

海と地球の情報誌

Blue Earth

138



Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

掘削科学の未来を拓け!

高知コア研究所の10年

世界最先端の技術と研究で読み解く 地球の過去・現在・未来



海底下深部に2000万年の時を超えて
陸域の微生物生態系が活動する「海底下の森」を発見

青森・むつ研究所／沖縄・国際海洋環境情報センター
南北拠点が協力し小学校の合同学習事業を実施
地元の海を見つめ直す子どもたち

1

Close Up

海底下深部に
 2000万年の時を超えて
 陸域の微生物生態系が活動する
 「海底下の森」を発見

2

特集

掘削科学の未来を拓け！
高知コア研究所の10年
 世界最先端の技術と研究で
 読み解く 地球の過去・現在・未来

20

海拓者たちの肖像 Special

TEAMS ～海洋科学で東北復興を支援する研究者たち～

高校時代に魅せられたコケムシの
 研究を通して復興に貢献する

広瀬雅人
 東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター
 生物資源再生分野 特任助教

24

社会とつながるJAMSTEC

青森・むつ研究所／沖縄・国際海洋環境情報センター
 南北拠点協力し小学校の合同学習事業を実施
 南北に遠く離れた海と自然に出会い
 地元の海を見つめ直す子どもたち

28

Marine Science Seminar

サンゴ礁と粘液の話

粘液に始まる不思議な生態系
 中嶋亮太
 海洋生物多様性研究分野ポストドクトラル研究員

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

裏表紙

PICK UP JAMSTEC

JAMSTEC横須賀本部 施設一般公開
 展示・実験・体験を通して、
 海と地球の科学技術を楽しむ

Close Up

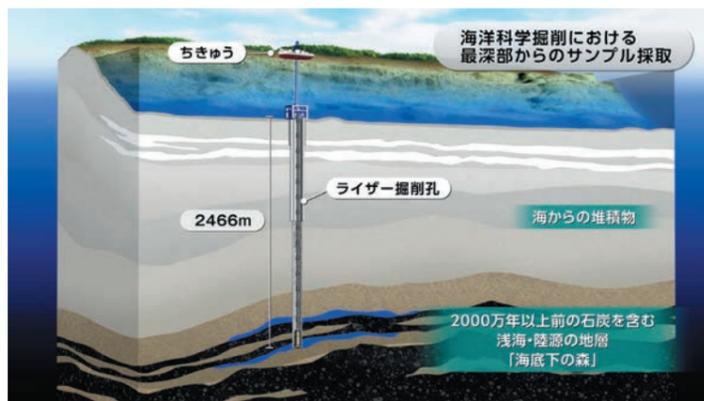
海底下深部に2000万年の時を超えて
 陸域の微生物生態系が活動する
 「海底下の森」を発見

高知コア研究所地球深部生命研究グループの稲垣史生グループリーダー（GL）らの国際共同研究チームは、海底下生命圏の実態や限界についての理解を大きく前進させる、画期的な研究成果を米科学誌サイエンスに発表した。

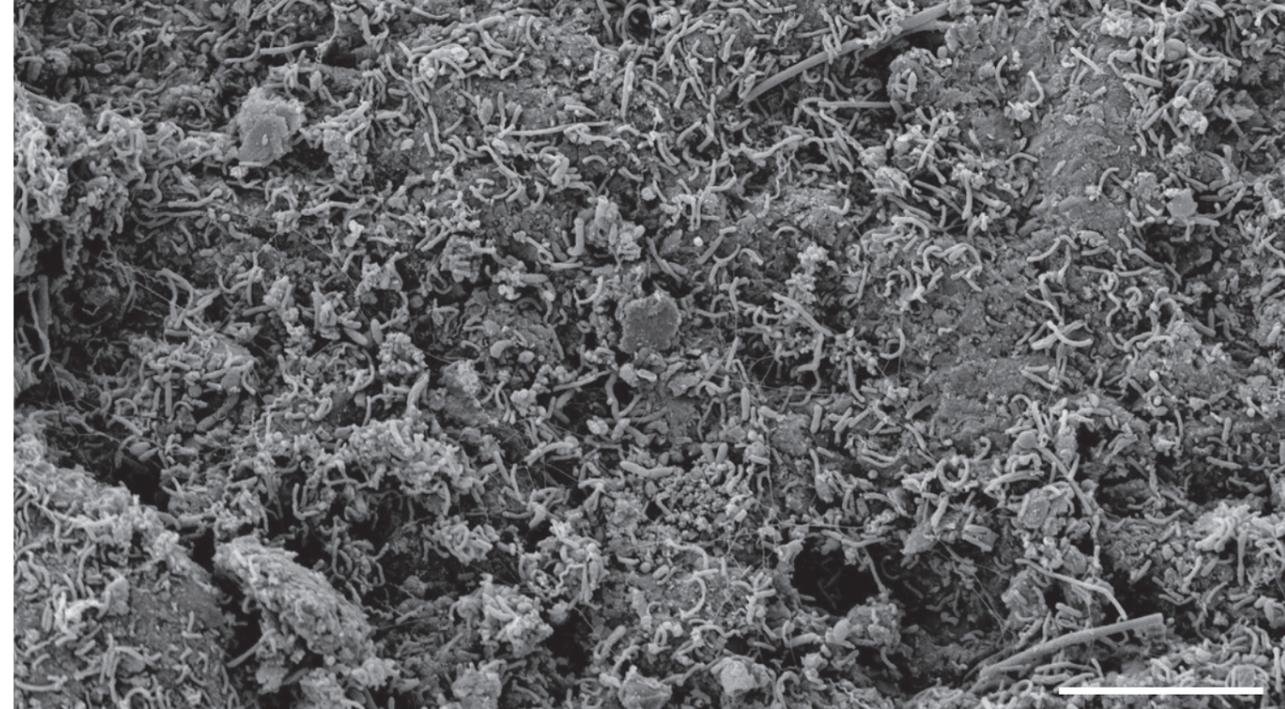
研究チームは、2012年7～9月にかけて、青森県八戸市沖約80kmで地球深部探査船「ちぎゅう」による掘削（IODP第337次研究航海）を実施し、採取した海底下2,466mまでの堆積物コアサンプル（柱状の試料）や地層流体・ガスサンプルを分析した。その結果、海底下約1,200～2,500mの深部堆積物では1cm³あたり100細胞以下と極めて微量の微生物細胞しか存在しないことが明らかになった。大陸沿岸の堆積物中に生息する微生物細胞数をはるかに下回る数だったことから、この環境が海底下深部生命圏の限界域であると考えられた。

また、海底下深部では約2000万年以上に浅海環境などで形成されたと見られる石炭層の存在が確認された。海底下1,900～2,000mと2,400m付近の石炭層では、微生物の栄養が豊富なためか、その周囲の堆積物より100倍以上多い細胞が確認された。これらの微生物群集について堆積物コアサンプルから直接DNAを抽出して多様性解析を行った結果、石炭層を含む海底下1,200～2,500mの深部地層では、上層で検出された海洋性堆積物に一般的なバクテリアはほとんど検出されず、陸域の森林土壌などに広く分布するバクテリアが多く検出された。さらに、研究チームは、下降流懸垂型スポンジリアクター（連続培養システム）を用いて、石炭を栄養源として天然ガス（メタン）を生産する嫌気性微生物群集の培養にも成功した。海底下のこれほど深いところで採取した微生物の培養成功は、世界でもこれまでに例がない。

海底下のどのくらいの深さまで微生物が存在するのか、そ



IODP第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」プロジェクトの概念図。



海底下約2,000mの石炭層のコアサンプルから培養された海底下深部に生息する微生物群集の走査型電子顕微鏡写真。石炭に膨大な数の微生物が付着し増殖している様子がわかる。白線のスケールは10μmを示す。

の微生物はどこから来て、どのような役割を果たしているかといった科学的な疑問の多くは未だ解明されていない。今回のように海底下生命圏の限界や広がり、太古の森林土壌の微生物生態系に由来する微生物を捉えたのは世界初の快挙だ。

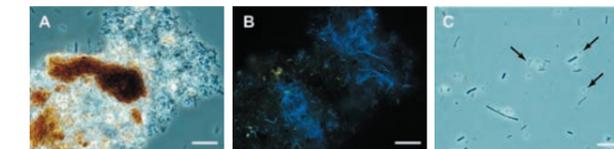
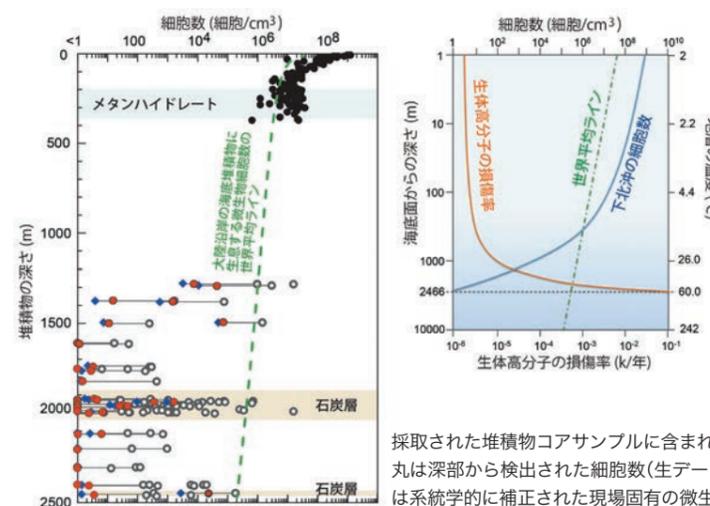
「私たちが調べた海底下2,466mの地点は温度が60℃ぐらいで、微生物がある程度いてもおかしくない環境ですが、数は極端に少なく急激に低下していることから、生命圏の限界に近い環境だと思います」と稲垣GLはいう。

今回調査された八戸沖の海底下では、深度が増すにつれて温度が上昇し、海底下約1,500m付近の温度約40℃あたりから微生物のからだをつくるDNAやアミノ酸などの生体高分子の損傷が急速に進み、そのために微生物の細胞数も極度に少なくなっていると見られている。

「微生物が生きていくには、生体高分子の損傷を修復しなければなりません、そのためには酵素の働きが必要です。細胞内の酵素を機能させるには、水やエネルギー基質の持続的な供給が不可欠です。八戸沖の石炭層を含む深部堆積環境は、微生物生態系を支える水やエネルギー基質の供給が限ら

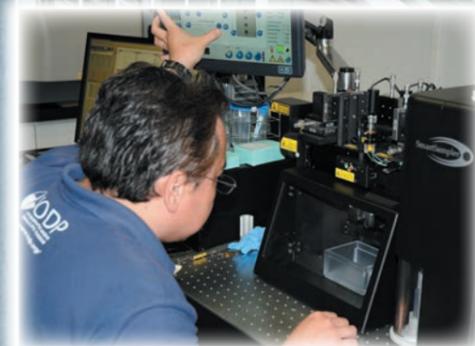
れていると思います。さらに、外部からもこの環境に適応可能な微生物が入り込めない閉ざされた環境なのでしょう」と稲垣GL。

海底下深部の過酷なエネルギー環境で、陸域の森林土壌に存在する微生物が確認されたのは驚きだ。「2000年以上前の八戸沖の地層は、釧路湿原のようなところだったと考えられます。DNAを分析した結果、海と川が混じり合う汽水域や、湿地を含む森林土壌に生息しているような微生物が検出されました。このことは、当時の微生物生態系の一部が、2000年以上かけて海底下2,500mまで沈んでもなお、残存していることを意味します。しかも、その生態系は未だに機能していて、石炭の熟成や天然ガスの生成などの炭素循環に重要な役割を果たしている。ここは生命圏の限界であると同時に、『海底下の森』でもあるのです」と稲垣GLはいう。



培養に成功した世界最深部の海底下微生物群集。現場温度に近い約40℃の嫌気・無酸素条件下で培養を行い、石炭を基質にメタンを生成する微生物群集の増殖が確認された。白線のスケールは10μmを示す。

地層中の微生物細胞の濃度プロファイル(青)と世界平均ライン(緑)、生体高分子の損傷率のプロファイル(オレンジ)を示した概略図。
 (A) 石炭層に付着する微生物細胞の光学顕微鏡写真。
 (B) 紫外線によって蛍光励起されるメタン菌に特異的なF420補酵素の自家蛍光(青色)を示す蛍光顕微鏡写真。
 (C) 胞子様の細胞(矢印)を示す光学顕微鏡写真。



掘削科学の未来を拓け!

高知コア研究所の10年

世界最先端の技術と研究で読み解く地球の過去・現在・未来



高知コア研究所は、掘削コア試料の分析・研究、そして保管まで、掘削科学の一連のプロセスを担う海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の拠点として2005年10月に発足。今年で10年を迎える。

掘削科学は、掘削孔から採取したコア試料という「点」の情報解析の時代から、掘削孔をまるごと活用し、また世界各地で入手した試料・情報を総合的・学際的に分析して、地球規模で自然現象の時空間変動をとらえる新たな時代を迎えている。高知コア研究所は、孔内現場計測やコア試料を用いた観察・実験から、超高感度・高精度の質量・同位体分析機器や電子顕微鏡などの最先端技術を駆使した解析により、地質学・地震学・生命科学・同位体地球化学・地球惑星科学など、幅広い研究分野の学際的な研究を推進し、地球内部で起きているさまざまな現象の解明にチャレンジしている。

高知コア研究所の全体像と研究者や技術者たちの活躍ぶり、そして世界に大きなインパクトを与えた研究成果などから、この10年間を振り返っていくことにしよう。

掘削コア試料の分析や 研究・保管を担う世界の中核拠点

高知コア研究所（高知県南国市）は、高知龍馬空港に隣接する高知大学物部キャンパスの敷地内にある。ここに高知大学の海洋コア総合研究センターが設置されたのは2003年。翌04年から、JAMSTECと高知大学による施設の共同運営がスタートし、さらにJAMSTECは、掘削コア試料の分析・保管に加えて研究機能の充実を進めるため、05年に高知コア研究所を設立した。高知コア研究所は、高知大学海洋コア総合研究センターと同じ建屋を共用し、共同運営を行っている。06年には、両研究施設の共通名称を「高知コアセンター」とすることが定められた。

研究所には、当初、地震断層の物性に着目して掘削試料の新たな解析手法の開発などを推進する地震断層物性研究グループ、高度な同位体測定機器を活用して地球の物質循環を解明するための同位体地球化学研究を推進する掘削試料物質研究グループの2つの研究グループ、これに加えて科学支援

グループと管理課が置かれた。07年には海底下に広がる生命圏の理解を進めるために地下生命圏研究グループが新設され、現在に至る研究体制の基礎が確立された。14年の改組を経て、現在高知コア研究所では、大きく分けて次の3つのグループで研究が行われている。

●断層物性研究グループ：プレート境界型地震などに伴う現象を明らかにするための地震断層および沈み込み帯の物理・化学的性質を解明するための研究。

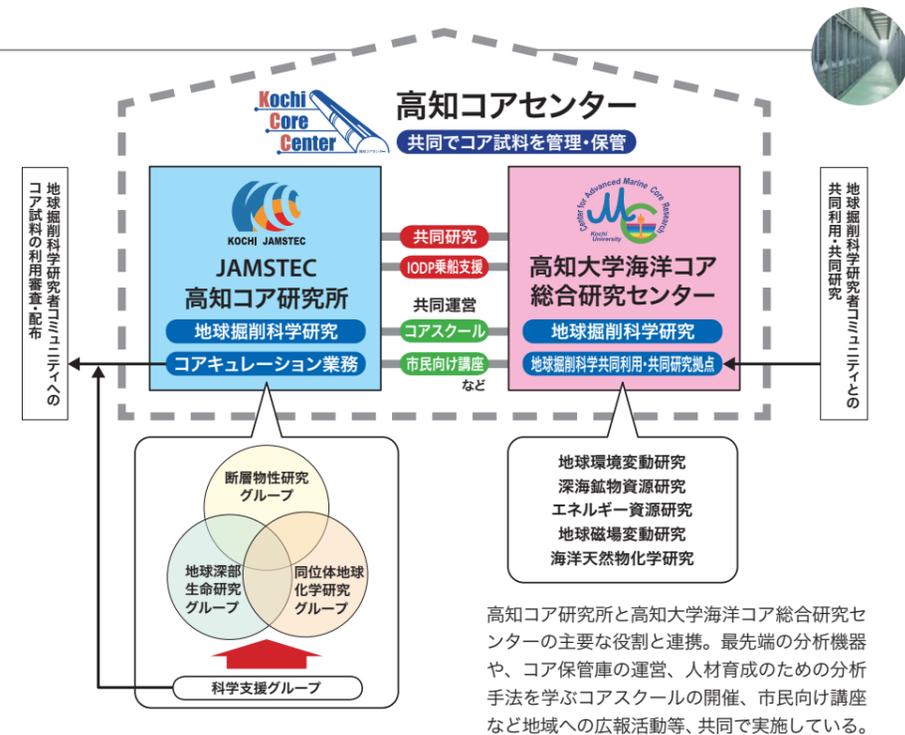
●同位体地球化学研究グループ：掘削コア試料などに記録された化学的な情報を微量元素・同位体地球化学の手法を用いて読み解き、物質循環や地球環境変動を解明するための研究。

