

海と地球の情報誌

BlueEarth

Japan Marine Science and Technology Center

9・10 ²⁰⁰³月号

特集

北極海から見えてくる

北極観測

JAMSTEC Report

沈み込み帯震源地震の発生メカニズムに迫る

BlueEarth Museum

化学合成生物群集分布の謎を秘めた海底の“飛び石”、鯨骨生物群集

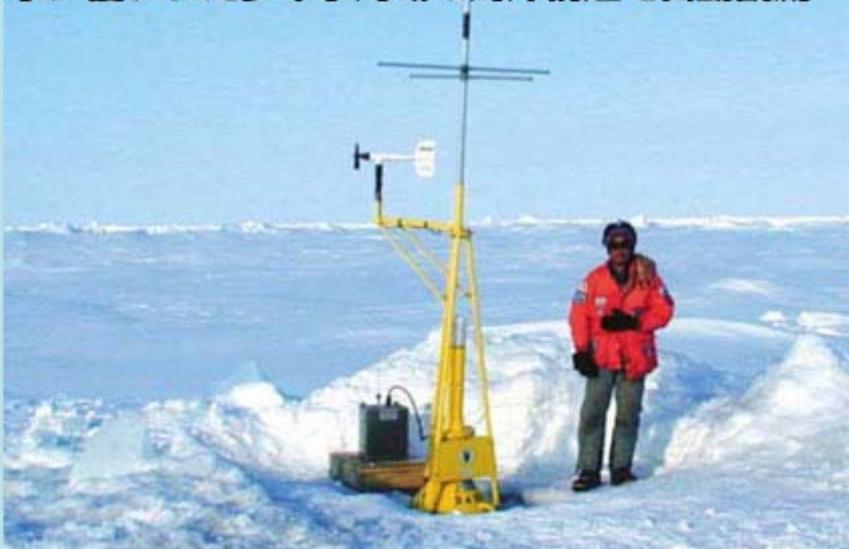
Interview

地下生命圏の研究から海底下の豊かな微生物圏と地球史と生命史との関係を探る



北極点に日本初の氷海観測用 小型漂流ブイ・J-CADを設置

氷に覆われた多年氷海域の海洋構造を自動観測



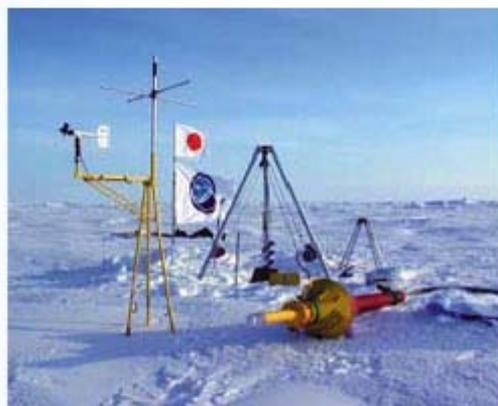
北極点付近の氷上に、無事に設置されたJ-CAD1号機。

2000年4月25日、海洋科学技術センターで開発された氷海観測用小型漂流ブイ・J-CADの1号機が、北極点に近い海氷上（北緯89度41分、西経130度20分）に設置され、観測を開始した。このブイは、氷に閉ざされて観測が困難だった北極海多年氷下の海洋構造や海流を明らかにする目的でつくられた。

J-CADは、約5mの本体の下に吊るしたワイヤーケーブル（260m）に海洋観測センサーを取り付けた漂流ブイだ。漂流ブイといっても、J-CADは洋上に浮かべるのではなく、北極海に浮かぶ厚さ2~3mの多年氷（夏も融けずに残る氷）に本体（浮体部）を埋め込む。そして、氷とともに北極海を漂いながら、水温・塩分濃度や海流の流向・流速などの海洋データと、風向・風速、気温、気圧などの気象データを観測し、搭載された衛星通信システムによってリアルタイムで観測データを送信する。氷海観測用の漂流ブイとしては、それまでに米国ウッズホール海洋研究所と海洋科学技術センターが共同開発したIDEB（氷海用自動観測ステーション）があるが、IDEBは海洋物理学的なセンサーのほかに数多くの観測機器を装備した大掛かりなもので、搬送や設置の難しさが問題だった。その後継機として開発されたJ-CADは、ブイのコンパクト化を追究し、センサーも海洋物理分野のみに絞ら込むなどの改良を行い、搬送や設置を容易にした。

設置には、海洋観測研究部の島山清研究員（現・研究副主任）と米国海洋大気庁太平洋環境研究所、ワシントン大学応用物理学研究所極域科学センターのスタッフ、計4名があたった。作業は、まず空から北極点にできるだけ近い場所を、長期間の漂流に耐える強度を持ち、しかも設置に適した平坦な（飛行機が離着陸できる）海氷を探すことから始まった。そして、彼らは-30℃という極寒の氷上に7日間滞在し、ブイの設置作業を行った。天候は比較的安定し、設置作業は順調に進んだが、撤収日に氷上にクラック（亀裂）が見つかり、ヒヤリとする場面もあったという。

J-CAD1号機は、北極点付近から極横断流に乗ってゆっくりと移動しながら、グリーンランド海南部に達するまで、約1年間にわたってデータを送り続けた。また、その後も新たなJ-CADが北極海域に投入され、これまでほとんど観測が行われなかった海水下の構造や海流に関する貴重なデータが蓄積されつつある。そして、2003年春には、北極点近くの海氷上に6号機が設置された。



海氷にドリルで穴を開け、センサーを取り付けたケーブルを海中に吊り下げる。



小型飛行機でJ-CAD設置のための機材を搬送。



飛行機が離着陸する氷上にクラックを発見。

Blue Earth

9・10月号／2003

Contents

2 特集 北極観測

地球気候変動に大きな影響を及ぼす
北極海域の気候システムを探る

4 地球気候システムの解明に欠かせない北極海域での観測研究

8 J-CADの観測結果が明らかにした海水下の海洋状況

10 北極海域の海洋構造とその変動を探る

13 日本の夏に影響を及ぼす北極域雪氷圏の冬の気候

16 Interview 研究者・技術者に聞く

稲垣 史生 研究員

極限環境生物フロンティア研究システム地殻内微生物研究領域

20 Blue Earth Museum

化学合成生物群集分布の謎を秘めた
海底の“飛び石”、鯨骨生物群集

22 JAMSTEC Report

沈み込み帯震源地震の発生メカニズムに迫る

28 JAMSTEC Report

マリンサイエンス・スクール2003開催

32 JAMSTEC Report

第3回深海バイオベンチャーフォーラム

34 Face Staffの横顔

海洋科学技術センター 研究業務部計画調整課
齊藤 千鶴さん

36 Marine Science Seminar

「地球シミュレータの使命」

39 BE Room

40 Present / 編集後記

賛助会会員名簿

表紙：「北極海での観測」

※表紙についての詳しい説明は裏表紙をご覧ください。
本誌は、隔月年6回の発行です。

地球気候変動に大きな影響を及ぼす 北極海域の気候システムを探る

全球的な気候変動を理解するために求められる
北極が果たす役割の解明

地球の大気・海洋大循環を駆動しているのは、主に熱帯域を熱源、北極や南極を負の熱源（冷源）とする“地球熱機関”だ。その複雑に入り組んだ熱輸送の働きによって、私たちが暮らす地球の気候状態が保たれている。したがって、地球温暖化問題をはじめ、地球規模の気候変動を解明するためには、熱帯域のみならず、極域の気候システムを深く理解することが求められている。なかでも、北半球に位置する日本にとって重要なのが北極域だ。北極は、大陸が存在する南極と異なり、その中心にはユーラシア大陸と北米大陸に囲まれた北極海があり、北極海の表層には、1年を通して海氷に覆われた多年氷域が広がっている。この海氷は、大気と海洋との間の断熱材として機能するなど、他の海域には見られない大きな特徴を持ち、北極域の気候システムを理解するためには、この海氷の動きを含めた大気・海氷・海洋相互作用を明らかにすることが重要といわれている。また、海氷は気候変動の兆候を最も早く現すとともに、その影響を地球全体に増幅して与える可能性があると考えられており、その意味からも、北極域の気候システムの解明は急務といえる。

北極域は気象条件の厳しさや観測の困難さが重なり、これまで十分な研究が行われてこなかったが、現在、海洋科学技術センターでは、国内外の機関との協力体制を強化しながら、北極海特有の海洋構造の解明、北極気候システムとその地球気候変動に及ぼす役割の解明をめざして、多年氷海域や氷縁海域での観測研究を推進している。



地球気候システムの解明に欠かせない 北極海域での観測研究

海氷の減少が進行する北極海で いま、何がおきているのか？

取材協力：
海洋観測研究部

2000年夏、ニューヨークタイムズ紙に、北極の海氷が非常に薄く、例年ならば海氷に覆われているはずの北極点付近にも大きな海水面が見られるとの記事が掲載された。記事は、気候変動に関する国連の調査グループの報告に基づいたものであり、研究責任者のひとり、この現象を「地球温暖化の影響」と発表し、世界的にも大きな注目を集め、日本でも話題となった。

地球温暖化の影響かどうかは明らかではないが、1990年代以降、観測事実として北極海の海氷が減少していることから、多くの北極研究者らが、北極で何らかの大きな変化が生じているとの認識を抱いているといわれる。北極域で、いま、何がおきつつあるのだろうか。そして、その影響は地球全体の気候変動にどのように関係しているのだろうか。

北極海に形成される 海氷に覆われた多年氷海域

北極海は、北極点を中心に広がる海洋で、その周囲をユーラシア大陸、北アメリカ大陸、グリーンランドの北岸や北岸に続く島々によって囲まれている。日本語では北極海と呼ばれるが、英語のArctic Oceanが示すように、本来は大洋に含まれる。その中心部には、深さ4,000m以上の北極海盆があり、周囲に広大な大陸棚が存在する。これらの沿岸部には、バレンツ海、カラ海、ラプテフ海、東シベリア海、チュクチ海(ユーラシア側)、ポーフォート海(北アメリカ側)などの付属海があ

り、これらを含めた北極海の面積は約120万km²、体積は130万km³であり、大洋のなかでは最も小さい。

北極海は、フラム海峡、バレンツ海によってグリーンランド海、アイスランド海、ノルウェー海(これら3つの海を北極海に含む考え方もある)を介し、またカナダ多島海やバフィン湾を介して大西洋とつながり、一方ではベーリング海峡によって太平洋とつながっている。だが、フラム海峡以外はいずれも水深が浅いため、北極海と南の海洋との水交換は、主にフラム海峡で生じているとされる。北極海の水深約200m~1,000mに存在する大

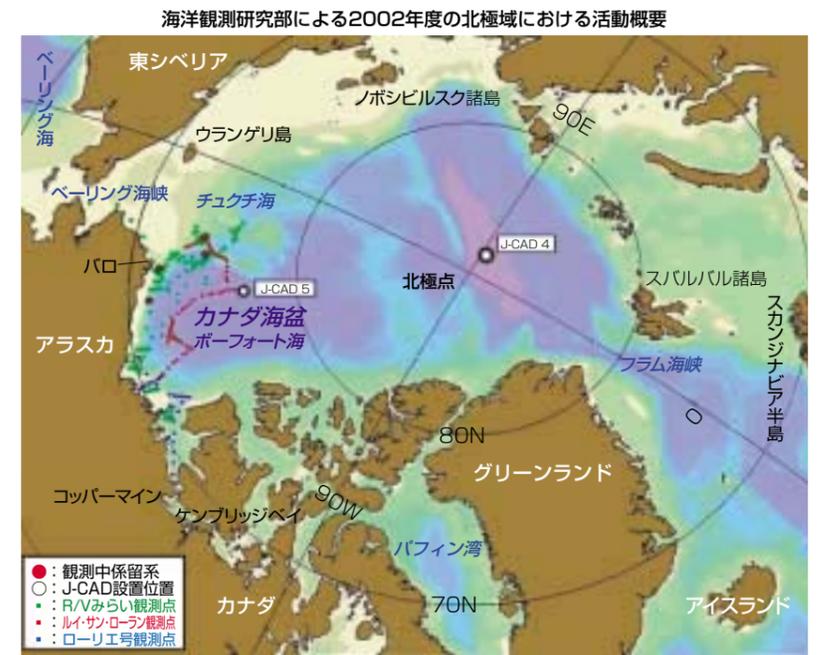
西洋から流入する比較的温かい海水も、主にフラム海峡から入ってくる。

海底地形を見ると、北極海盆は、ユーラシア側から北極点付近を通りグリーンランド側へと走るロモノソフ海嶺によって大きく二分され、さらに、太平洋側(アメラシア海盆)は、メンデレーエフ海嶺、アルファ海嶺によって分けられ、カナダ側にカナダ海盆、極点側にマカロフ海盆がある。一方の大西洋側(ユーラシア海盆)も、北極中央海嶺をはさんで、極点側にアムンセン海盆、大西洋側にナンセン海盆がある。こうした海底の地形も、北極海の海水の構造に深く関わって

いるものと考えられている。

もうひとつ、北極海の環境に大きく影響しているのが、大陸から流れ込む河川水だ。ユーラシア大陸のオビ川、レナ川、北アメリカ大陸のマッケンジー川などのような大河から流入する大量の河川水(地球上の河川水の約10%といわれる)は、北極海(地球上の海水の約1%)の表層水を低塩化し、凍りやすくしている(結氷温度を上昇させる)。さらに、河川から流れ込んだ淡水は、低塩化による表層水の密度の低下をもたらし、下層水との成層を強めて鉛直混合をおきにくくさせ、下層に存在する比較的温かく高塩分の大西洋水の熱を表層に運び働きを抑えてしまう。これらの作用によって、河川水は北極海に海氷が成長しやすい状況をつくり出している。

こうした海水の特性や、気温がマイナス50℃にまで達する非常に寒冷な気候によって生まれるのが、北極海の大きな特徴である大量の海氷だ。南極大陸を取り囲む南大洋では、海氷の大部分が夏季に融けてしまうのに対し、北極海の海氷は、大陸棚周辺では融けるものの北極海盆では夏も残り、広大な多年氷域を形成している。この海氷は、一枚の板のように海面に浮いているのではなく、風や海流によって流され、絶えず移動している。そのため、海氷が割れて開水面が現れたり、重なり合って氷の山脈をつくるなど、厚さや分布は常に変化している。そして、北極海盆の多年氷海域で夏を越え、冬に成長して厚みを増した海氷はゆっくりと流され、主にグリーンランドとスピッツベルゲン諸島の間のフラム海峡を通過



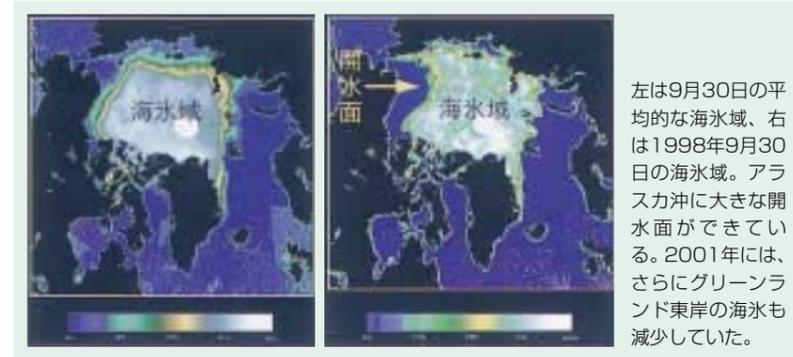
グリーンランド海から北大西洋へと流れ出ていく。

減少する海氷が 気候変動を加速させる!?

近年、北極海の海氷が減少していることに、研究者たちは注目している。衛星観測データの解析によれば、1978年以降の北極海の海水域面積は、10年に約3%の割合で減少しているという。また、北極海盆中央部の多年氷海域の面積が、1978~1998年の20年間で約14%減少したという報告もある。さらに、米国の潜水艦による観測(SCICEX)では、1990年代の海氷の厚さは、1960~1970年代の値に比べて平均で約40%減少したと発表されている。こうしたことから、多くの研究者らが、北極海に何か重大な変化が生じているのではないかと考えている。

実際に、これまでの平均的な夏の北極海の海水域と最近の夏の海水域を比較してみると、アラスカ沖に平均値に見られない大きな開水面が広がり、また、2001年にはフラム海峡からグリーンランド東岸に伸びていた海氷も大きく減少していた。特徴的なのは、どちらも北極海が他の海洋とつながっているところで大きな変化がおきているということだ。

2000年夏に、「地球温暖化で北極海の氷が融けている」といったマスコミ報道が大きな話題となった。だが、もし大気の水温度が上昇したことによって北極の氷が融けているとしたら、アラスカ沖とグリーンランド海で大きな減少が見られるといった地域性が生じていることに疑問が残る。また、2000年4月、海洋科学技術センターが北極点付近の多年氷海域に設置した、氷海観測用小型漂流ブイ(J-CAD)の観測データを見ると、夏の北極点付近の表層で、塩分が平年値よりも高くなっていたことが分かった。もしも海氷が大量に融けたのであれば、真水に近い融解水の影響で、塩分濃度は低下するはずだ。では、なぜ海氷は減少したのだろうか。その理由としてあげられるのは、氷が融けたからではなく、北極海で氷ができにくくなっているからではないか、氷ができにくい環境を海洋がつくっているのでは



左は9月30日の平均的な海水域、右は1998年9月30日の海水域。アラスカ沖に大きな開水面ができています。2001年には、さらにグリーンランド東岸の海氷も減少していた。

ないかという考え方だ。

塩分が低く鉛直混合をおこしにくい表層部分の海水は、氷点に達するまで対流し、表層の水塊全体を冷却しながら凍っていく。だが、表層の塩分が高まると、その下の塩分の高い海水と混合しやすくなる。その結果、海水をつくるためには、さらに深いところまで対流して結氷温度に下げなければならない、より強い冷却が必要になる。そのため、海水ができにくくなっていることが推測される。

海水の減少に地域的な特性が生じていることについては、さらに詳しい観測や解析が必要だが、アラスカ沖の海水の減少では、アラスカ沿岸流に乗って北上し、ベーリング海峡を越えて北極海に流入する高水温の太平洋水の影響が予想される。また、グリーンランド海での減少については、北極海盆で十分に成長できなかった薄い海水がグリーンランド海に放出され、一気に融け崩れ、海水が残らないと考えられる。どちらにしても、直接的な原因としては、大気の上昇よりも海水の状況が問題のカギを握っているといえそうだ。

海水の減少に関するもうひとつの大きな問題は、北極海域が地球熱機関の冷却源として、地球の気候システムの安定に重要な働きを担っているということだ。海水は大気と海洋との間の断熱材・反射材として、熱移動の制御という大きな機能を果たしている。もしもこのまま海水の減少が続けば、北極の気候システムのみならず、

地球規模で大きな気候変動をもたらす一因となる可能性もある。特に、北極域の気候システムは、海水の存在による正のフィードバック機能を内包している。これは、氷アルベドフィードバック効果と呼ばれるもので、海水のアルベド(太陽光の反射率)が海洋より非常に高いことによって生じる増幅効果だ。つまり、太陽光をより反射する海水が減少すると、それまで海水に覆われていた海面のアルベドが大きく低下し、大量の太陽熱を吸収する。その結果、水温や大気の上昇し、周囲の海水を融かし、さらに気温や水温を上昇させてしまうのだ。この結果、北極の気候システムは、海水の減少によって劇的に変動することも予想される。そして、グローバルな大気・海洋相互作用に大きな変化をもたらすことも十分に考えられる。

