フロンティア研究システム」として未踏の深海の極限環境下（地殻内も含む）に①どんな生物がいるのか、②これらの生物はどんな特徴を持っているのか、③地球環境とどのようにかかわっているのか、④われわれの生活や産業に役立つかといった視点に立ち、新展開として“地殻内微生物研究”、“極限環境微生物ゲノム研究” 深海の多細胞生物研究 “や” 深海生物を取り巻く環境の物理化学現象 “をも対象とする研究を行い、サイエンス面では生命の起源や極限環境への適応メカニズムや海洋エコシステムの解明への寄与、応用面では新規有用微生物や酵素の開発、ゲノム情報の応用などによる新しいバイオテクノロジーの開拓を目指してきました。

これまで数多くの深海生物群を観察し、深海底泥サンプルを採取しました。その底泥等のサンプルから多くの新種、新属の微生物、極限環境生物の存在を明らかにしました。世界最深部のマリアナ海溝からは約3000株の微生物を分離し、たんぱく質分解酵素や糖質分解酵素などを生産する有用微生物の分離に成功しました。ゲノム研究については、これまでに3つの微生物の全ゲノム配列を決定し、微生物の進化や環境適応に対する多様性に関する重要な知見ばかりでなく、有用物質の探索や生産性向上などに必要な情報を得てきました。また、われわれの提唱した圧力生理学の分野では深海の高圧力で生育する微生物の生きるための戦略を明らかにしてきました。他方、深海には微生物のみならず多細胞の高等生物も生息しています。これらの多細胞生物を深海環境下で捕獲し、飼育し、個体レベルや細胞レベルで圧力応答メカニズムなどの研究も進めています。生物を取り巻く極限環境については、深海の熱水噴出孔や地殻内で出現が予測される様々な物理化学現象について、生命の起源や化学進化との関連も視野に入れながら研究を行っています。



マリアナ海溝より分離された新規有用微生物



絶対好圧性細菌

地殻内微生物については、全地球の潜在微生物量の90%以上が地殻内に存在すると言われ、地球最大の生物圏と言われています。この巨大かつ未知の微生物圏について、活動的地殻内環境であると推測されるプレート境界域を重点に研究を行い、微生物の存在量、分布、特性を明らかにするとともに、現在の微生物活動と地球科学的ダイナミズムとの関わりを解明し、過去の微生物活動の手がかりを通して、生命の起源と進化、過去の地球環境変動を明らかにすることを目指しています。平成19年度には地球深部探査船「ちきゅう」の本格運航が始まろうとしています。これまでの常識を覆すような多様な微生物が存在しているかもしれません。

海洋科学技術センター（現・海洋研究開発機構）では研究開始以来、たくさんの深海、地殻内の微生物株や深海底泥、岩石などのサンプルを保管してきました。現在の科学技術で明らかにできる微生物は陸上の微生物でさえ数%、深海微生物はその1/10程度であると言われています。100年、いや数百年の後にはこれらのサンプルから未知の微生物や遺伝子がよみがえる時がくるかもしれません。未来の日本のため、人類のため深海、地殻内などの深海底のサンプルを集積して深海極限環境の博物館をめざしています。

われわれはまだ深海、地殻内のほんの一端を覗き見ているにすぎませんが、近い将来、夜空に輝く星のように深海底の暗闇から輝くすばらしい贈りもの「深海極限環境生物」が数多く降りそそぐと信じています。



深海底熱水孔下微生物圏の探索



高圧で飼育中の深海魚



世界最深度マリアナ海溝から分離された新奇セルロース分解酵素

「ちきゅう」の運用と 新しい地球・生命科学の創成

平 朝彦

地球深部探査センター長

1. 新しい地球・生命観とは

現在、地球の人口は60億人を越え、人間活動の影響は地球の隅々まで顕著になっている。地球温暖化や海面上昇、金属資源や水資源の枯渇、土壌の流出そして地球規模での環境汚染など、地球と人間社会の危機が現実なものとなってきた。このままでは、地球はどうなるのか、私たちは地球上でこれから生きてゆけるか、誰もが不安に思っている。また、スマトラ沖巨大地震とそれに伴う大津波の被害は、自然の脅威に対して、人間社会が脆弱であることを知らしめた。そして、残念ながら地球科学はまだまだ未来予測や防災、環境保全などに対して十分な役割を果たし得ないことが実感された。

それでは、これを克服し、地球科学が地球や人間の未来に関して大きな貢献を果たすには、どのようにしたら良いであろうか。これに対して近道はないと考える。すなわち、「地球とそこに生きる生物（人間も含めて）の関係について、より良く知る」ということこそ、最大の貢献と考える。

近年になって、地球科学や生物科学の発展により、私たちの地球に対する理解が急変しつつある。それは、「地球内部の現象と私たちの住む地球表層は、従来考えていたより遥かに密接な関係にある」という考え方である。私たちは、最近、地球内部に実は隠れた地球変動の主役が存在していることに気がついた。それは、

- (1) 地殻内部深くまで存在する地下生物圏の役割
- (2) 海底下や凍土層に存在するメタンハイドレートなどの未知の炭素リザーブ
- (3) 地殻からマントルまで存在するH₂OやCO₂などの流体の役割

である。これらの存在は、地球内部と表層の間での物質循環や力学的プロセス（例えば地震）などに密接に関与していると推定される。しかし、その実態はほとんどわかっていない。地球深部探査船「ちきゅう」は、その実態解明のために導入される。

「ちきゅう」の運用を通じて、地球内部で起っている出来事の動態（ダイナミクス）を観測し、それらが我々の住む地表世界（表層環境）とどのように関連しているのかを探査し、かつ地球史の時間の流れの中でこの相互作用がどのような役割を果たしてきたか理解し、未来予測モデルの構築を行うことが、今、我々に求められている。

2. 「ちきゅう」の運用とデータの創出

2004年に海洋研究開発機構が導入する最新鋭の掘削船「ちきゅう」(図1)は、ライザー方式(図2)による最大水深2500mの海底から7000mの深さまでの掘削能力を有している。掘削船「ちきゅう」は約2年間の試験運用の後、統合国際深海掘削計画(IODP)の枠組みで2007年から本格的な科学運用を開始する予定である。「ちきゅう」の掘り出した柱状試料(コア)は、船上の研究設備、さらに陸上研究施設で分析される。

試験運用は下北沖の水深1000-2500mの海底からライザー装置により2孔を掘削し、機器の操作の習熟、運用システム全体のテストなどを行う。試験運用後、最初の科学掘削候補海域としては、熊野灘の南海トラフ地震発生帯が国際的に検討されている。実際の掘削が始まる前に、科学的および安全面での評価を行うために反射法地震波探査(Seismic Profiling)や海底面調査が行われる。これを事前調査と呼んでいる。

具体的には「ちきゅう」は、事前調査も含めて下記のデータを創出する。

- (1) コア(Core)の採取によって岩相、間隙水、微生物などの地下の物質と生物のデータ
- (2) 掘削孔を使った計測(孔内計測: Logging)による現場の物理、化学的な状態のデータ
- (3) 掘削孔のデータと地震探査のデータを組み合わせた地域的な地層の広がりや構造のデータ
- (4) 掘削孔を使った地震や歪み、化学反応など長期観測(Monitoring)のデータ
- (5) 掘削孔を用いた実験(Active experiment)のデータ



図1 長崎沖を試験航行中の「ちきゅう」

すなわち、「ちきゅう」の運用を通じて地球探査センター（CDEX）は、Core-Log-Seismic-Monitoring-Experiment Integration Dataを創出することを中心的な役割としている。これを研究者コミュニティと協力して取得し、提供し、またデータベースとして活用してもらう。とくに海洋研究開発機構においては、各センターと密接な連携を取りながら、この任務を推進してゆく（図3）。私は、この連携の中から、新しい地球・生命科学（あるいは地球システム科学と呼ぶことができる）が創造されてゆくと確信している。

3. 人材の育成

CDEXは多様な専門家集団から構成されている。それは、下記の部分からなる。

(1) 事前調査と掘削計画

科学諮問組織で採択された掘削地点について、安全面および技術面から検討を行なうために、調査を実施する。また、掘削をどのように行なうのか、ケーシングはどの長さのものをどれくらい準備するのかなど、合理的な掘削計画を立案する。

(2) 技術開発

「ちきゅう」の建造、そして引渡し以降は、ドリルビット、コアの回収の改善など、主に掘削に関する技術開発と改善を行なう。

(3) 科学支援

「ちきゅう」船上研究設備の維持と管理、データの管理と流通、成果の出版などを行なう。

(4) 企画と経理

人事、予算の管理そして公報など、計画の運営管理を行なう。

CDEXは、これらの任務を委託会社と協力して安全にかつ効率的に遂行してゆく。



図2 ライザーパイプ。外側のシタクティックフォームで浮力を得る。浮力体を含めた直径は122cm、1本の長さ27m

我が国は、国際的なレベルで大勢の専門家の集団を動かし、物事をやり抜くことに長けてはいないと言われている。確かに、研究者や技術者は、狭い自分の世界に入り込みがちであり、また、国際的な場で自分の主張を強烈に展開する力に乏しい。また、行政に携わってきた人たちも、国際的なレベルでの柔軟でかつ厳密なマネジメントの経験をあまり有していない。これは企業においても同じことである。一方、我が国の計画推進のやり方には、着実性や協調性などで長所を有していることも確かである。CDEXは、「ちきゅう」の運用を通じて、新しい科学技術マネジメントのモデルを作り、また、そこから科学技術の推進を担う広い視野をもった強力な人材を育てることに努力してゆく。

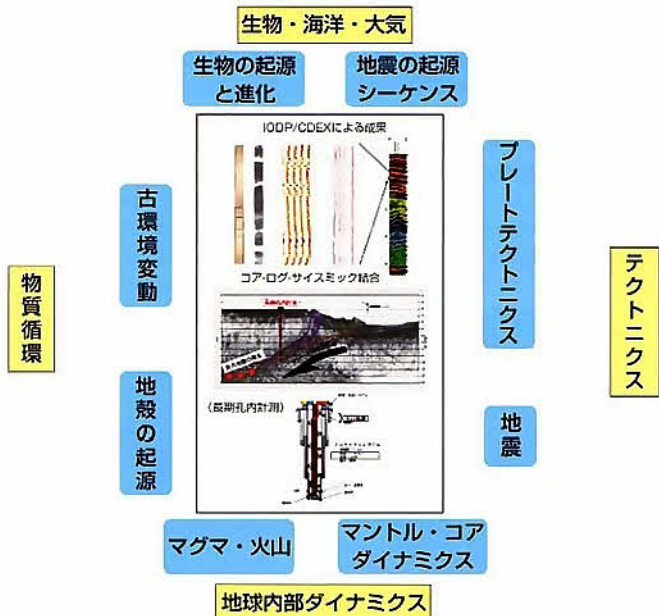


図3 「ちきゅう」の創出するデータ (Core-Log-Seismic-Monitoring Integration) と地球・生命科学での位置付け



特別講演 Special Lecture

知のフロンティアを拓く

講師：相澤 益男
東京工業大学 学長



21世紀は“知の時代”。グローバル化の進展は経済分野にとどまらず、文化などあらゆる分野に及んできた。グローバル化された知識基盤社会への移行はますます加速される状況であり、それにともなって知識がもっとも重要な経済資源となりつつある。新しい時代に向かって、世界の国々で国際的競争力の重点的強化が焦眉の急となってきた。天然資源が乏しい我が国にお

いては、知の時代における国際的優位性の確保と、国際的リーダーシップの発揮が喫緊の課題であることはいままでのまではない。

我が国は、「知のフロンティアを拓き」、「世界の憧れとなる国」を目指して、国づくりを進めるべきであろう。知のフロンティアは、「知の時代をリードする創造性豊かな人材の育成」、「世界をリードする科学技術の創造」、「世界の憧れとなる文化の創造」にあるという認識のもとに、人材・文化創造立国とともに科学技術創造立国が標榜されるべきである。

知の時代に向けて、大学改革を重点施策としている国はきわめて多い。とくに中国、韓国、タイなどアジア諸国の劇的進展は脅威である。世界最高水準の大学づくりに向かって進められている、我が国における大学改革の今後を展望する。

科学技術の創造は社会の持続的発展の基盤である。しかしながら、経済の活性化への寄与が過大に強調されるあまり、将来のイノベーションの源泉となり、文化の創造につながる基礎研究が疎かになるようなことがあってはならない。とくに未踏の領域である“極限の世界”に広がる、深海・地球、宇宙、ナノワールド等の“科学技術フロンティア”としての重要性を明らかにしておきたい。

地球環境観測研究センター

Institute of Observational Research for Global Change

平成16年7月1日に海洋観測研究部と地球観測フロンティア研究システムが統合され、地球環境観測研究センターが設立されました。地球環境観測研究センターは、気候変動観測研究プログラム、水循環観測研究プログラム、地球温暖化情報観測研究プログラム、海洋大循環観測研究プログラムそして海大陸観測研究計画の、4つのプログラムと1つの計画によって構成されています。

地球環境観測研究センターでは、それぞれの今迄の研究活動を基盤とし、信頼に足る地球環境変動予測を目指し、太平洋、インド洋、北極海、ユーラシア大陸アジア域等において、研究船、ブイ等の観測施設・機器を用いて、海底堆積物を含む海洋・陸面・大気の観測を行う。また、観測データの解析により、熱・水・物質循環過程とそれらの変動についての知見を得るとともに、海水温の変動や海洋が吸収する二酸化炭素量等地球温暖化の影響を検出し、数年から数万年の時間スケールでの地球環境変動についての知見を蓄積する。そして、収集した観測データは、適切な品質管理を行い速やかに公開して研究、産業利用に供するとともに、国際的な地球観測計画の策定・実施にも貢献する。

気候変動観測研究プログラム

本プログラムは、海洋上層の広域・継続的な観測システムを開発して、海洋を主体とする数年～数十年規模の気候変動の実態把握とそのメカニズムの解明研究を行っている。

熱帯海洋気候グループ

西部太平洋～東部インド洋域の暖水プールにおいて季節内から10年規模の大気・海洋変動の諸過程を解明するため、トライトンブイ、中層ADCP係留系、船舶観測等のデータの解析研究を進めている。ここではインド洋のトライトンブイで得られた最近の解析について報告する。

太平洋のエルニーニョ現象に匹敵する気候変動への寄与から、インド洋での海洋変動が近年注目されている。経年的な海面水温変動であるインド洋双極変動は、インド洋周辺国の気候だけでなく東アジアの気候まで影響を及ぼすことが示唆されている。しかし、インド洋赤道域は観測空白域が多く十分な観測データが得られていない。

このような中、2001年10月から現在まで、「みらい」によって東部熱帯インド洋海域に2基のトライトンブイが設置されてきた。このデータから水温・塩分変動に顕著な半年周期の変動が卓越し(図1)、また水温躍層下で顕著な鉛直伝播があることを明らかにした(図2)。このような海洋内部の変動はトライトンデータにより始めて観測的に示されたものであり、インド洋双極変動等のメカニズムの解明につながるものと考えられる。

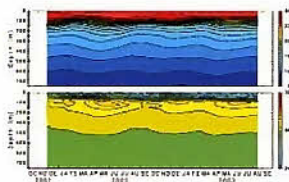


図1 東部インド洋赤道付近に設置されたトライトンブイの水温(上図)・塩分(下図)データ。(90日以下の短期成分は除かれている)

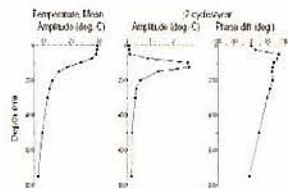


図2 トライトンブイから得られた平均水温(左図)、半年周期成分の振幅(中図)および位相の鉛直分布(右図)

Argoグループ

2004年度は、JAMSTEC及び9つの関係協力機関(気象庁、海上保安庁、水産庁、極地研、東大海洋研、北大、東京海洋大、三崎水産高、鯨類研)の16航海によって北・南太平洋、インド洋、南大洋に計118台のArgoフロートを投入。米国について世界2位の貢献をしている。2004年11月現在で全世界で稼働しているArgoフロートは1,521台で、目標3,000台の半分以上を越えた(図3)。Argoグループは、北太平洋及び南太平洋(30度以南とオーストラリア東部海域を除く)に投入される各国のArgoフロートデータに対して遅延モード品質管理を行う太平洋リージョナルセンターを開設した。ミレニアムプロジェクトは、2004年度で終わるが、JAMSTECは観測センターの中期計画でArgoフロートの展開を継続する。



Argo Network, as of November 2004

1521 Active Floats

- AUSTRALIA (18)
- GERMANY (10)
- MAURITIUS (2)
- CANADA (16)
- INDIA (37)
- NETHERLANDS (2)
- CHINA (1)
- ISLAND (2)
- NEW ZEALAND (5)
- EUROPEAN UNION (34)
- JAPAN (22)
- NORWAY (9)
- FRANCE (10)
- KOREA (10)
- RUSSIAN FED. (5)
- SPAIN (9)
- UNITED KINGDOM (80)
- UNITED STATES (197)

図3 Argoフロートの分布

水循環観測研究プログラム

本プログラムは、降水、河川流出や土壌水分など水循環に関係した諸量と、それを決めている過程、そして地球の気候形成や変動に対する影響を解明するプログラムです。特に現在懸念されている地球温暖化による変化とその進行に対する影響についての知見を得ることです。このためには、まず水循環の現状を正確に把握する必要があり、本プログラムでは、特に雪氷が存在し、地球の冷源地域になっているユーラシア大陸東部の寒冷圏と、水蒸気や雨が多く地球の熱源地域にあたる東南アジアや西太平洋の亜熱帯・熱帯に重点をおいて研究しています。



