

海と地球の情報誌

Blue Earth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2007 7-8

ISSN 1346-0811
2007年8月発行
隔月年6回発行
第19巻 第4号
(通巻90号)

気候変動の現場をゆく



海中ロボット「うらしま」
深海底を探る

中国からやって来たアオウミガメ
“いかり”を下ろした奇妙な生物



1 Close Up

海底に“いかり”を下ろし、
ゆらゆら揺れる奇妙な生物

2 特集

気候変動の現場をゆく

20 Aquarium Gallery

小笠原海洋センター
中国からやって来たアオウミガメ

22 私が海を目指す理由

自分の心の声を聞く

26 Marine Science Seminar

海中ロボット「うらしま」の最新技術で
深海底を探る

30 BE News

「ちきゅう」海外試験掘削を終了 いよいよ研究掘削へ！
エチゼンクラゲから有用物質を発見
北極海の歴史が堆積物から明らかに
シーラカンスを解剖 25個の卵を確認
グリーンランドは森林に覆われていた
就航10周年「みらい」を一般公開

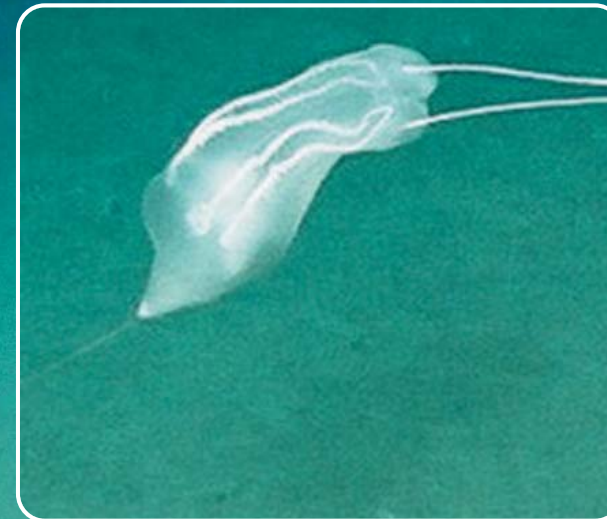
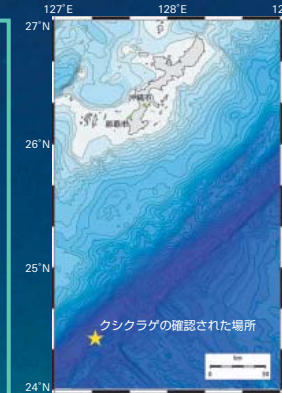
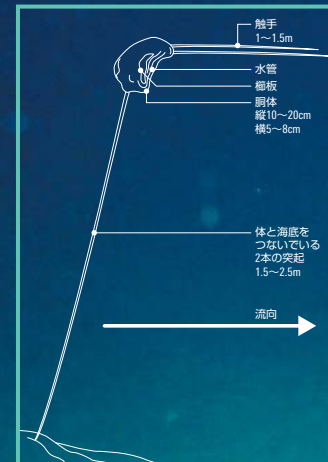
32 BE Room

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

さらば、夏の北極海——蓮葉氷と「みらい」

海底に“いかり”を下ろし、ゆらゆら揺れる奇妙な生物



クシクラゲの特徴である8本ある放射状の櫛板のうち、4本が確認できる。2本の長い触手はフウセンクラゲの特徴である。「クラゲ」の名前が付いているが、いわゆるクラゲ類（刺胞動物）とは別のグループ

南西諸島海溝の水深7,212m付近で、奇妙な生物の姿が確認された。半透明の胴体から糸のような細い2本の突起物が、海底に向かって伸びている。突起物の長さは1.5~2.5m。この生物は、船がいかりを下ろして停泊するように、2本の突起物によって海底と自分の体をつなぎ留めているのだ。まるで大空へ放ったこのように、糸の先で半透明の胴体がゆらゆらと揺れていた。さらに、胴体の上部からは、1~1.5mほどの触手が2本飛び出している。胴体の大きさは、縦10~20cm、横5~8cmで、細長い姿。その胴体のなかには「水管」と呼ばれる栄養を循環させるための構造が白く映し出されていた。

画像を詳細に観察した結果、この生物は体の表面を筋状に取り巻く「櫛板」と呼ばれる組織を持つことから、クシクラゲの一種と同定された。さらに長い触手を持つことや、ほかの特徴から、クシクラゲのなかでもフウセンクラゲの仲間であることが分かった。しかし、これまでに海底へと伸びる突起物を持つフウセンクラゲは発見されていない。新種のクシクラゲの可能性が高い。

また、2本の側系のない触手で大型のプランクトンを捕らえて食べるはずだ。7,212mの海底に固定された状態で、十分に餌を取り生き続けられるとすれば、超深海にはこれまで考えられている以上に多くの食べ物が存在するのかもしれない。深海の常識を覆す証拠の一つとなる可能性もある。

この画像は、2002年に無人探査機「かいこう」の訓練潜航で偶然、撮影されたものだ。採集用の準備をしていなかったため、残念ながらクシクラゲの標本を捕らえることはできなかった。新種と同定するためには、画像からはよく分からない内部の水管構造などをもっと詳しく見る必要がある。発見者の一人であるドゥーグル・リンズィー研究員は、7,000m以深で発見されたこの奇妙な生物を生きたまま捕獲して、研究できる日を心待ちにしている。

(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)

最先端の観測機器を搭載し、世界中のあらゆる海域で、長期間にわたって調査研究を行うことができる世界最大級の研究船。揺れを抑えるハイブリッド式減揺装置を装備し、甲板も海面から高くつくられているため、ほかの船では難しい、冬の北太平洋など風や波が強い海域でも航行できる。また、夏の北極海などの氷海域も航行できるように、船体が耐氷構造になっている。「みらい」の前身は、日本初の原子力船「むつ」。原子炉を撤去し、1997年に「みらい」として生まれ変わった。今年で就航10周年を迎える

海洋地球研究船「みらい」

全長	128m
幅	19m
深さ(第2甲板)	10.5m
喫水	6.9m
国際総トン数	8,687トン
航海速度	約16ノット
航海距離	約12,000マイル
定員	80人(乗組員34人/研究者46人)
主推進機関	ディーゼル機関 1,838kW×4基 推進電動機 700kW×2基
主推進方式	可変ピッチプロペラ×2軸



北極海にて



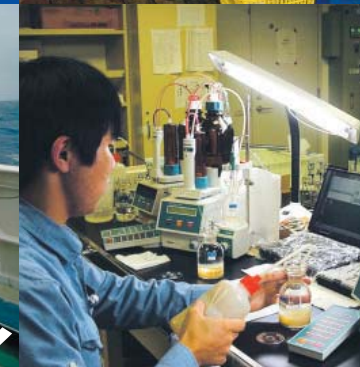
トライトンブイの回収。ワイヤとナイロンロープを用いておもりで海底に係留される。風、大気温度、湿度、降水量、日射量、海水温度、塩分濃度、潮流をリアルタイムで観測



CTD/ロゼットマルチサンプラーからの試料回収。海水の水温、塩分濃度、圧力を測定し、36の深度で採水ができる



アルゴフロートの投入。水深2,000mから海面までの水温、塩分濃度、圧力のデータを10日間ごとに送信してくる(写真は三崎水産高校の「湘南丸」)



「みらい」では採水した試料をすぐに分析する

気候変動の現場をゆく

ペルー沖の赤道太平洋の海水温が異常に上昇する「エルニーニョ」、インド洋のエルニーニョとも呼ばれる「ダイポールモード」、北極海における海氷の減少、太平洋の底を流れる深層循環の変化……。いま世界中の海で、さまざまな変動が起きている。遠い海で起きていること。そう思うかもしれない。しかし、エルニーニョが起きると、日本も冷夏・暖冬になりやすく、世界各地で異常気象が発生する。海の変動は異常気象や気候変動と直結しているのだ。海洋研究開発機構(JAMSTEC)では、海洋の変動を正しくとらえ気候変動の予測に役立てるために、海洋地球研究船「みらい」などで太平洋、インド洋、北極海、南大西洋に行き、さまざまな装置を使って観測を行っている。いま現実、海で何が起きているのか。気候変動の現場を巡ってみよう。

取材協力：地球環境観測研究センター
むつ研究所
海洋工学センター



北極海にて



セジメントラップの引き上げ。海中を沈降する粒子を採取する



ピストンコアラの投入。海底の堆積物を柱状に採取する

エルニーニョは“地球のヒートエンジン”で起きている

太陽の光が照り付ける西太平洋の熱帯域。見渡す限りの海。「みらい」では、後方にある巨大なクレーンでトライトンブイが下ろされている。ブイは、直径2.4m、重さ2.4トン。揺れると非常に危険だ。緊張のなか、クレーンがゆっくりと下げられ、ブイは海に投入された。このトライトンブイは、おもりとワイヤ、ナイロンロープで海底に係留され、1年間にわたって気象や海水の観測を行う。

熱帯域の海は以下の理由で、地球上で特別な場所である。①太陽のエネルギーを最も多く吸収

するため、海水温が高く、蒸発が盛ん。②水蒸気が上空で冷やされて水滴になって雲ができるとき、大量の熱が大気中に放出される。③この熱が大気を動かし、全地球規模の循環を引き起こす。そのために、熱帯域は“地球のヒートエンジン”と呼ばれている。このヒートエンジンの状態が少し変わるだけで、地球全体の気候に大きな影響を及ぼす。

その最も有名な例が、「エルニーニョ」だ。エルニーニョとは東太平洋熱帯域の海水温が高くなる現象で、世界各地で異常気象を引き起こし、日本は冷夏・暖冬となる傾向にある。25年前にさかのぼるが、1982年に発生したエルニーニョは大規模で、世界中に大きな被害をもたらした。それをきっかけに、エルニーニョの発生メカニズム解明と発生予測の実現を目指し、ブイによって太平洋熱帯域の海水温を常時観測しようという計画が、アメリカを中心に始まった。ブイは現在73機。そのうち17機がJAMSTECのトライトンブイだ。

ブイは、風向・風速、大気温度、湿度、降水量、日射量、海水温度、塩分濃度、流速を観測し、人工衛星を通じてリアルタイムでデータを送る。これまでの20年以上にわたる観測で蓄積されたデータから、太平洋赤道域に暖水がたまるとその9ヵ月後にエルニーニョが発生することが分かり、発生予測も可能になってきた。

ラニーニャが発生——そんな気象庁の予報を今年、耳にした人もいるだろう。「ラニーニャ」は、エルニーニョと逆の現象で、東太平洋の熱帯域の海水温が平年よりも低くなる。この予報も、ブイの観測データなどを利用して導き出したものだ。

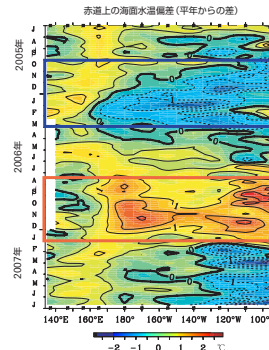
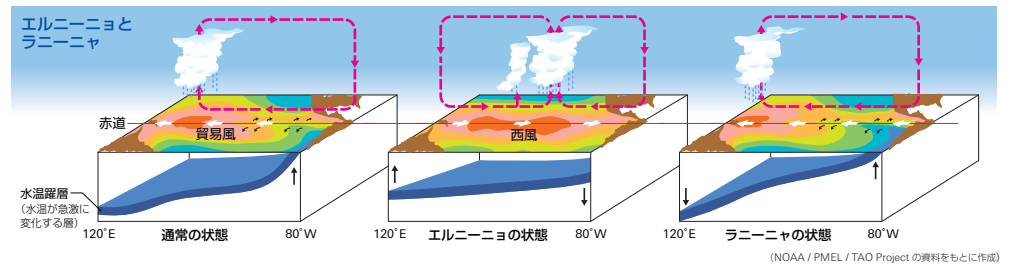
最近では、通常のエルニーニョとは異なる「エルニーニョもどき」があるといわれている。エルニーニョもどきは、日付変更線周辺の熱帯域で海水温が高くなり、その両側で低くなる。そういう状態があることは知られていたが、たまたまだろうと思われていなかった。観測例が増えたことで、通常のエルニーニョとは別の現象であることが提案されている。

インド洋の熱帯域でも海水温の異常現象が発生する。1999年、JAMSTECの地球環境フロンティア研究センターの山形俊男プログラムディレクターらによって発見された「ダイボールモード」だ。インド洋周辺や日本を含むアジアに異常気象をもたらすダイボールモードを観測するため、2001年にはトライトンブイがインド洋に2点設置された。その後ダイボールモードは発生していなかったが、2006年に発生し、その観測に初めて成功。インド洋熱帯域は海水温が年々上昇しているともいわれ、いま注目されている海域の一つである。しかし、観測ブイの設置はまだ10点と、太平洋と比べて遅れている。ブイ観測網を整備し、ダイボールモードを詳細に観測し、発生メカニズムの解明、発生予測の実現につなげていくことが今後の課題だ。

トライトンブイの設置は、主に「みらい」によって行われている。「みらい」の広い甲板、大きなAフレームクレーンは、トライトンブイを効率的に設置することを念頭に設計されたものだ。赤道域に設置されたトライトンブイは、1年ごとに整備済みのものと交換する。「設置も大変ですが、トライトンブイを運用していく上で最大の問題は、人による破損と盗難」と山口誠之技術主幹は言う。センサー類が盗まれたり、漁船がブイのタワー部分に係留したために破損したり、ナイロンロープが切れて漂流してしまうこともある。そこで、盗難を防ぐためにすべての計器を内部に収納し、かつ設置がしやすいようにコンパクトにした改良型トライトンブイを考案。インド洋に設置し、その効果を調べているところだ。

トライトンブイ観測の今後の課題は、「長期観測」と安藤健太郎サブリーダーは言う。「エルニーニョも

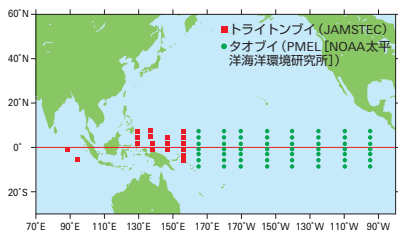
取材協力：安藤健太郎サブリーダー 升本順夫サブリーダー
地球環境観測研究センター 気候変動観測研究プログラム 熱帯海洋気候グループ
山口誠之 技術主幹
海洋工学センター 応用技術部 長期観測技術グループ



