

Blue Earth

海と地球の情報誌

Japan Marine Science and Technology Center

Special No.2

2000~2001

海洋観測研究



Blue Earth Special No.2

2000~2001 海洋観測研究

Contents

地球環境変動の カギを握る海洋.....	2
- 地球温暖化で注目される海洋の炭素循環 -	
地球規模の海洋観測を推進.....	8
- 最新鋭の観測機器を備えた海洋地球研究船「みらい」 -	
地球環境解明のカギを握る.....	16
- 北の海の研究拠点 むつ研究所 -	
私たちの仕事場は、北極海です.....	20
- 北極海研究グループ -	
未知の海域・オホーツクへ.....	24
- 海洋地球研究船「みらい」初めて千島列島沖で33日間の研究航海を実施 -	
エル・ニーニョの謎に迫る.....	28
- 世界各地に異常気象をもたらす壮大な大気・海洋相互作用 -	
インド洋で発見された「エル・ニーニョの兄弟」.....	34
- ダイポール・モード現象 -	
リアルタイムの気象要素観測データが取得できる.....	38
- 「沖の鳥島」のウェブページがスタート -	
30年来のなぞが解けた！.....	42
- 「亜熱帯反流」は、ハワイの高い山と風が原因 -	

「Blue Earth Special No.2 2000~2001 海洋観測研究」は、海洋科学技術センターの隔月誌「Blue Earth」の2000年、2001年に発行した中から海洋観測研究に関連する記事の一部を抜粋し掲載したものです。

地球環境変動の「カギ」を握る海洋

地球温暖化で注目される 海洋の炭素循環

世界気象機関（WMO）の統計によれば、世界の平均気温は明らかに上昇を続けている。1995年に発表された「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」の第二次報告書は、人為的な影響による地球温暖化が進行していることを、はっきりと指摘した。地球温暖化の主な原因とされるのが、化石燃料の消費や森林伐採などによって増加する二酸化炭素だ。産業革命前には、およそ280ppmだった大気中の二酸化炭素濃度は、その後の産業の発展とともに増加を続け、現在ではおよそ365ppmにまで達している。この50年ほどの増加は特に激しい。温室効果ガスのひとつである二酸化炭素が大気中に増えたことによって温室効果が強化され、そのために温暖化が進行しているものと考えられている。そうしたなか、今後地球温暖化がどのように進んでいくかを予測することの重要性が高まっている。しかし、現在のところ、地球上で二酸化炭素がどのような過程で、どのように分配されるのか、その循環過程ははっきり分かっていない。なかでも不明な点が多いのが、地球の表面積の7割を占め、大気圏の約50倍の炭素量を内包しているといわれる海洋の働きだ。海洋が大気中の二酸化炭素の変動に対してどのように対応しているのかを解明することが、いま求められている。

温室効果のメカニズム

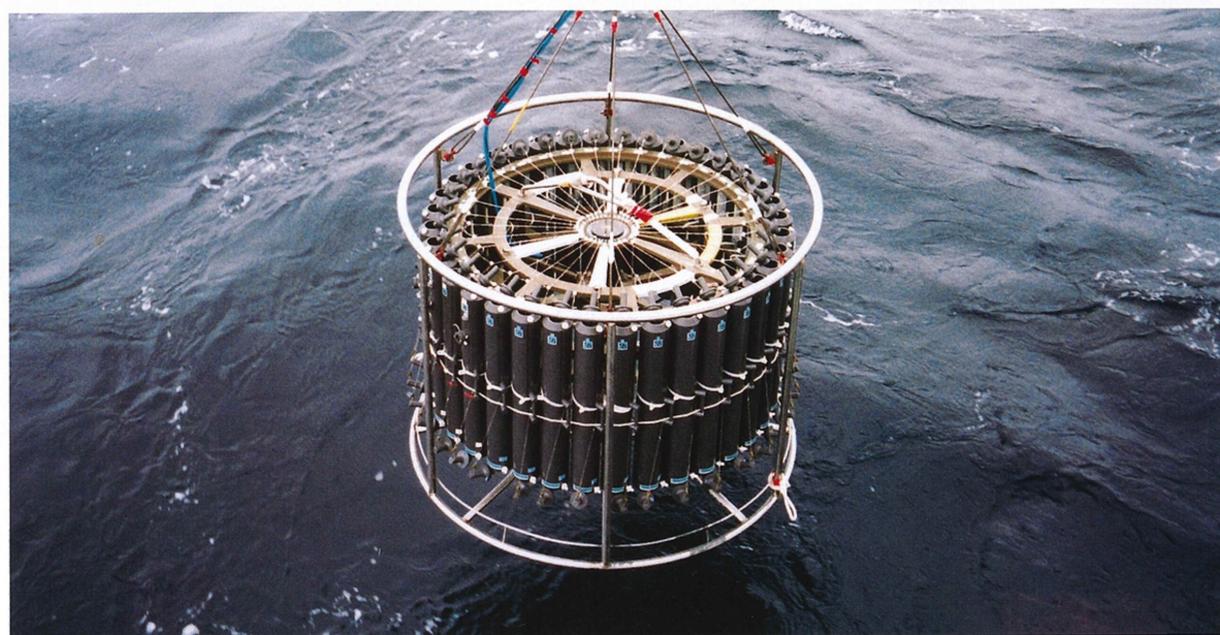
地球に降りそそぐ太陽放射の約30%は、雲・積雪・砂漠によって反射されるが、70%は地表面（海洋を含む）に吸収される。吸収された太陽放射は、熱となって地表面を暖め、今度は地表面から赤外放射として、熱が宇宙へ向けて放出される。その赤外放射の一部が二酸化炭素などの温室効果ガスに吸収され、再び放射される。そのなかで下方に向かって放射されたものが再度地表面を暖める。

海洋は二酸化炭素の貯蔵庫

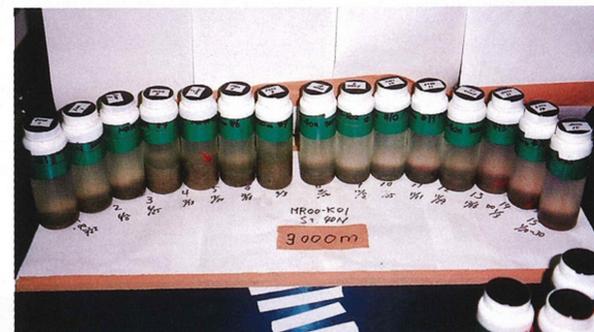
IPCC第二次報告書（1995年）の炭素収支によると、石油・石炭など化石燃料の消費や、森林破壊などの人間活動によって大気中に放出される二酸化炭素は、炭素換算で年間に約7.1ギガトン。このうちの約2ギガトンを海洋が吸収し、約0.5ギガトンを森林が吸収、その他の地球規模の吸収が約1.3ギガトンあるとしている。そして、残りの3.3ギガトンが大気中に残留すると見積もっている。

こうした炭素の収支については、これまでも数多く発表されているが、研究者によってその数値は異なり、明確な定量化はまだ行われていない。IPCCの見積もりでも、約1.3ギガトンの吸収源については不確定な部分が多い。ただ、こうした収支からはっきりといえるのは、海洋が大気中の二酸化炭素の重要な吸収源になっているということだ。

海洋は、つねに大量の二酸化炭素を吸収し、また放出している。その年間のやり取りの量（循環する量）は、

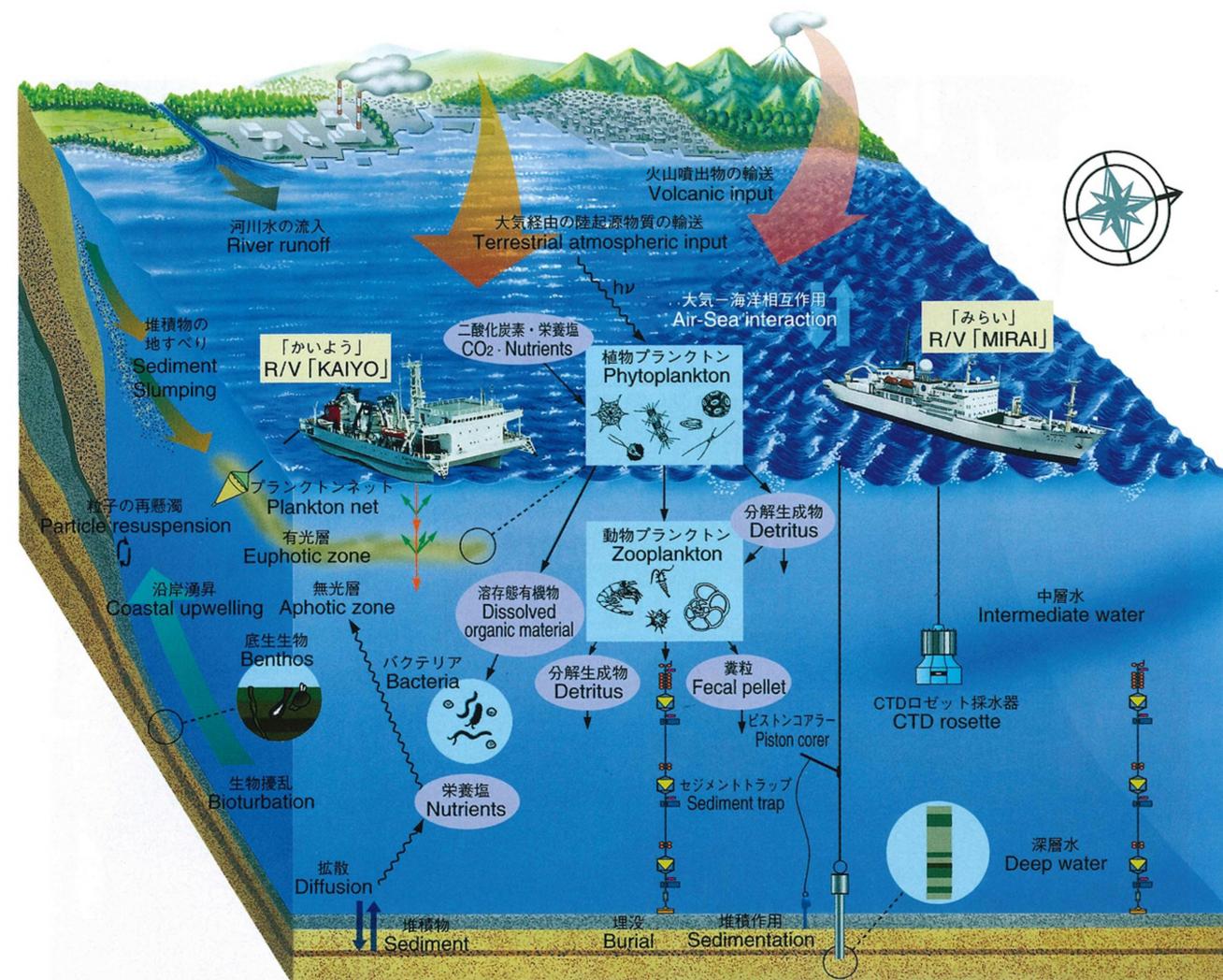


20リットルの採水器が36本設置されたロゼット採水器



セジメントトラップで採集された試料

時系列式セジメントトラップ。海中に1年間係留し、沈降粒子を採集する



海洋における炭素循環

大気中の二酸化炭素は海水に溶け込んだり、海洋の生物活動を通して海洋に進入する。海洋内では溶存態として、または粒子態として移動する。その一部は再び大気へ戻り、一部は海底堆積物へ取り込まれる。海洋における炭素循環過程を調査するためには船上からの採水による海水中の化学成分の分析、セジメントトラップ実験による沈降粒子の捕集、ピストンコアラーによる採泥等の海洋観察を行う。

炭素換算で年間に100ギガトンに及ぶともいわれている。

では、二酸化炭素はどのようにして海洋に吸収されていくのだろうか。

吸収の過程には、「溶解ポンプ」「生物ポンプ」などがある（ほかに「アルカリ・ポンプ」がある）。「溶解ポンプ」は、大気中の二酸化炭素が、海面の表層へ物理的・化学的にとけ込む過程だ。酸素や窒素など他の気体に比べると、もともと二酸化炭素は格段に水に解けやすい性質を持っている。また、1気圧下で0℃の海水に1,460 ml/l、24℃の海水に720 ml/lというように、海水温度が低いほど（また、圧力が高いほど）よく溶ける。一般に高緯度海域で二酸化炭素がよく吸収され、赤道周辺で放出されるといわれるのは、このためだ。さらに、海面の物理的な状態も大きく影響する。海が荒れたり、強風で白波が立つなどの状態も、二酸化炭素をとけ込みやす

くする要因のひとつになっている。

「生物ポンプ」は、陸上でいえば森林が二酸化炭素を吸収する過程に似ている。海中で森林の働きをするのは、植物プランクトンだ。植物プランクトンは、海中の窒素・リンといった栄養塩を取り込み、二酸化炭素及び太陽の光エネルギーを使って光合成を行い、有機物をつくる。植物プランクトンが活発に活動すれば、その分海中の二酸化炭素の分圧（濃度）は低くなるため、その分、大気から溶解しやすくなる。

植物プランクトンは、あるものは動物プランクトンや魚などのエサとなり、その糞として、またあるものはやがて死骸となって深海へ沈んでいく。こうして二酸化炭素（炭素）もいっしょに深海へと運ばれていく。このシステムが「生物ポンプ」だ。もちろん、そのすべてが深海底に堆積するわけではない。深海の海水に無機物、有



機物などの形で溶け込んだまま存在し、やがて湧昇流として、また深層の大循環などによって、長い年月の後に再び表層へ押し上げられ、大気中に放出されるものも多い。「生物ポンプ」は、海洋が大気中の二酸化炭素を吸収する上で大きな働きを担っているが、これが温暖化が進行した今後も、同じように働き続けるかという、それは定かでない。たとえば、気温の上昇とともに海洋の表層の水温が上がってしまうと、軽くて温かい水が表層をフタのように覆い、栄養塩に富む冷たい水の上昇が妨げられ成層化してしまうことが考えられる。そうなると、表層部の栄養塩は不足し、植物プランクトンの量も減ってしまい、「生物ポンプ」の機能が衰えてしまうからだ。

プランクトンによって吸収能力が異なる

二酸化炭素を吸収し、深海へ運ぶ働きを担う植物プランクトンだが、どれも同じように機能しているわけではないことが知られている。問題は植物プランクトンの殻

だ。珪藻種は、海水中のケイ素（シリカ）を使ってガラス質の殻をつくる。これに対して、炭酸カルシウムによってその殻をつくるのが円石藻種だ。円石藻が炭酸カルシウムを生成する段階で、いっしょに二酸化炭素をつくり出し、海水の二酸化炭素分圧を高めてしまうのだ（サンゴが石灰質の骨格をつくる過程もこれと同様）。つまり、海水表層に大量の円石藻が繁殖している海域では、二酸化炭素の吸収は効果的に行われないということになる。ただし、これは短期的に見ればの話で、もっと長いサイクルで見ると、炭酸カルシウムは炭酸塩補償深度（深度2、3km以下）といわれる深海に運ばれると溶解し、その海水のアルカリ度を高め、酸である二酸化炭素を中和させる働きを持つ。そして、長い年月の後、その深層の水が表層に湧昇したとき、たくさんの二酸化炭素を吸収する（この働きを「アルカリ・ポンプ」という）。

また、栄養豊富な海域に繁殖する珪藻は、円石藻などに比べて数倍大きく、一般に有機物を生産する量も多い。

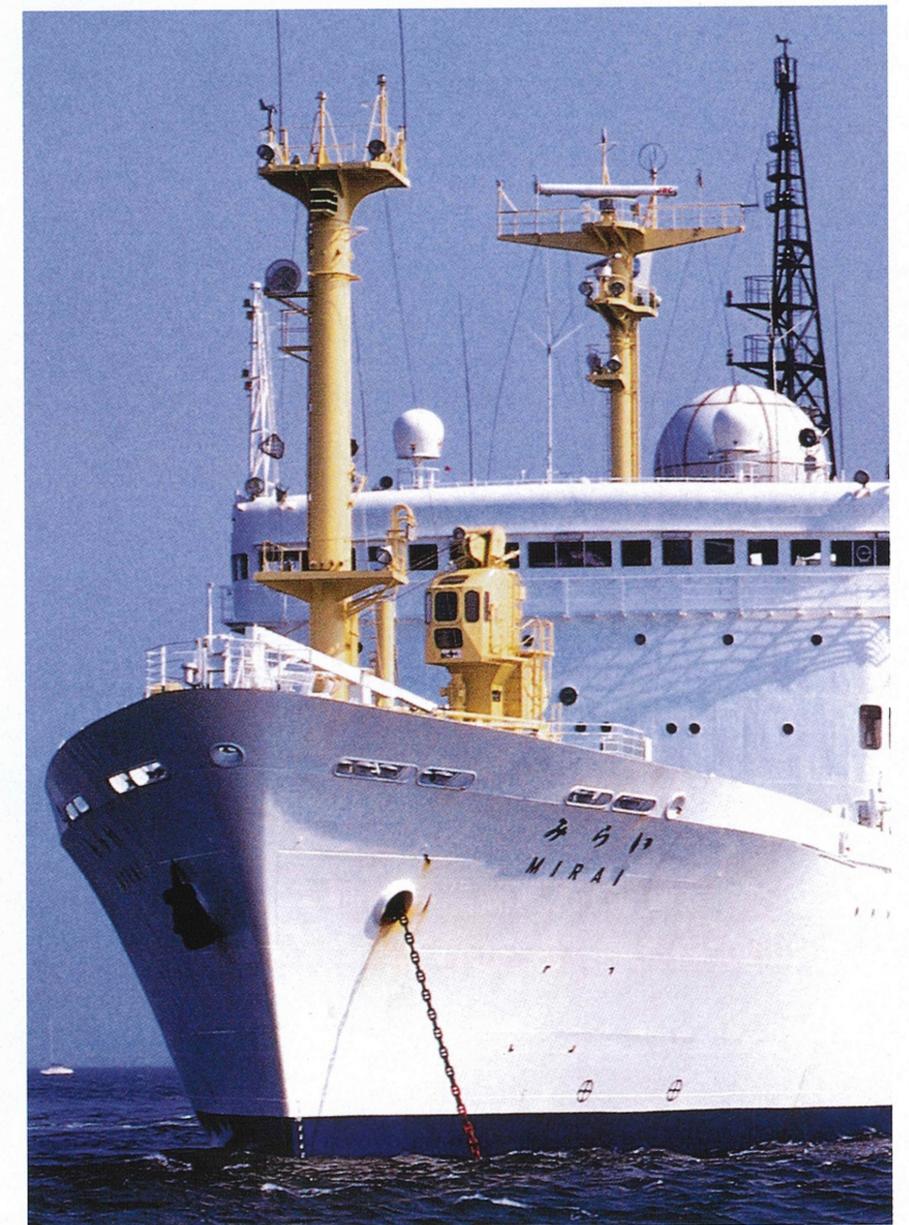
したがって、珪藻が繁殖する海は食物連鎖も効率よく進み、その結果、マリンスノーとして深海に運ばれる二酸化炭素の量も多くなる。湧昇流の盛んな高緯度海域で、春になると爆発的にプランクトンが繁殖する様子を「スプリング・ブルーム」と呼ぶが、このとき大量に増えるのが珪藻であり、そうした海域では二酸化炭素の吸収も促進されると考えられている。一方、表層の水温が比較的高く成層化傾向にある中低緯度の海域は、栄養分も乏しいが、そんな厳しい環境のなかでも繁殖できるのが円石藻だ。だが、こうした海域では、二酸化炭素の吸収はあまり期待できない。

