

海と地球の情報誌

Blue Earth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

105

2010 1-2



特集

海洋変動をとらえる 観測研究

地球環境変動の解明と予測を目指して

スケーリーフトの大群集を発見

生命進化の謎を追う——シーラカンス生態調査

地球温暖化を救うのは誰?

- 1 Close Up
スケーリーフットの大群集を発見

- 2 特集
海洋変動をとらえる観測研究
地球環境変動の解明と予測を目指して

- 4 水温・塩分から海洋構造を読み解く
6 熱塩循環と海洋の変動
8 船舶観測によって
海洋環境のいまをつかむ
10 風成循環によって運ばれる海水と熱
12 海洋学の常識をめりかえる
アルゴ(Argo)計画
14 海の動きを浮かび上がらせる溶存物質観測
16 明らかになる北極海の姿
18 本格化する第三の研究手法
データ同化

- 20 Aquarium Gallery
アクアマリンふくしま
生命進化の謎を追う
——シーラカンス生態調査

- 22 私が海を目指す理由
「乱流衝突」という物理現象をもとに
豪雨をもたらす雲の発達を計算し予測する
大西領 地球シミュレーションセンター マルチスケールモデリング研究グループ
アプリケーションラボ 気候変動ラボユニット(兼務)

- 26 もっと知りたい船の知識
海洋地球研究船「みらい」

- 28 Marine Science Seminar
第100回記念講演会
地球温暖化を救うのは誰？
赤嶺正治 日本郵船株式会社 歴史博物館 館長代理

- 32 BE Room
編集後記
「Blue Earth」定期購読のご案内
JAMSTECメールマガジンのご案内

Close Up

スケーリーフットの 大群集を発見

2009年11月、海洋研究開発機構(JAMSTEC)、北海道大学、新江ノ島水族館の研究グループは、有人潜水調査船「しんかい6500」、支援母船「よこすか」によって、インド洋のきれいなフィールドの調査を実施し、少なくとも数千匹に及ぶスケーリーフットの大群集を発見した。

スケーリーフットは、2001年に米国の研究者らによって発見された、世界で唯一の「硫化鉄の鱗を持つ生物」として話題になった巻貝。これまで、きれいなフィールドと呼ばれる熱水活動域の極めて限定された場所に、ごくわずかだけ棲息していると考えられてきた。また、その後の研究で、スケーリーフットが食道に共生微生物を有していること、鱗を形成する硫化鉄が強い磁性を帯びる結晶構造を持つこと、鱗そのものが優れた強度を持つ骨格材料であることなどが分かったが、どのようにして硫化鉄の鱗がつくられるのかをはじめ、明らかにされていないことも数多く、ほかに類を見ない不思議な特徴を持つこの生物の生態は謎に包まれていた。

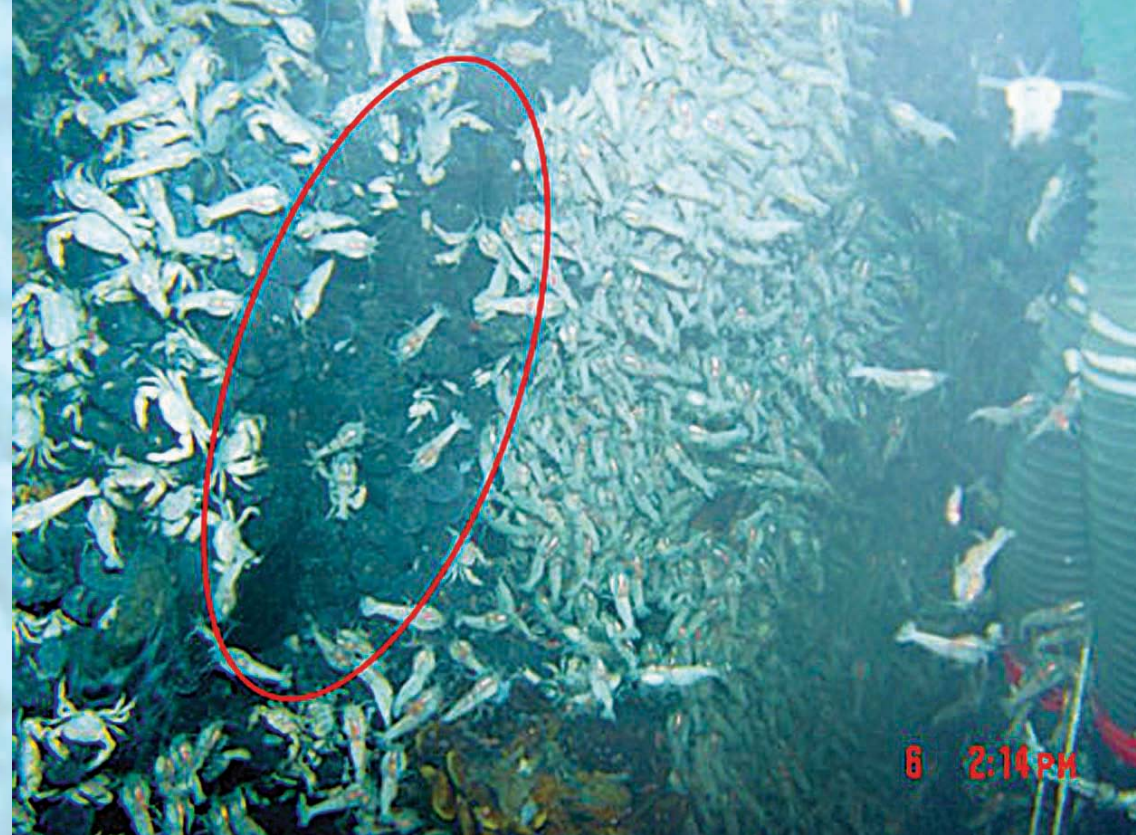
今回の大群集の発見により、スケーリーフットが、これまで予想されていたよりも熱水成分の影響が強い、高温かつ高硫化水素濃度、低酸素濃度の環境にまで広く棲息していることが明らかになった。さらに、採取された一部の個体は、温度・酸素濃度を厳密に管理することにより、世界で初めて大気圧化の水槽で3週間以上にわたって飼育することに成功した。また、採取した個体を用いてさまざまな実験・研究が行われ、スケーリーフットの

進化や生理・生態の解明、硫化鉄の鱗を形成する仕組みや共生微生物との相互作用の仕組みの解明に向けて大きな成果が得られた。

BE



「しんかい6500」による潜航調査が行われたインド洋・きれいなフィールド(●)。水深2,420mの熱水活動域においてスケーリーフットの大群集が発見された。



熱水に群がるカイレイツノナシオハラエビの大群を追い払い、硫化物チムニーの表面を露出させると、スケーリーフットの大群集が現れた(きれいなフィールド 水深2,420m)。



インド洋の深海底熱水活動域に棲息するスケーリーフット(和名:ウロコフネタマガイ)。足の表面が硫化鉄の鱗で覆われている。貝殻の大きさは3~4cm。

写真提供: 新江ノ島水族館・JAMSTEC



スケーリーフットを覆うカイレイツノナシオハラエビの大群。その隙間からわずかな個体が垣間見える。

海洋変動をとらえる 観測研究

地球環境変動の解明と予測を目指して

取材協力：深澤 理郎 領域長 地球環境変動領域

地球に海が誕生したのは今から約38億年前。海のなかで生命が誕生し、現在の地球環境がつくられてきた。太古から現在まで、海は地球環境の中で重要な役割を果たし、それは将来も続くだろう。海を知ることが地球環境を知るうえで欠かせないものだ。

長年の研究を通じて、海や地球環境がどのように現在の姿に形づくられてきたかは分かってきたものの、「いま現在の環境がどのような状態になっているのか」は、むしろ答えることが難しい。なぜなら、その答えには、ヒトや社会がこれから目指さなければならない方向を導き出すという重い責任が含まれているからだ。

ここ数十年で、気候変動をはじめとする地球環境問題が、多くの人々の関心事となっている。そして多くの研究者が、現在の地球の様子を知るために多大な努力をしている。「地球環境変動の要因を明らかにし、将来の環境変化の確かな予測を目指す」ことを任務とする地球環境変動領域の深澤理郎領域長は「現在、何が起きているかを知るためには、地球全体を満遍なく観測するしか方法はない」と断言する。

これまで、ある現象がなぜ起こるのかを知るための観測はたくさん行われてきた。ただ、この「なぜ」に注目した観測結果をいくら寄せ集めても地球環境に何が起きているかを網羅することはできない。見落としている部分が必ず出てくる。「何が起きているか」を知ろうとすれば、偏りや欠落がないように満遍なく観測していくしかない。

これは一見、むだが多いように感じるかもしれない。しかし、むだなことは一つもない。満遍なく観測したデータから「何が起きているか」が分かれば、そのデータを使って「なぜ」を知ることができる。空間的にも時間的にも偏りのない正確なデータが記録されていれば、他の目的にも利用して、新しい知識を得ることができるのだ。

「大切なのは、いつでも誰でも使えるようにアーカイブすることです。これから50年、100年経過したとき、いま積み重ねているデータが地球環境を考えるうえで人類全体にとって大切な財産になるはずだ」（深澤領域長）。

地球環境のいまを知り、さらに次の世代へ引き継ぐ財産を残すために、どのような取り組みがいま海で行われているのかを紹介していこう。



ボトルには、南半球周航観測航海BEAGLE2003で実施された、2003年8月3日、南緯32度30.4分、西経178度27.4分（オーストラリア東方沖）の採水観測で、深度4,200mから採取された海水が封入されている。この海水は、南極アデリー海の沖で大気に接触した後に海中に沈み込み、太平洋を北上する南極周極深層水（CDW）であり、CDWは「地球の気候を支配する」といってもよいほどのインパクトを持つ、重要な海水といわれる。そして、ボトルのなかの海水は、海洋観測に取り組んできたJAMSTEC研究者たちが、初めて手に入れたCDWでもあった。「海が気候を決定する証拠をつかみ、そのメカニズムを明らかにしたい」、そんな研究者の熱い思いが、この小さなボトルに込められている。



水温・塩分から 海洋構造を読み解く

取材協力：河野 健 プログラムディレクター 地球環境変動領域 海洋環境変動研究プログラム

水温と塩分から分かること

海洋観測では、水温と塩分の2つが、海水の状態を知るための基本である。海中では海水のかたまり（水塊）が下方に沈み込んだり、また上昇したりと、ダイナミックな循環が行われており（p6参照）、水温と塩分を知ることでその概略を調べることができるのだ。

ちなみに塩分とは、海水中の塩化ナトリウムの量を指すのではなく、海水中に溶けている主な溶存物（塩類）全体の量のことをいう。古くは海水を蒸発させて残った溶存物の質量を測っていたのだが、その方法では測定できる精度が低いため、現在は電気伝導率を用いた測定方法がとられている。従来これは「実用塩分」という単位のない値で表されてきたが、2009年6月にはg/kg（質量分率）で表される新しい塩分定義「リファレンス・サリニティ」の導入が国際的に合意された。

水（純水）は15°Cのときに密度が最大になるが、海水は塩分を含んでいるため、冷たいほど重くなるという特徴がある。また、海洋には塩分の高いところと低いところがあ

り、塩分が高い、つまり物質がたくさん溶け込んでいる海水ほど密度が大きくなる。つまり、海水の密度が温度と塩分の両方によって決まり、密度の高い（重い）海水が沈み、密度の低い（軽い）海水が上昇することで、海水の循環を含む海洋の構造を決定づけているのだ。

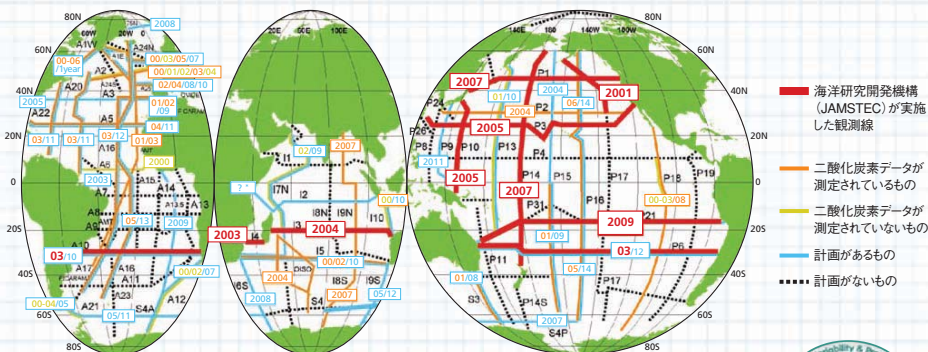
また温度と塩分を測定すると、ある水塊が、どこから来たもので、いまどのような状態にあるのかをある程度知ることができる。たとえば南極周辺で冷やされて沈み込んだ海水の温度と塩分の関係には、それと分かる特徴が見られるのだ。もちろん、遠方まで流れていくに従って、だんだんその特徴は薄まって消えていくが、どういう由来の海水であるかをある程度判断できるため、そこから海水の循環全体の様子を読みとることができるのだ。

高い精度、同じ基準で測る

水温も塩分も、測定には高い精度が求められる。また、国際的に複数の機関が協力して観測研究を行うことが多く、さらに過去の測定結果とも比較できるよう測定値の基準や精

海洋観測国際プロジェクトの測線

http://www.clivar.org/carbon_hydro/hydro_table.phpの図を改変

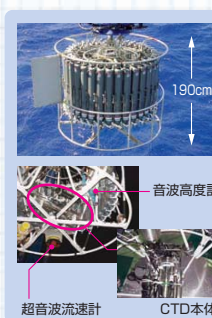


1990～1997年にかけて国際プロジェクト・世界海洋循環実験（WOCE）が行われた。世界中の海に東西、南北にのびる測線を引き、各国の海洋観測船がその線に沿って表層から深海までの水温や塩分濃度の観測を行うというものである。その後、同じ測線と同じ精度で再度観測し、その変化を把握するプロジェクトが進行中。



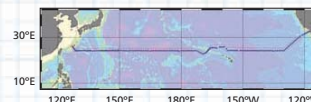
採水観測

CTD・採水装置を使って海水を採取する。その構造は右のようになっている。外側を取り巻く筒は、船上から電気信号を送り任意の深度でふたを閉じることができ、深度ごとに海水を採ることができ、深度ごとに海水を採取することができる仕組みだ。CTD・採水装置で採取した海水は船上で取り出し、塩分などを測定する。

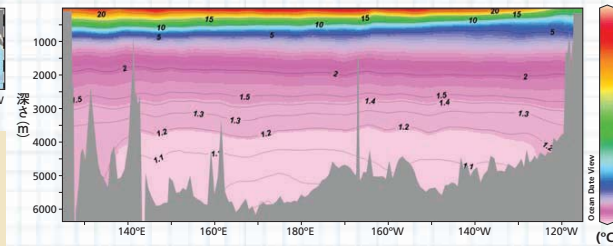


オートサルは内部に大きな水槽があり、採取した試料海水は温度を安定させるための、水槽のなかの熱交換器を通り、電気伝導率を測るセンサーに送られる。

水温断面図

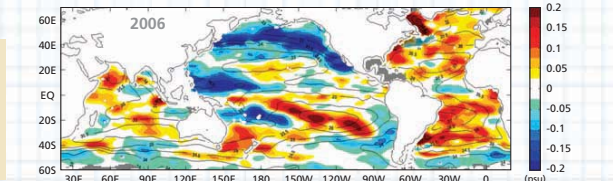


太平洋を横断する測線に沿って、表層から海底までの水温分布を示した図。水温計は1000分の1°Cの桁まで管理されており、1万分の1°Cまで計測可能である。海水の温度を直接測ると圧力の影響を受けるため、その影響を取り除いたときに海水の示す水温をポテンシャル水温という。



年平均全球表層塩分偏差

1970年代～80年代に観測された塩分データの平均値を基準に、近年の塩分変化（年平均塩分偏差）を求めた図。寒色が低塩分化、暖色が高塩分化を示す。中・高緯度表層（亜寒帯域）では低塩分化傾向が、低緯度表層（亜熱帯域）で高塩分化傾向がみられる。



