

海と地球の情報誌

Blue Earth

ISSN 1346-0811
2010年8月発行
隔月年6回発行
第22巻 第4号
(通巻108号)

2010 7-8 **108**

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology



透明骨格
標本を
つくろう



噴火・
カルデラ
実験!

やってみよう 海と地球の 自由研究 **第2弾**

日本近海に
全海洋生物種の
14.6%が出現

ダイオウイカ

深海「ヨロイ」貝
スケーリーフットの
研究速報

海の
エノキダケ
を再現



付加体を
つくろう



日本近海は種多様性が極めて高く 全海洋生物種の14.6%が出現

日本近海（排他的経済水域、沿岸から約370kmまでの範囲）には、バクテリアからほ乳類まで合わせると3万3629種の海洋生物が出現していることが明らかになった。地球全体の海洋生物は約23万種といわれている。日本の排他的経済水域は海洋全体の0.9%にすぎないが、そこに全海洋生物種の14.6%が出現していることになる。日本近海は地形、水深、水温、潮流、気候など多様な生息環境があることなどから、これまでも「日本の海は豊かだ」といわれてはいたが、日本近海の種多様性が世界的に見ても極めて高いことが科学的に示されたのは、今回が初めてである。

この研究は、「海洋生物のセンサス (CoML)」 (<http://www.jamstec.go.jp/jcoml/>) の一環として行われた。CoMLは、どの生物種が、いつ、どこに、どれくらい生息しているかを、全海洋に

ついて過去から現在にわたって調べ、海洋生物の将来を予測することを目指す国際プロジェクトである。2000年から10年計画で、世界80カ国、2,000人以上の研究者が参加している。

海洋生物の理解はこの10年で、CoMLによって大きく進んだ。しかし、海は広い。日本近海でさえ、まだ一度も記録されていないが、今後出現すると予測される生物は12万1913種にも上る。今回報告された生物種の3倍以上だ。CoMLの日本代表を務めるJAMSTECの藤倉克則チームリーダーは、「それぞれの生物種がどのような機

能を持っているかを調べることも必要です。そして、地球環境の変化や人間活動によって海洋生物が受ける影響を予測しなければいけません」と指摘する。CoMLは2010年10月で終了する。「そこで終わらずに、調査・研究を続けることが重要。次の10年で何をすべきか、世界中の研究者と議論をしているところです。10月に大英博物館で開催されるグランドフィナーレで発表されるでしょう」

(取材協力：藤倉克則 海洋・極限生物圏領域 海洋生物多様性研究プログラム チームリーダー/Fujikura et al., PLoS ONE, 2010より引用)

1 **Close Up**
 日本近海は種多様性が極めて高く
 全海洋生物種の14.6%が出現

2 **特集**
 やってみよう
海と地球の自由研究
 第2弾

18 **Aquarium Gallery**
 国立科学博物館
海の魔王——ダイオウイカ

20 **私が海を目指す理由**
「うらしま」で熱水噴出孔を
次々と発見し、新しい地球観を築く
 浅田美穂

地球内部ダイナミクス領域 地球内部ダイナミクス基盤研究プログラム
 海洋底ダイナミクス研究チーム 技術研究副主任

24 **理科からつながる研究最前線**
海水の塩分→深層循環→気候変動
 内田 裕

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 技術研究副主任

28 **Marine Science Seminar**
防御力：100 すばやさ：0
 深海「ヨロイ」貝の研究速報
 和辻智郎

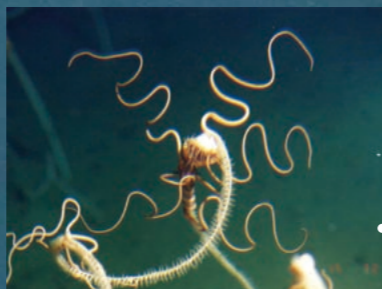
海洋・極限環境生物圏領域 深海・地殻内生物圏研究プログラム 研究員

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

●ヒモツカイメン亜科の一種
Bolosominae gen. et sp.
 体は細い管が連なった複雑な袋状をしており、柄で岩に固定している。体の表面にたくさんある小さい穴から海水を吸い込んで有機物をこし取って食べる。高さ70cm



●キヌガサモツル
Asteronyx loveni
 クモヒトデの仲間で、ウミエラ類などに絡まって生活している。腕を伸ばしたり、くねらせてたりして、プランクトンなどを捕らえて食べる

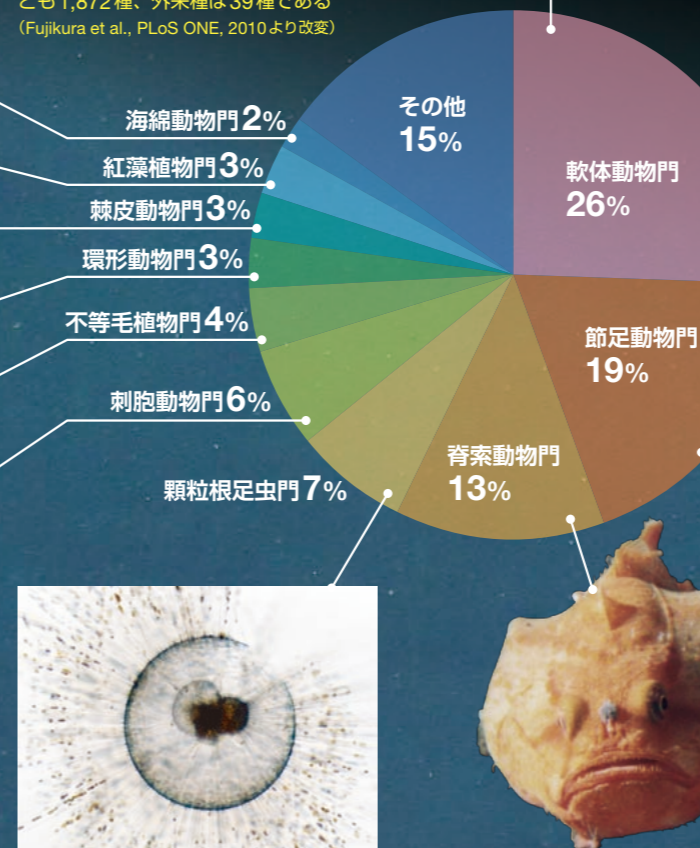


●サツマハオロムシ属の一種
Lamellibrachia sp.
 体に化学合成細菌が共生しており、海底から噴き出す熱水や湧水に含まれる硫化水素を酸化してエネルギーを得て、有機物をつくり出している

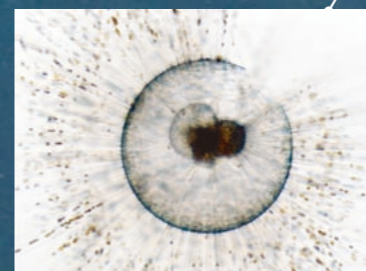


●ムラサキカムリクラゲ
Atolla wyvillei
 捕食者に攻撃されると発光する。発光には、捕食者を威嚇するだけでなく、ほかの大きな生物を引き寄せて捕食者を追い払う目的もあるらしい

日本近海の生物門ごとの種数
 最も種数が多かったのはイカ、タコ、貝などの軟体動物 (8,658種)、次いでカニやエビなどの節足動物 (6,393種) である。日本近海に出現した3万3629種のうち、日本近海の固有種は少なくとも1,872種、外来種は39種である (Fujikura et al., PLoS ONE, 2010より改変)



●浮遊性有孔虫の一種
Orbulina universa
 有孔虫は単細胞動物性プランクトンで、多くは1mm以下である。炭酸カルシウムから成る殻室 (チャンバー) をらせん状に増やしながらか長する。沖縄近海で採取



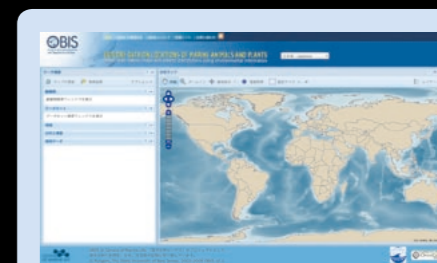
●ハナグロフサアンコウ
Chaunax tosaensis
 南日本の太平洋岸、東シナ海に分布。鼻先の突起の先に付いた擬餌状体を動かして獲物をおびき寄せる。名前は擬餌体が黒いことに由来する



●メダマホウズキイカ
Teuthowenia megalops
 大きな目とホウズキのように膨らんだ体の特徴。腹側に発光器がある



●クラゲダコ *Amphitretus pelagicus*
 全身が透明な寒天質で覆われている。腕の間にある傘膜は広く、腕の先端近くまで達する。目は望遠鏡のような筒状で、左右が接近して背の方を向いている



データベース OBIS
 (<http://obismap.marinegeo.net/>)
 CoMLで得られた海洋生物の種や分布のデータは、検索エンジン型のデータベースOBIS (Ocean Biogeographic Information System) に集められる。現在、11万種を超える種と、2800万件の分布データが登録されている。生物の学術名や一般名を入力すると、その生物がいつ、どこで発見されたかが地図上に表示される。研究に役立つだけでなく、一般の人々も楽しむことができる。日本語でも利用可能

●ゴエモンコシオリエビ
Shinkaia crosnieri
 沖縄トラフの熱水噴出域に分布。腹側に剛毛が密生し、繊維状のバクテリアが付着している。バクテリアは熱水に含まれる硫化水素物質をエネルギー源として増殖し、ゴエモンコシオリエビはそのバクテリアを摂取している



●アブラガニ
Paralithodes platypus
 日本海、カムチャツカ半島沿岸、ベーリング海に分布。食用になるが、漁獲量は少ない



Fujikura K, Lindsay D, Kitazato H, Nishida S, Shirayama Y, 2010 Marine Biodiversity in Japanese Waters. PLoS ONE 5(8): e11836. doi:10.1371/journal.pone.0011836
 「潜水調査船が観た深海生物」 東海大学出版会

やってみよう 海と地球の自由研究 第2弾

研究レポートを 送ってください！

実験や観察の結果、この記事を読んだ感想、
質問などを、『Blue Earth』編集部あてに
お送りください。
Eメール info@jamstec.go.jp

『Blue Earth』96号（2008年7-8月号）の特集記事
「やってみよう 海と地球の自由研究」は大好評で、実験や観察の結果、
質問などが、編集部にたくさん寄せられました。
今回は、その第2弾です。
家庭にある材料でできる簡単な実験からハイレベルの実験まで、
海洋研究開発機構（JAMSTEC）の研究者がさまざまな実験を紹介します。



「付加体をつくってみよう」より（8ページ参照）

（撮影：STUDIO CAC）

実験！火山の噴火とカルデラ形成

取材協力：

地球内部ダイナミクス領域 地球内部ダイナミクス基盤研究プログラム マントル進化研究チーム

川畑 博 技術研究副主任

柵山 徹也 ポスドク研究員

日本は「火山列島」とも呼ばれています。日本には、過去1万年以内に噴火したことがある、または現在活発な噴気活動をしている活火山が108あります。日本の国土は地球の全陸地のわずか0.3%ですが、108という数は世界の活火山の約10%にあたります。

火山は、噴煙を上げ、マグマを噴出し、火山灰や火山弾を降らせます。火山噴火は、私たちの生活に大きな被害をもたらすこともあります。火山はどのように噴火し、噴火の後はどうなるのでしょうか。炭酸飲料やココアなどを使った実験で確かめてみましょう。



鹿児島・桜島の噴火

火山噴火を再現

■噴火の準備

用意するもの

- ・炭酸飲料（コカ・コーラやファンタなど）
- ・メントス
- ・きりやドリル
- ・細い針金や糸
- ・クリップ



① きりやドリルを使って、メントスと炭酸飲料のキャップに穴を開ける。メントスやキャップはしっかり固定して、手を傷付けないように注意する。

② メントスの穴に針金や糸を通す。メントスの数は自由だが、つるしたとき炭酸飲料に接しないように調節する。今回の実験では、炭酸飲料を少し減らし、メントスを5個使用。

③ メントスをつるした針金や糸の先をキャップの穴に通し、クリップで固定する。

④ 炭酸飲料のボトルにキャップをしっかりとめて準備完了。



■噴火！



クリップを外してメントスを炭酸飲料のなかに落とし、急いで離れよう。炭酸飲料は約5mの高さまで噴き上がりました。

■もっと高く噴出させてみよう

川畑さんの経験によれば、コカ・コーラゼロとメントスミントの組み合わせが、最も高く噴出すること。しかし、ベストな組み合わせは川畑さんにもまだ分かりません。炭酸飲料やメントスの量や種類などいろいろ条件を変えて、噴出する高さやペットボトルに残った炭酸飲料の量を比べてみましょう。

実験！火山の噴火とカルデラ形成

カルデラをつくる

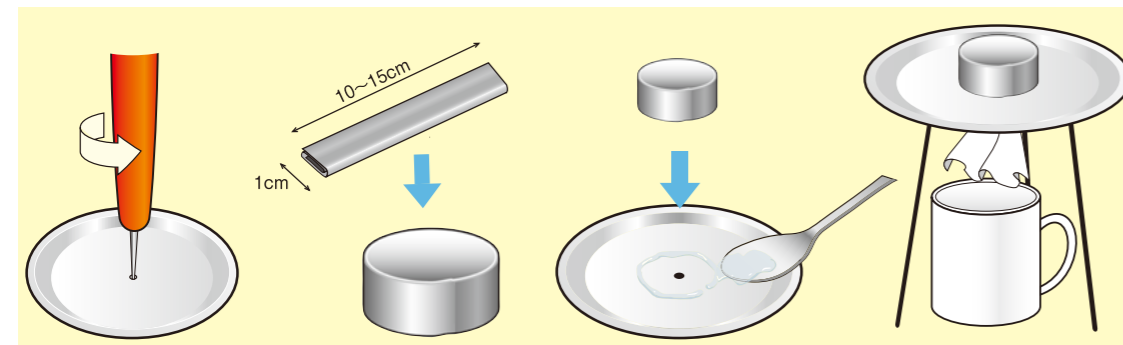
■火山をつくる

用意するもの

- ・ココア
- ・コンデンスミルク
- ・食紅
- ・きり

- ・アルミ皿やアクリル板
(コンデンスミルクが染み込まない板状のものなら、別な材料でもよい)
- ・アルミホイル
- ・水あめ

- ・ティッシュペーパー
- ・茶こし
- ・スプーン
- ・コップやタッパーウェア
- ・実験用三脚や同じ高さの箱2個



① アルミ皿やアクリル板に、直径5mmくらいの穴を、きりで開ける。

② アルミホイルを幅1cm、長さ10~15cmくらいに折る。輪にして両端をしっかりと留め、コンデンスミルクを入れる枠をつくる。

③ アルミ皿に開けた穴が、アルミホイルの枠の真ん中に来るように、枠を水あめで固定する。

④ アルミ皿を実験用三脚や同じ高さの箱を並べた上に乗せ、穴の下にコップなどを置く。ティッシュペーパーで穴をふさぐ。

今回の実験では、アクリル板に丸い枠が固定されているものを使用。アクリル板は、水平になるように、高さと同じ2つの箱の上に載せた

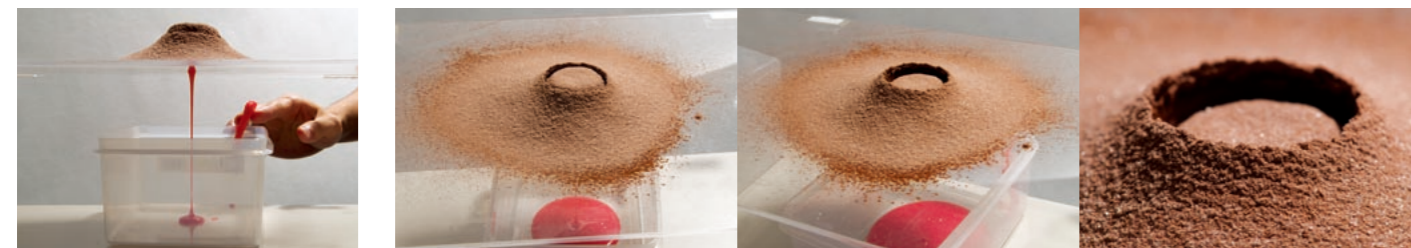
⑤ コンデンスミルクに食紅を混ぜ、アルミホイルの枠に注ぐ。食紅で色を付けるのはマグマの雰囲気を出すためなので、コンデンスミルクのままでもよい。