北極海域における観測研究の重要性

北極域に関する最新の研究を見ると、海水の減少ばかりでなく、大気・海洋・陸域において様々な物理的変化がおきていることが明らかになっている。これらが北極気候システムの本来持っている自然のゆらぎなのか、それとも地球温暖化などのような全球的な気候変動の前兆なのか、それはまだ分かっていない。だが、北極域が大きく変化していることは間違いない。そして、その変化は、やがて日本を含めた北半球規模での気候や生態系・生物資源の変化として、社会・経済活動に影響を及ぼす可能性もあり、「エル・ニーニョ現象に匹敵する大きな問題」ともいわれている。

こうした状況のもと、世界各国の研究者らが、北極域の気候システムの解明とその

全球的な気候変動に及ぼすメカニズムを明らかにするための観測・研究が続けている。海洋科学技術センターも、北極域の気候変動に対する海洋の役割を中心に、様々な北極海域の観測・研究を推進している。なかでも注目しているのは「冷たい塩分躍層」の形成・変動メカニズム、「大西洋水」の循環・変動メカニズム、そして「夏季太平洋水」の移流経路についてだ。

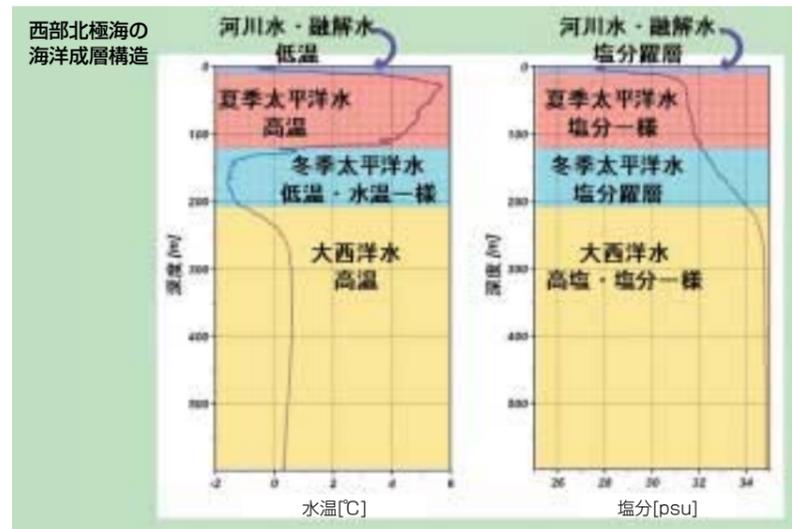
「冷たい塩分躍層」とは、北極海表層にある混合層の直下に存在する、ほぼ結氷温度で深度とともに急激に塩分が増加する層のこと。この塩分躍層は、海面冷却による鉛直対流をこく表層に抑える働きがあり、海水が形成・維持されやすい環境をつくり出している。これまでの観測によって、「冷た

い塩分躍層」が弱まり、海水が生成されにくい状況が続いていることが示されている。この「冷たい塩分躍層」の下層にあるのが「大西洋水」だ。これは北極海に流れ込む大西洋からの高温・高塩分な海水で、北極海中層に水温極大層を形成している。1990年代に大西洋側で通常より「大西洋水」の水温が上昇していることが発見されたが、これまでの観測・解析で、これが2000年にはアラスカ沖海域にまで到達したことが確認されている。一方の「夏季太平洋水」は、太平洋(ベーリング海)から北極海に流れ込む夏季水。西部北極海における混合層直下の水温極大層を形成している。その空間分布と熱の放出過程は、海水の融解に大きな影響を与えるため、その動きを明らかにす



2002年日本・カナダ国際共同研究(JWACS 2002)には、「みらい」とともにカナダの砕氷船も2隻参加して観測が実施された。

ることが重要な課題となっている。これらを解明するために、現在、海洋科学技術センターでは、JWACS(日本・カナダ国際共同観測)、NPEO(北極点環境観測)プロジェクトなどの国際共同観測を実施し、観測データの蓄積やその解析研究を進めている。



北極海観測で期待される自律型無人潜水機

深海巡航探査機「うらしま」世界で初めて燃料電池による航走に成功

北極海域での海洋観測の難しさは、夏でも気温が氷点下まで下がる環境の厳しさ、観測船を妨げる海水が存在することだ。こうした状況下で観測を行うために、いま、大きな期待がかけられているのが、自律型無人潜水機(AUV)の開発だ。AUVは母船からの操作を必要とせず、自力で位置を確認しながら三次元的に海中を航行する無人探査機で、事前にプログラミングされた海水の採水分析や海底探査(海底地形のマッピングや撮影など)を行うことができる。実現すれば、これまで海水に阻まれて観測が困難だった北極海多年氷海域の海水データや氷の厚さなども測定することができ、海洋構造の変動や海水と海洋の相互作用のメカニズム解明に大きく貢献するはずだ。

海洋科学技術センターでは、こうした極域観測や活動する海底火山の周辺調査のように、調査が困難な海域や危険が伴うような海域での観測・調査を可能にするため、1998年に深海巡航探査機「うらしま」の開発・建造を開始し、実用化に向けて様々な実験を行っている。すでに、2001年には第3世代のAUVとして世界で初めて深度3,518mの潜水試験に成功し、2002年には、深度800mを保持しながら約29時間かけて距離132.5kmの自律航行を達成、

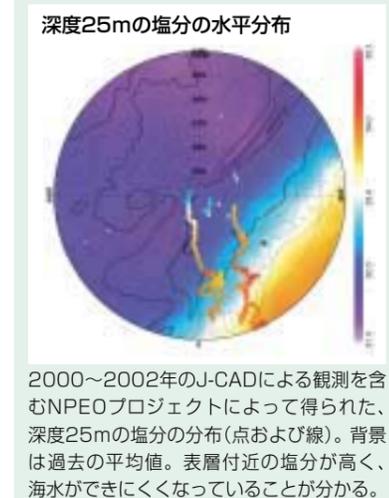
AUVの実用化に向けて大きな一歩を踏み出した。昨年秋からは、航続距離をさらに延ばすために、これまでのリチウム電池に代えて燃料電池の搭載を進めてきた。そして、今年8月12日、駿河湾において、燃料電池を動力源とした「うらしま」の潜航試験が実施され、燃料電池の発電性能をはじめ、各種の性能試験が行われた。「うらしま」は深度300mまで潜航し、AUVとして世界で初めて燃料電池による航走に成功した。今後も継続して海域試験が行われ、来年度には、300kmの長距離自律航行を達成するための航走試験が実施される予定だ。



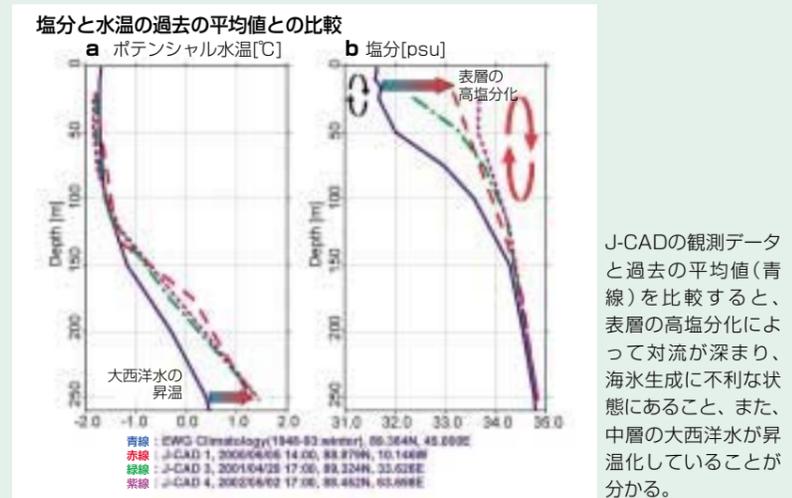
「うらしま」に搭載されているチタン合金製耐圧容器に収まった燃料電池



燃料電池による潜航試験に成功した「うらしま」



2000~2002年のJ-CADによる観測を含むNPEOプロジェクトによって得られた、深度25mの塩分の分布(点および線)。背景は過去の平均値。表層付近の塩分が高く、海水ができにくくなっていることが分かる。



J-CADの観測データと過去の平均値(青線)を比較すると、表層の高塩分化によって対流が深まり、海水生成に不利な状態にあること、また、中層の大西洋水が昇温化していることが分かる。



これまでに設置されたJ-CADの軌跡図

北極点付近に設置されたJ-CAD4号機

J-CADの観測結果が明らかにした 海水下の海洋状況

北極海で活躍する氷海観測用小型漂流ブイ・J-CAD



取材協力：
菊地 隆 研究員
海洋観測研究部

海洋科学技術センターが独自に開発を行い、2000年から北極海の多年氷海域に設置してきた氷海観測用小型漂流ブイ・J-CADは、今年の春までに6基を数える。そのうちの4基が北極点付近に、そして2基がカナダ北方のボーフォート海域に設置された。

J-CADは、現在、北極海において海水下の海洋の状況を継続的に把握することができる唯一の観測機器であり、その観測データや研究成果に高い関心が寄せられている。すでに、1号機、3号機の水温・塩分のデータから、「近年の北極点付近の海洋は、海氷が成長しづらい状況にある」ことを示すなど、これまでに北極海の海洋構造や海流を明らかにするための貴重なデータが収集されているが、さらに、2002年春に設置された4号機の観測データの解析によって、アムンセン海盆から北極中央海嶺、ナンセン海盆にいたる海域の海洋構造に関する興味深い成果が得られた。その研究成果を紹介する。

2002年4月26日、J-CAD4号機が、アムンセン海盆上の多年氷（北緯88.51度・東経76.93度）に設置された。4号機は、6つの水温・塩分（・水圧）センサーにより、深度250mまでの水

温・塩分を測定することができ、また、音響ドップラー流向・流速計によって、10m間隔で深度24~154mの流向・流速データが取得できるように設定されている。上の軌跡図にあるように、4

号機は、アムンセン海盆から北極中央海嶺、ナンセン海盆を通過して、フラム海峡からグリーンランド海へと漂流しながら、自動観測を続けてきた。北極中央海嶺を横切るような詳細な海洋観

測は、これまであまり行われておらず、今回の観測は、J-CAD1、3号機のデータと合わせて、北極海の海洋構造を理解する上で非常に貴重なデータとなった。

4号機で観測されたデータから作成した東部（大西洋側）北極海の南北断面図（図1）を見ると、まず地形が変わるところで、水温や塩分の数値が大きく変化していることが分かる。アムンセン海盆、北極中央海嶺、ナンセン海盆、そしてイエルマーク海台で、海水の性質が違っている。なかでも、アムンセン海盆と北極中央海嶺の間に、大きな違いがあることが見て取れる。さらに、南へ行くほど、中層（120~250m）の水温・塩分が高くなっていることも分かる。

図2は、その海域の海水の特徴を見るためにつくられた水温・塩分図だ。アムンセン海盆では、塩分が高くなるにつれて緩やかに温度が上昇するのに対し、北極中央海嶺、ナンセン海盆では、どちらのラインも急激に角を持って曲がっている。3つの海域で海水の性質が違

っており、特に、アムンセン海盆と北極中央海嶺の間に大きな境目があることが、ここにも現れている。水温・塩分図の詳しい説明はさて置き、この図で何が分かるかという点、北極中央海嶺、ナンセン海盆では、冬の鉛直混合が非常に盛んだった、つまり、より塩分が高く深いところまで対流し、冷却されていたのに対して、アムンセン海盆では混合が抑えられ、対流しにくかったことが示されている。言い換えれば、アムンセン海盆に比べて、北極中央海嶺、ナンセン海盆では、より海氷ができにくい状態にあったといえる。

この3つの海域に関する過去の観測データを調べてみると、対流しやすい状態と対流しにくい状態の境目は、今回の4号機の観測結果と違っていたことが分かる。1990年代初頭は、北極中央海嶺も対流しにくい状態にあった。そして、1990年代半ばは、現在と同じように北極中央海嶺は対流しやすい状態になり、1990年代後半は、

アムンセン海盆も対流しやすい海域に含まれていたのだ。つまり、1990年代は、鉛直混合しやすい水塊構造が大西洋側からどんどん拡大していたが、2000年代（現在）は、再び大西洋側に引いている状態にあることが明らかになった。

J-CAD4号機では、水温・塩分データに加えて流向・流速も自動観測されており、このほかにも東部北極海について、その海洋構造（成層構造）の形成過程と変動を明らかにするための貴重なデータを取得することができた。さらに、2003年4月にはJ-CAD6号機が、アムンセン海盆の北に位置し北極海盆全体を二分しているロモノソフ海嶺のアラスカ側（マカロフ海盆）に設置され、ロモノソフ海嶺を横切って大西洋方面へ漂流しながら観測を行っている。新たに取得される観測データによって、各海域の水塊特性やその変動が、さらに詳しく理解されることになるはずだ。

図1 J-CAD4号機の観測データから作成した、東部北極海の温度・塩分・海底地形の南北断面図

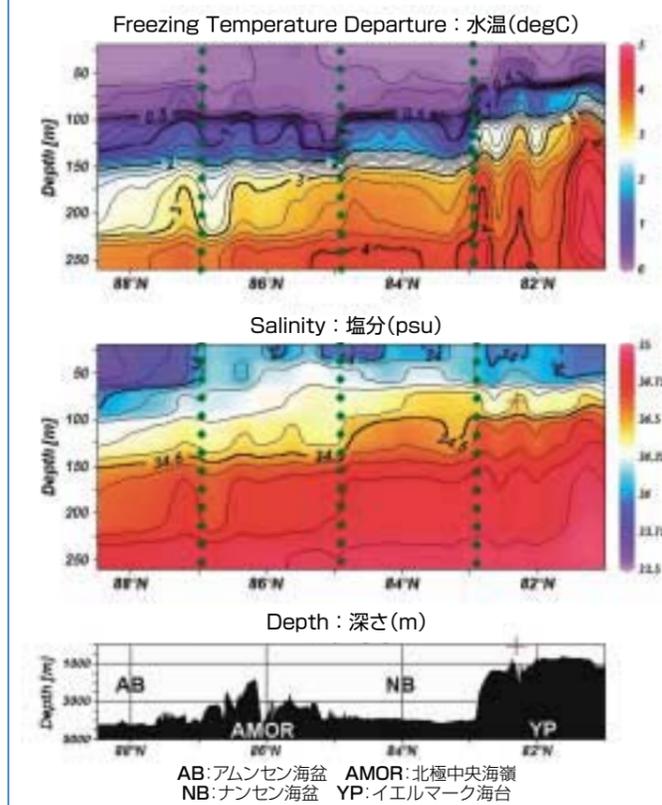
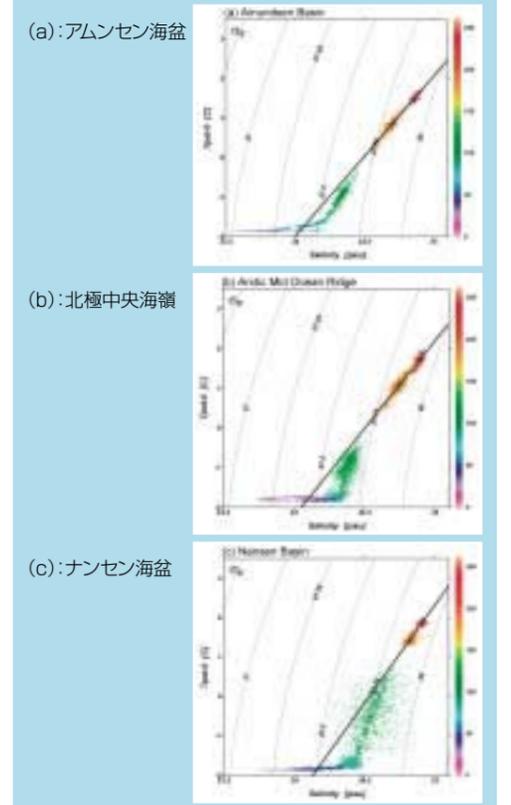


図2 J-CAD4号機の観測データによる各海域の水温・塩分図





取材協力：
島田 浩二 研究員
海洋観測研究部

北極海域の海洋構造とその変動を探る

2002年JWACS観測航海から見てきた北極域の気候に変動をもたらす海洋プロセス

かつて北極海は気候変動がほとんど見られず、地球気候変動や熱バランスへの影響力は小さいと考えられていた。だが、北極海域での観測や気候モデル研究が進むにつれて、それが大きな間違いであることが明らかになった。北極域は地球の冷却源として地球気候システムにおける重要な役割を果たしており、北極域での変動が全球的な気候バランスに変化をもたらす可能性さえあることが分かってきた。だが、北極は環境が厳しく、長期間にわたる継続的な観測基地もないため、北極域全体をカバーする高精度・高密度な観測データはなく、データの空白域も多い。こうしたなか、海洋科学技術センターおよびカナダ漁業海洋省 (DFO) は、北極海域において共同観測研究を実施することで合意し、JWACS (Joint Western Arctic Climate Studies) プロジェクトが発足した。2002年8月～10月に実施された「JWACS 2002」では、海洋地球研究船「みらい」やカナダの砕氷船等により、北極海カナダ・アラスカ沖 (カナダ海盆南部) で共同観測が行われた。「JWACS 2002」から見てきた北極海の姿を紹介する。

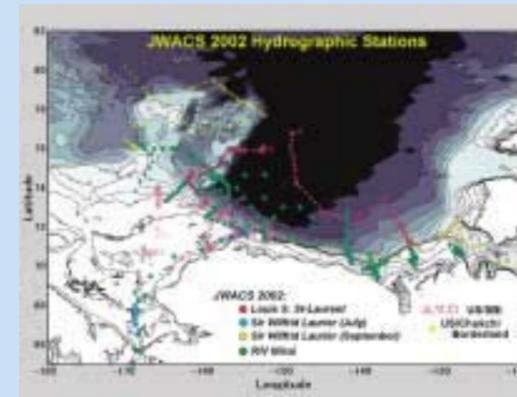
北極域の気候システム解明をめざす

海洋科学技術センターおよびカナダ漁業海洋省 (DFO) の合意により、北極海域において進められている共同観測研究・JWACS (Joint Western Arctic Climate Studies) プロジェクトは、地球規模の気候変動に対処していくために、北極域の気候システムの変動を左右するプロセスについての理解を深め、気候変動

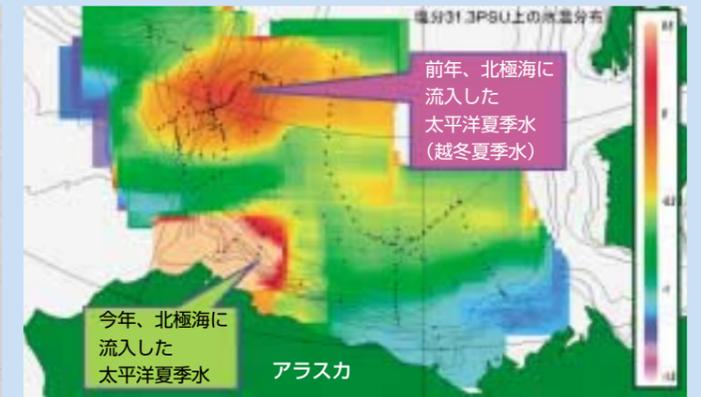
の予測を行う上での不確定要素を減らしていくことを大きな目標としている。そのため、西部北極海 (北極海を経線0°-180度で二分し、そのアラスカ・カナダ・グリーンランド側の海域をさす) 全域という比較的広域をターゲットにしながら、CTDセンサーによる水温・塩分観測や採水による化学成分の調査、係留系を設置しての水温、塩分、流向・流速等の連

続観測などを行い、海盆スケールでの海洋循環や、その海水分布への影響、陸棚・海盆間の相互作用、陸と海との間の水の交換などに関する海洋物理を中心とした研究を推進している。

