

海と地球の
情報誌

2005年

9-10月号

BlueEarth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology



特集 「ちきゅう」が拓く
地球・生命科学の未来!

JAMSTEC Report 海洋大循環モデルOFESによる超高解像度シミュレーションデータを公開

Aquarium Gallery 南太平洋の生きた化石 オウムガイの長期飼育に挑む

富山湾の深海底で撮影されたオオグチボヤ



まさに口のように、オオグチボヤは入水孔を開けたり閉じたりする



オオグチボヤの群生地(コロニー)は世界でも富山湾だけでしか見つかっていない

ユーモラスな深海の住人 オオグチボヤ

富山湾(水深約800m)

実に不思議なかたちをしたこの生き物はオオグチボヤ。透明な外皮といい、そのかたちといい、私たちが酔の物などでお目にかかるマボヤとは似ても似つかないが、同じボヤ(原索動物)の仲間といわれる。ボヤの仲間の多くは、餌となるプランクトンが豊富な浅瀬に生息するが、オオグチボヤは水深300m以上の深海に棲む珍しいボヤだ。詳しい生態はまだよく分かっていないが、名前の通り、大きな口のように見える入水孔から海水を取り込み、そこに含まれるプランクトンや懸濁物などを摂取して、頭頂部付近にある出水孔から海水を吐き出しているらしい。

この画像は、今年7月、富山湾で潜航調査(首席研究者は広島大・長沼毅助教授)を行った無人探査機「ハイパードルフィン」が撮影

したもの。富山湾には、世界で唯一見つかっているオオグチボヤの大規模な群生地(コロニー)がある。それは斜面の露岩や海底のゴミに付着して群生している。今回は生きたオオグチボヤも採取されており、ほとんど知られていないオオグチボヤの生態に関する研究や、なぜ富山湾にだけ群生しているのかを、富山湾の地球科学的な特性から検討していこうとしている。また原索動物は、無脊椎動物のなかで最も脊椎動物に近い生物群といわれている。動物が脊椎を獲得するまでに至る経緯はまだ分からないことが多い。これから進められる遺伝子・地球化学的な解析も含め、生物進化の過程などを明らかにするための手がかりを与えてくれる可能性もあると、研究者らは大きな関心を寄せている。

取材協力:
三輪 哲也 グルーブリーダー
極限環境生物圏研究センター
極限環境生物展開研究プログラム
深海環境応答研究グループ



水温1℃付近で飼育している富山湾の深海底で採取されたオオグチボヤ

CONTENTS

- 2 特集「ちきゅう」が拓く地球・生命科学の未来!
地球深部探査船「ちきゅう」誕生
残された未踏領域、地球深部へのチャレンジがはじまる
- 4 巨大地震の発生メカニズムの
解明をめざして
- 8 地殻内微生物の活動を明らかにし、
地下生物圏の実態に迫る
- 12 海底に残された記録から
地球環境変動を読み解く
- 16 Key Person
新江ノ島水族館 堀 由紀子 館長
- 20 特別企画 新江ノ島水族館を訪ねる
海の豊かさとお面白さを体験
- 24 Aquarium Gallery
南太平洋の生きた化石
オウムガイの長期飼育に挑む
- 26 JAMSTEC Report
海洋大循環モデルOFESICによる
超高精度シミュレーションデータを公開
- 30 JAMSTEC Report
中国におけるNO_x濃度の増加を人工衛星データで実証
- 34 Marine Science Seminar
「大気汚染で気候が変わる?」
～ 大気汚染と地球温暖化～
- 38 BE ROOM
地球深部探査船「ちきゅう」
一般公開で1万人以上の参加者が内部を見学
BOOK
- 39 海と地球のQ&A/研究の現場から
「Blue Earth」定期購読のご案内
- 40 プレゼント/編集後記
賛助会会員名簿

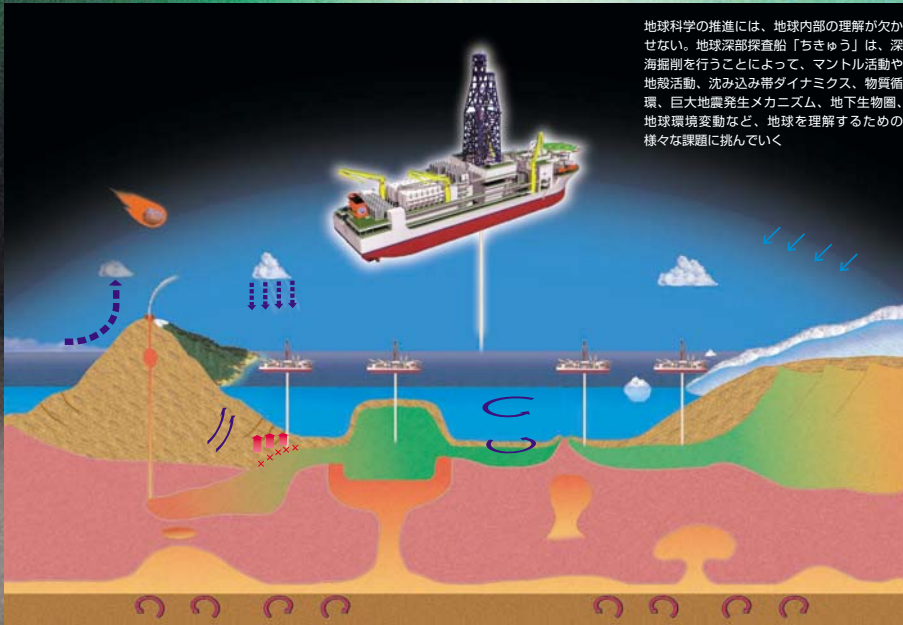
表紙: オオグチボヤ

地球深部探査船「ちきゅう」誕生 残された未踏領域、地球深部へのチャレンジが始まる

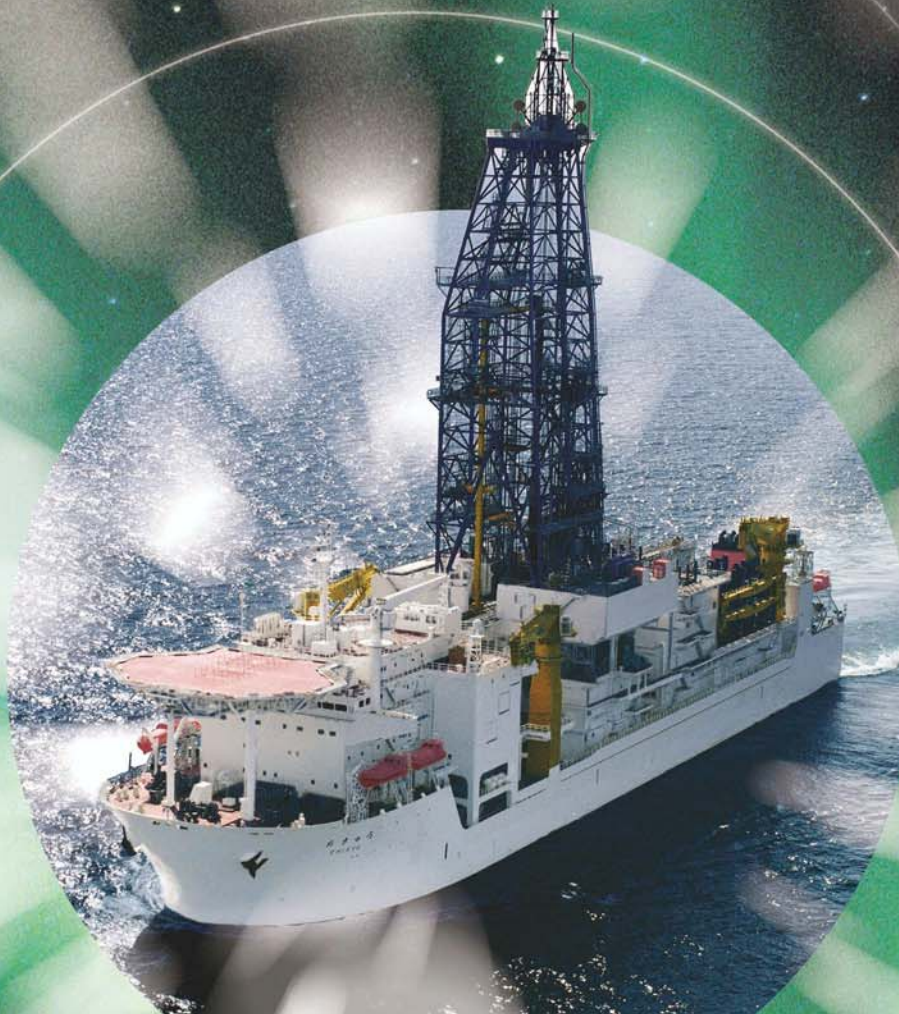
今年7月に完成した地球深部探査船「ちきゅう」は、独立行政法人海洋研究開発機構に引き渡され、2007年に予定されている統合国際深海掘削計画 (IODP) の主力掘削船としての国際運用に向けて、現在、試験運用が進められている。

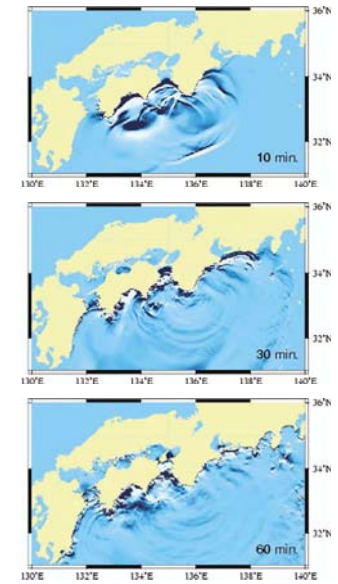
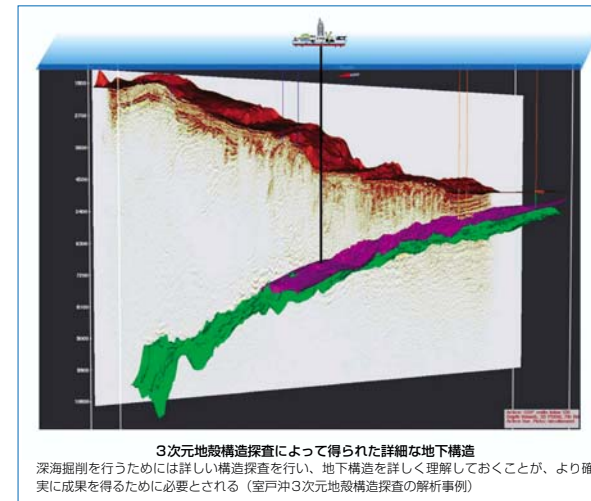
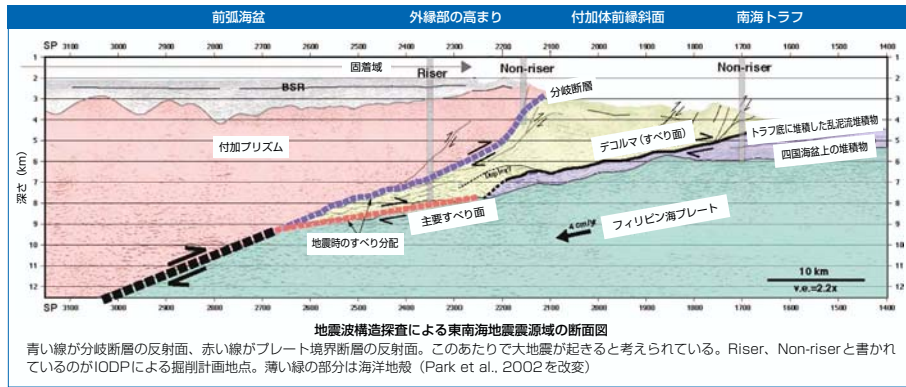
従来の科学掘削船では、技術的な限界から、海底下約2,000mまでしか掘削できなかった。しかし、「ちきゅう」は水深2,500m (将来的には4,000m) の海底から、海底下7,000mの掘削をめざしている。実現すれば、海溝型の巨大地震発生帯へのアプローチも可能となり、マントル到達も夢ではなくなる。「ちきゅう」は、まさに地球科学のさらなる発展を支える重要な鍵といえる。

世界最大の科学掘削船「ちきゅう」が行う深海掘削は、何を明らかにし、人類と社会の未来にどのような貢献を果たしてくれるのだろうか。今回は、「ちきゅう」の運用によって進められていく科学研究、そのなかでも地震発生メカニズムの解明、地下生物圏の探査、地球環境変動の解明という3つの分野にスポットを当て、それぞれの分野でどのような調査・研究が行われようとしているのかを紹介していく。



地球科学の推進には、地球内部の理解が欠かせない。地球深部探査船「ちきゅう」は、深海掘削を行うことによって、マントル活動や地殻活動、沈み込み帯ダイナミクス、物質循環、巨大地震発生メカニズム、地下生物圏、地球環境変動など、地球を理解するための様々な課題に挑んでいく





を分析したり、物性を解析したりすることによって、かつてどのような破壊のプロセスが生じたのか、現在はどうなっているのかの解明ができる。さらに、それをモデル化することによって破壊や滑りを規定する法則が得られる。つまり、マクロとミクロを結び中間的なプロセスが明らかになり、そこから地震発生メカニズムの全体像が見えてくる。

すでに「ちきゅう」を活用した南海トラフでの深部掘削が計画されており、当初は、熊野灘沖の分岐断層の比較的浅い部分を掘削する見込みだ。この分岐断層は、先に記したように1944年の東南海地震で動いた可能性が高いとされており、大きな意味で東南海地震の震源断層と考えられている。そこで、この分岐断層の断層面を掘り抜き、断層岩を含むコア試料を採取することが大きな目標となっている。さらに、掘削孔には地震計やひずみ計などのセンサーを設置し、長期間の孔内計測を行いたい考えだ。地震が発生する前の動きをモニターすることによって、地震までの間に地殻の内部で何がおきているのか、その変化を理解するためだ。さらに、掘削孔だけでなく、今後海底にも観測システムを構築し、総合的なネットワークの中でモニタリングを進めていく計画もある。こうして地震発生帯の周辺で、地殻活動を詳しく調べることによって、全体として地震発生場の理解することが可能になると考えられている。

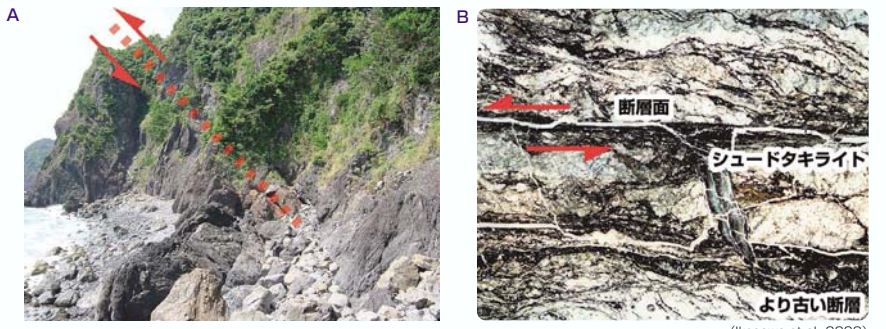
削および掘削孔でのモニタリングが実施されることにより、南海トラフの海溝型巨大地震発生メカニズムの全体像が詳しく理解されるとともに、得られたデータは、地震発生に関する予測モデルの構築にも大きく貢献する。今後は、深部掘削による中間的なスケールの成果を、現在分かっているミクロな地震発生メカニズムに整合させて、どのように予測モデルに取り込んでいくのかも重要な課題となる。また、総合的な観測ネットワークを整備し、その成果を予測モデルの検証に活用し、精度の高いシミュレーションを実現させていくことも求められる。

「ちきゅう」が実施する深部掘削は、南海トラフにおける海溝型巨大地震のメカニズム解明を今後さらに推進していく上で欠かせない重要な役割を担っている。

「ちきゅう」が実現する大深度掘削に期待

南海トラフでは、過去にODPによる深部掘削も行われ、すでに9本の掘削孔が掘られている。だが、ODPで用いられてきたライザーレスの科学掘削船では掘削深度に限界があり、断層岩を採取することはできない(これまでの最大掘削深度は約1,300m)。そのため、地球深部探査船「ちきゅう」には大きな期待が寄せられている。ライザー掘削システムを搭載した「ちきゅう」は、水深2,500m(将来的には4,000m)の海底下から、海底下7,000mの掘削をめざしている。プレート境界面の断層にも到達可能な深さだ。

こうして「ちきゅう」による深部掘削



より古い断層 (Ikesawa et al., 2003)

けてガラス質になったもので「地震の化石」と呼ばれている。シュードタキライトは厚さ数ミリの層に過ぎないが、そこには巨大地震による破壊のプロセスを明らかにする多くの情報が含まれている。

巨大地震発生メカニズムの全体像を理解するためには、大規模スケールの構造要因や、数百キロ×百キロに及ぶ巨大な破壊域をマクロな視点で研究するだけでは十分でない。シュードタキライトから分かるように、岩石が破壊されて滑るのはわずか厚さ数ミリであり、それが連鎖して破壊が広がる。つまり、破壊を引き起こすのは、ミクロ

