

海と地球の情報誌

Blue Earth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2007 5-6

ISSN 1346-0811

2007年6月発行

隔月年6回発行

第19巻 第3号

(通巻89号)

地球温暖化は どこまで進むのか？

最新・温暖化研究レポート
「IPCC第4次評価報告書」を読み解く

深海からの旅人・ラブカ

1粒の砂から
地球の歴史が見えてくる

“ピカソ”が海をのぞいてみたら

深海無人探査機
「かいこう7000Ⅱ」

1 **Close Up**
“ピカソ”が海をのぞいてみたら……
深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」が始動！

2 **特集**
地球温暖化はどこまで進むのか？
誰もが知っておくべき最新・温暖化研究レポート
「IPCC第4次評価報告書」を読み解く

16 **Aquarium Gallery**
あわしまリンパーク
深海からの旅人・ラプカ

18 **私が海を目指す理由**
人も環境も相互作用

22 **研究の現場から**
1粒の砂から地球の歴史が見えてくる

24 **Marine Science Seminar**
東海・東南海・南海地震発生サイクルの
数値シミュレーション

28 **Super Tech**
7,000m級無人探査機「かいこう7000 II」

30 **BE News**
陸地はなぜできたのか？「地殻の進化」をとらえた
南極の深海底で700種以上の新種を発見
グリーンランドで最古の地殻を発見
海藻からバイオ燃料を大量生産
化学合成生態系水槽の展示開始 新江ノ島水族館
横浜研究所・横須賀本部の施設を一般公開

32 **BE Room**
プレゼント
「Blue Earth」定期購読のご案内
JAMSTECメールマガジンのご案内

裏表紙 **Earth Watch**
雲と空の表情を忠実に再現

裏表紙



“ピカソ”が海をのぞいてみたら……

深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」が始動！

VPRを搭載した「PICASSO」。
向かって右のアームに光源、
左にカメラが付いている。1秒
間に15枚の撮影が可能
(撮影：葦水 亮)



ここに散りばめた幻想的ともいえる写真の数々は、深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」が撮影した深海の生物たちだ。

「PICASSO」は、深海の生物を調査するために海洋研究開発機構（JAMSTEC）が開発した小型無人探査機。2007年2月24日から3月4日にかけて相模湾初島沖と駿河湾富士川沖で、初の海域試験が行われた。画家ピカソのように、普段ものを見ている目ではなく、新しい目で周りを見る——そんな想いを込めて「PICASSO」と名付けられた。「PICASSO」の“目”は3種類。放送局用ハイビジョンカメラ、あるいは深海現場調査用実体顕微鏡（VPR：Visual Plankton Recorder）を、3台のビデオカメラで形成されるパノラマ式カメラシステムと合わせて機体に搭載できる。そのなかで“新しい目”として特に期待されているのがVPRだ。

水深200～1,000mの深海には、さまざまなプランクトンが多く棲息しているが、特にそのなかのゼラチン質プランクトンと呼ばれる仲間の情報は、驚くほど少ない。体がもろいのでネットでの捕獲が難しく、海中で調査しようにも体長が1cmにも満たないものが多く、その上に体が透明なので、うまく観察できないからだ。VPRの目的は、そのプランクトンを生きたまま撮影すること。VPRは、いわば水中顕微鏡で、2本のアームの先端に光源とカメラが付いている。透明なプランクトンに正面から光を当てて撮影すると背景に溶け込んでしまうが、VPRでは光がプランクトンを周囲から照らすように工夫してあるため、輪郭がきれいに浮かび上がる。VPRを使った初の海域試験では、数百点ものプランクトンと、数千点にも及ぶマリンスノーの画像を撮影することに成功した。

長さ2mとコンパクトな「PICASSO」は、小型船舶にも搭載できるため、運用経費を抑え、その分、調査の回数を増やすことができる。プランクトンを認識し、自動で追跡して撮影できる機能も開発中だ。

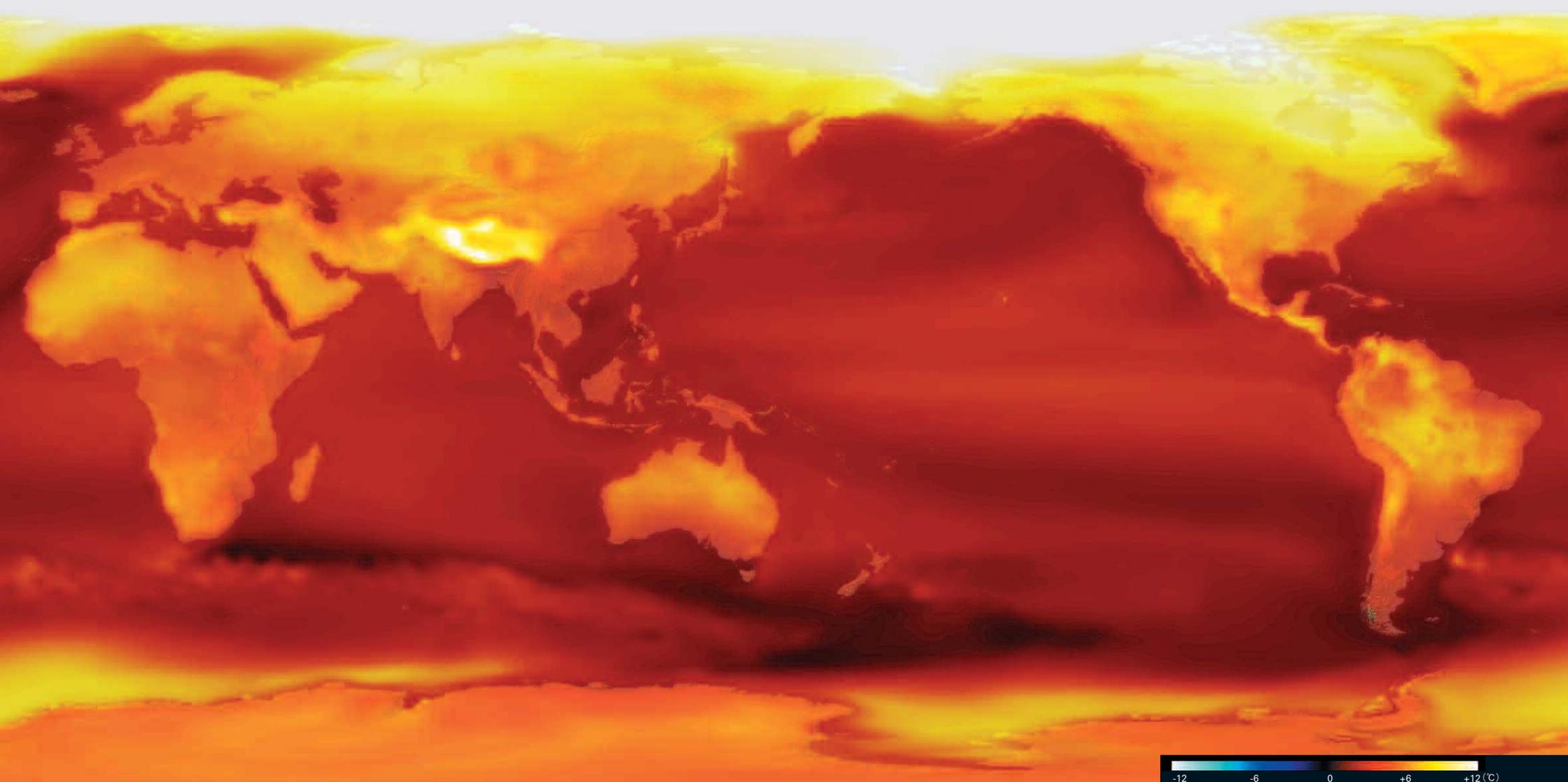
(取材協力：ドゥーグル・リンズィー 研究員)

極限環境生物圏研究センター 海洋生態・環境研究プログラム)



ハイビジョンカメラを搭載した潜航中の「PICASSO」。本体は長さ2m、幅0.8m、高さ0.8m。母船とは直径1mmの細い通信ケーブルでつながれているだけなので、海流などの抵抗を受けにくく、生物を追跡しながら調査するのに適している。最大潜航深度は1,000m
(撮影：新田 広)

「PICASSO」に搭載されたVPRによって撮影されたさまざまな深海のプランクトン（合成写真。縮尺は同じではない）。水中を漂って生活する浮遊生物をプランクトンと呼び、小型の甲殻類、クラゲ、魚類の幼生など、さまざまな種類がある



地球温暖化はどこまで進むのか？

誰もが知っておくべき最新・温暖化研究レポート
「IPCC第4次評価報告書」を読み解く

取材協力 時岡達志 センター長 近藤洋輝 特任上席研究員
地球環境フロンティア研究センター 地球環境フロンティア研究センター

図1 21世紀末の気温上昇
大気中の二酸化炭素（CO₂）濃度が2倍になったときの予測。色の明るい地域ほど気温上昇が大きい。1971～2000年の年平均気温を基準に、2071～2100年の平均気温が何度上昇するかを示している。地球全体の平均気温は約4℃上昇する（CCSR/NIES/FRGCG/MEXT）

2007年、世界の科学者たちが温暖化研究の最新成果をまとめた報告書が発表されました。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）「第4次評価報告書」です。温暖化はどこまで進むのか、台風は強度を増すのか、北極海の氷はなくなるのか、猛暑・熱波・豪雨は増えるのか……。IPCC報告書には、温暖化が進んだ地球で予測されるさまざまな現象がまとめられています。私たちが知っておくべき温暖化研究の最新情報を、IPCC報告書をもとに紹介しましょう。

地球温暖化の原因

Q 地球は本当に温暖化している?

「気候システムの温暖化には疑う余地がない」。IPCCの第4次評価報告書は、地球温暖化が現実に行き起きていることを、はっきりと指摘しています。地球温暖化は遠い将来に起きることではなく、いま現在起きているできごとなのです。しかも、温暖化は加速しています。地球の平均気温の上昇は1901～2000年の100年間で0.6℃でしたが、1906～2005年の100年間で見ると0.74℃も上昇しています。わずか5年間の違い

で、0.14℃も高くなっているのです。

ただし、過去の歴史を見ると、地球の平均気温は高くなったり、低くなったりを繰り返しています。もう少し長い時間スケールで見ても、現在の気温は高くなっているといえるのでしょうか。温度計がない時代の気温を、木の年輪や氷に閉じ込められていた過去の大気、古文書などから推定すると、20世紀後半の北半球の平均気温は、過去1300年のなかで最も高いことが分かりました。私たちはすでに温暖化した地球に暮らしているのです。

IPCC (気候変動に関する政府間パネル)

世界気象機関 (WMO) と国連環境計画 (UNEP) の協力のもとに、1988年に設立された。その役割は、CO₂などの温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の科学的・技術的および社会的・経済的評価を行い、得られた知見を、政策決定者をはじめ広く一般に利用してもらうことである。

Q 温暖化は人の活動が原因?

それでは、温暖化は人間の活動が原因なのでしょうか。今回のIPCC報告書は、「人為起源の温室効果ガスの増加が温暖化の原因だった可能性がかなり高い」という結論を出しています。その根拠となっているのが、コンピュータのなかで地球の気候を再現する「気候モデル」による研究です。地球の気温に影響を与えるものには、火山噴火や太陽活動の変動などの

自然要因と、温室効果ガスの排出などの人為的な要因があります。温室効果ガスとは、熱を閉じ込める性質がある二酸化炭素 (CO₂) やメタンなどのことです。

地球の平均気温は1940年代～60年代には低下傾向を示し、地球は寒冷化しているといわれたこともありました。気候モデルで過去100年間の地球の気候変動を再現すると、自然の要因だけでこの時期の低下傾向をほぼ再現できます。この低下傾向は自然の要因による気候変動だったのです。しかし、それ以降の気温上昇は、自然の要因だけでは再現できません (図2下)。人為的な要因を加えることによって初めて再現できます (図2上)。

このような実験結果は、2001年に発表されたIPCC第3次評価報告書をまとめるときには、イギリスの研究機関 (ハドレーセンター) によるものしかありませんでした。今回の報告書は、世界のさまざまな研究グループによる実験結果が根拠となっています。そのなかには、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 地球環境フロンティア研究センター (FRCGC) をはじめ日本の研究機関からなるいくつかの研究グループによる、精度の高い気候モデルを用いた実験結果も含まれています。それら複数の実験結果から、地球温暖化は人間の活動が原因である可能性がかなり高い、という結論が導き出されたのです。

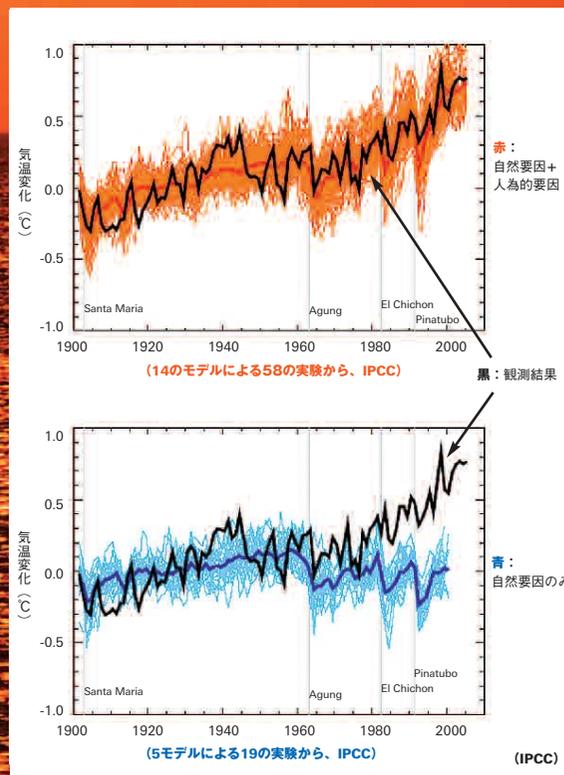


図2 温暖化の原因を特定した気候モデル実験

自然要因および人為的要因を考慮した多数の実験は、観測された気温変化をかなりうまく再現する(上)。自然要因だけでは、特に近年の気温の上昇傾向を説明できない(下)

気候の大変動

Q アマゾンの熱帯雨林が砂漠化する?