「JWACS 2002」では、海洋科学技術センターの海洋地球研究船「みらい」をはじめ、カナダの砕氷船「ルイ・サン・ローラン」、「サー・ウルフリッド・ローリエ」



「JWACS 2002」の観測点配置
アラスカ沖で3隻の観測船により、海盆域および陸棚斜面域を覆うように緻密な観測が行われた。



海水が後退した海域で確認された太平洋夏季水
観測データの解析によって、アラスカ・パロー沖、ノースウインド海嶺の2ヶ所に高温領域が確認された。

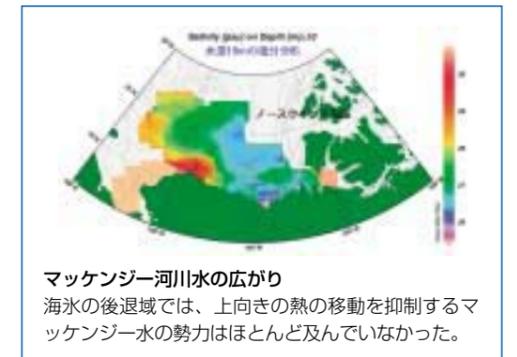
が参加し、アラスカ沖に広がる陸棚域からカナダ海盆南部において共同観測が実施された。

この海域が観測海域として定められたのは、北極海域のなかでも、特にこの海域に顕著な変動が起こりつつあることに注目しているからだ。1997年以降、ベーリング海峡からアラスカ沖において、夏の海氷縁が異常なほどに北へ後退し、広大な開水面が形成されている (ただし、2001年は平年値に近かった)。変動が顕著に現れている海域にこそ、変わりつつある北極海の変動メカニズムが潜んでいるはずだ。さらに、こうした海域には、これまで保たれてきたバランスの破綻がおきているはずであり、その破綻のプロセスを知ることは、将来の気候変動を予測するために重要な意味を持つ。こうしたことが、カナダ海盆南部で観測・研究を実施する大きな理由のひとつになっている。

観測が行われた西部北極海は、どのような海洋構造を持ち、どのようにバランスしているのだろうか。北極海の成層構造を構成している水塊は、そのほとんどが北極海に隣接する海洋からの流入水か、もしくは、北極海を取り囲むユーラシア大陸および北アメリカ大陸等から流れ出る河川水にその起源をたどることができる。そして、西部北極海の構造 (6ページ中央の図参照) を見ると、表層から、マッケンジー河川水 (河川水のほかに融

氷水も存在する)、太平洋夏季水 (正確には、東部および西部チュクチ海夏季水の2種類に分類される)、太平洋冬季水 (正確には、東部および西部チュクチ海冬季水、東部北極海冬季水の3種類に分類される)、大西洋水が存在し、上層約1,500mの海水が構成されている。これを熱塩的に見ると、熱源となる太平洋夏季水、大西洋水の上に、それぞれ塩分躍層 (バリア) となる河川水、太平洋冬季水が存在し、熱が海面に伝わりにくい構造が形成されている。

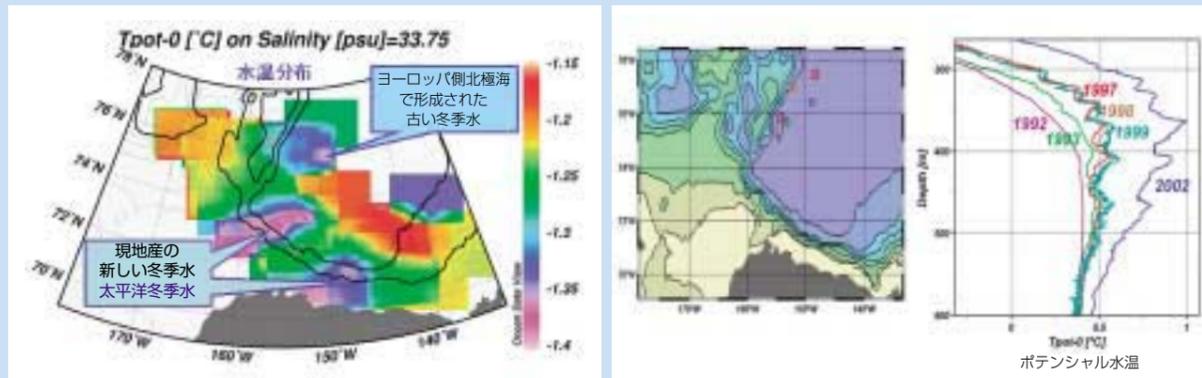
このように、熱的不安定成層構造が保持される条件が整っていることが、北極海を覆う海水の形成・維持の条件になっているといえる。逆に、もしも塩分躍層が消滅したり、衰退すれば、その直下にある熱源の影響が直接海水に及ぶこととなる。したがって、その条件が破綻し海水が変動した海域は、北極海変動のメカニズムを探る上で格好な海域となるわけだ。その意味で、現在の西部北極海における観測は重要であると考えられており、この海域において、熱的成層構造がどのように変動しているのか、その構造の空間分布を知ること、つまり、構成する水塊の循環パターンを把握することは、変動する北極海に対する海洋の役割を明らかにする大きな手がかりとなる。



マッケンジー河川水の広がり
海水の後退域では、上向き熱の移動を抑制するマッケンジー水の勢力はほとんど及んでいなかった。

海水の後退の原因を明らかに

2002年の夏は、アラスカ沖 (カナダ海盆) において、海水が例年よりもはるかに後退し、「みらい」は観測を行いながら北緯76度24分にまで到達することができた。これは、西部北極海における耐氷船の最北到達記録でもある。ここまで観測できたのは、海域に海水がなかったためだが、研究者らは、「JWACS 2002」が実施される1ヶ月ほど前に、すでにNOAA衛星 (極軌道気象衛星) の海水状況に関する画像 (AVHRR画像) によって、アラスカ・パロー岬沖の広い範囲で海水が密接に張り詰めておらず (密接度が面的に小さい)、融解しやすい状態にあることを確認していた (海水下から何らかの熱供給があることが想像された)。海水情報から、観測が行われるところには海水がなくなることを予測し、「JWACS 2002」では、「みらい」、「ルイ・サン・ローラン」を用いて、この海域 (ノースウイ



冬季水の分布
陸棚域で形成された低温な冬季水が海盆底部にまで広がっている様子が分かる。酸素分布と照らし合わせることで現地産の新しい冬季水(高酸素)とヨーロッパ側北極海で形成された古い冬季水(低酸素)の区別ができる。

西部北極海における大西洋水の高温化
左図(アラスカ沖からカナダ海盆の海底地形図)にポイントされた地点で過去に観測されたノースウインド海嶺付近の水温データを比較したのが右図。西部北極海の中層水を構成する大西洋水の水温が大きく上昇していることが分かる。

ンド海嶺を中心とする海域)で集中観測を行うことを決めた。地球温暖化の直接的な影響によって氷が融けたのではなく、海洋が海氷分布を決めているのであれば、こうした海域に、何か特徴的な海洋構造のパターンが見えてくるに違いないという予測に基づいて、観測は行われた。こうした、1シーズンのなかでリアルタイムな海氷分布と海洋の空間分布を関連付けながらの観測は、これまでほとんど例がない。

観測データの解析において注目した水塊は、塩分31~32psu (psu:海水に含まれる塩類の量を表す単位)の範囲にある、ベーリング海峡から東部チュクチ海を経て北極海盆に流入する東部チュクチ夏季水だった。この太平洋夏季水は、西部北極海域の上層の水温極大層を形成している。塩分31.3psu面上の水温分布を見ると、アラスカ・パロー沖とノースウインド海嶺海域に、高水温領域があることが確認された。

アラスカ・パロー沖に見られる暖水域は、2002年の夏に入り込んだ新しい夏季水であり、一方のノースウインド海嶺に中心を持つ暖水域の起源は前年(2001年)の夏に北極海に流入した東部チュクチ夏季水(越冬夏季水)である。北極海に入った暖かい夏季水は、その年だけでなく、翌年もその個性を保ちながら影響を及ぼしていることが分かる。

そして、2つの高水温領域が確認された海域は、観測の前に確認された海氷の密度の小さい海域とほぼ一致していた。また、観測によって海氷が後退した海域では、通常、表層において熱の移動を抑制するバリアとなるマッケンジー河川水の勢力がほとんど及んでいなかったことも明らかになった。つまり、太平洋夏季水からの熱の放出が容易な状況にあったわけだ。こうしたことから、海氷の後退は、熱的なバリアの弱い海域と熱源の分布海域が一致して生じた現象と考えられる。また、2002年の海氷後退は、海氷厚が気候値から見ても小さいことを合わせて考えると、ある特定の年に見られる特殊な現象ではなく、海洋循環や海洋変動が主役を担う北極海変動のひとつであると推察される。

一方、西部北極海において東部チュクチ海夏季水と並ぶ主要な海洋熱源になっている大西洋水は、西部北極海の海氷後退に影響を及ぼしているのだろうか。大西洋水の高温化は、北極海洋学のひとつのトピックとして注目されている。西部北極海においても1998年以降、急激に大西洋水の水温が上昇していることが分かっている。しかし、「JWACS 2002」の観測においては、この昇温による海

氷融解は確認されてない。もしも大西洋水の熱が拡散し、影響を及ぼしているならば、上層の海洋構造を破壊しているはずだからだ。

2002年の海氷後退は、温暖化の直接的な影響でも、高温化している大西洋水の影響でもなく、太平洋から流入した暖かい海水の影響と考えるのが自然といえそう。

「JWACS 2002」では、こうした成果のほかにも、「西部北極海における冬季陸棚水の分布」、「アンモニアをトレーサーとしたチャクチ海陸棚底層水のカナダ海盆への輸送経路の解析」など、多くの研究成果を挙げている。海洋科学技術センターでは、今後もプロジェクトを推進し、西部北極海のデータ空白域における観測を行うなど、北極海の気候システム解明をめざして観測・研究を進めていく考えだ。



「JWACS2002」の観測風景。北極海で海水を採取。

日本の夏に影響を及ぼす北極域雪氷圏の冬の気候

北極の冬の気候と日本の夏の気候の関係が明らかに



取材協力：
立花 義裕 研究員
地球フロンティア研究システム
国際北極圏研究センター

これまで、日本の夏の気候の傾向は、エル・ニーニョ現象など、南からの影響が関係していることが知られてきた。だが、海洋科学技術センターと宇宙開発事業団の共同プロジェクトである地球フロンティア研究システム・国際北極圏研究センターの立花義裕研究員(東海大学兼任)、山崎孝治研究員および北海道大学の小木雅世氏らのグループは、北極および高緯度域の冬の気候も、日本の夏の気候に影響を与える大きな要素のひとつであることを明らかにするとともに、冬の北大西洋と北極域の気圧配置の関係から、夏の大気循環を予測する可能性を示した。同グループの研究論文は、2003年8月上旬、米国地球物理学連合(American Geophysical Union)発行の『地球物理研究レター(Geophysical Research Letter)』に掲載された。その成果を、実際に今年の日本の夏の気候と比較しながら紹介する。

冬のNAO/AOパターンが夏の気候にも影響を残す

北極域と北半球中緯度域との間の大気圧のシーソー現象を北極振動(AO)という。これは、北極域の気圧が高まると中緯度域の気圧が低くなり、逆に低くなると中緯度域の気圧は高くなるという振動現象だ。この大気圧のシー

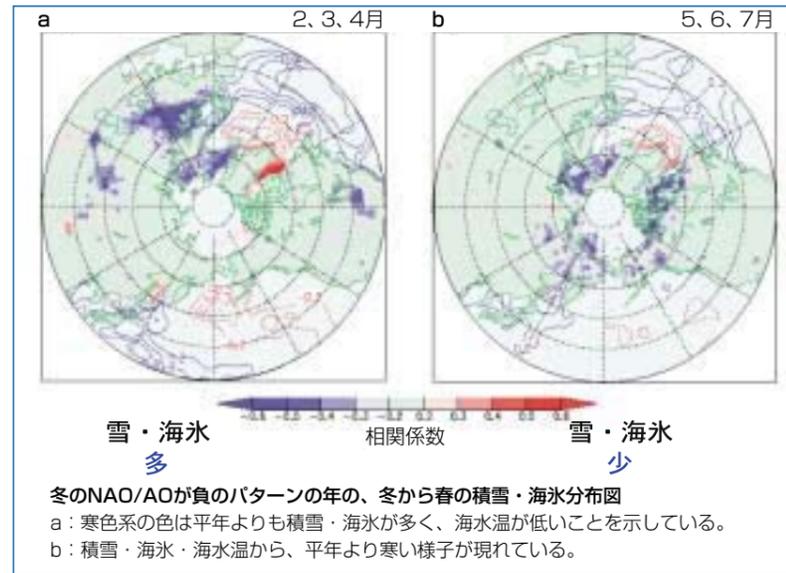
ー現象は、狭い地域で見ると、北大西洋域で冬季に存在するアイスランド低気圧とアゾレス高気圧のシーソー現象として古くから知られており、北大西洋振動(NAO)と呼ばれている(AOとNAOは違うという議論もあるが、ここでは同じものとして考える)。

今回、立花研究員、山崎研究員らは、

過去40年間における北極域および中緯度域の様々な気象データを集め、統計的な解析を行った。その結果、冬の北大西洋振動・北極振動(NAO/AO)のパターンが、春には弱くなるが、夏にはスケールが小さくなるものの再び現れ、夏の気候に大きな影響を与える要素となっていることを明らかにした。これま

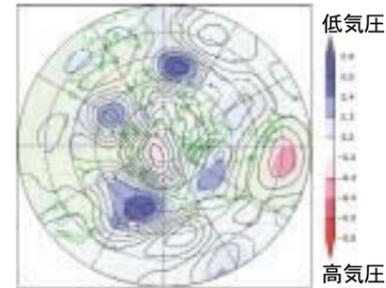
で、夏の気候から冬の気候を予測する研究は知られているが、冬の高緯度域の気候が、夏の気候に影響していることを証明した研究はほとんどなかった。また、今日まで、日本の夏の気候の傾向は、エル・ニーニョ現象などのように主に南からの影響が考えられてきたが、今回の研究で、北極および高緯度域の冬の気候も日本の夏の気候に影響を与える要素であることが分かった。

過去の気象データを解析するなかで、立花研究員、山崎研究員らが注目したのは、冬のNAO/AOのパターンと北極域・高緯度域の積雪や海水の量との関係だった。一般に、北極域の気圧が低くなり、中緯度域の気圧が高くなる状態を「NAO/AOが正である」といい、北極域の気圧が高くなり、中緯度域の気圧が低くなる状態を「NAO/AOが負である」という。たとえば、平均的に見てNAO/AOが負のパターンの冬は、ユーラシア大陸等では低温となり、春に残るユーラシア大陸の積雪量や北極海の海水量も多くなる。そして、長く残った積雪や海水は、春以降も大気に影響を与え続けると考えられる。温めやすく冷めやすい大気は、冬が寒かっ

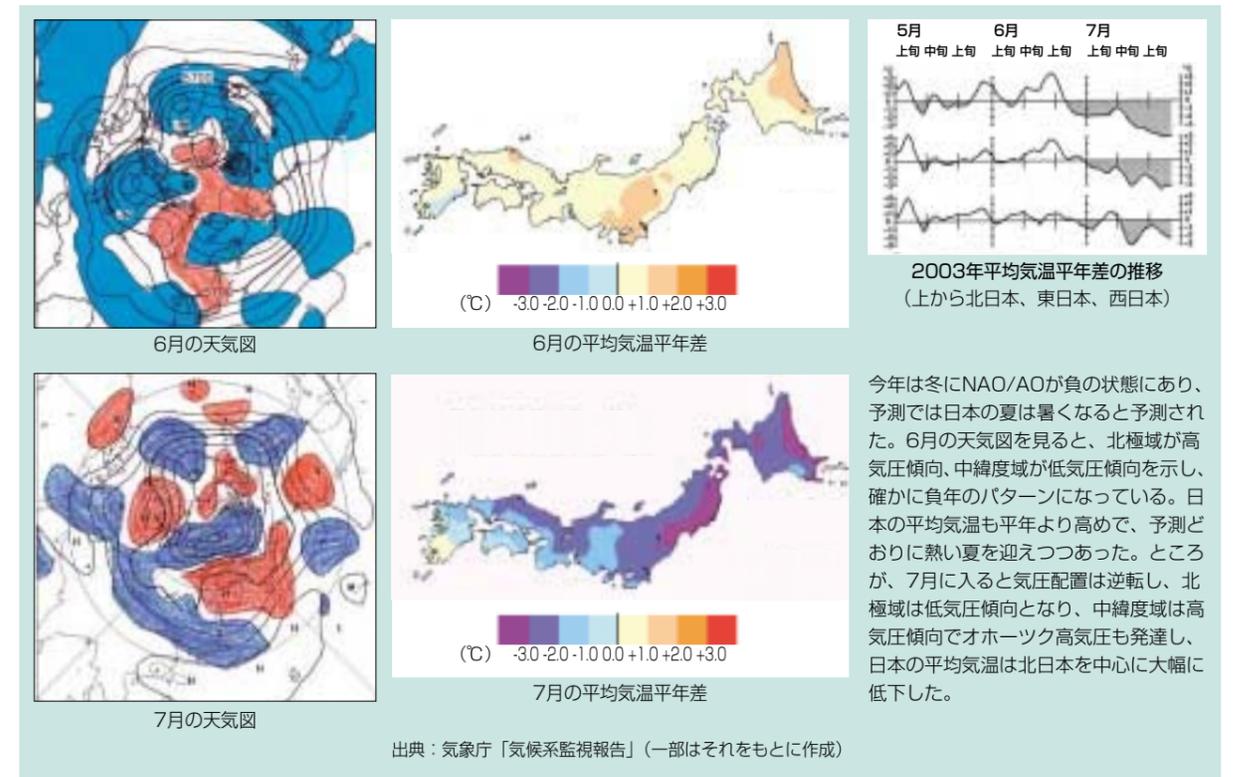
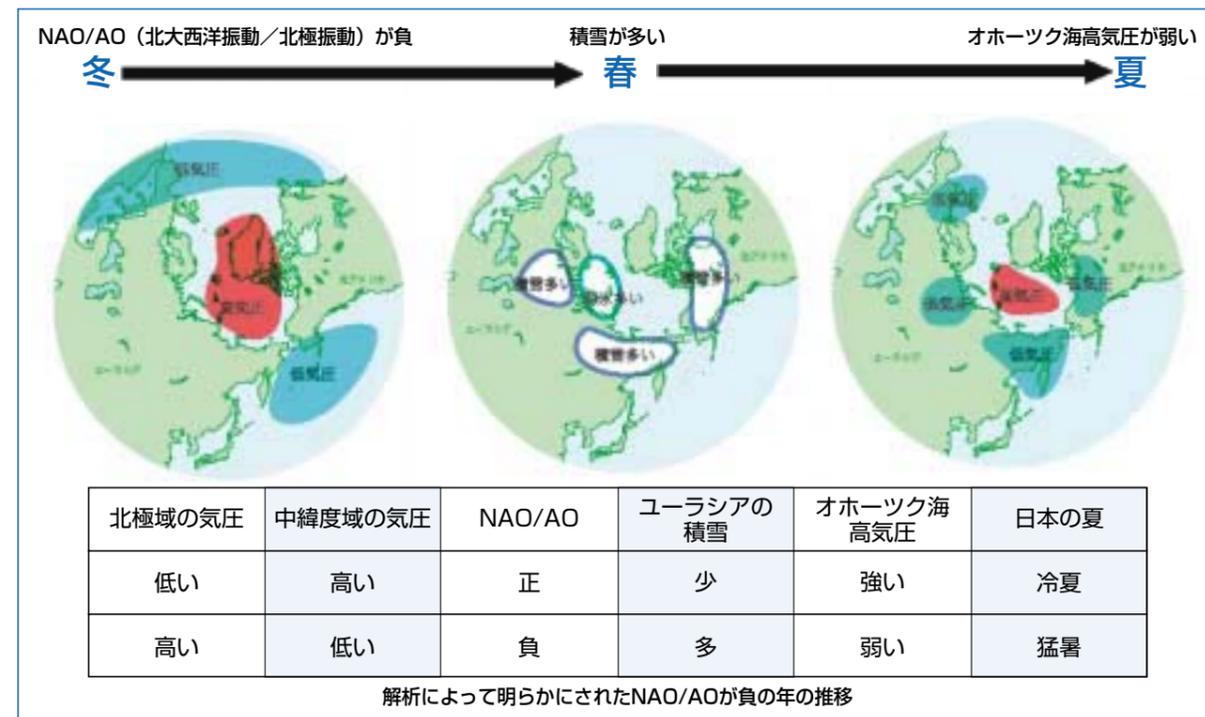