の世界での物質の挙動なのだ。したがって、全体像を理解するためには、マクロな構造的メカニズムとミクロな地震発生メカニズムを結びつけなければならない。しかし、両者の間には大きな隔たりがあり、直接結びつけることは困難だ。そこで、中間的なスケールでマクロとミクロのメカニズムを結びつけるための研究が必要になる。それを可能にしてくれるのが深部掘削だ。

深部掘削によって、深海底下に存在している、今まさに地震の発生準備過程にある断層岩を採取することができれば、地震を発生させている場所に何があるのかの明らかになり、その物質





地殻内微生物の活動を明らかにし、地下生物圏の実態に迫る

深海掘削によって、深海底熱水噴出孔下微生物圏を探る



取材協力:
布浦 拓郎 研究員
極限環境生物圏研究センター
地殻内微生物研究プログラム
有用微生物探索研究グループ

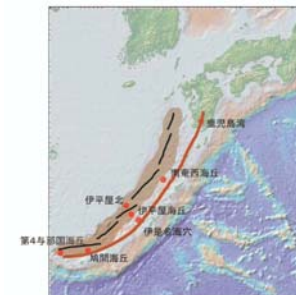
1990年代以降、地下深くに微生物が存在することが広く認知されるようになった。地下環境の大部分は、非活動的であることが明らかになってきたが、局所的に活発な地質学的変動や物質循環が行われている場所があると考えられている。地下深部であっても、そこに微生物が生育するために必要なエネルギーの供給や水の循環があれば、私たちの知らない微生物群集や生態系が存在している可能性がある。IODPでは、深海掘削によって、こうした未知の地下生物圏を探索し、さらには生命誕生に結びつく証拠を見つけることを大きな目標のひとつとして掲げている。そして、地下生物圏探索の重要なターゲットとして日本の研究グループが注目しているのが、深海底の熱水活動域だ。豊かな熱水噴出孔下微生物圏の存在がこれまでの潜水艇を用いた調査により微生物学的・地球化学的に強く示唆されている。深海掘削によってこれを実証し、さらにはその分布や多様性、動態などを明らかにすることが期待されている。

地殻内は地球最大の生物圏

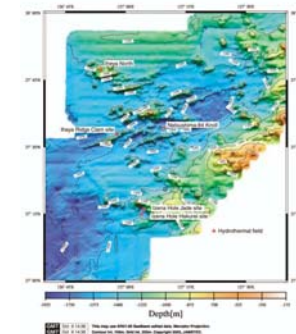
2002年、国際深海掘削計画 (ODP) で初めての海底地殻内微生物研究調査を目的とした深海掘削が行われた。それまでも、地質学的調査などの掘削でサブテーマとして海底地殻内微生物に関する調査は行われてきたが、太平洋のペルー沖で実施されたこの航海 (Leg.201) では、海底下における微生物群集の解明をメインテーマに、7サイトで掘削が行われ、堆積物コア試料が採取された。この航海は、地下生物圏の探索を目的とした最初の国際的な深海掘削調査という点で画期的であったと同時に、地殻内微生物研究の国際的な協力体制や枠組みが形成されたという点でも重要な意味を持つとされている。

米国の研究者らの試算 (1998年)

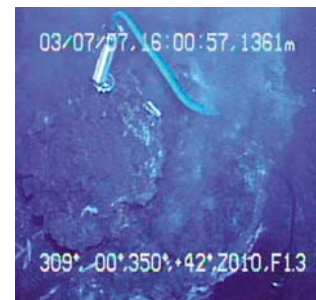
によれば、全地球の潜在微生物量の90%以上が陸域および海底下の地殻内に存在し、地殻内は地球最大の生物圏であるという。ただし、この試算は存在する炭素量から算出されたもので、地殻内で活動をとめていたり、死につく微生物も含まれており、すべてが活動的な生物圏であるとはいえないことが分かっている。では、活動的な地下生物圏はどこにあるのだろうか。これまでの研究で、長期間安定した環境が保たれている海底堆積物中で、活動的な微生物を見出すことは難しいとされている。もちろん、水の流れがあるようなところでは、局所的に活動が活発になる可能性もある。しかし、全体的には活動量 (生物生産量) は低いと見られている。活動的な地下生物圏が存在する可能性が高いところ、それはダイナミックな地球内部活動が見られ



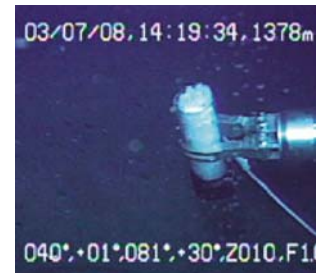
沖繩トラフ周辺地図
中部沖繩トラフ熱水活動域は、地球化学、微生物学の研究が最も進んでいる熱水活動域のひとつ



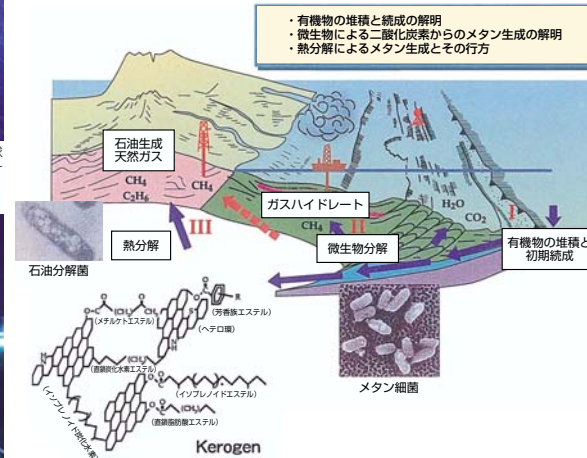
中部沖繩トラフ熱水活動域の海底地形図
中部沖繩トラフ熱水活動域では、北西太平洋で最も高温のブラックスモーカーが確認されている



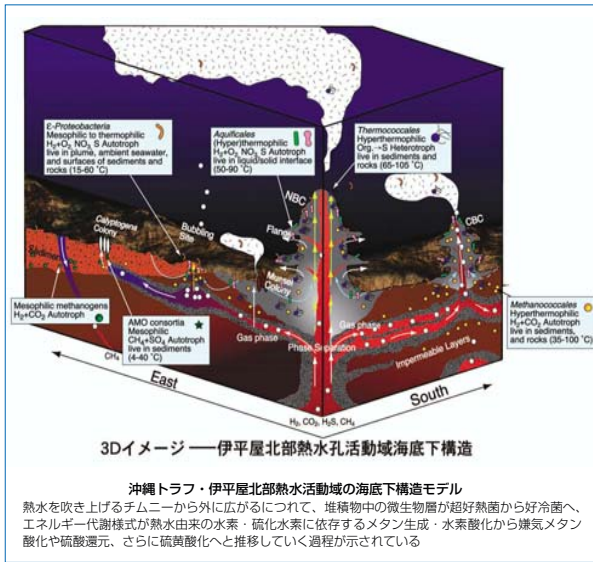
沖繩トラフのブラックスモーカー。ダイナミックな地球内部活動が見られる場所に活動的な地下生物圏が存在する可能性が高い



沖繩トラフでは二酸化炭素ハイドレートが大量に存在していることが確認されている



プレート沈み込み帯の物質循環
付加体において有機物の循環と地下での微生物活動が活発に行われており、エネルギー資源であり地球温暖化物質ともなる炭化水素が生産・蓄積・分解されていることが考えられている



場所、たとえば、海洋プレートが生まれる中央海嶺、プレートがマントルに沈み込むプレート境界域、火山活動を繰り返すホットスポット、さらには石油やメタンハイドレートなどが不均一に分布するような場所といわれている。また、海底の熱水噴出孔の下なども注目すべき場所だ。こうした活動的な地殻内環境では、それに伴って盛んに物質循環がおきており、活動的な地殻内微生物が存在する可能性は非常に高い。そして、実際にこうした場所の周辺から、新たな微生物群集も見つかっている。

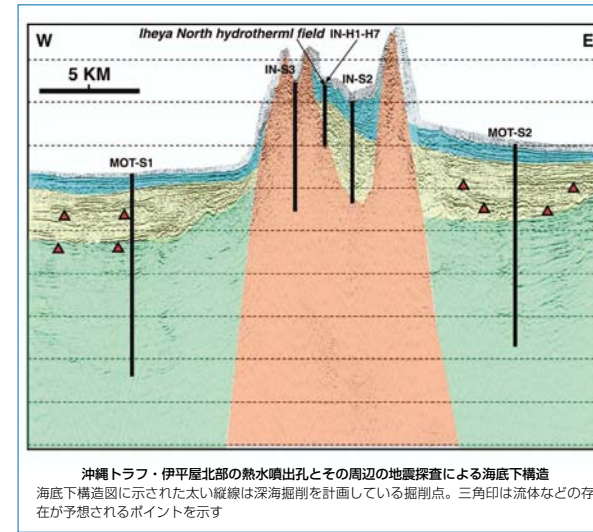
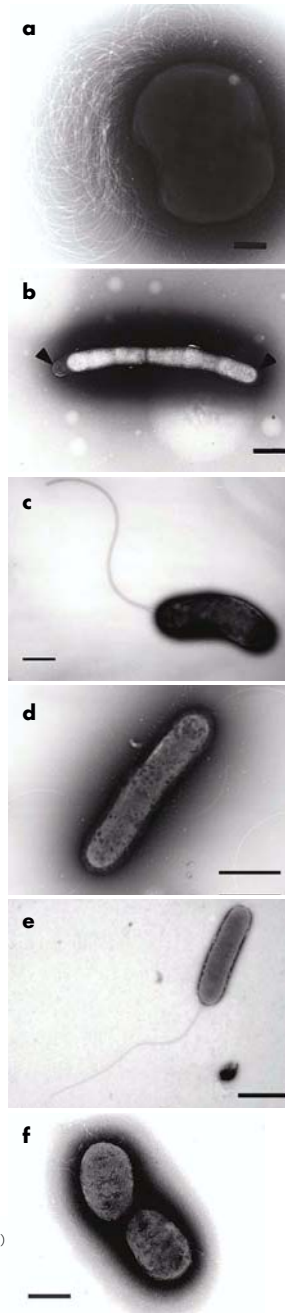
地下生物圏探索に力を発揮する「ちきゅう」

こうした活動的な地殻内環境へのアプローチは、これまでのライザーレス掘削船では限界があった。ドリルパイプだけで掘り進み、パイプ内に送り込んだ海水で掘削屑を海底に押し出すライザーレス掘削では、高圧の流体あるいはガスが存在する地層を掘り抜くこ

と安全面からも難しかった。しかし、ライザー掘削システムを搭載する地球深部探査船「ちきゅう」を用いることで、海底に噴出防止装置が設置されるなど、難しさはあるものの、活動的な生物圏の存在が期待される地殻内環境へアプローチする機会は増加することが予想される。「ちきゅう」によって、これまで手に入れることが不可能だった地下深部のコア試料を採取し、直接、地殻内微生物活動を研究することができるになれば、地下生物圏に関する研究の大きな進展が期待できる。

また、「ちきゅう」のライザー掘削では、掘削時に海水を送り込むのではなく、「泥水」と呼ばれる特殊な流体を循環させるため、ライザーレス掘削に比べてコア試料の汚染（地殻内以外の微生物が混入してしまうこと）をある程

沖縄トラフ熱水活動域で確認された微生物
 a:好熱性メタン生成菌 (メタノサーモコッカス)
 b:好熱性従属栄養細菌 (サーモシフォ)
 cdef:イプシロンプロテオバクテリア
 [c]:スルフリモナス d:ニトラチラプター e:ニトラチフラクター f:スルフロバム



度防ぐことができ、汚染されたかどうかの識別もしやすい。さらに、船上の研究区画には、非破壊でコア試料の内部構造を調べるCTスキャナなども搭載されている。これまで微生物試料の多くは酸素に触れることを避けるため、「ちきゅう」では、内部構造を確認した上での的確なサンプリングが可能となる。そのほかにも、採取されたばかりの微生物をすぐに培養するための設備も整うなど、広くて、より優れた研究環境が用意されている。

沖縄トラフ熱水活動域での深海掘削に寄せられる期待

最初に紹介したように、深海掘削による地下生物圏の探索は、これまで様々な場所で実施されてきた。IODPにおいても、第一回の掘削調査である2004年の東太平洋ファン・デ・フーカ海域（中央海嶺）を含め数多くの調査で、微生物試料の採取が行われている。こうしたなか、日本の研究グループから、深海底の熱水活動域に注目し、熱

水噴出孔下微生物圏の存在を明らかにしようとするプロポーザル（提案）が出されている。海洋研究開発機構の極限環境生物圏研究センターが中心となって提案しているこの計画は、沖縄トラフの伊平屋北部の熱水活動域で深海掘削を行い、熱水噴出孔下微生物圏の存在を直接的に証明するとともに、その

周囲に広がっている微生物群集の分布、多様性、動態、生理機能と地球化学プロセスの関わりなどを明らかにすることをめざしている。沖縄トラフ熱水活動域は、背弧海盆型の熱水域であり、北西太平洋で最も高温のブラックスモーカー（330℃）を伴う活発な活動が長期間続いており、過去200万年間の活動によってできた巨大な金属硫化物鉱床が海底下まで広がりを持っていることが予想される。また、大陸の河川によって運ばれた有機物を豊富に含む堆積物に覆われており、微生物を育む環境条件も整っている。こうしたことから、この海域には多様で豊かな熱水噴出孔下微生物圏が形成されていると想像される。

「ちきゅう」を活用して沖縄トラフの熱水活動域での深海掘削が実現すれば、地下生物圏の存在に関する重要な知見が得られるとともに、地球における生命の起源や進化に関する新たなパラダイム（理論的な枠組み）の構築、さらには、新たな有用微生物の発見などに結びつくのではないかと大きな期待が寄せられている。





海底に残された記録から地球環境変動を読み解く

深海掘削で明らかにされる地球システム変動



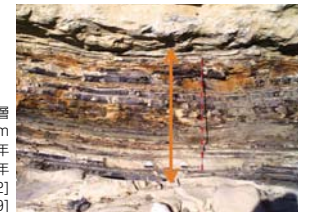
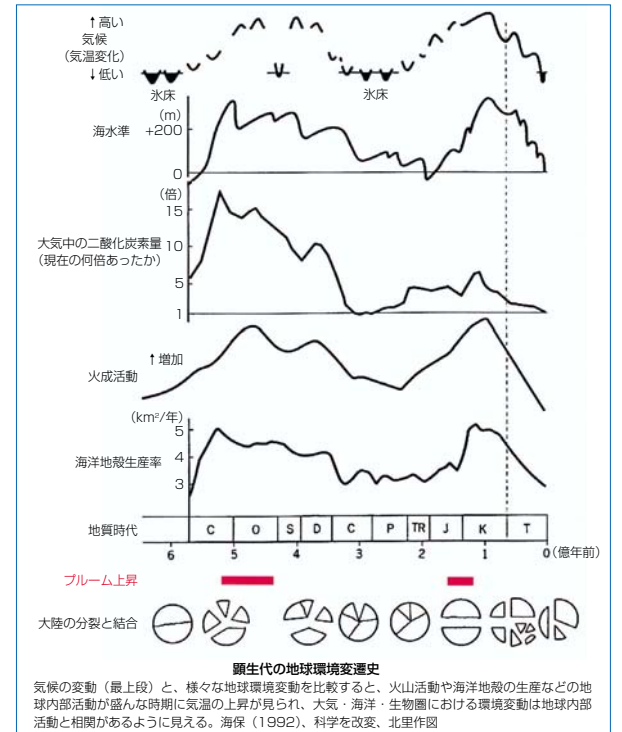
取材協力:
北里 洋 プログラムディレクター
地球内部変動研究センター
地球古環境変動研究プログラム

地球は長い歴史のなかで、ダイナミックな環境変動を繰り返してきた。そうした地球環境変動の歴史が深海底に降り積もった海底堆積物に記録されている。そして、プランクトンの化石や有機物、細かい鉱物粒子など、その時代の貴重な情報を保ちながら層をなす海底堆積物を詳しく解析することによって、過去の地球の姿を読み解くことができる。これまでも、深海掘削によって得られた堆積物試料から、気候変化など過去の環境変動に関する様々な事実が明らかにされてきた。現在、IODPにおいて、日本の研究者グループが注目しているのは、温室期地球システムの最も顕著な例のひとつといわれる白亜紀の地球環境だ。地球温暖化が進行する近未来の地球環境変動を予測する上でも、白亜紀の地球システムを理解することが重要とされている。このような古環境分野で、「ちきゅう」による深海掘削は、何を明らかにしてくれるのだろうか。