●地球深部生命研究グループ：分子生物学・生物地球化学などの手法を用いて掘削コア試料を解析し、海底下に生息する生命および生命圏を解明するための研究。

研究者たちは異なる分野との協力・連携を積極的に行い、

さらに科学支援グループの強力なサポートのもとで、これまでに掘削科学の歴史を書き換えるような画期的な研究成果を数多く発信している（年表参照）。

高知コア研究所は、08年から統合国際深海掘削計画（IODP）※のもと、世界に3つあるコア保管拠点の1つとしてインド洋・アジア-オセアニア域を担当し、海底下から採取された掘削コア試料の保管・管理においても大きな役割を果たしている。施設内の保管庫には、15年7月現在、長さにして合計100kmを超えるコア試料が保管され、世界中の研究者への提供を行っている。掘削コア試料の管理・利用審査・配布を行う業務はキュレーションと呼ばれており、地質や岩石にも詳しい専門職員（キュレーター）が、細心の注意を払いながら業務に携わっている。



高知コア研究所と高知大学海洋コア総合研究センターの主要な役割と連携。最先端の分析機器や、コア保管庫の運営、人材育成のための分析手法を学ぶアスクールの開催、市民向け講座など地域への広報活動等、共同で実施している。

※統合国際深海掘削計画（IODP: Integrated Ocean Drilling Program）日・米が主導国となり、2003～2013年までの10年間行われた多国間国際協力プロジェクト。日本が建造・運航する地球深部探査船「ちきゅう」と、米国が運航する掘削船「ジョイデス・レゾリューション」を主力掘削船とし、欧州が運航する特定任務掘削船を加えた複数の掘削船を用いて深海底を掘削することで、地球環境変動・地球内部構造・海底下生命圏などの解明を目的とした研究航海を実施した。2013年10月からは、国際深海科学掘削計画（IODP: International Ocean Discovery Program）という新たな枠組みに移行している。

研究所のあゆみ

- 2005年**
10月1日 高知コア研究所設立
地震断層物性研究グループ、掘削試料物質研究グループ、科学支援グループの3グループと管理課の体制でスタート
10月11日 広島大学大学院理学研究科と連携大学院による教育研究を開始
12月16～17日 設立記念講演会およびシンポジウム「掘削科学の現状と将来」を開催
- 2006年**
3月18～20日 コア解析スクール「アドバンスドコース」を高知大学と共催(次年度も実施)
6月1日 高知大学海洋コア総合研究センターとの共通名称「高知コアセンター」を制定
- 2007年**
4月1日 地下生命圏研究グループを新設、他の2研究グループを地震断層研究グループ、同位体地球化学研究グループに改組
9月7日 担当海域のDSDP/ODPレガシーコア試料をテキサスA&M大学(GCR)、ブレーメン大学(BCR)から受入開始、コア試料の保管管理および研究者への試料提供を開始
- 2008年**
2月13日 「ちきゅう」高知新港で特別公開
- 2009年**
2月14日 「ちきゅう」IODP掘削コア(南海トラフ地震発生帯掘削計画: NanTro SEIZE)初搬入

11月3日 高知コアセンター1日公開を実施(以後毎年11月に実施)



11月16日 広島大学・海洋研究開発機構合同シンポジウム「地球深部掘削コア試料を用いた新たな研究フロンティア」を開催(以後隔年開催)



3月24日 J-DESCアスクール「コア同位体分析コース」を開催(以後毎年実施)



10月8日 米・国立科学財団(NSF)のArden L. Bement Jr.長官が視察

10月29日 83km分の海洋科学掘削コアサンプル搬入完了。「レガシーコア試料移管完了式」開催



2009年 2月26～27日 IODPキュレーション会議を開催



10月14日 海底下生命圏研究用の冷凍コア試料(DepBios)の保管開始

2010年 4月22日 IODP第323次研究航海(ベーリング海掘削)のコア試料の多数サンプリング(3万7,000個採取)

5月18～20日 IODP科学立案評価パネル会議を開催

2011年 6月6日 室戸ジオパーク推進協議会、高知工科大学と連携協定を締結



「室戸ジオパーク」関連展示(エントランスホール)

11月30日 超高空間分解能二次イオン質量分析装置(NanoSIMS 50L)を導入

2012年 2月15日 最先端研究拠点国際ワークショップ

「地球惑星科学—生命科学融合研究の最前線」を開催

7月26日～9月23日 PR 地下生命圏研究グループが主導して「ちきゅう」によるIODP第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」を実施、科学海洋掘削における世界最高到達深度を更新

2013年 3月9日 第1回高知コアセンター講演会「『ちきゅう』で巨大地震を探る～南海地震と3・11東北地震～」を開催(以後毎年開催)

2014年 3月31日 高精度大型2重収束セクター磁場質量分析計(IMS-1280HR)、集束イオンビーム極微試料加工システム(FIB)、原子分解能透過電子顕微鏡(TEM)、生体高分子質量顕微鏡、断層面微細構造解析システム、K0圧密実験装置、断層帯内浸透・拡散測定システム、水熱実験装置を導入

4月1日 研究グループを断層物性研究グループ、地球深部生命研究グループ、同位体地球化学研究グループに改組

6月30日 高知コアセンター新保管庫が完成

研究成果

- 2008年**
7月22日 PR Nature 深海底下に広がるアーキアワールドを発見～世界各地の海底堆積物から大量のアーキア(古細菌)を検出～
9月15日 PR Nature Geoscience 地震時に断層内部で生じた高温の水の痕跡を世界で初めて発見～地震における断層すべり機構の理解に貢献～
- 2011年**
4月12日 PR Nature 地震を引き起こす要因となる断層潤滑効果を岩石摩擦実験で確認～大地震発生プロセスの解明へ前進～
10月11日 PR PNAS 下北半島八戸沖の46万年前の海底下層中に大量の“生きていた”微生物細胞を確認～超高分解度質量分析によって明らかになってきた海底下層部の生命の実態～
- 11月1日 PR 地震時に断層で発生する大量の水素ガスを明らかに～生命の誕生に地震ガスが寄与している可能性～
- 2012年**
9月3日 PR Nature Geoscience プレート境界で発生する「ゆっくり地震」は岩石中の浸透率の違いにより発生することを証明
- 2013年**
2月8日 PR Science 「ちきゅう」掘削調査により明らかにされた東北地方太平洋沖地震震源域の応力状態変化を発表
3月15日 Science 海嶺頂部の深部に埋没した玄武岩における微生物の炭素と硫黄循環の証拠を発表
8月5日 PR ICP質量分析法による高精度²³⁶U定量法の確立～海生炭

- 酸カルシウムのU-Th年代迅速測定による古気候変動の詳細把握に貢献～
- 10月8日 PR 「ちきゅう」の断層掘削試料の水理学的解析により明らかにされた東北地方太平洋沖地震の巨大すべりの発生メカニズム
- 12月6日 PR Science 東北地方太平洋沖地震における巨大地震・津波発生メカニズムの解明～「ちきゅう」の科学成果がSCIENCE誌に3編同時掲載～
- 2014年**
6月18日 PR サンゴ礁の掘削からわかった太平洋の熱帯海域の環境変動～最終氷期からの回復期に太平洋赤道域の表層海水が酸性化していたことを発見～
- 12月5日 PR Nature Communications 海洋における銅同位体比の分布を高精度で解明～重金属元素の同位体比が海洋大循環をたどる指標になる可能性を示唆～
- 2015年**
2月10日 PR 南海トラフ熊野海盆泥火山で巨大地震の震源域に由来する水の成分を発見～海底下層部の水循環システムに関する新発見～
3月17日 PR Nature Geoscience 外洋の深海底堆積物に酸素に満ちた超低栄養生命圏を発見～地球内部の生命圏と元素循環に新しいパラダイム～
7月24日 PR Science 「ちきゅう」により世界最深の海底下微生物群集と生命圏の限界を発見～石炭・天然ガスの形成プロセスを支える「海底下の森」が存在～

基礎解析から応用研究に資する最先端機器が充実 世界トップレベルの掘削科学研究施設

高知コア研究所の建屋の中央部1階にはさまざまな分野の実験室、2階には研究者や科学支援スタッフの部屋が並び、これらを挟むように、掘削コア試料を保管する巨大な冷蔵コア保管庫が設置されている。

A棟のコア保管庫（広さ1,978㎡）は2007年から本格運用されてきたもので、第1から第4まで4つのコア冷蔵保管庫（庫内温度4℃、湿度80%）と冷凍試料保管庫（庫内温度-20℃）があり、主にインド洋とアジア-オセアニア域で採取された約111km、19万本に及ぶコア試料が保管されている。B棟のコア保管庫は、2014年7月に新たに建設されたもので、1階・中2階がコア保管庫で、2階は実験スペースとなっている。新

設されたコア保管庫には津波対策が施され、厚い防水扉により内部への浸水をシャットアウトすることができる。微生物試料を約-80℃と約-180℃の極低温状態で保管する設備も、この保管庫の傍らに設けられている。

高知コア研究所では、3グループの科学研究に加えて、コア試料の管理・利用審査・配布を行うキュレーション業務を行っており、各々の実験室には各種の分析機器や実験装置、コア試料を精密加工するための機材などが設置されている。分析作業や実験を行う際に微生物やダストなどの混入を防ぐクリーンルームも設置されている。

2013年度には、試料の正確な元素・同位体組成、分子生物



コア試料の非破壊計測を行うコアロギング室。

学的分析を行うため、高精度大型2重収束セクター磁場質量分析計（IMS-1280HR）、集束イオンビーム極微試料加工システム（FIB）、原子分解能透過電子顕微鏡（TEM）、生体高分子質量顕微鏡などの最先端の分析機器が導入され、2011年に導入済みの超高空間分解能二次イオン質量分析装置（Nano SIMS）などと併せ、世界最高クラスの超高感度・高精度微小空間分析機能を有する研究所となった（分析機器については、8~9ページで詳しく紹介）。1カ所にこれだけ多岐にわたって最先端かつ高精度の分析機器や実験装置を揃えた掘削科学の研究施設は、世界中を探してもほかにはない。



研究設備や分析機器などの保守・運用、利用支援などを担当する駒井GL代理。



サンプリング室でのコア試料のラベリング作業。



非破壊蛍光X線コアロガー。非破壊でコア試料を構成する主要元素の濃度変化を連続的に測定できる。



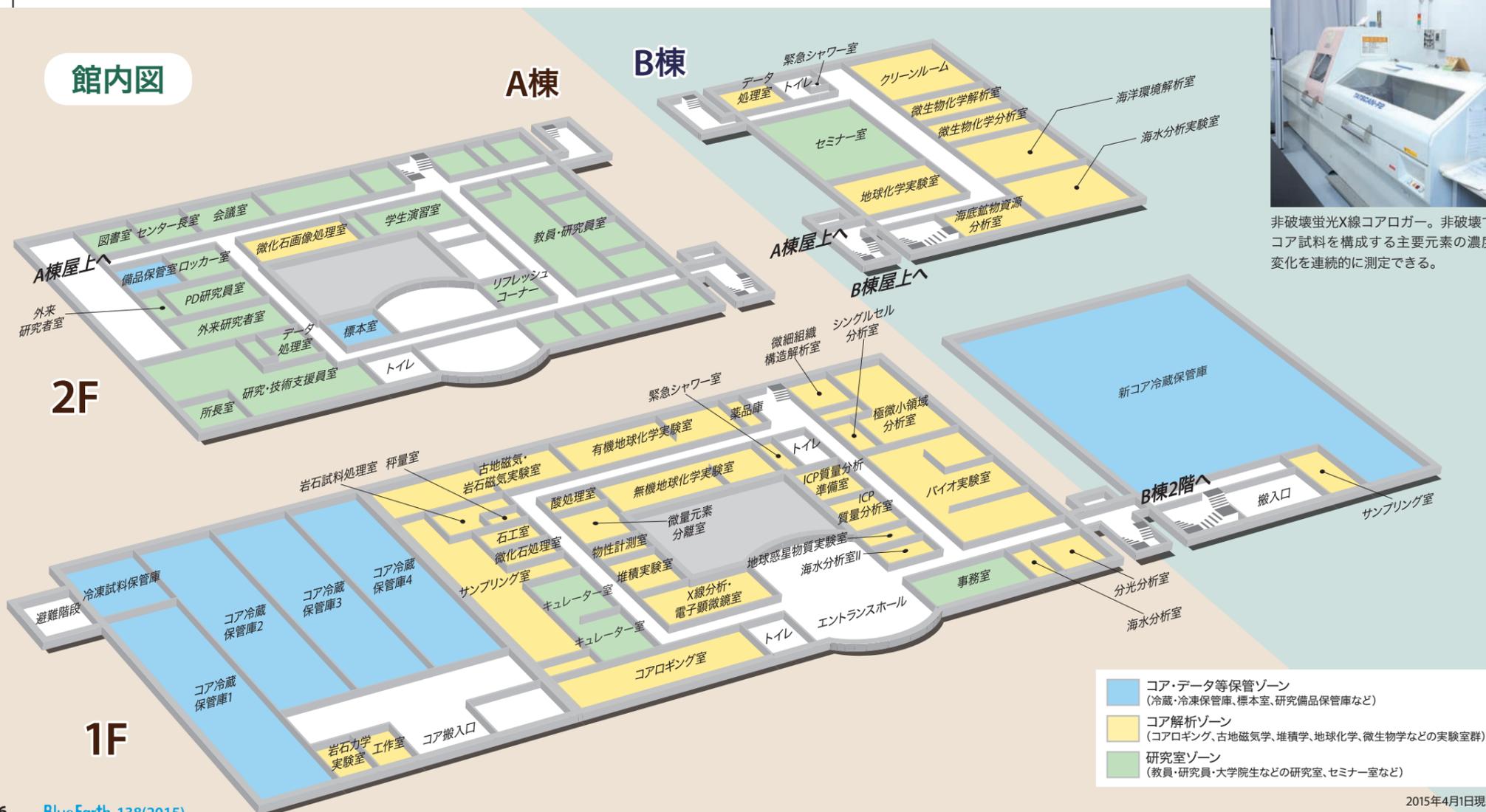
生体高分子質量顕微鏡。顕微鏡による形態観察と質量分析計による有機分子のマッピングを同時に行うことができる。



クリーンルーム内での分析作業。



X線CTスキャナでコア試料の内部構造を測定。



超高精度分析機器による微小領域研究と 世界最高の細胞検出技術

最新の超高精度分析装置が 新しいサイエンスを生み出す

海底の堆積物は、年代の古い順に下から上へと、たまっていく。そのため、海底から採取したコア試料には、火山活動や気候変動、生命活動の様子など、過去から現在に至るまでの地球の歴史が、堆積物そのものやプランクトンの化石、有機物などに比較的乱されることなく記録されている。そのため、堆積物コアの解析から過去の地球のダイナミックな活動や地球環境の変動を探る大きな手掛かりを得ることができる。

そのための解析手法の1つが、元素の同位体比の分析である。地球上の物質をつくっている元素の同位体比は、その物質が地球のどこから来たか、どんな環境条件や生命活動によりつくられたかによって異なる。そのため、たとえばコア試料に含まれる化石や微化石の同位体比を測定することで、当時の環境を推定できる。これらの測定には質量分析計という装置が必要だが、気温や海水の酸性度など地球環境のわずかな変化や、火山活動や地震活動の歴史を非常に微小な試料を用いて調べるには、微量元素の濃度や同位体比を測定する超高精度の質量分析計が必要となる。

また、ここ10年ほどの間に、コア試料のなかから海底下の

微生物細胞を検出することが可能になってきた。その微生物は生きているのか、生きているなら何を体内に取り込み、どのような生活をしているのか、こうしたことを知るためにも、窒素や炭素といった生体構成元素の同位体分析が大きな力を発揮する。これらの科学的疑問に答えようと、高知コア研究所では世界最高水準の分析装置を駆使した「微小領域分析研究」という新しいサイエンスを展開し始めている。

たとえば、掘削コアなどの地質学的試料や生物試料を用いた微小領域の分析・観察は次のように行われる。まず、集束イオンビーム極微試料加工システム (FIB) によって、数cmの大きさの試料からナノメートル~マイクロメートルの測定試料が切り出される。次に、結晶構造は原子スケール、組織はサブナノメートルスケールで観察できる原子分解能透過電子顕微鏡 (TEM) を使い、トモグラフィーによる三次元形状、微細結晶構造、そして超高感度な元素分析装置により元素濃度の分布を調べる。続いて、50ナノメートル程度の高空間分解能を持つ、超高空間分解能走査型二次イオン質量分析装置 (NanoSIMS) によって、試料中の元素を同位体別に検出し、元素の分布を可視化 (二次元マッピング) する。そしてIMS-1280HRを用いて、より高精度な同位体分析を行うことも可能である。こうした細胞よりもはるかに小さな原子・分子レベ

炭素安定同位体 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) の元素組成比 (上) と ^{12}C の元素組成を示す NanoSIMS 二次イオンイメージ分析画像 (下)。



NanoSIMSと伊藤GL代理。「現在は、海底下微生物の生態を、NanoSIMSなどを使って可視化する仕事に力を入れています。単に微生物の機能を見るだけではなく、それが今後、私たちにどのように役立つか考えながら研究を進めています。マントルから採取した掘削コア試料もぜひ分析してみたいですね。試料の取り扱いには非常に難しいと思いますが、実現を願いながらサンプル輸送から分析まで総合的に考えて、微小領域研究のラボ全体を構築しています」と話す。

ルの分析技術が、物質循環研究や生命科学システム研究の最前線を切り拓こうとしている。

微量の微生物細胞を取り出す 世界最高レベルの技術

高知コア研究所における微小領域分析研究では、地球深部生命研究グループの諸野祐樹グループリーダー (GL) 代理と同位体地球化学グループの伊藤元雄GL代理の協力によって、海底下地層中の生命活動に関する新たな成果を生み出している。2011年には、下北半島八戸沖の海底下約46万年前の地層から採取した微生物細胞の栄養源の取り込みの様子が明らかにされた。