TAO/TRITONの観測データ
平年よりも海水温が高いところを赤、低いところを青で示している。エルニーニョとラニーニャは通常は数年ごとに繰り返される。TAO/TRITONのデータは、インターネットで自由に見ることができる (NOAA / PMEL / TAO Project)



改良型のトライトンブイ
盗難防止の狙いから、ブイ上には従来のタワーの代わりに円筒型容器を搭載し、計器がすべてその内部に収納されているのが特徴で、外観から「鉄飯面」と呼ばれている。この鉄飯面には、アジアのとある寺院に描かれている目が模写されており、共に海をなわいとするアジアの同胞への親しみと、盗難被害に遭わないようにとの願いが込められている (写真では片方の目が見えている)



赤道域に展開されたブイ観測網TAO/TRITON
赤はJAMSTECが設置したトライトンブイ、緑はアメリカが設置したタオブイ。トライトンブイは1年ごとに入れ替えられ、回収したブイは、むつ研究所で整備される。センサーが正しく動いているかどうかを確認して調整し、必要があれば観測したデータを補正する

ダイボールモードも温暖化によって影響を受けるはず。しかし、コンピュータによる実験では、エルニーニョが強まるというものと、弱まるというものの両方があります。本当はどちらなのか、ぜひ知りたい。観測を続けることで、より正確な予測ができるようになるでしょう」

インド洋のダイボールモードの予測は始まったばかりで、現在のエルニーニョやラニーニャの予測もまだ完璧ではなく、失敗することもある。前兆をとらえ、その発達を予測することはできる。しかし、どういうメカニズムが関与しているかは、まだ十分には分かっていないからだ。メカニズム解明のためにも、継続した観測が不可欠だ。

海大陸で不思議な雲が生まれる瞬間を追う

取材協力：
米山邦夫サブリダー
地球環境観測研究センター 海大陸観測研究計画
大気海洋相互作用グループ

穏やかな海、青い空に立ち上った真っ白な積乱雲。そして、時折激しく襲う雨が気持ちいい。甲板で寝転び、ぼーっと、ただ雲を眺めていたい——ここ海大陸では、そんな気分になる。

「海大陸」とは、太平洋とインド洋の間にある、インドネシアを中心とする大小さまざまな島と海が混在する地域だ。海大陸を含む東部インド洋から西部太平洋にかけては、海水温が地球上で最も高く、蒸発が盛んなために積乱雲が活発につくられ、大気を動かす原動力となっている。

このあたりで最も特徴的な、そして不思議な雲、それがMJO（マッデン・ジュリアン振動）である。中部赤道インド洋で発生した東西数千km規模の巨大な雲群が、時速20km程度のゆっくりした速度で赤道に沿って東に進む現象だ。30日から60日周期で発生する。この雲群によって赤道域の天気は決められると言っても過言ではない。しかも、雲群の下では強い西風が吹き、西部太平洋の暖水を東に移動させる。そのため、エルニーニョ現象を発生させる引き金の一つであるともいわれている。また、エルニーニョの終息や、台風の発生ともかかわっていると考えられている。海大陸に起因する気候変

動を理解するためには、MJOがどのように発生し、発達していくかを知ることが不可欠だ。

MJOが初めて発見されたのは、1971年。その後、人工衛星の活躍もあり、MJOの雲群の構造や移動の様子は詳しく分かってきた。しかし、MJOの発生メカニズムは、発見から35年たったいまも分らない。人工衛星では雲のなかを観測できないので、MJOの発生を観測するには、現場に行く以外に方法はない。しかし、MJOが発生する赤道インド洋での観測例はほとんどなかった。

そうしたなか、米山邦夫サブリダー（SL）は、パラオ周辺で「みらい」によるMJOの定点観測を（株）グローバル オーシャン ディベロップメント（GODI）観測研究員の援助を受けて、2000年から4年連続で行っている。雲や雨の観測で活躍するのが、主にドップラーレーダーとラジオゾンデだ。ドップラーレーダーは、マイクロ波という電波を放射して、雨粒で反射された信号を受信することで、雨の強さや風向・風速を測定する。ドップラーレーダーを搭載している観測船は世界で2隻だけで、その1隻が「みらい」だ。ラジオゾンデは、風船にセンサーを付けて上空に放ち、気温、湿

度、気圧、風向、風速を測定する。ほかにもさまざまな観測装置を使い、どのように風が吹いて水蒸気が集まり、雲が生まれ、巨大な雲群へと発達していくかを立体的に描き出していく。これらの観測から、MJOが発生する2週間ほど前に、対流圏下層に水蒸気が集まり湿潤化し、それがだんだん上空に持ち上げられて、一気に大きな雲に発達することを明らかにした。

そうした経験を活かして、JAMSTECは2006年、MISMO（Mirai Indian Ocean cruise for the Study of the MJO-convection Onset）を実施。「みらい」によって、インド洋でMJOが生まれる瞬間をとらえようというプロジェクトだ。MISMOという名前には、スペイン語の「Ahola mismo」（いままこ、いまこそ、の意）にちなんで、「まさに、いまこそインド洋で観測しよう!」という意味が込められている。MISMOでは国際協力のもと、モルディブ諸島周辺に観測網を展開し、大気の観測だけでなく、ブイなどによって海水温も詳細に観測した。

とはいえ、MJOはいつでもどこで発生するか分からない。観測期間中に必ず発生する保証もない。「精神衛生上よくないですね」と米山SL。そういう苦労を

経て、世界で初めてMJOが発生する様子を観測することに成功。やはりMJOが発生する2〜3週間前から、対流圏下層が徐々に湿潤化し、大気の大気活動が活発になっていくことが確認された。また、雲が急激に発達したとき、上層を吹く風が、わずか1日で西風から東風に変化していることも分かった。なぜ風の向きが変わるのかは、今後明らかにしていくべき課題だ。

実は、MISMOが実施された2006年、インド洋ではダイポールモードが起きていた。MISMOで観測したMJOは、ダイポールモードという特殊な条件下での姿であって、本当の姿ではないかもしれない。もう一度、通常の状態でのMJOの発生を観測することも必要だろう。

MJOの研究は、温暖化ともかかわっていると、米山SLは言う。「温暖化の原因として人為起源の二酸化炭素が注目されがちですが、温室効果が一番大きいのは水蒸気です。水蒸気から雲ができることや、水蒸気の分布を調べることは、とても重要。しかも、これからは、MJOのような特徴的な雲だけでなく、よくある小さな薄い雲の観測も重要になってくるでしょう」

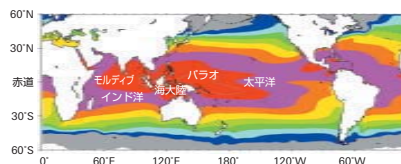


モルディブの島々

「みらい」は、モルディブやパラオなど、海大陸の周辺海域を中心に観測研究を行っている。海大陸の中心であるインドネシアでは、水循環観測研究プログラム 広域水循環研究グループがHARIMAUプロジェクトを立ち上げ、気候変動に関する連続観測を行っている

MJO（マッデン・ジュリアン振動）に伴う雲群

MJOは、中部赤道インド洋で発生した数千km規模の巨大な雲群が時速20km程度で赤道に沿って東に進む現象で、30日から60日周期で発生する。発見者であるローランド・マッデンとポール・ジュリアンにちなんで名付けられた。対流活動が活発になると、全天が雲で覆われ、激しい雨が降る

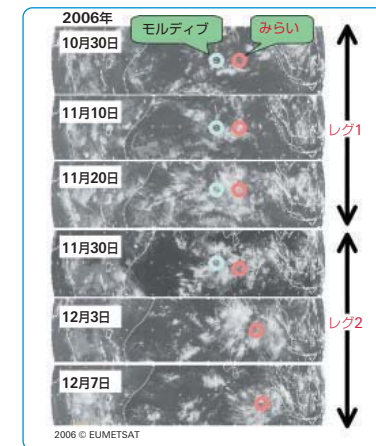


平均海面水温と海大陸周辺

インドネシアを中心とする大小さまざまな島と海が混在する地域を海大陸と呼ぶ。最も海面水温が高い。「みらい」は海大陸の周辺海域で、MJOの観測を行っている（NOAA提供データより作成）

人工衛星がとらえたMISMO観測中の雲の動き

「みらい」はレグ1では定点観測、レグ2ではシンガポールに向かって航行しながら観測を行った。MJOの雲群の動きと「みらい」の速度がちょうど合い、雲群が発達しながら東に進んでいく様子を詳細に観測することができた。「ほかの研究者から、すごい計画だねと言われました。でも、ここまでどんぴしゃりと合うタイミングは計画してもできません。とてもラッキーでしたな」と米山SL。図中の円はモルディブと「みらい」のドップラーレーダーによる観測領域



全世界の“いま”の海を一望する

訓練航海中の神奈川県立三崎水産高等学校の「湘南丸」から海に下ろされた観測装置、それがアルゴフロートだ。

アルゴフロートは、いったん水深1,000mまで沈み、周囲の海水とともに漂流する。そして、10日後にさらに2,000mまで沈んで、約100の深度で水温と塩分濃度を計測しながら海面まで上がってくる。計測したデータは、海面に出たアンテナから人工衛星に送られ、GTS(国際気象通信システム)を介して24時間以内に世界中の気象機関などに配信される。そのデータは、インターネット上にも公開され、誰でも無料で見ることができる。アルゴフロートが海面にいるのは数時間で、再び水深1,000mまで沈み、10日後にまた浮上してくる。

水温と塩分は海水の状態を示す最も基本的なデータであり、そこから海水の流れを計算することができる。では、なぜ海水の流れが重要なのか。赤道域は太陽のエネルギーを多く吸収するが、高緯度域が吸収するエネルギーは少ない。一方、エネルギーを放出する量は赤道域と高緯度域でそれほど違わないため、そのままでは赤道域はどんどん暖まり、高緯度域はどんどん冷えていってしまう。実際の地球がそうならないのは、大気と海水によって赤道域の熱が高緯度域へ運ばれていくからだ。海の動きは大気と比べると非常にゆっくりだが、蓄えることができる熱量は大気の約1,000倍にもなるため、たくさんの熱を運ぶことができる。熱の移動が変われば、気候も変わる。気候変動の予測には、海の流れを知ることが欠かせないのだ。

全地球の海面水温は、人工衛星によって観測することができるが、分かるのは海面だけ。短期的気象予報であれば海面のデータだけでよいが、エルニーニョなど長期の予報をするには、海のなかがどう

なっているのかを知らなければならない。従来、海中の水温と塩分は、観測船によって計測されていたが、船での観測は時間がかかり、行ける場所も限られてしまう。「私たちは、過去50年間で得られたわずかな観測点のデータを継ぎはぎして、世界の海を見たような気になっていただけなのです」と四電行サブリダー(SL)は言う。

そういう現実を前にして、アメリカの海洋学者ヘンリー・ストンメルは、こんなことを考えた——世界中の海に観測装置を1,000台ばらまくだ。その装

置は、浮き沈みしながら水温や塩分濃度を測り、人工衛星を介してリアルタイムでデータを送ってくる。私は、研究室にいながらにして、世界中のいまの海の様子を見ることができるんだよ。——ストンメルは、この構想を1989年に、“30年後の夢”として語っている。それからいくつかの試行実験を経て、2000年、国際協力によって「アルゴ計画」が始まった。

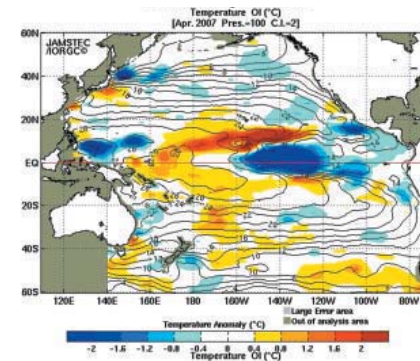
アルゴフロートは現在、全世界の海に3,000台近くが投入されている。数の上では当初の目標にほぼ達したが、これで完成ではない。アルゴフロートの寿命は浮上回数にして130～150回、3～4年ほどだ。初期に投入したものはすでに寿命が来ているため、毎年800台ずつ投入し続けなければならない。3,000台体制を維持できない。「海の変化は非常にゆっくりですが、それが長期的な気候変動を左右しています。気候変動をとらえ、さらに予測するには、海を長期にわたって、しかも地球全体をまんべんなく観測していかなければならないのです」と四電SLは言う。「アルゴフロートは3,000台に近づき、ようやく観測体制が整った。いまがスタートなのです」

アルゴフロート自体も、進化を続けている。現在は水深2,000mまでだが、3,500mまで測定可能な

ものを開発中だ。また、人工衛星経由の指示に従って、進む方向や観測ミッションを変更できるフロートも動き始めている。異常な昇温が起きたら、周囲からアルゴフロートが集まってきて集中観測を行い、平常に戻ったら散っていく。そんなこともできるようになる。

また、アルゴフロートに酸素のセンサーを付けてほしいという要望が、生物学者から来ている。温暖化で水温が上がると、海水中に溶け込む酸素の量は減る。海水中の酸素は生態系の変化を含む海全体の変化を監視する上で極めて重要な量といえるが、それを全地球規模で計測する手段がないのだ。そこで、世界中の海にあるアルゴフロートに白羽の矢が立ったというわけだ。二酸化炭素やクロロフィルのセンサーを付ける計画もある。「アルゴフロートを、いろいろな分野の人に使ってほしい」と、須賀利雄グループリーダー(GL)は言う。「海については、いままで物理学、生物学、化学の研究者が別々に研究していましたが、アルゴフロートを通してそれらが融合し、真の海洋学が生まれると期待しているんです」

取材協力：
須賀利雄グループリーダー 四電行サブリダー
地球環境観測研究センター 気候変動観測研究プログラム
Argoグループ

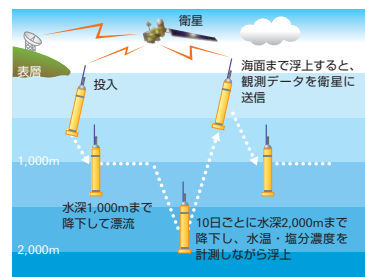


アルゴフロートによって得られたデータの例

2007年4月の太平洋の水深100mの水温分布。青は平年に比べて低温、赤は高温であることを示している。アルゴフロートのデータはGTSを通じて24時間以内に全世界の気象機関などに配信され、気象予報などに役立てられている。その後半年くらいかけてデータの品質を調整し、研究に使われる。アルゴグループのホームページ (http://www.jamstec.go.jp/ARGO/J_ARGOj.html) ではさまざまなデータや解析結果を公開しており、誰でも無料で見ることができる