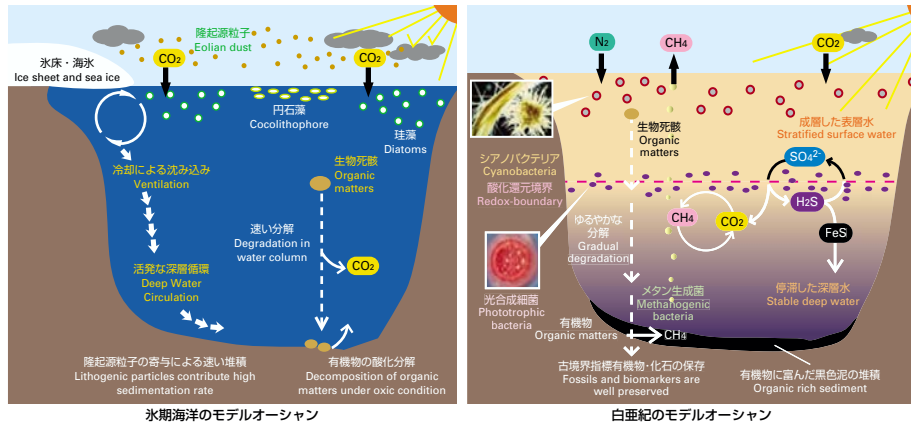
温室期地球システムのメカニズムを探る

海底を構成する海洋プレートは、中央海嶺で誕生し、年間に数センチというゆっくりした速度で移動し、長い年月を経て再び地球内部に沈み込んでいく。沈み込む前の海底には、数千年から古いものでは1億数千年に及ぶ堆積物が残されている。1960年代に始まった深海掘削は、地球内部の構造を明らかにするだけでなく、こうした海底堆積物から、これまで地球でおきた環境変動の歴史を明らかにすることに大きく貢献してきた。よく知られるのは、白亜紀と第三紀の境界でおきたとされる天体衝突の直接証拠の発見だ。1995～96年の深海掘削によって採取されたコア試料から、衝突起源物質を含む堆積層が見つかるとともに、その前後で生物相が大きく異なる様子が確認された。それまで、白亜紀に繁栄した恐竜が絶滅した原因として様々な説があげられていたが、この発見によって天体衝突説が非常に有力となった。

現在、深海掘削による古環境に関する研究で大きく注目されているのは、温室期地球システムの解明だ。今日、地球温暖化が大きな問題として取り上げられているが、地球史のなかでは、現在の地球は寒冷期にあり、今よりも温暖な時代が圧倒的に多かったことが



白亜紀に海洋無酸素事象(OAE)があったことを示す黒い地層は陸上の調査でも数多く見つかっている。写真左は米国・カリフォルニア、写真右はイタリア中部・グッピオ付近



寒冷期にある現在の海洋の様子を表したモデル(左)と、白亜紀において海洋の中・深層が酸素欠乏状態になったときのモデル(右)。無酸素状態の海洋では微生物活動が物質循環を支えている

知られている。そして、ここ2億年ほどの間で最も温暖だったのが白亜紀(およそ1億4500万年～6500万年前)だ。これまでの研究で、白亜紀は大气中の二酸化炭素濃度が現在の4～5倍にまで上昇し、温室効果によって温暖化したと考えられている。二酸化炭素濃度が上昇した原因についてはまだ明らかではないが、このころ全地球規模で活発な火山活動がおき、南太平洋ではマントル内の巨大な上昇流(マントルブルーム)によって、地球史上最大規模の火山体が形成された。こうした火山活動によって、大量の二酸化炭素が大气中にもたらされたのではないかとされている。また一方では、海底のガスハイドレートが海水温の上昇によって崩壊し、大量のメタンや二酸化炭素が大气中に放出されたという説もある。深海掘削により、こうした温暖気候が発達する過程を明らかにし、白亜紀の温室期地球システムのメカニズムを理解することは、人為的な原因で温暖化が進行しつつある地球の未来を予測する上で、非常に重要なこととされている。

地球内部活動がもたらす環境変動

さらに興味深いのは、大気・海洋・生物圏における環境変動が、地球内部でおきている現象と、実は密接に結びついているのではないかという点だ。白亜紀だけでなく、寒冷期と温暖期を繰り返してきた顕生代(およそ5億4000万年前から今日まで)の気候変動を見ると、地球の気候が温暖な時代は、火山活動や海洋地殻の生産が非常に盛んな時代であり、地球内部活動が盛んな時代であることが分かる。一般に、地球表層の大気・海洋・生物圏の環境変動は、太陽エネルギーなど地球外部要因によって引き起こされると考えられているが、地球内部変動とも強く関わりあっている可能性がある。白亜紀の温室期地球システムが明らかにされることによって、こうした新たな発見がもたらされるかもしれない。

もうひとつ、白亜紀の大きな出来事として注目されているのが、海洋無酸素事変(OAE)だ。地球のほぼ全域で、白亜紀の地層から黒色頁岩(ブラックシェール)と呼ばれる黒い地層がみつがっている。非常に有機物に富む黒色

頁岩は、その時代の海底が、有機物が分解されずに堆積した泥、つまりヘドロに覆われていたことを示している。その原因として、温室期にあった白亜紀は、高緯度帯と低緯度帯の温度差が小さくなり、地球規模での海水の循環が停滞し、世界中の海洋底層水が酸素欠乏状態になったことがあげられている。こうした黒い地層を堆積させたイベントがOAEであり、これまでの深海掘削でも大西洋を中心に、OAEの堆積物が数多く採取されてきた。さらにこれから行われる深海掘削でも白亜紀のOAEがどのようにして始まり、どのように収束していったのか、そのときに生物たちがどのように反応したのかなども含めた詳しい状況を解明するための調査が行われようとしている。

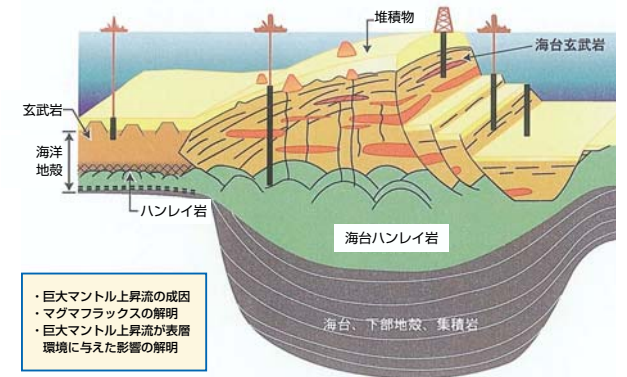
「ちきゅう」が明らかにする白亜紀の地球環境変動

OAEを含め、白亜紀の温室期地球システムのメカニズムを解明するために、世界中の様々な海域で、この時代の堆積物が採取されようとしている。しかし、海底面から深いところに存在する白亜紀の地層を、よりよい状態で採取

することは、これまでの科学掘削船では難しいとされていた。こうした限界を打ち破り、調査の進展をもたらしてくれる科学掘削船として期待されているのが、地球深部探査船「ちきゅう」だ。たとえば、アフリカ大陸東岸に位置するソマリ海盆には、中生代中期以降(ジュラ紀、白亜紀)の堆積物がよく残っており、状態のよいOAEの堆積物が分布していると見られているが、目的の堆積物を得るためには、水深約4,000mの海底から5,000～6,000mの堆積物地層を掘削しなければならない。これは運用初期の「ちきゅう」でも難しい深さだが、将来的にめざす水深4,000mから海底下7,000mまでの掘削が実現すれば、これも夢ではない。

また、「ちきゅう」には、半割されたコア試料に含まれている元素を非破壊のまま迅速に連続的に測定する機器をはじめ、最新の解析機器が搭載されている。充実した研究設備によって、これまで船上でできなかった詳しい解析も可能になる。

この「ちきゅう」を活用した深海掘



・巨大マントル上昇流の成因
・マグマフラックスの解明
・巨大マントル上昇流が表層環境に与えた影響の解明

IODPで行われる巨大海台の深海掘削

巨大マントル上昇流の起源の解明・マグマフラックスの定量的解明およびそれが地球の表層環境と生物に与えた影響の解明が中心課題であり、西部太平洋域で最大規模の海台で今までに掘削実績のあるオントンジャワ海台での掘削が提案されつつある

削ポイントとして具体的な掘削計画が進められているのが、南太平洋に位置するオントンジャワ海台だ。長さ2,000kmにも及ぶ巨大な海底の高まりであるこの海台は、白亜紀の大噴火によって造られた世界最大の火山体だ。白亜紀には、こうした大規模な火山活動がいくつも起きたとされる。掘削計

画では、この火山活動がどのようなものであったか、その実態を詳しく理解するとともに、この大噴火が地球環境にどのような影響を与えたのかを明らかにしようとしている。

こうした大噴火によって大量の二酸化炭素を含む火山ガスが放出され、それが白亜紀の温室化の原因となり、温暖化によってOAEが引き起こされたというシナリオは、まだ推定の域を出ない。また、こうした大規模な地球環境変動のなかを、生物はどのようにして生き延びてきたのかも大きな関心事だ。だが、これから行われる深海掘削によって、確かな証拠が見つかるかもしれない。そこでは、私たちが知っている穏やかな地球からは想像もできない、ダイナミックな環境変動が明らかになるであろう。そして、それは進行する地球温暖化によって、やがて再び地球が体験する姿なのかもしれない。

「ちきゅう」がこれから明らかにする地球環境変動の歴史や地球システムのメカニズムに、注目していきたい。





新江ノ島水族館 堀 由紀子 館長 に聞く 水族館は知的レクリエーションの場として 海洋科学の普及と教育的役割を果たします

取材協力: 新江ノ島水族館

「日本の近代水族館の第1号」と称された旧・江の島水族館の経営者として30年間、さらに館長を兼任して18年間、長年に渡って水族館を支えてきた堀 由紀子氏は、2004年、神奈川県とともにPFI方式(民間資本を活用した社会資本整備)によって新設された新江ノ島水族館の館長に就任。21世紀の新たな水族館づくりにその手腕を振るっている。独立行政法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)の監事でもある堀氏に、これからの水族館について、海洋科学の未来についてお話をうかがった。

Profile

東京都生まれ。立教大学社会学部卒業。1974年に(株)江ノ島水族館代表取締役社長に就任、1986年より「江の島水族館」館長を兼任。日本動物園水族館協会理事、国立科学博物館評議員、文部科学省科学技術・学術審議会海洋開発分科会委員などを歴任。2004年、(株)江ノ島マリンコーポレーション代表取締役会長、「新江ノ島水族館」館長、「岐阜県世界淡水魚園水族館」館長、独立行政法人海洋研究開発機構監事に就任。「水族館のはなし」(岩波新書)などの著書がある



湘南海岸に隣接する新江ノ島水族館は、地域の自然と一体となったフィールドミュージアム

新江ノ島水族館は、自然と一体感を持ったフィールドミュージアムとして、地域との連携、学術分野との連携を強化していきたいと考えています

Blue Earth編集部(以下BE) グラウンドオープンから1年半。今年5月には、早くも来場者200万人を達成したと聞いています。まずは、新江ノ島水族館の新たな取り組みについてお聞かせください。

堀 館長(以下敬称略) 水族館がある神奈川県湘南海岸公園は、1957年、旧・江の島水族館など民間活力を導入して神奈川県が整備した公園です。近年、「湘南なぎさプラン」として、同公園の東部地区では「レクリエーション」、「海洋環境の教育・啓発」、「生物の保全・育成」、「海洋生態系の調査・研究」といった機能を充実させることを目的に、「海洋総合文化ゾーン」として再整備が進められ、新江ノ島水族館と水族館に併設されるなぎさの体験学習館は、その一環としてつくられました。

新江ノ島水族館では、社会的な使命を果たすための5つの理念を掲げています。なかでも、私がいちばん重要と感じているのが「フィールドミュージアム」という考え方です。自然を体感できる場所として、自然と一体感を持ちながら、生物との関係、地域との関係を強化していきたい。そして、海というものを生命科学の大きなフィールドとして理解していただくために、大学や研究機関との情報交換や連携を深めるとともに、湘南海岸における地域との連携、それこそ漁師さんやサーファーたちともつながっていく、そうしたことが必要と考えています。

次に「生物多様性」を維持するための挑戦です。陸上の生物にしても海洋生物にしても、その多様性が失われ、生物種が激減しています。そのため、水族館でも、希少な野生生物の種の保存活動を行うとともに、生物の多様性

をどのように維持していくかを考えることが重要な課題になっています。現在、新江ノ島水族館では、モナコの海洋博物館からノウハウの指導を受けて、沖縄のサンゴ礁と同様の環境を人工的につくり出し、水槽内でサンゴを繁殖させる試みを行っています。そして、育った珊瑚を沖縄の海に戻すといった活動に結びつけていくことも考えています。

3つ目は「地域性と国際性」の重視です。海における地域性とは、相模湾であり、そこから世界最大の海流である黒潮によってつながる太平洋が、私たちの水族館の基本テーマです。そしてもうひとつ、連携という意味では、地元地域とともにある水族館をめざし、一方でモナコの海洋博物館やカナダのバンクーバー水族館、米国のモンテレー水族館などとの生物の交換や相互で海外研修を行うといった国際的な連携や情報発信も推進しています。

4つ目は「環境教育」です。これは本当に重要な問題です。私たちは海や海の生物をテーマに、水族館を様々なかたちで環境教育の場として活用していくことに取り組んでいます。たとえば、藤沢市では小学校教職員の研修をここでを行っています。まずは学校の先生方に、水族館を通して海や自然を理解することの意味や方法を知っていただくというわけです。こうした学校との連携による環境教育の推進をはじめ、生涯学習におけるあらゆる世代に向けた環境教育を行っていくとして

そして、5つ目は「アミューズメント」。何よりも楽しくなければ、水族館の存在価値はないと私は考えています。お客様に満足していただくためには、楽

しくて、ためになって、夢があることが必要です。娯楽性、教育性、未来性、そして、それを実現するための科学性が大事であると考えています。



子どもたちに海の自然の驚きと発見を伝えたい

水族館のイメージを刷新する新たなチャレンジ

BE 相模湾大水槽に水中ビデオカメラを持ったダイバーが潜り、その映像を大画面に映しながら解説を行う「バーチャルショー」やミュージカル仕立てのイルカショー「ドルフェリア」、そして夜の水族館を体験する「お泊りナイトツアー」など、新江ノ島水族館では新たな試みを、次々に実施しておりますね。

堀 「バーチャルショー」は、お客様に水の中との一体感を感じていただく展示飼育スタッフの発案で始めたものです。「ドルフェリア」は、従来のイルカショーのイメージを刷新ために企画しました。「お泊りナイトツアー」は、営業部門のスタッフが企画から立ち上げました。営業といっても、飼育に負けないくらい魚について詳しい人間ばかりなんです(笑)。「お泊りナイトツアー」はたいへんな人気で、子供たちだけでなく、今年の6月には女性限定のツアーを実施しましたが、30人の



水族館の目の前に広がる相模湾の海を再現する相模湾大水槽

JAMSTECは、海から地球を知る、生命を知るといふ視点で得られた成果を、もっと広く社会に発信していくことが大切ではないでしょうか

定員に560人もの応募がありました。夜間、館内の照明を暗くすると、魚たちのなかには昼間よりも活発に活動するものもいて、いつも見る水族館とはまた違った姿を見ることが出来ます。イセエビなどは、本当に暗くなると活動的に動きます。また、女性だけのナイトツアーでは、クラゲの泳ぐ姿に癒されたという方が多くいらっしゃいました。このクラゲの癒し効果については、現在、日本大学、東京慈恵会医科大学とともに共同研究を行い、実際にどのような効果があるのかを調査しているところです。

BE 水族館は魚を飼育して展示するだけでなく、教育や医学研究の場としても機能するなど、様々な役割が求められているんですね。

堀 最近の子供たちは、自然と接する機会が非常に少なくなっています。林間学校はまだあるようですが、臨海学校はとて少ないですね。海は危険も

あり、先生方も責任が持てないということまで減っているわけです。これは都会だけに限らず、自然が豊かな地方でも、海や川で泳いではいけなれないといわれるなど、自然と隔離された生活をおくる子どもたちは増えています。そこで、私たちは自然を体感できるフィールドミュージアムとして、参加体験学習を行うことによって、自然のなかでの驚きや発見を子供たちに体験していただいたり、自然の癒しを感じていただいたり、そうしたことをやっていることとしています。かつては、ある意味で学校教育だけが大きな存在でした。しかし、今では科学館や博物館、そして水族館などが、その専門性を活かして提供できる教育の大切さに、学校がようやく気づいてくださいました。これからは、より学校との連携を深め、自然教育、情操教育の場として水族館ができることを提供していきたいと考えています。

最先端の科学成果を分かりやすく伝える

BE 連携ということでは、新江ノ島水族館はJAMSTECとも、深海生物の飼育に関して共同研究を行っていますね。

堀 JAMSTECとの連携によって、確



水族館の教育的な役割も重視する堀 由紀子館長



人とイルカのコラボレーション・ショー「ドルフェリア」。日本で最初にイルカショーを実施した旧・江の島水族館の高度な技術が継承されている

かな科学的知識や技術を提供していただけのこと、私たちにとってたいへんありがたいと思っています。逆に、深海生物の長期飼育や繁殖技術の確立という目的をどこまで達成できるか、私たちが非常に責任を感じています。深海生物のなかでも、シロウリガイやサツマハオリムシなど、化学合成生態系の生物の飼育では、当初は、餌は何かということから始まりました。通常では猛毒である硫化水素を1日にいったいどれだけ与えればよいのか、私たちに分からないことばかりで、毎日が驚きと発見の連続でした。