度をそろえておくことも重要になる。

水温の場合、国際的に定められたSI単位系による温度基準点をもとに、精度をそろえる方法をとっている。現在、世界の海洋関係の主だった研究機関では、1000分の1°Cの桁までそろえて測るよう努力している。

地球上には海水が約 1.3×10^{21} kgあり、これは大気の約260倍の質量である。海水が熱を蓄える能力（比熱）は大気の約4倍だ。そこで、地球上の全大気と全海洋がどれだけ熱を蓄えられるかを計算すると、海洋は大気の1000倍。つまり気温が1°C上昇する熱を海に与えても、海洋は1000分の1°Cしか上昇しないことになる。そこで、海洋で地球温暖化の影響を測ろうとすれば、1000分の1°C程度の精度が必要なのだ。

また、深層での塩分分布の差は、北太平洋全域でも0.01（実用塩分）と非常に小さい。塩分の分布に基づいて海洋の

構造をより詳しく解明していくためには、塩分の測定にも高い精度が求められる。これまで海洋観測研究で用いられてきた実用塩分という値は、海水中に含まれるイオン量によって電気伝導率が異なることを用いて算出するものだ。1kgのなかに32.4365gの塩化カリウムを含む溶液を定義溶液とし、これと同じ電気伝導率を持つ海水の塩分が35と定められている。メーカーが塩分約35の「標準海水」を作っており、これを基準として値を求める。標準海水の品質にもよるといふ限界はあるものの、1000分の1程度までの精度で測定可能だ。

塩分の定義は2009年6月、海水の密度に相当する絶対塩分（海水1kgに含まれる溶存物の質量）への換算が可能な「リファレンス・サリニティ」に変更されたが、測定方法については従来どおりとなっている。

BE



熱塩循環と海洋の変動

取材協力：河野 健 プログラムディレクター 地球環境変動領域 海洋環境変動研究プログラム

熱塩循環とは何か

海水の循環が起こるそもそもの原因は、地球が丸いということにある。地球の表面は太陽からの熱放射を受けているが、表面が丸いために、赤道周辺の地表はより多くの熱を受ける一方で、北極や南極では地表が受ける熱は少なくなる。また地球は宇宙空間に向かって熱を放射するが、こちらはほぼ一

様である。つまり入ってくる熱には場所によって偏りがあり、出て行く熱にはあまり差がない。

そのため、地球表面では温度のアンバランスが生じる。およそ緯度40度を境にして、赤道寄りではいつも温められ、南北の極寄りでは、常に冷やされる状態となる。このように、地球の表面にある大気も海水も、場所によって温度に大きな差ができるのだ。

極に近い海では、海水が冷やされる。たとえばグリーンランド沖などでは海水が冷やされて凍る。氷の成分は真水なので、海水の下にできる海水は塩分が高くなり、重くなって下に沈み込んでゆく。また、南極周辺で、海水が割れたところに冷たい風が吹き降ろして海水を冷やし、冷えて重くなった海水が沈み込んでいく。その結果、南極大陸周辺海域やグリーンランド沖で海水が沈み込む。その量は毎秒200万t以上ともいわれている。そして沈み込んだ海水は海底を進み、その間にまた温められて徐々に湧き上がってくるという大きな循環をする。これが熱塩循環である。古くはブロッカーのコンベアベルトという図があるが、これは実際の海水の流れではなく、熱と水の輸送経路の概念図である。実際の熱塩循環の流れの模式図は左図のようなものとなる。

熱塩循環は、いわば低緯度と高緯度の熱の偏りを戻そうとする、海のなかの大きな対流である。しかも南極海でつながっているために全海域にわたり、海面から海底までに至る大規模なもので、後で触れる風成循環（p10）に比べて速度も遅い。また海水は海表面から二酸化炭素などさまざまな物質を溶かし込むため、熱塩循環はそれを深層へと運び込む働き

を担っている。熱塩循環の観測は、地球上の物質がどのように循環しているのかを解明することにもつながるのだ。

熱塩循環の変動が気候に影響を与える

海洋と気候は互いに影響を与え合っている。南極では大気は氷点下で、海水のほうが温かい。海水が大気と接する海表面で冷えて沈み込むということは、大気が海水から熱を奪って暖まる、つまり海が大気を暖めているということである。これは現在の気候を決めている要因の一つだ。

そのため海洋の変化は、大気の大きな変化につながる。もし、南極やグリーンランド沖で海水が沈み込む量が減ったり、沈み込む速度が遅くなったりすると、大気に向かって海洋が放出している熱が減るので、気候は寒冷化へと傾くはずである。大西洋オーバーターンと呼ばれる熱塩循環が弱くなっているのではないかという説が「ネイチャー」に掲載され議論を呼んでいるが、本当であればこれは温暖化とは逆の効果がある。

もしオーバーターンが弱まったと仮定するとどうなるのだろうか。今から1万3千年前に、温暖化が始まっていたにもかかわらず、急激に気温が下がった時期があることが、古気候の研究の結果明らかになっている。これは、カナダの氷床が温暖化で溶け、真水が大量に海洋に流れ込んだため、海水が軽くなって沈み込みが弱まった、つまりオーバーターンが弱まったために気温が下がった、という説が有力だ。また、次ページで説明するように、海洋観測の結果、南極周辺の深層水の生成量が少なくなっている可能性があり、それが事実なら、そのために現在北半球より南半球の温暖化傾向が緩やかになっている可能性もある。将来の気候変動を予測するためにも、海のなかで何が起きているのかを継続的に観測することが重要なのである。

BE

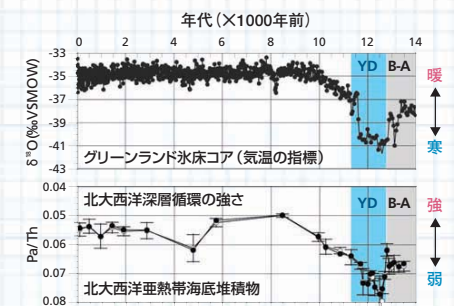


AAC : 南極周極流
CDW : 周極深層水
SAMW : 亜南極モード水
AAIW : 南極中層水
RSW : 紅海流出水
AABW : 南極底層水
NPDW : 北太平洋深層水
NADW : 北大西洋深層水
UPPER IW : 上部中層水
IODW : インド洋深層水

ヤンガードライアスイイベント

氷床コアや堆積物から過去の地球環境を復元する古気候の研究から、温暖化が進む途中で急激に気温が変化する現象が知られている。その例の一つが、約1万3千年前に起きたヤンガードライアスイイベントだ。北半球の急激な気温低下の原因はオーバーターンの弱化ではないかと考えられている。

YDはヤンガードライアスイイベント、B-Aはベーリング/アレレード期（亜間氷期）を示す。



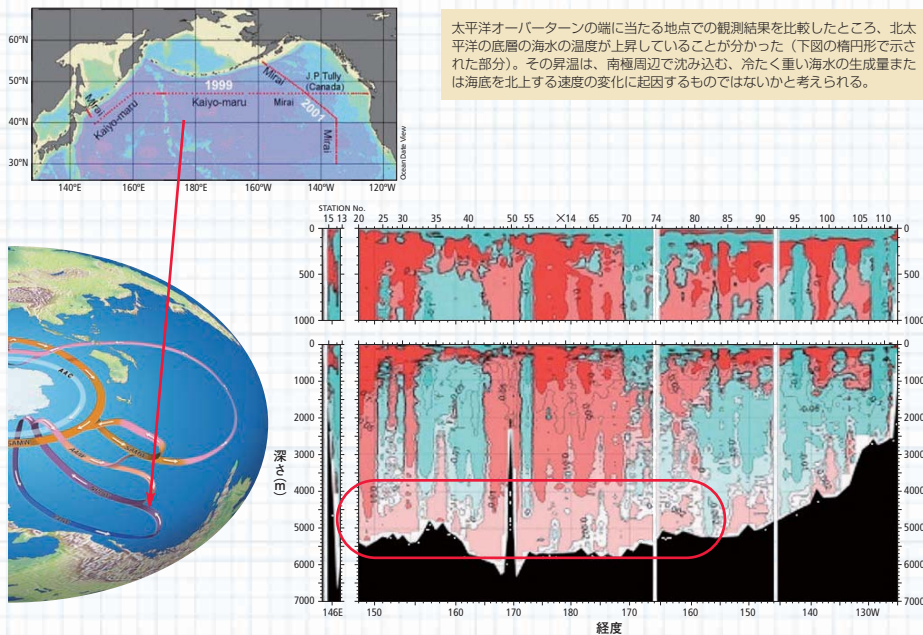
上図：氷床コアに含まれる酸素同位体比のデータから復元された気温の指標。(Groote et al., Nature 366, 552-554, 1993のデータをもとに作成)
下図：海底堆積物に含まれるプロトアクチニウム/トリウム (Pa/Th) の放射能比から復元された北大西洋の循環の強さの指標。(McManus et al., Nature 428, 834-837, 2004のデータをもとに作成)



船舶観測によって 海洋環境のいまをつかむ

取材協力：河野 健 プログラムディレクター 地球環境変動領域 海洋環境変動研究プログラム

太平洋の深層昇温



表層から深層までをつぶさに観測

海が気候変動に及ぼす影響を知るには、まず海がいまどのような状態にあるのかを観測によって把握しなければならない。海洋観測には、漂流ブイによる観測、係留ブイによる観測、船舶による観測、人工衛星による観測などがある。

そのなかで、海洋の表層から深層まで、水温、塩分はもちろん、海水に含まれるさまざまな物質を一度に測ることができるのが船舶観測である。JAMSTECでは海洋地球研究船「みらい」を使って、海洋観測を行っている。船舶観測ではCTDと多筒式採水装置という機械を使って海水を採取する（p5上の写真参照）。CTDは水温と塩分（電気伝導度）と圧

力（深度）を計測する装置である。周囲の筒には海水が12リットルずつ入り、船上から電気信号を送るとふたが閉じるため、任意の深度で海水を採ることができる。水温計は1000分の1℃の桁まで管理されており、1万分の1℃まで計測可能である。塩分は電気伝導度計で計測するほかに、採取した水を船上で取り出し測定する。

2007年に出された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告では、海のなかで実際に何が起きているのかを検証する部分に大きくページが割かれた。海の観測結果から、全海洋の3,000mまで平均水温が上昇しており、海が気候システムに加えられた熱の80%超を吸収しているという事実が共有され、また700mまでの全海洋はこの十数年で

平均0.1℃上昇したこと、海面上昇の半分は熱膨張によるものであることが確認された。

この時点では深層循環について、「何らかの傾向が存在するかどうかを判断する十分な根拠はない」とされたが、そのころのJAMSTECでは太平洋の南極オーバーターンの変化を調査するための観測を行っていた。きっかけは1990～1997年に実施された国際プロジェクト、世界海洋循環実験（WOCE）だ。世界中の海に東西、南北にのびる測線を引き、表層から深層までの水温や塩分の船舶観測を行った。その後、SAGE（北太平洋亜寒帯循環と気候変動に関する国際共同研究）によって、WOCEで一度観測された北緯47度（測線P1）の再観測を行った。その結果が左の図だ。国際プロジェクトCLIVAR（気候の変動性及び予測可能性研究計画）でも、もう一度同じ測線を同じ精度で、観測し比較しようという計画が持ち上がり、JAMSTECでは太平洋を中心に再観測を行った。

深層昇温という重大発見

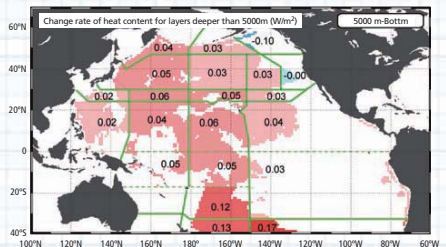
太平洋の深層では、南極のまわりで沈み込んだ海水が北上している。この海水は周極深層水と呼ばれている。「みらい」で観測した北緯47度はその北端に近く、太平洋のオーバーターンの端にあたる。前回のデータと比較してみると、4,000mより深いところで全体に1000分の3℃～1000分の5℃程度水温が上昇していることが分かった。それまで深層ではあまり変化が起これないと考えられていたため、これは大きな発見だった。原因は、オーバーターンが弱まる、つまり沈み込む量が減るか、循環の速度が遅くなる、というような変化が起こったのではないかという仮説のもとに、2005年までの間に太平洋のいろいろな測線で観測した。その結果、やはりこれは単に北緯47度だけに見られる現象ではなく、周極深層水の北上経路にあたる場所ではすべて水温が上がっていることが分かった。しかも、南ほど変化が大きく北で小さいという傾向があった。そして、最新の観測結果も合わせて、太平洋全体を見ると図のようになる。太平洋全体で、5,000mから海底までに熱がたまっており、従来変化が少な

いと考えられていた3,000mより下には、海洋全体の5%程度の熱量の増加が見られることが分かった。

数百年という時間スケールの熱塩循環に、なぜ数十年程度でこのような変化が起こるのだろうか。海洋データ同化という手法を応用した分析の結果、アデリーコースト沖の海洋表面での熱のやりとりの変化が、およそ40年で北太平洋にまで影響を及ぼす可能性があることが分かった。海は、密度の違う海水を何枚も重ねたような層構造をしているが、アデリーコースト沖での熱のやりとりの変化によって、冷たい海水が作られる量が減ることで、この層構造が変化し、それが層と層の境界を波として伝わるのが素早く伝わる原因と考えられることが分かった。

深層昇温は太平洋だけの現象ではなく、その後インド洋や大西洋でも発見されている。つまり、南極オーバーターン全体で、深層水の生成が少なくなっている可能性があるのだ。それは、深層水ができるときに大気と与える熱の量もまた減少しているということであり、今後は気候への影響も合わせて特に南極周辺で観測し、研究していく必要がある。

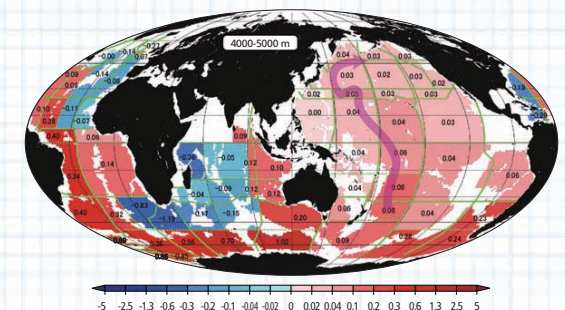
オーバーターンの経路に沿った昇温



太平洋における8つの測線で観測した結果、水深5,000mから海底までの底層での貯熱量の増加は図のようになった。太平洋の貯熱量増加の5%が3,000m以深に配分され、それが海面上昇（全体で2mm/年）の5%に寄与していることが分かった。

全海洋でみた貯熱量変化

底層（4,000～5,000m）での貯熱量変化を全海洋で示すと図のようになる。太平洋底層の昇温はモデルとの比較から、南極周辺での冷たい深層水の形成が減ったためではないかと考えられる。底層の昇温は太平洋以外でも見つかっており、南極起源の深層水すべてで生じている可能性がある。