「温暖化の進展によって、2100年までにはアマゾンの熱帯雨林の大部分が砂漠化する」。そんな衝撃的な予測結果を、イギリスの研究グループが発表しています。

IPCC報告書では、砂漠化に関連する年間降水量の変化について、高緯度では増加、一方、ほとんどの亜熱帯地域では減少する可能性が高いと予測しています。ただし、アマゾンで砂漠化するほど極端な乾燥化は予測していません。アマゾンが砂漠化するという研究は、1つの研究例としてとらえるべきでしょう。

しかし、アマゾンの熱帯雨林は安心できる状況にはありません。IPCC報告書は、今世紀半ばまでに、気温の上昇とそれに伴う土壌水分の減少により、アマゾン東部の熱帯雨林が草原(サバンナ)に徐々に変わると予測しています。熱帯雨林は生物種の宝庫といわれ、多くの貴重な種が暮らしています。ア

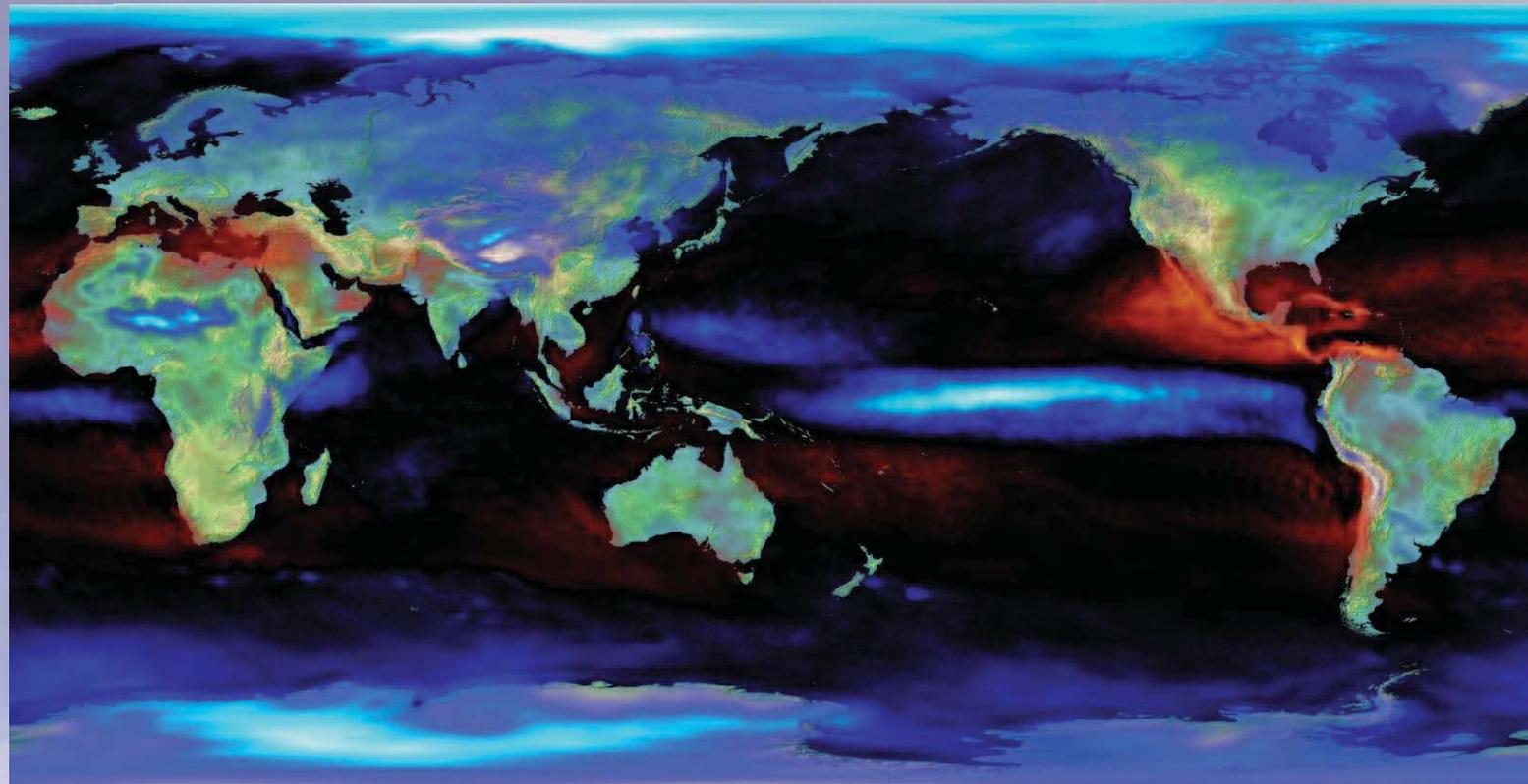


図3 21世紀末の降水量の変化
大気中のCO₂濃度が2倍になったときの予測。水色は降水量の増加、赤や黄色は減少を示す。1971~2000年を基準にした2071~2100年の年平均降水量の変化率を示している
(CCSR/NIES/FRCGC/MEXT)

マゾンの植生の変化は、気候に大きな影響を与えるとともに、多くの生物を絶滅の危機に陥れます。

Q 猛暑・熱波・豪雨が増える?

2003年、フランスでは熱波により1万人以上の命が奪われました。日本でも猛暑や集中豪雨など異常気象のニュースをしばしば見聞きするようになりました。IPCC報告書は、近年、猛暑・熱波・大雨などの極端な気象現象が増加し始めている可能性があるという指摘しています。そして温暖化がさらに進むと、このような極端な気象現象が増加する可能性

が高いと予測しています。

世界のほとんどの地域で豪雨の発生頻度が増加。亜熱帯地域、低~中緯度地域では雨の降らない乾燥日が増加し、干ばつの被害が拡大する可能性があります。熱波も世界的に増加し、特に西ヨーロッパ、地中海沿岸、アメリカ西部・南東部で熱波の増加が予測されています。

温暖化が進んだ地球では極端な気象現象、いわゆる「異常気象」が、「日常の気象」になってしまう可能性があるのです。

Q 台風やハリケーンの強度が増す?

2005年、アメリカ南東部を襲った巨大ハリケーン「カトリーナ」は、1,000人を超える人々の命を奪い、大きな被害をもたらしました。温暖化によって台風やハリケーンなど熱帯低気圧の強度は増しているのでしょうか。

1970年以降の観測結果を見ると、北大西洋のハリケーンは強度が増している、とIPCC報告書は指摘しています。しかし、日本を含む北西太平洋で発生・発達する台風につい

ては、強度が増しているという論文がある一方で、何ともいえないという論文もあり、結論が得られていません。また、ハリケーンや台風の年間の発生回数の増減については、はっきりとした傾向は現れていません。

では、温暖化がさらに進むと、ハリケーンや台風の強度はどうなるのでしょうか。IPCC報告書は、熱帯域の海面水温の上昇に伴って、将来の台風やハリケーンの強度は増し、最大風速や降水強度は増加する可能性が高いと警告しています。ただし、年間の発生回数の増減については結論が得られていません。

海の大変動

Q 北極海の氷がなくなる?

「北極海の晩夏における海水が、21世紀後半までにはほぼ完全に消滅するという予測もある」。今回のIPCC報告書では、「新知見」として、このような驚くべき予測例を紹介しています(図4)。

北極の氷がなくなると、どのような影響が出るのでしょうか。気候への影響は主に2つの

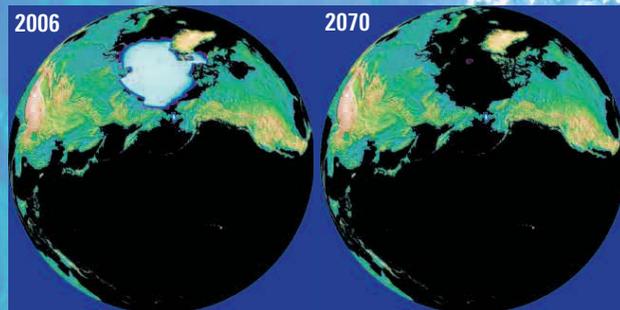


図4 北極海の晩夏における海水面積
日本の研究グループの予測では、北極海の晩夏における海水が、2070年になくなってしまう。
(CCSR/NIES/FRGCG/MEXT)

ことが考えられます。北極では大気はマイナス数十℃ですが、海水は-2℃以上です。氷がなくなると、暖かい海水と冷たい大気が直接接触れるようになり、海水の熱によって大気が暖められます。もう1つは、太陽光の吸収の仕方の変化です。氷は白く太陽光をよく反射しますが、海水は黒っぽい色なので太陽光をよく吸収します。これら2つの効果により、北極海の氷がなくなると、北極の温暖化は加速してしまいます。

実は、北極の海水の縮小と温暖化の加速は、すでに現実起きています。北極海を覆う年平均の海氷面積は、1978年以降10年あたりで2.7%縮小、特に夏季では10年あたり7.4%と大きな縮小傾向にあります。そして北極の平均気温は、過去100年間に世界平均の約2倍の速さで上昇しました。

Q 洪水の被害が多発する?

北極海の氷のように海に浮かぶ氷が溶けても海面は上昇しませんが、グリーンランドや南極大陸の氷床、氷河などの陸上の氷が溶けて海に流れ込むと海面水位の上昇が起きます。温暖化による海水の熱膨張によっても海面水位は上がります。IPCC報告書によると、すでに20世紀中に17cmの海面上昇が起きたと推定されています。

では21世紀には、どのくらいの海面上昇が起きるのでしょうか。それは今後、私たちがどのような社会を築き、どのくらい温室効果ガスを

排出するかによって変わります。1980～1999年と比べた21世紀末の海面上昇は、地域間格差が縮小し環境保全と経済発展が地球規模で両立する社会(B1*)では18～38cm。一方、化石エネルギーを重視しながら高い経済成長を実現する社会(A1FI*)では26～59cmと予測されています。

このような海面上昇により、海拔の低い島々や沿岸地域、河口のデルタ地帯で洪水や高潮の被害が拡大しやすくなります。IPCC報告書は、2080年代までに、毎年の洪水の被害人口が数百万人増えるおそれがあると警告しています。

*B1やA1FIはIPCCで想定しているシナリオ(12～13ページ参照)

Q 海の酸性化が進み、サンゴの成長が妨げられる?

「大気中のCO₂濃度上昇により、海洋の酸性化が進む」。これも今回のIPCC報告書の新知見です。海洋の酸性化が進むと、現在の海水中のわずかなアルカリ成分が減少し、

炭酸カルシウムでできているプランクトンの殻やサンゴの骨格の成長が妨げられるおそれがあります。

サンゴ礁は多くの生物のすみかになっており、「海の熱帯雨林」ともいわれています。サンゴへの悪影響は、海にすむ多くの生物種へも及ぶおそれがあります。

Q 海流の大循環が弱まり、氷期が訪れる?

2004年に公開されたアメリカ映画『The Day After Tomorrow』では、温暖化の後に訪れる急速な寒冷化が描かれています。

北アメリカ東部やヨーロッパ諸国が高緯度のわりに温暖なのは、暖流のメキシコ湾流によるものです。このメキシコ湾流によって運ばれた海水はグリーンランド沖で冷やされ、また冷たい大気に触れて蒸発して塩分が増すため密度が大きくなり、深層に沈み込みます。このような沈み込みによって表層と深層の熱や物質が循環する「深層循環(または熱塩循環)」が起きています(図5)。

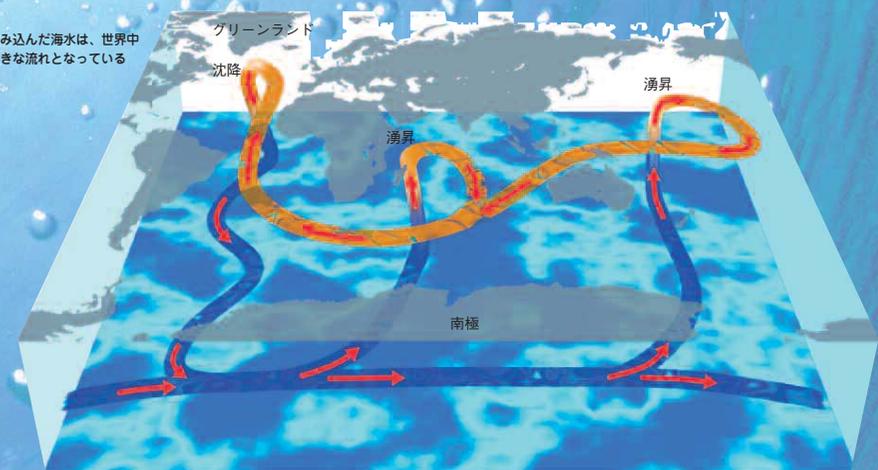
温暖化によってグリーンランド沖で海水が

十分に冷やされなくなり、深層循環が停止し、メキシコ湾流が止まり寒冷化する、というのが映画のストーリーでした。

実際に、温暖化によって深層循環は停止してしまうのでしょうか。IPCC報告書では、大西洋の深層循環は21世紀中に弱まるが、停止する可能性はかなり低いと予測しています。しかし、22世紀以降の長期にわたる研究はほとんど行われていません。

約1万2000年前、氷期が終わり温暖化が始まったころ、急激に寒冷化した時期があり、その原因は深層循環が弱まったためだという説があります。深層循環は、北アメリカやヨーロッパだけでなく、地球全体の気候に大きな影響を及ぼしています。深層循環のさらに詳しい研究が待たれます。

図5 深層循環
グリーンランド沖で沈み込んだ海水は、世界中の深層や表層を巡る大きな流れとなっている



日本の大変動

Q 夏が1ヵ月以上長くなり、冬がなくなる?

温暖化が進むと、日本の気候はどうなるのでしょうか。IPCC報告書には、日本に限った記述はありません。しかし日本の研究グループは、精度の高い気候モデルによって、未来の日本の気候を具体的に描き出し始めています。

気象研究所・気象庁・地球科学技術総合推進機構(MRI/JMA/AESTO)の研究では、最高気温が25℃を超える夏日は、21世紀末にはほとんどの地域で30~40日増えると予測しています(図6)。最高気温が35℃を超え

る猛暑の日数も5~10日増えます。一方、最低気温が氷点下になる冬日は30~40日も減ります。

雨の降り方はどうでしょう。気象研究所などのグループや、東京大学気候システム研究センター・国立環境研究所・地球環境フロンティア研究センター(CCSR/NIES/FRCGC)は、梅雨が長期化すると予測しています。特に九州など南西日本で降水量が増えます。

冬らしい冬の期間が極端に短くなり、梅雨が長引く。夏が1ヵ月以上長くなり、毎年のように猛暑となる。このように、温暖化の進展によって日本の四季は大きく変わることが予測されています。風物詩も変わります。上記の気候システム研究センターなどのグループは、21世紀半ばまでにオホーツク海の氷がなくなると予測しています。北海道の流水も見られなくなってしまうでしょう。

このような気候の変化は、たとえばイネやリンゴ、ミカンなどの生産に適した地域の変化、感染症や熱中症の拡大など、私たちの暮らしや経済に、さまざまな影響をもたらします。



図6 21世紀末の日本の気候
夏日や冬日が現在と比べどのくらい増減するかを示している(MRI/JMA/AESTO)

Q 日本を巨大台風が頻繁に襲う?