アルゴフロートの動き

アルゴフロートの内部にあるゴムの袋にオイルを出し入れて体積を変えることで、浮力を調整して浮き沈みする。浮上速度は秒速10cmほどで、海面までは約5時間。水深1,000mで待機するのは、2,000mでは水圧が大き過ぎ、表層では装置に生物が付着してしまうためである。水深1,000mは表層より流れが遅いので、フロートが流されにくいという利点もある



アルゴフロートの分布 (2007年6月現在)

23ヵ国が参加している。フロートの投入数の1位がアメリカ(緑)で54%、日本(紫)は2位で14%である。平均すると、300km四方に1台投入されていることになる(国際気象情報センターのホームページ (<http://www.jcommops.org/>) より)



投入直後のアルゴフロート

「アルゴフロートを投入するときは、“頑張って行ってこいよ”と心のなかで声を掛けながらマグネットでスイッチを入れます。投入すると、みるみる小さくなっていく。大きな海のなかでとても頼りない存在。でも、10日後にデータが入ってきたときは、格別にうれしいですね」と須賀GL

地球を巡る深層大循環を追う

「みらい」の甲板が慌ただしくなる。次の観測点が近づいたからだ。観測点に到着すると、すぐにCTD/RMSシステムをつり下げたクレーン・ウインチが動きだす。CTD/RMSシステムは、水温・塩分を計測しながら海底まで下ろされた後、引き上げながら36の異なる水深で海水を採取する。この作業に4時間ほどかかる。採取した海水は、すぐに項目ごとに異なるボトルに分けられ、分析が始まる。採取した瞬間から変質する成分もあるから、ゆっくりしてはいられない。熟練した観測技術者集団によって、試料ボトルが次々と分析にかけられていく。だが、間もなく次の観測点だ。また新しい試料が運び込まれる。その前に必要な分析を終えなければ――

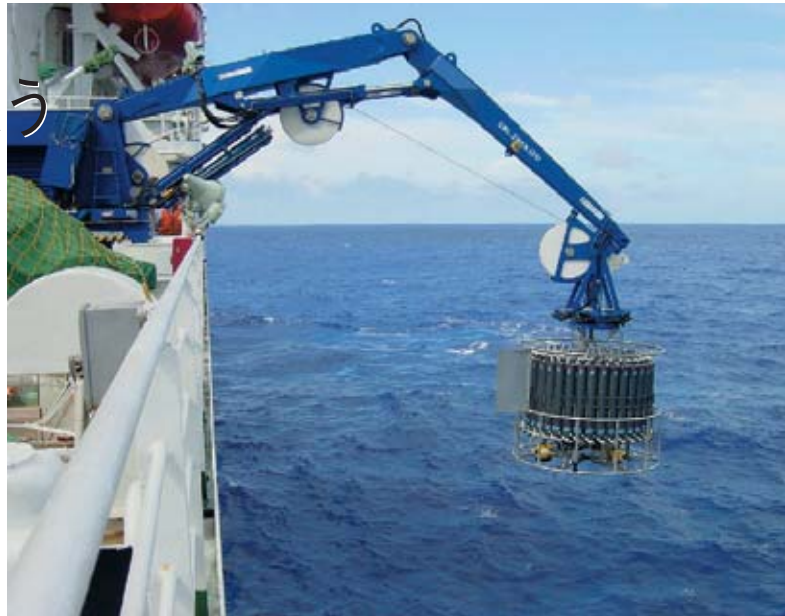
設定された線に沿って大洋を縦横断しながら水温や塩分濃度を観測していく測線観測では、こうした作業が昼夜関係なく1日3〜4回繰り返される。「肉体的にもつらい」と河野 健サブリダー(SL)は語る。「でも、快感ですよ。いま私たちは深層大循環が変化している場にいる、その証拠をつかんでいるかもしれないのですから」

海には大きな流れが2つある。1つは、黒潮やメキシコ湾流など、風によって起きる「風成循環」。もう1つは、海水の密度の差によって起きる「熱塩循環」あるいは「深層循環」と呼ばれる流れである。風成循環は表層、しかもそれぞれ大洋のなかだけの動きだが、深層循環は深層まで達し、世界中の海を巡る大規模な対流である。非常にゆっくりとした流れだが、深層循環は地球規模の気候変動と密接にかかわっている。

冷たく塩分濃度が高い“重い”海水は沈み込み、

クレーン・ウインチに持ち上げられたCTD/RMSシステム

CTDとはConductivity (電気伝導度)、Temperature (水温)、Depth (深度) の頭文字で、水温と塩分濃度の深度方向分布を高精度で計測する。RMS (Rosette Multi Sampler: 多層採水器) は36の異なる水深で12リットルずつ採水する。クレーン・ウインチは、CTD/RMSシステムの上げ下げを迅速にできるように最適化されている。南極を一周したBEAGLE 2003では、約半年をかけて493点でCTD採水観測が行われた



採水ボトルからの取水

CTD/RMSシステムの採水ボトルの海水を、分析項目ごとに13種類の瓶に取り分ける。「観測が成功するかどうかは、観測技術者の腕にかかっています。定期的に測線観測を行い、技術者の能力を維持することも重要です」と河野SLは言う。長期に及ぶ測線観測では、装置も、乗船する研究者・技術者の数も多くなる。「このような観測は、定員が多く、研究室も整備されている「みらい」でしかできません」



暖かく塩分濃度が低い“軽い”海水はわき上がる。海水が沈み込むのは、グリーンランド沖と南極の周りの2ヵ所だ。その周辺では大気の水より海水の方が高いため、大気は海水によって暖められ、海水は熱を放出することで冷えて沈み込んでいく。たとえば、南極周辺の場合、海水から大気に放出される熱量はおおよそ3ペタワット(ペタは 10^{15})で、これは日本で1年間に消費する電力をだいたい2時間で使ってしまうほどの大きな熱量に相当する。もし深層循環が停止すれば、海水による大気の加熱がなくなり、地球は寒冷化する。しかも、深層循環は非常に長い時間スケールで動くが、大気は短い時間スケールで動くため、わずか数十年で気候が激変する可能性がある。実際、約1万2000年前に北半球高緯度地域の気温が100年ほどの間におおよそ5℃も下がったことがあり、「ヤンガードライアス・イベント」と呼ばれている。北アメリカ大陸を覆っていた氷床が温暖化によって融け、大量の淡水が大西洋に流れ込んだ。その結果、海水の塩分濃度が薄められ、グリーンランド沖で沈み込みが起きなくなって深層循環が止まり、大気が海水によって加熱されなくなったため寒冷化したと考えられている。

現在の地球でも、温暖化によって北極海の氷が減少し、南極の棚氷も広範囲にわたって崩落している。ヤンガードライアス・イベントと同じことが起きる危険性はないのか？

それまであまり詳しく分かっていなかった深層循環がどうなっているのかを知ろうと、1990年、国際

プロジェクトWOCE(世界海洋循環実験)が始まった。1997年までに全海洋を対象に約70の測線観測が行われ、表面から海底までの水温や塩分濃度などが当時最高レベルの精度で計測され、深層循環の姿が詳細に描き出された。

このような観測を、期間を置いて2回、3回行って比較すると、変化を知ることができる。そこで、JAMSTECでは1999年、北緯47度の測線を「みらい」などで観測した。この測線はWOCE以前の1985年に観測されており、2回のデータを比較すると、太平洋底の海水温が全体的に上昇していることが分かった。やはり大循環に何かが起きているらしい、という危機感が広がった。

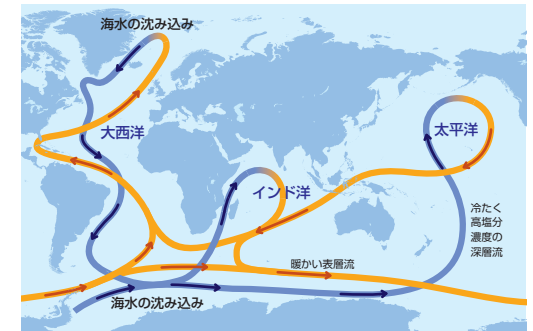
そして、それを確かめるべく2003年、南極を一周して観測するBEAGLE 2003が「みらい」によって行われた。冒頭は、そのときの様子だ。BEAGLE 2003はGHP(グローバル測線観測計画)の一環で、WOCEで行われた測線の再観測である。2回のデータを比較した結果、太平洋、大西洋、インド洋で海水温が上昇していることが分かった。季節変化などを受けにくい1,000mより深い層だけを比較しても、約0.017℃上昇している。これは、わずかな水温上昇に思えるが、大気を3.4℃上昇させる熱量に相当する。海水温の上昇とともに、南極海からの深層水の流入量が減っている可能性があることも分かった。これらの観測結果から、南極を起源とする深層循環が弱まっていると考えられる。

深層循環が弱まると、海洋が吸収する二酸化炭

取材協力:

河野 健サブリダー

地球環境観測研究センター 海洋大循環観測研究プログラム
大循環力学グループ



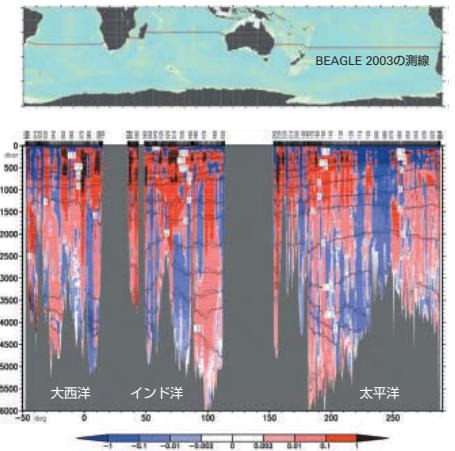
深層大循環(熱塩大循環)

グリーンランド沖と南極周辺では、冷たく、塩分濃度が高い海水が沈み込んでいる。海水の密度の差によって生じる深層大循環(熱塩大循環)は、世界中の海を巡り、気候変動と密接にかかわっている。グリーンランド沖で沈み込んだ海水が南極まで行き、太平洋に入って北上し、わき上がるまで2,000年といわれている (『異常気象レポート2005』気象庁の資料をもとに作成)

素の量が減少するともいわれている。これから深層循環がどう変化し、どのような気候変動を引き起こすのか? それを知るためには、同じ測線を繰り返し観測し、精密なデータを蓄積していく必要がある。「また、南極を一周することになるでしょう。やりたいなあ」と河野SL。そして今後、重要になるのがインド洋だ。海水温が急激に上昇しているのだが、データが少な過ぎてははっきりしたことが分かっていない。インド洋でもぜひ測線観測をしたいと、河野SLは考えている。「みらい」はこれからも世界中の海を巡ることになるだろう。

南極周辺での海水温の変化

1992年と1995年に実施されたWOCEの観測値と比較して、BEAGLE 2003で観測した海水温の方が高いところを赤、低いところを青で示した。全層で0.019℃上昇し、1,000mより深い層では0.017℃上昇している



荒れ狂う北太平洋で炭素の動きを見つめ続ける

取材協力：
渡邊修一 所長
むつ研究所

北太平洋は、“低気圧の墓場”とも呼ばれる。特に冬の北太平洋は荒れ続け、船の航行は困難を極める。そのような過酷な海でも、甲板が海面から高く、揺れを抑える装置を搭載した「みらい」ならば、航行が可能だ。「みらい」は、荒れ狂う北太平洋を進み、K2と呼ばれる場所に向かう。そこには、温暖化予測に重要なデータを提供する画期的な観測装置が設置されている。

2007年に発表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)「第4次評価報告書」では、地球温暖化は二酸化炭素(CO₂)など人為起源の温室効果ガスの増加が原因となっている可能性がかなり高いと述べている。温暖化を精度よく予測するためには、原因となっているCO₂が地球上をどのように動き、どのように分布しているのかをとらえることが不可欠だ。しかも、大気の約60倍ものCO₂を蓄えることができる海洋での循環が重要になる。

CO₂を海洋に取り込むために大きな動きをしているのが、「生物地球化学サイクル」である。植物プランクトンは、光合成によってCO₂を体内に取り込んで、有機物をつくる。植物プランクトンは、捕食されてふんとなったり、死骸となって凝集し、深層へと沈降していく。深層で有機物は分解され、海水の循環によって世界中の海に運ばれ、長い年月を経てわき上がってくる。しかし、その量やメカニズムなど詳細は、まだよく分かっていない。

炭素循環の過程を詳しく知るためには、BEAGLE 2003のように船で移動しながら多くの観測点で海水を採取し、含まれるCO₂などの量を調



JAMSTECの時系列観測点
むつ研究所は、「みらい」の母港であるとともに、その立地を活かして北の海の研究拠点として、K2やKNOTでの時系列観測を中心に北太平洋における物質循環研究を行っている

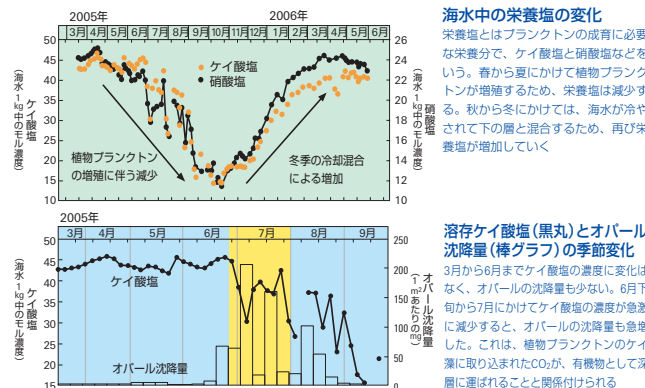
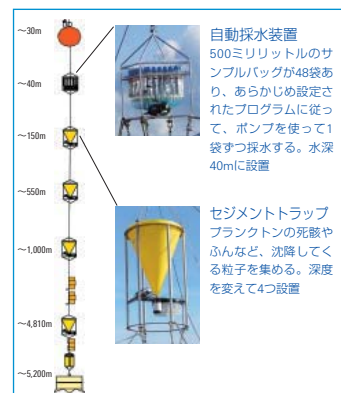
べる方法がある(『Blue Earth』2006年1-2月号に関連記事)。十数年ごとに観測することで、その間の変化をとらえることができる。しかし、季節など短い周期での変化をとらえるには、同じ場所で長期間にわたって継続して計測するしかない。その代表的な場所の一つが、北太平洋のK2だ。