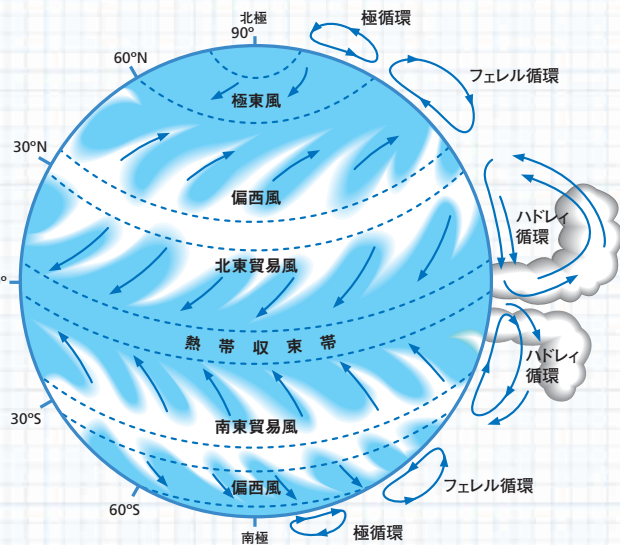


風成循環によって運ばれる海水と熱

取材協力：河野 健 プログラムディレクター 地球環境変動領域 海洋環境変動研究プログラム

風成循環

太陽放射によって地表が受ける熱には偏りがある。赤道付近で暖められた大気は上昇し、やがて冷やされて中緯度で降下する。このような循環が赤道から両極の間に3つでき、ハドレー循環、フェレル循環、極循環と呼ばれる。大気循環による気圧差は風を生み、その風がコリオリ力に影響されて、季節を通じてほぼ一定方向に吹き続ける偏西風と、北東貿易風、南東貿易風になる。この風が海水を動かし、海面に凹凸を作る。そしてこの凹凸に沿って海水の循環ができる。これが風成循環である。



風の力と地球の自転が海の表層循環をつくる

熱塩循環のところで触れたように、地球表面は丸いため、赤道周辺の地表ではより多く太陽からの熱放射を受ける一方で、北極や南極の地表では少なくなる。そのような熱の偏りがあると、大気には循環ができる。暖められた大気は軽くなって上昇し、上空で冷やされて下降し、大きな対流をかたちづくるからだ。赤道から北へ順番にハドレー循環、フェレル循環、極循環という3つの大きな循環が知られている。大気が上昇する所には低気圧、下降する所には高気圧ができる。そして地上では高気圧から低気圧に吹き込む風が生じる。

地球は自転しているので、大気の流れにも「コリオリ力」という効果が働く。北半球ではコリオリ力によって、流れは進行方向の右に曲げられる。そのため先に述べた高気圧から低気圧に吹き込む風は曲げられて、極東風、偏西風、北東貿易風という、比較的安定して吹き続ける風をつくるのだ。

このような風が起きると、海のなかの水も風につられて動

く。ただ、単に風と同じ方向に海水が動いているのではない。やはりここでもコリオリ力が働くので、風につられて水が動くときに、少し右にずれる。一番上層の水が右にずれると、その下の層の水もさらに少し右にずれる。それを繰り返していくと、水は深いほうに向かってらせん状に運動することになる（これを「エクマン境界層の流れ（エクマン流）」という）。北半球では、表面では、海水は風の吹く方向の右45度流れる。エクマン流を全部あわせると、海水は風の方に対して90度ずれた方向に運ばれる、という。

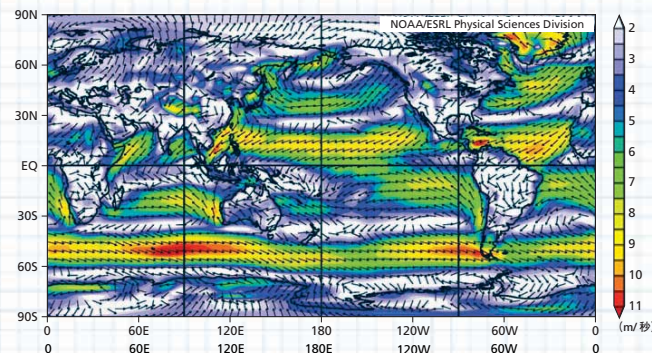
東から西に向かって風が吹いているときは、海水は北に運ばれる。反対に西から東に向かって風が吹いているときは、南に運ばれる。その結果、海表面に凹凸ができる。

海表面に凹凸ができると、海のなかには圧力差が生じる。すると圧力が高いほうから低いほうへ向かって流れようとするが、そこにもやはりコリオリ力が働くので、北半球では少しづつ右へ曲げられていく。最終的には、圧力が高いほうを右手に見てそのふちを回るような流れができる。圧力の方

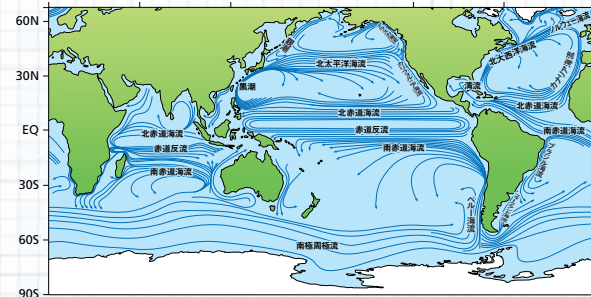
風の分布と風成循環の組み合わせ

実際には3つの循環以外に、海陸の分布による風系や気圧配置があり、地表では上図のような風が生じる。この風によって海洋では循環が生じ、下図のような海流が分布している。風による影響が比較的強い、海面から深度500m程度までの浅層で顕著で、海盆（大洋）の西端に強流帯を持っている。

上図：地表における2000年から2009年までの1月の平均風速
NOAAのホームページ
(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/print-page.pl>)にて作成した図を引用



下図：表層海流
C. P. Summerhayes and S. A. Thrope
"Oceanography", MANSION publishing of the
図をもとに作成



とコリオリ力がつりあう方向に向かっていくと、それが結局、圧力の等高線に沿った流れになるからである。ちょうど天気図で、十分に発達した高気圧の等高線に沿って風が流れているのと同じことだ。その結果、風の方と同じような安定した海水の循環ができることになる。これが風成循環といわれるものだ。

強い海流の運ぶ熱が気候に影響する

風成循環は風による力が海面下に伝わって起こるため、海面から500m程度の深さまでに顕著に見られる現象だ。また熱塩循環とは異なり、北太平洋なら北太平洋の内部のみといったように、海洋ごとに閉じた循環となっている。風は季節によって吹き方が違うので、風成循環の季節変動も大きい。

そして、コリオリ力が高緯度ほど強く働くために、風成循環は北太平洋の西の端、南太平洋の西の端、大西洋でも西の端に、特に流れの強い「強流帯」を持っている。これを「西岸境界流」と呼ぶ。太平洋の西の端には日本近海を流れる黒潮が、大西洋の端には北米近海の湾流があり、この両者は北半球の代表的な西岸境界流である。

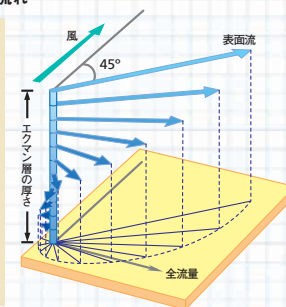
黒潮も湾流も非常に流れが強いので、太陽の熱放射に温められた海水を大量に北へ運んでくる。黒潮は、カツオやマグロなど温かい水を好む魚を日本近海にもたらすことで知られ

ているが、同時に熱を運び、黒潮の下流にあたる黒潮続流域で、海面から大気へと熱を放出する。黒潮や湾流の運ぶ熱は、その熱放出によって周辺の気候に大きな影響を与えているのだ。そのためJAMSTECでは、係留ブイによって、気温や水温、風速や湿度などを連続して観測し、黒潮続流域で放出される熱量が、季節や年によってどのように変動するのかについても、継続的にデータを収集している。

BE

エクマン境界層の流れ

海水が風が動かされるときにもコリオリ力が働いて曲がっていくため、海水は深いほうに向かってらせん状に運動する。そのため北半球では、表面が風の吹く方向の右45度に流れる。エクマン流を全部あわせると、90度のずれが生じる。これを「エクマン境界層の流れ」という。



根根義彦「海洋物理学概論」の図をもとに作成



海洋学の常識をぬりかえる アルゴ(Argo)計画

取材協力：細田 滋毅 技術研究主任 地球環境変動領域 海洋環境変動研究プログラム 戦略的海洋監視研究チーム

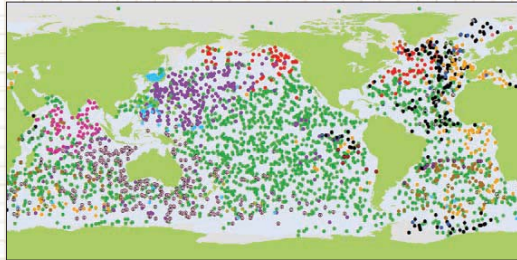


図1 アルゴフロートの分布図(2010年2月末現在)

2010年2月末現在で3255本のアルゴフロートが海で観測中である。北太平洋やインド洋にある紫色の点が、日本が投入した312本のフロート。国別の投入本数1位はアメリカの1833本。



アルゴフロートを海に投下しているところ

フロートで地球全球を観測

近年、地球温暖化に対する人々の意識が高まり、地球の平均気温が100年の間に0.74℃上昇したことなどが知られるようになった。しかし、地球の表面積の約7割を占める海の変化については、まだまだ知られていない。実は、水深0~3,000mまでの平均海水温を調べてみると、この40年間に約0.037℃も上昇していることが分かった。

「0.037℃という数字はとても小さいように感じますがそうではありません。海は空気よりも温めにくく冷めにくいという特徴があります。仮に海水を0.037℃上昇させた熱をすべて大気に与えると、大気を37℃も上昇させてしまいます」と細田滋毅技術研究主任は語る。さらに「大気の変動に海水温の変動がとて大きな影響を与えています」と続けた。気候変動をとらえるには、全世界の海の変化も調べる必要がある。しかし、いまだ地球規模で海の中の変化を観測する手段がなかった。

従来利用されてきたのは、船舶や係留型のブイだ。これがいまも海洋観測の大きな柱であることに変わりない。しかし、船舶の場合は天候に大きく左右されるという問題点があり、ブイの場合は設置、メンテナンス、回収といった作業が必要である。

どちらの手法も地球全体の海洋をカバーする大規模観測は難しい。何とか全海洋を同時に観測できるようなシステムを作りたい、そんな海洋研究者の願いから始まったのがアルゴ計画である(図1)。アルゴ計画ではフロートとよばれる自

動的に浮き沈みを繰り返す装置を使って海を観測する。フロートは係留型のブイと違って、海流に乗って海を漂う仕組みになっているため、一度フロートを投入すれば、それ以降のメンテナンスなどは必要ない。

海に投下されると、フロートの体積を変化させることでいったん水深1,000mまで下降し、10日ほど漂った後に水深2,000mまで深度を下げ、そこから海面に向けて上昇しながら、海水温と塩分、水圧を観測する。日本のアルゴ計画の推進役を担っている細田技術研究主任は「アルゴフロートは2,000mから浮き上がってくる間におよそ100点で測定しています。基本的に深いところは50mごとに測定し、1,000m付近から上昇するにつれて、20m間隔、10m間隔と間隔が狭くなっていき、変化の大きい浅い場所では5m間隔になります」と教えてくれた。

海面に顔を出すとアルゴフロートは人工衛星に向けて位置情報と観測データを発信する。衛星が受け取ったデータはデータ集約センターに送られる仕組みになっており、日本のアルゴフロートが発信したデータは、まず気象庁に届くようになっている。アルゴフロートを投入してから最初のデータが届くまでは10日間。その後、フロートは再び海中に沈み、10日に一度、観測データの発信を繰り返す(図2)。

気象庁に送られた観測データは、基本的な情報をチェックして、気象・海況予報など、データの新鮮さが要求される目的のために24時間以内に公開される。しかし、このデータは速報のようなもので、データのチェック項目も必要最低限なものにしばられている。アルゴ計画ではデータをより詳しく

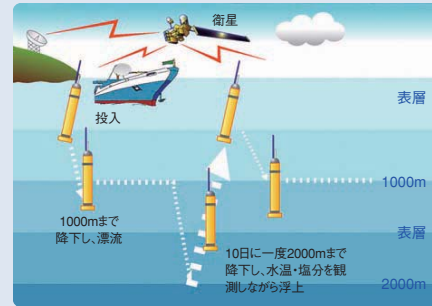


図2 アルゴフロートの動作

く検討して、気候変動にかかわる海のわずかな変化を正確にとらえるために、時間をかけてデータの質を詳しく検討して、誤りを補正している。日本ではこのチェックをJAMSTECが担当しており、1年以内にチェックが完了したデータを公開することになっている。最終的に速報版と詳しくチェックしたデータの両方を研究者だけでなく誰でも自由に見ることができる体制になっている。

膨大なデータから見えてきたこと

アルゴ計画は、地球規模での海洋変動を観測するために考えられた大規模な国際協力プロジェクトだ。さまざまな国が自主的に参加し、連携しながら進められており、運営費も多くの場合それぞれの研究者が持ち寄る形になっている。

投入されたフロートの数は、2002年4月に423本、2004年3月に1,121本と増え続け、2007年10月には3,006本になった。「アルゴ計画が始まった当初世界中の海洋に3,000本のフロートを投入することが目標でした。これは、気候変動をとらえるために必要な、緯度経度で3度に1本の割合でフロート観測を行うためののですが、それをわずか7年で達成したのです。そのスピードは目を見張るものがあります」と細田技術研究主任がいうように、アルゴ計画が急速に展開した要因の1つとして、研究者が主体となって計画が進められたという背景がある。全球をカバーする観測網を作るのに、誰がどこに何本というような分担をきっちり決めてから実施したのではなく、最終目標を掲げ、フロート観測の必要最低限の仕様を決めて、それぞれの研究者や国の関心に応じて、できる人ができるところから展開してきた。ある程度の自由があるため、研究のすそ野が広がり、結果フロートの数の増加にもつながった。2000年当初8の国と地域だけだった参加国も、2010年2月末の時点で、27の国と地域の研究者が参加しており、フロートの総数は3,255本となっている。フロートの寿命は3~4年なので、今後は寿命がきたものや壊れたフロートを新しいものに置き換えながら数を増やしていくことになる。

アルゴフロートが世界の海洋に分布しているおかげで、この10年で膨大な量の海水温と塩分データを手にできるよう

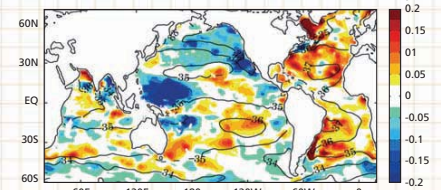
になった。そのデータを分析していくと、海洋の塩分変化にある傾向があることが分かってきた(図3)。

1960~1989年に船舶等ほかの観測から得られたデータと、2000年以降にアルゴ計画で得られたデータを比較すると、亜寒帯や熱帯の海は昔に比べ塩分が低くなり、中緯度域では高くなっている。しかも、その傾向は北半球だけでなく南半球でも表れているのだ。亜寒帯や熱帯の海域はもともと塩分が低めで、中緯度域はもともと高めなのだが、アルゴフロートによる観測結果では、その傾向がさらに強調され、最近ではそのパターンが毎年継続して表れていた。この結果は何を意味するのだろうか。解析を担当した細田技術研究主任は「海の塩分を決める主な要因は降水と蒸発です。このデータから、亜寒帯や熱帯の海域では降水量がより多くなり、中緯度域では降水量がより少なくなっていることが推測できます」と語る。この降水量の変化は地球温暖化によって、大気中の水蒸気が増加したことで起こっている可能性も否定できない。

モデル計算による温暖化予測シミュレーションからも同様の結果が報告されているが、海洋観測から温暖化と関連するような地球規模の降水量の長期的変化を示す証拠が得られたのは初めてのことだ。また、いまだほとんど変化が起こらないと考えられてきた海洋の深層部分にも、四季変化のような海水温の周期的な変動があることも分かってきた。「いまだ海洋全体の水温や塩分をほぼ同時に測る方法はありませんでした。アルゴ計画は海洋学の理論や常識を根本から変える力を持っていると思います」(細田技術研究主任)。

最近では、水温と塩分だけでなく栄養塩、酸素、海流なども測定できるフロートができ、測定が難しい流れの速い場所でも観測できるフロートも開発されている。さらに、2,000mより深い海中での観測も行えるようなフロートの開発も進んでおり、アルゴ計画によってどんな発見がされるのか、今後が楽しみだ。

