

海と地球の
情報誌

2005年

11-12月号

BlueEarth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

特集

温暖化と地球環境の未来

特別企画

科学技術の未来を予測

JAMSTEC Report 高知コアセンターを改組してできた「高知コア研究所」

Aquarium Gallery ジンベエザメを大海原に還す

02/01/14.13:56:51.2560m

深海に現われた地殻・マントル境界

アトランティス海台南西斜面（水深2,562m）

取材協力：熊谷 英憲 研究員

地球内部変動研究センター地球内部構造研究プログラム

02/01/14.13:56:44.2561m

02/01/14.13:52:26.2561m

02/01/14.13:52:11.2561m

02/01/14.13:52:47.2561m

02/01/14.13:52:47.2561m

02/01/14.13:52:39.2561m

02/01/14.13:53:34.2562m

02/01/14.13:53:37.2562m

02/01/14.13:52:47.2561m

02/01/14.13:52:47.2561m

02/01/14.13:52:39.2561m

02/01/14.13:52:39.2561m

02/01/14.13:52:39.2561m

02/01/14.13:52:39.2561m

02/01/14.13:52:39.2561m

02/01/14.13:52:39.2561m

深海掘削の大きな目標のひとつは、海洋地殻を掘り抜きマントル物質を採取することだ。しかし、人類未踏の領域である地殻・マントル境界への到達には、まだ時間がかかりそうだ。ところが、この地殻・マントル境界が、壮大な地球の運動によって、突如として私たちの目の前に姿を現わすことがある。海洋地殻の断片が大陸地殻に乗り上げて地上に現われた、オフィオライトと呼ばれる複合岩体がそれだ。上部マントル物質（かんらん岩）の上に海洋地殻を構成する岩石（はんれい岩）が乗り、さらに海底火山の溶岩、海底堆積物が層状に積み重なった岩体がオフィオライトだ。そして、この層構造のなかに、岩石学的な意味での地殻・マントル境界を見ることができる。こうしたオフィオライトと同様の構造は、海洋底で深部岩石が露出している中央海嶺付近の断裂帯などでも見られるのではないかと考えられている。そして、2002年1月、南西インド洋・アトランティス海台南西斜面に潜航した潜水調査船「しんかい6500」は、世界で初めて実際に深海底でオフィオライトと同様の構造を持つ露頭を見出した。画像のほぼ中央、はっきりとした縞模様の層は、海洋地殻を構成するとみられる層状はんれい岩であり、その下にマントルかんらん岩の層が広がっている。つまり、この両者の境界が地殻・マントル境界にあたるのではないかと推測されているのだ。これが、本当にかつての地殻とマントルの境界であったかどうかについては、まだ疑問も残されているという。だが、発見されたこの岩体が、地球内部を理解するための貴重な情報のひとつであることは確かだ。

BlueEarth

11-12月号/2005

CONTENTS

- 2 特集 温暖化と地球環境の未来
地球温暖化は環境をどのように変化させるのか？
温暖化がもたらす地球環境変動を探る
- 4 地球温暖化に伴って海洋生態系はどのように変化するか
- 8 高精度海洋観測から明らかになった
海洋コンベアベルトの変動
- 12 新たな解析手法で温暖化による
降水量変化のメカニズムに迫る
- 16 Key Person
深海調査研究計画委員会 藤本博己 委員長
- 20 特別企画 科学技術の未来を予測
海洋・地球科学とその技術は
どのように発展していくのか
- 28 Aquarium Gallery
ジンベエザメを
大海原に還す
- 30 JAMSTEC Report
高知コアセンターを改組してできた
「高知コア研究所」
- 34 Marine Science Seminar
「雲とそのモデリング」
～基本の仕組みから気候モデルでの取り扱いまで～
- 38 BE ROOM
横浜研究所・地球情報館で
「ちきゅう」特別企画展を開催
海と地球のQ&A/BOOK
- 39 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

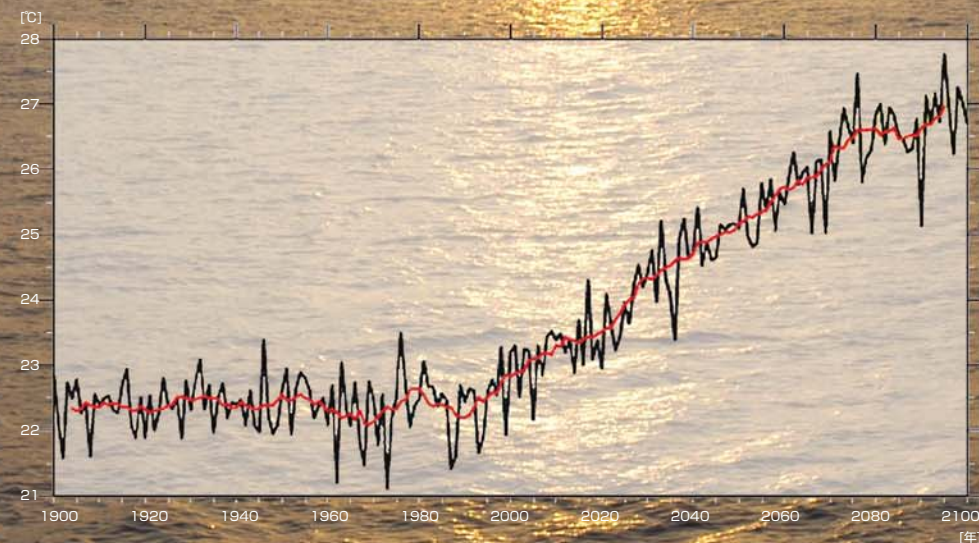
表紙：「地球シミュレータ」によって計算された
年平均地表気温上昇量の地理分布

地球温暖化は環境を どのように変化させるのか!? 温暖化がもたらす地球環境変動を 探る

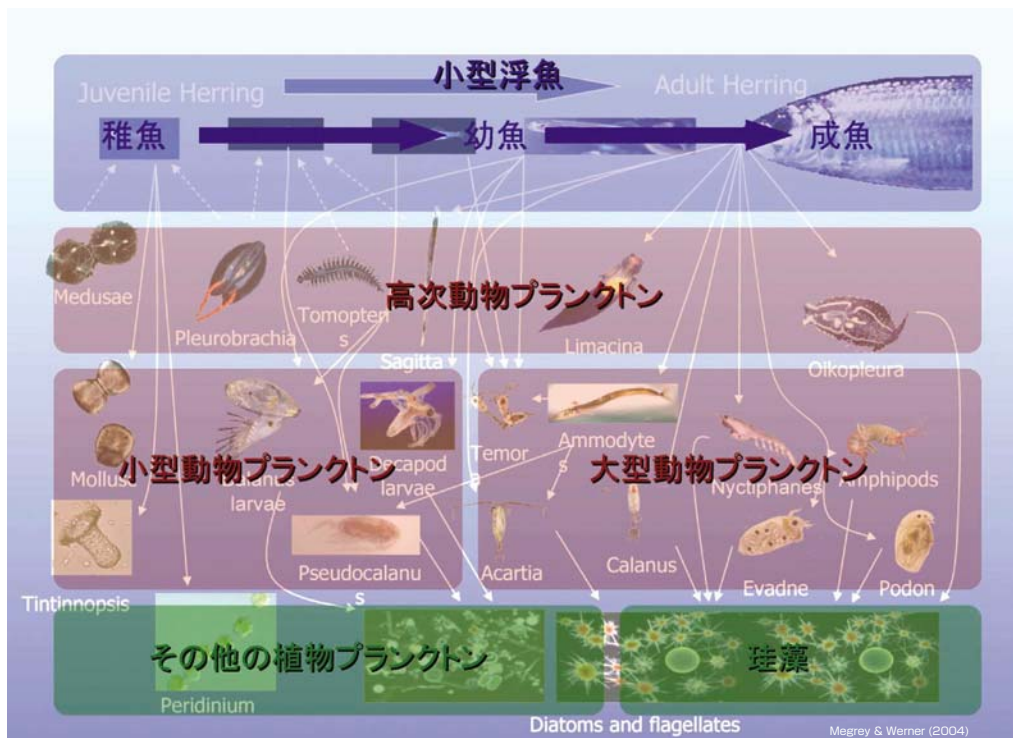
20世紀の間に、世界の気温は約0.6度上昇したとされる。また、日本ではさらに大きな気温の上昇が見られ、20世紀中に約1.0度上昇したといわれている（気象庁「20世紀の日本の気候」）。さらに、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、2001年にまとめた「第三次評価報告書」において、地球全体で見たとき、観測機器による記録がある1861年以降で、1990年代はもっとも気温が高い10年間であり、北半球においては、20世紀は過去1000年のどの世紀よりも、気温上昇が大きかった可能性が高いとしている。そして、この温暖化は、地球本来の自然変動のみによってもたらされた可能性は低く、人間活動に伴って排出された二酸化炭素などの温室効果ガスによる可能性が高いことを指摘している。

地球の温暖化は、このまま21世紀も続くのだろうか。現在、多くの研究者らが、温暖化予測の研究に取り組み、今後、地球環境がどのように変動するのかを明らかにしようとしている。そして、大規模なシミュレーション研究などから、このままでは、少なくとも21世紀は地球温暖化が進行する可能性が高いと予測されている。

地球温暖化問題は、温度上昇そのものよりも、それによってもたらされる海面上昇や異常気象、さらには食料供給などにも関係する生態系の変化や自然災害の増大など、温暖化が間接的に引き起こす私たちの暮らしへの影響こそが、より深刻といわれている。地球温暖化は、地球環境をどのように変えようとしているのだろうか。



「地球シミュレータ」によって計算された、日本の夏季（6～8月）の平均気温予測。黒線が年々の値で、赤線が10年間ごとの平均値（10年移動平均）。将来の世界が環境よりも経済重視で国際化が進むと仮定したときのシナリオ（2100年の大気中の二酸化炭素濃度が720ppm）による計算。2071～2100年の夏季の平均気温は、1971～2000年に比べて4.2℃上昇するという予測結果が出た。
(CCSR/NIES/FRCGC)



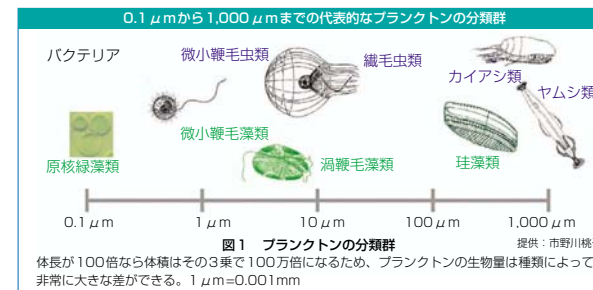
地球温暖化に伴って海洋生態系はどのように変化するか

気温上昇のみならず大気のコ₂濃度の影響も大

食用の魚類を含む海洋生態系のほとんどの生物は、植物プランクトンを動物プランクトンが食べ、さらに大きな肉食性の動物プランクトン→小型魚→大型魚の順で形成される食物連鎖に依存している。もし温暖化によってプランクトンが大きく増減すれば、われわれの食卓に上る魚などにも影響が出るはずである。このように海洋生態系の研究にはプランクトンが非常に重要となる。山中サプリーダーらは、地球温暖化によってプランクトンがどのような影響を受け、さらにはそれが海洋生態系全体にどう影響するかについて研究を進めている。



取材協力:
山中 康裕 サプリーダー
地球環境フロンティア研究センター
生態系変動予測研究プログラム
海洋生態系モデル研究グループ



海洋生態系におけるプランクトンの位置づけ

プランクトンは最も小さいバクテリアや原核藻類が体長0.1 μm程度、珧藻類が100 μm、カイアシ類など大型動物プランクトンで1,000 μm以上と多種多様である(図1)。プランクトンの繁殖には光、そして窒素やリンなどの栄養塩が不可欠だ。亜寒帯海域は栄養塩が豊富で、亜熱帯海域では少ない。海面近くで植物プランクトンが光合成し体内に蓄えた有機物の一部は、食物連鎖を経てやがてはマリンスノーとして海底に沈んでゆき、再び溶けるため、栄養塩は深層の海水のほうが豊富である。湧昇海域など、深層の海水が表層の海水と混じりやすく栄養塩の豊かな海域には珧藻類などの大きなプランクトンが生息し、栄養の少ないところには小さなプランクトンが多い。プランクトンは体表面から海水とともに栄養塩を取り込むので、体の大きさに対して海水に触れている表面積の比率が大きいほうが生存に有利となるため、栄養塩が少ないと小さなプランクトンが優勢となるのである。

植物プランクトンは、一日に最大で2〜3倍、一週間は約10〜100倍に増える。また、海の表層近くで光合成を行っている。植物プランクトンの生息する層では冬は海面の海水が冷やされて上下の循環が起こりやすく栄養塩が豊富だが、その間は太陽光が弱く、光の量が不十分なため植物プランクトンは少ない。

そのプランクトンが、春先に暖になると光合成を行って盛んに分裂を繰り返し爆発的に増える。これを「春季ブルーム」と呼ぶ。

食物連鎖でいえば、動物プランクトンは水とともにエサを吸い込んでこし取るため、必ず自分の体より少し小さなものを食べている。そこで栄養塩が少ない外洋域などでは食物連鎖の最終段階までの食物段階数が多くなり、栄養塩が豊かな湧昇域では、大型植物プランクトンから

連鎖が始まるので、最終段階までの食物段階数が少なくなる(図2)。生物は食物のすべてを自分の体の材料とするわけではなく、生命維持や活動のエネルギーとして消費したり、未消化で排泄する割合のほうがはるかに大きい。プランクトンは食べたエサに含まれる有機物のほぼ10%を自分の体の構成物質とする。そこで食物段階が多くなるほど、有機物の転送効率が悪くなり食物連鎖の終わりのほうに位置する魚類はエサにできる有機物の供給量が減る。結果として水産資源量に大きな違いを生む。またプランクトンは海水中の炭素を取り込んで有機物にしているので、プランクトンが減ると海水中のCO₂濃度が下がらなくなり、海水のCO₂吸収量も減少する。

温暖化の影響を大きく受ける海域とその時期

北海道沖では過去数十年間の生物基礎生産(光合成)量と大型動物プランクトン

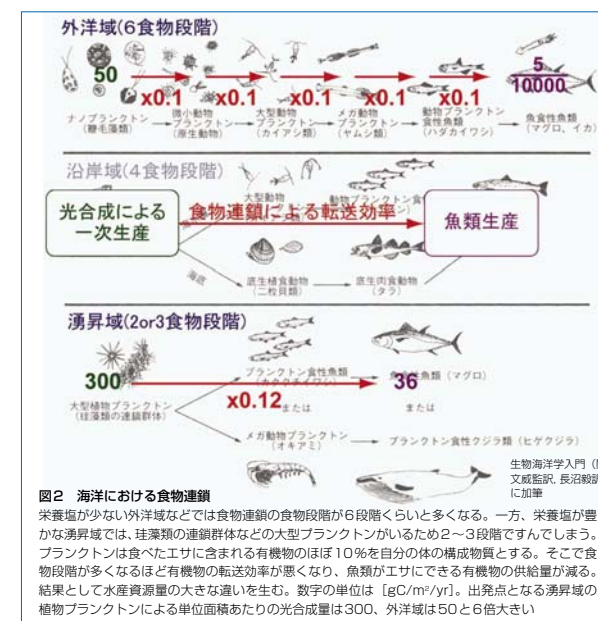


図2 海洋における食物連鎖
栄養塩が少ない外洋域などでは食物連鎖の食物段階が6段階くらいと多くなる。一方、栄養塩が豊かな湧昇域では、珧藻類の連鎖群体などの大型プランクトンがいるため2〜3段階ですんでしまう。プランクトンは食べたエサに含まれる有機物のほぼ10%を自分の体の構成物質とする。そこで食物段階が多くなるほど有機物の転送効率が悪くなり、魚類がエサにできる有機物の供給量が減る。結果として水産資源量の大きな違いを生む。数字の単位は [gC/m²/yr]。出発点となる湧昇域の植物プランクトンによる単位面積あたりの光合成量は300、外洋域は50と6倍大きい

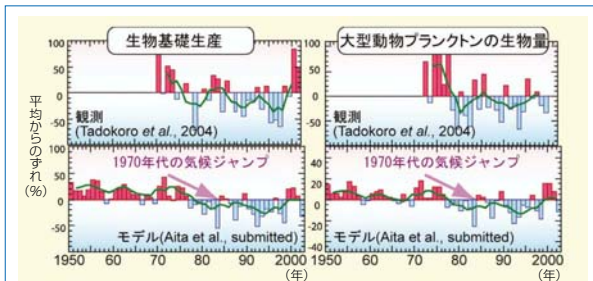


図3 水平分解能海洋生態系モデルによる1948～2000年間の経年変動の再現
生物基礎生産(光合成)でも、大型動物プランクトンの生物量でも、過去の観測値とモデル計算の結果は相似したパターンを描き、1970年代の気候ジャンプも再現できている。緑線は5年間の移動平均を示す

量が観測されている。水平分解能海洋生態系モデルを用い1948～2002年の経年変動の再現を行って、その結果と観測値とを比較した(図3)。モデル計算は過去の気候データ(海上風、海上気温など)を使い、海洋循環とその変動によって、栄養塩供給や動物プランクトンが増減する、といった一連の過程が入った式を用いた(物理的な観測データを用い、栄養塩や生物量などの観測データは使っていない)。北太平洋では1970年代に海の様相が変わる「気候ジャンプ」という現象(大気循環や水温分布が変わる現象)が知られている。モデル計算の結果、気候ジャンプを含め、観測された傾向を大まかに再現した。このように過去の観測値が再現されることを確認したうえでこのモデルを使い日本近海における温暖化の予測を試みた。結果は以下のとおりだ。



図5 翼足類・ウキビシガイ
ウキビシガイやミジンウキマイマイは北太平洋から南極海まで広く分布する

温暖化が進むと暖冬が増える。そのとき海面近くの表層水があまり冷やされないため、その下の亜表層(表層水の下部にある海水の層、深さ150～400m程度)と混じりにくくなる。すると表層水に栄養が届かなくなるので植物プランクトンの光合成が抑制される。結果としてプランクトンが減り、魚が減る。

