

海と地球の情報誌

Blue Earth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2008 5-6

ISSN 1346-0811
2008年6月発行
隔月年6回発行
第20巻 第3号
(通巻95号)

サンゴ礁と 地球環境変動



砂浜に降る星々 ホタルイカ

数年先の気候変動を予測する

メキシコ湾流が生み出す巨大な上昇流

1000分の1mm単位で岩石を削る「GEOMILL326」誕生

1 Close Up

メキシコ湾流が生み出す巨大な上昇流
遠方の気候にも影響

2 特集

地球環境を考える国際年シリーズ 1
国際サンゴ礁年 2008

サンゴ礁と地球環境変動

16 Aquarium Gallery

魚津水族館
砂浜に降る星々——ホタルイカ

18 私が海を目指す理由

サンゴからシンカイヒバリガイ
生物活動の痕跡を求めて

小俣珠乃 極限環境生物圏研究センター 海洋生態・環境研究プログラム 技術研究副主任

22 研究の現場から

1000分の1mm単位で岩石や化石を削る
「GEOMILL326」誕生

24 Marine Science Seminar

数年先の気候変動を予測する
天気予報と温暖化のはざま

28 もっと知りたい船の知識

船舶の「主要目」の見方

30 新日本八景 第4景

相模湾八景 其の四 沖ノ山堆の化学合成生物群集
海上の道と海底の道
藤岡換太郎 海洋地球情報部 特任上席研究員

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

メキシコ湾流が引き起こした上昇流

湾流の上で生じた上昇流は、高度1万mの対流圏上層まで達している。上昇流の色は年平均の上昇風速を表し、赤いほど速い。海洋の色は表面の海水が水平に移動する速さ（地衡流速）を表し、白いほど速い。ヨーロッパ中期予報センターの現象解析データ（観測データとモデル結果を統合したもの）をもとに、JAMSTEC 地球シミュレータセンター高度計算表現法研究グループの荒木文明研究員、川原慎太郎研究員が作成

メキシコ湾流が生み出す巨大な上昇流 遠方の気候にも影響

この画像は、メキシコ湾流（以下、湾流）によって発生する上昇流の様子である。湾流は、北大西洋を北上する北半球最大級の海流で、熱帯から運んできた大量の熱を中緯度で大気中へと放出している。その結果、周辺の気候にさまざまな影響を与えることが知られている。ヨーロッパが緯度の同じ北アメリカより温暖なのも、湾流の影響だ。

これまで、湾流の影響が及ぶのは、大気境界層と呼ばれる高度数百～1,000mまでだと考えられていた。ところが今回、海洋研究開発機構（JAMSTEC）と北海道大学、ハワイ大学、国際太平洋国際センターが参加する国際研究チームによって、湾流は巨大な上昇流を発生させ、それは高度1万m（10km）の対流圏上層にまで達していることが明らかになった。これは、衛星観測データと「地球シミュレータ」によるシミュレーションなどを組み合わせ、従来と比べて数倍から10倍高い解像度で詳しく解析したことで得られた、画期的な成果である。

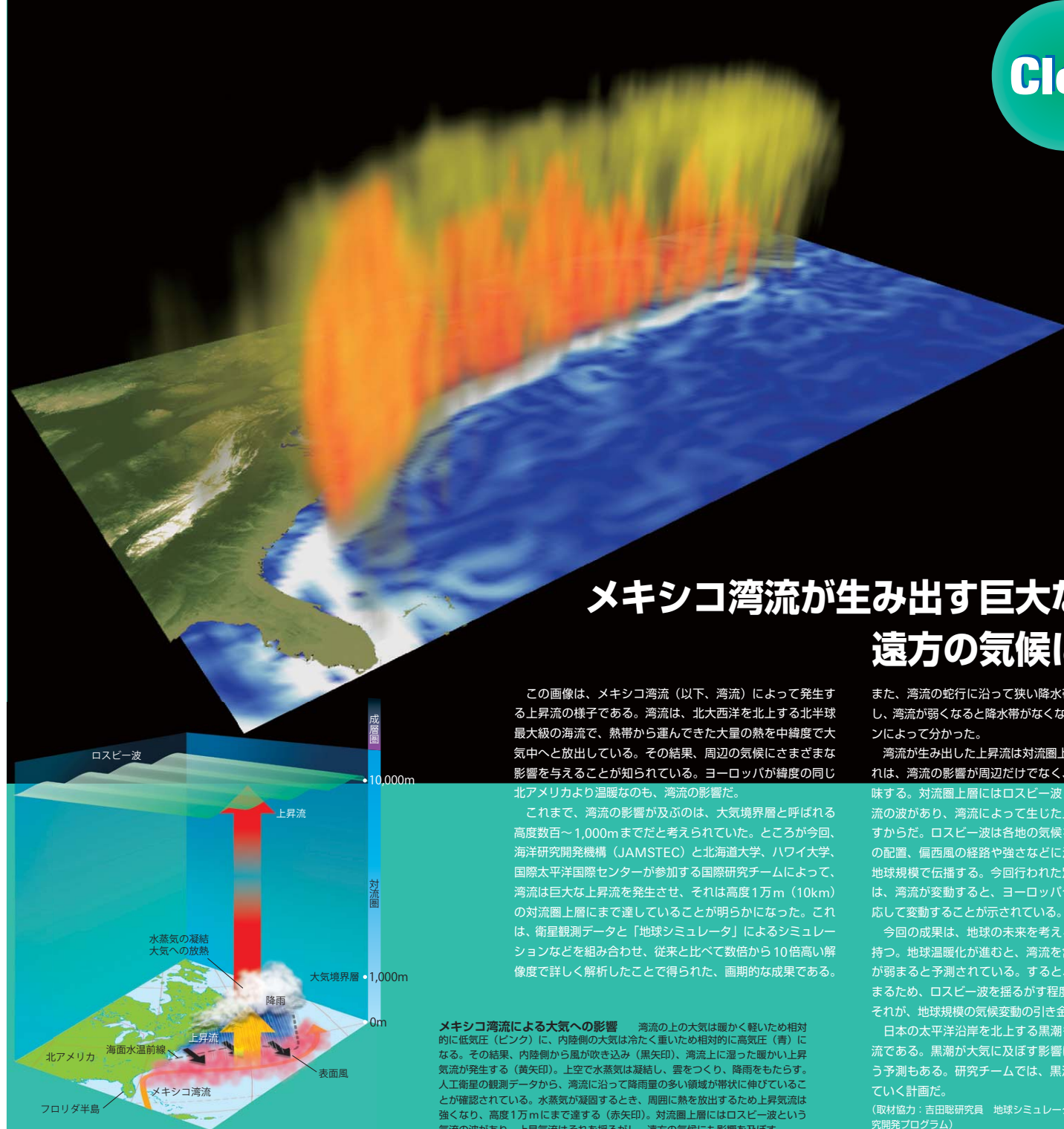
メキシコ湾流による大気への影響 湾流の上の大気は暖かく軽いため相対的に低気圧（ピンク）に、内陸側の大気は冷たく重い（青）になる。その結果、内陸側から風が吹き込み（黒矢印）、湾流上に溜った暖かい上昇気流が発生する（黄矢印）。上空で水蒸気は凝結し、雲をつくり、降雨をもたらす。人工衛星の観測データから、湾流に沿って降雨量の多い領域が帯状に伸びていることが確認されている。水蒸気が凝結するとき、周囲に熱を放出するため上昇気流は強くなり、高度1万mにまで達する（赤矢印）。対流圏上層にはロスビー波という気流の波があり、上昇気流はそれを揺るがし、遠方の気候にも影響を及ぼす

また、湾流の蛇行に沿って狭い降水帯があることを明らかにし、湾流が弱くなると降水帯がなくなることがシミュレーションによって分かった。

湾流が生み出した上昇流は対流圏上層まで達している——これは、湾流の影響が周辺だけでなく、遠方にも及ぶことを意味する。対流圏上層にはロスビー波（惑星波）と呼ばれる気流の波があり、湾流によって生じた上昇流は、それを揺るがすからだ。ロスビー波は各地の気候を決める高気圧・低気圧の配置、偏西風の経路や強さなどに深くかわり、その波は地球規模で伝播する。今回行われた別のシミュレーションでは、湾流が変動すると、ヨーロッパやアジアの気圧配置が呼応して変動することが示されている。

今回の成果は、地球の未来を考える上でも、重要な意味を持つ。地球温暖化が進むと、湾流を含む北大西洋の海水循環が弱まると予測されている。すると、湾流による上昇流も弱まるため、ロスビー波を揺るがす程度も変わってくるだろう。それが、地球規模の気候変動の引き金となる可能性がある。

日本の太平洋沿岸を北上する黒潮も、湾流と並ぶ大きな海流である。黒潮が大気に及ぼす影響は、湾流より複雑だという予測もある。研究チームでは、黒潮についても研究を進めていく計画だ。
（取材協力：吉田聡研究員 地球シミュレータセンター 計算機地球科学研究開発プログラム）



地球環境を考える国際年シリーズ 1
国際サンゴ礁年2008

サンゴ礁と 地球環境変動

今世紀、地球温暖化の進展などにより、世界のほとんどの海でサンゴが死滅してしまうかもしれないと
危惧されています。今年は「国際サンゴ礁年」。世界や日本各地でサンゴ礁の保全に関係する催しが行われています。
私たちに何ができるのでしょうか。それを考えるには、まずサンゴ礁について知ることが大切です。
サンゴ礁の基礎知識や現状、そしてサンゴ礁と地球環境の関係を探る研究を紹介しましょう。

写真提供：環境省



2008年は3つの国際年となっています。「国際極年」「国際惑星地球年」「国際サンゴ礁年」です。
「Blue Earth」では、この3つの国際年に関連した地球環境を考える特集をお届けします。
なお、本特集の8～15ページは、海洋研究開発機構（JAMSTEC）が2008年3月に開いた
海洋科学技術学校「美ら海のサンゴ礁と地球環境変動」の講義内容に基づくものです。

国際サンゴ礁年2008―「知ろう、行こう、守ろう」

取材協力：中島慶次 環境省 自然環境局 自然環境計画課 調整専門官

サンゴ礁は、地球温暖化によって最も大きな影響を受ける生態系の1つだといわれています。2007年に発表されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の「第4次評価報告書」では、世界の平均気温が3℃前後上昇すると、広範囲に及ぶサンゴが死滅すると警告しています。すでに世界のサンゴ礁の20%が破壊され回復の見込みが低く、さらに24%が危険な状況にあり10～20年後には破壊されるおそれが高いという報告もあります。

サンゴ礁は地球環境にとってどのような役割を果たしている場所なのでしょう。サンゴがつくり出す地形であるサンゴ礁は、「海の熱帯雨林」と呼ばれ、さまざまな生物が生息しています。サンゴ礁は海洋面積全体の約0.2%にすぎませんが、海にすむ生物の4分の1がサンゴ礁にかかわって生息しているともいわれています。

サンゴ礁は人間の生活にとっても大切な場所です。さまざまな魚や貝類のすみサンゴ礁は、よい漁場になっています。また美しいサンゴ礁は人々を引き付ける優れた観光資源でもあります。サンゴ礁は人々の暮らしを支え、豊かな文化をはぐくむ源となっているのです。

また、サンゴ礁は外洋から打ち寄せる波を食い止める自然の防波堤の役割も果たしています。2004年に20万人以上の被害者を出したインド洋津波の際、サンゴ礁がよい状態で残っていた地域では被害が大幅に少なかった、と報告されています。

サンゴ礁は赤道を中心におよそ北緯30度から南緯30度の海域に分布しています。インドネシア、フィリピン、バプアニューギニアを囲む付近の海域は「コーラルトライアングル」と呼ばれ、世界で最も多くの種類のサンゴが生息する地域です。コーラルトライアングルの北端に位置する日本にも多くの種類のサンゴが分布し、サンゴ礁にとって世界のなかでも重要な地域になっています。

1994年、サンゴ礁の保全と持続可能な利用を目指す国際機関「国際サンゴ礁イニシアチブ（ICRI）」が設立されました。

2006年のICRI総会において、2008年を「国際サンゴ礁年」とすることが決定され、次の2つの大きな目標が掲げられました。

- 1 サンゴ礁と関連生態系の高い生態的・経済的・文化的な価値とサンゴ礁が重大な危機に直面しているという理解を広める
- 2 サンゴ礁と関連生態系の保全と持続可能な利用の管理戦略の策定と実施のために、官、民、NGO、地域住民などで、早急に行動を起こすこと

現在、日本国内でも「知ろう、行こう、守ろう」をキャッチフレーズに、サンゴ礁に関するイベントや勉強会、シンポジウムなどが開催されています。環境省で国際サンゴ礁年を担当する中島慶次 調整専門官は、次のように手応えを語ります。「前回の国際サンゴ礁年（1998年）以上に皆さんの関心が高いと感じています。さまざまな催しに多くの人が集まり、マスコミなどで取り上げていただく機会も多いですね。これは日本だけでなく世界的な傾向のようです」

東アジアを中心とした地域で、サンゴ礁を守るための海洋保護区をネットワークの考え方で指定し、有効な保護・管理方法を探る取り組みも進められる予定です。「ある海域のサンゴ礁を保護区に指定しても、管理官が広い海域を常に監視できるわけではありません。サンゴ礁の多くは、漁場や観光など地元の人たちの生活の場になっています。サンゴ礁を保護することが地元の人たちのメリットになり、自分たちの財産としてサンゴ礁を保護・管理していただくことが重要だと思います」

沖縄の版画家・名瀬勝隆さんの作品を使った「国際サンゴ礁年2008」のポスター。サンゴの産卵の様子を描いたもので、小さな卵から大きなサンゴに成長するように、サンゴの保全活動も広がってほしいという願いが込められている。国際サンゴ礁年の具体的な活動については、国際サンゴ礁年のホームページで紹介されている（<http://www.iyor.jp/>）

写真提供：環境省



写真提供：環境省



上：座間味海中公園地区 中左：真栄里 中右：米原アウターリーフ



では、サンゴ礁がない地域の人たちには、何かできることはないのでしょうか。「キャッチフレーズの通り、まずサンゴ礁について知ること。そしてサンゴ礁に限らず、海の環境保全や地球環境問題全般にも関心を持っていただくことが大切だと思います。地球温暖化によってサンゴ礁が壊滅的な打撃を受けると警告されています。サンゴ礁がない地域に暮らす人たちの生活も、サンゴ礁の危機と無関係ではないのです」

