

海と地球の情報誌

# Blue Earth

ISSN 1346-0811  
2013年7月発行  
隔月年6回発行  
第25巻 第3号  
(通巻125号)

125

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

## キチジの すみかはどうなった?

東北マリンサイエンス拠点形成事業  
「海洋生態系の調査研究」

地層と微生物を見て  
生命の初期進化に迫る

1億歳の微生物は  
存在する?!





**Close Up**

地球上で最も深いマリアナ海溝チャレンジャー海淵にはカイコウオオソコエビなど小型の生物が生息していることが、海洋研究開発機構（JAMSTEC）の調査などから明らかになっている。しかし、超深海における生物の活動に関わる環境条件については、詳しく調べられていなかった。そうしたなか、JAMSTECを中心とする国際研究チームは、チャレンジャー海淵の堆積物中の酸素濃度の現場測定と、堆積物の採取、有機物の分析を実施。その結果の概要を『Blue Earth』124号で紹介した。ここでは、さらに詳しく解説しよう。

生物の活動に関わるさまざまな環境条件のうち特に重要なのが、堆積物中の酸素濃度である。しかし、高い水圧に阻まれ、堆積物中の酸素濃度が測定されたのは水深5,790mが最深であった。今回、水深1万mの水圧に耐えられるように酸素センサーを改良し、チャレンジャー海淵において世界で初めて堆積物中の酸素濃度の

# チャレンジャー海淵は有機物供給と生物活動が活発

測定に成功した。

調査では、酸素センサーを搭載したものと、ハイビジョンカメラ付き採泥システムを搭載したものと、2種類のフリーフォール型観測装置を使用。チャレンジャー海淵と勾配の緩やかな深海平原で、堆積物中の酸素濃度の測定、堆積物の採取、ビデオ撮影を行った。

その結果、チャレンジャー海淵は、深海平原より酸素が浸透している深さが浅いことが分かった。この結果は、堆積物中で微生物が有機物を分解するために多くの酸素を消費していることを示唆している。堆積物中での酸素の消費速度を求めると、深海平原より1.8倍ほど高い。また、採取した堆積物に含まれる有機炭素の総量と、生物が餌として利用しやすい有機物であるクロロフィルaやフェオフィチンの量を調べた結果、いずれも深海平原より高かった。さらに、微生物の平均生息密度は1cm<sup>3</sup>あたり970万個体で、6.7倍も高い。

つまり、チャレンジャー海淵では、深海平原より有機物の供給

量が多く、また微生物による有機物の分解が活発であることが明らかになった。これは、深いほど海底に到達する有機物の量が減り生物の代謝活動も低下する、という従来の考えを覆す結果である。しかし、クロロフィルaやフェオフィチンの量は、有機炭素の総量に比べて極めて少ない。有機物の大部分は難分解性であり、生物が餌として利用しやすい有機物が極端に乏しい環境であることに変わりはない。そのため、カイコウオオソコエビが通常の生物は餌として利用できないセルロースを分解する酵素を持っているなど、生物は貧栄養環境に適応している。

今回の結果は、ほかの超深海にも見られる普遍的なものなのだろうか？ 現在実施中の有人潜水調査船「しんかい6500」世界一周航海「QUELLE 2013」で、今年秋、世界第2位の深さを持つトンガ海溝ホライゾン海淵において同様の調査を行い、その問いに答えを出そうとしている。

1 **Close Up**  
 チャレンジャー海淵は有機物供給と生物活動が活発

2 **特集**  
 キチジのすみかはどうなった？  
 東北マリンサイエンス拠点形成事業  
 「海洋生態系の調査研究」

22 **Aquarium Gallery**  
 名古屋港水族館  
 大口を開けて食らう——メリベウミウシ

24 **私が海を目指す理由**  
 地層と微生物を見て生命の初期進化に迫る  
 西澤 学  
 プレカンブリアンエコシステムラボユニット 研究員

28 **Marine Science Seminar**  
 1億歳の微生物は存在する？！  
 微生物と海底下、その謎を探る  
 諸野祐樹  
 高知コア研究所 地下生命圏研究グループ サブリーダー

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

裏表紙 **Blue Earthをめぐる**  
 東北海洋生態系調査研究船  
 「新青丸」が完成

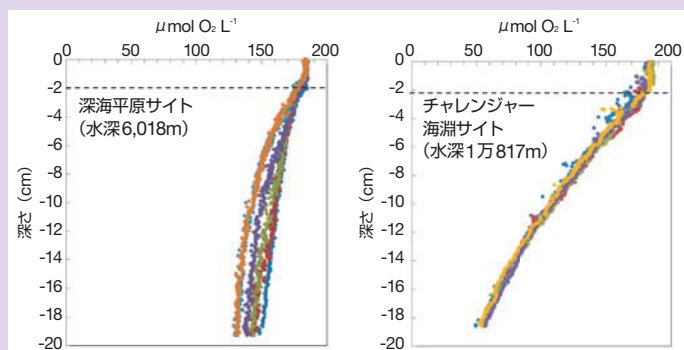
チャレンジャー海淵サイト（上）と深海平原サイト（下）で撮影された海底の様子

深海平原サイト（水深6,032m）では、底生生物とそれらがつくったと思われるマウンド状の構造、魚類などの大型生物が確認された。チャレンジャー海淵サイト（水深1万900m）では、魚類などの大型生物は見られず、カイコウオオソコエビやナマコなどが見られた



フリーフォール型観測装置

左は酸素センサーを搭載したもの。酸素センサーは、海底環境を乱すことなく酸素濃度の鉛直分布を測定することができる。右はカメラ付き採泥システムを搭載したもの。脚に取り付けられている採泥器のなかに採取された堆積物が入っている



酸素濃度の鉛直分布

深海平原サイトでは堆積物中での酸素の減少が少なく、チャレンジャー海淵サイトでは多い。この結果は、チャレンジャー海淵の堆積物中では微生物による酸素を使った有機物の分解が活発であることを示唆している





# キチジのすみかは どうなった？

## 東北マリンサイエンス拠点形成事業「海洋生態系の調査研究」

キチジ、ズワイガニ、スケトウダラ……。東北三陸の海は、私たちの食卓でもおなじみの生物がたくさん生息する、とても豊かな漁場でした。

しかし、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震と、それに伴う巨大な津波によって、海の生物とそれを取り巻く環境は大きく変化してしまいました。

大きな被害を受けた東北の漁業の復興に貢献することを目的に、文部科学省によって「東北マリンサイエンス拠点形成事業『海洋生態系の調査研究』(TEAMS)」が、2012年1月から開始されました。

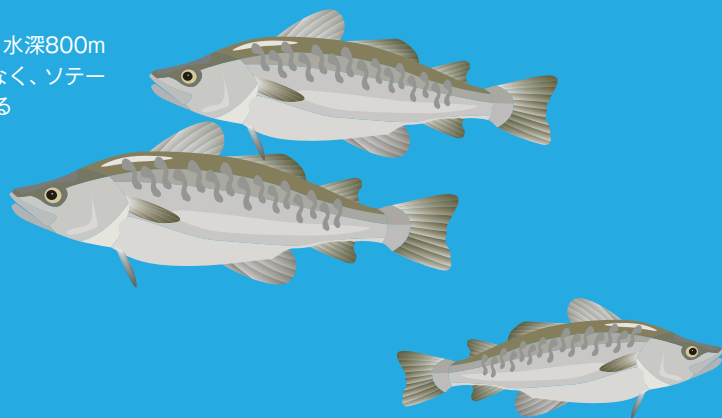
TEAMSでは、海洋研究開発機構(JAMSTEC)と東北大学、東京大学大気海洋研究所が中心となり、地震・津波が東北沿岸からその沖合域の海洋生態系に与えた影響と回復過程を科学的に明らかにするための調査・研究を行っています。

TEAMSにおけるJAMSTECの活動とこれまでの成果を紹介します。

### 東北の海にすむ生物たち

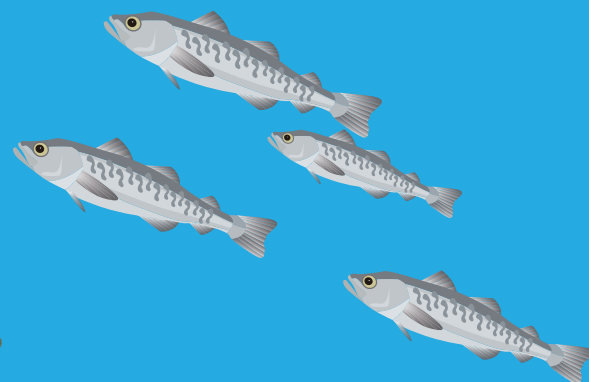
#### マダラ

北太平洋に分布し、沿岸から水深800mくらいまで生息。身は脂が少なく、ソテーや鍋料理にして食べられている



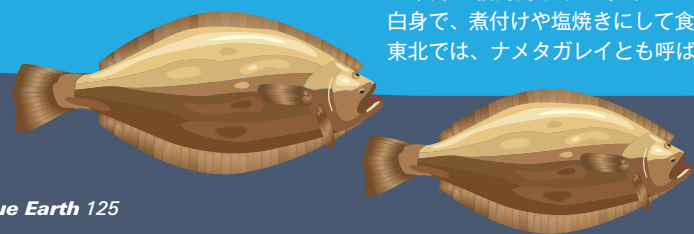
#### スケトウダラ

北太平洋に広く分布し、沿岸から水深500mくらいまで生息。身はかまぼこなどに利用され、卵巣はタラコや明太子として食べられている



#### ババガレイ

日本海と駿河湾以北の水深50~400mに生息。白身で、煮付けや塩焼きにして食べられている。東北では、ナメタガレイとも呼ばれている



#### シライトマキバイ

鹿島灘から北海道の太平洋岸の水深50~500mに生息。ツブ貝とも呼ばれる。刺し身や煮付けで食べられている



#### 取材協力:

東日本海洋生態系変動解析プロジェクトチーム

資源生物モニタリングチーム

藤倉克則 チームリーダー

土田真二 技術研究副主幹

地形・瓦礫マッピングチーム

藤原義弘 チームリーダー

笠谷貴史 技術研究副主幹

海洋環境モニタリングチーム

渡邊修一 チームリーダー

小栗一将 技術研究副主幹

生物化学分析チーム

大河内直彦 チームリーダー

生態系ハビタットマップ作成チーム

山北剛久 特任技術研究副主任

データ管理・公開チーム

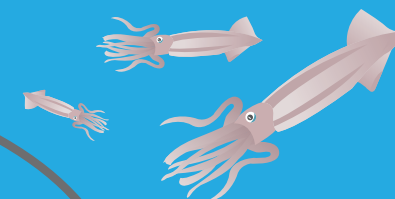
園田 朗 チームリーダー

菱木美和 技術主任

金子純二 特任技術主任

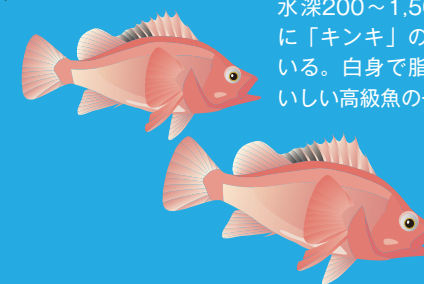
#### スルメイカ

日本列島周辺の表層から水深1,000mくらいまで生息。長距離を回遊する。さまざまな料理法で食べられている



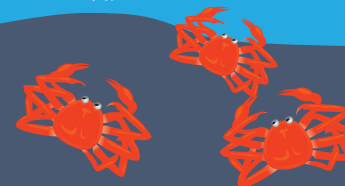
#### キチジ

水深200~1,500mに生息。一般に「キンキ」の名前で親しまれている。白身で脂がのり、とてもおいしい高級魚の一つである



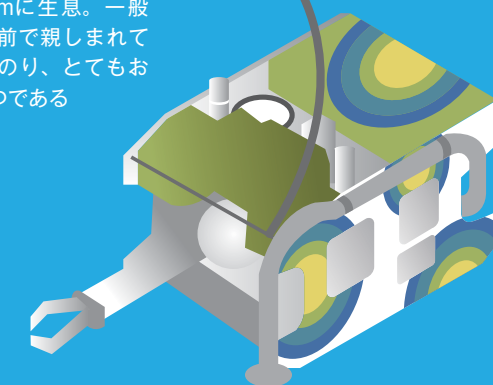
#### ズワイガニ

寿命は15年くらいで、雄は甲羅の幅が15cm、雌は8cmほどになる。おいしいカニの代表



#### クラムボン

海底のガレキや生物の観察、採取などを行う小型無人探査機





キチジを知っていますか？三陸沖で捕れる代表的な魚で、キンキとも呼ばれています。体は鮮やかな赤い色で、背びれの一部が黒くなっているのが特徴です。体長は20~30cmほどで、水深200~1,500mの海底付近に生息しています。白身で脂がのっていておいしく、煮付けや塩焼きなどで食べられている高級魚です。

キチジのすみかでもある東北の海は、2011年3月11日に発生した巨大地震とそれに伴う巨大津波によって、大きく変化しました。海のなかはどうなったのでしょうか。現在は、どうなっているのでしょうか。今後、どのようになっていくのでしょうか。

これまで積み重ねてきた技術や知識を結集して、それらを科学的に明らかにし、東北の漁業の復興に寄与したい——それがJAMSTECの願いです。

宮城県南三陸町の漁港のようす  
(2012年10月・12月撮影)



キチジ



ババガレイ



ホタテガイ



マガキ



ミスダコ



サケ



クロソイ



ババガレイ



マトウダイ



マダラ



ワカメ



シラス



スルメイカ



ホタテガイ



マガキ



スケトウダラ



# 地震・津波後の東北の海の生物と環境について 調査研究し、漁業の復興に貢献します。

「三陸の海は、とても豊かです」と藤倉克則さんはいいます。三陸沖では、寒流の親潮と暖流の黒潮がぶつかります。親潮は栄養塩に富んでいるため、潮目ではプランクトンが大量に発生し、それを食べる小魚が集まってきます。さらに、黒潮とともに北上してきたサンマやカツオなどが、小魚を食べに集まってきます。そのため、三陸沖は世界有数の漁場となっています。さらに、沿岸漁業や、湾内でのウニやワカメ、カキ、ホヤなどの養殖も盛んです。三陸の漁港は、豊かな海の幸が1年を通じて水揚げされ、活気を呈していました。

そんな三陸の漁港の風景を一変させたのが、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震です。マグニチュード9.0という超巨大地震に伴って発生した巨大な津波は、漁船や養殖いかだ、自動車や建物を次々とのみ込みました。それらは引き波によって海に運ばれ、その一部ははまだ海底に沈んでいます。また、地震のゆれは海底の斜面を崩して乱泥流を発生させ、津波は海のなかを大きくかき乱しました。地震と津波によって海の生物とそれを取り巻く環境は大きく変化してしまったのです。

「自治体や水産庁は、漁業の復興を緊急性の高い重要な課題として位置付け、震災直後からさまざまな取り組みを行ってきました。一方で、私たち科学者も漁業の復興に貢献できないものか、検討を進めました」と藤倉さん。そして文部科学省は2012年1月、「東北マリンサイエンス拠点形成事業『海洋生態系の調査研究』(Tohoku Ecosystem-Associated Marine Sciences: TEAMS)」を開始しました。TEAMSでは、海洋研究開発機構(JAMSTEC)と東北大学、東京大学大気海洋研究所が中心となり、地震・津波が東北沿岸からその沖合域の海洋生態系に与えた影響と回復過程を、

科学的に明らかにするための調査研究を行います。「TEAMSの調査研究の結果は、すぐに直接、漁業者の役に立つことは少ないかもしれませんが、しかし、政策の策定や、持続的な資源の利活用、新たな産業の創出に役立つ情報を提供することで、東北の漁業の復興への貢献を目指します」

TEAMSは、①漁場環境の変化プロセスの解明、②海洋生態系変動メカニズムの解明、③沖合底層生態系の変動メカニズムの解明、④東北マリンサイエンス拠点データ共有・公開機能の整備・運用、という4つの課題から構成されています。JAMSTECは、③と④の課題の代表を務めています。

JAMSTECは、東日本海洋生態系変動解析プロジェクトチームを設置し、主に沖合の調査研究を行います。東北大は宮城県女川町に女川フィールドセンターが、東大気海洋研究所は岩手県大槌町に国際沿岸海洋研究センターがあり、沿岸域の調査研究を行ってきました。しかし、津波によって施設の建物や船舶に大きな被害が出ました。それらを復旧させてそれぞれの拠点とし、東北大は女川湾と仙台湾を中心とする三陸沿岸南部域を、東大気海洋研究所は三陸沿岸北部域から沖合を中心に調査研究を行います。TEAMSの実施期間は10年間で、自治体や関係省庁、日本全国の大学や研究機関、地元の漁業関係者と協力しながら、オールジャパン体制で調査研究を行っていきます。