温暖化が進む場合に問題になるのは、すべての海域で一様に温暖化が起こるのだろうかということである。これについては個別の海域で定量的に検証を行う必要がある。その結果、生態系が大きな影響を受けるのは亜寒帯海域など栄養塩の豊富な海域でもなく、栄養塩の少ない亜熱帯海域でもない中緯度の適度に豊かな海域(混合水域)だということがわかった。現在注目されているのはプランクトンとマグロなどの大型魚をつなぐ役割をするイワシなどの小型魚が温暖化によってどのような影響を受けるかである。亜熱帯循環の黒潮系の海水と亜寒帯循環の親潮系の海水の間、2つの海水が混じる三陸沖の混合水域を見ると、春季ブルームの時に最も大きな影響を受ける(図4)。温暖化時のプランクトンの量は、冬場は現在よりも多くなるものの、ブルーム開始は2週間早まり、亜表層からの栄養塩が来なくなるのでブルーム後半時には30%も減る。ちょうど小型魚が大量にプランクトンを摂食して成長しようとす

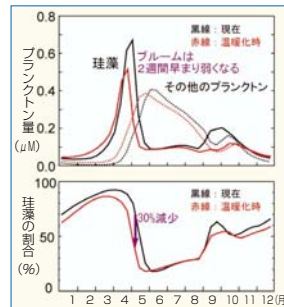


図4 プランクトンの黒潮流域での季節変化
温暖化時、春季ブルームが早まり珪藻の量のピークが小さくなる。小型魚が成長する時期には珪藻の割合が30%減少。その結果食物連鎖が長くなり、小型魚の餌は半分程度に減少する。またわずかでも成長が遅れると生存競争に負ける率が高まり、サンマ、マイワシ、カタクチイワシなどの資源量に影響する

る春季ブルームの時期にプランクトンが減ると、小型魚にはかなりの影響がある。それによって水産資源としての魚の量は激減するかもしれない。

今後は観測を行う研究者と協力して実験室やメゾコズム(中規模生態系実験室)で重要なプランクトンの性質を確かめたり、温暖化によってプランクトンの種構成が変わる可能性があることなどを考慮し、今回の研究で使用したモデルの精度を高めていく予定である。

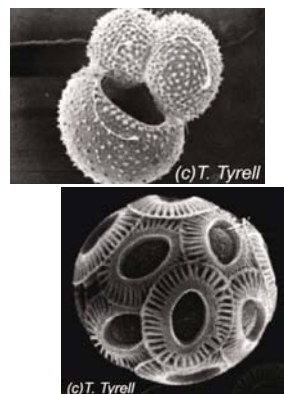


図6 有孔虫(上)と円石藻(下)
アラゴナイトよりも丈夫なカルサイトの殻を持つが、円石藻や有孔虫もCO₂濃度が750～1,000ppmで溶け出すことが知られている



図7 冷水サンゴ
大陸棚から数kmの深さまでの北太平洋を中心とした海底にサンゴ礁を形成し、深海魚、ウナギ、カニ、ウニなどの生息環境になっている

CO₂の増加によって プランクトンの殻が溶ける

また新たにわかってきたのは、気温の上昇を伴わなくても、大気中のCO₂濃度のみで海洋生態系が大きな影響を受けることである。これまで山中サブリーダーらが参加してきた国際研究チーム・海洋炭素循環モデル相互比較計画(OCMIP)の予測では、2100年には南極海および北太平洋亜寒帯の翼足類(炭酸カルシウムの殻を持つプランクトン)(図5)の殻が溶け出すという結果が出た。この結果については、フランスのJ. Orr博士を筆頭著者として9月29日のネイチャーで発表された。

海水は弱アルカリ性なので、弱酸性のCO₂と中和反応を起こすことでCO₂を多く吸収している。大気中のCO₂濃度が上がって海洋に溶けると海水のpHが下がる。現在海水はpH8.1だが、大気中のCO₂濃度が800ppm近くになるIPCCのシナリオ(IS92a)をもとに算出するとpH7.8に下がると予測される。弱アルカリ環境である海水中CO₂が溶け込むと、炭酸イオンが重炭酸イオンに変化するため

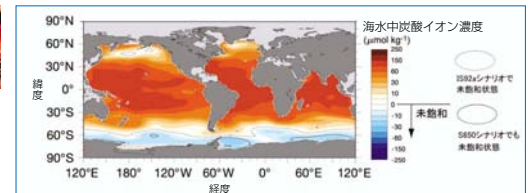


図8 2100年時点での海水中炭酸イオン濃度についてアラゴナイト飽和度からの差
IS92aのシナリオでは、2100年には南極海と北太平洋亜寒帯で、アラゴナイトが未飽和、つまり溶け出す海域が広がっている

炭酸イオンが減る。2100年までにpHが0.3下がると、それに伴って炭酸イオンは半分に減る計算になる。

生物の殻となる炭酸カルシウムにはカルサイトとアラゴナイトがある。炭酸イオン濃度が現在の半分に減ると、アラゴナイトの炭酸カルシウムが、海水に溶けずにすむアラゴナイト飽和濃度よりも少なくなる。アラゴナイトで殻を作る生物の代表は動物プランクトンである翼足類とサンゴだ。同じプランクトンでもカルサイトの殻を作る有孔虫や円石藻(図6)は、殻が丈夫なのでこの炭酸イオン濃度ではまだ溶け始めることはない。サンゴも暖かい海のものpHが下がりにくいため溶けない。問題は翼足類と冷水サンゴ(図7)である。南極海の周辺では2050年から徐々にアラゴナイトが溶け始める海域が出てくる。2100年にはそれが南極

海全体に広がり、北太平洋の亜寒帯の海にも現れ始める(図8、図9)。翼足類と冷水サンゴは絶滅の可能性があるほど大きな影響を受けると考えられる。

これまでCO₂の増加に伴う炭酸イオンの減少は22世紀や23世紀頃、大気中のCO₂濃度が1,000ppmを越えた時に初めて起る現象だと考えられていた。しかしこのプロジェクトのモデル計算ではそれが大幅に早まった。

広範囲に生息する翼足類がかなりのダメージを受けることは間違いない。翼足類は動物プランクトンから魚やクジラまで食物連鎖のさまざまな食物段階にある海洋生物に捕食されており、なかでもサケ、ニシン、タラ、サバなど広く食用とされている魚類に重要な種類のエサとなっている。翼足類の減少は、海洋生態系全体に大きな影響を与えると考えられる。その影響の程度は今後の研究課題の一つである。

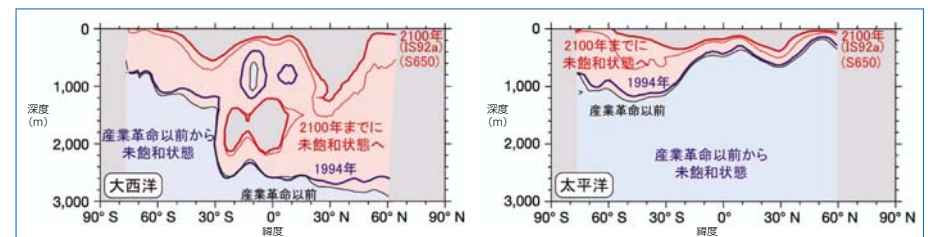
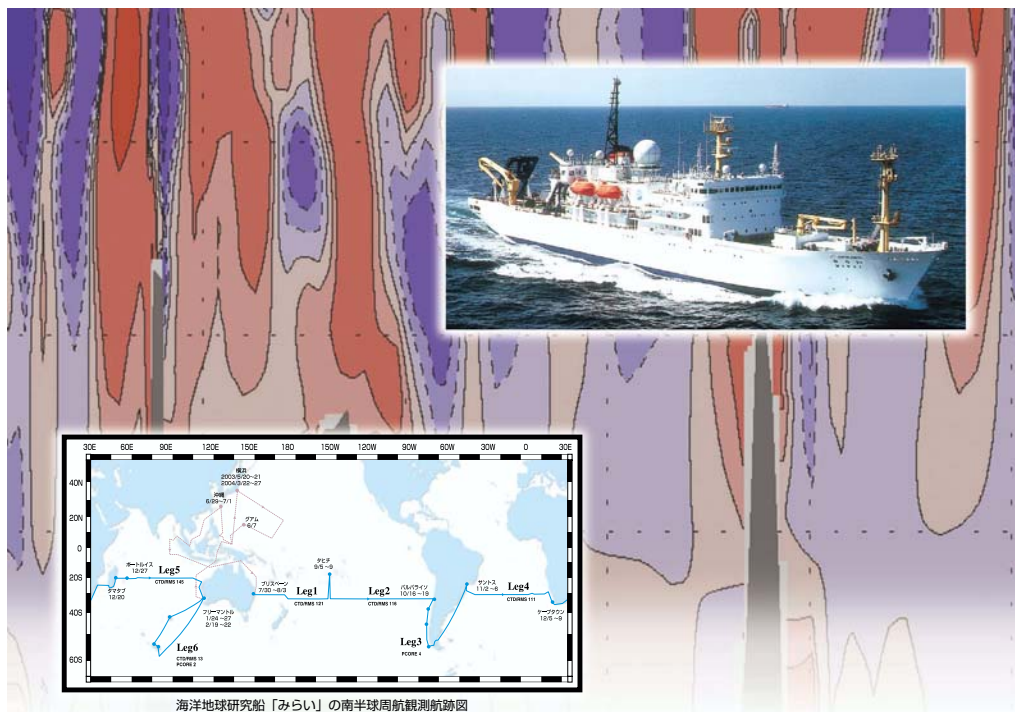


図9 海水中炭酸イオン濃度についてアラゴナイト飽和度からの差 2100年での太平洋・大西洋における南北一深度分布
海中炭酸イオン濃度とアラゴナイト飽和濃度の差は、圧力効果により海の深いところほど小さくなる。よってCO₂濃度が増える産業革命以前から深海ではアラゴナイト濃度が未飽和であった。黒線に区切られた水色の部分はその分布を示す。大気中CO₂濃度の上昇による海洋の酸性化に伴い、アラゴナイト未飽和の領域が浅い部分に及んでいる。1994年には粗の太線部分までが未飽和となり、2100年までにS650シナリオでは細い赤線まで、IS92aシナリオでは太い赤線までが未飽和になると予測される



高精度海洋観測から明らかになった 海洋コンベアベルトの変動

コンベアベルトに乗った海水の昇温は何を意味するのか

世界の海洋をめぐる大きな対流として知られる海洋コンベアベルト。このコンベアベルトは、地球の気候や海水中の様々な物質の分布に大きく関係している。たとえば、その始点である大西洋のグリーンランド沖では、海水が冷やされて沈降していくことで、逆に大気が加熱され、最終氷期以降、ヨーロッパさらには地球全体が温暖な気候を維持することに貢献してきた。だが、近年、これまで想像もできなかった大きな変化が、海洋コンベアベルトでおきていることが明らかになった。世界の様々な海域で実施されている高精度な海洋観測が明らかにした、この大きな変化とはどのようなものなのか、また、海洋コンベアベルトの変動は地球の気候にどのような影響を与え、私たちの暮らしに何をもちたそうとしているのだろうか。

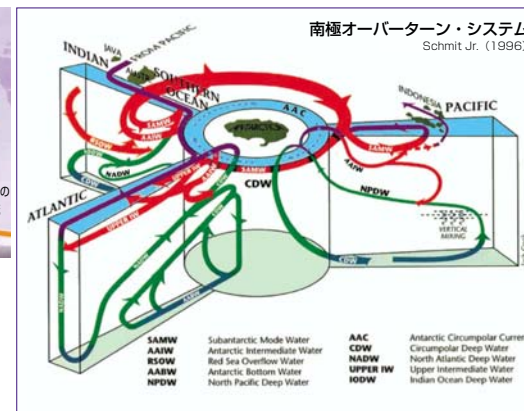


取材協力：
深澤 理郎 びつ研究所 所長
地球環境観測研究センター
海洋大循環観測研究プログラム
プログラムディレクター



出典：気象庁編「異常気象レポート2005」

上図は海水の大規模な対流（熱塩循環）による深層と表層の輸送経路を概念的に示している。右図は、南極で沈み込んだ海水が各大洋に分配される様子が詳しく描かれた「南極オーバーターン・システム」の図



海洋コンベアベルトとは

海洋コンベアベルトは、大西洋のグリーンランド周辺と南極周辺を始点として世界の海洋の深層を巡り、やがて表層に上がって再びグリーンランド沖へと戻る大きな対流だ。こうした対流はなぜ生じるのだろうか。地球表面に蓄えられる熱的構造の緯度分布を見ると、南緯および北緯40度より高緯度の極側は常に冷却され、低緯度の赤道側は常に加熱される。このため、海洋表層の温度分布を見ると赤道域では高く、高緯度域では低い。高緯度で冷却された海水は、密度が大きくなるため、深海に沈み込んで深層に広がっていく。もちろん、実際の海洋は、これほど簡単ではない。水温とともに、海水の密度を決めるもうひとつの要素が塩分だ。海水の塩分が濃くなるほど密度は高くなり、沈みやすくなる。特に、0〜5℃といった低い水温では、塩分が密度に大きく影響する。密度の高い海水の沈み込みは、世界の海洋の様々な海域でおきているが、海洋表層の温度分布や陸域の分布、海面での蒸発量、降水量や河川からの真水の流入量などによって、その冷却の強さや塩分濃度が異なるため、海域によって沈み込みの規模や強さは違っている。こうした沈

み込む海水と同じ量の上昇する海水がある。上昇した海水は中層水や表層水となる。こうした一連の鉛直方向の対流が熱塩循環だ。重要なのは、熱塩循環で海水が沈み込む際、大気との間で熱や物質の交換が行われ、その結果を深海に閉じ込めて広い範囲に分配する役割を果たしている点だ。これによって、熱塩循環は地球の気候や物質の分布に大きな影響を与えている。

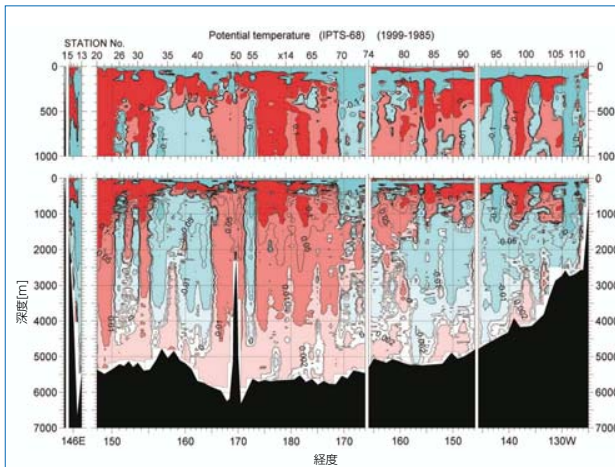
グリーンランド沖では、大西洋を上した海水が冷気によって冷やされ大規模な沈み込みがおきている。大西洋では降水量が蒸発量よりも少なく、海水は高塩分となっているために比較的高温の海水にも沈み込みが生じる。その量は、毎秒1,500〜2,000万トンといわれている。地球規模で対流する巨大な流れ、海洋コンベアベルトのスタートである。だが、このコンベアベルトは平均毎秒数cm、あるいは毎秒数mmといった極めてゆっくりとした流れで、最も長い経路では、片道約1500〜2000年という長い時間をかけて海洋を巡っている。

グリーンランド沖で沈み込んだ重い海水は、北南米大陸に沿って大西洋を南下する深層海流となり、やがて南極大陸を巡る南極周極流に集まる。そし

て、この南極の周りで、新たに冷却されて沈み込んできた海水と混ざったり、沈み込んだまま到達した海水が、各大洋の対流に再分配される。ちなみに、この南極周辺で沈み込む海水の量は、毎秒3,000〜5,000万トンという膨大な量であり、このため、各大洋の大部分を占める中・深層および底層水の物理・化学的な特徴の多くが、この南極からもたらされている。

すでに測定可能な変化がおきている

地球規模で大洋を巡る海洋コンベアベルトに、いま、変化がおきているといわれている。その主要原因とされるのが地球温暖化だ。南極海では過去50年間で、南極周辺で沈み込んだ中層海水の塩分低下が顕著であるといわれる。低下した塩分濃度と沈み込んだ海水の総量から計算すると、毎秒200万トンもの真水が南極周辺にインプットされていることになる。真水は、主に南極で解けた氷から生じたものと考えられるが、これほどの量が解け続けているかどうかは定かでない。また、過去50年間で、地球の全海域では深度300mより上層で1.7℃の水温上昇が確認されている。さらに南極周辺海

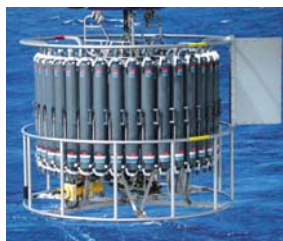


北太平洋の北緯47度に沿って実施された1999年と1985年の観測結果の水温差。暖色系が昇温、寒色系が冷却を表している（観測の精度は約1000分の1℃）。海洋コンベアベルトの深層部分は深度4,000mから海底にかけて存在しているが、その深層部分が一樣に昇温していることが分かる。昇温の大きさは1000分の5℃。これと同様の現象は、西部北太平洋の低緯度域でも確かめられている。

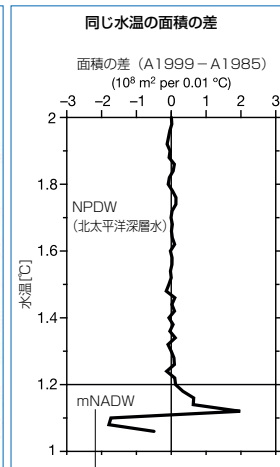
域では、深度2,000mまでの平均を見ても有意な水温上昇が認められている。300mの厚さの海水の1.7℃の昇温を大気換算すると、気温が16℃上がるのと同等の熱量であり、これは膨大な量だ。こうしたデータは、南極の海水の沈み込みに何らかの変化がおきているか、現在おきつつあることを物語っているのかもしれない。つまり、今日、私たちが海洋コンベアベルトの何らかの変化に立ち会っているのかもしれないのだ。

本当に、海洋コンベアベルトは変化しつつあるのだろうか。2003～2004年にかけて、海洋研究開発機構が実施した南半球周航観測航海（BEAGLE 2003）は、南半球中緯度を太平洋、大西洋、インド洋と一気に横断し、その間約500点で高精度の海洋観測を実施。さらに、航海で手に入れたほとんどのデータの品質管理を1年で完了させ、世界の研究者に公表することを成し遂げた。この貴重な観測データの解析から、海洋コンベアベルトに関する

興味深い解析結果が得られている。BEAGLE2003で得られた水温のデータを、1990年代に同じ測線で実施された観測結果と比較したところ、海洋コンベアベルト深層部分で、平均0.009℃の有意な昇温が認められたのだ。また、太平洋では顕著な低塩分化も確認された。こうした変化は、表層の海水が暖まったためにおきたのだろうか、それとも、沈み込む海水の量が少なくなったことを示しているのだろうか。それを調べるため、測線を通する海水の量が計算された。その結果、太平洋と大西洋では、南極で沈み込む