サンゴとはどのような生物か

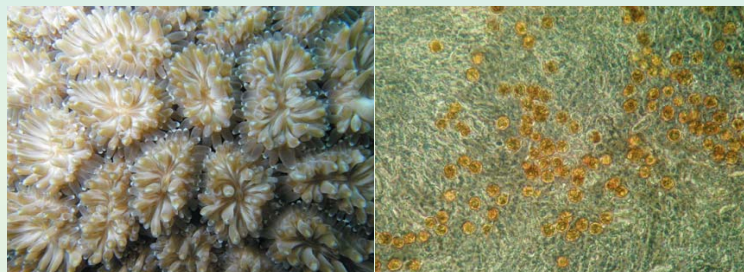
取材協力：中島慶次 環境省 自然環境局 自然環境計画課 調整専門官

そもそもサンゴは、イソギンチャクと同じ仲間（刺胞動物門）に属する動物です。サンゴのなかで石灰質のかたい骨格を持ち、サンゴ礁をつくるものを「造礁サンゴ」といいます。サンゴにはアクセサリーとして使われる深海性サンゴやかたい骨格を持たない軟体サンゴもありますが、ここでは造礁サンゴについて紹介しましょう。

サンゴの口の周りには触手が放射状に付いています。六放サンゴは6の倍数、八方サンゴは8本の触手を持ちます。その触手に付いた毒やり（刺胞）で動物プランクトンを捕まえて口に運びます。

口のなかには胃腔^{いこう}と呼ばれる消化器官になっていて、排せつ物は再び口から出します。これらのやわらかな体の下には石灰質の骨格があります。

この口から骨格までの体の基本構造を「ポリプ」と呼びます。ポリプの体のなかには「褐虫藻^{かつちゅうそう}」という直径0.01mmほどの植物プランクトンがすんでいます。この褐虫藻は光合成によってつくる栄養分や酸素をサンゴに提供します。一方、サンゴは、光が十分に届く浅くて透明度の高い海に生息し、光合成ができる安全な場所と二酸化炭素や老廃物を褐虫藻に提供しています。



ポリプ（左）と褐虫藻（右）
写真提供：中野義勝（琉球大学熱帯生物圏研究センター施設実験所）



白化前（左）と白化後（右）のサンゴ

多くのサンゴは卵と精子を海中に放出し、受精した卵が幼生へと成長します。幼生は海を漂い、やがて海底に体を固定して骨格を形成してポリプとなります。多くのサンゴは、イソギンチャクとは異なり、何千、何万というポリプが集まってつながり「群体」となって生活しています。ポリプは分裂を繰り返し、群体を大きく成長させていきます。

サンゴのつくる骨格が長い時間をかけて積み重なってできた地形がサンゴ礁です。サンゴ以外にも骨や殻をつくる多くの生物がサンゴ礁の形成にかかわっています。

サンゴの生息に適しているのは、水温18～30℃ほどの暖かい海です。海水温が高過ぎると、褐虫藻はサンゴの体から抜け出してしまいます。するとサンゴは栄養分をもらえなくなり、弱っていき、やがて死んでしまいます。このとき、サンゴは骨格が白く透けて見えるようになります。これがサンゴの「白化現象」です。

1997～98年、世界的な白化現象が起き、サンゴに大きなダメージを与えました。サンゴにダメージを与える原因には、白化現象や病気、サンゴを食

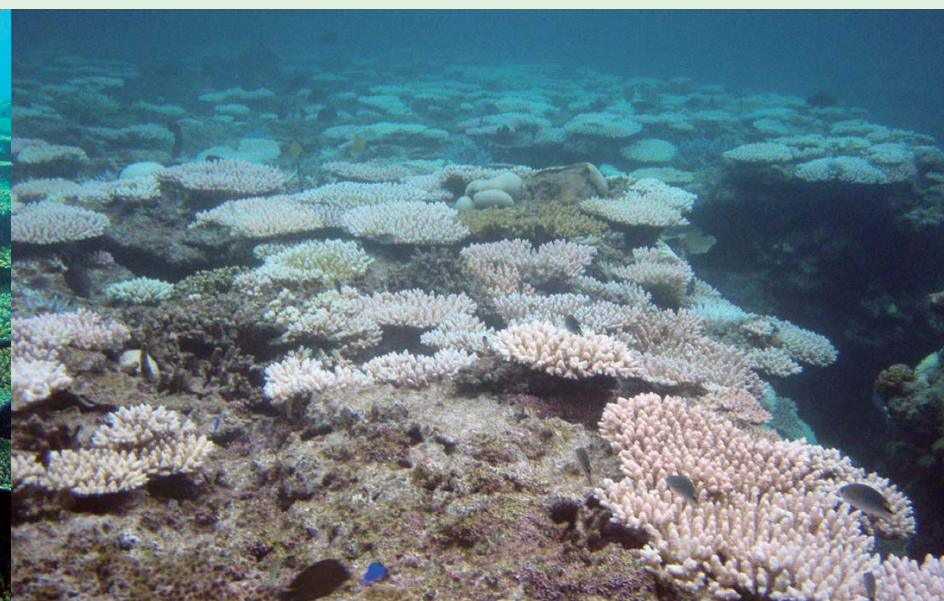
べる天敵であるオニヒトデの大発生など自然現象によるものと、赤土の流出や沿岸の開発など人間の活動が直接の原因となっているものがあります。

今後、地球温暖化の進展に伴い海水温が上昇し、さらに白化現象が広がり、サンゴがダメージを受けることが心配されています。また大気中の二酸化炭素濃度の上昇により、海にたくさんの二酸化炭素が吸収され、海の酸性化が進むのではないかと考えられています。するとサンゴの骨格の主成分である炭酸カルシウムが海水中に溶け出し、骨格の成長が妨げられるおそれがあります。

現在、サンゴの群体の一部を移植したり、サンゴの幼生を育成した後に移植するなど、サンゴを人工的に再生する試みが各地で行われています。再生手法の開発で日本はトップレベルにあるといわれています。しかしまだ研究段階にあり、広い地域のサンゴ礁を再生するには至っていません。何より、その海域がサンゴの生息に適した環境でなければ、再生はうまく進みません。

まず現存するサンゴを保全し、サンゴの生息に適した環境を守っていくことが大切です。

参考文献：
「サンゴ礁—生命を育む
「海の森」—」（環境省）
国際サンゴ礁年のホーム
ページでダウンロードできる
(<http://www.iyor.jp/>)



サンゴの体から褐虫藻が抜け出すと、骨格が白く透けて見える

写真提供：環境省

サンゴ礁に刻み込まれた地球変動

取材協力：藤岡換太郎 JAMSTEC 海洋地球情報部 特任上席研究員

地球は約46億年前に誕生しました。地球に生命が誕生したのは約38億年前。そしてサンゴが登場したのは約4億6000万年前です。サンゴは、46億年の地球史のちょうど1割を経験してきたことになります。ちなみに植物が陸上に進出したのは、サンゴの登場から4000万年後、いまから約4億2000万年前のことです。

サンゴが登場してから現在まで、地球上の多くの生物が絶滅する事件が何回か起きました。そのなかでも、古生代と中生代の境となる約2億4500万年前には史上最大の大量絶滅、中生代と新生代の境となる約6500万年前には恐竜が絶滅したことでは有名な大量絶滅が起きました。このような大量絶滅は、火山活動の活発化や巨大隕石の衝突など、地球環境の大変動が原因だと考えられています。このような地球大変動をくぐり抜けて、サンゴは生き延びてきたのです。しかしそのサンゴがいま、絶滅の危機にひんしています。

サンゴ礁には地球変動の歴史が刻み込まれています。サンゴが生き延びれば、人類が地球上で活動した痕跡もサンゴ礁に刻み込まれることでしょ

う。炭酸カルシウムからなるサンゴの骨格には、木と同じような年輪があります。そして年輪の間にはさらに日輪に相当するものもあります。サンゴの年輪や日輪の研究から、大昔の地球では1年の日数が365日より多かったことが分かりました。たとえば約4億年前は、1年は400日ほどだったと推定され

ています。また、サンゴ骨格の炭酸カルシウムに含まれている成分を分析することで、サンゴが生息していた当時の海水の温度や塩分が分かれます。

サンゴ礁の形態とその成因を最初に指摘したのは、「進化論」で有名なチャールズ・ダーウィンです。「ビーグル号」による世界一周航海で多くのサンゴ礁を観察し、「裾礁」「堡礁」「環礁」という3つのタイプがあることに気がしました。そしてその3つのタイプは、火山島が沈降することで説明できるという「沈降説」を提唱しました。1842年のことです。

ダーウィンの考えの正しさが海底の掘削調査により証明されたのは、実に110年後の1952年、ダーウィンが亡くなってから70年という月日がたってからのことです。ただし、現在では沈降説では説明できないサンゴ礁のタイプも知られています。

サンゴ礁に囲まれた火山島のその後の運命はどうなるのでしょうか。地球の表面は、十数枚のプレートと呼ばれる板状の岩盤に覆われています。火山島とサンゴ礁は海洋プレートに乗って、1年間に数cmから十数cmの速度で移動します。海洋プレートは年代がたてばたつほど冷たく重くなるので、火山島を乗せたまま沈降していきます。海洋プレートはやがて海溝で大陸プレートの下へと沈み込みます。海溝にさしかかると、サンゴ礁に囲まれたかつての火山島は地球の内部へ沈み込む場合と陸に付け加わる場合とがあります。

沈み込んでいく例としては、日本海溝の第一鹿島

海山があります。この海山の石灰岩の年代は白亜紀(1億3500万～6500万年前)で、浅い海に住んでいた二枚貝類の化石がたくさん産出しています。

一方、かつてのサンゴ礁が陸に付け加わり、サンゴの化石が見つかる場所があります。日本で最も古いサンゴの化石は、1936年に岩手県・北上山地の地層から発見されたシルル紀(4億3500万～4億1000万年前)のもので、その後、高知県の横倉山からもシルル紀のサンゴの化石が見つかっています。

山口県・秋吉台などの鍾乳洞をつくる石灰岩は、石炭紀(3億6000万～2億9500万年前)やペルム紀(2億9500万～2億4500万年前)のサンゴ礁が起源です。その後の研究で、これらの石灰岩は日本列島周辺で形成されたものではなく、赤道地域で発達したサンゴ礁が海洋プレートに乗って、中生代のジュラ紀(2億500万～1億3500万年前)に日本列島に付加したものであることが分かりました。中生代のサンゴ礁を起源とする鍾乳洞としては、岩手県の龍泉洞や安家洞も有名です。

静岡県の相良にある女神山は、6500万年前から現在に至る新生代のサンゴ礁が起源です。最も新しいサンゴの化石はいまからおよそ6000年前、縄文時代に海面が高くなった時期(縄文海進)のもので、房総半島の館山(沼サンゴ)で見られます。

このように地球の変動を刻み込んだサンゴの化石が、日本列島の各地で見られるのです。

地質年代		
新生代	第四紀	180万年前
	第三紀	6600万年前
	白亜紀	1億3500万年前
中生代	ジュラ紀	2億500万年前
	トリアス紀(三疊紀)	2億4500万年前
	ペルム紀(二疊紀)	2億9500万年前
古生代	石炭紀	3億6000万年前
	デボン紀	4億1000万年前
	シルル紀	4億3500万年前
	オルドビス紀	5億年前
	カンブリア紀	5億4000万年前
原生代		25億年前
始生代		38億年前
冥王代		46億年前

鍾乳洞はサンゴ礁の“成れの果ての姿”
鍾乳石は、いったん地下水に溶けた炭酸カルシウムが再び結晶化してできたものである。流れが緩やかで水量の多いところでは、秋芳洞の百枚皿(写真)のようなテーブル状の構造も形成される



サンゴ礁地形のでき方

環礁
島が海面下に沈みリング状のサンゴ礁だけが残る

堡礁
島とサンゴ礁の間に礁湖(ラグーン)ができる

裾礁
島の周囲にサンゴ礁が発達

火山島の形成

かつてのサンゴ礁と島は海溝で地球内部へ沈み込むが、陸側に付け加わる

海洋プレート

海洋プレートの移動に伴い火山島が沈降

イラスト：山田純一

サンゴ礁から気候変動を探る

取材協力：松本英二 名古屋大学 名誉教授

サンゴのうち、ハマサンゴやキクメイシなどは、炭酸カルシウムの骨格を半球状に外側へ成長させます。群体の直径はしばしば1mを超え、ときには4～5mにもなります。このようなサンゴ骨格には、木と同じような年輪ができます。年輪を数えることにより、その骨格ができた年代を知ることができるのです。またサンゴ骨格にはそれが形成されたときの海洋環境の情報が含まれています。骨格の成長速度は年に1cm前後。サンゴ骨格の年輪を1mm 間隔で削り出して分析・解析すると、過去数百年間の水温・塩分など海洋環境の変化を月単位で明らかにすることができます。

サンゴ骨格は炭酸カルシウムからなります。そこに含まれる酸素には、酸素16のほかに酸素18という重い同位体がわずかに存在します。炭酸カルシウムにどれだけの酸素18が含まれるかは、サンゴ骨格ができる時の水温によって決まります。そのため酸素同位体比の解析から、サンゴ骨格が成長したときの水温を復元できるのです。

サンゴ骨格に刻まれた過去の水温の復元から、エルニーニョの研究が進められています。エルニーニョは、太平洋赤道域の西部にある暖かい海面の海水が、約半年から1年にわたり東側へ移動してしまう現象です。その影響は赤道域にとどまらず、海と大気の大循環を通して中・高緯度域にも及びます。エルニーニョは世界各地に異常気象をもたらす、気候変動の主役といわれています。エルニーニョのような気候変動

を研究することは、海洋の変動を明らかにすることにほかならないのです。

エルニーニョ現象は、実際は海面の海水だけでなく、海中を含む海洋表層の現象です。太平洋赤道域の海面水温の組織的な観測は、1950年ころから徐々に行われるようになりました。しかし、海中を含む海洋表層の水温観測は、1980年代後半の米国海洋大気庁（NOAA）や海洋研究開発機構（JAMSTEC）による熱帯大気海洋観測ブイの配置を待たなければなりません。現在では、太平洋赤道域の海況は、ほぼリアルタイムで机の上のパソコン上に再現できるようになっています。

エルニーニョの多くは、北半球の春に始まって翌年の春に終わります。そして3～4年間隔で発生しています。しかし、1980年代に入ってから、エルニーニョの周期や規模は変動するようになりました。それは地球温暖化と関係があると指摘されています。しかし、エルニーニョに関する海洋データは過去40～50年分、詳しいデータになると過去20年分しかないのです。エルニーニョ現象が3～4年周期であることを考えると、私たちはエルニーニョの実態を十分にとらえているとはいえません。そこで、サンゴ骨格による過去の水温の復元に期待がかけられています。