今後、地球温暖化が進行すると、円石藻の繁殖に適した海域が増加し、海洋の二酸化炭素吸収力が低下してしまい、さらに温暖化傾向が促進されるとシミュレーションする研究者もいる。

急がれる海洋の炭素循環メカニズムの解明

大気中二酸化炭素の循環経路に関する定量的な把握は、将来の地球環境を予測するためにも重要な課題といえる。なかでも、最大の吸収源である海洋の炭素循環のメカニズムの解明は急務とされている。現在、各国が様々な海域で物質循環研究を実施し、各海域におけるプロセス研究を行っている。そうしたなか、研究がまだまだ遅れているのが、北西部北太平洋と南極海だ。これらの高緯度海域は、海水温度が低く、荒天が多いため、特に冬季において大気中の二酸化炭素が活発に吸収されていると考えられ、炭素循環の「溶解ポンプ」の働きを理解する上で重要だ。また、栄養塩の蓄積された深層水湧昇に関連して、高い基礎生産力を持つ珪藻種植物プランクトンによる「生物ポンプ」の働きも注目される。だが、従来の海

洋観測船では、厳しい環境のなかでの観測は難しかった。そこで期待されるのが、荒天下でも安定した観測が行える海洋地球研究船「みらい」の活躍だ。現在、「みらい」は北西部北太平洋において、高緯度海域における物質循環研究を実施し、多くの研究者とともに、海洋の炭素循環をコントロールする生物地球化学的因子に関する研究を継続している。これに続いて太平洋南極海域でも調査を予定している。これらの研究は、全海洋の持つ地球環境に対する制御機能を明らかにするための、大きな鍵を握っている。



「みらい」は船内に観測研究設備も備えた最新の観測船

地球規模の海洋観測を推進

最新鋭の観測機器を備えた 海洋地球研究船「みらい」

地球温暖化や世界各地で頻発する異常気象など、深刻化する地球環境問題への早急な対応が求められている。そして、これらの問題に大きく影響を与えているといわれるのが、地球の表面の約70%を占める海だ。大気と海洋は、密接な関係を持ちながら現在の地球環境を生み出している。今後は、海洋の諸現象も大気との関連を含めた全地球的な規模で観測し、研究していくことが必要とされる。そうした要求に応えるためにつくられたのが、最新の観測機器を搭載する海洋地球研究船「みらい」だ。



8,672tという世界最大級の大型観測船「みらい」は、ドップラーレーダー、大気ガス採取装置など、気象観測や大気ガス観測に必要な観測研究機器と、海水の採水装置、海洋レーザシステムなどの海洋観測研究機器をともに備えている。複雑な地球環境のしくみを解明するための、海上における大気と海の総合的なデータ収集が可能だ。



エル・ニーニョのような異常気象をもたらす現象の解明、地球温暖化の原因となる二酸化炭素の循環のメカニズムを明らかにするなど、大気海洋相互作用の観点から観測・調査しなければならない問題は数多くある。「みらい」の活躍の場は、限りなく広がっている。

原子力船「むつ」を活用した「みらい」

海洋地球研究船「みらい」の前身は、日本初の原子力船として科学技術の粋を結集して建造され、原子力実験船として様々なデータを残し、1992年にその役目を終えた「むつ」だ。核燃料の引き抜き、原子炉及び関連機器の撤去が行われた「むつ」の船体は、1995年6月に日本原子力研究所から海洋科学技術センターへ譲渡され、大型海洋地球研究船として生まれ変わるための改造が行われた。

「むつ」の船体は、建造から長い年月が経過していても関わらず、入念な保守点検と維持がなされており、その構造はまったく問題なく健全だった。もちろん、最新鋭の観測機器を装備した観測研究船として十分な力を

発揮させるため、改造工事も大がかりなものとなった。航行中だけでなく停船観測中も横揺れを最小限に抑えるため、振り子とコンピュータ制御の電動モータを組み合わせた「ハイブリッド式減揺装置」を搭載したり、水中放射雑音を減らして高性能音響式観測機器の性能を活かすため、雑音の主原因となるプロペラや船首部で発生する気泡の影響などについても繰り返し試験が行われた。そして、1997年9月に、かつての「むつ」は海洋地球研究船「みらい」として生まれ変わった。

「みらい」は、次のような特徴を備えている。

●**広域・長時間の観測航海が可能な大型観測船**：全長は128.58m、総トン数は8,672t、最大搭載人員が80名とい

う世界でも最大級の大型観測船。航続距離は、船速16ノットで、約12,000海里、航海日数は観測日を含めて60日に及ぶ。さらに、最新開発の減揺装置によって横揺れを減らし、荒天時の航行性にもすぐれている。また、水線付近の船殻構造は、夏の北極海域への航行を想定した耐氷構造になっている。

●**大型観測機器・機材の搭載と観測海域での設置・回収が可能**：センターが新たに開発した大型海洋観測ブイ（トライトンブイ）を大量に搭載する格納庫を持ち、クレーンにより、その設置・回収ができる。また、海水分析のために様々な深さの海水を塩分濃度や水温を測りながら採取する大型採水装置、海底の堆積物を採取する20mピストンコアサンプラー、6,000m級曳航体（観測機器）などの搭載・運用も可能だ。さらに、長時間の観測航海を効率的かつ有意義に実施するため、観測機器の組立・

点検・修理を洋上で行うためのスペース・装備を持ち、作業のための研究支援スタッフも乗船できる余裕を持っている。

●**最新の情報処理システムを完備したハイテク洋上研究所**：採取した海水や大気ガスなどの試料を、洋上で速やかに処理・分析することができる最新技術の試料処理・分析設備を備えている。最新の情報処理システムを完備した研究室区画を持つこの船は、まさにハイテク洋上研究所といえる。

このほか、ディーゼル・電気複合推進システム、ジョイスティックコントロールシステムの採用により、観測時の方位維持や定点保持が容易にできるすぐれた操船性、汎用研究室を備え、多数の研究コンテナの搭載が可能であるなど、新しいテーマや観測活動に対応できる様々な特徴を持っている。

「みらい」の活躍に大きな期待

「みらい」には、地球温暖化をはじめとする様々な地球規模の環境変動の解明・予測に関する大きな期待が寄せられている。そのために「みらい」に課せられた役割は非常に大きい。

何よりも「海洋地球研究の最先端国際洋上基地」としての役割を果たすことが求められている。世界最大級の大型の船体と、流氷のなかでも航行でき、荒天下の海域でも観測できる広範囲な航行性・作業性を持つ「みらい」は、国境や学問領域を越えた総合的な観測と研究、さらには観測のための技術開発などを実施する、すぐれた洋上基地として機能しなければならない。また、そのためには、「多様な海洋地球データの発信基地」としての働きが重視される。

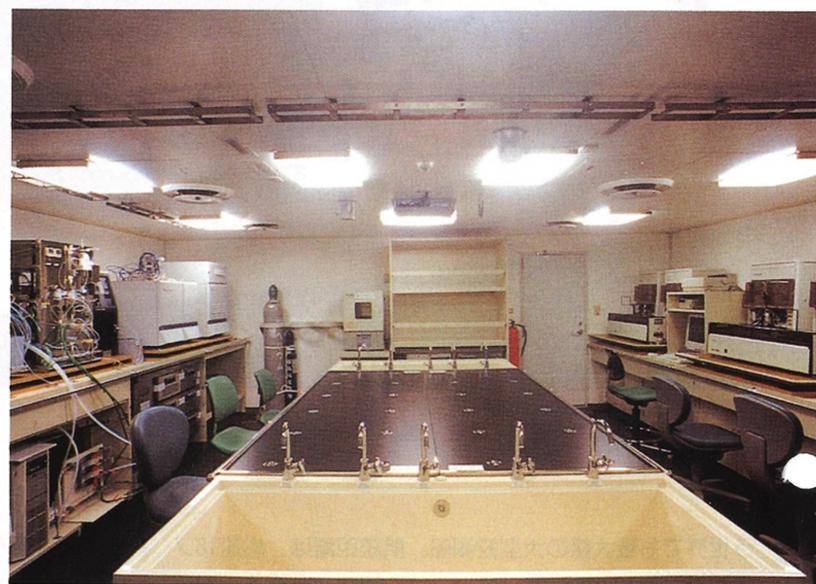
「みらい」は世界的にも数少ないドップラーレーダーを搭載した観測船だ。電波を発射し、雲のなかの風や雨滴、雪片の量や降水速度などを測定するドップラーレーダーは、最新の気象観測機器。このほか、船上には気温・湿度・気圧・風向・風速・雨量・日射量・表層海水温度などを測定する様々なセンサーが配置され、海上気象・海象を連続観測することができる。さらに大気ガスを分析する観測装置も備え付けられている。同様に海水の採取・分析の機器も充実している。また、海中の植物プランクトン量を推定する海洋レーザーシステム、流向・流速を測定するドップラープロファイラーなどのセンサーも船底に取り付けられている。他にも北極海などで採取した氷の分析を行う低温実験室、ピストンコアサ



耐氷構造を備えた「みらい」は、流氷の浮かぶ夏季の北極海域へも航行可能。



クレーンを使いトライトンブイを設置。



生物・化学分析室。船上であることを忘れてしまいそうな広々としたスペース。



日本の観測船としては初めてドップラーレーダーを搭載。



微量ガスや大気中物質の検出、濃度測定が可能な大気ガス観測室。



調査指揮室。観測等で得られたデータや情報は、船内LANで共有化され、処理検討をスムーズに行うことができる。

ンプラーで採取した海底堆積物を分析する実験室など、まだまだたくさんの観測・研究のための施設・装備を持っている。そして、この「みらい」の何よりも大きな特徴は、これらの観測やデータ解析を行う専門の観測技術員が常時乗船し、研究者への研究支援を行っていることだ。こうした充実した体制のもと、船上で効率的・効果的な研究活動を実施することが可能になっている。

「みらい」では、もうひとつユニークな試みを行ってい

る。それは、この船で得られた研究成果を、国内はもとより、世界中の青少年や一般の人々に広く公開する「動く海洋地球科学館」としての役割を実践しているということだ。今年もアメリカ・シアトル、カナダ・ビクトリア、インドネシア・ジャカルタで一般公開が行われることになっている。観測・研究だけでなく、海洋と地球環境問題の関わりについての理解を多くの人々に深めてもらう教育・普及施設としての機能にも、大きな期待が集まっている。

地球環境解明のカギを握る 北の海の研究拠点

センターの「北の海の拠点」から
国際的な海洋科学の発信基地へ

取材協力者
むつ研究所 長谷川康明 所長

1995年にスタートして以来、海洋地球研究船「みらい」の母港として、運用管理や航海で得られた試料やデータの分析・解析などの研究活動を支援し、多くの成果をあげてきたむつ事務所が、2000年10月、新たに「むつ研究所」として発足した。そこで、長谷川康明所長へのインタビューを交えて、世界でも最先端レベルの海洋研究のための各種施設・設備を活用して研究活動を行う、海洋科学技術センターの「北の海の研究拠点」の最新レポートを紹介する。

(聞き手：Blue Earth編集部)



たので事務所としてスタートしました。しかし、その後、徐々に施設や研究体制も整備されてきましたので、2000年10月から正式に所属研究員も置いて、研究所としてスタートしました。とはいえ、ここが「みらい」の母港であることに変わりはないので、「みらい」を使った調査、研究ですとか、観測などを支援することは、今後も大きな仕事となります。

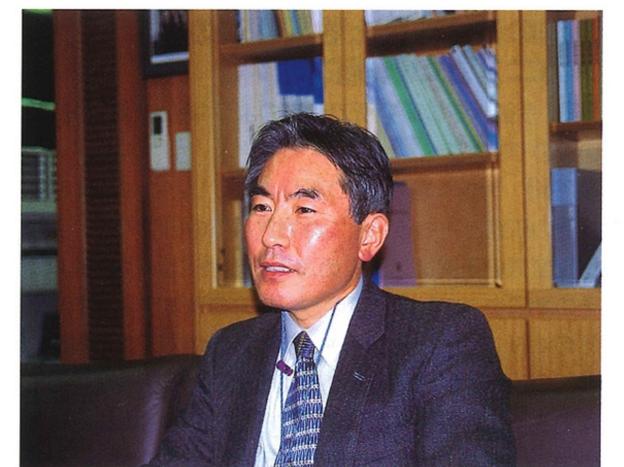
Blue Earth 編集部 (以下BE) ここでの業務は、これまでどのように進んできたのですか。

長谷川 これは研究所になる前から行っていたことですが、トライトンブイの観測データを処理して発信することとか、採集してきた海水の処理などですね。まず、「みらい」が着岸する埠頭にある観測機材整備場では、トライトンブイをはじめとする海洋観測機器の保守・整備を行うとともに、センサーの較正(測定器の狂い・精度を基準量を用いて正すこと)や電子機器の整備を行っています。また、海水の処理の方は、海水に含まれる放射性炭素を日本原子力研究所等のタンデトロン(加速器質量分析計)で測定して、海水の年代や海流の様子を調べるための前処理にあたる作業を試料分析棟で行っています。

BE 「みらい」は世界最大級かつ最先端の海洋観測船といわれていますが、こういったところが優れているのか教えてください。

長谷川 まず、海洋地球研究船としては、あの規模の船は世界でも例がありません。また、大きさだけではなく、観測装置も含めて最大級、最先端といえる船です。「みらい」はすでに北極海から赤道直下まで行って観測・調査を行っていますが、氷結域を除くほとんどの海域において長期間にわたる観測研究を行うことが可能です。例えば、これまでの海洋観測船は、観測機器を海面に降ろすために、甲板は低く造られていました。でも、それでは荒れた海では波をかぶってしまうので、観測できない

青森県むつ市関根浜。海洋科学技術センターむつ研究所は、まさかたにたとえられる下北半島の北側、津軽海峡に面した海岸にある。事務棟2階の所長室で、長谷川康明所長に、むつ研究所発足までの経緯をうかがった。
長谷川 まず、海洋科学技術センターが原子力船「むつ」から、世界最大級の海洋地球研究船「みらい」として生まれ変わった船の引き渡しを受けて、ここ関根浜を母港にするということで、1995年10月に、むつ事務所が開設されました。そして、2年後の1997年10月、「みらい」が完成し最初の1年間は慣熟訓練、その1年後から実際に調査航海に入りました。事務所が開設された頃から、研究所として拠点にしていこうという方針はあったのですが、当初は施設や研究体制など、必ずしも充分ではなかつ





ずらりと並ぶトライトンブイ。クレーンなども使い丁寧に整備されていく

ですよね。「みらい」は甲板が水面から高く、高性能クレーンも持っているの、荒れた海でも観測機器を海面に降ろすことができます。また、耐氷機能をはじめとする耐候性にも優れていますし、振り子とコンピュータ制御の電動モータで船の揺れを相殺するハイブリッド式減揺装置も持っています。さらに、船の推進力はふつうは後ろについている2つのスクリューから得るのですが、「みらい」は横にもスラスターがついていて、横に動くこともできるので、操作性が高く、航行性にも優れています。これらが「みらい」が荒れた海でも数々の観測ができる理由です。「みらい」は海洋科学技術センターのためにというよりも、日本のために造られた船ですが、今ではそれだけではすまなくなって、地球規模の期待がかけられています。そのぶん、むつ研究所の責任も大きいと考えています。

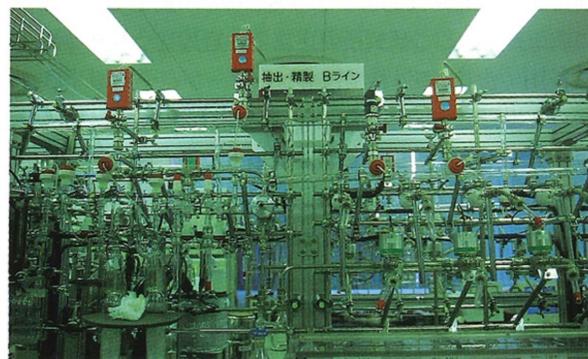
海洋の環境変動と物質循環のメカニズムの解明に向けて

BE 今後、むつ研究所ではどのような研究が行われていくのですか？

長谷川 大きく言うと2つあります。ひとつは海洋環境変動の研究と、もうひとつは物質循環の研究です。海洋環境変動の研究は、過去の海洋の環境変動を復元して、その要因やプロセスを解明し、将来の環境変動を予測するのに役立てようというものです。物質循環の研究は、最近の地球環境問題で、地球温暖化の炭素循環を中心に研究することの一環として、二酸化炭素の吸収域としての海洋のメカニズムを解明しようというものです。とく