BE JAMSTECにとっても、深海で採取した生物や深海調査で得られた成果を、飼育・展示というかたちで多くの人々に理解していただけるということは、大きな意味があると思います。

堀 海洋科学や地球科学分野のレベルの高い研究者同士の交流や、科学に関心のある人々への普及は積極的に進めておられると思います。しかし、いわゆる一般の人々や子供たちに対しては、情報をご提供いただき、私どもから分かりやすく伝えることができるとすれば、それはたいへん意義深いこと

だと考えております。

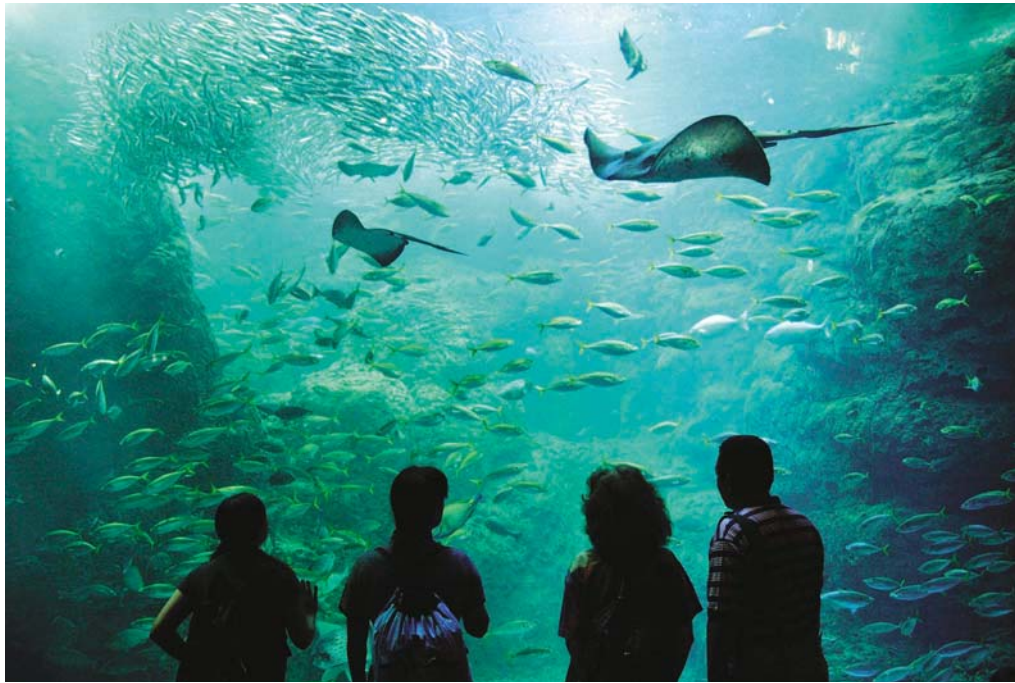
BE 今後JAMSTECが果たすべき役割について、堀館長はどのようにお考えですか。

堀 すべてに渡って今後の活動とその成果に期待しています。確か、創立30周年誌のタイトルに「海から地球と生命へ」とありましたが、まさにこの言葉のとおりだと思います。私たち水族館と関連の深い深海生物研究だけでなく、地球環境変動、地球内部変動、シミュレーション研究など幅広い分野の研究に取り組み、海から地球システム全体の理解に向けて活動を行っていることは、とても重要なことだと思います。これまでの学問は、物事を細分化して見てきました。しかし、これからはすべてを統合して、総合的な視野で地球や生命を見ていくことが大切なのだと、私を私も学ばせていただきました。しかし、その一方で、私としては海洋国・日本の海洋政策にどんどん反映されるような提案や発言をもっとやっていただきたいとも思っています。といいますのは、日本は周囲を海に囲まれた海洋国ですが、義務教育で子供たちが海についてしっかり学んでいる



水族館のメインキャラクター、ミナミソウアザラシの「みなぞう」

かという、残念なことに、ほとんど学んでいません。現在、米国をはじめ、アジアでも多くの国々で海洋政策の部局があり、担当官が置かれていますが、日本には専門の部局がありません。資源などにしても、もはや海にしか残っていないといわれています。そうしたなかで、今、国をあげて海洋に目を向けていただくということが必要ではないかと思っています。JAMSTECは海だけでなく、地球システムを理解するための研究を進め、世界的な貢献を果たしています。完成したばかりの地球深部探査船「ちきゅう」にも大きな期待が寄せられています。地球システム科学の分野でリーダーシップをとれるだけの存在感を持っています。そのJAMSTECに、日本が海洋に目を向けることの重要性を、社会に発信していただけたら素晴らしいと思っています。



相模湾大水槽では、約8,000匹のマイワシ、約1,500匹のアジをはじめ、約20,000匹の魚が泳ぐ様子が楽しめる

海の豊かさと面白さを体験 新江ノ島水族館

驚きと発見に満ちたエデュテインメント型水族館



2004年4月に建物も一新してオープンした新江ノ島水族館

● 新江ノ島水族館 (神奈川県・藤沢市)
ホームページ: <http://www.enosui.com>
連絡先 0466-29-9960

東京大学で教鞭をとり、ダーウィンの進化論を初めて日本に紹介した米国の動物学者E.S.モースが、日本滞在中の1877年、江の島の豊かな磯の生物相にひかれて、島内に東洋初の臨海実験施設を設置したこと、江の島は、「日本の海洋生物学発祥の地」といわれている。その江の島に旧・江の島水族館が誕生したのは1954年のことだった。日本で初めて循環式のろ過装置や水温調節器を導入した画期的な水族館だった。その後もクジラ・イルカを展示する「マリナランド」の建設や、世界で初めてクラゲを展示した「クラゲファンタジーホール」の設置など、次々と新しい取り組みにチャレンジし、多くの水族館ファンを楽しませてきた。その旧・江の島水族館に替わって、2004年、新体制でスタートしたのが新江ノ島水族館だ。目の前に広がる相模湾の海を再現した大型水槽や、独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）との共同研究で実現した深海コーナーなど、魅力的な展示とユニークなイベントで話題を集めている。今回は、21世紀の新しい水族館づくりに挑戦する新江ノ島水族館を訪ねる。



壁面ののぞき窓からも相模湾の魚たちが見られる



海のなかに入り込むような気分になれる半円のトンネル

地元・相模湾の海を 大型水槽で再現

多くのサーファーで賑わう、湘南海岸のビーチに面して建つ新江ノ島水族館。館内2階のオープンデッキでは、潮風を感じながらすぐ先に相模湾が見渡せる。絶好のロケーションだ。

入館すると、まず私たちを迎えてくれるのは「相模の海ゾーン」。ここに設置された相模湾大水槽は、高さ9m、水量は1,000トン、アクリルガラスの厚さは41cmという大規模な水槽だ。まずは2階で、波が打ち寄せる水面部分の様子が眺められる。その波の音を聞きながらスロープを下っていくと、目の前に相模湾の岩礁を再現したスケール感のある海の景観が広がる。この大水槽で最も目をひくのは、銀色に輝きながら力強くうねるように集まって泳ぐマイワシの群。その数はなんと約8,000匹。この

マイワシの大群が泳ぐ姿は圧巻だ。この水槽には体長約2mのシノメサカタザメ(2匹)をはじめ、アカエイやシイラなど大型の魚も多いが、マイワシの大群はそれらを圧倒するほどの迫力だ。

しかし、なぜマイワシなのか。聞けば、



ダイバーが水中カメラで魚たちを撮影しながら水槽を案内する「バーチャルショー」



相模湾大水槽では魚の和名が漢字でも表記されている



常時約9種類のクラゲを展示する「クラゲファンタジーホール」



「深海コーナー」では、生きた深海生物の展示のほか、珍しい生物の標本も紹介



サツマハオロムシ、ユノハナガニ、ゴエモンコシオリエビなど、深海の生物が数多く展示されている



深海生物の水槽では、水温や溶存酸素濃度、水質などを詳しくチェックすることが必要



飼育機器などの様子も外側から見る事ができる



深海と同じ環境で生物を飼育できる深海高圧環境水槽「ディープアクアリウム」



深海生物の飼育を担当する三宅裕志さん

1年を通してイワシが生息する相模湾は、国内でも有数のイワシの漁場なのだそう。この水槽では、一般的なものから珍しいものまで、とにかく相模湾に生息する生物約90種類、約20,000匹が展示されている。よく見ると、マイワシだけでなく、アジ、サバ、イサキ、メジナ、カンパチ、スズキと、私たちの食卓に並び馴染みの魚たちも数多く見つけることができる。この大水槽を見て、相模湾が私たちの生活と密接に結びついていることをあらためて実感した。また、この大水槽を担当する展示飼育スタッフは、水槽を眺めている人たちから「おいしそうだね」という会話が聞こえてくると、とても嬉しくなるのだという。それは魚たちが元気に泳いでいる証拠だからだそう。

この相模湾大水槽で、もうひとつユニークなのは、魚の解説で学名などとともに和名の漢字表記がある点だ。「赤松穂（アカマツカサ）」の大きなウロコは確かにマツボックリのように見えるし、「胡椒鯛（コショウダイ）」の黒い斑点は黒胡椒をかけたようだ。「養笠子（ミノカサゴ）」はまさにその通りの姿をしている。カタカナ表記では伝わらない名前の由来を漢字が教えてくれる。これも身近な相模湾の魚だからこそできる楽しみ方のひとつかもしれない。

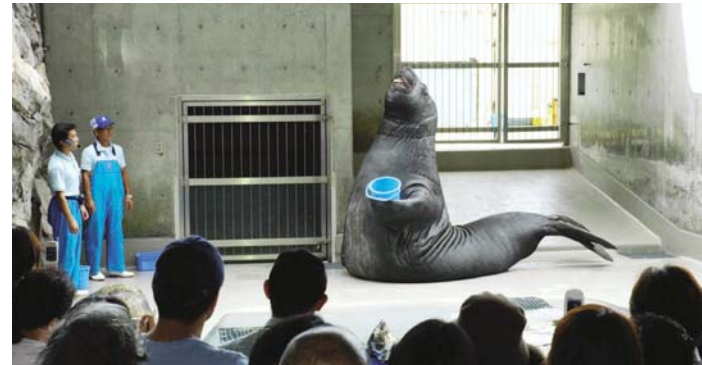
JAMSTECと共同で 深海生物の長期飼育に挑戦

賑やかな相模湾大水槽のすぐ隣に、照明を落とした暗がりのなかの展示スペースがある。「深海コーナー」だ。

深海とは、太陽の光がほとんど届かない深度200m以深をさす。相模湾は、駿河湾や富山湾と同様に、深海を持つ内湾として知られる。そこで、新江ノ島水族館では、常設展示として、深海という不思議に満ちた世界と、そこに生息する珍しい生物を紹介するコーナーを設置している。だが、深海生物はその採取も困難で、またそれを長期間に渡って飼育することも非常に難しい。そ



イルカやクジラが豪快なジャンプを披露するショープログラム「ハッピーテイル」



現在、日本で飼育されている最も大きなアザラシ、ミナミソウアザラシの「みなぞう」



水族館に併設されているなぎさの体験学習館（湘南タッチプール）



新江ノ島水族館と海洋堂とのコラボレートで開発されたフィギュアは人気のグッズ。荒俣宏氏がプロデュースするシリーズもある。写真上はそのペンダーマシ

で、新江ノ島水族館では、JAMSTECと共同研究を行い、深海調査で採取した深海生物の長期飼育とその展示に挑戦している。そして、現在「深海コーナー」では、サツマハオロムシ、ゴエモンコシオリエビ、シンカイヒバリガイ、ユノハナガニ、オオグチボヤなど、多くの深海生物が展示されている。

深海は、暗闇であるだけでなく、低温、高圧、貧酸素といった特殊な環境であり、そこに生きる生物のなかには、温度が変化したり、酸素が多くなると死んでしまうものもいる。また、普通の生物にとっては毒となる硫化水素を餌としている生物もいる。水槽を、採取してきた深海の環境に合わせて、常

に適切な環境に保っておくなど、特殊な飼育のノウハウがある。こうした高度な技術を必要とする深海生物の飼育を担当しているのが三宅裕志さん。三宅さんはJAMSTECで深海生物の研究を行ってきた研究者だ。「深海生物はすぐに手に入れることはできませんから、展示するための生物を常に十分な数だけ準備しておくのはたいへんです。しかし、これまでの経験で、長期飼育できる生物やその方法もだんだん分かってきました。これからは、よりよい状態で長期飼育するとともに、繁殖技術を確立していきたいと考えています」と三宅さんは話す。このほかにも、新江ノ島水族館では、

30年以上の飼育研究・展示手法の実績を活かした「クラゲファンタジーホール」をはじめ、「冷たい海、暖かい海ゾーン」、「今上陛下のご研究」など、特色ある様々な展示コーナーを設置している。さらに、ショースタジアムでは、イルカたちのエンターテインメント・ショーや、水族館のメインキャラクターであるミナミソウアザラシの「みなぞう」が楽しいパフォーマンスを披露してくれる。

新江ノ島水族館が、驚きや発見を通して、楽しみながら海についての幅広い学びを体験することができる知的レクリエーションの場として、さらに進化していくことに期待したい。

南太平洋の生きた化石 オウムガイの 長期飼育に挑む



水槽の水温を測る飼育研究部の森滝丈也さん。オウムガイの飼育には12年近く携わっている

取材協力：鳥羽水族館

今から約5億年前、古生代の海にルーツを持つ“生きた化石”オウムガイ。美しい殻を持つが貝よりもタコなどに近い頭足類の仲間、南太平洋やフィリピン沿岸の深海に棲息する。

鳥羽水族館はニューカレドニアのヌメア水族館と姉妹提携を結び、1978年からオウムガイ類の飼育・研究を行ってきた。南太平洋での生態調査も行い、1993年に世界で初めてオオベソオウムガイの孵化に成功。1999年

には館内で孵化した個体が産卵し、世界初の水族館3世を誕生させた。オウムガイの日本最長飼育記録、2,266日も保持する。

オウムガイの生態にはまだ不明点が多いが、長期飼育の結果、明らかになったこともある。通常、オウムガイは水温15℃程度の深海域に棲むが、水槽での産卵は20℃くらいで盛んとなった。自然界での産卵はまだ確認されていないが、おそらく産卵時は温かい浅海

域まで浮上するからだと考えられる。

また、オウムガイの殻の中はいくつもの気室に分かれ、成長するに従ってその部屋数は増える。ときおり水槽の中で身をよじり、殻から軟体部を少し出す行動を見かけるが、これは殻と体の間にすき間を作り、新しい部屋を作っているのかもしれない。

故郷から遠く離れた水槽の中で、少しずつオウムガイの謎が解き明かされている。



水族館で飼育しているオオベソオウムガイ。殻径約16cm。成体はニューカレドニアの深度300～400mあたりに棲息している（夜間は50～100mあたりまで浮上する）



卵から孵化する直前のオウムガイ。殻径は2.5cmほど



オウムガイは生まれたときから殻を持っている



エサは小さな海老や小魚を週に2回ほど与える



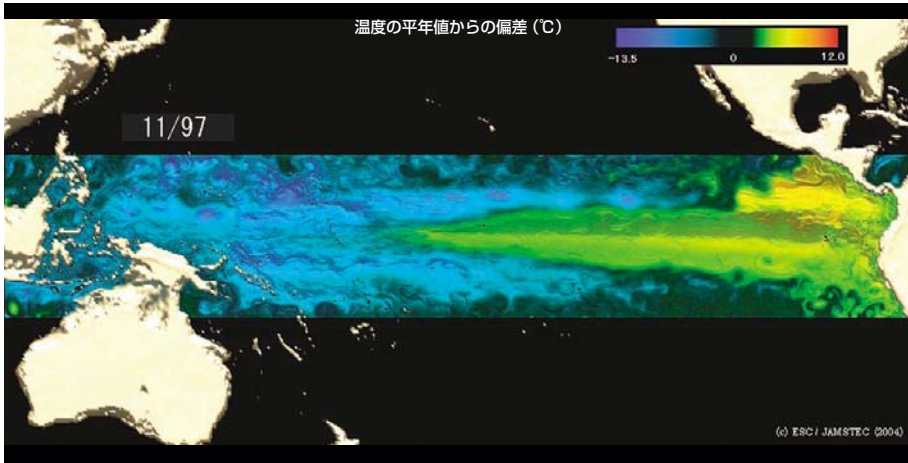
殻の付け根に大きな目があるが、視力は弱い。エサなどは、匂いで見つけるようだ



ニューカレドニアで行った生態調査。発信器を取り付け、行動を追った

● 鳥羽水族館（三重県・鳥羽市） ホームページ：<http://www.aquarium.co.jp/> 連絡先：0599-25-2555（代）

写真提供：鳥羽水族館



OFESで再現された1997～1998年のエルニーニョ現象（地球シミュレータセンター高度計算表現法研究グループ作成）

海洋大循環モデルOFESによる 超高解像度シミュレーションデータを公開 信頼性の高いデータ活用が広がる

地球シミュレータセンターでは、海洋の現象を細かい部分まで再現できる超高解像度の全球海洋大循環プログラムの研究開発を地球環境フロンティア研究センターと共同で進めてきた。その一つの成果として、「地球シミュレータ」を用い、海洋大循環モデルOFES (Ocean General Circulation Model for the Earth Simulator) で得られた水平解像度約10kmのシミュレーションデータの公開を2005年7月26日より地球シミュレータセンターのWebページで開始し(<http://www2.es.jamstec.go.jp/ofes/jp/>)。OFESのデータは国内外の研究者の関心が高く、今後、地球規模の大循環をはじめとした様々な海洋研究への応用が広がることが期待されている。