たからといっても、それが夏まで続くわけではないが、積雪・海水は、寒かった冬の影響を春まで残し、それが熱輸送によって大気に伝わり、冬のNAO/AOの負のパターンは、そのスケールは小さくなるものの、夏まで影響を残すと考えられる。

立花研究員、山崎研究員らが、北極域雪氷圏の冬の気候と夏の気候に、何らかの関係があるのではないかと考えたきっかけは、これまで行ってきたオホーツク海の流氷の研究だった。以前



冬のNAO/AOが負の年の初夏の対流圏中層(高度5,000m付近)の大気の流れのパターン
 積雪の多い地域や海水の多い海域に対応してその上空の大気は低気圧循環になる。おおむね北極域が高気圧、中緯度域が低気圧傾向になることも示している。



から、通説として、オホーツク海の流氷はアムール川から流れ出る水量が多いほど多いといわれてきた。ところが、実際にアムール川の流量のデータを集めて流氷の量と比較してみると、まったく逆で、流量が多いほど流氷は少ないことが分かった。しかも、アムール川は冬の間は凍結しており、流れているのは主に夏であることも分かった。ということは、流氷を決定づける冬の気候と、アムール川の流量を決定づける夏の気候に何らかの関係があるのではないかと、そうした疑問から研究が始まったという。

今年の日本の夏は 熱くなるはずだったが…

今回の研究成果を日本の気候との関連で見ると、冬のNAO/AOが正の場合、夏に日本の北に発生するオホーツク海高気圧は強まる傾向があり、負の場合はオホーツク海高気圧が弱まると考えられる。一般に、オホーツク海高気圧が弱まると考えられる。今年6月の大気圧を見ると、オホーツク海高気圧は発達せずに、確かに弱い状態にあった。そして、日本の平均気温も例年に比べて暖かい傾向が見られた。ここまでは、まさに今回の研究による予測のとおりだった。ところが、7月に入ると、大気の状態が一変した。オホーツク海高気圧が発達し、日本は北日本を中心に気温の低い状態が続いた。北極域から中緯度域の7月の天気図を

合、日本は冷夏になりやすい傾向があり、負の場合は、猛暑になる可能性が高いといえる。また、最近の傾向として、NAO/AOには正のトレンドがあり、これについて一説には地球温暖化との関係が示唆されている。だが、正の場合、オホーツク海高気圧は発達する傾向にあるため、地球温暖化が進行しても、日本の夏は必ずしも暑くならない可能性もある。

では、実際に今年の日本の夏がどうであったのかを見ていこう。

今年の冬は、NAO/AOは負の状態にあった。そして、気象庁の観測でも、今年例年に比べて積雪量は多かった。そして、今年6月の大気圧を見ると、オホーツク海高気圧は発達せずに、確かに弱い状態にあった。そして、日本の平均気温も例年に比べて暖かい傾向が見られた。ここまでは、まさに今回の研究による予測のとおりだった。ところが、7月に入ると、大気の状態が一変した。オホーツク海高気圧が発達し、日本は北日本を中心に気温の低い状態が続いた。北極域から中緯度域の7月の天気図を

見ると、ほとんどの地域で高気圧が低気圧に変わるなど、まさに反転しているといってもよい状態だった。

これについて、立花研究員は次のように説明する。「6月までは、私たちの計算結果と非常によく対応した、予測どおりの結果が出ました。でも、7月はまったく逆の状態になりました。私たちは、まず熱帯域からの影響の可能性を考え、海水温などの変動を調べました。しかし、エル・ニーニョでもなく、熱帯からの影響の可能性は少ないと思われます。であるとすれば、これは外部からの影響ではなく、内部、つまり夏の北極振動が内包している固有振動が現れたと考えられます。あるいは、まだ知られていない原因があるのかもしれない」

立花研究員、山崎研究員らは、今後も研究を続け、今回の研究結果が、夏の気圧配置を支配する特徴的な大気の振動なのかどうかについて、より詳しく解析していくという。それにより、冬の気候と何らかの関係を持つ夏の気候の理解をより深めていきたい考えだ。

Interview

研究者・技術者に聞く

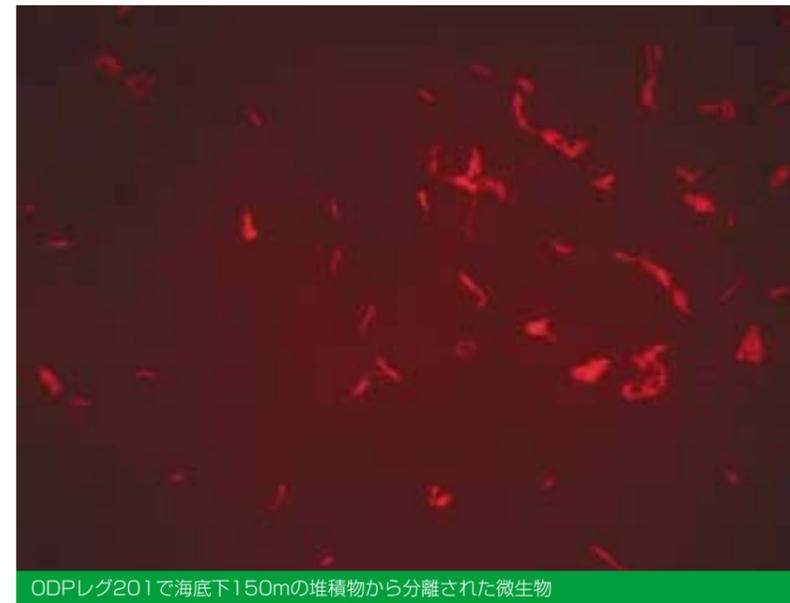
稲垣 史生 研究員

極限環境生物フロンティア研究システム
地殻内微生物研究領域



地下生命圏の研究から 海底下の豊かな微生物圏と 地球史と生命史との関係を探る

地殻内微生物の研究はまだ歴史が浅い。これまでにODP（国際深海掘削計画）の掘削によって地殻内に大量の微生物が存在することが明らかとなっているが、どのような微生物がどこにどうやって生息しているのか、そもそも生きているのか死んでいるのか、といった多くの疑問が蓄積している。稲垣史生研究員は2000年4月から「地圏と生命圏との接点を探る」ことをテーマに地下生命圏の研究を開始。掘削コアの試料を分析し、特定の地質条件下に存在する特異な活動的微生物の生態系を研究している。深海から海底下深部へ広がる極限環境より、新奇な微生物を多数発見するとともに、微生物を通して初期地球から生命がどのように進化していったかの謎に迫っている。



ODPレグ201で海底下150mの堆積物から分離された微生物

Blue Earth編集部(以下BE) どのようなきっかけで、地殻内微生物の研究に着手したのですか。

稲垣 学生時代は放線菌の抗生物質生産や乳酸菌を研究している遺伝子工学講座に在籍していましたが、講座で研究されていた応用微生物学よりはむしろ、どこにどのような微生物がいるのだろう、どうやって生きているのだろう、といった微生物の生態に興味がありました。そんなある時、工学部の先輩が「地熱発電所の150℃くらいの熱水から形成される鉱物を顕微鏡で見ると微生物のような変な形のものが見える」というのです。半信半疑のまま発電所に連れて行かれ、鉱物からDNAを取ってみたのが、極限環境微生物を研究するようになったきっかけです。いっぺんにのめりこんでしまい、たまたま海洋科学技術センターで地下生物圏がクローズアップされつつあった時期にここに来ました。

BE 地殻内には非常にたくさんの微生物が存在するのだそうですね。

稲垣 ええ、海底下1kmの深さまでに1ccあたり10の5乗を超す細胞がいるといわれています。ただし海底下の微生物は活動的(生きている)な微生物群集と非活動的(死んでいる、もしくは休眠している)な微生物群集に分かれているようです。海底下の生命圏はこの両方から構

成されていますが、全体的には非活動的な微生物が多く、非常に静かな生命圏なのです。

非活動的とはいえ、そのような微生物も非常に重要です。微生物は生息環境に非常に多様性があり、普通の真核生物が死に絶えている時代や生存できないような極限環境でも微生物なら遺伝子情報が得られます。その微生物の系統と現在の微生物の遺伝学的な類似性を調べることで、過去の地球環境をある程度想像することができます。

たとえば1億年前の白亜紀にはOAE(海洋無酸素事変)という事件があって、海が一時的に非常に還元的な環境になり、多くの生物が死に絶えました。微生物は酸素の濃度異常に敏感にコミュニティを変えますから、嫌氣的な時期には酸素を使わずに硫酸や鉄などを還元して生きる微生物が多かったはず。過去の地質に閉じ込められた微生物や微生物が作った鉱物などを調べることによって、その時代の地球に起こったこ

とがよりくわしく見えてきます。

BE 活動的な微生物はどんな条件の場所に生息しているのですか。

稲垣 それが今、まさに地下生物圏研究の焦点となっています。地球の70%は海洋ですが、その地下のほとんどは非常に静かな生命圏です。微生物が生育するにはエネルギーの獲得と生育場所が必要となりますから、エネルギーのフローがあって水が循環している、地質学的に活発な場所にいるだろうと考えられます。それは深海底熱水噴出孔周辺の海底下環境や、中央海嶺系、付加体、ダイアピルなどの場所だと思われます。

そこで地圏と生命圏の接点を探ることが重要になります。深海底のさらにはまだほとんど調べられていないので、もしかしたら原始時代の地球に発達した微生物群集が当時の面影を残したまま存在しているかもしれません。生命進化を考える上で、非常に重要な知見が得られると思うし、新しい微生物を発見できる可能性がある。新しい微生物の分離培養に成功すれば、これまでになかった遺伝子資源として産業的にも重要になってきます。

微生物学の立場から 船に乗り込んで試料を採取

BE 研究に必要なサンプルはどのようにして入手するのですか。

稲垣 ひとつは熱水活動域です。熱水孔は地下生命圏の窓ともいわれています。



深海底から採取した熱水やコア堆積物、岩石などに含まれる微生物を研究室で分析している

沖縄トラフをはじめとした様々な熱水活動域から、潜水船などを使ってサンプルを採取しています。あとは掘削コアです。様々な掘削計画に積極的に参加し、試料を採取して解析します。

今私が研究しているのは、ODPレグ201航海(ペルー沖)とレグ204(カナダ・カスカディア沖)の掘削コアです。昨年ODP201と204の航海で、世界で初めて微生物学者と地球科学者による海底深部掘削が行われ、僕はペルー沖の航海に乗船しました。船上ではメタンや硫酸をはじめとする様々な化学成分や地質特性が解析され、同時に、微生物解析用の嫌気処理や無菌操作が行われたのです。現在、そのコアのなかから遺伝子を取り出しPCR(ポリメラーゼ連鎖反応)で増幅して、遺伝子の塩基配列から海底下にどんな微生物がいるのかを調べています。

BE そこからどのようなことがわかりますか。

稲垣 レグ201と204で掘削されたコアの中には次世代のエネルギー資源と



ODPレグ201航海では船内の冷蔵室で全てのコアの微生物処理が行われた



掘削コアから有毒な硫化水素が発生するためマスクをして作業をする

いわれるメタンハイドレートを含むものがあります。メタンハイドレートを作るメタンは生物起源のメタンと有機物の熱分解起源でできたメタンの2つに大別されますが、201と204には生物起源のメタンが非常に多い。しかし実際に海底下のどこで作られているのか、作っているのはどんな微生物かについてはわかっていません。現在の研究から、これまでに知られているメタン生成アーキアとは違う系統のアーキアが深さ50mまでのコア表面に多く存在していることを突き止めました。おそらくこれらの微生物がメタンの生成に大きく関与しているかもしれません。鉛直的に海底下の微生物群集構造を見ることで、海底下生命圏の姿と地球環境との関連性が見えてきたのです。

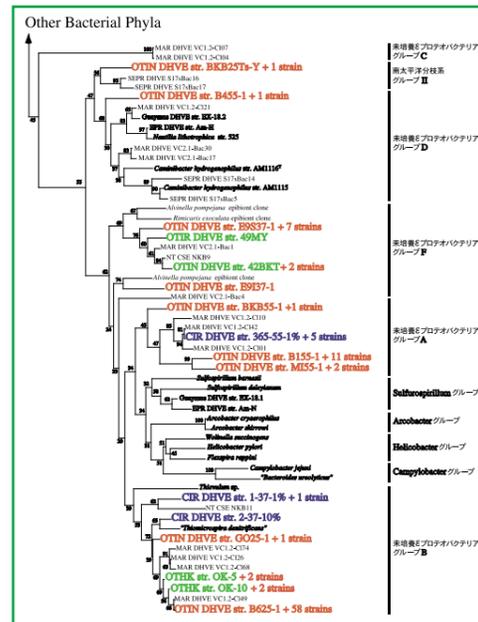
BE 沖縄トラフの熱水孔についてはどのような調査をしていますか。

稲垣 昨年「しんかい2000」に乗り、伊平屋北の熱水活動域で、熱水孔を中心に広がる酸化還元勾配や地温勾配に対応する微生物相を調べました。熱水孔からは300℃を超える嫌気的な熱水が冷たい酸化的な海水の中に噴出しているの

の間には物理化学的な勾配があります。その極限環境で微生物は巧みな棲み分けをしています。さらに熱水孔の下には、生命圏の3次元的な広がりがあるはずです。今後はそれらの微生物活



深海底熱水活動域に生息するεプロテオバクテリア



「εプロテオバクテリアの系統樹」
沖縄トラフをはじめとする深海底熱水活動域から多くの新しいεプロテオバクテリアが分離され、生理・生化学的生育特性が明らかとなった

動が地球の炭素循環や硫黄循環などの化学的な物質循環にどのような影響を与えているのかを見ていきたいです。

また熱水活動域からは、とてもたくさんの菌が分離されています。たとえばプロテオバクテリアというひとつの大きな系統がありますが、その系統群はα、β、γ、ε、δというサブクラスに分かれています。熱水孔にはεサブクラスに属する菌が非常に多いことはわかっています。しかし菌が存在することはわかっても培養が成功しておらず、その生理機能や代謝は未知でした。去年の航海では少なくとも10数種類は新属レベルでεに属する菌を分離しました。今まで未解明だった系統群が一気にその性状を明らかにし、続々と新属・新種の登録がさ

れています。これはグループ全体としても大きなトピックでした。

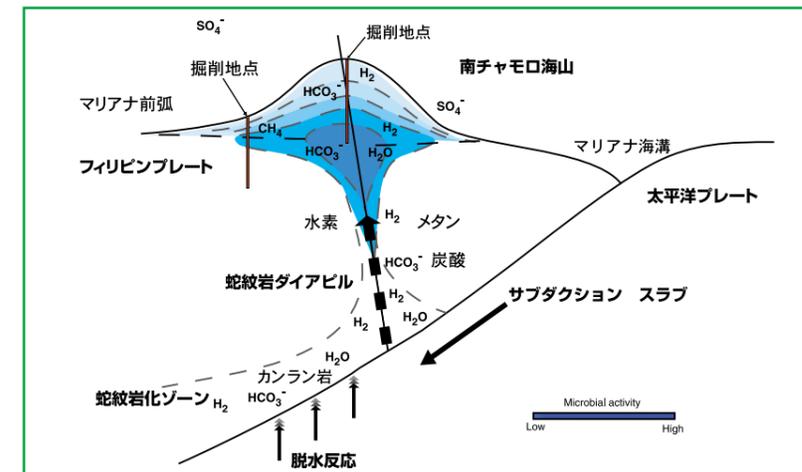
BE 今年も沖縄に行かれるのですか。

稲垣 今年は伊平屋北だけではなく伊是名海穴でも約10年ぶりに調査を行います。ここは300℃を超える熱水孔や、液体の炭酸ガスハイドレート、厚さ30cmを越す元素状硫黄のテラスなどがあります。それらの環境にどのような代謝経路の微生物が生息しているのかを、培養や遺伝子解析、化学分析や同位体解析などによって調べます。

私たちは、沖縄トラフの熱水活動域についてIODPに掘削のプロポーザルを出し、掘削に先立って微生物学の立場から潜水調査船を使った事前調査を行っています。沖縄トラフは中央海嶺型の熱水孔ではなく背弧海盆型の熱水孔で大陸の河川によって運ばれた有機物を豊富に含む堆積物に覆われています。微生物の成育を支える環境条件が整っており、多様で肥沃な海底下生命圏があるだろうとらんでいます。

BE 熱水孔以外の地質学的な活動域についてはどうですか。

稲垣 マリアナの前弧域の蛇紋岩海山に着目しています。上部マントルに沈み込んだ海洋底スラブが熱せられ蛇紋岩のダイアピルが上がってくる場所です。プレートの沈み込みによっておこる海底深部の化学反応で微生物の生育に必要な



「未知の海底深部生命圏」
マリアナ前弧域の蛇紋岩海山の深部には、未知の超アルカリ性始原的微生物圏が存在する可能性がある



研究室に設けられた嫌気グローブボックスを使って作業する稲垣研究員

水や水素、炭化水素、炭酸などが発生するので、活動的な微生物の棲みかである可能性があるのです。

また、蛇紋岩海山の近くはpHが9.5から最大で12.5と地球海洋環境の中でもっとも高アルカリ性です。これはすなわち特異な環境独自の生命圏がある可能性を意味しています。地球深部から発生する無機物を食べる、特殊で始原的な微生物生命圏があるのではないかと考えています。もし存在するのであれば、そこは地球上に残された地圏と生命圏の接点です。もしかしたらこのような場所で最初の生命が生まれたのかもしれない。

BE これから研究を進めるうえで、最も関心を持っていることはなんですか。

稲垣 地球外の生命圏に関心があります。アメリカを中心にアストロバイオロジという分野が展開されていますが、私は火星にも生物がいると思っています。

火星の生命探査においても、キーとなるのは地下の生命圏でしょう。去年のマーズオデッセイの成果で、火星の緯度60度以北または以南の浅い部分に永久凍土があることがわかってきました。永久凍土には地球の始原的微生物のような生命が閉じ込められている可能性があります。もちろん、生きていたっていい。地下数メートルの永久凍土からランチャーで無菌的なコアをとってくれば、フリーラジカルによる生体高分子の分解などの問題もありますが、地球型の生命であれば検出できるかもしれません。惑星間で生命の移動があるという説もありますから、火星で生命が生まれて地球に運ばれてきたと考えてもおかしくない。地下生命圏の研究を進めていくと、地球だけではなく火星やエウロパなど生命の可能性のある地球外惑星の探査とリンクしていくのです。

地球上の生物のDNAは4種類の塩基が二重螺旋を作っていますが、地球外ではそれが2種類だったり、6種類だったりするかもしれませんね。僕はけっこう地球に似ているんじゃないかと楽観的に考えています。