に物質循環の研究については、この分野の研究を長くやっておられて、多大な実績を上げている、アメリカのウッズホール海洋研究所の本庄丕氏を非常勤理事というかたちでお招きしまして、年間5、6回、ここにいらしていただいております。この研究は、国際的にも注目が高いということもあって、ウッズホール海洋研究所との連携をはじめとする国際協力を得ながら、むつ研究所において、フロンティア制度の枠組みの中で研究していきます。**BE** そういった研究が横須賀本部ではなく、むつ研究所で行われている理由はなんですか？

長谷川 ひとつは、むつという場所の利点を生かすということですね。いずれの研究においても、北西太平洋は重要研究海域だといわれているのですが、荒れる海ということもあって、そのメカニズムは必ずしもまだ十分に解明されていないということがありました。また、北極海が気候温暖化に極めて影響が大きい海域であることも知られています。むつ研究所はそういう海域に地理的に



海水前処理室。ここで海水がグラファイト（炭素）化される



交流棟を活用して、一般向けの公開講座も積極的に開かれている

も近く、さらに、荒天下での海洋調査ができる「みらい」の母港でもありますから、2つともここにふさわしい研究テーマであるといえるでしょう。それに、日本原子力研究所がすぐ隣にあり、そこのタンデムロンを使って海水中の放射性炭素を測定できるという立地も幸いしています。

自由で開かれた「北の海の研究拠点」を目指して

BE 発足したばかりの「むつ研究所」ですが、将来に向けての展望をお聞かせください。

長谷川 今はまだ、スタートしたばかりなので、着実に進めていきたいですね。研究所としてスタートしたので、すから、「みらい」の支援はもちろん、研究所としての機能も十分に果たさなくてはと思っています。さらに、研究者の交流拠点としての位置づけも大事にしていきたいですね。例えば、アメリカ、イギリス、ドイツなどの海洋調査船を運航している研究機関が集まる「世界運航者会議」という国際シンポジウムが毎年、世界各国で開催されていますが、日本では、このむつ研究所（当時は「むつ事務所」）で開催しました。また、フロンティアにはここに近いロシア、中国も含めて多数の外国の研究者の方々もいらっしゃいますので、研究テーマによってはここでの交流が深まっていけばとも思います。2001年2月には、アジア各国の若手の研究者の方々を招き、研修していただく本部主催の「国際海洋学校」の一環として、むつにも1週間ほど滞在していただく予定です。このように、国内外の、多種多様な形態の研究者が自由に入出入りして、活発な研究が推進できること、また、そういった研究者が思う存分、自由に研究するための施設・設備や技術・事務支援、サポートといったことを充実させていきたいですね。研究交流棟などは、まさにその目的でつくられたものですし。ですから、興味を感じる研究者の方々には、是非一度、来訪していただきたいと思っ

ています。とはいえ、これは当然、私個人やむつ研究所のスタッフだけの努力でできるわけではなく、横須賀本部の支援や、地元をはじめとする皆さまの協力があってこそ話ですが。

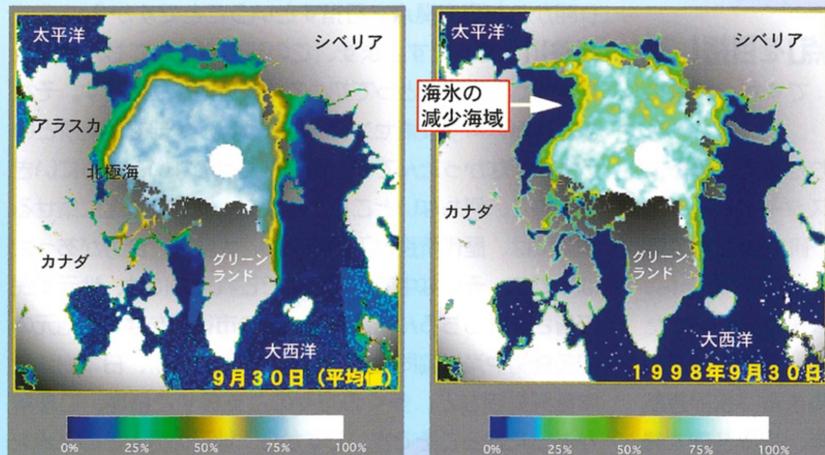
BE 研究者のための交流の場としてだけではなく、より開かれた研究拠点を目指すということですか？

長谷川 そうです。まず、この研究所にしても、海洋科学技術センターにとって初めての支所的なものです。それまでは海洋科学技術センターは横須賀が本部で、支所というものがなかったんです。最初、拠点のないところにいきなり来て、何も無いところからスタートして軌道に乗せるまでには、歴代所長以下の方々の、大変なご苦労があったはず。そんな中で、ここまでこれたのには、地元市民の皆さまはもちろん、青森県、むつ市役所をはじめ地元の関係機関や漁業協同組合、日本原子力研究所、日本海洋科学振興財団など、多くの方々のご支援やご指導、ご理解があったからこそです。ですから、地元の方々との交流を深めていくことは、とても重要なことだと考えています。ウッズホール海洋研究所があるウッズホールは町ぐるみで海洋研究都市を推進していますが、むつ市も市長が熱心で、ウッズホールを見学に行かれるなど、国際海洋研究都市を目指していらっしゃいます。市のホームページにむつ研究所の発足記念式典の様子も掲載して下さいました。また、「みらい」が寄港しているときなどは、希望者の方に見学していただいたり、一般の市民の方々を対象に海洋に関する市民講座を開いて、センターが行っている研究の意義や内容をわかりやすく紹介したりしています。私としては、むつ市民の方々の好意に安心することなく、こういった実績をきちんと引き継いで、地元の皆さまとのいい関係をずっと継続し、さらに発展させていかなければと思っています。

私たちの仕事場は、北極海です

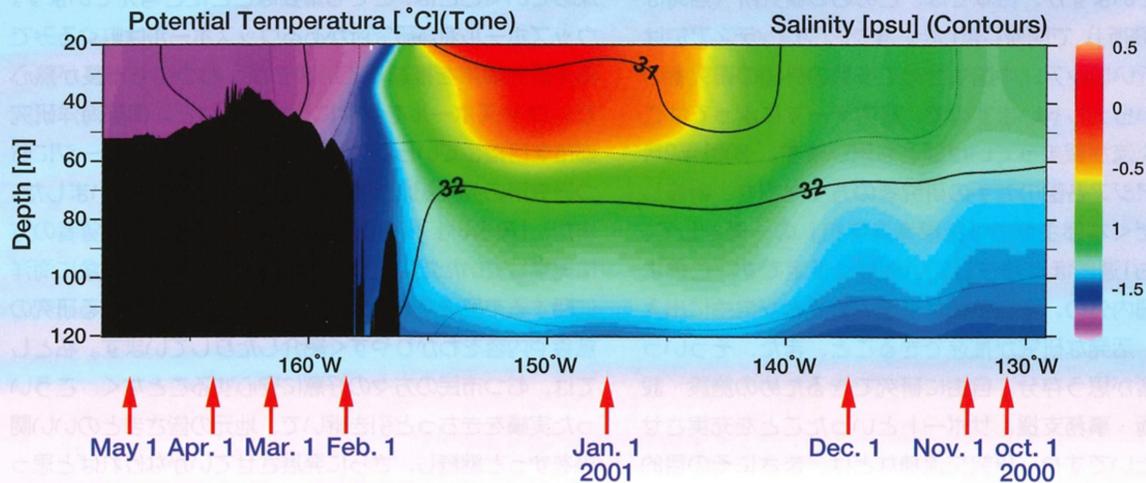
地球温暖化の影響をデリケートに映し出すといわれる北極海。海面を覆う海水の減少は北半球にある日本の暖冬・厳冬を左右し、エル・ニーニョに匹敵する気候変動といわれています。その最北端、北極点に氷海観測用小型漂流ブイJ-CAD1号機の設置に成功したのは2000年4月。そして2000年9月には2号機が、2001年4月には3号機も設置されて観測を続けています。北極海を知ること、それは地球を知ること。2人の研究員が「自分たちの仕事場は北極海」といえる意味がわかります。

北極海では、いま、何が起きているのか？

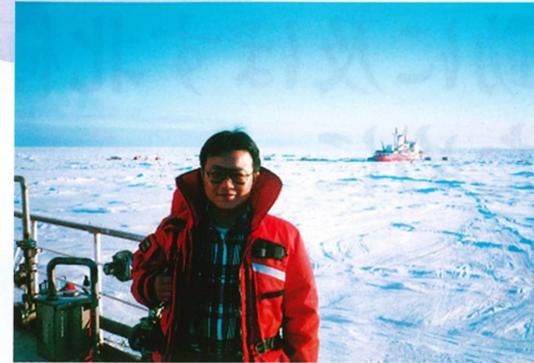


左図：アラスカ北沖の海域での海水減少が著しい。大気循環場の変化によって直接生じた海水変動ではない。海洋からの熱が海水変動に関わっている。海洋熱の起源は、1年前の夏にベーリング海より北極海に流入した水である

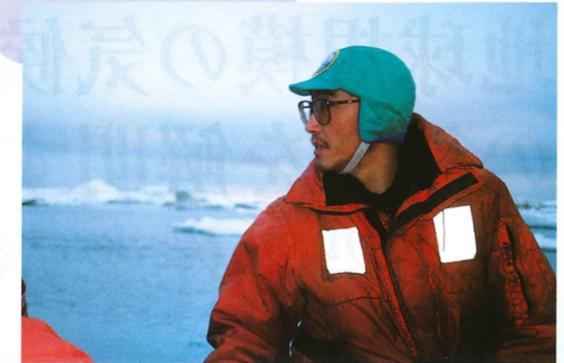
下図：J-CAD2号機によって計測された水温、塩分断面。厳冬期の1月にもかかわらず、アラスカ沖の海域での水温が高いことがわかる。この温暖な水は、翌年の夏まで海水を融かしつづける



島田 浩二 研究員
Koji Shimada



島山 清 研究副主幹
Kiyoshi Hatakeyama



氷海観測用小型漂流ブイJ-CAD*

*J-CAD : JAMSTEC Compact Arctic Drifter
設計・開発：海洋科学技術センター 製作：カナダ・メットオーシャン社

J-CAD2,3 センサーの構成



北極点を真上から見た地図に描かれているのは、北極海氷とともに漂流したJ-CADの軌跡

- J-CAD1号機
- J-CAD2号機
- J-CAD3号機

氷海観測用小型漂流ブイJ-CADは、重さ255.8kg。GPSシステムを搭載し、水温・塩分計を最大6台、流向流速計を最大2台まで取り付けることができる。中央制御装置により処理されたデータは、ブイ～研究室間の双方向通信が可能なオープン衛星通信システムで送信される

見渡すかぎり、氷の世界 地球規模の気候変動に及ぼす北極海の 役割を解明するために ブイ設置作業が続く

地球という、
私たちの住みかを理解する

極寒の北極域で気象・海洋の変化を計測する機器の設置は、十分に解明されていない北極海をさぐる手段として必要なことです。しかし、設置する場所が想像を絶します。

北極海の最大深度は5,440m。その上にある海氷の厚さは2mから4mほど。「風呂の上に浮かべた紙切れみたいなもの」という畠山さんの表現がピッタリ。氷が非常に薄く不安定なもの(例えば割れやすい)であることが容易に想像できると思います。

海洋科学技術センターのオリジナル計測システムといってもいいJ-CADによる観測は、2000年度から国際的な共同観測としてスタートしました。これまで北極域で活躍していた氷海用自動観測ステーション・IOEBよりも小型で設置効率の良いJ-CADとはいえ「開けた孔がどんどん凍っていくなかでの作業は、まさに時間との戦いです」と畠山さん。疲れきった心身も「一面汚れない白の世界に、少し心は安らく」といいます。

「気候の変動が経済活動にも影響を与えるのはよく知られています。北極海の構造やシステムを解明するのは、全地球的な変動を確実に予測するために欠かせません。定置観測ブイと異なり、漂流型ブイになっているのは、設置された海氷とともに海上を流れていき、広い範囲のデータを得られるからです」と島田さん。地球という、私たちの住みかを理解する最前線にいる2人です。

◆J-CADからのデータは、海洋科学技術センター北極研究グループのホームページhttp://w3.jamstec.go.jp:8338/index_j.htmで、送信されてくるとほぼ同時期のタイミングで検索できます



1 J-CAD設置に適した海氷を捜索するために、ツインオッターという名の極域双発飛行機が飛び、氷上キャンプの設営機材なども運ぶ。キャンプの設営はすばやくおこなわないと極寒の中にさらされる時間が長くなる。すべて研究者自身が作業しなければならない。快適な洋上の研究室とは正反対の世界なのである

2 直径で1km以上、厚さが2m以上あればJ-CAD設置の場所として適する。海氷面を覆う雪を取り除き、厚みを測り、ドリルでの孔開け作業が始まる。J-CAD 3号機を設置した2001年4月の現場の最低気温はマイナス43℃。日本有数の極寒の地・旭川市出身の人ならピンとくるだろうが、マイナス30℃以下になると寒いというより痛いのである

海氷に開ける孔は、J-CADに付属する海洋観測センサーの中で一番大きな外径を持つ流向流速計(ADCP)が入るように30cmを超える大きさにしなければならない。三脚クレーンを用意して、スパイラル状のドリルを小型エンジンで回転させて開ける。ドリルは1mごとに継ぎ足していく。厚さ2mの氷に穴を開ける作業は、順調に進めば2分で済む



海洋科学技術センター本部(横須賀市夏島町)にある海洋観測研究部。その廊下には、ひととき大きな北極圏の地図が掛けられている。近づいてみるとJ-CAD 1号機~3号機の設置場所と漂流の軌跡が詳しく示されていた。普段、私たちがほとんど見る機会のない地形が描かれている地図のこの場所が、島田浩二さん(左)と畠山清さん(右)の広大な仕事場である



3 先端に錘を付けて海中に降ろしたケーブルに、ADCPに続けて水温・塩分計を取り付けていく



4 設置が終わると、メインスイッチをONにし、ノート型パソコンを接続して稼働の最終チェックをおこなう。メインスイッチONの後、J-CADは、自分のGPSを稼働し、世界標準時にあわせて計測を始める

5 設置完了。一面、白の氷の世界に鮮やかな黄色のJ-CADが建つ



未知の海域・オホーツクへ

海洋地球研究船「みらい」 初めて千島列島沖で 33日間の研究航海を実施

千島列島沖及びオホーツク海を含む北西部北太平洋海域は、非常に高い生物生産と太平洋中層水形成の場として、全地球規模の炭素循環を解明する上で極めて重要な海域のひとつと考えられている。しかしながら、同海域ではこれまで系統だった総合的な観測は行われていなかった。だが、昨年からの許可申請を行ってきたロシア排他的経済水域内における海洋観測が認められ、ようやく今年の5～6月に、「みらい」によるこの海域での研究航海が実現した。33日間の研究航海は、どのように行われたのだろうか。



日本の観測船による初めての 総合的な物質循環研究が実現

現在、大気中の二酸化炭素は増加を続け、地球温暖化を促進しているといわれる。海洋は、その大気中の二酸化炭素濃度をコントロールする重要な役割を担っている。だが、実際に海洋がどの程度の二酸化炭素を吸収しているのか、また、どのようなメカニズムでそれが行われているのかは、まだよく分かっていない。それを解明するために、いま世界中の化学関係の海洋研究者たちが研究を続けている。

全地球的な規模で海洋の物質循環過程の長期変動を観測する国際プロジェクト・JGOFS（世界海洋フラックス研究）の一環として、これまで各国の研究者たちが赤道域から南氷洋を含む世界のいろいろな海域で、物質循環に関する観測を行ってきた。そして最後に残ったのが、北西部北太平洋海域だった。日本の研究機関は、協力しながら今後この海域を重点的に観測していくことを決めている。そして、その観測調査の中心になっているのが、海洋地球研究船「みらい」だ。

1998年から、「みらい」は毎年1、2回ずつ北西部北太

平洋で観測を行っているが、この海域でどうしても避けて通れなかったのが千島列島沖だった。

東カムチャッカ海流は、千島列島に沿うように南下し、その一部がクレゼンシュターナ海峡からオホーツク海に入り、また、ブツソル海峡から出てきたオホーツク海の水が、南下してきた東カムチャッカ海流と合流して、親潮となって北海道沖を南下している。太平洋中層水の生成機構はまだはっきりとは分かっていないが、親潮がその生成の主な役割を担っているといわれている。この中層水が二酸化炭素をどのくらい運んでいるのか又は蓄

積しているのかを明らかにすることは、この海域の物質循環研究の必須の課題のひとつである。さらにもうひとつ、この海域では春季にプランクトンが大発生（春季ブルーム）する。その発生メカニズムとそれに伴う物質循環過程を定量的に把握することも、極めて重要なテーマになっていた。

オホーツク海及び千島列島周辺における調査には、ロシアの協力が不可欠だ。しかし、ロシア側はこれまでこの海域での日本の船による観測を許可していなかった。唯一の例外として、日露漁業協定に基づいて水産庁の船

がこの海域で調査を行っている。だが、あとはロシア船の備船に頼らざるを得ない状態だった。

ところが、ここ数年の間に事態は好転した。ひとつは、ロシアの国内法が改正され、外国の船を受け入れることが認められるようになったこと。もうひとつは、1999年6月に開かれた日露科学技術協力委員会において、「北西部北太平洋及び隣接海域における二酸化炭素の挙動」が研究協力課題として取り上げられることに決まったのだ。