⑥ ココアを茶こしに入れ、ふるい落としながら山をつくる。



■カルデラの形成



① ティッシュペーパーを下から抜く。

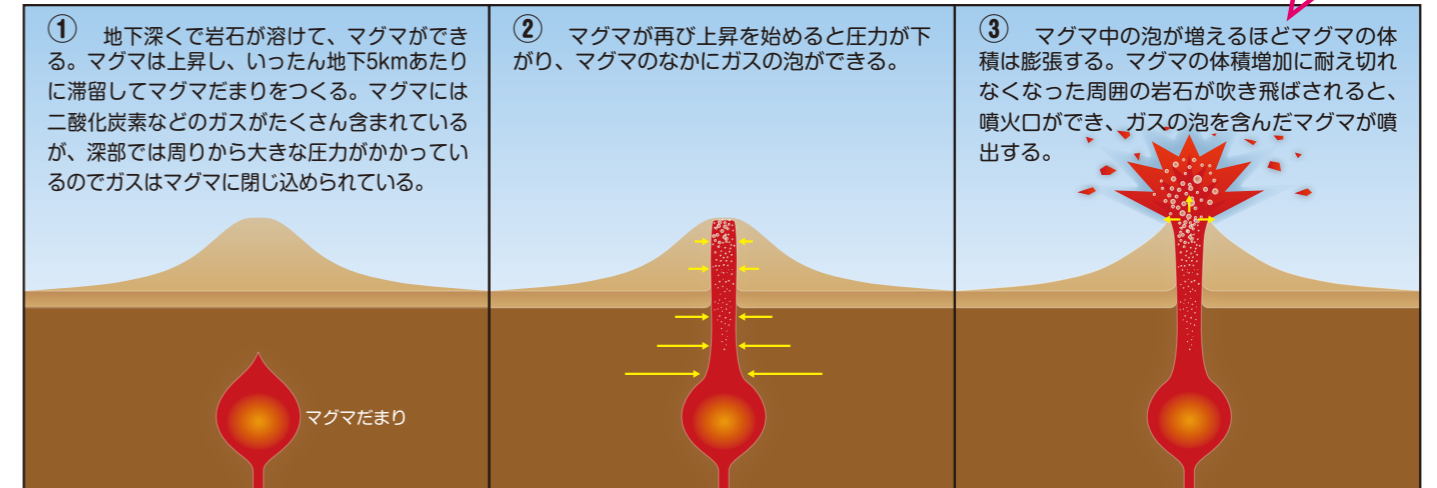
② コンデンスミルクが下に落ちていくに従って、ココアの山にどういった変化が現れるかを観察しよう。

(撮影：STUDIO CAC)

■いろいろなカルデラをつくってみよう

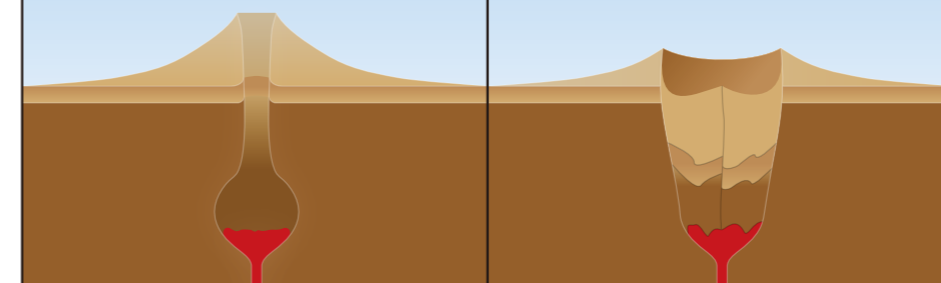
アルミホイルでつくる枠の大きさやかたち、ココアの山のかたちや高さを変えると、カルデラのでき方はどう変わるか観察してみましょう。

■実際の火山はどのように噴火するのか？



④ マグマが大量に噴出してしまおうと、マグマだまりは空っぽになる。

⑤ 火山の上部が崩落し、カルデラが形成される。



実験では...

メントスには、炭酸飲料のなかに溶け込んでいる二酸化炭素を泡にする効果がある。泡がたくさんできたことで体積の増加した炭酸飲料は、ボトルから勢いよく噴き上がる。5ページ下の写真を見ると、ボトルのなかに泡がたくさんできていることが分かる。炭酸飲料の噴出は、火山噴火と同じ原理で起きている。

実験では...

実験のコンデンスミルクがマグマに対応する。コンデンスミルクを下に落とすことで、マグマだまりが空になる様子を再現している。コンデンスミルクがなくなったことでココアの山の上部が崩れ、カルデラが形成された。

コンデンスミルクがあふれてココアの山の側面から流れ出てしまうことがあります。失敗ではありません。側面噴火は実際の火山でもあります。(川畑 博 技術研究副主任)

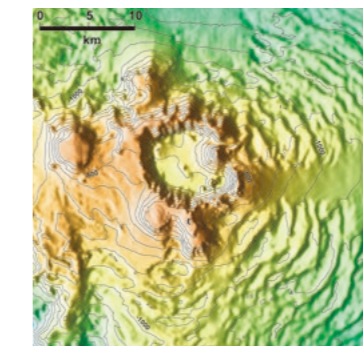


実際のカルデラがいろいろなかたちをしているように、実験をするたびに違うカルデラができます。今日のカルデラは、ますますのどき。陥没した部分に亀裂が入ると100点満点なんだけれど……。 (柵山徹也 ポスドク研究員)



三宅島・雄山のカルデラ
2000年7月に起きた雄山の噴火によって山頂部に形成されたカルデラ。直径約800m。2000年7月22日撮影 (撮影：アジア航測株式会社)

伊豆小笠原孤・須美寿カルデラ
海底火山の噴火でも陸上の火山と同じようにカルデラが形成されることがある。直径約10km。カルデラの外輪山の一部が海上に出て、須美寿島となっている



● もっといろいろな火山実験をやってみたい人へお薦めの1冊！
『世界一おいしい火山の本—チョコやココアで噴火実験』
(林 信太郎 著、小峰書店)

付加体をつくってみよう

取材協力:

地球内部ダイナミクス領域 地球内部ダイナミクス基盤研究プログラム 海洋底ダイナミクス研究チーム

北村有迅 ポスドク研究員

金松敏也 技術研究副主幹

浅田美穂 技術研究副主任

日本に火山が多いのは、日本列島がプレートの沈み込む場所にあるからです。プレートとは、地球の表面を覆う十数枚の岩板で、それぞれ別の方向に移動しています。日本列島周辺には4つのプレートがひしめき合い、フィリピン海プレートと太平洋プレートが陸側のプレートの下に沈み込んでいます。

日本列島で地震が多いのも、プレートの沈み込みが原因です。

では、海洋プレートが陸側のプレートに沈み込むとき、どのようなことが起きているのでしょうか。小麦粉とココアを使った実験で観察してみましょう。

■海洋プレート上の堆積物の地層をつくる

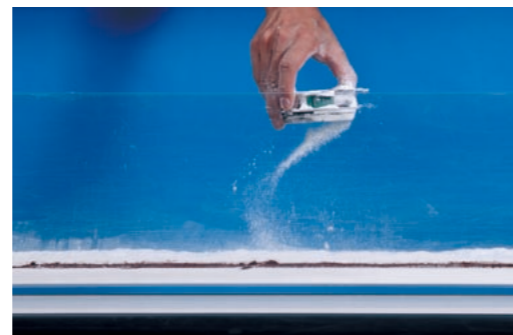
海洋プレートは海底にある海嶺^{かいりょう}という場所で生まれ、年に数cmずつゆっくり移動しています。海洋プレートが生まれてから沈み込むまでには、数千万年から1億数千万年もかかります。その間、海洋プレートの上には泥や砂などの堆積物が積み重なっていきます。まず、海洋プレート上の堆積物の地層をつくりましょう。

用意するもの

- ・透明な箱
- ・箱の奥行きと同じ幅の板
- ・小麦粉
- ・ココア
- ・茶こしやふるい
- ・へら
- ・はけ
- ・厚紙
- ・ストロー



① 透明な箱のなかに、小麦粉の層とココアの層をつくる。茶こしやふるいを使って層の厚さが均一になるようにまく。



② 次の層に移るときは、表面をへらなどで平らにする。押し付けず、へらをそっと滑らせていく。観察する側の面に付着した粉は、はけなどで落とす。



③ 観察する側の面は、層がきれいに見えるように隅まで小麦粉やココアをまく。厚紙に当ててから落とすと、隅まできれいにまくことができる。

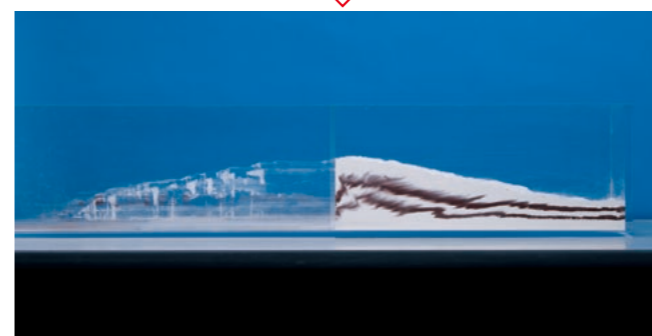
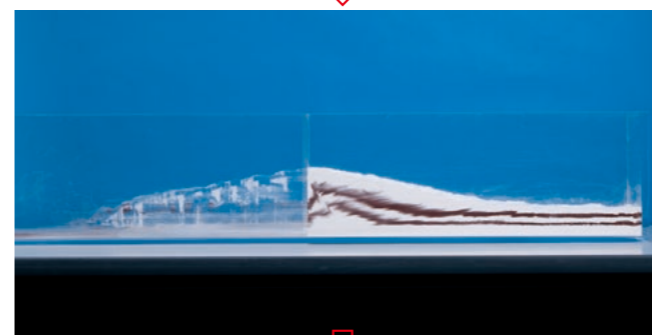
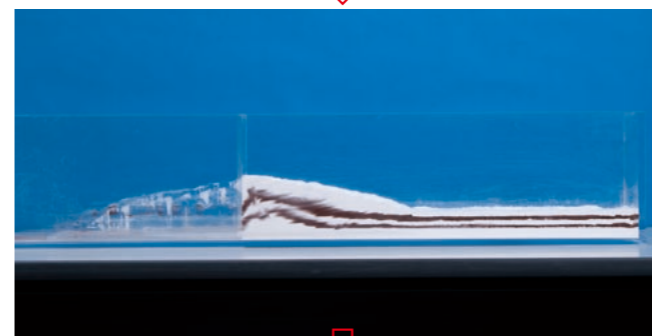
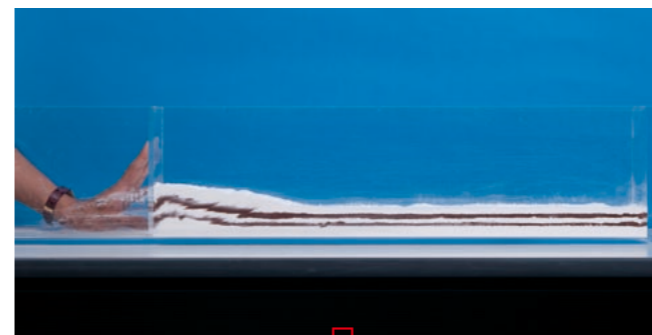


④ 今回の実験では小麦粉3層、ココア2層にしたが、層の厚さや数は自由。



■プレートの沈み込みを再現

箱の奥行きと同じ幅の板を使い、小麦粉とココアの層を一方から押します。ゆっくり一定の速度で押ししていきます。水平に積み重なっていた層が、力を加えていくとどのように変化するか、観察しましょう。



地層が曲がっている

地層が切れて断層がたくさんできている



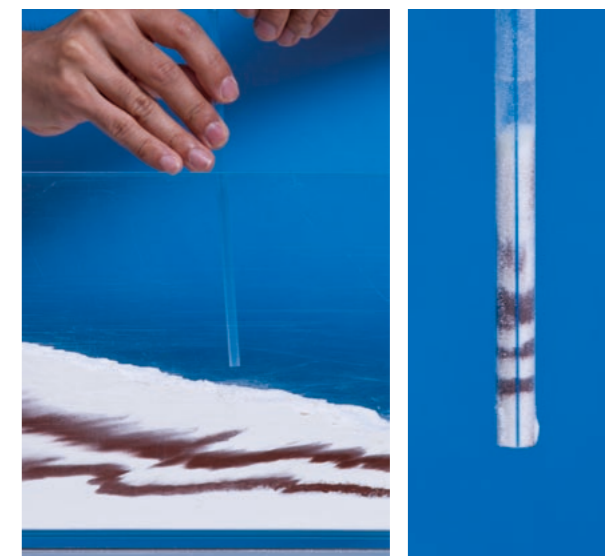
押した側が高くなり、反対側に向かって傾斜している

表面は階段状になっている



■コアを採取しよう

コアとは、地下の地層をくりぬいて取り出した円柱状の試料のことです。ストローを垂直にゆっくり刺し、試料が抜け落ちないようにストローの穴を指でふさぎ、ゆっくり引き抜きます。表面や側面からは観察することができない、内部の地層の様子を調べることができます。いろいろな場所でコアを採取してみましょう。



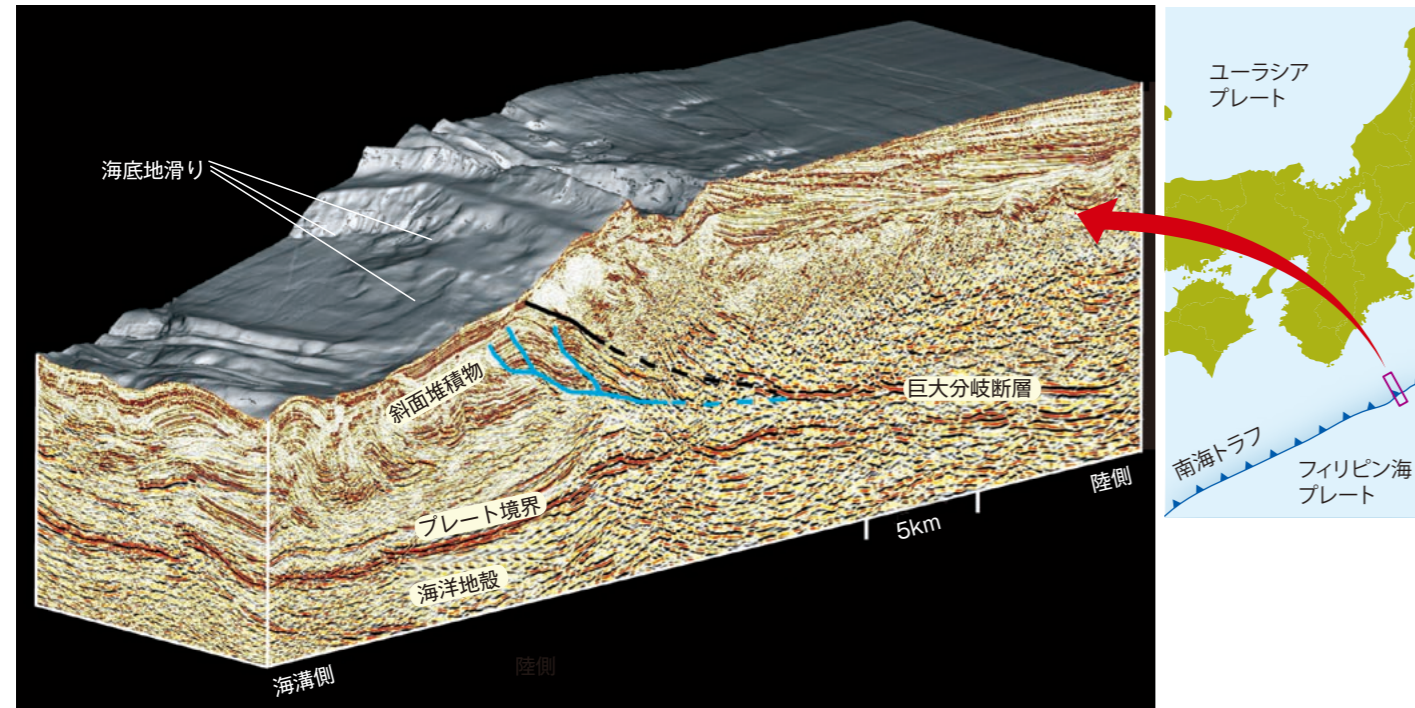
ココアの層は2層だったが、力が加わったことで地層が切れて断層ができ、上に重なるようにすれているところがある。そのような断層付近のコアを採取すると、あたかも3つの層があるように見えることがある

(撮影: STUDIO CAC)

付加体をつくってみよう

■実際にプレートが沈み込んでいる場所はどうなっている？

下の画像は、「3次元反射法音波探査」という方法で明らかになった、紀伊半島沖熊野灘の南海トラフの海底地形と地下構造です。南海トラフとは、駿河湾から紀伊半島沖、四国沖を通過して九州沖まで続く海底の細長くぼみで、フィリピン海プレートはここで陸側のプレートの下に沈み込んでいます。小麦粉とココアを使った実験でできた構造と、南海トラフの海底地形・地下構造はとてもよく似ています。