次ページから、TEAMSにおけるJAMSTECの活動とこれまでの成果を紹介していきます。

東北マリンサイエンス拠点形成事業  
「海洋生態系の調査研究」(TEAMS)の  
実施体制と研究課題

## 東北大学 (代表機関)

参画機関：北里大学、ヤンマー株式会社など

### 課題1 ▶ 漁場環境の変化プロセスの解明

- 漁場環境の変化を調べます
- ・ 宮城県沿岸域における漁場環境調査
- ・ 宮城県沿岸域における生態系保全調査
- ・ 宮城県沿岸域における漁業生物および干潟生物調査
- ・ 宮城県沿岸域における増養殖環境調査と水産増養殖技術の開発
- ・ 岩手県南部海域における海洋環境の現状調査

## 東京大学大気海洋研究所 (副代表機関)

参画機関：東京海洋大学、岩手大学など

### 課題2 ▶ 海洋生態系変動メカニズムの解明

- 海の生態系の変動を調べます
- ・ 沿岸広域連続モニタリングシステムと海洋分析センターの構築
- ・ 地震・津波による生態系攪乱とその後の回復過程に関する研究
- ・ 震災に伴う沿岸域の物質循環プロセスの変化に関する研究
- ・ 陸域由来の環境汚染物質の流入実態の解明
- ・ 物理過程と生態系の統合モデル構築
- ・ 集水域・河川・河口域・沿岸域における化学物質動態の解析
- ・ 河口・汽水域及び沿岸域における河川水の混合拡散のモニタリングとそのモデル化

## 海洋研究開発機構 (副代表機関)

参画機関：東海大学、北里大学など

### 課題3 ▶ 沖合底層生態系の変動メカニズムの解明

- 沖合の海底の様子を調べます
- ・ 漁場における瓦礫マッピングと分解プロセスの解明
- ・ 資源生物の分布・行動の把握と個体群構造の解析
- ・ 海洋生物資源(漁場)環境の長期モニタリング
- ・ 生物の栄養段階と化学物質蓄積評価
- ・ 生態系ハビタットマッピング

### 課題4 ▶ 東北マリンサイエンス拠点データ共有・公開機能の整備・運用

- TEAMSの活動やデータを公開します



# 海底地図を作成して、いまの海底の様子が見えるようにします。

「皆さんが初めての場所に出掛けるときに地図が必要のように、海の生物や環境について調べるには精密な海底の地図が必要です。三陸の沿岸域については十分な海底地形データがなく、しかも地震によって地形が変わってしまったところもあります。私たちは3種類の機器を使って、三陸沖の地震後の詳細な海底地形図をつくっています」と笠谷貴史さんはいます。

海底地形図をつくる1つ目の機器は、マルチナロービーム音響測深器です。船底から複数の音波ビームを扇状に出して海底面で跳ね返ってくる反射波を受信し、音波の往復時間から船底と海底の間の距離、つまり水深を測ります。TEAMSでは、2012年3月に約1ヵ月間、海洋地球研究船「みらい」のマルチナロービーム音響測深器を用いて三陸沖の水深200~1,400mの海域を調査し、約50km×150kmの範囲の海底地形図を作成しました。「JAMSTECでは東北地方太平洋沖地震の発生直後に、震源域である日本海溝周辺の海底地形の

調査を行っています。今回の調査は、それよりほかに大変です」と笠谷さん。日本海溝の水深は7,000mを超えます。水深が深い海域を調査する方が大変に思えますが、なぜでしょうか。

「マルチナロービーム音響測深器は音波ビームを扇状に出すため、水深が深い海域では一度に広い範囲の水深を測ることができますが、浅い海域では狭い範囲しか測ることができないのです。また、今回の調査海域では、底引き網漁が行われていたり、ブイ付きの漁具が設置されていたりするため、それらを避ける必要があります。TEAMSの目的は漁業の復興ですから、漁の邪魔をしたら本末転倒です」

2つ目の機器は、サイドスキャンソナーです。機体の左右から音波を横方向に出し、海底面で跳ね返ってくる反射波の強さを測ります。海底が岩のようにかたければ反射波は強く、泥のようにやわらかければ弱くなることから、海底表面の地質を知ることができます。また、海底から高くなった部分があると、その後ろ側には音波が届かず影ができるの

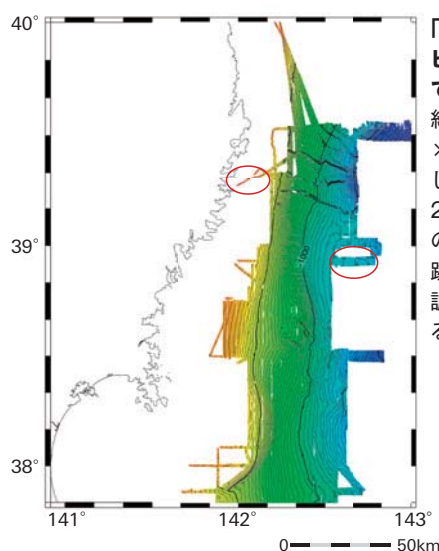
で、海底の凹凸を知ることができます。そのため、サイドスキャンソナーで捉えた画像は音響画像ともいわれることがあります。

2012年3月には、宮城県北部域でサイドスキャンソナーを使った調査を行いました。その結果、水深約180mの海底にドラム缶やパイプのようなかたちをしたかたい物体が検出されました。津波によって陸から流され、沈んだものかもしれません。「今回用いたサイドスキャンソナーは、機体を海底近くまで下ろして船で曳航しながら調査します。船に取り付けて調査するより海底に近い分、海底の様子を詳細に知ることができるので、どこにどのようなガレキが分布しているのかを調べるのにも役立ちます」と、笠谷さんは説明します。「しかし、サイドスキャンソナーのデータだけでは、海底にある物体がガレキなのか岩体の一部なのか判別が難しいことがあります。そこで3つ目の機器、サブトムプロファイラーを組み合わせて調査を行います」

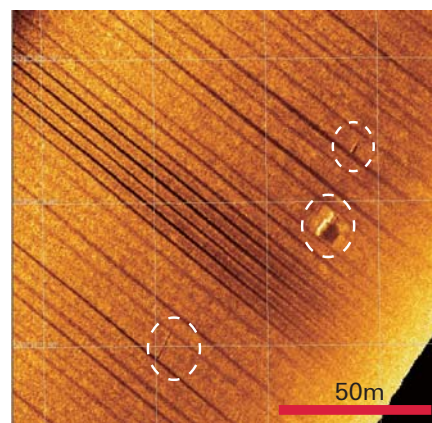
サブトムプロファイラーは、音波を海底に向け

て出し海底下の地層で跳ね返ってくる反射波を受信することで、海底下の構造を画像化します。岩体の一部であれば海底下にも構造がつかっていますが、ガレキであれば海底下にはつかっていないので、両者を区別できます。

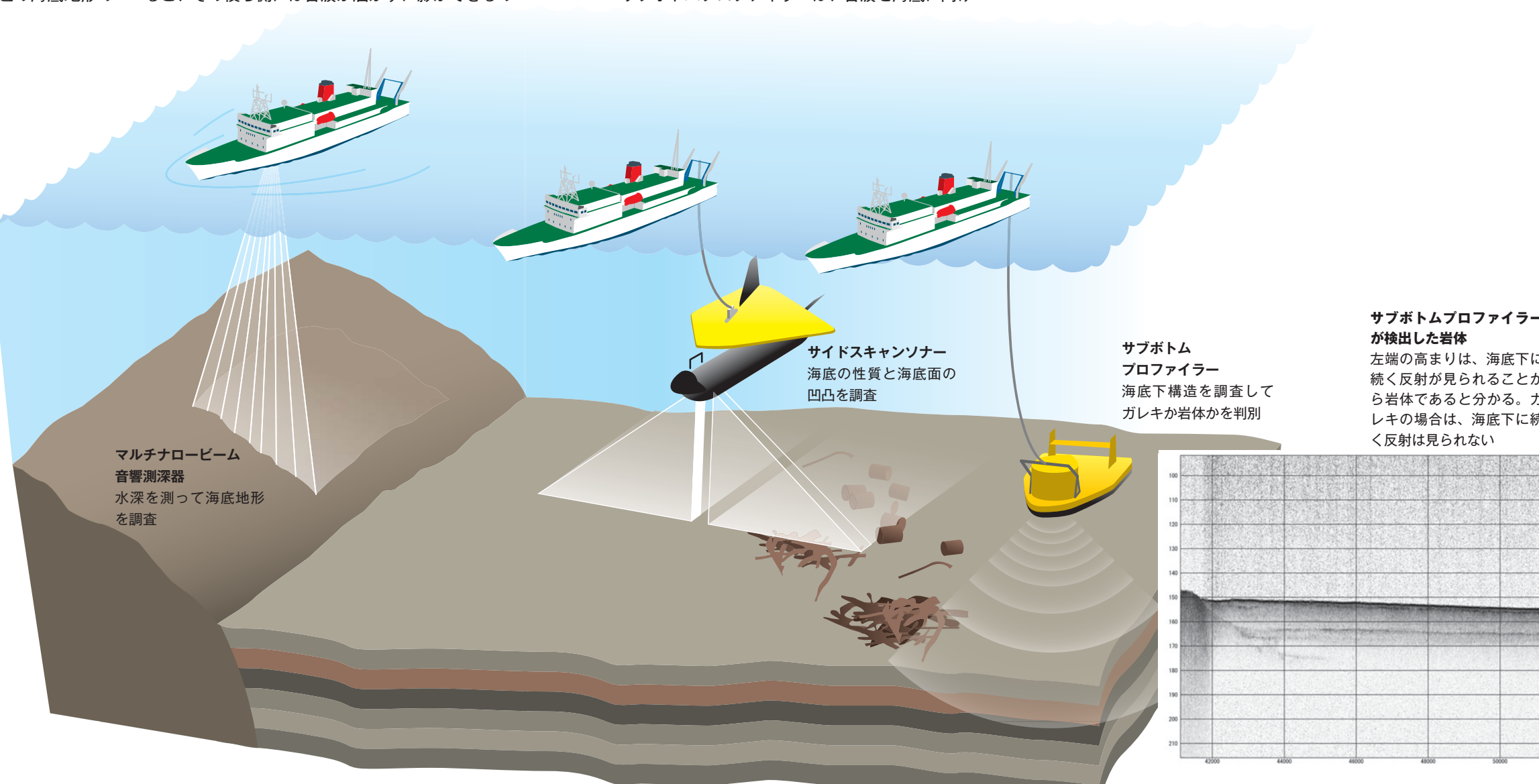
これまでに得られた海底地形図は、調査が計画されている海域の60%ほどです。2013年10月にも、海洋調査船「なつしま」で3種類の機器を用いた海底地形調査を行う計画です。漁業関係者からは、主な漁場となっている水深100~500mの海域を早く調べてほしいという要望が寄せられています。水深が浅いので、これまで以上に時間がかかる調査となるでしょう。しかし、笠谷さんは力強くいます。「より広い海域について精密な海底地形図をつくるのが、TEAMSでの私たちの使命ですから、とことん頑張ります」と。海底地形図は、18ページで紹介するハビタットマップの基礎にもなる重要な情報です。



「みらい」のマルチナロービーム音響測深器によって作成した海底地形図  
約1ヵ月かけて約50km×150kmの範囲を調査した。調査海域の水深は200~1,400m。赤丸内の線はいずれも1回の航跡で、水深が浅くなると調査できる範囲が狭くなることが分かる



サイドスキャンソナーが検出した物体  
宮城県北部域、水深約180mの海底に、ドラム缶やパイプのようなかたちをした物体が検出された



マルチナロービーム音響測深器  
水深を測って海底地形を調査

サイドスキャンソナー  
海底の性質と海底面の凹凸を調査

サブトムプロファイラー  
海底下構造を調査してガレキか岩体かを判別

サブトムプロファイラーが検出した岩体  
左端の高まりは、海底下に続く反射が見られることから岩体であると分かる。ガレキの場合は、海底下に続く反射は見られない



# ガレキの分布や分解される様子を調べ、ガレキが生態系や漁業に与える影響を明らかにします。

「津波によって陸上にあったさまざまなものが海へと運ばれ、その一部ははまだ海底に沈んでいます。それらのガレキは海の生態系、そして漁業に大きな影響を与えているに違いありません。私たちは、どのようなガレキがどこにどのくらい分布しているかを調べ、その情報を上手に利用して漁業の復興につなげたいのです」と藤原義弘さんはいいます。

JAMSTECでは、8ページで紹介したサイドスキャンソナーとサブボトムプロファイラーのほかに、深海曳航調査システム「ディーブ・トウ」を用いてガレキの分布を調べています。ディーブ・トウにはビデオカメラが搭載されており、船で曳航しながら海底を観察できます。ディーブ・トウを用いた調査は2012年3月に、牡鹿半島沖、仙台沖、気仙沼沖の平坦部と釜石沖の海底谷の合計6カ所で実施しました。その結果、ガレキは平坦部より海底谷に多く集積していることがわかりました。

また、底引き網漁では、魚に混じってさまざまなガレキが引き揚げられます。宮城県農林水産部では、

いつどこでどのようなガレキが揚がったかを漁業者に記録してもらっています。そのデータを提供いただき、解析を行いました。2011年9月から2012年1月までを見ると、底引き網で揚がるガレキの数は減る傾向にあることがわかってきました。自治体によるガレキの掃海作業による効果も大きいと考えられます。

漁業者からは、ガレキの現在の分布だけでなく、木材などのガレキがいつごろ分解されてなくなるかを知りたいという要望もあります。そこで、さまざまな木材サンプルを海底に設置して、定期的に分解量を測定する現場実験を始めています。「ガレキの分解速度を測り、ガレキが何年くらいでなくなるかを予測します。その情報を、ガレキを掃海するか分解されるのを待つか、自治体などが判断する材料に使っていただければと思っています」

「ガレキは、海を汚すごみであり、底引き網漁の網を傷付けたりもすることから、マイナスのイメージが強いかもしれませんが、しかし、プラスの面もあり

ます」と藤原さんはいいます。「ガレキの周りには生物たちが集まってくるのです。実際、これまでの曳航調査の画像解析の結果、ガレキ周辺はそれ以外の場所より生物密度が高いことがわかりました」

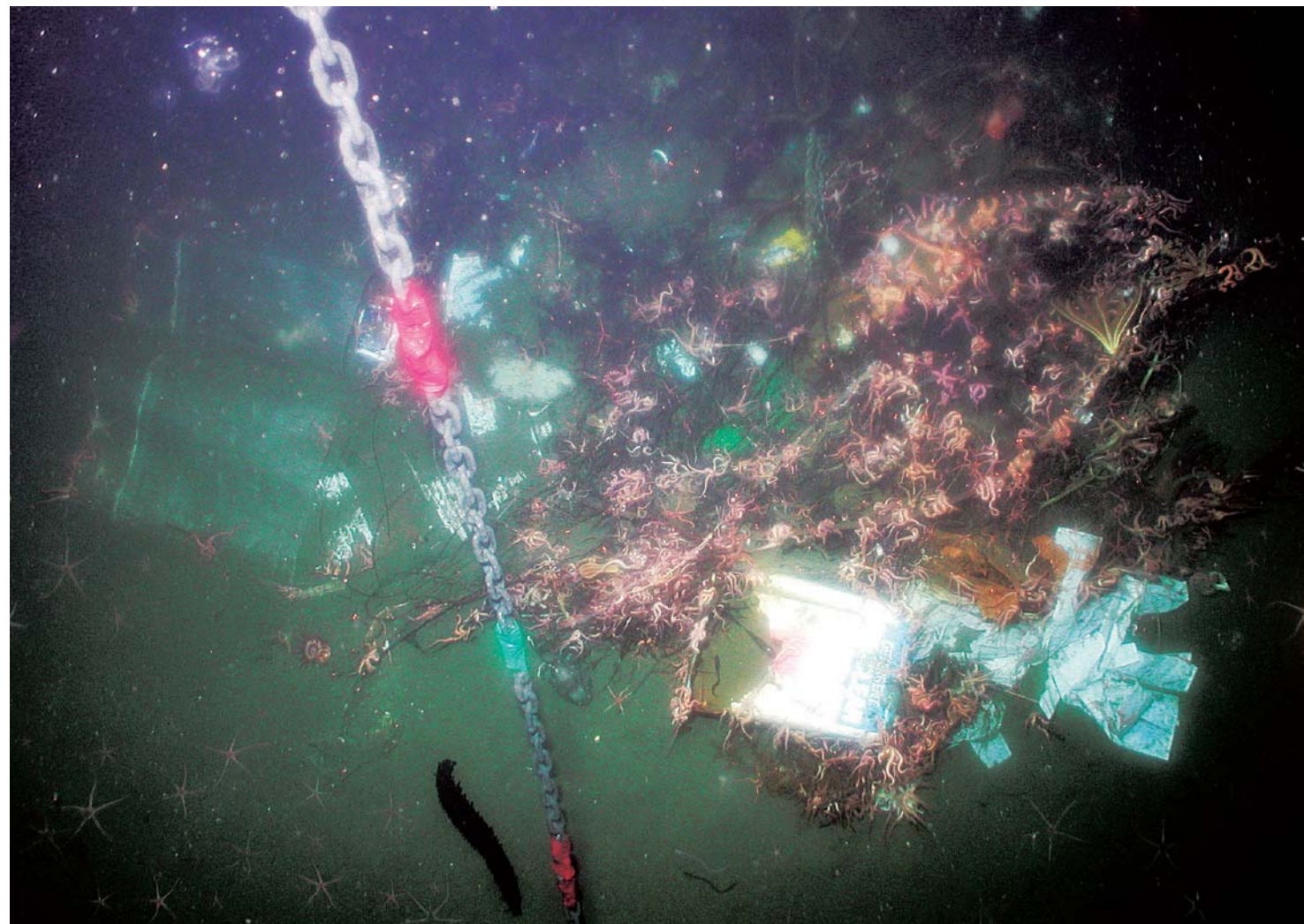
今後は、ガレキの分布だけでなく、どういう材質のガレキにどのような生物がどのくらい集まってくるかを調べていくことを計画しています。「そのデータをもとに、漁獲量や魚の種類を増やし、しかも一時的ではなく持続的に豊かな海を維持できるようにするには、どこにどのような魚礁を入れたらよいかなどの提案を行っていただければと思っています」