鉛直36層の海水を採取するCTD採水器

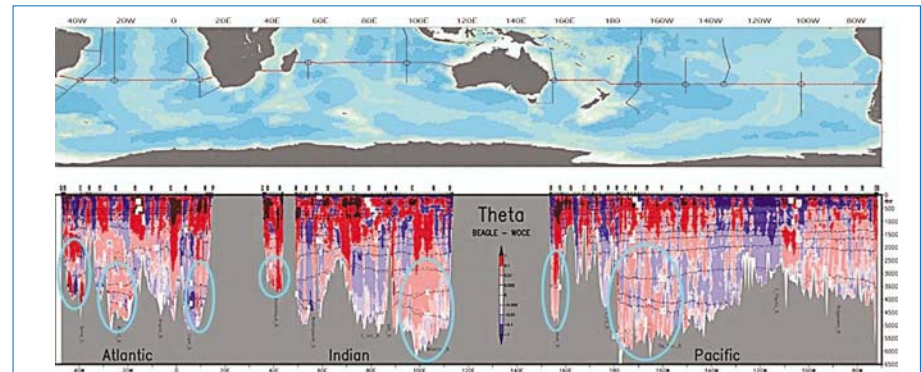


1999年と1985年の観測断面を比較したとき、同じ温度が占める面積の差。1.1℃を境目に温度が高い方の海水（北大西洋深層水起源の底層水）が増加し、低い方の海水（南極底層水の影響を強く受けている底層水）が減少していることが分かる

北に向かう海水の量が減少していることが分かった。インド洋では逆に増加していた。（インド洋については、太平洋、大西洋が南緯30度で観測を行ったのに対して、ここだけ南緯20度に沿って観測が行われたため、季節変動など他の要因が影響していることも考えられる）。これらの結果を全大洋の全層でまとめてみると、海洋コンベアベルトの流量は、浅層・中層・深層のいずれにおいても、1～2割減少しているという結果になった。つまり、この



BEAGLE2003では約500点で観測を実施

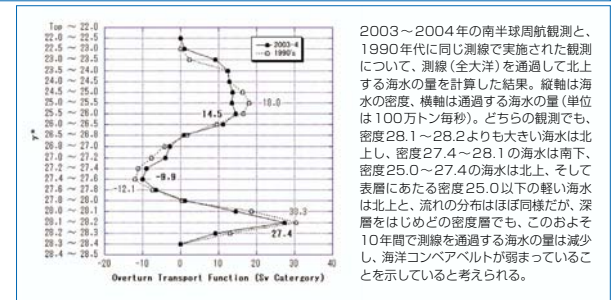


上の地図は、2003～2004年に実施された南半球周航観測航海（BEAGLE2003）の測線を、下図は観測航海で測定された水温と1990年代に観測された水温の差。暖色系が昇温、寒色系が冷却を表している。水色の楕円は海洋コンベアベルトの深層部分を示している。明らかに昇温していることが確認できる。

10年間で、海洋コンベアベルトは弱まっていたことが示された。

海洋コンベアベルトの変化はなぜ生じたのか

海洋コンベアベルトを大気の外から見よう。大量の海水が冷却されて沈み込むとき、海水は大気に対して大量の熱を放出していることになる。つまり、海水が沈み込む海域では、大気は加熱されているわけだ。しかし、南極周辺を起源とする海洋コンベアベルトがこの10年間で弱まっているということは、この加熱も弱まっていることになる。そこで、測線を通し南極周辺に集まる熱量の変化を計算したところ、南極周辺に関しては、10年前に比べ海洋コンベアベルトによる大気



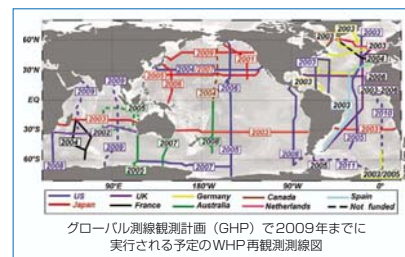
2003～2004年の南半球周航観測と、1990年代に同じ測線で実施された観測について、測線（全大洋）を通過して北上する海水の量を計算した結果。縦軸は海水の密度、横軸は通過する海水の量（単位は100万トン毎秒）。どちらの観測でも、密度28.1～28.2よりも大きい海水は北上し、密度27.4～28.1の海水は南下、密度25.0～27.4の海水は北上、そして表層にある密度25.0以下の軽い海水は北上と、流れの分布はほぼ同様だが、深層をはじめどの密度層でも、このおよそ10年間で測線を通する海水の量は減少し、海洋コンベアベルトが弱まっていることを示していると考えられる。

の加熱が1/3以下になったという結果が得られている。

海洋コンベアベルトには、すでに測定可能な変動が生じている、これは非常に重大なことだ。ひとつの例として、もしも、このまま海洋コンベアベルトが弱まり続けたら、地球環境にどのような変化が現われるのだろうか。地質

大陸のローレンタイド氷床の融解によって発達した氷河湖が崩壊し、大量の真水が大西洋に流れ出し、海水の塩分濃度が低下して海洋コンベアベルトが停止したと考えられている。これにより大気への熱放出も停止し、北半球は気温にして10℃という急激な寒冷化に直面した。

今回、BEAGLE2003から明らかになりつつある海洋コンベアベルトの変化が、さらに地球環境にどのような影響を及ぼすのか、特に現在進行している地球温暖化とどのように関連しているのか、これらの疑問に答える地球環境変動予測研究は、観測データの統合や「地球シミュレータ」を主力とするモデル研究を含め、さらに強化される必要があるだろう。



グローバル測線観測計画（GHP）で2009年までに実行される予定のWHP再観測測線図



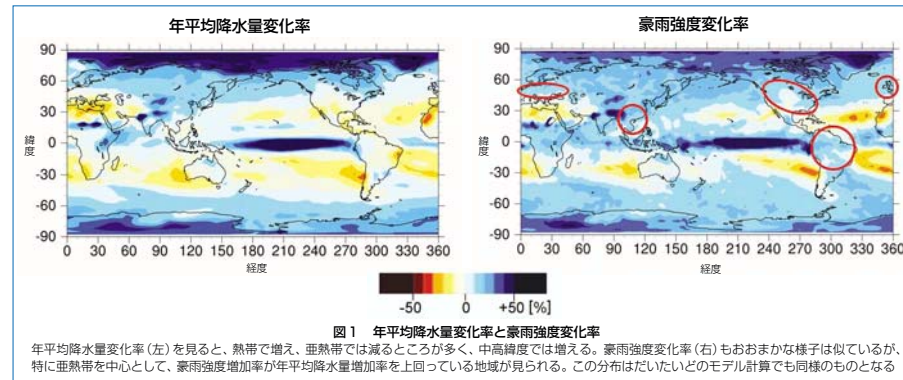
新たな解析手法で温暖化による降水量変化のメカニズムに迫る

水蒸気の増加という現象から、豪雨の強まる地域を予測

江守正多グループリーダーは、英国気象局ハドレーセンターと共同で、地球温暖化の際に降水量はどのように変化するかを研究してきた。今回、複数の気候モデルで計算された温暖化予測結果を、新たに開発した手法を用いて解析し、地球温暖化に伴う年平均降水量の変化だけでなく、災害をもたらす可能性が高くなる、極端に強い雨（豪雨）が温暖化によって変化するメカニズムを明らかにした。それによって、温暖化時には大気中の水蒸気が増加し、地球上の特定の地域で、平均的な降水量が増加しないにもかかわらず、豪雨強度が顕著に増加することが分かった。



取材協力：
江守 正多 グループリーダー
地球環境フロンティア研究センター
地球温暖化予測プログラム
地球温暖化研究グループ



温暖化時に豪雨の強まる地域とそのメカニズムを探る

地球温暖化の際に降水量がどう変化するかに関するコンピュータ・シミュレーションによる研究では、今まで「平均的な降水量がどう変わるのか」という議論が主であった。江守グループリーダーらはそれに加え、社会への影響力が大きいと思われる極端に強い雨（豪雨）が増えるかどうかに着目して研究を行った。その背景には、最近のシミュレーションモデルの性能向上により、より詳細な解析が可能になっていることがある。

最近の研究では、温暖化時に全地球平均の年平均降水量が増えることはほぼ確実であり、また全地球平均の豪雨強度（例えば、年最大日降水量）は年平

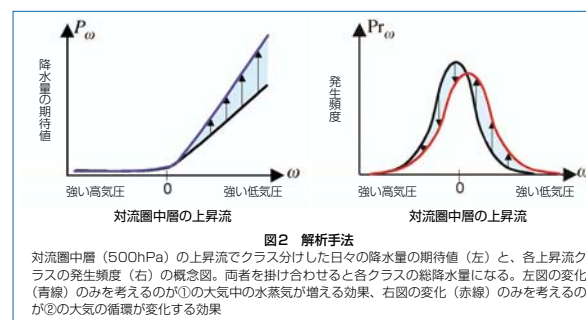
均降水量よりも大きな割合で増えると考えられている。では実際にはどこで豪雨強度が増えるのだろうか。豪雨強度変化率の地理的な分布と、なぜそのような偏りが生まれるのかというメカニズムについて調べた。

地球温暖化研究グループが「地球シミュレータ」を使って行ったモデル計算結果を含む、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次報告書に向けた国内外の最新モデルによる計算結果を利用し、6つのモデル計算結果を比較しながら研究を行った。1つのモデルよりも複数のモデルで確認したほうが信頼性が増すからである。その結果、どのモデルも降水量変化のおおまかな地理的分布がよく似ていたため、複数のモデルの結果の平均を取ったものを

解析した。解析は20世紀最後の20年（1981～2000年）と21世紀最後の20年（2081～2100年）を比較して行った。将来シナリオは「世界の国際化が進み、経済重視で発展していった場合」であるIPCCのA1Bシナリオを用いた。

本研究のユニークな点は、温暖化に伴う降水量変化の原因を①大気中の水蒸気が増えることによる効果、②大気の循環が変化することによる効果の2つに分けて解析したことにある。空気は温度が高いほどたくさん水蒸気を含むことができるので、温暖化すると大気中の水蒸気は増えると考えられている。雨は低気圧が来たときに降るが、同じ強さの低気圧が来ても大気中の水蒸気が増えていることによって降水量が増えることが考えられる。これが①の効果である。また、どういう強さの低気圧がどのような頻度で来るかによっても降水量が変わる。温暖化によって大気の循環が変わると低気圧の強さと頻度が変わると考えられる。これが②の効果である。地球上の各地域で降水量変化の要因を①だけによるもの、②だけによるものに分離する手法を開発し、どちらの要因で降水量がどの程度変化しているかを調べた。

年平均降水量変化率と豪雨強度変化



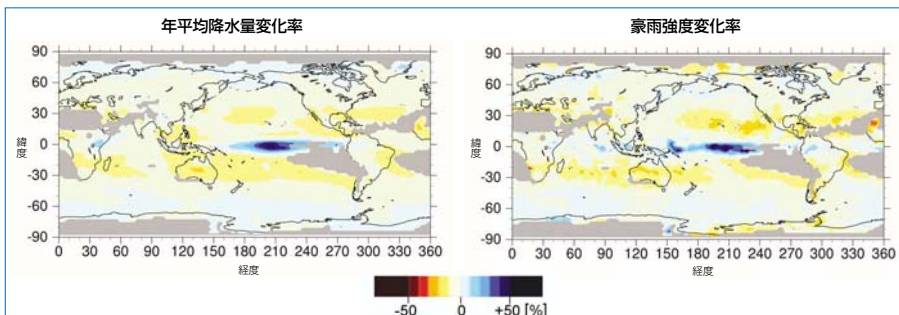


図3 ②大気の流れが変化することによる効果

年平均降水量変化率と豪雨強度変化率が非常に似た分布をしている。②の効果によって、熱帯太平洋での降水の増加のかなりの部分が説明でき、かつ亜熱帯の降水量減少のほとんどが説明できることが分かる。図中のグレーの部分は今回の解析ではうまく取り扱えない部分である

率をパーセントで示したのが図1である。豪雨強度の指標は、統計がとりやすいよう、年間で4番目に大きい日降水量データを用いている。人間社会への影響を考えると、特に陸上での降水量変化が重要である。そこで陸上に注目すると、赤丸のついている部分、英国や欧州の地中海周辺、北米の中部と南部、中国南部からインドシナ半島にかけて、アマゾン川流域などでは、年平均降水量は増えないが豪雨強度は強まるという結果が出た。

さらにこれを、①大気中の水蒸気が増えることによる効果、②大気の流れが変化することによる効果の2つに分けて解析した。

解析手法を簡単に説明すると以下のようになる。各地点で日降水量の全データ（365日×20年分の各日降水量データ）と対応して、毎日の対流圏中層（500ヘクトパスカル地点）の上昇流がどのように変化するかを見ていく。強い上昇流があるほど強い低気圧が、強い下降流があるほど強い高気圧が来ているので、その地点のその日の天気の種類分けができる。上昇流の強さを横軸にとってヒストグラムを作ることによって発生頻度を見るグラフを作成する（図2右）。さらに日降水量データを併せて使い、低気圧の強さ（上昇流の強

さ）に対する日降水量の期待値を、同じ強さの低気圧に対する日降水量の平均から求める。それを描くと図2左のようになり、強い低気圧が来ているほど大きな降水量が期待できることになる。この2つを使って温暖化の時の変化を見ていく。①大気中の水蒸気が増えることの効果は、図2左の変化のみを使う。すると同じ強さの低気圧が来ても降る量が増える。逆に②のときには、図2右の変化のみを使い温暖化によってさまざまな強さの低気圧の来る頻度が変わることになる。

豪雨強度を増やすのは水蒸気の増加

では結果を見ていこう。まず②の大気の流れの変化の効果の部分を取りだしたのが図3である。②の効果においては年平均と豪雨強度の変化がよく似ている。つまり年平均降水量と豪雨強度の両方に同じような変化をもたらすということになる。したがって図1の赤丸をつけた部分の豪雨強度増加をもたらしているのは②ではない。

それでは①の大気中の水蒸気が増えることによる効果を取りだしてみるとどうだろうか。図4を見ると、亜熱帯地域を中心に、年平均降水量変化はあまり増えないがむしろ減るが、一方で

豪雨強度変化が増えている地域が広がっていることが分かる。つまりこれらの地域では、年間降水量はあまり増えないにもかかわらず豪雨強度は増えているため、その変化には①が影響していることがわかる。ちなみに日本では西日本以南が年間降水量はあまり増えないのに豪雨強度は増える領域に入っている。年平均降水量が10%程度の増加に対して豪雨強度は20%程度増加する。しかし、その変化の原因はさらに複雑だと考えられる。

参考のために、大気中の鉛直に積算した水蒸気量（可降水量）の変化率を図5に示す。これは①の大気中の水蒸気が増える効果による豪雨強度変化率とかなり強い対応をしている。水蒸気は、絶対量では低緯度の海上に多いが、温暖化が急速に進むシナリオで約100年後には、増加率では比較的まんべんなく地球上のどこでも10～20%増える計算になる。

今後の研究の方向性

これまで温暖化によって豪雨強度が増えるという研究はいくつかなされていたが、それはひとつのモデルで計算した散発的な結果が多く、信頼性に問題があった。本研究は複数のモデルで整合的な結果を得、そのメカニズムに

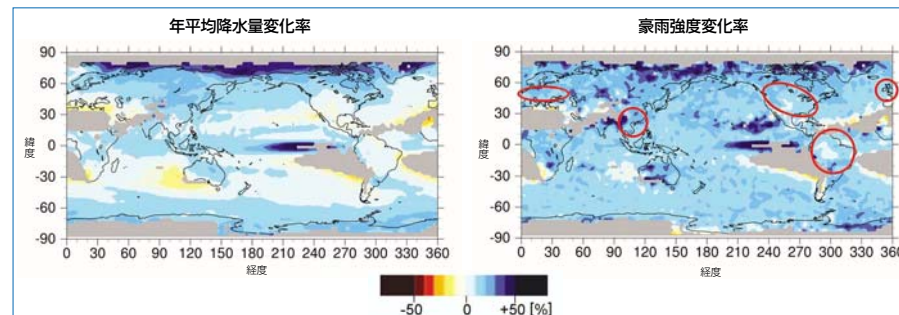


図4 ①大気中の水蒸気が増えることによる効果

年平均降水量変化率と豪雨強度変化率の分布の違いは、図1の両者の違いを説明できる。①の効果によって、亜熱帯地域を中心に、年平均降水量変化はあまり増えないがむしろ減り、その一方で豪雨強度変化が増えている地域が広がっていることが分かる。図中のグレーの部分は今回の解析ではうまく取り扱えない部分である

関してもかなり踏み込んだ理解ができている。

おおまかにはどのあたりでどのような降水量の変化が起こるかはつかめたので、今後は水害や水資源など、人間社会にあたるインパクトを予測していく。洪水や渇水の被害は、特にインフラが整っていない途上国で甚大となる。防災インフラを整えていくうえでも、温暖化による降水量変化の予測は役に立っていくだろう。

年平均降水量があまり増えない場所では、温暖化によって土壌水分の蒸発量は増える、もしくは増えようとするため、渇水リスクが増大することにな

る。さらに豪雨強度が増加するところでは洪水リスクも増加する。そこで図6の赤丸で囲まれた地域では、年平均降水量は増えないが豪雨強度は増えるため、渇水リスクと洪水リスクの両方が増えるということになる。年