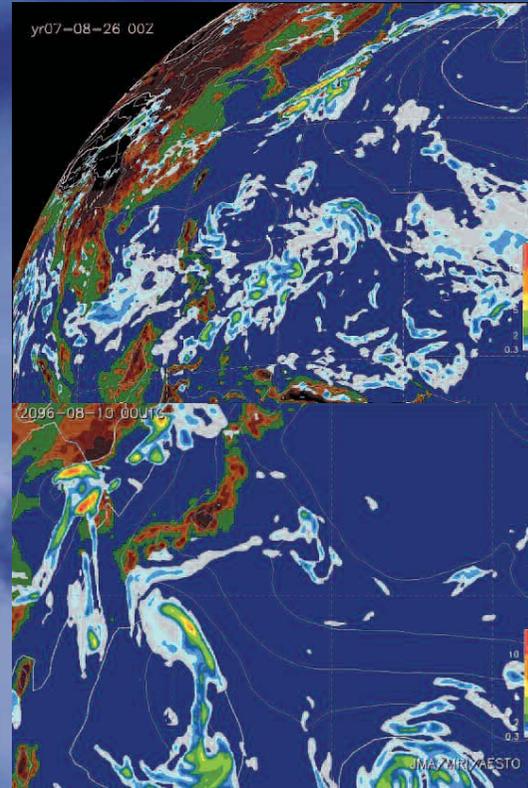


図7 21世紀末、日本を襲う巨大台風
地球全体の大気を一辺20kmの格子に区切ることで、台風を再現することに初めて成功した(MRI/JMA/AESTO)

IPCC報告書では、温暖化が進むと台風やハリケーンなど熱帯低気圧の強度が増すと予測しています。しかし、熱帯低気圧の様子を全球モデルできちんと再現できる大気モデルは、世界に1つしかありません。日本の気象研究所などのグループの大気モデルです。熱帯低気圧の強度が増すというIPCC報告書の予測は、この大気モデルでの研究結果を大きな根拠としています。

コンピュータのなかで気候を再現するとき、地球の大気を立体的な格子に区切って計算を行います。現在の多くの大気モデルは、一辺が100km以上の大きな格子で区切ってい

ます。細かく区切るほど、計算量が大きくなってしまいます。しかし一辺100km以上の格子では、中心に目があり、その周りに渦を巻いた雲ができるといった台風やハリケーンの構造を再現できません。気象研究所では、地球全体の大気を一辺20kmの格子に区切った大気モデルにより、初めて台風やハリケーンの基本構造を再現したのです。それは研究者たちの長年の夢でした。その膨大な計算を可能にしたのが、世界最速級のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」です。

この大気モデルは、巨大台風が日本列島を襲う21世紀末の気候状況を予測しました(図7)。それは、1934年に3,000人以上の死者・行方不明者を出した「室戸台風」に匹敵するような巨大台風です。この大気モデルは、温暖化が進むと台風の強度が増すと予測しています。では、巨大台風はどのくらいの頻度で日本列島を襲うのでしょうか。その発生回数については残念ながら、まだ確かなことは分かっていません。

この大気モデルで現在の気候を再現させると、北大西洋でハリケーンが発生する場所は観測と一致しますが、台風の発生する場所は観測と完全には一致しません。ハリケーンと台風では発生の方が異なるようです。熱帯域で生じた雲が集まると、それが発達して台風やハリケーンに成長します。ハリケーンでは西アフリカやその沖合いの大気の渦が原因で雲が生まれ、集まり、発達するのに対し、台風の場合には大気の渦がない場所で雲が生まれ、集まり、発達していきます。その様子が、この大気モデルでは十分にうまく再現できていないのです。それを再現するには、地球全体を少なくとも一辺2~3kmの細かい格子に区切ったモデルをつくる必要があると考えられます。日本の研究グループは、その開発をすでに始めています。このような大気モデルの高精度化によって、将来、巨大台風がどのくらいの頻度で日本を襲ってくるのかを、精度よく予測できると期待されています。このような予測は、長期的な防災計画を立てる上で、最も重要な基本情報となります。

温暖化の行方

Q 温暖化はいつまで続く?

Q 21世紀、温暖化はどこまで進む?

温暖化が進んだ地球で予測されるさまざまな現象やその影響を紹介してきました。それでは、21世紀に地球温暖化はどこまで進むのでしょうか。それは、私たちがこれからどのような社会を築いていくにかかっています。IPCCでは、環境重視か経済重視か、世界志向か地域志向かによって、大きく4つのシナリオ群を想定し、それぞれの温室効果ガスの排出量や温暖化の推移を予測しています(図8)。

2030年ぐらいまでは、どのシナリオでも10年あたり0.2℃の気温上昇が予測されています。それ以前の温室効果ガス排出の影

響が強いからです。その後はシナリオによって上昇パターンが異なります。地域間の格差が縮小し環境保全と経済発展が地球規模で両立する社会(持続的発展型社会、B1)では、21世紀末に1.8℃の気温上昇ですが、化石エネルギーを重視しながら高い経済成長を実現する社会(A1FI)では、4.0℃の気温上昇を予測しています。

ただし、この予測値よりもさらに気温が上昇する可能性も指摘されています。「温暖化により、大気中のCO₂の陸地と海洋への取り込みが減少するため、人為起源排出のCO₂の大気中への残留分が増加する傾向がある」という新見解が発表されたのです。その傾向を考えると、たとえばA2シナリオでは21世紀末の平均気温がさらに1℃以上

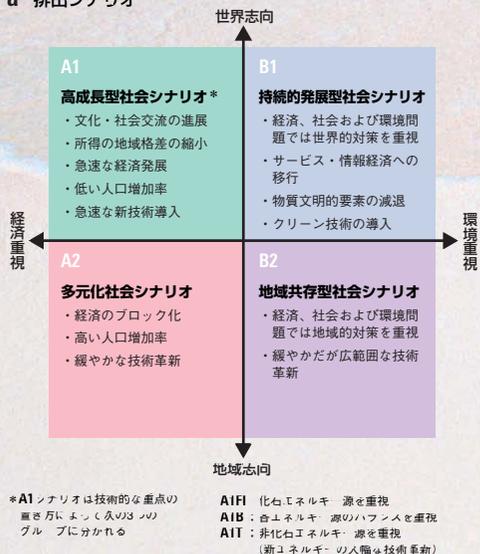
も上昇します。

いったん上昇した大気中のCO₂濃度を下げるのは、海洋や陸域による大気中のCO₂の吸収です。現在の人間活動による年間のCO₂排出量は72億炭素トンです。2100年までの気温上昇を1℃程度に抑えるには、大気中のCO₂濃度を450ppmで落ち着かせる必要があると考えられています。それには、この新見解も取り入れた場合、CO₂排出量を2100年までに現在よりも52~90%削減する必要があると見積もられています。CO₂排出量の削減は私たちの生活を支えるエネルギーにかかわっているため問題が厄介ですが、CO₂などの温室効果ガスの排出量削減を先延ばしにすると、温暖化対策がより難しくなるのも事実です。

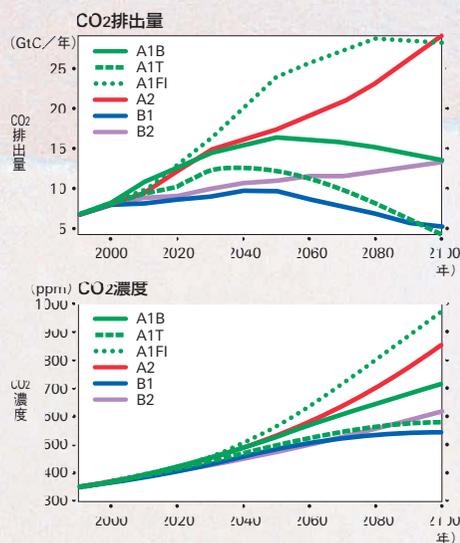
2100年以降、温暖化の行方はどうなるのでしょうか。2100年の時点で大気中のCO₂濃度を安定化させたとしても、2200年に世界の平均気温はさらに0.5℃上昇するとIPCC報告書は予測しています。海面上昇も続きます。熱が深海まで届くのに時間がかかり、海水の熱膨張が速度を落としながらも数世紀にわたって続くと考えられるからです。たとえばA1Bシナリオの場合、海面は2100年に21~48cm上昇し、さらにその後も熱膨張だけで2300年までに30~80cmも上昇する可能性があります。さらにIPCC報告書は、過去および将来の人類の活動によって大気中に蓄積されるCO₂が、自然に吸収される時間スケールを考えると、気温上昇と海面上昇が千年以上続くとして予測しています。温暖化の克服は、今後、何世代にもわたる人類の長期的な課題なのです。

図8 温暖化の行方 (IPCC)

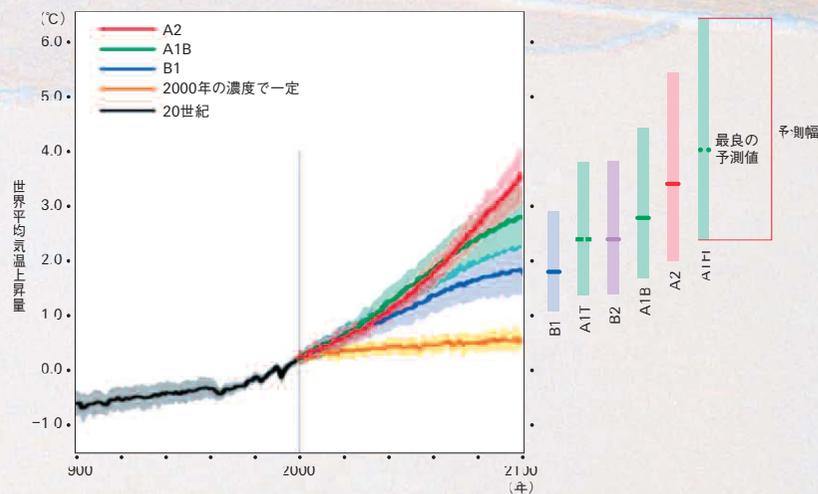
a 排出シナリオ



b 排出シナリオに基づいた、二酸化炭素の変化予測



c 世界平均気温の予測 (1980~1999年を基準とした上昇量)



排出シナリオの範囲では、今後20年間に、10年あたり約0.2℃の割合で気温が上昇することが予測される

気候変動に立ち向かうには

地球シミュレータによる日本の貢献

「前回までのIPCC報告書では、温暖化が起きているかもしれない、という結論でした。しかし今回の報告書では、人為的な要因で温暖化が起きていることはほぼ間違いない、という結論が出たのです。その意義は大きいと思います」。FRGCGの時岡達志センター長はIPCC第4次評価報告書のポイントを、まずこう指摘する。

IPCC第4次評価報告書には、将来の気温上昇の予測とともに、温暖化した地球で各地の気候がどのように変化するか、より具体的な予測が盛り込まれた。「今回のIPCC報告書に、日本は飛躍的に大きな貢献を果たしました。それは、何とんでも地球シミュレータ(図9)のおかげです。私たちは地球シミュレータを十分に活用して、さまざまな研究成果を挙げることができました。地球シミュレータによる日本の素晴らしい成果を見て、アメリカもコンピュータ開発に投資し、温暖化研究をさらに進めようとしています」

日本でも新しい取り組みがスタートした。地球シミュレータを駆使して多くの成果を挙げた「人・自然・地球共生プロジェクト」(2002～2006年度)を発展させるかたちで、「21世紀気候変動予測革新プログラム」が2007年4月から5ヵ年計画が始まり、2013年に予定されるIPCC第5次評価報告書への貢献が期待されている。

温暖化予測に基づいた社会基盤づくり

IPCCは3つの作業部会からなる。この特集で紹介した内容は、主に「自然科学的根拠」を評価する第1作業部会の報告書のものである。

その自然科学的根拠をもとに、第2作業部会では、温暖化がもたらす社会への影響を評価した(図10)。数億人が水不足の深刻化に直面、低緯度地域における穀物生産の低下、感染症による社会的負担の増加など、温暖化によって特に低緯度地域の途上国が大きな被害を受けると第2作業部会は予測し、IPCCのパチャウリ議長は「気候変動の影響を最も強く受けるのは貧しい人々だ。気候変動と貧困問題を関連付けて考える必要がある」と指摘した。さらに、1990年レベルから約2～3℃以上の気温上昇が起きると、地球の全地域に悪影響が現れると第2作業部会は警告している。

第3作業部会では、気候変動の緩和策が評価された。報告書はCO₂の大幅削減が可能であることを示し、今後20～30年間のCO₂削減努力が、長期的な地球の気候に大きな影響を及ぼすと述べている。

このように、温暖化がもたらす影響や対策を評価・議論するためには、温暖化した地球で気候がどのように変化し、どのような気象現象が起きるのかを、より信頼性高く、具体的に予測することが求められている。

「温暖化による新しい気候に対応できる社会基盤を築くことは、短期間にはできません。時間的な余裕が必要です。さまざまな将来計画や政策、被害への対応策を立案するためのベースとなる具体的な環境予測が求められています。私たちはその要望に応じていかなければいけません。私たちが予測する新しい気候や環境の予測に基づいて、あらゆる政策・対応策が計画的に進められていく、そういう社会になるでしょう」。こう語る時岡センター長は、より具体的な予測はCO₂の削減目標を議論するために不可欠なものと続ける。「たとえば、CO₂の削減目標を低く設定した場合、被害がどのくらい拡大するのか、経済的にどのような損失が出るのか、それを詳細に予測することにより、削減目標と被害への対応策を同時に議論できるようになります」