図4



図5

寒冷圏水循環グループ

寒い地域では、大気中の水蒸気が少ないため、地表面での水や雪氷の分布、そして蒸発散量を決めている森林の挙動が水循環全体を特徴づけています。地球温暖化で凍土が衰退し、積雪量や森林が変化したとき水循環がどう変わるかなどは特に重要な問題であります。本研究グループでは、シベリア地域に2箇所、より南のモンゴルに1箇所、計3箇所に海外の陸面過程観測サイト、また国内にも積雪地帯サイトを設け、水の動きや雪氷の変化の仕組みを調べています。また水の安定同位体を用いて、大気中での水蒸気や水の流れの研究や、水循環変動を含めた気候変化の指標となる水河の研究も開始しました。

多年にわたる平均的状態や異常気象年の状況のデータを必要とするため、本年度も3箇所の観測サイトでの観測を継続して実施し、モンゴルサイトでは、蒸発散量の湿乾年での違いを見出すことができました。またシベリア全域にわたり水サンプリング観測網を設定し、安定同位体の分析機器を導入して測定を開始しました。

雲・降水過程グループ

雲・降水過程グループでは、西太平洋赤道域から梅雨前線帯における大気水循環過程を明らかにするために、特に降水が多く日本への影響が強い梅雨期の中国・長江下流域における降水システムの構造と発達過程、と西太平洋赤道域にあるパラオ諸島周辺における雲・降水過程の観測を行っています。

長江下流では、本年度も豪雨をもたらした降水システムが多数観測され、梅雨前線周

辺の気流系が降水を集中化させている様子を捉えることができました。西太平洋赤道域（パラオ諸島）における観測では、AWS、ウィンドプロファイラー、マイクロレインレーダー、ディストロメータ、航空機観測など多角的な観測を実施しており、1月に本年度の集中観測が終了したばかりで、現在集中観測で取得したデータの解析を行っています。

広域水循環グループ

本研究グループは、インドシナ海大陸からチベット・ヒマラヤにかけての広域にわたる大気中の水・エネルギー循環の実態を把握し、それにより、夏季間の水循環の変化などの季節内変動より長期的な気候変動のメカニズムを解明することを目的としています。これを行うために、これらの地域に自動気象観測装置（AWS）、GPSという衛星を用いた水蒸気観測、地上からのラジオゾンデ観測、安定同位体分析のための降水サンプリングなどを行い、特にインドネシア・スマトラ島中西部のコトバタンでは、ドップラーレーダーを含めた多角的な観測を実施しています。

本年度には、4月から5月にかけて、多機関共同での初めてのスマトラ観測を実施し、この観測により海大陸の降水システムの巨大な日変化の現象が捉えられました。また海洋地球研究船「みらい」を利用したベンガル湾上での雲閉の季節内変動の観測を実施するとともに、スマトラ島で取得した降水の安定同位体の分析結果と大循環モデルの比較検討を行いました。

地球温暖化情報観測研究プログラム

栄養塩が豊富で生物生産が世界的に高いと同時に大きな炭酸ガス吸収域でもあるため、全海洋の物質循環過程の解明に極めて重要な北西部北太平洋と気候変動の高感度センサーである海氷の変動に地球温暖化の兆候が最も早くまた顕著に現れるとされる北極海を重点海域として、地球温暖化に関係する海洋環境の変化や炭酸ガス吸収過程などについて観測研究を行っている。加えて、過去数10万年までに生じた大規模な気候変動（第四紀には、数万年から十万年スケールで地球が温暖・寒冷化を繰り返してきた）を海底堆積物の分析により復元し、近未来の気候変動予測に貢献をすることを目指している。

平成16年度のトピックス 物質循環グループ

地球温暖化の影響が海洋にも現れ始め、海洋の化学環境にも影響を与え始めている。しかし、化学物質分布の僅かな経年変化を検出するに足る高精度で長期にわたる観測データの蓄積が十分なく、限られた海域での数少ない報告例があるのみである。物質循環グループでは、2001年より東経155度線に沿った観測線を設け、化学環境分布の現状の把握と時間変動・変化を把握するための高精度観測を行っている。図6に示した2001年と2004年の溶存酸素量の断面からは、亜寒帯域の中層で酸素量の減少が認め



られる。ここでの全炭酸の変動など考慮すると、中層の循環が弱体化して有機物の分解が高まった可能性を示唆している。

北極海気候システムグループ

1997年以来、夏季海水縁の異常後退が続いているカナダ海盆を中心として、海水変動に大きな影響を与えていると想定される陸棚水（夏季と冬季）の水塊特性及び分布などについて観測を行ってきた。特にベーリング海峡の北側のバロー海底谷からノースウインド海嶺にかけて海水後退が著しく見られる。この海域では、夏にベーリング海から塩分31~32psuで特徴付けられる夏季太平洋水と呼ばれる暖水が流入し、深さ数10mに広がっている（図7a）。また、ノースウインド海嶺域でのその水温は海水減少に合わせて上昇傾向にある。一方、深さ百数十mにある冬季水は低温化を示している。海水が減少すれば、大気・海洋間の相互作用がより直接的なされることになり、夏季には海水は暖められやすく、冬季には冷やされやすくなる傾向が如実に現れている。

古海洋環境復元グループ

堆積物に埋没している有孔虫化石が持つ炭素安定同位体比や微量元素などを“プロキシ”（代替指標）として古環境復元を行うためには、実際に生育する現場の環境とプロキシとなる元素の関係を正確に把握しておく必要がある。このため、現世有孔虫の飼育実験により形成する殻の各種化学分析を行うとともに、実験のすべてを映像に記録した。その結果、有孔虫の発生や変態の様子を映像で捉えた例は過去にないため、生態学上で多くの発見が相次いでいる。これらの映像的発見を紹介するためDVDによる生態記録の有償配布を11月より開始した（JAMSTEC ホームページ上で紹介）。

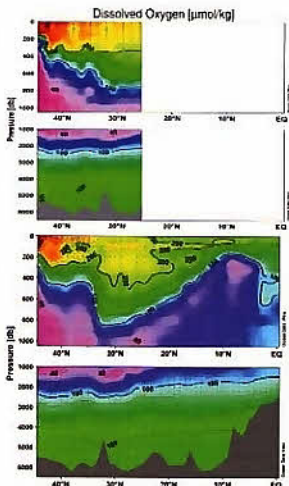


図6 東経155度線に沿った溶解酸素量の南北断面

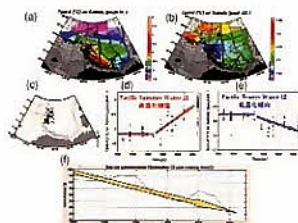


図7 (a) 塩分31.3面上の水温分布、(b) 塩分33.1面上の水温分布、(c) 図(d)(e)作成に用いたノースウインド海嶺域の観測点。(d)、(e)それぞれ1990年以降の夏季太平洋水と冬季水の水温変動、(f) ノースウインド海嶺域の9月の海水密度変動



図8 浮遊性有孔虫の生態

海洋大循環観測研究プログラム

本プログラムでは、地球温暖化を含む気候変動の予測研究に寄与するため、熱、真水（塩分）、炭素系物質、フロン類、栄養塩等の存在量とその輸送経路に関するロバストな海洋構造と時間変化を把握・解明することを目的として、海面から海底まで、多項目にわたる精度の高い観測を、海洋を完全に縦・横断する多くの測線上で実施すると同時に、特に熱・真水の移動に大きな影響を及ぼす黒潮等の西岸強化流での時系列的な観測を実施している。平成16年度は、黒潮域での輸送量を目指した新たな観測が開始される一方、平成15年度に実施した南半球の南緯30-20度帯を一周する航海（BEAGLE2003、2003年8月～2004年2月）によって得られた水温、塩分、溶存化学物質の高精度観測結果の解析とデータ公開に向けての品質管理を行った。

後者のデータ解析については、1990年代前半に実施された世界海洋循環実験計画（WOCE）との比較から、太平洋、大西洋、インド洋の各大洋の南極底層水で、水温の上昇傾向（約0.01℃）がみられること、南極周辺での海水変質に伴う鉛直循環（南極オーバーターン）の弱まりが全層で示唆されること、が明らかとなった。これらの結果と気候の変化との関連について、海面フラックスデータ、歴史的データをも利用し、更なる解析を進めている。また、溶存化学物質については、大西洋の南極底層水に有意な濃度でのフロンの存在が発見された。ケープ海盆では濃度にして0.03～0.05pmol/kgと微量であるが、12年前のWOCE航海では検出されていない。南極底層水の展開速度について新たな推定根拠となる。一方、太平洋の南極底層水では全炭酸濃度が約3μmol/kg高くなっていた。

この増加は、大気中に放出された人為起源二酸化炭素を海が吸収した分と推定され、フロンに関する知見と共に、人間活動の影響が南極周辺での海洋循環を通して海洋深層に広がりつつあることを示す結果となった。

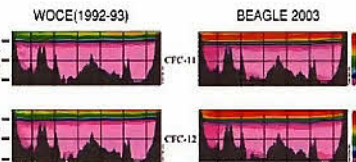


図9 12年前のWOCE航海とBEAGLE2003のフロン濃度分布

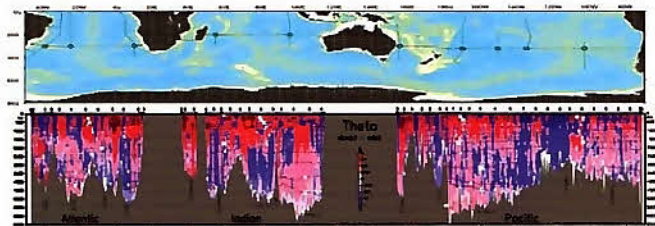


図10 BEAGLE2003の測点(上段)とBEAGLE2003によって得られた水温の鉛直断面図(下段)

海大陸観測研究計画

熱帯の西太平洋からインドネシア多島海を経て東インド洋につながる海域は世界でもっとも海面水温が高く、積雲対流が活発で大気大循環のエンジン的な役割を果たしている。エルニーニョの発端域であるなど気候変動の鍵となる海域であり、また台風が発生域としても重要である。



写真1

この海域における積雲対流を大規模大気や海洋との相互作用の視点から解明することを目的として、前組織時代からパラオ共和国における陸上観測基地と観測船「みらい」による観測を行ってきた。パラオ共和国では、アイメリークおよびベリリュウ島にウインドプロファイラーや地上気象観測装置、シーロメーターなどを設置し、通年連続観測を行っている。今年度はさらにアイメリークにドップラーレーダーを設置し、通年観測を行う体制を整える（写真1）とともに、今年度から来年度にかけ、名古屋大学との共同研究で名古屋大学のドップラーレーダーをベリリュウ島に設置し、アイメリークのレーダーとのデュアルドップラー観測を開始した。

さらに2004年12月15日～2005年1月5日には「みらい」も参加した集中観測を行った。「みらい」搭載のドップラーレーダーと陸上のドップラーレーダーによるデュアルドップラー観測という世界的にもほとんど例のない観測（図11、+印が「みらい」の位置、3つの円はそれぞれのレーダーの観測範囲）を中心として、パラオや「みらい」からのゾンデ観測を含む総合的な観測により、海洋上の積雲対流の構造、組織化のメカニズム、島の影響などを探った。

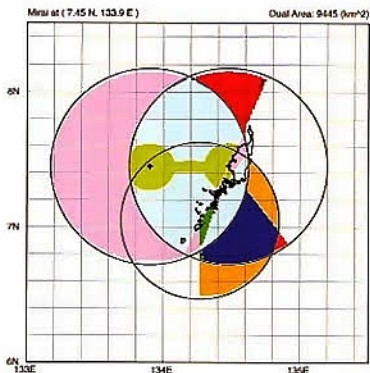


図11

地球内部変動研究センター

Institute for Research on Earth Evolution (IFREE)

仏領ポリネシアにおける広帯域海底地震観測

仏領ポリネシア海域のマンテルに巨大な上昇流（スーパーブルーム）が存在するのではないということが推測されています。地震波トモグラフィーで得られた大きな低速度異常や広範囲に見られる海底の盛り上がり、数多いホットスポットの存在が推測の根拠です。このようなスーパーブルームの存在の可能性はアフリカでも提案されており、これら2箇所がマンテル対流の主要な上昇部となっているという仮説が提唱されています。しかし、ポリネシア地域では地震が少なく海洋なので地震観測点も限られており、これまでのデータでは上昇流のほんやりとしたイメージしか分かりませんでした。そこで、日仏共同で海洋島、海底での機動的広帯域地震観測を行っています。日本ではIFREE/東大地震研が2003-2005年に8点での海底観測をおこない、フランスは2001-2005年に10点での海洋島地震観測をおこなっています。

図1は観測点の分布です。これまで西欧並みの広大な地域に4点しかなかった広帯域地震観測点が海底・海洋島合わせて22点になります。日本では長期・広帯域の海底地震観測の分野で世界をリードする広帯域海底地震計（BBOBS）が開発・実用

広帯域海底地震計で南太平洋ホットスポットを探る

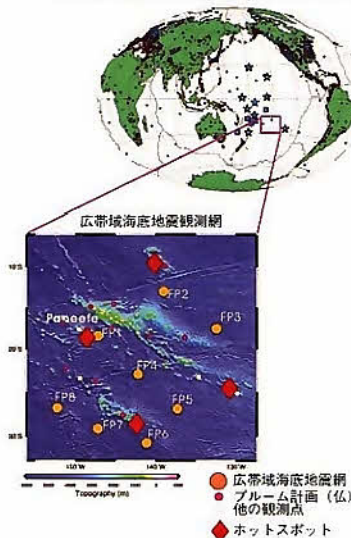


図1

化されており、この実績によってはじめて本観測が可能になりました。

BBOBSは2003年1月に「よこすか」によって設置され、2004年8-11月にかけて回収されました。当初、回収は母船上のトランスポンダーからのコマンドによるBBOBSの鐘切り離し・自己浮上方式で行う予定でしたが、切り離し装置不具合によって5点が浮上せず、急遽実施された「しんかい6500」による潜航回収によって最終的に全点回収することができました。「しんかい6500」によって確認されたBBOBSの海底での設置状況を図2に示します。回収された地震計のディスクには、1年分の良質なデータが記録されていることが確認されており（図3）、現在解析作業が始められています。この共同観測によって、マントル上昇流の実態を明らかにし、スーパーブルーム仮説を検証することができると考えています。



図2 深さ4400mの深海底に設置されているBBOBS (FP6観測点)

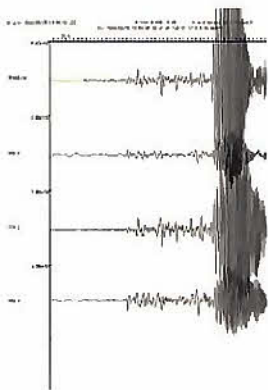


図3 BBOBSで観測された2003年9月26日十勝沖地震の記録。
上からFP5観測点の上下動・水平動1成分とFP6の上下動・水平動1成分。横軸の時間は1分間隔

地球内部物質循環研究プログラム

マントル最下部物質の解析

地球の体積の約8割は、マントルと呼ばれる岩石圏である。地球の半径は約6400kmであるが、そのうち深さ2900kmまでがマントルにあたる（図4）。地球深部は超高温高压の環境下にある。これまでも、地球内部の高温高压状態を再現する高温高压実験の成果に基づいて、地球内部の主要鉱物の物理化学的性質を解明するための研究が進められてきた。しかし、核とマントルの境界にあたるD'層と呼ばれる部分（図4）では、125万気圧2200℃以上に達し、そのような超高温高压状態を人工的に作り出して実験を行うことは技術的に困難であった。

地球内部変動研究センターでは、東京工業大学、財団法人高輝度光科学研究センターと共同で、核・マントル境界の環境に相当する、超高温高压条件を発生させるために必要な技術開発を行いつつ、X線回折法を用いた極微小領域での観察実験を行い（図5）、地球内部物質の物性変化（相転移）の解明を進めてきた。その結果、D'層は、新種の鉱物から成り立っていることが明らかになった（図4）。この鉱物は、我々グループが世界で初めて合成に成功した鉱物であり、ポスト・ペロプスカイトと命名した。

今回の成果により、地球内部の層構造を形成している鉱物種の変化がすべて明らかになった。高压地球科学の分野では、1974年の、錐石（ $MgSiO_3$ ）組成ペロプスカイトの合成による、下部マントル構成鉱物解明以来の重要な発見と言える。

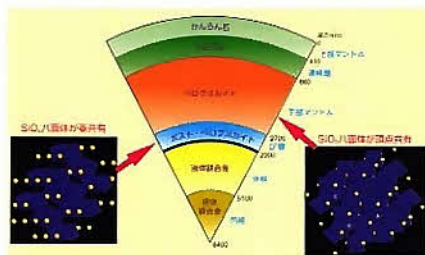


図4 地球内部における鉱物の変化
今回、ポスト・ペロプスカイトという新鉱物がマントル最下部を構成する事が確認された



図5 レーザー加熱ダイヤモンドアンビル超高压発生装置の概念図
地球上で最も固い物質であるダイヤモンドを加压して超高压状態を生み出し、レーザーで加熱して高温状態にして、X線により構造解析を行う