図3 地球全体の海洋表層における塩分の変化



約30年前のデータから得られた平均的な表層塩分分布(黒線)によると、もともと亜寒帯域や熱帯域の塩分は比較的低く、中緯度域で高い。これは、亜寒帯域や熱帯域では降水量のほうが蒸発量より多いのに対し、中緯度域では蒸発量のほうが上回っていることによる。アルゴフロートによる表層塩分データと比較すると、もともと塩分の低い海域はより低く(寒色)、高い海域はより高く(暖色)なっていることが分かる。これは、地球規模で降水、蒸発量に変化していることを示し、地球温暖化と関連している可能性もある。アルゴフロートによって、このような地球全体の海洋変動の「今」が分かるようになってきた。



海の動きを浮かび上がらせる 溶存物質観測

取材協力：村田 昌彦 チームリーダー 地球環境変動領域 海洋環境変動研究プログラム 海洋循環研究チーム

海の変化を知る手がかり

海水はただ単に水に塩化ナトリウムが溶けたものではない。酸素、二酸化炭素、栄養塩など、とても多くのものが溶け込んでいる。これらの物質は溶存物質と呼ばれていて、海を詳しく知るには欠かせない存在だ。

海は切れ間なく広がっておりどこも同じもののように感じるが、実は場所や深さによって、溶存物質の種類や量が違っている。村田昌彦チームリーダー（TL）は「大気は気温や水蒸気の量などによってたくさんの気団が存在していることが知られていますが、海水にも気団に相当する水塊があります」と語る。溶存物質を調べると、どこにどんな水塊があるか分かる上、その動きも明らかになる。溶存物質は海の変化を知る手がかりなのだ。

水温や塩分などはセンサーだけでも測定できるが、溶存物質は船舶でその場に行き、観測する方法が主流だ。なぜなら、海水に含まれる酸素や二酸化炭素、栄養塩の量を詳しく調べるには、実際に海水を汲み上げて分析装置にかけられるしか方法がないからだ。「センサーを使えば作業量や手間は減りますが、まだ十分な精度が得られないのです。私たちは高精度観測をしていますので、精度を犠牲にしてまでセンサーを導入する気はありません」と村田TLは現状を教えてくださいました。

実際の観測はまず、観測点で海水をとる。昔は海の表面にある海水しかとれなかったが、村田TLらが観測に使用している海洋地球研究船「みらい」では、大型CTD採水器を使って6,500mの深さまで採水することができる。大型CTD採水器には、12リットルの水が入るニスキンボトルが36本取り付けられており、海底から表面まで、36カ所の深さの海

水を採取できる仕組みになっている。

大型CTD採水器を海底まで下ろし、引き上げてくるまで3～4時間もかかる。その間船上では、汲み上げられた海水を分析する準備を整えている。具体的には、海水を小分けするビンを用意するのだ。36種類の深さの違う海水について、さまざまな成分分析を行うため、分析に必要な本数のビンをそれぞれのかごに確実に入れる必要がある。かごやビンにはニスキンボトルの番号に対応した番号がつけられていて、どの深さの海水なのか一目で分かるようになっている（図1）。

船上に引き上げられた海水は、採水室でそれぞれのビンに小分けされる。8～9名ほどの人たちが、それぞれ4～5本のニスキンボトルを担当して、分析用のビンに分けていく。分析する成分の中には、酸素や二酸化炭素といった空気中に気体として多く漂っているものもあるため、その成分が入らないようにチューブを使いながら慎重にビンへと移していく。「小分けの作業はチューブをビンの端につけて静かに注ぐ、海水をビンからあふれさせて気体を追い出すといった細かいノウハウがあります。初めて作業をする人には2日ほど練習を重ねてもらい、ノウハウを身につけてから実際の作業に入ります」（村田TL）

小分けされたビンは分析成分ごとに集められ、一つ一つ、人の手によって分析機器にかけられる。分析時間は項目によって大きく違う。酸素の場合は、1つの観測点で得られた海水を全部分析するのに5～6時間、二酸化炭素になると10～12時間も要する。二酸化炭素はほかの項目と比べると大幅に時間がかかるので、全観測点の半分ほどしか分析することができないという（図2）。



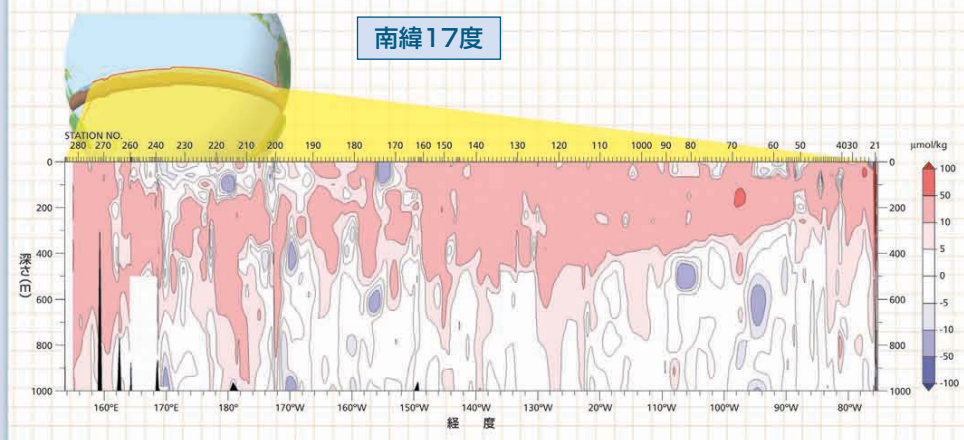
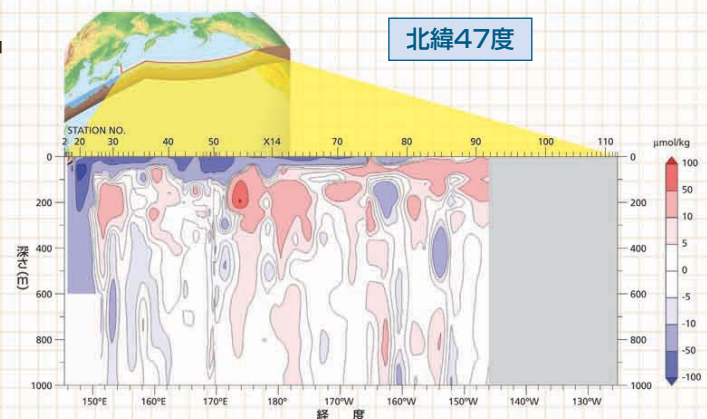
図1 整然と並べられたかごとかごの中のボトル



図2 化学分析の様子

図3
人為起源の二酸化炭素の増加

北緯47度は海面に近い方が人為起源の二酸化炭素が多く、南緯17度では水深800mの深さまで増加している。このことから、極に近い高緯度の海で、空気中の二酸化炭素が海に溶け込み、中緯度の海域に流れてくる過程で二酸化炭素の溶け込んだ海水が海中に沈み込み、海全体が酸性化の方向へ進んでいることが分かる。



進む海の酸性化

現在、村田TLらが力を入れて取り組んでいるのが二酸化炭素の観測だ。二酸化炭素は最近、大気中での増加が話題になっている。大気と海洋は長い間、お互いに物質のやり取りをしながら一定のバランスを保っていた。しかし近年、大気中の二酸化炭素量の急激な増加が、海洋の二酸化炭素量にも影響を与えてきている。二酸化炭素は水温が低いほどよく溶けるため、高緯度の北太平洋や南極海で溶け、海流に乗って亜熱帯海域にたまっていることが分かってきた（図3）。

また、海のなかに人為起源の二酸化炭素が溶けることで、海水が酸性化していることも見えてきた。「海はもともとアルカリ性で、pHという指標で表すと海全体で7.3～8.3でした。それがここ10年くらいで0.01ほど値が低くなり、酸性方向に進んでいることが分かりました」と村田TL。人間から見たらとても小さな変化かもしれないが、海のなかにはプランク

トンなど、小さな生物がたくさんいる。それらの生物にどのような影響を与えるのか、これから調べていかなければならない。

溶存物質は、海洋の動きや変化を追跡するために重要な物質である。現在は、酸素、二酸化炭素、栄養塩、フロンなどが使われているが、新しい指標として6フッ化硫黄が利用できるように研究が進められている。

また、ここ最近では、様々な国の研究機関が連携し、国際的な枠組みのなかで海洋研究を進めることが多くなってきた。その際、各機関が独自に測定していたのでは客観的な比較ができず、観測データが有効に活用できなくなる。そこで、共通のものさしとして、国際的な標準物質をつくる動きが活発になっている。多くの機関がデータを共有することで、海洋内での物質の流れがより見えてきて、今まで知られていなかった海洋の姿がよりはっきりと見えてくることだろう。 **BE**



明らかにになる北極海の姿

取材協力：菊地 隆 チームリーダー
西野 茂人 技術研究主任

地球環境変動領域 北半球寒冷圏研究プログラム 北極海総合研究チーム

長い歴史を持つ北極観測

地球温暖化の影響が顕著に表れやすい北極は、温暖化や気候変動のことを理解したり、これからの予測を立てたりする上でとても重要な場所だ。JAMSTECでは、北極海総合研究チームが北極海の観測や研究を担っている。「北極海で起きていることを実際に見て、それが地球全体にどのような影響を与える可能性があるのかを調べていくのがこのチームの役割のひとつです」と菊地隆チームリーダー（TL）は語る。

北極海総合研究チームの観測は1992年にさかのぼり、約20年の積み重ねがある。北極海周辺は冬になると厚い氷が海全体に広がり太陽も出ない厳しい環境で、なかなか人が入り込める場所ではなかった。社会的な事情もあって、観測が活発になってきたのは1990年代に入ってからだ。日本の北極観測は世界から見ても、長い歴史を持っている。

北極海総合研究チームは、主に船舶と漂流ブイを使って北極海の変化を観測してきた。1998年からは海洋地球研究船「みらい」での北極海観測航海もスタートしている。菊地TLは、「20世紀中は北極海はしっかりと凍っていて、『みらい』ではなかなか北へは行けませんでした。しかし2000年以降海水の面積が減ってきて、航海するたびに最北到達点を更新しています。2009年の航海では北緯79.0度に達しました」と教えてくれた。

人工衛星の観測によると、北極海の氷は1979～2000年の9月の平均海水面積が約700万km²だったのに対し、2007年に

は約420万km²と4割も減少している（図1）。北極海総合研究チームは、気象、海洋物理、生物地球化学の3つの観点から氷が減少する北極海で何が起きているのかを研究している。

観測された海水融解の影響

北極海総合研究チームで生物地球化学の分野に携わる西野茂人技術研究主任は、「たとえば、カナダ等との国際共同観測で分かってきた炭酸イオンとカルシウムイオンの濃度の低下は、まさしく海水の融解に密接に関係しています」と語る。海水が溶けた水（海水融解水）は真水に近いので、海水が海水融解水と混じると、海水中に溶けていたものの濃度が下がる。当然、そこに溶けている炭酸イオンとカルシウムイオンの濃度も下がることになる。

炭酸イオンとカルシウムイオンは、ある種のプランクトンや貝などの殻の成分である炭酸カルシウムをつくっているイオンだ。しかし、海水中に炭酸イオンとカルシウムイオンが一定の濃度以下（炭酸カルシウム飽和度という指標が1以下）になると、炭酸カルシウムの殻が溶けやすくなり、殻をもつ生物が育たない可能性がある。1997年の調査では炭酸イオンとカルシウムイオンの濃度は一定の濃度よりも高水準（炭酸カルシウム飽和度が1以上）だったが、2008年の調査では北極海カナダ海盆の広い範囲で濃度が低下しており、殻が溶けやすい水準（炭酸カルシウム飽和度が1以下）にまで落ち込んでいる場所もあった（図2）。2009年も「みらい」で観

図1
海水分布の変化

北極海では年を追うごとに海水の面積が少なくなっている。地球温暖化の影響によるものと考えられる。

左図：9月の北極海の海水面積。（Inoue and Kikuchi [2007] の図を更新）
右図：2007年9月の海水分布。桃色の線は1979～2000年の9月の平均的な氷縁を表す。（海水データは米国National Snow and Ice Data Centerより取得）

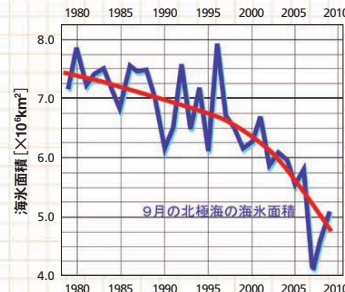
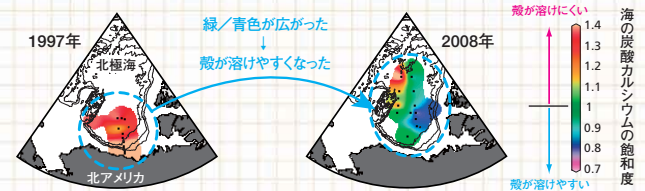


図2
北極海の炭酸カルシウム飽和度の比較

1997年は観測した海域全体で炭酸カルシウム飽和度が1以上であったが、2008年は炭酸カルシウム飽和度が1以下の海域が広い範囲でみられた。炭酸カルシウム飽和度が1以下の海域では炭酸カルシウムの殻が溶けやすい。



測が行われたカナダ海盆西部で殻が溶けやすい状況になっていることが分かった。炭酸イオンの濃度低下は近年問題視され始めた海洋酸性化によっても引き起こされるが、北極海では海水融解による影響の方がはるかに大きい。

海水融解の影響はそれだけにとどまらない。海水がなくなることによって海水中に光が供給されて植物プランクトンによる光合成が活発になり、生物ポンプが強化すること（図3）が2004年の「みらい」の観測で明らかにされた。生物ポンプとは、海の表層にある炭素がプランクトンなどの死骸やフンという形で海の深層へと移動する現象で、大気から二酸化炭素を吸収して海の深層に貯蔵する働きがある。

しかし、海水の融解が常に生物ポンプを強化する要因となるのかというと、そうとも限らない。西野技術研究主任は「生物ポンプの強弱は、実は海洋循環と密接に関係しています。海の流れて海水融解水が集まる海域では生物ポンプが弱化する可能性があります」と語る。海水融解水は海水の層の上に淡水の層としておおいふさる。この淡水の層は海水融解水が集まる海域で厚くなる。淡水の層が厚いと、表層に下層からの栄養分が供給されなくなってしまう、生物活動や生物ポンプの効果が低下する。一方、海水融解水が集まりにくい海域は、海水がなくなることによる光環境の改善で

生物活動や生物ポンプの効果が高くなる。このような事実が2009年の「みらい」の観測から見え始めてきた。

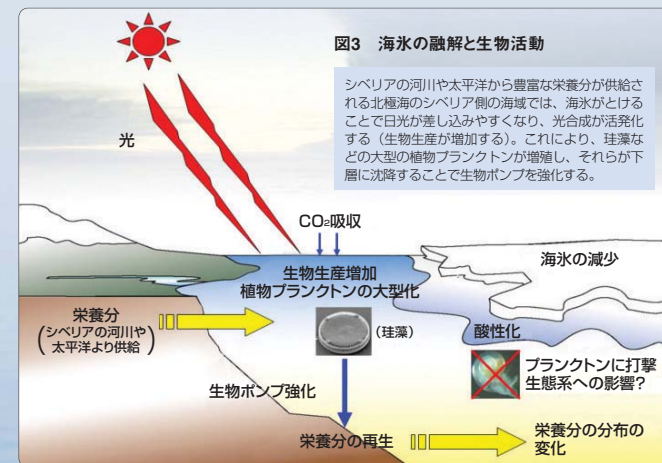
手探りから展望の時代へ

北極海はほかの海域に比べてデータの蓄積が少なく、やっと全体像が見えてきたという段階だ。そこから読み取れる北極海の変化は、急激なペースで進んでいる。その原因を知るためにも、また環境変化の影響を探るためにも、さらなる観測が必要だ。