諸野GL代理は、コア試料に含まれるごく微量の微生物細胞を確実に取り出す世界最高の技術を独自に開発してきた。諸野GL代理と伊藤GL代理らは、八戸沖海底下の微生物の代謝を調べるため、分子内の炭素原子や窒素原子をそれぞれの安定同位体原子 (^{13}C , ^{15}N) で置きかえて追跡できるようにした栄養源を試料に加え、NanoSIMSを用いて栄養源の取り込みを可視化し、個々の細胞 (大きさは0.5~1ミクロン程度) がどのような栄養源をどのくらい取り込んでいるかを調べた。その結果、1cm³あたり1,000万細胞を超える微生物が、炭素や窒素を極めてゆっくりとした速度 (大腸菌の10万分の1以下) で取り込む能力を持つ“生きている”細胞であることが明らかになった。この研究は、それまでよくわかっていなかった海底下の微生物細胞の代謝活動と生存状態を初めて定量的に明らかにした成果として、世界的にも高く評価された。



高精度大型2重収束セクター磁場質量分析計 (IMS-1280HR)。NanoSIMSよりさらに高精度な同位体分析を行う。



同位体とは？

原子の中心にある原子核は、陽子と中性子で構成されている。たとえば、窒素の原子核には、7個の陽子と7個の中性子がある。陽子と中性子の質量 (重さ) はほぼ等しいので、両方の数を足した14を窒素の質量数といい、 ^{14}N (窒素14) と表す。

同じ性質を持っている元素でも、中性子の数の違いによって質量の異なるものがあり、これを「同位体」という。同位体は、時間が経つと放射線を発して別の元素に変わる不安定な「放射性同位体」と、安定していて時間が経っても変化しない「安定同位体」に分けられる (この特集では注釈がない場合、安定同位体を単に「同位体」と記述)。

窒素の安定同位体には、 ^{14}N (窒素14) と ^{15}N (窒素15) がある。 ^{15}N は中性子が1つ多く8つある。その分、 ^{14}N より重い。原子の数でいうと、地球上にある窒素の99.635%は ^{14}N 、0.365%が ^{15}N 。質量でいうと、99.60915%が前者、0.39085%が後者だ。

窒素同位体



原子サイズまで観察できる原子分解能透過電子顕微鏡 (TEM)。

試料のなかからわずかな微生物細胞だけを取り出す装置。医学用の機器であるセルソーターをもとに諸野GL代理が開発した。「2006年に下北半島沖で採取したサンプルの細胞数をカウントする仕事を任せられました。このときに、微生物細胞は浮き、泥は沈むという特殊な密度の液を使って微生物細胞を分けたり、ほかの微生物の混入を防ぐ方法を編み出したりして微生物の検出率を高め、蛍光物質で発色させた微生物の顕微鏡写真をコンピュータに読み取らせて、自動でカウントする技術も開発しました」と話す。

研究を技術的に支え、管理するコア試料を世界の研究者へ適正に分配

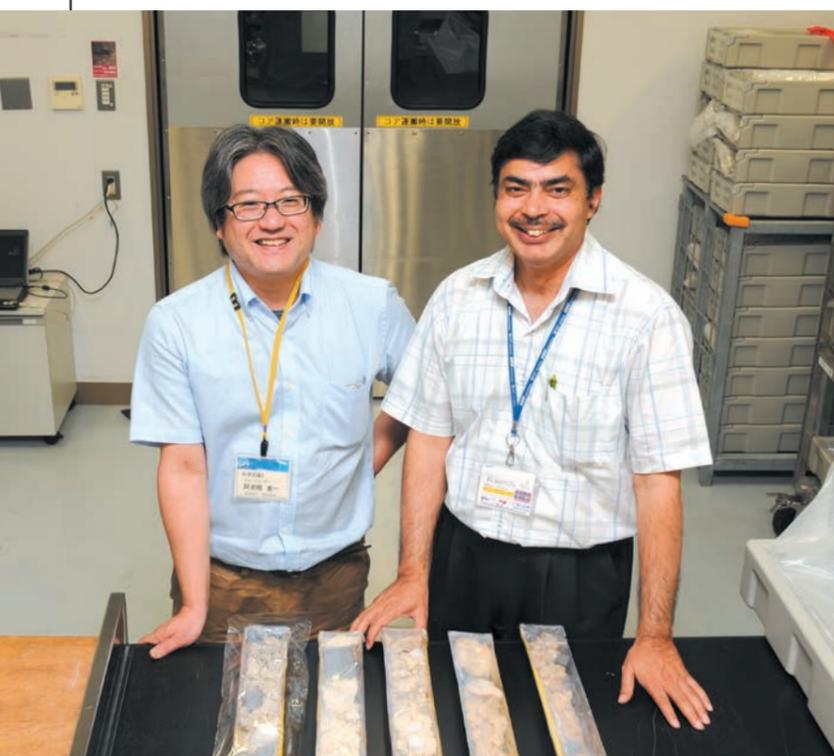
高知コア研究所科学支援グループには2つの大きな役割がある。1つは、分析機器や実験系設備の運用・保守および技術サポート。もう1つは、コア試料の保管や研究者への配布を行うキュレーション業務だ。

高知コア研究所では、数多くの分析機器や実験装置を運用し、貴重な科学サンプルであるコア試料をさまざまな研究ニーズに応じて分析できるように準備している。そのための装置管理や分析データの品質管理、新たな分析手法の開発などを担っているのが科学支援グループだ。

掘削によって得られたコア試料の基本的な物性計測から、より詳細かつ専門的な計測・分析を行うための幅広い分野の装置・機器が、コアロギング室、無機・有機地球化学実験室、X線分析・電子顕微鏡室をはじめとする解析ゾーンの実験室に設置されている。だが、こうした機器・装置類も高度な研究環境を維持・管理し、研究をきちんとサポートできる技術スタッフが揃っていなければ、有効活用できない。そのため、科学支援グループは、機器の運用からトラブルの解決まで幅広いサポートを行う。装置・機器類は種類も数も多く、

導入から10年近く経過している装置もあるため、ときにはメーカーからエンジニアを呼ばなければ解決できないトラブルもある。科学支援グループの阿波根直一グループリーダー(GL)は「万一トラブルが発生した場合も、できるだけ速やかに問題を解決し、いかにスムーズに研究を再開できるようにするか。そこに心を砕いています」と語る。

科学支援グループのもう1つの重要な業務が、キュレーション・サービスだ。「キュレーション」という言葉は、博物館や美術館などで、收藏品や展示物を適正な温度・湿度のもと長期にわたって保管・管理し、展示や貸借などの判断を行う仕事を意味する。ここでは、掘削コア試料を冷蔵保管庫で最良の状態を保管・管理するとともに、試料の利用申請を受け付け、その内容を評価・検討して試料を提供する業務を「コア・キュレーション」と呼んでいる。高知コア研究所には、IODPキュレーターとして活躍するラン・グプタGL代理をはじめ、キュレーション業務監督を務める久光敏夫GL代理や支援員を含めて8人のキュレーション・スタッフが揃っている。キュレーターは、掘削の知識はもちろん、地質や岩石・鉱



コア保管庫で、キュレーションの仕事について語る久光GL代理

コア試料を前にした阿波根GL(左)とグプタGL代理(右)。

取材協力/阿波根直一グループリーダー 科学支援グループ ラン・グプタグループリーダー代理 科学支援グループ
久光敏夫グループリーダー代理 科学支援グループ 肖楠 技術副主任 科学支援グループ



コア試料の管理・提供の業務を担うキュレーション・スタッフ。

提供されるコア試料はこのように形で切り出され、梱包されて研究者のもとへ発送される。



の試料を用いた研究論文の内容を申告することになっている。キュレーターは研究内容や過去の実績などを審査して、リクエストを承認するかどうかを判断する。貴重なコア試料の利用は、学術的な研究目的に限られる。承認されると、キュレーション・スタッフが、コア試料からサンプルを採取し、梱包・配送手配などを行う。研究者が来所し、自ら試料採取することも可能だ。

この仕事で一番気を遣うのはどんな点か、グプタGL代理に尋ねた。「世界各国の研究者が、同じ試料で同様の研究をしないように気をつけています。複数の研究者が同時に同じテーマで同じ試料を用いて研究をすると、トラブルになる恐れがありますから。そのためにも、可能な限り申請者の論文に目を通して、誰がどのような研究をしているかを把握するようにしています」と話す。

物などの詳しい知識が求められる専門職だ。久光GL代理も、かつては古地磁気学の研究者だった。房総半島や台湾の断層帯などのフィールドで岩石や地質を観察した経験が業務遂行のベースにある。「研究者から『火山灰の地層のサンプルがほしい』『生痕化石がほしい』といったリクエストがあったとき、試料をひと目見てわからなければこの仕事はできません。地質の状況を見抜く知識や経験が必要です」と話す。

IODPコア試料の提供は、世界中の研究者からリクエストが数多く寄せられる。申請にあたっては、実際にどういう研究を行うのかを記述し、過去にコア試料を利用した人は、そ

貴重な生物試料を管理・提供する DeepBIOSキュレーター

地下生命圏研究にとって重要な掘削コア試料は、冷蔵保管庫ではなく、約-80℃の冷凍保管庫と、約-180℃の液体窒素冷凍保存システムのタンクに保管されている。酸素に触れさせずに良好な状態でDNAやRNAの分解を防ぐとともに、空気中の微生物の混入を防ぐためでもある。IODPコア保管施設は世界に3カ所あるが、微生物の分子生物学的研究や遺伝子研究のために、極低温状態でコア試料を保管・管理し、微生物専門のキュレーターを配置しているのはここだけだ。

地下生命圏研究が盛んになり、IODPの研究航海にも微生物研究者が数多く乗船するようになった今日、世界の研究者から凍結コア試料について問い合わせが入ようになった。高知コア研究所では、そうした要望にも応え、試料を提供している。その業務を、DeepBIOS (Deep BIOSphere Samples) キュレーターの肖楠技術副主任が1人で担っている。「地下生命圏の研究は、まだ10年ほどの歴史しかなく探究の段階です。その意味でも貴重な試料をよりよい状態で保管することには大きな意味があります」と話す肖技術



液体窒素タンクの中に保管されている、微生物を含むコア試料。

液体窒素タンクからサンプルを取り出す肖楠技術副主任。

副主任は、試料の長期保管技術の開発を進める一方、自らも海底下の微生物研究に取り組んでいる。「世界中から試料のリクエストがありますが、よい研究結果を出すのはなかなか難しいのが実状です。ときには研究者の相談にのって、連携できそうな研究者との共同研究を勧めるといったアドバイスやコーディネートをすることもあります」という。

断層物性研究グループ

巨大地震・津波の発生メカニズム解明を目指して

断層物性研究グループは、プレート境界断層のすべりに伴って発生するプレート境界型地震などの現象を解明する研究を行っている。

IODP海洋底掘削の進展に伴い、断層試料そのものの物性測定や掘削時に得られる検層データを駆使した研究、さらには地震断層運動を再現する室内実験などが高い成果を挙げている。

断層が秒速1m以上ですべり出すと、摩擦が劇的に小さくなる

地震は、地下の岩盤に大きな力が加わり、その力に耐えられなくなったときに、ある面に沿ってずれ動くように破壊して起きる。こうして生まれるのが断層で、過去に何度も地震を起こし、今後も起こす可能性が高い断層は活断層と呼ばれる。なかでも、特に巨大な地震・津波を繰り返し起こすのが、プレート沈み込み帯でプレート同士が接するプレート境界断層だ。海洋プレートはマントルの活動に伴って年間に数cmずつ移動しており、プレート境界の断層面には摩擦力が働いて固着する部分が生じ、その周辺にひずみが蓄積することによって弾性エネルギーがたまっていく。やがて、そのエネルギーが摩擦力の限界を超えたときに瞬時に解放され、引きず

り込まれた陸側プレートが元に戻るうとしてすべり、地震・津波が発生する。

廣瀬文洋グループリーダー（GL）代理らは、地震が起こるときに発生する秒速数mという高速のすべりを再現する「回転式高速摩擦試験機」を使って、地震による断層運動のメカニズムを解明する研究を続けてきた。実際の断層は2枚の巨大な岩盤がすべることで生じるが、すべりをそのまま実験で再現することはできない。そこで、2個の岩石試料を組み合わせ、一方を固定し、もう一方を高速で回転させて、接触するすべり面で起こる現象を調べるのだ。

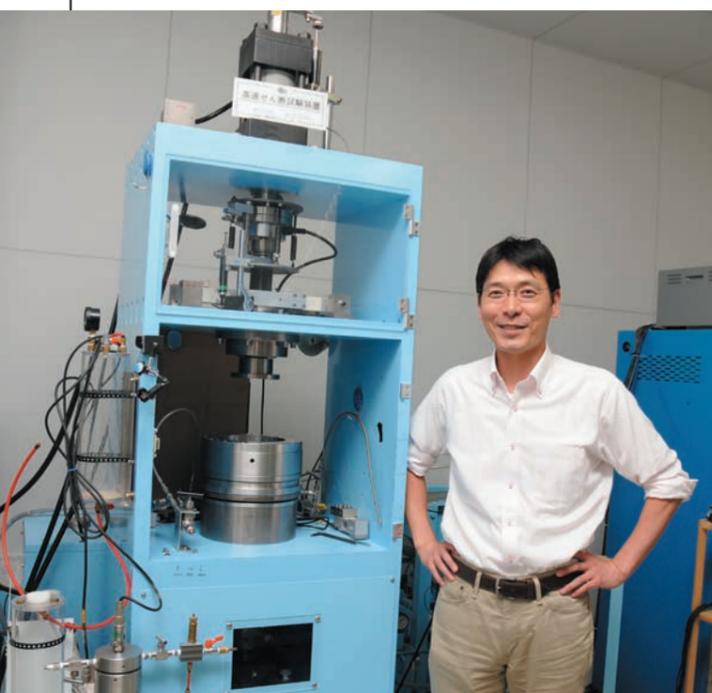
2011年、廣瀬GL代理らはこの試験機による実験結果とデー

地震断層の水素発生を実験で確認

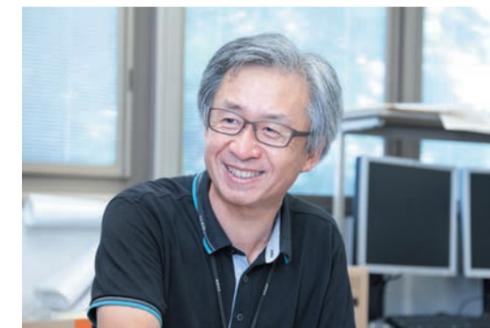
地震が発生するとき、断層面で水素ガスが発生するとされてきたが、詳しいことはわかっていなかった。そこで廣瀬GL代理は、回転式高速摩擦試験機を使ってガスの量を正確に測定しようと、高速回転する岩石部分を覆う圧力容器を新たに開発して実験を行った。その結果、岩石が高速で大きく動くほど、つまり地震のマグニチュードが大きくなるほど、水素ガスの総生成量が増えることを明らかにした。さらに、私たちがゆれを感じないほどの小さな地震でも、断層周辺には数十mmol/kg※という高濃度の水素ガスを含む環境が生じることもわかった。原始生命は水素ガスの豊富な海底の熱水域で誕生したという仮説が多く支持を得ているが、熱水噴出孔周辺の水素ガス濃度は一般に数mmol/kg程度で、それより有意に濃度が高い。このことから、プレート境界周辺など地震が継続的に起きている環境には、「独自の地下生物圏が存在する可能性があるのではないか」と廣瀬GL代理は考えている。



回転式高速摩擦試験機にセットされた岩石試料が回転により摩擦発熱している様子。実験でも、摩擦によって水素や二酸化炭素などのさまざまなガスが発生した。



地震時のすべり速度を再現する回転式高速摩擦試験機の横に立つ廣瀬GL代理。



断層物性研究グループの成果について語る林GL。

これまで、プレート境界の浅部では50mにもわたる巨大すべりは発生しないと考えられていた。どうして、このような巨大なすべりが発生したのか、林為人GLを中心に断層物性研究グループは次の3つの視点から研究を進めた。(1)断層を形成していた物質、(2)断層内の水とその圧力、(3)すべるときに断層を押す原動力(応力)。その結果、次のことが明らかになった。

(1)断層が生じた層は、非常にすべりやすいスメクタイトという粘土鉱物からできていた。(2)断層内の水は、周囲を透水性の低い物質に囲まれていたため、摩擦熱によって膨張しようとする水の圧力が高まり、断層の上の部分を押上げる力が働いて摩擦力を低下させ、すべりやすくなった(このような現象を「熱圧化」という)。(3)地層中には、「応力」という断層を動かそうとする力がかかっている。一方、断層部分には摩擦抵抗がかかり、普段は両者のバランスがとれて動かない。林GLは、検層データとコア試料を解析して地震から1年後の応力を正確に割り出すとともに、地震前の応力を掘削のデータや地層の構造解析などから推定した。その結果、応力場が地震の前で圧縮応力場から伸張応力場へと顕著に変わっていたことがわかった。