プレート挙動解析研究プログラム

東海スロースリップの原因となる地下構造の発見

— スロースリップ発生メカニズムと東海地震発生との関連 —

1. はじめに

フィリピン海プレートの沈み込み帯である南海トラフ周辺域では、これまでおよそ100年から150年といった間隔でマグニチュード (M_j) 8クラスの巨大地震が繰り返し発生しており、最近では1944年の東南海地震 (M_j=7.9)、1946年の南海地震 (M_j=8.0) が発生している。一方、東海沖では1854年の安政東海地震以来巨大地震が発生しておらず、次の東海地震の発生が警戒されている。また国土地理院では、GPSによる観測から、東海地方では2000年後半から年間約1cm程度 (定常的なプレート運動を除く) の局所的なゆっくりとしたプレート境界間の滑り (スロースリップ) が生じていること、及び、そのスロースリップが加速・減速を繰り返しながら現在まで続いていることが確認されている。

海溝型地震とは、プレート境界で滑りが生じる現象である。一般的には、海溝型地震は内陸の地震に比較して規模が大きく、津波を伴うことが知られている。昨年末のスマトラ沖地震もM9といった海溝型の超巨大地震で大津波を伴って未曾有の被害を発生させた事は記憶に新しい。本研究では、想定東海地震の震源域における地震やスロースリップなどの「プレート境界間の滑り」の原因となる構造要因を明らかにするため、2001年夏に海陸統合地殻構造探査を実施した。

2. 調査概要

海陸統合地殻構造探査は、海洋研究開発機構 (旧海洋科学技術センター) と東京大学地震研究所が、全国の大学など研究機関の協力を受けて2001年7月から8月にかけて実施した。観測は、東海沖から中部日本を横断し日本海に至る全長約480kmの測線で行われ、陸上地震計約330台、海底地震計約70台を設置し、陸上発破及び海域大容積エアガンにより発生させた人工地震波を観測した (図6)。

3. 研究成果

1) 中部日本下に沈み込む海嶺群の発見

観測された地震波の解析から、東海沖南海トラフから中部日本下にかけてフィリピン海プレート上の海嶺が繰り返し沈み込んでいる構造のイメージングに成功した (図7a,b)。これにより、南海トラフから海岸線にかけて2列 (深さ約10km, 15km)、さらに東海地方下に1列 (深さ約30km) の海嶺が沈み込んでいることがわかる。このうち海岸線付近の海嶺は、GPSデータから見積もられたプレート間強固着域と一致し、海嶺の沈み込みが強固着域を作っていることがわかり、1944年の東南海地震が東海沖まで及ばなかったのは、この強固着域が地震波の伝播を妨げたことが原因であることが示された (図6)。

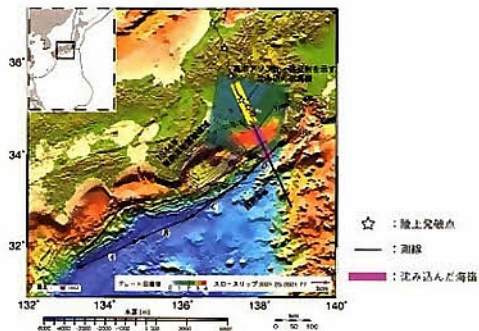


図6

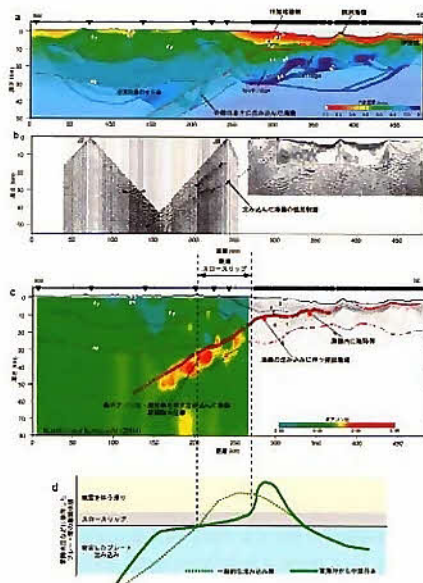


図7

2) 中部日本下に沈み込んだ海嶺域に存在する高間隙水圧帯の発見

一方、中部日本下では以前の研究から流体の存在を示唆する高ポアソン比帯が存在することが示されていたが、今回の研究結果からそれが沈み込んだ海嶺域であることが明らかになった。また、この海嶺域は非常に強い反射面を形成していることも明らかになった。この高ポアソン比・強反射は沈み込んだ海嶺域に高間隙水圧帯が作られていることを示している。(図7c)。

3) スロースリップの原因となる地殻構造要因

岩石の摩擦実験や数値実験の結果から、スロースリップは断層面が高間隙水圧帯などによってある一定範囲の摩擦状態を示したときのみが発生することが予測されていた。今回の発見は、この実験的予測を実際の地殻構造に基づき立証した (図7d)。

4) 地殻構造から推定されるスロースリップと東海地震の関係

さらに、数値実験の結果から、強固着域とスロースリップ域が隣接している構造では、スロースリップが繰り返した後、強固着域で急激なプレート境界面のすべりが生じ、その結果として地震が発生することが示されており、この研究で発見した南海トラフから中部日本の地殻構造がその構造と酷似していることから、東海地方でもスロースリップが繰り返した後、前兆的なスリップが新たに生じて東海地震にいたる可能性が考えられる。

地球古環境変動研究プログラム

白亜紀黒色頁岩の成因に関する研究

今から約1億年前の白亜紀は、大気中の二酸化炭素濃度が現在の10倍近くあったため、温室効果により非常に温暖な気候であった。当時の温暖な地球は「温室地球」と呼ばれ、46億年の地球史の中でも最も暖かい時代のひとつである。海水温は最も高いときに、北極域においても摂氏25度程度あったことが知られている。この白亜紀を特徴づけるもう一つの地質学的イベントは海洋無酸素事変と呼ばれる、海洋全体が無酸素状態になり、有機物に富んだヘドロ状の黒い堆積物（黒色頁岩と呼ばれる）が汎世界的に形成されたことである。白亜紀の海洋無酸素事変は長短あわせて6回起こったことが知られており、海洋無酸素事変In-1d, 2, 3と呼ばれている。本研究プログラムでは、約9300万年前の海洋無酸素事変2に形成された保存の極めて良い黒色頁岩について、各種元素の同位体組成などを用いて、当時の海洋環境及びその成因に関する研究を行った。今回の研究では有機物の炭素同位体比の測定をミリメートル単位の高精度時間分解能で行い、黒色頁岩の堆積が開始すると同時に約3パーミルにおよぶ負のシフトがあることをはじめて見出した (図8下)。さらに鉛同位体比の組成から、海洋無酸素事変が巨大火成区 (LIPs) と呼ばれる、コア マントル境界にその原因を持つ大規模な火山活動によって引き起こされたことを始めて実証的に明らかにした。さらにホ



ルフィリンと呼ばれるクロロフィル起源の有機化合物（すなわち、植物プランクトンのバイオマーカー）をこの黒色頁岩中から抽出した後、単離・精製し、それを本プログラムによって微量測定用に改造された同位体比質量分析計を用いて窒素同位体比を測定した。その結果、窒素固定が一次生産者による窒素同化の主な経路であることが明らかになり、シアノバクテリアが当時の海洋の主たる一次生産者であったと結論づけた。これらの研究を通じて、海洋無酸素事変のきっかけとそのメカニズムが初めて明らかになったのである。

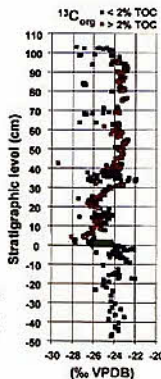


図8 海洋無酸素事変2にともなう黒色頁岩およびその直下の炭酸塩岩に含まれる有機物の炭素同位体比記録。縦軸は黒色頁岩の堆積が開始した年代を0cmにとっている。矢印は炭素同位体比が負にシフトしたことを示している

地球内部試料データ分析解析研究プログラム

P-T境界におけるグローバルな地球内部活動と生物大量絶滅とのリンク

ペルム紀-三畳紀(P-T)境界は地球史上最大の生物絶滅イベントの起きた時期として知られています。その原因には、隕石の衝突、火山活動の活発化が挙げられていますが、はっきりとしていません。

本研究では、P-T境界の前後の時代に海洋底に堆積したチャートと黒色頁岩のオスミウム同位体比を分析し、海洋に供給される物質のバランス、酸化還元状態など、海洋環境の変動を探りました。下図に示すように、大陸地殻の物質は高い同位体比($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}=1.0-1.4$)を示し、逆にマントルは低い同位体比($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}=0.13$)を示すため、オスミウム同位体比を分析することで、海への物質の供給元がわかります。また、オスミウムは酸化還元状態に敏感であるために、海底の酸化還元状態など環境変動を探るのに有効な元素です。分析の結果、P-T境界より数百万年前から海水のオスミウム同位体比は下がり、P-T境界をまたがって同位体比の低い状態が維持されていることがわかりました(図9下)。これは、P-T境界以前に海底深部のマントルから海洋への物質供給がかなりの大きさになっていたことを示します。一方、オスミウムの濃度が、P-T境界の堆積岩中で急増することがわかりました(図9上)。これは、海洋底が急速に還元的な環境になったことを示します。この環境の変化が生物の絶滅に深く関与していることが容易に想像できます。

以上のことから、生物が大量絶滅するP-T境界以前に、海底火山活動が盛んになり、マントルからの物質供給が増加したこと、そこで噴出した硫化水素などの還元的物質がP-T境界付近で海水のターンオーバーなどで生物の生息する浅海域に達し、生物が大量に絶滅したということが予測されます。この結果は、P-T境界での大量絶滅は

隕石落下ではなく、火成活動によることを支持します。また、最近、シベリアの洪水玄武岩活動がP-T境界での絶滅を促したという説が盛んになっていますが、それはP-T境界の年代とシベリア洪水玄武岩活動との年代が一致することを最大の根拠としています。我々の結果は、大量絶滅の場となった海洋からの直接的な証拠を根拠としており、シベリア洪水玄武岩活動説よりもより確からしいと言えます。

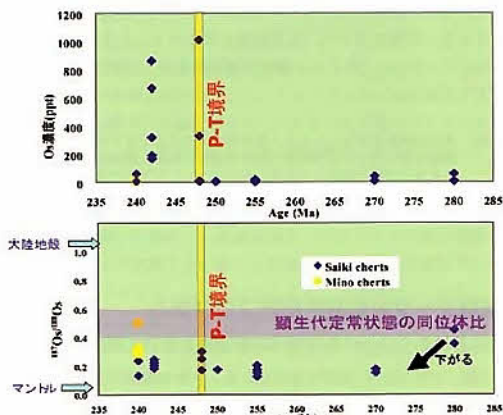


図9

海洋底ダイナミクス研究プログラム

海洋底ダイナミクス研究プログラムでは、海域で発生する地震・火山活動や地球内部の物質・エネルギー循環様式の解明を目指して、海底での観測研究を実施している。海溝型巨大地震の挙動を明らかにするため、深海活断層付近での地質および熱・電磁気構造調査を実施しつつ、国際統合深海掘削計画 (IODP) による南海トラフ地震発生断層の掘削を推進している。一方で、1999年に台湾で発生した集集地震により破壊されたチェルンプ断層への掘削を、台湾に協力しつつ開始した (国際陸上掘削計画ICDPによる)。

また、深海堆積物や岩石の採取と分析、現場計測、長期観測や、各種高精度マッピングを通して、深海に潜む未知の地学現象を見いだすとともに、深海底で生じる地震や海底火山などの突発的事象を捉えるため、海底や掘削孔での長期・ネットワーク観測システムの開発と利用を行っている。

2004年度の主な成果としては、台湾地殻断層掘削により、1999年地震で生じたと思われる断層物質の採取に成功したこと、および、東太平洋海影の海嶺軸から離れた場所に、巨大な溶岩流を発見したこと、そして自航式サンプル採取システムNSS



による調査を2003年に引き続いて実施し、大型観測機器によるピンポイント調査という、新たな手法を確立したこと、などである。このほか、高知コアセンターの活用により、堆積物や火成岩の物性や鉱物組成・組織等を高精度で明らかにすること、また日本近海の海洋地殻構造を高精度で探査すること、などを推進した。

台湾集集地震で活動したチェルンプ断層のすべり面の試料の採取に成功

1999年に発生した台湾集々地震(M7.6)では、台湾中軸部を南北に走るチェルンプ断層が80km以上にわたり破壊され、約2500名の死者を含む甚大な被害をもたらした。震源は台湾中部の集々(Chichi)付近の地下約10kmである。断層の南部に位置する震央付近の断層垂直変位が約2.6m、水平変位が約2.3mであるが、断層の北部ではより大きな変位(垂直変位8-10m、水平変位7-9m)と大きな滑り速度をもつ一方、地震波の短周期成分が少ないという特異な特徴が認められた。一方、高密度の地震波観測や測地情報に基づく地下深部での断層面の滑り様式からも、変位量と速度が北側に向かって急激に増加したことが示された。

この現象は地震時の断層面沿いの摩擦抵抗の低下を示唆しており、日本で想定されている沈み込み帯での大地震を引き起こす断層の挙動を考える上で大変興味深い。断層面の摩擦抵抗の低下のメカニズムを解明するために、我々は現在進行中の台湾チェルンプ断層掘削の国際プロジェクト(Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project, TCDP)に参加した。2004年には最初の掘削が行われ、地下1100m付近をはじめとして数カ所、今回の地震によりずれたと推定される破砕面をほぼ完全な形で採取す

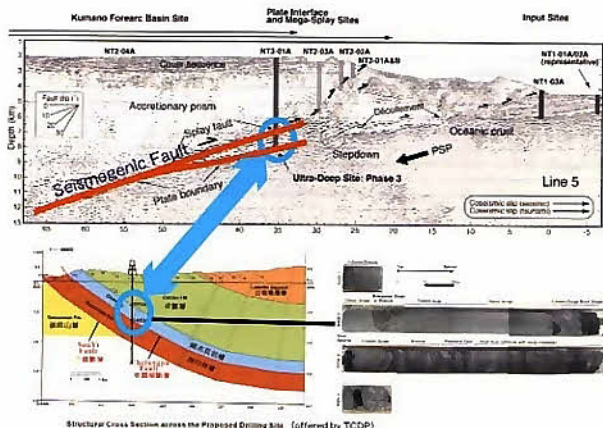


図8 上：IODP南海地震発生断層掘削の予定地点(Park et al., 2002に加筆)
左：台湾掘削の概念図。右：台湾掘削により得られた断層破砕帯付近のコア試料

ることに成功した。試料は、台湾や日本・米国の研究者により詳細に解析され、地震発生・伝搬のメカニズム解明に大きな貢献とすることが期待される。

さらに、IODPによる紀伊半島沖の地震発生断層への掘削（海底下6km）を目指し、その基礎となる観測研究を推進している。台湾掘削の結果は、近い将来に発生が懸念される東南海地震の挙動解明にも多いに生かされるであろう。

東太平洋海膨南緯14度海域において世界最大の海底溶岩流を発見

深海調査研究の一環として実施された、NIRAI-KANAI (YK04-07) 航海（首席研究員：静岡大学理学部・海野進教授）において、現在確実に知られている限りでは海洋底で最大となる巨大な溶岩流（面積342 km²）を、東太平洋海膨（南緯14度、西経112度海域）にて発見した。

「よこすか」による音響測深で海嶺軸から西側へ向かって新たに地形・音響データを取得したところ、南緯14度海域の平坦地形は340平方キロメートル以上の広がりを持ち、音波を強く反射することから、新しい溶岩流であることが推定された。

そこで、「しんかい6500」による沿航で目視観察と試料採取を行い、この音波を強く反射する平坦な地形が確かに溶岩流であって、周囲に比べて格段と堆積物が少なく新しい地形であることを確認した。地形ならびに目視観察から推定される溶岩流の厚さをもとに体積を推定すると20立方キロメートル近くに及ぶ。有史最大の溶岩噴出はアイスランドのエルドギャオ噴火（934-940AD）のもので約20立方キロメートル、近年の大規模噴火と比較すると、例えば、雲仙の平成噴火はわずかに0.2立方キロメートルにすぎない。この溶岩流の広がり、東京23区部の半分、富士山の山体そのものの広がりにも相当する。

中央海嶺は地球最大の火山活動帯で、地球深部からの熱とガス成分を地表に放出し、地球表層の環境を大きくコントロールしている。古典的なプレートテクトニクスでは、プレート生成はその境界である海嶺軸に限られるとされてきた。一方、1990年代以降の地下構造探査などの進展により、海嶺軸から離れた場所でも地殻厚の増大が起きていることが指摘されてきたが、その実態は明らかにされていなかった。

今回の発見は、海底溶岩流としての記録を塗り替えただけでなく、地球上で最も盛んにプレートを生成している東太平洋海膨での火成活動が、確かに、古典的なプレートテクトニクスでは記述できない広がりを持っていることを示した画期的な発見である。このような溶岩流は、地球表層環境を改変する巨大火成活動の重要な要素の一つとして、大いに注目されるべきものである。溶岩流の規模と形態からみて10年程度の短期間に噴出した可能性もあり、その場合は膨大な熱量・火山ガスが短期間に海洋中に放出されることとなる。これはまた、今なお海嶺軸付近に限られがちな世界の中央海嶺研究に一石を投じる成果ともなった。