とにかくやることはたくさんあります。陸域の地下生命圏も調べていますし、調査のためには微生物だけでなく、地質や無機化学、有機化学、同位体などについても知識が必要です。将来的には地球という生命システムの中で微生物学を位置づけ、地球微生物学といった学問分野を確立していく意気込みで研究を行っています。

第二の人生を送るクジラの骨

化学合成生物群集 分布の謎を秘めた

海底の“飛び石”、鯨骨生物群集

取材協力

藤原 義弘 研究員

海洋生態・環境研究部 第一研究グループ



1992年、伊豆小笠原諸島海域、水深約4,000mの海底にふしぎな生物群が発見された。「しんかい6500」のライトに白く浮かび上がるサイコロ状の物体に、シンカイコシオリエビやヒトデなどがびっしりと群がる。その謎の物体はクジラの骨。クジラたちの亡骸はほかの生き物たちの餌となり、やがて白骨化し海底に横たわる。そして、そこを拠点に新たな生物群集が生まれていたのだ。こうした群集は鯨骨生物群集と呼ばれ、プレート境界にある熱水や冷水の湧き出る場所に次ぐ、深海底の第三の化学合成生態系として、広大な海に点在する。

鯨骨の内部は脂質が多く、酸素の少ない条件下では腐敗してメタンや硫化水素を発生させるため、熱水・冷水域と同じく化学物質に依存して生きる生物たちの生息できる環境を生む。そのため、鯨骨は点在する熱水・冷水域の生物が分布を広げるための海底の“飛び石”として機能している可能性がある。

2002年1月、鹿児島県大浦町に14頭のマッコウクジラが打ち上げられた。懸命の救命活動もむなしく13頭が死亡。うち12頭の亡骸は沖に沈められ、深度約200mという比較的浅い海域で鯨骨生物群集の成り立ちを観察できる絶好の現場となった。投棄から約1年半、海洋科学技術センターもこの夏「ハイパードルフィン」を使って調査を行った。クジラの白骨には、すでに化学合成細菌と共生する二枚貝が多数生息していた。今後の継続調査により、鯨骨の“飛び石”仮説の謎もやがて検証されるであろう。

鳥島沖鯨骨

1992年に発見された伊豆小笠原沖、鳥島海山山頂の鯨骨生物群集。コシオリエビやヒトデ、ウニなどが棲息していた。



鯨骨に群がるイガイの仲間
鹿児島沖の鯨骨に棲息していたイガイ。骨にびっしりとついていた。

鹿児島沖の白骨俯視

2003年7月の調査で確認されたマッコウクジラの骨。右端が頭蓋骨。引き上げたサンプルは猛烈な腐敗臭を放ち、研究員は防毒ガスを装着しての分析をやむなくされた。



鯨骨に棲息するカサゴの仲間
鹿児島沖の鯨骨にはカサゴの仲間も見られた。巨大な鯨骨は魚たちの隠れ家にも利用されている。

JAMSTEC

Report

沈み込み帯震源地地震の発生メカニズムに迫る

5千万年前の海溝型大地震の痕跡を高知県南部の四万十帯で発見

取材協力

坂口 有人 研究員

固体地球統合フロンティア研究システム
プレート挙動解析研究領域

海洋科学技術センター・固体地球統合フロンティア研究システムと東京大学大学院理学研究科は、プレートの沈み込み帯で発生した地震を記録し、そのメカニズムを知るうえで貴重な手がかりとなる「地震の化石」シュードタキライトを世界で初めて発見した。これまで国内で報告されたシュードタキライトはすべて内陸型の震源断層によるもので、沈み込み帯で生じた例はなかった。今回シュードタキライトが発見されたのは高知県南部。四万十帯の興津メランジュと呼ばれる特徴的な地質体が露出しているところ（露頭）である。かつては沈み込み帯にあった地震断層が、長年の堆積物の付加作用によって隆起したものと考えられる。いわば今はもう動かない古い地震発生装置であるが、これを研究することで海溝型地震発生メカニズムの解明が大きく進展すると期待されている。

沈み込み帯での地震発生は断層の岩石と深く関わる

海洋プレートが陸地の下に沈み込んでいく「沈み込み帯」では、プレートが沈み込む際に応力がかかって地殻にひずみがたまり、約100年に一度くらいの周期で断層が高速ですれ、断層面の岩石同士に摩擦が起きる。これが海溝型大地震の起こる仕組みである。

これはブロックスライダー・モデルという簡単な装置を使った実験で確かめることができる。ブロックを載せバネを接続した「そり」を糸巻きにつなぎ、レーンの上を引っ張る。するとそりは、レーンの上でしばらく止まっては動き、また止まっては動く不連続な滑り方「固着滑り」をする。これが地

震が起こるときの断層岩の滑り方である。

ブロックスライダー・モデルでは、糸巻きがそりを引く力が「プレートからの応力」、バネが「岩石の弾性」、重りのブロックは「沈み込むプレートに乗っている陸地の重さ」を表現する。ブロックを載せたそりが静止している間は地殻がひずみを溜めている状態であり、滑っている状態が地震である。

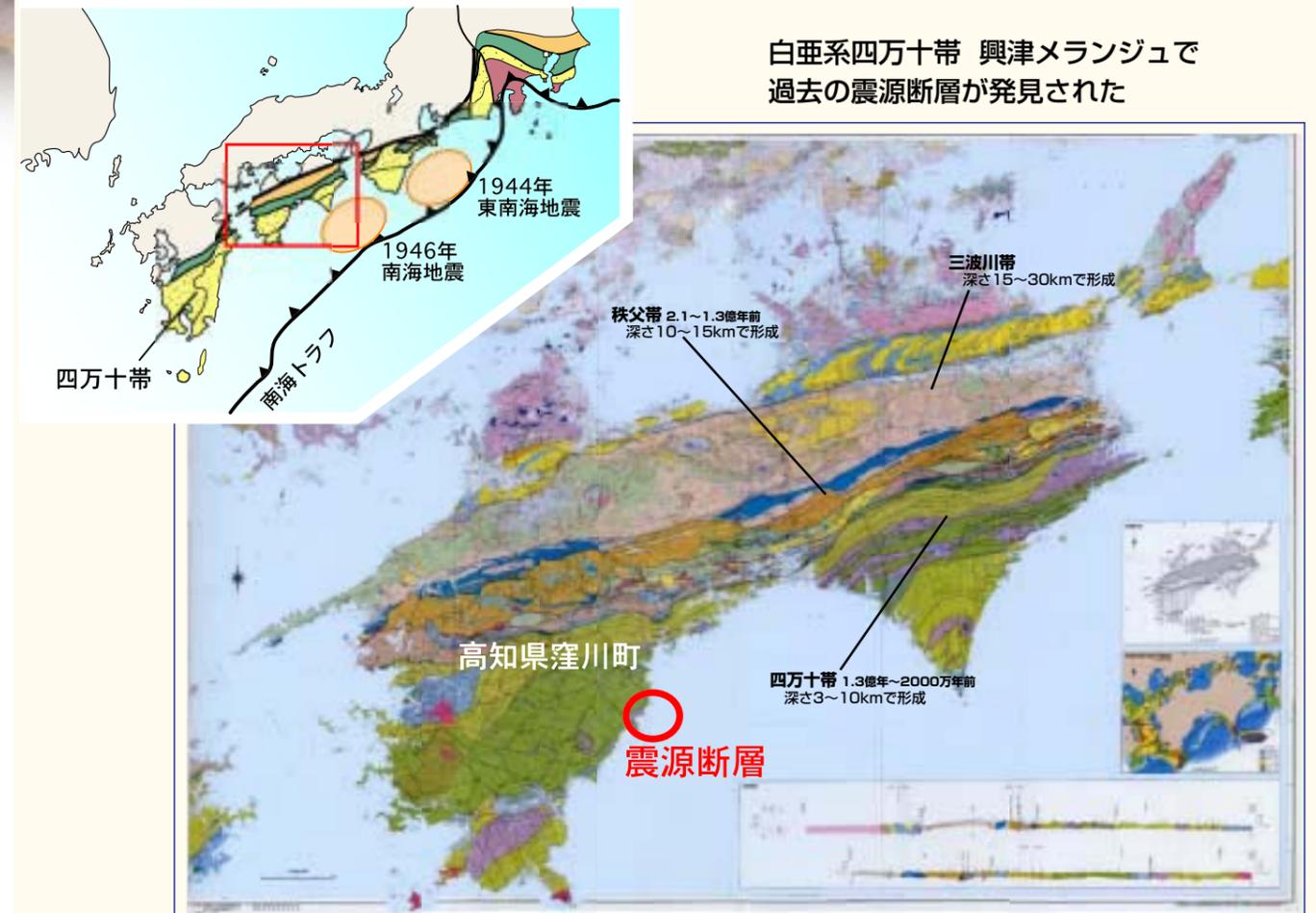
そりの裏面の素材を変えると、同じ糸巻き（応力）、同じバネ（剛性率）、同じ重り（陸地の重さ）でも、滑り方のパターンが変わることが確かめられる。摩擦現象には表面の状態が非常に重要なのだ。つまり断層を構成する岩石が何でできているか、どういう挙動を示

すが、地震発生の鍵を握る。地震について研究するには断層の岩石（断層岩）について知る必要があるのだ。

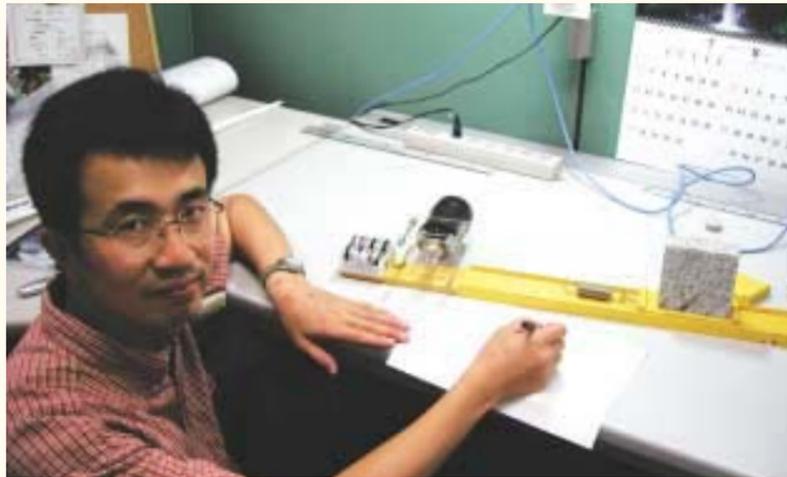
なぜ沈み込み帯の断層が重要なのか

断層岩については内陸型の震源断層研究が積み重ねられてきた。沈み込み帯でかかった応力は内陸部に伝播され、その結果内陸で地表に近い断層がずれる。これが内陸型の震源断層である。

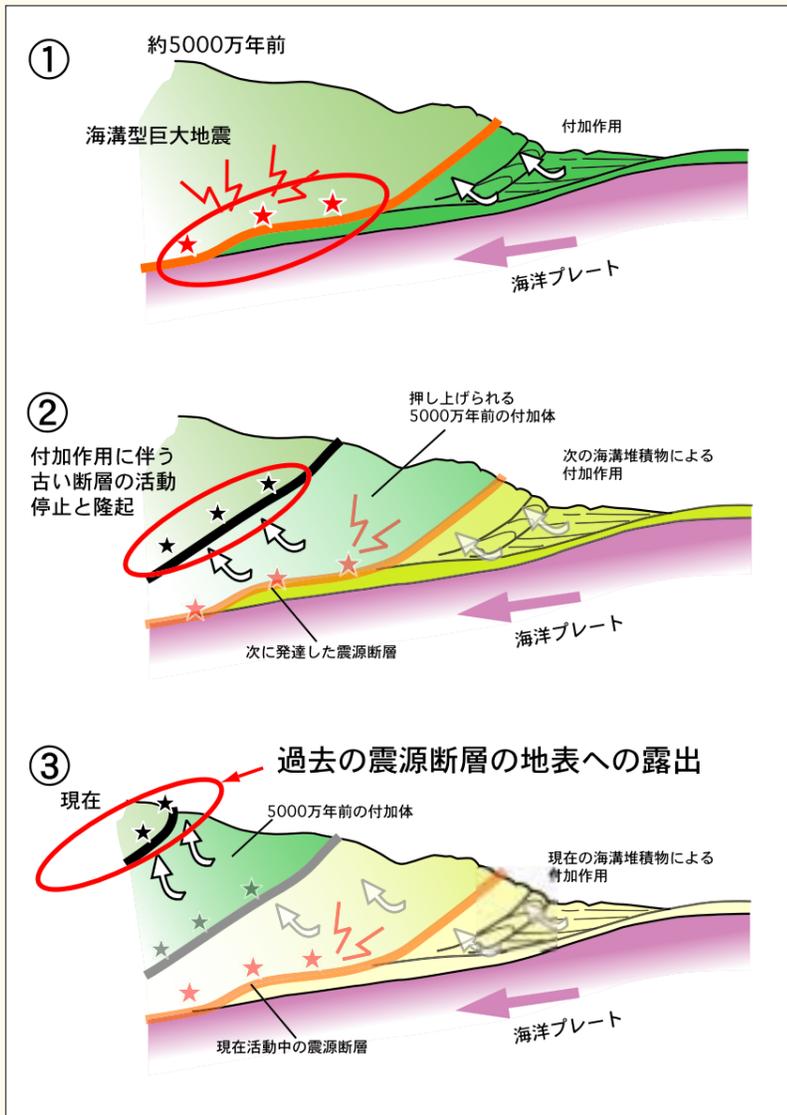
しかし実は、貯えられたエネルギーのほとんどは沈み込み帯で解放される。ここ100年くらいの地震計による地震波観測の蓄積によると、地球表面の地震エネルギーの85%は沈み込み帯で発散されている。これに沈み込み帯以外



沈み込み帯の震源断層が発見された四国の地質は、地表に近いほうから「領家帯（高温変成帯）」、「三波川帯（高圧変成帯）」、「秩父帯（ジュラ紀の付加体）」、「四万十帯（白亜紀から第三紀の付加体）」の順で並んでいる。高知市あたりよりも室戸岬の方が地層が若く、さらに四国沖には南海トラフには現在の震源断層が存在する。（出典：四国地方土质地質図）



実験の仕掛けに使うのは木製のレーンとレーンの上を滑らせるそり、そこに載せるブロック、パネ、テグスを巻いた糸巻き。その裏の一方にはテーブルクロスにビニール、もう片方はガムテープを貼り、レーンに接する面の摩擦の状態を変えている。



過去の震源断層の隆起・概念図

古い地質体は新たな付加作用で押し上げられて上昇し、地表は風雨で削られ、古い震源断層が地表に露出することになる。

のプレート境界（衝突帯）で発散されるものを合わせると90%を超え、内陸型の震源断層で発散されるのはわずか10%弱である。

プレートが深く沈み込んでいく途中では、高圧による高圧変成帯ができる。またプレートの沈み込みとともに海底に溜まった堆積物が陸側に押し付けられ、付加体が形成され陸を隆起させる。深さ110kmでは、沈んだプレートから滲出する水分によってマグマが生まれ、上昇してきて花崗岩となる。このようにして日本列島のような島弧が形成されるのだ。

内陸、沈み込み帯に関わらず、巨大地震が発生するのは5kmから数10mの深さなので、今まさに震源となっている部分を直接調査することはできない。そこで過去の地質体を見て現在の地下深部と比較する研究が行われてきた。

だが、これまで沈み込み帯の断層露頭は未発見で、非常に重要であるにもかかわらず研究されてこなかった。内陸型の地震断層は、花崗岩があるような比較的地表面に近くて固い部分にある。しかし沈み込み帯のすぐ上は付加体で、堆積物の泥や砂に水が含まれた状態のはずだ。内陸型の地震断層とは岩石のタイプがまったく違うため、内陸型の地震発生メカニズムを沈み込み帯の地震に適用することはできない。そこで今回、沈み込み帯の断層岩が発見されたことの意義は非常に大きいのである。

四万十帯が注目されたわけ

これまでどこかに沈み込み帯の震源断層が露出しているはずだと考えられていたが、秩父帯や四万十帯に震源断層はないとされていた。100年間ひずみをためて地震を起こすには、それだけの強度が必要である。深度の浅いところで付加した秩父帯や四万十帯のようなやわらかい地層では地震エネルギーを蓄積できないだろうし、深部で



断層露頭は高知県高岡郡窪川町の海岸に露出している。

高圧変成された三波川帯に震源断層があるのではないかとされていたのだ。

しかし近年海洋調査が進み、南海トラフで1944年の南海地震、1946年の南海地震を起こした震源断層の温度領域が150℃から300℃であったこ

とがわかってきた。三波川帯は300℃を超え、岩石がゆっくりと変形するようになり固着滑りが起きない。また、海溝にたまったばかりの泥や砂は崩れやすく、浅すぎても地震は起こらない。「固着滑り」を起こすには、適度な深さ

で温度が上がらず、適度に岩石化して強度があることが必要なのだ。

一方90年代くらいから、四万十帯でも岩石形成時の温度や圧力を定量的に求める研究がなされ、四万十帯の年代、構造、温度、圧力は、付加体のなかでもっとも詳細に調べられている。それによって四万十帯の温度は、最低でも150℃は超えていることがわかってきた。今回の「地震の化石」も、付加体がどうやってできたのかを解明するため四万十帯の温度を詳細に調べている過程で発見された。これまでの内陸の地震断層に関する研究の蓄積と、付加体に関する地道な研究の積み重ねが今回の発見につながったのだ。

四万十帯の震源断層の特徴

地震の化石が発見された興津メランジュは、四万十帯の中でも周囲に比べて飛びぬけて高い温度で作られたものである。メランジュはフランス語が語源で「かき混ぜられた」という意味だ。



断層帯のなかでも特に強い変形を受けている部分。中心部を斜めに横切る層には、岩片や鉱物脈とともにシュードタキライトが含まれている。比較のため置かれたハンマーは横幅が約20cm。

興津メランジュは幅1 kmくらいのゾーンで、泥の層の中にいろいろな岩体が混じっている。メランジュにはさまざまな成因が考えられ、すべてが震源断層ということではない。しかし興津メランジュは飛びぬけて温度が高かった。なかでもメランジュ最北の断層付近が最も高温で、そこからシュードタキライトが発見されたのである。

シュードタキライトは摩擦熱で岩石が融けてガラス質になったもので、つまり地震が起きた証拠となるものである。

断層岩断面の白い岩石は鉱物脈で、かつて大量の熱水が通った跡だ。岩石も水に溶け、食塩水から食塩が沈殿するように熱水の中から鉱物が沈殿する。地下深部では高温高圧力のため水が移動しにくい、断層は熱水の通り道となり得る。興津メランジュの温度が高かったのは熱水の通過によって温度が上昇したからだと考えられるのだ。