平均降水量も豪雨強度も増えるところでは渇水リスクは増えないが洪水リスクは増える。災害だけではなく、農業に関する影響（およびそれに基づく飢

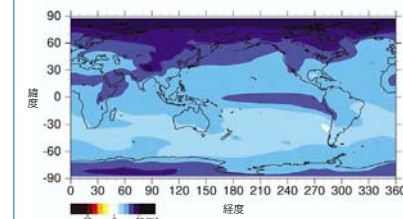


図5 温暖化時の大気中の水蒸気量の変化率

大気中の上空から地表まで積算した水蒸気量（可降水量）の増加をパーセントで表したものを、図4の①の効果による豪雨強度の変化率とかなり強い対応をしている

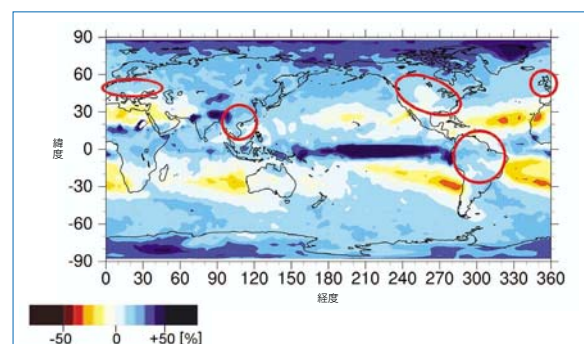


図6 渇水リスクと洪水リスクが同時に高まる地域

図1右と同じ図を再録。赤丸の地域では、温暖化した際に渇水リスクと洪水リスクが同時に増える危険性がある。今後の洪水や水資源の将来予測へつなげる結果が出た

餓）等への影響も心配されるため、農業についてもこれからの結果を使って影響予測を行う予定である。

もうひとつ、降水量変化のメカニズムについてもさらに検討を加えていく。今回の研究では、水蒸気が増えても年平均降水量が増えない理由がまだ説明できていない。強い低気圧が来たときには水蒸気の効果によって降水量は増えるが、弱い低気圧が来たときまたは低気圧が来ない状態ですしと降る雨の降水量は減っているため、それを合わせると「変化なし」となる地域がある。より信頼性の高い予測を行うためには、降水量が減るほうのメカニズムはどのようなものなのか、さらにデータを増やして解析していく必要があるだろう。



深海調査研究計画委員会 藤本 博己 委員長 に聞く 世界に誇る深海探査機器を最大限に 活用した深海調査研究を推進したい



世界一の性能を誇る有人潜水調査船「しんかい6500」は、深海調査研究の推進に大きく貢献している

独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、海洋に関する基礎的な研究開発の一環として、深海域における地球科学的諸現象の総合的な解明・予測・技術開発をめざす研究課題を広く公募し、深海調査研究を推進している。東北大学大学院理学研究科の藤本博己教授は、現在、調査研究計画の策定や応募研究課題の審査などを行う「深海調査研究計画委員会」の委員長を務めている。藤本委員長に、日本の深海調査研究の現状や今後、さらには、ご自身が行っている研究などについてお話をうかがった。

Profile

岐阜県生まれ。東京大学理学部卒業。1987年に東京大学海洋研究所助教授に就任、2000年より東北大学大学院理学研究科教授。科学技術・学術審議会専門委員、日本学術会議固体地球物理学研究連絡委員、国際インターリッジ計画運営委員などを歴任。また、「よこすか」および「しんかい6500」の最初の大西洋調査航海（1994年）の共同首席研究員、最初のインド洋調査航海（1998年）の首席研究員を務める。2003年より海洋研究開発機構の深海調査研究計画委員会委員長。「重力からみる地球」（東京大学出版会刊）などの著書がある。

今後の深海調査研究は、グローバルに注目されている研究テーマと、日本の地理的有利さを生かした研究テーマとをバランスよく進めていくことが必要だと思います。

Blue Earth編集部（以下BE） 深海調査研究計画委員会の委員長になられたのは、2003年ですね。

藤本 委員長（以下敬称略） ええ。東京大学海洋研究所から現在は東京大学工学部に移られた玉木賢策教授の後任として、委員長を務めて3年目です。それまでは、「みらい」運用検討委員会に入っていました。深海調査研究では、玉木委員長のとくに、グローバル・スタンダードといえますが、非常にオープンなシステムで研究課題を公募するという、今日の仕組みが確立されました。これは、世界に誇れる深海調査公募システムだと思います。たとえば、私自身が関係する課題もいくつか申請していますが、その審査の際には、委員長であっても退席しなければなりません。こうした公正なシステムのもとで、現在、平成18年度の研究課題の審査が行われています。募集が7月に締め切られ、審議を経て、いまちょうど内定が出たところですね。今回の公募で意外だったのは、スマトラ海域での調査に関する提案がほとんど出なかったことです。スマトラ島沖大地震の直後に海洋調査船「なつしま」が調

査を行い、これに続く調査の応募がある予想していたのですが、治安の問題をはじめ、実施の難しさが関係しているのかもしれません。

BE JAMSTECが推進する深海調査研究について、どのようにお考えですか。

藤本 JAMSTECが推進する深海調査研究のシステムは、日本はもちろん、世界でもダントツにトップだと思います。「あなたたち日本の研究者は、本当にラッキーだ。JAMSTECの深海研究用ファシリティ（設備）はとても充実している」と、かつて海外の研究者から言われたことがあります。一般の人たちは、JAMSTECに有人潜水調査船「しんかい6500」があることは知っていると思いますが、世界的に見てどれくらい優れた設備が揃っているか、おそらく理解されていないのではないですか。もっと多くの人たちに知ってもらえるように、情報提供していくことが必要でしょうね。無人探査機「かいこう」の事故で、残念ながらいまは深度11,000mまで潜航することはできませんが、今年度から無人探査機「かいこう7000」が運用されていますし、自律型深海巡航探査機「うらしま」も実用化に向けて試験が続けられています。JAMSTECの機器は、総合力で非常に優れていると思います。これらの素晴らしい調査システムを最大限に活用して、今後さらに充実した深海調査研究を進めていくことが重要だと考えています。



無人探査機「かいこう」の代替機として運用が開始された「かいこう7000」

バイオジオケミストリーに 世界的な関心が集まる

BE 深海調査研究の研究分野はとても広範囲に及んでいますが、最近の深海研究で注目すべき分野はありますか。

藤本 世界的には、バイオジオケミストリー（生物地球化学）への関心が高まっ

ています。これは、地球化学と生物学を横断的に結びつけ、地球的な規模で物質循環と生物活動の関連を明らかにしていくというものです。たとえば、熱水活動域の地球化学的な条件と微生物との関係、さらには地下生物圏に関する研究なども含まれます。特に、米国では、大陸の両側（太平洋側と大西洋側）すぐ近くに中央海嶺があるため、中央海嶺における深海調査研究が盛んに行われています。最近では、「リッジ2000」という中央海嶺システムに関する科学研究計画が進められています。ここでも、大きなトレンドとしてバイオジオケミストリーが注目されています。マグマ活動が地球上のどこでおきているかを見ると、全体のおよそ8割が中央海嶺です。中央海嶺では活発な火山活動があり、地球の主要な熱放出過程であるとともに、地球進化や生命の起源を明らかにしていく上でも重要な場所といえます。こうしたことから、米国では中央海嶺を中心に生物地球化学の研究が進んでいます。

日本の場合はどうかといいますと、地理的な条件を考えると、日本の周辺には世界でもメジャーな沈み込み帯があります。その海溝域には、水深6,000mを超える大深海、超深海が存在しており、ここにも独自の生物圏があります。また、沈み込み帯は、地球規模の物質循環を考える上でも重要な場所です。こうしたことを考えて、日本周辺の沈み込み帯における調査研究をより重視するべきではないかという意見も出ています。これからの日本の深海調査研究を議論する場でも、「航海日数のかかる遠い海域より、近くで同じ成果が上がるならその方が有利である。日本周辺の深海の特徴を捉え、どこを狙えば欧米に先んじて、研究を進展させられるかを念頭に置くことが重要ではないか」といった考え方

**若い研究者たちに、深海研究の分野にどんどん入ってきてほしい。
一度、潜水調査船で深海に潜れば、人生が変わる人も少なくないはずです。**

が出ています。現在、そのあたりをレビュー(再調査)して、今後の深海調査研究の方針を立てるためのワークショップなどを行っているこうと計画しているところ

BE 日本周辺の沈み込み帯に、もっと目を向けていくということですか。

藤本 最初にお話したように、JAMSTECが推進する深海調査研究は、その優れたファシリティ能力によって、他ではできない大深海、超深海の調査能力を日本の研究コミュニティに提供しています。この特徴を最大限に活用するために、日本周辺の海溝域の調査を進めているのはどうかということです。また、沈み込み帯は、海溝型巨大地震が発生する場所でもあります。昨年末にマグニチュード9クラスのスマトラ島沖大地震がおきたこともあり、沈み込み帯で発生する地震に大きな注目が集まっています。さらに、東南海・南海地震が近づいているともいわれ、これに備える研究も進められています。このように、地震研究の分野でも沈み込み帯への関心は高まっています。加えて、今年の夏に地球深部探査船「ちきゅう」が完成しましたが、沈み込み帯における地震研究は、これから進められようとしている深海掘削科学においても重要なターゲットです。そのため、深海掘削と深海調査との連携を図ることも、深海調査研究計画委員会の方針のひとつとしてあげられています。

もちろん、世界に誇るファシリティを活用して、グローバルに重要な中央海嶺などの研究を進めていくことも、とても大切なことです。ただ、もうひとつ、日本が世界をリードできる可能性が高い、地理的に日本が有利な研究を進めていくことも重要です。要は、両者をいかにバランスよく推進していくかを、考えていかなければいけないということです。

BE グローバルな深海調査研究ということでは、昨年、南太平洋を横断しながら様々な深海調査を実施した長期航海「NIRAI KANAI」が行われましたね。

藤本 やはりグローバルに見て興味深い研究を推奨していきたいという思いもありますから、そうした計画を出してもらいたいという呼びかけを行ってきました。それに呼応してあがってきたのが「NIRAI KANAI」でした。世界最大の海底溶岩流を発見するなど、有意義な成果をあげて無事に航海が達成されました。生物学的な調査の成果なども、来年2月に行われる予定の「ブルーアース'06(しんかいシンポジウム)」で発表されるはずです。

海底の地殻変動をより正確にとらえたい

BE 現在、藤本教授ご自身は、どのような研究に取り組んでおられるのですか。

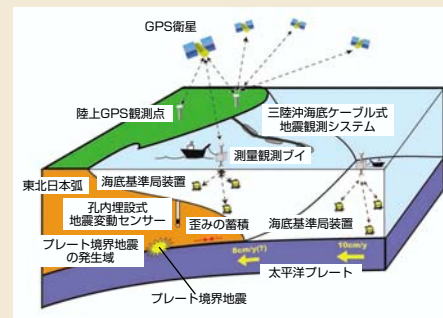
藤本 主に海底の地殻変動に関する研究を行っています。近年、日本の地震研究が大きく進展した理由として、ひとつは陸域で高性能・高密度な地震観測網がつくられていること、もうひとつは人工衛星による測位システムGPSを利用した地殻変動の観測網が整い、全国約1,200点に及び基準局のデータから、ほぼリアルタ



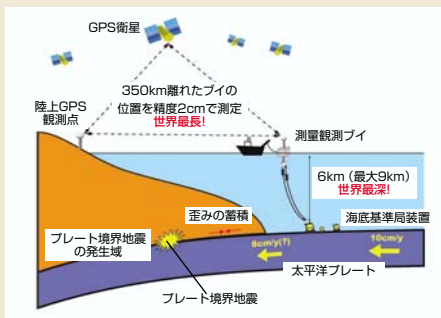
イムで地殻の動きが分かるようになったことがあげられます。これらは、沈み込み帯、特に小刻みに破壊がおきている日本海溝の地震研究に大きな成果をもたらしてきました。そして、いま私たちが取り組んでいるのは、陸上に構築された観測網を海に広げていくという試みです。そのためには、本日はJAMSTECが銚路・十勝沖、室戸岬、相模湾初島沖で行っているように海底ケーブルを敷設するのがよいのですが、それには資金もかかるし、漁業者との交渉など難しい問題もあります。そのため、地震計については、三陸沖に自己浮上型の海底地震計を投入し、連続観測を行っています。さらに、GPS観測網を海域に広げたいのですが、これが非常に難しい。海中は電波が使えませんからね。そこで、私たちは海上のGPS測位と海中の音響測位を結合させることにより、海底の地殻変動を観測するシステムの研究を行



深海調査研究の成果を発表する「しんかいシンポジウム」が毎年開催されている



陸上のGPS測地観測を海域に伸ばすための海底地殻変動観測の概念図。陸上を基準とする海上GPS測位と海中の音響測位を結合した海底精密測位観測を繰り返すことにより、水平方向の海底地殻変動を1~2cmの精度で検出することをめざしている



三陸沖におけるプレート運動を実測するためのシステム図。陸から200km以上離れ、水深が7,000mを超える日本海溝周辺でも海底地殻変動観測ができるシステムを2001年に開発

っています。現在のところ、条件がよければ2~3cmの精度で水平方向の位置が測定できるまで進んでいます。さらに精度を高めていきたいと考えています。鉛直方向の変動については、いまのところ最も見込みがあるのは、海底圧力計を使う方法だと思います。実際の観測は、日本周辺の海溝型地震のうちでも発生確率が極めて高いといわれている宮城県沖地震の想定震源域周辺や福島沖、釜石沖に観測点を設置して行っています。今後は、沈み込んでいく海側プレートでも観測を実施したいと考えています。海側プレートの観測はまだ誰もやっていませんからね。また、実際に海底地殻変動をとらえるための研究とともに、精度を向上させるための機器開発を、南海トラフがある紀伊半島沖で行っています。日本海溝は陸から海溝軸までの距離が約200kmと遠く、水深も深いのに対して、南海トラフは陸から100km以内であり、水深も比較的浅いですから、機器の開発研究が進めやすいのです。

BE 最後に、これからのJAMSTECに望むことなどについてお話をください。

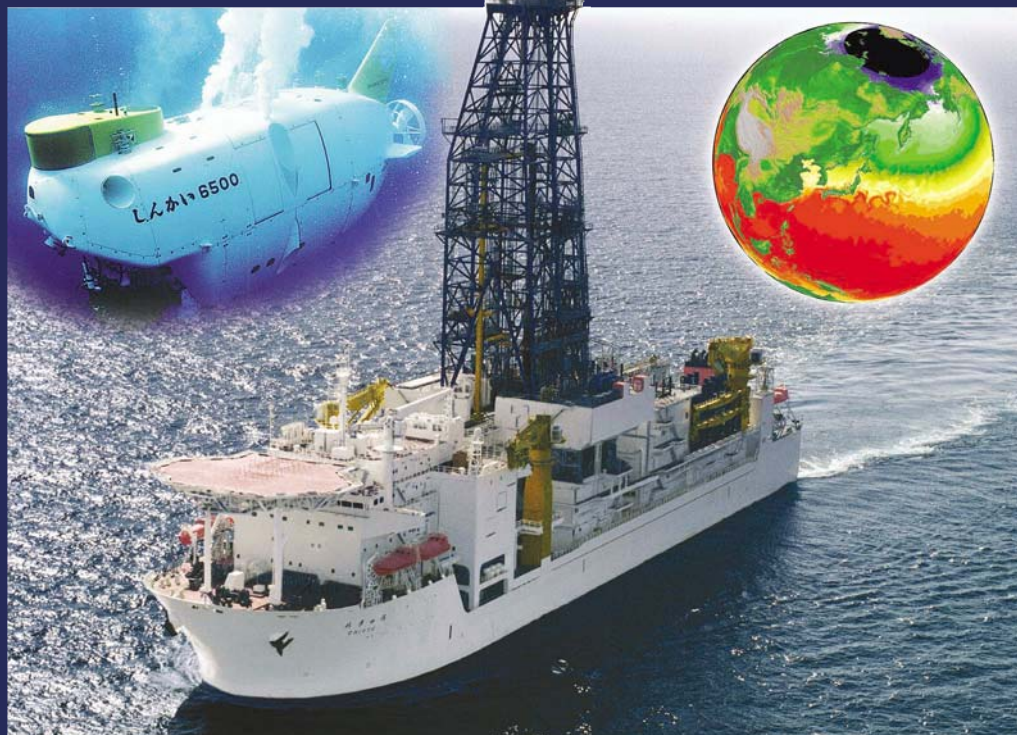
藤本 JAMSTECは、世界をリードするファシリティを持っていると同時に、マンパワーも非常に強力で、深海調査機

器の運用がとて安定していることは重要だと思います。1994年、「しんかい6500」が初めて大西洋へ調査(MODE'94)に行ったとき、私とコチーフ(共同首席研究員)を務めた米国・ウッズホール海洋研究所のビル・ブライアン氏という岩石学の大家が、「JAMSTECの運用システムは素晴らしい。非常に安定していて、信頼性が高い」と高く評価していました。欧米では、潜水調査船でも何でも、限られた能力の機器で長時間の潜航を行うなど、オペレーション・チームがかなり無理して運用することで成果をあげるという感じでした。そのころは、私たちもの方がよいのではと、無理は長続きしません。やはり、信頼できる安定した運用体制を確立していることは素晴らしいことだと思います。

研究・開発の取り組みでは、日本の特色を生かしたユニークな研究を推進していくためにも、やはり他にはできないと思います。さらに、今後は深海掘削も重要になるでしょう。JAMSTECが地球深部探査船「ちきゅう」を建造したのは、非常によいタイミングだったと思います。深海掘削は、非常に長期に及ぶ

プロジェクトですが、しっかりと取り組んでいくことが大事だと思います。また、深海調査機器に関しても、これをサポートするような新たなシステムを構築していくことが求められるのではないのでしょうか。

また、要望ということでもないですが、これからは、大学の研究者をもっと巻き込む必要があります。「しんかいシンポジウム」でも、大学等の研究者の参加は、全体の20%ほどでしかなく、そのコミットがやや弱いのが現状です。若手の人材育成ということも考えて、深海調査にも大学の若い研究者たちにどんどん参加してもらえるように配慮してほしいと思います。たとえば、「しんかい6500」には、外国の大学院生は乗船できるのに、日本の大学院生は乗船できないことになっていました。現在、この点をJAMSTECでも再検討していると思います。また、ぜひ日本の大学院生も乗れるようにしてもらいたいと思います。やはり、一度「しんかい6500」で深海に潜ったら人生観が変わる、それくらいの体験だと思います。好奇心旺盛な若者はたくさんいます。若い優秀な人にどんどん乗船してもらって、深海研究の分野に、もっと関心を持ってもらえるようにしてもらいたいですね。



海洋・地球科学とその技術は どのように発展していくのか

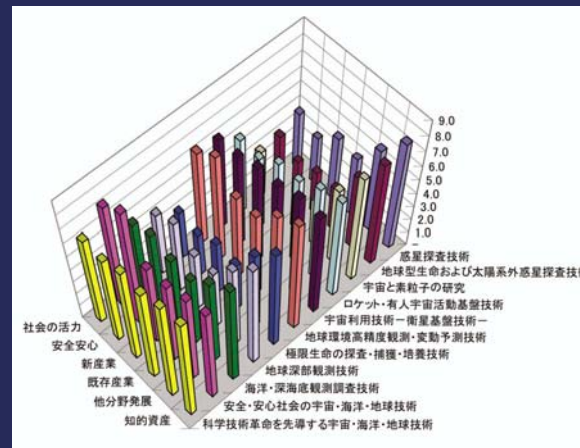
「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査」 から見てきた海洋・地球科学の未来