また藤原さんたちは、ガレキから新しい産業を生み出すことを狙っています。海底に沈んだ木材のガレキを採集してくると、さまざまな生物や微生物が付着しています。そのなかから、木材の主成分であるセルロースを効率的に分解する酵素を持つ微生物を見つけようとしているのです。「新しいセルロース分解酵素が見つければ、バイオエタノールの製造などに役立つ可能性があります。プラスチックなど人

工物のガレキからは、それらを分解する特殊な酵素が見つかるかもしれません。TEAMSの調査研究から新しい産業が生まれ、その会社が東北にできれば、こんなうれしいことはありません」

JAMSTECではTEAMSの調査を行うために、小型無人探査機「クラムボン」を開発しました。小型船での調査が可能で、ハイビジョンカメラ、試料の採集や装置の設置ができるマニピュレータ、生物を採集するスラップガンなどを搭載しています。2013年2月に、三陸沖で試験運用を行いました。7月には、2012年3月にディーブ・トウが調査した海底谷で潜航し、ガレキの分布や種類に変化があるかどうかを調べました。「クラムボンは、漁業者からの“ここをちょっと調べてほしい”という要望にも応えられることを考えて開発しました。これからも三陸沖の海底を繰り返し調査し、ガレキの状況や、ガレキが生態系や漁業に与える影響を調べていきます」と藤原さんはいいます。「地元の方々に、“あの情報は役に立ったよ”とっていただけるように、頑張ります」

釜石沖の海底谷で見られたガレキ  
ディーブ・トウによって撮影。ガレキには、たくさんの生物が付着している



木・キクガイ類      ビニール手袋・コケムシ類      土のう袋・巻貝の卵



布・コケムシ類      コンテナ・イカの卵ほか      ハンガー・コケムシ類

三陸沖の深海底から採集されたガレキ  
岩手県水産技術センターによる岩手県沿岸主要底魚現存量調査で採集されたガレキである。さまざまな種類があり、そこにさまざまな種類の生物や微生物が付着している（撮影：河西なつみ/JAMSTEC）

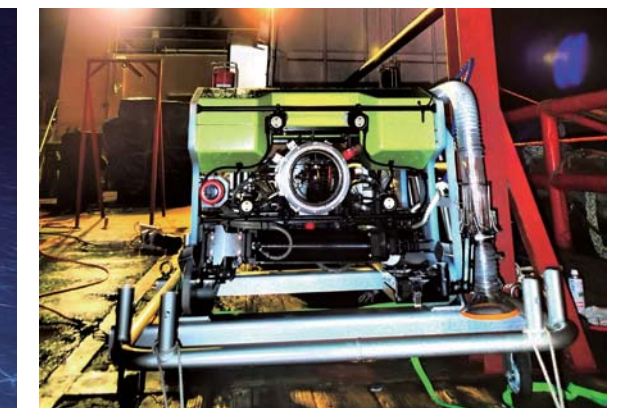
## 小型無人探査機「クラムボン」

TEAMSの調査を行うために開発した。名前は、岩手県出身である宮沢賢治の短編童話「やまなし」のなかで、カニの子どもたちの会話に出てくる「クラムボン」に由来して付けられた。大きさは120×80×70cm、重さは約210kgで、水深1,000mまで潜航可能。ハイビジョンカメラ、マニピュレータ、スラップガン（生物吸引装置）、CTD/DO（塩分、水温、圧力計、溶存酸素量の測定器）、海底マッピングカメラを搭載している



## 「クラムボン」が撮影した海底の様子

2013年2月撮影。マダラと、海底にはキタクシノハクモヒトデがたくさんいる。このように平坦な海底にはガレキはほとんどなく、震災前の海底に戻ったように見える場所もある。写真の中央下に見える2本の線は長さを計測するためのレーザーで、幅20cm





# バイオトラッキングによって沖合の海底にいる生物の生態を明らかにします。

「こんなに生物がいるのか」。土田真二さんは、2012年3月と8月の調査で深海曳航調査システム「ディープ・トウ」が撮影した映像を見て、とても驚かされました。「水深1,000mくらいから水深200mくらいまでの海底が広範囲にわたって、無数のクモヒトデで覆われていたのです。三陸沖がたくさんの生物を育む力を持った豊かな海であることを、あらためて実感しました」

もちろん、地震・津波の影響も受けています。「ディープ・トウの調査では、ガレキにたくさんの生物が付着していることにも驚きました。生物が付着する足場がほとんどない平たんな深海底では、ガレキは生物にとって格好なすみかとなるのです」

と土田さん。「では生物は、そのガレキにずっとすむのか？ 一時的か？ ガレキが分解されてなくなったら、生物はどうするのか？ 私たちは、地震・津波によって生物がどのような影響を受けて、どのように回復していくのかを知ろうとしています」

そのためには、どこに、どのような生物がいて、どのように暮らしているのかを明らかにする必要があります。土田さんは、海洋工学センターの渡邊佳孝さんたちと共にバイオトラッキングシステムという装置を開発し、生物を追跡しようとしています。

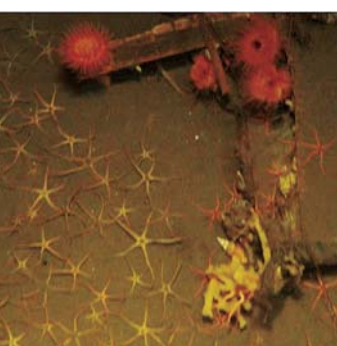
バイオトラッキングシステムは、数分に1回音波を出すピンガーという小型装置を生物に取り付け、

その音波を受信する基準局を1km<sup>2</sup>くらいの範囲の海底に数カ所設置します。1つの基準局には4個の受波器があり、それぞれが音波を受信した時間差から音波が来た方向を求め、ピンガーを付けた生物の位置を追跡していきます。追跡データは基準局に記録しておき、後で回収します。

「クジラやアザラシ、ペンギンなど定期的に海面に出てくる生物の行動を追跡する例はありますが、深海生物の行動を長期間追跡するのは世界で初めてです。私たちのターゲットは、ズワイガニです。10月に試験を行い、最終的には50個体くらいを追跡することを目指します。ズワイガニが1日のなかでどのような行動をするか、季節や成長具合に

よって行動がどのように変化するか。それらが初めて明らかになると期待しています。将来的には、キチジなど広範囲を移動する生物の行動も追跡できるようにしたいですね」

「三陸沖は世界有数の素晴らしい漁場です」と土田さんは繰り返します。「日本の財産ともいえる豊かな海を守っていくことは、私たち日本人の責任です。これまでは漁業者の長年の経験から禁漁期間や禁漁区、漁獲制限などを決めることで、資源を守ってきました。生物の行動追跡や遺伝子解析など科学的なデータを加えることで、資源を守りつつ、より効率的な漁業の実現に貢献したいと考えています」



**ガレキに付着した生物**  
ガレキは生物の新たな生息場所になっている



**密集するキタクシノハクモヒトデ**  
金華山沖の水深420～437m



**ダーリアイソギンチャクとズワイガニ**

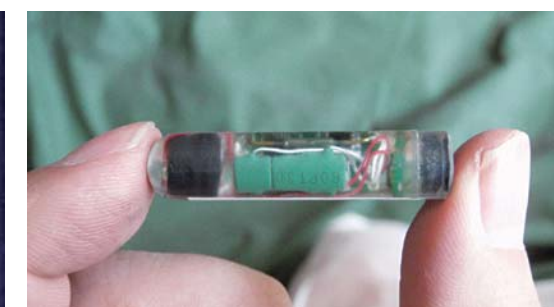
ダーリアイソギンチャクは直径数十cmと巨大で、その近くにズワイガニがいる。ズワイガニにとってダーリアイソギンチャクはよい隠れ家になっている



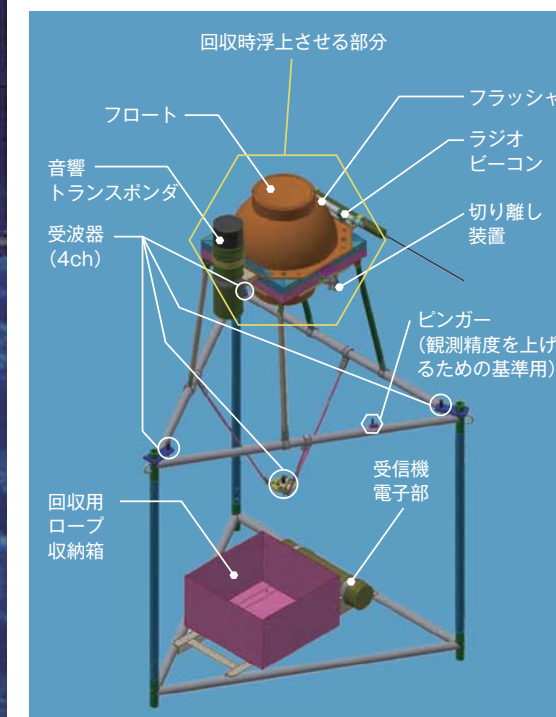
イラスト：小林あゆみ（海洋工学センター）

**バイオトラッキングシステム**

バイオトラッキングシステムは、生物に取り付けた小型音響ピンガーと海底に設置する基準局で、生物を追跡するものである。1km<sup>2</sup>ほどの範囲に数カ所の基準局を設置し、1年間にわたり約50個体のズワイガニを追跡することを目指している



**小型音響ピンガー**  
生物に取り付け、数分に1回音波を出す。直径9.5mm、長さ43mm、水中での重さ1.6g。圧力計と温度計も付いている



**基準局（概念図）**

1つの基準局は4個の受波器を持つ。ピンガーからの音波を複数の受波器で受信し、音波の到来方向を計測する。1年後に回収し、データを解析する



# 海面から海底まで海洋環境を長期間観測し、地震・津波の影響と回復過程を明らかにします。

「地震・津波によって沿岸域から土砂が流入したり、海底斜面が崩壊したり、海底の堆積物が巻き上げられたりした結果、海洋環境が大きく変動しました。私たちは、地震・津波が海洋環境にどのような影響を与え、どのように回復していくのかを明らかにしようとしています」と渡邊修一さんはいいます。「そのためには、海の表面から海のなか、海底のすぐ上、そして海底堆積物まで、海を丸ごと、そして物理・化学・生物環境を総合的に、しかも継続的に調べる必要があります」

2012年3月に「みらい」は、4本の測線で、表面から海底までの温度、塩分、溶存酸素量、透過度、栄養塩、植物プランクトンの量の指標となるクロロフィルaなどを観測しました。親潮系の水と黒潮系の水が複雑に分布している様子が見えたほか、大陸棚斜面に濁りが強い層があることが分かりました。海水の濁りは、東北地方太平洋沖地震直後の2011年4月に行った調査で検出された濁りより弱く、余震によるゆれが原因かもしれません。

4本の測線は、宮城県水産技術総合センターと岩

手県水産工学センターが、地震が起きる以前、定期的に観測していた測線です。地震・津波による変化を捉えるには、過去の観測データとの比較が不可欠です。2013年11月に同じ測線で調査を行い、その後も定期的に観測を行っていきます。

2013年3月には、大槌沖の水深500mにセジメントトラップを設置しました。セジメントトラップは、植物プランクトンや動物プランクトンなど生物の死骸や排せつ物など、海水中を沈降する粒子を集める装置で、1年後に回収します。沈降粒子の種類や量の変化から、海洋環境の変化を読み解くことを目指しています。セジメントトラップのデータからは、その海域の生物生産性も分かります。2013年度後半には、新しいセジメントトラップを大槌沖の水深2,000mに設置する予定です。

「みらい」の航海では、マルチプルコアラーを用いて海底堆積物の採取も行いました。地震や津波が起きると、堆積物が舞い上げられたり斜面の堆積物が崩れたりして、乱泥流が発生します。乱泥流が堆積した層は、上から降ってきた粒子が静かに堆積

した層とは異なる様子をしています。そうした堆積物の特徴から、地震・津波の影響を捉えます。

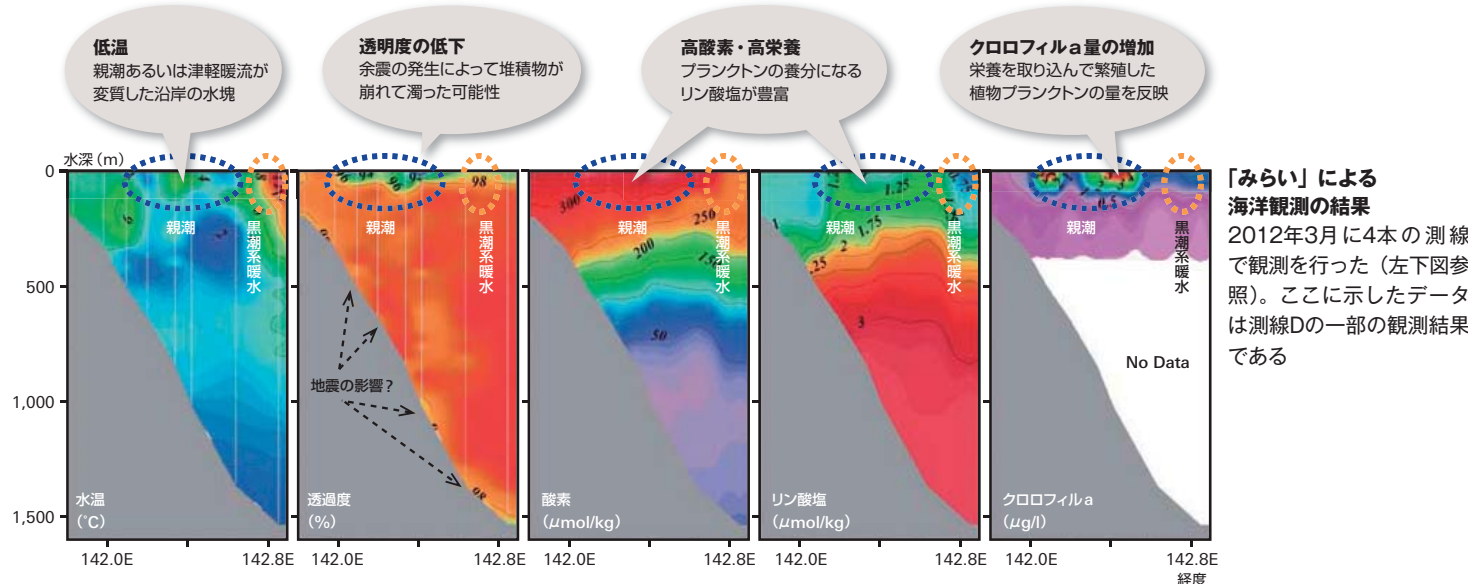
乱泥流が堆積すると、堆積物中の化学成分や生物の分布へも影響します。たとえば、堆積物中の全有機炭素量は表層で少なくなっていました。これは地震による影響といえるかもしれません。しかし、間隙水に含まれる生元素（生体の維持・活動に不可欠な元素）の分布は、すでに一般の堆積物に見られる分布を示していました。堆積物中に生息する生物の分布も、有機物や栄養塩の影響で変化していることが予想されます。生物の分布についても詳細に調べ、化学成分の分布とともに変化を追いつけていきます。

海底の様子を長期間にわたって調べるために、ランダーを大槌沖の水深1,000mと水深300mに設置しました。ランダーには、水の流向・流速を測るADCP、温度と塩分を測るCTD、水の濁りを測る濁度計、酸素の濃度を調べる溶存酸素計、カメラシステムを搭載しています。流向・流速などは1時間ごとに計測し、海底の様子を1日に1回静止画で、1週間に1回5分間ハイビジョンビデオで撮影しま