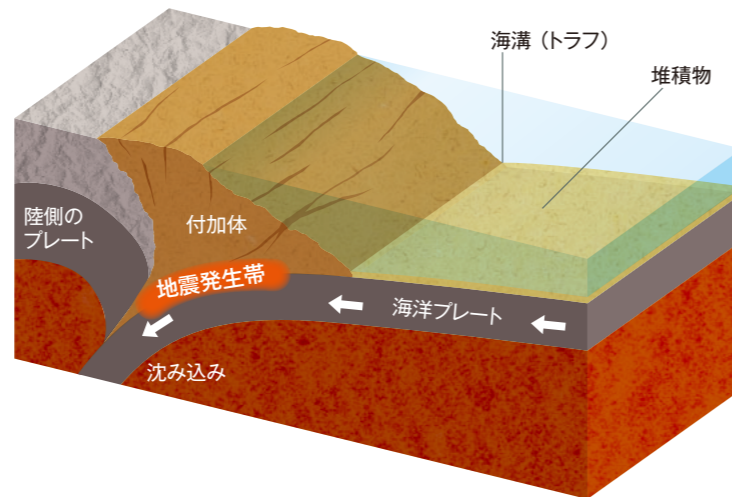


■付加体とは？

この実験のタイトルは「付加体をつくってみよう」です。付加体とは何でしょうか？

海洋プレートの上には泥や砂などの堆積物が載っています。しかし、海洋プレートが陸側のプレートの下に沈み込むとき、この堆積物は海洋プレートと一緒に沈み込むことができません。陸側のプレートに削り取られるようにはがされ、陸側にくっつきます。そのような地質を「付加体」といいます。

この実験は、付加体の形成を再現したもののなのです。実際は堆積物を載せた海洋プレートが移動します。実験では陸側のプレートに対応する板を移動させていますが、原理は同じです。



■プレートの沈み込みと付加体と地震の関係

海洋プレートが沈み込むとき、陸側のプレートも引きずり込んでいきます。陸側のプレートにはひずみがたまっていき、限界に達するとプレート境界が壊れて一気にずれます。これが地震です。南海トラフでは、マグニチュード8以上の巨大地震が繰り返し発生しています。

南海トラフの地下構造の画像をもう一度見てください。プ

レート境界から分かれている「分岐断層」があります。プレート境界が壊れてずれたとき、その破壊は分岐断層まで伝わり、津波を引き起こしたと考えられています。このように、プレートの沈み込み、そして付加体は、地震や津波の発生と深くかかわっているのです。

■「ちきゅう」が地震発生帯を掘り抜く

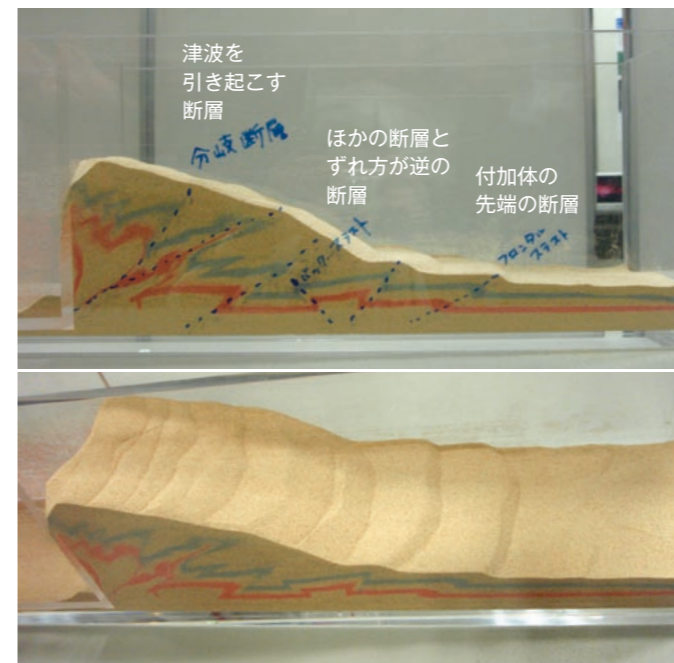
地震がどのように発生するのか、そのメカニズムを理解するには、地震が起きている現場を調べることが一番です。

地球深部探査船「ちきゅう」は、2007年から南海トラフの掘削を始め、コアを採取したり、観測装置を設置したりしています。すでに分岐断層のコア採取に成功し、2010年7月からは地震発生帯に到達する超深度掘削に向けた航海が始まっています。地震発生帯のコアを手にする事ができれば、人類初の快挙です。そして、地震の発生メカニズムの理解は大きく進むでしょう。



■より実際に近い付加体をつくってみよう

付加体の形成実験は、砂を使ってもできます。砂に染料で色を付け、地層をつくります。砂を使うと、小麦粉とココアを使った場合より実際の付加体に近い構造を再現できます。写真は、JAMSTEC横須賀本部の一般公開で行った実験の結果です。分岐断層もできています。



基本の実験に成功したら、箱の底に石を1個置いて、その上に地層をつくってみましょう。実際、紀伊半島の潮岬沖には重くてかたい岩盤があり、東南海地震と南海地震の運動に深くかかわっていると考えられています。石を置くことで断層の向きがどう変わるか、観察してみてください。（金松敏也 技術研究副主幹）

「自分で実験するのは、ちょっと大変……」という人は、ぜひ一般公開に来て、私たちの実験を見て下さい。ストローを使ったコアの採取は見学者の皆さんにもやってもらっていますよ。（北村有迅 ポスドク研究員）



海に生える不思議な“エノキダケ”を再現

取材協力：
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
内田 裕 技術研究主任

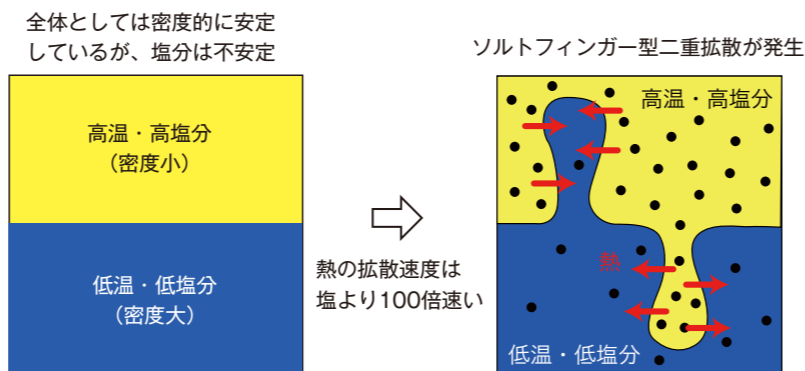
冷たく塩分が高い海水は密度が大きく、沈み込みます。暖かく塩分が低い海水は密度が小さく、わき上がります。海水の密度の差によって起きる対流は深層まで達し、海水は数千年をかけて世界の海を巡っています。このような海水の流れを「深層循環」あるいは「熱塩循環」と呼び、気候変動と密接にかかわっていることが知られています。『Blue Earth』96号（2008年7-8月号）では、深層循環の実験を紹介しました。今回の実験は、温度（あるいは塩分）の違いのみによって起きる対流とは大きく異なる対流現象の実験です。海に生える不思議なエノキダケ「ソルトフィンガー」をつくって観察してみましょう。

■ソルトフィンガーとは？

海水の密度は水温と塩分のバランスで決まるので、低温・低塩分の海水の方が、高温・高塩分の海水より密度が大きくなることがあります。そのような低温・低塩分の海水が下、高温・高塩分の海水が上になっていれば、密度的に安定です（左図）。しかし、全体としては安定でも、塩分は逆転しているため不安定です。さらに、熱と塩は拡散速度が異なります。そのような場合、「二重拡散」と呼ばれる対流が発生します。

熱は塩より100倍も速く拡散するため、低温・低塩分の海水は密度境界で素早く暖められて密度が小さくなって上へ昇り、高温・高塩分の海水は冷やされて密度が大きくなって下へ沈んでいきます（右

図）。その様子は、まるでエノキダケが上下に伸びていくようです。また指のようにも見えることから、この対流現象を「ソルトフィンガー型二重拡散」と呼びます。

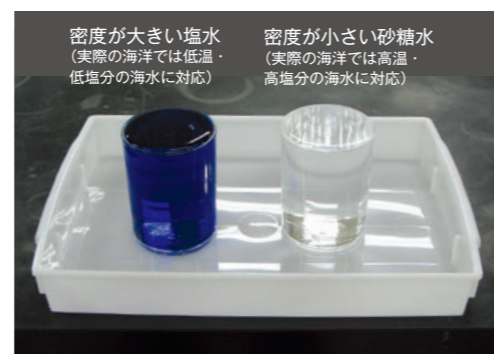


■海洋を再現し、ソルトフィンガーを観察する

実際の海洋では、熱の拡散速度が塩より100倍も速いことから、ソルトフィンガー型二重拡散が発生します。しかし実験では熱を制御することが難しいため、塩と砂糖の拡散速度の違いを利用します。塩の拡散速度は砂糖の約10倍です。少しややこしいですが、「実験の塩」が「海洋の熱」に、「実験の砂糖」が「海洋の塩」に相当します。

① 1リットルの水に対して大きじ2杯の食塩を入れた塩水と、1リットルの水に対して大きじ5杯の砂糖を入れた砂糖水をつくる。この割合にすると、塩水の密度が、砂糖水の密度より少し大きくなる。

② 2つのコップに塩水と砂糖水をそれぞれいっぱいまで入れる。塩水にインクで色を付ける。



用意するもの

- 水
- 砂糖
- 食塩
- インク
- コップ2個（縁に凹凸のない透明なアクリル容器など）
- クリアファイル（コップの直径より大きめに切る）
- トレイ
- あれば、比重計（ガラス製「浮ひょう」で比重範囲1.0~1.1などの比重計があると、密度の違いを正確に調べることができる）

③ 砂糖水が入ったコップの上に切ったクリアファイルを載せる。コップの上下を素早くひっくり返す。クリアファイルは、表面張力によってひっくり返しても落ちない（初めてやるときはドキドキしますが、洗面所やお風呂で水を使って練習するとコツがつかめます）。



④ 砂糖水が入ったコップを、塩水が入ったコップの上に載せる。縁がぴったり合っていることを確認し、クリアファイルをゆっくり引き抜く。



⑤ しばらくすると、インクで色を付けた塩水がエノキダケのように、よきよきと伸びてくる。これは、塩が砂糖より速く拡散するためである。（撮影：内田 裕）

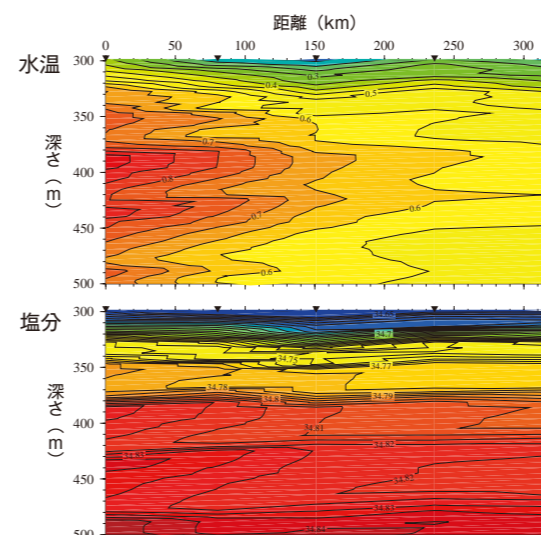


この実験では、上に伸びるソルトフィンガーを観察しました。上側の砂糖水に色を付けることで、下に伸びていくソルトフィンガーも観察できます。塩や砂糖の量を変えたり、塩水だけの場合（下側の密度を上側より少し大きくする）と比べて、上下の水が混ざる速さの違いなども、ぜひ調べてみてください。（内田 裕 技術研究主任）

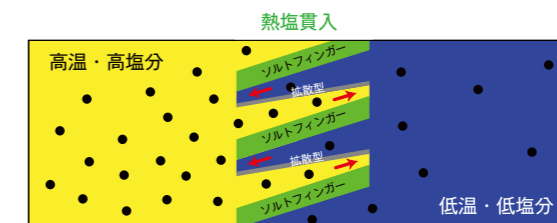


■小さな対流が大きな変化を引き起こす

ソルトフィンガー型二重拡散は、北極海や南太平洋東部などで実際に観測されています。この対流は、海洋全体から見たらとても小さな現象です。しかし、ソルトフィンガー型二重拡散によって海水が鉛直に混合されることで、その海域の海水の性質を変えたり、より大きなスケールで海水の水平方向の運動を引き起こしたりします。さらに大きなスケールの深層循環にも影響を及ぼす可能性も指摘されています。



北極海で観測された熱塩貫入現象
北極海の中層には、大西洋を起源とする高温・高塩分の海水がノルウェー海から流入している。そのような高温・高塩分の海水が二重拡散により水平方向に複数の舌状に貫入していく現象が、熱塩貫入現象である（図）。舌状の高温・高塩分の海水とその下側の低温・低塩分の海水との間で、ソルトフィンガーが発生する。ソルトフィンガーによって塩分が輸送され、高温・高塩分の海水は軽くなり図の右上方向に、また低温・低塩分の海水は重くなり図の左下方向に貫入していく



ウミホタルの光を愛でる

取材協力：

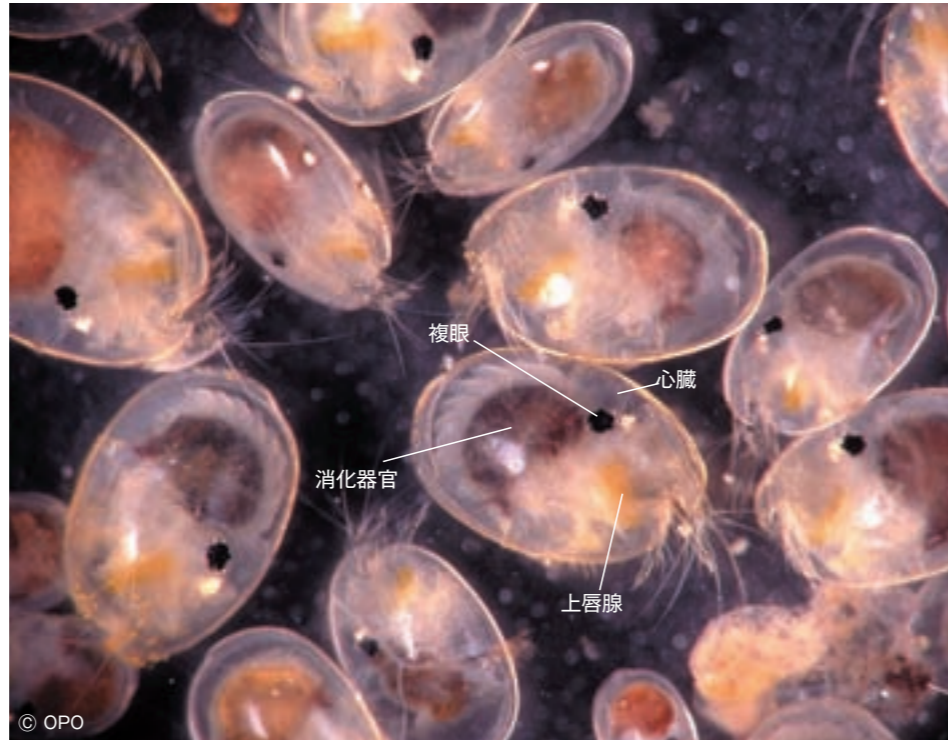
海洋・極限環境生物圏領域 海洋生物多様性研究プログラム 化学合成生態系進化研究チーム

藤原義弘 チームリーダー

ウミホタルという生物を知っていますか？
名前の通り、海にすみ、ホタルのように
光を発します。ウミホタルを採集し、
発光の様子を観察してみましょう。

■ウミホタルとは？

ウミホタルは、エビやカニと同じ甲殻類
で、体長は3mmほどです。体は、「背甲」
と呼ばれる透明な2枚の殻に包まれていま
す。太平洋沿岸の内湾に生息しています。
ウミホタルは夜行性で、昼は海底の砂の
なかに潜っていて、夜になると餌を探し
て遊泳します。



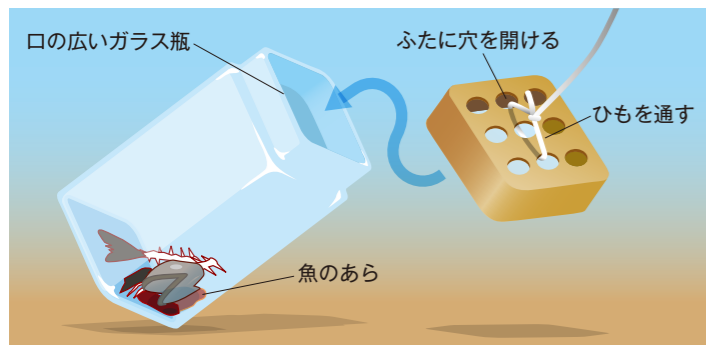
■ウミホタルを採集しよう

夜行性なので、暗くなってから採集するのがよいでしょう。一年中
採集できますが、水温が高い時期に活発に活動するので、春から秋
がお勧めです。

ウミホタルは海の掃除屋さんで、海底に沈んだ生物の死がいなど
をよく食べます。採集には、魚のあらや死んだ貝などを餌にする
とよいでしょう。餌を入れた容器にひもを付け、岸壁や棧橋などから
海底に沈め、10～30分たったら静かに引き上げます。