科学技術は、私たちの生活に大きな影響を及ぼすとともに、社会・経済の発展に欠かせない重要な役割を果たしている。そして、これからも人類の明るい未来を切り拓いていくために、科学技術の発展は不可欠だ。その一方で、科学技術が今後どのように進展していくのかという科学技術発展の動向を、中長期的な視点で把握することの重要性も高まっている。これに応える大規模な科学技術予測調査が、文部科学省科学技術政策研究所によって5年ごとに実施されている。そして、2005年5月、今後30年間の科学技術の進展を予測する第8回調査の結果がまとめられた。そこで、この調査によって海洋・地球科学およびその技術の将来がどのように予測されているのか、その内容を紹介していきたい。

取材協力：
文部科学省科学技術政策研究所
参考文献・出典：「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査」報告書（文部科学省科学技術政策研究所）



実用化に向けて開発中の深海巡航探査機「うらしま」



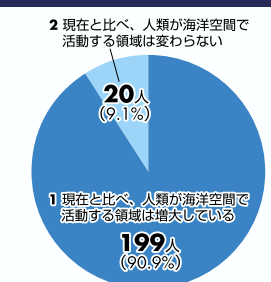
海洋・地球分野と宇宙分野を含むフロンティア分野の各領域別に見た、現時点で期待される効果。「社会の活力や生活の質の向上への寄与」、「安全・安心の確保への寄与」、「新産業・新事業創出への寄与」、「既存産業の発展への寄与」、「他分野の発展への寄与」、「知的資産増大への寄与」の6つの効果について各領域ごとにアンケート回答者に質問し、その回答を指数化（10点満点）した。フロンティア分野全体としては、「知的資産増大への寄与」、「他分野の発展への寄与」への期待が大きい。個別には最も期待が大きかったのは、「安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術」の「安全・安心の確保への寄与」（8.5ポイント）、続いて「地球環境高精度観測・変動予測技術」の「知的資産増大への寄与」（8.1ポイント）、「科学技術革新を先導する宇宙・海洋・地球技術」の「知的資産増大への寄与」（7.8ポイント）となっている。

世界的にも高く評価される 科学技術予測調査

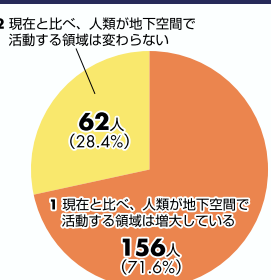
30年後までを見通した科学技術の将来発展の方向を具体的に描いていくことを目的に、科学技術予測調査が文部科学省科学技術政策研究所によって実施されている。1970年代初め、当時の科学技術庁によって開始されたこの予測調査は、約5年ごとに実施され、今回は第8回目となる（1992年の第5回調査から同研究所が実施機関となっている）。

この調査はすべての科学技術分野を網羅する大規模で包括的なものであるとともに、当初からその調査方法としてデ

ルフай法を用いてきたことが大きな特徴だ。デルファイ法とは、数多くの専門家に同じアンケート調査を繰り返して実施することにより、考えや意見を絞り込んでいく方法だ。前回の調査結果を回答者にフィードバックすることとで、回答者は全体の意見の傾向を見ながら、あらためて自分の回答を再検討する。そうすることによって全体の意見は収斂（しゅうげん）されていくわけだ。今回の第8回調査でも2回のアンケート調査に日本の第一線の科学者・技術者延べ2,239名が回答し、13分野、合計858項目（課題）に関する予測が行われた。科学技術予測活動は、ほかにも各省庁や産業界などで様々なものが行われているが、その規模や継続的に行われている点において、この予測調査は日本だけでなく世界的にも高く評価



30年後、海洋空間における人類の活動はどうなっていると思うかを、フロンティア分野の回答者に聞いた結果



30年後、地下空間における人類の活動はどうなっていると思うかを、フロンティア分野の回答者に聞いた結果

されている。第8回目となる今回の調査では、過去の調査で目的としてきた今後30年間を見通した技術の発展方向を見出すという視点を継承しながら、さらに新たな目的が加わった。それは、2006年度から始まる第3期科学技術基本計画を検討する際の基礎資料を提供するという目的だ。2005年度で終了する第2期科学技術基本計画でもすでに国として優先して取り組むべき科学技術の重点化分野が明示されたように、近年、科学技術政策に関する環境は大きく変化した。そうした背景で、科学技術予測調査には、広範な科学技術について俯瞰（ふくみ）的なビジョンを示すことにより、政策決定者が的確な判断を行うための有効な資料となることが求められた。この目的から、第8回調査では、コンセン

サス形成が可能な「デルファイ調査」に加えて、新たな3項目の調査が実施された。それらとは、科学技術の専門家に限らない多くの人々に意見を求めながら、社会・経済ニーズについて整理し、今後の科学技術の目標を検討する「社会・経済ニーズ調査」、科学技術論文のデータベース分析を用いて、ここ数年間で論文数の急激な増加が見られる領域を抽出する「急速に発展しつつある研究領域調査」、そしてもうひとつは、今後10年程度を見通したとき、社会・経済的な貢献が大きい科学技術領域、革新的な知識を生み出す可能性を持つ領域などを抽出し、それぞれについて発展シナリオを作成する「注目科学技術領域の発展シナリオ調査」の3項目だ。そして、この4つの調査が「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査」としてまとめられた。

例えば、「急速に発展しつつある研究領域調査」において抽出された153の発展領域のなかで、海洋・地球科学に関連が深いものとしては、次のような研究領域が挙げられている。

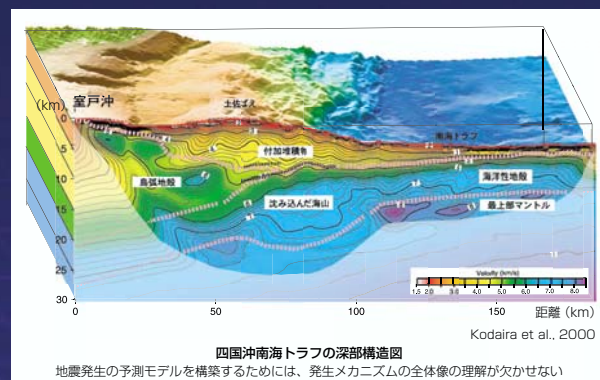
- 海洋における親生物元素の生物地球化学的要因がもたらす生物活動の制限
- 地球規模の気候変動研究
- 気候変動および大気に関するエアロゾル



海溝型地震の発生メカニズムを明らかにするため、地下構造探査に用いられる海底地震計

- 古気候における地球規模の気候変動
- 地球型惑星の構造解明
- 地殻・マントルの物質の研究／白金族元素の定量
- 藻類による二酸化炭素吸収メカニズム・濃縮メカニズム

また、「注目科学技術領域の発展シナリオ調査」の全48テーマのなかには、海洋・地球科学に関連が深いものとして「地球深部探査」をはじめ、地球観測に関連する「環境観測」、「環境修復技術」、「衛星技術」などが抽出されており、これらについての発展シナリオが描かれている。



「第8回デルファイ調査」の概要

「第8回デルファイ調査」では、海洋・地球科学およびその技術の発展はどのように予測されているのだろうか。

その内容を紹介する前に、今回実施された「デルファイ調査」の全体像と概要を記しておきたい。「デルファイ調査」では、技術（応用）を中心として科学技術をとらえている。調査の対象分野は、情報・通信、エレクトロニクス、ライフサイエンス、保健・医療・福祉、農林水産・食品、フロンティア、エネルギー・資源、環境、ナノテクノロジー・材料、製造、産業基盤、社会基盤、社会技術の13分野に分かれている。前回（第7回）の調査では、海洋・地球分野がひとつの分野として設置されていたが、今回は、宇宙分野とともにフロンティア分野にまとめられている。これは、第2期科学技術基本計画の科学技術分野の区分に沿ったものだ。第2期科学技術基本計画によれば、フロンティア分野は「新たな活用領域として更なる展開が期待されるフロンティア開拓型の研究開発に取り組む」分野とされ、その対象として宇宙や海洋が示されている。

今回の「デルフ

アイ調査」では、それぞれの分野ごとに10名程度の専門家からなる分科会が置かれ、各分科会の議論のなかから注目すべき領域が決められ、その領域のなかから重要と考えられる具体的な予測課題（予測期間は2006～2035年までの30年間）が設定された。そして、この予測課題についてデルファイ法による2回のアンケート調査を実施し、その重要度や実現時期（技術的実現時期とそれが製品やサービスとして利用できる社会的適用時期を分けている）などについてまとめている。

フロンティア分野の11領域のなかで、海洋・地球科学に関連するものとして、「地球環境高精度観測・変動予測技術」、「極限生命の探査・捕獲・培養技術」、「地球深部観測技術」、「海洋・深海底観測調査技術」、「安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術」、「科学技術革命を先導する宇宙・海洋・地球技術」の6領域が設定されている。そして、全76予測課題のなかで、海洋・地球科学に関連するものは50課題を数える。このほかにも、環境分野などで「海洋大循環の破局を含む温暖化の定量的モデルの確立」、「地球温暖化による気候変動を、地球全体にわたって10キロメッシュ（網の目）程度の細かさで正確に予測する技術」など、海洋・地球科学に関連する予測課題がいくつか出されている（具体的な予測課題の内容については、その技術的実現時期を紹介する24～25ページの年表に掲載）。

調査から見てきた海洋・地球科学の重要性

今回の調査のなかで、非常に興味深い結果が出ている。全13分野のすべての予測課題の重要度指数（回答を100点



気候変動予測の実現には、大気・海洋等の様々な現象を正確に再現できる気候モデルの開発が欠かせない

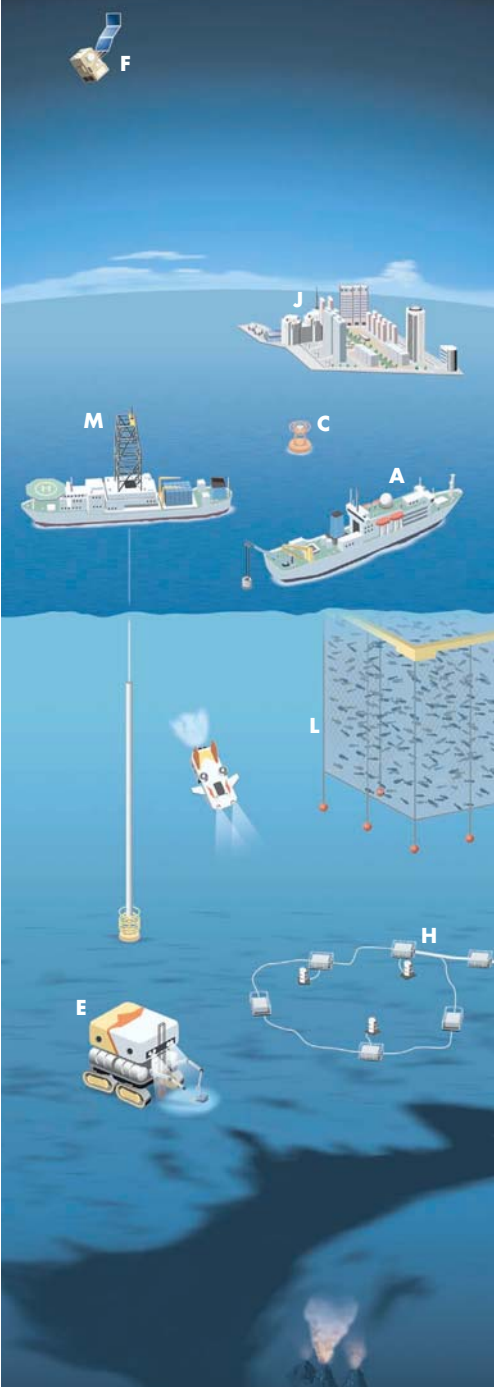
満点で指数化したものを)を比較したとき、上位6位までがフロンティア分野、さらにいえば海洋・地球科学の予測課題であり、上位20位でも、11課題を海洋・地球科学分野（このうちのひとつは環境分野の気候変動予測関連の課題）が占めているのだ。これらの課題のすべては、地震・火山噴火を理解・予測するための研究・技術と気候変動に関する研究・技術であり、地震や異常気象などによる災害に関連した課題の重要

性が認識されていることが分かる。重要度指数の上位3課題は次のとおりだ。

1. 災害監視衛星、通信衛星、GPS、無人飛行機などを活用して、災害の監視、発生後の災害状況の把握および迅速な対応（必要なところに必要な情報を配信する）を可能にする危機管理システム
2. 火山噴火に至る火山体内部のマagma



気候変動予測に欠かせない高精度な海洋観測を行う海洋地球研究船「みらい」



未来予測【技術の実現予測時期】年表

- 2008**
- 単機能に特化したハイク調査船 **A**
 - 地震検知の全国ネットワークの構築による、50km程度以上離れた地震に関して地震到達前に情報が伝達される防災システム
- 2009**
- 災害監視衛星、通信衛星、GPS、無人飛行機などを活用して、災害の監視、発生後の災害状況の把握および迅速な対応（必要なところに必要な情報を配信する）を可能にする危機管理システム
 - 海洋を含む日本全土をカバーする一元的なデジタル国土管理・利用システム（地球観測衛星のデータとGPS、通信衛星、GIS等を活用して土地利用、海洋情報、地図等の情報をデジタル化する）
- 2010**
- 東京湾、大阪湾等利用密度の高い海域を対象とする湾全体の総合的利用・保全技術
 - 地震予知に利用される地震・地殻変動総合観測装置を大都市、山間部、大陸棚等に均質に密に配置するための技術
 - 巨大地震発生時の構造物や地盤の挙動を正確にシミュレートする技術
 - 植生の分布に関する高精度衛星搭載センサおよびインターネットを利用した環境モニタリング技術
- 2011**
- メソスケール（10kmメッシュ程度）での降雨シミュレーション **B**
 - 外洋に設置され、高い信頼性をもちかつ長期間無保守で水温・塩分・化学トレーサー等をモニターする自動観測システム **C**
 - 水中航走体のための三次元自律航法システム **D**
- 2012**
- 微小海洋生物（微生物、プランクトン等）の識別が可能な三次元画像解析システム
 - 地球極限環境下に生息する生命体の捕獲、培養技術
 - 外洋に設置され、水深6000mから海面近くまでの海象、海況を長期間（5年間程度）モニターできる自動観測システム **C**
 - 自律型深海重作業ロボット **E**
 - 酸性雨が動植物や生態系に及ぼす影響のメカニズムの解明
- 2013**
- 地球シミュレート上での、水文（流域水循環）と気象の融合 **B**
 - 雲およびエアロゾルを地球全球で高精度、高分解能かつ高頻度で人工衛星により観測するシステム **F**
 - 静止衛星による、水蒸気分布の観測（鉛直分解能500m～1km、水平1km～5km） **F**
 - 様々な飛行体を用いて、試料の採取、測器の設置・回収等を機動的に行う海洋観測体制
 - 水中で数百m先の物体の形状を識別できるセンサ **G**
 - 陸域における水、土壌水分、析出塩濃度、氷雪分布等を全地球的に空間分解能1km以下で測定する人工衛星搭載用マイクロ波放射計
 - 水蒸気→雲→雨の水循環における熱移動量の的確な算出方法
 - 深海底に恒久的な地球物理観測拠点を設置し、これらをネットワーク化することにより、地球深部探査の解像度を飛躍的に増大させる技術 **H**
 - 全システムが密閉（大気とのやり取りが無い）で可搬型、一回の燃料補給で出力10kwを一年間出し続けることが可能な燃料電池 **I**
 - 海底下10kmに到達可能な探査機
 - 降雨・積雪、集中豪雨等のメカニズムの解明
 - 有脚式または浮遊式構造物を主体とする海上都市（交通、通信、研究、生産、余暇活動の基地） **J**
 - 海中作業を円滑に行うための海中水平方向数kmの無線通信技術 **K**
 - 地殻の歪みの分布や過去の地震履歴の分析等により、中期的（5～10年程度先）な大規模地震（M8以上）の発生を予測する技術
- 2014**
- 実用的な数百年規模の気候変動予測技術 **B**
 - 気候変動による温室効果ガスの自然的な発生と吸収・固定のメカニズムの解明
 - 二酸化炭素ガスの国別排出量を人工衛星により高精度で観測する技術 **F**
 - 建物を識別できる約100～500mメッシュで、数時間先の大気汚染、都市型洪水等を予測できる高精度地域環境モデル **B**

- 海洋汚染の世界的規模のモニタリングシステム
 - 深海化学合成生態系による海洋へのエネルギーと物質寄与を高精度に見積もる技術
 - 未利用の深海微生物の生理機能を利用した、食品や医薬品等の生産技術
 - 火山噴火に至る火山体内部のマグマの状態の推移をリアルタイムに観測・評価し、噴火の時期、規模を予測する技術
 - 浄化ブロック、バイオフィルター等海水浄化システムの進展による親水空間創造技術
 - 内分泌かく乱化学物質等の環境汚染物質を分解するバクテリアを増殖する技術
 - 海洋の生態系についての数値モデルの確立 **B**
- 2015**
- 地球温暖化による気候変動を、地球全体にわたり10kmメッシュ（網の目）程度の細かさで正確に予測する技術 **B**
 - 気候変動の原因とする異常気象災害の予測技術 **B**
 - 大気圏外から衛星を用いて行う多波長（赤外線、可視光、紫外線、X線、ガンマ線など）の宇宙観測における、二桁以上の感度向上 **F**
 - 地上上の通信容量の増大に伴う衛星系の通信容量の増大に対応するための、数テラビット／秒級の伝送容量を有する複数の静止プラットフォームを光衛星間通信で結んだシステム
 - 全地球の凍結（Snowball Earth）、氷期-間氷期サイクル（Ice-age Cycle）等の地球史的な時間スケールの気候変動シミュレーション **B**
 - 地震発生数分前の予知を可能にする地殻変動センサ
 - 地震発生域規模での地殻内の広域応力場の測定を可能とする技術
 - 二酸化炭素を海底下に固定する技術
 - 生物学系列の技術のほか多岐にわたる工学技術を導入して最適な環境管理が行われる海洋牧場 **L**
 - 地球気候変動、特に大洋スケールの環境変化が、サケ、マグロなどの大回遊性魚類資源量の変動に与える影響評価技術
 - マイワシ等主要漁業資源の適正管理のための、資源量長期変動予測技術
 - メタンハイドレート探掘利用技術