これを受けてセンターは、ロシア排他的経済水域内における海洋観測の許可申請を行い、今年の春に許可を取得することができた。これまで、まず不可能と考えられてきた「みらい」による千島列島周辺海域の調査は、こうして実現した。

順調に進んだ観測 今後の調査への道を拓く

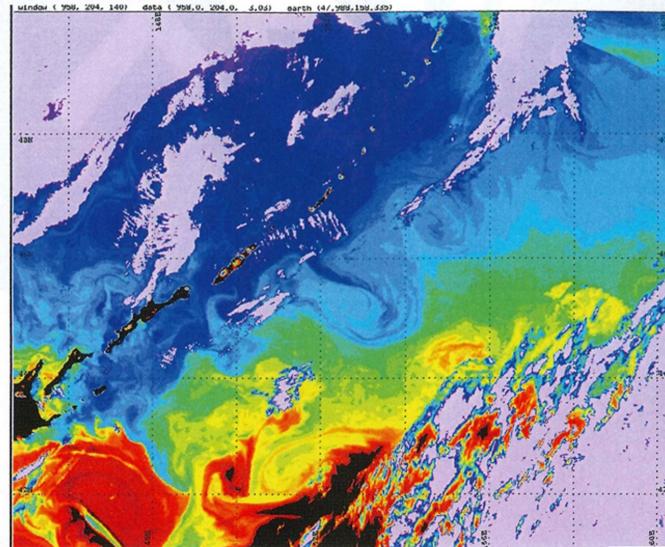
5月9日から6月10日にかけて、センター所有の海洋地球研究船「みらい」は、ロシア排他的経済水域を含む北西部北太平洋及びオホーツク海において、「高緯度海域における物質循環研究」を行った。この航海には、センター及び国内8研究機関をはじめ、アメリカからも参加があり、20名を超える研究者が乗船した。大部分が物質循環をテーマとする研究者だったが、その調査・実験の内容は多岐に渡り、化学分析のための採水、沈降粒子の採取、採泥、プランクトン観測、大気観測など多数の観測が行われた。

さらにロシアの「太平洋海洋研究所」からも研究者2名が招かれた。彼らは物理関係の研究者で、海域の水温、塩分などのデータを収集した。また、研究者の他にロシアからはオブザーバー2名が航海に同行し、航路や観測点の変更は彼らと協議の上で決めた。計画にない地点でも観測が許されるなど、その対応は非常に友好的だった。

天候はほとんど曇りで、太陽が出たのは数日だけだったが、海はそれほどシケることもなく、観測は順調に進行した。

膨大なデータの分析はまだこれからで、今回の観測についてのレポートが集まるにはまだ時間が必要だ。

今回の調査で非常に興味深かったことのひとつは、千島列島周辺で見られた渦だった。教科書的には、東カムチャッカ海流は列島に沿って直線的に流れているように表されるが、実際には列島周辺で、時計回りの渦を巻いていることが、温度分布を表した衛星写真からも分かる(図1参照)。ここで太平洋とオホーツク海の海水が混ざり合っていることが分かるが、なぜこのような渦が生ま



(図1：温度分布を表した衛星写真)
青は低温、赤が高温をあらわす。白い色は雲。
千島列島沖に渦ができていのがわかる

れるのかはよく分かっていない。この渦は表層だけでなく、深度4000mという深いところまで達している。この渦が生物の生産性や物質循環にどのように影響を与えているかは、とても興味深い。今回の航海でもこの渦をとらえながら徹底的な観測が行われた。これからデータを解析していくなかで、おもしろい結果が導き出されるかもしれない。

今回は海や天候が荒れることがほとんどなかったため、調査は計画以上にはかどったが、唯一の誤算は、予定していた北海道東部海域での観測が行えなかったことだ。この海域で日本の漁船が操業中だったためだ。数週間後に漁期が終わるとのことだったが、結局、観測は見合わせることにした。

この海域での観測は来年も実施される予定だ。今回の観測航海で調査主任・代表研究者を務めた海洋観測研究部の日下部正志主幹はいう。

「初めてのことで、馴れない分たいへんなこともありました。来年はもっとスムーズに行えるはず。今回のロシア排他的経済水域内での調査によって、この海域での観測・調査の可能性が大きく開かれたと思います。今後は、北西部北太平洋及びオホーツク海における日本の研究がさらに促進されるものと考えています。」

写真/森岡直人
(グローバル・オーシャン・デベロップメント GODI)



北太平洋に沈む夕日



海洋観測研究部 日下部正志主幹



ロシア「太平洋海洋研究所」の研究者



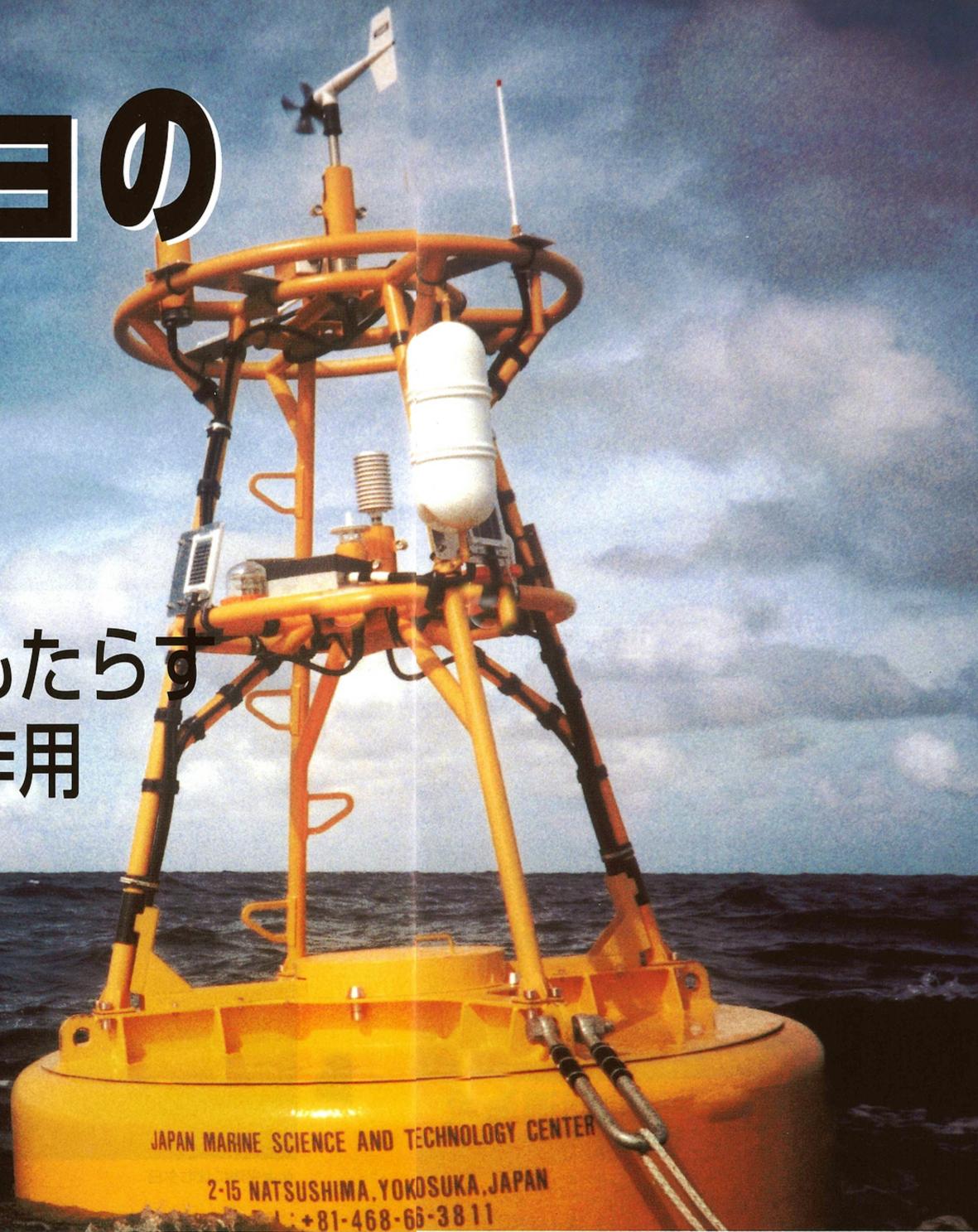
日米露の研究者の交流の場ともなった



ピストンコアサンブラーを海中に下ろす

エル・ニーニョの 謎に迫る

世界各地に異常気象をもたらす
壮大な大気・海洋相互作用



エル・ニーニョは、スペイン語で「神の子」を意味する。97～98年のエル・ニーニョ現象は観測史上最大規模といわれ、インドネシアの干ばつによる森林火災、アフリカのソマリアでの大雨など、世界各地に大きな被害をもたらした。いったいなぜこのような現象が生じるのか、その仕組みにせまる。

エル・ニーニョ現象とは何か

クリスマスのころから海水温が高くなり雨が多くなる現象が、数年ごとにやって来ることは、南米ペルーの沿岸部に暮らす人々の間では古くから知られていた。そうした年は、海でカタクチイワシなどの小魚にかわって、回遊型のカジキマグロが獲れたり、砂漠地帯一面に花が咲くといった「神の恵み」があった。そこで彼らは、この現象を「エル・ニーニョ（神の子）」と呼んだ。しかし、後にイワシ漁などの漁業が盛んになり、小魚をエサにする海鳥たちの糞が肥料として使われるようになると、「神の子」というほどありがたい現象ではなくなった。

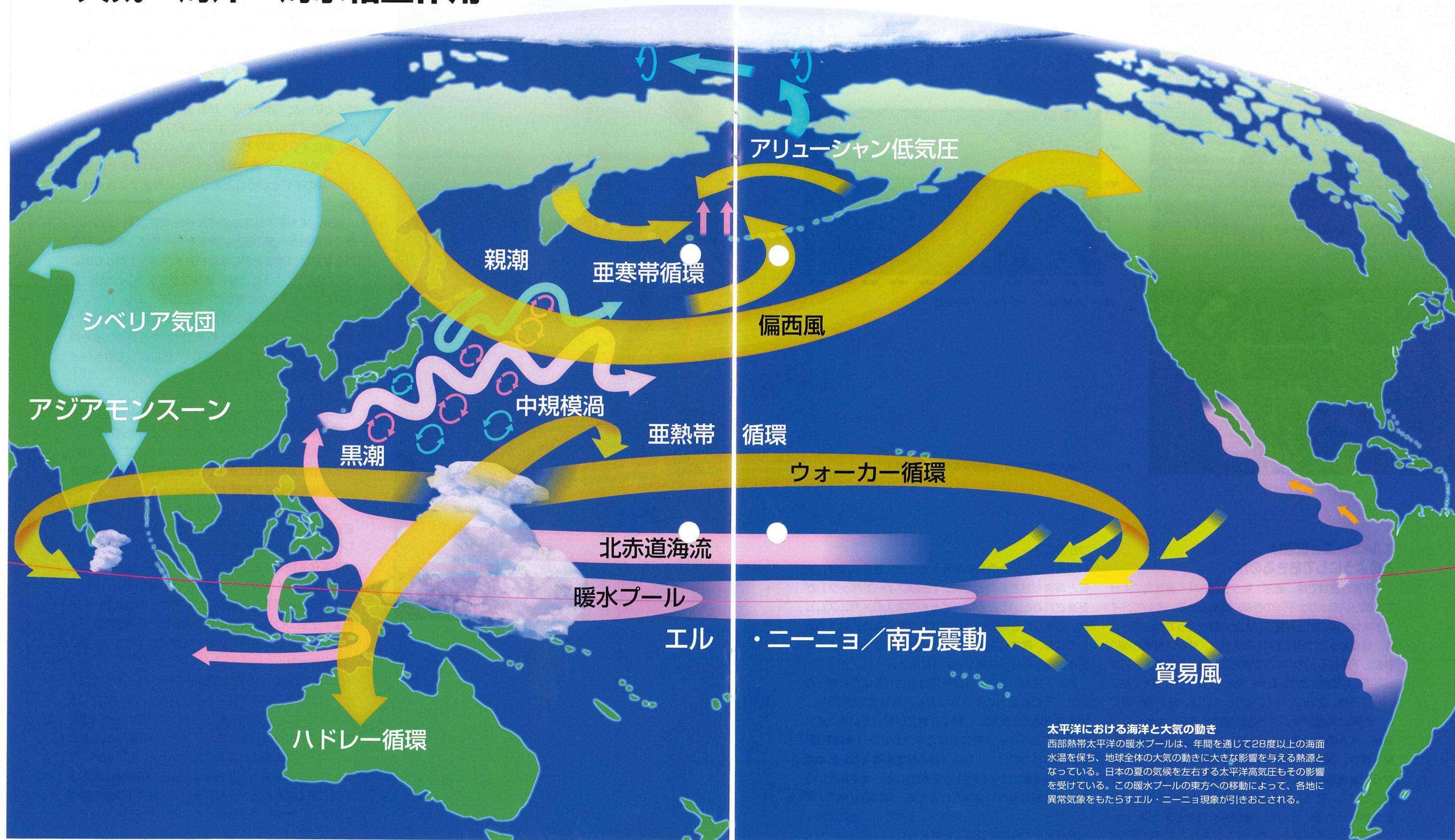
通常、東太平洋熱帯域のペルー沿岸部では、北西へと吹く貿易風が表層の暖かい海水を西へ運び、そこに深層から豊富な栄養塩を含む冷たい海水が湧き上がっている（沿岸湧昇）。こうした海域ではプランクトンが繁殖し、それをエサとする魚も豊かだ。ところが、エル・ニーニョがおきると、表層の暖水層がとどまったまま湧昇流にフタをする形となり、魚やそれをエサとする海鳥たちも減少してしまう。また、陸地では、大雨によって洪水などの自然災害がおきることもあった。

この気候の変動が、どうやらペルーだけのことではなく、中南米をはじめ、東南アジア、オーストラリア、さらにはインド、アフリカの干ばつなどとも関連していることに研究者たちが気づき、やがて、エル・ニーニョは、地域的な気候変動だけでなく、世界的に影響を及ぼす壮大な気候変動を表す言葉になった。

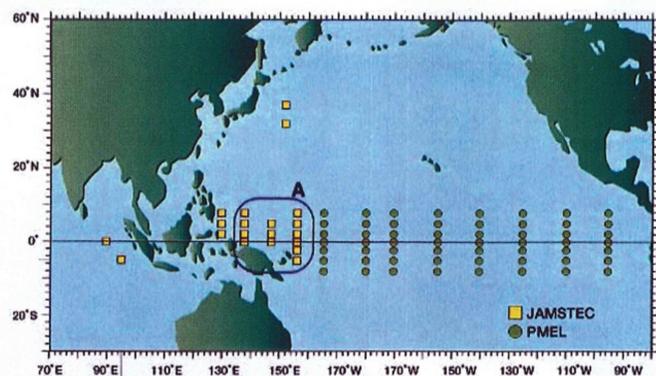
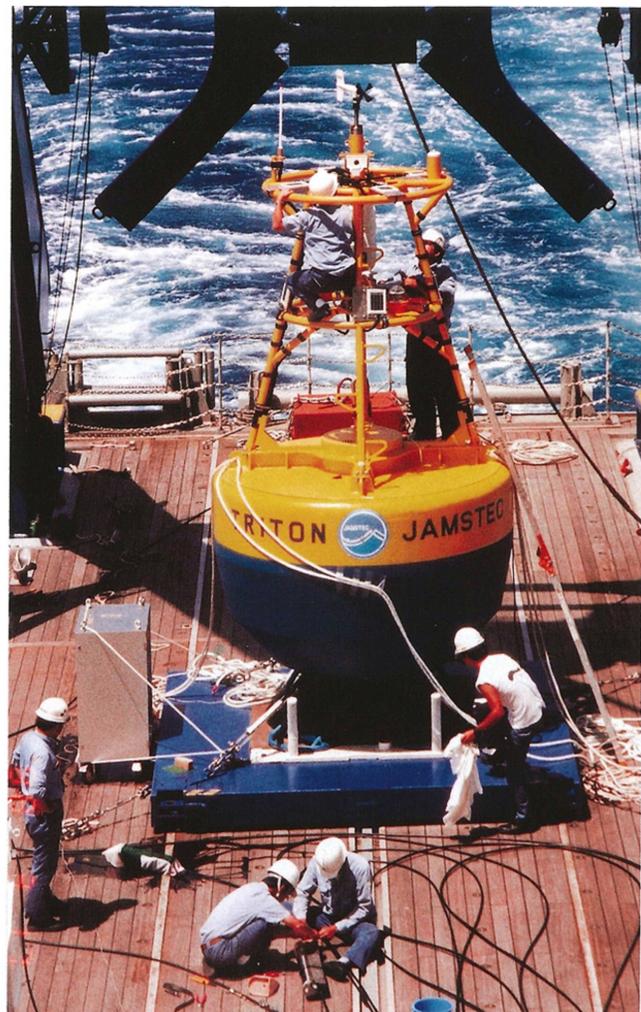
一方、エル・ニーニョが研究者たちに注目される半世紀ほど前、インドの気象庁長官を務めたウォーカー卿（イギリス）は、南半球太平洋海域のいくつかの地点の気圧変化を観察するなかで、太平洋を挟んだ東西に、一方の気圧が高くなるともう一方が低くなるというシーズンのような相関関係を見つけた。彼はその現象を「南方振動」と名づけた。そして、その東部と西部の格差が大きくなったとき、世界の各地で気候変動がおきていることが分かった。