す。それを1年以上継続します。

小栗一将さんは、「海底のすぐ上の環境を長期間観測した例はほとんどありません。貴重な海洋環境の基礎データを得ることができると期待しています」といいます。「いまま余震が起きていますが、年に数回の観測では余震を捉えることは不可能です。長期観測を行うランダーであれば、余震による海底環境の変化も捉えることができるでしょう」。ランダーは1年後に回収し、整備をした後、同じ場所に再び設置する計画です。2013年11月には、仙台沖の水深300mと水深1,000mにもランダーを設置します。

「TEAMSには漁業復興への貢献という重い使命がありますから、大きなプレッシャーを感じています」と小栗さん。「船舶やセジメントトラップ、ランダーなどの観測データは、ガレキの分布調査などとは違い、すぐ漁業者に直接役立つことはないでしょう。しかし、将来の漁業のやり方を議論するとき、海洋環境の基礎データは不可欠です。私たちの調査研究が漁業復興へつながり、漁業者の皆さんに喜んでもらえる。こんなうれしいことはありません」

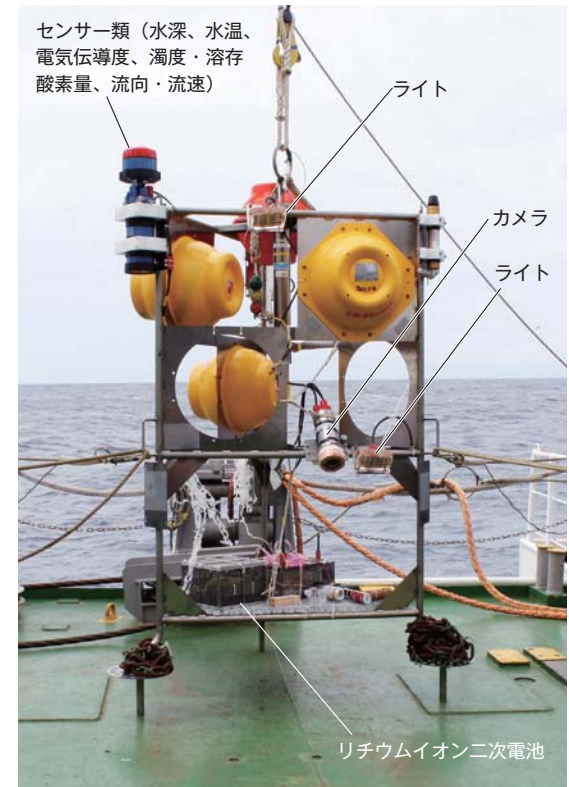
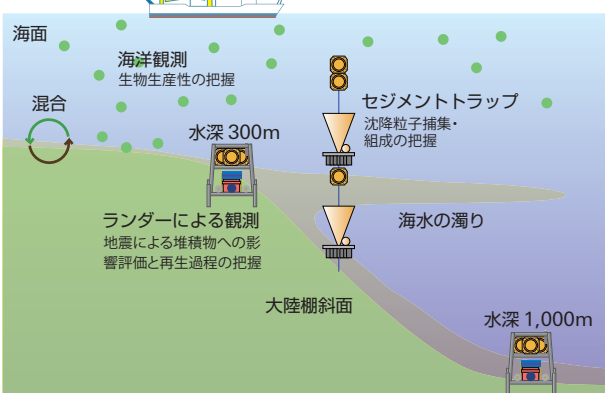


「みらい」による海洋観測の結果  
2012年3月に4本の測線で観測を行った（左下図参照）。ここに示したデータは測線Dの一部の観測結果である

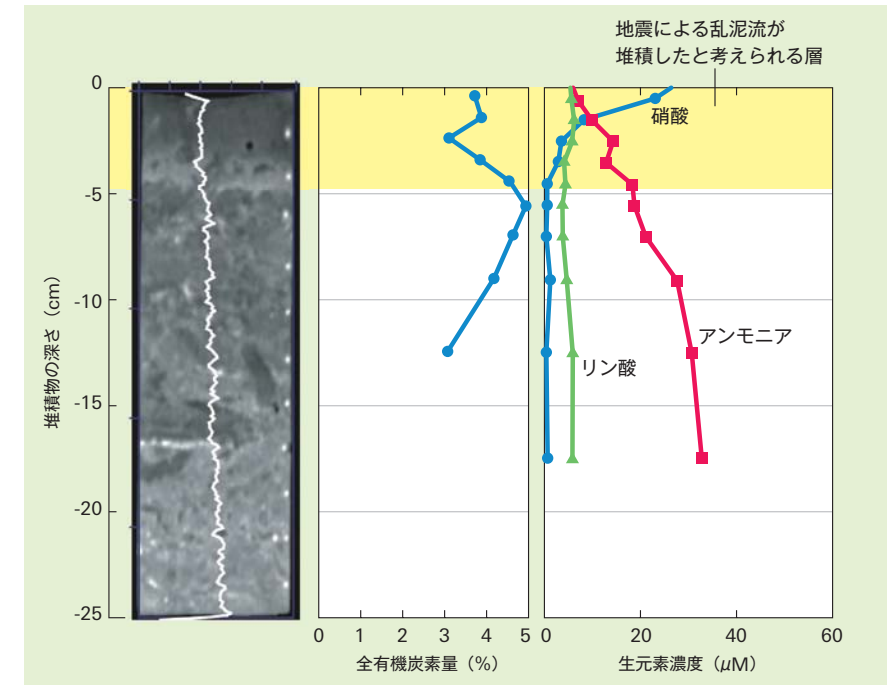


**観測点とランダー設置点と海底堆積物の採取点**

**ランダーとセジメントトラップの設置場所**  
地震・津波による環境変動とその再生過程を把握するため、大槌沖の水深300mと水深1,000mにランダーを、その間の水深500mにセジメントトラップを設置。2013年11月に、仙台沖の水深300mと水深1,000mにランダーを設置する予定



**長期観測モニタリング装置「ランダー」**  
ランダーのフレームは、長期間の観測に耐えられるよう、腐食しにくいチタンで作られている。通常、観測を終えたランダーは、船からの信号を受けておもりを切り離して浮上するよう設計されるが、津波によって運ばれたガレキが問題になっている海域での調査であるため、おもりの投棄は行わず、無人探査機によって回収するよう配慮されている



**海底堆積物と化学成分**  
マルチプルコアラーを用いて8地点で海底堆積物の採取を行った（左ページ左下図参照）。F-4で採取された海底堆積物の表層5cmほどは含水率が高いなどの理由から、地震による乱泥流が最近堆積したものであると考えられる。堆積物中の全有機炭素量や間隙水に含まれる生元素（硝酸、リン酸、アンモニア）の濃度を分析した。全有機炭素量は乱泥流堆積物と考えられる部分で減少していた。間隙水中の生元素の分布は一般に見られるものと類似していた



# 生物に含まれる化学物質を測り、海の安全

# を明らかにします。PCBが基準値を超えていないことを確認しました。

「津波によって、さまざまなものが陸から海に運ばれてしまいました。そのなかには、有害物質であるPCB（ポリ塩化ビフェニル）を含むものもあります。私たちは、海に暮らす生物や海底堆積物に含まれるPCBを計測して、海の安全を明らかにしようとしています」と、大河内直彦さんはいいます。

PCBは、燃えにくく、電気を通さないといった性質を持つことから、絶縁体や熱媒体としてトランス（変圧器）やコンデンサー（蓄電器）などの電気機器に使用されてきました。しかし、1968年に起きたカネミ油症事件などをきっかけに、PCBは生体への毒性が強く、がんや内臓障害、ホルモン異常などを引き起こすことが明らかになりました。1972年には国内での製造が禁止され、PCBを使用している電気機器は保管し、適正に処理することが義務付けられました。しかし、本格的な処理が始まったのは2001年で、いまだにPCBを使用している電気機器が多数、保管されたままになっています。

環境省の記録によると、2011年時点において

青森県、岩手県、宮城県、福島県の合計で、トランスが3,495台、コンデンサーが3万7652台、保管されていました。そのうちトランス34台、コンデンサー88台が、津波によって流出しました。これらの数は届け出がされていたものだけであり、実際はもっと多くのトランスやコンデンサーなどPCBを含む電化製品が流出した可能性があります。

「PCBは毒性を持つことに加え、化学的に安定で分解されにくく、脂溶性のため体内に蓄積しやすいことが、大きな問題なのです」と大河内さんは指摘します。「海底で容器が腐食してPCBが漏れ出すと、その海域に生息している生物の体内にPCBが取り込まれ、蓄積します。その生物を食べた生物の体内にもPCBが蓄積され、食物連鎖を通じてどんどん濃縮していきます。私たちが、PCBが高濃度に蓄積した生物を食べしまうと、健康被害を起こす危険があります」

これまで、海底谷や平坦な海底から採取された堆積物に含まれるPCBの組成や濃度を詳細に測定しています。いずれの地点でも、環境省の基準値以下でした。生物については、キチジ、スケ

トウダラ、イラコアナゴなど食物連鎖の上位に位置するものも含めて15種類についてPCBを分析していますが、基準値を超えるものはなく、地震・津波前と同レベルにあることが分かっています。

「私たちは、PCB濃度の測定と同時に、栄養段階も調べています」と大河内さん。植物プランクトンの栄養段階は1で、植物プランクトンを食べる動物プランクトンは2、というように食物連鎖が進むほど栄養段階が高くなります。しかし、食物連鎖は複雑で、実際に海で暮らす多様な生物がそれぞれ何を食べているかを知るのはとても難しいことです。胃の内容物から調べることも行われていますが、その直前に食べたものが分かるだけで、いつも同じとは限りません。そもそも、小さな生物の胃を調べるのは困難です。そこで、JAMSTECでは、アミノ酸に含まれる窒素同位体比を分析することで栄養段階を決める、新しい方法を開発しました。TEAMSの調査でも、その方法を使って栄養段階を調べています。

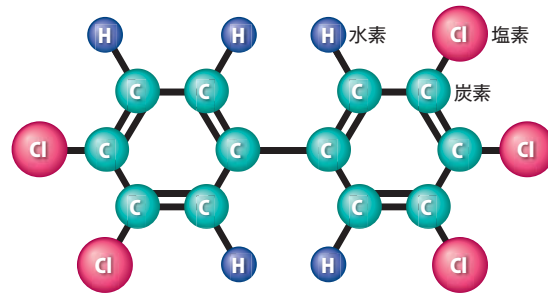
「PCB濃度とともに栄養段階を調べることは、とても重要です」と大河内さんはいいます。「栄養段

階の高い生物は、生態系の全体を俯瞰するのに役立ちます。つまり栄養段階の高い生物ほど寿命が長い傾向にあり、食物連鎖を通して海の汚染状況を知るよいモニターにもなります」

PCB濃度の測定値は文部科学省や各自治体などに報告されています。大河内さんは、「一般の人への公表については、慎重に検討する必要があります」といいます。「魚Aは魚BよりPCB濃度が100倍高いという発表があったら、たとえそれが基準値の100分の1以下でも、魚Aを食べるのをやめようと思う人がいるでしょう。TEAMSの目的は漁業の復興です。風評被害で漁業者の皆さんを苦しめることが、あってはなりません」

PCB濃度について、堆積物、生物ともに、現在はすべて基準値以下です。しかし容器の腐食が進み、数年後にPCBが漏れ出す可能性もあります。また、生物濃縮は時間をかけて、ゆっくり進行していきます。今後も定期的に観測を続け、監視していきます。

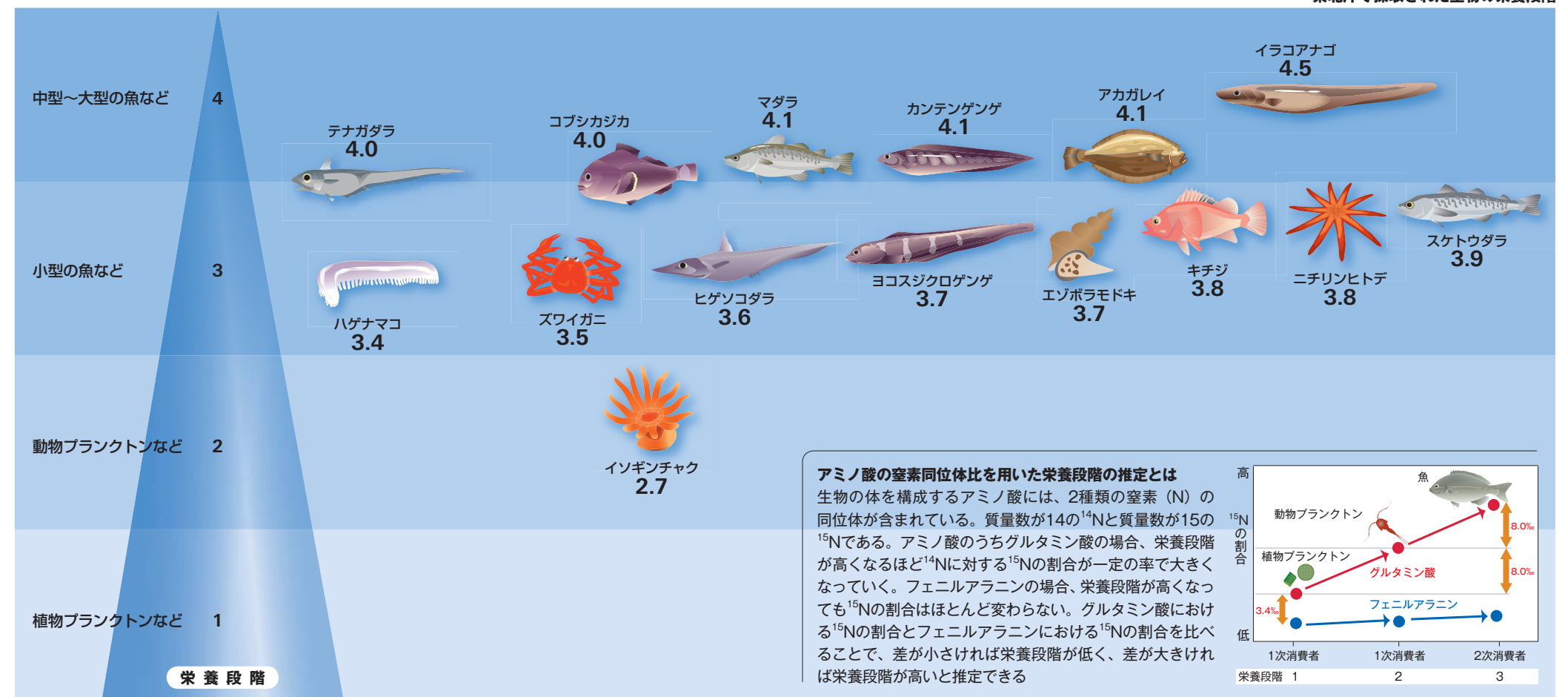
PCB(ポリ塩化ビフェニル)の構造  
PCBは水素と炭素、塩素から成り、塩素の数や位置によって異性体が存在する。化学的に安定で分解されにくい



1881年	初めての合成（ドイツ）
1929年	工業生産の開始（アメリカ）
1954年	日本での製造開始
1968年	カネミ油症事件の発生
1972年	行政指導により製造中止、回収、保管を指示。PCBを含む機器は、事業者により保管することが義務付けられた。
1974年	「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」施行。製造、輸入、使用の禁止。
1976年	「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」改正。PCBの廃棄方法として高温焼却による処理を規定。
1992年	「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」改正。PCB廃棄物は特別管理産業廃棄物に指定され、厳格な管理が義務付けられた。
1998年	「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」改正。PCBの廃棄方法として化学分解法などを追加。
2001年	「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法」施行。2016年までに適正に処理することが義務付けられた。

PCBに関する歴史（環境省の資料などより作成）

東北沖で採取された生物の栄養段階





# さまざまな調査データを地図上にまとめ、

# 海と生物のいまを明らかにします。

「私たちは、三陸沖のハビタットマップをつくっています」と山北剛久さんはいいます。「ハビタットとは生物の生息場所という意味です。私たちがつくるハビタットマップは、生物の分布の情報だけでなく、生息環境についてのさまざまな情報を統合した地図です」

TEAMSの調査研究では、これまで紹介してきたように、海底地形、海底表層の地質、ガレキの分布、生物の分布、海洋環境など、さまざまな情報が得られてきています。「それぞれ単独でも、とても重要な情報です。しかし、複数の情報を重ねることで、生物が暮らしやすいところと暮らしにくいところ、生物種による違いなど、生物と環境の関係がはっきり見えてきます」と山北さん。

現在のところ、以下の情報をハビタットマップに統合していく計画です。海底地形、海底表層の地質、地下構造、ガレキの分布、生物の分布、水温や塩分、

栄養塩、クロロフィルaの量といった海洋環境などです。TEAMSの調査研究で得られた情報に加えて、JAMSTECや大学、官公庁がほかの研究調査プロジェクトで得た情報、市販されている情報も収集して利用します。