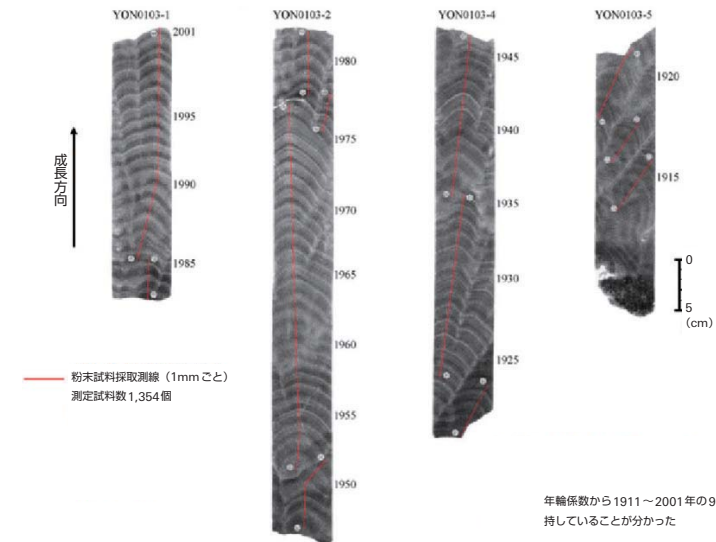
1990年代、ガラパゴス諸島海域で採取された350年分のサンゴ骨格の酸素同位体比の解析から、エルニーニョの発生周期がどんどん短くなっていることが見いだされました。さらに、太平洋中央赤道海域のキリバス・タラワ環礁のハマサンゴの96年分の酸素同位体比の解析から、1970年代後半に、エルニーニョの発生周期が5～6年から3～4年に変化したことが分かりました。これは1977年以降、北太平洋の水温分布が大きく変化したことと関連していると考えられます。このようなサンゴ骨格を使った過去の水温の復元データをもとに、エルニーニョの実態とその変動の仕組みが解明されていくことでしょう。

日本のサンゴ礁を解析した研究も紹介しましょう。私たち名古屋大学の研究グループは、与那国島沖のハマサンゴ骨格を解析して水温上昇傾向を発見しました。

研究に用いられたハマサンゴは、与那国島北西海岸から100m沖合の水深17mで発見した

与那国島サンゴ軟X線画像

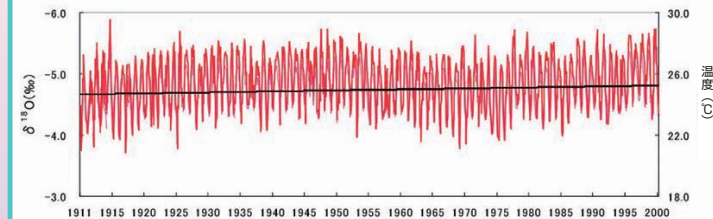
写真提供：阿部 理（名古屋大学）



年輪係数から1911～2001年の90年間の記録を保持していることが分かった

与那国島サンゴによる海面水温変化

データ提供：阿部 理（名古屋大学）



与那国島沖の海域では、1911～2001年の90年間で年平均0.7℃の海水温上昇が起きたことが分かった

与那国島沖のハマサンゴからの試料採取

写真提供：阿部 理（名古屋大学）



ものです。得られたサンゴ骨格試料の全長は131.5cm。1911～2001年の90年分の年輪が確認されました。

その酸素同位体比の解析の結果、エルニーニョの水温異常が少し遅れてこの海域に達することが分かりました。また、この海域では過去90年間に年平均で水温が0.7℃も上昇したことを見いだしました。季節で比べると夏（7

月）では0.4℃、冬（2月）では0.9℃の上昇を示し、冬の水温上昇が大きいことも分かりました。

地球温暖化は地表の気温のみならず海でも確実に起きているといえます。海面水温の上昇が続けば、集中豪雨や巨大台風の発生の増加、そしてサンゴの白化による死滅が広範囲で起きると心配されています。

サンゴ礁の環境を知る——白化を引き起こす高水温化の要因を探る

サンゴは、初夏に海水温が25～26℃に達した後の最初の大潮の晩に、幻想的な一斉放卵を始めます。これは、サンゴが水温や月齢などの環境変化を感知し、生存していくために行っている行動です。近年、海域の高水温化が原因とされるサンゴの白化現象が頻繁に見られます。これも、水温という環境因子の変化がサンゴに与える影響の1つです。

生物は、流れ（海水の流れや風）や温度（水温や気温）、光などが変化する環境のなかで生息し分布しています。したがって、サンゴ礁海域において環境の計測を行い、海水の流れや水温がどのように変動し、またサンゴなどの生物にどのような影響を与えているのかを知ることが、サンゴ礁生態系における生命現象を理解する上で重要です。

東京から飛行機で3時間ほど南へ飛んでいくと、眼下に沖縄県石垣島のエメラルドブルーの海が見えてきます。その西側には、特別天然記念物として有名なイリオモテヤマネコが生

息する西表島があります。この石垣島と西表島の間に位置するサンゴ礁海域が「石西礁湖」です。石西礁湖は、日本で最大のサンゴ礁海域で、その面積は約400km²（ほぼ20km四方）あります。ここには、約400種のサンゴが分布しているといわれています。

ところが、1998年に海水温の上昇が原因とされるサンゴの白化現象が世界規模で起こり、石西礁湖では3割ほどのサンゴが死滅したといわれています。

1998年の大規模な白化以来、規模は異なるものの2001年、2003年、2005年、2006年にサンゴの白化現象が確認されています。そして2007年には、1998年以来の大規模な白化現象が見られました。過去10年間、非常に短い周期でサンゴの白化現象が確認されているのです。1998年以前にも白化現象は確認されていますが、その発生周期は長く、サンゴはいったん白化をしても回復することができました。ところが、近年はその周期が短いた

取材協力：古島靖夫 JAMSTEC 極限環境生物圏研究センター
海洋生態系変動研究グループ 技術研究主任

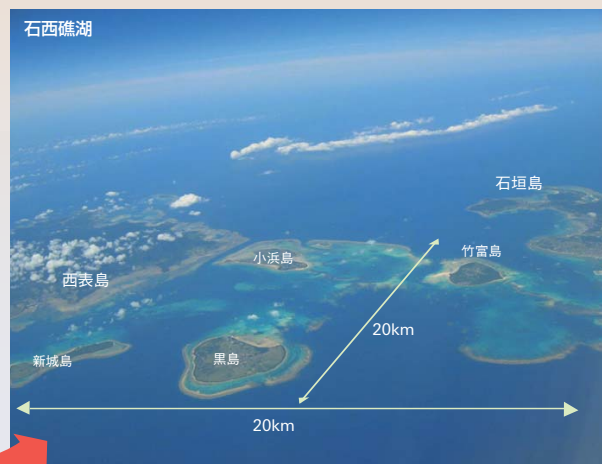
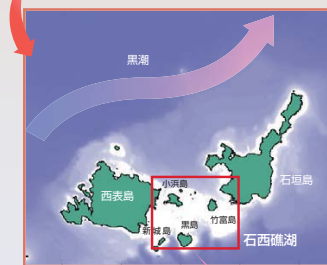
め、回復する前に新たに白化してしまうといった悪循環が起こり、サンゴは死滅の危機にあるといわれています。

1998年の大規模白化のときには、石西礁湖北部の海水流動が弱い比較的浅く閉鎖的な海域に生息するサンゴが主に白化しました。この年の水温上昇の原因の1つとして、台風の到来数が少なかったことが挙げられています。台風による海水の擾乱（じょうらん）が弱かったため、海水交換が弱い海域では、海水温が気温とともに上昇してしまったのではないかと考えられています。

ところが2001年には、海水流動が比較的良好な海域のサンゴが主に白化しました。2001年の水温変動を見ると、7月から9月上旬にかけて、海水温が30℃を超えている日数が例年に比べて多かったことがわかりました。2001年は1998年よりも台風の到来数が多く、台風による擾乱の効果は受けていたと考えられます。なぜ、水温は上昇してしまったのでしょうか。石西礁湖の北側には、黒潮が流れています。

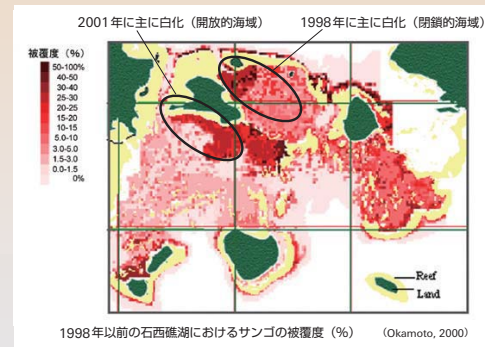
この黒潮は、台湾と西表島の間を北上し、進路を変えて石西礁湖の北側を北東に進み、沖縄本島方向へ流れています。2001年の石西礁湖周辺海域における海表面水温の分布を見ると、7～9月に30℃を超える高水温の沖合水が石西礁湖周辺海域に分布していることがわかりました。言い換えると、2001年の夏季は、30℃を超える高水温の黒潮系沖合水に石西礁湖が覆われていたと考えられます。

ほかの年でも、高水温の沖合水が石西礁湖を覆うことがありますが、その持続期間は短いのです。たとえば、2000年9月初旬の石西礁湖は28℃程度の沖合水に覆われていたのに対し、2001年9月初旬は30℃を超える帯状の沖合水に覆われていました。したがって、西表島と台湾の間を通過する黒潮系沖合水の分布が、石西礁湖側にどの程度移動し、そして、その状態がどの程度持続するのかという点は、石西礁湖の高水温化を考える際に重要な要因の1つになると考えられます。

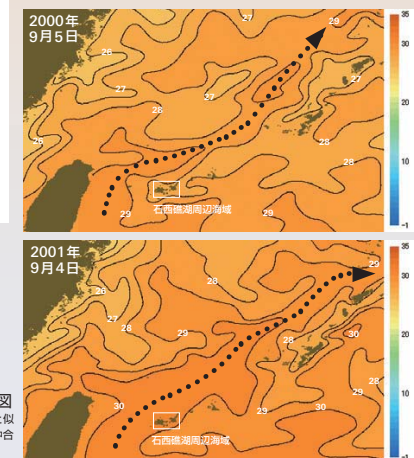


写真提供：藤岡義三博士（水産総合研究センター養殖研究所）

サンゴの白化が主に見られた海域



1998年以前の石西礁湖におけるサンゴの被覆度 (%) (Okamoto, 2000)



石西礁湖周辺海域の海表面水温の分布図
点線矢印は、高水温部分を結んだもので、黒潮の流路と似ている。2001年9月には水温が30℃を超える黒潮系沖合水が石西礁湖に及んでいたことが分かる

サンゴ礁は現代社会のカナリア

取材協力：中野義勝 琉球大学 熱帯生物圏研究センター 瀬底実験所
技術専門職員

沖縄本島北部の瀬底島にある瀬底実験所は、日本のなかで最も南に位置する国立大学法人の臨海実験所です。ここで私は20年近くサンゴ礁の研究を続けています。1998年、衝撃的なできごとが起きました。目の前の海で、サンゴが白化して次々と死んでいったのです。

海にすむ多くの生物が海中のカルシウムを利用して骨格や殻をつくりまわす。生命の歴史では、さまざまな生物がストロマトライトなどの石灰岩の巨大な堆積層をつくりまわしました。ただし、現存する生物のなかで、石灰岩の巨大な礁をつくることのできるのは、サンゴだけです。

サンゴがつくる地形であるサンゴ礁は、海の熱帯雨林といわれ、さまざまな生き物のネットワークを支えています。そのネットワークのなかには人間も含まれています。

沖縄の人たちは古来よりサンゴ礁とともに暮らしてきました。島の周囲をサンゴ礁が取り囲み、防波堤としての機能が整うことで、人間は島に定住することができるようになりました。畑で芋や野菜をつくり、サンゴ礁を含む海で魚や貝をとる半農半漁が、沖縄の生活でした。

沖縄にはサンゴ礁の地形を言い表す方言が実にたくさんあります。サンゴ礁をさまざまに利用してきた証しです。ところが近年、サンゴ礁に関係する方言が消えつつあります。サンゴ礁の利用と関心が薄れているのです。それは、サンゴ礁が直面している危機と無関係ではありません。

現在の沖縄本島では、「やんばる」と呼ばれる森は北部に残るのみですが、かつて本島はすべて森に覆われていました。明治維新のときの沖縄本島の人口は約35万人。それがいま、120万人を超える人々を抱えています。

人口増加と開発の波がサンゴ礁に影響を及ぼしてきました。まず、工事現場や農地から雨に削られ、川を通して海へと流れ込む赤土による汚染です。海が濁ることにより光が遮られて褐虫藻が光合成ができなくなり、サンゴが衰弱します。赤土の堆積によりサンゴが窒息したり、サンゴの幼生が海底に体を固定できなくなるケースもあります。サンゴ礁にすむ二枚貝やゴカイなどの生息場所も失われます。

赤土とともに流入する化学肥料や農薬も、サンゴ礁にすむ生物にダメージを与えます。さらに生活排水や畜舎排水の流入による富栄養化が、サンゴの天敵であるオニヒトデの大量発生を引き起こしているという説もあります。

護岸や沿岸の道路工事、埋め立てによるサンゴ礁の消失、乱獲による水産資源の減少、観光によるサンゴ礁へのダメージといった問題もあります。

近年、頻繁に起きている白化現象は、地球温暖化の

影響が疑われています。さらに原因不明の病気がサンゴに多発するようになりました。サンゴには褐虫藻だけでなく、さまざまな細菌が共生しています。サンゴの体力が低下したり環境が悪化したりすると、共生している細菌がサンゴに害を及ぼすようになり、病気が発症するとも考えられています。

サンゴ礁のネットワークには人間も含まれているので、サンゴ礁を理解し守るためには、物理学や化学、地質学、

生物学などの自然科学だけでなく、政治学や経済学などさまざまな視点からの考察が必要です。

かつて、産業革命の立役者だった炭坑夫たちは、坑道にカナリアを連れていきました。カナリアが有毒ガスなどの異変をいち早く察知し、教えてくれたからです。現代社会においてサンゴ礁は、カナリアの役目を果たしているのかもしれない。

DE

写真提供：瀬底島

魚津水族館

砂浜に降る星々——ホタルイカ

取材協力：稲村 修・学芸員

私が小学校1年生だった1964年、まだ寒い4月初旬の夜10時ころ、父親と2人でホタルイカをとりに行った。それがホタルイカの身投げを見た、初めての夜だ。富山湾周辺では3月から5月にかけて、ホタルイカが産卵のために岸近くまでやって来る。この時期、ときには大量のホタルイカが浜に打ち上げられ、その光が砂浜の海岸線を青く縁取る。これが「ホタルイカの身投げ」と呼ばれる現象だ。身投げという言葉がいつから使われ始めたのか、確かな記録は残っていない。しかし、ここ富山では古くから知られていたようだ。父も祖父も子どものころ、かつての私と同じような夜を過ごしてきた。