取材協力：
佐々木 英治 研究員
地球シミュレータセンター
計算地球科学研究開発プログラム
大気・海洋シミュレーション研究グループ

超高解像度海洋大循環モデル OFESとは

今回、シミュレーションデータの一部がWebページで公開された海洋大循環モデル(以下OFES)は、米国・地球流体力学研究所が開発した海洋大循環モデルMOM3 (Modular Ocean Model 3) をベースとし、「地球シミュレータ」の能力を最大限に発揮できる

ように並列化、最適化したモデルである。大気データを海表面に境界条件として与え、大気の変動に対し海洋がどのような応答をするか研究するためのシミュレーションが実施されてきた。過去の観測データを元に格子化した大気の再解析データを用いると、過去の海洋が大気にどのように応答したかをシミュレーションできることが最大の

メリットである。というのも、大気に関しては人工衛星、レーダー、ゾンデなどを用いた立体的な観測データが詳細に得られるが、海洋の観測データはそれに比べると非常に限られているからだ。近年では、海面の高さ(海表面の凹凸)や海面温度など海表面データは衛星観測によって細かいスケールで連続的に得られるよ

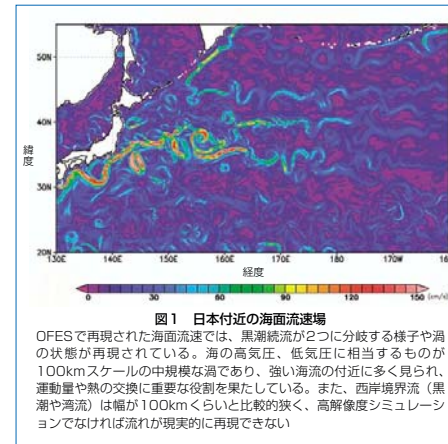


図1 日本付近の海面流速場
OFESで再現された海面流速では、黒潮流が2つに分岐する様子や渦の状態が再現されている。海の高気圧、低気圧に相当するものが100kmスケールの中規模な渦であり、強い海流の付近に多く見られ、運動量や熱の交換に重要な役割を果たしている。また、西岸境界流(黒潮や湾流)は幅が100kmくらいと比較的狭く、高解像度シミュレーションでなければ流れが現実的に再現できない

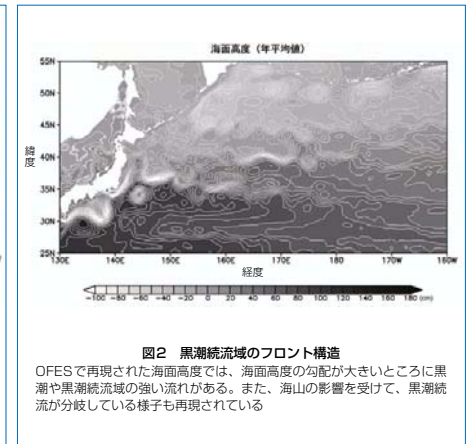


図2 黒潮流域のフロント構造
OFESで再現された海面高度では、海面高度の勾配が大きいところに黒潮や黒潮流域の強い流れがある。また、海山の影響を受けて、黒潮流が分岐している様子も再現されている

うになってきているが、海面下の海洋内部は観測船や係留ブイ、漂流ブイなどによる観測に限られている。そのため、OFESによるシミュレーションは観測に限られている海洋内部でどのような現象が起こっているかを知るのたいへん有効なツールなのである。

OFESの水平解像度は赤道付近で約10km(0.1度)間隔ときわめて高解像度で、数10kmから100kmスケールの海洋現象、特に運動量の交換や熱交換に重要な役割を果たす100kmスケールの中規模渦活動や西岸境界流(黒潮や湾流*)をリアルに再現できるのが特徴である(図1、図2)。解析領域は極域を除く南緯75度から北緯75度まで、南極海はほぼ解析領域内だが、シミュレーションのメインターゲットは熱帯から中緯度の風成循環の再現である。

OFESを用いた最初の超高解像度全球海洋シミュレーションでは、温度と塩分の平均的な観測値を設定した静止状態を初期値とし、20世紀後半の大気再解析データを平均してもとめた大気の平均的季節変動を繰り返し海表面に与えて50年間のシミュレーションを行った。初期の静止状態から現実的な海洋の循環場が再現されるまでシミ

ュレーションすることをスピニングアップ積分と言い、黒潮、親潮や湾流などの中高緯度の海流を定常的で現実的な流れに再現するためには、静止状態から数十年のスピニングアップ積分が必要なのである。

このような超高解像度全球海洋シミュレーションの数十分は、「地球シミュレータ」によって初めて数週間の実行時間という現実的な時間で計算する事が出来るようになり、50年間のスピニングアップ実験が行われた。

OFESの様々なシミュレーション

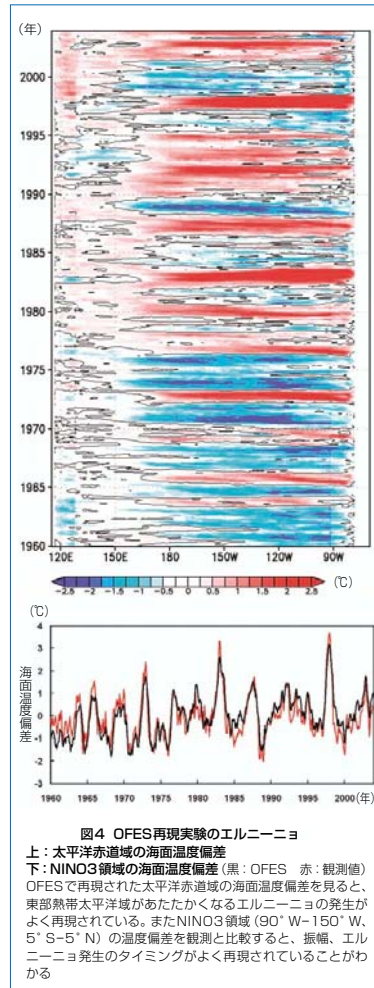
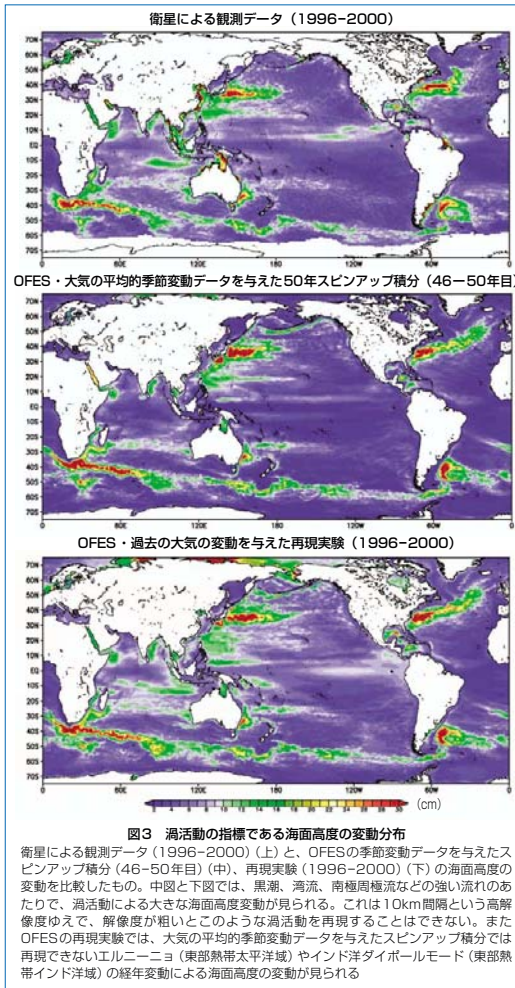
50年間のスピニングアップシミュレーションに引き続き、様々なシミュレーションを実施しているが、ひとつは1950～2003年の海洋循環再現実験である。当該期間の大気の再解析データを与えることで、エルニーニョなどに代表される海洋の経年変動が再現されるが、海表面だけでなく海洋内部も応答するため、海洋内部の変動を解析することができる。

一例として渦活動のひとつの指標である海面高度の変動(図3)をみると、衛星による観測データ(1996～2000)からは黒潮や湾流など流れの強いところ

で渦活動が強いことがわかる。観測データと比較するとOFESでも同じような強い渦活動が再現できている。また、OFESの過去の大気の変動を与えた再現実験ではエルニーニョ(東部熱帯太平洋域)やインド洋ダイポールモード(東部熱帯インド洋域)の経年変動による海面高度の変動も見られ、エルニーニョの指標である東部熱帯太平洋域の海面温度偏差(図4)はその大きさ、タイミングともに観測値によく一致している。

最近では衛星観測により、風による海面の風応力は比較的空間解像度が高く、連続的にデータが得られるようになってきた。大気再解析データの風応力と比較して空間解像度の高い衛星風応力データを与えた場合の比較シミュレーションも行っている。

また、地球シミュレータセンター高度計算表現法研究グループは、ボリュームレンダリング手法を用いることにより、海面だけでなく海洋内部の温度偏差などの変動を3次元的にアニメーション化している。このアニメーションにより、エルニーニョやダイポールモードが発生や減衰するときに、あたたかまたは冷たい水塊が移動する様子



視覚的に捉えることができる(図5)。

最近「愛・地球博」にOFESの映像を提供。AFES (Atmospheric General Circulation Model for the Earth Simulator) による超高解像度大気シミュレーションやCCSR/NIES/FRGCG*の地球温暖化予測の映像とともにモニターで展示された。

*CCSR: 東京大学気候システムセンター
NIES: 国立環境研究所
FRGCG: 地球環境フロンティア研究センター

データ公開への経緯

これまでの研究成果によりOFESの存在は国内外で広く認知されており、データ入手の問い合わせもきていたが、データ公開前までは、OFES研究グループとの共同研究を条件にデータを提供してきた。海外では海洋研究開発機構と協力関係にある国際太平洋研究センター(IPRC)をはじめ、マックス・プランク研究所、コロラド大学、国内

では東京大学、東北大学、北海道大学、東京海洋大学、地球環境産業技術研究機構(RITE)などへ提供している。しかし、地球シミュラセンターの社会貢献の一環として、より多くの海洋研究コミュニティ等の研究者にOFESデータを活用してもらうために、今回公開に至ることになった。

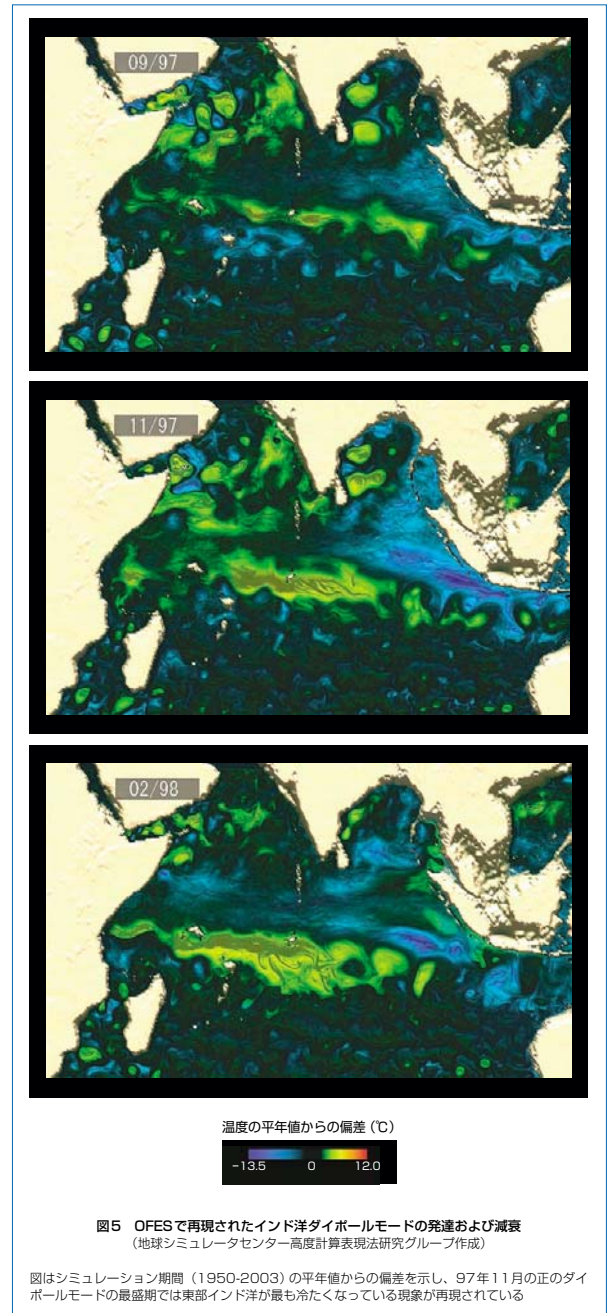
現在公開しているデータは、50年スピナップ積分の最後の10年間

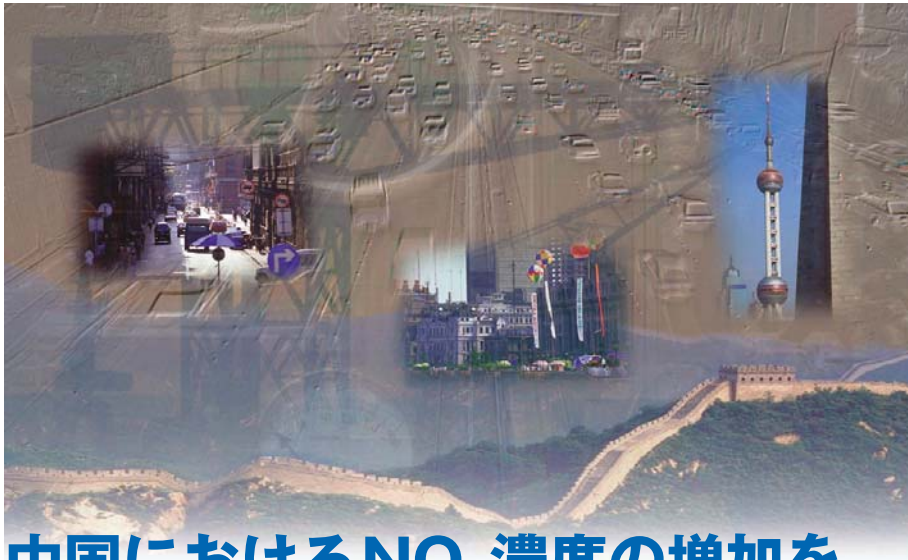
(41-50年目)で、その内容は温度、塩分、流速などの3次元月平均データ、海面の高さ、熱フラックス、塩分フラックスなどの2次元月平均データ、海の表面温度や深さ100m付近の流速などの特定2次元断面の1日毎データである。

格子解像度が約10km(0.1度)間隔では全球の格子点数がおよそ3億点と膨大で、1つの全球データファイル容量が約1.1GB(ギガバイト)になってしまうため、ダウンロードの負荷が軽くすむ、解像度が50km(0.5度)のデータも準備してある。後者のファイル容量は約45MB(メガバイト)に抑えられる。データ公開に先立って共同研究者にダウンロードテストを依頼したところ、1.1GBの3次元データもダウンロードすることができ、ネットワーク環境が異なっても許容できる程度の時間であることを確認した。また、データ公開のシステム構築は、地球シミュラセンターのシステム・情報室が中心になって行った。

公開直後には多くのアクセスがあり、2005年7月26日の公開から9月15日までに国内外の研究者から25件、そのほかから15件ほどのダウンロードがあった。その後もコンスタントに利用されている。

また最近では、鰯やウナギなどの稚仔魚や藻などが海流からどのような影響を受けるか研究するために、OFESで再現された流れ場を利用する共同研究なども始まった。OFESは解像度が高いために海底地形が現実的に表現できるところに着目したデータ利用例もある。従来のような物理場の研究以外に、生態系研究などの分野にもデータの利用が広がりつつあり、今回のデータ公開により我々が気づけなかった新たな研究分野への広がりを生む可能性も考えられる。