エル・ニーニョの研究が盛んに行われるようになった、いまから20年ほど前、ある研究者が、海洋で生じるエル・ニーニョと大気の変化である南方振動とが対応していることに気づいた。エル・ニーニョが発達した年には、南方振動の偏差も非常に大きかったのだ。後に、エル・ニーニョ現象と南方振動は、ひとつの現象の異なる側面であることが分かった。そして、海洋の現象と大気の現象が、密接に関係し合っていることが理解されるようになっていった。

大気-海洋-海氷相互作用



太平洋における海洋と大気の動き
 西部熱帯太平洋の暖水プールは、年間を通じて28度以上の海面水温を保ち、地球全体の大気の動きに大きな影響を与える熱源となっている。日本の夏の気候を左右する太平洋高気圧もその影響を受けている。この暖水プールの東方への移動によって、各地に異常気象をもたらすエル・ニーニョ現象が引き起こされる。



西太平洋熱帯域に、トライトンブイを設置

エル・ニーニョ現象の解明に力を発揮するトライトンブイ

エル・ニーニョ現象は どのようにしておきるのか

太平洋赤道域では、通常、東から西へ吹く貿易風によって、暖かい海水が太平洋の西部に集められる。そして、インドネシア周辺に上昇気流がおき、雲が立って雨を降らせる。軽くなってさらに上昇した大気は、やがて水平方向に移動し下降する。そのなかで東方に移動した気流は、再び貿易風として東に吹き、暖かい海水を西太平洋に送り込む。

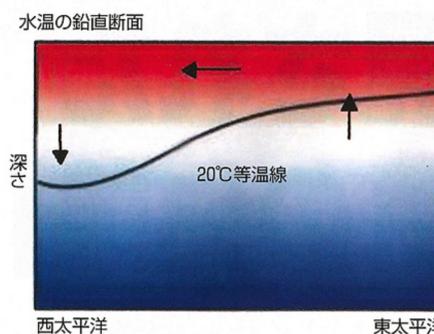
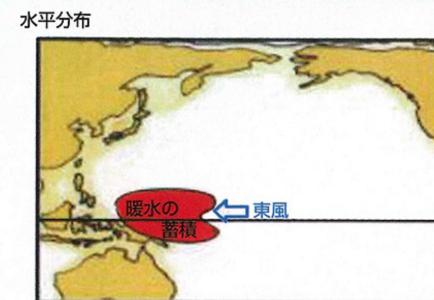
ところが、エル・ニーニョのときには、貿易風が弱くなり西風の突風が吹くなどの影響で、西部に集められた暖かい海水の塊が東へ広がっていく。上昇気流の中心も東へ移り、循環した大気がさらに西風を強める。逆に東からの貿易風は弱まり、暖かい海水はどんどん東へと移動していく。こうして太平洋赤道域の中部から東部に暖水が集められる。そして、雲が多く発生し雨を降らせ、逆に西部では雨が減少して、インドネシアなどでは干ば

つがおこる。

エル・ニーニョの発達を考えるとときに重要なのは、大気と海洋が結合したときに、「正のフィードバック」が促進されるということだ（ビャルクネスのメカニズム）。強い西風が吹き込めば、上昇気流は強くなり、対流も激しくなり、吹き込む西風はさらに強まる。それによって暖かい海水もさらに集まるようになる。

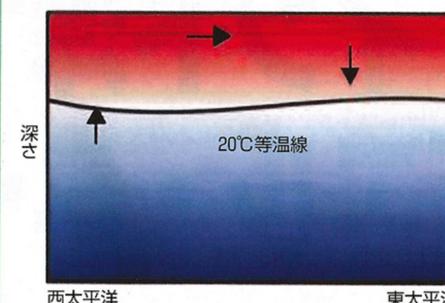
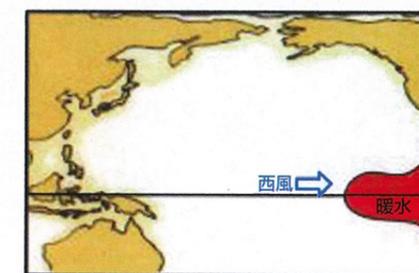
また、エル・ニーニョが特に注目されるようになったのは、その影響力の大きさによる。熱帯域だけでなく、中高緯度地域の気候にも様々な異変が現れている。これを説明するのが、大気のテレコネクション（遠隔影響）といわれるものだ。これは「ある程度距離をおいた地点での気候変動同士の関係」と説明される。太平洋という巨大な海域を舞台に展開される大気・海洋相互作用、エル・ニーニョは、次々に連鎖を引きおこし、地球の様々な地域にその影響を及ぼすと考えられている。日本でも、

ラ・ニーニャ



ラ・ニーニャ時には東風である貿易風が卓越し、赤道線上の暖水を西太平洋に押しやり暖水が蓄積される。今回の観測では、1998年の5月にエル・ニーニョが終息後、ラ・ニーニャが2年継続し、その間東風が続き、暖水蓄積の指標である20度等温線が2000年3月~4月に平年より30mも深くなった。

エル・ニーニョ



エル・ニーニョ時には暖水が東に移動し、西太平洋で暖水の層が薄くなり、東太平洋で厚くなるので東太平洋の水温が平年よりも上昇する。エル・ニーニョの発生は、西太平洋に蓄えられた暖水が西風により東に押されることがきっかけとなる。

夏の天候不順や、日本を通過する台風が少なくなるなどの影響が出るといわれている。

大気現象に大きな 影響を与える海洋変動

1980年代以降、気候システムを構成する地球大気の動きが、海洋の変動に大きく依存していることが徐々に明らかになりつつある。エル・ニーニョ現象は、その良い例といえる。だが、陸上と異なり、海洋では継続的な気象及び海象観測は難しい。

そうしたなか、大きな効果を発揮したのが、米国海洋大気庁の太平洋海洋環境研究所が日本、フランスなどの国々と協力して太平洋熱帯海域に配置してきたTAOブイだった。これまでに約70基が配置され、水温や海流などに関する貴重なデータを送り続けている。さらにセンターでは、海洋観測機能を充実させたトライトン・ブイ

を西太平洋に配置し、観測システムの充実を図っている。

これらにより、熱帯海域で発生するエル・ニーニョの研究は大きく進展した。今日では、上記のようにエル・ニーニョの仕組みはかなり分かってきた。だが、西太平洋でのエル・ニーニョの発生機構にはいまだ諸説があり、その発生に重要な役割を演ずるであろう西太平洋の暖水プールの維持機構の解明など、その物理過程についてはまだ完全に理解されていない。また、アジア・モンスーンとの相互作用の解明、大気・海洋結合モデルを用いた発生予測、さらには、エル・ニーニョが発生する熱帯海域に隣接する中高緯度海域でおきている10年規模の海洋変動との関連性の解明などもこれからの課題になっている。インド洋にもエル・ニーニョとよく似た機構を持つ大気・海洋相互作用が確認された今日、太平洋とインド洋を結ぶインドネシア通過流における熱の交換過程の解明なども今後の研究が待たれるところだ。

インド洋で発見された「エル・ニーニョの兄弟」

取材協力・資料提供
やまがたとしお
山形俊男

世界各地の気象に大きな影響を与えている太平洋のエル・ニーニョによく似た大規模な気候変動現象が、インド洋にも存在していることが発見された。地球フロンティア研究システム（海洋科学技術センターと宇宙開発事業団との共同プロジェクト）の山形俊男気候変動予測研究領域長（東京大学教授）、サジ・ハミード研究員らによって、世界で初めて明らかにされたこの現象は、「インド洋のダイポール・モード現象 (Dipole Mode Event)」と名づけられ、昨年9月にイギリスの科学雑誌『ネイチャー』において発表された。山形領域長は、その構造がエル・ニーニョ（神の子）に似ていることや、インド洋独自の大気海洋相互作用現象でありながらエル・ニーニョとの関連もあることから「エル・ニーニョの兄弟」と話す。日本の気象にも影響を与えるといわれる、この「ダイポール・モード現象」とは、いったいどんな現象であり、どのようにして生まれるのだろうか。

日本の異常気象研究で見つかった インド洋熱帯域の奇妙な現象

1994年、夏の猛暑が日本を襲った。全国のダムは異常湧水にみまわれ、東京では気温40度を超える日が長期間にわたって続いた。

日本の夏の気象に大きな影響を与えているのは、太平洋高気圧の西の部分、いわゆる小笠原高気圧だ。これは熱帯域のフィリピン沖合で上昇した大気が、ハドレー循環によって下降する場所である。大気の下降域は、圧縮効果のために温暖で天気がよく、さらに夏の日射量の増大が暑さをもたらす。そして、この下降域の強度や広がり、フィリピン沖合に生じる大気の上昇域の状況に大きく左右される。つまり、この年の夏は上昇流が普段よりも強く、さらに北にずれたために、日本列島全体が強い太平洋高気圧に覆われてしまい、猛暑を生み出したわけだ。

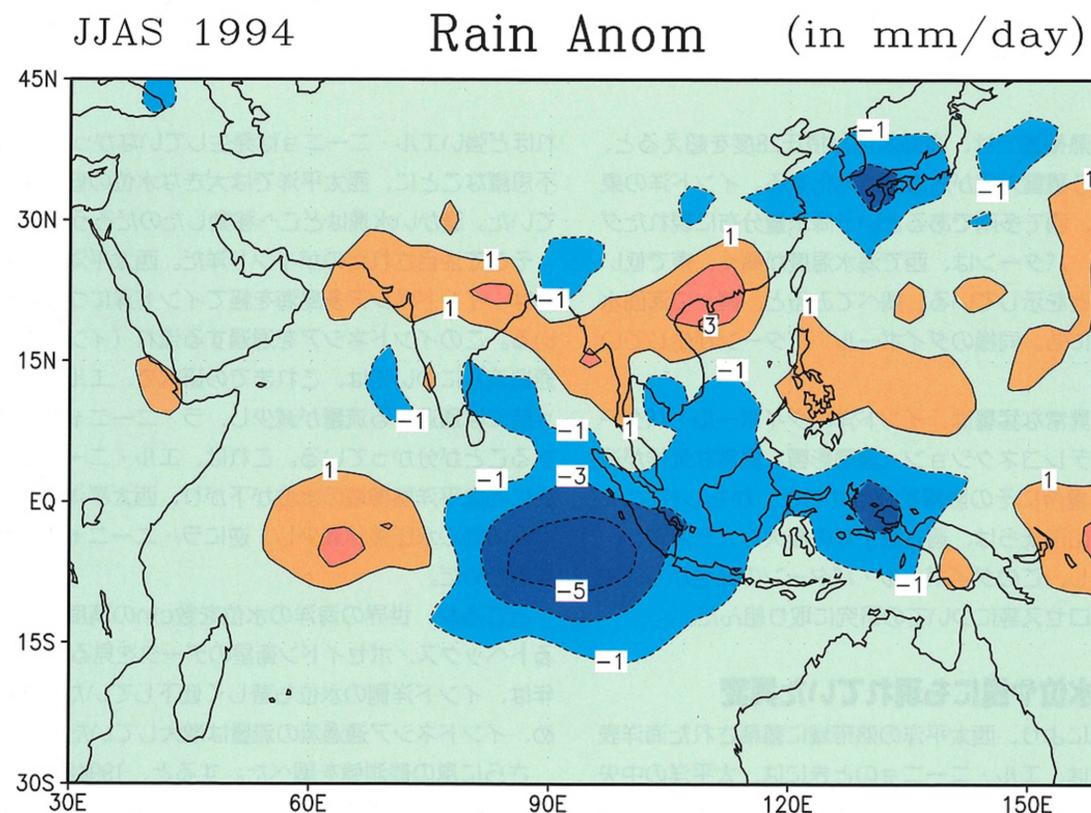
なぜ1994年にフィリピン沖合の上昇流が普段よりも強かったのだろうか。日本の異常な夏の原因を解明するため、研究者らは様々なデータを集め分析を行った。そのとき、海洋学の分野からこの研究に参加した山形氏は、ひとつの興味深いデータに注目した。

米国海洋大気庁の国立環境予報センターで発行してい

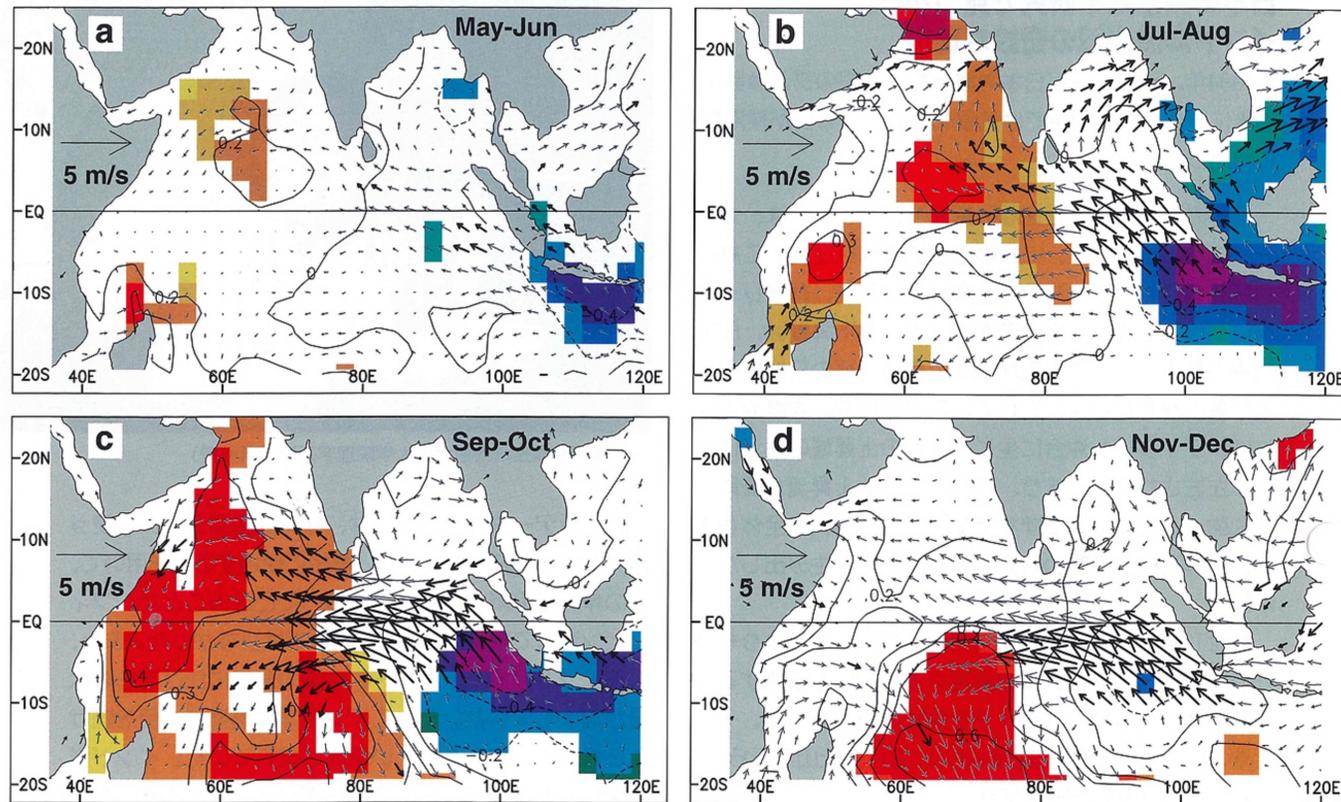


山形俊男領域長（東京大学大学院理学系研究科教授）

る再解析データ（気象学では、様々な観測データを使った天気予報の結果を保存し、解析に使用する）を用いて、この年の夏の降水量の分布を調べたときのことだ。フィリピン沖合で降水量が多く、日本では少なかった。また、北部インドからミャンマー、中国の華南にかけても降水量が増大していた。そしてインド洋の熱帯域に目を向けたとき、そこにおもしろい結果が現れていた。インド洋の東部で非常に乾燥し、西部で雨が多かったのだ。つまり、東西に並んだダイポール構造（二極構造）がそこに



1994年夏季（6～9月）の降水量の平年値からのずれ。インド洋熱帯域では、西で降水量が増え、東で減少するダイポール・パターンが現れている。日本も降水量が減少。



ダイポール・モード現象の発達の様子。過去40年間に起きた6回の事象を合成したもの。風と水温の平年値からのずれを示している。寒色は平年より低い水温異常。暖色は平年より高い水温異常。5~6月に東インド洋に現れた東風が次第に強まり、インド洋の東西に海水温のコントラストを生じさせる。このコントラストがさらに東風を強めるような作用として働いている。冬のモンスーン到来とともに、ダイポール・モード現象は消失する。

あった。熱帯域では、海面水温が摂氏28度を超えると、降水を伴う積雲対流が急激に活発化する。インド洋の東で乾燥し、西で多雨であるという降水量分布に現れたダイポール・パターンは、西で海水温度が高く、東で低いということを示している。調べてみると、確かに海面水温の偏差にも、同様のダイポール・パターンが生じていた。

日本の異常な猛暑は、インド洋のダイポール・パターンによるテレコネクション（遠隔影響。異常な気候が遠く離れた場所にその影響を及ぼすこと）かもしれない。そこで、山形氏は、過去数十年の膨大な大気海洋データを分析し、このダイポール・パターンの発生から消滅に至るプロセス等についての研究に取り組んだ。

海洋の水位や風にも現れていた異変

貿易風により、西太平洋の熱帯域に蓄積された海洋表層の暖水は、エル・ニーニョのときには、太平洋の中央部や東太平洋に移動し、そのため西太平洋の水位が下がることが分かっている。1994年、太平洋熱帯域には、そ

れほど強いエル・ニーニョは発生していなかった。だが、不思議なことに、西太平洋では大きな水位の低下がおきていた。暖かい水塊はどこへ移動したのだろうか。

そこで注目されたのがインド洋だ。西太平洋熱帯域の海は、インドネシア多島海を経てインド洋につながっている。このインドネシアを通過する流れ（インドネシア通過流）については、これまでの研究で、エル・ニーニョ時には通過する流量が減少し、ラ・ニーニャでは増大することが分かっている。これは、エル・ニーニョのときに西太平洋熱帯域の水位が下がり、西太平洋と東インド洋間の水圧差が減少し、逆にラ・ニーニャでは増大するためだ。