ホタルイカが来る日は決まって晴れた。夜も更けてから、若者たちや大人に連れられた子どもたち、老若男女が、ホタルイカをとるために三々五々砂浜に集まってくる。人々はたも網と懐中電灯を手に波打ち際をうろつく。あそこ、浜ではたき火をたく人もいた。ときどき暖をとりながら、岸まで近づいてきたホタルイカを集める。なかには、カマスと呼ばれるわで編んだ入れ物がいっぱいになるほどつかまえる人もいた。この時期のホタルイカは、日中は水深200mの海底付近にいて、夕方から夜にかけて普通は海面から数十m付近まで浮上して産卵する。それがときに浜のごく近いところまで押し寄せる夜がある。あの夜、短パンをはいていた私は、太ももまで海につかって夢中でホタルイカをとった。ライトを当てると、人の動きで舞い上がった砂煙のなかで、泳ぎ回るホタルイカが見える。たも網ですくい上げると、腕の発光器が青く輝いた。その日はそれほどでもなかったけれど、よい日にあたればホタルイカの青い光が星のように砂浜に広がる。1人、2人ととれば、大量のホタルイカに浜はお祭り騒ぎになった。

いったいつ、なぜ身投げが起きるのか、当時はよく分かっていなかった。予測可能になったのは、つい最近のことだ。情報網の発達によって身投げ情報がネット上に載り、統計的な研究が可能になった。それらを利用してホタルイカの眼の研究をしておられる甲南大学理工学部の道之前允直教授が、ホタルイカの身投げは新月前後で、それも陸から沖に向かって風が吹く晴れた暖かい日に多いことを突き止めた。岸から沖へと向かう表層の流れが深層から岸付近へと上昇する海流を引き起こし、ホタルイカはその上昇流に乗ってやって来るらしい。そして眼の研究から、ホタルイカは月の光（偏光）を見て、方向を定めている可能性も推測された。海底200m付近から岸付近までやって来たホタルイカは、新月の夜は道しるべとなる月明かりを失って沖へと戻ることができずに、砂浜へ打ち上げられるものが多数出てきてしまうという。

魚津水族館でのホタルイカの展示は、1996年から私が本格的に着手し、1998年にそれまでの展示方法を一新した。毎年3月から5月の短い期間展示ではあるが、ホタルイカの姿や腕発光の様子を見られるように工夫した。日・祝日には、発光実験と銘打って、研究に基づく解説と全身発光を見ていただいている。繁殖や飼育、発光の研究も進行中だ。ホタルイカはいまも昔も富山の大切な財産だ。小学生のときに初めて浜でとったホタルイカを母にゆでてもらって口にすると、ジャリっという砂の音が奥歯に響いた。その苦い食感が、いまも私を駆り立てている。

■ Information: 魚津水族館
〒937-0857 富山県魚津市三ヶ1390
TEL 0765-24-4100
URL <http://www.city.uozu.toyama.jp/suizoku/>

ホタルイカの発光器の種類は3つある。皮膚に1,000個ほどある皮膚発光器、眼球に5つある眼発光器、そして2本の腕の先端に3つ並んで存在する腕発光器だ。皮膚発光器は、海面からの光と同化して下側にいる敵から身を隠すためのものと考えられている。腕発光器は光を使ったおとりとして、眼発光器は皮膚発光器が十分に発達していない子どものころに最も大きな影となる眼球の下部分を発光させて影を消す役割をしているのではないかと、稲村学芸員は考えている



富山湾でとれるホタルイカのほとんどは雌である。1～2月に日本海の沖合で雄・雌が交配すると考えられている。雄は雌に精子の入ったカプセル（精突）を渡し、雌はそれを携えて沿岸までやって来て産卵をする。雄は交配後に死んでしまうのか、そのまま沖合にとどまっているのかは分かっていない。ホタルイカの寿命はほぼ1年で、毎年大量に成長し、日本海の生物循環の基礎を支えている重要な生き物である

ホタルイカの身投げの様子。2008年4月4日午前3時過ぎに撮影された。ホタルイカは3月から5月、産卵のために岸付近までやって来る。この集団のほとんどが、交配を済ませた雌だ。産み出された卵は寒天状のもので細長くつながれ、海流に流されながら孵化する。実験では、水温13℃なら約1週間でふ化することが確認されている。調査では8～9月に日本海の中央部でホタルイカの子どもが捕獲されている。その後、成長したホタルイカが、春になると再び産卵のために沿岸へ戻ってくると推測されている（ホタルイカの身投げ写真提供：朝日新聞社）

サンゴからシンカイヒバリガイ 生物活動の痕跡を求めて

小俣珠乃

極限環境生物圏研究センター
海洋生態・環境研究プログラム 海洋生態系変動研究グループ 技術研究副主任



小俣 珠乃 (おまた・たまの)
1971年、東京都生まれ。1995年、東北大学理学部地圏環境科学科卒業。1997年、東北大学大学院理学研究科博士課程前期地球物質科学専攻修了。2006年、理学博士（東北大学）。2000年、海洋科学技術センター（現海洋研究開発機構）研究員。2007年より現職。専門は地球化学。海洋生物の骨格や殻内の成長履歴から環境情報の復元を行う

地学は第二志望だった

——大学・大学院の専攻は地学。地学を選んだのはなぜですか。

小俣：東北大学理学部を受験し、合格通知を見たら「地学」となっていたのです（笑）。確かに、第一志望は物理、第二志望は地学として願書を提出しました。でも、まさか第二志望に振り分けられるとは思っていなかったもので、願書を書き間違えたのかと思ったほど驚きました。

私は東京生まれの東京育ち。自然に触れる機会はとても少なく、近くに地層が見られる場所ありません。高校でも受験用の地学は選択しませんでした。だから、「絶対に地学をやりたい!」という強い思いを持って選んだわけではないのです。

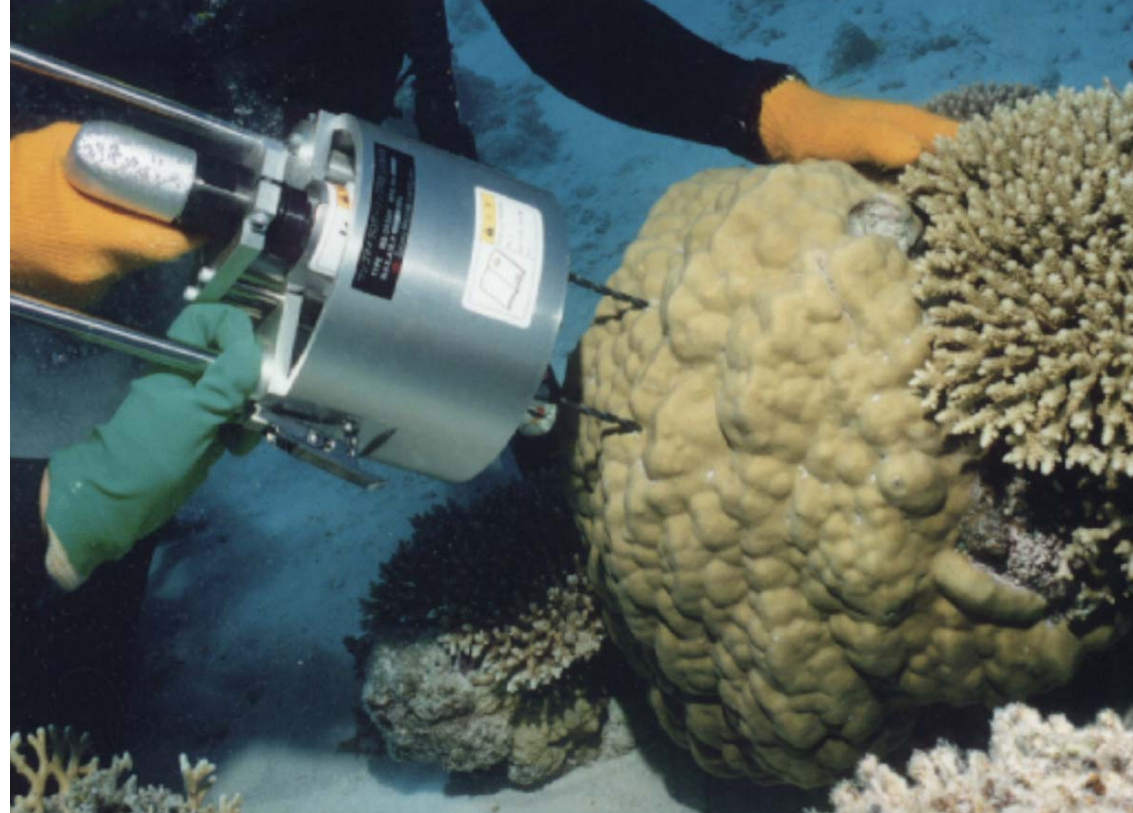
天文学者になりたかったという小俣珠乃 技術研究副主任。大学では地学を専攻することに。卒業論文のテーマには、苦手な山歩きをしないで済むという理由で、同位体比の分析を選んだ。現在は、サンゴの骨格や深海に生息する貝類の殻を研究対象として炭素や酸素の同位体比を分析し、生物がどのような環境で生育してきたかを解き明かそうとしている。しかし、ここにたどり着くまでには、苦難の日々があったという。それでも研究者になることをあきらめなかったのはなぜか。これからの夢とともに語っていただいた。

——子どものころから理科は好きだったので

小俣：理系だった父の影響でしょうか、理科は好きでしたね。父は、東京・上野の国立科学博物館の天体観望会や、北の丸公園にある科学技術館などに、何度も連れていってくれました。小学校高学年のときには、杉並区の科学教育センター（現・杉並区立科学館）に通いました。月替わりでいろいろなテーマについて学ぶことができた科学教室があったのです。黒点の動きから太陽の自転周期を求めたり、天気図をつくったり、フナの解剖をしたり……。とても面白かったですね。

——そのころの夢は?

小俣：天文学者になりたいなど。



サンゴ骨格の採取の様子。「JAMSTECでは、沖縄県の石垣島と西表島の間に広がる石西礁湖で、主に調査・採取を行いました。初めて石垣島周辺のサンゴ礁を見たとき、色鮮やかな枝がまるで光に向かって伸びているような様子から、海のなかの森のように思えました」

——第一志望ではない地学に進むことになり、いかがでしたか。

小俣：それはもう、大変でした。東北大学の地質教室の実習は、とても厳しいのです。地質調査では地層が露出している川沿いに歩くのですが、途中、滝に出会うことがあります。特に下りは難しく、足を滑らせて2メートルくらい下の滝つぼに落ちたこともあり。歩くのも遅い私はみんなに付いていくのが精いっぱい、やる気のない学生と見られていたと思います。

卒業論文のテーマを決めるときも、山を歩かなければならないものは絶対に無理!そこで、自分を生かせる道は何かと考え、化学分析のようなことがいいのかもしれないと、同位体比の分析を選びました。

同位体とは、同じ元素でも中性子の数つまり質量数が異なるもので、自然界に安定して存在するものもあります。

——同位体比を調べると、どういことが分かるのですか。

小俣：卒業論文のときは、夕日の名所で有

名な青森県深浦町にある苦灰岩という石灰岩の仲間、の岩石を調べました。苦灰岩はもとと二枚貝や有孔虫の化石で、そこには酸素や炭素が含まれています。酸素には質量数16と質量数18、炭素には質量数12と質量数13の安定同位体があり、水温や塩分など、周りの環境によって同位体の比率が変わることが知られています。同位体比を調べることで、その苦灰岩がどのような環境で形成されたかが分かるのです。

サンゴの骨格から環境を読み解く

——大学を出てからは、どのような研究をされたのですか。

小俣：海洋研究開発機構（JAMSTEC）での研究は、サンゴ骨格の炭素同位体比の分析から始まりました。

——サンゴの骨格とは?

小俣：サンゴはイソギンチャクの仲間で、数百から数万もの個体が集まって群体をつくっ

ています。サンゴの体のなかには褐虫藻という植物プランクトンが共生していて、光合成によってつくった栄養などをサンゴに与えています。数mもの大きなものでも、生きているサンゴは表面だけ。群体の下は炭酸カルシウムを主成分とする石灰質の骨格になっていて、それが外側に向かって成長していくのです。

骨格のかたちは枝状、塊状、テーブル状などさまざまですが、私たちが研究に使うのは塊状サンゴです。ドリルを使って直径3cmほどの円柱試料を採取します。許可を受け、最小限の量だけを、サンゴを傷めないように細心の注意を払って採取しています。

採取したサンゴ骨格は研究室に持ち帰り、まず板状に切り分けます。すると、濃淡のしま模様がうっすら見えます。サンゴの骨格には、木と同じように年輪が刻まれているのです。サンゴ骨格のX線撮影も行います。

密度の違いから濃淡がはっきり分かるようになり、成長速度などを詳しく調べることができる。X線写真での濃淡の組み合わせが1年分で、健康なサンゴは、年に約1cm成長します。

そして、いよいよ同位体比の分析。試料を先端からカリカリと削っていき、その粉末を分析します。たとえば、0.2mmずつ分析すると、約10日ごとの変化を知ることができ。少し前までは、サンゴ骨格にテープで定規を張り付け、その目盛りを頼りに削っていたので、あまり正確ではありませんでした。0.1mm刻みで設定通りに削ることができたおかげで、精密

な作業ができるようになりました。

——どんな成果が出ているのでしょうか。

小侯：水温が高いと重い酸素 (^{18}O) の割合が減ることがよく分かっていて、酸素同位体比は過去の水温を知るための指標となっています。一方、炭素同位体比は日射量と関連し、日射量が多くサンゴに共生している褐虫藻の光合成が盛んになると、重い炭素 (^{13}C) の割合が増えると考えられています。夏は水温が高く日射量も増え、冬はその逆なので、酸素同位体比と炭素同位体比のグラフは高低のパターンがちょうど逆になるはず。しかし、私の出した結果は、炭素同位体比の周期がずれてい

た。おかしいデータが出てしまっただけで、というのが正直な気持ちでした。

共同研究者から「周期の変化に目を付けてみたらどうだろう」とアドバイスをもらい、解析し直してみることに。すると、炭素同位体比は、炭酸カルシウムがつくられる化学反応によっても変動することが分かったのです。本来、同位体比の測定結果は理論通りの数式で表現できるはず。しかし、そのようにならないのは、想定外の化学反応を経ているからなのです。特に生物では何段階もの化学反応がかかわっていて、解釈が難しくなります。同位体比の変動を正しく理解するためには、生物のこともっと知る必要があります。私たちは、その後サンゴの生育実験も行い、その考えを確かめました。

「ハイパードルフィン」のファンに ——サンゴ以外の研究は？

小侯：2006年12月に小笠原明神海丘と相模湾初島沖で、シンカイヒバリガイなどの調査を行いました。シンカイヒバリガイの殻の主成分は、サンゴ骨格と同じ炭酸カルシウムです。炭素同位体比を調べることで、生息環境の変化を明らかにしようという研究です。