近年、北極海の夏季の海水面積も予想を上回るペースで減少している。しかしいままな観測計画を立てて航海を始め、いざ現場に着いてみると海水・気象状況により計画変更を迫られることも多い。「2009年の観測がいい例でした。過去の観測結果をもとに生物活動は北極海のシベリア側が活発になるだろうと予測していたので、その事実をとらえるためシベリア側に行く計画を立てていました。しかし、人工衛星からの海水分布図よりもはるかに早く氷が出現して行けなかったのです」と菊地TLは振り返る。その話を受け西野技術研究主任が「それで意気消沈していたのですが、調査主任を中心とする研究者間での議論の末、アラスカ沖を北へ向かうことにしました。そこでは、いままでの観測結果とは逆に、海水融解に伴う生物活動の低下をとらえることができました」と続けた。

計画通り進まず、現場での臨機応変な対応が求められることが多いのが、北極海観測の難しいところでもあり面白いところでもある。北極海は手探り状態だった冒険の時代が終わり、おおむねイメージが描けるようになってきた。現場での変更はあるものの、行き当たりばったりではなく、何を観測できるか展望を立てた上での変更や修正となる。さらに観測が積み重ねられれば、北極海の詳細な姿が明らかになると期待される。

BE

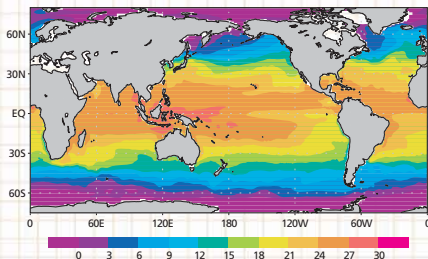




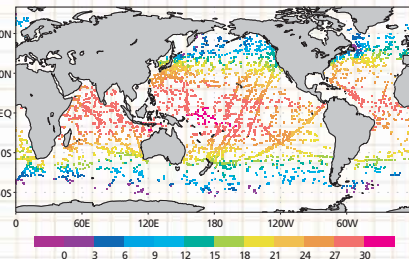
本格化する第三の研究手法 データ同化

取材協力：増田 周平 チームリーダー 地球環境変動領域 海洋環境変動研究プログラム 海洋データ同化研究チーム

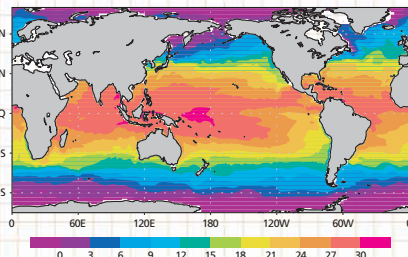
(a) 数値シミュレーション



(b) 現場観測 (船舶・繫留/Argoパイ)



(c) データ同化結果



2004年冬季の25m深における水温分布

(a)の数値シミュレーションでは、きれいな水温分布の地図が描かれているように見える。しかし、実際の観測をしているわけではないので、その図が正確なものである保証がない。一方、(b)の観測データは正確な温度を測っているが、地図上に空白の部分がたくさんできてしまう。(a)と(b)の結果をデータ同化の手法を使って統合することで、シミュレーションと観測のよいところを掛けあわせた(c)の図ができる。(a)と(c)を比較すると、観測データを反映してシミュレーション結果よりも水温が高い場所が出てきていることが分かる。

海洋研究の2つの流れ

海洋研究には、実際に海の状態を直接測定する「観測研究」と、既知の力学法則をもとに数値計算を行う「モデル研究」という2つの大きな流れがある。観測は現実の海に出て直接測定しているので、そこから得られるデータは間違いのない現実の姿を反映させたものだ。しかし、海は地球表面の約7割と広大である。そのような広範囲を網羅する観測はなかなかできない。加えて、海中も含めて考えると満遍なく観測することはかなり難しい。時空間的な偏りがどうしても起こってしまうという短所がある。

それに対して数値モデルによる研究は、地球全体を網羅して計算することができるという利点がある。しかし、計算して得られた結果が正しいかどうかの保証がない。「日々、私たちが接している天気予報は数値モデルから得られる予測で

す。明日の天気計算するとききれいな天気図を描くことはできるのですが、実際に翌日その天気図のとおりになるかどうかは分からないのです」と増田周平チームリーダー (TL) は解説する。

観測とモデルのよいところを融合する

何とか、観測とモデル研究の利点を残して、欠点をなくすることができないかと思われたのが「データ同化」という手法だ。これは観測によって手に入れたデータを数値モデルに組み込んで、モデル結果を現実世界に近づけるというもの。ここ数年で観測データは質、量ともに向上し、数値モデルの性能も上がってきた。いままでも別々の流れで発展してきた2つの手法を融合させることで、これまでと違う新しい道が開けるという期待がある。

「この手法は、観測サイドから見ても、モデルのサイドから見ても、今まで越えられなかった壁を乗り越えられる画期的な手法です」と増田TL。観測データはどんなにがんばっても、観測点と観測点の間の情報が抜け落ちてしまうが、モデルと融合させることで抜け落ちた情報を補完することができるし、数値モデル側の視点に立つと、現実には観測されたデータを取り込むことで、モデル結果の現実性が上がる。

方程式にのっとった同化手法

数値モデルに実際の観測データを反映させるデータ同化には、いくつかの方法がある。数値モデルに現実の観測データを反映させるとき、モデルによる計算結果と観測データのずれを論理的な整合性をもって補正していないことも多い。

たとえば、簡便な同化手法によっては塩分濃度の値が観測よりも大きくなったとき、それを補正するために計算式上に真水の量を多くする項を足すといった具合に、その場限りの意味のない項を追加して修正を試みたりする。「目的にもよりますが、そういうやり方では逐次的にモデルの悪いところを観測で埋めているだけになり、現象の時間発展を扱うときには慎重な取り扱いが必要です」と増田TL。

数値モデルを動かしていくのは方程式だ。方程式にその場限りの項をつけていくと、その項があるがゆえに、時間発展させたときにモデルと現実の間にずれを生んでしまう。そこで、増田TLらは方程式に余計な項をつけずにデータ同化を進める「4次元変分法」に取り組んでいる。4次元変分法の場合は、あくまでも方程式にのっとって補正をしていくので、数値モデルの計算結果と観測データの間にずれが生じたら、そのずれが発生した原因を探っていくという。増田TLは「たとえば海水温を決める要素は、海流の流れ、周りの水の温度、数日前の水温、大気との熱のやりとりなどいくつかありますが、それらの要素を探って、ずれが出た原因を見つけていき、その部分を修正することで、モデルと観測の差を埋めていくシステムでデータ同化をしています」と4次元変分法での同化の仕組みを説明する。

シンプルな操作で広い応用範囲

このように補正することで、4次元変分法では、モデルの骨組みである方程式の形をきれいに残したまま観測データを数値モデルに取り込み、モデル結果を現実の世界に近づけていくことができる。従って、もし、モデルの方程式に欠陥があった場合でも、同化結果を精査しながら方程式をたどっていけば、どこに欠陥があるのか突き止めることができる。そして、その欠陥を修正していくことで、モデルの質も高めていけるのだ。

観測データは物理的な量として、水温などの状態量もあれば、塩分や酸素濃度など物質質量もあり、さまざまな項目にわたる。これらの項目をどのようにモデルに反映させていくの



「地球シミュレータ」

かも、これまでのデータ同化では頭を悩ませる部分だった。だが、4次元変分法では、この問題に悩む必要がない。観測データにたくさんの項目があっても、その数値を入れればプログラムがモデルの結果と観測データの差をとって、その原因を突き止め、補正していくため、操作はシンプルになっている。

たとえば、塩分濃度が観測よりも高めにしたら、雨を降らせて解消しようとするように、自然界の理屈にあった方法でデータ同化が進んでいく。モデル計算に使用している方程式に意味のない余計な項を入れることがないので、方程式上で矛盾を生じることはない。従って、時間を発展させて、今後、どのようなことが起こるか予想することも、過去にさかのぼって、いまの現象をつくりだしている原因を探ることもでき、海況予報や気候変動現象の解析など幅広い分野に応用できる。

ネックは計算量

4次元変分法はすばらしいデータ同化手法だが、地球全体を対象として本格的に取り組んでいる研究機関はまだ少ない。その大きな理由が計算量にある。この方法では、観測とモデルのずれの原因を探るのに時間をさかのぼっていくが、その計算は1回では終わらない。たくさんの可能性のなかから最適解を探すために、ほかのデータ同化手法に比べて計算量が膨大になる。その計算量をこなすだけのパワーのあるコンピュータは世界中を見渡しても、そうあるものではない。「幸い、JAMSTECには『地球シミュレータ』があるので、地球全体という大きな規模の4次元変分法に取り組むことができます」と増田TLは語る。

4次元変分法を用いたデータ同化は、観測と数値モデルをつないで、地球の姿を再現するだけに終わらない。数値モデルをよりよいものにするために、どのような改良をしたらいいか指摘したり、時間発展を逆にさかのぼることで、どのポイントで何を観測したら将来役に立つデータが得られるかということも観測者にフィードバックしたりするナビゲーター役にもなれる。海や大気の知られざる一面を明らかにするための強力な武器となることは間違いない。 **BE**

アクアマリンふくしま

生命進化の謎を追う ——シーラカンス生態調査

取材協力：岩田雅光 グリーンアイ・プロジェクト

1938年12月に南アフリカ東岸沖で捕らえられた珍しい魚の話は、世界の生物学者たちを驚かせた。4～3億年前に地球上に現れ、8000～6500万年前に絶滅したと考えられていた古代魚シーラカンスが、ほとんど変わらぬ姿で現在も生き続けていることが明らかになったからだ。その後、「20世紀最大の生物学的発見」といわれたシーラカンスに関する調査は数多く行われてきた。そして、アフリカ大陸の東岸だけでなく、1998年にはインドネシア沿岸でもシーラカンスが見つかった。しかし、その生態については、まだよく分かっていない。

「海・生命の進化」展示コーナーで、カプトガニやオウムガイ、ハイギョなど「生きた化石」と呼ばれる海の生き物の展示に力を入れるアクアマリンふくしまは、開館当初からシーラカンスの調査に取り組んできた。2005年からは、インドネシア・スラウェシ島を中心に、ビデオカメラを搭載したROV（無人探査機）による生態調査を実施し、2006年に世界で2例目となるインドネシアでのシーラカンス水中撮影に成功。2009年には世界で初めて稚魚を発見し撮影した。

海中のシーラカンスの目が緑色に光って見えることからグリーンアイ・プロジェクトと名付けられたアクアマリンふくしまのシーラカンス生態調査に携わる岩田雅光さんは、「2008年を除いて、毎年シーラカンスの撮影に成功していますが、運がよかっただけで、どこにいるのか、どのくらいいるのか、さらにその生活史については、まだ明らかになっていないことばかりです」と話す。それでも、昼間は深さ150～200mにある岩の割れ目やオーバーハングの下に隠れ、夜になると餌を捕らえるために外に出てくこと、捕食の仕方は、餌となる魚が目の前に近づいてくるのをじっと待ち、大きな口を開けて吸い込むように捕らえることなど、調査を通して、その暮らしが少しずつ明らかになろうとしている。「稚魚を見つけることは調査のテーマの一つでしたから、昨年は大きな成果を挙げることができました。今後は繁殖行動など、生活シーンをさらに詳しく見ていきたい」と岩田さん。シーラカンスは卵ではなく親と同じ形をした子どもを産む、胎生魚であることが知られている。「母体から子が生まれる瞬間などは、ぜひ見てみたいですね」という。

アクアマリンふくしまでは、「シーラカンスの世界」という展示コーナーを設置し、シーラカンスの標本や水中映像を公開している。「数千万年という時代を超えて生きてきたシーラカンスの迫力を、ぜひ皆さんに感じてほしい」と岩田さんは話す。

05

■ Information : アクアマリンふくしま (ふくしま海洋科学館)

〒971-8101 福島県いわき市小名浜浜原町50
TEL 0246-73-2525
URL <http://www.marine.fks.jp/>



提供：ふくしま海洋科学館 (アクアマリンふくしま)



2008年にアクアマリンふくしまで実施されたアフリカシーラカンスの解剖の様子。



「シーラカンスの世界」コーナーに展示されている貴重なシーラカンス(アフリカ)の標本。内臓や骨格の一部(左)も見ることができる。



2009年10月6日、インドネシア北スラウェシ州マナド湾内の岩の小さな割れ目(水深161m)で撮影されたシーラカンスの稚魚。大きさは31.5cm。

2009年9月24日、北スラウェシ州タリセイ島北部の岩のくぼみ(水深146m)で撮影された、6匹ものシーラカンスが同じ場所に隠れている様子。アフリカでは10匹が群れている映像が撮影されているが、インドネシアではこれほど多くが1カ所で同時に撮影されたことはない。

提供：ふくしま海洋科学館 (アクアマリンふくしま)



インドネシアで実施されているシーラカンス生態調査で、母船からROVを操作する様子。



シーラカンス生態調査で使用された水中カメラを搭載するROV。本体は長さ約85cm、幅約62cm、高さ51cm。深度300mまで潜航することができる。

「乱流衝突」という物理現象をもとに 豪雨をもたらす雲の発達を計算し予測する

大西 領 地球シミュレータセンター マルチスケールモデリング研究グループ
アプリケーションラボ 気候変動ラボユニット（兼務）



雲のシミュレーションは、さまざまな気象シミュレーションのなかでも非常に複雑で難しいものとされている。だがいま、地球温暖化の予測の向上や、大きな社会問題となっている豪雨の予測のためにも、雲の発生や発達過程を、より精密にシミュレーションすることが求められている。大西領研究員は、あえて難易度の高いこの分野にチャレンジ。豪雨をもたらす雲のなかで、強い乱流によって雲粒同士が衝突し急激に成長する現象に着目した。積雲の成長速度における乱流衝突の効果を正確に計算することで、豪雨予測を現実のものとするよう、研究を進めている。

「災害予測シミュレーションの高度化プロジェクト」会議で、豪雨予測シミュレーションにおいて雲乱流を詳細に扱うことの重要性について発表。

Profile

おおにし・りょう
1978年生まれ。奈良県出身。京都大学工学研究科博士課程修了後、国立環境研究所のプロジェクトを経て、2005年11月より地球シミュレータセンターの研究員に。専門は環境流体力学。気象予報士、業道二段。趣味はスキューバダイビング（オープンウォーター）とパラグライダー（ノービスパイロット担当）。

豪雨の予測は難しい

——大西さんはマルチスケールモデリング研究グループで、どのような研究をされているのですか。

大西：簡単にいえば、雲の研究をしています。雲は地上から見ると白く見えますが、本当は小さな水滴（雲水）や氷の粒の集まりです。その水滴が成長し、雲が発達して雨を降らせます。雲の水滴の成長予測に、最も興味があります。

雲の研究のなかでも、特にいま「豪雨」がキーワードになっています。そこで、豪雨の予測を向上させる研究プロジェ

クトのなかで、雲水の成長を研究しています。

この研究は豪雨だけでなく、地球温暖化の問題にも絡んでいきます。温暖化予測で、一番不確実性が高いのが、雲とエアロゾル（空気中に漂う微細なゴミ）です。エアロゾルは雲の水滴の核になるものでもあります。雲とエアロゾルが、温暖化にどのような影響を与えているのかという物理過程は、特に計算が難しいのです。なぜ難しいかということ、一つは、その過程について分かっていないということ、もう一つは細かく計算



地球シミュレータセンターマルチスケールモデリング研究グループが開発を進める大気・海洋結合モデル「MSSG」と「ビン法」によって、海洋上で発達する積雲に対する雲シミュレーションを行った画像。第23回数値流体力学シンポジウム・ベスト・CFDグラフィックス・アワード最優秀賞を受賞した。

しようとすると、あまりにも計算が膨大になりすぎて、コンピュータの処理能力の限界をすぐに超えてしまうということです。そのため現在の温暖化予測では、雲はかなり大ざっぱに計算されています。その精度を上げることが、温暖化予測の精度向上にもつながるのです。

——最近では日本でも、経験のないような豪雨による被害も出ています。豪雨を予測するのは難しいのですか。

大西：実は、現在の天気予報のシステムでは、豪雨の正確な予測に対応できません。起こりそうということまでは分かって、いつどこで起こるかまでは予測できません。物理の部分を大ざっぱにしないと、計算量が膨大になってしまうという、先ほどと同じ問題があるからです。