K2では、観測装置がワイヤで海底のアンカーに係留されている。冒頭で紹介した画期的な装置とは、ここに設置された自動採水装置だ。48袋のサンプルバッグがあり、1年以上にわたって、設定したスケジュールに従って4〜8日ごとに自動的に採水する。これほど長期間にわたって高頻度で採水できる装置は、ほかに例がない。

「みらい」で2度の入れ替えを行いながら約1年2ヵ月係留していた自動採水装置によって得られた

時系列観測点K2の観測装置係留系

観測装置は、ワイヤで海底のアンカーに係留される。設置して半年から1年ほどで回収される



荒天下の北太平洋を航海する「みらい」
時系列観測点の観測装置の回収・設置を1年に1〜2度行う。その際、CTD採水器などを使い、溶存化学成分のより詳しい観測も実施している

海水を分析したところ、植物プランクトンの栄養分であるケイ酸塩と硝酸塩の量の季節変動がとらえられた。さらに、表層でケイ酸塩が減ると、沈降してくるオパール(固体ケイ酸塩)が急増することが分かった。オパールは植物プランクトンの殻である。これは、表層で生物活動によって固定された二酸化炭素が深層に移動する様子をとらえたもので、世界初の貴重なデータだ。

CO₂の吸収量は海域によって違う。北太平洋は海水温が低く波も荒いため、全海洋のなかでも気体交換が活発な海域だ。グリーンランド沖で沈み込み、南極を回って太平洋に入ってきた深層水が湧昇する場所でもあるため、CO₂は海洋から大気へ放出される。湧昇する海水は、深層を長い時間をかけて流れている間にCO₂が加わり、CO₂濃度が大気中より高くなるためである。現在、大気中のCO₂濃度は上昇し続けている。「大気中のCO₂濃度がもっと上昇したら、海水はK2のような海域でもCO₂を放出することができず、海水中に蓄積していくようになります。CO₂の増加によってもたらされる海水の酸性化は、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が溶け出すなど、さまざまな問題を起こすと心配されていますが、それが海洋全体に及ぶことになり、深刻な問題となるかもしれません」と、渡邊修一所長は指摘する。実際、JAMSTECなどによる時系列観測点K2やKNOTなどの観測から、大気中のCO₂の増加とともに海洋中のCO₂蓄積量が増えているという解析がある。

地球の気候はどうなるのか、温暖化によって生物地球化学サイクルはどう変わるのか、私たちは温暖化の問題に対して何をするのが効果的なのか——それを知るためには、全海洋について海水中の全CO₂濃度を精密に測定すると同時に、大気と海洋間のCO₂の移動量を正確に見積もる必要がある。そこで、JAMSTECでは海洋表面のCO₂分圧観測装置を新しく開発し、実海域試験を行っている。トライトンブイなどに取り付けることも可能なので、全球展開も夢ではない。「より正確な温暖化予測が可能になるだけでなく、短時間では分かりにくいCO₂削減の効果のほども分かるでしょう」と、渡邊所長は期待している。



二酸化炭素分圧観測装置

海水とCO₂分圧が平衡になったpH指示薬を含んだ溶液の色変化を検出することで、CO₂濃度を計測する。高さ50cm、上部の直径34cm、重さ15kg。従来のCO₂観測用の漂流型観測ブイ(高さ2m、重さ60kg)と比べて小型軽量で、製作コストも抑えている

北極海は地球温暖化の“加速器”

“ギーツ、ギーツ”。船体を締め付けられた「みらい」が悲鳴を上げる。シャーベット状だった海が、わずか半日の間に急速に凍り始めたのだ。2002年10月初旬、ここはベーリング海峡を北に進んだ北緯75度を越える北極海。「みらい」は氷海域を航行できる耐氷船だが、海水を砕いて進むことはできない。海水に閉じ込められる前に脱出しなければならない。

実は、「みらい」が就航を始めた1997年以前、耐氷船であっても、この海域を観測することは不可能だった。夏でも海水に覆われていたからだ。ところがその後、北極海の海水は急激に減少した。特に太平洋側の減少が著しく、1997年までは夏でも70～80%の海域が海水に覆われていたが、1998年以降は20～30%に減少したまま回復していない。

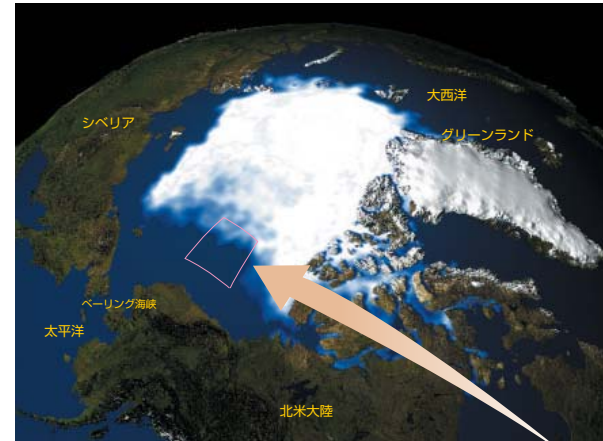
2006年12月、アメリカの国立大気研究センター(NCAR)を中心とする研究グループは、2040年までに北極海の夏における海水が、ほぼ消えてしまうとのコンピュータ・シミュレーション予測を発表した。

いま、現実の北極海でいったい何が起きているのか。島田浩二グループリーダー(GL)たちは、

2002年から「みらい」に乗り込み、海水減少が最も著しいベーリング海峡北部で観測を続けてきた。そして、この海域で“海の温暖化”が急速に進展し、海水ができにくくなっていることを突き止めた。海水温が1997年以前より1℃前後も上昇していたのだ。この海水直下の海水温の上昇に伴う熱量の増加は、海水直上の大気が10℃昇温する場合の熱量増加に相当する。コンピュータ・モデルによる予測では、北極海で10℃の気温上昇が起きるのは21世紀末。ところが北極における海の温暖化は、大気の温暖化予測結果よりもはるかに速く進行しているのだ。

急激な海の温暖化は、なぜ起きたのか。島田GLは、北極海の奥部へ送り込まれる太平洋からの暖水量が増えたからだと指摘する。海水がない海では風によって海流ができる。しかし海水がある北極海では、表層の海流を駆動するのは海水の運動だ。1997年、エルニーニョの影響で平年より4℃も高い暖水が、太平洋から北極海へ流れ込んだ。その影響で、例年ならば冬に北米大陸沿岸にまで接していた北極海の海水が減少、海水全体が沿岸の

「みらい」による
2002年の北極海観測
2002年から、海水の減少が
最も著しいベーリング海峡北
部で観測が続けられている

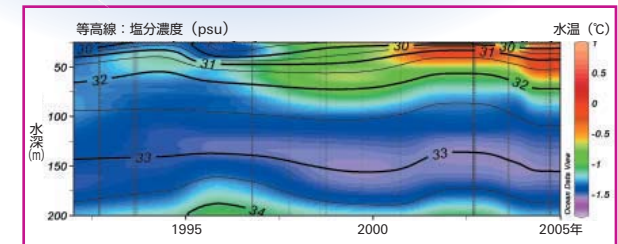


取材協力：
島田浩二グループリーダー
地球環境観測研究センター 地球温暖化情報観測研究プログラム
北極海気候システムグループ

2002年9月、北極海の海水分布
©NASA

太平洋側の北極海では、太平洋から流れ込む暖水の量が増加し、海の温暖化が進み、海水ができにくい状態になっている

太平洋側の北極海での水温変化
1990年代後半から、北極海の温暖化が劇的に進行している



摩擦を受けにくくなり運動しやすくなった。その結果、太平洋から北極海の氷海域へ供給される暖水の量が増加→海水の減少→海水運動の加速→暖水流入量の増加→海水の減少→……。このように海水がどんどんできにくくなる循環が動きだし、もとの状態に戻らない段階に達するメカニズムを島田GLたちは発表した。

ただし、太平洋側では冬に海水がなくなることはないだろう。より深刻な事態が起きているかもしれないと島田GLたちが指摘するのは、大西洋側だ。JAMSTECではこの海域で菊地 隆サブリダーたちが、2000年からJ-CAD、2006年からはPOPSと呼ばれる小型漂流ブイによる観測を続けている。このような観測から、この海域の表層の塩分濃度が上昇していることが明らかになった。

北極海は全海洋面積の3%だが、全世界の河川流量の10%が流れ込んでいる。河川から淡水が大量に流れ込んでいるため、表層の塩分濃度は低い状態に保たれやすい。一方、北極海の300～400mを中心とする深度域には、大西洋を北上するメキシコ湾流という暖流からの暖かく塩分濃度の高い大西洋水が流れ込んでいる。両者のバランスで北極海の塩分濃度は決まる。表層の塩分濃度が低い状態に保たれていれば、北極海での表層水の沈み込みは浅い深度にとどまる。もし、表層の塩分濃度がこのまま上昇を続けると、大西洋水の存在する深度にまで表層水が沈み込み、暖かい大西洋水と表層の間で対流が始まるかもしれない。すると表層は海水のできる水温まで冷えなくなり、北極海はいまのグリーンランド海のように、一年中、海水ができにくい海に変わってしまうかもしれない。海水の減少を考える際、融けて減少することと同時に、できないから減少するという視点も大事なのだ。

北極海の海水の減少により、何が起きるのか。

「北極海が温暖化の“加速器”になる」と島田GLは言う。地表の気温は、太陽から受け取る熱と、反射して宇宙へ放出する熱のバランスで決まる。海水は白いので太陽光をよく反射するが、海水は黒っぽい青色なので太陽光をよく吸収する。海水の減少は、温暖化を加速させるのだ。

実際に、過去数十万年くらいの気温の変動を調べてみると、北半球では数十年という短い期間での急激な温暖化が何回も見られる。一方、南半球の気候変動は緩やかだ。これは、南極と北極にある氷の厚さが大きく異なることが主な原因の1つではないかと、島田GLは考えている。南極大陸の上にある氷の厚さは平均2,000m以上。一方、北極点付近の海水は2mほどと、1,000倍も厚さが異なる。南極では氷が数m薄くなっても、太陽光の反射の仕方は変わらない。しかし北極では氷そのものが消失する。北極海は、熱を反射して受け取らない“白い海”から熱を吸収し蓄える“青い海”に変わり、温暖化の加速器として働くのだ。

島田GLはこう警告する。「地球温暖化の行方を大きく左右する鍵を、北極海が握っています。詳細な観測に基づき、いま北極海で起きている現象を理解し、温暖化予測へ反映させることが急務です。なぜならば、戻ることのない変化にいま、私たちは立ち会っているのですから」



氷海観測用
プロファイラー
(POPS)の設置
アルゴフロートを利用した
漂流ブイにより海水温、塩
分濃度、気温、気圧、ブイ
の漂流速度を観測する

海底堆積物に刻まれた過去の激しい気候変動

取材協力：
原田尚美サブリダー
地球環境観測研究センター 地球温暖化情報観測研究プログラム
古海洋環境復元グループ

1980年代後半、グリーンランドを覆う氷床の分析から、過去十数万年間の激しい気候変動の様子が明らかになった。氷期と呼ばれる寒冷な時期に、千年程度の周期で急激な温暖化と寒冷化が繰り返されていたのだ。それは約100年間に5℃前後という大きな年平均気温の上昇や低下だと推定されている。このような急激な温暖化と寒冷化は、グリーンランドのような極域だけで起きた現象なのか、あるいは地球規模で起きた現象なのだろうか。

海の表層にはたくさんのプランクトンが生息している。そのときの表層の栄養塩や水温によって、プランクトンの種類や、プランクトンが作り出す有機化合物も異なる。プランクトンの死骸は海底へ降り積もり、堆積物となる。それを分析することで、さまざまな地域の古環境を復元することができる。

大西洋の熱帯域やインド洋の海底堆積物の分析により、グリーンランドと同じような激しい気候変動が、これらの地域でも起きていたことが明らかに

なった。では、北太平洋でもこのような気候変動が起きていたのだろうか。

原田尚美サブリダー(SL)たちは、「みらい」をはじめとする研究船によってオホーツク海やベーリング海の海底堆積物を採取し、化学分析を行っている。そしてグリーンランドのような激しい気候変動が、これらの地域でも起きたことを2006年に論文発表した(25ページの図参照)。この研究により、北半球全域でほぼ同時期に激しい気候変動が起きていたことが明らかになった。

一方、南極の氷床の分析により、北半球が暖かい時期には南半球は寒く、南半球と北半球では気候変動に違いがあるらしいという研究結果を、ほかの研究グループが発表した。

「それが本当かどうかを確かめるため、南太平洋で堆積速度が速く古海洋環境の復元に適した試料が得られそうな、たとえばチリ沖で観測を行いたいと考えています。世界のさまざまな地域の古海

洋環境を詳しく復元して、ある地域で起きた気候変動が、ほかの地域にどのように伝わっていったのかを明らかにしていきたい」と、原田SLは今後の観測計画を語る。

そもそも数百から千年周期の激しい気候変動を引き起こすメカニズムは何なのか。「それはまだ謎です。海の深層循環が関係しているという説がありますが、たとえば太陽活動の変動など地球外の要因も考えなければならないと思います。気候変動を引き起こす仕組みの鍵となるようなデータをとらえ、理論モデルを研究する方々と一緒にメカニズムを解明することが、私たちの大きな目標です」

氷期と温暖な間氷期の繰り返しは、約200万年前からその振幅が激しくなった。「しかし現在得られているデータを見ると、現在から過去1万年間のように、温暖な時期が1万年も安定して続いている時期は、過去200万年間をさかのぼっても記録が見つからない」と原田SLは指摘する。

現在は、温暖な気候を安定化する何らかのメカニズムが働いているのだろうか。「それもまったく分かっていないですね。実は最近の1万年間にも、氷期ほど激しい振幅ではありませんが、温暖化と寒冷化が約1,500年の周期で繰り返されていることがわかってきました。そのメカニズムも謎です」

いま、人間の活動が引き起こしている地球温暖化が問題になっている。温暖化研究と古気候の研究は、どのようにつながるのだろうか。「私たちは、人間活動の影響が気候に及んでいなかった時代の気候変動のメカニズムを明らかにしたいと考えています。それが明らかになれば、気候変動を引き起こす自然のメカニズムに人間の活動がどのような影響を与えるのか、といった研究もできるようになります。もしかしたら、人間の活動が気候を安定化させているメカニズムを崩し、激しい気候変動を引き起こすスイッチを入れてしまう可能性もあるのかもしれない」