用意するもの

- ・口の広いガラス瓶
(ふたに直径5mmくらいの穴を10個ほど開ける)
- ・きり
- ・ひも
- ・餌 (魚のあら、貝など)
- ・バケツ



■なぜ光る？

ウミホタルの体が光っているように見えますが、そうではありません。ウミホタルは、「上唇腺」と呼ばれる部分に、発光物質 (ルシフェリン) と発光酵素 (ルシフェラーゼ) を蓄えています。ウミホタルは発光物質と発光酵素を体外に放出し、それらが海水中の酸素と化学反応を起こし、青い光を発するのです。そのため、光っている場所の海水をすくっても、ウミホタルがいないことがあります。

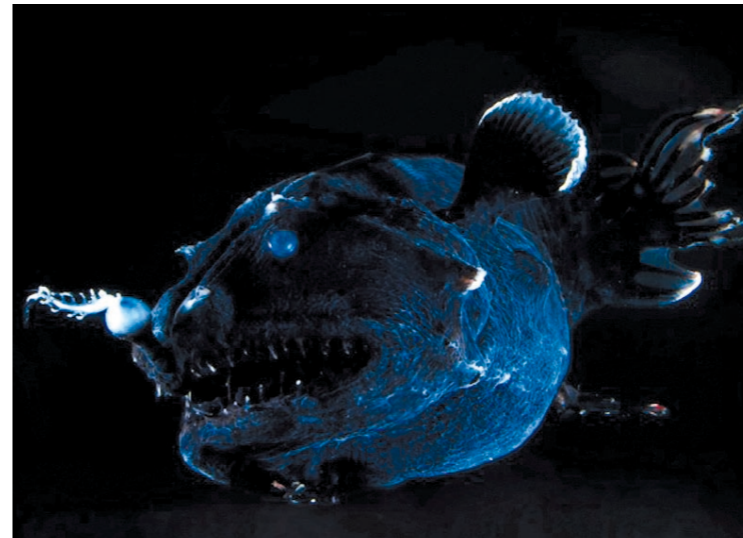
ウミホタルが発光するのは、求愛行動や、敵に襲われたときに威嚇するためだと考えられています。敵が光に驚いたすきに逃げるのです。ウミホタルは光を避ける性質があるため、発光によって敵を威嚇すると同時に仲間に危険を知らせているのではないかと、ともいわれています。

■発光を観察しよう

引き上げたガラス瓶を揺らしてみましよう。ウミホタルが採れていたなら、青い光が見えます。ガラス瓶の中味をバケツなどに空け、手を入れてかき回すと、さらに強く発光します。

■調べてみよう

海には、ウミホタルのほかにも発光する生物がたくさんいます。ウミホタルのように発光物質と酵素の働きによって発光するものだけでなく、発光する細菌を体内にすまわせて、その光を利用している生物もいます。発光生物にはどういふものがあるか、さらに発光の方法や目的を調べてみましょう。生物たちの生きる戦略が見えてきます。



オニアンコウの仲間
鼻先の誘因突起の先端に付いた擬餌が発光する。発光は擬餌に飼っている細菌によるもので、発光した擬餌を動かして獲物をおびき寄せ、発光器を持つのは雌のみ
(撮影：藤原義弘)

夜、海に潜ると、ウミホタルが私の体にぶつかり、青い光が後ろへ流れていきます。光の帯を引きながら泳ぐのは、とても幻想的です。皆さんも、ウミホタルを採集し、その美しい光を観察してみてください。



注意！！

- ・夜の海は危険なので、十分に気を付けましょう。
- ・ウミホタルは太平洋沿岸に広く分布していますが、地域によって遺伝情報が少しずつ異なることが分かっています。ウミホタルを海に戻す場合は、必ず採集した場所に放流しましょう。

透明骨格標本をつくらう

取材協力：
海洋・極限環境生物圏領域 海洋生物多様性研究プログラム 化学合成生態系進化研究チーム
藤原義弘 チームリーダー

写真は、魚やカエルの透明骨格標本です。標本というと、博物館に展示されている恐竜やほ乳類などの骨格標本がまず思い浮かぶかもしれませんが、それと透明骨格標本はどう違うのでしょうか？ここでは、透明骨格標本のつくり方を紹介します。いろいろな生物の透明骨格標本をつくって、骨格のつくりを比べてみましょう。

■透明骨格標本とは？

骨格標本は、生物から骨だけを取り出し、組み立て直したものです。しかし、魚類など微細な骨格を持つ小型動物は、大型の動物と同じ方法で骨格標本をつくることが困難です。そこで、透明骨格標本という方法が使われています。

透明骨格標本では、筋肉などを取り除くのではなくタンパク質を分解する薬品を使って筋肉を消化して、軟骨を青く、硬骨を赤く染色しています。骨格を組み立て直していないため、生きていたときのままの骨格のつながりを、立体的に観察することができます。

■透明骨格標本をつくる

使用する薬品のなかには、危険なものもあります。学校の先生に指導してもらうなど、安全管理には十分気を付けてください。

用意するもの

- ・ホルマリン
- ・蒸留水
- ・エタノール
- ・酢酸
- ・アルシアンブルー
- ・過酸化水素水
- ・水酸化カリウム水溶液
- ・飽和ホウ酸水溶液
- ・トリプシン
- ・アリザリンレッド
- ・グリセリン
- ・チモール
- ・容器
- ・ピンセット
- ・手袋

①魚の準備

初めて透明骨格標本をつくるときは、アジやイワシなど小型の魚がやりやすい。魚をきれいに水洗いする。

②ホルマリンで固定

10%ホルマリン水溶液（原液を10倍の蒸留水で薄める）に標本を2~3日つける。ホルマリンは有毒なので、必ず手袋をして、素早く作業し、容器は密閉する。

③水洗いをして、うろこを取る

ホルマリンから取り出し、水を流しながら2日間、水洗いする。内臓を取り出し、うろこを取る。

④軟骨の染色

95%エタノール80ml、酢酸20ml、アルシアンブルー10mgの割合で軟骨染色液をつくる。標本の大きさによって異なるが、1日程度つける。軟骨部分（ひれの付け根や目の周りなど）が青く染まったらよい。染色が終わったら、70%エタノールに入れ、標本が沈むまでつける。次に蒸留水に入れ、標本が沈むまでつける。

⑤脱色

過酸化水素水1、1.5%水酸化カリウム水溶液5の割合で脱色液をつくる。標本が浮かないように上からピンセットなどで押さえ、蛍光灯の下に3時間~1日程度置く。体の色が白くなったら取り出す。水を流しながら2日間、水洗いする。

トノサマガエル頭部

アマガエルの頭部と比べ、硬骨化が進んでいる。眼窩（眼球を入れる頭骨のくぼみ）や鼻腔の周りが軟骨を示す青色に染まっている（撮影：藤原義弘）



ナベカの頭部
硬い頭骨の内側にあるえらは軟骨でできていることが分かる（撮影：藤原義弘）

⑥筋肉を透明にする

飽和ホウ酸水溶液125ml、蒸留水375ml、トリプシン2gの割合で消化液をつくる。標本の筋肉が少し透明になり、太い骨が透けて見えるようになるまでつける。標本の大きさによって異なるが、数日~数週間。

⑦硬骨の染色

80%エタノール70ml、1.5%水酸化カリウム水溶液30ml、アリザリンレッド2.5mgの割合で硬骨染色液をつくる。脊椎骨がしっかり赤く染まるまでつける。標本の大きさによって異なるが、数日~1週間程度。

⑧余分な色素を取り除く

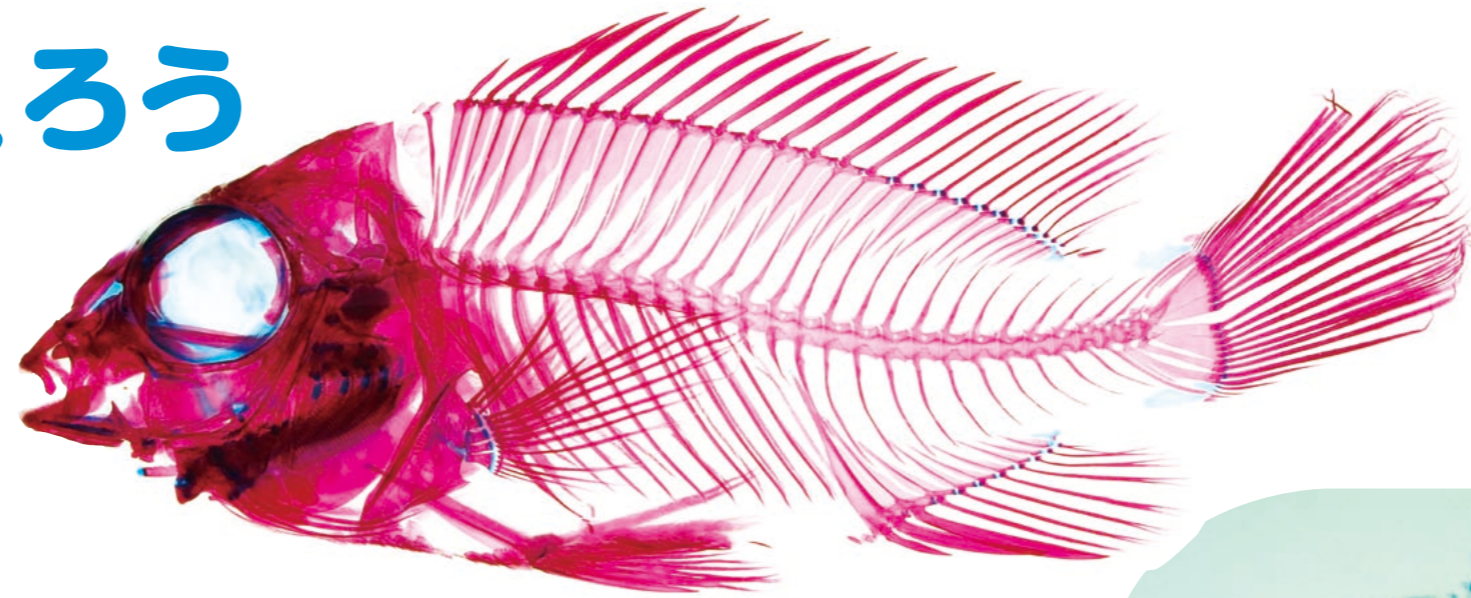
1.5%水酸化カリウム水溶液1、グリセリン1の割合でつくった液に、標本が沈むまでつける。

⑨透明化

100%グリセリンに標本が沈むまでつける。

⑩完成

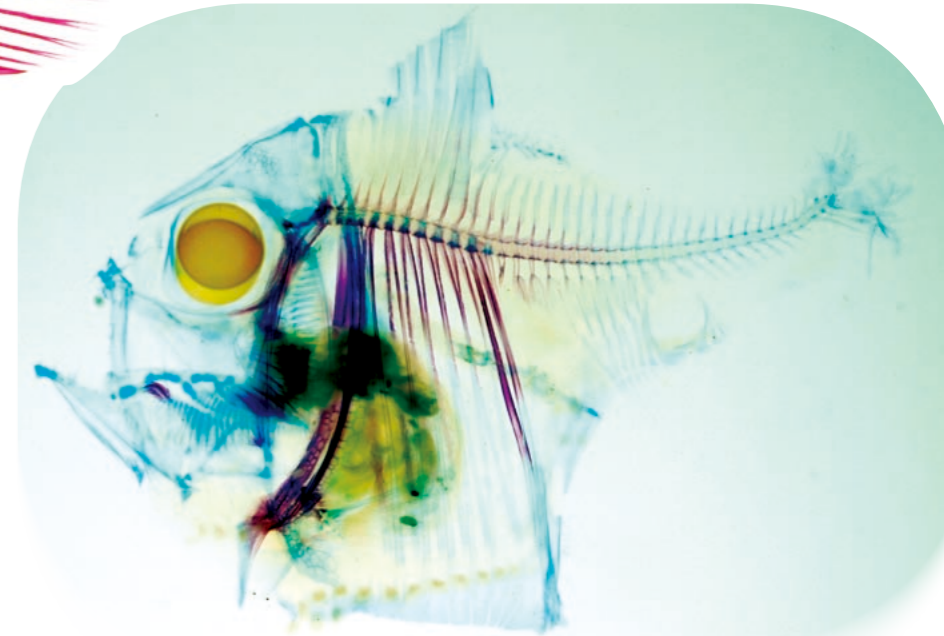
100%グリセリンを交換し、防腐剤としてチモールを数粒加えて完成。



スズメダイの仲間
透明標本ではレントゲン写真のように内部の骨格を観察することができる。べらべらに見える胸びれや尾びれにも、しっかりと硬骨が通っていることが分かる（撮影：藤原義弘）

ムネエソの仲間

深海魚である。硬骨魚類だが、硬骨の割合が少ない。腹側にある斑点は発光器があったところである。腹部の茶色い部分は消化器官の一部（撮影：藤原義弘）



■骨格を観察しよう

結合組織が残っているので、骨と骨のつながりは、生きていたときのままです。また、軟骨は青、硬骨は赤で染め分けられているので、それぞれの骨がどういう場所にあるかにも注目して観察してみましょう。

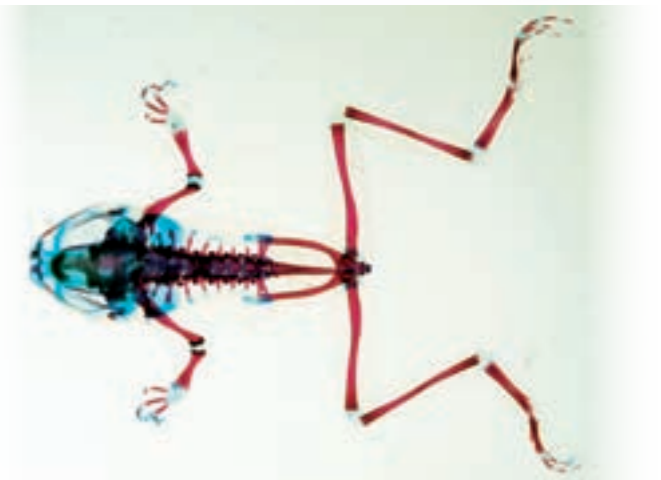
■いろいろな生物の透明骨格標本をつくってみよう

魚はどの種類も骨格のつくりは同じなのではないでしょうか？いろいろな種類の魚の透明骨格標本をつくって、脊椎の数や顎の構造など、骨格のつくりを比べてみましょう。

魚類以外でも透明骨格標本をつくることができます。たとえば、成体になりかけのオタマジャクシの透明骨格標本をつくれれば、生え始めた足が見えるでしょう。イカやタコはどうなるでしょうか？カニやエビは？予想しながら、いろいろ試してみましょう。BE

アマガエル

硬骨と硬骨のつなぎ部分に軟骨があることが分かる。小型個体のため、まだ頭部が十分に硬骨化していない（撮影：藤原義弘）



中・深層に暮らす魚類のなかには透明骨格標本の作製が難しいものも多く、骨がすぐにはばらばらになってしまいます。これは骨と骨との結合が、浅いところに暮らす魚ほど強くないためです。透明骨格標本をつくり、じっくり観察することで、生物のことをもっと知ることができるでしょう。



注意！！

薬品の使用や保管には十分気を付けましょう。

特別展で公開されたマッコウクジラとダイオウイカの実物大模型。日本近海を含む西部北太平洋には10万頭前後のマッコウクジラが生息しているとされ、年間3650万トンの餌を必要とする。その多くがダイオウイカをはじめ、深海にすむイカということになる。裏返せば、それだけ多くのイカが生息しているのだ。マッコウクジラの体表には、ダイオウイカとの格闘による傷跡が複数残っている。国立科学博物館では、常設展示にダイオウイカの液浸標本がある（撮影：STUDIO CAC）



ダイオウイカと窪寺博士（身長約176cm）。能登半島で定置網に入り、水揚げされたもの。人と比較するとその大きさがよく分かる（画像提供：国立科学博物館）



2004年の撮影成功に引き続き、2006年には窪寺博士がついに生きたダイオウイカを捕獲し、海面で暴れ回る様子を動画に撮影した。生きているときのダイオウイカの姿は、打ち上げられたものとはまったく異なり、とても美しい色彩を放っていたという（画像提供：国立科学博物館）