情報の収集で最も苦労しているのが、生物の分布だそうです。「潜水調査船が潜航したときの映像から生物の分布を調べています。映像はJAMSTECのデータベースに入っていて、見ることができ、生物名で検索できます。しかし、映像に映っているすべての生物が検索で分かるわけではないので、映像をすべてチェックしていくしかありません。気が遠くなる作業です」

さらに山北さんは、「情報が集まれば、後は地理情報システム（GIS）を用いて統合すればよいのだから簡単だろう、と思われるかもしれませんが、実は、そう簡単ではないのです」といいます。「たとえば

海底地形図といっても、JAMSTECと海上保安庁では解像度も範囲も異なります。それをうまくつないで1枚の地図にしなければなりません。ほかの情報についても同じです」

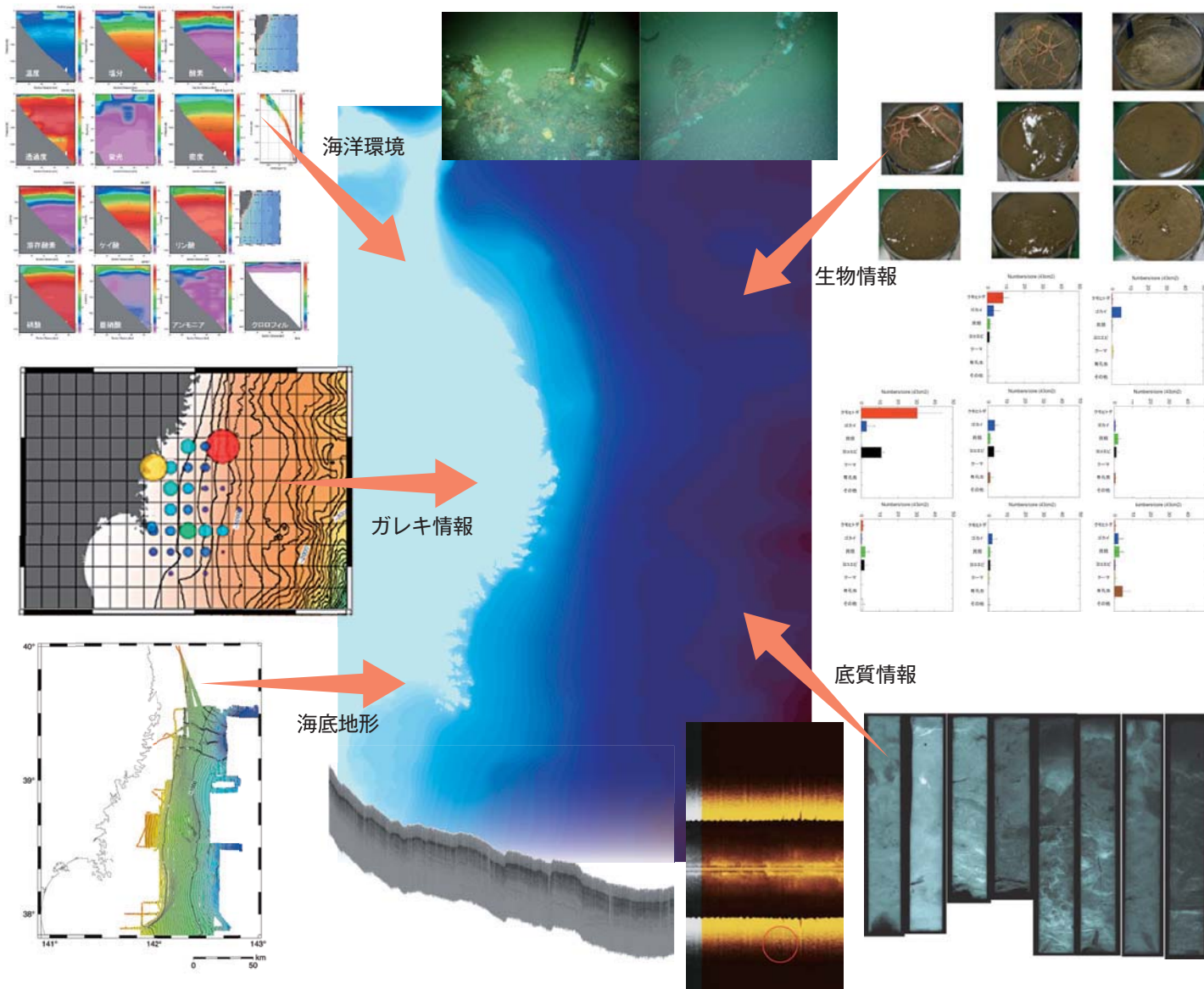
ハビタットマップは、陸上の生態系ではつくられ始めていますが、海洋の生態系についてはほとんど例がありません。基本となる海底地形をはじめ、情報を得ることが陸より難しいからです。「三陸沖のハビタットマップの作成は、大きな挑戦です」と山北さん。

ハビタットマップによって環境と生物分布の関係が分かれば、生物生産性の高い海域、多様性の高い海域、脆弱な海域などが見えてきます。「ハビタットマップからは、いつどこでどの魚種が捕れやすいか、個体数を維持するために漁を控えた方がよい海域はどこか、といった情報も読み取ることができます。漁業者にも使っていたいただきたいですね。そのた

めには、一般の人にとって見やすく、分かりやすい地図にしていきたいと思っています」と山北さん。そして、「研究者は、さまざまな情報を詰め込んで複雑な地図をつくってしまいがちなので、気を付けます」と笑います。

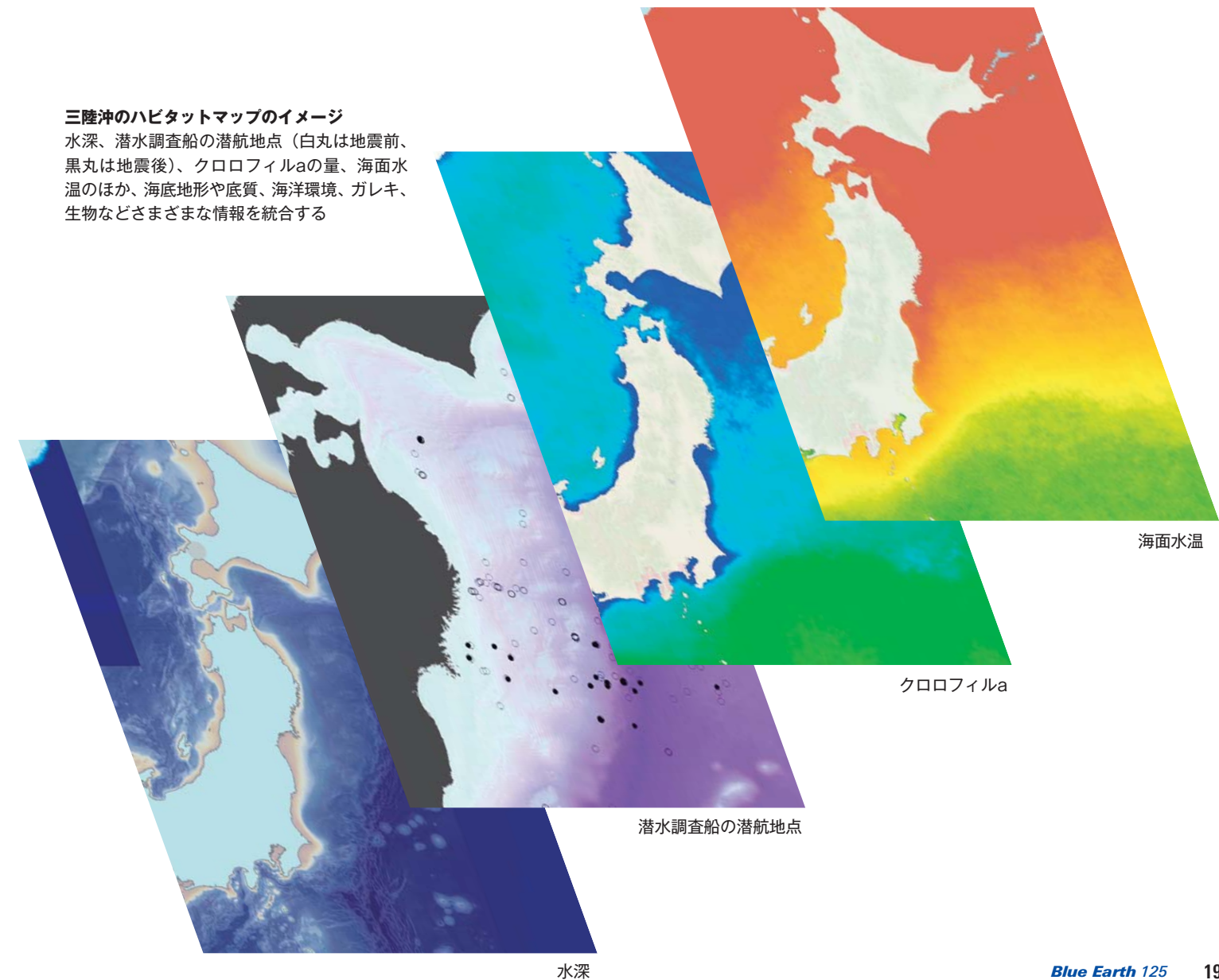
ハビタットマップは、漁業の復興にとどまらず、さまざまな研究に役に立ちます。これまで、地形図を利用するのは地質学の研究者、生物の分布図を利用するのは生物の研究者というように、分野によって使う情報が分かれていました。ハビタットマップができれば、分野の枠を超えて、さまざまな情報を使えるようになります。いままで使っていなかった情報を重ね合わせて解析することで、新たな発見もあると期待されています。

**ハビタットマップとは**  
生物の分布や環境など、複数の情報を重ね合わせた地図。位置情報を持つ情報は、地理情報システム（GIS）によって統合していくことができる



## 三陸沖のハビタットマップのイメージ

水深、潜水調査船の潜航地点（白丸は地震前、黒丸は地震後）、クロロフィルaの量、海面水温のほか、海底地形や底質、海洋環境、ガレキ、生物などさまざまな情報を統合する





# 調査研究の結果を、皆さんに公開します。

「私たちは、TEAMSの調査・研究で得られたデータを収集・管理し、公開していくという役割を担っています」と園田 朗さんはいいます。「TEAMSは、中心機関であるJAMSTEC、東北大学、東京大学大気海洋研究所の3機関以外にも、たくさんの機関の方々に参加しています。効率的に成果を出していくには、情報を共有する必要があります。TEAMSのなかで私たちは、情報という栄養を体の隅々まで運ぶ血液のような存在です」

参画する他機関の関係者との調整のもとで、TEAMSにおけるデータやサンプルの取り扱いに関するルールを決めました。具体的には、調査の計画に関する情報や実施後の報告書、調査で得られたデータ、サンプルの内容や保管場所などを記載したメタデータ、また、学会やシンポジウムなどで成果を発表した場合には公表した情報を提出する

こと、としています。

提出されるデータは、生物に関するものから化学、物理、地学に至るまで、内容はさまざまです。データの種類も数値や画像、映像など多様で、その量は膨大です。欲しい情報にたどり着き、また、利用することができるように、収集したデータを体系的に整理したデータベースを構築していきます。

「データベースを利用できるのは、研究者だけではありません」と菱木美和さんはいいます。「被災地の方はもちろん、一般の方も利用できるように、TEAMS公式ホームページ (<http://www.i-teams.jp/>) から公開する準備を進めているところです」

「TEAMSの目的は東北の漁業の復興に貢献することですから、データの公開にあたっては、地元の皆さんがどのような情報を知りたいのかを把握する必要があります」と金子純二さんはいいます。「知

りたい情報は、立場によって違います。また、同じ人でも、震災の直後といまでは変わってきています。そうした多様な要望を把握することも、私たちの仕事です」

そのために、自治体や漁協などを訪れてTEAMSについて説明をしたり、要望の聞き取りをしたりしています。「TEAMSが始まった当初は、難しい言葉が並んだ研究者向けの資料しかなく、なかなか皆さんに興味を持っていただけませんでした。そこで、一般の方に読んでいただけるように、パンフレットをつくることにしたのです」と菱木さん。そして完成したのが、蛇腹折りのパンフレットです。「手に取った方に家に持って帰ってもらえるように、ポケットに入るくらいの大きさになっています。また、東北の海にすむ生物のイラストや紹介を含めることにより、このパンフレットをご覧になった方々に東北の海の様子に少しでも興味を持っていただけるように……、とみんなで話し合いながらつくりました」

「データを収集して公開する仕事という、いつもコンピュータの前に座ってデータだけを相手にしていると思うでしょう」と金子さんはいいます。「実は、人と人のつながりがとても重要なのです。データの収集にしても、データを提供する側と受け取る側との間に信頼関係がなければ、データは集まりません」

金子さんは、東北の漁協や自治体に何度も足を運んでいます。「最初のころは、“こいつは何者だ!”と警戒されていたのですが、何度も通ううちに顔を覚えてもらえ、“また来たな”と声を掛けてくれるようになりました」と金子さん。「うれしさとともに、TEAMSの調査・研究の成果を東北の漁業の復興につなげていかなければ、と強く思います」

TEAMS公式ホームページでは、データベースの公開に先駆け、調査研究内容の紹介や、調査計画、関連する委員会・イベントなどの情報発信を行っています。ぜひ、ご覧ください。 **BE**

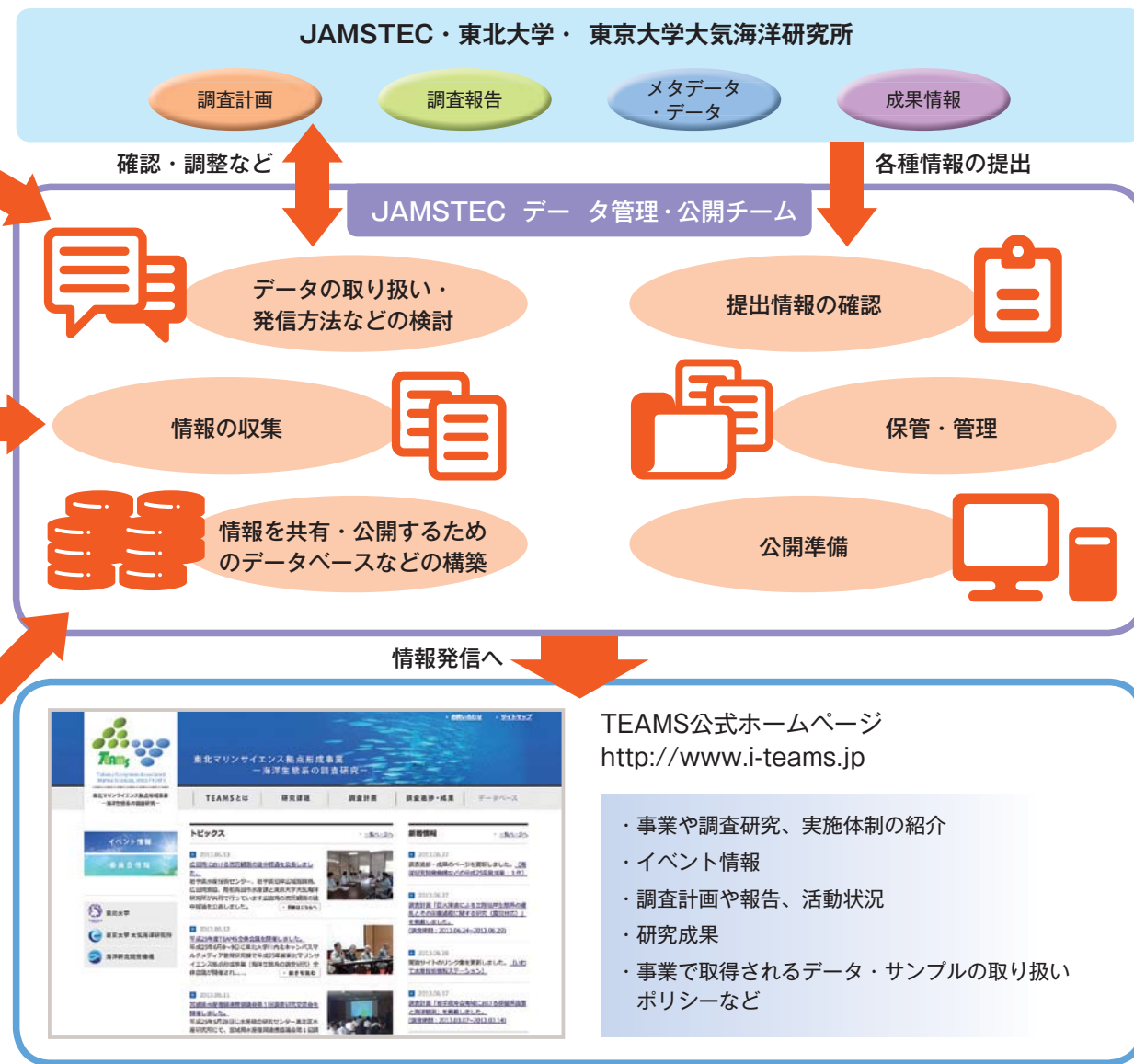
岩手県釜石市の唐丹町漁協での成果報告と地元漁業の現状の聞き取りの様子



宮城県庁での成果報告と県内の漁業復旧状況の聞き取りの様子



南三陸町の漁港の様子 (2012年10月撮影)