植物プランクトン(円石藻)の顕微鏡写真

海底堆積物の大部分はこのようなプランクトンの死骸からなる。特定の円石藻がつくる水温指標性有機化合物(長鎖不飽和アルキルケトン：主に二重結合が2つの2不飽和と3つの3不飽和で構成される)は、低温であるほど二重結合数の多い3不飽和アルキルケトンを合成する。2不飽和アルキルケトンと3不飽和アルキルケトンの比率を調べることで、当時の表層水温を精度よく導き出すことができる

「みらい」による
オホーツク海での海底
堆積物の採取作業
ピストンコアラと呼ばれる
装置で海底堆積物を垂直
に切り取り、円柱状の試料
(コア)を採取する



ベーリング海東部の
大陸棚域で採取された
海底堆積物の拡大写真
黒と灰白色の縞模様が見える。
気候変動に連動して、プランク
トンの種類や陸から運ばれてく
る粒子など、堆積する物質の起
源やその量比が変わること、
このような縞模様ができる

現場に行くから**現実**が見えてくる——海洋観測研究の進むべき道

新たなパラダイム

——JAMSTECでは、西太平洋やインド洋の赤道域、北太平洋、北極海、さらには南半球でも観測を行っています。なぜ観測を重視しているのでしょうか。

深澤：サイエンス面を言えば、信頼性の高い気候変動予測を目指すという流れがあります。そのなかで現実を見ること、つまり観測がどれほど大事かは、2007年に発表されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の「第4次評価報告書」を見れば分かっているだけでしょう（『Blue Earth』2007年5-6月号で関連特集）。

第4次評価報告書では、温暖化がすでにいろいろな局面で起きていること、また温暖化の原因が人為起源の二酸化炭素である可能性が非常に高いことが指摘されています。これは、気候変動予測のために地球がどうなっているのかをグローバルスケールで語れないかと、1980年のWCRP（世界気候研究プログラム）発足以降、国際協力の枠組みのなかで努力して観測データを蓄積してきた結果です。世界の海洋を決められた測線に沿って高精

度で分析するWOCE（世界海洋循環実験）の高精度観測計画、太平洋赤道域にパイロネート網を展開してエルニーニョを監視するTAO/TRITON計画、全海洋に3,000台のアルゴフロートを展開する計画など、さまざまな観測がなければ、決してできなかったでしょう。しかも、このような計画のなかでは、海洋観測で得たデータは公開して共有することを原則にしています。だからこそ、海洋をグローバルに語れるようになり、IPCCの第4次評価報告書につながったのです。

私たちは確かな気候変動予測を目指して観測を続けてきました。そろそろ、それが実現しかけています。

——では、次にすべきことは？

深澤：まずは、気候変動予測の精度をさらに上げることでしょう。そのためには、観測の仕方、ものの見方を考えていかなければならないと思っています。

以前は、地球のパーツである海の、さらにそのパーツを細かく見ることが観測である、と考えられることが多かったのです。そこで明らかになった知識を、モデル（ある現象を理解したり予測したりするための考

え方や数式）に反映し、それを統合して新しいことが分かる。いままではそのストーリーで進んできましたし、そのやり方は歴史的なサイエンスとして正しい。しかし、そのストーリーが成り立たないのが、いまなのです。観測研究のパラダイム（前提となる考え方や認識の枠組み）が完全に変わりました。パラダイムを変えたのは、コンピュータと数値モデリング技術の発展です。

観測と予測をつなぐ「海洋データ同化」

——観測が必要な時代は終わったのでしょうか。

深澤：いいえ。新しいパラダイムには、いま以上の観測がないと入れません。自然科学には2つの大きな存在意義があります。いまある現実を記録しておくことと、将来を予測すること。予測とは、もちろん科学と技術の集大成ですが、現実を見て記録することこそ、人間の知性がより必要になると思っています。つまり、自然科学の本質は、ものを見て理解を形成するところにある。観測をして現実を記述するというその基本は、未来永劫、変わらないと思います。

アルゴフロートは海洋観測にとって大きな進歩でした。全海洋の水深2,000mまでの海水温と塩分濃度が10日ごとに分かるのですから。でも、アルゴフロートは多いといっても、全海洋で3,000台。平均すると300km四方に1台です。一方、コンピュータとその利用技術がものすごい勢いで発展し、地球シミュレータでは最も細かい計算の場合、海洋を1辺1kmの格子に区切って計算しています。300km四方で1点しか観測できない私たちのデータが気候変動予測の精度を上げることに役立つと、どうして言うのでしょうか。

コンピュータの発達あるいは気候変動予測技術の進展に見合ったデータの供給によって、予測をサポートでき、そして海洋科学そのものを増強できる新しい観測手法を考えないといけない時代なのです。

——具体的には？

深澤：観測は、時間も空間も非常に限定されます。でも、現実をとらえることができます。一方、予測は、時間・空間にとらわれない。ただし、予測した結果が正しいかどうかはその時が来るまで分からない。その両者をつなげる方法が必要です。

——そんな方法があるのでしょうか。

深澤：観測船での観測は時間的にも空間的にも制限が大きいです。非常に精密なデータが取れます。定点観測であれば、空間は限られますが、時系列のデータを得ることができます。アルゴフロートは、船での観測より精度が落ちますが、10日ごとに全海洋のデータが取れます。人工衛星は広範囲を同時に観測することができますが、精度には限界があります。このように観測方法には一長一短があり、いままでは各観測で得られたデータは別々に解析されていました。しかし、あらゆる観測で得られたデータを1つの視点でとらえることができれば、観測における時間と空間の制限は一気に解決するでしょう。そうなれば、予測の精度向上をサポートできます。

そのために私たちが注目しているのが、「海洋データ同化」です。異なった観測によって得られたデータを、力学的に合うように調整する手法です。時間と空間はどちらも力学に基づいた運動方程式で表され

深澤理郎

地球環境観測研究センター センター長に聞く

BEAGLE 2003
航海中の
深澤センター長
「気候変動予測をするためには、とにかく現実を見ることが重要。そして、それを続けるというしかないのです」。左：大学時代の弟子とそのまた弟子と一緒に「みらい」の甲板で。右：船室にて



ますから、必ず結び付けることができます。同化の発想を進めると、時間と空間を区別しないで海洋の状態を認識する方法があるはずなんです。

私たちが過去に持っている知識が必要と考えられる観測手法は、もう出そろってこれからは、まったく新しい観測から観測手法を考えることが重要です。その手法は、海洋のデータ同化を通じて気候変動予測の精度向上のための海洋モニターともなるし、また同時に個々の現象を力学的プロセスで理解するためのデータをも与えるものとなるはず。それが海洋観測の新たなパラダイムなのです。

現場で見ると、次まで見える

——深澤センター長はこれまでに多くの観測航海を経験されていますが、その魅力は？

深澤：実は、船に乗ること自体は、あまり好きではないんです。でも、いま海がどうなっているかを見ることが出来るから、海に出たい。私の頭の解析能力はコンピュータの何百万分の1かもしれません。しかし、私たちに直観というものがある。自分で現場に行き、これまでに見られなかったことがない新しいデータを見ると、頭のなかで知識と結びついて、しっかりしたかたちを取ります。「ああ、こうだったのか」と。もちろん、頭のなかに漂っている知識が少なければ発見はありません。

——同じデータを、現場で見ると、陸上の研究室で見ると、分けることが違

ったりしますか。

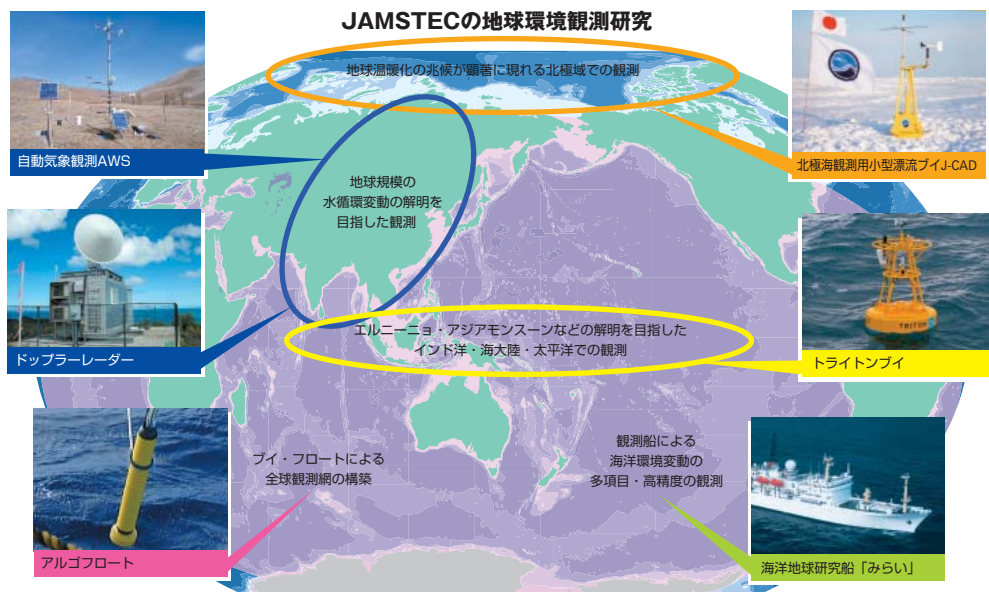
深澤：それは変わらないでしょうね。変わったらサイエンスではない。けれども、何かが違うんだよ。うまく表現できないけれど、私だけかもしれないけれど、現場で見ると、その次までもが見える感じがする……。やはり現場で観測することは必要なのではないですか？

——観測は気候変動予測を目指してきました。それが実現したら、その先は何を目指すのでしょうか。

深澤：さらに広範な環境変動予測でしょうね。大陸移動など固体地球のダイナミックな動きまで扱う必要が出てくるのではないですかね。そのためには、炭素循環、窒素循環、水循環など、物質循環の解明が必須です。気候変動予測を環境変動予測にまで昇華させていくことは、すべての物質循環を理解していくことと同義です。物質循環の観測技術は、日本も世界と肩を並べています。BEAGLE 2003と同じ南極を一周する測線を「みらい」でもう一度観測したら、首一つリードするかもしれませんね。

——最後に、研究者としての夢をお聞かせください。

深澤：そんな格好いいこと言えないよ。でも、自然科学は百言をろうさずとも、結局は人間のための学問なんです。人間のための学問をする人が、人間に対して優しくないというのはあり得ない。人に優しい自然科学者になったかった。そんなところかな。 **BE**



小笠原海洋センター

中国からやって来た アオウミガメ

5月14日夜、調査のために小笠原海洋センターの下にある浜に出ると、アオウミガメが上陸していた。甲羅には朱色で漢字が書かれている。5月から8月にかけての夜、小笠原各地の砂浜にウミガメが産卵のために上がってくるのだ。しかし、このウミガメが上がってきたところは、サンゴダストと呼ばれるサンゴのかけらが敷き詰められた浜辺だ。ウミガメが産卵のために穴を掘ろうとしても、無理。日付、甲長などを記録し、プラスチックの標識を後ろ足に付けて、様子を見ることにした。

翌日には、昨日の上陸場所から100mほどのところに再びあのカメがいた。標識に甲羅の文字。間違いない。2夜連続の上陸、体力の消耗も考えて、いけす保護することに決めた。センターの

いけすには産卵場もある。ここなら無事に産卵できるはずだ。

小笠原海洋センターでは1982年からウミガメの生態調査と保全を行っている。ウミガメの卵を人工ふ化させ、育てて海へ帰すという保護活動だ。ある程度の大きさまで育てることで自力で餌をとることができるようになり、外敵に襲われる確率も低くなる。

それにしても、背中の中は何を意味するのだろうか。中国人の友達を通して、甲羅の文字について調べてもらう。

間もなく、そのウミガメは中国広東省で食用にされようとしていたところを僧侶に助けられて、1月中旬に現地で海に放流されていたことがわかった。このカメは中国から小笠原まではるばるやって来たのだ。以前、台湾と小笠原で同じウミガメが確認されたことはあるが、中国大陸から来たことが確認されたのは、初めてのことだ。「Miss China」。センターでは、このウミガメをそう呼ぶことにし

た。アオウミガメは、アジア各地で食されている。小笠原もそうした習慣を持つ地域の一つだ。ウミガメを食べること、それは小笠原の大切な文化でもある。

小笠原海洋センターではふ化の技術的方法や餌の種類を工夫し、多くのウミガメを育て、放流する方法を確立してきた。この保護活動の成果によるものか、小笠原ではウミガメの産卵数が徐々に増えてきている。

5月15日、「Miss China」が77個の卵を産んだ。45～60日後には、体長5cmほどの小さな子どもたちが誕生するだろう。そして約1年の飼育後、今度は子どもたちが海を渡る番だ。

(取材協力：山口真名美 所長 小笠原海洋センター)

■Information:

特定非営利活動法人エバーラスティング・ネイチャー
小笠原海洋センター
〒100-2101 東京都小笠原村父島字屏風谷
TEL 04998-2-2830
URL <http://bonin-ocean.net/>



ふ化後4～5日すると、子ガメは巣穴から脱出する。そして一斉に海へと向かう



中国広東省徐聞県にある普善庵という寺の僧侶が助けたアオウミガメ「Miss China」は、5月15日無事77個の卵を産んだ。甲羅には「広東」「徐聞」「普善庵」「家弟子」などの文字が彫られていた。6月2日にも再度上陸し、95個の卵を産んだ。今後、ハワイにある米国国立水産局、太平洋水産科学センターの機材提供により衛星発信機を背中に装着し、放流後も追跡調査を行うことが決まっている



ふ化直後のアオウミガメ。甲長は5cmほど

アオウミガメは、体内の脂肪分が青みがかかった緑色であることから、そう呼ばれている。小笠原諸島は日本最大のウミガメの繁殖地となっている。成体の甲長は1mを超えることもある ©杉森雄幸

自分の心の声を聞く

原田尚美

地球環境観測研究センター
地球温暖化情報観測研究プログラム
古海洋環境復元グループ サブリーダー



原田尚美（はらだ・なおみ）
北海道生まれ。理学博士。名古屋大学大学院
理学研究科大気水圏有機化学専攻修了。
1995年、海洋科学技術センター 研究員。
2004年より現職。専門は地球化学、古海洋学