その調査では、無人探査機「ハイパードルフィン」を使いました。「ハイパードルフィン」のハイビジョンカメラが撮影した映像は、リアルタイムで母船の「なつしま」に送られ、大きなモニターに映し出されます。研究者たちはモニターを見ながら、「あのサンプルを採取して」「左に移動して」と、指示を出すのです。映像はとてもきれいで、深海の様子が手に取るように分かります。すっかり「ハイパードルフィン」のファンになりました。

——面白い結果は出てきていますか。

小侯：いいえ、まだ。実は、昨年9月に出産し、この4月に育児休暇から戻ったばかり。これから本格的に解析を始めていきます。シンカイヒバリガイの殻に関する論文は、まだ公表された数が少ないので、この研究も自分のなかでは大きなチャレンジの1つです。

苦しかった日々

——大学院を修了してからJAMSTECの研究員になるまで、2年ほどありますね。

小侯：大学院を出たものの、就職先が見つからなかったのです。塾講師のアルバイトをしながら公務員試験の勉強をしていました。

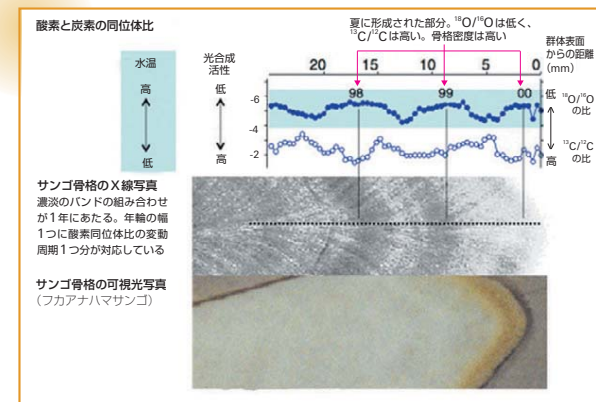
塾では数学と地学を教えていました。大きな声ではいえないのですが、そのとき初めて、高校の地学の教科書や参考書を読み込みました。地学を第一志望にしていた人たちはこんなことまで勉強してきていたんだ、優秀なはずだ、と納得。一方で、大学で学んだことを体系的に理解し直す、よい機会にもなりました。

その年の公務員試験に合格したのですが、就職は決まらず。合格すれば官公庁に入れると思っていたのですが、採用されるのは半数くらいだと聞いて、ものすごいショックを受けました。ある研究所で事務のアルバイトをしながら、いろいろな研究所に履歴書を送る、苦しい日々が1年くらい続いたところ、JAMSTECのホームページで研究員募集の告知を見つけたのです。採用が決まったときは、本当にほっとしました。

——研究者の道をあきらめようとは思いませんでしたか。

小侯：私は、“どうしてもこれをやりたい”というものがあって、ここまで歩んできたわけはありません。人生の節目では、将来、経済的に自立できるかどうかが選択の大きなポイントでした。研究者という職業は、知的欲求が満たされるとともに、経済的にも自立できる。だからこそ、あきらめずにチャレンジを続けることができたのです。

中高生や大学生の皆さんは、“好きなことをやっていきたい”と思うことでしょう。それ



炭素・酸素同位体比の分析結果の例

酸素同位体比は水温の変動と相関し、水温が高いと重い酸素 (^{18}O) の割合が減ることが知られている。従来、炭素同位体比は日射量と相関し、日射量が多く光合成が盛んになると重い炭素 (^{13}C) の割合が増えると考えられてきた。その場合、酸素同位体比と炭素同位体比のグラフはこの図のようなパターンになる。しかし小侯技術研究副主任は、ほかのサンゴ骨格ではこれと異なる炭素同位体比のパターンとなっていることを発見し、炭素同位体比は骨格の主成分である炭酸カルシウムがつくられる化学反応によっても変動することを明らかにした

も大切。しかし、経済的に自立できるかどうかを考えることで、道が開けることもあると思います。

火星の石灰岩を分析してみたい
——これからどのような研究をしたいとお考えですか。

小侯：地球温暖化が進むと、海洋に溶け

込む二酸化炭素の量が増えて海水が酸性化します。その結果、炭酸カルシウムでできているサンゴ骨格が溶け出し、成長が阻害されるといわれています。しかしこれは無機化学の理論計算からの指摘で、実際のサンゴ礁海域調査やサンゴの飼育実験の報告は非常に少ないのが現状です。多くの専門家の力を合わせて、多角的な視点で調査を行うことが重要です。私自身も、酸性化によってどのくらいサンゴ骨格の成長が阻害されるのか、炭素同位体比の分析からアプローチできればと思っています。

私は、JAMSTECに来て最初に携わったサンゴ骨格の同位体比の仕事で国際誌に論文が受理され、博士号も取得することができました。研究者としての大きなステップアップになったサンゴの仕事は、これからも大事にしていきたいです。

すぐには無理ですが、もうひとつやってみようことが……。現在NASA（アメリカ航空宇宙局）などが火星の探査を盛んに行っていますが、火星で石灰岩が出てきたら、その同位体比を分析してみたいですね。きっと地球の石灰岩の値とはまったく違うでしょう。宇宙における酸素や炭素の起源にかかわる結果が出るかもしれない。火星の岩石を持ち帰って分析するプロジェクトがあって、自分自身がチャレンジできる状況であれば、ぜひ応募したいものです。

BE



実験室に保管されているサンゴの骨格標本。直径3cmほどの柱状の試料を縦に切ったもの。うっすらと見えるしま模様は年輪。骨格を先端から削っていき、その粉末に含まれる酸素や炭素の同位体比を分析する



サンゴの骨格標本のX線撮影の様子。肉眼では年輪の一部しか確認できないが、X線写真では密度の違いから濃淡のしま模様鮮明に浮き上がる



2006年12月、「ハイパードルフィン」による小笠原明神海丘、相模湾初島沖のシンカイヒバリガイの調査のひとこま。「極限環境生物圏研究センター」ということもあり、周りは生物系の研究者が大多数です。同位体比分析について皆さんに興味を持っていただきたいのですが、分かりやすく説明するのが難しい。それが悩みの種です」

1000分の1mm単位で岩石や化石を削る「GEOMILL326」誕生

取材協力：
坂井三郎

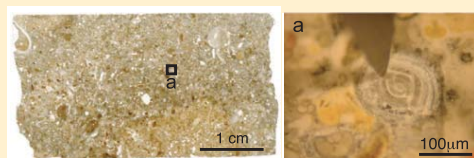
地球内部変動研究センター 地球古環境変動研究プログラム 技術研究副主任

ジオミルサブロー
GEOMILL326——これは、化石や岩石試料から分析したい箇所を1 μ m（1000分の1mm）単位で精度よく削り出すことができる、日本初の高精度マイクロミルシステムである。海洋研究開発機構（JAMSTEC）、島根大学、合資会社いずもWebの産学連携によって誕生し、2008年4月から販売を開始した。

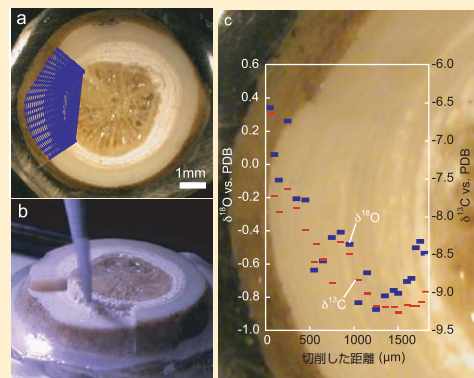
「サンゴ礁が化石になった石灰岩には、有孔虫などの小さい化石（微化石）がたくさん入っています。微化石の成分などを分析してサンゴ礁ができた当時の水温などを調べることが、私の研究テーマの1つです」。そう語るのは、GEOMILL326の発明者であるJAMSTEC地球内部変動研究センターの坂井三郎 技術研究副主任である。しかし、石灰岩はかたく、そのなかに入っている50 μ mほどの複雑なかたちをした微化石を取り出して調べるとは、非常に難しい。これまでは顕微鏡下での手作業や、旋盤（ミクロトーム）を使って石灰岩ごと薄くスライスして分析するしかなかった。「どうしても石灰岩から微化石だけを効率的に取り出して分析したかった。それができる装置がないのなら自分でつくってしまおう、と考えたのです」

それが2001年。JAMSTECに採用されたばかりの坂井副主任は、島根大学汽水域研究センターに常駐して研究を進めることになった。そこで、米国アリゾナ大学から客員教授として来ていたデビッド・デットマン博士と出会う。「彼も以前、微小な領域を削ることができる装置、マイクロミルを自作していたことから意気投合。アドバイスを受けながら構想を練りました。このドリルと、あの顕微鏡、あのカメラを組み合わせたらいいい、といったアイデアは出せるのですが、それをどう制御して動かせばいいかが分からない。ソフトウェアの開発で行き詰ってしまったのです」

そこで坂井副主任は、ソフト開発を依頼できる会社を探した。「顔を合わせて頻繁にやりとりがしたかったので、島根県限定。しかし、心当たりはありません。インターネットや電話帳でソフト開発をやっている会社を調べて、ひたすら電話をかけまわしました。そして、「ここだ」と決めたのが、いずもWeb社。「ホームページを制作している小さな会社でした。分析装置のソフト開発とは無縁。でも、こういうシステムをつくりたいと思ったら、すぐに試作して持ってきてくれた。それが、いい感じで動いたのです」。その後、「こんなふうにできないかな」「やってみよう」と、何度もやりとりを重ねた結果、1年後にはGEOMILL326の原型ができ上がった。「大満足の出来でした」



微化石の切削の例
左は、石灰岩を厚さ100 μ mの切片にし、表面を研磨した試料。約60万年前のサンゴ礁の堆積物から採取されたもの。有孔虫などたくさんの微化石が含まれているが、かたい石灰岩となって埋まっているため、微化石だけを取り出して分析することは難しかった。GEOMILL326は、切片に含まれる有孔虫の化石を、複雑な殻の構造に沿って精度よく削ることができる（右）。微化石に接しているのはドリルビット



サンゴの年輪解析の例
サンゴの断面には、木と同じように年輪がある。写真は約100万年前の冷水サンゴの化石。パソコンのモニター上で削る位置を指定すると座標化され（a）、自動で切削が始まる（b）。削られた粉末を回収して分析することで、水温などサンゴが生育していた当時の環境を知ることができる（c）

2005年、そのマイクロミルシステムを使った成果を学会で発表。「こういうシステムをつくりました、というスライドを最後に2枚だけ入れたのです。そうしたら、そこに質問が集中しました。本題に関しての質問は一切なし（笑）。もっと詳しく知りたい、使いたいと連絡をくれる人も多く、いくつもの共同研究が始まりました」

その一例が、サンゴの骨格の分析だ。サンゴは、石灰質の骨格をつくる。その成分を分析すると、生育したときの水温などを知ることができるのだ。「サンゴの骨格には年輪があり、それに沿って細かく分析すると、年や月単位の水温変化も知ることができます。しかし、年輪は湾曲していますから、直線でスライスすることしか



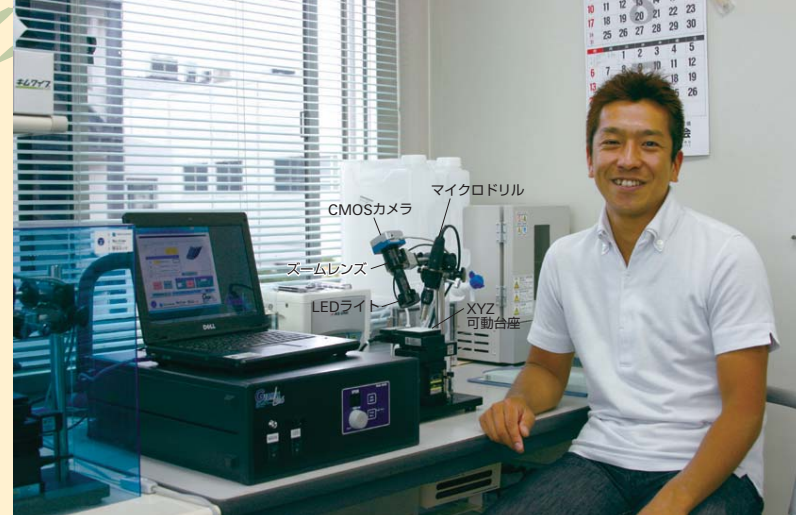
できない旋盤では分析の精度に限界があります。マイクロミルシステムなら、年輪の湾曲に沿って μ m単位で削り、水温の日変化も正確に分かる可能性があるのです」

ほかにも、貝の殻や鍾乳石、堆積物、化石、岩石など、さまざまな試料の削り出しに使える。マイクロミルシステムを使った研究者は、その性能の高さ、便利さに魅せられた。しばらくすると、「製品化しないの?」という声が聞かれるようになった。「自分が欲しいからつくっただけ。製品化なんて、まったく考えていませんでした」という坂井副主任。特許も取得していなかった。「一人でできる特許の取り方・活かし方」といった本を読んだり、県の特許流通アドバイザーに相談したり、一から特許について勉強し、評価交流課のサポートも得て、『マイクロミル』と『マイクロミリングシステムの制御方法』という2つの特許を出願した。

個人が使うには十分でも、製品化となると「頭を切り換えなければいけないことが多かった」という。たとえば配線。「いろいろな装置を1つの箱に配置する専門業者がいるのですが、“こんな配線はあり得ない”と絶句されたりもしました」。実際に使った研究者の要望も加えながら、いずもWebとの緊密な連携で製品化への壁を1つずつ乗り越えてきた。そして2008年4月の販売開始を迎えたのだ。

GEOMILL326は、マイクロドリル、台座、CMOSカメラ、LEDライト、パソコンからなる。台座に置いた試料はCMOSカメラで撮影され、パソコンモニターにリアルタイムで映し出される。ズームレンズがあるので拡大表示も自在だ。画面上で削る位置を指定すると、座標に変換される。操作はそれだけ。ドリルは固定で、台座がXYZ軸上を1 μ m単位で自動的に移動して、指定した位置を正確に自動的に削っていく。

持ち運びができて、省スペース、そして安いこと——それが、坂井副主任のこだわりだ。「最近ではレーザーを使って微小領域の成分を直接分析する装置がありますが、精度が少し落ちる場



高精度マイクロミルシステム「GEOMILL326」と坂井技術研究副主任。GEOMILL326の326とは？「私は坂井三郎というんです」

合がある上に、非常に高価で大きい。誰もが使えるものではありません。私のような普通の研究者が使えるものにしたかったのです」。予定販売価格は250万円。座標の決定にマイクロソフト社のExcelを使うなど、操作性や汎用性への配慮が随所に見られる。

販売を開始して反響は？「ホームページ（<http://g326.com>）に届いた最初の問い合わせは、“金属は切れますか”でした。いきなり地球科学以外!」。質問への答えはYes。「ドリルの開発も並行して進めていたのです。石灰岩を削るのにも、いろいろなドリルがあった方がいいですから」。ほかにも複数の大学・研究機関から問い合わせが来ている。