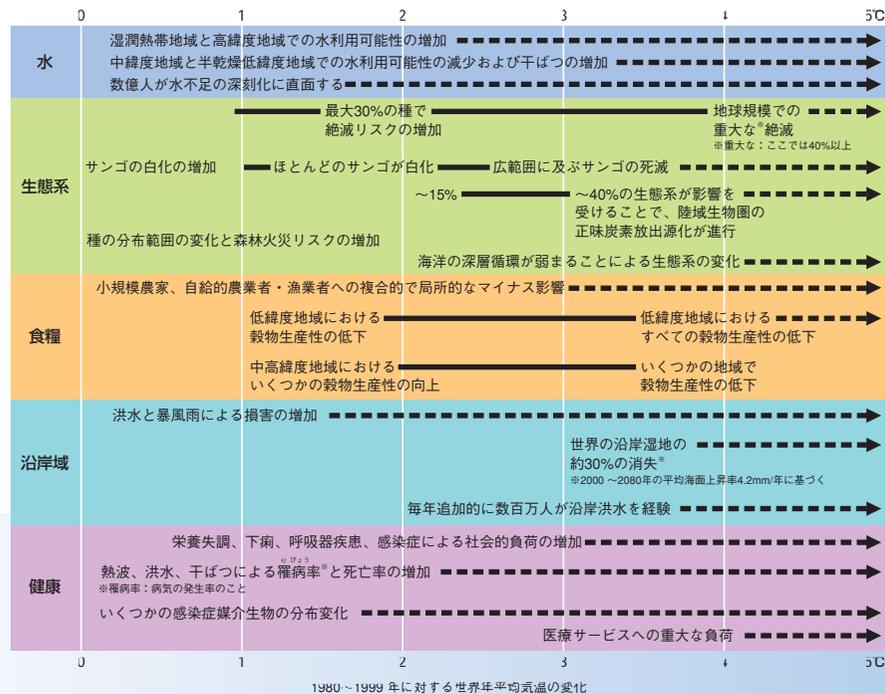
地球システム統合モデル

今後のCO₂削減目標の議論に大きな影響を与えるのが、「温暖化によって自然の吸収力が弱まる」というIPCC報告書の新知見だ。実は、この新知見はFRGCGが開発した「地球システム統合モデル」による研究結果が大きな根拠になっている。このモデルの開発を指揮してきた時岡センター長は、次のように解説する。

「気候が変わると植生などの生態系も変わります。すると、植物が光合成でCO₂を吸収する量や、生物が呼吸してCO₂を放出する量が変わります。大気と海のCO₂のやりとりも変わります。しかし、いままでの気候モデルは気候と生態系の変化を別々に予測していました。私たちは、気候と生態系の相互作用を取り入れたモデルをつくったのです。それが、地球システム統合モデルです」

図10 温暖化の影響予測

(影響は、適応の度合いや気温変化の速度、社会経済シナリオによって異なる) (IPCC)



このようなモデルは、世界でもまだ数が少ない。モデルをつくるには、気候の専門家だけでなく、生態系や大気化学など、さまざまな分野の専門家が必要だ。「そのような異分野の研究者が1つの研究所に集まっているのは、世界でもFRGCGだけだと思います。その知見を集めた地球システム統合モデルで研究した結果、温暖化が進むと、自然がCO₂を吸収する量がトータルで見ると減ってしまうことが分かったのです」

それはなぜか。「一番のポイントは土壌です。土壌にはたくさんの有機物が含まれています。それを微生物が分解してCO₂が放出されます。温度が高くなると、その分解速度が速くなるのです」

それを考慮に入ると、たとえばA2シナリオでは、21世紀末の気温上昇の予測値が1℃以上もアップしてしまうのだ。さらに地球システム統合モデルの実験により、気候の変化のスピードが速いと植生の移り変わりが追いつかず、一時的に森林が減少してCO₂吸収量がさらに低下、

将来の気温はもっと上がるという結果も出されている。

「ただし、気候と生態系の相互作用を私たちは十分に理解できていません。ですから、私たちの実験結果が正しいという確信はまだないのです。特に生態系がCO₂の吸収や放出にどのくらいの量かわわっているのかが、はっきりしていません。気候と生態系の相互作用で、私たちがまだ考慮に入れていない現象もあるかもしれません」

FRGCGでは、地球システム統合モデルの信頼性をさらに高めるための取り組みを行っている。それはコンピュータのさらなる高速化や、たとえばCO₂濃度の地域ごとの分布など、詳細な観測データも必要だ。

世代を超えた取り組み

「これからは温暖化をはじめとする環境問題が国際社会の最大の課題となるはず。全世界が協力して、CO₂削減目標を少しずつ修正しながら、できるだけ温暖

化を進めないようなCO₂排出レベルに持っていくことになるでしょう。これは大きな計画です。IPCCの報告にあるように、温暖化の影響は100年を超えて続きます。そういう心構えで、この問題に取り組むべきだと私は思います」。こう語る時岡センター長は、最後に若い世代へ次のようなメッセージを送った。

「温暖化に立ち向かうには、いろいろな分野の知識の統合が必要です。気候の専門家ばかりでなく、モデルの予測結果に基づき社会的な影響評価をする専門家、防災対策を考える専門家、あるいはCO₂を削減するための省エネ技術の開発をする専門家も必要です。将来は、都市スケールで省エネ型の街づくりを目指すことになるかもしれません。それには都市設計の専門家も必要です。温暖化に立ち向かうためには、さまざまな分野の専門家が求められているのです。若い人たちが、自分の興味のある分野から温暖化へ立ち向かう取り組みに参加してほしいと思います」



図9 地球シミュレータ 2002年から運用されている世界最速級のスーパーコンピュータ。1秒間に約40兆回の計算を行うことができる

あわしまマリンパーク

深海からの旅人・ラブカ

2007年1月21日、午後1時。釣り人から水族館に連絡が入る。「港に不思議な魚がふらふらと泳いでいるよ」。場所は、あわしまマリンパークのすぐそばだ。魚網を持って急いで現場に向かう。

岸壁から海面をのぞき込むと、それは深海魚のラブカだった。青い目、大きな口、フリルのような鰓……。大きさは1.6m。これはメスの標準的なサイズだ。オスなら大きくても1.4mほど。すでに呼吸は浅い。治療を施すために、港から安全な水族館への移動を決めた。水族館の水槽は海を仕切っただけなので、温度差も水質の変化も問題ないはずだ。

ここ駿河湾では、こんな深海からの旅人がたまに訪れる。それはおそらく、駿河湾が日本一深い湾であり、水深2,500mと懐がとて深いかからだ。3年前、あわしまマリンパークのスタッフが乗った漁船の魚網にラブカがかかったこともある。普段、深海700m付近にいるというラブカは、世界のなかでも日本近海、それも駿河湾と相模湾でよく発見される。20年ほど前、東海大学が駿河湾で行った詳細な調査では、5年間に200匹ものラブカが見つかった。

水族館に運んだラブカに人工呼吸を試みる。口に水を流し込むのだ。魚は普通、泳ぐことで口から水を取り入れ、そのなかの酸素を鰓でこし取っている。だから、魚の人工呼吸はこんな具合に行われる。10分ほど人工呼吸をすると、ラブカが動きだした――

そのときの様子が、館内やホームページで紹介されている。世界でも珍しい、動くラブカの記録だ。

(取材協力：佐藤 亮 あわしまマリンパーク)

深海魚ラブカはサメの仲間。その奇妙な姿は、現在のサメとはずいぶん異なっている。むしろ、サメの祖先である古代魚クラドセラケに似ていることから、「生きた化石」とも呼ばれる



鰓穴から赤い鰓が見えるのが原始的なサメの特徴



いろいろな個体を調べると、その姿とは裏腹に、頭や顎のくりは現在のサメと基本的に同じであることが分かってきた



普通のサメとの大きな違いは口。サメの口は下方向、腹側についている。一方、ラブカの口は、ほかの多くの魚と同じように前で裂けている

Information: あわしまマリンパーク

〒410-0221 静岡県沼津市内浦重寺186

TEL 055-941-3126

URL <http://www.marinepark.jp/>

人も環境も相互作用

河宮未知生 地球環境フロンティア研究センター
地球環境統合モデル開発グループ グループリーダー



河宮未知生 (かわみや みちお)
1969年、愛知県生まれ。理学博士。東京大学大学院地球惑星物理学研究科修了。東京大学気候システム研究センター研究員、ドイツ・キール大学海洋研究所研究員を経て、2004年より現職。専門は海洋物理学。海洋の物理環境が生物活動に及ぼす影響の研究などを行う

「バックグラウンドは海洋物理ですが、現在の専門は“地球システム科学”ですね。地球の環境はさまざまな構成要素によって決められています。その相互作用を見るのが、地球システム科学です」と語る河宮未知生グループリーダーは、「地球システム統合モデル」の開発チームのまとめ役である。地球システム統合モデルでは、地球環境にかかわるすべての要素の相互作用を取り入れている。そのモデルを使って地球シミュレータで気候がどのように変動するかを計算し、より正確な温暖化予測を目指す。

囲碁少年

—研究室にテニスラケットが置いてありますね。

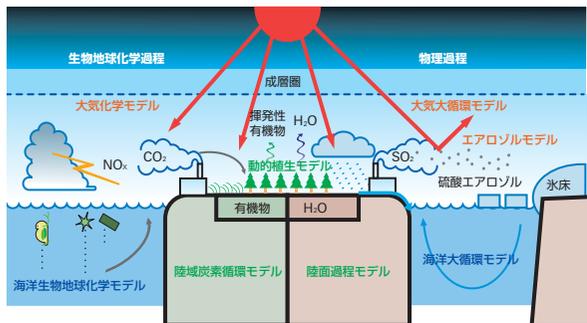
河宮：体を動かすのが好きなんです。高校ではバスケットボールをやっていたし、いまも休みの日に泳いだりします。小学生のときの夢は、プロ野球選手。でも、その一方で、囲碁のプロ棋士になりたいとも思っていましたね。

—小学生で囲碁ですか？

河宮：皆さん、驚くんですけどね。県大会で優勝しました。みんながやっていないのが、よかったんです。子どものころから、へそ曲がりだったんですよ(笑)。ルールの単純さと奥深さの対比。それが、囲碁の魅力です。

—囲碁少年が、どういった経緯で海洋研究開発機構(JAMSTEC)に？

河宮：もともと地球温暖化には興味があったのですが、大学で研究室を決めるころ、こんな話を聞いたのです。「温暖化は気象学の問題のようだけれども、数百年の時間スケールで温暖化を予測するには海が重要



地球システム統合モデル 従来は、大気と海洋の物理法則をもとにした「大気海洋統合モデル」を使って温暖化予測が行われていた。「地球システム統合モデル」は、地球の表層環境にかかわっているすべての構成要素の相互作用を取り入れている



「温暖化によって植物の光合成量や成長速度も変わります。でも、温暖化に対する生態系のフィードバックはあまり考慮されてきませんでした」

です。JAMSTECで「地球システム統合モデル」の開発を始めるというので、それができれば相対的な重要度が見えてくるのではないかと、面白そうだと、思ったのです。

地球システム統合モデルとは

—地球システム統合モデルとは、どのようなものですか。

河宮：地球全体の環境を決めるのに、二酸化炭素(CO₂)の濃度が重要な役割を果たしています。従来の温暖化予測では、CO₂濃度が将来こうなるというシナリオを決め、それを大気と海洋の物理法則をもとにしたモデルに入れて、気候がどう変化するかを計算していました。

CO₂は、光合成によって森林や植物プランクトンに吸収されます。海もCO₂を吸収しています。そして、生物が呼吸したり、人間が化石燃料を使うことでCO₂が排出されます。CO₂濃度は地球全体の炭素循環のなかで決まっているのです。しかも、CO₂濃度の増加によって地球環境が変われば、炭素循環も変わります。温暖化を予測するには、環境変化に応じて炭素循環がどう変わるか、そこまで考慮に入れなければならないのです。

また、温暖化というCO₂ばかりに話題が集中しますが、CO₂以外にも温室効果ガスはあります。温暖化への影響はCO₂が約60%で、残りはほかのガスによるものです。エアロゾルと呼ばれる大気中を浮遊する微粒子も影響します。それらが大気中でどのような化学反応を起こすかも、温暖化予測には重要です。

温暖化が炭素循環に与える影響や、大気中の化学反応など、地球環境にかかわるすべての構成要素の相互作用を取り入れたものが、地球システム統合モデルです。

—地球システム統合モデルを使った予測は、従来の大気と海洋の物理法則だけをもとにしたモデルの温暖化予測と変わるのでしょうか。

河宮：IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第4次評価報告では、2100年までに気温が2~4℃上昇するとしています。地球シ

だ」と。物事を斜めから見るのが好きなので、だったら海の勉強をしてみるのも面白いかと思い、海洋物理学の研究室に進みました。

大学院を修了して、ポスドクとして東京大学気候システム研究センターに勤務した後、ドイツのキール大学海洋研究所へ行きました。そして3年ほどたったころ、JAMSTECから声を掛けていただいたのです。そろそろ日本に帰りたいたいと思っていたこともありましたが、ちょうど、それまでの温暖化研究に少し違和感を覚えていた絶妙のタイミ

ングでしたね。

地球温暖化の研究にはいろいろな分野の人がかかわっているのですが、それぞれ自分の分野の重要性ばかりを主張する傾向があります。ドイツでは海洋研究所にいましたから、みんなが「温暖化はすべて海で決まっている」と言う。大気の人は大気、水循環の人は水が重要だと言います。それぞれの言い分も間違いではないのですが、もっと全体的な見方をして、その上で各分野の相対的な重要度を定める必要があるのではないかと、感じ始めていたの

システム統合モデルを使って計算すると2~5.5℃上昇するという報告があります。

気温が上昇して海が暖まると、CO₂を吸収しづらくなります。また、気温が上昇すると、落ち葉など土のなかにある有機物は腐りやすくなります。腐ると言うことは、有機物がCO₂になって大気中に排出されること。そうした結果、CO₂濃度が高くなり、温度がより上昇するのです。

一方、温度が高いと植物は元気になって、光合成量が増えますから、CO₂濃度は減少します。しかし、その効果より、海のCO₂吸収量の減少や有機物の腐敗によるCO₂排出の効果の方が勝っていて、結局プラスに働きます。