図8 上：調査海域（東太平洋海膨）付近の海底地形図
 中：しんかい6500で観察されたシート状溶岩部（溶岩流上面の崩落部）
 下：巨大溶岩流の分布を富士山と比較した

極限環境生物圏研究センター

Extremobiosphere Research Center (XBR)

海底に沈む鯨骨に依存した生態系に関する研究

海洋生態・環境研究プログラムでは2003年から2004年にかけて鹿児島県野間岬沖の鯨骨生物群集に関する調査を実施した。鯨骨生物群集とは海底に沈んだ鯨遺骸を基盤とし、鯨骨から発生する硫化水素に依存した生物群集であり、熱水噴出孔／冷水湧出帯生物群集と非常に類似した特徴（莫大な生物量、高い生産性、低い生物多様性など）を持つ。

熱水噴出孔や冷水湧出帯は全世界のプレート拡大域、収束域を中心に不連続な分布を示す。そこに分布する生物群は湧水中に含まれる硫化水素やメタンに依存しているため、成体が生息地点から遠く離れることはできない。にもかかわらず世界各地の熱水／冷水域には非常に類似した生物群が出現しており、生物地理学上の大きな問題となっている。この問題に対する説明として「鯨骨ステッピング・ストーン仮説」が1987年に提唱された。この仮説は、海底にランダムに出現する鯨骨生物群集が熱水／冷水域に暮らす生物群の分布域拡大のために飛び石の役割を果たすというものであるが、これまでのところ十分な検証は行われていない。

そこで我々は、2002年に鹿児島県に大量座礁し海洋投入されたマッコウクジラを研究対象として「鯨骨ステッピング・ストーン仮説」の検証に取り組んでいる。2004年の調査では2003年に引き続き熱水噴出孔／冷水湧出帯に出現する動物群が鯨骨域に分布するかどうかの確認を行った。その結果、鯨骨域での優占種は2003年同



図1 海洋投入から1年半経過した鯨骨

様にヒラノマクラ、ホソヒラノマクラという2種類のイガイ科二枚貝であった。これらの貝類は化学合成共生細菌を体内に宿すもの、熱水噴出孔/冷水湧出帯からは分布が確認されておらず、これまでのところ上記仮説を裏付ける証拠はない。2005年には、この仮説検証に関する新たな現場実験を計画中である。

2年間の鯨骨調査の結果、「鯨骨ステップニング・ストーン仮説」検証の枠を超え、想像を上回る新たな知見が蓄積している。まず、イガイ科二枚貝では初となる細胞外共生系をヒラノマクラより検出した。シソカイヒバリガイ類やシロウリガイ類、ハオリムシ類に見られる細胞内共生系と比較して細胞外共生系は原始的と考えられており、イガイ科二枚貝の共生システムの進化と深海適応を考える上で、鯨骨が別の意味での「ステップニング・ストーン」として機能した可能性もある。また、化学合成生態系から初めてナメクジウオ類を発見した。ナメクジウオ類は通常、清浄な浅海域に出現する脊索動物であり、富栄養化した還元的環境に分布するという報告はない。なお本種はオナガナメクジウオ属の新種であり、ナメクジウオ類としては世界最深の記録である。さらに現在陸上飼育中の鯨骨からハオリムシ類に近縁の*Osedax*属と推定する環形動物を見出した。*Osedax*属は2004年にモンテレー湾から発見されたばかりの新属でハオリムシ類と同様に体内に共生細菌を宿す。ただしこの共生細菌が利用するのは硫化水素ではなく鯨骨中の有機物である。これらの生物については現在様々な手法を用いて生態学的、生理学的特徴を解明中である。



図2 骨上には無数の二枚貝（ヒラノマクラ）



図3 ヒラノマクラ



図4 ホソヒラノマクラ



図5 オナガナメクジウオ属の新種



図6 *Osedax*属と推定する新たな環形動物

「新規オリゴ糖生成酵素の発見」

深海の極限環境下には厳しい環境への適合の過程で、通常的环境（地上など）下に生息する微生物とは違った特異な性質を獲得した微生物（特異な酵素、生理活性物質生産能など）の生息が期待されます。我々は深海に生息する微生物から様々な新規オリゴ糖生成酵素の生産菌を発見しました。

一例として、新たに発見したトレハロース生成システムを有する微生物（*Puettibacillus*属細菌）を紹介します。トレハロースは低甘味と良好な味質、デンプン老化抑制、菌の融触予防効果など様々な効果から、菓子類、調味料、缶詰など色々な食品に使用されています。今回発見したトレハロース生成システムは二種の酵素からなります。その酵素の一つはマルトースホスホリラーゼであり、マルトース（麦芽糖）をグルコース（ブドウ糖）とグルコース-リン酸へ分解する酵素です。もう一つの酵素はグルコースとグルコース-リン酸を材料としてトレハロースを生成することができるトレハロースホスホリラーゼです。つまりこの二種の酵素反応の組み合わせによって、安価なマルトース（麦芽糖）からより高価なトレハロースを効率良く生成することができるのです（図7）。今回発見したこれらの二種の酵素は高温に対しての安定性が高いことが一つの特徴です。さらに二種の酵素の各々の反応条件が似かよっているため、二つの反応を一つのリアクターで同時に行うことができるという利点も持っています。

また、寒天は古くから日本人が好んで食してきた食材ですが、その寒天を分解して得られるオリゴ糖がガン抑制、活性酸素産生抑制、保湿性、美白効果、抗菌作用など様々な機能を有することが近年になって注目されてきました。極限環境生物圏研究センターでは深海領域から、寒天を分解してオリゴ糖を生成する酵素（アガラゼ）の生産菌、例えば2糖オリゴ糖を選択的に生成できる酵素の生産菌（*Agarivorans*属細菌）や、6糖以上のオリゴ糖を効率良く生成できる酵素の生産菌（*Microbubifer*属細菌）を発見しました（図8）。オリゴ糖の分子サイズがその生理機能を発揮する上で重要なファクターであることが分かってきており、これらの酵素の応用が期待されます。

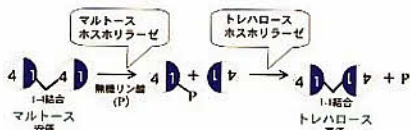


図7 マルトースからトレハロースへの変換

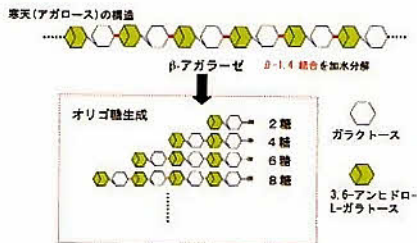


図8 寒天分解酵素を用いたオリゴ糖生成

未知の細菌群、イブシロンプロテオバクテリアの全系統の網羅的培養に成功

この地球に生きるすべての生物は、二酸化炭素を主とする無機炭素を有機物に変換する一次生産者の恩恵のもと生きながらえており、またその40億年に及ぶ生命の歴史を紡いできたと言えます。無機炭素から有機物の変換には、エネルギーが必要であり、およそ27億年前の酸素発生型光合成システム誕生以後、光エネルギーが生命活動を支える主役を担ってきました。現在の地球におけるエネルギーフラックスを考えた場合、地球に降り注ぐ光エネルギーは173,000TW（テラワット）、2番目に大きなエネルギーは地球内部熱エネルギーで32TWと算出されています。光エネルギーが直接利用できない深海や地殻内においては、光エネルギーの0.02%しかない地球内部熱エネルギーが極めて大きな役割を果たしていることがわかってきました。昨年の成果として発表しました「地球を食べる微生物生態系」（ハイパースライム）はまさしく地球内部熱エネルギーの申し子と言えます。

例えばハイパースライムが見つかったインド洋の「かわいい」フィールドの一つの熱水噴出孔では約 5×10^{10} と云うエネルギーが放出されていますが、これは最近噴出したセントヘレナ山全体のエネルギーの10%近い大きなエネルギー量です。しかしながらハイパースライムは、実際にはそのエネルギー（水素や硫化水素の濃度として換算した場合）の0.1%も利用していない。

ほとんどのエネルギーは深海に直接放出され、「かわいい」フィールドの場合、半分近くのエネルギーは熱水活動域周辺の化学合成独立栄養微生物によって一次生産に結び付けられると予想されます。これが、熱水活動域が「深海のオアシス」となりうる所以です。実はその一次生産者の大部分が、イブシロンプロテオバクテリアと呼ばれる一群の微生物であることはわかってきており、また近年の地殻内微生物研究の結果からも、イブシロンプロテオバクテリアが地殻内環境において重要な役割を果たしていることが示されつつありましたが、その微生物群は培養が極めて困難であり、どのような生理、生態を有しているのかについては、20年以上謎のままでした。

地殻内微生物研究プログラムでは、この培養困難な未知の細菌群イブシロンプロテオバクテリアに対して、これまでの研究で培ってきた知見、技術を駆使した培養法を確立し、インド洋中央海嶺、沖縄トラフ、マリアナ弧の熱水活動域から、100株近い新規なイブシロンプロテオバクテリアを培養、分離することに成功しました。これらの菌株は、未知であった系統群をすべて網羅しており、熱水活動域で優占するすべてのイブシロンプロテオバクテリアの分離に成功したことを意味しています（図9）。世界最大のイブシロンプロテオバクテリア株コレクションを保有し、代表的な菌株については、新属新種として論文発表を行い、その生理や代謝についても明らかにしてきました。これらの成果は世界的に高く評価され、地殻内微生物研究プログラムの名を大いに喧伝するものとなりました。

現在では、水素や硫酸化合物をエネルギー源とする化学合成独立栄養細菌のイブ



シロンプロテオバクテリアが、深海底熱水活動域や地殻内でどのように分布し、エネルギーフラックスや生物地球化学物質循環に関わっているのか、について研究を進めています。

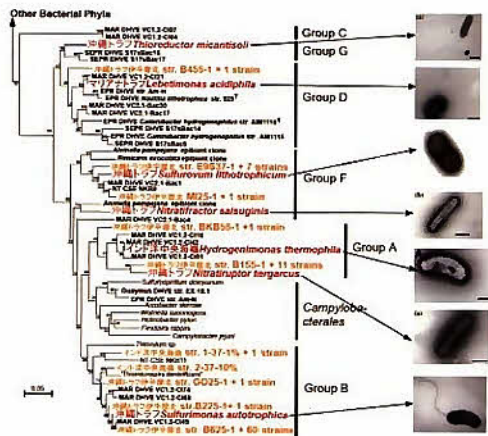


図9 深海底熱水噴出域から分離されたイブシロンプロテオバクテリアの系統樹

海洋工学センター

Marine Technology Center



海洋工学センター海洋技術研究開発プログラムにおいては、海洋に関する基盤技術の研究開発を進めている。以下に研究開発内容の一部を紹介する。

1. 深海巡航探査機「うらしま」の研究開発

図1に外観を示す「うらしま」は、2000年3月に完成した最先端のAUVで、科学的海洋観測を主要ミッションとしている。現在、実海域試験によって制御、測位およびエネルギー技術などの検証を行っている。全長9.8m、幅1.3m、高さ1.5mで、最大深度3500m、巡航速度3ノット、最大速度4ノットである。2002年までAUVにリチウムイオン電池を搭載した試験を実施し、目標100kmを超える132kmの自律航行を通じて制御、測位および均圧式リチウムイオン電池の技術を



図1 深海巡航探査機「うらしま」

確立することができた。2003年以降はAUVに燃料電池を搭載することにより、300kmの航続距離を目指している。AUVの一般配置を図2に示す。海中での測位には慣性航法装置をダブルハイブリッドで使用し、前方障害物回避ソナー、ホーミングソナーと組み合わせて自律航行を行う。その他、光ファイバーによる遠隔操作モード、音響テレメトリによる遠隔操作モードを有しており、ミッションにより運用方法を選

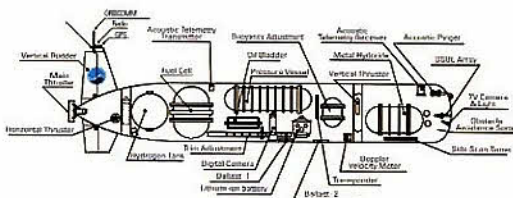


図2 深海巡航探査機「うらしま」一般配置図

扱える。観測機器も、サイドスキャンソナー、CTDO、テレビカメラ、スナップショットデジタルカメラといった通常の機器の他、前方の状況を超音波によって画像化する音響画像装置を装備している。2004年6月に駿河湾で実施した海域試験の航跡を図3に示す。天候の悪化で試験を中断したが220kmの自律航行を達成した。

2. 高機能海底探査機の研究開発

本研究開発では、最新の調査・観測技術を導入した深海11,000mまで潜航可能な高機能海底探査機の研究開発を行う。水深11,000mまで潜航可能な深海調査機器は世界に現存せず、深海の研究における観測調査のニーズに対応するためには、海底最深部まで潜航し調査・観測作業を行う探査機の開発が必要である。平成15年に流失した「かいこう」ピークルは水深11,000mまでの潜航・調査が可能であったが、その建造時からの周辺技術の発達は著しい。そこで「かいこう」ピークルの再建造に止まらない、最新の調査・観測技術を導入した高機能探査機の研究開発を行う。新たな技術開発要素としては、大深度用浮力材や大深度用中性浮力ケーブルの開発、大深度用高速光ファイバ通信システムの開発、また大深度用光学機器の開発や音響機器の高性能化、観測・作業機器等の改良が挙げられる。大深度用浮力材の開発に関しては、その素材である中空ビーズと樹脂の組み合わせを様々なケースについて検討し、複合材としての総合特性が水深11,000mの条件下でも使用できる浮力材の開発を行う。また、ケーブルに関しては、その構造を見直し信頼性の向上を図るとともに、海底下で取得した画像等の大容量のデータ伝送するための高速光伝送通信を備えたケーブルシステムの開発を行う。さらに、高機能化として大深度光学機器の開発、音響機器の高性能化等を行う。本年はこれらの技術開発要素のなかで、大深度用浮力材の試作と性能試験、大深度用中性浮力ケーブルの試作と性能試験、高速光通信システムの検討を主に行っている。高機能海底探査機の開発により、深海研究のニーズに応えることが可能となり、世界最深部における生命圏の研究や海底地殻変動の研究に資する。

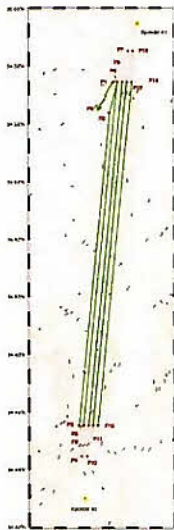


図3 海域試験の航跡 (2004年6月)



図4 高機能海底探査機 (イメージ)

3. 深海底観測ネットワークに関する研究開発

海底のプレート境界で発生する地震に関する研究や、海中環境変動に関する研究、生態系に関する研究では、長期に渡り連続的な観測を行うことの重要性が指摘されている。このような観測を実現する手段として、海底ケーブルを利用した科学観測用海底ケーブルネットワークを提案し、その実現に向けて基礎的な研究開発を進めている。図5は提案している海底ケーブルネットワークARENAの概念を示したものである。メッシュ状に接続された海底ケーブルには約50km毎に観測ノードが設けられている。各観測ノードには、水中着脱式コネクタを用いて、地震計や津波計、テレビカメラ、流向流速計など各種のセンサが接続され、様々な研究分野で利用される。観測パイプや自律型水中ロボットともリンクして観測範囲を広げることにより、3次元の連続観測を可能とする。

本年度は、光伝送システムと給電システムに関する基礎研究を進めた。通信用光海底システムと異なり、科学観測用システムでは海中機器内設置可能な広帯域光送受信装置を用いる必要がある。図6は提案した光波長多重方式を用いた、ラマン増幅器によるキャリア光の変調を利用した光信号伝送システムの構成を示したものである。本方式では、海底観測機器内で温度制御による精密な波長安定化を行う必要がなく、伝送システムの信頼性が向上するとともに、消費電力と発熱による温度上昇の問題を避けることができ、実用的な光信号伝送方式を実現することができる。試作した結果、310Mbps/sの伝送が可能であることを確認した。

一方、長尺の海底ケーブルネットワークの給電系では、伝送路の抵抗や伝搬の遅延に伴う様々な現象が発生する。このような特性を理解し、給電系の安定性や電源のオン・オフに伴う過渡現象を把握することが必要とされる。また、光海底ケーブルの給電線は一本だけであり、電流の帰路には海水を利用している。そのため、その電気的伝搬特性は複雑である。しかし、長距離の海底ケーブルを用いて実験によりこれらの現象を観測することは困難であるため、コンピュータシミュレーションにより評価できるようにする

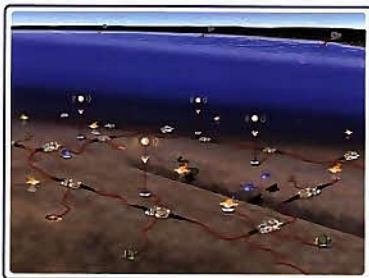


図5 科学観測用海底ケーブルネットワークARENAのイメージ

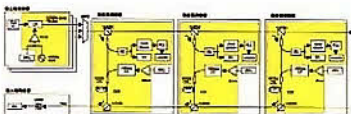


図6 ラマン増幅器によるキャリア光の変調を利用した光信号伝送システム

(図中 OADM: Optical Add Drop Multiplexer, PD: Photo Diode, LD: Laser Diode, DSF: Dispersion Shift Fiber, WDM CPL: Wavelength Division Multiplex Coupler)