2004年、日本発のニュースが世界中を駆け巡った。——日本の国立科学博物館の窪寺恒己博士がついにやり遂げた！ジュール・ヴェルヌの小説にも登場した魔物がついにとらえられた！海の魔王、姿を現す！——反響はむしろ海外の方が大きかった。全長およそ18mともいわれる伝説の巨大なイカ、生きているダイオウイカの撮影に、ついに成功したのだ。

伝説とはいえ、ダイオウイカが存在していること自体は、以前から知られていた。世界中の海で、底引き網にかかったり、死にそうな個体が海岸に打ち上げられたりして、これまでも600体近くが目撃報告されている。しかし、生きている姿が映像でとらえられ、科学の目で確かめられたのはこれが初めてだった。水深約500~1000mの中深層に生息していると考えられるダイオウイカの生きている姿をとるのはそう簡単なことではない。イカは感覚器が優れ、また警戒心も強い。巨大イカを追い求めている世界中の研究者から、驚きと賞賛の声が寄せられた。

このとき撮影されたダイオウイカは、体と腕を合わせておよそ4.7m、2本の長い触腕を含む全長は8mを超えると推定された。これまでの記録では、北大西洋の全長18mが最大と考えられる。撮影されるまで、深海の巨大なイカは比較的ゆったりと行動しているのではないかと考えられていた。映像には、餌のスルメイカを捕ろうと触腕で抱え込み、巻き付いている様子や、その後逃げるために必至で泳ぐダイオウイカの様子がとらえられた。その姿は、考えられていたよりも、はるかに俊敏で激しいものだった。

研究のきっかけは、マッコウクジラの胃内容物の調査だった。マッコウクジラの胃内容物の95%は深海性のイカで占められている。40種類ほど見つかるそうしたイカの1つに、ダイオウイカも含まれていた。マッコウクジラが潜行する中深層に巨大なイカ類が、^{ぼくだい}莫大な生物量を持って潜んでいるのだ。マッコウクジラの胃を調べれば、人間にはなかなか手の届かない深海の生きものと出会うことができる。マッコウクジラの胃は、つまりは深海の窓だ。この窓を通して、海の生きものつながりを知りたい。それが研究テーマだ。しかし、残念なことにはこの窓には致命的な点がある。胃内容物の多くは消化されてしまい、真実の別の側面である生きている姿を見ることができない。

だから、また映像を撮るために海へと出る。生きもの本来の姿を見定めるために。

（取材協力：窪寺恒己／国立科学博物館 海生無脊椎動物研究グループ長）

■ Information: 国立科学博物館

〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20

TEL 03-5777-8600

URL <http://www.kahaku.go.jp/>

「うらしま」で熱水噴出孔を次々と発見し、新しい地球観を築く



浅田美穂 (あさだ・みほ)
1976年、千葉県生まれ。博士(理学)。筑波大学第一学群自然科学類地球惑星科学専攻卒業。東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。2009年、海洋研究開発機構研究員、現職に至る。専門は海洋地質学

浅田 美穂

地球内部ダイナミクス領域
地球内部ダイナミクス基盤研究プログラム
海洋底ダイナミクス研究チーム
技術研究副主任

深海底には、割れ目から染み込んだ海水が、海底下の金属などの物質を溶かし込んだ数百℃の熱水となって噴き出している場所がある。熱水噴出孔だ。浅田美穂 技術研究副主任は、深海巡航探査機「うらしま」で深海底の微細地形を探り、熱水噴出孔を次々と発見することで、その活動の全体像に迫ろうとしている。

撮影：STUDIO CAC

地球って何だろう

—海や地球に興味を持ったきっかけは？

浅田：小学校低学年のころ、海水浴中に沖まで流されて救助されたことがあります。どうあがいても自分では岸まで戻れない恐怖感を味わいました。実は同じころ、プールでもおぼれて救助されたり、雷や台風の暴風雨におののいたり……(笑)。水の存在とか、自然が持つ大きな力に対する驚異を感じていました。

中学生になると、「地球って何だろう」と興味を抱くようになりました。地球には広大な海があり、生命に満ちあふれています。なぜ、地球が現在の地球の姿になったのか、漠然と疑問に思いました。

高校のときには、光や音にも興味を持つようになりました。いま私の見ている緑色の光を、別の人も同じように緑色に見ているのだろうか。

私が聞いている音を、ほかの人も同じ音として聞いているのか、虫には違って聞こえるのか。でも疑問の解決方法がわかりませんでした。

そして筑波大学の第一学群自然科学類へ入学、4年生のときに、構造地質学が専門の小川勇二郎 教授の門をたたき、初めて海洋地質学に触れました。

ここにまた戻ってきたい

—研究室ではどのような研究テーマを与えられたのですか。

浅田：卒業論文の課題として、有人潜水調査船「しんかい2000」で撮影した相模湾初島沖の深海底総合観測ステーション周辺の観測ビデオを渡されました。そこでは複数の断層からメタンなどを含んだ冷水がわき出している場所があり、周囲にはその化学物質を利用して有機

物をつくる微生物がいます。さらにその微生物を体内に共生させて有機物を得ているシロウリガイという二枚貝が集まっています。私は、そのシロウリガイ群集の分布や配列の地図をつくり、地質学的考察を行いました。

そのビデオに映し出された深海底の世界がすごく新鮮だったんです。ときどき、ひゅつと深海魚が通り過ぎるくらい、青一色で静かな世界。「こんな世界が身近な海の底に広がっていたんだ。この世界をもっと見てみたい」と思い、東京大学大学院へ進み、海洋研究所(現・大気海洋研究所)で学び始めました。

大学院生になって初めて参加した調査航海は、フランスの調査船によるインド洋への航海でした。そして幸運にも、有人潜水調査船「ノチール」に乗せてもらうことができたのです。

—深海底の印象はビデオとは異なりま

したか。

浅田：ビデオで見ていた深海とはまったく違う奥行き感と、映像とは比較にならないほどスケールの大きな青く静かな世界に、圧倒されました。また、得られる情報量がまったく違いました。実際に自分の目で見ると、断層などの走向や規模、地質構造の空間分布を直感的にとらえることができるのです。実際の深海底を目の当たりにしてすっかり魅了され、「ここにまた戻ってきたい」と思い、博士課程へ進学しました。

海底調査で築かれた新しい地球観

—大学院ではどのような研究を進めたのですか。

浅田：新しく海底がつくられている「海嶺」について学びました。20世紀後半、海底の地形や地磁気などの詳しい調査が進められ、総延

長が約7万kmにも達する海底火山の連なりである海嶺の存在が明らかになりました。地球の表層は十数枚のプレート(岩板)に覆われています。海嶺で新しいプレートが生まれ、年間数cm～十数cmの速度で両側へ移動し、海溝でほかのプレートの下へ沈み込んでいきます。このような新しい概念、地球観が、当時の画期的ながらも地道な海底調査などによって築かれたのです。

—どのような方法で海底地形を調べるのですか。

浅田：海中では光や電波はすぐに減衰してしまうので、海底地形を調べるには音波を使います。近年、海底地形を調べる観測装置の性能が格段に向上しました。新しい観測装置で海底を調査するたびに、それまでになかった詳細なデータが得られる状況です。

現在の地球観は、古い観測装置による限られた精度・範囲の観測データによって築かれたものです。その概念がいまだに覆されないのは、当時の研究者に驚異的な先見の明があったからだだと思います。しかし、現在の理論では説明し切れないことが、調査を重ねるたびにでてきます。

最新の観測装置を使って深海底の地形などを詳細に観測することにより、新たな地球観を築くことが、きっとできるはずです。私は、微細地形の観測こそが、いまの海洋底科学に大きなブレークスルーをもたらすと信じています。

私は大学院で、サイドスキャンソナーという装置でとらえた北極海にある海嶺のデータを分析しました。サイドスキャンソナーは海底に向かって扇状の音波を出して、海底の凹凸や地質を調べます。このとき短い波長の音波を使



筑波大学の学部4年生のとき、スコットランドで開かれた学会に合わせて行われた研究室の先輩によるイギリス巡検に参加した。右はハットンの不整合面にて



東京大学大学院修士課程のとき、フランスの有人潜水調査船「NAUTILE（ノチール）」に乗り込み、インド洋の深海底を目の当たりにした

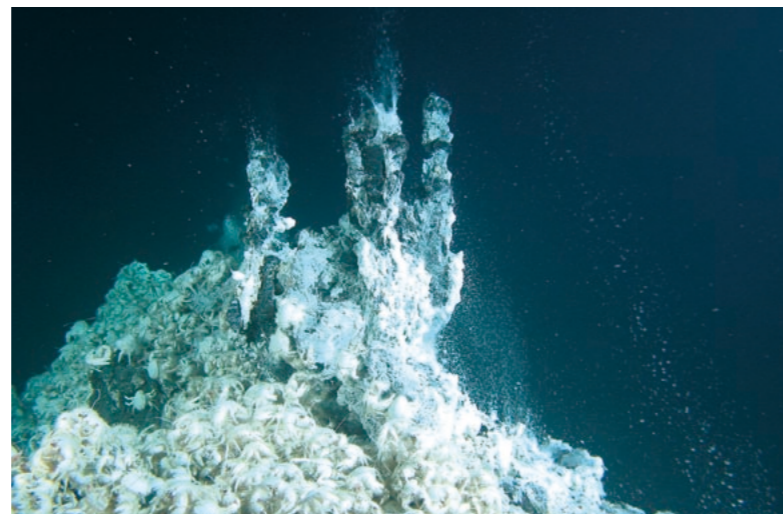
うほど、海底の細かい特徴をとらえることができます。しかし海中では短い波長ほど減衰しやすいので、装置を海底に近づける必要があります。近年の技術ではcmスケールの微細な地形の凹凸を知ることができるようになりました。海底近くでの高精度の調査には、最新の技術あるいは、これから開発される近未来の技術が必要不可欠です。

光で見渡すことができる深海底の世界はただかだか数十m程度と、とても限られています。音波なら数百mという広い範囲を一度に高精度で見渡すことができます。新しい調査が1つ終わると、見たことのない海底の特徴が必ず浮かび上がってきて、そのたびに海底の世界観が更新されます。私はサイドスキャンソナーを使って、世界中のさまざまなタイプの海嶺を見てみたいと思うようになりました。

熱水噴出孔と地球環境 —海嶺のどのようなポイントに注目しているのですか。

浅田：熱水噴出孔です。海底深くまで染み込んだ海水が熱せられ周囲の岩石と反応し、金属などを溶かし込んだ熱水となって海底から噴き出している場所です。熱水噴出孔では金属が堆積してマウンドをつくったり、チムニーと呼ばれる煙突状の地形をつくったりしていま

す。チムニーの高さは数m、大きいものでは数十mにもなります。その周りには熱水に含まれているメタンなどの化学物質を利用して有機物をつくる微生物や、その微生物と共生するさまざまな生物が繁殖しています。



球全体の生態系にも大きな影響をもたらしているかもしれません。

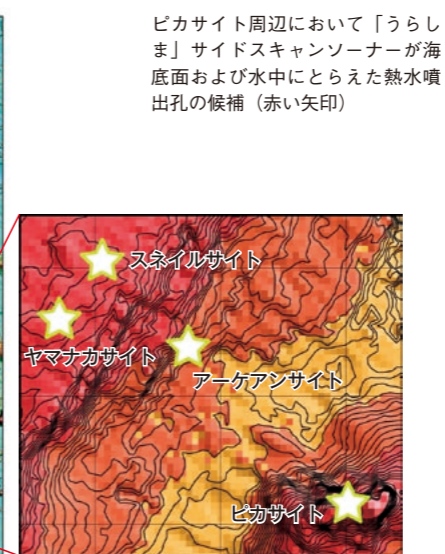
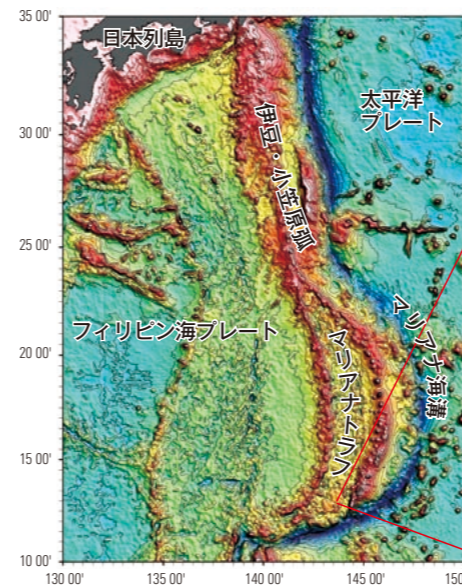
しかし、そもそも世界中のどこにいくつの熱水噴出孔があり、どのくらい活発に活動しているのか、まったく分かっていません。それでは地球環境や生態系に与えている影響を議論することができません。これまで、海底地形や水温・化学組成などさまざまな観測データを手掛かりに、熱水噴出孔を探す調査が行われてきました。しかし、1ヵ所の熱水噴出孔を特定するだけでも大変なんです。

数m～数cmの分解能を持ち、地質も調べることができるサイドスキャンソナーを使えば、熱水噴出孔を次々と見つけることができます。

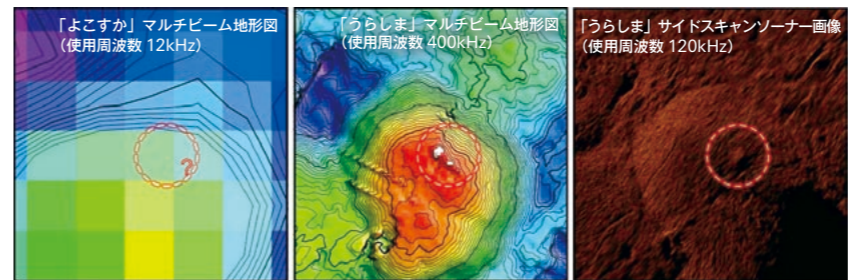
ある拡大速度・条件下の海嶺において、どのような活動規模の熱水噴出孔がどれくらいの頻度で発生するのかという法則を、私はサイドスキャンソナーを使って導き出したいのです。それが分かれば、地球全体にどれくらいの個数・活動規模の熱水噴出孔があるのかを推計して、その活動が海や大気、生態系に与える影響を具体的に議論することができるようになります。

「うらしま」で熱水噴出孔を次々と見つける —これまで、サイドスキャンソナーで、熱水噴出孔を次々と発見しようという試みはなかったのですか。

浅田：実はサイドスキャンソナーの観測には大きな課題があります。サイドスキャンソナーを搭載した探査機の姿勢が安定していないと、高精度のデータが得られないのです。船からケーブルで引っ張る曳航体では、海流や船の姿勢に影響を受けて姿勢が安定しません。サイドスキャンソナーで観測してもノイズが



2009年、浅田副主任たちは支援母船「よこすか」と「うらしま」により、南部マリアナトラフの調査を行った



すでに熱水噴出孔が発見されている「ヤマナカサイト」周辺を音波で観測した画像。「うらしま」は海底から約100mの高さを航行して観測。点線で囲んだ場所に、ヤマナカサイトと見られる特徴的な海底の構造がとらえられている

大きく、熱水噴出孔のような微細地形をとらえることは困難です。
—その課題を解決できる方法があるのですか。

浅田：ケーブルにつながれることなく自由に航行でき、海流に応じて姿勢や航行速度をコントロールして、姿勢を安定に保ちながら広い範囲を観測できる探査機が必要です。それを実現できる素晴らしい探査機が海洋研究開発機構(JAMSTEC)にはあります！深海巡航探査機「うらしま」です。「うらしま」は自律型無人探査機(AUV)、いわば海中ロボットです。

私は2009年にJAMSTECに入り、早速、南部マリアナトラフの海嶺を調査する機会に恵まれました。「うらしま」のサイドスキャンソナーを使って数cmの分解能で微細地形の観測を行い、熱水噴出孔と考えられる地形をいくつか見つけることができました。

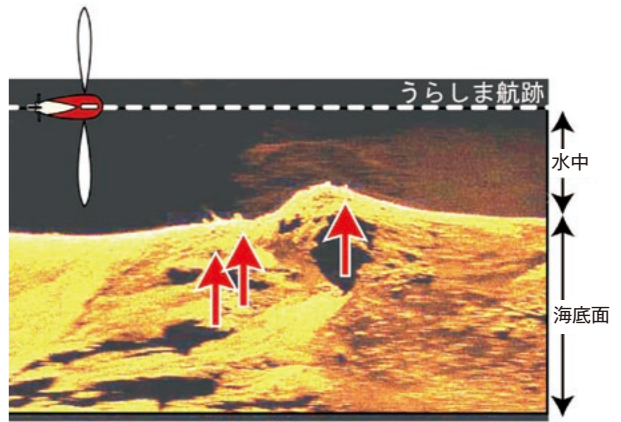
それが本当に熱水噴出孔なのかどうか、確認する必要があります。2010年8～9月、さまざまな研究者の協力のもと、有人潜水調査船「しんかい6500」による調査が行われました。私自身も「しんかい6500」に乗り込み、「うら