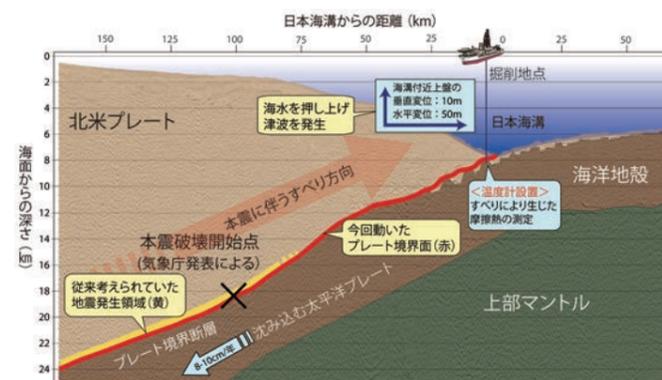
これらの結果から、林GLは「海溝軸付近のプレート境界も比較的大きな応力を蓄積していましたが、地震発生による応力の解放が、浅部の上盤(すべり面の上の層)にたまっていたひずみを同時に解放し、すべりやすい粘土鉱物と熱圧化の効果も相まって断層のすべり量が増大したと考えられます」と結論付けた。

夕の解析により、地震が起こるときに、断層の摩擦強度が劇的に低下することを明らかにした。「断層がゆっくりすべるときは、摩擦の強さを示す摩擦係数は0.6~0.7ですが、秒速1mを超える高速のすべりになると、その値は0.1程度まで低下します」と廣瀬GL代理はいう。「岩石の種類や地震発生のメカニズムにかかわらず、地震が起こるときには断層の摩擦係数が0.1にまで落ち、非常にすべりやすくなるのです」。

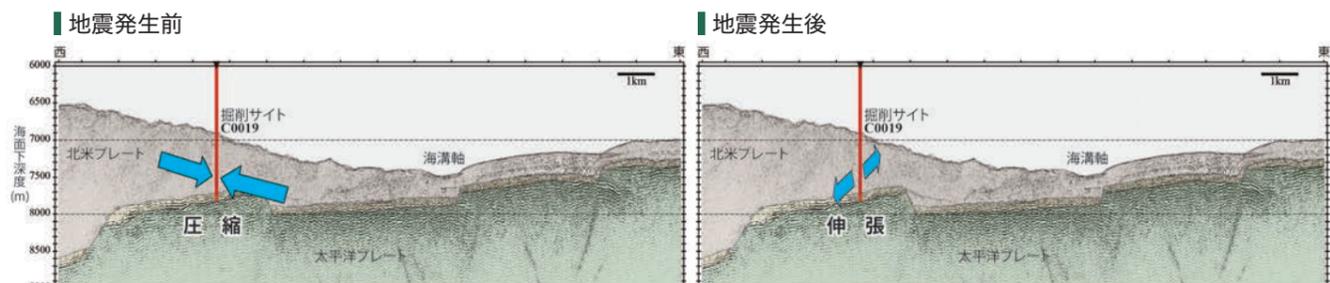
この現象は「断層潤滑現象」と呼ばれる。廣瀬GL代理らの研究に続いて、2013年には東北地方太平洋沖地震でも断層のすべり面の摩擦係数が0.1程度まで落ちていたことが明らかになり、試験機による実験結果が正しいことが実証された。

東北地方太平洋沖地震の断層すべりを3つの観点から解明

JAMSTECは、東北地方太平洋沖地震の発生直後から、震源域を中心にさまざまな調査を実施し、震源域先端部の海溝軸に近い北米プレートが水平方向に50m以上もすべり、大津波を発生させたことが明らかになった。そこで、2012年4~5月および7月、地球深部探査船「ちきゅう」によって、大津波の元凶を生み出した場所で掘削調査(東北地方太平洋沖地震調査掘削:JFAST)が実施された。掘削では、水深6,889.5mから海底下850.5mまでを掘りぬき、プレート境界断層のコア試料と物理検層データを取得した(IODP第343次研究航海)。



JFAST掘削地点の海底下構造概念図。東北地方太平洋沖地震では、プレート境界の海溝軸付近で大きくすべり、海溝軸付近の海底が水平および垂直に大きく変動したことにより大量の海水を押し上げ、巨大津波が発生したと考えられている。



断層より上の地層では、地震前は圧縮場(北西-南東方向)だったが、地震後は伸張場(北東-南西方向)へと応力場が反転していたことが、JFASTの調査などから明らかにされた。

同位体地球化学研究グループ

化学的な情報から過去の地球環境や地震のメカニズムを探る



タヒチ海域で行われたIODP研究航海で採取されたサンゴのコア試料。

同位体地球化学研究グループは、元素の同位体分析を中心とした化学的な手法で、コア試料から地球の過去の環境変動や、地震断層の性質・振る舞いを解き明かす研究などを進めている。すでに世界最高レベルのホウ素同位体比分析技術を用いて

過去の海洋の酸性化を明らかにした研究、断層中の高温の水が断層のすべりに決定的な影響を及ぼすことを示した研究などで成果を挙げている。

ホウ素同位体の高精度分析により過去の海洋酸性化を発見

サンゴ、有孔虫などのように、炭酸カルシウムの骨格(殻)をつくる生物は、その骨格のなかにpH(酸性度)・水温・塩分などの環境条件を化学的な情報として記録する。たとえばサンゴは、成長とともに数百年かけて骨格で“サンゴの年輪”をつくるので、その化学組成を詳しく見ていくことで、その間の地球環境の変化を知ることができる。

海水には、ホウ素という元素が含まれる。海中のホウ素は、ホウ酸とホウ酸イオンの2つのかたちで存在し、サンゴの骨格を形成する炭酸カルシウムがつくられるときには、ホウ酸イオンだけがそこに取り込まれる。また、ホウ素には、ホウ素10(¹⁰B)とホウ素11(¹¹B)の2つの安定同位体があり、ホウ酸イオン中のその比率(同位体比:¹¹B/¹⁰B)は海水のpHによって決まる。これを利用して、サンゴのホウ素同位体比を高精

度に分析すると、過去の海水のpHを推定することができる。

石川剛志研究所長は、ホウ素の同位体比を世界最高精度で測定する技術を開発し、東京大学などと共同で、IODPで初めて掘削されたタヒチ海域で得られた1万6000年前以降のサンゴ化石試料を用いて、過去の海洋環境変動について調べた。その結果、1万5000年前と1万2000年前ごろに、2度にわたって顕著な海水の酸性化が起きていたことを明らかにした。これらは南極の氷床に保存されている大気中の二酸化炭素の2度の急上昇期とほぼ一致していた。このことは、タヒチを含む中央赤道太平洋海域が、最終退氷期(約1万9000~1万1000年前)に深海から大気へ二酸化炭素を輸送する経路となっていたことを示している。最終氷期に大気中の二酸化炭素濃度が低かったことと、深海に二酸化炭素が閉じ込められていたことは関連していたと考えられているが、どのように深海に保存されていたのか、どのようにして深海から大気へ輸送されたのかは、まだよくわかっていない。だが、今後、

サンゴ化石に記録された海水のpHの変化を詳しく見ていくことで、深海から大気への二酸化炭素の輸送システムが明らかになると期待されている。

さらに、石川研究所長はこの研究に続く次のようなプランを描いている。「現在、大気中の二酸化炭素が海水に溶け込むことで海洋の酸性化が起きつつありますが、この現象はわずか30年ほどしか研究されておらず、それ以前の海水のデータはありません。そこで、同様の手法で過去のpH変動を解析するプロジェクトを進めています。」

化学分析で断層すべりのメカニズムに迫る

断層帯には、しばしば水(流体)が存在し、その水圧の変化は地震発生時の断層すべりにも大きな影響をもたらすと考えられている。断層の上下が泥岩(粘土)の場合、泥岩は水を多く含んでいる上に水を通しにくく、水が封じ込められた状態になっている。地震で断層がすべると摩擦熱が発生する。すべる速度は秒速1mを超え、水は数百℃まで加熱されるが、膨張しようとしても断層帯から抜け出ることができない。断層内の水圧は急上昇し、極端にいうと断層を構成する岩石粒子が水で浮き上がったようになり、断層面の摩擦を低下させ、大きな断層すべりを引き起こす。この現象は「熱圧化」と呼ばれ、以前から予測されていたが、実際の断層帯の岩石にその痕跡は見つかっていなかった。

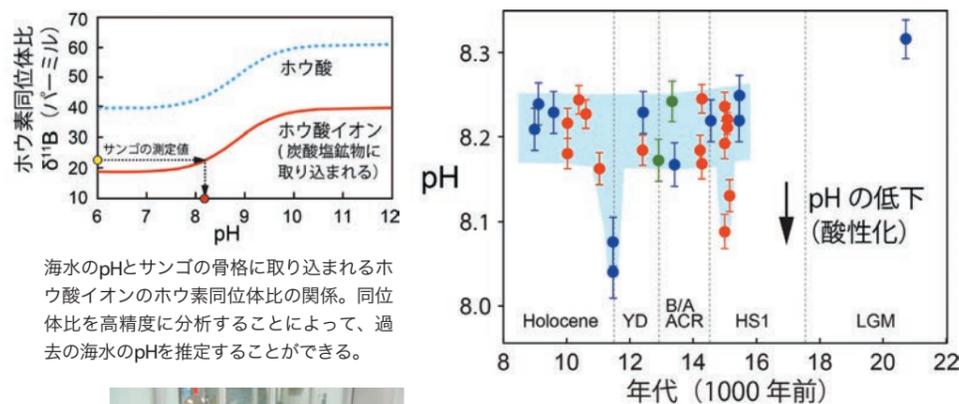
1999年9月21日、台湾中西部を震源とする集集地震(M7.6)が起こった。地震を起こしたのは南北にのびるチェルンプ断層だった。この地震で特徴的だったのは、断層の北部域での地震時の断層すべりが震源に近い中・南部よりもはるかに大きく、最大12mにも達した点だった。この大きなすべりは、北部域の断層で地震時の断層面の摩擦が著しく低下したことを示唆していた。その原因として挙げられたのが「熱圧化」だった。

石川研究所長らは、断層北部の地下1kmから掘削されたコア試料の化学分析を行い、断層がすべった黒色ガウジ帯(地

震時の破壊で粘土化した部分)に明瞭な組成変化が起っていたことを突き止めた。黒色ガウジ帯では、周囲の堆積物に比べてリチウム・ルビジウム・セシウム含有率とストロンチウム同位体比(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)が減少し、ストロンチウムの含有率が増加していた。これらの元素や同位体は高温の水に接すると、移動しやすい性質を持つことが知られている。石川所長らはモデル計算を行い、黒色ガウジに見られる組成変化が、350℃以上の水と触れ合ったときに生じる水-岩石相互作用で生じたことを示した。350℃以上の温度をつくりだす要因は地震時の断層すべりによる摩擦発熱しか考えられないことから、チェルンプ断層北部で熱圧化が起きていたことは確実となった。その後の研究により、東北地方太平洋沖地震で断層が50m以上すべったことにも、熱圧化が関係していると考えられている。



チェルンプ断層掘削コア試料の黒色ガウジ帯(黒く変色した部分)。黒色ガウジ帯のすべりで、微量元素や同位体の異常が認められた。



海水のpHとサンゴの骨格に取り込まれるホウ酸イオンのホウ素同位体比の関係。同位体比を高精度に分析することによって、過去の海水のpHを推定することができる。

サンゴのホウ素同位体比から復元されたタヒチ海域のpHの長期変動。最終氷期の最寒期からの回復期(最終退氷期)に、タヒチ海域では2度にわたって海水の酸性化が起きていたことがわかった。

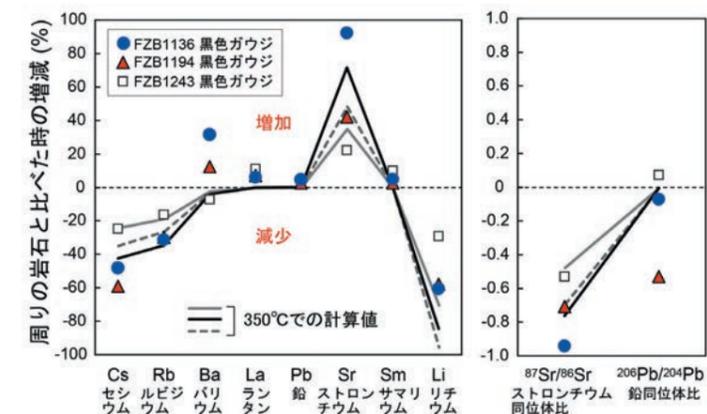


同位体比を利用する研究について語る石川研究所長。

重さが異なる同位体を磁力によって分けることで同位体比を精密に測定する表面電離質量分析計。



チェルンプ断層の掘削の様子。



黒色ガウジと周囲の岩石の化学組成を比べたときの元素の増減。セシウム、ルビジウム、リチウムなどは減少し、ストロンチウムは増加していた。

地球の最大37%の海域に酸素に富む堆積物と超低栄養生命圏を発見

外洋の堆積物環境には生命圏の限界が存在しない!?

海底下の堆積物中に微生物がいることが認知されたのは1990年代半ばのことだ。その後海洋掘削科学の進展により、地球全体の海底下に約 2.9×10^{29} 細胞の微生物(炭素量に換算すると約4ギガトン、地球の全生命体炭素の約1%と試算されている)が生息する「海底下生命圏」が存在していることがわかってきた。地球には、私たち人間を含む動植物が暮らす陸域や海洋の「地球表層生命圏」だけでなく、地球内部にも生命圏があり、その活動は地球規模で物質循環や環境変動に重要な役割を果たしていると考えられている。地球深部生命研究グループは、海底下から採取されたコア試料などを用いて、海底下深部に生息する微生物の地理的空間分布に関する研究をはじめ、それらの生理・生態学的な機能に関する研究を進めている。さらに、単一細胞レベルの元素・同位体分析や遺伝子分析などにより、代謝機能や進化プロセスの解明にも取り組みつつある。

多くの謎に満ちた外洋の海底下生命圏に挑む

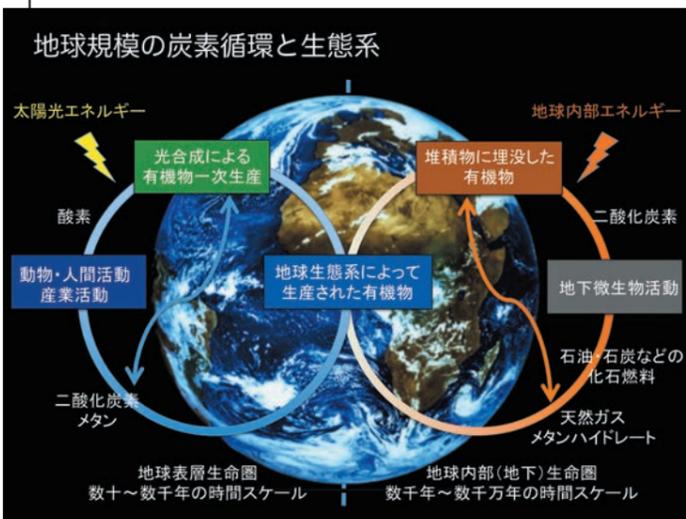
高知コア研究所では、地球深部生命研究グループ・稲垣史生グループリーダー(GL)を中心に、掘削コア試料を用いた最先端地球科学・生命科学融合研究を推進し、有機物を多く含む大陸縁辺域の海底堆積物から未知の微生物を検出したり、46万年前の海底下地層中で大量の“生きた”微生物細胞を確認するなど、海底下生命圏の実態を明らかにする数多くの成果を挙げてきた。しかし、外洋の海底下に広がる生命圏は、依然として多くの謎に包まれている。外洋の海水環境は、大陸縁辺域に比べて海水中の基礎生産量が非常に小さい。そのため、外洋の堆積物環境には有機物がほとんど含まれていないが、そこに生命(微生物)が存在するかどうかについては、

これまでよくわかっていなかった。

2010年、稲垣GLが共同首席研究者を務めた国際共同研究チームは、米国の科学掘削船「ジョイデス・レゾリューション」で南太平洋環流域の調査航海を実施し、7カ所の掘削地点からコア試料を採取した(IODP第329次研究航海)。海水の透明度が高く、地球上で最も表層海水の有機物生産量が低いことで知られる海域だ。

研究航海で採取したコア試料を分析したところ、海底表層から約1億2000万年前(白亜紀)に形成された玄武岩のすぐ上まで、すべての堆積物中の水(間隙水)に酸素が溶けていることがわかった。微生物の活性が高い大陸縁辺域の堆積物では、海水から供給される酸素は海底下数mmから数cmまで消費され、その下は完全な無酸素・嫌気状態になる。一方、栄養源に乏しい外洋域においては、海水から拡散・浸透する酸素が微生物によって完全に消費されることなく、玄武岩にまで到達していることが世界で初めて証明されたのだ。