TEAMSにおけるJAMSTECの調査研究活動を紹介するパンフレットとホームページ



<http://www.jamstec.go.jp/teams/> 英語ページも公開中



# 大口を開けて食らう—— メリベウミウシ

大潮で引き潮になる夜中を狙い、知多半島のとある海岸に向けて車を走らせた。

夜10時。海岸には、そこかしこに潮だまりができていて、水に隠れて見えなかった浅瀬で暮らす生きものたちの姿が、あらわになる時間だ。注意深く海岸を歩いて、展示になりそうな生きものを探す。

潮だまりをライトで照らすと、「いた!」。恐竜ステゴサウルスのように2列の突起を背中に持つメリベウミウシだ。大きく開いた口に飛び出た2つの目。まるで怪獣カネゴンのような頭部に、ひゅると胴体がつながる。背中の突起は、捕獲するとき注意が必要だ。触ると簡単に取れてしまう。取れた突起は、しばらく別の生きもののようにウニョウニョ動いていることから、トカゲの尻尾のような意味があるのかもしれない。突起に触れないように周囲の砂ごとケースに入れた。このとき捕獲したメリベウミウシは、全長7~8cm。伸び縮みするので、正確な数字が出しにくい。傘のように開いた口は、全長の3分の1を占めている。

水族館に展示して半年ほどたったある日、開館前の見回り

をしていると、メリベウミウシの様子がおかしい。全長2cmもあるカニダマシというヤドカリの仲間をくわえ込んでいた。

メリベウミウシは小さな甲殻類を餌にすることが知られている。名古屋港水族館では、アルテミア、一般にはシーモンキーという名で売られている甲殻類を与えている。その全長は1mmほどだ。普段の餌と大きさが違い過ぎる。すぐ吐き出すか、そうでなければカニダマシのはさみでメリベウミウシの膜が破れてしまうのではないかと、思わず息をのんだ。

次の瞬間、メリベウミウシは無謀とも思える行動に出た。口は次第に縮み、なかの水を抜き始めた。これは捕食するときに見せる行動だ。「食べるつもりなのか!」

カニダマシは必死に抵抗し、2本のはさみを大きく振り上げ、もがいている……。膜は案外強いようだ。はさみが当たっても膜は傷付くこともなく、のれんに腕押し状態だ。プシューッ

となかの水を噴き出してますます縮み、カニダマシはどんどん口の奥へと運ばれていく。わずか20~30分で、メリベウミウシはカニダマシをのみ込んでしまった。

こんなに大きな餌を食べられるのか。いつも見ていたメリベウミウシが、何だか違う生きものに思えた。何げない水槽のなかに驚くような発見が、散りばめられている。

取材協力：小串 輝/名古屋港水族館 飼育員

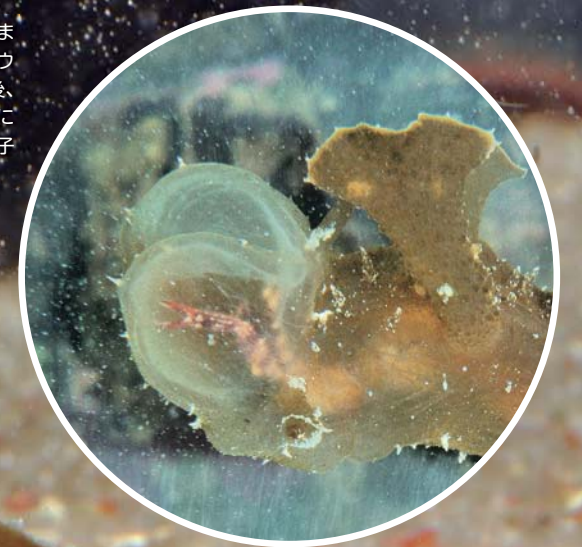
■ Information: 名古屋港水族館  
〒455-0033 愛知県名古屋市港区港町1-3  
TEL 052-654-7080  
URL <http://www.nagoyaaqua.jp>



メリベウミウシが口を大きく広げている。普通ははって移動するが、活動的で、よく泳いでいる

メリベウミウシは西日本から西太平洋・インド洋の水深10mまでの岩礁帯にすむウミウシの仲間。口を投網のように広げて小型の甲殻類を捕らえ、食べる。写真では、頭部から1番目と2番目のひれの下のみにみ込まれた全長2cmのカニダマシが見える

カニダマシを捕まえたメリベウミウシのみ込んだ後、数日かけて徐々に消化していく様子が見られた





# 地層と微生物を見て 生命の初期 進化に迫る

原始の地球で誕生した生命は、  
どのように進化し、  
生態系を拡大していったのか。  
西澤 学 研究員は、  
地球化学と微生物学を統合した独自の  
研究手法により、  
生命の初期進化に迫っている。



西澤 学

プレカンブリアンエコシステム  
ラボユニット  
研究員

超好熱メタン生成菌の培養容器を手に  
撮影：藤牧徹也

西澤 学 (にしざわ・まなぶ)  
1977年、東京都生まれ。博士(理学)。  
東京理科大学理学部第一部物理学科  
卒業。東京大学大学院理学系研究科  
地球惑星科学専攻博士課程修了。東  
京工業大学 研究員を経て、2009年よ  
り現職。専門は生物地球化学、同位  
体地球化学



東京工業大学時代、地質試料の同位体分析を行う西澤研究員(手前)

——小学生のころ、好きだった教科は何ですか。

西澤：中学受験のために塾に通いました。そこでパズルのような図形問題をゲーム感覚で解くうちに、算数が好きになりました。論理的に問題を解いていくことが楽しかったのです。

——そのころの趣味は。

西澤：祖父に囲碁を習い、論理的に先の局面を読みながら打っていくことが面白くなりました。同世代には囲碁をする友達がなかったので、大学のころまで碁会所で対局を楽しみました。最近は打つ機会がありませんが、テレビで棋士の対局を見るのは大好きです。

——地球科学に興味を持ったのはいつごろですか。

西澤：高校に入って、「ブルーボックス」シリーズなどの地球科学系の本を読むうちに、地磁気やオーロラなどの現象を物理法則で説明できるということに興味を覚えました。そこで、東京理科大学理学部第一部の物理学科へ進みました。しかし4年生で研究室を選ぶとき、地磁気やオーロラが専門の先生がちょうど退官してしまいました。私は大気汚染や酸性雨などが専門の研究室に入り、東京都心の神楽坂キャンパスで大気観測などを行いました。

生命の偉大な発明“窒素固定”に迫る  
——大学院では地球化学を選んだのですね。

西澤：高校生のころから、地球史46億年を扱ったNHKの特集番組などをよく見ていて、地球や生命の歴史に興味がありました。そして学部4年生のとき、『安定同位体地球化学』(酒井均、松久幸敬 著)

という本を読みまし。安定同位体という物理学科の私にもなじみのあるものを分析することで、地球や生命の歴史を読み解くことができることを知り、広島大学の佐野有司 教授の研究室に進学しました。

——どのような研究を行ったのですか。

西澤：修士課程で与えられたテーマは、同位体を使った地質試料の年代測定でした。試料は東京工業大学の丸山茂徳教授の研究室から提供していただいたものでした。西オーストラリアのノースポールという場所で採取された約35億年前の地層試料です。そこは、世界最古の生物化石が発見された場所として有名です。

——35億年前、そこはどのような場所だったのですか。

西澤：深海底の熱水が噴出している場所でした。そのような環境で生命は誕生し、進化したと考えられています。私は博士課程から、ノースポールの地層試料の同位体分析を行い、生命の初期進化を探る研究を始めました。そこで注目した元素が、窒素です。

——なぜ窒素なのですか。

西澤：窒素は生物の体をつくる原材料で、アミノ酸やDNAを構成する主要元素です。現在の大気の約80%は窒素分子(N<sub>2</sub>)ですが、多くの生物は窒素分子を直接、体をつくる原材料として利用できません。アンモニア(NH<sub>3</sub>)や硝酸(HNO<sub>3</sub>)などの化合物にならないと、餌として利用できないのです。

現在の地球では、一部の微生物が窒素分子からアンモニアをつくる「窒素固定」を行っています。それを原材料にして植

物はアミノ酸やDNAをつくり、その植物を動物が餌にしています。地球に生命が満ちあふれたのは、一部の微生物が窒素固定をしてきたおかげです。20世紀初頭にフリッツ・ハーバーとカール・ボッシュたちによって窒素分子からアンモニアが人工的に合成されるまでは、微生物による窒素固定が生物量を規定してきたのです。

では、生命が誕生した原始の海ではどうだったのか。どのようにつくられたかは謎ですが、原始の海にはアンモニアなどが溶け込んでいたと考えられます。そのような窒素化合物がなければ、アミノ酸やDNAがつかられ、生命が誕生することは難しいからです。また、誕生した生命は周囲のアンモニアなどを餌としていたと考えられます。ただしその餌の量は限られていて、やがて食べ尽くしてしまっただけでしょう。生態系を持続的に維持するには、生命は窒素固定という“偉大な発明”を成し遂げる必要があったはず

です。では、35億年前の生命は、窒素固定を行っていたのか。私はノースポールの地質試料に残された窒素を分析することにしました。ただし窒素は残りにくいため、地質試料には微量しか含まれていません。そのため、地質試料の窒素を分析する研究はほとんど行われていませんでした。手付かずの研究だったことが、私が窒素に注目したもう1つの理由です。佐野先生が微量窒素の測定技術確立して、現在の火山ガスなどの分析をされていた。その測定技術を使って35億年前の地質試料の窒素の安定同位体を測定すれば、当時の生物が窒素固定をしてい



たかどうか分かるかもしれないと思ったのです。

——そもそも同位体とは何ですか。

西澤：同じ元素でも質量数（原子の質量）の異なるものことです。窒素の安定同位体には、質量数が14の<sup>14</sup>Nと、質量数が15の<sup>15</sup>Nがあります。対象とする窒素化合物がこの2種の窒素安定同位体をどのような割合で含んでいるのか、その存在比（<sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N）を調べます。そして当時の大気中の窒素分子と、生物の体となった有機物中の窒素の同位体比を比べることで、当時の生物が窒素固定をしていたかどうかを知ることができます。

——35億年前の大気をどのように調べるのですか。

西澤：ノースポールの地質試料に、微量ですが当時の大気が閉じ込められています。その窒素分子の同位体比を調べまし

た。すると現在の大気とほとんど同じであることがわかりました。そして、35億年前の地質試料中に残された生物由来の有機物中の窒素同位体比を測定して比べることで、当時の生命はすでに窒素固定を行っていた可能性があることがわかりました。

微生物実験で窒素固定を検証する  
——海洋研究開発機構（JAMSTEC）プレカンリアンエコシステムラボユニット（以下、プレカンラボ）に入った経緯は。

西澤：私は学位を取った後、東工大の丸山研究室で研究を続けていました。あるときセミナーで窒素固定の研究の話をしたときに、「おまえ、熱水域の現場を見たことあるんか？」と声を掛けてきた人がいました。それがプレカンラボの高井研ユニットリーダー（UL）でした。

丸山研究室では、ノースポールの地質試料中のメタンの分析により、35億年前の原始海底熱水環境にはメタン生成菌が息を吐いていたと考えていました。一方、高井ULは、インド洋の熱水域「かいいいフィールド」で超好熱メタン生成菌が海底熱水生態系の一次生産者であることを発見しました。そしてその発見をきっかけに、現在の生命につながる地球最古の持続的な生態系は、水素と二酸化炭素からメタンを合成することでエネルギーを得るメタン生成菌によって支えられていた、という仮説を提唱していました。そこで、丸山研究室と高井ULたちは共同研究を始めていたのです。

最古の持続的な生態系を支えた超好熱メタン生成菌は、メタン生成で得たエネルギーを使って窒素固定を行っていた可能性があります。私は、それを培養実験によって検証したいと思い、プレカンラボに入りました。

——どのように検証を進めたのですか。

西澤：インド洋の熱水域から採取された超好熱メタン生成菌を、35億年前の熱水域で想定される環境条件（熱水化学組成）で培養して、そのような環境でも窒素固定を行うことができるかどうかを調べました。特に重要な元素が鉄とモリブデンです。窒素固定には、鉄とモリブデンを含む酵素が必要だからです。それらの元素の濃度やエネルギー基質となる水素濃度をさまざまに変えて培養を行い、超好熱メタン生成菌がつくる有機物の窒素同位体比を測定しました。そして、その実験データと、35億年前の地質試料中の有機物の測定データが一致するかどうかを調べました。

——結果はどうでしたか。

西澤：その実験結果を論文にまとめて投稿しているところです。うまくいけば、今年中には論文が発表されるはずですよ。

白いスケリーフットの飼育実験

——有人潜水調査船「しんかい6500」世界一周航海「QUELLE 2013」の一環として今年1～3月に行われたインド洋海嶺調査（YK13-02）において、首席研究者を務められましたね。

西澤：生命の初期進化の研究とともに、スケリーフットという巻貝の調査が大きな目的の1つでした。「かいいいフィー

ルド」では2001年、殻やうろこが硫化鉄でコーティングされた黒いスケリーフットが発見されました。そして2010年には、「しんかい6500」が700km以上離れた熱水域「ソリティアフィールド」で、硫化鉄に覆われていない白いスケリーフットを発見しました。どちらも遺伝的にはほぼ同一の種です。

——硫化鉄のコーティングは、どのようにできたのですか。

西澤：3つの仮説が考えられています。硫化鉄のコーティングには、スケリーフット自身がつくるタンパク質が重要だという説、共生している微生物が重要だという説、硫化鉄が無機的に沈殿しただけだという説です。

私たちは今回、ソリティアフィールドで白いスケリーフットを採取して飼育することで、どの説が有力かを確かめる実験を行いました。私自身も今回の航海で「しんかい6500」に初めて乗船し、深海の熱水域を肉眼で観察する機会を得ました。採取した白いスケリーフットは日本に持ち帰り、飼育を続けました。

——飼育実験の結果はどうでしたか。

西澤：採取してから約20日間、スケリーフットは生きていました。その間の飼育実験で、ある説の可能性が高くなり、別の説の可能性が弱くなった、という印象です。さらに現在、生体でなくてもできる実験が続けているところです。

硫化鉄コーティングの謎を解くには、生物学や生化学、鉱物学など、さまざまな分野の手法を複合的に駆使する必要があります。そこがすごく面白いところです。

熱水生態系から光合成生態系へ

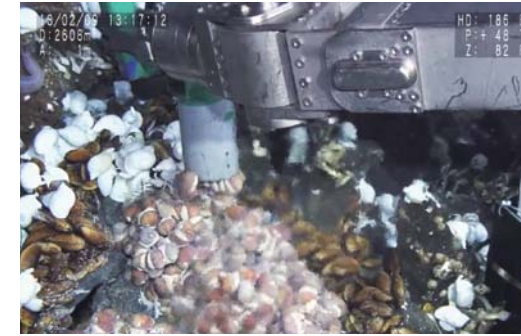
——今後、どのような謎に挑んでいくつもりですか。

西澤：生命は深海の熱水域から太陽光が届く表層へと生態系を大きく拡大してきました。それを可能にした光合成の能力を、どのように獲得したのか探りたいと考えています。

光合成微生物には、酸素を発生するタイプと、酸素を発生しないタイプがいます。酸素を発生するタイプは27億年前までに登場しましたが、酸素を発生しないタイプはそれよりも進化的に古いと考えられています。たとえば、その古いタイ



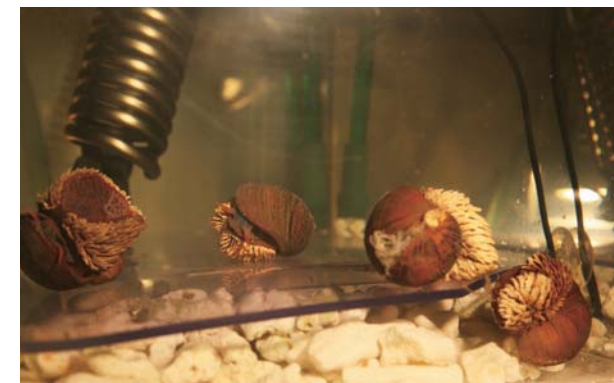
2013年2月11日、「しんかい6500」によるインド洋・ソリティアフィールド潜航前と、深海調査に初潜航した研究者に対して行われる「伝統的洗礼」を受けた西澤研究員