ことが重要である。本研究では、図7の等価的分布定数回路を仮定してその伝搬特性を電子回路シミュレータにより求め、理論的解析結果を比較した。その結果、図7の回路により光海底ケーブルの電氣的伝搬特性を良く表現できることを確認した。本研究により、電子回路シミュレータにより海底ケーブルネットワークの給電系の解析を行う基礎が確立された。

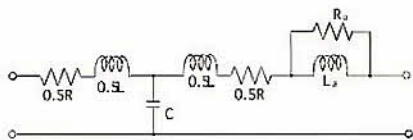


図7 光海底ケーブル給電線の電氣的等価回路

4. 水中音響技術に関する研究

水中音響通信技術に関する研究

電波の届かない水中においては、通信やソナー等音波を用いた技術が開発されている。本研究では、無人探査機の音響リモコンによる制御の実現等を目的として、高速音響デジタル通信のためのシミュレーション・実験等を行っている。高速の通信を可能とするために、これまで水中ではほとんど用いられていなかった32-QAMという変調方式を適用し、一つの信号に5ビットの情報を持たせることにより、高速化を図っている。本年度は、水槽実験と海域実験を行い、約100mの距離において、100kbpsの速度で通信が可能であるという結果を得た。今後更に改善を施し、距離300～500mでの通信の実現を目標に研究を進めていく。

スペクトラム拡散技術を用いた水中音響測位の研究

現在、水中での位置の測定は、音響トランスポンダを使用し、音波の往復の伝搬時間とその到来方向を計測することにより算出しているが、距離が大きくなるとその測定誤差も大きくなる。様々な海洋観測装置の高精度化に伴い、測位についても高精度化が求められている。本研究では、これまで用いられていた単一周波数の短いパルスに変えて、スペクトラム拡散技術を適用した変調信号を用いることにより、伝搬時間の計測精度向上を図ることを目的としている。今年度は、シミュレーションによる計測精度向上の検討と、海域実験による基礎的な伝搬データの取得を行った。



図8 水中音響通信および水中音響測位のイメージ

位相共役波を用いた水中音響技術の研究

位相共役波（時間反転波）とは、図9にあるように、ある音源から発した音波をアレイで受信し、その受信信号を時間反転して、アレイから再送信すると、元の音源の位置（焦点）に、音波が収束するという現象である。この位相共役波による音波の収束は、反射波や屈折波が焦点に

集まって収束するため、その収束の度合いが非常に高い。言い換えれば、位相共役波を用いることは、従来は邪魔な信号として除去していた反射波や屈折波を、逆に利用していると言える。この研究では、この位相共役波を、音響通信や、ソーナー、音響測位に応用するための検討を進めている。本年度は、水平方向の長距離通信の検討を行い、来年度には、実海域での実験を行う予定である。

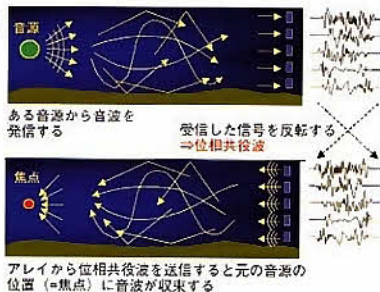


図9 位相共役波を用いた水中音響技術

5. 内湾環境修復の研究（共同研究：長崎県）

この浄化手法は海底から空気を送り込んで（曝気：ばっき）、大村湾の特産であるカキの生残や成長を確保、促進するというもの。曝気だけでは富栄養化物質のリサイクルはできず、カキ養殖だけでも浄化は困難であったが、無給餌型養殖と曝気とを組み合わせて初めて持続可能な利用と修復が両立することを示す目的。漁業や地域産業の振興に貢献しながら同時に海を浄化して貧酸素や赤潮を防ぐ。

実験の結果、実験区では養殖筏が沈むほどにカキが丸々と大きく成長した。また海中の溶存酸素濃度も7月～10月にかけて平均6.4mg/l（目標は4.3mg/l以上）と良好に維持されていた。一方、同じ湾の他所で行われていた通常のカキ養殖場ではほとんどのカキが死滅し収穫には至らなかった。

平成17年度までで3回の繰り返し実験を行い、採算性も併せて実用化の見通しを得る計画。



図10 実験区で育ったカキ（右）と通常のカキ（左）の大きさの違いが明らかに。実験区で育ったカキ（右）は白い部分（グリコーゲン）が大きくうまみが増すといわれている。

地球環境フロンティア研究センター

Frontier Research Center for Global Change (FRCGC)

1. 新センターの発足

独立行政法人・海洋研究開発機構の発足に伴い、1997年10月から宇宙開発事業団と海洋科学技術センター（当時）の共同研究プロジェクトとして行われてきた「地球フロンティア研究システム」は、2004年7月から新機構内の一つの研究センターへと移行し、再出発しました。新センターは、引き続き「地球環境変動（グローバルチェンジ）の予測に向けて」研究を進めます。そのため、基本的にはこれまでと同じ構成で、これまでの研究領域に代る下記の研究プログラムを作り研究を展開して行きます。

- ・ 気候変動予測研究プログラム
- ・ 水循環変動予測研究プログラム
- ・ 大気組成変動予測研究プログラム
- ・ 生態系変動予測研究プログラム
- ・ 地球温暖化予測研究プログラム
- ・ 地球環境モデリング研究プログラム

上記の中で、始めの4研究プログラムは名前が示すように地球環境の中の一部分すなわち部分システムの変動の予測を目標に、それぞれの変動機構を明らかにし、部分システムのモデル作りを行います。地球温暖化プログラムでは、多くの要素が絡み合っている将来の温暖化と気候の変化や、過去に起こった氷期・間氷期のような古環境の変動をモデルによって研究します。地球環境モデリング研究プログラムでは、他のプログラムの成果に立って地球環境全体のモデルなど地球シミュレータの優れた能力を活用する新しいモデルやデータ同化システムの開発を行います。

2. 2004年の主要な成果

2.1 国際研究集会

発足早々の地球環境フロンティア研究センターは2004年中に二つの国際研究集会を主催しました。一つは7月20日～23日に行われた「球面上の偏微分方程式の解法に関する2004年ワークショップ」で、大気や海洋の運動をコンピューターでシミュレート

する時の基礎になる数値計算手法に関するものです。地球シミュレータに象徴されるスーパーコンピュータの能力向上に伴い、モデルの高解像度化が世界的に進んでいますが、その際に必要な、新しい数値モデル作りの根本に関する問題で、地球環境モデリング研究プログラムの次世代モデル開発グループが、この分野で世界の先頭に立つようになった事の表れと言えます。世界各国からの約50名の参加に国内からの約20名を加え、極めて専門性の高いこの会合として過去最大のものとなりました。

もう一つは、10月28日、29日に行われた気候変動に関するワークショップです。その直前の10月24～27日に地球環境に関する2つの国際協同研究計画すなわち世界気候研究計画(WCRP)と地球圏・生物圏国際協同研究計画(IGBP)のそれぞれのモデリングに関する研究運営委員会の年次会合が横浜研究所で行われました。これに参加するため気候モデル、地球システムモデルの世界のリーダー約60名が集まるのを機会に、引き続き2日間に日本のモデル研究、特に気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次報告への貢献を目指し地球シミュレータを使って行われている温暖化予測研究の最新の成果を日本中の各グループが発表し、外国からのトップ研究者の発表と合わせて討論しようとするのが趣旨です。IPCCで科学的基礎を担当する第一ワーキンググループの共同議長であるSusan Solomon博士も招待し、全体で参加者約130名と7好記念講堂が満員になる盛大な会合となりました。ここで発表された地球環境フロンティアの最近の成果は、次の2.2、2.3に記します。

2.2 高解像度大気海洋結合モデルによる地球温暖化予測

旧地球フロンティア研究システムでは、地球シミュレータを活用して、より精度の高い地球温暖化予測を行う事を一つの目的として高解像度の大気・海洋結合モデルの開発を東京大学気候システム研究センター(CCSR)、国立環境研究所(NIES)と協力して進めて来ました。2002年度に「人・自然・地球共生プロジェクト」が開始されると、この開発は課題に取り上げられ、地球環境フロンティアのグループは高解像度化を担当することになりました。モデルの解像度は大気は格子間隔120kmで上下には56層、海洋は緯度 $1/6^\circ$ × 経度 $1/4^\circ$ の格子間隔、上下に48層で北極をグリーンランド上に移した座標を用いています。これは、大気・海洋結合モデルとしては世界最高解像度のものです。

この結合モデルを用い、現状での平均気候のシミュレーション、IPCCの想定による21世紀中の温室効果ガス増加シナリオに沿った実験など一連の数値実験を集中的に行い8月末までに終了しました。現在、解析が進行中で、非常に多くの興味深い結果が得られつつありますが、ここでは「温暖化実験」としてのさわりを紹介しましょう。図1は、2100年にCO₂濃度が720ppmになるシナリオ(A1b)に沿って計算した時の全地球平均温度の変化です。この場合、ほとんど直線的に昇温し2100年には現在より4.5℃くらい高温になると予想されます。将来の温暖化がどの程度になるかはモデルによって結果が異なり、温暖化予測上の問題となっていますが、この結果は他に比べ高い方に属します。一方高解像度化により、比較的小規模の地域的气候

変化も測られるようになりました。図2は21世紀末と現在の日本近くの夏の気候の変化を示したものです。日本列島沿いに降雨量の増加が予測されていますが、これは梅雨が強まることによると思われます。図3、は日本での真夏日（最高気温30℃以上）の日数（左図）と豪雨（100km四方の平均で1日100mm以上）の回数（右図）が将来どうなるかを示したものです。2004年夏は猛暑で東京の真夏日が70日となり記録を更新して話題になりましたが温暖化が進むとそれは当たり前となり21世紀末には100日を越え、夏は3ヶ月以上にわたり30℃以上の日が続くようになる事を示しています。また豪雨の回数も現在の2倍に増えそうです。図2に示されていた夏の雨量増加は強い雨の増加として現れる事を示唆しています。

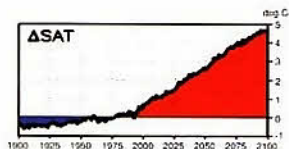


図1 温室効果ガス排出シナリオ（A1b）に沿った大気海洋結合モデルで計算された全球平均気温の変化

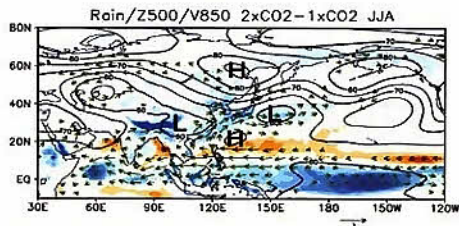


図2 CO濃度2倍時（70年後）と現在の夏の（6,7,8月）の気候の変化
降水量の変化（青：増加、赤：減少、mm/日単位）、850 hPa（約1.5km高度）の風の変化（矢印）、500hPa面の高度変化（実線）

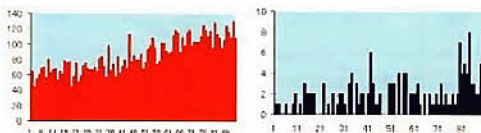


図3 モデルで計算された温暖化に伴う真夏日（最高気温30℃以上、左）と豪雨（100 km四方内で1日100mm以上、右）の年間発生数の今後90年の予測

2.3 地球環境システム・統合モデルの開発

これまでの地球温暖化予測は、先に記したのもも含め気候の変化、すなわち気温、風、降雨といった大気の状態の変化を対象としたものでした。しかし温暖化によって変わるのは気候ばかりではありません。森林の樹木の生育状況は気候（温度、降雨、日射）の変化によって変わり、その下の土壌の状態も変わると考えられます。このような陸域生態系の変化は地球温暖化の影響の中でも人類にとって重要な問題です。その上、陸域生態系の変化はCO₂の吸収能力を変えるので、温暖化の原因であるCO₂濃度にも影響を与えます。すなわち生態系変化は温暖化にフィードバックを与えます。そこで、陸域生態系（植生と土壌）や海洋によるCO₂の吸収などの炭素循環プロセスや温室効果を持つメタン、オゾンなど大気組成の変化を含めて地球環境に関わる要素を全て扱う一体化したモデルを作り、それによって地球温暖化に伴う地球環境全体の変化をひとつながりのものとして予測する事が望まれ、最近世界の主要研究センターでその試みが始められました。地球環境フロンティア研究センターには大気組成の変化や生態系の変化の予測を目的としたプログラムが置かれているので、地球環境システム（単に地球システムとも呼ぶ）の統合モデルの開発を行うにはびつたりの場所です。そこで、2002年度から共生プロジェクトの課題2として地球システム統合モデルの開発を始めました。既に陸域生態系の炭素循環を扱うモデルや大気化学モデルが作られ、使われているので、これら部分システムのモデルを気候モデルに結合して統合モデルを作るのが最も自然な方法です。海洋炭素循環モデルは既存のものが無いので今回新たに開発しました。2004年に陸域と海洋の炭素循環モデルの気候モデルへの結合が出来上がったので1900年以降の人間活動によるCO₂放出をモデルに与えて過去のシミュレーションを行いました。図4はモデルで計算されたCO₂濃度の変化を示したのですが、人間が放出したCO₂の約半分が海洋と陸域生態系に吸収され、その結果、図に示す大気に残ったCO₂の濃度は実際に観測された変化と良く一致しているのが分かります。CO₂増加による気候変化が炭素循環に

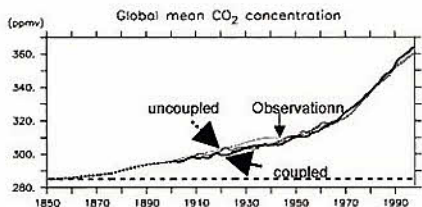


図4 全球炭素循環・気候結合モデルで、1900年からの人間活動起源CO₂放出を与えてシミュレートした大気CO₂濃度の変化。観測：相実線、気候変化を取り入れた場合（太実線）と取り入れなかった場合（点線）の計算結果

与える効果を含めた場合と取り入れなかった場合の両方について計算しましたが、その差は僅かです。これまでのところ気候変化（温暖化）は、まだ大きくないので、これは納得の行く結果です。今後将来のCO₂排出シナリオを元に同様の計算を進めまますが21世紀には温暖化が進むのでそのフィードバックは大きな差をもたらすでしょう。このように炭素循環と気候変化のフィードバックを取り入れた地球温暖化実験を行い、IPCC報告に貢献する予定です。

一般に気候が変わると地球上各地域の植生分布が変わると考えられます。温暖化が進めば現在寒帯林であるところが温帯林に変わるところでしょう。このような植生分布の変化は温暖化の影響の中でも重大なものですから、それをモデルで予測するのが望まれます。このため、1990年代から「動的全球植生モデル」が作られてきました。地球環境フロンティアの統合モデルでは、このようなモデルとして世界で他にないユニークなモデルを開発中です。その特色は、1本1本の樹木の成長とその際の競争を直接シミュレートする所にあります。陸域を格子で小地域に分け、各格子毎に30m×30m程の小さな「代表森林」を幾つか置き、その中での多種類の樹木が競争しながら成長するのをシミュレートします。

図5は、現在開発中のモデルで100年間のシミュレーションをした例です。気候が変化した時その時々気候に適した樹種に直ちに置き換わるわけではなく、必ず遅れを生じます。開発中の個体ベースモデルは、実際に起こる個体間の競争を通じて樹種の変化をシミュレートするので、この遅れが正しく表現されるものと期待されます。

自動車からの排気を含め燃焼によって生じる窒素酸化物（NOx）を元に生成される対流圏オゾン、その他メタンやエアロゾル（大気中微粒子）など大気組成の変化を扱う大気化学モデルも気候モデルに組み込みました。こうして地球温暖化に伴う地球環境全体の変化のシミュレーションを行う計画です。

相観のシミュレーション結果（@熊本県） Preliminary result

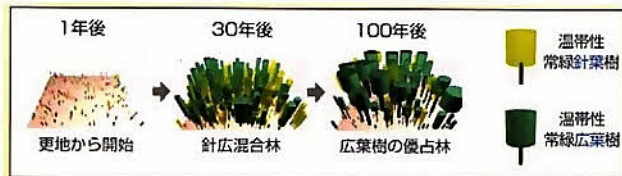


図5 新しく開発した個体ベース動的植生モデルによる森林変遷のシミュレーション

地球シミュレータセンター

The Earth Simulator Center

1. 2004年7月の関東地方の異常高温

2004年7月20日、東京で史上最高気温39.5度を記録した。この時、対流圏上層の偏西風がユーラシア大陸上で数日前から、大きく蛇行していたことが観測の結果明らかになっている。

これまでの研究から、シルクロード・パターンと名付けている偏西風の蛇行が、日本付近で高気圧を発達させたと考えられた。そこで、この異常な高温の原因を調べるため、全球大気シミュレーションコード (AFES) を用いてシミュレーションを行った。水平解像度は20 km、鉛直方向には、48層とり、7月15日午前9時 (日本時間) の気象庁全球解析データ格子点値を初期値とした。

シミュレーションを行った結果、7月20日午前9時の時点で、対流圏全体にわたる高気圧が日本の南西諸島付近に発達し (図1)、この高気圧に伴う北東風が日本海側から山を越えて、関東平野にフェーン現象をもたらし、異常な高温を発生させたことが実証できた (図2)。ちなみに、通常は南東風であることが多く、ここまで気温が上昇することはまれである。