雲水は、小さな水滴から雨粒となる

大きな水滴に成長していくのですが、その速度をちゃんと計算せず「この程度の速さで雨粒になる」という経験的な式を使っています。するとどうしても「チューニングパラメータ」という魔法の数字が出てきてしまうのです。

たとえばその数字が2なら、ずっと雲粒*から雨粒になるのに、0.5ではなかなか雨にならないとします。「1ではまだ少ないから、1.5くらいならびつたりだろう」と、適当な速度で雨になるようにチューニングするのです。天気予報は日々の天気を予報するためのものですから、毎日の天気にあわせてチューニングパラメータを決めます。でも、大きな災害を引き起こすような豪雨は何十年に一度の特例ですから、そのチューニングでは予測不可能なのです。

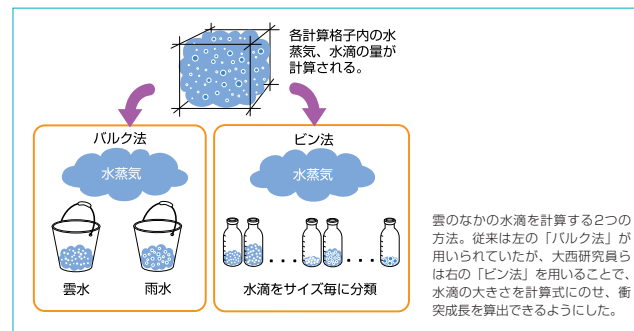
ですから、なんとかチューニングパラ

メータを使わない形で豪雨予測をやりたいのですが、それには物理をかなり細かく計算していく必要があります。スーパーコンピュータを使って、できる限り詳細に研究して、チューニングパラメータを減らしていくことが大事です。そのなかで、雲の水滴が雨粒へ成長する過程を数値計算で表すのが、私のテーマです。

雲のなかで起こっていること

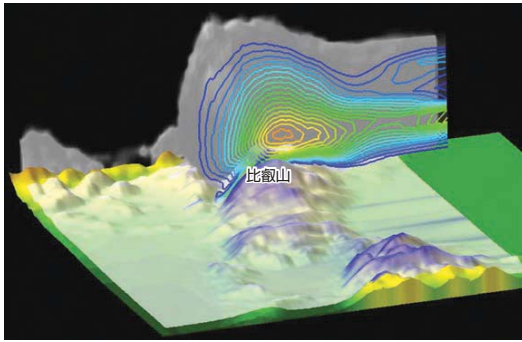
——雲の水滴の成長速度はどのように計算するのでしょうか。

大西：およそ1ミクロン～1ミリまで、雲の水滴は大きさがバラバラです。そこで大ざっぱに小さな水滴と大きな水滴に分けて計算するのが従来の「バルク法」という気象計算です。それに対して私は、水滴をサイズごとに小さなビンに分ける「ビン法」を使っています。本当は無限に細かく分かれませんが、それは無理なので、だいたい数十個に分けます。分ける



雲のなかの水滴を計算する2つの方法。従来は左の「バルク法」が用いられていたが、大西研究員らは右の「ビン法」を用いることで、水滴の大きさを計算式にのせ、衝突成長を算出できるようにした。





比叡山を囲む領域で行った山岳降雨実験と計算された雲の様子。地表に降った雨は、青色で示されている。

ことによって、水滴の大きさを計算上で考えることができます。これくらいの大きさの水滴はどれくらいの成長速度を持つのか、経験式ではなく、きちんとした方程式を解いていけばいいのです。

ただ、ビン法はバルク法に比べて計算時間が100倍もかかるので、「地球シミュレータ」ができるまでは、計算量が多すぎて使えませんでした。コンピュータの進化に伴って、3次元の現実的な形で雲の計算ができるようになったのです。

水滴の成長には、大気中の水蒸気が過飽和な状態で、水分子を回りにくっつけて大きくなる「凝縮成長」と、水滴が衝突して一つになる「衝突成長」があります。衝突するほうでは、「10ミクロンの水滴と50ミクロンの水滴が衝突する確率はどのくらいか」という衝突確率が必要になります。空気が静止していて比較的一様な粒子がある場合には、水滴の大きさごとに落下速度は分かるので、どれくらいの確率で衝突するかは簡単に計算できます。その場合、たとえば50ミクロンの粒子同士は同じ速度で落下しますから、衝突しないことになります。

でも実際は、豪雨をもたらすのは積雲とよばれる、もくもくした雲です。あの雲のなかは乱流状態で、空気が静止していません。毎秒10mくらいの上昇気流で、すごいパワーをもっています。そういうふうに大気が乱れていると、50ミクロンの粒子同士もぶつかるようになります。——なるほど、そうすると雲の水滴の成長は一気に早くなりますね。

大西：そうです。その効果まで含めない豪雨は分かりません。積雲のライフサイクルは短く、数十分で積雲が立って

は大雨を降らせます。それが連続して豪雨になるのです。積雲のライフサイクルが短いのは、水滴が急激に成長して落ちるからです。私はその“急激度”をきちんと予測したいと思っています。

そこでキーワードになるのが、水滴を衝突させて雲を成長させるもととなっている「乱流」です。いまお話したのは「乱流衝突」という現象です。乱流衝突自体は、工学の分野のものです。雲は気象分野のものですから、分野をまたいだ研究になっています。

機械好き、「乱流」に出会う

——最初から気象に興味があったのですか。

大西：アウトドア好きなので、気象は気になるものではありませんでしたが、機械いじりがしたくて、大学は工学部の機械工学科に進みました。もともと飛行機やロボット、車が好きだったのです。特に航空やロボット、あるいは制御のほうに関心があったので、そちらを将来の進路として考えていました。

でもそのうちに「研究者もいいかな」と思い始めました。機械工学には、材料力学(材力)、熱力学(熱力)、流体力学(流力)、いわゆる「三力」とよばれる必須のものがあるのですが、どうせ選ぶなら一番難しいと自分が感じたのにしよう、と、専攻を流体力学にしました。「三力」のなかでは流体力学が圧倒的に難しいと感じたのです。研究で生きていくのなら、難しいもののほうがいろいろ研究の余地があつていいのではないかなというのが、選んだ理由です。その時点では、特に気象とは関係ありませんでした。

——研究者への道を決定づけたきっかけは？

大西：京都大学で小森悟先生に出会ったのが大きかったと思います。面倒見のよい先生で、研究者として尊敬できる方でした。小森先生は海洋の風波に関係する風波乱流を研究していらっしゃいました。風が吹いて波ができ、その波のなかと波の上に乱流ができるのです。気象ではほとんど乱流のことを考えずにモデルをつくっていたのですが、乱流を入れて考えないといけないのではないかなという、ちょうどいま私がしているのと同じような研究ですね。

小森先生は、もとは化学工学の先生で、工業装置で混ぜながら反応を進めて化学製品を作るときに、乱流も考えて反応生成量を予測しようというところから、乱流の世界に入られたそうです。その先生のおかげで、私は機械工学にいらながらも「自然のなかにも乱流ってあるんだ!」と思ったのです。

最初は「乱流中の化学反応」という、小森先生の研究に近いことをやっていました。乱流のなかでも、粒子の衝突をテーマに研究していて、そのとき「乱流衝突は雲の成長に大きな影響があるのではないか」という議論を知りました。博士論文のときに、テーマを雲の乱流へと変えたのです。

——まず、乱流という現象のほうに着目したのですか。

大西：ええ。それで調べていったら、ちょうど気相(気体)、液相(液体)、固相(固体)という異なった相が混じっている、混相の乱流衝突が出てきたのです。まさに雲の状態ですね。空気の乱流のなかに、固体粒子もしくは液体粒子があるので、空気の流れだけを計算するのに比べて、また一つ難しくなります。



学生時代、小森研究室の友人と種子島旅行。



趣味のパラグライダー。

難しいから、まだ未知の部分もたくさんある。その一つが先ほどの、雲の水滴という粒子の乱流衝突というわけです。

私が研究を始めたとき、雲乱流に着目している人はほとんどいませんでした。そこで「いまがチャンスかも!」と、あらためて気象の勉強をしたのです。アウトドア好きでもあったし、勉強がてら、気象予報士を目指してみました。

世界は非線形現象だらけ

——アウトドアは、大学入学前からの趣味なのですか。

大西：キャンプはそれ以前からしていましたが、パラグライダーやスキューバダイビングは大学に入って、本格的な研究生活に入る前に始めました。時間がなくても行っていましたけど、最近ほめっさり「こもりっこ」になってしまいました(笑)。

ちなみに乱流はマルチスケール現象といわれていて、いろいろな大きさの現象が混在しています。小さな現象ほど時間スケールが小さい、つまり寿命が短くなります。パラグライダーをやっていると、スケールをすごく意識しますね。

パラグライダーは、向かい風が来たときにスタートすると、ずっと行けます。逆に横風のときに出ようとすると、あおられてうまくいかなかったりします。ですから、風による草の動きなどで風を読むのです。草を動かす風はすごく小さなスケールの渦で、私を飛ばしてはくれないのですが、見てみると、もっと大きな

スケール、だいたい10mの大きさのまとまった風が向こうからすーっと来るのが、なんとなく分かります。「あつ、来る」というときに行くとうまく飛べます。それは数秒というタイミングです。いろいろな大きさがある風のなかで、ちょうど自分のパラグライダーの羽根くらい、10m程のスケールの風をとらえようと意識しますね。そのとき、おそらく乱流のなかにある、マルチスケールをとらえているのではないかと思います。

——研究している現象を、自ら体感しているわけですね。

大西：複雑系という言葉が一時期はありました。マルチスケール現象、複雑系現象は、物理でいう「非線形現象」の言いかえだと思っています。つまり、世の中で「分からない」「難しい」と言われている大半は、非線形現象なのです。私は「人生のうち、どの程度があらかじめ決まっているのだろうか」とか、「そのときの歴史的背景によって、どれくらい人生が決まるのだろうか」とか、ときどき考えてみたりするのですが、そういうのも非線形現象です。そう考えると楽しくないですか(笑)。その代表的な例が、流体力学で見られる乱流なのです。

研究者は想像力

——今後の研究の方向性は？

大西：これをさらに発展させると、台風の影響でもたらされる豪雨予測が現実的になってきます。現実の現象に適応していき、どこまで豪雨予測が可能になる

のかをやってみたいと思います。乱流は、ノーベル賞受賞者のファインマンも興味をもって勉強したけれど、あきらめたというくらい難しいものです。特に乱流衝突には、まだ分かっていない部分がたくさんあり、いくらでもやることがあります。天気予報にしても、これからコンピュータの性能が上がれば、大ざっぱに扱っていたことを細かく扱うことができます。つまり研究対象が増えていくのです。

——これから研究の世界を目指したい人へ、メッセージを。

大西：世の中には未知のことが、たくさんあります。こういう研究をしていると、どうも周囲からは数式をこねくり回しているように見えるようですが、研究者になるのに必要なのは、数学力というより想像力です。さまざまな非線形現象の研究をしたり話を聞いたりして、想像してきた「あやふやなイメージ」が私の財産です。プログラミングのときには数式にとらめっこしていますが、普段は頭のなかで「こんなんじゃないか」「いや、違った」「それじゃ、こんなんじゃないか」「いや、やっぱり違った」とぶつぶついいながら、イメージを作り上げる感じです。だから、早急に正解を欲しがる人ではなく、失敗を楽しめる性格の人のほうが向いていますね。

※雲粒・雲の水滴は1ミクロン～1ミリ程度の大きさで、そのなかの100ミクロン程度までを“雲粒”、それ以上を“雨粒”と呼ぶ。“雲粒”の代表的な大きさは10～100ミクロン。

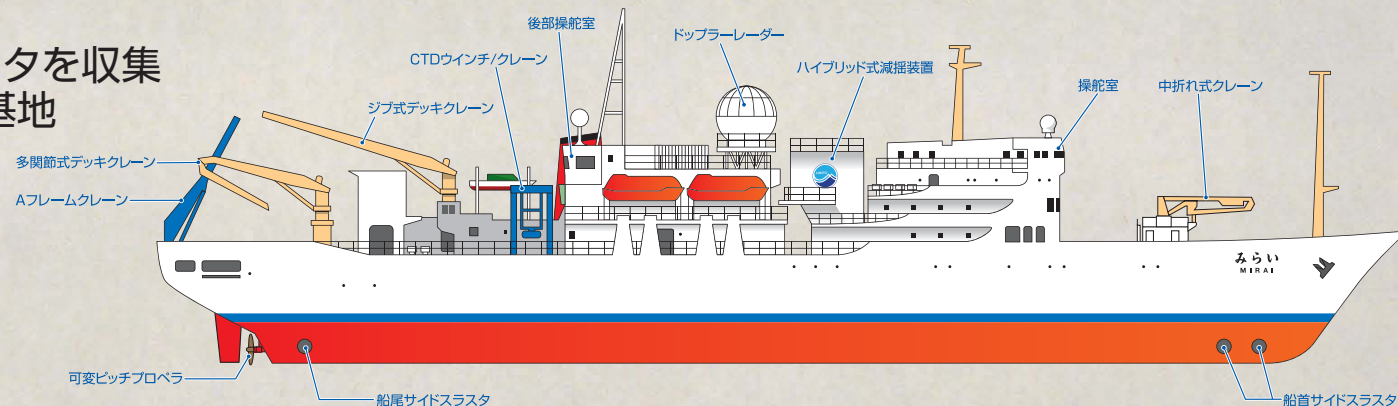


世界の海を航行し、海洋・大気の観測データを収集
洋上に浮かぶ海洋・地球環境情報の発信基地

海洋地球研究船

「みらい」

Oceanographic Research Vessel MIRAI



北極海を航行する「みらい」。



観測作業の場として利用される船尾の観測甲板（上甲板）。

■ 船体データ

全長	128.5m	定員	80名（乗組員34名、研究者等46名）
幅	19.0m	主推進機関	ディーゼル機関（1,838kW×4基）
深さ	10.5m	主推進方式	可変ピッチプロペラ×2軸
喫水	6.9m		
国際総トン数	8,687トン		
航海速度	約16ノット		
航続距離	約12,000マイル		

■ 主な研究設備

研究室（13室）、マルチナロービーム音響測深装置、音響式流向流速計、CTD採水装置、ピストンコアラ、フロトン磁力計、船上重力計・磁力計などの海洋・地球観測研究設備。気象関係観測室（3室）、総合海上気象観測装置、大気ガス採取装置、ドップラーレーダーなどの気象観測研究設備を搭載。

海洋地球研究船として新たな出発

「みらい」の前身は、1969年に建造された日本初の原子力船「むつ」だ。科学技術の粋を集結して造られた「むつ」だったが、わずかな実験航海を行った後、1992年にその役目を終えた。そして、原子炉および関連機器が撤去された船体は、1995年に海洋科学技術センター（現在の海洋研究開発機構 JAMSTEC）に移譲され、大規模な改造工事を経て、1997年大型海洋調査船に生まれ変わった。世界の海洋調査船の多くが3,000～4,000トンクラスだった当時、総トン数

が8,000トンを超える「みらい」は、まさに世界最大級の調査船であった。

そのころ、地球規模の環境変動を解明することが、海洋・地球科学における重要な課題となっていた。そのため「みらい」は、計画段階から気候変動や海洋変動を明らかにするための観測研究を主要な目的とする、「海洋地球研究船」としての機能と設備が重視された。

「みらい」の重要なミッションの一つが、トライトンブイの展開だ。エルニーニョ現象を解明する目的でJAMSTECが開発し、現在も西部太平洋および東部インド洋の

赤道海域に展開しているトライトンブイの設置・回収を行うため、「みらい」にはこの大型海洋観測ブイを14基搭載する十分な格納スペースとハンドリングのための設備が整っている。さらに、パラボラアンテナ直径3.0mという調査船としては世界最大級のドップラーレーダーをはじめとするさまざまな気象観測装置も設置されている。もちろん、大型CTD採水器（採水のほかに水温・塩分などの観測も行い、p14参照）や、採水した海水を直ちに分析するための研究室など、海洋観測の設備も充実している。観測研究設備だけでな