ソリティアフィールドでの白いスケリーフットの採取

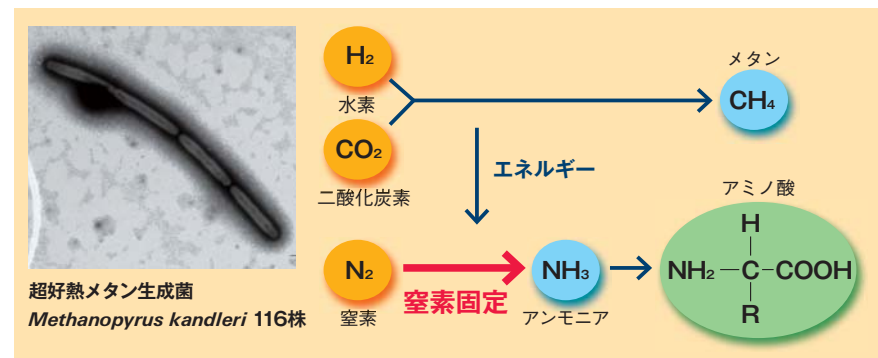


放射性同位体化合物を使った白いスケリーフットの船上飼育実験を行う西澤研究員



かいいいフィールドに生息する黒いスケリーフット

日本に持ち帰り飼育された白いスケリーフット



#### 超好熱メタン生成菌と窒素固定

画像は高井研ULたちが、インド洋「かいいいフィールド」で発見した超好熱メタン生成菌。35億年前の熱水域では、このような超好熱メタン生成菌が水素と二酸化炭素からメタンをつくる代謝によってエネルギーを生み出し、そのエネルギーを利用して窒素からアンモニアをつくる窒素固定を行い、そのアンモニアを原材料にアミノ酸などの生体化合物をつくっていたと考えられる。最古の持続的な生態系は、このような超好熱メタン生成菌に支えられていた可能性がある



JAMSTECプレカンラボの窒素分析装置 撮影：藤牧徹也

プの光合成に必要な色素分子と類似の構造を持つ酵素を、熱水域の超好熱メタン生成菌がつくっていることが知られています。光合成に必要な機能分子の一部は、熱水域で準備されたのかもしれませんが。光が届かない深海熱水域で非酸素発生型の光合成微生物を発見した、という報告もあります。

プレカンラボの同僚は、生命が光合成を始めたころの太古の海水の化学組成を復元する実験を行っています。私はその復元された海水組成で微生物を使った実験を行いたいと考えています。太陽光と熱水が同時に供給される浅海熱水域の微生物を調査することも重要かもしれません。そのような研究により、生命はどのような条件で光合成の能力を獲得した可能性が高いのか、シナリオを描き出したいと思っています。

新たな疑問が湧き上がってくる時  
——研究者という職業は楽しいですか。

西澤：自分で考えて道筋を付け、物事を進めることのできる余地が大きいことが魅力ですね。

そして共通の目標を持つ人たちと議論しているときに、楽しい時間です。特に、プレカンラボには議論していてとても楽しい人たちが集まっています。岩石学や地質学、地球化学、微生物学など、さまざまな分野の専門家がプレカンラボやJAMSTECのほかの研究グループにいて、常に議論し、連携しながら研究できる環境は、素晴らしいと思います。

そして議論と実験を繰り返すことで発見した事実から、新たな疑問が次々と湧き上がり、研究すべきことが見えてくる時があります。それが、研究者として幸せな瞬間です。

BE



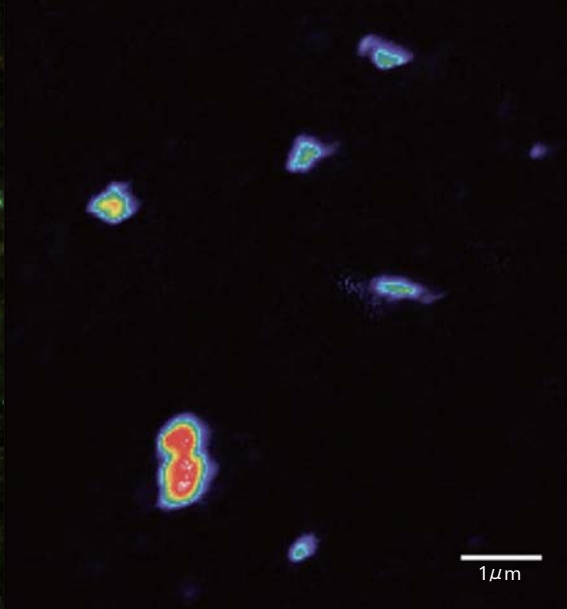
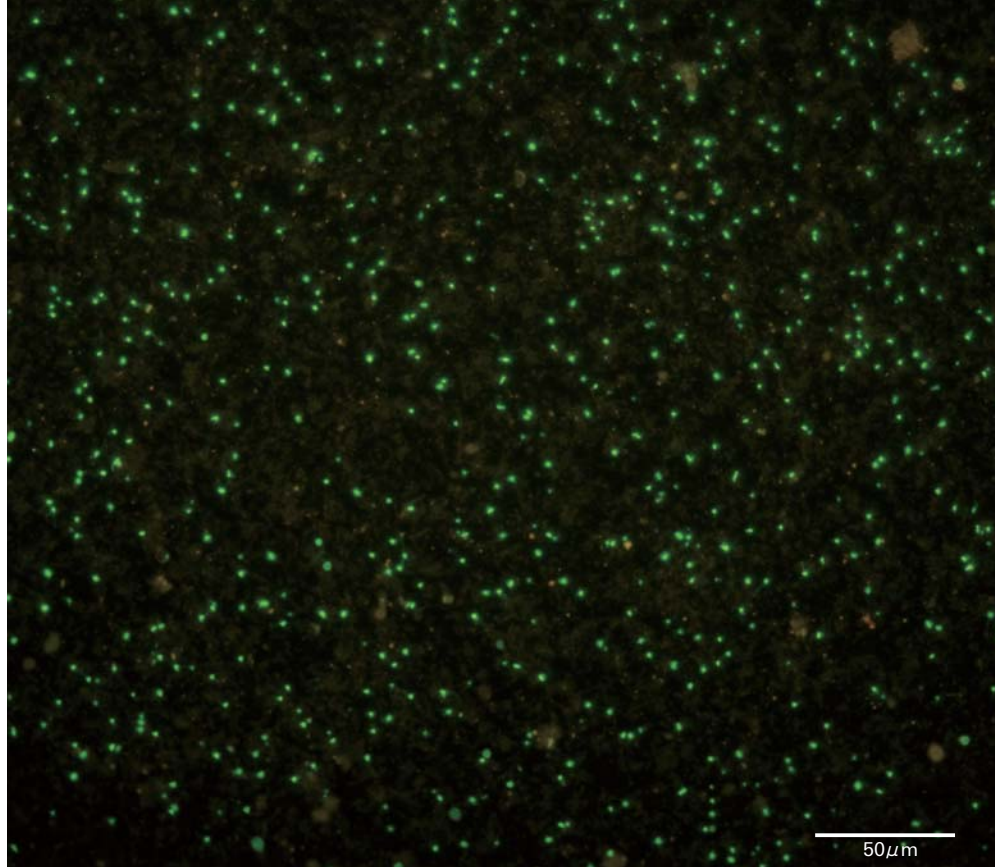


図1 46万年前の地層から見つかった微生物

下北半島八戸沖の海底下、46万年前の地層から採取した微生物の蛍光顕微鏡画像（左）と炭素13と窒素15に置き換えた栄養分を取り込んだ海底微生物のNanoSIMS画像（右）



図2 海底下の堆積物と微生物

下北半島八戸沖で「ちきゅう」によって採取されたコア（堆積物の円柱状試料）と、堆積物から発見された微生物様構造物の電子顕微鏡写真

# 1億歳の微生物は存在する?!

## 微生物と海底下、その謎を探る

2013年1月19日 第159回地球情報館公開セミナーより

地球表面積の7割を占める海洋。その底のさらに下には、地球最大級の微生物王国が存在します。地球深部探査船「ちきゅう」などを用いることでアクセスが可能となる海底下生命圏。

なんと1億年前に堆積した海底下の地層からも微生物が見つかりました。太陽の光が届かない真っ暗な海底下の泥のなか、私たちの想像を超えた環境でゆっくりと生きている、目には見えない小さな生き物とその謎についてお話しします。

のです。これには焦りました。蛍光を発しているもののなかに、微生物ではないものがたくさん混ざっていたのです。

それ以降、どうしたら生命体だけを確実に検出できるのか—生懸命考えました。



高知コア研究所  
地下生命圏研究グループ  
サブリーダー  
諸野祐樹

もろの・ゆうき。1976年、福井県生まれ。博士（工学）。東京工業大学生命理工学部生物工学科卒業。同大学院生命理工学研究科生物プロセス専攻博士課程修了。産業技術総合研究所生物機能工学研究部門生物資源情報基盤研究グループ博士研究員を経て、2006年、海洋研究開発機構（JAMSTEC）高知コア研究所地下生命圏研究グループ研究員。2010年より現職

### 海底下は地球最大の生命圏

地球は生命の星と呼ばれています。生命の星というと、太陽の光が降り注ぎ酸素が豊富な地上や浅い海など、地球の表層をイメージすると思います。そこでは多様な生命体が繁茂し、活発な生命活動が営まれています。一方、私たちが研究フィールドとしている海底下は、太陽光が届かず真っ暗で、酸素も少ない世界です。

そのような海底下に生き物はいるのでしょうか。いないと私の話はこの瞬間に終わってしまいますから、答えは「いる」です。では、どのような生物がいるのでしょうか。海底下から採取してきた堆積物、つまり泥を肉眼で見ても生物は見当たりませんが、電子顕微鏡を使うと丸いかたちをした微生物が見えてきます（図2）。微生物とは、目に見えない小さな生命体の総称です。その大きさは1μm、つまり1mmの1,000分の1くらいです。

海底下の微生物を調べるには、海底下

から試料を採ってくる必要があります。現在、統合国際掘削計画（IODP）のもと、日本、アメリカ、ヨーロッパを含む26カ国が共同で海洋掘削を実施しています。科学目的の掘削を行う専用の船は、世界に2隻あります。アメリカの「ジョイデス・レゾリューション号」と、日本の地球深部探査船「ちきゅう」です。「ちきゅう」は、海洋石油掘削に使われているライザー掘削技術を科学研究用に初めて導入した掘削船で、世界最深の海底下7,000mまで掘削できます。これまでに世界各地で掘削が行われ、私は2010年に南太平洋で行われた掘削と、2011年に青森県下北半島八戸沖で行われた掘削に参加しました。

海底下の堆積物から見つかった微生物について初めて報告されたのは、1994年です。それまで海底下は生命が存在できないと考えられていましたから、この発見は大きな驚きでした。その後の調査から、海底下数mのところには1cm<sup>3</sup>あたり1億

～10億もの微生物がいることが分かってきました。深くなるに従って減っていきませんが、海底下数百mのところでも1cm<sup>3</sup>あたり100万くらいの微生物の存在が確認されています。

地下に存在する微生物は、細胞の数にして0.3～3.5×10<sup>30</sup>と推定されています。地球全体に存在する微生物は6.0×10<sup>30</sup>細胞と推定されていますから、その6～60%に達しています。海底下は、地球最大の微生物生命圏なのです。

### 微生物を数える

ところが、堆積物のなかに微生物がいくついるのかを数えるのはとても苦労します。「生命体である」という証拠を示すことが、意外と難しいのです。

生命体の目印として使われているのが、DNA（デオキシリボ核酸）です。まず、堆積物を0.22μmの孔が開いたフィルターに通します。微生物の大きさは0.5～1

μmくらいなので、微生物はフィルターの上に残ります。それを核酸染色剤で処理して蛍光顕微鏡で観察すると、DNAが緑色の蛍光を発します。蛍光を発している点の数を数えれば微生物がいくついるの分かる、とされています。

私は2006年にJAMSTEC高知コア研究所地下生命圏研究グループの研究員となり、最初に取り組んだのが、下北半島八戸沖の海底下346mまで掘削して採取した試料の解析です。定石通り、フィルターに残った試料を核酸染色剤で処理して蛍光顕微鏡で観察し、蛍光を発している点をすべて数えました。すると、1cm<sup>3</sup>あたり1000億もの微生物がいるという結果になりました。それまでの推定の100倍です。これは大発見だと、JAMSTEC内で大騒ぎになりました。あまりにも大騒ぎになったので不安になり、電子顕微鏡でも観察して確かめてみることにしました。すると、微生物らしきものが1個もない

### 蛍光の色で生命体を検出

そしてたどり着いたのが、蛍光の色でした。図3左は蛍光顕微鏡画像で、白い矢印は微生物、赤い矢印は微生物ではないものを指しています。どちらも同じ色の蛍光を発しているように見えます。しかし波長を調べると、微生物が発する蛍光は緑色にピークがあり、微生物ではないものが発する蛍光は少し波長が長く、黄色に近いことが分かりました（図3右）。この蛍光の波長の違いを使えば、余計なものを排除し、生命体だけを検出できます。

図4左の丸で囲んだものは、微生物だと思いますか？これは緑色の波長だけを通すフィルターを付けて撮影した蛍光顕微鏡画像です。かたちを見ると、微生物のようにも思えます。図4中は、赤色の波長の光だけを通すフィルターを付けて撮影した蛍光顕微鏡画像です。2枚の画像を割り算すると、緑色の蛍光がより強いものだけが現れます。それが、図4右です。丸で囲んだ部分には何もありません。つ





まり、これは微生物ではなかったのです。蛍光の色を用いて生命体を検出することで、かたちに惑わされずに正確に微生物を計数することが可能になりました。

### 海底下はアーキアワールド

では、海底下にはどのような微生物が生息しているのでしょうか。地球上のすべての生命体は、バクテリアとアーキア（古細菌）、ユーカリアという3つのグループに分類されます。バクテリアとアーキアは核を持たない原核生物、ユーカリアは核を持つ真核生物です。

私たちは2008年、ドイツのブレーメン大学のグループと共同で、海底下で発見される微生物の多くはアーキアであることを明らかにしました。細胞には、中と外を区切る細胞膜があります。アーキアとバクテリアでは、細胞膜の成分が異なります。細胞膜の成分を詳しく調べた結果、海底下1mより深い堆積物中では、87%以上がアーキアのものでした。深くなるほど、アーキアの比率は高くなります。

### 46万年前の微生物が生きていた

海底下の堆積物から見つかった微生物は生きているのでしょうか。栄養分を与えて培養し、微生物が増殖したら、その微生物は生きていると分かり

ます。しかし、海底下の微生物は、99%以上が培養できません。そのため培養する方法では微生物が生きているのかわかを調べることができません。

そこで私たちは、安定同位体を使う新しい方法を開発しました。安定同位体とは、同じ元素でも質量数が異なる元素のことです。炭素の場合、天然環境では99%が質量数12ですが、質量数13の炭素がわずかに存在します。窒素の場合、大部分は質量数14ですが、質量数15の窒素がわずかに存在します。栄養分に含まれる普通の炭素12と窒素14を、炭素13と窒素15に置き換え、それを微生物に与えます。微生物を調べて炭素13や窒素15を取り込んでいれば、その微生物は生きていると分かる、というものです。

しかし、微生物は1μmと小さく、また同位体の質量の違いは10%ほどです。そのわずかな違いを測定するには、特殊な装置が必要です。それが超高解像度2次イオン質量分析計（NanoSIMS）です（図5）。0.05μmの細いビームを微生物に当て、飛び出てきた2次イオンの質量を精密に分析することができます。

下北半島八戸沖の海底下219mから採取した堆積物中の微生物についてNanoSIMSで解析した結果、70%以上の微生物が炭素13と窒素15に置き換えた栄養分を取り込んでいる、つまり生きていることが分かりました（図1）。この微生物が栄養分を取り込む速度は、1日あたり炭素に換算して0.0000000000000001gでした。1京分の1gです。これは、大腸菌の10万分の1以下です。大腸菌は最適な環境であれば30分に1回分裂します。海底下の微生物は、大腸菌が10万回分裂する間に1回しか分裂しないのです。

今回調べた地層は約46万年前に堆積し



図5 超高解像度2次イオン質量分析計（NanoSIMS）  
安定同位体で置換された栄養源を取り込んだ微生物を、最小50nm（1nmは100万分の1mm）の空間分解能で可視化し、栄養源の取り込み量を定量することができる

たものです。では、この地層から発見された微生物は、いつ生まれたのでしょうか。地上では、雨や地下水の変動によって微生物が流されることがあります。一方、海底下の地層は水で満たされているため、地上より外的要因によるかく乱が少ないと考えられます。そのため、堆積物は層状に積み重なり、時系列の構造が保存されています。また、地層中の水は降り積もった地層構造に阻まれて動きが遅いので、水の流れに乗って微生物が動く可能性も少ないと考えられます。さらに、エネルギー源も非常に少ないため、鞭毛などを動かして微生物が移動しているとも考えにくいでしょう。