人もモデルも“話す”ことが大事

——地球システム統合モデルは完成しているのですか。

河宮：現在の完成度は70%というところでしょうか。もっと簡単にいくと思ったのですが……。

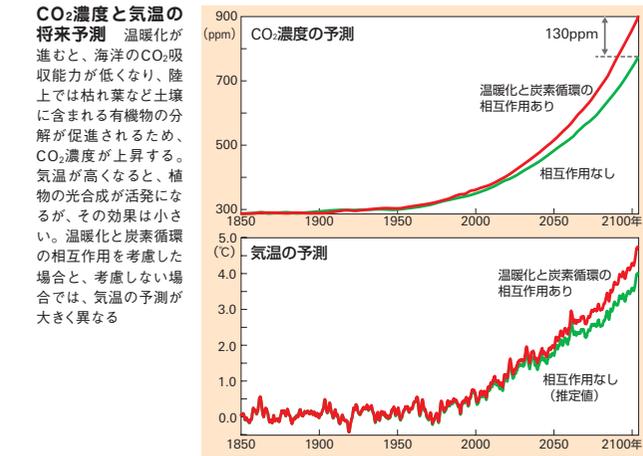
——難しさの原因は？

河宮：これまでの温暖化予測モデルは、地球物理学や気象学、海洋学の専門家が開発してきました。でも、地球システム統合モデルをつくらうとすると、生態学や大気化学など、ほかの分野の専門家にも参加してもらわないといけません。生態学の専門家は気候モデルのプログラムが分からないし、プログラムに詳しい人は生態学について知らない。お互いの言葉を理解するのに、想像以上に時間がかかりました。研究グループが動きだして4年。ようやく、コミュニケーションが取れるようになったところです。

——地球システム統合モデルを完成させるための課題は？

河宮：地球環境にかかわっている構成要素は、ほぼモデルに組み込むことができています。しかし、相互作用はまだ十分表現できていません。現在は、各構成要素が壁で仕切られて、取りあえず入っている状態。これから壁を壊して、隣同士で話ができるようにしなければ。そのためには、他分野の専門家と話をすることが大切です。

また、数百年のタイムスケールで森林がどう移動するかというデータが、まったく足りていません。堆積物中の花粉や同位体のデータ、化石などから過去の気候と植物分布を推察し、予測に生かそうとしています。まだ不十分です。気候変動によって植



「温暖化予測では、雲が一番重要なキーになっているのではないのでしょうか。雲の働きがどう変わるかによって、地球全体で温度がどれくらい上がるかが決まってくる」



物の成長や分布がどう変化するかを計算するモデルを開発し、検討しているところで。

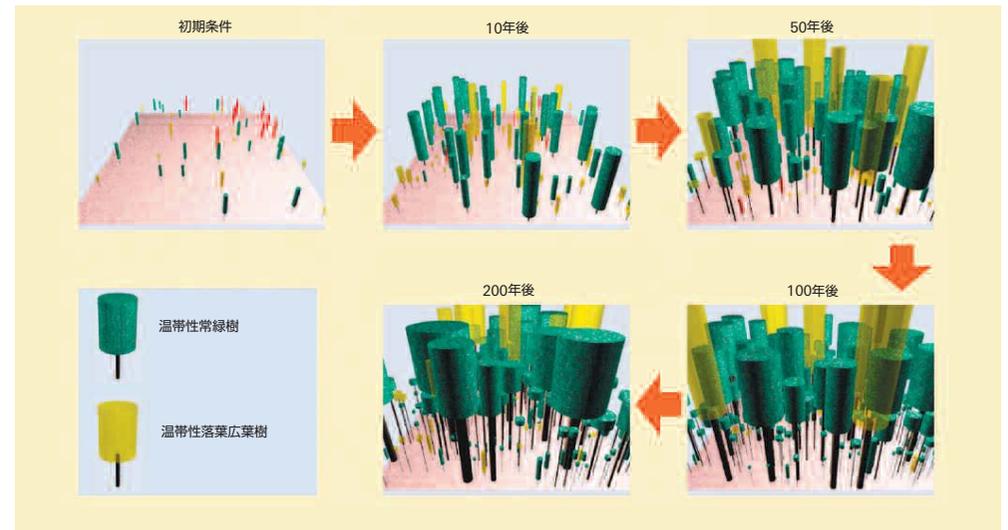
——温暖化に一番効いてくる要素は何か、相対的な重要度は見えてきましたか。

河宮：雲が一番重要なキーになっているのではないのでしょうか。雲は、太陽光を跳ね返したり、地球からの赤外放射をため込んだりします。雲の働きがどう変わるかによって、地球全体で温度がどれくらい上がるかが決まってくる。もう1つ、温暖化の速さを決めるのに重要なのは、海による熱の吸収です。

——より速いコンピュータができると、温暖化予測は変わりますか？

河宮：JAMSTECは、気候変動の研究をしている世界の研究機関のなかで先頭集団の真ん中くらいを走っています。JAMSTECの強みは、地球シミュレータを活かしていること。計算速度の速い地球シミュレータがあるからこそ、地球環境にかかわる構成要素をすべて取り入れた地球システム統合モデルの計算ができるのです。

そういう意味では、コンピュータは速い方がいい。しかし、計算することだけが私たちの目的ではありません。シミュレーションとは本来、自然では実験できないものをコンピュータのなかで再現して、その現象を人が理解するのを助けることが最終的な目的です。コンピュータが速いからといって、



動的植生モデル 気候変動によって植生の分布も変わる。その結果、炭素循環も変化する。しかし、数百年スケールで植生分布がどう移動するかは、まだよく分かっていない。地球環境フロンティア研究センターでは、環境や気候の変動によって植物の成長や分布がどう変化するかを計算する動的植生モデル「SEIB-DGVM」を開発している



「世界のいろいろなところに行って、いろいろな人と話ができるのは楽しいですね」GAIM (地球変化の分析・解析・モデリング) 特別委員会に出席 (後列左から2人目)。2003年10月、イギリスにて。GAIMはIGBP (地球圏生物圏国際共同研究計画) のサブプロジェクト

いろいろな要素を入れ過ぎて、理解できない結果を手にしても意味がないのです。

まずは基礎をしっかり

——ドイツの研究所に行ったのは、なぜ？

河宮：若いうちに一度、海外で研究をしたなと思っていたのです。しかも、英語圏でないところがあった。

ドイツに着いたすぐのころ、「ドイツ語での打ち合わせだけ来てみる？」と言われて参加したのですが、本当に何も分からない。そのとき、「求めていたのは、これだ！」と思った記憶があります。ほら、もともとへそ曲がりだから、そういう環境を楽しめてしまうのです。もちろん、研究の話をする

きは英語なので問題ありません。それでも、3年半ほどいて帰国するころには、ファストフード店の店員とドイツ語でけんかできるほどになっていました。

この仕事に限ったことではありませんが、世界のいろいろなところに行って、いろいろな人と話ができるのは楽しいですね。囲碁は比較的海外にも普及しているので、交流のきっかけになることもあります。私が行っていたドイツの研究所がある町は小さいのですが、それでも囲碁サークルがあって、休日にはよく通っていました。私は囲碁が強いでしょう。そうすると、みんなが私の周りに自然と集まってきて、話し掛けてくれる。そういうのが、楽しいですよ。

——地球温暖化や環境変動に興味があり、その研究者になりたい人は、大学などでどういう道を選択すればよいのでしょうか。

河宮：地球温暖化や環境変動に関係する分野は多岐にわたり、全体を学べるコースが用意されているわけではありません。物理でも化学でも、生物学でもいいのです。まずは基礎の力をつけ、専門性を深めるべきでしょう。最初からいろいろな分野を網羅的に学ぼうと思わない方がいい。

私たちが求めているのは、基礎力があって、地球環境の研究のなかで自分の専門をどう活かせるかをきちんと考え、そして周りに対する目配りもできる人です。ぜひ、そういう人と一緒に仕事がしたいですね。BE

1粒の砂から地球の歴史が見えてくる

取材協力：
眞砂英樹

地球深部探査センター IODP推進室 計画推進グループ
技術研究副主任 (IODP第315次研究航海プロジェクトマネジャー)

吉澤 理

地球深部探査センター IODP推進室 計画調整グループ
技術主任 (IODPアウトリーチコーディネーター)

2007年3月10日、地球深部探査センター (CDEX) IODP推進室の眞砂英樹さんと吉澤 理さんは、静岡県富士川の河原に来ていた。静岡中央高等学校の生徒と一緒に。CDEXが実施しているアウトリーチプログラム「Sand for Students」の野外授業で、河原の砂を集めにきたのだ。今回は、北海道の鶴川、青森県の馬淵川・新井田川に続き、3回目のSand for Students開催になる。

「Sand for Studentsといっても、まだ皆さんご存じないですよ」と吉澤さん。「海洋研究開発機構 (JAMSTEC) では、地球深部探査船「ちきゅう」で海底を掘削して地質試料を採取し、地球の気候変動や内部構造、地下生物圏の解明などを目指す国際プロジェクト、統合国際深海掘削計画 (IODP) を進めています。この科学プロジェクトと理科教育をつなぐ活動を何かできないか、という声がIODPにかかわる研究者、地質学界、さらには中学や高校の地学の先生たちから上がり、検討されてきました。そして、素材として選ばれたのが“砂”なんです」

眞砂さんは、「砂は砂じゃないか、何が分かるのかって思うでしょう」と笑って、Sand for Studentsの意義をこう説明する。「河原の砂をよく見ると、白や黒など、いろいろな色が混ざっていますね。色は、鉱物 (岩石、化石など含まれる物質) の違いです。詳しく調べると、その砂がどこから運ばれてきたかが分かるのです。河原の砂はさらに海に運ばれ、海溝など低いところに堆積します。その海底を「ちきゅう」が掘削して、堆積物を採取する。採取した試料と河原の砂のデータを比較すれば、それが陸のどこから運ばれてきたのかを推定することができます。高校生や中学生に参加してもらい河原の砂のデータを集めてデータベースをつくらう、というのがSand for Studentsです。皆さんが採取した砂のデータが最先端の研究に直接つながる。それがこのプログラムの魅力であり、面白さです」

河原に到着すると、講師による簡単な解説の後、石集めが始まる。「これは砂岩です。これと同じ種類の石を持ってきてください」という講師の声に、みんなが河原に散ります。石を1個握りしめて戻り、「これですか?」「違います?」「え〜!」と、まるでクイズ大会のようです」と吉澤さん。それを何度か繰り返し、集めた石の種類や形成年代などに分類して並べると、地域の特徴が見えてくる。富士川では、富士山の噴火による溶岩が多い。地質図を見ながら、どこから運ばれてきたかを推定していく。

このあたりから、生徒たちの石を見る目が変わってくるという。

吉澤さんは、その変化を自分自身を重ねて語る。「私は静岡での野外授業から担当したのですが、初めは参加した高校生と同じ感覚でした。最初は、単なる石なんです。でも、自分で石を集め、講師の先生方の話を聞きながら授業の準備をしていると、石は1個1個違うストーリーを持っていることに気付く。この石は富士山の噴火でできた溶岩、これは海底下10kmもの深さでつくられた物……。すると、なぜ緑色なのか、なぜ重いのかと、次々と疑問がわいてくる。とにかく面白いですよ」

それを受けて、「きっかけなんです」と眞砂さん。「海底の奥深くでできた岩石が、地殻の変動やプレートの移動で陸地に出てくる。それが礫となり砂となって川を流れ、海に注ぎ、海底に堆積する。そして長い年月を経て再び陸地に現れ、また礫となり砂となって……。地球上ではそれが繰り返されている。私たちが手にした石や砂にも、そういう歴史がある。気にしなければ、ただの石や砂。でも、ちょっとしたきっかけで、1粒の砂から地球の歴史が見えてくるのです」

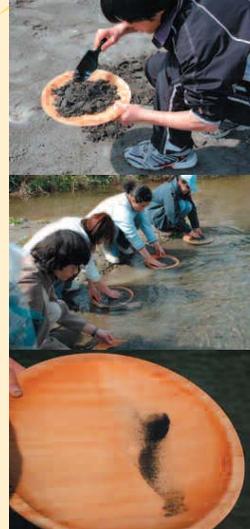
第3回の野外授業は、富士山を望む静岡県の富士川と安倍川の河原で行われた。中央は講師の1人、国立科学博物館の眞砂英樹さん



地表における岩石の分布を色分けした地質図を示して解説する眞砂さん。河原の石の種類が分かると、その石がどこから運ばれてきたかを周辺の地質図から推定できる



まず、河原に転がっている石 (地質学では礫という) を集める。種類ごとに分類すると、地域の特徴が見えてくる。礫が細かく砕かれた物が砂



「このプログラムには、横山先生や宮下先生をはじめ、たくさんの方のアイデアが入っています。運営する側の私も、わくわくするほど面白い」 (吉澤さん)



分析する重鉱物を濃集させるための攪かけ。初めて攪かけをする高校生の手つきもだんだん慣れてくる。繊細かつ大胆に攪を回して、軽い鉱物を飛ばしていく

攪かけで集めた重鉱物をルーペで観察。講師の一人、成蹊高等学校の宮下先生

ちが手にした石や砂にも、そういう歴史がある。気にしなければ、ただの石や砂。でも、ちょっとしたきっかけで、1粒の砂から地球の歴史が見えてくるのです」

岩石の観察と分類が終わると、いよいよ砂の採取。砂をスコップですくい、直径30cmほどの浅い椀に入れ、「攪かけ」をする。岩石はさまざまな鉱物結晶の集合体だが、それが砂にまで砕ける過程で、たいていは単結晶の鉱物粒子にまで分離される。攪かけは、さまざまな鉱物のなかから比重が大きい、重鉱物を選別するための作業だ。一般に石英、長石といった軽鉱物よりも、輝石や角閃石などの重鉱物の方が、同じ種類でも形成された場所などによって元素の比が異なるなど、起源に関する情報がたくさん得られる。

眞砂さんは、「攪かけは、水のなかで揺すって、軽い物は飛ばし、重い物だけを残す。単純ですよ」と事もなげに言う。だが、いざ生徒たちがやってみると、動きが大きすぎて全部流れてしまったり、小さ過ぎていつまでも減らなかつたり……。小さな悲鳴や、ため息があちこちから聞こえてくる。大胆かつ繊細に、それが攪かけの極意だそう。苦戦していた生徒たちも、次第にコツをつかんでいく。集めた重鉱物をルーペで観察したり、磁石を近づけて磁性によって分類した後、野外授業は終了。

フィールドワークは初めて、という生徒も多い。でも、「泥にまみれても平気で、みんな面白がっています」と眞砂さん。「地学ではフィールドワークが大事。現場に行って触れて観察する。その楽しさ、大変さを味わってもらいたい、このプログラムの重要な目的です」