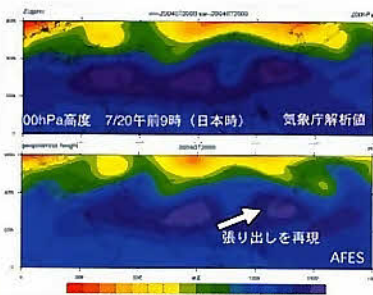


図1 偏西風蛇行による南西諸島での高気圧の発達

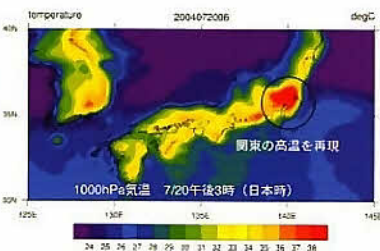


図2 2004年7月の関東地方の異常高温

2. 1997/98年のエルニーニョの再現シミュレーション

太平洋の東部熱帯地域で海面水温が平年値と比較して高い現象をエルニーニョ現象と呼び、世界の天候に様々な影響を及ぼすことがよく知られている。このような海洋変動の仕組みを調べるために、全球海洋シミュレーションコード（OFES）を用いてシミュレーションを行った。

図3の下は20世紀最大規模の変動が観測された1997年11月におけるシミュレーション結果で、海水温度の平年値からのずれを示している。太平洋赤道域の中央部からペルー沖の広い範囲で温度が高い状態になっていることがわかる。また、図3の上は東部熱帯赤道域の平年値からの温度のずれを、横軸を時間にしてシミュレーション結果と観測結果を示したもので、エルニーニョによる温度のずれと時期をよく再現していることがわかる。

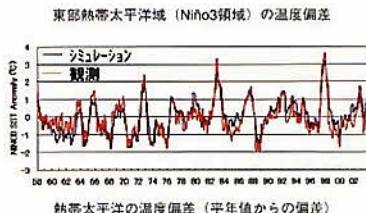


図3 1997/98年のエルニーニョの再現シミュレーション

3. 全球・領域結合シミュレーション

地球シミュレータの高速計算を最大限に活用することを前提に、全球から地域限定の気象/気候変動を予測することを目的に、全地球規模を10kmの解像度でシミュレーションを行いながら、そのシミュレーションの途中結果を用いて、日本付近のより細かな解像度（現時点で2.4km）のシミュレーションを同時進行させることができる全球・領域連結シミュレーションコードを開発した（図4）。このコードは、固体地球シミュレーショングループで開発された新しい球面格子系を用い、更に、非静力、陸面、雲微物理も取り入れている。

これを、2003年8月、台風10号が九州沖に到達した時点での、気象庁から配布された気象観測解析データを初期値とした72時間分のシミュレーションを行ったところ、その進路、速度、中心気圧などが正確に再現された（図5）。この予測シミュレーションに要した計算時間は3時間であった。

この研究の目的は、台風による集中豪雨などの予報可能性であるが、計算時間が短く、更にセミラグランジアン法（実装済み）を用いれば、計算時間を1時間まで短縮可能であることから、実用性が十分期待できるコードとなっている。



また、本研究の最終目的は、日本領域のシミュレーション結果を用いて、東京都市部などの更に細かい解像度（5m）の局所シミュレーションが可能となる、全球・領域・局所連結シミュレーションコードの開発であり、ヒートアイランドなどの都市現象の予測や都市設計への提言に貢献することである。

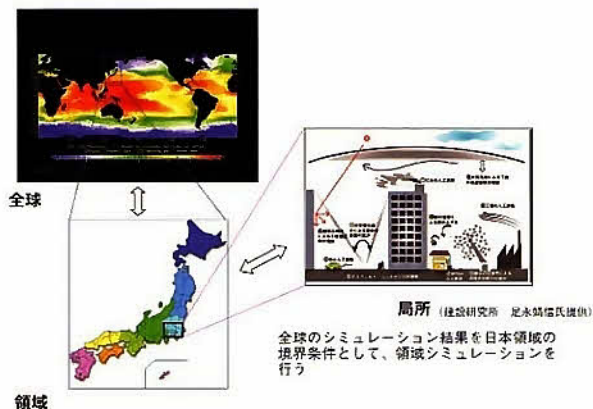


図4 全球・領域・局所 連結シミュレーション

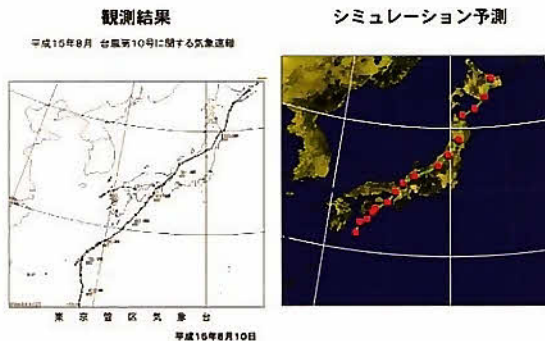


図5 平成15年 台風10号の進路比較

4. マントル対流シミュレーションの高速解法アルゴリズムの開発

マントル対流の高分解能・高速解法アルゴリズムを開発することは、計算固体地球科学の重要な課題の一つである。すなわち、マントル対流の基本方程式は、

- 1) 運動方程式に慣性項がないこと、
- 2) 粘性率が激しく空間変化すること、

などの点で通常の熱対流と大きく異なり、従来の数値流体力学的技法をそのままマントル対流に適用できない。そこで、多重格子法、擬似圧縮法、局所時間刻み法の3つの数値技法を組み合わせた全く新しいマントル対流のシミュレーション技法、「ACUTE法」を開発した。更に、その計算効率の高度化を図るため、各格子点でのデータと計算を一つの演算機に集中させる手法を導入した (図6)。

その結果、全体のベクトル化率98.1%、並列化率99.85%という、地球シミュレータに高度に最適化されたシミュレーションコードの開発に成功し、世界でも類を見ない高分解能のマントル対流シミュレーションが実現可能となった。

図6の右は、この新しいシミュレーションコードを用いて、実際のマントル物質の物性とその変化を扱う機能を組み込んだシミュレーションの結果で、熱伝導率の温度依存性がある場合は、下面(コアとマントルの境界面)からの上昇流(ブルーム)の数が少なく、太い様子が示されている。これは、地震波トモグラフィーなどから推測されているスーパーブルームとの関連を強く示唆するものである。

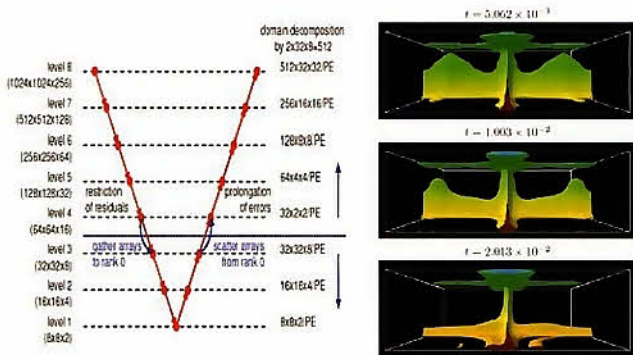


図6 マントル対流シミュレーションの高速解法アルゴリズムの開発

5. インヤン格子を用いたコアとマンツルのシミュレーション

地磁気が生産されるコアと、プレート運動や地震・火山活動などの起源であるマンツルを統一的に理解することを目指し、インヤン (Yin-Yang) 格子と名付けた全く新しい球面格子を開発した (図a)。このインヤン格子は、地球のような球形構造のシミュレーションに適しており、更に、地球シミュレータ用に大規模な並列化・ベクトル化を行うことによって、高い演算性能を実現することができた (2004年ゴードンベル賞受賞)。その結果、従来のダイナモシミュレーションと比べて格段に細かい構造をもったコア対流が直接計算できるようになった (図b、c)。

図d、e、fは、コアの外側にあるマンツルの対流シミュレーションの結果である。図dは、内部発熱がまったく存在しない場合、図eは、現在の地球と同程度の内部発熱量がある場合、図fは、内部発熱量が図eにくらべて2倍強い場合の対流パターンを示している。

これらから、内部発熱量が、マンツル対流のパターンに大きな影響を与えることが分かる。

また、細かい空間構造を持つ対流であっても問題なく解くことができることが、図gからわかる。

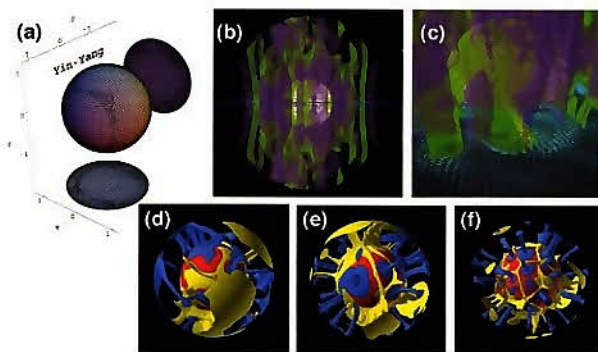


図7 インヤン格子を用いたコアとマンツルのシミュレーション

6. インヤン格子に基づく可視化ソフトウェアの開発

固体地球シミュレーショングループで開発した、極付近の不必要な計算量を減らすというインヤン（Yin-Yang）格子の考え方を可視化ソフトウェアにも応用すると、極付近に集中する画素数を大幅に減らすことができ、より高速な可視化処理を実現することができるようになる。

図8はインヤン格子上でデータを可視化した結果である。イン格子、ヤン格子上のそれぞれのデータについて独立に可視化を行い、それを3次元的に合成することによって、全体の可視化を実現させている。

他にも、高速に等値面やボリュームレンダリング処理を行い、時系列シミュレーションデータを連番画像に変換する並列型可視化ソフトウェアの開発など、さまざまな可視化のためのソフトウェアの開発、改良を進めている。

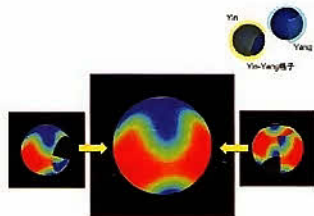


図8 インヤン格子に基づく可視化ソフトウェアの開発

7. 連結階層シミュレーションアルゴリズムの開発

従来のシミュレーション手法では、地球シミュレータを用いても、数千倍から1万倍位の空間スケールの違いしか解けず、たとえ、地球シミュレータの100倍のシミュレータが将来実現できたとしても、せいぜい数倍程度の改善にしかならない。しかし、実際の自然界、あるいは、人工物の全体を明らかにするためには、時間や空間のスケールが1億倍から1000億倍異なり、また、スケールによって物理法則も異なるシミュレーションを実行しなければならない。そこで地球シミュレータセンターでは、大きく異なる空間や時間スケールのシミュレーションを総合的に行える連結階層シミュレーションプロジェクトを開始した。ここでは、その一例として、極域で見られるオーロラ現象のシミュレーションを示している。10万 km の空間スケールを解かなければならないマクロシミュレーションと、電子の10 cm の運動を追跡するマイクロシミュレーションを結合させ、オーロラの発光シミュレーションに成功した。この空間スケールの差は10億倍にもなる。現在、様々な事柄を対象として、連結階層シミュレーションの普遍化を目指している。

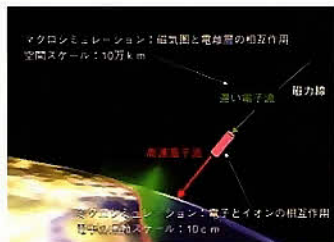


図8 連結階層シミュレーションの例(オーロラ)

地球深部探査センター

Center for Deep Earth Exploration (CDEX)

1. 新しい地球理解への道

1960年代以降、米国主導で行われていた海洋科学掘削は、1985年から2003年10月までの間、国際的な協力の下に「国際深海掘削計画 (Ocean Drilling Program: ODP)」に至り、プレートテクトニクスの実証、地球環境変遷史の解明など数々の功績を地球科学にもたらしてきた。

この40年の間に、地球の姿は大きく変貌した。地球の人口は60億人を越え、人間活動の影響は地球の隅々まで及ぶようになってきた。地球規模での環境汚染や地球温暖化の危機などが現実のものとなりつつあり、誰もが人類と地球の未来に不安を抱いている。

近年になって、地球科学や生物学の発展により、私たちの地球に対する理解が急変しつつある。それは、「地球内部の現象と私たちの住む地球表層は、従来考えていたより遠かに密接な関係にある」という考え方である。私たちは最近、地球内部に実は隠れた地球変動の主役が存在していることに気がついた。それは、

- (1) 地殻内部深くまで存在する地下生物圏
- (2) 海底下や凍土層に存在するメタンハイドレート
- (3) 地殻からマントルまで存在するH₂OやCO₂などの流体

である。これらは、地球内部と表層の間での物質循環や力学的プロセス（例えば地震）などに密接に関与していると推定される。しかし、その実態はほとんどわかっていない。今、地球内部で起っている出来事（ダイナミクス）を理解し、それらが我々の住む地表世界（表層環境）とどのように関連しているのか知ることは、我が国にとって、国土管理保全の上での緊急の要請であると同時に、国際社会の未来への大きな貢献である。新しい地球理解への道、それは深海底から未踏の深部まで掘削することによって開くことができる。それを可能にするのが、地球深部探査船「ちきゅう」である。

2. 地球深部探査船「ちきゅう」の建造

1980年代後半、我が国の研究者の中で、大型科学掘削船を建造し、新しい地球科学の創設に貢献しようとする気運が生まれた。その理由は、当時行われていたODP

においては、技術的に海底約2,000mの掘削が限度であり、マントルや巨大地震発生域などの深部ターゲットへ到達することが不可能である、というところにあった。その後、科学技術庁（当時）における審議等を経て深海掘削の重要性が確認され、最新鋭の掘削機能を持つ大型科学掘削船の建造とそれに伴う技術開発の推進は、海洋科学技術センター（当時）が中心となって、「OD21」として実施することとなり、研究に着手するとともに、また同時に国際的な観点からも検討がなされるようになっていった。

2001年4月25日、三井造船（株）玉野造船所において起工、2002年1月18日に進水したこの大型科学掘削船は地球深部探査船「ちきゅう」と名付けられた。船体部分の積装工事の後、2003年4月から6月にかけて船体部の海上確認運転を行い、7月には三菱重工業（株）長崎造船所香焼工場へ回航された。同工場で渠内において積装が施され、9月に出航、岸壁において掘削機（やぐら）が搭載された。その後、船上試験及び船内へ搭載する研究機器の整備等を経て、2004年12月には海上検査試験が行われた。「ちきゅう」は2005年4月に海洋研究開発機構に引き渡される予定である。

3. 科学課題への挑戦

地球の新しい理解に関する最大の科学課題のひとつは地下生物圏の解明である。ODPなどの掘削調査で地下1000m以上深くの岩石の中に“石を食べて生きている”微生物が生息していることがわかってきた。この地下微生物の生息深度は、予想される生息限界温度（150℃程度か）を考慮すると、マントル最上部まで広がっているかもしれない。これらの微生物の中には、地球表層の生物進化とは無縁に発展したものの、あるいは地球史の初期の原始生命に近いもの（始源地下生物圏）が存在しているかもしれない。地下生物圏がいったい地球に何をしているのだろうか。マントルまで到達するためには、深海底から7000mの深き掘削することが条件となり、「ちきゅう」はそれを可能とする。

我が国にとって、地震発生メカニズムの解明や発生予測は国の将来をも左右する最大の関心事である。地震発生メカニズムを理解するためにはプレート境界での巨大地震発生帯の断面そのものへの掘削が最も有効である。そのためには、深海底から6000mから7000mの掘削が必要である。掘削によって、断面を構成する物質、そこに含まれていると予想される流体の性質、温度や圧力、歪などの状態を知ることができる。さらに掘削孔の周囲や海底に観測網を展開すれば、広域的な海底の地震変動とプレート境界断面の変化の関係が判明するであろう。このような3次元空間での連続観測（4次元長期観測）こそ



図1 「ちきゅう」における科学目的



「ちきゅう」全景



BOP (噴出防止装置)



ドリルフロア



化学分析ラボ



CTスキャナー



コアラボ：蛍光X線コアロガー



顕微鏡室

- 図2 「ちきゅう」「ちきゅう」の最大の特徴は、レーザー掘削技術を駆使できることにある。レーザー掘削とは、掘削パイプをさらに大きな径のパイプ（ライザー）の中を通すことによって、粘土鉱物などの鉱物粉末を含む比重の大きい水（泥水）を循環させる方式を採用する。泥水は、孔壁の閉鎖や崩壊を防ぐとともに、掘削切り屑（カッティングス）を持ち上げてくる役目を果たす。また、泥水循環方式の採用は、石油やガスの含有が予想される地層における掘削も可能とする。当初、2,500mの水深から海底下7,000mまでの掘削を目指すのが、これは科学掘削としては初めての試みであり、将来は、水深4,000m下における掘削技術を確立し、人類未到のマントルまでの到達を計画している。

また、「ちきゅう」は洋上における研究施設として最新の研究機器を搭載している。上述の掘削によって採取されたコアは、環境の変化による影響を受けやすいため、速やかに処理を進める必要があり、その分析内容は多岐に渡っている。このため、作業が効率的に進んでいくように様々な工夫がなされており、地球科学や生命科学における幅広い分野の研究がより効率的で高度な研究環境下で行える設計となっている。まさに世界で最先端の浮かぶ研究施設でもある。

が、地震予測への近道であると考える。

このような掘削孔を用いた観測網は、地震の発生を即時に検知できるので、リアルタイム発生通知に極めて有効である。都市機能を10~30秒前の地震通報によって防護し、また、人命への損害を最小限に留めるような自動措置を行なうことが可能となる。