ところが、世界の海洋の水位を数cmの精度で計測するトペックス/ポセイドン衛星のデータを見ると、1994年は、インド洋側の水位も著しく低下していた。そのため、インドネシア通過流の流量は増大していた。

さらに風の観測値を調べた。すると、1994年10月、モンスーン休止期に定期的に発生するはずの東向きのジェット流は発達しておらず、東経70度以西では、風は西

向きのままだった。このころの風の状況は、例年と大きく異なっていた。スマトラ島沖の南東貿易風が赤道を越えて北半球にまで侵入し、東インドの赤道上では、風は西向き成分を持つこととなったのだ。この風が西向きの海流を引き起こし、東向きのジェット流の発達を妨げてしまったわけだ。

西太平洋熱帯域の暖かい水塊は、東インド洋に流れ込み、さらに、西向きの海流に乗って西インド洋へと運ばれていったのだ。そして、この1994年のインド洋熱帯域で見つかった海流異変も、実は広範囲の大気と海洋を巻き込んだ特異な現象のひとつであることがわかった。その現象こそが、インド洋のダイポール・モード現象だった。

ダイポール・モード現象の発達の過程の解明

ダイポール・モード現象の発達のメカニズムは、次のように説明されている。

まず、何らかの理由で熱帯域の東部インド洋（スマトラ沖）で南東貿易風が強化される。すると、赤道上で東から西に吹く風の成分が生じ、西向きの海流をおこす。それが東インド洋にあった暖水を西インド洋（ソマリア、ケニア沖合）に運ぶ。西インド洋には暖水の厚い層ができて、深層冷水の湧昇を妨げてますます暖かくなり、海面温度も上昇する。反対に、東インド洋は冷水の湧昇や蒸発によって、海面水温が低下する。西の暖かい海面上

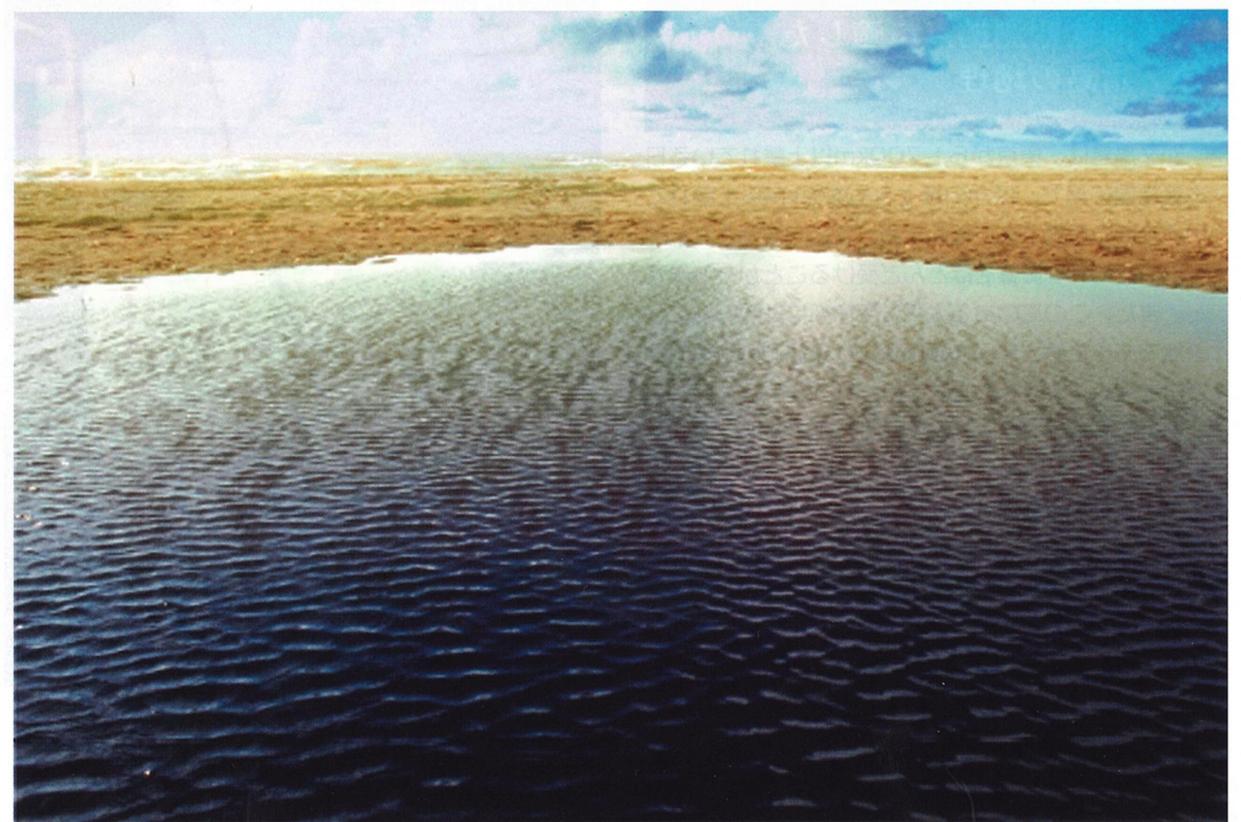
では大気は軽くなって上昇し、東の冷たい海面上の大気は重く下降する。そうして西向きの気圧傾度が生まれ、これが東風をさらに加速する。こうして、大気と海洋の間に正のフィードバックが働き、ダイポール・モードはどんどん成長していく。

このダイポール・モード現象がおきると、インドネシアの周辺海域は冷えて、エル・ニーニョのときと同様に大気は乾燥する。エル・ニーニョとダイポール・モード現象がともにおきた年は、両方の海からダブルパンチを受けてしまう。こうした現象があることは、インドネシアでは昔から知られており、「トゥアラング（異常な乾期）」と呼ばれている。一方の西インド洋沿岸部では、エル・ニーニョにおけるペルーのように洪水がおきやすく、実際に1994年には、ケニアなどで大洪水が発生している。

成長したダイポール・モード現象は、10月、11月に最盛期を迎える。だが、その後南半球が夏になるにつれて東インド洋の南東貿易風は弱まり、12月ころからは急激に減衰していく。

インド洋のダイポール・モード現象の発見は、これまでのエル・ニーニョを中心に異常気象を捉えようとする傾向に、一石を投じるものといえる。また、この現象をさらに詳しく解明することは、インド洋周辺諸国に限らず、日本を含む東アジア諸国にとっても有益な成果をもたらすはずだ。

1994年夏、日本は猛暑が続き、異常渇水により全国各地でダムが水量が激減した。





リアルタイムの気象要素観測データが取得できる「沖ノ鳥島」のウェブページがスタート

<http://w3.jamstec.go.jp/okitori/>

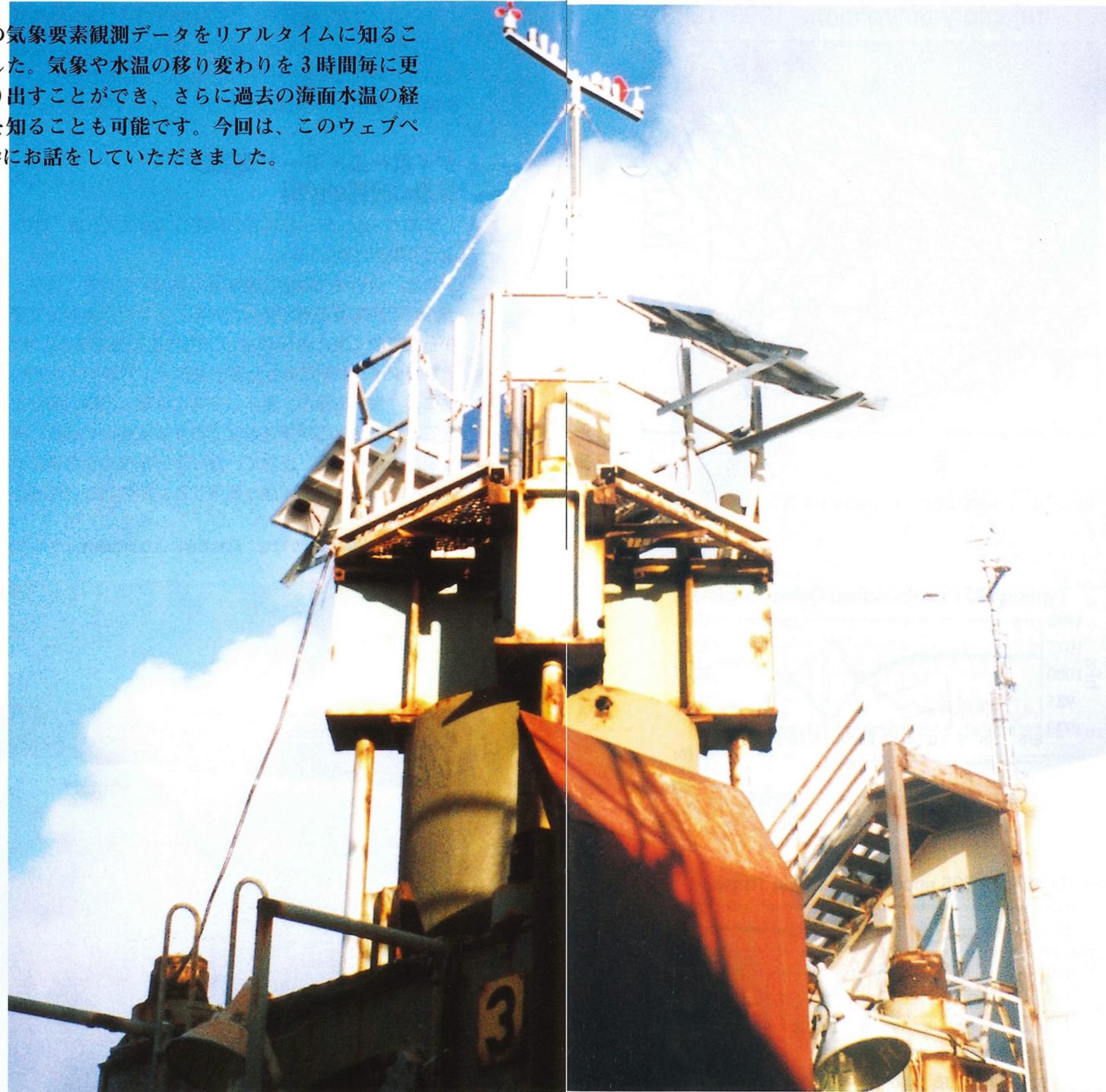
今年の6月8日、日本最南端に位置する沖ノ鳥島の気象要素観測データをリアルタイムに知ることのできる画期的なウェブページがスタートしました。気象や水温の移り変わりを3時間毎に更新することにより、誰でも簡単に最新データを取り出すことができ、さらに過去の海面水温の経年変化や、台風などの特徴的な気象・海象データを知ることが可能です。今回は、このウェブページについて、海洋観測研究部の中笠岩男研究主幹にお話をいただきました。



気象海象観測拠点に適した沖ノ鳥島の地理

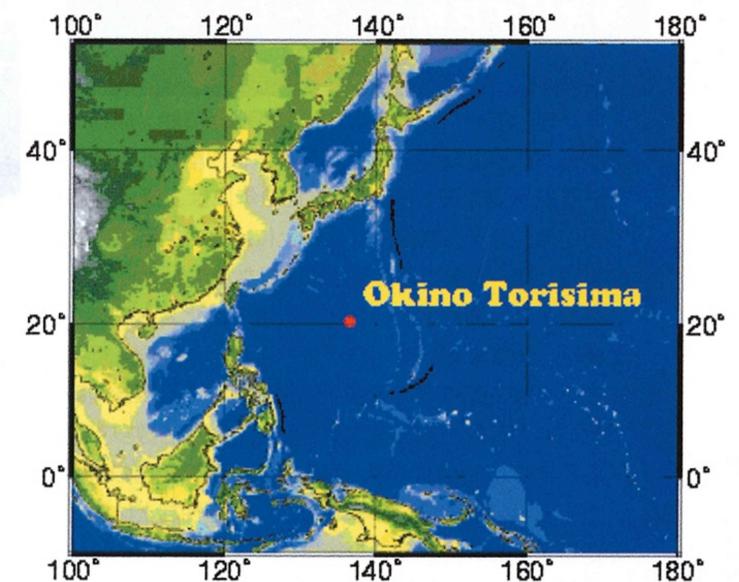
沖ノ鳥島は、東京から1,700km以上離れている日本最南端の島で、ほかの島々とも数百km以上離れている絶海の孤島です。そのため、ここで観測されたデータは人為的な影響をほとんど受けることがありません。また、この島のある太平洋西南部には観測拠点が皆無であるため、沖ノ鳥島は海洋気象観測の地理的な空白を埋める重要な位置に存在しています。

沖ノ鳥島は、「島」とはとっても満潮時には海面下に没する東西約4km、南北約1.7kmのリーフに、数mの小さな岩が顔を出しているフラットな場所です。このリーフの上に60m×80mの観測基地が敷設されています。このような場所では、山などの影響を受けることがないため海上気象の観測地として理想的で、外洋の自然な気象・海象条件を観測できるのです。



中笠岩男 ● Iwao Nakano

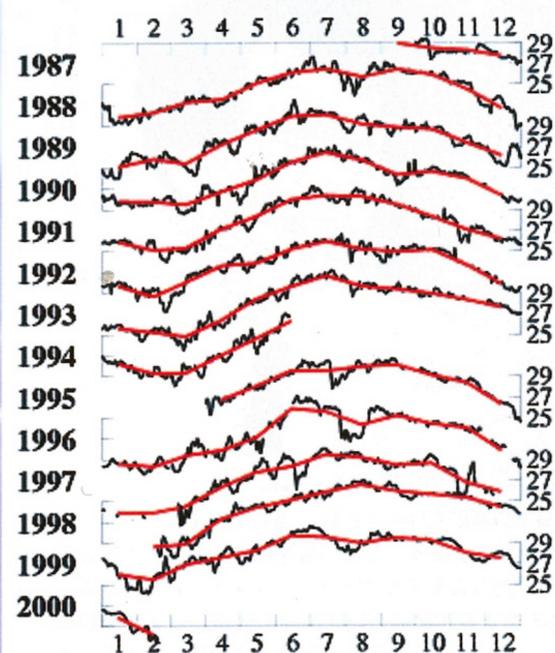
(海洋観測研究部研究主幹。1948年生まれ)
1972年に創立後まもない海洋科学技術センターに入所。「海洋音響トモグラフィシステム」をはじめとする海洋観測機器の研究開発に従事。沖ノ鳥島観測システムは1993年から担当。水の本質を知ることが最終的な目標



沖ノ鳥島は、海洋気象をモニタするうえで太平洋西南部の空白地帯を補完する位置にある



Seasonal SST variability



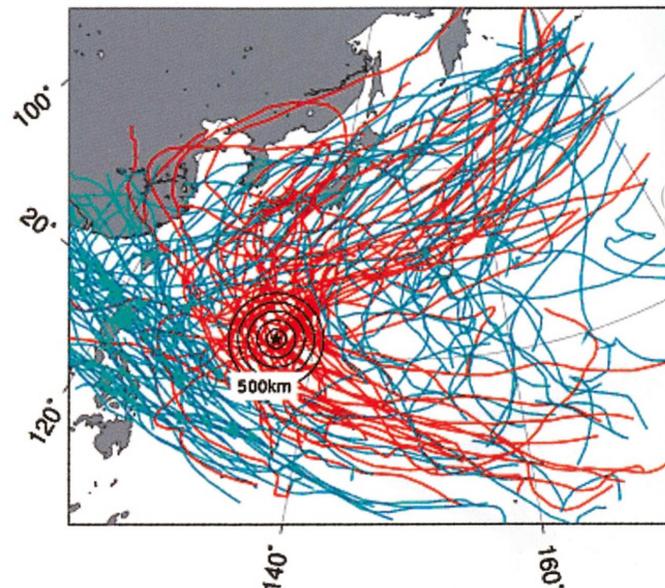
海面水温の季節変化。冷夏にみまわれた1993年は、ほかの年に比べて水温上昇が遅かったことがわかる

海洋科学技術センターによる 沖ノ鳥島観測

海洋科学技術センターでは、1993年に沖ノ鳥島に気象・海象自動観測システムを設置し、継続的に観測データを取得しています。2000年には、通信衛星を用いたシステムを経由することにより、ほぼリアルタイムでデータを得ることが可能になりました。

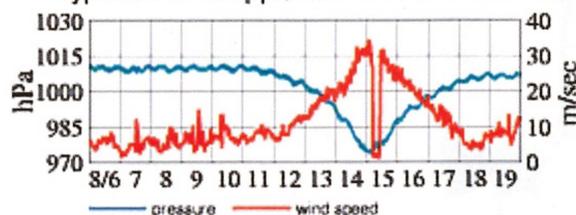
これまで、海面水温の変化、気温の変化、台風の移動経路、大気潮汐の変化など、さまざまな観測を行ってきた結果、ここでの気象・海象観測が1,700km離れた日本の気候予測に役立つようなデータを数多く獲得してきました。例えば、海面水温の季節変化のずれと、その年の日本の夏の暑さの深い関連性などは、その顕著な例といえます。今後は、沖ノ鳥島の観測によって日本の冷夏・猛暑予想が可能になるかもしれません。

trajectory of typhoons 1993-1998.