Sand for Studentsでは、アウトリーチだからといって分析も手抜きをしない。生徒たちが集めた重鉱物は持ち帰り、鉱物の種類や割合を調べたり、鉱物に含まれる元素の比を分析したり、放射性元素を分析して鉱物のできた年代を推定したりと、科学

「現場でやることといえば、石を見て、砂を見て、攪かけをして集めるだけ。すごく単純なことですが、それが最先端の研究につながっていく。それを感じてもらいたいですね」 (眞砂さん)



者が実際に行うような手法で砂を分析する。しかし、中学校や高校でそれは難しいため、JAMSTECなどで行って結果を生徒たちに報告し、ウェブにも掲載している。「科学者はフィールドワークで試料を持ち帰り、それを分析し、成果を発表します。それと同じプロセスを生徒たちにも経験してもらいたい」と吉澤さんは言う。「日本地球惑星科学連合などの学会で、“研究”の成果を生徒と一緒に発表していきたいと思っています」

Sand for Studentsに期待していることを、眞砂さんに聞いた。「参加した生徒さんのなかから、地球科学などの研究に興味を持ってくれる人が出たらいいなと思っています。中学・高校は進路を具体的に考える時期です。その時期に、きっかけを与えることが重要。“河原で砂を集めて楽しかったな”で終わってしまっても、取りあえずはいいと思っています。大学を選ぶとき、就職するとき、ふと思い出して、進路を決めるきっかけになることもあるでしょう。種をまいておくことは、大きな意味があります」

今後の野外授業は、熊野川、紀ノ川、木曾三川など、IODP南海トラフ地震発生帯掘削計画と関連した地域での開催を準備中だ。また、IODPは国際プロジェクトであり、アメリカでも高校生に紹介していきたいと、このプログラムに興味を示している。「日本だけでなく、世界中の海洋で掘削した試料とリンクできるくらいの砂のデータを生徒の皆さんと一緒に集めたいですね」と吉澤さん。

最後に、吉澤さんから中高生へのメッセージを語ってもらった。「Sand for Studentsというプログラムは、派手さはないし、日々の生活に役立つことではないかもしれませんが、でも、人間は本能的に何かを知りたいと思っているもの。1粒の砂から地球の歴史が見えてくる。それを知っただけでも、気持ちや、そして人生が豊かになる。多くの人に、この面白さを知ってほしいですね。皆さんもぜひ、地球に触れる楽しさを体験してください」

【問い合わせ先】参加校募集中!

2007年度に紀ノ川・熊野川・木曾三川などのエリアで野外授業を開催します。「Sand for Students」に関する問い合わせや参加申し込みは下記まで 海洋研究開発機構 地球深部探査センター「Sand for Students」担当 (吉澤) TEL 045-778-5647 FAX 045-778-5704 Eメール sand4students@jamstec.go.jp http://www.sand4students.net

東海・東南海・南海地震発生サイクルの数値シミュレーション

(2006年4月15日 第43回地球情報館公開セミナーより)



地球内部変動研究センター
地殻ダイナミクス研究グループ
研究員

堀 高峰

ほり・たかね。1970年三重県生まれ。理学博士。京都大学大学院理学研究科博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員を経て1999年より現職。専門は地震学。巨大地震発生サイクルの多様なメカニズムの研究などを行う

地震や津波の被害を記した古文書などから、東海沖から四国沖を震源域とするマグニチュード8程度の巨大地震が繰り返し起きていたことが分かっています。この領域で起きる東海・東南海・南海地震の再来間隔は100年から200年で、隣り合った場所では同時あるいは数年以内に運動して地震が発生しています。今回、1707年以降に実際に起きた東海・東南海・南海地震の発生パターンを、コンピュータ上でほぼ再現することに成功しました。これは、次の地震の発生予測に向けたはじめての一歩です。発生パターンを再現するまでの道のりと、発生予測に向けての課題についてお話しします。

地震が起きる前が重要

2002年、当時世界最速のコンピュータとして「地球シミュレータ」の運用がちょうど始まったころ、私はそれとは比べものにならないほど小さなコンピュータで、南海地震の破壊がどこから始まり、どのように伝わっていくかを再現する破壊シミュレーションに取り組んでいました。南海地震とは、紀伊半島沖から四国沖にかけての南海トラフ沿いで発生するマグニチュード8程度の巨大地震で、100年から200年間隔で繰り返し発生しています(図1)。

地震とは、地下の岩盤が破壊され、断層を境にずれを生じる現象です。その結果、断層の周りが急に動き変形し、それが波となって伝わって、地表にいる私たちが地面の揺れを感じるわけです。シミュレーションをしてよく分かったのは、地震の破壊がどこから始まり、どのように伝わっていくかは、最初に与える条件、たとえば岩盤のどこがどのくらいひずんだ状態で破壊が始まるかによって、ほとんど決まってしまうということです。ですから、地震の起こり方を決めるメカニズムを知るためや地震の起こり方を予測するためには、地震が起きる前の状態を知らなければいけないのです。

地震はどこで、どのように起きるのか

では、地震が発生する前には何が起きているのでしょうか。地球の表面は「プレ

ート」と呼ばれる十数枚の板で覆われ、プレートは絶えず移動しています。プレート同士が接するところでは、離れたり、擦れ違ったり、一方のプレートの下にもう一方のプレートが沈み込んだりしています。「海溝」はプレートが沈み込む場所であり、そのうち浅いものを「トラフ」といいます。南海地震のような巨大地震は、陸側のプレートと沈み込む海洋プレートの境界で発生します(図2上)。しかし、プレート境界ならばどこでも地震が起きるわけではありません。プレート境界のうち巨大地震を起こすのは、プレート同士がしっかりとくっついている場所です。それ以外の場所は、ずるずると滑っています。くっついている部分と滑っている部分があると、どういことが起きるか、簡単なモデルで説明しましょう。

簡単な地震発生モデルは、沈み込むプレートにくっついているブロックと、滑っているブロック、そして2個のブロックをつなぐばねで表すことができます(図2下)。プレートが動くとき、くっついているブロックは一緒に動いていきますが、滑っているブロックはプレートと一緒に動きません。その結果、2個のブロックは近づいていき、ばねが次第に縮み、力がたまっていきます。縮みが限界に達するとばねは跳ね返り、プレートにくっついていたブロックの接着面が一気に壊れてもとの位置に戻ります。これが、巨大地

震に相当します。

地震が起きる時間は数秒から数十秒で、あっという間ですが、ばねが縮んで力をためるまでには100年程度もかかります。少しずつ力をため込み、限界に達すると、ためた力を一気に解放する。そして、もとの位置に戻るとプレート同士がまたくっつき、同じことが繰り返されます。この一連の流れを「地震発生サイクル」と呼んでいます。

地震発生サイクルは、地震研究、特に発生予測において、とても重要です。地震の規模や繰り返し間隔、隣の領域との運動の有無などが、でたらめに変わるのでなく、ブロック同士に働く力やブロックの面の摩擦の性質などから必然的に変化するものであれば、過去に起きた地震の発生サイクルをコンピュータのなかで再現することができるはずです。現実に近い地震発生サイクルのシミュレーションが実現すれば、次の地震がいつ、

どのように起きるか予測できる可能性が出てくることになります。

シミュレーションと歴史が合わない

そこで、東海・東南海・南海地震についての発生サイクルをシミュレーションしようと考えました。しかし、その領域の地震発生モデルをつくらうとすると、ブロックとばねに相当するものがそれぞれ15万個と220億個も必要で、計算量が膨大になります。とても小さなコンピュータでは無理。そこで、「地球シミュレータ」の出番となりました。このスーパーコンピュータを使って、どこに力をためていくと、いつ限界に達して地震が起きるのかをシミュレーションしてみました。

まず分かったのは、現実に近いと思われるプレートの形やプレートが沈み込む速さの分布を与えると、紀伊半島沖に力がたまりやすく、そこから破壊が始まりやすいということでした。実際、1944年

の東南海地震と1946年の南海地震は、紀伊半島沖から破壊が始まっています。

しかし、プレートの形に沿ってブロックの摩擦の性質(くっつきやすさなど)を与えただけでは、1707年の宝永地震と同じように、いつも東海から東南海、南海まで全部壊れてしまいました。実際には3つの地震が分かれて起きることもあり、歴史とシミュレーションがうまくかみ合いません。シミュレーションには組み込まれていない、何らかの要素があると考えられます。

私たちは、海底の地下構造に鍵があるのではないかと考えました。

巨大な海山や海嶺が沈み込んでいた

私たちの研究センターでは以前から、海洋調査船「かいよう」を使って地下の構造を調べています。エアガンという装置を使って船から音波を出します。それが海底の下まで届き、地層の境界で跳ね

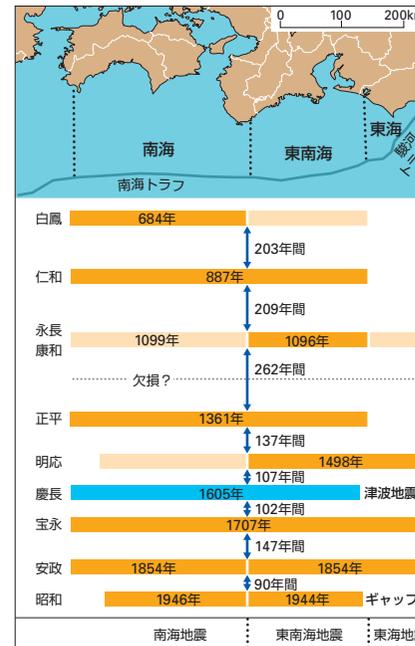
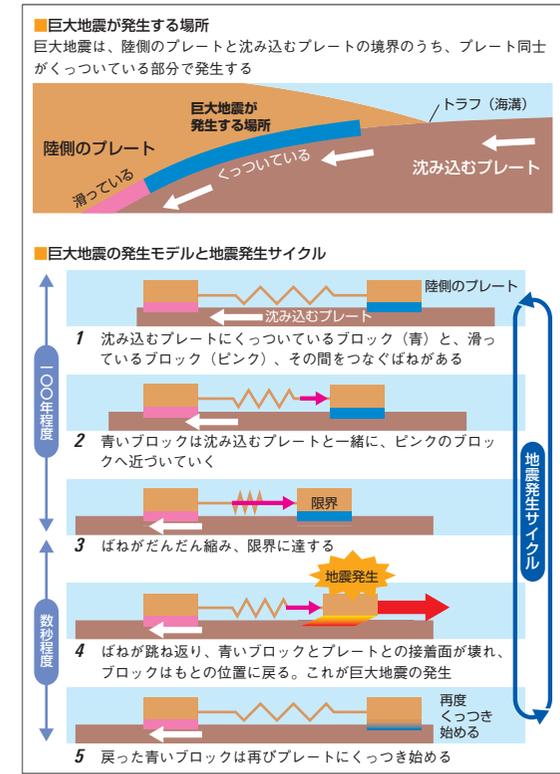


図1 これまでに発生した東海・東南海・南海地震
フィリピン海プレートが陸側のプレートの下に沈み込んでいる南海トラフと駿河トラフでは、100年から200年間隔でマグニチュード8程度の巨大地震が繰り返し発生している。多くの場合、隣り合う場所で同時あるいは数年以内に地震が起きている(石橋、2004をもとに改変)

図2 巨大地震が発生する場所と発生モデル



返ったり、曲げられたりして戻ってきます。そうした音波を受信して詳しく調べると、海底の地下構造が見えてきます。「かいよう」の調査によって、南海地震の震源域では、沈み込んでいるプレート

に富士山と同じくらいの海山があることが見えてきました(図3-A)。また、東海地震の震源域では、いくつもの山が連なった山脈である海嶺が沈み込んでいました(図3-B)。

こうした構造が地震の発生に影響していると考え、シミュレーションに組み込みました。海山や海嶺があると、そこは破壊が起こりにくくなると考えられます。すると、東海地震、東南海地震、南海地震が分かれて起きるようになりました。しかし今度は、東南海地震と南海地震がばらばらに起きるとい問題が発生しました。実際には、東南海地震と南海地震は同時か、数年以内に立て続けに起きています。ところが、シミュレーションでは、東南海地震の60年後に南海地震が起きるという結果になってしまったのです。

その後、いろいろ調整しても実際の地震発生パターンは再現できませんでした。問題は、東南海地震の震源域と南海地震の震源域の境界である紀伊半島沖の構造にありそうです。

東海・東南海・南海地震の発生パターンの再現に成功

ちょうどそのころです。2004年1月、「かいよう」によって紀伊半島沖で構造探査が行われました。その結果、まず陸に近いところで、直径が数十kmに及ぶ重くてかたい物が沈み込むプレートの上に乗っていることが見えてきました(図3-C)。これは「石臼」とも呼ばれています。海山同様、壊れにくい場所です。さらに海側を見ると、沈み込むプレートの一部が壊れていました。すでに壊れているために、ここは力をためることができなとと考えられます。

それまでのシミュレーションでは、壊れにくい場所として、海山がある四国沖と海嶺がある東海沖のデータを取り込んでいました。さらに、紀伊半島沖にも壊れにくい場所と力をためることができない場所があるというデータを加え、新たにシミュレーションをしました。

その結果、1707年以降に実際に起きた地震の発生サイクルに似たパターンを、ついに再現できるようになったのです(図4・図5)。発生間隔の年数や日数は完全には合っていないのですが、東南海地震が南海地震よりも先に起きること、これらの発生間隔がほぼ同時から徐々に伸びていくこと、逆に再来間隔は徐々に短くなっていくことといった発生パターンが再現できています。