超低栄養生命圏について語る稲垣GL。



2つの生命圏と地球の炭素循環

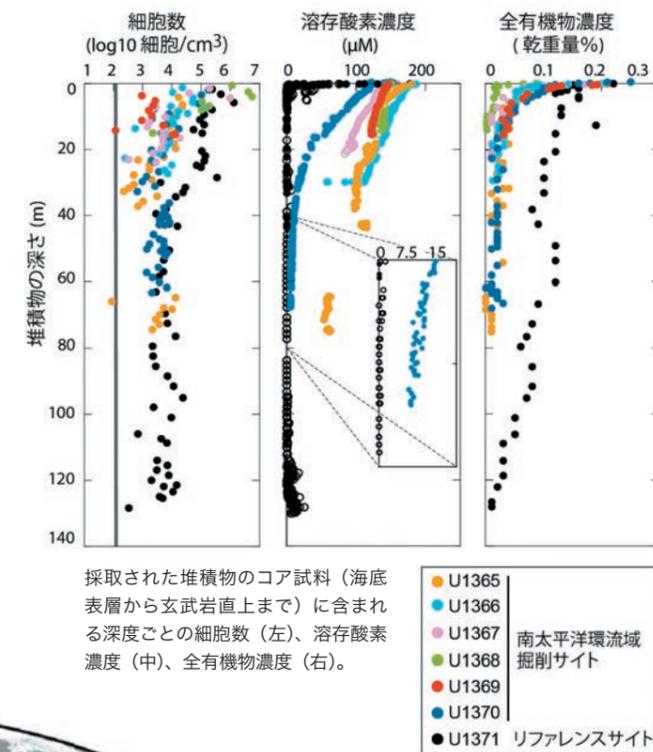
最低限のエネルギー消費でゆっくり生きる超スローライフな微生物

稲垣GLと同航海調査に乗船した諸野主任研究員らは、高知コア研究所に運び込んだコア試料から汚染されていないサンプルを採取し、ゲノムDNAを特異的に吸着する蛍光色素を用いたイメージ解析で正確に細胞数を計測した。その結果、堆積物に含まれる有機物(微生物の栄養源)の濃度は低く、海底表層では0.1~0.2%、海底下5~10mでは検出限界である0.02%以下と非常に乏しかったが、海底の表層から玄武岩直上まで、すべての堆積物から微生物細胞が検出された。ただ、その数は大陸縁辺域の堆積物の同じ深さに比べて100分の1以下と少なかった。

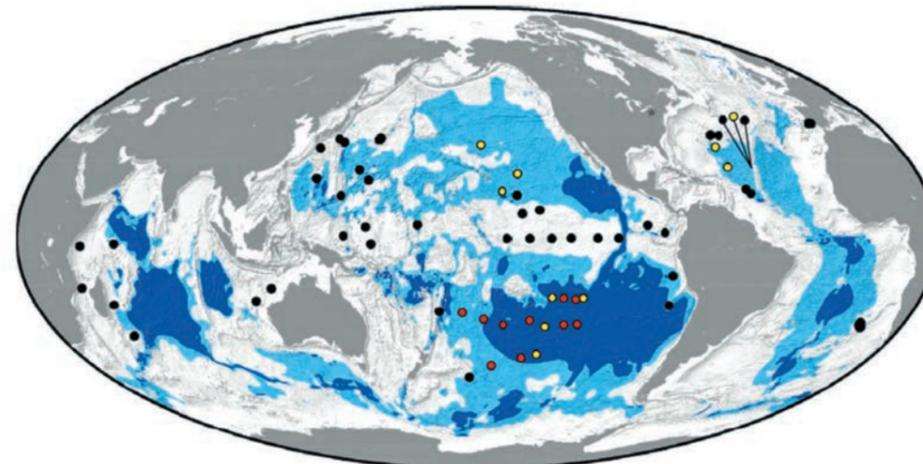
さらに、酸素の消費を見ていくと、堆積物中の微生物の酸素呼吸による濃度の減少はごくわずかだった。その速度は、私たちの身近にいる大腸菌などと比べると1億分の1から10億分の1程度しかなく、地球上で最も代謝活性の低い「超スローライフ」な微生物が生息することがわかった。外洋の深海堆積物中に、必要最低限のエネルギーを消費しながら生き続ける微生物の存在が示されたのだ。こうした代謝活性が地球上で最も低い生命が存在する世界を、稲垣GLは「超低栄養生命圏」と呼ぶ。

「今回の成果で明らかになったのは、外洋の堆積物環境に生命圏の限界は存在しないということです。地球上で最も低栄養の環境でも、海底から玄武岩直上まで微生物がいるということは、外洋堆積物のどこにでも微生物が存在することを意味しています(大陸沿岸の生命圏の限界については、巻頭の「Close Up」を参照)。また、発見された微生物の分裂のスピー

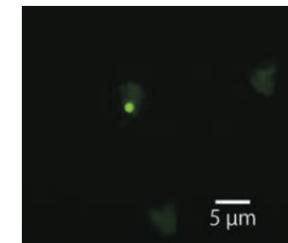
ドは極めて遅いので、進化もほとんど起きていない可能性があります。1つの細胞が1日あたり数個の電子しか使わないような、驚くべきスローでエコな生命。こうした微生物が、数千万年前~1億2000万年前の環境にどのように生き残っているのかは謎です。エネルギーの供給が限られた極限的な海底下環境で、地質学的時間スケールを生き抜くための何らかの未知機能を持っているかもしれない。現生の同じような種と比べたとき、ゲノムや生理・代謝機能にどのような違いが見られるのかなど、海底下生命圏で起きている生存戦略や生命進化のプロセスについて、これから解明していきたいと考えています」と稲垣GLは話す。



採取された堆積物のコア試料(海底表層から玄武岩直上まで)に含まれる深度ごとの細胞数(左)、溶存酸素濃度(中)、全有機物濃度(右)。



海底表層から玄武岩まで酸素が到達している海域(青:高い確率で酸素が玄武岩まで到達している範囲、水色:酸素が玄武岩まで到達していると推定される範囲)。地球全体で最大37%の海域の海底下に、地球上で最もスローな有酸素生命活動が行われている超低栄養好気的な海底下生命圏の存在が示唆される。赤点は、掘削調査により玄武岩層まで酸素が到達していることが確認された地点、黄点は、海底下7~34mまでの掘削調査から玄武岩層への酸素到達が推測される地点、黒点は酸素が海底下数cmから数mで検出されなくなった地点。



南太平洋環流域のサイトU1369から採取された深海底堆積物に生息する超低栄養微生物の顕微鏡写真(中央の明るく光る緑色の部分)。微生物細胞を堆積物から剥離し、細胞内に含まれるゲノムDNAを蛍光色素で染色したもの。1μmは、1mmの1/1000。



高知コア研究所の長所を生かし、 研究のさらなる充実を目指す

— 石川剛志 研究所長 高知コア研究所



石川研究所長

私たち「高知コア研究所」が、ほかのどこにも負けないと自負していることの1つは、研究者一人ひとりが、世界最先端の独自の分析・実験手法を持っている点です。たとえば、微生物細胞をカウントする独創的な手法、あるいは回転式高速摩擦試験機を使って断層すべりを再現する手法、ホウ素の高精度分析法やNanoSIMSを使った分析法などもそうです。こうした世界の先端を走る分析法や実験法を駆使して、オリジナルなサイエンスを打ち立てています。

3つの研究グループは、文字通り“三位一体”となって協力し合い、連携し合っています。一般論でいえば地球深部生命研究グループと同位体地球化学研究グループにはある程度の接点があることを予想する人が多いと思いますが、同位体地球化学研究グループと断層物性研究グループ、断層物性研究グループと地球深部生命研究グループが連携するということは、通常は研究分野の壁が高く、あまりないことです。それが、ここでは理想的にコラボレーションできています。さらに、科学支援グループが研究を強力にバックアップしてくれているので、それも含めると“四位一体”です。組織上はグループに分かれています、研究者同士が組織の仕切りを超えて交流し、分野を融合させながら、世界最先端の研究を

進めているのです。こうした組織は、日本国内のみならず世界でも珍しいのではないかと考えています。

高知コア研究所は、コンパクトであるが故に風通しもよく、必要な情報はすぐに共有できる環境が整っています。こうしたことが、研究成果にもつながっているのだと思います。

ここは、国内で唯一の地球掘削科学の研究拠点ですから、貴重な掘削コア試料を有効に活用した、優れたサイエンスをこれからも展開していかなければなりません。また、そうした研究活動を通して、次世代の研究者を育てるという使命もあります。日本地球掘削科学コンソーシアム (J-DESC)、高知大学海洋コア総合研究センターと協働して実施している「コア解析スクール」や、IODP研究航海に参加する研究者向けのトレーニングや技術相談などへの対応も、そうした取り組みの1つです。これらの機会を利用して、若手研究者がコアの記載法や同位体分析などいろいろなことを学んでいます。

掘削科学の研究は大きな広がりを持っており、私たちだけで全部できるわけではありません。国内や海外の大学をはじめ、さまざまな科学コミュニティとの連携が大事です。共同研究も積極的に推進していきたいと考えています。私たちの持つ技術やアイデアによって研究の質が高まり、掘削科学の輝かしい未来が開け、社会に貢献する大きな成果が得られることに、私自身も期待しています。(談)

BE

高知コアセンターの恩恵とその役割

— 徳山英一 センター長
高知大学海洋コア総合研究センター

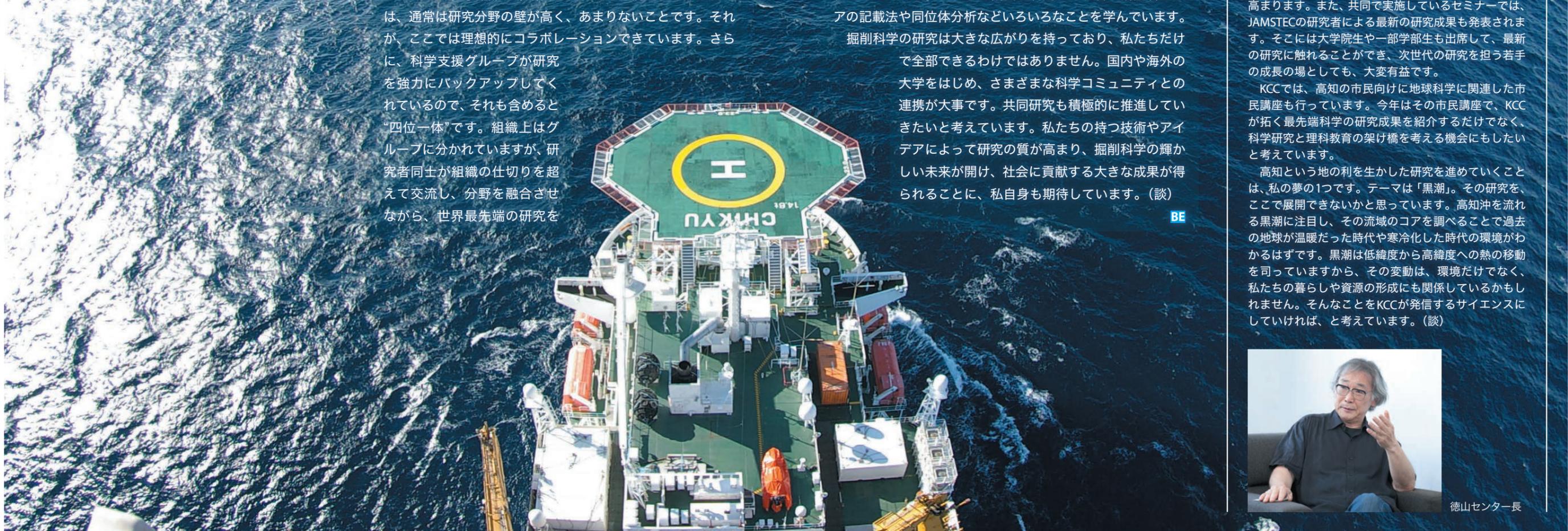
私たちは、JAMSTEC高知コア研究所と一体となって、「高知コアセンター(KCC)」を共同運営しています。ここには掘削科学のあらゆる研究に用いられる最新の機器が揃っており、地球掘削科学共同利用・共同研究拠点の制度のもと、全国の研究者・学生らが研究に使えるしくみになっています。もちろん、高知大学の研究者や学生にとっても、最先端の研究に取り組める環境は非常にありがたいことです。高知大学が誇る地球科学の研究分野として、古地磁気学、古環境研究、海底資源研究が挙げられます。これらの分野でも世界有数の研究機器が揃っているため、コア解析から地球の歴史を紐解こうとする研究者のモチベーションは自ずと高まります。また、共同で実施しているセミナーでは、JAMSTECの研究者による最新の研究成果も発表されます。そこには大学院生や一部学部生も出席して、最新の研究に触れることができ、次世代の研究を担う若手の成長の場としても、大変有益です。

KCCでは、高知の市民向けに地球科学に関連した市民講座も行っています。今年はその市民講座で、KCCが拓く最先端科学の研究成果を紹介するだけでなく、科学研究と理科教育の架け橋を考える機会にもしたいと考えています。

高知という地の利を生かした研究を進めていくことは、私の夢の1つです。テーマは「黒潮」。その研究を、ここで展開できないかと思っています。高知沖を流れる黒潮に注目し、その流域のコアを調べることで過去の地球が温暖だった時代や寒冷化した時代の環境がわかるはず。黒潮は低緯度から高緯度への熱の移動を司っていますから、その変動は、環境だけでなく、私たちの暮らしや資源の形成にも関係しているかもしれません。そんなことをKCCが発信するサイエンスにしていければ、と考えています。(談)



徳山センター長



TEAMS ～海洋科学で東北復興を支援する研究者たち～

高校時代に魅せられたコケムシの研究を通して復興に貢献する

広瀬 雅人

東京大学大気海洋研究所
国際沿岸海洋研究センター
生物資源再生分野 特任助教

2012年1月に始まった「東北マリンサイエンス拠点形成事業 (TEAMS)」は、東北地方太平洋沖地震と津波で被災した水産業の復興への貢献を目指している。このプロジェクトに参加する研究者を紹介するインタビュー連載、今回はコケムシを通して大槌湾の震災の影響を探る広瀬雅人さんを紹介。一見、水産業とは何の関わりもなさそうなコケムシの研究が復興にどのように貢献できるのか、語ってもらった。

偶然出会ったコケムシの
美しさに魅せられて研究の道へ

—TEAMSではどのような研究をされているのですか。

広瀬：東京大学大気海洋研究所のTEAMSの研究活動（海洋生態系変動メカニズムの解明）は、6つのテーマに分かれていて、私はテーマ2「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」に参加しています。このテーマには16もの研究グループがあり、それぞれ専門分野の生物について調査・研究を進め、大槌湾をはじめ三陸沿岸域を中心に、東北の海に生息する生物や生態系が、地震・津波でどのような影響を受け、どのように変化しているのかを調べています。そのなかで、私はコケムシという動物を中心とした付着生物の調査・研究に加えて、底生生物の調査も行い、標本や記録を残す作業を行っています。

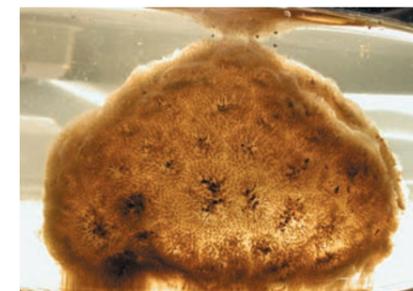
—TEAMSは被災地の水産業復興への貢献を目指していると伺っていますが、コケムシは水産業とどのような関係があるのですか。

広瀬：確かにコケムシはカキやホヤなどと違い、水産業と直接関わりはありませんよね。ただ、私はコケムシのような基礎研究であっても必ず何かのかたちで人の役に立つはずだと、震災前から考えていました。現在はコケムシを指標に、震災前後で大槌湾の環境がどのように変化したかを捉える研究を進めています。コケムシは種類によってさまざまな群体をつくり、硬い骨格を形成するものもいます。個々の個虫は虫室と呼ばれる炭酸カルシウムでできた部屋をつくり、これが集まって大きな群体ができるわけです。個虫の寿命は数週間程度なので、個虫がいなくなった虫室はそのうち壊れてしまいますが、別の個虫が入ることで虫室は維持されます。その結果、なかには何年間にもわたって骨格を維持するコケムシもいるので、その骨格を詳しく調べれば、震災前後の環境の変化を捉えることができるのではないかと考えています。

—震災以前はどのような研究をされていましたか。



貝殻に白く斑点状に固着したコケムシの群体。



研究の道へ進むきっかけとなった、オオマリコケムシ (*Pectinatella magnifica*)。

広瀬：コケムシの記載分類を行っています。記載分類というのは、わかりやすく説明すると新種を見つけて名前を付ける研究ですが、ただ新種に名前を付けるだけではなく、それらを整理して、コケムシがどのように進化してきたのかを調べたり、近縁関係にあるグループをまとめたりする研究をしていました。

—コケムシとはどのような生物ですか。

広瀬：ホタテやカキの貝殻を見ると、ざらざらした斑点のようなものが付いていることがありますよね。実はこれがコケムシです。岩に生えたコケのように見えることから、コケムシという名前が付けられていますが、れっきとした動物です。肉眼で見える姿は多くのコケムシが集まった群体で、1匹は1mmにも満たない小さな生物です。無性生殖で自分のクローンを増やして群体を形成します。群体の形は種類によって異なり、コケのような群体のほか、柔らかい海藻のような群体をつくるものもいます。

コケムシは、コケムシ動物門（外肛動物門）に分類されている。触手に繊毛という細かい毛がたくさん生えており、これを動かすことで水流をつくり、水中のプランクトンを漉しとって食べている。同様の触手を持った動物と共に触手冠動物門に分類されていたこともあったが、現在はコケムシ動物門という独立した分類群に分けられている。コケムシの間には、同じように群体をつくるサンゴによく似た形状のものもいるため、「サンゴの仲間」と紹介されることがあるが、これは誤りで、系統的にも遠く離れている。しかし、コケムシがほかのどの動物に近いのかは、現在もまだよくわかっていない。

い。「まだまだ謎の多い動物です」と広瀬さんはいう。

—どうしてコケムシを研究されるようになったのですか。

広瀬：昔から生き物が好きで、高校生のころはよく野鳥を観察していました。ある日、学校の隣にある池でカワセミの写真撮っていると、池のなかに直径50cmほどのプヨプヨした寒天質の塊があることに気がきました。魚やカエルの卵とは明らかに違うので、学校に持ち帰って図鑑で調べてみましたが、何という生き物なのかどうしてもわからない。淡水の生き物なら、日本最大の湖である琵琶湖の近くにある研究機関に問い合わせればいいと考え、琵琶湖研究所（現・滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）に写真とサンプルを郵送して問い合わせ、やっとコケムシの群体であることがわかりました。正確にはオオマリコケムシといって、しばしば全国の池や沼で発生して話題になるコケムシでした。顕微鏡で観察してみると、群体を形づくる1つ1つの個虫はとても美しく、すぐに魅せられ、コケムシを研究したいと考えるようになりました。高校生時代にオオマリコケムシに出会わなければ、研究者にもなっていなかったかもしれません。