GEOMILL326は、まだ進化の途上にある。「削った試料は粉末状になり、それを回収して分析します。 μ m単位で削るということは、試料も微量です。鼻息が荒ければ飛んでいってしまうほど。そこで効率的に微量の試料を回収できる装置を開発中で、完成間近です。特許も2007年に出願しています」。GEOMILL326の次号機への搭載を目指す。その先は？「試料回収まで全自動化したい。削る位置を指定してOKを押して帰宅すると、次の日の朝には試料がボトルに収まって並んでいたらいいいですね」

坂井副主任のGEOMILL326を使った研究は、これから本格的に始まる。「深海底の堆積物を採取し、そこに含まれる微化石の分析から過去の環境が復元されています。やわらかい堆積物から微化石を取り出すのは比較的小さいので、たくさんの方が取り組んでいます。でも、石灰岩に含まれる微化石の分析は難しく、みんな敬遠してきた。GEOMILL326を使えば、そこを攻めることができる。サンゴ礁が発達していた海の環境を、初めて精密に復元できる可能性があります」

坂井副主任は、GEOMILL326の誕生をこう振り返る。「人との巡り合わせがよかった。これからは自分の手を離れたところでGEOMILL326を使った研究成果が出てきます。うれしいけれど、少し寂しいですね」

数年先の気候変動を予測する 天気予報と温暖化のはざま

(2007年12月15日 第73回地球情報館公開セミナーより)



地球環境フロンティア
研究センター
地球変動モデル研究グループ
グループリーダー
升本順夫

ますもと・ゆきお。1963年、東京都生まれ。理学博士。1989年九州大学大学院工学研究科修了。1992年東京大学助手、2001年東京大学助教授などを経て現職。現在は東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻准教授を兼任している。短期気候変動のメカニズム解明や、予測可能性の研究などに取り組んでいる

天気という非常に短期的な変動と、温暖化という長期的な気候変化の間に、私たちが研究しているエルニーニョなどの気候変動があります。人間活動の影響による温暖化の投影など、長い間に一方向に変わっていく場合を「気候変化」、自然の営みとして振動現象のように行きつ戻りつするものを「気候変動」と呼んでいます。今回は、エルニーニョなどの気候変動について、それらをどう予測するか、また予測の際に必要なとなる海洋のデータをどのように観測しているかを紹介したいと思います。

温暖化と異常気象の関係は分かっていない

1958年、チャールズ・キリー博士が、ハワイのマウナロア山頂で二酸化炭素濃度の測定を始めました。この観測から、ここ50年間で大気中の二酸化炭素濃度は315ppmから380ppmにまで上昇していることが分かりました。一方、1800年代から2000年にかけて、気温も急激に上がっていることが分かってきています。ただし、それはあくまでも地球全体の平均的な気温として0.8℃程度上昇しているということで、局所的には気温が上昇しているところ、変わらないうところ、下がっているところなどのばらつきが見られます。

こうしたばらつきは、地球の大気や海洋の動きによって引き起こされ、そのリズムによって時間的にも変動が生じます。地球が持つこうした本来のリズムである気候変動は、将来的な気温上昇の予測を行う際にも深く関係してくるため、その影響を明らかにすることは、温暖化予測のための重要な研究テーマとなっているのです。一般的に、温暖化が進んで異常気象となり、熱波や猛暑、干ばつ、洪水、台風など、さまざまな災害が起きるだろうと指摘されています。しかし、温暖化と、こうした時間的にも短い現象がどのように関連しているのかは、それらの間を取り持つ気候変動を理解しない

限り、きちんとした答えが出せないことなのです。

太平洋熱帯域に起こる短期気候変動「エルニーニョ」

短期間の気象変動予測、天気予報の精度は、最近飛躍的に上がっています。天気予報は、基本的に大気変動を再現できれば可能ですが、より長い数年から数十年の時間規模の変化では、大気だけでなく海洋も重要な役割を果たします。たとえば、数年程度の現象の例として、太平洋の「エルニーニョ現象」とインド洋の「ダイポールモード現象」があります。どちらも熱帯域で発生する現象で、世界各地の気候にも影響を与えています。

地球表面でのエネルギー収支を緯度ごとに考えてみると、熱帯などの低緯度では入ってくるエネルギー量が出ていく量よりも多く、暖まります。逆に、極域などの高緯度では入ってくる量の方が少なく、どんどん冷えていきます。もし大気や海洋がなければこの差は埋まらず、高緯度と低緯度の間には非常に大きな温度差が生じてしまうでしょう。地球では、大気や海洋があることで、低緯度の熱を高緯度へと運ぶメカニズムができています。熱帯はこのメカニズムのいわばスタート地点であり、このメカニズムの存在によって地球の気候は穏やかになっ

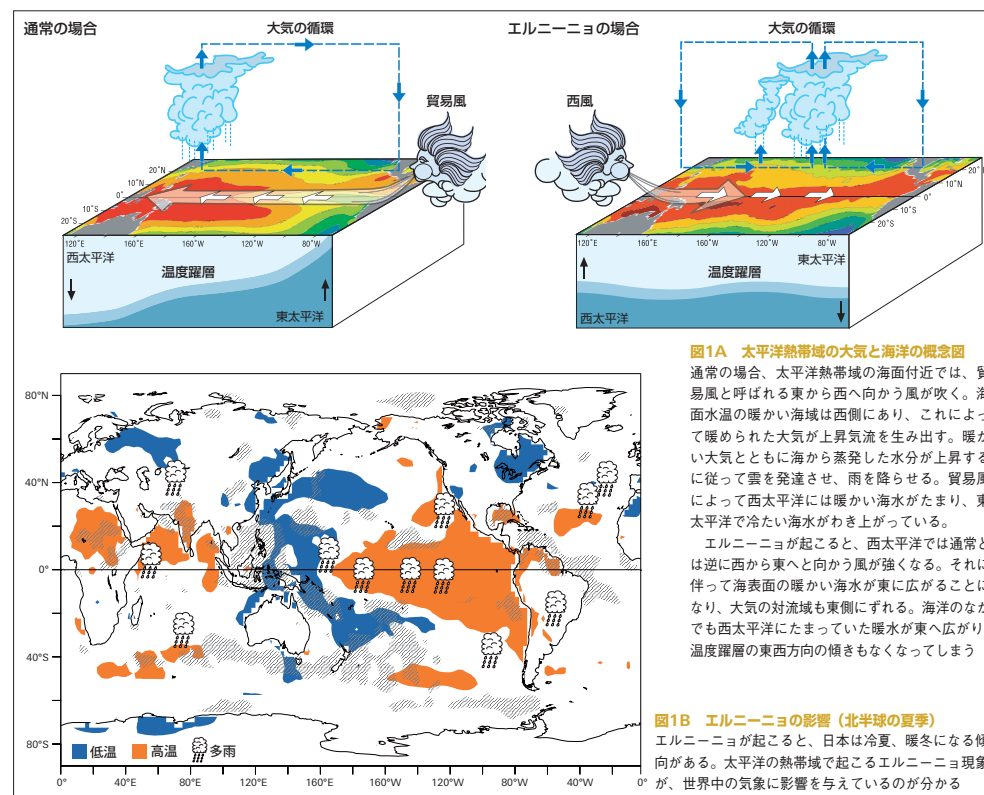


図1A 太平洋熱帯域の大気と海洋の概念図

通常の場合、太平洋熱帯域の海面付近では、貿易風と呼ばれる東から西へ向かう風が吹く。海面水温の暖かい海域は西側にあり、これによって暖められた大気が上昇気流を生み出す。暖かい大気とともに海から蒸発した水分が上昇するに従って雲を発達させ、雨を降らせる。貿易風によって西太平洋には暖かい海水がたまり、東太平洋で冷たい海水がわき上がっている。

エルニーニョが起こると、西太平洋では通常とは逆に西から東へと向かう風が強くなる。それに伴って海面の暖かい海水が東に広がることになり、大気の流れも東側にずれる。海洋のなかでも西太平洋にたまっていた暖水が東へ広がり、温度躍層の東西方向の傾きもなくなってしまう

図1B エルニーニョの影響（北半球の夏季）

エルニーニョが起こると、日本は冷夏、暖冬になる傾向がある。太平洋の熱帯域で起こるエルニーニョ現象が、世界中の気象に影響を与えているのが分かる

ています。つまり、熱帯域は地球の気候システムの「熱機関」ともいえるのです。こうした調節メカニズムの1つとしてエルニーニョ現象やダイポールモード現象が存在しているともいえるでしょう。

エルニーニョ現象は数年に一度、太平洋の熱帯域で起こる海洋の変動です。エルニーニョが発生すると、同時に大気にも大きな変動が起こることは、かなり以前から分かっていた。この大気側の変動は「南方振動」と呼ばれています。エルニーニョが起きていない通常の場合には、西太平洋の熱帯域で海面水温が高く、東太平洋では逆に冷たくなっています（図1A左）。このとき、暖かい海水の上で大気が暖められ、上昇気流が起こります。暖められた空気中の水蒸気は、上昇すると気体から液体へと相を変え、雲をつくり、凝結熱を周囲の大気に受け渡します。この熱によって大気は暖められてさらに上昇していきます。上昇した分を埋め合わせるように、太平洋上の海面

付近の風は貿易風として西に向かい、上空では逆に東に向かいます。太平洋の東側で大気は下降していき、大きな大気の循環をまたがって戻っているのです。一方、海のなかでは、暖かい表面付近の海水が下層の冷たい海水の上に覆いかぶさっています。熱帯付近では、この暖水と冷水の境界をはっきりと存在し、「温度躍層」と呼ばれています。通常の場合では、貿易風によって海水が西へと押しやられてたまるために、西側の海水温は暖かくなり、温度躍層は西太平洋で深く、東太平洋では浅くなっているのです。

エルニーニョが起こると、大気と海洋でつくり出しているこうした循環系が弱まって、西太平洋で西風が吹く状況が起こりやすくなります（図1A右）。それに伴って、暖かい海水は東へ広がっていき、活発な上昇気流のある領域も東にずれます。大気の循環が変わると、海のなかも様変わりします。東西方向の温度躍

層の傾きがほとんどなくなってしまうのです。こうなるとますます暖かい海水が東へ広がり、さらに大気の循環が変化するという正のフィードバック機構が生じ、エルニーニョが発達するのです。エルニーニョと南方振動のように大気と海洋が相互に関係しながら1つの現象をつくり出すもの、これを「大気と海洋の結合モード」といいます。

ダイポールモード現象とエルニーニョで影響を打ち消し合う

エルニーニョの影響はいろいろな場所に波及します。インドネシア付近で通常よく降る雨は、エルニーニョが起こると東に移動して太平洋の中央部で多く降るようになります。ヨーロッパやアメリカ、南半球にもその影響が及ぶことも分かっています（図1B）。太平洋の熱帯域での現象が、なぜ世界中に影響を及ぼすのでしょうか。それには、大気中を伝わ

る波動が重要な役割を演じています。熱帯域ではエルニーニョに伴って、空間的に大きな気圧場の偏差、つまり低気圧や高気圧が発生します。これが波動として伝播していき、たとえば中緯度域では偏西風の経路をゆがめることで、異常気象を引き起こします。

エルニーニョの日本への影響としては、冷夏、暖冬が知られています。では、エルニーニョが発生すると、日本はいつも冷夏になっているのでしょうか。実は、そうでもないのです。たとえば1994

年は弱いエルニーニョが、また1997/98年では強いエルニーニョが発生しました。ところが、予想に反して、いずれも日本の夏はとても暑かったのです。ここには、インド洋の気候変動が深くかかわっていました。

1994年夏の水温偏差分布には、太平洋のエルニーニョによる高水温域がありましたが、同時にインド洋の中央部やインドネシア付近で、平年よりかなり大きな偏差が生じていました。インド洋では1997年にも、また最近では2006年と

2007年にも同じようなことが起きています。インド洋熱帯域の中・西部で高温偏差、東側で低温偏差が現れるこの現象は「インド洋ダイポールモード現象」と呼ばれ（たとえば図2C）、1999年に発見されました。エルニーニョと現象自体がよく似ていて、エルニーニョの兄弟ともいわれています。インド洋では通常、赤道付近で西風が吹き、東側のインドネシア付近で海水温が高くなり、上昇気流が起きて雨が降ります。ダイポールモード現象が起きると、通常とは逆に赤道付近で東風が卓越するようになり、東部にあった海面水温の高い海域が西へ移動します。それに伴って大気の大気対流が活発な領域も西へずれ、さらに東風が強まります。ここでも大気と海洋の変動が正のフィードバックを起こしているのです。

エルニーニョとダイポールモード現象、この2つは相互に関連しながらも独立した現象だと、最近では考えられています。ダイポールモード現象が起ると、日本では夏から秋にかけて気温が高くなる傾向があります。これはエルニーニョがもたらす影響とは逆の傾向で、ダイポールモード現象とエルニーニョが同時に発生すると、プラスとマイナスで打ち消し合って影響がほとんど出ないということも考えられるのです。これまではエルニーニョの影響だけを考慮すれば、半年先や1年先の予測が行われていました。しかし、エルニーニョだけでは不十分であり、ほかの気候変動モードも考慮しなければ、数年程度の短期気候変動予測を行うことが難しいことが分かります。

季節内変動がエルニーニョの引き金

気候変動の予測には、何通りかのやり方があります。これらは大きく統計的な予測と物理的な予測に分けられ、私たちが行っているのは、SINTEX-Fという数値モデルを用いた物理的な予測です。これは数値予測とも呼ばれ、海洋研究開発機構（JAMSTEC）にある「地球シミュレータ」という世界でもトップクラスのスーパーコンピュータを使い、主に熱帯域の大気海洋系に起因する気候変動の予測を試みています。数値予測では、大気や海洋を細かい格子点の集まりとしてつくり、その1点、1点について大気の大気温度や風、海洋の流れや水温、塩分濃度とい

った情報を計算していきます。大気と海洋の状態を計算しながら「カップラー」と呼ばれる数値モデルを使ってこれらの情報を結び付けるのです。たとえば、風が変わると海の流れが変わり、さらに海水温に変化が現れます。カップラーを通して、海水温が変化したことを大気に伝え、大気の大気風の分布が変わります。これを再びカップラーで海洋に与える、というように計算を重ねていくのです。