く「みらい」には、洋上での多彩な観測・調査に対応するため、荒天時や海上停船時の横揺れを抑えるハイブリッド式減揺装置が搭載され、高度な船位保持システムなども備える。また、極域でも観測活動が行えるように、氷縁域（結氷域の周辺部）での航行が可能な優れた耐氷構造（アイスクラスⅠA）が採用されている。

極北の海から熱帯域まで

1997年に完成した「みらい」は、翌98年に西部太平洋赤道海域でトライトンブイ1号機を設置し、同年夏には初の北極

海での研究航海を実施するなど、早くも地球規模の観測研究にその性能を発揮した。「みらい」にはその主要な任務として、「海洋の熱循環、物質循環、生態系、海洋底ダイナミクスの解明」が設定されており、就航以来、こうした重点基盤研究テーマに沿った研究航海を、太平洋を中心に世界の海洋で着実に実施し、多大な成果を達成してきた。また、2002年にはトライトンブイ網の18基展開を完成させた（西部太平洋16基、東部インド洋2基）。世界中の海洋研究者に「みらい」の名を知らしめたのが、2003年8月から翌年

2月にわたって実施された南半球周航観測航海「BEAGLE2003」だった。「みらい」は南半球中緯度域で、太平洋・大西洋・インド洋を一気に横断し、その間約500点で海面から海底直上までの水温・塩分を高精度で測定。さらに鉛直36層の海水を採水し、溶存酸素、二酸化炭素、栄養塩類など十数項目の測定・分析を行った。単一の研究船で、これほどの大規模観測を約200日という短期間のうちになし遂げたのは、海洋観測史上例のない画期的な出来事だった。その後も、インド洋観測航海「MISMO（インド洋における積雲対流活動に関する観測研究、2006年）」などで高い成果を挙げている。さらに、海水の急激な減少によって注目される北極海の研究航海では、2009年9月に「みらい」の観測史上最北となる北緯79度に到達。薄氷域を航行し、観測活動を実施した。地球温暖化をはじめ地球環境変動の解明はますます重要な課題となっている。これからも「みらい」が果たすべき役割は大きい。

B1



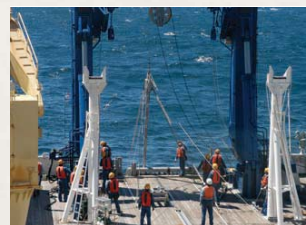
「みらい」によって西部太平洋赤道海域に設置されたトライトンブイ。



大型CTD採水器を船上から海中に降下させ、採水作業を行う様子。



「みらい」船上からラジオゾンデを放球し、上空大気の観測を行う。



船尾のAフレームクレーンを使って海底の採泥を行うピストンコアラを海中に投入。



むつ研究所の一般公開に合わせて公開された停泊中の「みらい」。

第100回 記念講演会 地球温暖化を救うのは誰？

(2009年8月15日 第100回地球情報館公開セミナーより)



日本郵船株式会社
歴史博物館 館長代理

赤嶺 正治

あかみね まさはる。1946年、大分県生まれ。1967年、国立大島商船高等卒(後、東京富士大学、日本大学、横浜国立大学大学院修了)。工学博士。同年航海士として日本郵船株式会社に入社。社団法人日本海難防止協会主任研究員兼旧東京商船大学共同研究員、IMO(国際海事機関)マラッカ海峡航行安全専門委員会日本政府代表ほか。1995年よりJAMSTEC本部にて原子力船「むつ」から海洋地球研究船「みらい」への艦装船長を務め、1997年「みらい」就航と同時に初代船長に就任。2009年8月、「みらい」船長を退き、現職。

海洋地球研究船「みらい」とともに世界を駆け巡った12年間、私は地球温暖化研究の最前線を現場で目のあたりにしてきました。その間「みらい」は数々の世界記録をめりかえながら、幅広い分野の調査・研究に寄与し、さまざまなかたちで国際貢献を果たしてきました。運航面から見て、それらのどれを取っても、乗組員たちの支えなしには成し遂げられなかったことです。こうした乗組員たちの支えにより完遂した印象の残る航海と、これからの「みらい」への期待も込めてお話します。

世界トップクラスの船「みらい」

「みらい」は私にとって魅力的で最高の船で、高いパフォーマンスを持ち、海洋観測では不可能はないと思えるほどのです。使い勝手もよく、世界でもトップクラスの船だと思います。

研究者が満足される研究成果を得るためには、船の操縦性の精度も向上させる必要があります。たとえばピンポイント採泥や係留系設置、氷海における縫航^{※1}、自然条件の厳しいなかでの採水など、精度の高い操船技術が要求されます。それを可能にしたのが1万トンの巨大な船体を10cm単位で動かすことができる「ジョイスティックコントロールシステム」です。このシステムは、造船所とJAMSTEC、そして私とが共同開発したものです。こうしたシステムは、通常ブラックボックス化されており、操縦者である私たちが思うままに改良することはたいへん難しいのですが、「みらい」のシステムは、私たちの手で向上させることができます。日進月歩の海洋観測に即応できる、「みらい」オリジナル装置なのです。

「みらい」の特色は、研究員、観測技術員、そして、乗組員が一緒になって観測航海を行う点です。私はこれを毛利元就の「三本の矢」にたとえています。この三者が一体になるとすごいパワーを発揮します。私たち乗組員は研究に関しては素人ですが、自分たちの操船技術に基づ

いた提案を、研究者に積極的に行います。「みらい」が世界で高い評価を受けているのは、機器などのハード面だけでなく、こうしたソフト面も充実しているからです。数年前、米・ウッズホール海洋研究所の本庄 圭名^{はなしろ けいすけ}名誉教授が米・マサチューセッツ工科大学の先生方とパフォーマンスチェックをされたときも、ハード・ソフト両面から「世界トップの船」との評価をいただきました。

また、「みらい」の高いクオリティを保持するため、食事に気を配っており、毎日のメニューも、肉料理と魚料理、和食と洋食をうまくアレンジし、乗船者の方に苦手なものがあっても供食できるよう配慮しています。長い航海中も、同じ献立は出ませんし、ベジタリアンの方や宗教上食べ物に制約のある方にも対応しています。

数々の成果を支える乗組員の努力

「みらい」は北大西洋を除き7つの海をすべて航海し、就航から今日まで合計61万2611カイリ(約113万4560km)、地球を28周半する距離を航走してきました。定点観測がメインである観測船にとって、これは驚異的な数字です。この間、世界の海洋観測史に残る成果を多数打ち立ててきました。

なかでも代表的なものは、耐氷船による極地最高緯度観測、中層係留系の最深

※1 縫航…ジグザグ走行。

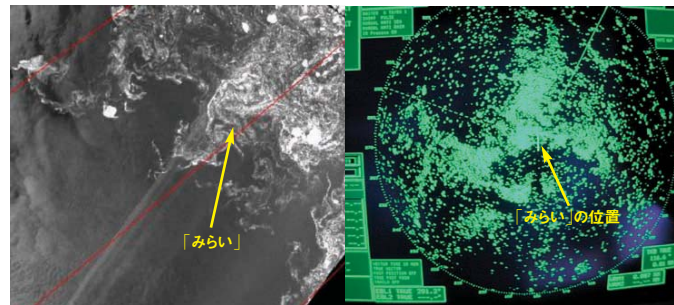


図1 レーダサット画像(左)と氷海レーダー画像(右)の例

レーダサット画像で開放水面(黒い部分)を見つけ、氷海レーダー画像で氷(白い部分)を確認しながら航路を決める。このほか、乗船している気象学者から提供される気象データも大きな情報源となる。(レーダサット画像: 乗船のアイズ・パイロット提供)

水深設置、係留気球による最高高度気象観測、国際集中観測、空白海域での採泥・礫、単一船による南半球周航観測などが挙げられます。

エルニーニョ現象の予測などに寄与している観測機器「トライトンブイ」は、1基で3トンもあり、その回収作業には専用クレーンなどのほか、作業艇に人が乗り込んで行う作業も必要になります。4mを超える高波のなかで作業することもあり、この作業に立ち会った海事関係者からは「よくこんな状況で作業できるなあ」と感心されたこともあります。

「トライトンブイ」が設置されたことによって、以前は観測から公開まで3〜4か月かかったデータが、いまでは一両日中に世界中の気象機関や専用Webサイトで公開されるようになりました^{※2}。グアム停泊中出会った漁船に「魚を少し分けてもらえないか」とお願いしたところ、「赤道の海水の温度を知らせてくれるのはこの船なのか!」と感謝され、14kgほどのマグロをいただいたこともありました。

北極海での記録的な観測航海

「みらい」は南極観測船(砕氷艦)「しらせ」のように氷を割って進むことはできませんが、大きな氷が点在する海や、薄い氷が張った海面を航行することができます。日々変わる氷の状況をレーダー映像や天気図、アイスチャート、衛星画像などをもとに予測し、氷の間を縫うように進みます(図1)。

海水は少しずつ厚みを増すのではなく、厚さ15cmほどの氷が積み重なって30cmに、それがまた重なって60cmにという具

合に一気に厚みを増します。北極では寒波が来れば1〜2時間でたちまち60cm以上の氷が張って立ち往生してしまうため、まさに時間との勝負なのです。

2008年夏に行われた北極海での観測航海(国際極年・北極海観測 2008年8〜10月)では、途中、アイス・パイロット(カナダのルールにより乗船が義務付けられている水先案内人)から、「これ以上の北上は難しい」との報告を受けたものの、一方で、多数乗船されていた気象学者の「6時間以内には寒波は絶対に来ない」という言葉に勇気づけられて北上を決断し、北緯78度54分での観測が実現しました(図2)。耐氷構造の船とはいえ、砕氷能力のない船がこれほどの高緯度で航行・観測したのは世界的にも記録に残ることで、もちろん日本船では初めてだったと思います。

北極に見る地球温暖化

しかし、その記録は地球温暖化の証ともいえます。「みらい」が初めて北極海に行った1998年(北極海慣熟訓練航海

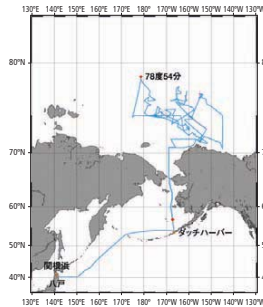


図2 2008年北極観測航海の航海図

青い線が航跡を表す。

1998年7〜9月)では、北緯72度で厚い氷に阻まれて北上を断念せざるを得なかったのです。つまりこれは、この10年間で北極の氷が激減し深刻化していることを意味しています(図3)。

2008年の航海では、やせ細ったホッキョクグマがおぼれかけている場面に何度か遭遇しました。流水と餌を求めて泳いでいるホッキョクグマにとって「みらい」の白い船体は流水のように見え、そのデッキにいる私たちを餌と見て近づいてきたのかもしれませんが。乗船者から「救助してはどうか」と提案がありましたが、助けるには身の危険が伴いますし、生態系を壊す恐れもあり、私たちにはどうすることもできませんでした。

カナダのアイス・パイロットの話では、最近ではホッキョクグマが生活の場を陸上に移しつつあり、陸生のクマとの間に新しい種が生まれているそうです。ほかに巨大なクリオネが見られたり、開放水面の広がりにより海鳥が多く船上に飛来したり、氷上にいた大きな群れのセイウチがほとんど見られなくなったなど、北



図3 ベーリング海峡の10年間の変化

1998年(左)と2008年(右)を比較すると、明らかに氷の数が激減している。

※2 TRITON Web…http://www.jamstec.go.jp/jamstec/TRITON/real_time/top.html

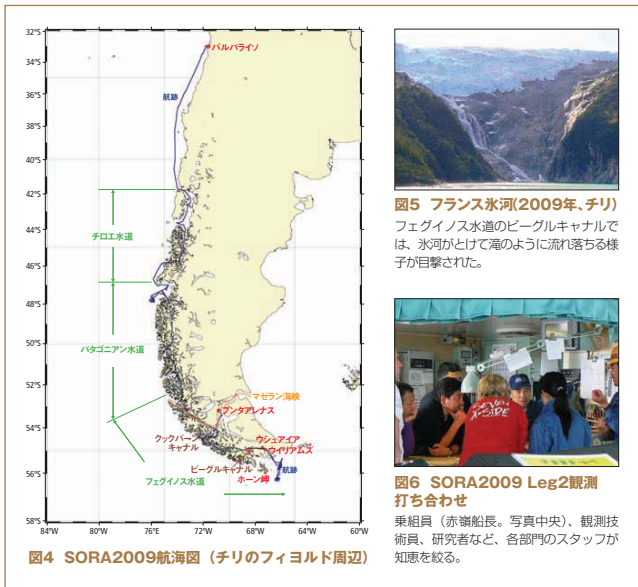


図5 フランス氷河(2009年、チリ)
フェグイノス水道のピーグルキャナルでは、氷河がとけて薄のよう流れ落ちる様子が目撃された。



図6 SORA2009 Leg2観測打ち合わせ
乗組員（赤旗船長。写真中央）、観測技術員、研究者など、各部門のスタッフが知恵を絞る。

極の生態系は大きく変化してきています。

航海の難所、チリ沖合での観測

私の最後の航海、「SORA2009（2009年1〜7月）」では、チリのフィヨルドや南極近くまで行きました（**図4**）。チリでは氷河がとける様子を目のあたりにし、衝撃を受けました（**図5**）。

チリの沖合、南緯40度以南の海域は、昔から「吼える、狂う、叫ぶ海」と船乗りたちに恐れられている場所です。荒天に強い「みらい」はこの場所で観測を行い、観測の空白海域を埋めることができました。またその高いパフォーマンスを世界に示す航海でもありました。

この航海では、フィヨルド内での観測など、「みらい」の12年の歴史のなかで初めて挑戦する観測作業が多数ありました。それらを完遂し得たのは、研究員、観測技術員、そして、乗組員が気持ちを一つにして果敢にチャレンジしたからです（**図6**）。こうして得られたデータの分析結果がまとまれば、歴史を変えるほどの大きな成果になるのではないかと期待しています。

観測を通じた国際貢献

フィヨルド内は水深が300mもあるか

と思えば、水路中央からわずかに離れたところに5mの浅瀬もあり、油断すると座礁してしまいます。チリのフィヨルド内や、南極観光船が走るホーン岬などには、未精測の海域も多く水深が記載されていない部分があり、現地のパイロットはたとえ遠回りになろうとも必ずそこを避けるよう指導^{※3}します。

「みらい」では、観測を行うにあたり、事前に緻密な海底調査を行います。今回、上述の未精測海域において海底調査を行いました。その海底調査の結果を見たパイロット（チリ海軍所属）は、あまりの精度の高さに驚き、ぜひ「安全航行に役立てたい」と当該海域の水深データを要望しました。首席研究者の原田尚美博士、阿部なつ江博士の了解を得て水深データを提供したところ、後に「みらい」がバルパイスに寄港した際、当該業務を担当するチリ海軍の責任者（海軍大将）からは温かい感謝の言葉をいただきました。

2003年8月から翌年2月までに実施した南半球周航観測の途中に寄港したブラジルのサントス港では、約70年前に日本から移住した多くの方々が特別公開で訪船されました。私が「みらい」の活動を紹介していると、ある方が「地球を救う素晴らしい船が日本にいることに誇りを感じ

じる。『みらい』は私たち日本人の誇りだ!」と大きな声を上げ、続いて全員が同様に称賛の声を上げてくださり、とても感激したことを覚えています。

「みらい」の未来に寄せて

航海が終わるといつも乗船された方々が、寄せ書きや温かいお言葉をくださいます。「SORA2009」の寄せ書きには「今回『みらい』で観測した海域に何度も挑戦し、ほとんど失敗してきたが、今回の成功で研究の道が開けた」といった感謝の言葉がぎっしりです（**図7**）。チリのある研究者は私をハグし「これまでで最高の研究成果が得られた。『みらい』のすごさを改めて認識した。数年後には必ず『みらい』を招聘する」といいました。「みらい」はまさに「世界の未来」なのです。