中国におけるNO₂濃度の増加を人工衛星データで実証

日本の光化学オキシダント増加との関連が推定される

日本における光化学オキシダント濃度は、大気汚染防止の取り組みにもかかわらず、近年増加傾向にある。これはアジア域で排出される汚染物質の増加と深く関連している。地球環境フロンティア研究センター大気組成変動予測プログラムの秋元肇プログラムディレクターと入江仁士、須藤健悟研究員は、ドイツ・ブレーメン大学の研究者と共同で、欧州の対流圏大気化学衛星センサー（GOME）のデータを解析。大気汚染物質について公式な観測データのない中国において、二酸化窒素の大気中濃度が1990年の後半からハイペースで増加し続けていることを実証した。この研究成果は大気汚染が一國にとどまらず、地球規模の問題になっていることを改めて浮き彫りにしている。



取材協力：
入江 仁士 研究員
地球環境フロンティア研究センター
大気組成変動予測プログラム
大気組成観測・データ解析グループ

中国大陸からの汚染大気 長距離輸送の可能性

日本では1970年代、大気汚染の一つとして、都市部の光化学スモッグが大きな社会問題となった。光化学スモッグを引き起こす光化学オキシダントは、その大部分がオゾンであり、自動車の排ガスや工場の排煙に含まれる窒素

酸化物や非メタン炭化水素の光化学反応で形成される。そこで、自動車の排ガス対策や、排煙脱硝装置などの固定発生源対策の結果、光化学スモッグ問題は改善されたはずだった。

ところが一方で、近年日本における光化学オキシダントの濃度は上昇し、光化学スモッグも頻発している。そも

その原因物質である窒素化合物などは減っているのになぜ光化学オキシダント濃度が低下せず、光化学スモッグも減らないのか、という問いからの研究は始まった。

まず我が国における光化学オキシダントとその原因物質である窒素酸化物、非メタン炭化水素の経年変化を調べて

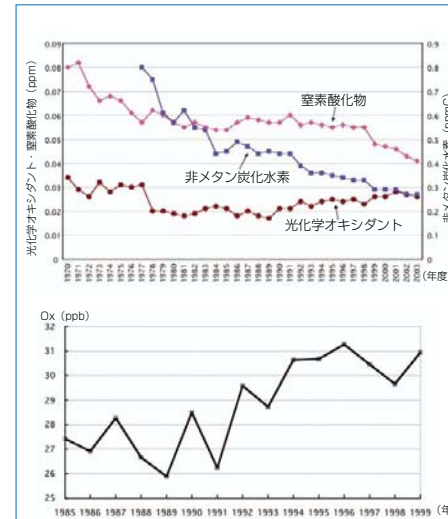


図1 上：東京都における光化学オキシダント・窒素酸化物・非メタン炭化水素濃度の変化
(東京都「光化学対策検討報告書」2005年より)
下：全国10地域平均の光化学オキシダント濃度の変化
(大原利興・坂田智之：大気環境学会誌, 38, 47-54 (2003)より)

東京都では光化学オキシダントの原因となる主な物質は、70年代に最も多く、その後一貫して減り続けている。だが東京都でも日本全国でも、最近の光化学オキシダント濃度は上昇傾向にある

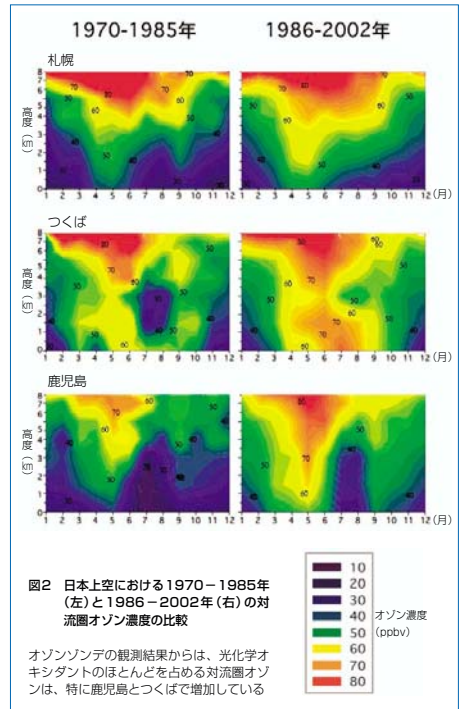


図2 日本上空における1970-1985年(左)と1986-2002年(右)の対流圏オゾン濃度の比較

オゾンゾンの観測結果からは、光化学オキシダントのほとんどを占める対流圏オゾンは、特に鹿児島とつくばで増加している

みた。東京都における光化学オキシダントと窒素酸化物と非メタン炭化水素の変化を示したグラフ(図1上)では、確かにここ30年間濃度が減少するという傾向が見られる。その結果として、70年代に比べて80年代には光化学オキシダントの濃度が低下している。しかし、90年代は光化学オキシダントの濃度が逆に上昇していることがわかる。

もう少し領域を広く取って、日本全国での光化学オキシダントの濃度の変化を調べ(図1下)。80年代と90年代を比べると、やはり光化学オキシダントの濃度が増加している傾向がはっきりとみられる。

また札幌とつくばと鹿児島島の3地点であげられている気象庁のオゾンゾンのデータを詳しく調べ、日本で対流圏オゾンの濃度がどう変化しているの

かを見ると、3地点ともに濃度が地表付近で増加している(図2)。増加の程度を比べてみると、札幌に比べて、つくばと鹿児島の方が増加量大きい。つくばや鹿児島は地理的にも中国に比較的近く、中国の経済発展の著しい地域を通過する空気の影響を受けやすい。そこから中国からのオゾン汚染の影響を受けているのではないかという仮説が成立する。

この仮説を検証するには、中国における実際のオゾン汚染の状況、特にオゾンをつくる主な原因物質の濃度がどのように分布し、特に近年どのように変化しているのかについて調べる必要があるが、ここで問題なのはその種のデータがないことである。そこで、中国のエネルギー使用量のデータで代用することによって、最近の汚染物質の濃

度の変動をある程度予測しようと考えた。近年、中国は著しい経済発展を遂げ、エネルギー使用が急速に増大している。エネルギー源として中国で最も多く使われているのは石炭で、90年代後半の公式の統計量では、95年以降はいったん減少して、また増加したと報告されている。しかし、他の観測結果から見て、本当にデータどおり減少したのか疑問が残っており、研究者のあいだで活発に議論がなされている最中である。このように、中国の発表するデータはエネルギー消費量についてでさえ不確定で、それに基づいた研究が困難である。これまで不確定であった部分を客観的に調べていきたいというのが、今回の研究の背景となっている。

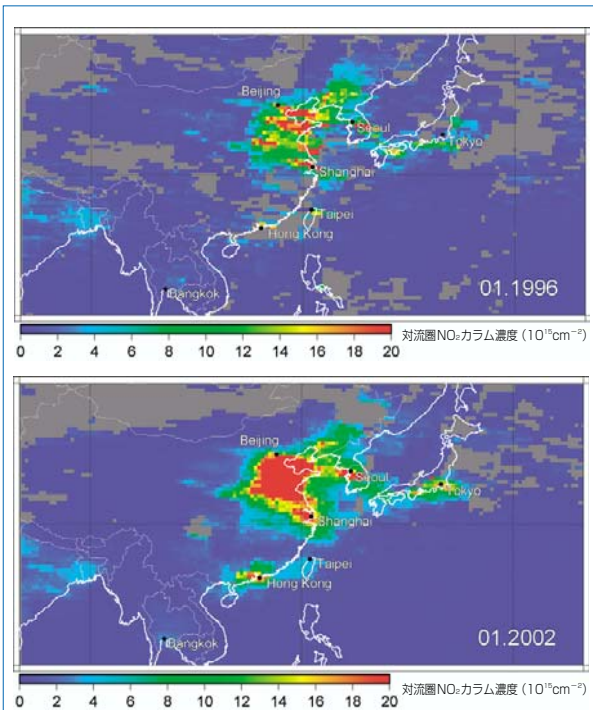


図3 GOMEによって測定された東アジアにおけるNO₂の対流圏濃度分布
上：1996年1月 下：2002年1月
NO₂濃度は特に人口集中や経済活動が激しい華北平原地域で大幅に増加している。この部分は山に囲まれた平原であり、NO₂が溜まりやすいと想定される。グレーはデータの欠損部分

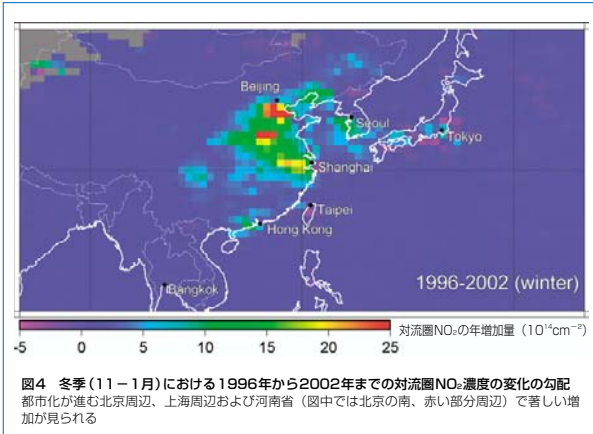


図4 冬季(11-1月)における1996年から2002年までの対流圏NO₂濃度の変化の勾配
都市化が進む北京周辺、上海周辺および河南省(図中では北京の南、赤い部分周辺)で著しい増加が見られる

※図3・4・6の地名
Beijing: 北京 Shanghai: 上海 Hong Kong: 香港
Seoul: ソウル Taipei: 台北 Bangkok: バンコク Tokyo: 東京

人工衛星センサーのデータを使った解析

今回の研究では、客観的なデータとして人工衛星センサーGOME(ゴーム: Global Ozone Monitoring Experiment)によって測定されたデータを利用した。GOMEはヨーロッパのERS-2と呼ばれる人工衛星に搭載されている対流圏大気化学センサーである。

この人工衛星センサーは、地球を真上から見下ろし、昼間の時間帯に大気で散乱した太陽光や地表で反射した太陽光を測定する。測定された太陽光が通ってきた経路上に主要な窒素酸化物の一つである二酸化窒素(NO₂)が存在すると、特定の波長で光が減衰する。光の減衰はNO₂の濃度が高いほど大きくなり、また、強い減衰が起きる波長は425~450nmの波長帯に複数含まれるため、この波長帯を測定・解析してNO₂濃度を精度高く割り出す。

人工衛星センサーが測定するのは地表から成層圏までのNO₂のカラム濃度(大気中のNO₂濃度を積算した累積濃度)である。成層圏カラム濃度は、同じ緯度でほぼ均一であるとみなし、さらに化学輸送モデルの結果を用いることにより、成層圏カラム濃度を推定できる。このようにして得られた成層圏カラム濃度を測定値から差し引いて対流圏のNO₂カラム濃度を求めている。

まず1996年から2002年までの期間で、中国における対流圏のNO₂の空間分布を調べた(図3)。上図が1996年の1月におけるNO₂の分布を示す。中国の特に華北平原を中心とする地域でNO₂濃度が高い。下図は2002年のデータを示す。NO₂濃度自体がさらに高まり、しかも濃度が高い地域が拡大している。

1996年から2002年の間にNO₂がどれだけ増えたのか、どのように分布していったのかを示したのが図4である。中国の華北平原地域で非常にNO₂

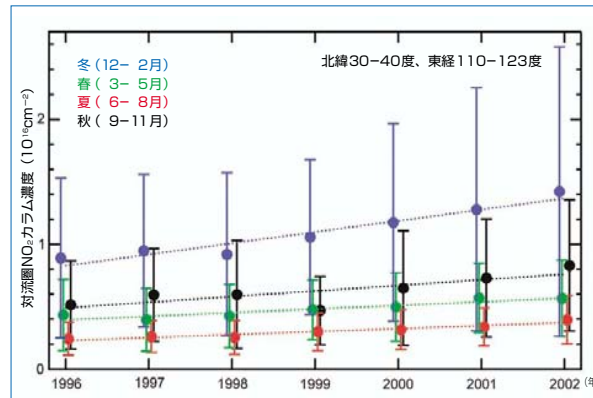


図5 華北平原地域の対流圏NO₂濃度の経年変化
NO₂濃度は太陽光の強さに左右されるため、4つの季節ごとの経年変化を表した。平均して7%程度増加している。図は華北平原で得られたデータの平均値を丸、ばらつきを縦線で示す

が増加していたということがわかる。この間の増加は特に都市化が進む北京周辺、上海周辺および河南省で著しい。

また、季節によって太陽光の強さが違い、それがNO₂の濃度を変化させるということがよく知られている。つまり太陽光が強い時期ほど光化学反応が進み、NO₂は光化学オキシダントになってしまうために、NO₂濃度そのものは低下する。そのためNO₂濃度は冬に上昇し夏に低下する。その影響を取り除くために季節に分けて濃度をグラフ化したのが図5である。全ての季節のデータを総合すると中国でのNO₂の濃度が1996年~2002年にかけて7%ないし8%の割合で上昇しているということがわかった。

今年1月における対流圏NO₂分布(図6)を見ると、今回注目した中国の地域でさらに濃度レベルが上がり、また高濃度の領域が広がっている。今現在の中国では汚染が拡がり、その程度も高まっていて、それが日本にも今後もっと大きな影響を与えるかもしれないことを示唆している。

この図では日本上空にもNO₂の濃度の高い部分が見られるが、これは中国

が発生したNO₂がそのまま移動してきたものでは必ずしもない。NO₂の化学的寿命は数日と短いため、気流に乗って日本に運ばれる途中で対流圏オゾンに変わると考えられる。オゾンに変化したからの化学的寿命は1~2週間と長く、北半球の中緯度域のかなり広い範囲まで影響を受ける可能性が高い。

今後の研究の方向

中国における窒素酸化物の発生原因は、やはり石炭消費が主なものとして推定

される。今後、エネルギーの質的転換が進むか、固定発生源からの排出規制等の大気汚染対策が進まないかぎり、日本が受ける影響はさらに大きくなる懸念される。

人工衛星センサーは現在も観測を続けており、また欧米諸国では今後こういった観測が盛んに行われる計画もある。それらのデータを利用して、窒素酸化物を含む汚染物質の今後の推移を全球規模で調べていく予定である。また、中国で発生したオゾンの影響がどの程度日本にあるのかの解析もまだこれからの課題である。さらに、人工衛星センサーとモデルを組み合わせて地表で汚染物質がどれだけできたかというのを逆に推定する手法も考えられる。

対流圏オゾンは光化学スモッグとなって人や農作物、森林に害を与えるだけでなく、CO₂、メタンに次ぐ温室効果ガスの一つでもある。中国でも近年、大気汚染の引き起こす問題について理解が少しずつ進みつつあるが、大気汚染の影響は一国だけにとどまらず、広範囲に及ぶ。温暖化防止など地球環境全体の視点からも、客観的なデータによる研究の進展とそれに基づいた対策が望まれるところである。

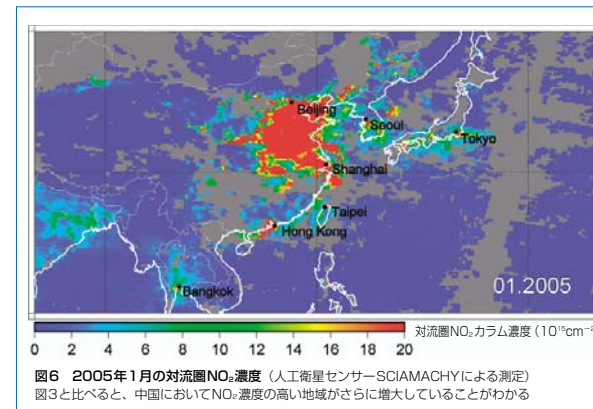


図6 2005年1月の対流圏NO₂濃度(人工衛星センサー-SCIAMACHYによる測定)
図3と比べると、中国においてNO₂濃度の高い地域がさらに増大していることがわかる

「大気汚染で気候が変わる？」

～大気汚染と地球温暖化～

(2005年3月26日 海洋研究開発機構 横浜研究所 第29回地球情報公開セミナーより)

地球温暖化はまだ始まったばかりです。すでに多くの予測研究も行われていますが、みなさんの一番の関心事は、自分たちが生きている間、自分たちが住んでいる所にどのような気候変動が起き、それに対してどういった対策を行えばよいかということでしょう。そのような局地的な温暖化を予測するためには二酸化炭素の変化を見るだけでは不十分です。今日は、そうしたさまざまな温暖化要因についてお話しをしたいと思います。



秋元 肇 プログラムディレクター
地球環境フロンティア研究センター
大気組成変動予測研究プログラム

1940年生まれ。東京工業大学理学系研究科博士課程修了後、国立公害研究所大気環境部長、東京大学先端科学技術研究センター教授などを歴任。2000年4月より海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター大気組成変動予測研究プログラムディレクター（当時 海洋科学技術センター地球フロンティア研究システム大気組成変動予測研究領域 領域長）に就任。現在は地球規模の大気組成変動のメカニズムの解明に取り組む。