「ちきゅう」は、この他に地球環境変動や新エネルギーとしてのメタンハイドレートの特長など多くの課題解決に貢献するであろう。

4. 「ちきゅう」の運用

2007年からの「ちきゅう」の本格運用開始を目指し、運用体制の整備、慣熟訓練の準備、及び陸上研究・コア保管施設等の整備を進めてきている。

運用体制の整備においては、2003年10月に「ちきゅう」の運用実施組織として地球深部探査センター（Center for Deep Earth Exploration: CDEX）が設置され、運用マニュアル、安全管理・環境保全マニュアル（HISE）の策定、及び科学支援業務の準備等、各種運用開始準備業務を実施している。

特に、2005年4月の「ちきゅう」の引き渡し後予定している試験運用のため、試験予定海域（北太平洋沖）を地震探査法等による調査を行い、掘削地点の選定を行うと同時に、船上機器の習熟のための訓練計画を策定している。

陸上研究・コア保管施設の整備については、「ちきゅう」により採取されたコア試料等を保管し、各種分析・解析を総合的に実施するために、高知大学に整備された「高知大学海洋コア総合研究センター」を高知大学と共に共同運営している。

陸上研究環境整備

高知大学海洋コア総合研究センター



図3 高知大学海洋コア総合研究センター
外観（上）コア保管庫（下左）安定同位体質量分析計（下右）

5. 統合国際深海掘削計画（IODP）の推進

「ちきゅう」による科学成果を最大に発揮するために、これを国際共同研究の枠組みの中で運用することが準備されてきた。

2003年10月からはODPとOD21がいわば統合され、日本主導の国際プロジェクトである「統合国際深海掘削計画（Integrated Ocean Drilling Program: IODP）」が発足した。IODPは、国際的な協調と資金の導入、統一された科学計画機能により、日本が提供する地球深部探査船「ちきゅう」、米国が提供するノンライザー掘削船及び極限・浅



海域において使用される特定任務掘削船（MSP）、更に、新たな陸上施設や先進的な技術・機器というこれまでにない強力なインフラを用いて、21世紀の地球科学・生命科学の重要研究課題や、自然災害の低減など社会が直面する課題の解決へも貢献できるテーマに取り組み、人類のさらなる発展に寄与することを目指す壮大な国際科学プロジェクトである。

IODPを推進していくための中核となる日米二国間の覚書として、2003年4月22日に遠山文部科学大臣・コルウェルNSF長官(共に当時)により署名が行われた。また、現在、欧州がIODP参加のために結東する欧州海洋研究掘削コンソーシアム(ERCORD:2004年2月現在、英仏独はじめ12ヶ国が参加)や中国と覚書署名に向けた調整・検討がすすめられている。

IODPの科学推進の中心は、参加各国の研究者/科学者グループが作成する掘削提案である。掘削提案は科学アドバイザリー組織(SAS)において評価される。SAS活動においても、各委員会・パネルの運営に対し機構は積極的な参加や支援を行っている。

SASにおける掘削提案の評価・検討の結果を受け、中央管理組織(CMO)がIODPの年間計画を策定する。CMOは計画資金の管理や計画全体の運営を行うIODPの中核となる組織であり、IODP国際計画管理法人(IMI)がCMO業務を担当することとなり、ワシントンDCと札幌(北大キャンパス内)に事務所が設置された。

このような科学計画を総合的に推進していく上では、我が国全体の研究基盤の整備・充実等を進める必要があり、その一環として、機構は2001年に固体地球統合フロンティア研究システム(IFREE)(現:地球内部変動研究センター)及び極限環境フロンティア(DEEPSTAR)(現:極限環境生物圏研究センター)を設立し、IODP関連研究の質・量における向上を図っている。

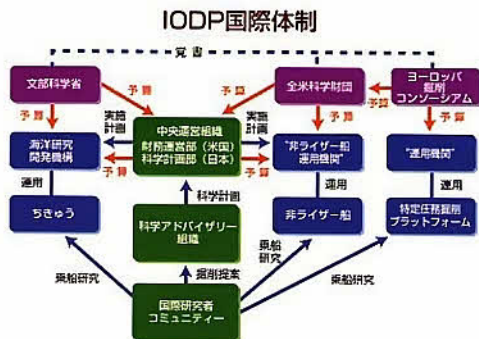


図4 IODPにおける国際体制

更に、IODPを中心とした地球掘削科学に関する研究計画の立案、掘削科学に関係する研究コミュニティの拡大、研究基盤の検討とこれに関連する政策提言等を目的に、「日本地球掘削科学コンソーシアム」(会長：久城育夫固体地球統合フロンティア研究システム長 [現：地球内部変動研究センターアドバイザー]) が2003年4月に発足され、40以上の大学・研究機関の代表者を中心に活動が開始された。本コンソーシアムの設立・運営に関しては、機構も積極的に支援している。

4. さらなる発展に向けて

「ちきゅう」は、我が国のみならず世界の未来に対し、多大なる貢献をもたらす貴重な財産である。これを基礎科学の発展のみならず、新しい技術の開発、産業の育成、人材の教育など多方面にわたる強力な道具として活用してゆくことが求められている。CDEXは「ちきゅう」運用の中核組織として、2005年5月からの試験運用に向けて、現在、急ピッチで準備を進めている。「ちきゅう」というハードウェアの建造だけでなく、その運用を安全に効率的に行うこと自体が大きなチャレンジであることを認識し、関係諸機関、諸企業との密接な連携の下、本計画を牽引してゆく所存である。

情報業務部

Computer and Information Department



1. はじめに

情報業務部では、海洋研究開発機構の情報集積拠点である横浜研究所を中心に、情報基盤の整備および情報技術を利用した研究支援活動を推進し、より良い研究環境の構築を進めている。情報業務課では、研究に必要な海洋科学技術情報の収集・分類・加工・保管・提供に関する業務、一般の国民へ情報を発信するウェブサイト (<http://www.jamstec.go.jp>) の運用・管理や研究報告集・情報誌などの編集出版を行っている。また、スーパーコンピュータやネットワークシステムの管理・運用も重要な業務の一つである。さらに、海洋観測データの品質管理やデータベースの開発・運用を行い、これらのデータについてインターネットを介した公開作業を進めている。これら各種業務に関連した研究開発も併せて実施している。

2. 研究情報提供業務

2.1. 図書の収集・管理・提供

横須賀本部、横浜研究所、むつ研究所に図書館、図書室を開設しており、海洋科学技術や地球科学等に関する図書資料（図書・雑誌・報告書・技術レポート・会議資料等）を国内外から幅広く収集するとともに、データベースに登録し、研究者へ提供している。また、外部の研究機関や大学の図書館と連携して蔵書の検索および複写サービスを実施している。

各国書館（室）の蔵書数は次のとおりである。

横須賀本部	蔵書	約21,500冊
	逐次刊行物	約1,500種
	映像資料	約750本
横浜研究所	蔵書	約8,000冊
	逐次刊行物	約1,600種
	映像資料	約1,200本
むつ研究所	蔵書	約920冊
	映像資料	13本

なお横浜研究所図書館(図1)は、一般にも開放され、海洋や地球科学を中心とする図書や映像資料を閲覧、視聴することができ、また、端末を使用して、様々な情報を検索することが可能となっている。



図1 横浜研究所図書館

2.2. 刊行物の編集・発行

専任の編集者と印刷製本設備を有しており、機構の研究や技術開発に関わる報告書、論文誌、シンポジウムの予稿集等の迅速な編集・発行を可能としている。また、海洋科学に関する啓蒙書として多くの方々に愛読されている海と地球の情報誌「Blue Earth」の企画・刊行を担当している(図2)。



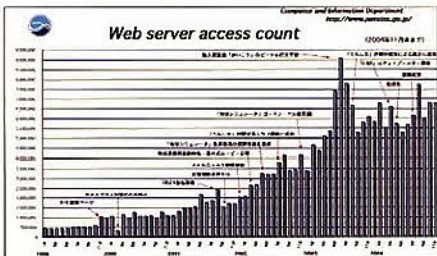
図2 情報業務課で発行している刊行物例

2.3. ウェブサイト (Web site) の運用

機構で行われた研究成果やイベント情報を紹介し、海洋に関する様々な知識を提供するコンテンツを作成し、ウェブサイト上で公開している(図3(a),(b))。また、ウェブサイトを開覧した一般の方々から寄せられる海と地球科学技術に関する質問に答えるハイパー海洋百科事典の運用も行っている。



(a) ウェブサイトのトップページ



(b) アクセス件数の推移

図3 ウェブサイト「JAMSTECホームページ」

3. 情報システム管理業務

3.1. 海洋研究開発機構におけるコンピュータシステムの管理・運用

海洋研究開発機構における各種研究に必要なスーパーコンピュータを始めとした計算機資源を管理・運用している。現在の上なコンピュータ高速化手法は並列化お

およびベクトル化であり、情報業務課ではそれぞれに該当する図4に示す(a)スカラ型並列スーパーコンピュータシステムおよび(b)ベクトル型演算サーバを管理し、ユーザが数値シミュレーション等の研究を円滑に推進できるよう運用を行っている。



図4 情報業務課で運用している主な共用計算機

また情報業務課は、スーパーコンピュータシステム上で実行するプログラムの開発や並列化チューニングなどの技術的支援を行うとともに、シミュレーションモデルの計算結果に対する数値解析処理などの研究支援も進めている。

3.2. 海洋研究開発機構におけるネットワークシステムの管理・運用

文部科学省国立情報学研究所が運用している高速ネットワーク（スーパーSINET）によりインターネットに接続された、海洋研究開発機構の各研究拠点を結ぶ高速ネットワーク（JAMSTECネットワーク）の構築と管理・運用を行っている（図5）。スーパーSINETは、先端的学術研究機関間の連携を強化し日本の学術研究を飛躍的に発展・増進させることを目的とした光通信技術を用いた超高速のネットワークである。海洋研究開発機構では、平成16年10月にインターネットの接続先をSINET（学術情報ネットワーク）からスーパーSINETに変更し、より高速なネットワーク接続が可能となった。

また、不正なアクセスやウイルス等を防止するためにネットワークの監視とセキュリティ管理の徹底を図っている。不正侵入検知システムによるセキュリティ監視や定期的なネットワークセキュリティおよびWebアプリケーションの検査、セキュリティパッチの適用、ネットワークサービスアプリケーションのバージョンアップなどを実施することで高い水準のセキュリティを確保している。

3.3. 情報システムの効率的な利用に関する研究

海洋研究開発機構で共用計算機として運用しているスカラ型スーパーコンピュータおよびベクトル型演算サーバを用い、海洋中における諸問題についてシミュレーション手



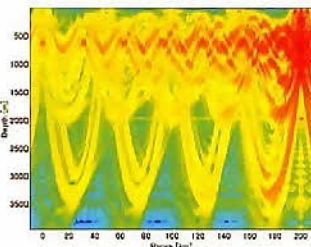
図5 JAMSTECネットワーク接続図

法を確立することに取り組んでいる（図6）。高速のベクトル型計算を行う地球シミュレーターが日本におけるハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）の中心になっている一方、米国や欧州連合などではスカラー型の超並列計算機による計算が中心となっている。世界の計算科学の動向がベクトル型計算とスカラー型計算に大きく分かれているとともに、海洋研究開発機構内の利用形態としても両計算機に対するニーズが大きい。そこで情報業務課では、ベクトル型計算の他にスカラー型計算の動向を調査するとともに、シミュレーション研究において並列化チューニングなどを行うことにより、計算を実行するスカラー型計算機とベクトル型計算機的环境などを考慮した総合的な利用に関し研究を行っている。

また、計算機資源の効率的な利用を検討するとともに、コンピュータ・ネットワークにおける処理のボトルネックを調査し、当機構のコンピュータ・ネットワークシステムの更新に役立てている（図7）。

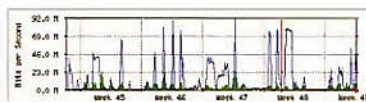


(a) 海中弾性体の波動伝播シミュレーション

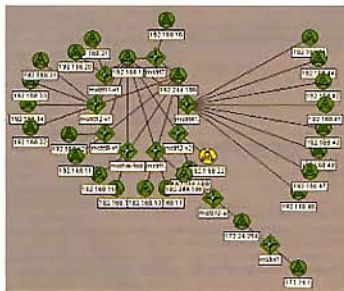


(b) 海中断面の長距離音波伝播解析

図6 スーパーコンピュータを使用した解析例



(a) ネットワーク通信量の時系列分布



(b) ネットワーク監視マップ

図7 ネットワークシステムの調査解析例

4. 海洋観測データ管理業務

4.1. 海洋研究開発機構におけるデータの流れの概要と情報業務課の役割

海洋研究開発機構では所有する船舶を用いて多くの貴重な資料やデータが取得されている。これらの資料やデータについては、国内外の研究者の利用に供すると共に、一般国民が利用しやすい形で処理・整理・保管・管理・公開・提供することとしており、主として整理・保管・管理・公開・提供を担うのが情報業務部情報業務課である。またデータ処理においても研究者の豊富な知識・経験・技術と協働することにより、品質管理作業を進めている。こうして得られたデータ・資料・品質管理情報等の成果物は、情報業務課で保管・管理されている。さらにこれらの成果物を公開するためインターネット上にWebページを設け、利用者に資料やデータ等を提供している。これらをまとめたものが図8である。

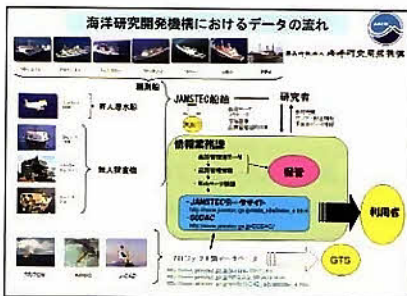


図8 海洋研究開発機構における海洋観測データの流れ

4.2. 情報業務課におけるデータ・資料の保管と管理

情報業務課における資料保管の例として深海画像の保管管理状況を図9に示した。この図に見られるように、これらの資料は温度・湿度が自動的に制御され、カードキーシステムによる24時間監視が行われている専用の保管室において、専用の棚に整然と配架されている。

またこれらの資料については戸籍とも言うべき情報をデータベースにて管理しており、いつでも即座に利用希望に応えられるようになっている。



図9 深海画像の保管管理状況

4.3. 情報業務課におけるデータの公開と提供

海洋研究開発機構では、データの公開・提供に当たり図10に示すようなWebページを構築し、インターネットに接続することにより手軽に一般国民が入手できるようにしている。また人類にとっての貴重な財産でもあることから世界に向けた情報発信として英語版のWebページを整備している。

情報業務課としても深海画像をデータベースにして公開すると共に、現在は公募により実施された航海で取得されたデータの公開を進めている（図11）。



図10 JAMSTECデータサイト

図11 海洋観測データのインターネットによる公開

4.4. 深海画像アーカイブの効率化および高度化に関する研究

海洋研究開発機構で実施されている潜航調査や深海観測ステーションによる長期観測等により膨大な量の画像データが蓄積され、また今後も蓄積されつつある。これらの膨大かつ貴重な画像データを有効に活用するためには、デジタル化等による適切な保管・管理（アーカイブ）ならびに記録情報の抽出（インデキシング）が必要である。潜航調査により得られた映像についてはGODACにおいてアーカイブ作業が順次実施されているが、特にインデキシングについては、潜航研究者の専門知識も必要となるなど、膨大な画像を処理するにはイベントの自動抽出や識別手の開発や他の取得データとのリンク等による効率化・高度化が必要とされている。本研究では、当該分野の昨今の技術動向を調査するとともに、まだアーカイブが未着手である初島沖ステーションの画像データを対象とした画像処理方法を考察している。その過程で長期間の画像変化から得られる堆積などの海底変動に起因した他の環境データの変動が明らかになりつつある（図12）。

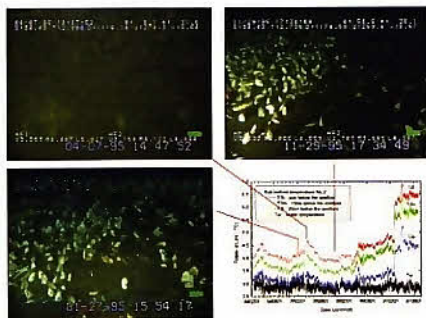


図12 海底の堆積変化と地中温度変化

むつ研究所

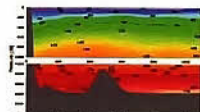
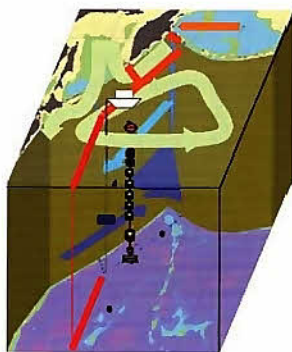
Mutsu Institute for Oceanography



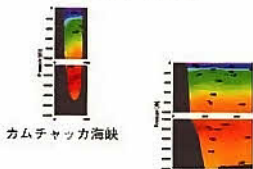
北太平洋時系列観測研究

1) 北西部北太平洋の生物地球化学的海洋構造の把握

北西部北太平洋で形成される北太平洋中層水 (NPIW) は大気中で増加する二酸化炭素はか温暖化関連物資を吸収し海洋内部へ輸送する能力があることが示唆されているが、NPIWの起源と形成メカニズムについては不明な点が多い。そのためにはNPIWの起源水とされるオホーツク海、ベーリング海と北西部北太平洋の境界域での生物地球化学的観測が重要となる。2004年8月9日、これまで困難であったロシア経済水域内上記海域での観測を「みらい」により実施することに成功した (図1)。今後はこれらの海域での観測を継続することでNPIWの形成メカニズム、および二酸化炭素はか温暖化物質輸送能力について解明されることが期待できる。