太平洋赤道域。みんなで重労働の末、海底の堆積物を採取した。「真っ白でとてもきれいな堆積物でした。その美しさに感嘆して、このサンプルを自分で分析したいと思いました」。そのとき修士課程2年生の秋。翌春には企業へ就職する予定だった原田尚美サブリーダー（SL）は、進学を決断、研究者を志すことにした。海洋科学の魅力は、「やはりフィールドワーク。日常生活とは完全に切り離された世界の素晴らしさ、厳しさを体験できることです」と語る原田SLは、海底堆積物に刻まれた気候変動の歴史を読み解き、そのメカニズムに迫ろうとしている。

『科学朝日』で海と出会う

——ずっと研究者になりたいと思っていたのですか。

原田：いいえ。高校生のときは、現代国語に興味があり、その先生の授業がとても面白かった。でも、化学も面白いと思っていました。

——それも先生の影響ですか。

原田：はい。ただし化学の場合は逆で、先生のことが大嫌いでしたので、授業にまるで身が入らない（笑）。でも試験があるので自分で勉強をしているうちに、化学の面白さに気がきました。

——海に興味を持ったきっかけは？

原田：私の父が『Newton』を創刊号から購読していたりして、科学雑誌がいつも身近にありました。高校3年の夏だったと思います。自分で買った『科学朝日』に、

名古屋大学の半田暢彦先生が書いた記事が載っていました。地球温暖化と海洋についての記事です。海は魚がいるところ、というくらいのイメージしかなかったのですが、海が二酸化炭素を吸収していて地球温暖化と深く関係しているかもしれないという内容が、とても新鮮でした。その記事で「地球化学」という研究分野があることを知り、興味を持ちました。ちょうどそのころ、弘前大学から教育実習に來ていた先生に、「うちの大学でも地球化学を学べるよ」と聞いて、結局、文科系へ進むことより、地球化学の分野へ進むことを選びました。

フィールドワークの魅力

——学部を卒業後は？

原田：偶然ですが、高校生の当時に読ん

だあの『科学朝日』の記事を書いた名古屋大学の半田先生の研究室へ進みました。そこは学部を持たない大学院大学で、研究所全体にさまざまな大学から学生が来ていました。そのときから海底の堆積物を分析する研究に携わっています。海底堆積物の大部分は、海の表層にすんでいたプランクトンの死骸です。それを化学的手法で分析して、年代を測定したり当時の水温や気候を推定したりする研究です。でも、修士課程が終わったら就職するつもりでした。私には研究者としてやっていける能力はないと思っていましたから。

——研究者を目指すことにしたのは、なぜですか。

原田：修士論文のサンプルは、すでに研究室にあったものを使っていたため、フィールドワークに参加する機会がありま

せんでした。2年生の夏までに修士論文を仕上げることを条件に、半田先生に頼んで、やっとその秋、東京大学海洋研究所の学術研究船「白鳳丸」による太平洋赤道域への航海に参加させてもらうことができました。もちろん作業は大変でしたが、すごく楽しかったですね。重労働の末、海底堆積物を採取しました。赤道の堆積物は真っ白で、とてもきれいなんです。まるでチーズケーキのよう。しかも千年、万年という時を経て堆積物が引き上げられた瞬間を目の当たりにしたのです。それまでほかの人が採ってきた海底堆積物のサンプルで研究していましたが、自分が参加して、みんなで苦労して採ったサンプルの印象は、まったく違いました。

しかし、そのときにはすでにある企業か

ら内定をもらっていたので、自分ではそのサンプルを分析して研究を続けることはできません。半田先生に「このサンプルは君の後輩が分析することになるんだね」と言われました。その一言で、そのサンプルを使って自分で研究できないことがとても惜しくなり、内定を辞退し博士課程へ進学することを、その場で決断しました。

南極へ

——その後、南極地域観測隊に参加されましたね。

原田：博士課程1年生のとき、運よく行くことになりました。当時、女性は越冬ができず、第33次夏隊（1991～1992年）に参加しました。

4ヵ月半、とてもよい経験でした。でもその後、思い悩むようになりました。私

オホーツク海、「みらい」の船上で作業を行う原田SL。「北の海は荒れています。でも、南極周辺の海に比べたら、たいしたことはありません。南極周辺で大波が来ると、船は大きく傾き、壁を歩きそうになります」





南極地域観測隊第33次夏隊（1991～1992年）に参加した原田SL。「南極は白と茶しか色のない世界でした。視線を感じて振り返ると、ペンギンがこちらをじっと見ていたということもあります」

が日本の南極地域観測隊に参加した2人目の女性でしたので、行く前、そして帰国してから、たくさんの新聞や雑誌から取材を受けたり講演会があったり。よい研究をして注目されるのだったらうれしいのですが、そうではなく、女性だということだけで騒がれることに、とても違和感がありました。

南極地域観測隊へ参加したという経験を伏せて研究生活を歩みたいと思うようになり、海洋科学技術センター（現・海洋研究開発機構）へ入るときも、履歴書に南極のことは職歴として書きませんでした。採用された後、上司から「君は、南極へ行っているはずだね。文部技官として参加しているのだから、職歴としてきちんと書くべきなのだ」と怒られました。たまたま、その方は南極地域観測隊OBだったのです。上司と話しているうちに、考え過ぎていたのかもしれない、それほど悩む必要のなかったことだと思い直しました。

気候変動のメカニズムに迫る

——現在、どのような研究をしているのですか。

原田：海底の堆積物を分析して、数百年から千年周期で繰り返される気候変動を調べています。このような気候変動が最初に確認されたのは1980年代の後半、グリーンランドの氷床の分析からです。過去十数万年の氷期の気候を調べてみると、100年くらいの短い期間に急激に温暖化し、その後少しずつ寒冷化して、さらに急激な寒冷化が起きる——このような激しい気候変動が数百年から千年周期で繰り返されていることが分かったのです。

1990年代には海底堆積物の分析から、大西洋やアラビア海、インド洋でも同様な気候変動が起きていたことが明らかにされました。

——北太平洋での観測は？

原田：水深が深いところでは、表層で合成される有機物の大部分が水中で分解されてしまうため、堆積物がなかなかたまりません。海底堆積物から過去の気候を復元するには、堆積速度の速い場所を選ぶ必要があります。太平洋は広いのですが、そのような場所が少ないせいか、この分野の観測データが大西洋などに比べてとても少ない状況でした。

私たちは、海洋地球研究船「みらい」な

どによって採取されたオホーツク海やベーリング海の海底堆積物を分析しています。すると、大西洋とはほぼ同時期に温暖化や寒冷化が起きていました。グリーンランドで確認された激しい気候変動が太平洋側でも起きていて、少なくとも北半球全域で起きていたらしいことが分かったのです。

——どのようなメカニズムで急激な寒冷化や温暖化が起きるのですか。

原田：そのメカニズムは謎ですが、海の変動が原因だという説があります。大西洋ではメキシコ湾流という暖流が赤道域から北上しています。ヨーロッパや北アメリカ東部が高緯度のわりに温暖なのは、この暖流のおかげです。北上した海水は冷やされ、塩分濃度が高いため、グリーンランド沖で沈み込みます。その後、この海流は世界中の深層を約1,500年かけて巡る大きな流れになると考えられています。これを「深層循環」といいます。

しかし、氷期に北米大陸やヨーロッパの広い地域を覆っていた大陸氷床が崩れ、北大西洋へ大量の淡水として流れ込むと、塩分濃度が下がります。すると沈み込みが起きなくなり、深層循環が停止、メキシコ湾流の北上も弱まり、急激な寒冷化が高緯度から起きた——それが仮説の一つです。しかし、大西洋で起きた寒冷化が、どのようにして北太平洋など北半球全域に伝播したのか、うまく説明できていません。

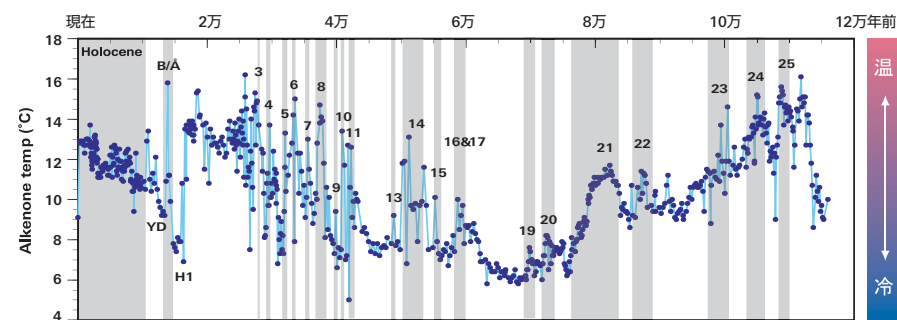
——急激な温暖化については、どのような説があるのですか。

原田：やはり海の変動に原因があるという説があります。地表や海の表層が寒冷化しても、海全体が寒冷化したわけではなく、中層や深層に暖かい海水が次第にたまっていった。それがあつとき深層水を形成する大西洋高緯度域の表層に持ち上がることで対流が始まり、深層循環が再び動き始め急激な温暖化が起きた、という説です。しかし、いずれも仮説のままです。

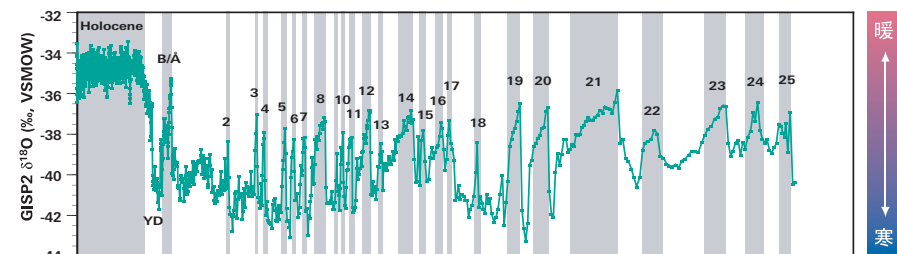
——現在も、氷期のような急激な気候変動が起きる可能性はあるのですか。

原田：最後の氷期は1万8000年前に終わりましたが、その後、現在のような温暖な気候になるまでの過渡期に、急激な寒冷化が起きたことが知られています。

さらに、温暖で気候が安定した最近の1万年間にも、氷期ほど激しくはありませ



オホーツク海南西部における表層水温変動 (Harada et al., 2006)



グリーンランド氷床コアに記録された酸素同位体変動 (Grootes and Stuiver, 1997)

オホーツク海の表層水温とグリーンランドの気候変動 番号が振られたグレーの箇所は温暖期を示す。大西洋側（グリーンランド）と太平洋側（オホーツク海）で、ほぼ同時期に急激な温暖化と寒冷化が起きていることが分かる

んが、温暖化と寒冷化が約1,470年周期で繰り返されていることが分かってきました。もしかしら、これらの気候変動には、共通のメカニズムが働いているのかもしれませんが。氷期のような大きな変動幅ではないと思いますが、現在も、ある海域の水温や塩分濃度のわずかな変化が、地球規模の気候変動を引き起こす可能性があるかもしれません。

ただし、そのような可能性を探るには、気候変動のメカニズムを突き止める必要があります。現在の古気候モデルでは、数百年から千年の周期を持つ気候変動をコンピュータ上で再現することはできていません。私たちは、さらに観測を進めデータを蓄積するとともに、古気候モデルの人たちと連携して気候変動のメカニズムを解明していきたいと考えています。

夢のような体験

——海洋科学の魅力は？

原田：やはり私にとってはフィールドワークですね。肉体的にはきついのですが、日常生活と完全に切り離された世界へ行



オホーツク海で採取した海底堆積物の試料を切り出す原田SL（右）

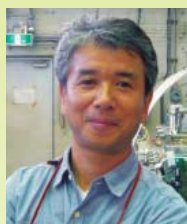
くことができます。まったく陸地の見えない海域で何ヵ月も過ごしたり、日本ではとても見られないような日の出や夕日を体験したり……。フィールドから帰ってきて振り返ると、夢を見ていたのではないかという錯覚によく陥ります。夢のような世界の素晴らしさ、厳しさを体験できる職業は、なかなかないと思います。——最後に、研究者を目指す若い読者へ、アドバイスをお願いします。

原田：私自身は、中高生のころから研究者を目指していたわけではないのですが、後悔しないように、その時々やりたいと思った道を選択した結果が、いまにつながっています。どのような道を選ぶにせよ、進路を決断するときは、周囲の反対や難しい状況があったとしても、自分の心の声を聞いてほしいですね。その熱意を周囲に伝えることで、きっと理解が得られるはずです。

BE

海中ロボット「うらしま」の最新技術で 深海底を探る

(2007年1月13日 第57回地球情報館公開セミナーより)



海洋工学センター
自律型無人探査機技術
研究グループ
サブリーダー

目岡 哲

つきおか・さとし。1961年、東京都生まれ。工学博士。電気通信大学大学院博士後期課程単位取得退学。1985年、文部技官。1991年、海洋科学技術センター深海開発技術部などを経て、2007年より現職。九州大学大学院総合理工学府客員准教授。細径ケーブル式無人探査機「げんたつ」[UROV7K]、大深度無人探査機「かいこう」、自律式探査機の深海巡航探査機「うらしま」の開発に従事

海は地表の70%を占めるにもかかわらず、意外なほど、その実態が分かっていません。陸上と環境が大きく異なる深海では、特殊な探査技術が必要となるため、いままお神秘的なベールに包まれたままです。この広大な深海を探索するために、無人で探査を行うことができるロボットの開発が進められています。深海巡航探査機「うらしま」は、コンピュータを搭載し、あらかじめプログラムされた指令に従って探査を行うことができる自律式の中ロケットです。「うらしま」の誕生によって、深海探査は格段に進展すると期待されています。「うらしま」を支える最新技術と、深海探査の結果を紹介しましょう。

地表の約7割を占める海洋は、第二次世界大戦後、エベレスト山の高さよりも深い海淵の存在が知られるようになりました。その結果、未踏の世界であった深海底を探索するための潜水船や無人探査機の開発が進められてきました。ところが海中は、10m深度を増すごとに1気圧(0.1MPa)ずつ圧力が増大し、加えて塩分があるため電波を通さないという、大気中とはまったく異なる環境です。陸の平均標高は約800mですが全海洋の平均水深は3,800mもあり、陸上とはかなり違う環境であることが、1950年代以降、ようやく分かってきました。わずか数十年の海底探査の歴史において、各国では資源探査のために、大陸棚や深海探査技術の関心が高まっています。