では、2007年6月の状況を初期状態として、そこから数ヶ月先を予測してみましょう。この初期状態が少し変わると、数値モデルが予測する発展の具合が少しずつ異なってきます。これは大気海洋のような複雑なシステム内では、初期状態に含まれるわずかの差が、時間とともに大きな差へと成長する性質があるからです。このようなばらつきのある結果から、より確からしい予測結果を得るために、いくつかの初期状態から予測した結果を平均化します。こうした方法を「アンサンブル予測」と呼んでいます（図2A）。SINTEX-Fを用いたアンサンブル予測によって、2007年9月から11月にかけて、インド洋ではダイポールモード現象、一方、太平洋ではエルニーニョ現象の逆でペルー沖の海面水温が平年よりも低くなる「ラニーニャ現象」が起こることを、数ヶ月前に予測することに成功しました（図2B、C）。このラニーニャ現象とダイポールモード現象が同時に起こるのは1967年以来、実に40年ぶりのことです。また、この前年の2006年にもインド洋ではダイポールモード現象が発生しており、このときもSINTEX-Fモデルは半年以上前から予測に成功していました。

最近では、エルニーニョやダイポールモード現象のような数年程度の時間規模を持つ現象を予測するために、もっと短い時間規模の現象がとても重要であることが分かってきました。「季節内変動」と呼ばれる大気や海洋の波動です。その代表的なものが「マッデン・ジュリアン振動」と呼ばれる数十日程度の変動であり、熱帯域の大気中を東進しながら周回しているものです。このマッデン・ジュリアン振動はエルニーニョを引き起こしたり、あるいは終息させたりする役割を果たしていることが、最近分かったので

図3A 現在設置されている係留系による観測用ブイの位置

エルニーニョが発生する太平洋域には、日米合わせて70基ほどの観測用ブイが設置されており、エルニーニョ研究に大きく貢献し、予測精度も上がってきている。しかし、ダイポールモード現象の起こるインド洋には、東部のみに約10基しか設置されていない。現在、各国で協力し、観測網を充実させる計画が進んでいる

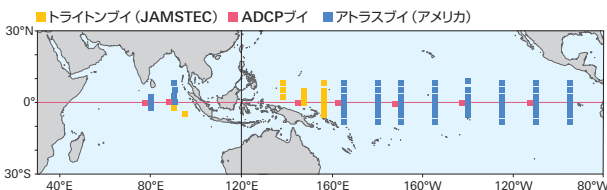
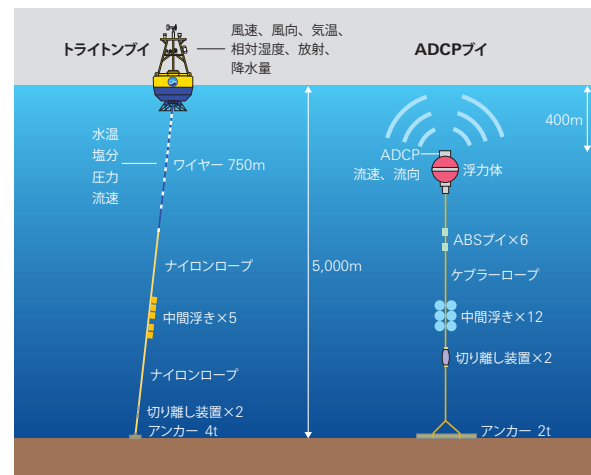


図3B トライトンプイとADCPブイ

海底まで垂らしたロープには観測装置が付いており、さまざまな深度で水温や圧力、塩分、流速などを測定する。その結果はブイの先端から送信され、人工衛星経由でリアルタイムに知ることができる。トライトンプイでは、風、大気温度、湿度、降水量、日射量、海水温度、塩分濃度および流速・流向を観測できる。ADCPブイでは、海洋の表層400mの多数の深度における流速・流向を観測している



す。近年、とても重要だと考えられている大気現象の1つですが、この季節内変動を精度よく予測することは、まだできません。季節内変動予測の精度を向上させる上で、今後の大きな課題になっています。

気候変動研究が温暖化を解明する

予測の精度が上がってきた背景の1つとして、観測の充実と精度の向上が挙げられます。JAMSTECでは世界の機関と協力し、エルニーニョやダイポールモード現象が発生する海域に観測用のブイを設置しています（図3A、B）。インド洋に設置した観測ブイからは、最近意外なことが発見されました。2007年8月ごろか

ら発達したダイポールモード現象ですが、海の中だけではその2ヶ月ほど前から、水温が低下するという前兆が現れていたのです。海面下の情報をあらかじめ知っておけば、ダイポールモード現象をもっと早く予測することができるかもしれません。より多くの観測ブイを設置して、より多くの情報を数値モデルに取り込んでいくことができれば、予測精度が飛躍的に向上する可能性があるのです。

温暖化と異常気象を簡単に結び付けることはできません。より多くの観測と数値予測モデルの改良を通して気候変動の予測精度向上を目指すこと、これこそが温暖化したときの地球の気候を解明していくためにも不可欠だと考えています。 **BE**

図2A SINTEX-F数値予測モデルによる短気候変動予測

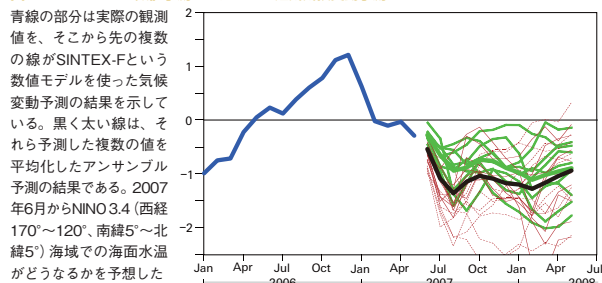


図2B アンサンブル予測

図2Aで予測された2007年9/10/11月の海面水温分布図。太平洋では、エルニーニョと逆の現象であるラニーニャが起きており、ペルー沖で海水温が低下している。一方、インド洋ではダイポールモード現象が発生することが予想された

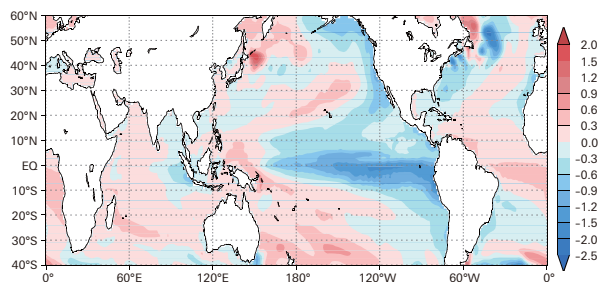
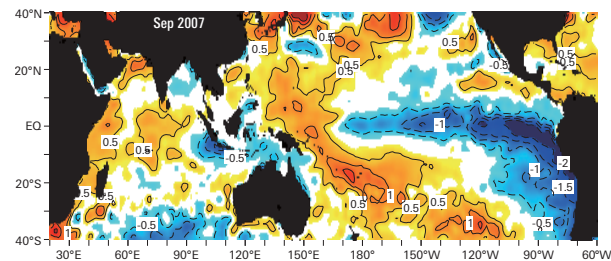


図2C 2007年9月の観測結果

実際の観測結果でも、2007年はラニーニャ現象とダイポールモード現象が発生していたことが確認された。両者が同時に発生したのは実に40年ぶりのことであり、SINTEX-Fによってこのような特異な状況を予測することができた



もっと知りたい 船の知識



知っているようで知らない船に関するミニ知識を毎回取り上げます。お楽しみに。

最初は、船舶の「主要目」の見方です。この表は、海洋研究開発機構（JAMSTEC）のWEBサイトに載っている深海調査研究船「かいれい」の主要目です（<http://www.jamstec.go.jp/j/about/equipment/ships/kairei.html>）。ここにある「トン」「ノット」「マイル」について解説していきましょう。



全長	106m	深海調査研究船 「かいれい」 主要目
幅	16m	
深さ	7.3m	
喫水	4.5m	
国際総トン数	4,517トン	
航海速度	約16ノット	
航海距離	約9,600マイル	
定員	60人（乗組員 34人／ 「かいこう7000Ⅱ」 運行要員 9人／研究者22人）	
主推進機関	ディーゼル機関 2,206kW × 2基	
主推進方式	可変ピッチプロペラ × 2軸	

国際総トン数の「トン」

この場合の「トン」は、皆さんのよくご存じの、重量を表す単位の「トン」(ton)ではありません。船全体の容積を表す呼称です。本を数えるときの「冊」、鉛筆を数えるときの「本」と同じだと考えてください。外板や甲板などによって囲われた船舶内の場所（閉田場所）の合計容積に、決められた係数を掛けて求めます。英語では「グロストン」(Gross tonnage)といい、「G.T.」「G/T」「GT」と表記されることがあります。

単に「総トン数」と表記されている場合には、注意が必要です。「国際総トン数」と「国内総トン数」があり、数値が変わってくるからです。外国航路の船においては、総トン数といえば国際総トン数を意味します。国際総トン数は、政府間海事協議機関（現・国際海事機関、IMO）が制定した「1969年の船舶のトン数の測度に関する国際条約」に基づき、国際的に統一された指標です。一方、国内総トン数は、日本独自の

指標です。国際総トン数に一定の係数を掛けて求め、国際総トン数よりも小さな値になります。

では、なぜ「トン」という呼称が使われるようになったのでしょうか。15世紀の英国では、積むことができる酒樽の数で船の大きさを表し、その大きさに応じて税金を課していました。数を数えるときに樽をたたく音、「タン」に由来し、それが「トン」となったといわれています。100個の樽を積むことができる船は、100トンになります。

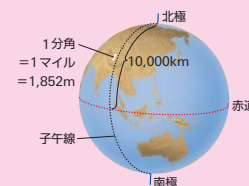
実は、重量を表す単位の「トン」も、樽と深い関係があります。標準的な大きさの樽を酒で満たすと2,240ポンド（1,016kg）になります。それが、現在の単位のもとになったのです。船舶の主要目には「排水トン数」(Displacement tonnage)という項目もあります。この場合の「トン」は重量を表しています。船を浮かべたときに押しのける海水の重量で、船の重量に相当します。

航海距離の「マイル」

船の航海距離を表す「マイル」は、米国や英国で使われている陸上の距離を表す「mile」（1マイル＝1,760ヤード＝1,609.344メートル）とはまったく違う単位です。区別するために、海上の距離を表す場合は nautical mile や sea mile を使います。日本語では「海里」です。

もともとは、地球の子午線（北極点と南極点を結ぶ地表に沿った線）の1分角（1度角の60分の1）の長さを1マイルとしていました。しかし、地球が真球でないため1分角の長さが場所によって変わってしまうことや、測定の誤差によって、同じ1マイルでもばらつきがありました。現在は、1929年の国際臨時水路会議で採用された「国際海里」に基づき、「1マイル＝1,852メートル」と定義されています。

1,852メートルというのは、とても中途半端な数字ですが、簡単な計算で求めることができます。子午線の1分角が1マイルに相当することを思い出してください。



10,000km（北極点から赤道までの子午線の長さ）÷ 90（度）÷ 60（分）
＝ 1.852km ＝ 1,852m

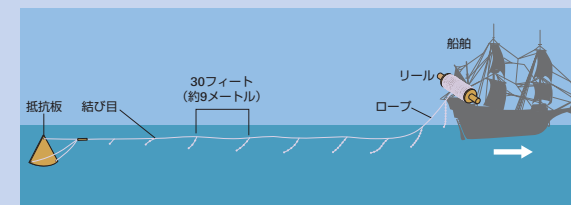
ここで、北極点から赤道までの子午線の長さがなぜ1万キロメートルちょうどなのか、不思議に思われるかもしれません。1791年にメートルという単位が新しくつくられたとき、「1メートル＝地球の北極点から赤道までの経線の距離の1000万分の1」と定義されたのです。そこから、北極点から赤道までの子午線の長さは1万キロメートル、地球の円周は4万キロメートルとなります（地球は真球ではなく、わずかに洋ナシ形をしているので、実際には誤差がある。また現在では、国際単位系により「1メートル＝1/299,792,458秒の時間に光が真空中を進む距離」と定義されている）。

航海速度の「ノット」

1時間に1マイル（1,852m）進む速度を1ノットと定義しています。「ノット」という単位は、かつて船の速さを測るのに、等間隔に結び目をつかったひもを水中に投下し、一定時間に結び目がいくつ出たかを数え、一定時間に結び目がいくつ出たかを数え、結び目を英語で「knot」といいます。

「かいれい」の航海速度は16ノットですから、およそ時速30キロメートルになります。なぜキロメートル

ではなく、ややこしいマイルやノットを使うのでしょうか？ ノットは、船だけでなく、飛行機でも使われています。目立った目印のない海や空では、自分の位置は緯度や経度から知るしかありません。1マイルは緯度1分角の距離にほぼ等しいことから、緯度を基準にした単位の方が分かりやすいのです。たとえば船が10ノットで6時間進めば、緯度方向で60分、つまり1度進んだということが、直感的に判断できます。



航海速度の単位「ノット」の由来

「ノット (knot)」は結び目を意味する英語。30フィート（約9メートル）ごとに結び目をつけたロープを海に流し、一定時間（28秒間など）に結び目がいくつ出たかを数えて、船の速さを求めたことに由来する。1ノットは1時間に1マイル（1,852m）進む速度

相模湾とその周辺の
鯨畛図

相模湾八景 其の四

沖ノ山堆の化学合成生物群集

海上の道と海底の道

藤岡換太郎 海洋地球情報部 特任上席研究員

「相模湾八景」の最初は、初島沖の化学合成生物群集でした。今回は、相模トラフの軸を挟んで反対側の沖ノ山堆生物群集をお届けし、はるか南西の沖繩に思いをはせます。

相模湾の真ん中に北米プレートとフィリピン海プレートの境界が通っていることは、これまでに書いてきました。初島沖生物群集はその境界の西側、つまりフィリピン海プレート側に分布していました。沖ノ山堆は境界の東側、北米プレートにあります。沖ノ山堆は相模湾東部の北西—南東方向に連なる地形的な高まりで、全体として「沖ノ山堆列」と呼ばれています。沖ノ山堆列は、三浦海底谷や東京海底谷と呼ばれる北東—南西方向に伸びた海底谷、断層によって分断されています。浅いところは水深50m以下で、いまだ1万8000年前の水河期には島でした。頂部には、約6,000年前の縄文時代に海面が上昇したときに付着した石灰藻類が礁のような地形を形成しているところもあります。

海洋生物学者の奥谷喬司先生は若かりしころ、東海区水産研究所の「蒼鷹丸」が沖ノ山堆列に関連する城ヶ島海脚で採取した二枚貝の死殻を研究し、それをシロウリガイとして新種記載されました。1955年のことでした。その後、初島の南東沖で発見された二枚貝がそれらと似ており、どうやら活断層に沿って地下からわき出している化学物質によって生活しているらしいことが議論されるようになりました。当時、海洋科学技術センター（JAMSTEC、現在の海洋研究開発機構）深海研究部の橋本惇（さだ）さんら生物グループは、城ヶ島の沖合にある沖ノ山堆にも同じような条件がそろっている、そこからも化学合成生物群集が見つかるかもしれないと考えました。1986年に海