- 2016**
- 海洋大循環の破局を含む温暖化の定量的モデルの確立 **B**
 - 地球中心部に近い高温高圧状態を数cm以上のサイズの試料で静的に実現する技術
 - 衛星磁場観測と地表観測から現在のコアのダイナモ活動を推定し、将来の磁場変動を予測する技術
- 2017** —
- 2018**
- 大気・海洋の組成や生態系そしてこれらにまたがる物質循環も同時に扱う地球システムモデルによる数十年規模の地球環境変動予測技術 **B**
- 2019**
- 自然環境中の微生物集団の構成を計測し、さらに、集団構成をコントロールすることによる、海洋および陸水の富栄養化防止の技術
- 2020**
- 地球深部の物質の移動を数cm／年程度の感度で検出する技術
- 2021**
- 地球観測、宇宙工場及び通信基地として総合的に利用可能な静止軌道上基地
 - 場所を選ばずに地球深部掘削により現地性のマントル物質を採取する技術 **M**
 - プレート境界地震と内陸地震それぞれについて、被害の発生が予想されるマグニチュード以上の地震発生時の切迫度（場所と時期）を人的災害の軽減につながるような高精度で予測する技術 **B**
 - 海水中に溶存している酸素や水素を取り出してエネルギーを生み出す海水エンジン **N**
- 2022**
- 地球中心部のコアに含まれる軽元素特定のためコア起源物質を採取する技術



の状態の推移をリアルタイムに観測・評価し、噴火の時期、規模を予測する技術

3. プレート境界地震と内陸地震それぞれについて、被害の発生が予想されるマグニチュード7以上の地震発生の切迫度（場所と時期）を人的災害の軽減につながるような高精度で予測する技術

フロンティア分野について重要度指数が高い課題を見ても、やはり災害の予測や危機管理に関するものが上位に集まっている。これを領域別に見ると、「安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術」（重要度指数91.7）が群を抜いて高く、続いて「地球環境高精度観測・変動予測技術」（70.8）、「宇宙利用技術－衛星基盤技術－」（69.1）、「海洋・深海底観測調査技術」（65.7）、「地球深部観測技術」（63.2）となっている。

海洋・地球科学への期待と将来展望

これからの30年間を見通したとき、海洋・地球科学分野において、個々の領域を代表する重要な研究や技術（予測



幅広い研究分野で多くの革新的な成果をあげている「地球シミュレータ」

課題）がどのようなもので、その技術的な実現時期がいつになるのかという予測については、年表（24～25ページ）に紹介するとおりだ。

フロンティア分野内の領域への期待される効果に関する設問への回答では、すべての領域で「知的資産増大への寄与についての期待」が高い数値を示すとともに、「他分野の発展への寄与についての期待」も大きく、フロンティア分野は、日本の知的存在感を高める上で重要であり、科学技術発展の先導的な役割を果たすものとの認識が示されている。

調査報告書には、各領域について、調査結果を踏まえた分科会の専門家による将来展望等がコメントされている。フロンティア分野のなかの海洋・地球科学に関する主な領域について、その一部を紹介する。

●地球環境高精度観測・変動予測技術：地球環境問題への対応をめくって、観測・予測の両面で新しい時代を迎えつつある。実用的な数年程度の気候変動予測や地球システムモデル、高精度地域環境モデルによる予測の重要度は非常に高まっている。同時に海洋観測の重要性も徐々に理解されてきている。日本が提案した地球観測サミットが実現し、その結果、全地球を今後10年に渡って詳しく観測していく実施計画が動き出した。そこでは、宇宙からの観測と大気・陸面・海洋の現場観測の統合および観測とモデルの連携強化が不可欠だ。観測・モデルの高精度・高分解能化の進展とともに、取り扱うデータ容量も飛躍的に増大するため、これに対応する革新的な情報科学技術も必要になる。

●極限生命の探



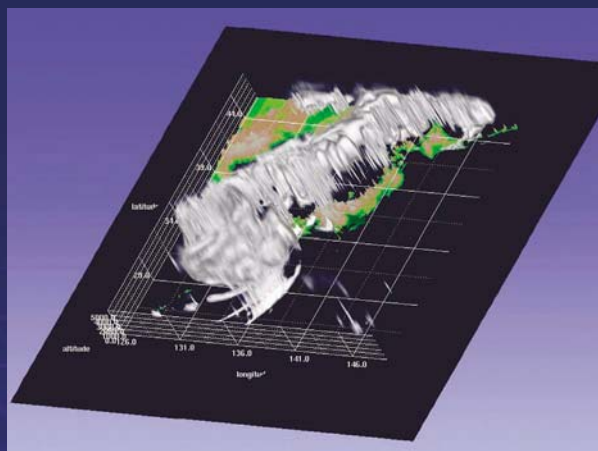
深海底などの極限環境から採取された微生物試料、新産業創出への期待も寄せられる

査・捕獲・培養技術：今回の調査において、現時点での効果と中長期の効果を比較すると、すべての項目で中長期の効果がアップしており、将来的な期待度が高いことが分かる。なかでも、概して低い評価を受けてきた経済的效果の面では、新産業創出への期待が高まり、この分野の技術開発が注目されていることが実感できる。もともと極限微生物の研究は、日本でとても盛んであり、今後、地球深部探査船「ちきゅう」による深海掘削が行われることから、地殻内極限生命探査に力を入れ、着実に研究開発力・技術力を培うことになる。そして、その世界一の技術力を持って、国際協力体制のもと、日本がリーダーシップをとって宇宙の極限生命に立ち向かう日も遠くない。

●地球深部観測技術：地球以外の天体の理解が飛躍的に進歩するなか、地球内部の大部分の場所は、人類が到達できない未知の領域となっている。一方で、この地球内部は、地震・火山噴火・磁場変動・長期的な気候変動・地質現象などの原因となっている領域

である。地球内部の活動は、地球表面の環境を変貌させるものであり、人類の未来の生活にも深い関わりを持っている。地球内部の状態と活動室内での再現などの進展は、地球内部活動の実態を解明し、私たちの生活にも重大な影響を与える将来の大規模な変動の予測をめざす上で、欠かすことのできないものといえる。

●海洋・深海底観測調査技術：地球規模の問題に対応するなど、この分野への期待に応えるためには、海洋（地球）



「地球シミュレータ」で詳細に再現された台風の3次元構造



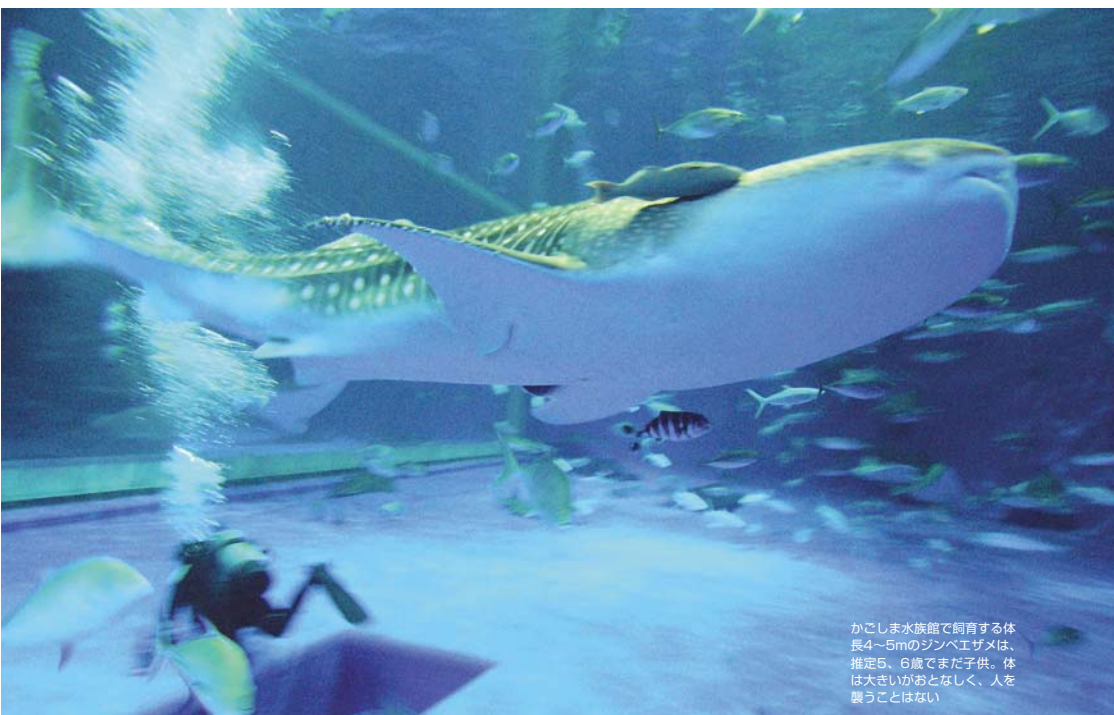
未知の領域である地球内部に挑む地球深部探査船「ちきゅう」

「入れ替え方式」で世界最大の魚を展示 ジンベエザメを 大海原に還す



館内イベント「飼育係の話を聞こう」で、ジンベエザメについて解説する展示課・中畑聡見さん

取材協力: いおワールド かしま水族館



かしま水族館で飼育する体長4~5mのジンベエザメは、推定5、6歳でまだ子供。体は大きいがおとなしく、人を襲うことはない



捕獲したジンベエザメは、鹿児島県・笠沙町のいけすで飼育のためのトレーニングを行う

●いおワールド かしま水族館（鹿児島県・鹿児島市） ホームページ: <http://www.ioworld.jp/> 連絡先: 099-226-2233

ジンベエザメは、熱帯から亜熱帯海域に生息し、5~10月には九州・四国の南岸にも姿を見せる。鹿児島県で見られる生き物を中心に展示を行うかしま水族館では、2000年11月からジンベエザメのユウウ（愛称）を飼育している。巨大な体でゆったりと泳ぐ姿はまさに壮観。ユウウは館内一の人気だ。しかし、ジンベエザメは世界最大の魚類で、成長すると10m以上に

なる。館内で最大の黒潮大水槽は、幅25m、奥行き13m、深さ5m。この大きな水槽でも、体長5.50mを超えるとヒレを水槽の壁面にこすって傷つく心配があった。そこで、水族館では、元気に泳げる間だけ飼育して、5.50mに育つ前に海に還す「入れ替え方式」をとることにした。もちろん、海に還す前には、水槽から入り江のいけすに移して、十分な野生復帰トレーニングを行う。捕獲

したときに体長4.25mだった初代ユウウは、5.10mに成長した2年目の夏に放流された。そして、2代目ユウウも3年間飼育されて、今年の夏に大海原へと還っていった。現在のユウウは3代目だ。一方で、他の研究機関とともに、放流するジンベエザメに発信器を取り付け、人工衛星を用いた回遊経路調査を実施し、無事に自然に還ったことを確認する試みも行っている。



エサはオキアミなどを1日に4kg与える



5m以上に成長したジンベエザメを放流するために、水槽から輸送用の容器に移して、野生復帰トレーニングを行ういけすへと送り出す



輸送用の容器に移されたジンベエザメ



研究機関とともに、放流するサメや定置網に入ったサメに発信器を取り付け、人工衛星を用いた回遊経路を調査



野生復帰トレーニングを終えて海に還る初代ユウウ



高知コアセンターを 改組してできた「高知コア研究所」

地球深部探査船「ちきゅう」の国際運用が間近となり統合国際深海掘削計画 (IODP) が新たなフェーズに入るこの時期、独立行政法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC) は、高知大学 (海洋コア総合研究センター) 内に設立されていた「高知コアセンター」を新たに「高知コア研究所」へと改組した。この改組によって、掘削コア試料の分析と研究、さらに保管といった一連のプロセスを実施する中核的研究施設が本格的に活動し始める。



取材協力:
東 垣 所長
高知コア研究所

高知コア研究所の方針

「高知コアセンター」は地球深部探査センターのもとで、統合国際深海掘削計画 (IODP) の掘削試料 (掘削コア) 解析の拠点として、JAMSTECが高知大学と共同で管理・運営を行うために設けられたセクションであった。JAMSTECはその設立プランから高知大学

に協働し、これまで約3年間にわたって機器管理・運営を行ってきた。この間、掘削コアの保管・分析のための設備・機器の導入や試験運用など準備段階を終え、掘削コア分析等を本格的に行える新たな段階に入った。

JAMSTECとしては、掘削コアの保存、研究および機器の維持管理という

一連の作業を自らの手で行うべく、このタイミングで、今回の高知コア研究所への改組に踏み切った。高知大学との連携の旗のもと、今回の改組で、高知大学の海洋コア総合研究センターとJAMSTECの高知コア研究所とが併存する形となった。

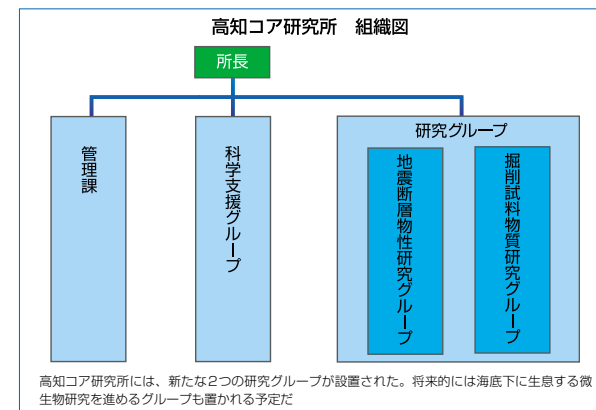
今回の改組の特徴は、これまでのコ

アの解析と管理を主とした高知コアセンターから新たに研究機能を有する「研究所」とした点である。研究所には新たに地震断層物性研究グループと掘削試料物質研究グループの2つが置かれた。これらのグループは、この施設をより有効に活用し、優れた研究を推進するため地球内部変動センターにあった掘削試料研究プログラムを高知コア研究所に移し設立されたものである。これら研究グループのほかに科学支援グループと管理課を加え「高知コア研究所」が作られた。

地震断層物性研究グループは、その名の通り地震に伴う断層の物性に注目して研究を行う。IODPではこれから南海トラフで地震断層掘削が行われる予定になっているが、同グループではこれと協力し、掘削試料を非破壊で解析するとともに新たな解析手法の開発を含め研究を主導していく。さらに、地震断層面での変形に関する岩石実験等も新たに展開し、温度や圧力、歪みや地下水圧の特徴等、地下圏の物理的な性質の理解を進めて行きたいという。

また、高知コア研究所には高度な同位体測定機器が整備されている。同位体の研究はさまざまなスケールで起きる地球の物質循環を解明する指標として期待されている。掘削試料物質研究グループは、掘削で得られる地下の物質循環を明らかにする際に重要な役割を果たす同位体の研究の中心と位置づけられる。すでに高精度鉛同位体比測定および定量が可能となっており、それを使った成果が出始めている段階だ。現在は分析に必要な試料量の低減を図っている。また、ストロンチウム (Sr) やリチウム (Li) 等の元素の同位体解析に取り組んでいる。

さらに、将来的には海底下に棲む微生物と周辺の岩石や堆積物との相互作用を検討し、地下に広がる生物圏の理解を進める研究を立ち上げる予定だ。



地下深部の生物圏や微生物の生態系の研究にも同位体の挙動は非常に重要な研究ターゲットであり、また、地下での温度や圧力など物理的性質としての環境因子が関連してくるため、物理・化学的性質と微生物の生理・生態を互いに関連させながら研究を進めることが必要と考えられている。また高知大学の研究者が有機物質の研究を行っており、その連携のもとで地下微生物の研究においても将来相互に協力していくことになるだろう。

体制は、JAMSTEC側の研究者が所長をはじめ10名、研究支援者と管理課を含め、全体で20名前後となる予定だ。今後、高知大学の研究者やスタッフを含め、研究者やスタッフ間のコミュニケーションの取りやすい適正規模

を目指し整えていく。共同研究をはじめとし幅広い分野の研究者の協力を求め、学際的な研究分野の開発や新たな運用の視点から「研究所」が進む新しい方向性が生まれるように、高知大学との連携や「ちきゅう」の乗船研究者との連携、その他の研究プロジェクトとの連携も含めた柔軟な運営をして行



掘削コアは冷蔵コンテナで運ばれてくる。梱包され木箱におさまられたコアを取りだすところ

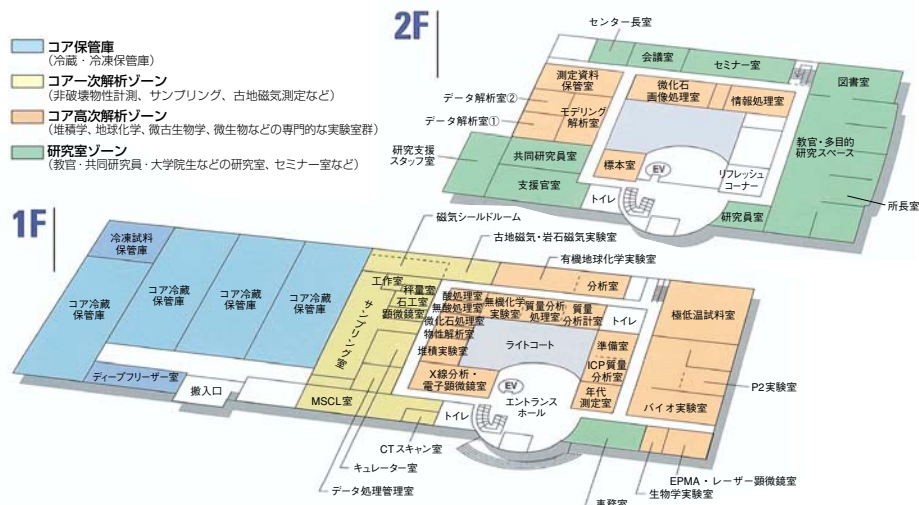


掘削コアはまずカッターで縦半分に切断 (半割) されて分析にまわされる



コア冷蔵保管庫。4℃前後に保たれた保管庫には、長さ1.5mの掘削コアを約9万本保管することが可能

海洋研究開発機構高知コア研究所・高知大学海洋コア総合研究センター館内図



く方針だ。今後はIODPで得られた掘削試料やその他の掘削試料が次々と搬入されるようになり、それに最先端の機器、研究者が揃うことで、今後の研究成果に大きな期待がよせられている。

現在進行中の解析とIODP

高知コア研究所における研究対象は、IODP等で掘削される海洋コアのみでなく、陸上で行われている掘削コアを含む掘削コア全体である。現在高知コア研究所では1999年台湾で起きた集々(チチ)地震の掘削コアの解析を行っている。集々地震のコアには、断層の破砕帯(壊れたゾーン)が複数含まれている。そこで今回の集々地震で岩盤がずれた時、摩擦が生じた部分の温度が何度まで上昇したか、同位体をはじめとする分析機器を使って同定しようと試みている。破砕部分の摩擦熱温度が分かれば、地震の際に生じた岩盤の破壊の様子を推定する上で非常に重要なデータになる。それを世界に先駆けて解析しながら、さらなる解析手法等も開発していきたいと考えている。