地震発生予測に向けての3つの課題

地震発生パターンを再現できたことから、

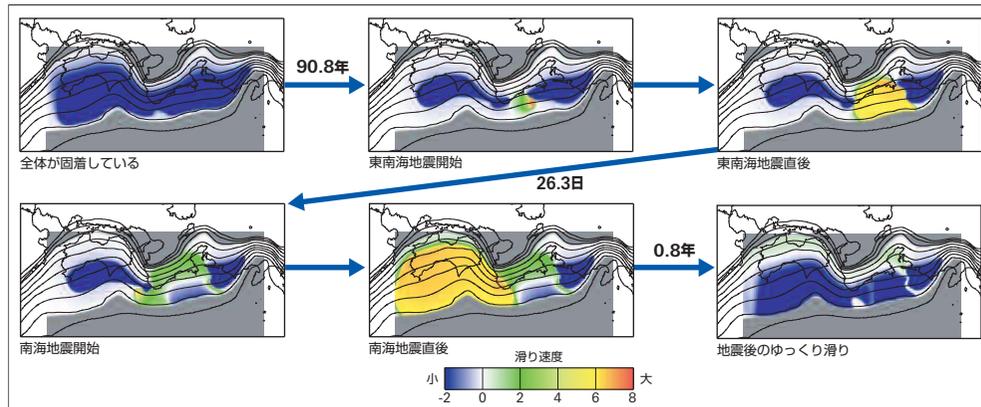
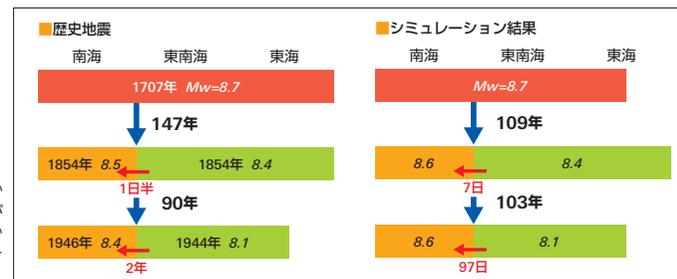


図4 地震の発生サイクルシミュレーション
ある地震サイクルシミュレーションを行ったときのプレート境界での滑り速度分布の変化を示したもの

図5 地震の発生サイクルの比較

地震の間隔は完全には合っていないが、発生間隔の変化の仕方などのパターンを再現することができている。Mwとはモーメント・マグニチュードで、地震の規模を示す



次にいつ地震が発生するか予測できるようになったのでは?と思われるかもしれませんが、いまのままでは予測はできません。地震の発生予測の実現には、少なくとも3つの課題があると考えています。

1つ目は過去の再現です。私たちが地震の発生パターンを再現できたのは、1707年の宝永地震以降だけです。それ以前にも東海・東南海・南海地震が繰り返し起きていますが、同じパターンではありません(図1)。1707年以降の地震発生パターンに関しては、四国沖、紀伊半島沖、東海沖で沈み込む海山や海嶺が影響を与えていたのですが、発生パターンをより複雑にするほかの原因がまだどこかに隠れていると推定しています。現在は、四国最南端の足摺岬から宮崎県沖の日向灘あたりに注目して、研究をしています。

2つ目は、現在の再現です。未来のことを語るためには過去をきちんと再現できないといけません。一方で、現在の状態を再現することも重要です。国土院などによって、日本全国にGPS(全球測位システム)の観測点が設置されています。GPSはカーナビにも使われており、

人工衛星からの信号を受け取ることで、その位置を知ることができるシステムです。陸上はGPSによって地殻変動がわかりますが、海底地殻変動については観測点が非常に限られています。現在、海洋工学センター海底地震・津波ネットワーク開発部(DONET)で紀伊半島沖の海底にケーブル観測網を設置する計画が進んでおり、数年後には海底地殻変動の様子も分かるようになるかと期待されています。

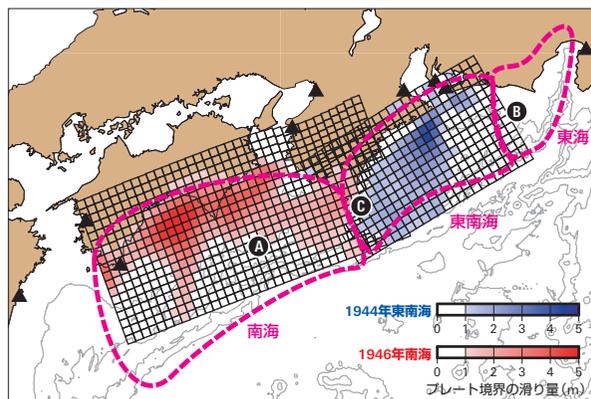
GPSの観測データは、西南日本がその下に沈み込むプレートの進む方向に縮んでいることを示しています。これは、沈み込むプレートが陸側のプレートと一部くっついて引きずり込んでいるためです。先ほどの地震発生サイクルシミュレーションの結果に基づいて、海底や陸地がどのように変形するかをシミュレーションすることもできます。その結果が、観測されている現在の状態を再現できているかどうかを検証し、再現できていない部分を修正する必要があります。現在の状態を再現できなければ、そのシミュレーションから未来を知ることはできません。

3つ目の課題は、現場を知ることです。

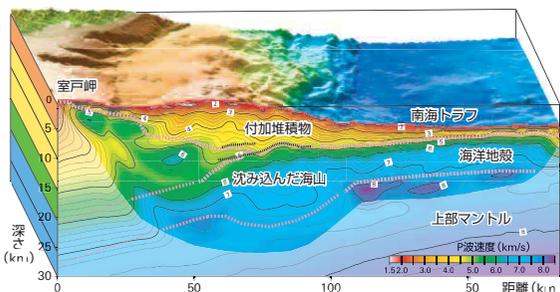
プレートの境界で力がたまっていき限界に達したときに地震が起きますが、その限界はどのように決まっているのでしょうか。これは、地震がいつ起きるかに直接かかわる問題ですが、まだよく分かっていません。現在は、室内で岩石を使った摩擦の性質を調べる実験を行い、そこから得られた経験的な法則をシミュレーションに使っています。でも本当は、実際のプレート境界がどのような摩擦の法則に従っているのかを知りたいのです。

その手掛かりを与えてくれると期待されているのが、地球深部探査船「ちきゅう」です。「ちきゅう」はプレート境界まで掘削し、その場所がどのような岩石でできていて、どのような動きをしているのかを世界で初めて見せてくれます。何が見えるのか、何が分かるのか、私もワクワクしています。船による地下構造探査、「ちきゅう」もたらずプレート境界の情報、海底面の動き、陸上の動きなど、さまざまなデータを取り入れることで、より現実に近い形で過去の発生サイクルを再現し、現在の状態を再現した上で、未来に起きる地震の予測を可能にしたいと考えています。

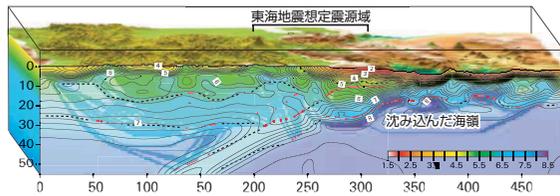
図3 東海・東南海・南海地震の震源域の地下構造



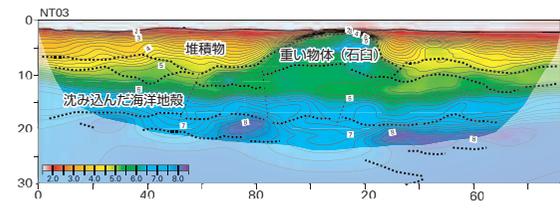
A 四国沖 富士山級の海山が沈み込んでいる



B 東海沖 海嶺(海底山脈)が沈み込んでいる



C 紀伊半島沖 「石臼」とも呼ばれる重くてかたい物がプレートの上面に乗っている



7,000m級無人探査機「かいこう7000Ⅱ」

2003年、世界最深部の水深10,911mを調査できる世界唯一の無人探査機「かいこう」のピークルが失われる事故が発生した。「かいこう」は、支援母船「かいれい」とつなぐ一次ケーブル（長さ：約12,000m、外径：約45mm）、ランチャー、ランチャーとつなぐ二次ケーブル（長さ：約250m、外径：約30mm）、そして自由に動き回れるピークルからなる。ピークルの2本の腕（マニピュレータ）を巧みに操り、深海底に観測装置を設置したり、データやサンプルを持ち帰ってくることで、多くの成果を挙げてきた。

海洋研究開発機構では、「かいこう」で行って来た深海探査を継続するため、試験中だった7,000m級細径光ファイバー式無人探査機「UROV7K」を2004年に「かいこう」のピークルに改造、「かいこう7000」として2005年に深海探査を再開した。しかし、推進力が弱く、マニピュレータは1本、搭載できる機器は30kgまでだった。「初代かいこう」と同じように作業をしたい」という研究者の強い要望に応えるため、再改造を実施。マニピュレータを1本追加して2本に、機体のフレームを大きくして搭載可能な機器重量を50kgに、さらに推進器（スラスター）も増強した。そして2006年、「かいこう7000Ⅱ」として再デビューを果たした。

改造に携わった村島 崇サブリーダーはこう語る。「今回の改造で、研究者の要望にもほとんど応えられるようになりました。一連の改造にあたっては、オペレーションを担当している運航チームの力が大きかったですね。技術レビューという、多くの関係者が第三者の目でチェックする方法は、大変有効でした。また、これまでの深海探査の経験を生かして、自分たちが使いやすいように、さまざまな工夫を施しました。購入した装置や部品も、そのままでは7,000mの深海で不具合が発生することがあります。そもそも7,000m以上の深海で装置や部品を使っているのは、世界でも私たちだけ。メーカーでは対応し切れません。自分たちで改良していくしかないんです。いわば手づくりの改造により、技術やノウハウをさらに蓄積することができました。ピークルの亡失は残念でしたが、それをきっかけに自分たちでつくることに目覚めた意義は大きいと思います」

水深10,000mの深海を知っている世界唯一の技術者集団の経験とノウハウは、次世代の10,000m級無人探査機に生かされることが期待されている。

取材協力：村島 崇
海洋工学センター 応用技術部
探査技術グループ サブリーダー



「かいこう7000Ⅱ」
7,000mという潜航深度は、現在、世界トップクラスを誇る。“初代かいこう”で行われてきた深海の観測・探査が継続的に行えることの意義は大きい

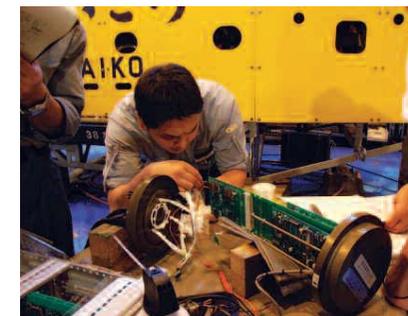
最大潜航深度：7,000m
寸法（ピークル）：全長3.0m 幅2.0m 高さ2.1m
搭載可能な機器重量（ペイロード）：50kg
マニピュレータ：右7自由度1台・左6自由度1台



改造前の「かいこう7000」
上の黄色い機体がランチャー、下の白い機体がピークル。ピークルのベースとなった「UROV7K」は、深海の観察を主な目的にしていた。そのため機体はコンパクトにまとめられていた

水深7,000mの深海で活躍する無人探査機 再改造でさらに性能アップ！

「手づくりの改造による技術の蓄積により、装置のトラブルのほとんどは航海中の船上で対応できるようになりました」
改造作業を行う運航チーム
(村島サブリーダー)



追加したマニピュレータによる作業
高性能のマニピュレータを追加したことなどにより、深海底への観測装置の設置やサンプルの回収作業がスムーズに行えるようになった



陸地はなぜできたのか? 「地殻の進化」をとらえた

海と陸の違いは何か? 低いところへ水がたまって海になり、高いところが陸になったわけ、というわけではない。実は、海

マリアナ海域の地殻構造
数字は音波が伝わる速さ(単位: km/s)で、密度が大きい岩石では速度が速くなる。厚い島弧の地殻(西マリアナ海嶺も島弧の一部)は大陸性の中部地殻を含むが、マリアナトラフやパレスペラ海盆は中部地殻を含まない海洋性地殻で構成されている。

と陸では地殻をつくる物質が違っているのだ。海洋地殻は薄い玄武岩など軽い岩石からなる。一方、大陸地殻は厚いが花こう岩や安山岩など軽い岩石を多く含む。

初期の地球は原始海洋に覆われ、巨大な大陸地殻が形成されたのは、19億年前であると考えられている。では、海洋地殻からどのようにして大陸地殻が形成されたのか? その謎を明らかにするため、海洋研究開発機構(JAMSTEC)地球内部変動研究センターはマリアナ海域で調査を行った。

マリアナ海域では、海洋地殻が別の海洋地殻の下に沈み込んでおり、島弧という弧状に連な

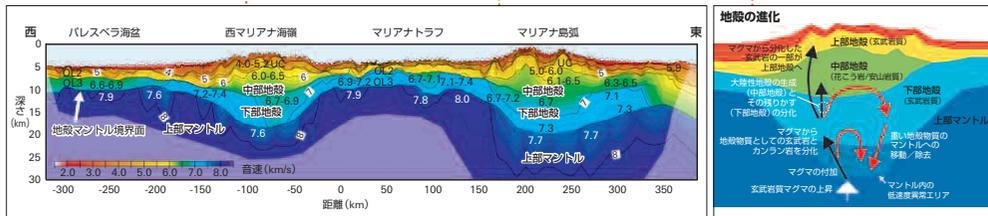
った地形をつくっている。ここは、まさに海洋地殻から大陸地殻が誕生している場所だ。研究グループは、エアガンと呼ばれる人工震源と海底地震計を用いてマリアナ海域の地下構造探査を行った。地震波は岩石の密度や組成によって伝わる速さが変わるため、地下の構造を見積ることができる。

地下構造探査の結果、マリアナ島弧の地殻は上部、中部、下部の3層からなり、中部地殻は花こう岩や安山岩など大陸地殻を形成する物質からなること、などが明らかになってきた。これらの結果から見えてきた大陸地殻形成のシナリオはこうだ——マントル内を上昇してきた玄武岩

質マグマが下部地殻に付加、分化する。そして、大陸性の地殻物質である花崗岩や安山岩を分化し、その残りは下部地殻を構成するとともに一部はマントル内に移る。

今回の発見は、海洋地殻が大陸地殻に進化する現場をとらえたものだ。伊豆小笠原海域も大陸地殻が誕生している現場の一つであり、大陸地殻がいかに形成され、これらどう姿を変えていくかを考える上でも重要な発見である。

取材協力: 高橋成実 サブリーダー
地球内部変動研究センター
地殻構造解析研究グループ



南極の深海底で700種以上の新種を発見



水深1,955mの海底で発見されたウニ。直径約5cm
© Robert J. Diaz/Virginia Institute of Marine Science

南極の深海底に生息する生物については、これまで調査がほとんど行われていなかった。そこで計画されたのが、「南極深海底生物多様性計画 (ANDEEP: Antarctic benthic deepseabiodiversity) だ。この計画には、ドイツ・ハンブルク動物学博物館など14の研究機関が参加している。