大気汚染と地球温暖化

「地球温暖化の局地化と大気汚染のグローバル化」、これが最近の大気変動研究の流れです。

まずは大気汚染について考えてみましょう。大気汚染物質には硫黄酸化物、窒素酸化物、一酸化炭素、浮遊粒子状物質（エアロゾル）、オゾン（光化学オキシダント）などがあげられます。そして日本の大気汚染は、1950年代後半より始まる高度成長期の工場排煙、60年代後半には光化学スモッグ問題などが大きく論じられました。しかし80年代以降、日本の

大気汚染物質の排出量はずっと減少しています。ただ、世界規模で見ると違います。過去30年ほどの間に排出された北半球三大大陸における窒素酸化物の排出量変化を見ると、北米はほぼ横這いですがヨーロッパは大きく減少しています（図1）。一方、アジアはずっと増加傾向にあり、1990年代半ばには北米やヨーロッパの排出量を追い越してしまいました。恐らく21世紀前半は、アジアからの大気汚染物質が世界で一番多くなることが確実です。

こうした大気汚染物質の排出状況は人工衛星からも見ることができます（図2）。

中国の上空にある硫黄酸化物は石炭などの燃焼によって排出されたものです。窒素酸化物はアメリカやヨーロッパの上空にも見られます。衛星による大気汚染の観測は1980年代に初めて行われ、その結果に研究者は驚きました。それまでは誰もがアジアやヨーロッパ上空の大気汚染が一番ひどいと思っていました。しかし実際にはアフリカや南米といった熱帯の途上国や旧ソ連・シベリア上空の汚染が進んでいたのです（図3）。これは森林火災や薪炭などのバイオマスエネルギーから出る一酸化炭素によるものでした。大気汚染は決して工業国や先進国の排煙や排気ガスだけが原因ではなく、貧しい国でも進行していることが明らかになったのです。そして現在、これまで局地的に見ていた大気汚染は温暖化にも関連して地球全体の問題に変わりつつあります。

一方で、地球温暖化問題もさまざまな予測や研究が行われ、検証されてきました。しかし人々の関心は、100年後の地球の気候よりも自分が生きている20年、30年といった近未来にどのような気候変動があり、さらに自分の住む地域にどんな影響があるのかといったことにあるはず。そういう意味で、温暖化の研究

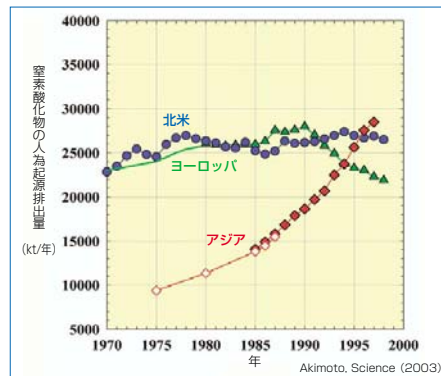


図1 北半球三大大陸における窒素酸化物排出量のトレンド

青が北米（米国、カナダ）、緑がヨーロッパ（旧ソ連を含む）、赤がアジア（南、東南、北東アジア）。アジアが1985年ごろより急激に増加している

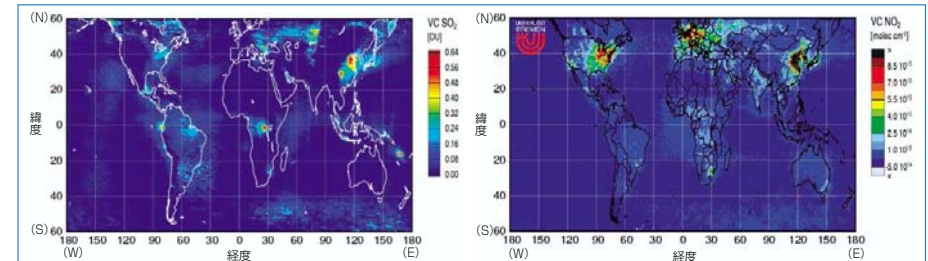


図2 人工衛星から見た二酸化硫黄と窒素酸化物の地球規模汚染
左は二酸化硫黄 (SO₂)、右は窒素酸化物 (NO_x) の排出状況で、いずれも青～黄～赤になるにつれ、濃度が高いことを示す。VCは対流圏カラム密度の略

にはより局地的な視点が求められるようになっていきます。

二酸化炭素以外の温暖化要因

ともすると、温暖化の原因はCO₂だけのように語られがちですが、実際に地球温暖化に影響を与えているのはCO₂だけではなく、温室効果ガスにはメタンやフロンなどがありますし、実は大気汚染物質も温暖化と深い関係があるのです。

地球の温度は放射強制力*によって決まります。そして、地球温暖化は温室効果ガスが太陽からの赤外線を吸収してそのバランスを崩すために起こります。大気汚染物質のひとつ、オゾン**は赤外線吸収力が非常に高く、CO₂やメタンに続く温暖化の第三の要因として非常に注目

されています。また、同じく大気汚染物質の要因であるエアロゾル***のひとつ、黒色炭素(煤など)も太陽光を吸収し温暖化にプラスの影響を与えます。

しかし、それ以外のエアロゾルは太陽光を遮って地球を冷やし温暖化に直接マイナス効果を与えます。また、エアロゾルの増加は雲を増やし、気温を下げる間接的なマイナス効果を持つことも分かっています。こうしたエアロゾルの影響をトータルで見るとCO₂単独での温室効果を凌ぐほどのマイナス効果があります。つまり、大気には温室効果ガス以外に地球を温める物質もあるし、それに対抗して地球を冷やす物質もあって、互いに影響し合っているのです（図4）。

ちなみに、温室効果ガスと大気汚染物質の最も大きな違いは、大気中での滞留

年数、つまり寿命です。温室効果ガスは寿命が長くCO₂で約50年から200年、一番短いメタンでも12年あります。地球の大気は約2年ほどで全体が混ざり合うため、寿命が長いとどこから放出されても全体に広がって均等に地球を温めます。一方、大気汚染物質は寿命が非常に短いのが特徴です。一番長寿命のオゾンでさえ1週間から1カ月です。そのため、1カ所に漂って大気に局地的な濃度のむらを作るのです。このことは、局地的な温暖化現象を考える上で非常に重要です。

*放射強制力…太陽からの熱エネルギーと地球からの熱放射の収支を変化させる影響力。1平方メートルあたりのワット数 (W/m²) で表す。
**オゾン…ここで言うオゾンは対流圏オゾン。「オゾン層の破壊」で注目されたのは成層圏オゾン
***エアロゾル…硫酸塩、アンモニウム塩、有機物を燃やしたときに生じる有機エアロゾル、黒色炭素、土壌粒子や黄砂、海のしぶきから出る海塩粒子、石炭などを燃やして出るフライアッシュといった浮遊粒子状物質のこと

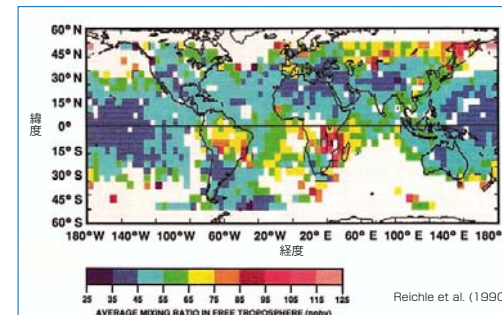


図3 衛星から見た一酸化炭素の地球規模汚染
アフリカ大陸、南米や旧ソ連の上空が赤く、一酸化炭素(CO)による大気汚染が進んでいることがわかる

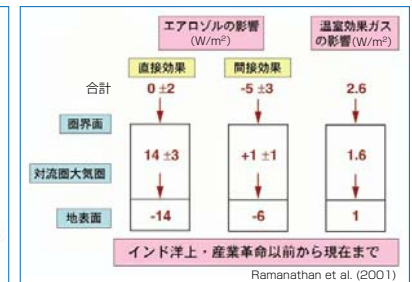


図4 エアロゾルと温室効果ガスによる放射強制力
地表面、対流圏（圏界面は成層圏と対流圏の境目）によって影響は異なる。エアロゾルと温室効果ガスをトータルで見ると、地表面では気温が下がり、対流圏では温暖化が進むことが分かる。土は誤差の範囲



図5 ソウル上空の褐色雲

褐色雲と温暖化問題

さて、温暖化研究における最近のもうひとつの話題に「褐色雲 (Brown Clouds)」があります (図5)。これは世界中で観測されており、東京の上空も例外ではありません。この雲が褐色に見えるのはエアロゾルを含んでいるためです。そのうち硫酸エアロゾル、硝酸塩、アンモニウム塩、有機エアロゾルは白いエアロゾルと呼ばれ、太陽光を散乱し地球を冷やす効果があります。中でも硫酸エアロゾルは局地的な温暖化にかなり大きな影響を与えています。このことは今から数年前に行われた研究で明らかになりました。この時のモデル計算によると、CO₂の影響だけを算入した温暖化予測では南半球と北半球がほぼ同一に温まり、過去の実測データによる予測とは大きな差がありました。そこで、CO₂と硫酸工

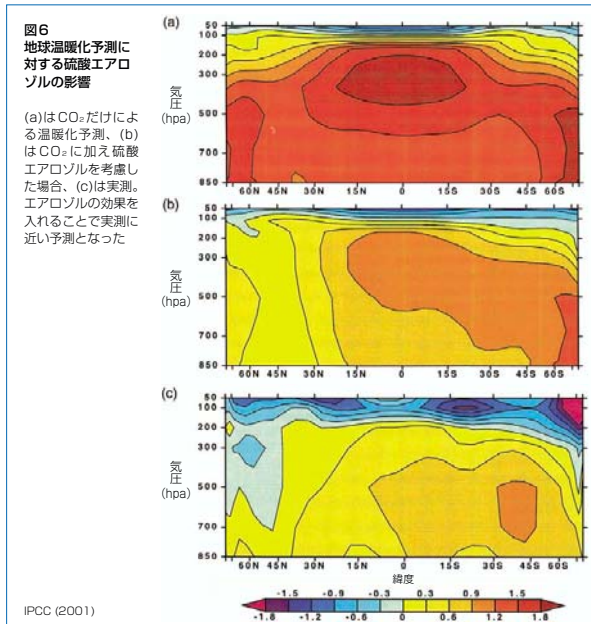


図6 地球温暖化予測に対する硫酸エアロゾルの影響

(a)はCO₂だけによる温暖化予測、(b)はCO₂に加え硫酸エアロゾルを考慮した場合、(c)は実測。エアロゾルの効果を入れることで実測に近い予測となった

IPCC (2001)

アロゾルの影響を算入して実験を行ったところ、実測データと非常に近い結果を得ることができました。つまり、硫酸エアロゾルの影響で北半球の温暖化が抑制されていたのです (図6)。

また、先ほどもお話ししたとおり、黒

色炭素は太陽光を吸収して地球を温める効果があります。19世紀から最近までの化石燃料燃焼による黒色炭素排出量を国ごとに見てみると、旧ソ連圏からは少なくなりましたが中国やインドからの排出量は増えています (図7)。日本を含む

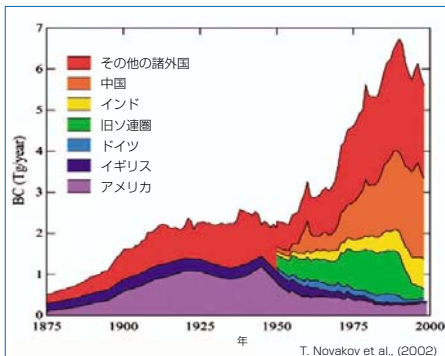


図7 黒色炭素の地域別放出量

19世紀における化石燃料からの黒色炭素の地域別放出量。アメリカやヨーロッパが減少方向にあるのに比べ、中国やインドの影響が強くなっている

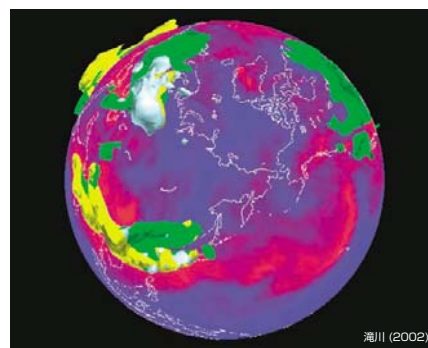


図8 ヨーロッパからアジアへの大気汚染物質の大規模輸送

全球モデルによる大気汚染物質のヨーロッパからアジアへの流れの様子。赤が対流圏オゾン、黄色は一酸化炭素、白は二酸化硫黄、緑が窒素酸化物

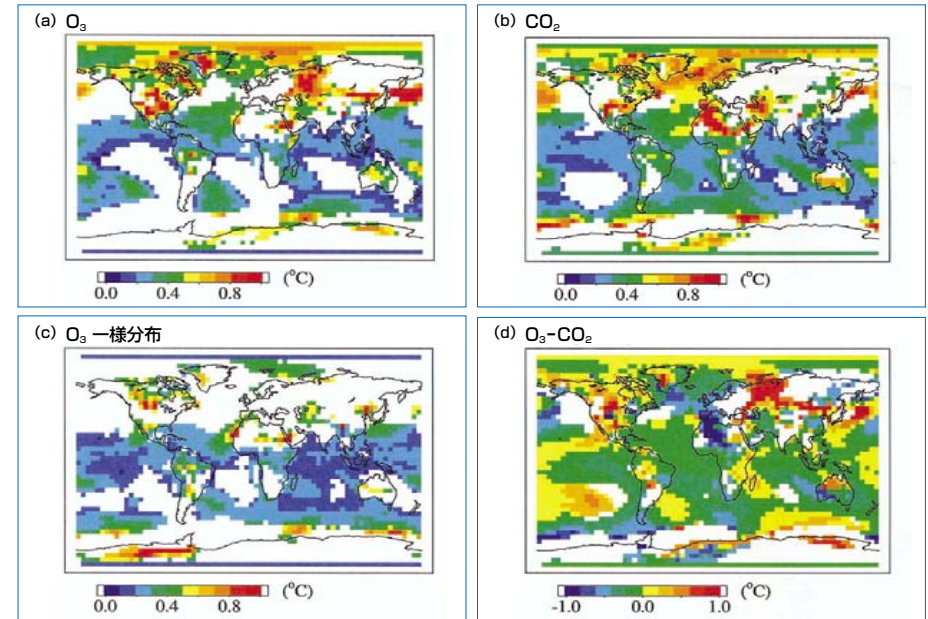


図9 オゾンと二酸化炭素による気温上昇の違い

Mickley, et al., (2004)

オゾン (O₃) と二酸化炭素 (CO₂) の同じ全球放射強制力に対する気温上昇の違い。(a)はO₃だけの場合、(b)はCO₂だけの場合、(c)はO₃が大気中に一様に広がると仮定した場合、(d)はO₃からCO₂の影響を引き引きO₃の影響が出やすい場所を示した。図は温暖化時に想定される海面水温を与えて10年間計算したものの

先進国の排出する黒色炭素の要因はディーゼル・エンジンの排気です。アジア全体で見ると黒色炭素の大きな排出要因はシベリアや東南アジアの森林火災と途上国における薪の使用や農業残渣 (残りかす) の燃焼です。また、図8において白く見えるのが白いエアロゾルと呼ばれる硫酸エアロゾルの原因物質である二酸化硫黄です。

増え続ける対流圏オゾン

褐色雲にはエアロゾル以外の大気汚染ガスも含まれています。その中で特に気候に大きな影響を与えるものとしては対流圏オゾンがあります。CO₂もオゾンも、ともに温暖化を促進しますが、気温上昇の傾向はどう違うのでしょうか。これについては、まだ最終的な結論は得られていませんが、2004年に発表されたばかりの論文があります。その中で、オ

ゾンとCO₂を温暖化に同等の影響を与える濃度にして、気温の上昇がどのように現れるのかを調べています (図9)。すると、CO₂が増えた場合とオゾンが増えた場合とでは、大気の温まる場所がかなり違います。また、分布もかなり違います。CO₂とオゾンの実験の差を見れば、オゾンの影響が出やすい場所も分かります。オゾンが大気中に一様に分布するのなら大きな影響は出ませんが、実際にはオゾンは局地的に分布するため影響も大きくなると考えられるのです。

ちなみに、東京都内のオゾン濃度は過去数十年前から現在まで、ずっと増加の傾向にあります。大気汚染の原因物質自体は減少していますがオゾンだけは増えています。ヨーロッパでは19世紀からオゾン観測のデータがあり、1960年代より連続観測も行われていますが、やはりずっと増加傾向です。地球規模で見

ても北半球全体で増えています。窒素酸化物の多いところにはオゾンが多いということも分かっています。このままのペースでオゾンが増え続けると、地球の気候にいろいろな影響が出てくるはずで

すでに褐色雲に関しては、2003年に国連環境計画 (UNEP) が「アジア褐色雲国際研究プロジェクト」を立ち上げています。その一環として、日本、中国、韓国など各国の30の研究機関が参加して褐色雲中の黄砂や汚染物質飛来の分析を行う国際プロジェクト「ABC - EAREX05 (Atmospheric Brown Clouds - East Asian Regional Experiment 2005)」も実施され、私たちも参加しました。また、2005年3月から3週間ほど観測が行われました。大気汚染と温暖化については、今後さらなる解明が求められているのです。