そうした推論を積み重ねていくと、直接の証拠はありませんが、46万年前の地層にいた微生物は46万年前からそこにいたのではないかと考えてしまうわけです。

### 世代時間 1億年の微生物を探す

皆さんは、1億歳の微生物は存在すると思いますか。微生物は細胞分裂して自己複製をします。そのため、微生物の寿命は、人間の寿命と同じようには考えることができません。微生物学では「何歳」という数え方はせず、分裂までの時間である「世代時間」を1つの指標として使います。生物の種類や生息環境によって、生きている状態を保つのに必要な最低エネルギーが決まってきます。それを超える十分なエネルギーがなければ増殖できず、世代時間が長くなります。では、世代時間が1億年の微生物はいるのでしょうか。

私は2010年、IODP第329次航海「地

球で最も海水の透明度の高い南太平洋還流下の地殻内生命圏に関する調査」に参加し、南太平洋の真ん中で掘削を行いました。実は、そこが世代時間1億年の微生物がいるかもしれない場所なのです。

南太平洋では、環流といって、海流が大きな円を描くように時計回りで流れています。その流れによって陸からの栄養分の供給が遮られてしまうため、環流のなかではプランクトンが少なく、海水の透明度が地球上で最も高い場所だといわれています。プランクトンが少ないと、海底に降り積もる堆積物の量が少ないので、海底下を100mくらい掘るだけで1億年前の地層に到達できるという利点があります。そして、堆積物中の栄養源が極端に少ないので、そこにいる微生物の世代時間はとても長いと考えられているのです。

掘削で採取した1億年前の地層を調べたところ、なんと微生物が見つかりました。いま、それが生きているかどうかを調べているところです。しかし、細胞数がとても少ないため、苦労しています。密度による細胞分離、セルソーターによるソーティングという特殊な方法を使って細胞を集め、NanoSIMSを用いて解析中です。

### UnknownをKnownへ

海底下には微生物がたくさんいること、アーキアが多いこと、海底下でゆっくり生きていることが分かってきました。一方で、海底下で誰が、何をしているのかはまだ分かっていません。海底下にはたくさんの微生物がいるので、地球の炭素や窒素の循環に影響を及ぼしていると考えられますが、その影響もよく分かっていませ

ん。また、生命の生息限界がどこにあるのかもまだ分かっていません。

高知コア研究所では、NanoSIMSイメージ分析ラボに加えて、シングルセル分析ラボを整備しました。シングルセル分析ラボは、微生物を1個ずつ取り出して分析することができる実験室です。1個の微生物からDNAを取り出し、増幅して個々の機能を調べることもできます。そのような最先端の技術を駆使し、海底下のUnknownをKnownにしていきます。

### 世界最深記録更新か

いま私たちは、2011年に行われたIODP第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削調査」で採取した堆積物を分析しています。最後に、その最新情報を少し紹介しましょう。

これまでに微生物が発見された最深記録は、海底下1,626mです。下北八戸沖では海底下2,460mの堆積物から微生物が見つかっています。それが事実ならば、世界最深記録の更新です。いまこの微生物が地上で混入したものでないことを入念に確かめているところです。

下北八戸沖の海底下2,000m付近の石炭層にはメタンがあることが事前調査から分かっており、メタンを生成する微生物の存在が予想されていました。掘削した堆積物を調べた結果、石炭層付近で微生物が見つかったと思われるメタンが存在することを示すデータが得られています。今後、シングルセル分析ラボなどを駆使して、微生物がそこでメタンを生成しているのか、そしてそのメカニズムや生成速度を明らかにしていく計画です。下北八戸沖をはじめ日本の沿岸の海底下にはメタンハイドレートが豊富に存在し、石油に代わる次世代資源として注目されています。海底下微生物の研究は、エネルギー資源問題ともつながっているのです。

また私たちは、二酸化炭素を海底下に閉じ込め、それを利用して微生物がつくったメタンをエネルギー資源として利用できないか、と考えています。私たちの世代にとって二酸化炭素は温暖化を引き起こす厄介な物質ですが、次の次の世代では資源になっているかもしれません。そのような持続的な炭素循環システムを実現するためにも、海底下の微生物についてもっと詳しく知る必要があるのです。 **BE**

図3 試料の蛍光顕微鏡画像と蛍光の波長

試料を核酸染色剤で処理して観察した。蛍光顕微鏡画像の白い矢印は微生物、赤い矢印は微生物ではないものを指している。波長を調べると、DNAと染色剤が結合したときに発する蛍光の波長は緑色にピークがあり、DNA以外と染色剤が結合したときに発する蛍光の波長は赤色に寄っている

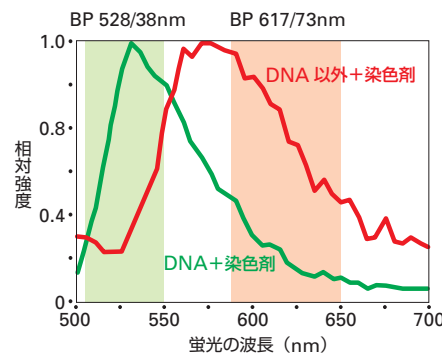
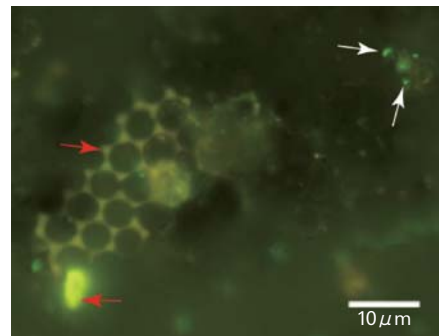
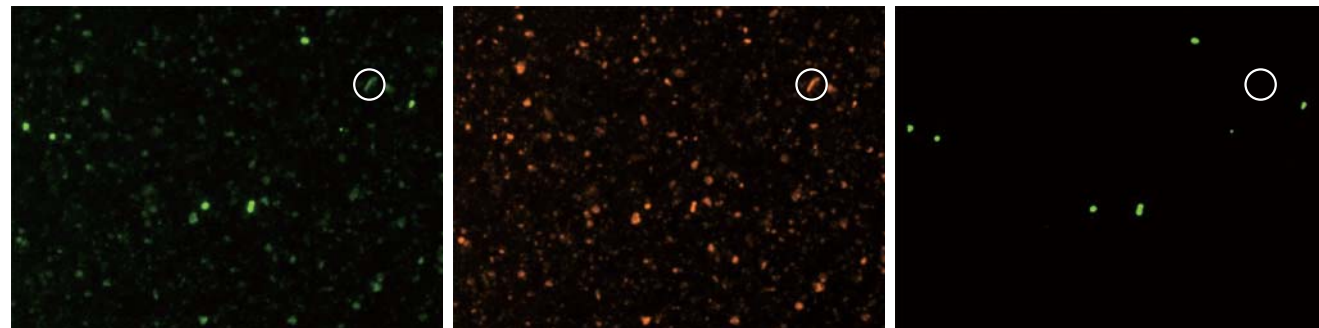


図4 蛍光の色を用いた生命特異的自動認識の例

緑色と赤色のフィルターを用いて撮影した2枚の画像を割り算することで、緑色の蛍光がより強い部分、つまり生命だけを抽出することができる



▲ 緑色フィルターを用いた蛍光顕微鏡画像

▲ 赤色フィルターを用いた蛍光顕微鏡画像

▲ 緑色/赤色イメージ処理後



今回の特集「キチジのすみかはどうなった？」は、いかがだったでしょうか。海洋研究開発機構（JAMSTEC）は、東北大学と東京大学大気海洋研究所と共に、東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波が海洋生態系に与えた影響と回復過程を明らかにするための調査研究を行っています。この特集では、その成果の一端を、第一線の研究者たちに分かりやすく解説していただきました。

さて、最近ちょっとした「深海」ブームだと感じています。6月22日には、大西洋のパミュダ海域で潜航中の有人潜水調査船「しんかい6500」に光ファイバーをつなぎ、リアルタイムでの中継がニコニコ動画で行われました。有人潜水調査船からのパブリックな中継は世界初だったためか、日本は真夜中であつたにもかかわらず、20万人以上の方々が視聴したということです。中継時の書き込みを見ても、視聴者の皆さんの「深海」に対する興味と熱い思いが感じられました。また、7月6日～10月6日の長期間にわたり、東京・上野公園の国立科学博物館で特別展「深海—挑戦の歩みと驚異の生きものたち—」が開催されています。最新の深海生物に関する知見を広く一般の方々に知ってもらおうと、JAMSTECの研究者たちが全面的に協力をしています。テレビや新聞などで紹介されたこともあってか、連日大盛況で、70分待ちということもあったそうです。また、名古屋科学館では、JAMSTECも協力している夏の特別展「深海たんけん」が開催されており、こちらも盛況だそうです。

一般の方々に「深海」のような特殊な環境に興味を持っていただくことは、『Blue Earth』編集部としてとてもうれしいことです。私たちは、このような好機を捉えて、より広範な読者の方々に海洋と地球科学の楽しさをもっと伝えられるように、さらなる努力をしていかなければならないと肝に銘じております。(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.045-778-5378 FAX.045-778-5498  
 Eメール [info@jamstec.go.jp](mailto: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（130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、『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25巻 第3号（通巻125号）2013年7月発行

発行人 鷲尾幸久 独立行政法人海洋研究開発機構 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 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 (p24-27) / 鈴木志乃 (p1-21, p28-31, 裏表紙) / 坂元志歩 (p22-23)

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 / 飛鳥井羊右 / 山田純一 / 田島未久歩ほか)

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>

Eメールアドレス [info@jamstec.go.jp](mailto: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25年7月31日現在

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

株式会社IHI	オフショアエンジニアリング株式会社
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	株式会社カイショー
株式会社アイケイエス	株式会社海洋総合研究所
株式会社アイワエンタープライズ	海洋電子株式会社
株式会社アクト	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アサツディ・ケイ	鹿島建設株式会社
朝日航洋株式会社	川崎汽船株式会社
アジア海洋株式会社	川崎重工株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	株式会社環境総合テクノス
株式会社安藤・間	株式会社関電工
泉産業株式会社	株式会社キュービック・アイ
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
株式会社エス・イー・エイ	共立管財株式会社
株式会社エスイーシー	極東製薬工業株式会社
株式会社SGKシステム技研	極東貿易株式会社
株式会社NTTデータ	株式会社きんでん
株式会社NTTデータCCS	株式会社熊谷組
株式会社NTTファシリティーズ	クローバテック株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	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MTS雪氷研究所	KDDI株式会社
有限会社エルシャンテ追浜	京浜急行電鉄株式会社
株式会社OCC	株式会社構造計画研究所
沖電気工業株式会社	神戸ペイント株式会社

広和株式会社	株式会社コベルコ科研
国際気象海洋株式会社	五洋建設株式会社
国際警備株式会社	株式会社コンボン研究所
国際石油開発帝石株式会社	相模運輸倉庫株式会社
国際ビルサービス株式会社	佐世保重工業株式会社
株式会社コベルコ科研	サノヤス造船株式会社
五洋建設株式会社	三建設備工業株式会社
株式会社コンボン研究所	三洋テクノマリン株式会社
相模運輸倉庫株式会社	株式会社ジーエス・ユアサテクノロジ
佐世保重工業株式会社	JFEアドバンテック株式会社
サノヤス造船株式会社	株式会社JVCケンウッド
三建設備工業株式会社	財団法人塩事業センター
三洋テクノマリン株式会社	シチズン時計株式会社
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジ	シナネン株式会社
JFEアドバンテック株式会社	清水建設株式会社
株式会社JVCケンウッド	シーフロアコントロール
株式会社JVCケンウッド	ジャパンマリンユナイテッド株式会社
財団法人塩事業センター	シュルンベルジェ株式会社
シチズン時計株式会社	株式会社商船三井
シナネン株式会社	一般社団法人信託協会
清水建設株式会社	新日鉄住金エンジニアリング株式会社
シーフロアコントロール	須賀工業株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社	鈴鹿建設株式会社
シュルンベルジェ株式会社	

スプリングエイトサービス株式会社	株式会社東京チタニウム
住友電気工業株式会社	東北環境科学サービス株式会社
清進電設株式会社	東洋建設株式会社
石油資源開発株式会社	株式会社東陽テクニカ
セコム株式会社	トビー工業株式会社
セナーアンドバーンズ株式会社	新潟原動機株式会社
株式会社損害保険ジャパン	西芝電機株式会社
第一設備工業株式会社	西松建設株式会社
大成建設株式会社	株式会社ニシヤマ
大日本土木株式会社	日油技研工業株式会社
ダイハツディーゼル株式会社	株式会社日産クリエイティブサービス
大陽日酸株式会社	株式会社日産電機製作所
有限会社田浦中央食品	ニッスイマリン工業株式会社
高砂熱学工業株式会社	日本SGI株式会社
株式会社竹中工務店	日本海洋株式会社
株式会社竹中土木	日本海洋掘削株式会社
株式会社地球科学総合研究所	日本海洋計画株式会社
中国塗料株式会社	日本海洋事業株式会社
中部電力株式会社	一般社団法人日本ガス協会
株式会社鶴見精機	日本興亜損害保険株式会社
株式会社テザック	日本サルヴェージ株式会社
寺崎電気産業株式会社	日本水産株式会社
電気事業連合会	日本電気株式会社
東亜建設工業株式会社	日本ビューレット・パカード株式会社
東海交通株式会社	日本マントル・クレスト株式会社
洞海マリンシステムズ株式会社	日本無線株式会社
東京海上日動火災保険株式会社	日本郵船株式会社
東京製綱織維ロープ株式会社	濱中製鎖工業株式会社

株式会社東京チタニウム	東日本タグボート株式会社
東北環境科学サービス株式会社	株式会社日立製作所
東洋建設株式会社	日立造船株式会社
株式会社東陽テクニカ	深田サルベージ建設株式会社
トビー工業株式会社	株式会社フジクラ
新潟原動機株式会社	富士ゼロックス株式会社
西芝電機株式会社	株式会社フジタ
西松建設株式会社	富士通株式会社
株式会社ニシヤマ	富士電機株式会社
日油技研工業株式会社	古河電気工業株式会社
株式会社日産クリエイティブサービス	古野電気株式会社
株式会社日産電機製作所	株式会社マックススラジアン
ニッスイマリン工業株式会社	松本徽章株式会社
日本SGI株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
日本海洋株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
日本海洋掘削株式会社	株式会社丸川建築設計事務所
日本海洋計画株式会社	株式会社マルトー
日本海洋事業株式会社	三鈴マシナリー株式会社
一般社団法人日本ガス協会	三井住友海上火災保険株式会社
日本興亜損害保険株式会社	三井造船株式会社
日本サルヴェージ株式会社	三菱重工株式会社
日本水産株式会社	株式会社三菱総合研究所
日本電気株式会社	株式会社森京介建築事務所
日本ビューレット・パカード株式会社	八洲電機株式会社
日本マントル・クレスト株式会社	郵船商事株式会社
日本無線株式会社	郵船ナブテック株式会社
日本郵船株式会社	ヨコハマゴム・マリン&エアロスペース株式会社
濱中製鎖工業株式会社	

## 独立行政法人海洋研究開発機構の事業所

<b>横須賀本部</b>	〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2番地15 TEL. 046-866-3811 (代表)
<b>横浜研究所</b>	〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173番25 TEL. 045-778-3811 (代表)
<b>むつ研究所</b>	〒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)
<b>高知コア研究所</b>	〒783-8502 高知県南国市物部乙200 TEL. 088-864-6705 (代表)
<b>東京事務所</b>	〒100-0011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号 富国生命ビル23階 TEL. 03-5157-3900 (代表)
<b>国際海洋環境情報センター</b>	〒905-2172 沖縄県名護市宇豊原224番地3 TEL. 0980-50-0111 (代表)



## 東北海洋生態系調査研究船「新青丸」が完成

海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の研究船団に新しい調査研究船が加わった。東北海洋生態系調査研究船「新青丸」である。「新青丸」は、2013年1月に退役した学術研究船「淡青丸」の後継船として建造された。2月15日に下関で進水式を行い、船の運航や研究に必要なさまざまな設備の取り付け工事や海上試験航海を経て完成。6月30日、JAMSTECに引き渡された。今後は搭載された観測機器の試験・調整のための航海を行い、10月ごろから本格的な調査研究航海を開始する予定だ。「淡青丸」が担ってきた役割を引き継ぎ、「東北マリンサイエンス拠点形成事業」(特集記事参照)に必要な調査研究を、最先端の観測機器・研究設備によって効率的・効果的に推進することが期待されている。「新青丸」の船籍港は岩手県大槌町である。



2013年7月発行 隔月6回発行 第25巻 第3号 (通巻125号)

編集・発行 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  
〒236-0001 神奈川県横浜市長谷区昭和町3-173-25