ANDEEPでは、2002年から2005年にかけて3回、ドイツの観測船によって南極のウェッデル海の深海底を調査した。その結果、水深750~6,350mの深海底で、585種の甲殻類、17種のカイメン類など、合計700種以上もの新種生物を発見した。南極海の深海底における生物の多様性を明らかにした大きな成果だ。

参考資料: 「Nature」2007年5月17日号ほか

グリーンランドで最古の地殻を発見

地球最古の地殻が、グリーンランドで発見された。38億年前のものとして推定され、長さ約35km、幅約2.5kmにわたって地表に露出している。この最古の地殻は「オフィオライト」と呼ばれる火山性の岩石などからなる層だ。

地球の表面はプレートと呼ばれる板で覆われており、プレートはマントル対流によって動いている。オフィオライトは、海底で形成された地殻やマントルからなる海洋プレートと同じ岩石で、プレートの移動に伴って

地表に露出したものである。プレートの移動については、地球が誕生して比較的早い時期に始まったのか、かなりたってから始まったのか、議論になっていた。約40億年前の岩石がカナダで発見されているが、それはプレートの移動と直接かかわるものではなく、結論は出ていなかった。

今回、オフィオライトからなる38億年前の岩石が発見されたことで、46億年前に地球が誕生してからかなり早い時期にプレートが存在し、その移動が始まったことが明らかになった。ペルギーやカナダなどが参加した国際研究チームによる成果。

参考資料: 「Science」2007年3月23日号ほか

海藻からバイオ燃料を大量生産

海藻を大規模に養殖し、それを原料にバイオエタノールを生産しようという構想が、注目されている。

バイオエタノールは、植物に含まれる糖を発酵させて精製したもので、石油の代替燃料として近年、関心が高まっている。現在は主にサトウキビやトウモロコシなどの穀物からつくられているため、バイオエタノールの需要が増えれば、穀物の価格高騰や食糧不足を招くと懸念されている。ブラジルでオレンジからサトウキビへの転作が進んだために世界中でオレンジジュースが値上がりするなど、すでに影響が見られる。

東京海洋大学と三菱総合研究所を中心とする研究グループが

2007年3月、神戸で開催された「国際海藻シンポジウム」において、海藻を原料としてエタノールを大量生産する構想を発表。日本海の中央にある大和堆という浅い海に巨大な網を張り、ホンダワラなどの海藻を養殖する。収穫した海藻は酵素を利用したバイオリアクターと呼ばれる装置を使って糖に分解し、エタノールを生産するという構想だ。研究グループには民間企業やJAMSTECも参画し、年間2000万リットルの生産を計画している。これは、日本で1年間に消費されるガソリンの3分の1の量に相当する。

5月には(財)東京水産振興会が、1.5億トンの海藻を養殖して年400万トンのバイオエタノールを生産する「オーシャン・サンライズ計画」を発表。いずれも5年後の実現を目指す。

参考資料: 「フジサンケイビジネスアイ」2007年3月23日、(財)東京水産振興会「水産バイオマス経済水域総合活用事業可能性の検討 概要報告」ほか

横浜研究所・横須賀本部の施設を一般公開



3月に潜航1,000回を達成したばかりの「しんかい6500」は大人気(横須賀)

JAMSTECでは、研究の成果や最新の地球・海洋科学の情報を広く一般の方に知っていただくため、施設の一般公開を行っている。

今年は、4月21日(土)に横浜研究所の施設を公開。さまざまな展示のなかで特に注目を集

化学合成生態系水槽の展示開始 新江ノ島水族館

新江ノ島水族館の深海コーナーに、新しい水槽が登場した。「化学合成生態系水槽」だ。ときには300℃を超える熱水が海底から噴き出している熱水噴出孔周辺の生態系を再現している。

地球上の生物はすべて太陽エネルギーを利用して生きていて考えられていた。ところが、深海底の調査が進むと、熱水噴出孔や冷たい水が海底からわき出している冷湧水域には、太陽エネルギーに依存しない生物がいることが分かってきた。それらの生物は、体内に化学合成細菌を共生させており、熱水や冷水に含まれる硫化水素などから細菌がつくり出した有機物をエネルギー源にしている。それが、化学合成生態系だ。



新江ノ島水族館の「化学合成生態系水槽」
©新江ノ島水族館

この水槽は、新江ノ島水族館とJAMSTECが共同で開発した。硫化水素を含む60℃の熱水を噴出させ、JAMSTECの有人潜水調査船「しんかい6500」などが採取したゴエモンコシオリエビやシンカイコシオリエビなどが飼育されている。

新江ノ島水族館
〒251-0035
神奈川県藤沢市片瀬海岸2-19-1
TEL. 0466-29-9960
URL <http://www.enosui.com/>



「南海トラフクイズ」に挑戦中!(横浜)

めたのは、地球深部探査船「ちきゅう」だ。「ちきゅう」が下北半島東方沖で採取した地層の試料も展示されたほか、「ちきゅう」の仕組みや研究の目的が分かる「南海トラフクイズ」には、子どもから大人までたくさんの方が挑戦した。有人潜水調査船「しんかい6500」の17年の軌跡を紹介する企画展も大盛況。この企画展は、8月31日まで地球情報館で開催している。横須賀本部の施設の一般公開は5月12日(土)に行われた。

「しんかい6500」や船舶の公開は、今年も大人気。研究室見学ツアー、シーサバイバル体験、ROV(水中観測ロボット)操作体験、海洋調査船「かいよう」体験乗船など、体験型の企画も好評で、たくさんの方にご参加いただいた。4つのテーマで開催した公開セミナーは、各回満席となった。「潜水調査船の一日」と「深海のふしぎな生き物たち」の回は親子連れも目立ち、子どもたちも講演者の話に熱心に聞き入っていた。

Present プレゼント



「Sand for Students」 フィールドワークツール

「Sand for Students」とは、中学生や高校生の皆さんに身近な河川や海岸で砂を採集してもらい、世界中の砂のデータベースを作成しようという、JAMSTECが実施している参加型教育プログラムです（詳細は22ページ）。今回は、野外授業で実際に使っている「Sand for Students」オリジナルのフィールドワークツールを10名様にプレゼント致します。ノート、4色ボールペン、フィールドノート（緑の手帳）、スケール付きカードの4種セットです。

■応募方法

はがきかメールに①～⑧を明記の上、下記までご応募ください。

①プレゼントの品名（フィールドワークツール）

②氏名 ③郵便番号・住所 ④年齢 ⑤職業（学生の方は学年）

⑥電話番号 ⑦今号で一番興味を持った記事

⑧「Blue Earth」へのご意見・ご希望

応募締め切り：2007年8月10日（金）（はがきの場合は当日消印有効）
当選者発表は、発送をもって代えさせていただきます。

■応募先

○はがき

〒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 海洋地球情報部 広報課

Blue Earth編集室プレゼント係

○Eメール

info@jamstec.go.jp

件名に「Blue Earth編集室プレゼント係」とお書きください。

*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。

JAMSTECメールマガジンのご案内

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/mailmagazine/>

JAMSTECでは、ご登録いただいた方を対象に「JAMSTECメールマガジン」を配信しております。イベント情報や最新情報などを毎月10日と25日（休日の場合はその次の平日）にお届けします。登録は無料です。登録方法など詳細については上記URLをご覧ください。

海と地球の情報誌 『Blue Earth』 第19巻 第3号（通巻89号）2007年6月発行

編集人 田代省三 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課

発行人 瀧澤隆俊 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部

制作・編集協力 有限会社フォントクリエイト

取材・執筆 立山 晃 (p2-15, p28-29) / 鈴木志乃 (p1, p18-23, p30-31) / 坂元志歩 (p16-17, p24-27)

デザイン 株式会社デザインコンピビア (A0 堀木一男 / 岡野祐三 / 飛鳥井羊子)

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

*本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

『Blue Earth』定期購読のご案内

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>

1年度あたり6号発行の「Blue Earth」を定期的にお届けします。

■申し込み方法

EメールかFAX、はがきに①～⑤を明記の上、下記までお申し込みください。

①郵便番号・住所 ②氏名 ③所属機関名（学生の方は学年）

④TEL・FAX・Eメールアドレス ⑤Blue Earthの定期購読申し込み

*購読には、1冊300円+送料が必要となります。

■支払い方法

お申し込み後、請求書をお送り致しますので、請求書に従ってご入金をお願いします。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。

○銀行振り込み

当機構指定の口座にお振り込みください。振込手数料をご負担ください。

○海洋研究開発機構 横浜研究所 地球情報館2階 図書室

請求書をご持参ください。手数料は必要ありません。請求書発行日の翌月末までの平日（年末年始などの休館日を除く）に限りです。

■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 海洋地球情報部 広報課

Blue Earth編集室

TEL.045-778-5440 FAX.045-778-5484

Eメール info@jamstec.go.jp

ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。



*定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号（3-4月号）までとさせていただきます。
バックナンバーの購読をご希望の方も上記までお問い合わせください。
バックナンバーのご紹介
URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>

*お預かりした個人情報は、『Blue Earth』の発送や確認のご連絡などに利用し、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。

賛助会(寄付)会員名簿 平成19年5月31日現在

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、寄付を頂き、支援していただいております。（アイウエオ順）

株式会社アイ・エイチ・アイマリンユナイテッド	国際気象海洋株式会社	帝国石油株式会社	株式会社日立プラントテクノロジー
アイウ印刷株式会社	国際警備株式会社	株式会社テザック	深田サルベージ建設株式会社
株式会社アクト	国際石油開発株式会社	寺崎電気産業株式会社	株式会社フジクラ
株式会社アサツディ・ケイ	国際ヒルサーサービス株式会社	電気事業連合会	富士ゼロックス株式会社
アジア海洋株式会社	五洋建設株式会社	東亜建設工業株式会社	株式会社フジタ
アレック電子株式会社	相模運輸倉庫株式会社	東海交通株式会社	富士通株式会社
石川島播磨重工業株式会社	三建設工業株式会社	海海マリンシステムズ株式会社	富士電機システムズ株式会社
泉産業株式会社	株式会社三晃空調	東京海上日動火災保険株式会社	物産不動産株式会社
株式会社伊藤高屋瓦斯容器製造所	株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	東京製綱繊維ロープ株式会社	古河総合設備株式会社
株式会社アサツディ	財団法人塩事業センター	東北環境科学サービス株式会社	古河電気工業株式会社
エヌケーケーシーメス鋼管株式会社	有限会社システム技研	東洋建設株式会社	古野電気株式会社
株式会社NTTデータ	シナノン株式会社	株式会社東陽テクニカ	松本徽章株式会社
株式会社エヌ・ティ・ティファシリティーズ	清水建設株式会社	東洋熱工業株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
株式会社江ノ島丸山コーポレーション	株式会社商船三井	有限会社長澤工務店	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社MTS雪氷研究所	昭和ペトロリウム株式会社	株式会社中村鉄工所	株式会社丸川建築設計事務所
有限会社エルシャンディ追浜	社団法人信託協会	西芝電機株式会社	株式会社マルタン
株式会社OCC	新日鉄エンジニアリング株式会社	西松建設株式会社	株式会社マルトール
沖電気工業株式会社	新日本海事株式会社	日油技研工業株式会社	三鈴マシナリー株式会社
株式会社海洋総合研究所	須賀工業株式会社	株式会社日産クリエイティブサービス	株式会社みずほ銀行
海洋電子株式会社	鈴鹿建設株式会社	ニッスイマリン工業株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
株式会社化学分析コンサルタント	スプリングエイトサービス株式会社	ニッセイ同和損害保険株式会社	三井造船株式会社
鹿島建設株式会社	住友電気工業株式会社	日本SGI株式会社	三菱重工株式会社
カナダ株式会社	清進電設株式会社	日本海洋株式会社	株式会社三菱総合研究所
カヤバシステムマシナリー株式会社	石油資源開発株式会社	株式会社日本海洋科学	株式会社明電舎
川崎設備工業株式会社	セナーアンドバーンス株式会社	日本海洋掘削株式会社	株式会社森京介建築事務所
株式会社川崎造船	セントラル・コンピュータ・サービス株式会社	日本海洋計画株式会社	有限会社やすだ
株式会社環境総合テクノス	株式会社総合企画アンド建築設計	日本海洋事業株式会社	郵船商事株式会社
株式会社関電工	株式会社損害保険ジャパン	社団法人日本ガス協会	郵船ナブテック株式会社
株式会社キュービック・アイ	第一設備工業株式会社	日本興亜損害保険株式会社	ユニバーサル造船株式会社
共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社	大成建設株式会社	日本サルヴェージ株式会社	株式会社緑屋社
共立管財株式会社	大日本土木株式会社	社団法人日本産業機械工業会	レコードマネジメントテクノロジー株式会社
極東貿易株式会社	ダイハツディーゼル株式会社	日本水産株式会社	
株式会社きんでん	太陽日酸株式会社	日本電気株式会社	
株式会社熊谷組	有限会社田浦中央食品	日本ヒューレット・パッカード株式会社	
株式会社クロスワークス	高砂熱学工業株式会社	日本無線株式会社	
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント	株式会社竹中工務店	日本郵船株式会社	
京浜急行電鉄株式会社	株式会社竹中土木	株式会社間組	
KDDI株式会社	株式会社地球科学総合研究所	濱中製鋼工業株式会社	
株式会社ケンウッド	中国塗料株式会社	東日本タグボート株式会社	
神戸イベント株式会社	株式会社鶴見精機	株式会社日立製作所	

独立行政法人 海洋研究開発機構

本部 〒237-0061 神奈川県横浜須賀野島町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番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丁目2番9号
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 沖縄県名護市宇豊原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

雲と空の表情を忠実に再現

空は雲や大気の状態によってさまざまな表情を見せる。このコンピュータ画像は、雲のなかの水滴や大気中の分子が光を吸収・散乱したり、海や陸が光を反射したりする様子をきちんと計算できる「三次元大気放射伝達モデル」により、雲と空の表情を忠実に再現したもの。

いま、地球温暖化の研究で雲が注目されている。太陽光を反射したりする雲の量によって、地上の気温が変わるからだ。三次元大気放射伝達モデルは、雲のでき方に光の吸収や散乱がどのように影響するのかを調べる研究や、人工衛星の観測画像から雲や大気中の分子の状態、地表の植生などを解析する研究に应用されることが期待されている。

(取材協力：岩淵弘信 研究員 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)



地球環境フロンティア研究センター



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/>

定価300円(税込)