コケムシの骨格を分析して
大槌湾の地震・津波の影響を調べる

—どのようにしてコケムシのことを学び始めたのですか。

広瀬：日本に限らず、世界的にもコケムシの研究者は決して多くありません。現在、国際コケムシ学会には200名程度の研究者が入会していますが、学会の大会に参加するのは70名程度です。高校生の

広瀬雅人（ひろせ・まさと）
1982年、大阪府生まれ。2005年に筑波大学第二学群生物学類卒業。2010年、北海道大学大学院理学研究院自然科学専攻博士課程を修了し、同専攻研究員。2011年、国立科学博物館動物研究部を経て、2012年より現職。



ころ、日本にはすでに現役で淡水産コケムシを研究されている方はいなかったの、すでに退官されていた先生や海外の研究者に「コケムシのことを教えてほしい」と手紙やメールを出して、文献を送っていただいたりしました。進学した筑波大学では、1年のころから形態学の研究室の片隅で、オオマリコケムシを採集しては発生の様子を調べていました。

——学部1年生のころから研究室に入りしていたのですか。

広瀬：はい。コケムシの研究をしたいとお願いしたところ、快く迎え入れてくださり、授業の合間や放課後に研究をさせてもらっていました。そこでオオマリコケムシの生態と発生を一通り調べ終え、ほかの淡水産コケムシについても調べようとしたのですが、種名がどうしてもわからない。よく調べてみると、日本の淡水産コケムシの分類は30年以上ほとんど手付かずのままだったのです。そこで、

コケムシの生物学を発展させるためには、まずは分類から整理し直さなければと思い、コケムシの分類を専門とされている先生がいらっしゃる北海道大学の大学院に進学しました。修士課程では淡水産コケムシの系統分類、博士課程からは海のコケムシの分類に取り組みました。

——なぜ淡水産コケムシから海のコケムシに研究の対象を変えたのですか。

広瀬：研究対象を変えたわけではなく、コケムシの本質についてもっと知るために対象の幅を広げました。これまでに報告されているコケムシの現生種は6,000種ほどいます。しかし、そのほとんどは海産で、淡水産コケムシは90種ほど。しかも、淡水産コケムシは乾燥に耐える休芽になって、渡り鳥に付着して全世界に運ばれるため、外国の池や沼でも日本のコケムシとよく似たものが採取されます。多様性は決して高くありません。このように、淡水産コケムシは、コケムシのなかでは非常に特殊なグループだったので。一方、海産コケムシは古生代から化石記録が知られています。そこで博士課程に進んだのを機に、前々から興味をもっていた海産コケムシの研究にも取り組むことにしました。その当時から、東京大学の国際沿岸海洋研究センターにもお世話になり、大槌湾に生息するコケムシも採集していました。

——震災以前から大槌湾と関わりがあったのですか。TEAMSでの主要な研究テーマは、コケムシの骨格を調べて、震災前後の環境の変化を捉えるとのことですが、骨格の形成過程は明らかになってい

るのですか。
広瀬：まずはその点を明らかにしようと、現在、研究を進めています。大槌湾で採取したコブコケムシの仲間の骨格を切ってみると、その断面に年輪のような層構造が見られます。コケムシの骨格の酸素同位体比は、周囲の海水の酸素同位体比や水温によって季節的に変化しているはずなので、これを調べることにより、骨格の形成過程や過去の環境変化を明らかにしたいと考えています。

原子核を構成する中性子の数の違いから、さまざまな同位体が存在する。酸素の場合、安定同位体には、陽子8個、中性子8個の¹⁶O、陽子8個、中性子9個の¹⁷O、陽子8個、中性子10個の¹⁸Oがあるが、海水中の酸素同位体比は水温や塩分濃度によって変化する。炭酸カルシウムでできたコケムシの骨格はサンゴ等と同様に海水の同位体比や水温を反映していることから、コケムシの骨格に見られる層構造に応じて酸素の同位体比が周期的に変化していれば、骨格が形成された時期を特定できるため、骨格の成長率から、その時の環境がコケムシの生息に適したものだかどうかを推定できると、広瀬さんは考えている。

——環境変化の指標として利用しようとしているコブコケムシの仲間は、どのような環境にいるコケムシですか。

広瀬：コブコケムシの仲間は浅海域の藻場などにも普通に生息していますが、ここで私が対象としている種は、大槌湾の湾口部の水深100 m位の海底に生息しています。さすがに潜ることができる水深ではないため、ドレッジを用いて採集したり、地元の漁師さんから網にかかったサンプルをいただいています。大槌湾では、東京大学大気海洋研究所を中心としたTEAMSのメンバーが比較的浅い海域を中心に調査を行い、海藻・海草藻場への津波の影響などを調べています。また、沖合の深い海はJAMSTECの皆さんが調査を行っています。ただ、浅海域から深海域への移行帯にあたる水深100mほどの海底の津波の影響について

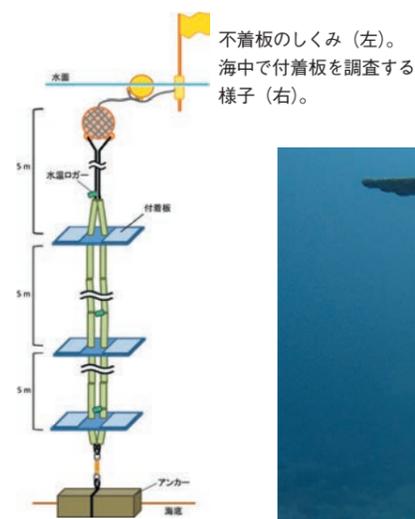
は、ほとんど手付かずの状態です。そこで、コケムシの骨格を用いた環境調査技術を確立して、調査が進んでいない深さの地震・津波の影響や環境変化を明らかにしていきたいと考えています。

付着生物の調査結果を水産業の復興に役立てるために

——広瀬先生は、TEAMSではコケムシ以外の調査も行っているのですか。

広瀬：現在は大槌湾と松島湾において、コケムシに加えて、フジツボやヒドロ虫などの付着生物の調査も行っています。これまで、付着生物が大槌湾のどこでどの時期に多く発生するのかがほとんど明らかになっていませんでした。そこで、大槌湾では湾口、湾央、湾奥の各地点に板（付着板）を沈めて、どんな付着生物が、いつ、どれだけ付着するのかを調べています。付着生物の多くは海水に含まれるプランクトンなどを濾して食べる濾過摂食をしています。三陸沿岸で盛んに養殖が行われているホタテやカキも濾過摂食なので、食べ物が重なって付着生物が多く現れれば、ホタテやカキが食べるプランクトンが多く発生していると考えられますから、ホタテ、カキの養殖にとっても適した海域であるはず。こうした付着生物が多い海域を選んで養殖筏を設置すれば、より大きなホタテやカキがとれるようになるかもしれません。

——濾過食性の付着生物が水産物に付くことで問題になることはありませんか。



広瀬：コケムシなど多くの付着生物は基本的には無毒無害なので、貝殻に少し付着するぐらいなら問題にはなりません。しかし、ホタテ養殖におけるザラボヤの付着被害に見られるように、付着生物があまりに多いと、養殖水産物の生育に影響が出る可能性もあります。ですから、岩手県のカキ養殖では、養殖筏につるしているカキを一度引き上げて、湯に漬ける温湯処理が行われています。温湯処理はカキにとって影響が少ない短時間で終わるため、付着生物だけを選択的に防除しているのです。ただし、温湯処理は経験的に行われており、どのタイミングで行うのが最も効果的なのかは、まだよくわかっていません。養殖筏のカキを引き上げて湯に漬けるのは大変な作業です。付着生物が現れる時期がわかれば、それに合わせて最も効果的な時期に処理できます。付着生物についての理解が深まったからといって、明日とれる水産物の量が増えるわけではありませんが、その防除を支援することで、間接的に被災地の水産業の復興の役に立っているのではないかと考えています。

——調査を行う上で、苦労されていることは何ですか。

広瀬：コケムシはよいのですが、その他の付着生物の分類にはいつも頭を悩ませ



コブコケムシの仲間の骨格の断面図。成長に従って筋状の構造が形成されていく。

ています。また、付着生物は種類によって形態や構造が大きく異なるため、分類群に応じた付着量の定量化に工夫が必要でした。そして最も悩まされているのは、付着板が流されてしまうことです。流れの影響も考慮して設計し、土嚢やコンクリートブロックをアンカーとして沈めて、そこから伸ばしたロープに付着板を取り付けていますが、それでも時化でロープが切れて流されてしまうことがあるのです。

——水産業の復興に役立てることも期待される一方で、コケムシをはじめ濾過食性付着生物の分布や生態が明らかになれば、大槌湾の自然を理解する上でも重要な知見になりますね。

広瀬：今回の幅広い調査で、巨大地震・津波の影響や、生態系がどのように回復していくのかが徐々に明らかになっていくものと、私自身も期待していますが、その成果は復興に貢献するだけでなく、後世に伝えるべき重要な知見になるでしょう。だからこそ、私は調査で得られた生物をすべて標本とし、後世の研究者が利用できるかたちで残すようにしています。論文に記された種名だけでは後世の研究者がその実態を確認することは不可能ですが、標本が残されていれば、数十年後、数百年後になっても、当時の回復過程にある大槌湾の生物相を実際に手にとって知ることができるのです。日本列島の近くにあるプレート境界付近では、繰り返して巨大な地震・津波が起きています。今後の備えとしても、今回のTEAMSの研究活動で得られた知見は必ず役に立つはず。後世に引き継ぐべき知見を積み重ねていくつもりで、研究に取り組んでいきたいと考えています。



青森・むつ研究所／沖縄・国際海洋環境情報センター
南北拠点が協力し小学校の合同学習事業を実施

【取材協力】
渡邊修一 所長
むつ研究所
木村 訓 事務副主任
むつ研究所管理課
内山正康 課長
地球情報基盤センター
国際海洋環境情報センター管理課
比嘉直人 事務副主任
地球情報基盤センター
国際海洋環境情報センター管理課

南北に遠く離れた海と自然に出会い 地元の海を見つめ直す子どもたち

日本国内のJAMSTECの拠点のうち、北端は青森県むつ市にあるむつ研究所、南端は沖縄県名護市にある国際海洋環境情報センター（GODAC）だ。この両拠点が連携して、2012年度から、むつ・名護両市の小学校を結んだ合同学習事業に協力。南北に離れた小学生たちは、地元の海や自然について学び、JAMSTECのテレビ会議システムを通して互いに発表し合い、さまざまな出会いと多くの発見を手に入れた。こうした成果を受けて、今年度から合同学習事業第2期が始まっている。

リアルタイムで南北 2,000km の距離を実感

2013年2月21日、青森県むつ市立関根小学校と沖縄県名護市立小中一貫教育校緑風学園をテレビ会議システムで結び、両校合同の第1回学習成果発表会が行われた。

「うわーっ、Tシャツや半ズボンの子がいるよ！」

モニター画面に映し出された映像を見て、関根小学校の児童たち（4・5年生）が驚きの声をあげた。2月といえば、むつ市はまだ雪深い時期。児童はセーターやトレーナーを着込んでいる。ところが、沖縄の児童たちはみんな薄着。一方の緑風学園の児童たち（5・6年生）も、雪が積もった学校の景色がモニターに

映し出されると、画面にくぎ付けになって見入った。学習成果発表会に合わせてプレゼント交換も行われ、緑風学園からは特産の柑橘であるタンカンが、関根小学校からは雪だるまが贈られた。雪の降らない名護の児童たちは大喜び。むつの児童たちは、大きな雪だるまを贈ったのに、溶けて小さくなっていることに驚いていた。南北に長い日本列島では地域によって気候に大きな違いがあることは、もちろんみんな知識として知っている。だが、互いに会話しながらリアルタイムでつながったことで、驚きをもって南北約2,000km離れた場所の環境の違いを実感するとともに、それまで緊張していた児童たちの表情も一気に和らいだ。両校の児童たちは、それぞれ総合学習の時間を利用して作成し



青森県むつ市立関根小学校
沖縄県名護市立小中一貫教育校緑風学園

た資料を使い、自分たちが暮らす地域や学校の様子を紹介し合い、テレビカメラを通して、にぎやかに質問を交わした。「雪だるま、今年はいくつ作りましたか？」「むつでは海で釣りをしますか？」と緑風学園の児童たち。関根小学校からも「ゴーヤーが嫌いな人はいますか？」などの質問が出た。さらに「エイサーを踊って見せてもらえませんか？」との声に、緑風学園の児童がエイサーを披露する場面もあった。

学習成果発表会の前には、先生方をはじめJAMSTEC関係者たちに、児童の交流がどこまで進むか、多少の不安もあった。GODACの内山正康課長は、「南国・沖縄と聞くと、人々は明るく開放的というイメージがあるかもしれませんが、実際にはシャイな人も多く、子どもたちも人見知りするようなところがあります」と話す。また、むつ研究所の渡邊修一所長も、「事前には、むつの子はあまりしゃべらないんじゃないかという話も出ていました」と振り返る。しかし、そんな大人たちの心配をよそに、児童たちはすぐに打ち解け、学習成果発表会は大成功だった。

地域に広がった協力の輪

この合同学習事業は、むつ研究所とGODACの協力のもとで、両市の小学生が地元の海について学習し、JAMSTECのテレビ会議システムを活用して交流を深めながら、学習成果を相互に発

表するということだ。きっかけは、むつ研究所の渡邊所長とGODACの丸山正センター長（当時）の間で、「テレビ会議システムを活用して南北の拠点を結べば、子どもたちの教育に役立つ活動ができるのではないか」というアイデアからだ。

むつ研究所もGODACも、発足以来、小・中学校で出前事業を行うなど、地域での教育への貢献には実績があった。そこで新たな試みとして、研究者が児童に直接指導するのではなく、地元の海について自分たちで学んだ小学生同士が交流する機会をつくるといったかたちでの教育事業を検討することにした。ひと口に「地元の海」といっても、南北に遠く隔たった両市では、海の状態も生息する生物も大きく違う。互いに学習成果を発表し合うことで、より効果的な学習ができるのではないかと考えたのだ。この案は両市の教育委員会や学校にも歓迎され、関根小学校と緑風学園が参加して、総合的な学習の時間のふりさと学習のなかで実施することになった。活動の主体は学校とし、JAMSTECの両拠点は、全体の計画、海についての学習や実習とそのまとめ、テレビ会議システムの運用などを必要に応じてサポートすることにした。

「準備には、それなりに苦労がありました。学校はインターネットのセキュリティーが厳しいので、テレビ会議システムに接続して双方で見られるようにするために解決すべきこともいろいろありました。また、先生方は授業や校務・児童への対応などでお忙しく、スケジュール調整も大変でした。私たちも役所や学校に何度も足を運びました」と、合同学習事業の実現に向け奔走したむつ研究所の木村訓さんは話す。さまざまな課題を1つずつクリアしながら、事業は2012年度に始まり、2013年2月21日に初めての学習成果発表会が実現したのだ。

2年目は、それぞれの地域の海について学び、相互に発表することになった。関根小学校は、「北と南、ちぢり浜の海藻・魚介類」



テレビ会議システムを使って行われた初めての学習成果発表会。まずお互いの服装の違いに驚いた（左：関根小学校、右：緑風学園）。



プレゼント交換で関根小学校には沖縄からタンカンが贈られた。



テレビカメラに手を振る児童たち。教室には青森から届いた雪だるま（写真中央）が。

コンプについてまとめた発表(左上)

むつ市海と森ふれあい体験館の五十嵐健志館長から、むつ湾の生き物について学んだ(右上)。

海洋地球研究船「みらい」を見学(左下)。

ウェットスーツを着て海中観察。シュノーケリングは全員初体験(右下)。



関根小学校

をテーマに、海洋地球研究船「みらい」の見学、沿岸観察会、海洋教室などを実施。緑風学園は、「南の島の小さな生き物たち」をテーマに、ビーチコーミングやROV(無人探査機)操作体験、プランクトン観察会、海洋・気象観測などに取り組んだ。そして、2014年2月の学習成果発表会で、1年間学んだことをグループごとに発表した。関根小学校の児童は、緑風学園の児童たちが普段から沖縄でとれる色鮮やかな魚を食べていることにとても驚いた。一方の緑風学園の児童は、自分たちが当たり前と思って食べていることを、関根小学校の児童たちが驚いている様子に、逆に驚くといった場面もあった。名護からは民俗芸能の披露、むつからはコンプのとり方の実演も行われた。さらに、沖縄の伝統的なお菓子サターアングギーやビーチコーミングで集めたもので作った作品、むつ市のイメージキャラクター「ムチュラン」一家のイラストがプリントされたせんべいなどを贈り合った。渡邊所長は、「2年目に入り、名護ではご家族がお菓子づくりに協力して下さったり、むつでは漁師さんが漁の道具などを貸して下さったりと、ご家族や地域の方々にもいろいろと協力していただきました。そういうことも子どもたちにとって勉強になったと思います」と感謝する。