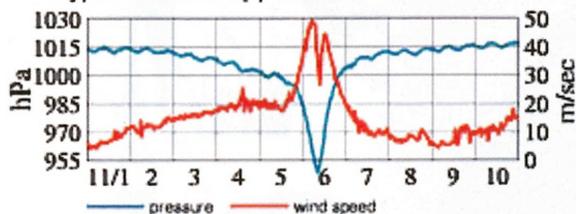
1993~98年の6年間に発生した台風の移動経路

Typhoon 9713 approached Okino Torisima



沖ノ鳥島で観測された大型の台風、97年の13号

Typhoon 9725 approached Okino Torisima



97年の25号の気圧(青線)および平均風速(赤線)

さまざまな用途が考えられる リアルタイムデータ配信

現在沖ノ鳥島では、建設省や海上保安庁が観測を行っていますが、ほぼリアルタイムに気象・海象データを取得できるのは、このウェブページだけです。今後はリアルタイムデータ配信という特徴を活かし、季節予想や台風情報など、さまざまな用途にこのウェブページが活用されていくことが期待されています。

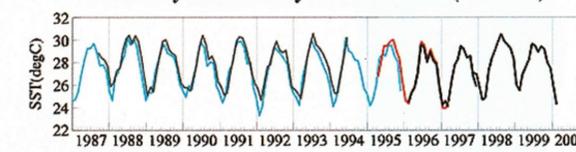


沖ノ鳥島の気象・海象自動観測システムに、スタート時から携わってきた中埜さんのデスク。沖ノ鳥島からのデータは、リアルタイムで自動的にこのパソコンに送られてくる。「ホームページを開設することで、今後このシステムがさまざまな用途に活用されることを期待しています」と中埜さん



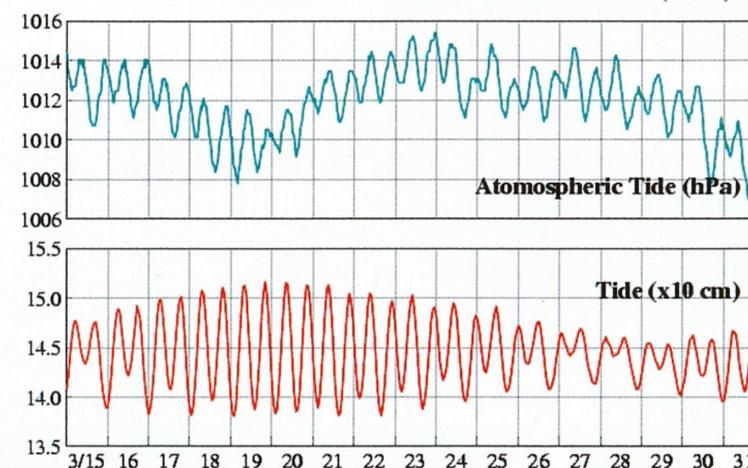
台風の通り道でもある沖ノ鳥島に設置された気象計。毎年のメンテナンスが欠かせない

monthly SST variability at Okino Torisima(1987-2000)



1987~2000年に沖ノ鳥島で観測された水温変化。海洋科学技術センターのデータは1996年以降

Tide and Atmospheric Tide at Okino Torisima(1996)



沖ノ鳥島における、気圧変動にみる大気潮汐(青線)と潮位変動にみる海洋潮汐(赤線)。都市化による人為的な影響を受けないデータは、大気潮汐と海洋潮汐の関係について、貴重な情報を与えてくれる

30年来のなぞが解けた！ 「亜熱帯反流」は、 ハワイの高い山と風が原因

日本のはるか南の海域で、まわりとは逆向きに流れる不思議な海流「亜熱帯反流」は、ハワイ諸島の高い山々が風をさえぎる影響で生じていた…！

米国ハワイ大学や海洋科学技術センター、宇宙開発事業団など日本、米国、中国の国際共同研究チーム（謝尚平準教授、野中正見研究員ほか）が、その発生のメカニズムを解明しました。

1960年代、日本の研究者が台湾東方にその存在を突き止めていながら発生の仕組みがなぞに包まれていただけに、米国の科学雑誌「サイエンス」に発表され、話題を集めました。

太平洋

米国

日本

親潮

北太平洋海流

黒潮

ハワイ諸島

亜熱帯反流

約8000km

北赤道海流

赤道

発生のメカニズムが解明された「亜熱帯反流」。アジアのフィリピン沖からハワイ沖に至る長さ8,000kmにもおよぶ細くゆるやかな海流が、北赤道海流の北の端を流れている。もし、ハワイ諸島がなければ、東から西に向かって流れる大きな時計まわりの亜熱帯循環になるはずだ

取材協力：海洋科学技術センター
横浜研究所フロンティア研究推進室
特別参事



菱田昌孝
Masataka Hishida

太平洋上で影響しあう 大気と海洋。衛星観測データの解析で 数千キロにもおよぶ「島陰」を発見

なぞの亜熱帯反流は、ハワイ諸島の島陰*で
かたちづけられていた

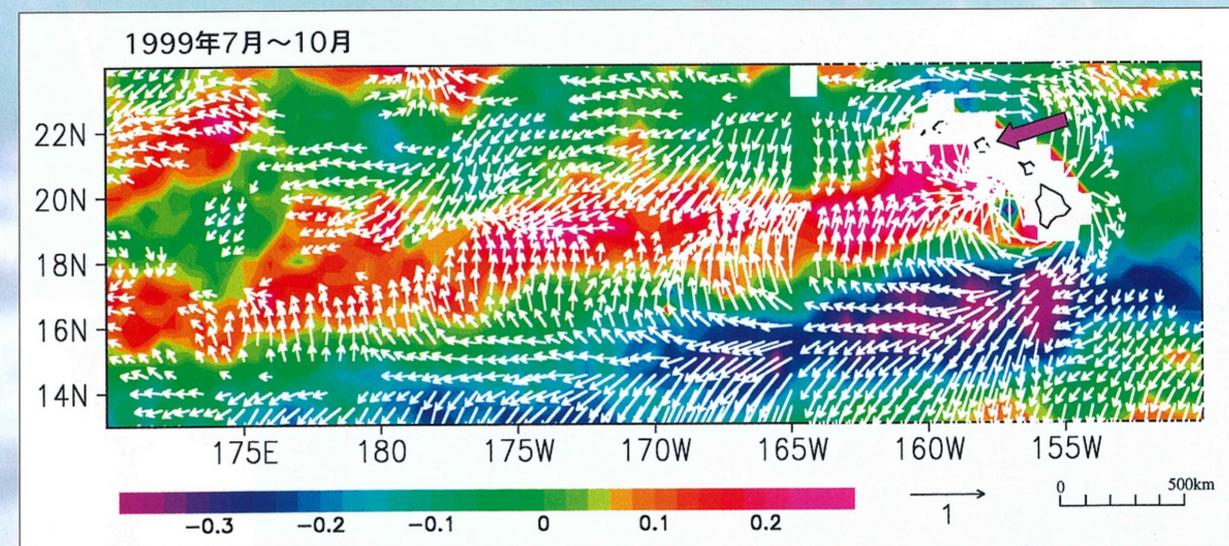
亜熱帯反流の発生メカニズムを突き止めたのは、地球フロンティア研究システム(宇宙開発事業団と海洋科学技術センターの共同プロジェクト)と米国ハワイ大学が共同で運営している国際太平洋研究センター(IPRC)の謝尚平準教授、野中正見研究員らの合同科学者チームです。

熱帯降雨観測衛星(TRMM)などの衛星観測データの解析によって、ハワイ諸島の西に数千キロもの長さの「島陰」が存在することを発見しました。世界各地の過去の観測結果から、大洋にある島が大気に与える影響は300kmほどしかないと考えられていただけに、これまでの定説をくつがえす画期的な発見といえます。

ハワイ諸島には年間を通じて西向きの風(貿易風)が吹いていますが、標高4,000mを超えるマウナロア山などの山々がこれをさえぎり、その風下に3,000kmにわたる雲の列と弱い風が続いていました。この影響は海洋にも現れ、細くゆるやかな海流がアジアからハワイに向けて8,000kmも続いているのが確認できました。

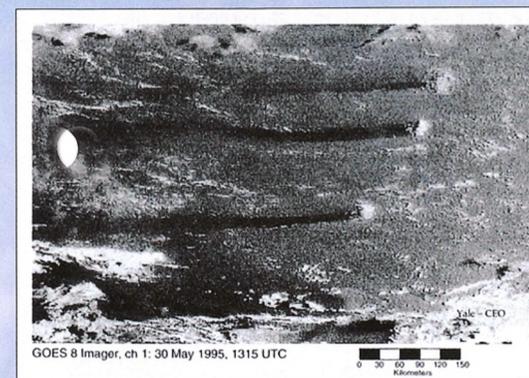
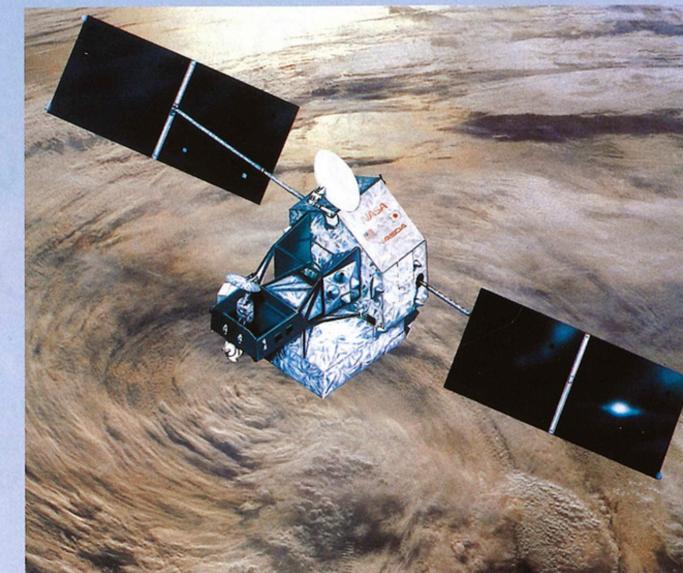
また、物理モデルによるシミュレーションをおこなったところ、「島陰」を再現することにも成功。1960年代にすでに確認されている日本の南方海域(台湾の東方)に存在する東向きの海流=亜熱帯反流も、これで説明がつくとわかりました。

*島陰=島が風をさえぎることによってできる風の弱いところ。「しまかげ」と読む

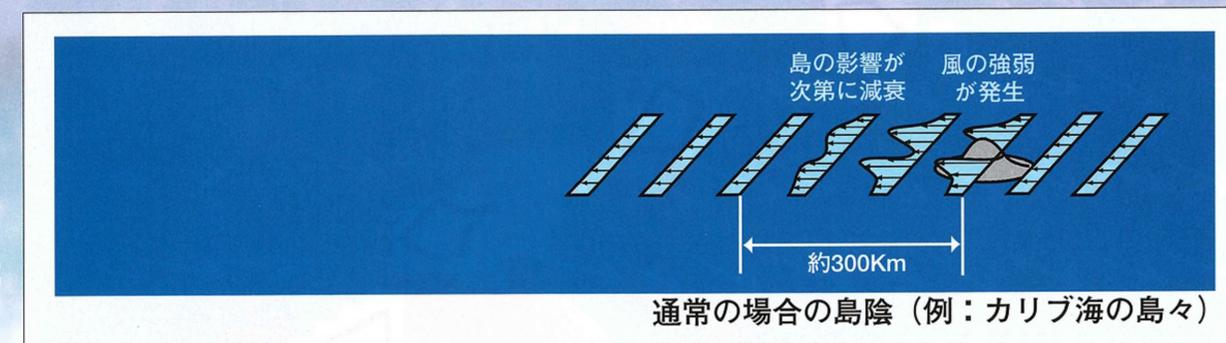


人工衛星データ(TRMM, Quick Scat)の解析で得られた海の表面の水温(色つきの部分)と風(矢印)。ハワイ沖数千キロ西の海上にも、ハワイ諸島の影響がよみとれる

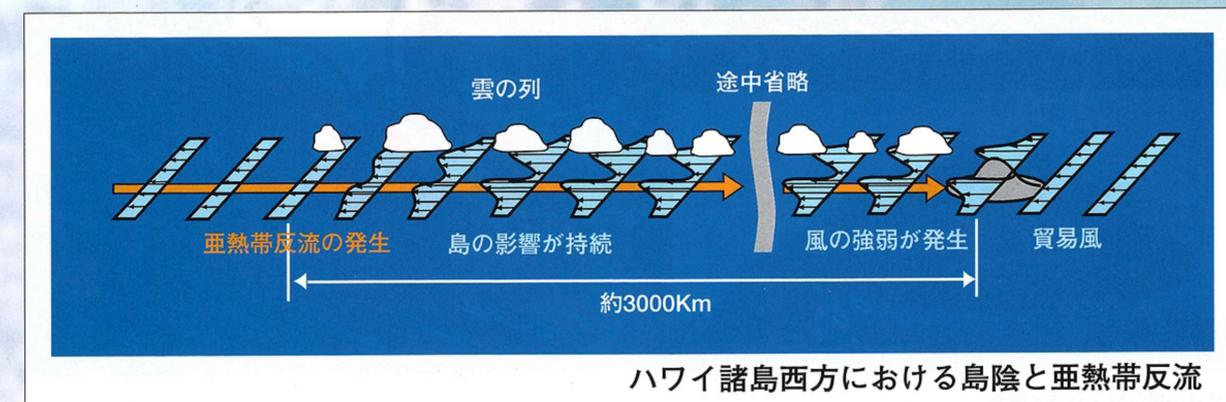
熱帯降雨観測衛星(TRMM*)
*TRMM=Tropical Rainfall
Measuring Mission
熱帯地方の平均的な降雨を効率よく観測できる軌道に打ち上げられた衛星。降雨レーダやTRMMマイクロ波観測装置など多くの観測機器が搭載されている。今回の解明では、雲の列の正確なデータ収集に威力を発揮した



普通の島陰は300kmで消滅する
画像はカリブ海の島々によってできた「島陰」(12-16N, 61W米国の静止気象衛星GEOS撮影)。通常はこの画像のように、300km程度で消滅するというのがこれまでの定説だった