しま」のサイドスキャンソナーがとらえた地形を、目の当たりにすることができました。その調査結果を、近日中にプレスリリースで皆さんに報告する予定です。音波による観測データだけで熱水噴出孔を発見した例はいままでにはありません。世界初となる発見を報告できるかもしれません。

このような検証を何回か行うことで、サイドスキャンソナーによるデータを熱水噴出孔の存在と結び付け、熱水噴出孔を次々と見つける技術を確認したいと思います。そしてその技術を使って世界中のさまざまなタイプの海嶺を観測することを目指しています。

大切なのは、続けること —研究者を目指している「Blue Earth」の若い読者にアドバイスをください。研究者になるには、何が必要ですか？

浅田：私も学生のとき、指導教官に同じ質問をしたことがあります。「必要なのは能力」といわれたことは一度もありません。「研究を続ける意志を持つことです。研究をやめない人が研究者になることができます」といわれました。



2010年9月、「しんかい6500」に乗り込み、「ピカサイト」周辺を調査する浅田副主任

海洋研究所でポスドク(博士研究員)をしているときに子どもを産み、研究を続けられるものかとても迷いました。でも、「やめないこと、可能性がある限り継続すること」と周囲に励まされました。

—続けることは簡単ではないですね。

浅田：とても難しいです。息子は3歳になったばかり。研究と子育てとの両立に、力尽きそうになることがあります。

自分の能力に疑問を持ち、悩むこともあります。周りのみんなより数学的な知識がなくて、コンピュータのプログラムを書くのも苦手です……。自分は研究の現場にはいけないのではないのか、という気持ちになります。しかし、「それでは駄目だ。自分の長所を見つめ直して、それを生かせる研究の方向があるはずだ」と思い直し、いまに至っています。

答えが分からない疑問にぶつかり、それを解決しようとする研究のスタイルが、私は大好きです。地球って何だろう、という中学生のころからの根本的な興味に突き動かされて、研究を楽しんでいます。どんな困難があっても、決してあきらめずに研究を続けていく覚悟です。BE

海水の塩分→

深層循環→気候変動

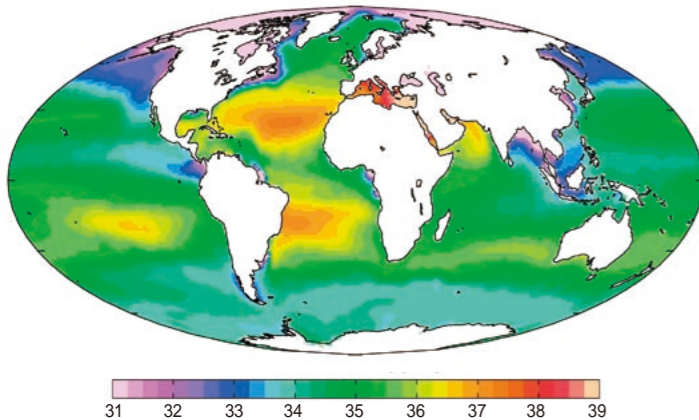
1 ポイント 海水がしょっぱい理由

海水にはさまざまな物質が溶け込んでいます。最も多いのは塩素イオンで、海水に溶けているすべての物質の重さの約55%を占めます。次がナトリウムイオンで、約31%を占めています。塩素イオンとナトリウムイオンが結び付くと、塩化ナトリウム、いわゆる食塩になります。だから、海水はしょっぱいのです。

塩化ナトリウムは、「塩類」と呼ばれる化合物です。海水には塩化ナトリウム以外にも塩化マグネシウムや水酸化ナトリウム、塩化カリウムなど、さまざまな塩類がイオンの状態で溶け込んでいます。「海水の塩分は3.5%」と、理科で習った数値を覚えている人もいるでしょう。この数値には、塩化ナトリウムだけでなく、すべての塩類の量が含まれます。

2 疑問 塩分はどこでも同じ？

海水の塩分は平均3.5%ですが、場所によって少しずつ違います。たとえば、蒸発が盛んな海域では塩分は高くなり、降水が多い海域では塩分は低くなります。河川から真水が流れ込んでくる沿岸域も、塩分は低くなります。全海洋の海面の塩分を見ると、北大西洋は高く、北太平洋は低いという特徴があります。



▲海洋の表面塩分（年平均）

海水1kg中に溶けている塩類のグラム数を表している。紫や青は塩分が低く、赤は塩分が高い（World Ocean Atlas 2005より）

3 確認 重い海水と軽い海水

ここで、海水の「密度」を考えてみましょう。塩分が高い海水には多くの塩類が溶けているので密度が大きく、塩分が低い海水は密度が小さくなります。密度が大きい「重い」海水は沈み、密度が小さい「軽い」海水は上昇します。密度の差は、海水を動かす原動力になるのです。

海水の密度を決めているのは塩分だけではなく、水温も関係しています。冷たく塩分が高い海水は密度が大きく、暖かく塩分が低い海水は密度が小さくなります。さらに、大きな水圧がかかる、つまり深くなるほど、密度が大きくなります。

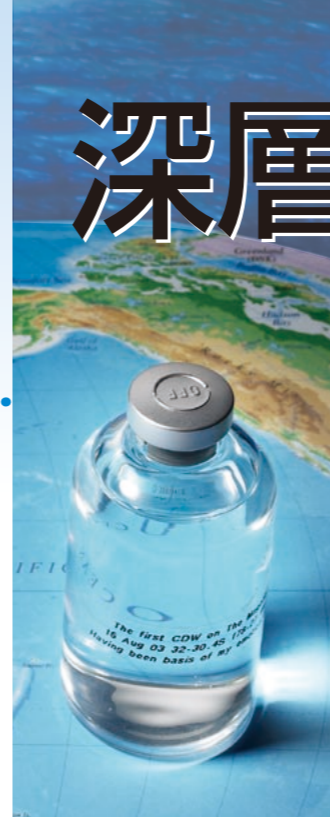
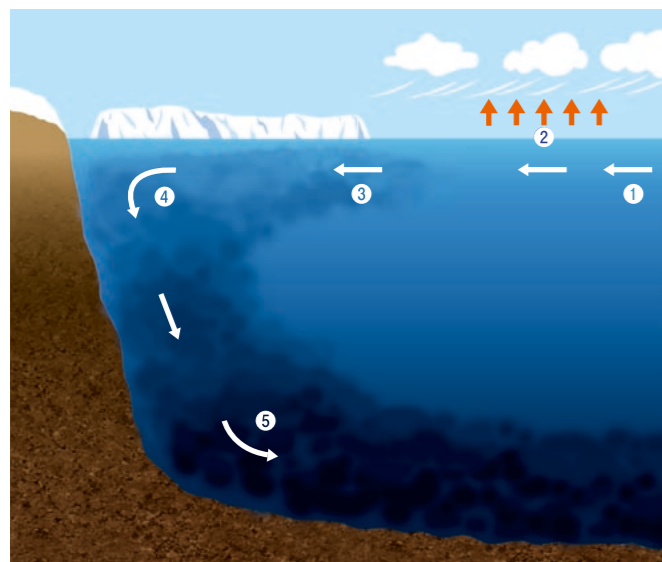
4 ポイント 海水が沈み込む場所

大西洋には暖かく塩分の高い海水があります。この海水はメキシコ湾流によってグリーンランド沖まで運ばれていきます。そのあたりは、水温より大気温度の方が低いので、海水は大気に熱を奪われ、冷やされます。そして約マイナス1.8℃になると、海水は凍り始めます。

ところで、海水はしょっぱいのでしょうか？ 答えはノーです。約マイナス1.8℃になると海水中の真水だけが凍り始め、塩類は濃縮されて氷の結晶と結晶のすき間に閉じ込められます。その高濃度の塩水は、やがて海中へ排出されます。すると、海水の下にはとても冷たく塩分の高い海水ができます。この海水は密度がとても大きいので、深くまで沈んでいきます。

◀グリーンランド沖で海水が沈み込む仕組み

- ① 暖かく塩分の高い海水がグリーンランド沖に運ばれてくる
- ② 海水の熱が大気に奪われ、海水は冷やされ、大気は暖められる
- ③ 冷たく塩分の高い海水ができる
- ④ 海水が凍って氷ができ始めると、さらに冷たく塩分の高い海水ができる
- ⑤ 冷たく塩分の高い海水は沈み込んでいく



海洋地球研究船「みらい」による南半球周航観測航海 BEAGLE2003にて、オーストラリア東方沖の深度4,200mから採取した海水。南極アデリー海で沈み込んだ南極周極深層水である（撮影：田中章雅）

海水をなめたことはありますか？

しょっぱかったでしょう。

海水には塩化ナトリウムなどの塩類が溶けているからです。

理科の授業で、海水を煮詰めて塩を取り出す実験をした人もいないのではないでしょうか。

海水の塩分は平均3.5%ですが、濃度が高いところ、低いところがあります。

塩分が高い「重い」海水は沈み、低い「軽い」海水は上がってきます。

海水の塩分は、水温とともに、海水を地球規模で動かす原動力になっているのです。

そして、世界を巡る海水の流れは、気候変動とも深くかかわっています。

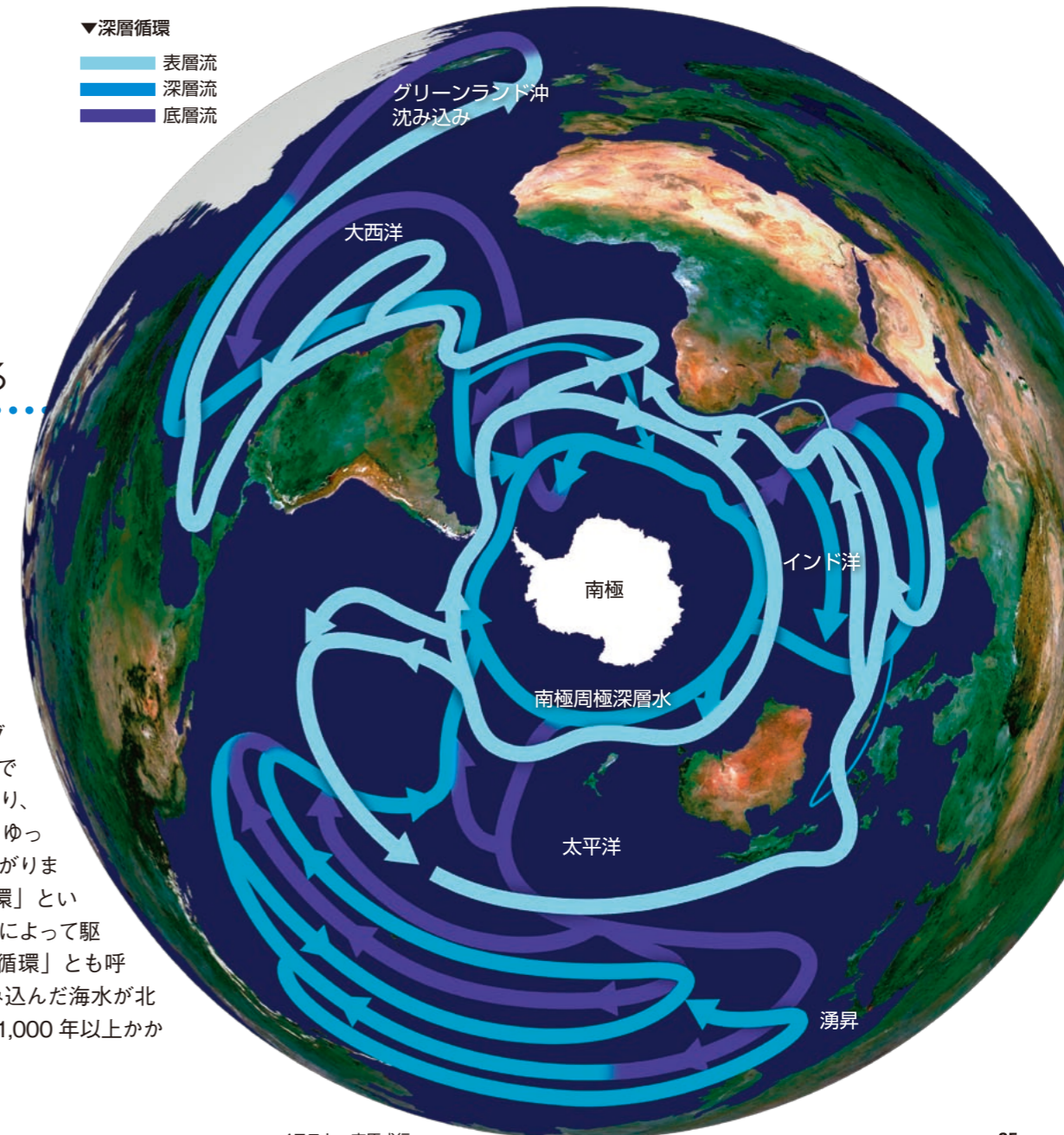
取材協力 内田 裕 地球環境変動領域 海洋環境変動研究プログラム 海洋循環研究チーム 技術研究主任

5 まとめ

海水は世界を巡る

北大西洋のグリーンランド沖で沈み込んだ冷たく塩分の高い海水は、深層をゆっくり流れ、南下していきます。また南極大陸の周りでも、暖かい海水が氷床や氷山から吹き下ろす冷たい風に熱を奪われて冷やされ、沈み込みが起きています。それがグリーンランド沖で沈み込んで流れてきた海水と一緒に、インド洋や太平洋の深層をゆっくり北上し、やがてわき上がります。この流れを「深層循環」といいます。塩分と水温の違いによって駆動されることから、「熱塩循環」とも呼ばれます。北大西洋で沈み込んだ海水が北太平洋でわき上がるまで、1,000年以上かかると考えられています。

▼深層循環
 表層流
 深層流
 底層流

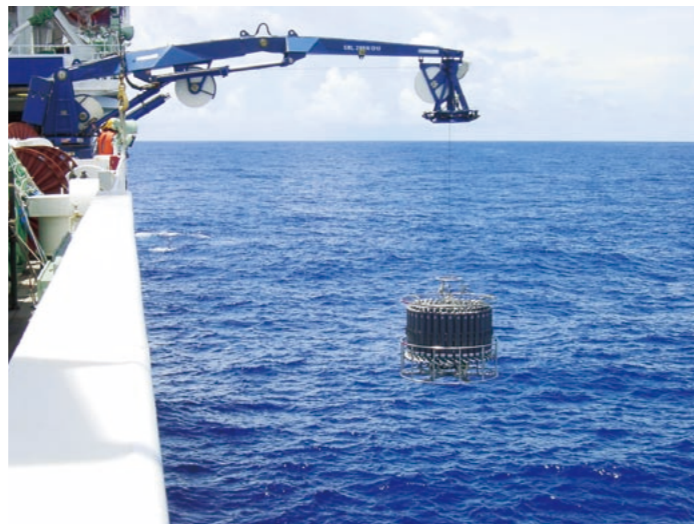


イラスト：吉原成行

海のなかを調べる

前ページで深層循環の図を紹介しましたが、細かい経路や流量など、まだ分かっていないこともたくさんあります。深層循環を理解するためには、その流れを生み出す海水の塩分や温度の分布を、全海洋について詳しく知らなければなりません。海洋研究開発機構 (JAMSTEC) では、海洋地球研究船「みらい」で航海して観測しています。

観測には CTD / RMS システムを使います。CTD は Conductivity (電気伝導度)、Temperature (水温)、Depth (深度) の頭文字、RMS は Rossette Multi Sampler (多筒採水器) の頭文字です。CTD で電気伝導度、水温、深度 (圧力) を計測しながら海底まで下ろし、引き上げながら RMS で 36 の異なる深度の海水を採取します。



▲CTD/RMSシステム
中央に電気伝導度、水温、深度を計測するCTDがあり、外側に並ぶ36本の採水器がRMSである

深層循環は気候変動とつながっている

深層循環を知ることは、気候変動を理解するためにも重要です。海洋と大気は、熱のやりとりをしています。特に、海水が沈み込むグリーンランド沖や南極周辺では、海水が持っている熱を奪って、大気が暖められています。もし深層循環が弱まれば、大気が暖められなくなり、地球が寒冷化してしまうと考えられています。

太平洋の底層の水温が上昇していた

JAMSTEC は水産庁およびカナダ海洋科学研究所と共同で、1999年に北緯47度に沿って北太平洋の横断観測を行いました。この測線は1985年にも観測されています。2回の観測で得られた水温のデータを比較すると、4,000m以深の底層の水温が約0.005°C上昇していることが明らかになりました。

さらに、太平洋を南北、東西に切る8つの測線で行った観測結果から、南極で沈み込んだ南極周極深層水が北上する経路にあたるすべての海域で、5,000m以深の底層の海水の貯熱量が増加していることが分かりました。南の方が変化が大きく、北に行くほど変化が小さくなっています。