TOPICS

地球深部探査船「ちきゅう」
一般公開で1万人以上の参加者が内部を見学

地球深部探査船「ちきゅう」の一般公開が、横浜市大黒ふ頭（9月10日）、横須賀市新港ふ頭（11、12日）、名古屋港金城ふ頭（17、18、19日）で実施された。

これに先立ち9月9日には、天皇皇后両陛下ならびに紀宮殿下でご視察され、船内では、海洋研究開発機構・加藤理事長をはじめ海洋研究開発機構関係者

からの説明に熱心に耳を傾けられた。一般公開は、事前に参加者の募集が行われたが、すぐに一杯となった。「ちきゅう」への関心が、いかに高いかが分かる。

公開当日は、子どもから学生、家族連れなど幅広い年代層の人々が見学に訪れ、完成から間もない船内を熱心に見学した。研究区画では、研究室に設

置されたCTスキャンや古地磁気測定装置などの研究機器をはじめ、深海底から他の船で採取したコア試料などを公開。また、深海掘削がどのように行われるのかを解説するビデオの上映も行われた。さらに船内では、乗船者の居室、操舵室、深海掘削に用いられる掘削機器やパイプ類、噴出防止装置などが公開された。



デリック（やぐら）の高さは海面から121m

横浜市大黒ふ頭で実施された一般公開の様子



コア試料についての説明をお聞きになる天皇皇后両陛下、紀宮殿下



操舵室を見学する家族連れ

海と地球のQ&A



7-8月号で特集していた地球深部探査船「ちきゅう」が、実際に調査を開始するのは2007年からと書かれていました。それまでの2年間は何をしていたのですか。
(神奈川県 K・Mさん 高校生)



「ちきゅう」ではこれから様々な試験や訓練が行われる



完成した船で、すぐに調査が行えるわけではありません。地球深部探査船「ちきゅう」には、深海掘削を行うためのたくさんの最新鋭機器が搭載されています。また、海上で船を一定の位置に留めるための自動船位保持装置（DPS）など、特別なシステムも用意されています。実際の運用が始まる前に、これらがしっかりと性能を発揮できるかどうかを確認したり、また、効率的に運用するにはどうしたらよいかを考えるなど、詳しい試験や訓練を重ねながら、運用に向けて実施すべき課題が数多くあります。また、操船などを担当する乗組員の訓練も必要です。これからの2年間は、こうした試験や訓練が行われます。

「ちきゅう」は、今年度、船の運動性能を確認したり、各種機器やシステムの作動状況を確認したりするための試験・訓練を行った後、10～11月には下北半島東方沖海域において、DPS試験、コア採取試験、ライザーパイプ・BOP降下試験などが行われる予定です。さらに12～2月に基本操作・保守整備試験が行われた後、長崎でドック入ります。そして、さらに訓練を重ね、来年の夏には、試験運用として実際にライザー掘削やコア採取を行うことが計画されています。

*このコーナーでは、「Blue Earth」の記事について、分からないこと、もっと詳しく知りたいことにお答えします。「Blue Earth」BE ROOM Q&Aコーナー」係まで質問をお寄せください。Eメールアドレス info@jamstec.go.jp

研究の現場から

海洋調査と船酔い

海洋科学に関わる研究者や技術者が避けて通れないのが、航海中の船酔いの苦しみだ。医学的には、もともと非常に船酔いしやすい因子を持っている人は、わずか数%といわれる。だが、時化で激しく揺れる船上や、久しぶりの乗船の初日は、程度の差はあるものの誰もが多少酔いを感じる。そのため、できるだけ揺れの少ない船の中心に近い居室をリクエストする研究者らもいる。ただ、船酔いを感じても、ベテランは「すぐに慣れて、治まるさ」とのんびり構えているのに対して、船に慣れていない人は「ずっと船酔いに悩まされるのか」と不安な気持ちが続く。この心理的な不安感が、さらに症状を悪化させる。こんな例もある。「この薬は絶対に効くぞ」と先輩から渡された薬を飲んで船酔いが治った新人が、後にどんな薬かを聞いたところ、ただカプセルに小麦粉を入ただけだったそうだ。また、あるとき、いつも船酔いに悩まされていた新人技術者が、ひどい時化が続く航海に乗船した。しかも担当の仕事を任せられる技術者はほかにおらず、激しい船酔いに苦しみながらも仕事をやらなければならない状況が続いた。3週間の航海で、体重は9キロ減ったという。しかし、それから彼はほとんど船酔いしなくなった。「あのときに比べれば何でもない」という自信が、船酔いの不安を取り除いたのだ。「病は気から」といわれるが、船酔いも同様らしい。



BOOK

『地球の内部で何が起きているのか?』

平朝彦、徐垣、末廣 潔、木下 肇 / 共著
光文社 / 刊
892円 (税別)

この夏、地球深部探査船「ちきゅう」が完成した。本書は、この「ちきゅう」を中心とした国際科学プロジェクト「統合国際深海掘削計画(IODP)」と、その周辺の科学研究の変遷をまとめたもの。20世紀後半、深海掘削による堆積物調査などで、プレート・テクトニクス理論は証明された。そして21世紀、「ちきゅう」は人類未踏のマントルを目指す。地球の歴史はもちろん、地

震や気候変動、さらには生命の誕生まで、多くの謎の解明が期待されている。本書のコラムで日本科学未来館 毛利衛館長は「IODPは海洋科学技術に関しては日本がトップだと世界に示す絶好の機会。そのシンボルが『ちきゅう』だ」と述べている。IODPは今後、10年、20年と続く長い航海だ。若い研究者も求められている。この本を読んで乗船を志しても遅くはない。



『Blue Earth』定期購読のご案内

定期購読のご案内 URL:
<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/regular/index.html>

定期的にお手元に届く「定期購読」をご利用ください。お申し込みは、以下の内容を明記のうえEメールかFAX、もしくはハガキにてお願い致します。購読する場合には、定価(1冊300円)+送料(実費)が必要となります。(当機構指定口座への振込の場合は、その手数料もご負担いただけます)

●支払方法

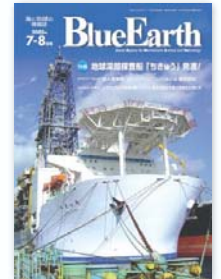
最初にお届けする号に同封する請求書に基づき、その号から年度最終号の3・4月号までを一括で当機構指定の口座にお振り込みください。(請求書発行日の翌月末までの平日に限り、横浜図書館でも請求書持参のうえでお支払いいただけます。その際は手数料は必要ありません。詳細は請求書とあわせてお送りする案内をご覧ください)

●お問い合わせ・申込先

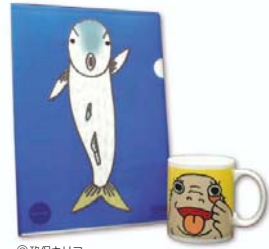
〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
海洋研究開発機構 横浜研究所 情報業務部 情報業務課「Blue Earth」編集部
TEL: 045-778-5350 FAX: 045-778-5424
E-mail: info@jamstec.go.jp

郵便番号・住所・氏名・所属機関名(学生の方は学年)・TEL・FAX・E-mailアドレス・定期購読を希望する刊行物名(海と地球の情報誌「Blue Earth」)

※定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号の3・4月号までとさせていただきます。申込日以前に発行されたバックナンバーの購読をご希望の方はあらかじめお問い合わせください。バックナンバー参照URL: <http://www.jamstec.go.jp/pdf/index.html>
※1年度あたり6回発行
※お預かりした個人情報は、「Blue Earth」の発送または確認のご連絡のために利用し、独立行政法人海洋研究開発機構個人情報保護管理規程に基づき安全かつ適正に取り扱います。



プレゼント Present



© 玖保キリコ

新江ノ島水族館オリジナルグッズ 玖保キリコさんデザインの マグカップとクリアファイル

今号の特別企画の記事で紹介した新江ノ島水族館では、国内外で活躍する漫画家、イラストレーター、写真家などのアーティストとコラボレートするアーティストプロジェクト「enoshima aquarium ART WORKS」を展開し、誕生したアート作品をデザインしたオリジナルグッズを開発しています。今回は、そのなかから漫画家・玖保キリコさんの作品をデザインした新江ノ島水族館オリジナルグッズ、マグカップとクリアファイルをセットにして、抽選で5名様にプレゼントいたします。

応募方法

官製ハガキに、1.プレゼントの品名、2.氏名、3.住所(郵便番号も含む)、4.年齢、5.職業(学生の方は学年)、6.電話番号、7.いちばん興味を持った記事、8.「Blue Earth」へのご意見・ご希望を明記の上、下記まで応募ください。応募締め切りは、2005年10月31日(月)当日消印有効です。なお、当選者発表は、発送をもってかえさせていただきます。

応募先

〒236-0001
神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
海洋研究開発機構 横浜研究所
情報業務部 情報業務課
「Blue Earth」編集室プレゼント係

※お預かりした個人情報は、プレゼントの発送または確認のご連絡のために利用し、独立行政法人海洋研究開発機構個人情報保護管理規程に基づき安全かつ適正に取り扱います。

編集後記

けて様々な試験や訓練を行った後、未知の地球内部研究に挑みます。「Blue Earth」では、タイムリーな企画を組んで、「ちきゅう」の話題を取り上げていきますのでぜひご期待いただきたいと思います。

さて、ちょっとおもしろい話題を一つご紹介いたします。

海洋の研究には、地球の軌道回る様々な衛星によって得られたデータ(水温、流れ、海面高度等々)が不可欠です。このような衛星のデータを利用するためには、従来、特別な契約やツールが必要で、一般の人が容易に利用することは困難でした。しかし、最近、おなじみの検索サイト「Google」が最新技術を使って始めた「Google Earth」によって、衛星で撮影した写真を誰でも利用できるようになりました。これは、「地球上の詳細な衛星写真の検索サービス」というもので、利用するのはとても簡単です。地域により、見え方は異なりますが、最も詳細な場所(都市部が多いようです)では、最大倍率にすると自動車のフロントガラスや人の影まで見えます。もちろん、JAMSTEC本部やこの横浜研究所は、建物どころか、立木や止まっている車まで確認できました。ちなみに、三浦半島にある編集者の家の屋根が、少しぼけていたとはいえ確認できたときは、驚くと同時に、さすがに少し背筋が寒くなりました。無料で公開している衛星写真でもこの程度なのだから、軍用用のものになるといった程度の解像度なのでしょう。それにしても、いつも空からだれかに監視されているかと思うと、あまりいい気持ちはしません。

(T.T)

賛助会(寄付) 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。(アイウエオ順)

平成17年9月現在

株式会社 アイ・エイチ・アイ マリンユニテッド	有限会社システム技研	株式会社日産クワイエティブサービス
アイウ印刷株式会社	シナネン株式会社	ニッスイ・エンジニアリング株式会社
株式会社アクト	清水建設株式会社	ニッセイ同和損害保険株式会社
株式会社アサツディ・ケイ	株式会社商船三井	日本SGI株式会社
株式会社浅沼組	株式会社湘南	株式会社日本海洋科学
アジア海洋株式会社	昭和ベトリウム株式会社	日本海洋船舶株式会社
石川島播磨重工業株式会社	株式会社白石	日本海洋計画株式会社
泉産業株式会社	社団法人信託協会	日本海洋事業株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	新日本海事株式会社	社団法人日本ガス協会
栄光電設株式会社	新日本製鐵株式会社	日本興亜損害保険株式会社
株式会社エス・イー・エイ	新菱冷熱工業株式会社	日本サルヴェージ株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	須賀工業株式会社	社団法人日本産業機械工業会
株式会社NTTデータ	鈴鹿建設株式会社	日本水産株式会社
株式会社エヌ・ティ・ティ・ファイナリティーズ	スプリングエイトサービス株式会社	日本電機株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	住友電気工業株式会社	日本飛行機株式会社
株式会社OCC	清進電設株式会社	日本ヒューレット・パッカード株式会社
オートマックス株式会社	セナーアンドバーンス株式会社	日本無線株式会社
沖電気工業株式会社	セントラル・コンピュータ・サービス株式会社	日本郵船株式会社
株式会社オーケービリアルティシステム	株式会社総合企画アンド建築設計	株式会社間組
株式会社海洋総合研究所	株式会社損害保険ジャパン	株式会社ハナサン
海洋電子株式会社	第一設備工業株式会社	海中製鋼工業株式会社
株式会社化学分析コンサルタント	株式会社大気社	東日本タグボート株式会社
鹿島建設株式会社	大成建設株式会社	株式会社日立製作所
カナダ株式会社	大日本土木株式会社	日立プラント建設株式会社
カヤバシステム マシナリー株式会社	ダイワティール株式会社	深田サルベージ建設株式会社
川崎設備工業株式会社	大陽日酸株式会社	株式会社フジクラ
株式会社川崎造船	有限会社田浦中央食品	富士ゼロックス株式会社
株式会社環境総合テクノス	高砂熟学工業株式会社	株式会社フジタ
株式会社関電工	株式会社竹中工務店	富士通株式会社
株式会社キュービック・アイ	株式会社竹中土木	富士電機システムズ株式会社
共立インシユアランス・ブローカーズ株式会社	株式会社地球科学総合研究所	物産不動産株式会社
共立管財株式会社	中国塗料株式会社	古河総合設備株式会社
極東貿易株式会社	株式会社鶴見精機	古河電気工業株式会社
株式会社きんでん	株式会社テザック	古野電気株式会社
株式会社熊谷組	寺崎電気産業株式会社	松本電機株式会社
株式会社クロスワークス	電気事業連合会	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント	東亜建設工業株式会社	株式会社丸川建築設計事務所
ケイシーケイ株式会社	東海交通株式会社	株式会社マルタン
京浜急行電鉄株式会社	海陽マリンシステムズ株式会社	株式会社マルト
ケー・エンジニアリング株式会社	東京海上自動火災保険株式会社	三鈴マナリー株式会社
KDDI株式会社	東京製綱繊維ロープ株式会社	株式会社みずほ銀行
株式会社ケンウッド	東北環境科学サービス株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
神戸ペイント株式会社	東北ニユークリア株式会社	株式会社三井住友銀行
国際気象海洋株式会社	東洋建設株式会社	三井造船株式会社
国際警備株式会社	株式会社東陽テクニカ	三菱重工業株式会社
国際石油開発株式会社	東洋熱工業株式会社	株式会社三菱総合研究所
国際ビルサービス株式会社	戸田建設株式会社	株式会社明電舎
小倉興産株式会社	飛島建設株式会社	株式会社森京建築事務所
五洋建設株式会社	五洋建設株式会社	有限会社やすだ
相模運輸倉庫株式会社	株式会社中村鉄工所	郵船商事株式会社
三建設工業株式会社	奈良建設株式会社	ユニオナブックス株式会社
株式会社三晃空調	西芝電機株式会社	ニューサル造船株式会社
三洋テクノマリン株式会社	西松建設株式会社	株式会社緑星社
株式会社ジーエス・ユアサ テクノロジー	日南石油株式会社	レコドマネジメントテクノロジー株式会社
財団法人塩事業センター	日油技研工業株式会社	若葉建設株式会社

海と地球の情報誌「Blue Earth」第17巻第5号(通巻第79号)2005年9月 発行
編集人 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 情報業務課 柴田 桂
発行人 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 情報業務課 土屋 利雄

本部〒237-0061 神奈川県横浜市長谷町2番地15 TEL.046-866-3811(代表)
横浜研究所〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25 TEL.045-778-3811(代表)
むつ研究所〒035-0022 青森県むつ市大字関根字北関根690番地 TEL.0175-25-3811(代表)
国際海洋環境情報センター〒905-2172 沖縄県名護市豊原224番地3 TEL.0980-50-0111(代表)
Washington Office1133 21st Street, NW, Suite 400 Washington, D.C. 20036, USA TEL.+1-202-872-0000(代表) FAX.+1-202-872-8300
Seattle Office810 Third Avenue Suite 632 Seattle, WA 98104, USA TEL.+1-206-957-0543(代表) FAX.+1-206-957-0546
東京事務所〒105-0003 東京都港区西新橋1-2-9 日比谷セントラルビル10階 TEL.03-5157-3900(代表)

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/> Eメールアドレス info@jamstec.go.jp
制作 株式会社 ミュール

※本書掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます



オオグチボヤ *Megalodicopia hians*

ホヤ（原索動物）の仲間としては珍しい、深海に生息するオオグチボヤ。多くのホヤの入水孔は先が細くなっており、吸引力を高める働きをしている。ところが、オオグチボヤの入水孔は、名前の通り、まさに大口だ。なぜこのような大きな入水孔を持っているのか、どのような利点があるのか、研究者も首を傾げる。接触や強い光などの刺激を与えると、オオグチボヤは上の画像のように、口を閉じ、うつむくように頭を下げる。その姿には、どことなく愛嬌さえ感じられる。

(今号の巻頭に関連記事を掲載)

独立行政法人

海洋研究開発機構

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>