3年目の2014年度は、関根小学校が「ムツサンゴ」、緑風学園が「ウミガメ」をテーマに選んだ。それぞれについて児童全員で深く学び合うと同時に、個人でもテーマを持って地域の海の生き物について学習した。児童が地域に出て、さまざまな人と出会うことで、地域の施設や地域の人々の協力の輪も広がり、学習はより幅広く充実したものとなった。2015年1月に行われた第1期最後の成果発表会では、グループ発表だけでなく、個人でまとめたテーマも発表が行われた。

地元の海を再発見

合同学習に取り組む前と後で、児童の海への認識はどう変わったのだろうか。緑風学園の目の前には青い海が広がり、子ども

たちは海で遊んだり、野外活動を楽しむなど、海との接点は以前から豊富にあった。ただ、それは日常生活や遊びの場としての海だった。GODACの比嘉直人さんは、「児童たちが身近な海に対して、別の視点を持つようになった」と感じている。「海は身近にありましたが、海を科学的に調べて発表するという機会は、合同学習が初めてだったと思います。また、沖縄の海のカラフルな魚を見て、『その魚を食べているの?』とむつの児童が大受けしている様子を見て、自分たちにとっての“当たり前の海”が、必ずしも“すべて”でないことも実感できました。合同学習は、身近な海を見つめ直し、再発見する機会になったのではないのでしょうか」と話す。

一方、むつではヤマセ(北海道や東北地方に春から秋に吹く冷たく湿った北東風)や海流の影響で陸奥湾の水温や気温があまり上がらないため、真夏でも海水浴できる機会は少ない。ほとんどの児童にとって、海は遊ぶ場所ではなく、近くにありながら遠い場所だった。魚の絵がうまく描けなかったり、親が漁師でも海に入ったことがなかったりする児童もいたという。「それが合同学習での経験を通して、地元の海の生物についてきちんと説明できるようになりました。また、遠く離れた沖縄と海でつながっていることも理解できるようになり、海が身近になったようだ」と渡邊所長はいう。

変化があったのは海への認識だけではない。関根小学校の先生からは、互いの地域を意識し、テレビ会議で発表することを念頭に学習を進めたことで、「目的意識を持った学習やそのための手順を学べた」「沖縄の子どもたちに対しても仲間意識が育ったように感じる」といった感想が寄せられた。渡邊所長は、「最初は地元のことしか知らなかった子どもたちが、沖縄との合同学習をきっかけに、特産のコンプがかつて沖縄を通して中国などへ輸出されていたことを知るなど、子どもたちの視野が広がったと思います」と目を細める。

お互いを意識した学習は、緑風学園の児童にも大きな成果を



緑風学園



もたらした。「発表を前に『これくらいの字の大きさだとむつのみんなは読めるかな』『亀の甲羅は模型をつくって背負ってみた方がわかりやすいんじゃない』などと、相手を思い浮かべているいと工夫するようになりました」「成果発表会を見ると、ストーリーもあり、発表の仕方もレベルが上がっていました。合同学習は、『頑張ればできる』という大きな自信になったと思います」と内山課長、比嘉さんは児童たちの成長ぶりに感心する。

地域の理解が成功のカギ

3年間の合同学習の取り組みは、両県や両市の広報誌をはじめ、地元新聞や放送などにもたびたび取り上げられ、児童たちは取材への対応もどんどん上手になったという。また、地元メディアに取り上げられたり、学習したことについて家庭で話し合ったりすることで、家族や地域の人々が活動を理解し、支援してくれるようになった。渡邊所長は、「事業のきっかけはJAMSTECの働きかけでしたが、学校や教育委員会の理解、自治体、地元のさまざまな施設、NPOの方などの協力なくしてはできない活動でした」と、地域社会が合同学習事業を理解し、協力的だったことを成功の要因として挙げる。

第1期に大きな成果を挙げたことや、地域の教育関係者からの継続を望む声を受け、2015年4月から3年間の第2期が始まった。第2期は、むつ市の関根小学校と名護市の市立屋我地小学校が合同学習を行う。「あくまで学校主体の活動ですから、第2期もJAMSTECの主導ではなく、学校の海洋に関する学習活動をお手

伝いできればと考えています。そのなかで、JAMSTECがこれまで以上に地域とかかわり、地元の大学や他の機関とも交流できる環境をつくっていきたくて考えています」と比嘉さんは抱負を語る。屋我地小学校は屋我地島唯一の小学校で、島ぐるみで学校を盛り上げようという雰囲気があり、合同学習にも大きな期待を寄せているようだ。

約2,000kmもの距離を隔てているが、名護とむつは海でつながっている。渡邊所長は、その海がそれぞれの地域の生物や気候、そして文化にどうかかわっているのかといった視点も、今後の合同学習にうまく織り込んでいきたいと考えている。「子どもたちは合同学習で学んだことを、やがて忘れてしまうかもしれません。それでも体験したことは心のどこかに残るはず。それが素地となって、将来、海洋系の学問の道に進む若者が出てくればうれしい」と話す。

第1期の児童が書いた作文のなかに、次のような言葉があった。「初めは、テレビ会議を使って映像が『つながっている』ことが『すごい!』と思っていましたが、今は、この交流学习を通じて、考えと考えが『つながること』、たくさんの人と人が『つながっていること』が『すごい!』と考えるようになりました。」

第2期を迎えた合同学習事業を通して、これからどのようなつながりが生まれ、児童たちは何を発見するだろうか。むつ研究所・GODACの職員らは、大きな期待とともに、合同学習の進展を見守っている。

BE



2015年1月に行われた第1期最後の学習成果発表会(左:関根小学校、右:緑風学園)。

サンゴ礁と粘液の話

粘液に始まる不思議な生態系

● 地球情報館公開セミナー第182回 2014年8月16日開催

中嶋 亮太

海洋生物多様性研究分野
ポストドクトラル研究員



● なかじま・りょうた。1981年東京都生まれ。2004年、創価大学工学部生物工学科卒業。2009年、同大学院工学研究科博士課程修了。同大学助教を経て、2012年より現職。現在は、サンゴ礁と深海生態系の保全と物質循環を中心に研究を進めている。

植物がない生態系？

サンゴ礁の写真(図1)を見てどんなことに気付くでしょうか。

まず、非常に多くの魚がいます。数だけでなく、種類もとても多いのが特徴です。サンゴ礁は、地球の全海洋面積のわずか0.17%にすぎない非常に小さなエリアですが、全世界の海水魚の種類の4分の1に相当する4,000種が生息しています。さらに、世界の漁業の5%はサンゴ礁を漁場にしています。

次に、サンゴ礁の海は水が透明であることに気付くと思います。海水の色は植物プランクトンの量で決まるといっても過言ではないため、サンゴ礁には植物プランクトンがほとんどいないということがわかります。これだけ多くの魚が生息するためには、それを支える植物も豊かでなければなりません。ここには目立った植物は見当たりません(小さな藻が少し生えている程度)。にもかかわらず、多くの魚がすんでいるのです。ちな

みに、サンゴを植物だと勘違いする方もいますが、サンゴは動物です。

実は、サンゴ礁の海には栄養が少ないことも、水が透明である理由の1つです。専門用語では「貧栄養」といい、窒素やリンなど、いわゆる肥料となるようなものが、ものすごく少ない状態です。そのために植物が育ちにくいのです。

一見、植物の見当たらないサンゴ礁でなぜこれだけたくさんの魚が生きていけるのかは、非常に重要な問題でした。

無限の多様性を持つサンゴ礁

もう1つサンゴ礁の特徴を教えてくださいといわれたら、私は「無限の多様性」と答えます。サンゴ礁には魚だけでなく、非常に多くの種類の生物が生息しています。知られているだけでも約9万3,000種以上で、これは浅い海にすむ種の数の約35%に相当します。さらに研究が進めば少なくとも50万種にはなるだろうといわれています。サンゴ礁の種の多様性は、世界のどんな海よりも高いのです。

ところで、よく多様性が大事だといいますが、なぜ大事なのでしょう。それは、多様性が低い生態系は、少し環境が変化するだけで壊滅的な打撃を受ける恐れがあるためです。多様性が高ければ生態系の安定性も高くなるため、多様性が非常に重要なのです。

さらに、遺伝資源の面からも重要です。たとえば、マレーシアのとある地域では、けがをして血だらけになったとき、サンゴ礁にすむナマコを粉にしたものが止血に使われています。このようにまだまだ知られていない、人間に役に立つ効能などを持つ生物はたくさんいると考えられるため、遺伝資源という面からも多様性は貴重なことなのです。

大地をつくりだす動物

サンゴは水温が18~30℃の暖かい水が大好きです。水が透明で水深は40m未満、栄養が乏しく塩分が高い海水にすんでいます(図2)。余談ですが、宝石サンゴはサンゴ礁のサンゴとは種類が違い、水深

「サンゴ粘液」という言葉を聞いたことがあるでしょうか。色とりどりの魚が泳ぐサンゴ礁の豊かな生態系で、サンゴ粘液は大きな役割を果たしています。サンゴ礁のユニークな生態系をのぞいてみましょう。

100m以上、深いものでは1,000mを超える深海底にすんでいます。

サンゴは刺胞動物門に属し、クラゲやイソギンチャクの親戚です。意外かもしれませんが、皆さんが普段目にするのは昼間の寝ている姿で、夜になると起きて触手を開きます(図3)。その姿を見るとイソギンチャクのようなかたちに見えませんか。

私たちが普段見ているサンゴはポリプというサンゴの個体がたくさん集まったもので、群体と呼ばれます。サンゴは年に1度、産卵します。初夏の満月の前後数日のうちの1日に、卵と精子が入ったパックをいっせいに放ちます。このパックは水に浮いてはじけ、ほかの精子や卵と受精します。受精後は1~2日で「プラヌラ幼生」となって泳ぎ始め、2週間~1カ月ほど漂ううちに岩の上に定着し、炭酸カルシウムの骨格をつくりだして成長を始めます。

サンゴの体は、ポリプが石のコップに入っているような構造です(図3右)。石

のコップはサンゴの骨格で、炭酸カルシウム(CaCO₃=石灰)でできています。成長するにつれ炭酸カルシウムをどんどんつくりだすので、骨格は年齢とともにゆっくりと積み重なっていきます。サンゴ礁で見られる白い岩や砂は、サンゴなどの石灰化生物がつくったものなのです。沖縄の万座毛の岩や沖縄本島の南側の大地は、サンゴなどの石灰化生物が何十万年、何百万年かけてつくり上げたものです。サンゴは岩だけでなく地形までつくりだす、非常に重要な動物なのです。

サンゴにはさまざまな形状があり、樹枝状のものは年間10~20cm成長しますが、塊状のものは成長が遅く、年間数ミリ程度しか成長しません。その代わりに非常に巨大になることができます(図4)。ちなみに宝石サンゴは1cm成長するのに50年かかるものもあります。

植物との共生

先にふれた疑問に戻りましょう。サンゴ礁で植物はどこにいるのでしょうか。

実は植物はサンゴのなかに隠れていました。ポリプの肉のなかに、褐虫藻という小さな植物の一種が超高密度に分布しているのです(図5)。1mmの100分の1くらいの大きさで、縦、横、高さが1mmの小さなポリプの立方体の中に、何と3万細胞も入っています。想像してみてください。サンゴ礁のサンゴの表面が、びっしりと藻類で覆われているのです。サンゴの林は光合成する藻類の林だったので、この藻類は「共生藻」と呼ばれます。

サンゴは肉のなかにすまわせることで、共生藻を敵から守っています。また、共生藻に自分が吐いた二酸化炭素を提供しています。さらにサンゴの排泄物は共生藻の肥料となります。一方、共生藻は光合成で排出される酸素や、光合成でつくりだした炭水化物をサンゴに提供します。共生藻の光合成による炭水化物のおよそ90%はサンゴに利用されるといわれています。

サンゴの主食は共生藻からもらった炭水化物ですが、そのほかにも動物プランクトンを捕食しています。動物プランクトンは夜行性なので、サンゴは夜に触手を伸ばして餌をとります(図3)。夜のサ



図1 多種多様な魚が泳ぐサンゴ礁の海

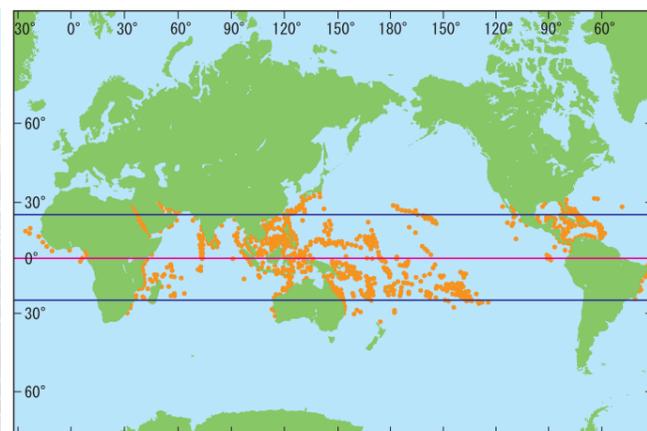


図2 サンゴ礁の分布
オレンジ色がサンゴ礁が見られる海域。青線で示した北緯23度から南緯23度の間の、島が多く暖かくて浅い海に多く分布している。バブアニューギニアの熱帯雨林から流れ出る淡水の影響を受ける海域や、南米のアマゾン川の河口付近のように、濁っていて塩分濃度が低くなる場所には見られない。

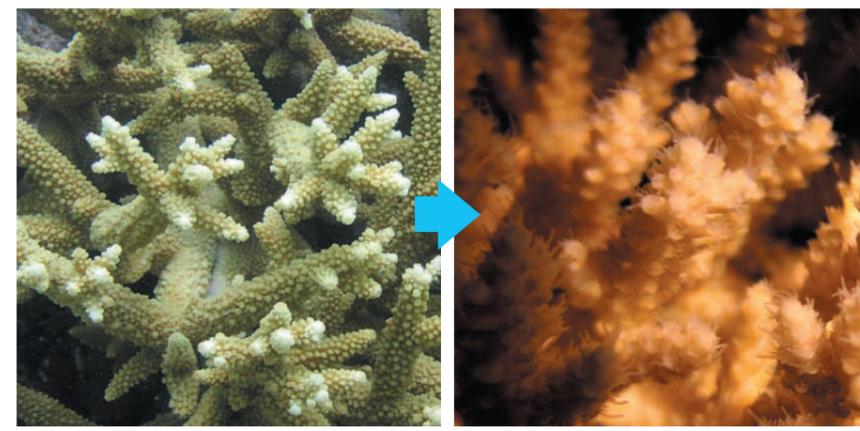


図3 サンゴを構成するポリプ
左の写真の球状の塊1つ1つがサンゴの個体ポリプ。ラテン語で「たくさん」を表す「ポリ」、「足」を表す「プス」から名付けられた。夜間には活動を始め、右の写真のように触手を伸ばす。イラストのカラーの部分が生きているポリプ、白い部分は炭酸カルシウムの骨格。

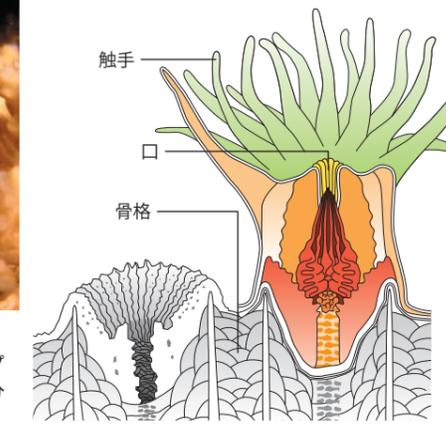




図4 さまざまな形状のサンゴ 海底の砂が巻き上がりやすい場所では、サンゴの上に砂が積もりやすく、共生藻が光合成できなくなるが、樹枝状だと自然に砂が払われるため、都合がよい形といえる(左)。テーブル状のサンゴは、光が弱くなる少し深いところに生息しているが、この形状なら光を受けやすい(中)。塊状のサンゴは、樹枝状のサンゴに比べて波が強い場所でも生息できる(右)。

ンゴ礁では、昼間サンゴの隙間に隠れていた動物プランクトンがうじゃうじゃと姿を見せます。

動物プランクトンの捕食には刺胞を使います。ポリプにある刺胞細胞は内圧が150気圧もあり、なかに透明な糸が収まっています。それを獲物に向けて飛び出させ、タンパク毒を注入して動けないようにするのです。この糸が発射されて伸びるときの速さは生物界最速といわれ、時速にして130kmを超える速さです。

また、サンゴ同士は光と空間をめぐる熾烈な争いをしています。近くのサンゴが早く成長して自分の環境が奪われそうになると、約2週間かけてスウィーパー触手という特殊な刺胞を集めた触手をつくり、そのサンゴに打ち込んで倒します。射程距離はだいたい10cmです。

サンゴを守るサンゴ粘液

サンゴは体から粘液を出すことが知られています。いったい何のために粘液を出しているのでしょうか。

浅い海のサンゴ礁は潮が引くと海面に

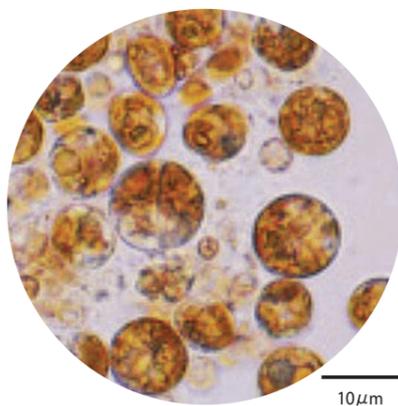


図5 サンゴのポリプにすむ共生藻 サンゴのポリプに超高密度にすんでいる褐虫藻。共生藻とも呼ばれる。



露出し、次に潮が満ちて海水につかるまでの2~3時間、高温や乾燥にさらされてしまいます。そこでサンゴはドロドロと粘液を出して自分の体の周りをコーティングし、潤いを保つことでこの環境に耐えています(図6)。