これまでつくられてきた深海探査機の多くは、人が乗り込む潜水調査船、あるいは母船とケーブルでつながっている遠隔操作式の無人探査機でした。しかし、広大な海には、人が行けない危険な場所や、ケーブルがつかないところと探査できない場所があります。このような海域を効率よく探査するために、コンピュータを搭載してプログラムによって独力で海中の探査を行う、いわゆる海中ロボットの研究と開発が進められています。

海洋研究開発機構(JAMSTEC)が開発を進めてきた深海巡航探査機「うらし

ま」の要素技術と探査事例を紹介します。

高圧に耐える強靱な材料と 軽量な材料の攻防

ロボットといえば動物のような形と動きをイメージすることが多いのですが、海中ロボットにもさまざまな形態があります。海中ロボットの「うらしま」(図1、以下「海中ロボット」と称す)は、ひたすら航行しながら計測を行い、データを取得して帰ってきます。空中で7.4トンの海中ロボットは、海中に入ると浮きも沈みもしない状態をつくり、深海の高圧に耐えながら魚のように自由に海中を移動できるようになります。

潜水艦は船体を耐圧構造とし、居住空間をつくり出すと同時に海水を注排水できるバラストタンクを用いて船体が浮きも沈みもしない状態(中性浮力)になるように調整して、海中を航行します。ところが、潜航深度が増大すると水圧が高くなるので、全体を圧力でつぶれないようにするには、非常に強力な耐圧構造が必要になります。このため船体が重くなり、船体も浮力だけでは中性浮力を調整できなくなるので、数千mで潜航させるためには耐圧構造を小型化する設計を行います。

海中ロボットの最大潜航深度における環境圧は、水の密度を約1g/cm³とすると

35MPaにも達します。耐圧容器(図3)の小型化ができれば、表面積は小さくなり、全体で受ける圧力を小さくできます。小型の容器を耐圧構造にして電子機器などを収納しました。さらに軽量化のために、強靱で軽い材料を検討しました。強度や比重の異なるさまざまな金属材料のなかから、強くて軽いチタン合金や超超ジュラルミンを採用しました。

しかし、小型の耐圧容器は海中で得られる浮力も小さくなってしまいますので、海中ロボットは十分な浮力が得られず沈んでしまいます。機体に浮力を付加し、中性浮力を得ることを考えなくてはなりません。浮力を得るために、浮力材と称する材料が必要になります。浮力材は海水より小さい密度の物質であると同時に、高い環境圧に耐える強度も求められます。過去には浮力を得るために海水より密度が小さく、かつ高い環境圧でもつぶれないガソリン(密度0.75g/cm³、15℃)を利用した例があります。

現在は、シタックチックフォームと呼ばれる軽い浮力材が実用化されています。シタックチックフォームは、中空のガラス球(ガラスマイクロバルーン:直径数十μm、図2)に高分子材料(エポキシ樹脂)を混ぜて固形物にします。エポキシ内部の微細な空隙(ガラス球)によって、海水よりも軽くて丈夫な材料になります。さらに、製作したシタックチックフォームは、機械加工によって任意の形状に形成できるのです。このように海中ロボットは強靱な耐圧容器と軽量なシタックチックフォームによって構成されています。耐圧容器と浮力材は角材やパイプで構成されるフレームに取り付けて、図3に示す機体の完成です。

苦労した燃料電池の開発

深海探査には圧力のほかに、さらに2つの壁が立ちはだかっています。空気がないこと、光や電波が届かないことです。

大気中では、ガソリンエンジンやジェットエンジンなどの燃料を大気と混ぜて燃焼させて動力を得るエネルギー変換技術が多用されています。燃料を搭載すれば、熱機関によって移動用の動力を得ることができます。一方、海中では大気を利用できないので、推進力を得るために電力を動力に変換するモーターを利用し

図1 支援母船に回収作業中の深海巡航探査機「うらしま」
2005年には燃料電池を搭載した自律型無人探査機として世界記録となる317kmの連続自律航行を達成した



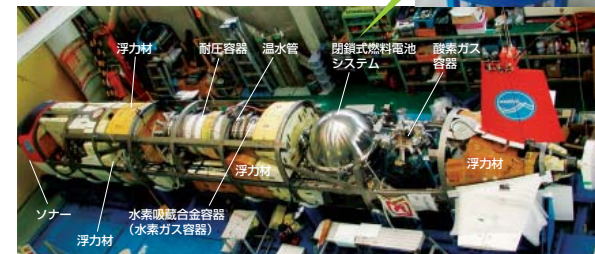
最大使用深度	3,500m
航続距離	100km以上(リチウムイオン電池を搭載時) 300km以上(燃料電池を搭載時)
寸法	長さ10m×幅1.3m×高さ1.5m
質量	約8トン(リチウムイオン電池を搭載時) 約10トン(燃料電池を搭載時)
速力	3ノット(最大4ノット) (1ノットは時速1.852km)
動力源	リチウムイオン電池または燃料電池
運用方式	自律航行、音響追跡(無索、母船追従)



図2 浮力材「シタックチックフォーム」の材料
直径10〜30μmの中空のガラス球。これを樹脂で固めると図3の黄土色をした浮力材の部分になる

図3 整備作業中の「うらしま」と閉鎖式燃料電池システム

耐圧容器や浮力材がフレームに固定される



ています。潜航時間が長いほど電力量が増大するため、電力貯蔵技術が課題となります。

近年、地球温暖化など環境問題のために化石燃料に代わる水素エネルギーが注目されています。燃料電池は直接エネルギー変換技術と称され、水素と酸素から水が生成される反応で移動する電子を、外部で利用できます。海中ロボットの電力貯蔵として、銀亜鉛やリチウムイオンを使った高性能二次電池と水素エネルギーを比較すると、後者の方が高いエネルギー密度が期待できることが分かりました。

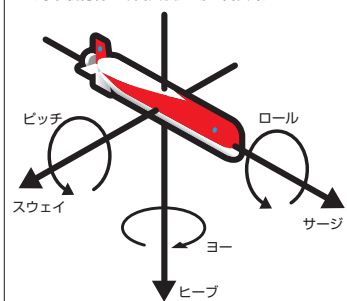
そこで、水素と酸素の反応を電力に変換する固体高分子型燃料電池を海中ロボット用に採用しました。図3のように耐圧容器に収納するため、未反応のガスと生成水を外部に放出せず再利用することから、閉鎖式燃料電池(図3上)と称してい

ます。発電性能は、海中ロボットの消費電力から最大4.2kWに決定しました。

また、水素貯蔵量は消費電力と目標の航続距離から5,600molに決定し、水素吸蔵合金に貯蔵しました。水素吸蔵合金の水素解離には、燃料電池の排熱を利用する「コジェネレーションシステム」を構成して、図3のように耐圧容器に収納しました。その結果、同規模のリチウムイオン電池よりも水素と酸素のエネルギーは大きく、約3倍の航続距離(320km)を実現し、次世代の海中動力源のためのセル(燃料電池をつくる一単位)や閉鎖システム構成の研究課題も明らかにになりました。ちなみに320kmの航行での電力量は約190kWhに達し、これは一般家庭の1ヵ月分の消費電力の2/3に相当します。

水素は常温常圧で気体として存在するので、圧力容器を用いて高圧で貯蔵する方法が一般に利用されています。近年、

A 海中航行体の6自由度運動の各要素



慣性航法ではこれら6自由度の運動を時々刻々計測して移動量を計算して、緯度・経度の座標系に変換する

B 慣性航法と音響航法を組み合わせることで海中を長時間航行させる

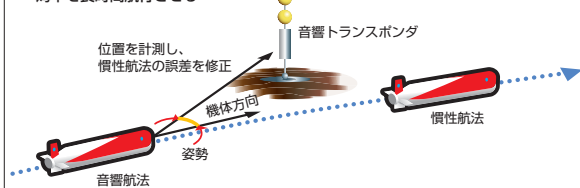


図4 位置を把握するための慣性航法と音響航法

海中航行体の運動は、Aに示す機体固定座標系においてサージ、ヒーブおよびスウェイの直線運動とヨー、ピッチおよびロールの回転運動を成分とする、6自由度の航行を行う。慣性航法ではこれら6自由度の運動を時々刻々計測して移動量を計算して、緯度・経度の座標系に変換する。一方、音響航法は安定した計測精度を期待できる反面、音波が減衰する長距離の計測には不向き。海中での位置計測の基本は距離と方位の計測であり、水中音響におけるソナー技術により海中を航行する物体の航路を計測し、誘導する。この2つの航法を「うらしま」では併用している

A 海中ロボットによる調査海域図

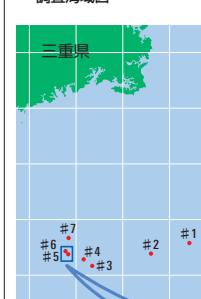
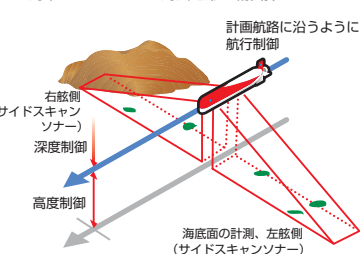


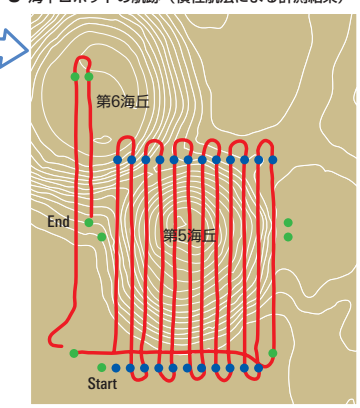
図5 熊野トラフ第5海丘の探査

「うらしま」は三重県沖の熊野トラフで泥火山の探査を行った(A)。#1~#7は、それぞれ第1海丘から第7海丘という泥火山の位置を示す。「うらしま」の右舷と左舷にあるサイドスキャンソナーから超音波を出し、海底から跳ね返ってきた信号を受け取る。信号の強弱から地形の微細な起伏が分かる。「うらしま」は、片道2km弱を100m間隔で、芝刈り機のように何度も往復しながら海底の地形データを取得した

B 海中ロボットによる海底地形の精密探査イメージ



C 海中ロボットの航跡(慣性航法による計測結果)



水素の貯蔵を低圧で実現する水素吸蔵合金が実用レベルに達するようになってきました。水素吸蔵合金は、金属の水素脆性(水素によってもろくなる現象)を積極的に利用して金属結晶のなかに水素を取り込むために、漏れやすい水素を安全に貯蔵することができます。また、水素の吸蔵と放出はそれぞれ吸熱反応と発熱反応なので、吸蔵合金から水素を放出させる制御は単純に実現できる可能性があります。ところが、水温の低い深海では水素を放出させるための熱の調達が課題となりました。当初、熱の収支が赤字で水を温め、その温水で水素吸蔵合金を温めて水素を取り出す仕組みをつくりましたが、深海の冷たい環境では熱が逃げ出してしまい、うまく稼働しませんでした。

この問題を解決したのが、先ほど紹介した浮力材、シタックチックフォームです。シタックチックフォームは中空のガラス球のなかに空気が閉じ込められているため熱を伝えにくいこと、つぶれにくいこと、さらに加工しやすい性質から深海では理想的な断熱材となるのです。温水の流れるパイプと燃料電池をシタックチックフォームで覆いました。すると、何度もあきらめかけた水素の供給が安定して、燃料電池がうまく稼働するようになったのです。

ロボットが自分の位置を知る方法

もうひとつの深海探査の壁、光や電波が使えないことは、どのようにして自分の位置を知るのかという問題につながります。

海中では電磁波が伝播しないため、カーナビで使われているGPSすら利用できません。そのため、海中で位置を知ること、海中ロボットをプログラムした経路に航行させるために海中の位置計測を行うことは、最も基本的で重要な課題となります。海中ロボットは図4に示すように、慣性航法と音響航法による座標修正を繰り返して長時間の潜航を実現しています。

慣性航法は、運動センサーのいわばズレ(誤認)である「ドリフト」が問題とならない短時間での航法には有効ですが、ドリフトなどに起因する位置誤差を無視できなくなる長時間の運用には不向きです。その原理は、海中ロボットの運動が

ニュートン力学に従うとして運動を時々刻々計測して移動量を求めます。もともと慣性航法は高速で運動し、かつ計測の時間も短いロケットや航空機などの運動計測や誘導技術として開発されてきたという経緯があります。

音響航法は、音響トランスポンダと音波で通信して距離と方位を計測する技術です。海底に音響トランスポンダを設置して、海中ロボットから音波(質問信号)を送信すると、音響トランスポンダは音波(応答信号)を放射します。海中ロボットと音響トランスポンダの距離は、音の往復の時間から求めます。海中ロボットには、人の左右耳のように複数のハイドロフォン(水中マイク)を持たせています。トランスポンダの音波の到来方向を、複数のハイドロフォンで受信したそれぞれの音波の差から計測します。海中ロボットを基準として、音響トランスポンダまでの距離と方位を同時に求めることができます。海中ロボットには、あらかじめ音響トランスポンダの座標をプログラムしてあるので、距離と方位の計測値から海中ロボットの絶対座標を算出し、慣性航法の座標を修正することができます。このように海中ロボットは、慣性航法と音響航法の長所を組み合わせることで長距離の航行を実現しました。海中ロボットの速度は時速5kmと低速なので、リングレーザージャイロなどの高精度な運動センサーの出現によって、初めて実用的な慣性航法が可能になりました。

音によって鮮明な画像を得る

最後に「うらしま」の科学的成果の一部を紹介しましょう。三重県沖に熊野トラフという場所があります。東南海地震という巨大地震の震源に近い海域です。東京大学海洋研究所と連携して、ここを「うらしま」で探査しました。

熊野トラフは「海盆」と呼ばれ、お盆のような地形をしています。ここには7つの泥火山があることが、JAMSTECの調査によって分かっています(図5A)。海底下のメタンハイドレート層を突き破って上昇してきた流動的な物質が、山体(泥火山)を形成すると考えられています。メタンハイドレートとは、メタンが氷に閉じ込められたもので、エネルギー資源として大変注目されている物質です。