特徴的なのは、鉱物脈とシュードタキライトがセットになっていることだ。

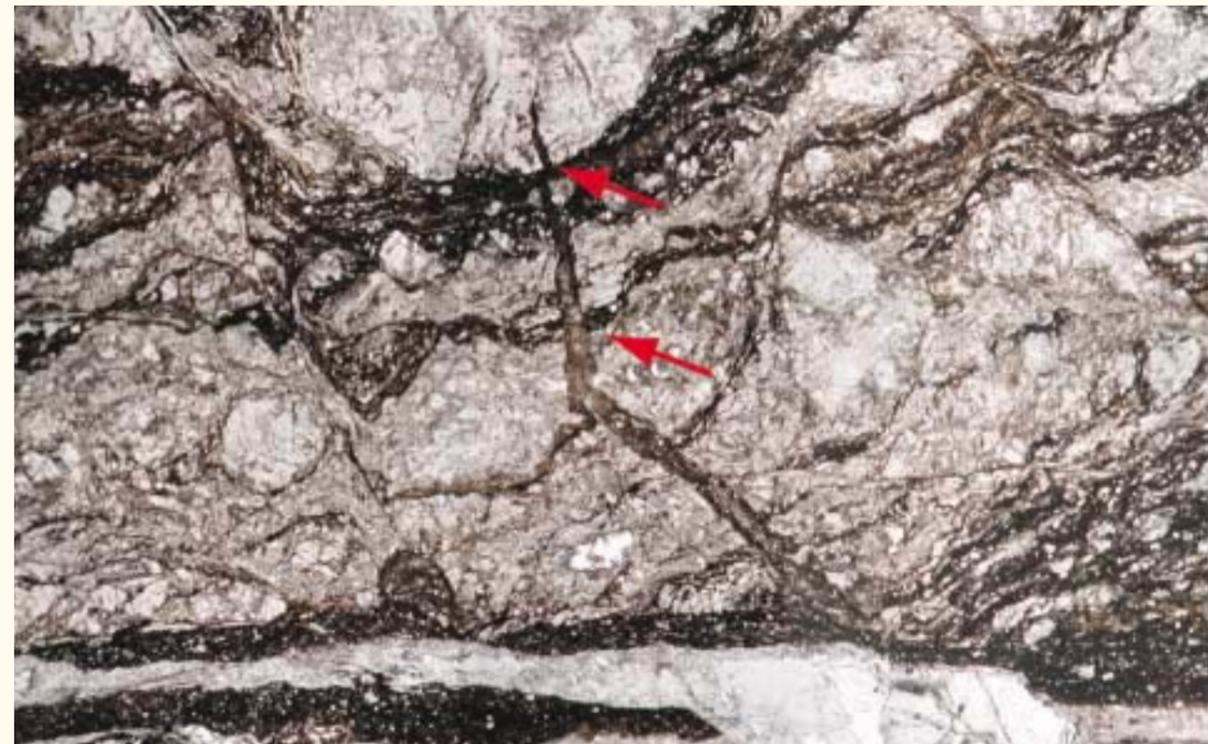
鉱物脈をさらによく見ると、断層運動に伴って岩石が粉碎され、しかも粉碎された破片が白い鉱物脈に沈まずに浮いているのがわかる。時間がたつと破片は沈むため、粉碎された直後に鉱物脈の沈殿によって瞬間的に固定されたのではないかと考えられる。粉碎されて弱くなったままであれば次の地震に備えてエネルギーを蓄えることができないが、熱水が割れ目に入り込んで沈殿すると断層をセメント化して強度を回復し、地震を繰り返すのではないか。そう考えると非常に都合がよい。沈み込み帯は水が多く、深部の水はたくさんの鉱物を溶け込ませているので、断層に入り込んで上昇すると急激な温度変化により沈殿して固着するだろう。それが鉱物脈の生成につながるのではないと思われる。今後さらに同種のサンプルが見つければ、この考えを検証することができる。

わずか幅数ミリのシュードタキライトにもたくさんの情報が含まれている。

たとえば、破壊が始まると破断部に力が集中するため、断層が動くときの破壊もシュードタキライトに局所化するはずだ。シュードタキライトが解明されれば断層の力学がわかる。地震でも起きると考えられているプレスリップ（物が滑るときに最初に小さく滑ること。それから物体は新しい摩擦を得て本格的に滑り始める）も、シュードタキライトに記録されてるかもしれない。

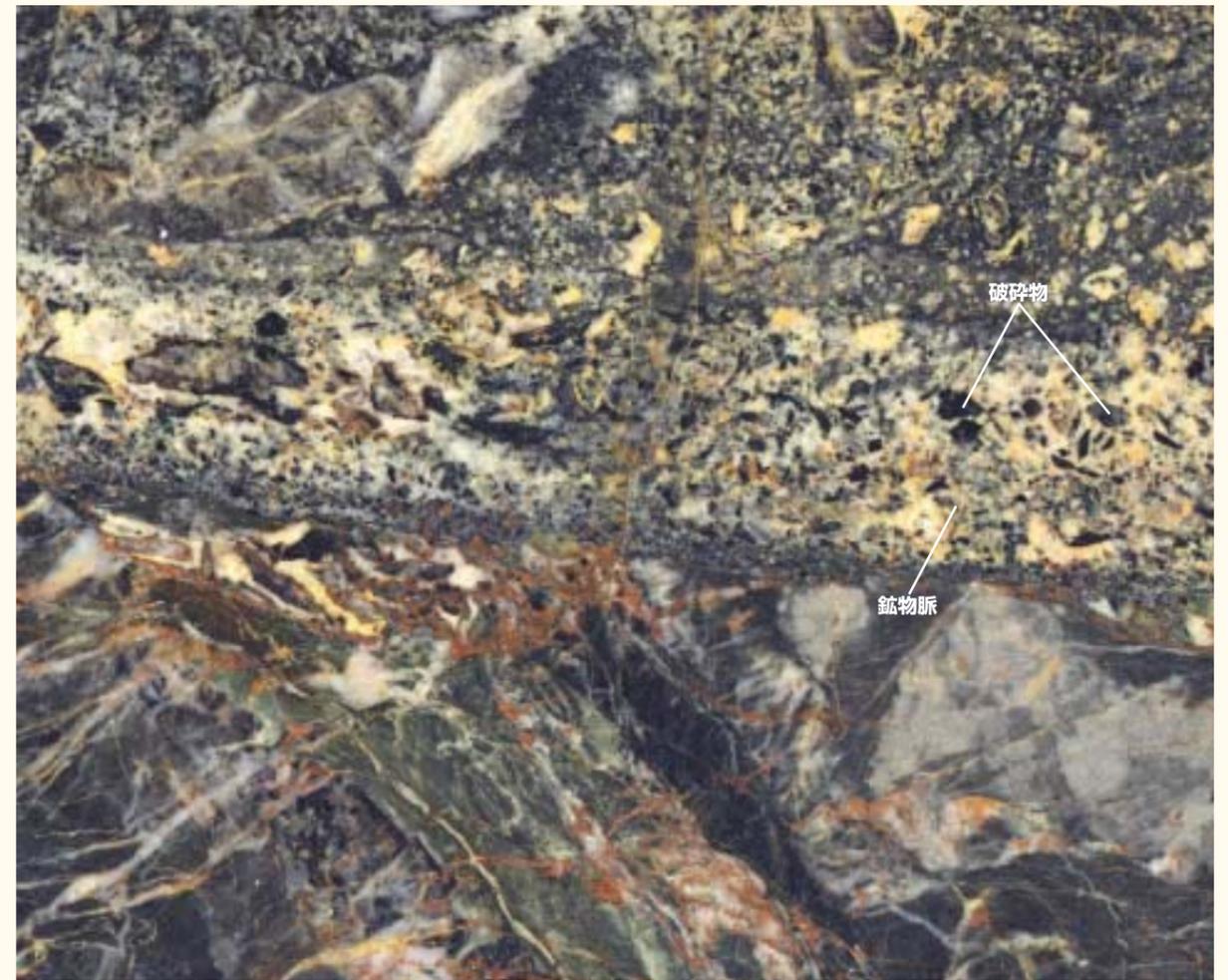
また前回の地震が大きいと次の地震が起きるまでの期間が長くなる。ブロックスライダーモデルでいえば、それは毎回同じ間隔で同じだけすべるわけではない。そりが滑りきる前に何かブレーキをかけている。そのブレーキとなっているのが断層の摩擦面ではないかと考えられる。摩擦して断層面が溶ける時に、粉碎物が一部溶け始めると摩擦挙動がまったく変わってしまう。摩擦溶解の際に何が起きたのかも、この部分を分析するとわかることだろう。

また断層岩には、古い断層が変形し



黒い線すべてがシュードタキライト

下の方のシャープな直線は比較的新しいが古いものほどその後の変形を受けて曲がっている。断層にシュードタキライトの線が何本も入って、中には古いものを横切っているものがあるのは、繰り返しか地震が発生したことを示している。



中ほどを横切る白い鉱物脈は熱水が通過した痕跡。粉碎された岩石片が瞬間的にセメントされ、沈殿せず浮いているのがわかる。

て規則的に並んでいる部分がある。ここでは沈み込み帯に存在する水によって「圧力溶解」という現象が起こったと考えられる。粒子の隙間に水があると粒子は点で接して部分的にひずんでゆく。ひずんだところが水に溶けやすくなるため、接点が溶けて粒子同士が食い込み、ちょうど歯車がかみ合ったように力のかかったところがさらに溶ける。溶けた鉱物は周囲に沈殿していき、やはり断層をセメント化する。このように地震と地震の間に長い時間をかけて起こる現象も、断層の強度を増しているのではないか。このように、どんな鉱物がどのような挙動を示しているかを調べると、地震の最中だけでなく、地震と地震の間に何が起きているのかもわかるはずである。

今まで震源断層がないと信じられてきた付加体でのシュードタキライトの発見のおかげで、今後は海溝型震源断層の物質化学的分析が可能になり、新たな知見が期待される。

沈み込み帯の震源断層全体像 解明にむけての今後の取り組み

今回採取された断層岩は重要な情報を与えてくれるが、5千万年くらい前のものなので、実際に活動していたときに、どれくらい水を含み強度はどうだったか等はわからない。ちょうど壊れた地震発生装置を分解して、装置の仕組みを探るようなものだ。

次のステップは、活動中の地震発生域をじかに調べることである。IODP（統合国際深海掘削計画）で現在活動中

の「生きた」断層岩を採取するとともに震源断層のデータを採取し、ひずみ系、水圧系、温度系、化学成分などを調べていく。一方では活動を停止したのものについても、これから四十帯の多様性に富んだ断層岩を調べて蓄積する予定だ。これをIODPの掘削から得られるデータとあわせて見ていくことによって初めて震源断層の構造全体がわかってくることだろう。

現在IODPには1944年の東南海地震の震源エリアが浅いところまで延びていて掘削が可能な熊野沖の掘削プロポーザルを出している。東南海地震から60年経っているため、かなりひずみをためて十分な強度を持った地震の準備過程を見ることができるとは考えられるはずだ。

JAMSTEC

Report

先端機器や研究者を通して 海洋科学・地球科学の最先端に触れる マリンサイエンス・スクール2003開催

地球温暖化問題をはじめ、異常気象や地震、エネルギー問題などに関連して、学校の現場でも海洋学への関心は高まっている。しかしながら、「海」と聞いて浮かんでくるイメージはまだ限られたものようだ。海洋科学技術センターでは世界に誇る有人潜水調査船「しんかい6500」や自律型無人探査機である深海巡航探査機「うらしま」などをはじめとした最先端機器や研究プロジェクト、研究者たちの多くの成果を、21世紀の海洋科学・地球科学を担う若者達の教育や学校現場に有効利用して欲しいとの願いから、毎年夏休みの時期にマリンサイエンス・スクールを開催している(高校生には春休みにも実施)。今年も全国から集まった高校および専門学校生、教育現場の先生方が日程を分けて2泊3日のプログラムに参加した。講義の内容は、深海生物から海洋観測、固体地球学、海洋工学と幅広い分野にわたる。まさに現在進行形の海洋科学・地球科学の最先端研究や技術に触れ、充実した3日間となった。

マリンサイエンス・スクールHP

<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/event/event-old.html>

深海性巻き貝の解剖。「やってみたかった！」との声も



有人潜水調査船「しんかい2000」の実物を前に説明を受ける



有人潜水調査船「しんかい6500」の実物大模型の中に入ってみる



生きたチューブワームも観察した



講義も「予想以上に面白かった」と好評だった

マリンサイエンス・スクールはセンターの持つさまざまな施設、機器を見学できるのはもちろん、研究者達の話に直接聞くことができるのが魅力だ。最先端の知識や技術、開発の苦勞、研究のロマンなど、研究者から語られる熱い言葉には何よりも説得力があるようだ。

●「海」の研究の 幅広さに驚き！

マリンサイエンス・スクール(生徒対象)
7月23～25日

高校および専門学校生を対象とした2泊3日のプログラムには、全国から26名の男女が参加した。1年生から3年生まで学年も違えば、その参加動機も「海

が好きだから」「潜水体験をしたかった」「進路の参考に」など十人十色。「同じ分野に興味を持つ友達を増やしたい」という声も多く、自己紹介が始まるとようやく雰囲気も和み出した。

マリンサイエンス・スクールでは海洋研究の導入として「深海を探る」「水中の世界」「21世紀の海洋と地球」の3つのテーマで講義や実習を行った。オリエンテーションを終えると、さっそく海洋研究の概要についての説明だ。「まず“海”と聞いて思い浮かべる研究分野をノートに書いてみてください」という問いかけに当惑しながらメモを作った生徒達に論文の目次コピーが配られる。海洋物理から化学、水産学、音響

学、海洋工学…、ずらりと並んだ項目に生徒達は興味津々。「海の研究ってこんなにいろいろあるんだ」と、改めてこれから始まる体験に期待をふくらませる。続いて行われた深海生物の講義では、深海性巻き貝の解剖に挑戦。解剖自体が初めての生徒も多く、メスを片手に奮闘した。研究者の指導で細長い歯舌をきれいに取り出し、女の子も得意げに顔をほころばせる。研究棟の深海生物飼育水槽では、チューブワームやユノハナガニの実物に見入っていた。

講義2日目、午前中は有人潜水調査船「しんかい6500」のパイロットによる深海の世界についての体験談や、水深300mの海底に挑んだダイバー達の水



潜水シミュレータ体験に、みんなドキドキ



高圧環境でテニスボールの瓶詰めも完成



指示棒先端が地球深部探査船「ちきゅう」船体、ひもが掘削パイプ。その長さにはびっくり！



最終日には修了証が手渡された



スクーバ体験の前にシュノーケリングも習得



研究者の説明に熱心に聞き入る



深海から採取したチムニーや、潜水船の部品に触れる



普通の海水(左)と深層水(右)の透明度はこんなに違う



マンツルに含まれるかんらん岩の薄片も観察

中生活についての話を聞いた。午後からはセンター内の潜水シミュレータ棟で行う深度30mの世界の圧力体験と、潜水訓練棟を使った体験潜水。実際の潜水と同様に耳抜きを練習を行い、さっそく潜水シミュレータ内へ。深度表示はぐんぐんと深くなり、ついに30m。室内は蒸し風呂のように暑くなり、声はドナルドダックのように甲高くなる。徐々に減圧始めると室内に白い霧が生じる。シミュレータ内から出てきた生徒達は「4気圧でウチワをあおぐと空気が重かったよ」とみんな興奮気味だ。体験潜水ではシュノーケルやボンベの扱いを習い、スクーバ潜水にチャレンジした。2日目の夜はセンター内でバーベキ

ューパーティーも開かれ、講義を行った研究者達も顔を出した。和気あいあいとした雰囲気の中、友達はもちろん研究者とも直に話をするいい機会となった。最終日は深海巡航探査機「うらしま」を見学。燃料電池を搭載した最先端の自律型無人探査機の開発やその科学的意義の講義を聞いたあとだけに、印象も強かったようだ。その後、エル・ニーニョ現象などの地球環境変動と海洋の関わりについての解説や現在建造中の地球深部探査船「ちきゅう」による深海地球ドリリング計画などの講義を受けた。地球環境や地球深部までつながる話に、「海」からはじまった生徒達の好奇心は、大きくスケールアップされたようだ。

講義のあとのアンケートでは「3日間では短すぎる!」「講義は難しいかと思ったら面白い話ばかりだった」といった回答が目立ち、「私も深海掘削計画に参加したい!」という人も。たった3日間のスクールだったが、海洋科学技術に対する興味を育てる有意義なイベントとなった。

●研究者の肉声と、 実物の力に圧倒

マリンサイエンス・スクール(教諭対象)
8月6~8日

高等学校・高等専門学校および中学校教諭を対象にしたプログラムには化学や地学などの先生を中心に18人が参

加した。「授業の参考にしたい」「個人的に海に関心がある」など参加動機はさまざまだが、やはりセンターでしか経験できないプログラムに関心を集めていたようだ。

3日間のプログラムは「深海生物」「深海調査」「水中環境」「海と人間の関わり」「21世紀の地球」の5つのテーマ。初日と2日目のプログラムは実習が中心で、深海性巻貝の解剖やROVの体験操作、圧力体験や潜水体験を行った。「海洋の話は授業でも取り上げる機会が少ない。今回の体験で少し面白い話ができそうです」「ボイルの法則を実体験することができて感動した」と先生ならではの感想も多く、デジタルカメラ

を手に熱心に記録をとっていた。講義後も質問をする参加者が絶えず、宿舎では遅くまで教育談義が続いたようだ。

水中探査機として世界で初めて燃料電池を動力源とした「うらしま」は海域試験直前で、支援母船「よこすか」に搭載された姿を間近に見学することができた。

そのほか、話題の海洋深層水の講義では、実際に静岡県焼津沖、水深700mから採取した深層水のサンプルをセンター前の海水サンプルと比較。円筒状のガラス水槽を覗けばその透明度は歴然で、思わず驚きの声があがった。「地球を探る」の講義ではプレートテクトニクスや沈み込み帯、海底地形の調査など

についての話を聞き、電子光学機器などが並ぶ研究室へ。マンツル層に含まれるというかんらん岩の薄片試料を顕微鏡で観察。続く「深海地球ドリリング計画」の講義では、地球深部調査の最先端に触れた。現在建造中の「ちきゅう」の模型には「そんなに長いパイプでどうやって掘るのか?」と、大きな関心が集まっていた。

「ふだんあまり聞くことができない、深海や海底の話も聞けてよかった」「総合学習や進路指導の参考になった」といった感想のほかに「うちの生徒にも受けさせたい」という声も聞かれた。たくさん資料を手に、授業の「ネタ」もたっぷり持ち帰っていただけたようだ。

JAMSTEC

Report

海洋科学技術センター主催
第3回深海バイオベンチャーフォーラム
平成15年7月18日

第3回深海バイオベンチャーフォーラム 極限環境生物に注がれる熱いまなざし

競争の激しいバイオ業界の中で、深海や地殻内の極限領域が注目されている。陸上で有用な酵素を生産する微生物を見つけようと思っても、既に開拓し尽くされた感がある。実際、10年探索しても数件しか見つからない。しかし、深海では、新しい微生物がたくさん見つかった。そのような研究成果を産業界へ役立てるために設立された深海バイオベンチャーセンター主催の第3回深海バイオベンチャーフォーラムの様相を伝える。

極限微生物への 幅広い層からの期待

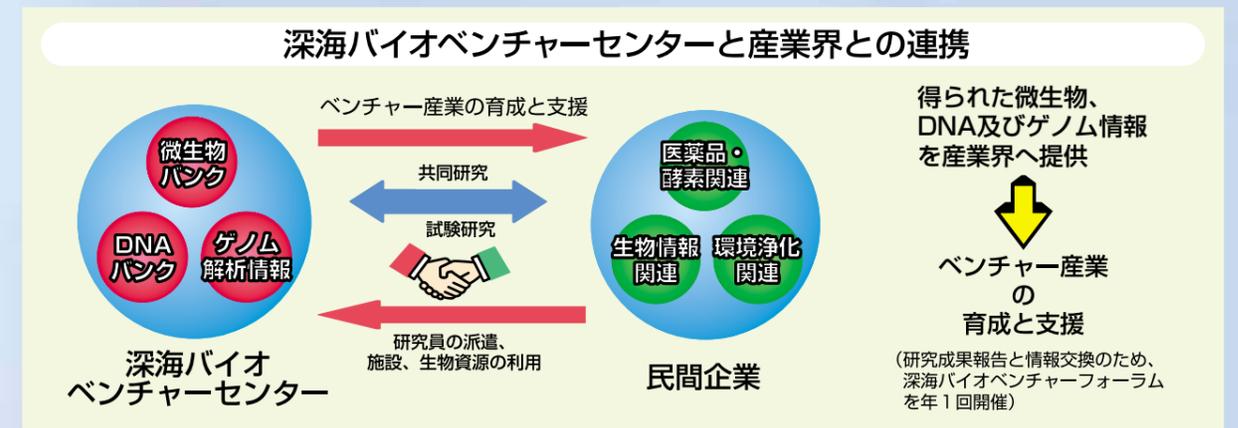
7月18日に東京都港区の笹川記念会館鳳凰の間で、深海バイオベンチャーフォーラムが開かれた。このフォーラムは、2001年に設置された深海バイオベンチャーセンターの活動の一環として毎年開かれているもので、今年で3回目を数える。