水中でも粘液を出しています。サンゴ粘液には紫外線を吸収する物質が含まれており、強烈な紫外線からサンゴを守っています。砂や泥など共生藻の光合成の妨げになるものが降り積もった場合は、頻繁に粘液を出して不要なものをベロッとをはがすことで、体の表面をきれいに保っています。さらに、粘液には餌をくっつける役割もあります。粘液に動物プランクトンや細菌をくっつけ、それを口に運んでいる様子が観察されています。

このサンゴ粘液は、主にムチンという糖タンパク質と多糖、脂質でできています。粘液のもとには共生藻がつくりだしています。共生藻から得た光合成産物の半分は粘液として体外に排出され、残りの半分は呼吸と成長に使われています。

オーストラリアのグレートバリアリーフで行った研究では、1日にサンゴ礁1㎡あたり、水中では約1.7リットル、潮が引いて空気に露出したときには4.8リットルと、大量の粘液が放出されていました。実験の結果、放出された粘液の平均70%は水に溶け、残りの30%はゲル状になることがわかりました。なお、海洋学では目の細かさが0.2~0.7μmのろ紙を通過したものを「溶けた」と定義します。

生態系内での粘液の役割

ゲル状の粘液は、水中で周りの細菌やプランクトン、砂粒などさまざま



な粒子を効率的に捕らえます。大きさがわずか0.2~2μmの、超微小なピコプランクトンと呼ばれるものも捕集することができます。1ミリリットルの粘液で1分間に2,300ものピコプランクトンを捕らえることができ、粘液中のピコプランクトンの密度は周囲の海水よりも常に100倍は高くなっています。それより少し大きい2~20μmのものでも効果的に捕まえることができます。

一方、サンゴが空気中に露出して大量に粘液を出した後も、大変興味深い現象が起こります。粘液は空気を含んで軽いため、潮が満ちてくると水面に浮かび、集まって粘液フロートと呼ばれるものになります(図7)。これにもいろいろなものがくっついていきます。オーストラリアでの実験では、わずか2時間で、なかの有機炭素量は980倍に、有機窒素は1,089倍に、植物の色素に至っては2,000倍に増加しました。

さまざまな粒子や砂粒などを捕集した粘液フロートは非常に重くなります。時間の経過とともにやがて泡がはじけ、沈んで生物の餌となります。海底では砂に吸い込まれ、細菌に分解され、無機化されて共生藻や植物プランクトンなどの栄養となります。こうしてサンゴ礁のなかでつくられたものは、その生態系のなかで循環し、いわばリサイクルされているため、サンゴ礁の外から入ってくる栄養が少なくても多くの魚や生物を養うことができるのです(図8)。サンゴ粘液は生態系において非常に重要な役割を果たしています。

一方、水に溶けたサンゴ粘液も、細菌に食べられたり砂に吸い込まれて

分解されたりします。粘液を食べた細菌は原生動物に食べられ、原生動物は動物プランクトンに食べられ、最終的に魚類に食べられるだろうといわれていますが、まだまだわかりませんが、私はその循環を明らかにするために研究を続けています。

危機にさらされるサンゴ礁

サンゴ礁は今、危機的な状態にあります。世界のサンゴ礁の20%はすでに壊滅したといわれています。健全なサンゴ礁は恐らく30%もなく、早ければ2030年までにあと60%が消滅するといわれています。この要因としてまず挙げられるのが、温暖化など全球的な気候変化による直接的な影響です。また、大気中の二酸化炭素濃度が上がると水中の二酸化炭素濃度も上がり、pHが下がって海が酸性化します。そうすると、サンゴが炭酸カルシウムの骨をつくれなくなりサンゴ礁全体が衰退してしまいます。

魚のとりすぎもサンゴ礁を衰退させます。サンゴ礁には藻類を食べる草食魚がたくさんいて、その繁茂を防いでいます。草食魚が乱獲されると、より成長の速い藻類がサンゴの上を覆うため、サンゴが死んでしまいます。沿岸開発による土砂流入もサンゴ礁壊滅の要因です。沖縄ではこれが今、一番問題になっています。また、排水により海が富栄養化すると藻類が繁茂し、やはりサンゴが生息できなくなってしまいます。

藻類がはびこると生態系がどのように変化するかを調べた研究では、底生の藻類も粘液を出すものの、サンゴ粘液とは違ってベタベタしていないため粒子を捕集できないことがわかりました。従って、生態系のなかでつくられたものをグルグルと循環させるメカニズムは消え去ると予想されています。海の酸性化が進むと、サンゴ礁はかたい骨を持たないソフトコーラル群集に変わるという予想もあります。ソフトコーラルも粘液を出すことはわかっていますが、その機能はほとんど研究されていません。これを調べることで、将来サンゴ礁がどうなるかを予測することも可能になると考えています。

サンゴ礁は本当に素敵な、素晴らしい生態系です。ぜひ一度、ご自身の目でご覧いただければと思います。 BE

図6 粘液を出すサンゴ

海面上に露出したサンゴは、写真のように粘液をドロドロ口と出して乾燥や直射日光から身を守る。

図7 粘液フロート

放出された粘液は海面に浮いて粘液フロートとなり、さまざまなものを捕集する。

写真提供：座安佑奈(沖縄科学技術大学院大学)

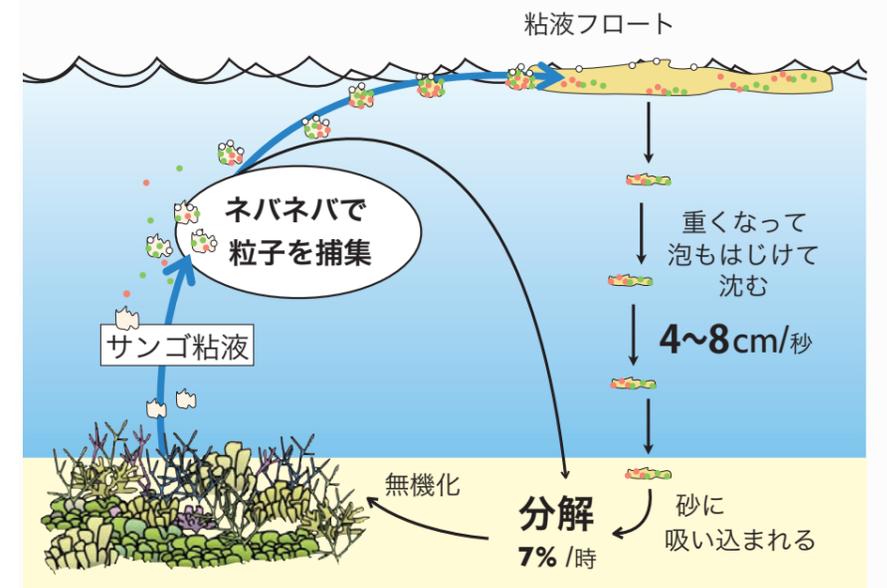


図8 サンゴ礁生態系でのサンゴ粘液の役割

放出されたサンゴ粘液の一部は、いったん浮上した後徐々に沈み、海底の砂に吸収される。この間に、魚、動物プランクトン、無腸動物、サンゴガニ、二枚貝、ソフトコーラル、クモヒトデなど、さまざまな生物の餌となる。海底に沈んだ後は細菌により分解される。分解されるスピードは1時間に7%で、約15時間で完全に無機化され、共生藻や植物プランクトンなどに利用される。このように、サンゴ粘液はサンゴ礁内で物質を循環させ、豊かな生態系を支えている。

編集後記

「高知コア研究所10周年特集」はいかがだったでしょうか？ 一般にあまりなじみのないコア研究所の役割と研究内容がご理解いただけたのではないのでしょうか？

私は、現在IODPの世界3大コアレポジトリーの拠点の1つであるテキサスA&M大学のコアセンターへ1980年代に見学に行ったことがあります。しかし、別の学会のツアーだったこともあり、立派な施設に感心しつつも、これだけの手間をかけていったい何の役に立つのだろうと思ったのが正直なところでした。しかし、その時に対応にあたってくれたスタッフから「掘削コアは、地球の歴史をひもとくタイムマシンのようなものだ」といわれたのを今でも鮮明に覚えています。当時は、まさかJAMSTECが将来IODPの拠点の1つになるなんて夢にも思いませんでしたし、そもそも、掘削船を運用することも想像できませんでした。

本誌にあるように高知コア研究所は、単に掘削コアを保管するだけではなく、最新の研究設備を備えた総合的な研究所に成長しつつあります。また、世界中の研究者からのリクエストに円滑に応えられるよう日々努力を重ね、先輩の施設に負けない世界一のコア研究拠点を目指して頑張っています。BE誌としてもぜひ、今後の活躍に注目していきたいと思っています。

さて、今年に入ってからも沈没船発見の話題がマスコミをにぎわしています。2015年7月31日のナショナルジオグラフィック日本版（Web）によれば、フロリダ州沖で300年前に嵐で沈んだスペイン船団の船から、なんと100万ドル相当の金貨などが見つかったそうです。その船は、水深数mで砂に埋もれていたそうですが、発見時は本当に「体が震えた」そうです。もし、日本の近海でもこのような発見があれば、一般の方たちの海洋調査に対する関心をもっと高められるのに、とつい思ってしまいました。

(T.T)

賛助会（寄付）会員名簿 平成27年8月15日現在

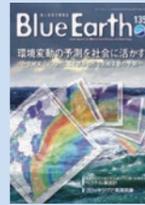
国立研究開発法人海洋研究開発機構の研究開発につきまちは、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。(アイウエオ順)

株式会社IHI	海洋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	株式会社海洋総合研究所
株式会社アイケイエス	海洋電子株式会社
株式会社アイワエンタープライズ	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アクト	鹿島建設株式会社
株式会社アサツーディ・ケイ	川崎汽船株式会社
朝日航洋株式会社	川崎重工業株式会社
アジア海洋株式会社	川崎地質株式会社
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	株式会社キュービック・アイ
泉産業株式会社	共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	共立管財株式会社
株式会社エス・イー・エイ	極東貿易株式会社
株式会社エスイーシー	株式会社きんでん
株式会社SGKシステム技研	株式会社熊谷組
株式会社エヌエルシー	クローバテック株式会社
株式会社NTTデータ	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データCCS	株式会社KSP
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	鉱研工業株式会社
株式会社OCC	株式会社構造計画研究所
株式会社オキシテック	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
オブショアエンジニアリング株式会社	国際気象海洋株式会社

国際石油開発帝石株式会社	石油資源開発株式会社
国際ビルサービス株式会社	セコム株式会社
株式会社コベルコ科研	セナーアンドバーズ株式会社
五洋建設株式会社	株式会社ソリッド・ソリューションズ・インク
株式会社コンボン研究所	損害保険ジャパン日本興亜株式会社
相模運輸倉庫株式会社	第一設備工業株式会社
佐世保重工業株式会社	大成建設株式会社
三建設備工業株式会社	大日本土木株式会社
三洋テクノマリン株式会社	ダイハツディーゼル株式会社
株式会社ジーエス・コアサテクノロジー	大陽日酸株式会社
JFEアドバンテック株式会社	有限会社田浦中央食品
株式会社JVCケンウッド	高砂熱学工業株式会社
公益財団法人塩事業センター	株式会社竹中工務店
シチズン時計株式会社	株式会社竹中土木
シナネン株式会社	株式会社地球科学総合研究所
株式会社シーフロアコントロール	中国塗料株式会社
清水建設株式会社	中部電力株式会社
シモダフランチ株式会社	株式会社鶴見精機
ジャパンマリンユナイテッド株式会社	株式会社テザック
シュルンベルジェ株式会社	寺崎電気産業株式会社
株式会社昌新	電気事業連合会
株式会社商船三井	東亜建設工業株式会社
一般社団法人信託協会	東海交通株式会社
新日鉄住金エンジニアリング株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社
須賀工業株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
鈴鹿建設株式会社	東京製綱繊維ロープ株式会社
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
セイコーウオッチ株式会社	東洋建設株式会社
清進電設株式会社	株式会社東陽テクノカ

■ 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、国立研究開発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27巻 第4号（通巻138号）2015年8月発行

発行人 鷲尾幸久 国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部
編集人 廣瀬重之 国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部 広報課
Blue Earth 編集委員会

制作・編集協力 株式会社ミュール

アートディレクション 前田和則

取材・執筆 上浪春海 (p.1-19)、齊藤勝司 (p.20-23)、
寺田千恵 (p.24-31)、滝田よしひろ (裏表紙)

編集・制作 滝田よしひろ、柏原羽美

デザイン 三橋理恵子、木元優介、高塚由香、山田浩之

イラスト 木元優介 (p.5右上、p.6下) 大島千明 (p.9上、p.28右下、p.29右下)

撮影 藤牧徹也 (p.2-3、p.5上、p.7上から54点、p.8下、p.9左下以外、p.10右下、p.11
p.13右上、p.14左下、p.16右下、p.18左上、p.19右下、p.20、p.22上、中下)

滝田よしひろ (p.4右下、p.7右上から3点目、右下左、p.9左下、p.10左下、
p.12左下、裏表紙)

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。

国立研究開発法人海洋研究開発機構の事業所

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

〒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)

国際海洋環境情報センター

〒905-2172 沖縄県名護市字豊原224番地3
TEL. 0980-50-0111 (代表)

株式会社フジクラ

株式会社フジタ

富士通株式会社

富士電機株式会社

古河機械金属株式会社

古河電気工業株式会社

古野電気株式会社

株式会社ベッツ

株式会社マックスラジアン

松本徽章株式会社

マリメックス・ジャパン株式会社

株式会社マリン・ワーク・ジャパン

株式会社丸川建築設計事務所

株式会社マルトー

三鈴マシナリー株式会社

三井住友海上火災保険株式会社

三井造船株式会社

三菱重工業株式会社

三菱スペース・ソフトウェア株式会社

三菱電機特機システム株式会社

株式会社三菱総合研究所

株式会社森京介建築事務所

八洲電機株式会社

郵船商事株式会社

郵船ナブテック株式会社

ヨコハマゴム・マリン&エアロスペース株式会社

株式会社落雷抑制システムズ

トビー工業株式会社

新潟原動機株式会社

西芝電機株式会社

西松建設株式会社

株式会社ニシヤマ

日油技研工業株式会社

株式会社日産クリエイティブサービス

株式会社日産電機製作所

ニッスイマリン工業株式会社

日本SGI株式会社

日本海工株式会社

日本海洋株式会社

日本海洋掘削株式会社

日本海洋計画株式会社

日本海洋事業株式会社

一般社団法人日本ガス協会

日本サルヴェージ株式会社

日本水産株式会社

株式会社日本製鋼所

日本電気株式会社

日本ヒューレット・パカード株式会社

日本マントル・クエスト株式会社

日本無線株式会社

日本郵船株式会社

濱中製鎖工業株式会社

東日本タグボート株式会社

株式会社日立製作所

日立造船株式会社

深田サルベージ建設株式会社

株式会社フグロジャパン

JAMSTEC 横須賀本部 施設一般公開 展示・実験・体験を通して、海と地球の科学技術を楽しむ

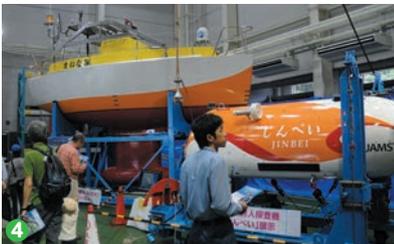
世界の海で調査を行う学術研究船「白鳳丸」の船内公開や、完成から25周年を迎え1,400回以上も深海で潜航調査を行ってきた有人潜水調査船「しんかい6500」の実機展示、さらに地球深部探査船「ちきゅう」や次世代有人潜水船、スーパーコンピュータ、巨大地震・津波研究の最前線についてわかりやすく解説する公開セミナーなど、盛りだくさんの内容で、横須賀本部の「施設一般公開」が5月16日に開催された。

JAMSTECの活動を多くの方々に知ってもらい、海洋・地球科学技術への理解が深まることを目指して毎年実施している施設一般公開。今年は午前中に雨が降るあいにくの天気だったが、それでもおよそ5,400名が訪れた。

来場者の年齢や興味は幅広く、最先端の海洋探査機器や研究に

関する詳しい説明に耳を傾ける人から、子どもと一緒に海や地球の不思議を楽しむ家族連れまでさまざま。それに応じて職員・研究者らも工夫を凝らし、質量分析実験室の見学ツアー（地球分析ラボツアー）から子ども向けの工作や実験イベントまで、多彩なプログラムを用意した。深海ザメの解剖実演や、NHKドラマに取り上げられて話題になった岩手県立種市高校による「南部もぐり」の実演も人気だった。また、小型の甲殻類アルテミア（ブラインシュリンプ）をゲットして家庭で育ててもらう「えびげっちゅ」、日常生活でも役立つ「ローワーク講習」など、すっかり定番になったイベントにも多くの人たちが集まった。

▶ 施設・船舶の一般公開、施設・設備の見学などについては、ホームページ（広報活動）をご確認ください。
<http://www.jamstec.go.jp/j/pr/>



- 1 横須賀本部では初公開の学術研究船「白鳳丸」。
- 2 火山の噴煙を水槽で再現実験。
- 3 公開セミナーでは研究・技術の最前線を紹介。
- 4 自律型無人探査機「じんべい」、洋上中継器「まいなみ」など最先端探査機器を展示。
- 5 多目的プル棟で「南部もぐり」を実演。