洋調査船「かいよう」を用いた地形調査、深海曳航調査システム「ディープ・トウ」のカメラを用いた海底の調査が合計11時間30分にわたって行われ、768枚の写真が撮影されました。写真判読の結果、沖ノ山堆の水深750～1,399mの広い範囲にわたって化学合成生物群集が存在することが分かりました。その後、有人潜水調査船「しんかい2000」や無人探査機「ドルフィン-3K」によって、沖ノ山堆における化学合成生物群集の詳細が明らかになったのです。

沖ノ山堆の生物群集は、反対側の初島のそれと、どう違うのでしょうか？それは一言でいうと、テクトニックセッティングの違いです。「テクトニックセッティング」とは、あるものがそこに存在するための構造的な条件、もっと砕けた表現をすると、それがなぜそこにあるのか、いるのかを決定する要因のことです。フィリピン海プレートの上にある初島には、すぐ近くに断層や火山フロントが通っているため、温度の高い水がわき出しやすい条件がそろっています。一方、北米プレートの上にある沖ノ山堆の付近では、フィリピン海プレートと太平洋プレートという2つのプレートが違う場所から沈み込んでいます。沖ノ山堆の斜面には多くの逆断層が発達していますが、火山フロントははるか遠くにあるために、わき出す水は温度が低いでしょう。このような違いが、生物群集の立地あるいは生息条件に何か影響を与えているのでしょうか？答えは、「種類によって異なる」と思われます。生物は、プレート境界にも火山フロントにもまったく興味なく、平然と暮らしているようです。

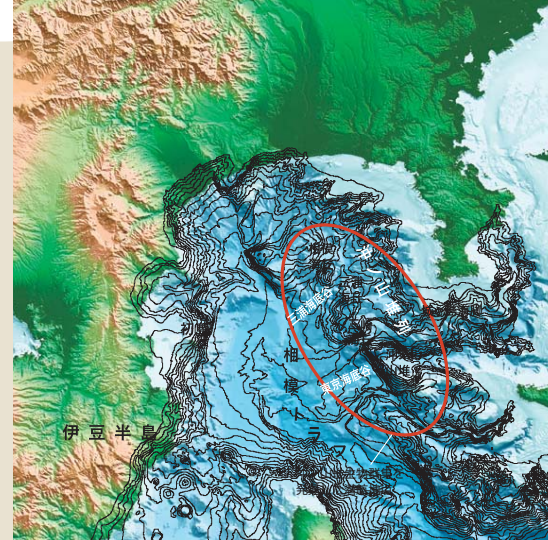
相模湾には、少なくとも5つの生物群集が知られています。それらのうち2つの群集が、初島沖と沖ノ山堆のふもとにあります。生物群集の優占種の組成としては、ハオリムシ類、サガミイカプリナといった種類が挙げられます。しかし、巻き貝や甲殻類を詳細に調べてみると、初島沖生物群集の方が多様性が高くなります。沖ノ山堆生物群集から出現する種は、すべて初島沖生物群集からも出現します。

両群集の距離は、直線にすると最短で9kmほどです。この距離を生物は自由に移動できるのでしょうか？貝が歩いていくには大変な距離です。シロウリガイは自分のテリトリーのなかを相当うろうろしているようですが、それでも1日に歩ける距離は、せいぜい数mから数十mではないでしょうか。仮に1日10m歩くことができたとして、9km先にたどり着くまでに900日（約3年）かかります。そんなに長い間移動できるのでしょうか？歩いていくことのほかに、潮の流れに乗って移動することが重要なのは、言をまたないでしょう。特に幼生の段階では潮任せなので、どこへなりとも移動できることでしょう。たとえば、沖繩トラフにある化学合成生物群集までも。そこで、相模湾の底層流の研究が重要になってきます。ところが、この生物の移動に関する研究や深海の流れの長期的な観測は、残念ながらほとんど行われていません。

東京大学海洋研究所の島崎茂明さんらの研究では、相模湾初島沖のシロウリガイ類やハオリムシ類は沖繩トラフの化学合成生物群集のものと同種であるといえます。それどころか、シロウリガイに至っては北アメリカ西岸のカリフォルニア沖のものと同じです。それらはいったい、いつ、どのようにして分かれたのでしょうか？また、どちらが



「しんかい2000」第382潜航で見つかった沖ノ山堆生物群集のシロウリガイ（水深1,400m、上）と、初島沖生物群集のシロウリガイ（下）



関東海域の海底地形図

ルーツで、どのように伝播したのでしょうか？生物研究者はこれらの生物の分散に関して、幼生期の生活史解明が不可欠であると考え、どれくらいの分散能力があるのかを評価し始めています。それだけでは不十分で、海陸分布、気候、海流、海底地形、そのほかいろいろなことを考えると、この問題は説明できないでしょう。

柳田国男は『海上の道』という本で、日本人のルーツが黒潮に乗ってやって来たという話を書いています。島崎藤村の有名な「椰子の実」の詩のもとになった話です。東大2年生の夏休みに愛知県津島半島先端にある伊良湖岬で1ヵ月遊んだときにヤシの実を拾った、という話を柳田が島崎にしたら、「彼が詩にしまった」というくだりがあります。黒潮は、フィリピンのあたりの赤道海流が反転して日本列島に押し寄せる海流です。そして日本人のルーツや文化、文明が黒潮によって運ばれたという説です。現在では神奈川県「葉山しおさい博物館」に展示されているように、相模湾にもさまざまなものが漂着しています。海洋の汚染を軽減するためには、海辺の漂流物を集めて調べる「ビーチコーミング」（砂浜をくし [comb] でとかすようにして漂着物を探すことから名付けられた）が重要です。鎌倉では、すでに市民レベルでビーチコーミングを行っているとか。

ごみはやはり海上の道をたどってやって来ますが、化学合成生物群集の移動は海底の道を考えなければ解明できないのでしょうか？生物が深海を移動することの解明には、まだ千里の道があるようです。

BE

謝辞 この文章を読んで間違いや新たな研究を指摘し貴重なご意見をくださったJAMSTEC極限環境生物圏研究センター海洋生態・環境研究プログラムの藤倉克則氏に感謝します。

相模の海
西にシロウリ
東風ハオリ
沖繩へ続く
水底の道



編集後記

今月の特集「サンゴ礁と地球環境変動」は、いかがでしたか？ サンゴ礁は、われわれ人類が引き起こした地球温暖化によって最も大きな影響を受ける生態系で、「白化」現象によりどんどん衰退していくという予測がされています。

サンゴ礁といえば、30年くらい前ですが、知り合いの実家が小笠原村にあった縁で毎年正月休みにダイビングに行っていた時期がありました。船で往復4日以上かけ、滞在するのはせいぜい2日という強行軍で、もちろんダイビングショップもないので、エアチャージも自分たちでやりました。重い機材を担いで急傾斜を降り、父島と兄島の間にある兄弟瀬戸というところでよく潜りました。本当にきれいでした。たかだか数mの水深のところですが、私のような絵心のない者ではとうてい表現できないようないろいろなサンゴと原色の魚たちに、息をするのも忘れるほどでした。

十数年後、まだ小さかった息子を連れてサイパン島でダイビングをしました。地元の人は「キレイだろう」というのですが……。全然違いました。サンゴの色がくすんで見え、ところどころ白くなっているではありませんか。息子に本当にきれいだっただ小笠原の話をして、実際に見たことがないのだから想像することができないようでした。

実は、そのときはあまり気にしていなかったのですが、最近、何となく合点がいくニュースを見つけた。それは、「日焼け止めでサンゴが白化―伊大実、実験で確認」(2008年2月16日、共同通信)です。「日本を含めた多くの国で日焼け止めに使われている成分(パラベン、桂皮酸、ベンゾフェノン、カンファー抽出物)がごく低濃度でサンゴに共生する褐虫藻を殺し、サンゴの白化の一因になっているとの実験結果を、イタリア・マルケ工芸大の研究チームがまとめた」という内容でした。さらに、日焼け止めとサンゴの白化との関連が実証されたのは初めてだが、白化が長引くとサンゴが死ぬことがあり、研究チームのロベルト・ダナロ博士は「水温上昇や汚染などによって脅かされている世界各地のサンゴに、観光客の増加がさらなる悪影響を与えることが心配される」と警告している、とのことでした。

この説には反論もあるようですが、30年前ほとんど観光客がいなかった小笠原と違い、毎年大勢の観光客が訪れるサイパン島では影響が大きかったのかもしれない。いかにサンゴ礁が脆弱な生態系であるか、あらためて考えさせられるニュースでした。(T.T.)

JAMSTEC メールマガジンのご案内

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

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

海と地球の情報誌 『Blue Earth』 第20巻 第3号(通巻95号) 2008年6月発行

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

制作・編集協力 有限会社フォントクリエイト
取材・執筆・編集 立山 晃(p2-15)／鈴木志乃(p1、p18-23、p28-31)／坂元志歩(p16-17、p24-27)
デザイン 株式会社デザインコンピビア(Ad 堀木一男／岡野祐三／山田純一ほか)

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

* 本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

『Blue Earth』 定期購読のご案内

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

1 年度あたり 6 号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■申し込み方法

E メールが FAX、はがきに①～⑤を明記の上、下記までお申し込みください。

①郵便番号・住所 ②氏名 ③所属機関名(学生の方は学年)
④ TEL・FAX・E メールアドレス ⑤ Blue Earth の定期購読申し込み
*購読には、1冊 300 円+送料が必要となります。

■支払い方法

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

○銀行振り込み

当機構指定の口座にお振り込みください。振込手数料をご負担ください。

○海洋研究開発機構 横浜研究所 地球情報部2階 図書室

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

■お問い合わせ・申込先

〒236-0001 神奈川県横浜市中区金沢区昭和町 3173-25
海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課
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。

賛助会(寄付)会員名簿 平成20年6月10日現在

独立行政法人海洋研究開発機構の研究開発につきましては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。(アイウエオ順)

株式会社IHJ	国際気象海洋株式会社	帝国石油株式会社	株式会社日立プラントテクノロジー
株式会社アイ・イチ・アイマリンユナイテッド	国際警備株式会社	株式会社テザック	深田サルベージ建設株式会社
アイフ印刷株式会社	国際石油開発株式会社	寺崎電気産業株式会社	株式会社フジクラ
株式会社アクト	国際ビルサービス株式会社	電気事業連合会	富士ゼロックス株式会社
株式会社アサツディ・ケイ	五洋建設株式会社	東亜建設工業株式会社	株式会社フジタ
朝日航洋株式会社	相模運輸倉庫株式会社	東海交通株式会社	富士通株式会社
アジア海洋株式会社	佐世保重工業株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社	富士電機システムズ株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	三建設工業株式会社	東京海上日動火災保険株式会社	物産不動産株式会社
アレック電子株式会社	株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	東京製鋼繊維ロープ株式会社	古河総合設備株式会社
産業株式会社	財団法人塩事業センター	東北環境科学サービス株式会社	古河電気工業株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯器製造所	有限会社システム技研	東洋建設株式会社	古野電気株式会社
エヌケーケーシーメス鋼管株式会社	シナネン株式会社	株式会社東陽テクニカ	松本徽章株式会社
株式会社NTTデータ	清水建設株式会社	東洋熱工業株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
株式会社NTTデータCCS	シュルンベルジュ株式会社	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NTTファシリティーズ	株式会社商船三井	株式会社中村鉄工所	株式会社丸川建築設計事務所
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	昭和ベトリウム株式会社	西芝電機株式会社	株式会社マルタン
株式会社MTS雪氷研究所	社団法人信託協会	西松建設株式会社	株式会社マルトロー
有限会社エルシャンデ追浜	新日鉄エンジニアリング株式会社	日油技研工業株式会社	三鈴マシナリー株式会社
株式会社OCC	新日本海事株式会社	株式会社日産クリエイティブサービス	株式会社みずほ銀行
沖電気工業株式会社	須賀工業株式会社	ニッスイマリン工業株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
株式会社海洋総合研究所	鈴屋建設株式会社	ニッセイ同和損害保険株式会社	三井石油開発株式会社
海洋電子株式会社	スプリングエイトサービス株式会社	日本SGI株式会社	三井造船株式会社
株式会社化学分析コンサルタント	住友電気工業株式会社	日本海洋株式会社	三菱重工業株式会社
鹿島建設株式会社	清進電設株式会社	株式会社日本海洋科学	株式会社三菱総合研究所
株式会社川崎造船	石油資源開発株式会社	日本海洋掘削株式会社	株式会社明電舎
株式会社環境総合テクノス	セナーアンドバーンス株式会社	日本海洋計画株式会社	株式会社森京介建築事務所
株式会社関電工	株式会社総合企画アンド建築設計	日本海洋事業株式会社	八洲電機株式会社
株式会社キュービック・アイ	株式会社損害保険ジャパン	社団法人日本ガス協会	郵船商事株式会社
共立インシュアランス・プロカース株式会社	第一設備工業株式会社	日本興亜損害保険株式会社	郵船ナブテック株式会社
共立管財株式会社	大成建設株式会社	日本サルヴェージ株式会社	ユニバーサル造船株式会社
極東貿易株式会社	大日本土木株式会社	社団法人日本産業機械工業会	株式会社緑星社
株式会社きんでん	ダイハツディーゼル株式会社	日本水産株式会社	レコードマネジメントテクノロジー株式会社
株式会社熊谷組	太陽日酸株式会社	日本電気株式会社	
株式会社クロスワークス	有限会社田浦中央食品	日本ビュレット・バックカード株式会社	
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント	高砂熱学工業株式会社	日本無線株式会社	
京浜急行電鉄株式会社	株式会社竹中工務店	日本郵船株式会社	
KDDI株式会社	株式会社竹中土木	株式会社間組	
株式会社ケンウッド	株式会社地球科学総合研究所	濱中製鋼工業株式会社	
株式会社構造計画研究所	中国塗料株式会社	東日本タグポート株式会社	
神戸ペイント株式会社	株式会社鶴見精機	株式会社日立製作所	

独立行政法人 海洋研究開発機構

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 神奈川県横浜市中区金沢区昭和町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 沖縄県名護市玉豊原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10回 全国児童

「ハガキにがこう
海洋の夢絵画コンテスト」

入賞作品紹介

海洋への関心が高まっている今日、未来を担う子どもたちが持つ海洋への夢やあこがれ、興味をさらに高めるために、海洋研究開発機構では全国の児童を対象と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月下旬から1月末までです。

詳しくは <http://www.jamstec.go.jp/j/kids/hagaki/index.html> をご覧ください。



● 海洋の夢賞
海のプラネタリウム

神奈川県横浜市立釜利谷小学校5年
越智みずほ



● 横須賀市長賞
シーラカンスに
お花を見せてあげたい

青森県むつ市立苫生小学校6年
川島歩佳



独立行政法人 海洋研究開発機構
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>

R70

古紙パルプ配合率70%再生紙を使用

定価300円(税込)