深海や地殻内といった過酷な極限領域に棲息する生物は、地上のものとは

異なる特徴を持っており、新たな資源として注目されている。そのような生物の研究を進めている海洋科学技術センター極限環境生物フロンティア研究システムの研究成果を産業界へ渡す橋渡しの役割を担っているのが深海バイオベンチャーセンターである。

過去2回のフォーラムは、海洋科学技術センター横須賀本部で行なわれ、研究施設や船の見学なども併せて実施されていたが、より多くの人々が来やすいよう

にと、今回は初めて東京で開催された。実際、交通の便がいいことも手伝って、フォーラムには約150名の人でにぎわった。そのうち、企業関係者は53社から85名が参加した。数の上では、前回参加した、37社62名を上回っており、ターゲットとする企業関係者が多く参加しているのがわかる。また、今回は、化学・バイオ関連の企業が突出していたのに対し、今回は、化学・バイオ関連以外にも、機械、ベンチャー仲介業、食



品・飲料、コンピュータ、通信と様々な企業が来ていた。東京開催の効果が数としてしっかりと現れた。加えて、開催直前に新聞、テレビなどのメディアでフォーラム開催のニュースがたくさん取り上げられたことも、来場者増加を後押しした。来場者のうち約20%の人が、フォーラムを知ったきっかけを海洋科学技術センターのホームページと答えていることから、メディアから流れた情報に接した人たちが、ホームページにアクセスし、会場につながったと関係者はみている。

盛りだくさんの情報で 好評を博す

フォーラムの中でとくに好評だったのが、稲垣史生研究員の「海底地殻内に地圏と生命圏との接点を探る」と出口茂サプリーダーの「深海熱水孔の物理化学」の2つの講演だ。稲垣研究員の講演は、最近の海底掘削の研究成果から、地上では考えられないような特性を持った新種の微生物が存在する可能性があり、これから探索していくというものであった。

また、出口サプリーダーは、海底熱水噴出孔周辺での存在が期待されるようになった超臨界水について話をした。水は、347℃、218気圧以上の温度、圧力をかけられると超臨界状態となり、油と自由に混ざったり、無機塩が沈殿するというように、普通に知られている水とはまったく違う状態となる。超臨界

水は、産業分野では、廃水処理やPCB、ダイオキシンといった難分解性物質の処理に利用されているが、自然界ではその存在は確認されていない。しかし、最近の深海調査の進展により、熱水噴出孔のような高温、高圧の環境下において、超臨界水が存在する可能性が出てきた。しかも、そのような高温、高圧環境からも微生物が分離されている。このような環境で生きる微生物を理解する上でも、周囲を取り巻く超臨界水の物理化学的な理解は不可欠である。この講演では、超臨界水の特徴はもちろん、高温・高圧水研究のための実験装置やプロジェクトの方向性などが語られた。

これらの2つの話は、どちらかといえれば基礎的な話で、ビジネスに直接結びつく訳ではないが、普段あまり聞くことのできない分野の話であるため、参加者の興味を引いた。実際に、新しい話や情報が盛りだくさんだった、知見が広まったという感想を持った参加者が多かったという。

また、深海バイオベンチャーセンターが取り組んでいる研究領域や成果については、高見英人グループリーダーの「ゲノム科学が変える生物学の応用とその展開」や秦田勇二研究員の「深海に有用微生物を求めて」がそれぞれ発表された。高見グループリーダーは、ゲノム解析を軸に微生物研究の今について話をした。特に、ゲノム解析研究グループで決定した微生物3種について、ゲノム解析から何がわかり、今後どのような

方針で研究を進めていくのかが語られた。秦田研究員の発表では、深海から発見された有用微生物の例として、寒天分解酵素を産出し、ガンや活性酸素を抑制する薬理作用が知られるオリゴ糖生産への応用が期待される微生物や、高い糖転移活性を持つ α -グルコシターゼ生産菌、トレハロース生成酵素を生産するものなどが紹介された。特別講演では、長年、好熱菌の研究に取り組んで来られた東京薬科大学の大島泰郎教授が、人間では考えられないような過酷な環境に生きる微生物の研究は、生命の限界、進化の過程を明らかにし、生命とは何かという問いに答える近道であると共に、これらの微生物研究から独創的なテクノロジーが生まれているという、基礎から応用にまでまたがるお話をされた。

深海バイオベンチャーフォーラムは、様々な企業が深海バイオベンチャーセンターのことを知り、有効に活用してもらうためのきっかけ作りの場である。今回のフォーラム終了後も、数社から新たに共同研究の引き合いが来ており、その役割は達成している。深海バイオベンチャーセンターでは、現在、食品、医薬品企業など10社との共同研究を進めており、これまで国内特許もフロンティアにおいて10件登録した。設立3年目で、社会からの認知度も高まり、弾みがついてきた。ベンチャーセンター発の製品が世に出回る日もそう遠くはないだろう。

Face

Staffの横顔

さいとう ちづる
齊藤 千鶴 さん
 海洋科学技術センター
 研究業務部計画調整課 課長代理



研究者のニーズに応え 人・もの・時間を細かに調整 船上研究を陸からサポート

「みらい」の南半球周航も無事スタート 線表の上から研究を見守る

2003年8月3日、オーストラリア・ブリスベンより海洋地球研究船「みらい」が启航した。前々号でも取り上げた海洋科学技術センター30周年記念事業のひとつ、南半球周航観測研究（BEAGLE2003）のスタートだ。これより約7ヶ月をかけて南半球を周航するこのプロジェクトは、航海日数、参加人員、採水分析数など、いずれもこれまでにない大規模な観測となる。その陰には、船の運航スタッフ、調査機器を操りデータを取得する観測技術員、行く先々での寄港や宿泊などの手配業務など多くの人関わっている。そうした人材や機器の運用管理、航海スケジュール調整などを行っているのが研究業務部だ。研究者としての視点を持ちながら、日々調整に駆け回る齊藤千鶴さんの仕事場を訪ねた。

モックアップの現場に立ち会う

もともと、地球や宇宙が好きだったという齊藤さんの専門は海洋化学。水産学の博士号も持つ。大学を卒業後、国立環境研究所で沈降粒子の化学成分分析などの研究を行っていた。その後、センターに入所し海洋観測研究部に配属。「かいよう」に乗って南の海の観測にも出た。

「大学時代は北の海の観測ばかりでしたから、赤道付近のきれいに澄んだ海の色が印象に残っていますね」

海水を分析し研究の日々を送る齊藤さんが現在の仕事に関わる契機となったのは「みらい」だった。世界有数の海洋地球研究船として船内に13もの研究室を持ち、充実した先端研究機器も自慢の船だ。当時、まだ建造中だった「みらい」に搭載する機器類の調整業務が齊藤さんに回ってきたのだ。

「観測などの経験を生かして、ということでしょうね。最初に驚いたのはモックアップ。実物大模型のことですが、それを使って機器の使い勝手や動線の調整をするんです。実験室に見立てたスペースで、ベニヤ板で作った装置模型を抱えて右往左往してました(笑)。使いやすい船にするには、作る人と使う人の連携をきちんと取らないといけないんだなあ実感しましたね」

船上の実験室は汎用性が求められるため、基本的には各研究に特化した造りにはできない。また、揺れの多い船内では、通常なら実験台の中央に据える薬品棚も壁際の方がいい。こうして“船内の常識”と“実験室の常識”をすりあわせながら、使いやすいものに仕上げていくのだ。陸上での



調整が済むと、今度は試験航海が待っていた。通常、船の完成直後には慣熟運転が行われるが、その前に搭載機器を実際に使ってみて問題はないかテストするための航海だ。こうした調整は搭載機器の多い「みらい」ならではのもの。現在も、航海後にドックで搭載機器のオーバーホールを済ませた後には調整航海を行い、実際に海上で観測実務を行って確認する。精密な観測研究には欠かせない業務だ。

研究テーマに合わせ人も手配

研究業務部は「計画調整課」「施設・設備課」「海務課」「船舶海洋技術課」と「しんかい6500」の「運航チーム」を擁し、保有船舶・機器や大型共用実験研究施設などの運用・保守整備、観測調査・海洋研究の人材やスケジュール調整などを通して研究を支援している。

齊藤さんはその後「むつ事務所」勤務を経て、2000年10月に正式に研究業務部計画調整課に配属された。通常業務の中で特に大変なのは、船の運航に関する調整だ。フロンティア研究システムなどの設置に伴い、センターの研究テーマは年々増加している。当然、船舶での研究希望も増えているため、限られた航海中での調整はひと仕事だ。

「私たちは運航線表とっていますが、それぞれの船の年間運航計画を作成するんです。外部との共同研究などに合わせて大枠の予定は出ていますので、調整課では各研究者や機材、外部スタッフなどの細かい調整を行います。これが完成しないと、観測技術員の配置ができませんし、次年度予算も決まりません。冬の海は荒れるので研究者も航海を避けたがる。その時期に南方に行けばいいんですが、そう都合良く組めるものでもありませんから、調整も苦労します」

線表を作成したら、船上でライトンブイや採水器などの操作やデータの一次処理などを行う観測技術員の手配に取りかかる。研究者の手助けを行うプロの技術者たちを航海の研究テーマに沿って配置しなくてはならない。研究者の要望を前年度中

に聞き出して必要な人材や機器を相談しながら、予算も踏まえてとりまとめていく。

調整も大がかりだった 「BEAGLE2003」

「みらい」の南半球周航「BEAGLE 2003」のプロジェクトでは、研究部と共同でその事務局も担当した。

「特に、今回の周航では、7ヶ月ほどの限られた期間に約500点で海面から海底までの水温・塩分・溶存酸素・栄養塩類などを高精度に測定・分析するという、これまでに例を見ない大がかりな観測が行われます。つまり、航海中ずーっと1日に4~6回くらい水を採るんですよ。そのための観測技術員の確保も大変でした」

そのほかに、さまざまな打ち合わせや事務局からの提案資料の作成、理事をはじめとした多忙な関係者のスケジュールを縫ってのミーティングの開催なども事務局の仕事。渡航先での移動や宿泊などの手配、渡航先の港湾調査や立ち寄り国とのやりとりなどは海務課や国際課が中心に行うが、各課の情報のやりとりを整理し、問題点を洗い出し、必要に応じて書類の手配や打ち合わせの段取りなどをまとめていく。大勢が関わるプロジェクトだけに、情報の共有化やすりあわせが大変だったという。社会情勢に不安のある地域などについては、研究者の移動ルートや宿泊先についても気を遣った。

8月3日に無事「みらい」もオーストラリアを启航し、少しホッとしたところだが、今年もそろそろ年度末に向けて、各船の来年度の線表作成、予算などの調整が始まる。

「研究の現場に戻りたい気持ちはまだあります。根回しや心配りが苦手で研究者の仕事を選んだ私にとって、今までとは全く違った視点から研究や船を見ることができて、ここでの仕事もいい経験になりました。これを生かしてより自分の得意な分野、観測などの業務に関われればいいなと思っています」

本当は船から見る海が好きという齊藤さんだが、線表を引きながら今日も研究船のワッチに余念がない。

～世界最高性能を実現した
スーパーマシン～

「地球シミュレータの使命」

(2003年1月18日 海洋科学技術センター横浜研究所
地球情報館公開セミナーより)

大塚 清
1947年生まれ。電気通信大学大学院情報工学専攻修士課程修了。1973年に海洋科学技術センターへ入所し深海の調査研究に従事。1991年に数理解析室長、その後フロンティア研究推進室へ。1999年より地球シミュレータの研究開発に携わり、地球シミュレータセンター研究交流・教育グループリーダーに。現在、深海地球ドリリング計画推進室・調査役。

2002年2月末、海洋科学技術センター横浜研究所に完成した「地球シミュレータ」は、地球全体のメカニズムを再現する世界最速のスーパーコンピュータ。自然災害や気候変動の解明、さらに人類の持続的な発展への貢献が期待されています。理論、実験につぐ“第三の科学”とも言われるシミュレーション研究とはいったいどんなものなのでしょうか。

今日は、「地球シミュレータ」本体について簡単に説明して、なぜこうしたものを日本の総力を挙げて開発しなければならなかったか、という背景をご説明します。また、地球全体の長期的な変動、地球温暖化の話を中心に「地球シミュレータ」の重要性も話したいと思います。地球をシミュレーションするというのはどういうことなのか、少しでもみなさんにイメージが伝われば幸いです。

●“地球をシミュレーションする”とは？

“シミュレータ”とは「シミュレーションを行う装置」です。ではシミュレーションとは何か。辞書には「1.ある現象を模擬的に現出すること。2.コンピュータなどを使用して模擬的に実験を行うこと」とあります。「地球シミュレータ」はこの二番目に該当します。皆さんもご存じのシミュレーションゲームのほか、乗り物の実用訓練に使う操縦シミュレータのように、実際には再現できない現象や実験、製作の事前テストにシミュレーションは大変有効です。薬学・化学などの素材開発、極小物質の研究、原子力や核融合など様々な分野でシミュレーションは行われています。「地球シミュレータ」の場合は、地球環境変動の研究を主たる目的として開発されました。

地球のシミュレーションとは大気や海流の動きを再現すること。特に地球全体の気候の長期的な変化の再現です。地球

温暖化や異常気象の予測を行ったり、日本周辺の海流を忠実に再現できればタンカー事故で流出した油の流れを予測して対応もできますね。それから、地球の中の挙動も再現します。日本は地震が多いので地球内部の研究はとても重要です。それ以外に、地磁気生成メカニズムの解明、これは10万年周期で地磁気の南と北が逆転するといわれていますが、そうしたことも地球内部のマントル対流などを細かく研究することで明らかにできるのです。

再現するには、まず地球を水平・垂直方向に細かく区切ります。上空から地底までを細かく格子状に区切り、それぞれの交点に物理法則に従った熱や物質の移動量などを計算式で置き換えて与えます。そうして地球一周、ずーっと計算式を解い



Linpackによるテストプログラムで“性能世界一”を証明した際の表彰状。

ていくのです。次に時系列を加えます。一定の時間ごとに交点の現象を計算していけば、空気が流れる方向や速さ、熱の移動についても予測できます。風の向き、強さ、温度、海面の状態などのデータを取り込めば、いろいろなシミュレーションができるのです。当然、格子のサイズが小さくなればなるほど細かな現象を再現できますが、それには計算機にパワーが必要です。そこで世界一のパワーを誇る「地球シミュレータ」を開発したわけです。

●人類の持続的な発展を目指して

ここで、地球温暖化について少しお話をしましょう。『気候変動に関する政府間パネル』という国際機関が作成した報告書の中に、1980～2000年までの地上の平均気温の変化を示したグラフがあります。1961年から30年間の平均値をゼロとして、それより平均気温が高いか低いか、



シミュレーションを行うには、地球全体を細かな格子(メッシュ)で区切り、計算式を与えていく。

年ごとに比較したもので、確かに産業革命のあたりからじわじわと気温が上がっています。どうも気温上昇と人間活動は関連があるようです。20世紀の間に地球の平均気温は約0.6℃上昇し、今後、2100年にはさらに1990年の気温から4～5.8℃上昇すると書かれています。地球の周りは大気で覆われ、二酸化炭素などの温室効果ガスが含まれていますが、それ自体は悪者ではありません。大気の温室効果ガスが全くないとすると、地球の平均気温は-18℃にもなるといわれます。ただ、最近では温室効果ガスが増えすぎて、気温が上がっているのです。このまま地球温暖化対策を講じなければ2100年には空気中の二酸化炭素濃度は現在の2倍になり様々な災害を引き起こす可能性もあり、積極的に対策を行えばそれを防ぐこともできます。海水も地球のエネルギー輸送に大きく関わっています。北極で冷えた比重の重い海水は海底へ沈み大西洋を經由して太平洋を北上し、赤道付近の貿易風で南北に散らされた表面の海水を補うように再び上昇します。こうした海水の大循環もシミュレータで予測してみたいですね。

地球の内部、プレートテクトニクス運動についても、掘削船で海底を掘って研究を推進しようとしています。センターでは地球深部探査船「ちきゅう」も建造中です。

このように、地球シミュレータ計画の背景には、気候や地殻の変動、異常気象や大気汚染など地球規模で起こる様々な変動現象があり、そうした事象の理解と予測によって、人類の持続的な発展、自然災害からの人命保護などに役立てていくという目的があります。大規模シミュレーションによる研究は、理論、実験に次ぐ、

第三の科学ともいわれます。地球シミュレータ計画は、1997年に科学技術庁(現・文部科学省)によって始められました。基礎科学による現象の解明、観測研究によるデータ収集、そしてシミュレーション研究の三位一体により、効果的な地球環境変動予測研究の推進を目指しています。研究開発段階では、日本原子力研究所、宇宙開発事業団、海洋科学技術センターの三者が「地球シミュレータ研究開発センター」を設立、本体や基本ソフトの開発を進めてきました。現在は、「地球シミュレータ」の運用管理および応用ソフトウェアの研究開発の段階に入り、新しく「地球シミュレータセンター」を設立し海洋科学技術センターが運営しています。このような大規模シミュレータは世界にひとつしかありませんから、外部の方にも有効利用してもらえようとして公募制で研究テーマを募ったり、海外との共同研究にも使える体制をとっています。

●世界最速のコンピュータ

地球シミュレータシステムの中核となる計算機は、8個のCPUと16ギガバイトの共有メモリが1セットとなり、これを計算ノードと呼びます。「地球シミュレータ」はこの計算ノード640個で構成されています。ここで重要なのはベクトル計算機を使っていることです。パソコンなどはスカラ方式と違って、 $C(0)=A(0)+B(0)$ 、 $C(1)=A(1)+B(1)$ 、…と順番に計算をしていく方式が使われます。ベクトル方式は、それをいっぺんにこなす方法です。船に例えると、右岸から左岸に人を運ぶのに1人ずつ小舟に乗せて往復するのがスカラ方式、大型船におおぜい乗せていっ

きに運ぶのがベクトル方式なのです。この場合の船の速さはコンピュータではクロックと言ひ、パソコンでは2.0ギガもの高速の周波数を使ったものがありますが、「地球シミュレータ」のベクトル計算機は500メガ程度。つまり船の速度は遅いんですが、一度に運べる量が多いため、結果的に処理能力が速くなるのです。この特別な計算機によって、1秒間に40兆回の計算ができる非常に高性能な処理能力を実現したのです。