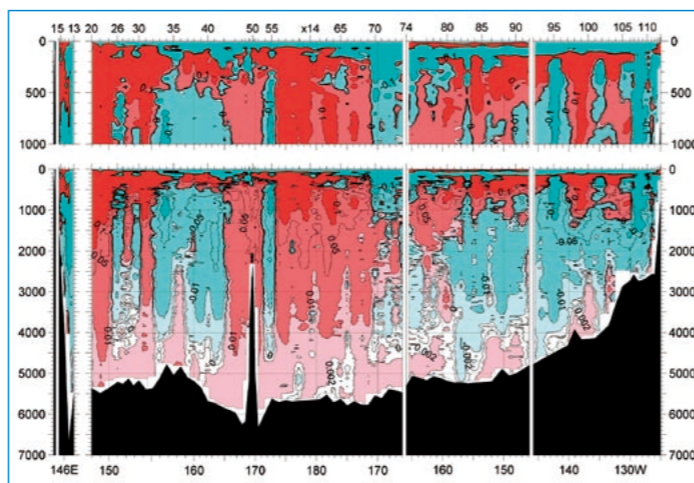
原因は40年前の南極アデリー海岸沖

JAMSTEC では、太平洋の底層の水温が上昇した原因を突き止めるために、「データ同化システム」を使いました。データ同化システムとは、実際の状態は詳細に分かるが地球全体はカバーできない「観測研究」と、地球全体を扱えるが実際の状態と異なっているかもしれない「モデル研究」の利点を合わせた手法です。観測データをモデルに組み込んでシミュレーションすることで、より正確に現実を再現し、未来や過去を予測・再現することができます。

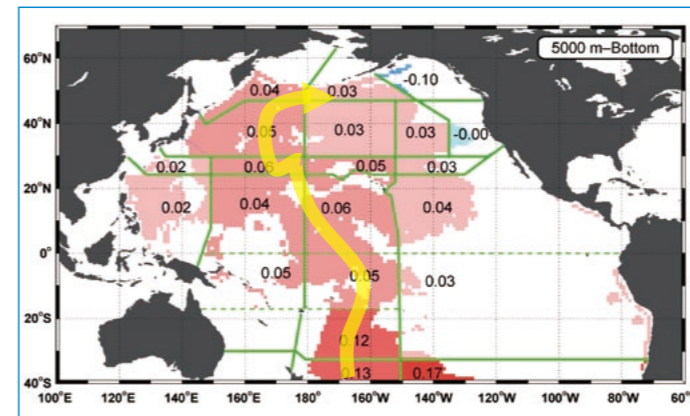
北太平洋の底層の水温が上昇した原因を、データ同化システムを使って「地球シミュレータ」で計算した結果、約40年前に南極のアデリー海岸沖で冷たい海水がつけられ



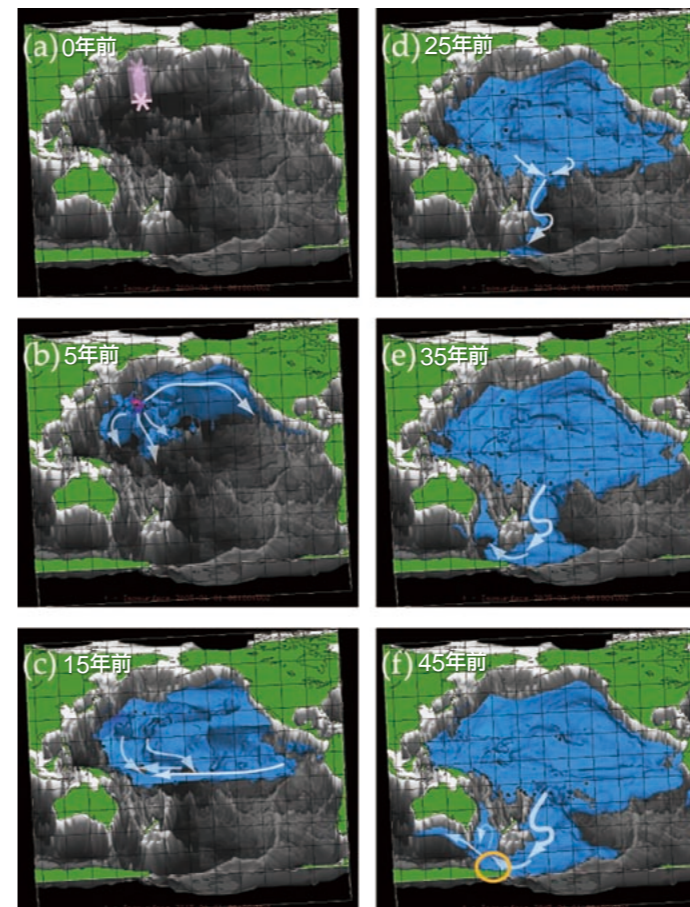
▲採水の様子
採水器から海水をボトルに採る。採水した海水の塩分を精密に測定し、CTDで計測する塩分を高精度で補正する



▲北太平洋 (北緯47度) における深層の昇温
1999年と1985年の観測で得られた水温のデータを比較した結果、4,000m以深の底層の水温が14年間で約0.005°C上がっていることが明らかになった (ピンクの部分) (Fukasawa et al., 2004)



▲南極周極深層水の経路に沿った昇温
北緯30度、南緯32度、東経179度など、太平洋における8つの測線の観測から明らかになった、5,000m以深の海水が蓄えている熱量の変化を示している。南極で沈み込んだ「南極周極深層水」の経路 (矢印) に沿って、貯熱量が増加していることが分かる (Kawano et al., 2010)



▲北太平洋で観測された底層の水温上昇の原因
北太平洋の底層 (aの*) で水温上昇が観測された。データ同化システムを使って「地球シミュレータ」で、その原因を過去にさかのぼって計算した。aの*での水温上昇に影響を与えた海域を青色で示している。約40年前に南極アデリー海岸沖 (fの丸印) で海水が冷やされず、沈み込む冷たい海水の量が減ったことが分かった (Masuda et al., 2009)

内田 裕 技術研究主任



教科書にはたくさんの知識が入っています。でも、現場に行かないと分からないこと、できないこともあります。船に乗って観測をしていると、新しい発見の期待にわくわくし、何よりダイナミックな地球を肌で感じることができます。

る量が減ったことが原因であることが明らかになりました。しかし、アデリー海岸沖で沈み込んだ海水が北太平洋までたどり着くには800年ほどかかります。わずか40年で北太平洋まで影響が及んだのはなぜなのでしょう？沈み込む冷たい水の量が減ったことで、海水の層構造が変化します。その変化が層と層の境界を波のように伝わることで、実際に海水が到達するより早く北太平洋底層の水温構造を変化させたと考えられています。

より多くの場所で、繰り返し、より精度よく

底層の水温上昇は、太平洋だけでなく、インド洋や大西洋でも発見されています。南極周辺での海水の沈み込みが全体に弱まっているのかもしれませんが、だとしたら、海水から大気への熱の移動が少なくなり、すでに気候変動に影響を与えている可能性があります。

深層循環の変化をいち早くとらえるためには、多くの観測点で、繰り返し観測することが必要です。船舶による観測だけでは限界があるため、人工衛星やアルゴフロートも不可欠です。アルゴフロートは、10日に一度、水深2,000mまでの水温と塩分を計測して衛星経由でデータを送ってきます。現在、世界中の海で3,200本以上が活躍しています。

海水に現れる変化は、ほんのわずかです。塩分や水温をいかに精度よく測定するかが重要になってきます。「みらい」のCTDでは1000分の1°Cの精度で水温を測ることができます。

塩分は、海水に含まれるイオンの量によって電気伝導度が変わることを利用して求めており、1000分の1の精度で測定可能です。しかし、ケイ酸塩などの電気伝導度に変化をもたらさない物質が溶けている場合、電気伝導度から求めた塩分と水温と水圧の3要素から求める海水の密度は、現実の密度と異なります。たとえば、北太平洋深層での両者の密度の差は100分の2にも達します。そのため、ユネスコ政府間海洋学委員会において2009年、電気伝導度から求める塩分から、すべての溶存物による絶対塩分へと、塩分の定義が変わりました。JAMSTECでは深層循環の量や変化をより正確に把握するために、電気伝導度から求めた塩分に加え、ケイ酸塩などの溶存成分を高精度に測定するとともに、海水の密度を高精度に直接測定する技術も開発中です。

インド洋へ、そして南極へ

JAMSTECでは2011年、「みらい」によるインド洋の観測航海を計画しています。そして、2012年には南極周極深層水が沈み込む場所を含む、南極周辺の観測航海を行います。いずれも深層循環を理解し、その変化をとらえる上で重要な海域ですが、これまであまり観測が行われていませんでした。大きな発見があると期待されています。 **BE**



写真提供：新江ノ島水族館・JAMSTEC



写真提供：新江ノ島水族館・JAMSTEC

図1 スケーリーフット

硫化鉄で覆われた貝殻とろうこを持つ、世界で唯一の生物。表面は黒く、金属のような光沢を放っている。全長3~4cm。赤い突起は触角



写真提供：新江ノ島水族館・JAMSTEC

写真提供：新江ノ島水族館・JAMSTEC



▲うろこの拡大写真（正面付近）。人間のつめと同じように、皮膚で形成されて体表に出てくると考えられている

◀正面部分を下から見上げると、触角の間に小さなおちょぼ口が見える

◀足の外側のうろこで包み込んで、やわらかいおなかの部分を守っている様子

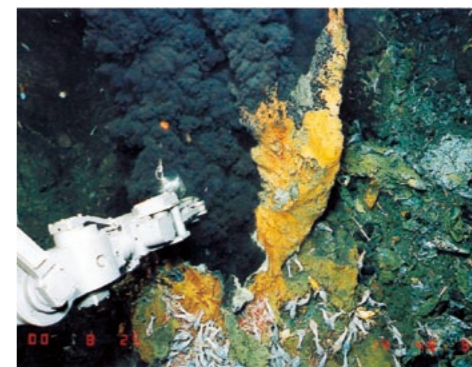
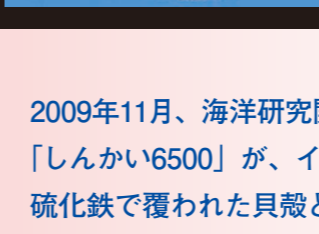
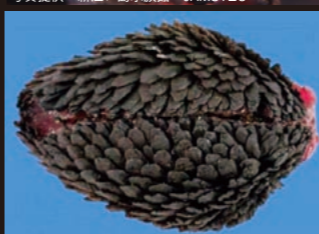


図2 熱水を噴き出すチムニー

インド洋中央海嶺の熱水噴出域「かいいいフィールド」には、煙突のようなチムニーが林立している。海底から300℃以上もの熱水が噴き出し、海水で冷やされて析出した成分が蓄積してチムニーができる。チムニーの周りには、熱水に含まれる硫化水素を栄養として生きる熱水噴出孔生物が密集している

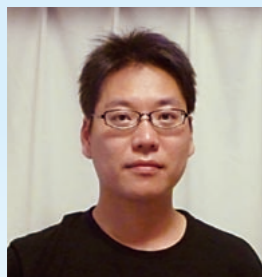


図3 スケーリーフットの大群集

「かいいいフィールド」のチムニーに群がる大量のエビやカニの足元には、スケーリーフットの大群集がいた（赤い線で囲った部分）。少なくとも数千匹以上のスケーリーフットが、積み重なりながらびっしりとチムニーを覆っていた

防御力：100 すばやさ：0 深海『ヨロイ』貝の研究速報

2010年2月20日 第108回地球情報館公開セミナーより



海洋・極限環境生物圏領域
深海・地殻内生物圏研究プログラム
研究員

和辻智郎

わつじ・ともお。1973年、兵庫県生まれ。農学博士。2003年筑波大学大学院博士課程修了。日本大学生物資源科学部にて21世紀COEプログラムのプログラム研究員として、微生物間の共生の研究に従事。4年間のプロジェクト終了後、2007年に海洋研究開発機構に入所。専門は、深海生物と微生物の共生

「防御力：100 すばやさ：0」、つまり防御力に特化した生き物であるスケーリーフットについてお話します。スケーリーフットは和名を「ウロコフネタマガイ」といい、貝殻の全長が3~4cmの巻き貝です。スケーリーフット (Scaly foot) とは「うろこのある足」という意味で、その名前の通り、軟体部 (足) がかたいうろこで守られています (図1)。重なり合ううろこを持つことだけでも、ほかの貝に見られない唯一の特徴です。さらに、このうろこ貝殻は黒い硫化鉄で覆われ、常識を超えた姿をしています。

硫化鉄は、硫黄と鉄からできた金属です。この「鉄のよろい」によって、スケーリーフットは捕食者から身を守っていると考えられています。スケーリーフットは動きがとて鈍く、赤い触角だけがよく動きます。触角を含む頭部とおなか、うろこや貝殻で覆われていません。しかし、頭は硫化鉄で覆われた貝殻のなかに引っ込めて

しまえば安心です。また横倒しになっておなかのやわらかい部分が露出したら、外側のうろこで包み込んで防御します。

インド洋での大発見

スケーリーフットは、インド洋の水深2,500mにある熱水噴出域「かいいいフィールド」で見つかりました。かいいいフィールドは、2000年にインド洋で初めて発見された熱水噴出域です。

熱水噴出域とは、地殻に染み込んだ海水がマグマの熱で高温の熱水となり、海底から噴き出している場所です。熱水は煙突のようなかたちをした「チムニー」から噴出し、その周辺には熱水に含まれる硫化水素を栄養として生きる特殊な生物群が生息しています (図2)。それらの生物たちは「熱水噴出孔生物群集」と呼ばれ、1977年にガラパゴス諸島沖で初めて発見されました。その後、大西洋や太平洋など世界各地で次々と見つかり、熱水噴出孔

2009年11月、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の有人潜水調査船「しんかい6500」が、インド洋の深海にある熱水噴出孔を調査した結果、硫化鉄で覆われた貝殻とろうこを持つ巻き貝「スケーリーフット」の大群集を発見しました。その一部を捕獲し、船上でスケーリーフットの長期飼育・実験に世界で初めて成功しました。硫化鉄がつけられる仕組みをはじめ、スケーリーフットの謎に迫る研究をご紹介します。

生物群集がどのように進化して世界中に伝播したかが、大きな謎になっていました。太平洋からインド洋を経て大西洋に伝播したという仮説が立てられましたが、当時、インド洋では熱水の兆候が観察されていただけでした。そこで、「ミッシングリンク」のインド洋で熱水噴出域、そして生物群集を発見すべく、世界各国が競争を繰り広げました。

日本も、インド洋中央海嶺のロドリゲス三重点というところで、1993年から熱水噴出域の探査を実施していました。そして2000年、JAMSTECの無人探査機「かいいい」と深海調査研究船「かいいい」によって、ついにインド洋で初めて熱水噴出域を発見し、船の名前にちなんで「かいいいフィールド」と命名したのです。同時に、熱水噴出孔生物群集も発見しています。

一方、その翌年にアメリカがかいいいフィールドを調査し、ほかの熱水噴出孔にはいなかったスケーリーフットを発見・捕獲

しました。日本も負けていられないと、2002年にかいいいフィールドの調査を行い、スケーリーフットの捕獲に成功しました。さらに2006年には、「しんかい6500」でスケーリーフットの分布を詳細に調べ、かいいいフィールドの文殊チムニーという限られた場所に、わずかな数しか生息していないことが分かりました。

ところが2009年、私たちは「しんかい6500」で調査を行い、数千匹を超えるスケーリーフットの大群集を発見しました (図3)。チムニーには、カイレイツノナシオハラエビや、スケーリーフットの敵である肉食のロドリゲスユノハナガニなどがたくさん群がっていました。このエビやカニを遠ざけると、チムニーの外壁にぴったり密着したスケーリーフットの大群集が現れたのです。2006年の調査では、アルビンガイという巻き貝が大部分を占めていた場所です。それが、今回は見渡す限りスケーリーフットで埋め尽くされていたのです。わずか3

年の間に何が起きたのか分かっていませんが、大変驚かされました。

鉄壁の防御は本物か？

スケーリーフットは世界中の研究者から注目され、いくつかの研究結果が報告されています。過去には、スケーリーフットのうろこが結晶性の硫化鉄で覆われ、強度的に優れたものであることを、JAMSTECの鈴木庸平研究員 (現 産業技術総合研究所深部地質環境研究コア 研究員) らが明らかにしています。

最近では、スケーリーフットの貝殻についての論文も出ました。通常の巻き貝が持つ2層の貝殻構造に加えて、スケーリーフットの貝殻には硫化鉄の結晶でできた外層があることが分かりました (図4)。直径20ナノメートル (nm) の粒子状の硫化鉄が1,500個ぐらい積み重なり、30マイクロメートル (μm) の薄い層をつくっています。硫化鉄の結晶は強い磁性を持っているため、貝殻もろこも磁石にくっつきます。