南海トラフの掘削コアが高知コア研究所に持ち込まれるのは2007年以降と思われるため、その前に、集々地震のコアのような陸上のコア等を解析し、その特徴を理解し経験を積むことで、その後の南海トラフでの掘削コアの解析に本格的に臨もうとしている。

そのために、IODPで行われているコア保管の方法をここでは踏襲している。例えば、掘削コアは酸素に触れることによって変質が進む。そこでこの施設ではまず、コア内の水分も含めて、CTスキャナ等による多様な非破壊計測段階からはじめ、ありとあらゆる科学的特徴を可能な限り分析・記載できるように系統的な解析を行っていくことを基本としている。

掘削コアを変質・劣化させることなく搬送するシステムは、物流の進歩にしたがって現在飛躍的に向上しつつあり、さらに同研究所では独自のノウハウを培っている。例えば集々地震の掘削コアは、台中(タイチュン)東方で掘削したものを冷蔵コンテナに保存。冷蔵コンテナで運んだ後、高雄(カオシュ



管理スタッフは現在管理課長以下3名。さまざまな調整および実務を担当

ン)からコンテナごとフェリーで大阪港に、そこから陸路高知コア研究所に運ばれた。その間はほぼ3日間。掘削コアの劣化を防ぐためにコンテナ内は4℃に保たれ、さらにシュリンクチューブで周りを固めしっかり固定させる。腐食を防ぐため、脱気のための窒素を充填した後、レトルト食品等で使われるアルミコーティングバックで封印される。日本ならではの生鮮食品品の物流ルートや保存技術が、掘削コアの保管搬送にも威力を発揮している。

高知コア研究所は、今後、IODPによって掘削されたコアに関して、特に西太平洋とインド洋で掘削されたコアを



CTスキャナ。掘削コアの内部構造を非破壊のまま調べる



ICP質量分析室。クリーンルーム内で微量金属元素の分析を行う



若手の研究者が多く、柔軟かつ熱心な研究への取り組みが期待されている

中心に保管する予定だ。掘削コアの保管と解析に関しては米国のテキサスA&M大学とドイツのプレーメン大学の施設があるが、掘削コア研究に絞込んだ設備では高知コア研究所が世界でも屈指のものであり、今後これをどのように使って成果を出していくのかについて、世界中の研究者の注目を集めている。

高知コア研究所が目指すもの

地球内部変動研究センター・掘削試料研究プログラムディレクターから新しく所長に就任した東所長は、今後の構想として、国際的な研究ネットワーク



XRFコアローガー。X線で非破壊のままコアに含まれる多元素を連続測定する



無機化学実験室に置かれた安定同位体質量分析計



マルチセンサーコアローガー。密度を調べるガンマ線透過率センサーなど5つの物性センサーにより、非破壊で連続自動測定を行う



古地磁気・岩石磁気実験室の磁気シールドルームに設置された超伝導磁気計

の構築と国内でのスクーリングの実施の重要性を挙げている。前者は、アメリカの掘削コア保存・解析の拠点であるテキサスのA&M大学や、同じくヨーロッパの拠点であるドイツのプレーメン大学と国際的なネットワークを構築していくことである。掘削コア研究を専門とする研究所同士が情報を交換することで、例えば、試料のスタンダードをお互いに共有し、それによって、解析の精度が格段に上がることが期待され、またデータの互換性に関して大きなメリットがある。また、本施設がアジアの研究拠点であることを考えれば、中国、韓国、台湾、オーストラリア等のアジア・オセアニアの研究者との有機的な連携網の構築は愁眉の問題である。

次に、スクーリングである。地震断層や掘削資料の物性研究などの分野は、まだ一般の人たちの認知が低いのが現状である。今後、この分野が大きく伸びてゆくためには、研究者や研究支援者を目指す人の裾野が広がる必要がある。高知コア研究所には掘削コア解析のための優れた人材や機材・設備が整

っているが、日本の場合、大学で一貫した分析や解析の方法に接し、それを理解する機会が非常に少ない。それを補うのが、同研究所におけるスクーリングと考えている。スクーリングに関しては、これまでに2回、大学生程度を対象とした「コア解析スクール」の開催実績と教育機関としてのノウハウを持つ高知大学とのいっそうの連携のもとに行う予定である。掘削試料を用いた研究分野のものが新しいため、これからそれを担う若い研究者が集う環境と基盤を整え、さらに研究者を目指す人材育成にも携わってきたいという。東所長自身も高知大学の客員教授として大学院でJAMSTECの連携大学院講座を開講している。

最後に、JAMSTEC・高知コア研究所と高知大学・海洋コア総合研究センターは今後もイコールパートナーとして連携を深め、お互いの得意分野を生かして、不足している部分を補いあって行く予定だ。このような形態の共同運営もほかに例のないものであり、今後の展開が期待される。

「雲とそのモデリング」 ～基本の仕組みから気候モデルでの取り扱いまで～

(2005年7月9日 海洋研究開発機構 横浜研究所 第35回地球情報館公開セミナーより)

IPCC (気候変動に関する政府間パネル) の第三次評価報告書によると、気候の予測におけるもっとも不確実な部分は、雲とその放射との相互作用に起因するといわれています。雲は太陽放射を反射することで地球に冷却効果をもたらすと同時に、地球放射を吸収・射出することで加熱効果をもたらします。今回は、そうした雲の成長のメカニズムと気候に及ぼす影響、さらに、それを取り入れた最新の気候モデルについてお話しします。



中村 晃三 サブリーダー
地球環境フロンティア研究センター
水循環変動予測研究プログラム
雲・降水過程グループ

1952年千葉生まれ。東京大学大学院修了後、同大学海洋研究所の助手を経て、1997年から海洋科学技術センター（現・海洋研究開発機構）の兼業研究員。2005年より同機構地球環境フロンティア研究センター水循環変動予測研究プログラム雲・降水過程グループサブリーダーに就任。現在のテーマは気候と関係の深い雲のモデリング。梅雨前線帯のメソスケール擾乱の組織化メカニズムなどの解明に力を注ぐ。

温暖化予測の不確定性の原因

IPCC (気候変動に関する政府間パネル) などにおいて、今後の温暖化について様々な予測がなされています。人間活動に関するいくつかのシナリオを想定し、考え得る科学的なプロセスを組み込んでいますが、この中で雲の役割は決して小さいものではありません (図1)。

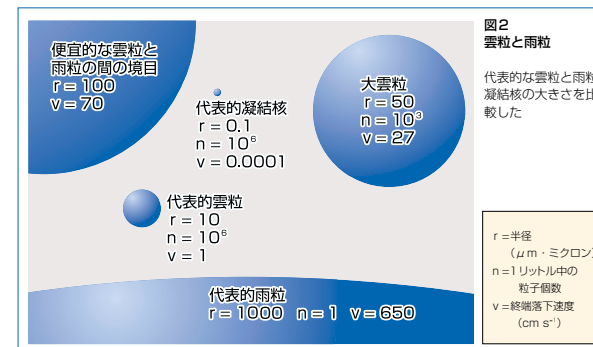
地球は太陽からのエネルギーで温められています。太陽からの入射量を100とすると、空気分子による散乱、雲や地表での反射などで約30はそのまま宇宙へ出ていきます。さらに約20は大気や雲に吸収されます。つまり、100のうちおよそ50しか地表に入らないわけです。ですから、雲が増えると反射も増え、

地球を冷やします。しかし、雲にはもうひとつ重要な役割があります。それは地球から出ていく赤外線を吸収する働きです。地表から出ていく赤外線は、大気の中の水蒸気などの温室効果ガスや雲に吸収されます。ですから、雲は地球を温める働きもあるのです。

ここで重要なことは、先に述べた雲の冷却効果は大気中のどこの高さに雲ができていても大体同じなのですが、温室効果は下層にできた雲ではあまり発揮されないということです。つまり、下層の雲が増えれば温暖化を抑制しますが、上層に増えればその抑制効果は小さくなります。どの層の雲が増えるかで、温暖化に対する効果が異なってくるのです。

雲粒のでき方

では、雲はどのようにして発生するのでしょうか。気体でいられる水 (水蒸気) の量には温度で決まる最大値があります。コップに入れた水を思い浮かべてみましょう。水は常に蒸発し、水蒸気は常に凝結します。通常、蒸発の方が凝結より活発で、やがてコップの水はなくなります。しかし、コップに蓋をすれば、やがて、蒸発と凝結がバランスし、いくら時間が経ってもコップの水が減らなくなります。この状態が飽和状態、その時の水蒸気の量を飽和水蒸気量といいます。温度が高いほど飽和水蒸気量も大きくなります。通常、大気中に含まれる水蒸気の量は気温が0℃のときで1m³に



約5g、気温が10℃上がることにその量はおおよそ倍々増えていきます。通常、地上の空気が上昇気流となり上空で冷やされると気体でいられなくなった水蒸気が水や氷となって出てきます。これが雲粒です。

しかし、水蒸気は飽和量を超えたらすぐに雲粒になるわけではありません。実は、さきほど述べた飽和水蒸気量 (通常使う定義) は平らな水面上での値で、曲面上では状況が異なります。水滴のように凸型の表面では水の分子間の引力が弱まるので、より蒸発しやすくなるのです。小さくなるほどこの傾向は強まるため、水蒸気だけから最初小さな雲粒ができるためには飽和水蒸気量の数倍の水蒸気が必要になります。ところが、現実の空気中ではそのような大きな水蒸気量は観測されません。これは、空気中には目に

見えない微小な粒、エアロゾルが無数に浮かんでおり、そのエアロゾルを中心に水蒸気が凝結するため大きな水蒸気量にならずに雲粒ができるからです。このため、雲粒のでき方にはどのようなエアロゾルがどのくらいあるかが関係することになります。なお、このように雲粒のものになる粒を凝結核と呼んでいます。

雲粒から雨粒へ

雲粒はだいたい半径10ミクロン程度までの水の粒で、その落下速度が無視できる程度に小さなものことです。一方、雨粒は、落下を考える必要がある水の粒で、その代表的な大きさは1000ミクロン程度です。したがって、雨粒は雲粒の約100倍の大きさになります (図2)。容積で考えると縦・横・高さがそれぞれ100倍ですから、雲粒が100万個集ま

らないと雨粒にはならないこととなります。雲粒の成長の仕方には、2つの過程があります。まず、小さな粒はまわりの水蒸気が雲粒に凝結することで大きくなっていきます。これを凝結成長と言います。しかし、大きくなるにつれてこの過程での半径の増加速度は小さくなります。そこで、大きな粒の成長には落下しながら落下速度の違う小さな粒にぶつかって、それを取り込みながら成長する過程が重要になります。これを併合成長と言います。こうした過程を通じて雲粒は雨粒に成長し、雨となって地上に到達します。

雲とエアロゾルの気候への影響

話が戻りますが、雲のでき方を考える上で非常に重要になるのがエアロゾルです。エアロゾルは空気中の小さな浮遊粒子で、温暖化にも大きな影響を与えています。まず、エアロゾル自身が熱を反射したり、太陽の光を吸収したりします (直接効果)。さらに、エアロゾルの小さな粒子は水蒸気が雲粒になるのを促す凝結核になるため、エアロゾルは気候変動に直接的、間接的に影響を与えています (図3)。

雲粒のでき方はエアロゾルの状態が変わります。凝結した水の質量が同じであっても、エアロゾルが多く小さい雲粒がたくさんできた場合は、大きな雲粒が少

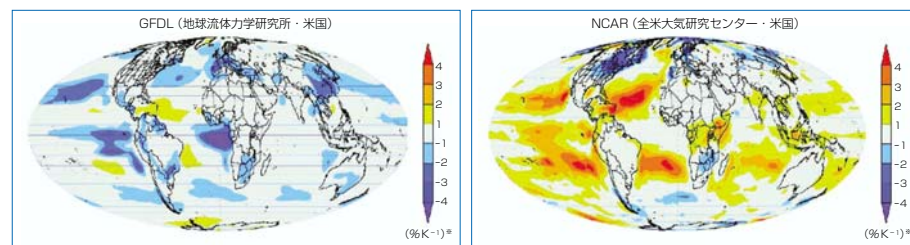


図1 温暖化予測実験のモデルによる気温変化と雲

CMIP (結合モデル比較実験) による、二酸化炭素 (CO₂) 倍増に相当する時期の下層雲の雲量の変化。平均温度変化で大きな違いが出た2つのモデルの例。寒色は雲量の減少、暖色は雲量の増加を表す。GFDL (左図) は温度増加が少なく、NCAR (右図) は温度増加が大きい。(Stephens G.L., 2005, J Climate, 18, 237-273.) ※%K⁻¹ 温度変化1度あたりの雲量の変化を%で表した

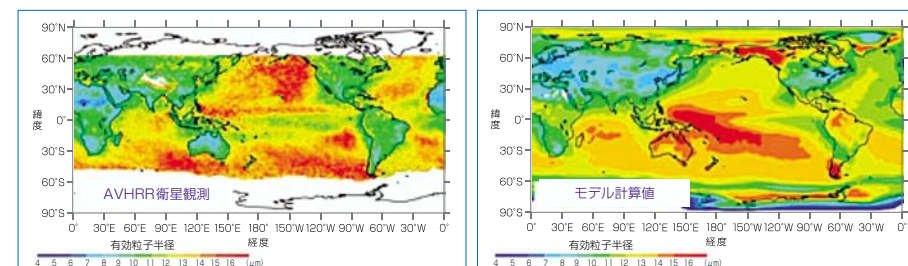
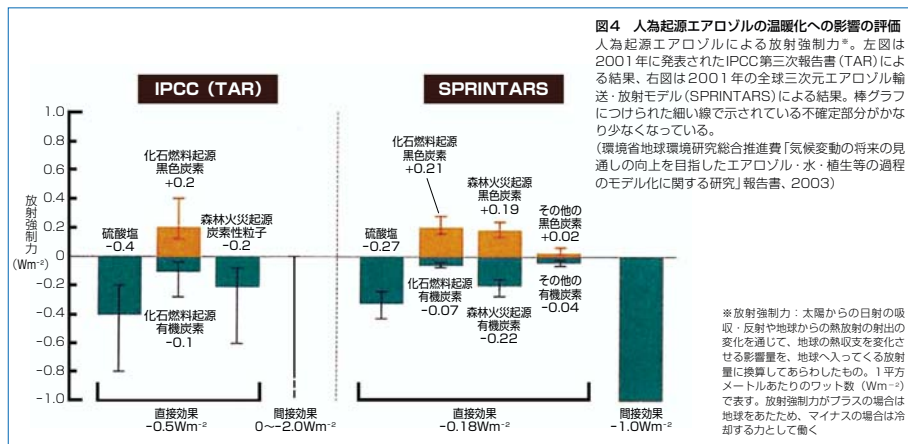


図3 人工衛星による観測とエアロゾル化学輸送モデルで再現された有効粒子半径

下層雲の有効粒子半径の全球分布。左図は広域観測衛星 (NOAA/AVHRR)、右図はエアロゾル化学輸送モデルによる結果。大陸上などの小粒子エアロゾルが多い地域で雲の有効粒子半径も小さくなっていることが分かる。(Kawamoto, K., et al. 2001, J Climate, 14, 2054-2068)



なくできた場合より雲の放射の効果が大きくなります。さらに、同じような大きさの小さな雲粒ばかりで大きな雲粒が少ないと雲粒同士の衝突が起こりにくく、雨粒もできにくくなり、雲の寿命が延びます。このように、エアロゾルの状態は雲粒のでき方に大きな影響を与え、その結果、雲による反射率や温室効果も変動するのです。

雲の成長をシミュレーションする

私たちはコンピュータによる数値モデル計算で様々な気候変動の予測を行っています。地球全体を、例えば、水平方向は100km×100km、鉛直方向は100mの格子で切り、各格子の中に風速、温度、気圧、水蒸気量、雲水量、雨水量などのデータを与え、それらの変化に関する方程式を解いていきます。

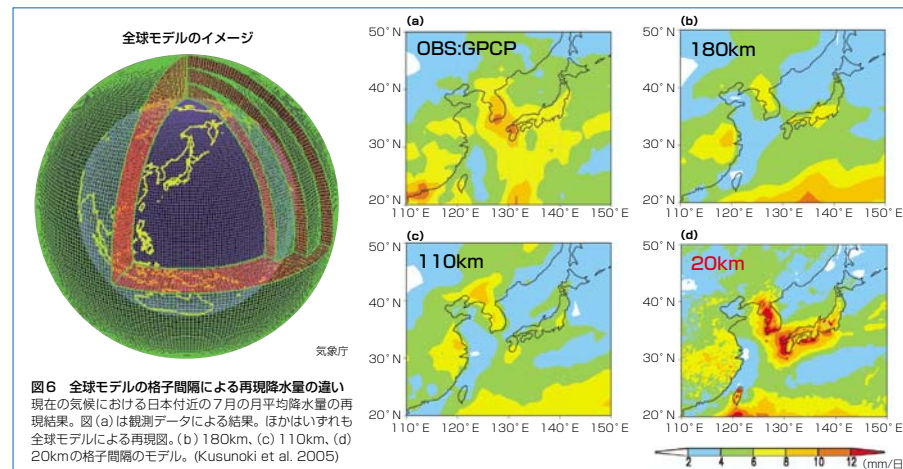
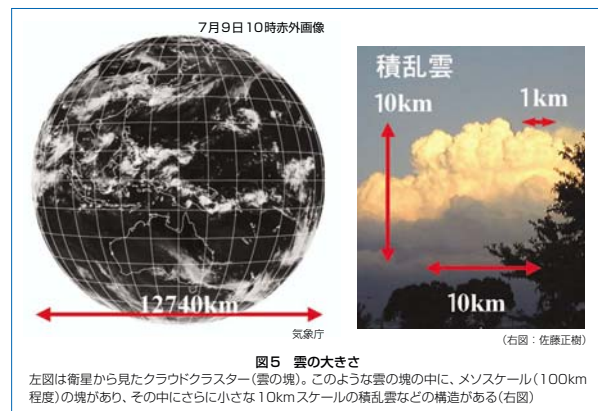
では、その中で雲の動きはどのように再現されるのでしょうか。まず、モデルの格子の中の水を水蒸気と雨水と雲水に分けます。凝結核となるエアロゾルなどの状況も予測して、それぞれがどのくらいの質量、粒子数になるかを予測します。その上で、凝結成長はどの程度起こるか、雲粒から雨粒にどのように変化するか、そういうあらゆる状況を考えて計算を行