ちなみに、「みらい」の船体には、「夢」を意味するホワイトと「未来」を表すブルーを基調色に、母港の下半島に明るく咲く菜の花をイメージしたクリームイエローが施されています。夢のある明るい未来が訪れるようにとの願いが込められています（**図8**）。

船乗りとしての誇り

私が「みらい」乗船中、常に胸に刻んでいたことがあります。それは、「船乗りとしての誇りを持つ」ということです。そのきっかけは、私が27歳のとき、二等航海士として乗船した貨物船「山城丸」（**図9a**）での得難い貴重な体験からです。地中海航路に配船されていた山城丸は1973年10月11日、第4次中東戦争に巻き



図7 SORA2009 Leg2の寄せ書き

※3 指導…船舶に乗り込んでこれを導くこと。

込まれ、シリアのラタキア沖停泊中に被弾、炎上しました（**図9b**）。

砲弾が飛び交う、真っ暗闇のなかで、乗組員による決死の消火活動が続けられました（**図9c**）。放水し鎮火したと思われる箇所から再び炎があがるという、戦火ならではの想像を絶する消火活動でした。積み荷のナイロンやプラスチックなどの燃焼は、異常高温と有毒ガスを発生させ、放水し跳ね返る水は熱湯と化して皮膚を刺し、呼吸困難と目の痛み、そして、煙による視野制限という最悪な状況下で、消火活動をさらに困難にしました。特に船内に充満する有毒ガスにより、消火活動する者が次々に倒れ、その者を船室外に出しては人工呼吸し、意識を取り戻すとまた消火活動に戻るという状況でした。酸素欠乏で人事不省に陥って陸上の病院へ搬送しなければならない事態も発生しました。搬送ポートで意識を取り戻した甲板員は「みんな一生懸命やっているじゃないか・・・。ドクターおれ人をどこに連れて行くというんだ。ポートを本船に戻せ・・・戻せえ・・・」（船長関野三彦著「山城丸炎上」市毛威船医手記から）と付き添う船医にわめき、そのまま船に戻って消火活動を続けました。

乗組員による必死の消火活動も、船側に大きく開いた被弾口からの海水流入により船体傾斜に至り、非常に困難になりました。

退船命令が出て全員救命艇に移り点呼をしたところ、関野三彦船長だけいらっしやいません。一等航海士と私が船に戻ると、船長は煙と炎が充満する無縁室か



図8 「みらい」の配色
検討委員会が決まった3つの色が各所に取り入れられている。

※4 アバンダン…船体放棄。

ら周りの船にVHFで救助を呼びかけていました。燃えさかる船は今にも沈みそうでしたので、私たちは、「いったん救命艇に移り、体制を整えましょう」と進言し、「最後まで本船に残り本船を救う」といわれる船長を抱きかかえるようにして救命艇へお連れしました。

山城丸から数百m離れたところで船長はやおら立ち上がり、「私はまだ山城丸をアバンダン^{※4}していない。サロン職員は私と一緒に船に戻ってくれ」とおっしゃいました。それで一等航海士、機関長、一等機関士、そして、通信長は船長とともに船に戻って消火活動にあたりました。

しばらくすると、救命艇の艇指揮を任された私の元に船長から「あと2、3人よこしてくれ!」と連絡が来ました。次は私の番です。「誰か一緒に来てくれないか」と呼びかけましたが、今にも沈みそうな船を前に、初めはみな下を向いていました。困った私を見て、若い甲板員が2人名乗り出しました。ところが、3人で船に移ろうとすると、50歳を超える老練な甲板手2人が私を呼び止めました。「この人たちには未来がある。おれを連れて行ってくれ。おれには子どもはいない。家族は嫁1人だし、煙をやっているから大丈夫だ」「おれはウインドラスのハンドルを握れるから行くよ。こうして結局この2人が私と一緒にいてくれることになりました。

さまざまなドラマの末、ついに船長からアバンダンの令が発せられ、乗組員は炎上する山城丸に別れを告げ、陸上の収容場所となったホテルに移りました（**図9d**）。空襲警報が発令され、灯火管制さ

れた真っ暗なホテルで、船長はロビーに全員を集めていました。「これはすべて私の責任である。君らには大変迷惑をかけた。君らに不利になることは絶対にない。『山城丸死すとも、山城丸の魂我が胸にあり』、日本に帰るまでは山城丸の乗組員として誇りある行動を取ってほしい」この言葉は今も忘れられません。現地の人々は、私たちが取った行動に驚きと敬意を払い、日本人の船員魂を称賛しました。

私が「みらい」の船長を拝命したのは、当時の関野船長と同じ48歳のときです。関野船長にはとても及びませんでした。が、あの方のような船長になろうと思いつながりこれまでやってきました。そして、乗組員には、船員としての誇りを失うなという続けてきました。不幸にも山城丸を救うことはできませんでした。が、あの戦禍のなか、誰ひとり怪我することなく船長以下乗組員37名全員が無事に帰国することができたのは、まさに乗組員としての誇りを持って行動した結果であります。

「みらい」の乗組員は、地球温暖化などの地球環境変動の解明・予測に向けて世界最大級の海洋地球研究船の乗組員として誇りを持って船務についています。「みらい」の役割は、日増しに大きくなっています。その誇りこそがそれに応える原動力になると確信します。船名に託された夢のある地球の未来のために。

私の勤務する日本郵船歴史博物館にもぜひお越しください。この場では語り尽くせぬお話をさせていただきます。 **【8】**



図9 「山城丸」
1960年代に建造され、日本・ヨーロッパ間を就航していた高速貨物船「山城丸」(a)は、1973年、第4次中東戦争に巻き込まれ、被弾、炎上した(b)。必死に消火活動(c)するも総員退船(d)となった。
画像提供：日本郵船株式会社

編集後記

最新の海洋観測の話題はいかがだったでしょうか？ 大規模な観測によってグローバルな海洋の内部構造が序々に明らかになっていくのに興味を覚えられたのではないのでしょうか？

ところで、最近、話題のジェームズ・キャメロン監督の3D映画「AVATAR」を見ました。アカデミー賞では、残念な結果に終わりましたが、個人的には、話の内容は別として、映像作りの点からは、先進的でとても見ごたえのある映画だと思います。一般にあまり知られていないのですが、キャメロン監督は、深海調査にとても造詣が深いのです。彼は、1997年に大ヒットしたアカデミー賞映画「TAITANIC」を製作する事前調査としてロシアの潜水調査船「MIR（ミール）」をチャーターしました。彼は、実際に「MIR」に乗り込み、海底の「TAITANIC」を長時間観察し、多くのハイビジョン映像を撮影しました。というのは、「TAITANIC」が建造された1912年当時の記録写真などの資料が少なかったので実際に海底にある本物を見る必要があったのです。この経験は、映画「TAITANIC」のオープニングシーンに生かされ、船内の様子や調度品などの細かい描写に反映されています。さらに、キャメロン監督は、2002年にアイマックスの3D映画として「ジェームズ・キャメロンのタイタニックの秘密」という素晴らしいドキュメンタリーを製作しました。もしかすると、これが、「AVATAR」を作るきっかけになったのではないかと勝手に想像していますが…。

米国では、今後、数年以内に本格的なフルHDの3DTV放送が始まると予想されており、受像機も手の届く価格帯で販売が開始されました。しかし、フルHD放送になったために、TV番組制作会社は、ドラマなどのコンテンツの制作費の高騰という大きな問題を抱えてしまいました。さらに3D放送ということになれば、費用がもっとかかるようになります。そこで、リアルなドキュメンタリーものが注目されているわけですが、そのなかでも深海や宇宙関連の映像が今後の3Dコンテンツの有力な候補として期待されています。実際にナショナルジオグラフィックチャンネルなどで深海ものの番組は、とても人気があります。

今後JAMSTECの深海調査機器に最新の3Dカメラを搭載し、さらにライティングなどを改良できれば、もっと感銘を与えるような映像をさまざまなメディアに提供できるのではないかと考えます。そう遠くない将来、我々が「しんかい6500」に乗って初めて暗闇に浮かび上がる深海生物を見た時と同じ感動を子どもたちが家庭にしながら体験できるようになればいいと思っています。（T.T）

海と地球の情報誌『BlueEarth』 第22巻 第1号（通巻105号） 2010年2月発行

発行人 他谷康 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 事業推進部
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 事業推進部 広報課
Blue Earth 編集委員会

制作・編集協力 株式会社ミュール
ディレクション 前田和則
取材・執筆・編集 滝田よしひろ／荒谷良孝／秋谷美也子／池上紅実／柏原羽美
デザイン 木元優介／山田浩之

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

『BlueEarth』定期購読のご案内

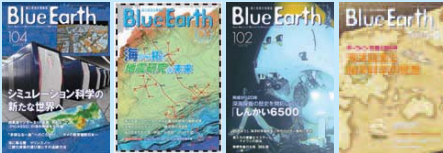
URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>

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メールがFAX、はがきに①～⑤を明記の上、下記まで申し込みください。
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、振込案内をお送り致しますので、案内に従って当機構指定の銀行口座に振り込みをお願いします（振込手数料をご負担いただきます）。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。
平日10時～17時に限り、横浜研究所地球情報館受付にて、直接お支払いいただくこともできます。なお、年末年始などの休館日は受け付けておりません。詳細は下記までお問い合わせください。

■お問い合わせ・申込先
〒236-0001 神奈川県横浜市区金沢区昭和町3173-25
海洋研究開発機構 横浜研究所 事業推進部 広報課
TEL.045-778-5406 FAX.045-778-5498
Eメール info@jamstec.go.jp
ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。



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

*お預かりした個人情報は、『Blue Earth』の発送や確認のご連絡などに利用し、独立行政法人海洋研究開発機構個人情報保護管理規程に基づき安全かつ適正に取り扱います。

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。

賛助会（寄付）会員名簿 平成22年3月31日現在

株式会社JHI	広和株式会社
株式会社アイ・エイチ・アイマリンユニテッド	国際気象海洋株式会社
株式会社アイケイエス	国際警備株式会社
アイワ印刷株式会社	国際石油開発帝石株式会社
株式会社アクト	国際ビルサービス株式会社
株式会社アサソー ディ・ケイ	五洋建設株式会社
朝日航洋株式会社	相模運輸倉庫株式会社
アジア海洋株式会社	佐世保重工業株式会社
株式会社アルファワークコンサルタンツ	株式会社サノヤス・ヒシノ明昌
泉産業株式会社	三建設備工業株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	株式会社ジーエス・ユアサ テクノロジー
株式会社エス・イー・エイ	JFEアレック株式会社
株式会社NTTデータ	財団法人塩事業センター
株式会社NTTデータCCS	有限会社システム技研
株式会社NTTファシリティーズ	シナノン株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	清水建設株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	シュルンベルジェ株式会社
有限会社エルシャンテ追浜	株式会社商船三井
株式会社OCC	社団法人信託協会
沖電気工業株式会社	新日鉄エンジニアリング株式会社
株式会社海洋総合研究所	新日本海事株式会社
海洋電子株式会社	須賀工業株式会社
株式会社化学分析コンサルタント	鈴鹿建設株式会社
鹿島建設株式会社	スプリングエイトサービス株式会社
株式会社川崎造船	住友電気工業株式会社
株式会社環境総合テクノス	清通電設株式会社
株式会社関電工	石油資源開発株式会社
株式会社キュービック・アイ	セナーアンドバーンス株式会社
共立インシュアランス・ブローカース株式会社	株式会社損害保険ジャパン
共立管財株式会社	第一設備工業株式会社
極東貿易株式会社	大成建設株式会社
株式会社きんでん	大日本土木株式会社
株式会社熊谷組	ダイハツディーゼル株式会社
クロバテック株式会社	太陽日酸株式会社
株式会社グローバルオーションシャティベロップメント	有限会社田浦中央食品
京浜急行電鉄株式会社	高砂熱学工業株式会社
KDDI株式会社	株式会社竹中工務店
株式会社ケンウッド	株式会社竹中土木
株式会社構造計画研究所	株式会社地球科学総合研究所
神戸ベイント株式会社	中国塗料株式会社

独立行政法人海洋研究開発機構の研究機関につきましては、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）

株式会社観見精機	株式会社日立プラントテクノロジー
株式会社デザック	深田サルベージ建設株式会社
寺崎電気産業株式会社	株式会社フジクラ
電気事業連合会	富士ゼロックス株式会社
東亜建設工業株式会社	株式会社フジタ
東海交通株式会社	富士通株式会社
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
東京海上日動火災保険株式会社	物産不動産株式会社
東京製綱繊維ロープ株式会社	古河総合設備株式会社
東北環境科学サービス株式会社	古河電気工業株式会社
東洋建設株式会社	古野電気株式会社
株式会社東陽テクニカ	松本徽章株式会社
東洋熱工業株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
有限会社長澤工務店	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社中村鉄工所	株式会社丸川建築設計事務所
芝芝電機株式会社	株式会社マルタン
西松建設株式会社	株式会社マルトロー
日油技研工業株式会社	三鈴マシナリー株式会社
株式会社日産クリエイティブサービス	三井住友海上火災保険株式会社
ニッセイマリン工業株式会社	三井石油開発株式会社
ニッセイ同和損害保険株式会社	三井造船株式会社
日本SGI株式会社	三菱重工株式会社
日本海洋株式会社	株式会社三菱総合研究所
日本海洋掘削株式会社	株式会社森京介建築事務所
日本海洋計画株式会社	八洲電機株式会社
日本海洋事業株式会社	郵船商事株式会社
社団法人日本ガス協会	郵船ナブテック株式会社
日本興亜損害保険株式会社	ユニバーサル造船株式会社
日本サルヴェージ株式会社	
社団法人日本産業機械工業会	
日本水産株式会社	
日本電気株式会社	
日本ヒューレット・パカード株式会社	
日本マントル・クエスト株式会社	
日本無線株式会社	
日本郵船株式会社	
株式会社間組	
濱中製鋼工業株式会社	
東日本タグボート株式会社	
株式会社日立製作所	

独立行政法人 海洋研究開発機構の研究機関

横須賀本部 〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2番地15
TEL.046-866-3811（代表）
横浜研究所 〒236-0001 神奈川県横浜市区金沢区昭和町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6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

第11回全国児童

「ハガキにかこう
海洋の夢コンテスト」

海洋への関心が高まる今日、未来を担う子どもたちの海洋への夢や憧れ、興味をさらに高めるため、海洋研究開発機構(JAMSTEC)では毎年、全国の児童を対象にした絵画コンテストを、文部科学省などの後援により開催しています(作品募集は、毎年11月下旬~1月末ころ)。第11回コンテストには、全国から2万4280点の応募があり、70点が入賞作品に選ばれました。前号に続き、その入賞作品のなかから、子どもたちの夢あふれる優れた作品を紹介します。

●絵画部門●



横須賀市教育委員会委員長賞
友だちいっぱい海の中
八戸市三桑小学校2年 大島 梨理香



名護市教育委員会教育長賞

クジラのおなかの上で
タコとイカといっしょに
すべりたい!
大府市立大府小学校2年 鈴木 俊哉



むつ市教育委員会教育長賞

海底王国への入り口

大阪市立野中小学校6年 橋本 絵里奈



南国市教育委員会教育長賞

海の学校

南国市立函豊小学校6年 多田 明日香

第12回全国児童

「ハガキにかこう
海洋の夢コンテスト」

たくさんのご応募、ありがとうございました。

第12回「ハガキにかこう」海洋の夢コンテストは、2010年1月31日をもって募集を締め切り、全国の小学生から2万6000点をこえるご応募をいただきました。入賞作品は当機構ホームページで見ることができます。

くわしくはホームページで

<http://www.jamstec.go.jp/kids/hagaki/>