外層の下にはタンパク質の殻皮層、さらにその下には炭酸カルシウムのアラゴナイト層があります。普通の巻き貝は殻皮層が薄いのですが、スケーリーフットの殻皮層はとて厚いという特徴があります。

さらにアメリカの研究者が、貝殻の各層



の強度を測ることに成功しました。硫化鉄から成る外層の強度は28.8GPaで、敵の攻撃に耐えられるほどかたいことが分かりました。殻皮層の強度は8.0GPaでやわらかく、アラゴナイト層の強度は98.9GPaでかたいことも分かりました。さらに各層を組み合わせると強度を測った結果、やわらかい殻皮層が防御力を上げているという結論に至りました。このやわらかい層は、攻撃されたときの力を分散させる機能があったのです。「かたい・やわらかい・かたい」という貝殻のサンドイッチ構造が、防御にとって重要なのです。

外層の表面は細かい波状になっていて、これが防御力を高めていることも分かってきました。波状になっていると横からの攻撃に

も耐えられる上に、内側にやわらかいタンパク質の層を囲むことができるので、攻撃された力を分散する効果が上がるのです。

こうしたスケーリーフットの殻の優れた構造は、強度が必要な水道管のパイプや人工の骨、飛行機などにも応用できる可能性があります。

外層と体内に密集する共生菌

うろこを覆っている硫化鉄の外側にバクテリアの層があることを、アメリカの研究者が発見しました。確かに、スケーリーフットを捕まえてうろこに触ると、少しぬめっとします。うろこから採取したバクテリアのDNAを解析すると、イプシロンプロテオバクテリアに属する硫黄酸化細菌に似ていることが分かりました。デルタプロテオバクテリアに属する硫酸還元菌に似たものもいました。しかし、それらの外部共生菌が実際に硫黄を酸化するかどうか、硫酸を還元するかどうかは、まだ分かっていません。

スケーリーフットを縦に切ると、おなかと背中の中に消化管が観察されます(図5B)。この消化管の細胞のなかに、内部共生菌をたくさん飼っていることが分かっています。細菌と共生するほかの貝はすべて、えらに共生菌を飼っています。このことから、スケーリーフットは深海の変り者であるといえます。

内部共生菌のDNAが解析されると、ガンマプロテオバクテリアに属する硫黄酸化細菌に似ていることが明らかになりました。しかし内部共生菌もまた、本当に硫黄を酸化しているかどうかは分かっていません。

長期飼育に成功

以上が、スケーリーフットについて、これまで明らかになっている知識です。それらはすべて、観察もしくは死んだ標本でも可能な実験によって明らかになったものでした。そこで私は、「生きたサンプルでなければできない研究をしよう」と考え、2009年の調査航海に挑みました。

まず記事の冒頭で紹介したように、2009年11月にスケーリーフットの大群集を発見し、その一部を採集しました。そして日本への帰路、私は支援母船「よこすか」でスケーリーフットの飼育に挑戦しました。天気がよく海が穏やかな日もあるのですが、高波が船に入り込み、船が沈むのではないかと思う日もありました。マラッカ海

峽は海賊が出るので、船の周りに有刺鉄線を張り、ドアにはつっかい棒をして防御していました。そういう大変な思いをしながら、スケーリーフットを飼育し、さまざまな実験を行いました。

飼育にあたっては、スケーリーフットの生育環境に近づけるため、現場の温度や低酸素状態を保つことができるよう、厳重に管理しました。スケーリーフットは幸運にも急激な水圧変化に耐えられる生物でしたので、大気圧下で飼育することができました。そして、スケーリーフットを3週間以上にわたって飼育することに成功し、スケーリーフット飼育の世界最長記録を更新しました。

外部共生菌が硫化鉄をつくる?

私は今回、3つのテーマを掲げて研究に取り組みました。1つ目は、「外部共生菌が外層を形成する硫化鉄の粒子をつくっている」という仮説の検証です。硫化鉄の粒子が金属光沢を放つ結晶性の層に形成されることから、スケーリーフット自身もその形成にかかわっていると思いますが、硫化鉄を生み出すのは外部共生菌だろうと予測して、実験を進めました。

まず、デルタプロテオバクテリアに属する硫酸還元菌に注目しました。硫酸還元菌は、硫酸から硫化水素をつくります。その硫化水素と熱水に含まれる鉄が反応して、硫化鉄ができるのではないかと予測しました。さらに、硫化水素をつくる過程で水素を使うのではないかと仮定しました。「かいれいフィールド」で噴出している熱水は、ほかの噴出域の熱水と比べて水素を多く含んでいるので、この水素が硫化鉄の形成にかかわっているのではないかと考えたのです。水素は酸素と反応して爆発するほどの高エネルギー物質です。硫酸還元菌は、この水素と硫酸を反応させて硫化水素をつくり、エネルギーを得ることができます。

まず人工海水に水素と鉄を加えた培地をつくりました。硫酸還元菌は酸素に弱いので、完全に酸素を除きます。通常、硫酸還元菌の培養は難しいとされますが、外部共生菌の培養はもっと難しく、深海研究が始まって以来誰も単離に成功していません。しかし、この培地にうろこを入れておくと、水が黒くなりました。硫化鉄ができたのです。

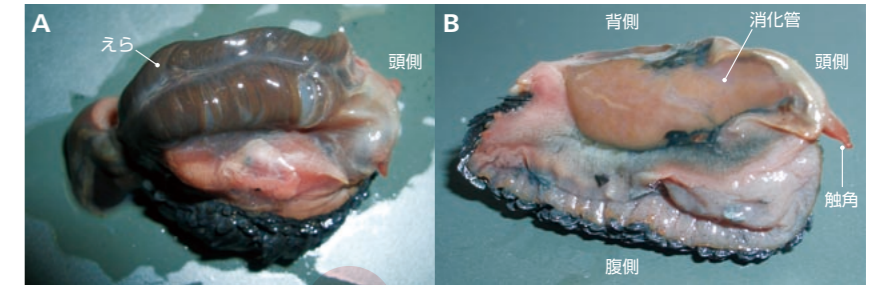


図5 スケーリーフットの消化管にいる内部共生菌

A: スケーリーフットの貝殻を外し、背中側を上から撮影したところ。背中に乗った茶色い組織がえらで、ほかの貝ではこの部分に共生菌がいる。B: スケーリーフットを背中からおなかに向けて切断した写真。中央のキャラメル色の組織が消化管で、スケーリーフットの内部共生菌はこの消化管の細胞のなかにいる。C: 消化管の細胞から取り出した内部共生菌の顕微鏡写真。内部共生菌は棒状の形をした桿菌である

図4 スケーリーフットの貝殻とうろこの構造、共生菌



培養液を顕微鏡で観察すると、確かにデルタプロテオバクテリアに属するデサルフォビブリオ(硫酸還元菌)に特有の姿が見えました。期待しながら、このバクテリアのDNAを調べたところ、デサルフォビブリオであることが確かめられました。しかし、スケーリーフットの硫酸還元菌と系統的に離れており、外部共生菌ではありませんでした。やはり外部共生菌を育てることは、おそれとはできませんでした。次の機会には、より現場の条件に近い高圧下での培養にも挑戦してみたいと思います。

内部共生菌が硫化水素を消費する?

2つ目のテーマは、「内部共生菌は硫黄酸化細菌である」という仮説の検証です。内部共生菌が硫黄酸化細菌ならば、硫化水素と酸素から硫酸をつくるという反応をするはずで、硫化水素は、水素と同様に火を付けば燃えるぐらいのエネルギーを持っています。硫化水素は動物にとって有毒ですが、硫黄酸化細菌はこのエネルギーを利用して生きています。内部共生菌が硫黄酸化細菌ならば、硫化水素を消費するはずであると仮定して実験を行いました。

内部共生菌のすみかであるスケーリーフットの消化管を取り出して硫化水素を与えると、硫化水素が次第に減少することを実験的に確かめることができました。こうして消化管組織が硫化水素を消費すること、つまり内部共生菌が実際に硫黄酸化細菌である一つの証拠を示すことに成功しました。詳細な研究成果は、後日、論文で発表する予定です。

内部共生菌が栄養をつくる?

3つ目は、「内部共生菌はスケーリーフットの栄養源である」という仮説の検証です。内部共生菌は硫化水素を酸化して得たエネルギーで、二酸化炭素を糖に変えます。光のエネルギーを使う場合は光合成ですが、光の代わりに硫化水素などの無機物のエネルギーを使う場合は化学合成といえます。スケーリーフットの消化管にいる内部共生菌が糖をつくり、それがスケーリーフットの栄養源となっているのではないかと仮説を立てて実験を行いました。

内部共生菌が二酸化炭素を使うと仮定して、二酸化炭素に目印を付けます。目印を付けた二酸化炭素を持つ糖がスケーリーフットの組織に取り込まれれば、内部共生菌がつくった糖を栄養源にしていることを証明できます。実験は滞りなく進み、いま解析をしているところです。間もなく、内部共生菌がつくった糖をスケーリーフットが取り込んだかどうか明らかになり、皆さんに報告できるでしょう。

謎の生態を解明するために

スケーリーフットには、まだ多くの謎が残されています。「鉄のよろい」の形成の仕組みや進化の過程、共生菌との共存の仕組みだけでなく、生態もまだよく分かっていません。今回、スケーリーフットの大群集を発見し、さらに長期にわたる飼育実験に成功したことは、謎の解明に向けての大きな前進でした。これまでの実験や飼育のデータを踏まえ、今後もスケーリーフットの謎に挑戦していきます。 **BE**

編集後記

特集「やってみよう 海と地球の自由研究 第2弾」はいかがでしたか。学習雑誌などによく掲載されている「実験教室」は、「物理・化学」系の実験が中心で、『Blue Earth』で取り上げたような「地学」系の実験は、あまり見ません。簡単にできるものも多いので、学習現場などでぜひお試しになり、ご意見・ご希望をお聞かせいただければ幸いです。

さて今回は、夏バテを解消？するような面白い話題を1つ。有名なインターネットの地図ソフト「Google Map」(http://maps.google.co.jp/)ですが、ネット上ではこの地図の間違い探しで盛り上がっています。私は、陸上の地名にはあまり興味がないので、海の地名(海名?)に注目しています。たとえば、JAMSTECの目の前の東京湾。東京湾アクアラインあたりを拡大していくと、突然「フィリピン海」という表記が出てきます。また、豊後水道や伊勢湾でも拡大していくと同じように「フィリピン海」の表記が現れます。気になって調べてみると、海域の境界を定めている国際水路機関(IHO)によれば、フィリピン海の東の境界は、伊豆諸島・火山列島・マリアナ諸島を結ぶ線とのこと。だとすると、伊豆諸島より西にある豊後水道や伊勢湾はフィリピン海ということになり、「Google Map」の表記はあながち間違いではないようですが、私たちの感覚とずれているように感じます。もっとも、今年のような異常な暑さが続くと、日本の近海もいずれフィリピン海のようにになってしまうので、違和感がなくなっていくのかもしれませんが。でも、「Google Map」でこの表記を見た子どもたちが東京湾をフィリピン海と信じてしまうとしたら、困りものですね。

読者の皆さんも、根気よく面白い地名(海名)を探してみたいかがでしょうか? 眠れない熱帯夜にはぴったりだと思のですが……。(T. T.)

『Blue Earth』定期購読のご案内

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

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■申し込み方法

EメールかFAX、はがきに①～⑥を明記の上、下記までお申し込みください。

- ① 郵便番号・住所 ② 氏名 ③ 所属機関名(学生の方は学年)
 - 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、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けます)。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。

海と地球の情報誌 Blue Earth

第22巻 第4号(通巻108号) 2010年8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 満澤巨彦 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 有限会社フォトンクリエイト
取材・執筆・編集 立山 晃(p20-23)/鈴木志乃(p1-17, p24-27)/坂元志歩(p18-19)/佐藤ひとみ(p28-31)
デザイン 株式会社デザインコンビビア(AD 堀木一男/岡野祐三/岩崎邦好/飛鳥井羊右ほか)

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。

賛助会(寄付) 会員名簿 平成22年9月30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IHI	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アイ・エイチ・アイマリンユナイテッド	鹿島建設株式会社
株式会社アイケイエス	川崎気船株式会社
アイワ印刷株式会社	株式会社川崎造船
株式会社アクト	株式会社環境総合テクノス
株式会社アサツディ・ケイ	株式会社関電工
朝日航洋株式会社	株式会社キュービック・アイ
アジア海洋株式会社	共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	共立管財株式会社
泉産業株式会社	極東貿易株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	株式会社きんでん
株式会社エス・イー・エイ	株式会社熊谷組
株式会社NTTデータ	クローバテック株式会社
株式会社NTTデータCCS	株式会社グローバルオーシャンディベロップメント
株式会社NTTファシリティーズ	京浜急行電鉄株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	KDDI株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	株式会社ケンウッド
有限会社エルシャンテ追浜	株式会社構造計画研究所
株式会社OCC	神戸ペイント株式会社
沖電気工業株式会社	広和株式会社
株式会社海洋総合研究所	国際気象海洋株式会社
海洋電子株式会社	国際警備株式会社

国際石油開発帝石株式会社	大日本土木株式会社
国際ビルサービス株式会社	ダイハツディーゼル株式会社
五洋建設株式会社	大陽日酸株式会社
相模運輸倉庫株式会社	有限会社田浦中央食品
佐世保重工業株式会社	高砂熱学工業株式会社
株式会社サノヤス・ヒシノ明昌	株式会社竹中工務店
三建設備工業株式会社	株式会社竹中土木
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	株式会社地球科学総合研究所
JFEアドバンテック株式会社	中国塗料株式会社
財団法人塩事業センター	株式会社鶴見精機
株式会社SGKシステム技研	株式会社テザック
シナネン株式会社	寺崎電気産業株式会社
清水建設株式会社	電気事業連合会
シュルンベルジェ株式会社	東亜建設工業株式会社
株式会社商船三井	東海交通株式会社
社団法人信託協会	洞海マリンシステムズ株式会社
新日鉄エンジニアリング株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
新日本海事株式会社	東京製綱繊維ロープ株式会社
須賀工業株式会社	東北環境科学サービス株式会社
鈴鹿建設株式会社	東洋建設株式会社
スプリングエイトサービス株式会社	株式会社東陽テクノカ
住友電気工業株式会社	東洋熱工業株式会社
清進電設株式会社	有限会社長澤工務店
石油資源開発株式会社	株式会社中村鉄工所
セナーアンドバーンズ株式会社	西芝電機株式会社
株式会社損害保険ジャパン	西松建設株式会社
第一設備工業株式会社	日油技研工業株式会社
大成建設株式会社	株式会社日産クリエイティブサービス

ニッスイマリン工業株式会社	物産不動産株式会社
ニッセイ同和損害保険株式会社	古河電気工業株式会社
日本SGI株式会社	古野電気株式会社
日本海洋株式会社	松本徽章株式会社
日本海洋掘削株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
日本海洋計画株式会社	マリンサポート株式会社
日本海洋事業株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
社団法人日本ガス協会	株式会社丸川建築設計事務所
日本興亜損害保険株式会社	株式会社マルトー
日本サルヴェージ株式会社	三鈴マシナリー株式会社
社団法人日本産業機械工業会	三井住友海上火災保険株式会社
日本水産株式会社	三井石油開発株式会社
日本電気株式会社	三井造船株式会社
日本ヒューレット・パカード株式会社	三菱重工株式会社
日本マントルクエスト株式会社	株式会社三菱総合研究所
日本無線株式会社	株式会社森京介建築事務所
日本郵船株式会社	八洲電機株式会社
株式会社間組	郵船商事株式会社
濱中製鎖工業株式会社	郵船ナブテック株式会社
東日本タグボート株式会社	ユニバーサル造船株式会社
株式会社日立製作所	
株式会社日立プラントテクノロジー	
深田サルベージ建設株式会社	
株式会社フジクラ	
富士ゼロックス株式会社	
株式会社フジタ	
富士通株式会社	
富士電機システムズ株式会社	

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 沖縄県名護市宇豊原224番地3 TEL. 0980-50-0111(代表)
Washington D.C. Office	1120 20th street, NW, Suite 700S, Washington, D.C. 20036, USA TEL. +1-202-872-0000 FAX. +1-202-872-8300

『ハガキにかこう 海洋の夢コンテスト』

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



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(JAMSTEC)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月末ごろです。

第12回コンテストには、全国から2万6709点の応募がありました。そのなかから入賞作品を紹介します。

コンテストに関する詳しい情報は、JAMSTECのホームページをご覧ください。これまでの受賞作品もご覧いただけます。



横浜市長賞

さかなといっしょに
おにごっこ

神奈川県横須賀市立大楠小学校1年
梶谷彩波



優秀賞

絵画部門

むつ市長賞

マンタと
海のさんぽ

愛知県岡崎市立連尺小学校2年
荻野千智



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/>

定価300円(税込)