います。

大気の上昇速度も重要です。エアロゾルの状態が一定でもこの速度によってできる雲粒の数が変わります。大きなエアロゾルは低い過飽和度でも雲粒になれるが、小さなエアロゾルは小さければ小さいほどより高い過飽和度にならないと雲粒になりません。上昇速度が大きければ、気温の低下率が大きく、過飽和度も高くなるために、小さなエアロゾルを含めて多くの雲粒が生成されますが、上昇速度が小さいと過飽和度が高くないため大きなエアロゾルだけが雲粒になる

ので全体的な雲粒の数は減ります。こうした細かな変動をモデルに組み込むことで、初めて雲の変動予測が可能となるのです。

現在、人工衛星によって様々なエアロゾルの濃度や分布が観測されています。大気中に放出されるエアロゾルの量を計算した雲の分布もシミュレーションされています。人為起源のエアロゾルが、これまでに温暖化に与えてきた影響も、雲をよりよく計算できるようになって以前よりさらに、詳しく評価できるようになってきました(図4)。



メソスケールの雲の再現

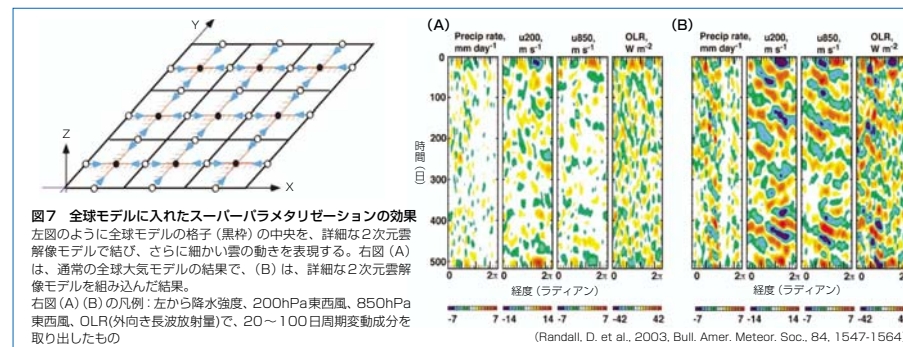
最後に雲の大きさについて考えてみます。衛星画像で見ると、赤道付近にはクラウドクラスターという雲の塊があります。地球の直径は約12,740kmですから、この雲の塊は1,000kmくらいの大きさです(図5)。梅雨前線や温帯性低気圧のような雲も数千kmの大きさです。この雲の塊の中にも、さらに激しい雲の動きがあるのですが、こうした小さな規模、メソスケールの雲の変化は全球モデルの100kmレベルの格子ではうまく表現できません。そこで、こうしたメソスケールの雲を表せるモデルの研究も進めら

れています。270kmから180kmの大きな格子間隔での再現はこれまでのところあまりうまくできていませんが、20kmくらいの格子間隔ならかなり正確に再現できるようになってきました(図6)。

現在は、さらに細かい格子で全球を覆うモデルも開発されています。全球をなめらかな多面体で覆うために、三角形の格子を使って地球を分割するモデルです。地球環境モデリング研究プログラムでは、現在、全球が海だけと仮定したモデルを使ってシミュレーションを行っています。熱帯のクラウドクラスターや中緯度の高気圧、低気圧も見事に再現でき

るようになってきました。

また、スーパーパラメタリゼーションと言って、雲の動きを解像しながらクラウドクラスター(～1,000km)やその集まりの振る舞いを表すモデルも提案されています。通常の100km程度の大きな格子の中に、2kmくらいの細かい2次元格子を組み込んだもので、細かい対流の動きだけでなく大規模な運動もよりよく表現できます(図7)。複雑な雲の動きを再現することで、地球温暖化予測もより正確に行えるようになってきているのです。



TOPICS

横浜研究所・地球情報館で「ちきゅう」特別企画展を開催

横浜研究所・地球情報館では、10月14日から、世界最大の科学掘削船である地球深部探査船「ちきゅう」が、どのようにして建造されたのかを詳しく紹介する、特別企画展「地球深部探査船「ちきゅう」ができるまで」を開催している。会場は、地球情報館の2階ギャラリー。映像展示室の2階部分、吹き抜け空間を囲むように設置されたテラスの壁面に、「ちきゅう」の起工式(2001年4月25日)から、建造工程を追って完成までを撮影した写真パネルが展示されている。このほか、3台のモニターを設置して、実際の建造の様子を記録したビデオ映像や、地球深部探査センターのスタッフが「ちきゅう」の研究施設について解説する講演ビデオ、さらには、「ちきゅう」の全体図や「ちきゅう」を利用して行われる調査研究の内容を解説するパネルなども展示されている。展示期間は2006年4月末日まで、入場は無料。地球情報館の開館時間は、平日のみ10:00～17:00(公開セミナー開催日に限っては土曜日も開館、年末年始の休館等については要確認)。問い合わせ: TEL 045-778-3811



●横浜研究所・地球情報館

ホームページ
http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/yokohama/ESM/index.html

海と地球のQ&A



9-10月号の表紙に出た「オグチボヤ」には驚かされました。なぜ深海生物は、どれも不思議なかたちをしているのでしょうか?

(東京都 IDさん 会社員)

撮影: 三輪哲也



たしかに深海生物にはユニークな姿のものがいます。彼らは、いずれも餌の少ない深海でいかに餌を採り、子孫を残すかという生存競争を勝ち抜くために、それぞれの姿になったのです。チョウチンアンコウやホタルイカ、クラゲなどが持つ発光器は、真っ暗な深海で光を使って餌となる生き物をおびき出すためのものです。また、この光のパターンで結婚相手などを判断するとも言われます。巨大な口やすごい歯は、一度くわえ込んだ餌を逃がさないための「一撃必殺」の形です。雄が小さくなって雌の皮膚にくっついてる魚もいます。これは、仲間の少ない深海で、一度出会った結婚相手は絶対に逃がさないための工夫です。

しかし、ここで大きな誤解があります。多くの本やテレビ番組などは深海の不思議な形をした生物ばかりを紹介しますが、実は、深海の生物の多くは浅い海の生物とそんなに形は変わらないのです。魚もイソギンチャクも基本的には浅い海と同じ形です。ただし、その生息数は圧倒的に少なくなります。いすれにしても深海生物の生態は、まだまだわからないことだらけです。「生きた化石」といわれるシーラカンスが、なぜ深海で生き残ることができたのか。300℃を越す熱水が噴き出す海底に住む、口や消化管がない生き物たちは、なぜ生きていけるのか…。

みなさん、私たちと一緒にまだ誰も見たことのない深海生物の不思議を研究してみませんか。

*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

BOOK

『全国水族館ガイド』

中村 元/文・写真
ソフトバンク クリエイティブ/刊
1,900円(税込)

最近、水族館が元氣だ。相次ぐ水族館のリニューアルや新規オープン。ついには吉本興業までもが水族館運営に乗り出し、機も熟したところで発行されたのが本書。

元鳥羽水族館副館長で水族館のプロモーションなども手がける中村氏が、実際に全国100の水族館を訪ね、解説を書き下ろした。「各地の水族館を訪ねた気分が味わえるように」と著者がいうとおり、ふんだんなカ

ラー写真とともに、水族館探訪記としても楽しめる。注目施設はもちろん、小規模施設の取り組みも評価し、貴重な展示や生き物にはきちんとスポットを当てている。

海獣度、レア生物度、ショー度、淡水族度、海水族度の各項目ごとの評価表や巻末のアクセスマップも便利。プームに乗った観光客も、根っからの水族館フリークも、ともに大満足できる本格派ガイドブックだ。



研究の現場から

電子顕微鏡はセミサイエンティスト

海洋工学センター研究支援部研究施設グループの分析チームでは、電子顕微鏡による試料の分析を行っている。研究者が持ち込んだ深海底の生物や鉱物など様々な試料は、そのままでは分析できない。電子顕微鏡は、光の代わりに電子線を使って物体を見る。現在では分子レベルまでの観察が可能だが、そのためには試料作りと画像から情報を読み取る知識が重要だ。試料の特性と分析目的を考慮し、試行錯誤を繰り返しながら処理を行い、処理後は研究者と議論しながら分析を行う。いずれも経験がものをいう分析担当者の腕の見せどころだ。

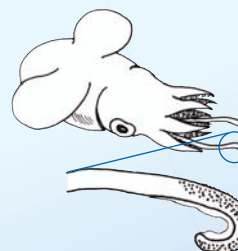
電子線は空気中の分子の影響を受けるため、試料室を含めた装置内を真空にする必要がある。その際には試料の変形を防ぐ処理が必要だ。特に生物試料は、死後変化を停止させる初期処理が最も重要となる。深海生物の多くは飼育が困難であること

から、自然に近い状態で観察するためには新鮮な試料を用いて迅速な試料処理が必要となる。ルーチン化した処理は研究者が船上で行うが、目的の結果が得られない場合には、電子顕微鏡担当者みずから乗船して処理を行うこともある。

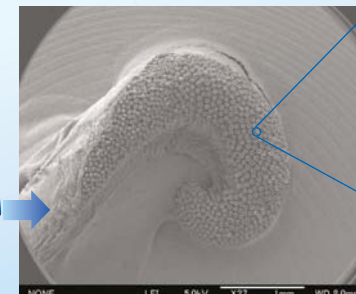
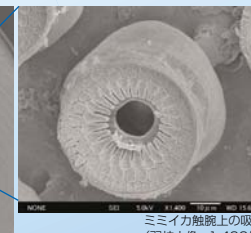
研究者に適切な助言を行うためにも対象試料の知識は不可欠だ。海洋研究開発機構の場合、対象が鉱物から微生物まで多岐に渡るため、さらに幅広い知識が求められる。また目的の像を得るために1,000枚もの写真を撮影したり、研究者の要望に応じ新たな手法を開発する事もある。2種類の細菌を飼に宿すナラクハナシガイの細胞内での細菌分布を電子顕微鏡レベルで見るとは、2001年から3年近く試行錯誤を重ね確立した。その結果は国際学会などで報告し、研究者の目的も達成できたようだ。

本誌でお馴染みの有孔虫や極限環境の微生物たちの姿も、こうした技術支援の下に見ることができるのである。

(取材協力: 海洋工学センター研究支援部研究施設グループ 植松勝之)



電界放射形走査電子顕微鏡

ミミイカ殻壁 (極低倍率 27倍)
ミミイカは体長 2.5cmほどの小さなイカ。イカはその吸盤の形状によって分類が決まるため、電界放射形走査電子顕微鏡で詳細を観察した

ミミイカ殻壁の吸盤 (弱拡大像 1,400倍)

『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。購読するためには、

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)

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」)

●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。なお、年末年始などの休館日は受け付けておりません。詳細はお問い合わせください)

●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」編集室
TEL: 045-778-5350 FAX: 045-778-5424
E-mail: info@jamstec.go.jp

※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ためて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(「Blue Earth」の発送や確認のご連絡等)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



いおワールド かごしま水族館オリジナルグッズ ボールペン、ノート、マグネットをセットで

今号の「Aquarium Gallery」で紹介した、いおワールド かごしま水族館のオリジナルグッズ。ボールペンとノートには、水族館で最も人気があるジンベエザメのユウユウがデザインされています。今回は、このボールペンとノートに特製マグネットをセットにして、抽選で5名様にプレゼントいたします。さらに、当選されなかった方々のなかから、抽選で5名様にJAMSTEC特製カレンダーをプレゼントします。

●今回から、メールでもご応募いただけるようになりました。

応募方法

ハガキ、メールどちらでも、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、下記までご応募ください。応募締め切りは、2005年12月26日(月)です（ハガキの場合は当日消印有効）。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

〈ハガキ〉
〒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
〈メール〉
info@jamstec.go.jp
「Blue Earth」編集室プレゼント係

※お預かりした個人情報、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

深海掘削研究船「ちきゅう」の試験運用が、いよいよ開始されました。それに合わせて、掘削した試料（コア）を分析し、研究するための施設「高知コア研究所」が開設され、我が国における深海掘削研究が本格的にスタートしました。詳しくは、今号の関連記事をご覧ください。

深海掘削といえば、編集部は2003年に上映されたジョン・アミエル監督の『ザ・コア（THE CORE）』という映画を思い出します。この映画は、「ちきゅう」建造が本格的になってきたころに封切られたので、とても興味深く鑑賞しました。ストーリーは、次のように結構荒唐無稽なものです。

「地球の磁場の減少により世界中で頻発した事故の原因は、地球の外核（アウターコア）の回転が緩やかになってきたためであり、1年以内にその回転は完全に停止してしまうことが分かった。そうすると、太陽からの放射線が降り注ぎ、人類は全滅する。それから逃れるための唯一の方法は、人類がいまだ辿り着いたことのない地球の中心部、地下1,800マイルへ潜ることだった。1,000メガトン級の核爆弾を仕掛け、その爆発の波動により再びコアを回転させるために……。そこで、地中探査艇「バースル」が開発され、乗組員として6人のテラノーツ（地中潜行士）が選ばれ、地中深く出発していくのだが……」

あとは、お決まりのいろいろな困難やトラブルとの格闘が続き、最後に人類は救われるというものです。

地中探査艇については、いろいろチャチャを入れたくなるのですが、ただ、探査艇が遭遇する地球内部の様々な映像は印象的でした。大き

な水晶やダイヤモンドの塊に衝突したり、広大な空洞やマグマだまりに遭遇したり、コアの表面の様子（高温なので画像変換しているという設定）など、SFXを駆使して描いています。しかし、ある程度は科学的根拠に基づいているのでしょうが、我々はこの映像を見て、それが正しいかどうかを判断することはできません。もし月や火星が舞台の映画ならば、探査艇のデータなどに基づいてSFXを制作しないと、すぐに嘘に気づくことでしょう。しかし、地球の深部を探索できる地中探査艇どころか、地下深部を映し出すTVカメラすら存在していないのですから、だれも詳細な資料映像を手に入れることができないのです。

しかし、「ちきゅう」にはマントル物質を採取するという大ミッションがあります。近い将来、「ちきゅう」のドリルビットが地殻（モホ面）を貫いてマントルに到達し、実際の「ザ・コア」の世界の一端でも垣間見ることが可能にしてくれるのではと期待しています。（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11月現在

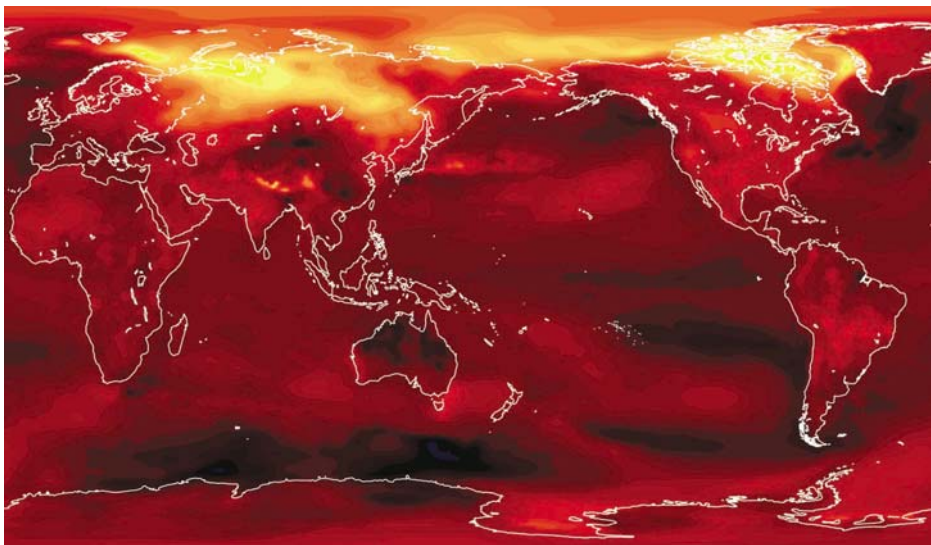
株式会社 アイ・イチ・アイ マリンユナイテッド アイウ印刷株式会社 株式会社アクト 株式会社アサツディ・ケイ 株式会社浅沼組 アジア海洋株式会社 石川島播磨重工業株式会社 泉産業株式会社 株式会社伊藤高屋瓦斯容器製造所 栄光電設株式会社 株式会社エス・イー・エイ 株式会社江ノ島マリンコーポレーション 株式会社NTTデータ 株式会社エス・ティ・ティファシリティーズ 株式会社MTS雪氷研究所 株式会社OCC オートマックス株式会社 沖電気工業株式会社 株式会社オーケービリアルティシステム 株式会社海洋総合研究所 海洋電子株式会社 株式会社化学分析コンサルタント 鹿島建設株式会社 カナダ株式会社 カ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

海と地球の情報誌「Blue Earth」第17巻第6号（通巻第80号）2005年11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 情報業務部 情報業務課 栗田 桂
発行人 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 情報業務部 土屋 利雄

本部 ……〒237-0061 神奈川県横浜須賀野市夏島町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）
高知コア研究所 ……〒783-8502 高知県南国市物部乙200 TEL.088-864-6705（代表）
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）
国際海洋環境情報センター ……〒905-2172 沖縄県名護市字豊原224番地3 TEL.0980-50-0111（代表）
Washington D.C. Office ……1120 20th street, NW, Suite 700, Washington, D.C. 20036, USA TEL.+1-202-872-0000 FAX.+1-202-872-8300
Seattle Office ……810 Third Avenue Suite 632 Seattle, WA 98104, USA TEL.+1-206-957-0543 FAX.+1-206-957-0546

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



「地球シミュレータ」によって計算された 年平均地表気温上昇量の地理分布

The projected geographical distribution of annual-mean surface air temperature rise

世界最大規模のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いた地球温暖化予測計算によって得られた結果。2071～2100年の年平均地表気温から、1971～2000年の値を引いた上昇量を示している。色の明るい領域ほど気温上昇が大きい。IPCCが作成した将来シナリオのうち、将来の世界が環境よりも経済重視で国際化が進むと仮定したシナリオ「A1B」(2100年の大気中の二酸化炭素濃度が720ppm)による計算結果。全地球平均で4.0℃上昇する見通しとなった。分布を見ると、気温上昇は均一ではなく、地域によって大きく異なることが分かる。全般に海上より陸上で上昇が大きく、北半球の高緯度域全域の上昇が著しいことが見てとれる。

(CCSR/NIES/FRCGC)

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/>