カリブ海の島々をモデルにした通常の場合の「島陰」。島の影響は強くないため、次第に減少して300kmほどで消滅する



ハワイ諸島の場合は、雲の列と島の影響が持続して亜熱帯反流(オレンジ色の矢印)を発生させる

観測データの充実で より精度の高い「空の天気予報」と 「海の天気予報」につながれば

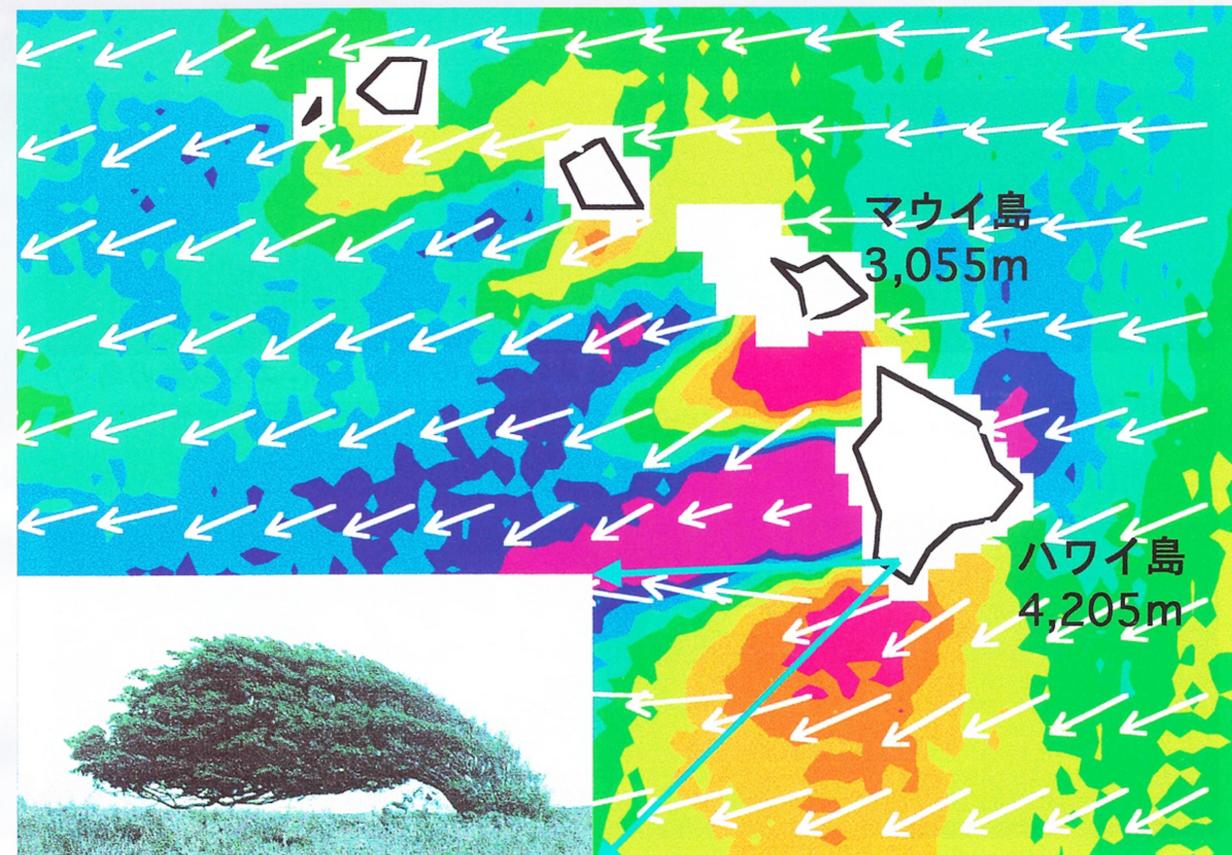
海洋には、まだ多くのなぞがある

今回の発見は、広い洋上で大気と海洋がどれほど強く影響しあっているかを知る手がかりにもなりました。

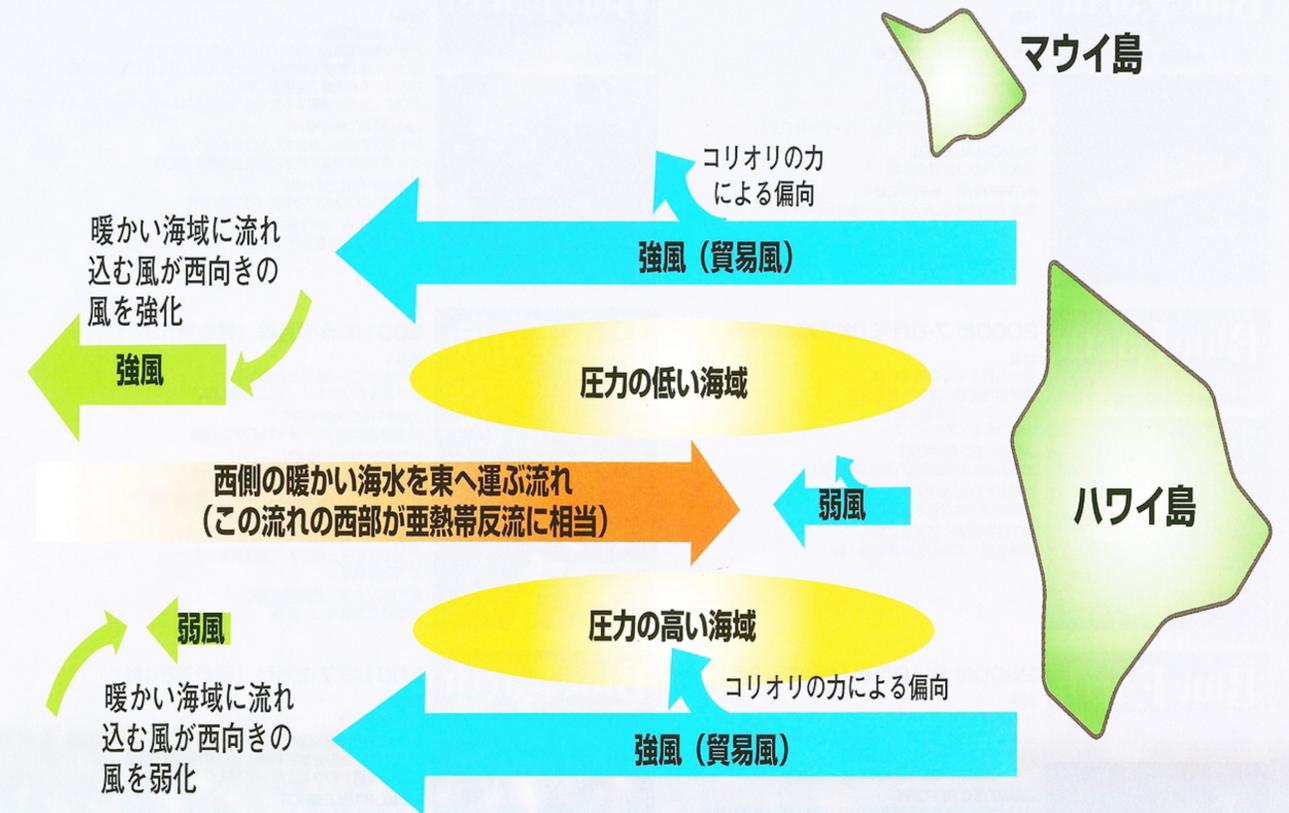
大気と海洋の相互作用の解明は、地球温暖化にともなう海洋変動を明らかにすることにもつながっていきます。そのために欠かせないのが観測データの充実です。

海洋調査による実測データ、はるか上空から地表を観測する衛星のデータなどをもとに、地球フロンティア研究システムのある海洋科学技術センター横浜研究所に建設中の「地球シミュレータ」が立体的に解析していく。その成果はやがて、より精度の高い「空の天気予報」と

「海の天気予報」の実現につながることを期待されます。海洋にはまだ多くのなぞがあります。その解明は、地球を知る大きな一歩になります。

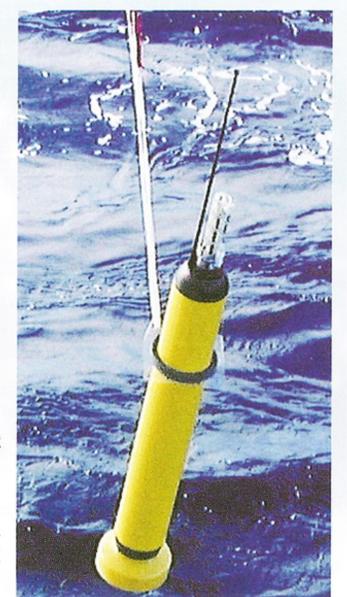


貿易風の通り道・ハワイ諸島
衛星観測データから得られたハワイ諸島付近の風向き(矢印)と風速(色つきの部分)。年間を通じて吹く西風(貿易風)は、島の裏側で弱く(青～紫の部分)、島の側面で強い(赤の部分)のがわかる。樹木も強い風に身をかがめる(ハワイ島南端で撮影)



ハワイ諸島の西側で「島陰」が発達するメカニズムを図式化したもの。等圧線に沿って風が吹くのと理屈で、圧力の高い海域と低い海域の間に海水の流れができる(図のオレンジ色の太い矢印)。この流れの西部が亜熱帯反流に相当する

*コリオリの力=回転運動をしている座標系に対して運動する物体にはたらく見かけ上の力のひとつ。その物体の速度の大きさに比例し、速度の向きに垂直にはたらく。転向力ともいう。フランスの数学・物理学者のコリオリが唱えた



観測データの充実に貢献すると期待されるアルゴフロート。水深2,000mで漂流し、10~14日でいったん浮上する。浮上中に水温と、1/1000精度での塩分濃度も観測する。データは人工衛星を経由して送信される。約300km平均の間隔で3,000本ほどのフロートが世界の海洋に投入される計画である。これによって海洋の「観測空白域」はかなり狭まるだろう

Blue Earth

ブルーアースバックナンバーのご紹介



2000年 Vol.3 (通巻第47号)

特集
進化する海洋観測技術
地球規模の海洋観測を推進
知られざる深海の謎に挑む
深海巡航探査機「うらしま」
JAMSTEC REPORT
インド洋で発見された「エル・ニーニョの兄弟」
MEMORIAL SHOT
海底で見つけた満点の星！?
INTERVIEW 研究者に聞く
海底深部構造フロンティア ●山田 理子



2000年 7・8月号 (通巻第48号)

特集
海から見えてくる地球環境
地球環境変動のカギを握る海洋
エル・ニーニョの謎に迫る
未知の海域・オホーツクへ
JAMSTEC REPORT
地球最後の未踏地に挑む地球深部探査船
MEMORIAL SHOT
海底の衝突は資源と生命の源
INTERVIEW 研究者に聞く
海洋生態・環境研究部 ●加藤 聡



2000年 9・10月号 (通巻第49号)

特集
海底地形とプレートテクトニクス
躍動する海底と刻まれた地形が語る世界
ハワイ諸島で行われた海底調査
ハワイ諸島は移動する海底の軌跡
JAMSTEC REPORT
注目される清浄で栄養豊富な冷たいエネルギー海洋深層水
MEMORIAL SHOT
深海の暗闇に浮かぶ美女の微笑み
INTERVIEW 研究者に聞く
海洋技術研究部 ●月岡 哲



2000年 11・12月号 (通巻第50号)

特集
最新テクノロジーが解明する海洋生物の世界
深海に生きる不思議な生物たち
超高感度ハイビジョンカメラがとらえる深海の姿
サンゴ礁研究と観測技術の開発
JAMSTEC REPORT
プレートテクトニクス研究の現在
MEMORIAL SHOT
海底に眠る大自然のオブジェ
INTERVIEW 研究者に聞く
情報管理室 ●直井 純



2001年 1・2月号 (通巻第51号)

新世紀メッセージ
次世代の海洋科学技術を担う若者たちへ
特集
21世紀の海洋研究
海洋科学の先端分野を切り拓くフロンティア研究
JAMSTEC REPORT
プレートテクトニクス研究の現在
MEMORABLE SHOT
闇の世界を感知するアンテナの目
INTERVIEW 研究者に聞く
むつ研究所 ●阿波根 直一

本誌は、旧「JAMSTEC」誌の内容を一新して発行する海と地球の情報誌です。
バックナンバーをご希望の方は、海洋科学技術センター情報業務情報業務課
Tel : 0468-66-3811 (代表) もしくは E-mail : info@jamstec.go.jp
までお問い合わせ下さい。
なお、当センターホームページ (http://www.jamstec.go.jp/) からバックナンバーのPDF版をご覧頂けますので、ご利用ください。



2001年 3・4月号 (通巻第52号)

特集1
OD21 地球深部へのチャレンジ
地球深部探査船は「海に浮かぶ地球科学研究所」
地球と生命の歴史を解き明かし未来を切り開く謎が海底に眠っている
知られざる海底地下生物圏に挑む
より深く地球を理解するために「未踏のフロンティア」地球内部を探る
JAMSTEC REPORT
日本の研究チームが達成した世界初の快挙！
インド洋中央海嶺で熱水噴出孔生物群集を発見
MEMORABLE SHOT
暗黒の深海で人知れず揺れる生命の道標
INTERVIEW 研究者に聞く
海洋観測研究部 ●深澤 理郎



2001年 5・6月号 (通巻第53号)

特集1
生命はどこから始まったのか？
地球最後のフロンティア、深海に挑む
JAMSTEC REPORT
天皇皇后両陛下JAMSTECをご視察
MEMORABLE SHOT
パナマ運河を行く支援母船「よこすか」
OUR SHIPS 船長によるJAMSTEC船の紹介
深海調査研究船「かいらい」
特集2
深海の謎を解き明かす「深海調査システム」
深海調査機器
INTERVIEW 研究者に聞く
深海研究部 ●川口 勝義



2001年 7・8月号 (通巻第54号)

特集1
固体地球総合フロンティア研究システム
JAMSTEC REPORT
リアルタイムの気象要素観測データが取得できる
「沖ノ鳥島」のウェブページがスタート
MEMORABLE SHOT
南部マリアナトラフ「バクテリアマット」に覆われた斜面
OUR SHIPS 船長によるJAMSTEC船の紹介
海洋地球研究船「みらい」
特集2
海底地形図をつくる
INTERVIEW 研究者に聞く
ゲノム解析研究グループリーダー ●高見 英人



2001年 9・10月号 (通巻第55号)

特集1
海と地球を見つめて30年 JAMSTEC History
JAMSTEC REPORT 1
30年間の謎が解けた！亜熱帯反流は、ハワイの高い山と島が原因
MEMORABLE SHOT
フラックスモーターに群がるエビ
JAMSTEC REPORT 2
私たちの仕事場は北極海です
OUR SHIPS 船長によるJAMSTEC船の紹介
支援母船「よこすか」
特集2
レッツ！トライ マリンサイエンススクール2001
INTERVIEW 研究者に聞く
ARGO (アルゴ) 計画 ●岡 英太郎



2001年 11・12月号 (通巻第56号)

特集1
深海巡航探査機「うらしま」推進3.518mの潜航試験に成功
JAMSTEC REPORT
激減するニホンウナギの産卵生態を解明する調査が本格的にスタート
MEMORABLE SHOT
大規模な金属鉱床
OUR SHIPS 船長によるJAMSTEC船の紹介
支援母船「なつしま」
特集2
水圧の世界を考える
「圧力の驚異と深海への挑戦」
INTERVIEW 研究者に聞く
地球フロンティア ●對馬 洋子

賛助会員名簿

海洋科学技術センターの研究開発につきましては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付をいただき支援していただいております。(50音順)

あいおい損害保険株式会社殿
アイウ印刷株式会社殿
株式会社浅沼組殿
アジア海洋株式会社殿
株式会社アルファ水工コンサルタンツ殿
石川島播磨重工業株式会社殿
泉産業株式会社殿
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所殿
インドネシア石油株式会社殿
栄光電設株式会社殿
株式会社エス・イー・エイ殿
株式会社エムテース雪氷研究所殿
株式会社NTTファシリティーズ殿
NTTワールドエンジニアリングマリニ株式会社殿
株式会社NTTデータ殿
株式会社OCC殿
オートマックス株式会社殿
株式会社大林組殿
沖電気工業株式会社殿
株式会社化学分析コンサルタント殿
鹿島建設株式会社殿
神奈川合同企業株式会社殿
カヤバ工業株式会社殿
川崎重工業株式会社殿
川崎設備工業株式会社殿
川本工業株式会社殿
株式会社関西総合環境センター殿
株式会社関電工殿
株式会社キュービック・アイ殿
共栄冷機工業株式会社殿
共立管財株式会社殿
株式会社きんでん殿
株式会社熊谷組殿
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント殿
京浜急行電鉄株式会社殿
ケー・エンジニアリング株式会社殿
KDDI株式会社殿
神戸ペイント株式会社殿
国際気象海洋株式会社殿
国際ビルサービス株式会社殿
国光施設工業株式会社殿
五洋建設株式会社殿
コンパックコンピュータ株式会社殿
佐藤工業株式会社殿
三機工業株式会社殿
三建設工業株式会社殿
株式会社三晃空調殿
三幸建設工業株式会社殿
三洋テクノマリニ株式会社殿
財団法人塩事業センター殿
有限会社システム技研殿
シナネン株式会社殿
シバタ工業株式会社殿
清水建設株式会社殿
株式会社商船三井殿
株式会社湘南殿
昭和高分子株式会社殿
株式会社白石殿
社団法人信託協会殿
新日本海事株式会社殿
新日本製鐵株式会社殿

新菱冷熱工業株式会社殿
須賀工業株式会社殿
鈴鹿建設株式会社殿
スプリングエイトサービス株式会社殿
住友海上火災保険株式会社殿
住友金属鉱山株式会社殿
住友重機械工業株式会社殿
住友電気工業株式会社殿
住友林業緑化株式会社殿
清進電設株式会社殿
セナー株式会社殿
セントラル・コンピュータ・サービス株式会社殿
株式会社総合企画アンド建築設計殿
株式会社第一勧業銀行殿
第一設備工業株式会社殿
第一電子工業株式会社殿
株式会社大氣社殿
大成建設株式会社殿
大成設備株式会社殿
大成電機株式会社殿
大日本土木株式会社殿
ダイハツディーゼル株式会社殿
太陽火災海上保険株式会社殿
株式会社大和銀行殿
有限会社田浦中央食品殿
高砂熱学工業株式会社殿
株式会社竹中工務店殿
株式会社竹中土木殿
株式会社地球科学総合研究所殿
中国塗料株式会社殿
株式会社鶴見精機殿
株式会社テザック殿
寺崎電気産業株式会社殿
電気事業連合会殿
東亜建設工業株式会社殿
東京海上火災保険株式会社殿
東京製綱繊維ロープ株式会社殿
東京美化株式会社殿
東光電気工事株式会社殿
東芝プラント建設株式会社殿
東北ニュークリア株式会社殿
東洋建設株式会社殿
東洋通信機株式会社殿
株式会社東陽テクニカ殿
東洋熱工業株式会社殿
同和工営株式会社殿
戸田建設株式会社殿
凸版印刷株式会社殿
飛鳥建設株式会社殿
株式会社中村鉄工所殿
奈良建設株式会社殿
西芝電機株式会社殿
西松建設株式会社殿
日動火災海上保険株式会社殿
日南石油株式会社殿
日油技研工業株式会社殿
日鉱金属株式会社殿
日産火災海上保険株式会社殿
日新火災海上保険株式会社殿
ニッセイ・エンジニアリング株式会社殿
ニッセイ同和損害保険株式会社殿

日本海洋株式会社殿
株式会社日本海洋科学殿
日本海洋掘削株式会社殿
日本海洋事業株式会社殿
社団法人日本ガス協会殿
株式会社日本環境調査研究所殿
日本興亜損害保険株式会社殿
日本鋼管株式会社殿
日本サルヴェージ株式会社殿
社団法人日本産業機械工業会殿
日本酸素株式会社殿
日本水産株式会社殿
社団法人日本損害保険協会殿
日本電気株式会社殿
日本電子計算機株式会社殿
日本電池株式会社殿
日本飛行機株式会社殿
日本無線株式会社殿
日本郵船株式会社殿
株式会社間組殿
株式会社ハナサン殿
ダイハツディーゼル株式会社殿
済中製鎖工業株式会社殿
東日本タグボート株式会社殿
水川商事株式会社殿
株式会社日立製作所殿
日立造船株式会社殿
日立電線株式会社殿
日立プラント建設株式会社殿
日比谷総合設備株式会社殿
深田サルベージ建設株式会社殿
株式会社フジクラ殿
株式会社フジタ殿
富士通株式会社殿
富士電機株式会社殿
不動産建設株式会社殿
古河総合設備株式会社殿
古河電気工業株式会社殿
古野電気株式会社殿
株式会社松田平田殿
株式会社マリン・ワーク・ジャパン殿
株式会社丸川建築設計事務所殿
株式会社マルタン殿
三井海上火災保険株式会社殿
三井建設株式会社殿
株式会社三井住友銀行殿
三井造船株式会社殿
三菱重工業株式会社殿
株式会社三菱総合研究所殿
株式会社明電舎殿
株式会社森京建築事務所殿
安田火災海上保険株式会社殿
山岸建設株式会社殿
ヤンマーディーゼル株式会社殿
株式会社ユアサコーポレーション殿
株式会社ユアテック殿
郵船ナブテック株式会社殿
横浜ゴム株式会社殿
株式会社緑星社殿
ワールドウェイズ株式会社殿
若築建設株式会社殿

平成13年10月現在

上記は主な目次内容です。



海洋科学技術センター

ホームページ●<http://www.jamstec.go.jp/>

Eメールアドレス●info@jamstec.go.jp

※本書掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。