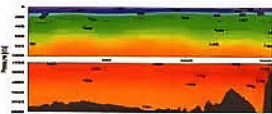


西ベーリング海



カムチャッカ海峽

カムチャッカ半島南端断面



千島列島沿いの観測

図1 みらいMR04-04航海で観測されたオホーツク海/ベーリング海-北西部北太平洋境界域の栄養塩 (ケイ酸: Si) の微細鉛直断面構造

2) 係留系を用いた生物ポンプの研究

北西部北太平洋は生物が形成する粒子による二酸化炭素鉛直輸送能力(生物ポンプ能力)が高い海域として知られているが、基礎生産力と沈降粒子形成量の関係、垂表層での沈降粒子の変成過程など不明な点が多い。

むつ研究所では2001年以来、海底約5000mから表層約30mまで緊張係留した係留系に様々な自動観測装置を搭載し生物ポンプに関する観測を行ってきた。図2は2002年11月～2003年10月に北西部北太平洋の観測定点station K-3のセジメントトラップ(水深5000m)により観測された深海への有機炭素フラックスと、水中光測定システム(水深50m)の観測データから推定された基礎生産力の関係を示したものである。セジメントトラップの観測結果から、2002年12月上旬に有機炭素フラックスの増加が観測されるが11月から2003年3月初旬までは低く、3月以降上昇傾向を示した。K-3の有機炭素フラックスはopalのみならず炭酸カルシウム塩(CaCO_3)とも高い相関性を示した。実験期間中の有機炭素フラックス平均値は $2.8 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であった。一方、基礎生産力は2月までは約 $100 \text{ mg-C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であったが3月以降は上昇し、4月から6月までの間に $750 \text{ mg-C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ に達することが推定された。観測期間中の基礎生産力平均値は、 $348 \text{ mg-C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であった。基礎生産力、有機炭素フラックスとともに晩秋から冬には低く、その後は上昇傾向を示し、弱いながらも相関関係を持つ事が示された。

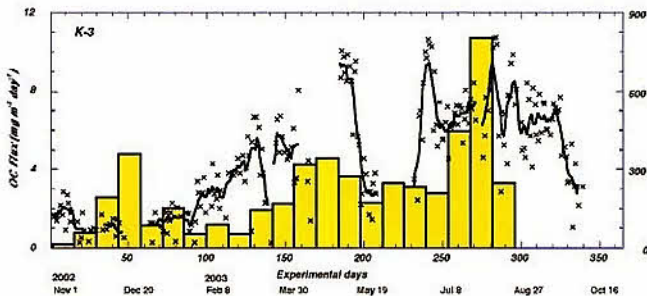


図2 定点K-3における基礎生産力(X。線は7日移動平均)と水深5000mにおける有機炭素フラックス(棒グラフ)。



海洋環境変遷（古海洋研究）

=2005年のトピックス：

最終氷河期の海底下のメタンハイドレート層の崩壊

—地球規模の気候変動への影響—

むつ研究所古海洋研究グループは、過去3万5千年にわたる北北沖海底堆積物コアの解析から、2.54年前（歴年代）に海底下に存在するメタンハイドレート（注1）が不安定化して、大量のメタンが放出したとされるシグナルを発見した。この成果は、アメリカ地球物理学連合発行の雑誌 *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*（8月19日発行）に掲載された。また国際地質学会議、並びに国際古海洋学会議にて発表された。

背景

グリーンランド氷床コアの気泡中のガス分析から、過去9万年の間に数千年の間で、数百年間、大気中の二酸化炭素、メタン濃度の上昇および気温の上昇した期間が22回あったことが報告されている。この急激な気候変動メカニズムの詳細については、まだ明らかになっていない。しかし、このメカニズムを説明する1つとして、極域を含めた大陸縁辺部の海底下に大量に存在するメタンハイドレート層が何らかの原因によって崩壊し、メタンハイドレート由来のメタンが大量に大気へと放出され、温暖化を加速させたのではないかと仮説が提唱されている。最近、日本周辺を含めた北西太平洋の縁辺部の海底探査によって、広大なメタンハイドレート層の存在が明らかになり、その量は天然ガス、石油、石炭などの化石燃料総埋蔵量の2倍以上（炭素換算）に相当するとされている。メタンハイドレート層の宝庫ともいえる北西太平洋が、メタン放出という形で汎世界的な急激な温暖化と密接に連動していた可能性があることから、過去の気候変動との関係を解明することは極めて重要な課題である。

成果

海底堆積物コアは、海洋地球研究船「みらい」により、青森県下北半島沖の水深1366mにおいて採取された（41°07.10' N, 142°24.20' E, 図3）。堆積物試料に含まれる石灰質微化石（浮遊性有孔虫・底生有孔虫）（注2）、バクテリア由来の有機化合物について分析を行った。その結果、2.54万年前に相当する堆積物より、メタン放出の可能性を示唆する大きなシグナルが見つかった（図4）。この時代は、グリーンランドの氷床コアから復元されている短周期の温暖化イベントである「亜間氷期3」の時期に相当する。これは北西太平洋において、最終氷期にメタンハイドレート層が不安定になったことを示す初めての発見である。メタンハイドレート層が不安定化するメカニズムについては、まだ明らかになっていないが、この海域において北太平洋中層水の循環様相が氷期-間氷期で変動したことや海水準の低下による海底下の

圧力変化などが考えられる。特に、メタン放出が確認された2.54万年前は、全球的に温暖化していた時期に相当することから、メタンハイドレート層の崩壊が温暖化により引き起こされたのか、あるいはメタンハイドレート層の崩壊によって温暖化が加速されたのかなど、今後詳細な解析が必要といえる。

注1：一定の物理条件下で形成されるメタンと水が結合し、シャーベット状になったもの。

注2：炭酸カルシウム骨格をもつ単細胞生物の化石。海洋表層に生息するものと（浮遊性有孔虫）、海底面に生息するもの（底生有孔虫）がある。

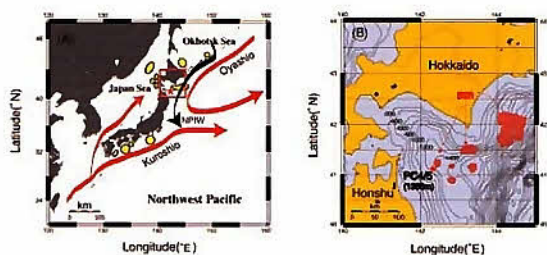


図3 堆積物採取地点（星印）と現在メタンハイドレードが存在する地点（黄色やオレンジ色のハッチをかけた部分）

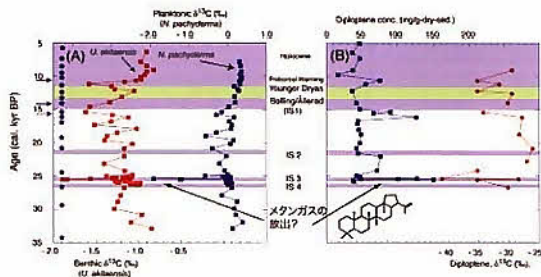
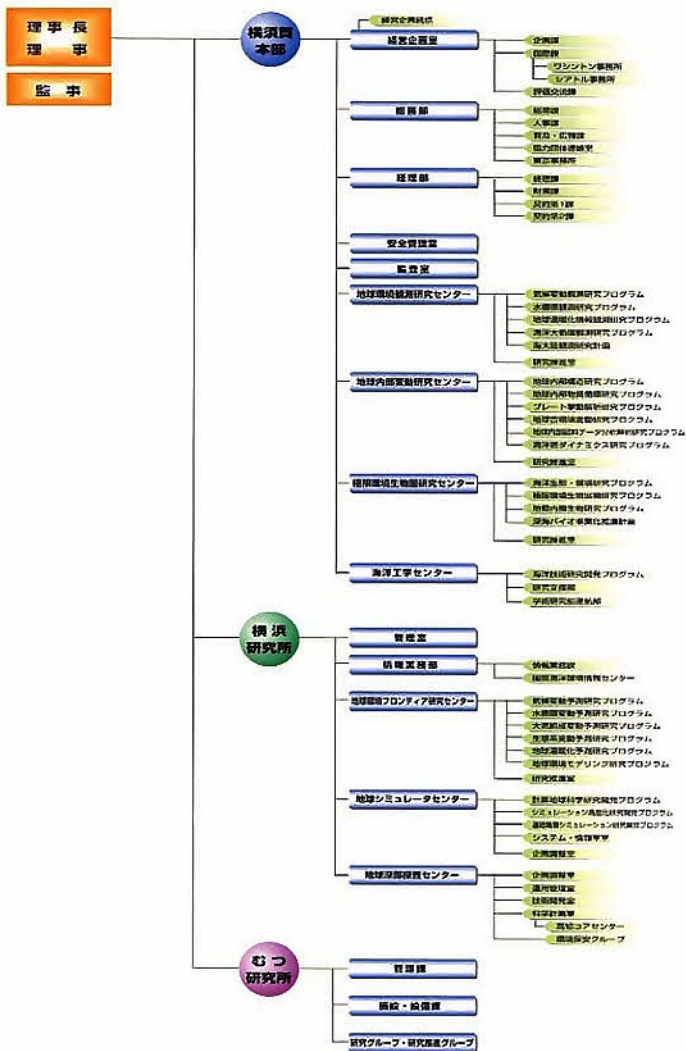


図4 浮遊性有孔虫と底生有孔虫の殻の炭素安定同位体比とメタン放出に関連したバイオマーカーの濃度および炭素安定同位体比変化（メタンガスの炭素安定同位体比は海水のそれらに比べて極端に低いため、生物が合成する殻やバイオマーカーの同位体比が低い場合、メタン放出の可能性を示唆する。）



海洋研究開発機構の機能と組織



主要施設・設備



支援母船「なつしま」

全長	67.4 m
幅	13.0 m
吃水	6.3 m
総トン数	1,700トン
航速	約12ノット
航続距離	約10,000マイル
乗員数	50名



支援母船「よこすか」

全長	100.2 m
幅	16.0 m
吃水	7.3 m
総トン数	4,470トン
航速	約16ノット
航続距離	約9,000マイル
乗員数	60名



有人潜水調査船「しんかい6500」

全長	9.5 m
幅	2.7 m
吃水	3.2 m
浮力調整	±3,000kg (潜水)
航速	2.0ノット
航続距離	2.2ノット (潜水)
乗員数	2名



海洋調査船「かいよう」

全長	61.6 m
幅	28.0 m
吃水	12.0 m
総トン数	3,170トン
航速	約12ノット
航続距離	約6,000マイル
乗員数	60名



無人探査機「かいこう7000」

最大深度	11,000 m
水中速度	2ノット
全長	2.8 m
幅	2.8 m
吃水	2.8 m
浮力調整	±1.0トン (潜水)
航速	3.0 m
航続距離	約2.7ノット
乗員数	2名



深海調査研究船「かいりい」

全長	106.7 m
幅	16.0 m
吃水	7.3 m
総トン数	4,020トン
航速	約12ノット
航続距離	約9,000マイル
乗員数	60名



海洋地球研究船「みらい」

全長	128.6 m
幅	18.0 m
吃水	13.2 m
総トン数	8,620トン
航速	約15ノット
航続距離	約12,000マイル
乗員数	60名



無人探査機「UROV7K」

全長	2.8 m
幅	1.8 m
吃水	2.0 m
浮力調整	7,000kg (潜水)
航速	2.7ノット



無人探査機「ハイバードルフィン」

全長	3.0 m
幅	2.0 m
吃水	2.3 m
浮力調整	3,000kg (潜水)
航速	2.9ノット
水中速度	1ノット



深海調査研究船「うらしま」

全長	87 m
幅	17.0 m
吃水	15.0 m
総トン数	3,500トン
航速	2.3ノット
水中速度	3ノット (潜水) / 1ノット (潜水)



学術研究船「うつなやま」

全長	91.0 m
幅	9.0 m
吃水	4.2 m
総トン数	480トン
航速	約12ノット
航続距離	約6,000マイル
乗員数	34名



学術研究船「白丸」

全長	100 m
幅	16.2 m
吃水	6.9 m
総トン数	3,987トン
航速	約12ノット
航続距離	約12,000マイル
乗員数	71名



地球深部探査船「らせい」

全長	210 m
総トン数	37,500トン
最大潜水深度	2,600 m (可航: 4,000 m)
最大探査深度	7,000 m
完成予定	2004年



海底熱水噴出システム「へんかい」

最大水深	6,000 m
全長	6.7 m
幅	2.3 m
吃水	2.3 m
浮力調整	±1.0トン
航速	4.8ノット
水中速度	3.0ノット



賛助会員名簿

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。(50音順)

株式会社アイ・エチ・アイマックスネットワーク	株式会社湘南船	日本SG株式会社
アイワ印刷株式会社	昭和セロリウム株式会社	株式会社日本海洋科学
株式会社アクト	株式会社白石	日本海洋船舶株式会社
株式会社アワード・ケイ	社団法人旭川協会	日本海運同業株式会社
株式会社道通船	新日本製薬株式会社	日本海運同業株式会社
アジア海運株式会社	新日本製薬株式会社	日本海運同業株式会社
石川海運船務工業株式会社	新華冷凍工業株式会社	社団法人日本カス協会
桑原株式会社	新工業株式会社	日本科学館管理株式会社
株式会社伊藤興業及船務製造所	新工業株式会社	日本セグウェイ株式会社
伊藤建設株式会社	新工業株式会社	社団法人日本産業機械工業会
伊藤建設株式会社	新工業株式会社	日本水産株式会社
株式会社エス・イー・エー	新工業株式会社	日本電気株式会社
株式会社R/Tテータ	新工業株式会社	日本銀行株式会社
株式会社エム・ティ・ティアシリテイス	新工業株式会社	日本セレクトト・バックド株式会社
株式会社MTP総合研究所	新工業株式会社	日本銀行株式会社
株式会社OC	新工業株式会社	日本銀行株式会社
オートマックス株式会社	新工業株式会社	株式会社間船
沖電気工業株式会社	新工業株式会社	株式会社ハナセン
株式会社オーグ・ヒールディシステム	新工業株式会社	東日本建設工業株式会社
海洋電子株式会社	新工業株式会社	東日本ケーブル株式会社
株式会社化学分析コンサルタント	新工業株式会社	株式会社日吉製作所
株式会社建設株式会社	新工業株式会社	日立アクト建設株式会社
カネテ株式会社	新工業株式会社	深田ケーブル建設株式会社
カヤシステム マンナリー株式会社	新工業株式会社	株式会社フジコ
川崎造船工業株式会社	新工業株式会社	株式会社フジコ
株式会社川崎造船	新工業株式会社	富士ロックス株式会社
株式会社建設総合テクノス	新工業株式会社	株式会社フジコ
株式会社関東工務	新工業株式会社	富士株式会社
株式会社キュービック・アイ	新工業株式会社	富士電機システム株式会社
共栄印刷株式会社	新工業株式会社	加藤不動産株式会社
建設貿易株式会社	新工業株式会社	古河建設株式会社
株式会社ネア人	新工業株式会社	古河建設株式会社
株式会社新宮船	新工業株式会社	古河建設株式会社
株式会社クロスワーク	新工業株式会社	社団法人建設業協会
株式会社グローバルオーシャンテクノロジー	新工業株式会社	株式会社フジコ・ジェン
ケイシーケイ株式会社	新工業株式会社	株式会社丸川建設設計事務所
京浜銀行電機株式会社	新工業株式会社	株式会社マルク
ケー・エンジニアリング株式会社	新工業株式会社	株式会社マート
KDO 株式会社	新工業株式会社	三武シーター株式会社
神戸ペイント株式会社	新工業株式会社	株式会社みどり建設
国際貿易船務株式会社	新工業株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
国際貿易船務株式会社	新工業株式会社	株式会社三井住友銀行
国際貿易船務株式会社	新工業株式会社	三井造船株式会社
国際貿易船務株式会社	新工業株式会社	三菱重工株式会社
小島興産株式会社	新工業株式会社	株式会社三井総合研究所
小島興産株式会社	新工業株式会社	株式会社明通船
相模運輸船務株式会社	新工業株式会社	株式会社西宮造船所
二建設工業株式会社	新工業株式会社	船務会社ウエダ
株式会社三栄空機	新工業株式会社	株式会社エナック
三洋テクノリオン株式会社	新工業株式会社	船務船務株式会社
株式会社ジーエス・ユア テクノロジー	新工業株式会社	船務船務株式会社
社団法人企業センター	新工業株式会社	日南石油株式会社
ジョックス株式会社	新工業株式会社	日南石油株式会社
有限会社シエムエ	新工業株式会社	日南石油株式会社
シナネ株式会社	新工業株式会社	日南石油株式会社
清水建設株式会社	新工業株式会社	日南石油株式会社
株式会社商船三井	新工業株式会社	日南石油株式会社

平成17年1月現在



海洋研究開発機構

問い合わせ先 〒237-0061 神奈川県横浜須賀町夏島町2-15 TEL 046-867-9233

経営企画室 評価交流課

ホームページアドレス <http://www.jamstec.go.jp/>