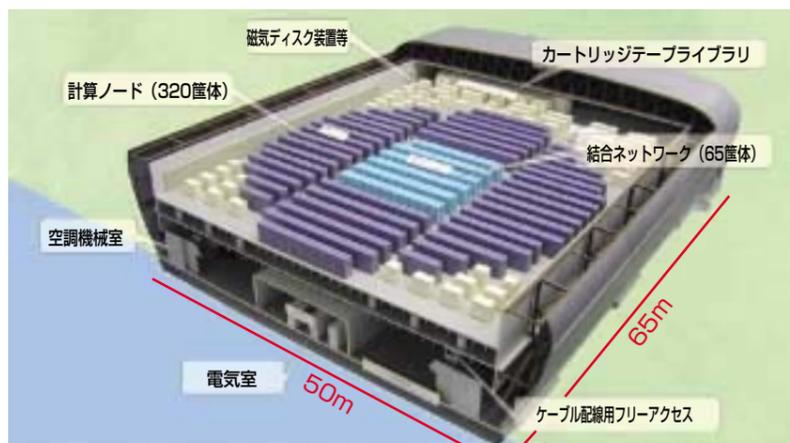
シミュレータの開発で特に苦労したのは、このCPUのワンチップ化です。わず



中央の黒い部分が2cm×2cmのCPU(プロセッサ)。これ1枚で8ギガフロップスの演算処理能力がある。



上のプロセッサボード8個と16ギガバイトの共有メモリで1台の計算ノードを構成。計算ノードキャビネットには2台の計算ノードが収納されている。



50m×65mの計算機室内に320筐体の計算ノードキャビネットと65筐体の結合ネットワークキャビネットが並べられている。

か2cm×2cmのチップの中に全ての機能を凝縮する、これに非常に時間がかかりました。ひと世代前のスーパーコンピュータだと32個のチップを使って同じ性能を実現していました。約23cm角ほどの大きさですが、シミュレータに必要なCPU数、5,120個を収納するのに、その大きさでは今の倍以上の広さが必要で物理的に無理です。あとでみなさんも見学すると思いますが、計算機室の内部はテニスコート約4面分。そこにキャビネットがずらりと並び、なかなか一枚の写真に収まらない(笑)。計算機室の床下にはネットワークをつなぐケーブルが納められています。本数にして8万3,000本、全長約2,400km、北海道から沖縄までの長さがあります。

計算機の性能を測るためにはLinpackという世界的に広く使用されているテストプログラムがあります。それを使って

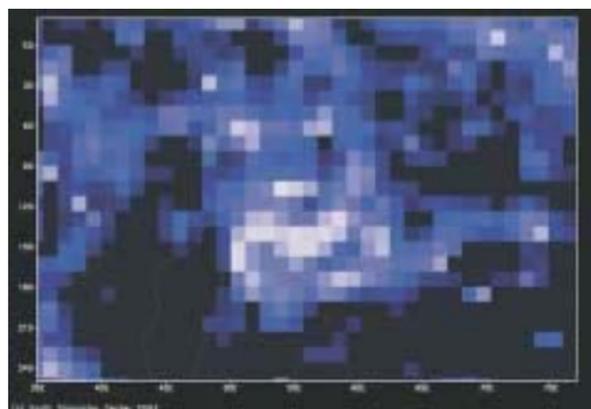
「地球シミュレータ」は世界最高の演算性能を持つことが承認されました。それまで世界最速だったコンピュータに比べ、5倍もの速さが出たのです。コンピュータは実効性能が重要で、ピーク性能(理論値)がいくら良くても、実際の計算でその性能が出なければ意味がない。「地球シミュレータ」はピーク性能が40テラフリップス(*注)のところ、実効性能で35.86テラフリップスまで出せました。米国の新聞の見出しに「コンピュートニク」と書かれ世界中を駆けめぐりました。宇宙開発大国アメリカを驚かせたロシアの人工衛星スプートニク事件の再来、という造語です。加えて、昨年11月にはスーパーコンピューティング2002という米国の国際会議で非常に荣誉ある「ゴードンベル賞」も受賞しました。

最後に「地球シミュレータ」で可視化

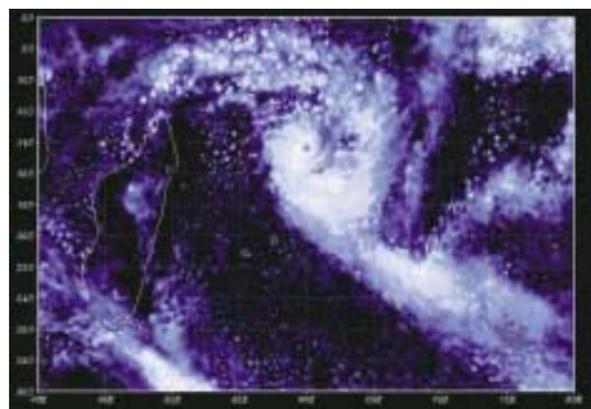
した全球モデルをご覧に入れます。メッシュ(格子)サイズ10kmで地球の降水量を色分けしています。北半球の夏の画像ですが、台風の日も再現されています。気象衛星データと同じような感覚で再現できます。全球モデルでこういうことができるのは世界で初めてです。現在はこの計算が本当に正しいかどうか、正確な観測データを入力し、実証、実験しています。実際に研究目的でシミュレータを使うには、あらかじめ50年分以上のプログラムを走らせておく必要があります。コップにコーヒーを入れ表面をそっと吹きながらミルクを垂らすと模様ができますね。やがてコーヒーは底の方まで動きミルクと混ざってくる。同様に、「地球シミュレータ」も1、2年のデータだけでは表面しか動かない。50年くらいのデータで準備運動をして海底の方まで攪拌し、いろいろな現象がシミュレーションの中に入るようにして、ようやく先ほどのようなシミュレーションが可能となるのです。

今後は、さらに大気モデルと海洋モデルのカップリング作業があります。海からの熱量は大気に上がり、空から降った雨は海に注ぎますね。互いのデータのカップリングができれば、もっと精度の高いシミュレーションをお見せできると思います。是非とも期待してお待ちいただきたいと思ひます。

*テラフリップス=テラは10の12乗。キロ、メガ、ギガに次ぐ単位。1兆倍。テラフリップスは計算速度を表し、1テラフリップスは1秒間に1兆回の計算ができる性能を表す。



従来のモデル 150~200kmのメッシュで降水量をシミュレーションした結果。



地球シミュレータモデル 10kmメッシュで全球をシミュレーションしている。台風の日もはっきりと見える。



Blue Earth BE Room

「海洋科学技術センターの世界」をテーマに、ビデオ上映や解説が行われた。

夏休みを利用して、海洋科学技術センター横浜研究所では、7月30日、8月6日、20日、27日の4回にわたって「夏休み子供教室」が実施された。これは、多くの人々にセンターの活動や海洋科学・地球科学に関心を抱いてもらうことを目的に開催されたもので、今回は小学生高学年の子どもたち(各回30名)とそのご家族を

対象に行われた。

「海洋科学技術センターの世界」をテーマにしたビデオ上映では、有人潜水調査船「しんかい6500」、地球深部探査船「ちきゅう」、世界最速のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」、エル・ニーニョなどの観測を行っている熱帯域海洋気象観測係留ブイシステム「トライトンブイ」

Book

『海の生き物 100不思議』東京大学海洋研究所/編 東京書籍/刊 1,500円(本体価格)

「クラゲが大発生する理由」「ウナギの産卵場所の謎」「クジラやイルカが座礁するのはなぜ?」といった素朴な質問が全部で100問、ひと見開きにひとつのコラムにまとめられている。実はこの本、「海洋生命系のダイナミクス: Dynamics of the Ocean Biosystem (DOBIS)」という海洋学の研究者による大型研究プロジェクトの活動成果を踏まえ、一般の人

にも親しみやすい形でまとめてみようとして出されたもの。海洋生命系の先端を担う研究者たちが、素朴な疑問に最新の知識で答えてくれる。深海生物のコラムではJAMSTECの研究者も執筆している。海流や海水成分、生命の進化、地球温暖化や人間の営みなどとのつながりも感じさせる幅広い内容は、「海の生き物」から海洋生命系の複雑さへと興味をかきたてて



家族で地球深部探査船「ちきゅう」の工作を楽しむ。

を、それぞれ取り上げて分かりやすく解説。さらに、参加した子どもたちは、センターオリジナルの工作キットでミニサイズの「しんかい6500」や「ちきゅう」をつくったり、科学実験やインターネットなどにチャレンジして、楽しいひとときを過ごした。



『Blue Earth』定期購読のご案内



<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/regular/index.html>

発行日にお手元に届く便利な年間定期購読をご利用ください。定期購読を申し込まれる方は、以下の内容をハガキかEメールにてお送りください。購読するためには、定価+送料+振込手数料がかかります。

郵便番号・住所・氏名・機関名・所属(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

・年度一括: 4月から翌年3月までの1年分(5・6月号~翌年3・4月号)を一括でお振り込みいただけます。
・1誌毎: 毎号送付する際に請求書を同封いたします。その都度振込手数料がかかります。

送り先

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
海洋科学技術センター 横浜研究所 情報業務課 情報業務課
「Blue Earth」編集部

送信先

info@jamstec.go.jp

お問い合わせ

海洋科学技術センター 横浜研究所 情報業務課 情報業務課
TEL: 045-778-5350
FAX: 045-778-5424
E-mail: info@jamstec.go.jp



【深海のパイロット
～六五〇〇mの海底に何を見たか～】
藤崎慎吾 田代省三 藤岡換太郎 著（光文社新書）

海洋科学技術センターが運航する潜水調査船は、これまで数多くの科学的成果をあげ、海洋科学・地球科学の進展に大きく貢献してきた。だが、研究成果は知られていても、「しんかい6500」などの潜水調査船が、実際にどのような活動を行っているのかについては、これまであまり語られることはなかった。この本は、潜水調査船のパイロットたちの体験を取材し、深海底で繰り広げられる様々なドラマを紹介するとともに、深海研究に大きな役割を果たしてきた潜水調査船の世界を分かりやすく解説している。今回は、この『深海のパイロット』を、抽選で3名様

編集
後記

10年ぶりの冷夏に終わったこの夏、火星の大接近が話題になりました。6万年ぶりの大接近とこのことで地球儀ならぬ火星儀が売れたこともニュースとなりました。最も近づいた8月27日はほとんどの地域では悪天候でしたが、9月の中旬にはほぼ満月となった月とのランデブーがはっきりと見え、新聞などを賑わしました。ちょっとした望遠鏡を用いれば、白い極冠もよく見えるはず。この極冠はドライアイ

スと水の氷からできているとされており、火星の四季や気候によりその大きさが変化します。われわれの住む地球でも南極や北極は四季や気候の変化と深い関わりをもっており、負の熱源として地球全体の熱の循環に大きく影響を及ぼしています。わが国は北半球に位置し、海に面しているため特に北極の状況の影響を受けやすい条件にあります。

北極の探検は16世紀ころから本格的な挑戦が始まり、漸く1909年にアメリカのピアリーが北極点に到達しました。一方南極は西欧社会から地理的に遠いこともあり、やや遅れてスタートしました。1911年12月ノルウェーとイギリスが競って南極点に向かいアムンゼン隊が最初に到達、それに遅れたスコット隊の悲劇や、同じ時期に日本からも白瀬が挑戦したことで有名です。その後1957～58年の国際地球観測年に

応募方法
官製ハガキに、1.プレゼント名、2.氏名、3.住所、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、以上を明記の上、下記までご応募ください。応募締め切りは、10月31日(金)当日消印有効です。

応募先
〒236-0001
神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
海洋科学技術センター 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

第65号 当選者発表

第65号 「地球シミュレータセンター・オリジナル・メモパッド」当選者

青森県上北郡 石塚善太 様
群馬県前橋市 杉山市郎 様
ほか3名様の方が当選いたしました。

あわせて各国が近代的な観測を開始し、わが国も昭和基地を建設し観測に加わりました。翌年の航海では厚い氷に阻まれ越冬隊の上陸が不可能となり、基地に残されたカラフト犬のタロとジロが生き延びたことで人々の話題となり、いまでは放送局まで設置されるなど南極は大変親しまれる存在となりました。

しかしながら、南極と異なり大陸が存在しない北極は、定期的調査観測が困難であるにもかかわらず、地球全体の長期的な気候変動などの研究にはある意味で南極以上に重要といえましょう。現在は本文中で紹介するように多少の危険を冒しながら観測を行っていますが、やがて燃料電池を搭載した無人の深海巡航探査機「うらしま」の実用機が人間に代わって調査に従事し、貴重なデータを収集してくれる日がくることを期待しております。

賛助会（寄付）会員名簿

海洋科学技術センター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15年9月現在

- | | | |
|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| 株式会社 アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド | 昭和ペトロリウム株式会社 | 株式会社日本海洋科学 |
| あいおい損害保険株式会社 | 株式会社白石 | 日本海洋掘削株式会社 |
| アイワ印刷株式会社 | 社団法人信託協会 | 日本海洋計画株式会社 |
| 株式会社アクト | 新日本海事株式会社 | 日本海洋事業株式会社 |
| 株式会社アサツディ・ケイ | 新日本製鐵株式会社 | 社団法人日本ガス協会 |
| 株式会社浅沼組 | 新菱冷熱工業株式会社 | 日本興亜損害保険株式会社 |
| アジア海洋株式会社 | 須賀工業株式会社 | 日本サルヴェージ株式会社 |
| 株式会社アルファ水工コンサルタンツ | 鈴鹿建設株式会社 | 社団法人日本産業機械工業会 |
| 石川島播磨重工業株式会社 | スプリングエイトサービス株式会社 | 日本酸素株式会社 |
| 泉産業株式会社 | 住友重機械工業株式会社 | 日本水産株式会社 |
| 株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所 | 住友電気工業株式会社 | 日本SG株式会社 |
| 栄光電設株式会社 | 清進電設株式会社 | 日本電気株式会社 |
| 株式会社エス・イー・エイ | 西武造園株式会社 | 日本電池株式会社 |
| 株式会社NTTデータ | セナー株式会社 | 日本飛行機株式会社 |
| 株式会社エヌ・ティ・ティファシリティーズ | セントラル・コンピュータ・サービス株式会社 | 日本ヒューレットパッカード株式会社 |
| 株式会社MTS雪氷研究所 | 株式会社総合企画アンド建築設計 | 日本無線株式会社 |
| 株式会社OCC | 株式会社損害保険ジャパン | 日本郵船株式会社 |
| オートマックス株式会社 | 第一設備工業株式会社 | 株式会社間組 |
| 沖電気工業株式会社 | 株式会社大気社 | 株式会社ハナサン |
| 株式会社化学分析コンサルタン | 大成建設株式会社 | 濱中製鎖工業株式会社 |
| 鹿島建設株式会社 | 大日本土木株式会社 | 東日本タグポート株式会社 |
| カナダ株式会社 | ダイハツディーゼル株式会社 | 氷川商事株式会社 |
| カヤバ工業株式会社 | 有限会社田浦中央食品 | 株式会社日立製作所 |
| 川崎設備工業株式会社 | 高砂熱学工業株式会社 | 日立電線株式会社 |
| 株式会社川崎造船 | 株式会社竹中工務店 | 日立プラント建設株式会社 |
| 川本工業株式会社 | 株式会社竹中土木 | 深田サルベージ建設株式会社 |
| 株式会社関西総合環境センター | 株式会社地球科学総合研究所 | 株式会社フジクラ |
| 株式会社関電工 | 中国塗料株式会社 | 藤沢薬品工業株式会社 |
| 株式会社キュービック・アイ | 株式会社鶴見精機 | 富士ゼロックス株式会社 |
| 共立管財株式会社 | 株式会社テザック | 株式会社フジタ |
| 株式会社きんでん | 寺崎電気産業株式会社 | 富士通株式会社 |
| 株式会社熊谷組 | 電気事業連合会 | 富士電機株式会社 |
| 株式会社グローバル・オーシャン・ディベロップメント | 東亜建設工業株式会社 | 古河総合設備株式会社 |
| ケイジーケイ株式会社 | 東海交通株式会社 | 古河電気工業株式会社 |
| 京浜急行電鉄株式会社 | 洞海マリンシステムズ株式会社 | 古野電気株式会社 |
| ケー・エンジニアリング株式会社 | 東京海上火災保険株式会社 | 松本徽章株式会社 |
| KDDI株式会社 | 東京製網織維ロープ株式会社 | 株式会社マリン・ワーク・ジャパン |
| 神戸ペイント株式会社 | 東北ニュークリア株式会社 | 株式会社丸川建築設計事務所 |
| 国際気象海洋株式会社 | 東洋建設株式会社 | 株式会社マルタン |
| 国際石油開発株式会社 | 東洋通信機株式会社 | 株式会社みずほ銀行 |
| 国際ビルサービス株式会社 | 株式会社東陽テクニカ | 三井住友海上火災保険株式会社 |
| 国光施設工業株式会社 | 東洋熱工業株式会社 | 株式会社三井住友銀行 |
| 小倉興産株式会社 | 戸田建設株式会社 | 三井造船株式会社 |
| 五洋建設株式会社 | 飛鳥建設株式会社 | 三菱重工業株式会社 |
| 三機工業株式会社 | 有限会社長澤工務店 | 株式会社三菱総合研究所 |
| 三建設工業株式会社 | 株式会社中村鉄工所 | 株式会社明電舎 |
| 株式会社三晃空調 | 奈良建設株式会社 | 株式会社森京介建築事務所 |
| 三洋テクノマリン株式会社 | 西芝電機株式会社 | 有限会社やすだ |
| 財団法人塩事業センター | 西松建設株式会社 | 山岸建設株式会社 |
| ジオテクノス株式会社 | 日動火災海上保険株式会社 | 株式会社ユアサコーポレーション |
| 有限会社システム技研 | 日南石油株式会社 | 株式会社ユアテック |
| シナネン株式会社 | 日油技研工業株式会社 | 郵船ナブテック株式会社 |
| シバタ工業株式会社 | 日鉱金属株式会社 | ユニバーサル造船株式会社 |
| 清水建設株式会社 | 株式会社日産セキュリティ・サービス | 株式会社リプロ |
| 株式会社商船三井 | 日新火災海上保険株式会社 | 株式会社緑星社 |
| 株式会社湘南 | ニッセイ・エンジニアリング株式会社 | 若築建設株式会社 |
| 昭和高分子株式会社 | ニッセイ同和損害保険株式会社 | |

Blue Earth 第15巻第5号(通巻第67号)2003年9月 発行
 編集人 海洋科学技術センター 横浜研究所情報業務部 情報業務課 榎木暢雄
 発行人 海洋科学技術センター 横浜研究所情報業務部 加藤美志彦
 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)
 国際海洋環境情報センター〒905-2172 沖縄県名護市豊原224番地3 TEL.0980-50-0111(代表)
 Washington Office1132 21st Street, NW, Suite 400, Washington, DC 20036 USA TEL.+1-202-872-0000(代表) FAX.+1-202-872-8300
 Seattle Office810 Third Avenue, Suite 632, Seattle, WA 98104, USA TEL.+1-206-957-0543(代表) FAX.+1-206-957-0546
 東京連絡所〒105-0003 東京都港区西新橋1-2-9 日比谷セントラルビル10階 TEL.03-5157-3900(代表)
 ホームページ http://www.jamstec.go.jp/ Eメールアドレス info@jamstec.go.jp
 制作 株式会社 ミュール

※本書掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます

【表紙解説】

北極海での観測 Observation in the Arctic Ocean



海洋科学技術センターの海洋観測研究部および地球観測フロンティア研究システム(国際北極圏研究センター)では、地球規模の気候変動に対する北極域の役割の解明をめざして、北極海域での様々な観測研究を推進している。こうした北極海での観測に力を発揮しているのが海洋地球研究船「みらい」だ。夏季の北極海域での航海が可能な耐氷構造を備える「みらい」は、これまで3回の北極観測航海を行い、多くの研究成果をあげてきた。表紙は、2000、2002年の北極観測航海で撮影された写真で構成。上の2点は、2002年夏に実施された日本とカナダの共同観測研究「JWACS2002」の北極観測航海の写真。

海洋科学技術センター
Japan Marine Science and Technology Center

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>

定価300円(税込)