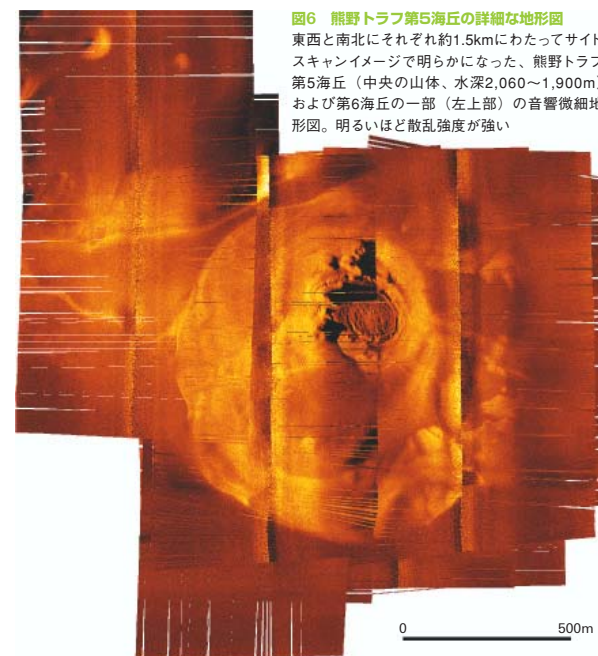


図6 熊野トラフ第5海丘の詳細な地形図
東西と南北にそれぞれ約1.5kmにわたってサイドスキャンイメージで明らかになった、熊野トラフ第5海丘(中央の山体、水深2,060~1,900m)および第6海丘の一部(左上)の音響微細地形図。明るいほど散乱強度が高い

海中ロボットに搭載したサイドスキャンソナー(図5B)によって第5および第6泥火山に接近してデータを取得しました。海中ロボットはケーブルなどによって運動が拘束されないで、運動が安定し海底に接近した計測が可能になります。海中ロボットのサイドスキャンソナーは超音波を出して、跳ね返ってきた信号を受け取り、その強弱から地形の特徴を計測する音波探査装置です。使用した音波の周波数は120kHz、人の耳では聞こえない超音波です。解像度を上げるためには、可能な限り高い周波数を利用し、かつ海底に接近してデータを取得しなければなりません。

あらかじめ航行計画を作成し、海中ロボットの探査経路を決定します。潜航中の状態は支援母船「よこすか」に音響信号で送られてきます。海中ロボットは時速約5kmで進みながら超音波を出し、南北2kmを東西に100mずつ移動しながら往復して、地形のデータを記録していきます(図5C)。また、海底からの高さ(高度)を一定にしてデータを取得しました。その結果、合計24kmを航行し、第5海丘頂上の泥火山の噴出口の様子を鮮明にとらえることができました(図6)。

「うらしま」のようにプログラムに従って、運動がケーブルなどに拘束されずに安定した姿勢で航行する海中ロボットによってこそ、深海の海底探査の効率は格段に上がるのです。

進化を続ける「うらしま」

「うらしま」によって実証された海中ロボット技術は、今後も工学的手法によって改良や改造を続け、実用化を目指したいと考えています。特に海底の精密探査では、制御技術と測位技術の課題が多く残っています。

一般に水深200mを超えると深海と定義されます。人工衛星で観察できるのは海面のごく表層だけであって、地球表面の7割の海底はよく分かっていません。わが国は狭い国土でありながら、排他的経済水域は世界で6位の広さを持ちます。そこにはメタンハイドレートなどのエネルギー資源や、マンガンなどの希少金属が埋蔵されています。また、複数のプレートが衝突する海溝を有し、海溝型地震や津波などに伴う災害を減じる対策も不可欠です。新しい技術を集大成した海中ロボットによる深海精密探査は、始まったばかりです。

BE



「ちきゅう」 海外試験掘削を終了 いよいよ 研究掘削へ！

地球深部探査船「ちきゅう」は、巨大地震が発生する場所やマントルまで掘り進むことができる世界初の科学掘削船である。これまで例のない海底深くの掘削を可能にするポイントは、ライザー掘削だ。ライザー掘削とは、掘削船から海底まで降ろしたライザーパイプのなかにドリルパイプを通し、泥水を循環させて孔を保護しながら掘削くずを押し出し、掘削する方法。もともと石油掘削に使われている技術で、この方法を科学研究用に初めて導入したのが「ちきゅう」だ。

「ちきゅう」はライザー掘削



日本への帰路、シンガポールにいきなりを下ろす地球深部探査船「ちきゅう」

の技術を蓄積するため、2006年8月の下半島東方沖での掘削試験に引き続き、11月から海外試験掘削を行っていた。ケニア沖1ヵ所、オーストラリアの北西大陸棚2ヵ所でライザー掘削を実施。ケニア沖では潮の流れが強いなか、水深約2,200m、海底下約2,700mのライザー掘削に成功した。オーストラリアでの試験掘削の際、波などの揺

れを吸収するとともにライザーパイプの重量を支えるライザーテンションナーという装置が一部破損するトラブルが発生したが、当初の目的を達成し、7月17日に終了した。

秋からは、統合国際深海掘削計画（IODP）の最初のプロジェクトである「南海トラフ地震発生帯掘削計画」を開始する予定だ。東南海地震など巨大地震の

震源域である紀伊半島沖の南海トラフで掘削を行う。試料を回収するとともに、掘削孔に観測装置を設置して長期計測することによって地震発生のメカニズムを明らかにすることを目指す。

地球深部探査センター（CDEX）プレスリリース2007年7月18日より

エチゼンクラゲから 有用物質を発見

日本海などで大発生し、漁業に大きな被害をもたらしているエチゼンクラゲ。厄介者のエチゼンクラゲだが、「ムチン」と呼ばれる有用物質が大量に含まれていることが、理化学研究所環境ソフトマテリアル研究ユニットなどの研究で分かった。

ムチンは糖タンパク質の一種



エチゼンクラゲ。傘の直径が1m以上、重さが100kg以上にもなる
写真提供：理化学研究所

で、さまざまな動物の粘液に含まれ、細菌やウイルスから生体を守る抗菌作用や保湿効果を持っている。しかも、エチゼンクラゲで見つかったものは、ヒトの胃液に含まれるムチンと構造が似ていることが分かった。ヒトの胃液に含まれるムチンは、胃がんの原因になるピロリ菌の活動を抑制する作用があるといわれている。ムチンは、医薬品や化粧品、食品添加物などへの応用が期待される物質なのだ。

エチゼンクラゲは1匹で重さが100kgを超え、数十gのムチンを採取できる。しかも、捕獲処分されるエチゼンクラゲは、1地域あたり毎年、数千から数万トンにも上る。研究チームでは、産業化を目指し、企業と共同でエチゼンクラゲからムチンを大量生産するための研究を進めている。

参考資料：理化学研究所プレスリリース2007年6月1日ほか

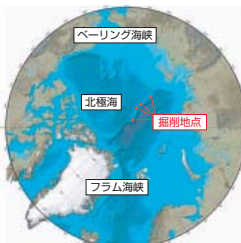
北極海の歴史が 堆積物から 明らかに

北極海がどのように形成され、いまに至っているのか、実はよく分かっていなかった。そこで、北極海の歴史を探るべく、日本など21ヵ国が参加する統合国際深海掘削計画（IODP）の北極海掘削計画（ACEX）研究チームが2004年、北極点に近い北極海口モノソフ海嶺の頂上付近で掘削を行った。

採取した海底下428mまでの堆積物を分析したところ、次のような北極海の歴史が見えてきた。——北極海は、かつて陸に閉ざされた“湖沼”のような状態であった。その後、酸素に乏しく塩分濃度の低い河口の“汽水域”のような状態に変貌。さらに、1750万年前（前期中新世の後期）に、酸素を豊富に含

む“海”へと変化した——湖沼から汽水域、海という状態の変化は、グリーンランドとスバルバル諸島の間に広く深いフラム海峡が形成され、塩分を含む北大西洋の海水が北極海へ流入するようになったためだと考えられている。

現在の北極海では、海水が減少するなど激しい変動が起きている。北極海の歴史を知ることには、北極海の未来を考える上でも重要である。



北極海掘削計画（ACEX）の掘削地点



シーラカンスを解剖 25個の卵を確認

シーラカンスは、「生きている化石」とも呼ばれる魚類で、アフリカ南東沖とインドネシアに、それぞれ違う種類が生息している。

5月、インドネシアで体長131cm、体重51kgのメスのシーラカンスが漁師に釣り上げられ、捕獲された。そして、6月



シーラカンスの解剖の様子
写真提供：アクアマリンふくしま

26日にインドネシアのサムラランギ大学の研究チームが解剖を行ったところ、直径2〜3cm

の卵を25個確認。シーラカンスは、母体内で卵をふ化させて稚魚を産む卵胎生であると考えら

れている。これまでアフリカのシーラカンスでは卵が確認されているが、インドネシアのシーラカンスでは初めてだ。体内で卵からかえった稚魚が育つ輸卵管も確認された。

謎が多いシーラカンスの繁殖方法を知る重要な手掛かりとなる解剖には、シーラカンスの撮影実績もあるアクアマリンふくしまの調査隊が立ち会った。

参考資料：アクアマリンふくしまプレスリリース2007年6月30日ほか

グリーンランドは 森林に 覆われていた

就航10周年 「みらい」を 一般公開

現在のグリーンランドは、その80%以上が氷床や、一年中融けることのない雪に覆われている。氷の世界のイメージが強いグリーンランドだが、かつては森林に覆われていたことが、デンマークのコペンハーゲン大学などの研究チームによって明らかにになった。

研究チームは、グリーンランドの氷床を掘削。採取した氷を分析した結果、深さ2,000mの水からマツやトウヒ、イチイなどの針葉樹、キクやハギなどの植物のDNAが見つかった。ハエやチョウ、甲虫のDNAも発見。これらの結果は、その場所が45万〜80万年前には森林に覆われ、昆虫たちもたくさん生息していたことを意味する。

かつてのグリーンランドには、現在のスウェーデンやカナダ東部など亜寒帯の地域で見られるような森林が広がっていたことだろう。

参考資料：『Nature』2007年7月6日号ほか

また、今年も沖縄の国際海洋環境情報センター（GODAC）からのテレビ中継によるゴダックセミナーを開催。「人工尾びれをつけたイルカ」と題し、沖縄美ら海水族館の獣医師、植田啓一さんが講演を行った。

観測機材整備場では海洋観測で活躍しているトライトンパイやアルゴフロートの実機が展示された。実験教室「二酸化炭素の不思議」も好評で、子どもたちが研究員とともに実験を楽しむ様子が見られた。



トライトンパイなどが展示された観測機材整備場



海洋地球研究船「みらい」の就航10周年を記念した、宮下順一郎 むつ市長らによるテープカット

Present
プレゼントJAMSTECオリジナル
「ステーションナリーセット」

今回は、JAMSTECオリジナルのステーションナリーをセットにして10名様にプレゼント致します。シャープペンシル、ボールペンと蛍光マーカー（イエロー・ピンク）の多色ペン、消しゴム、ものさし（15cm）の5点セットです。

多色ペンに描かれた地球深部探査船「ちきゅう」は、この秋からいよいよ南海トラフで最初の研究掘削を開始します。「YES」は、地球シミュレータがある横浜研究所（Yokohama Institute for Earth Sciences）の略称です。

■応募方法

はがきかメールに①～⑥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（ステーションナリーセット）
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号で一審興味を持った記事
⑧「Blue Earth」へのご意見・ご希望

応募締め切り：2007年10月10日（水）（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

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

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、はがき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4号（通巻90号）2007年8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 (p14-17, p22-25) / 鈴木志乃 (p2-13, p18-19, p30-31) / 坂元志歩 (p1, p20-21, p26-29)

デザイン 株式会社デザインコンビニア (AD 堀木一男 / 岡野祐三 / ほか)

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①～⑥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 地球情報部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案内

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7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IH1	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
株式会社アイ・エイチ・アイマリコンニテッド	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
アイフ印刷株式会社	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
株式会社アクト	国際ビルサービス株式会社	電気事業連合会	富士ゼロックス株式会社
株式会社アサツディ・ケイ	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
アジア海洋株式会社	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
アレック電子株式会社	三建設工業株式会社	洞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	東京海上自衛隊火災保険株式会社	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	東京製鋼繊維ロープ株式会社	古河総合設備株式会社
株式会社エレクトロニクス	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	松本徹章株式会社
株式会社NTT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
株式会社江ノ島リコーボレーション	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ト追浜	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	株式会社マルトロー
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	三菱重工業株式会社
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	日本ビュレット・バックカード株式会社	
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	東日本タグポート株式会社	
神戸ペイント株式会社	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 神奈川県横浜須賀買市夏島町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 沖縄県名護市字豊原224番地3
TEL.0980-50-0111 (代表)
Washington D.C. Office 1120 20th street, NW, Suite 700,
Washington, D.C. 20036, USA
TEL.+1-202-872-0000 FAX.+1-202-872-8300

さらば、夏の北極海——はす は ごおり蓮葉氷と「みらい」

1万1000年前、太平洋と北極海はベーリング海峡でつながった。ベーリング海峡のはるか北、北緯75度を越える北極海。10月初旬、気温は一気に低下し-11℃。白夜の季節は終わり、空にはオーロラが舞い、海には無数の円盤状の海水が姿を現した。海水は、約-2℃で凍り始める。まず直径2～3mmの円盤状の氷の粒子がつくれ、結晶へと成長していく。海水は上下に対流しながら、海水中で氷の結晶を次々とつくりだす。水中はまるでシャーベットのよう。やがて氷の結晶が集まり、丸い円盤をつくる。それが、この写真だ。その形から「蓮葉氷」とも呼ばれる。はす は ごおり蓮葉氷は、波に揺られてぶつかり合い、縁がめくれ、結合しながら大きく成長していく。そして、間もなく白い海水で埋め尽くされる冬が再びやって来る。

海洋地球研究船「みらい」は、北極の水と氷の輪廻転生を見続ける。北極海の短い夏の終わり、白い季節の訪れを告げる風物詩に揺られ、変わりゆく「北極海」の未来を静かに考える時がやって来た。(14-15ページに関連記事)。

(取材協力：島田浩二グループリーダー 地球環境観測研究センター 地球温暖化情報観測研究プログラム 北極海気候システムグループ)



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/>

R100

店舗・パルコ組合第100%再生紙を使用

定価300円(税込)