

海と地球の情報誌

Blue Earth

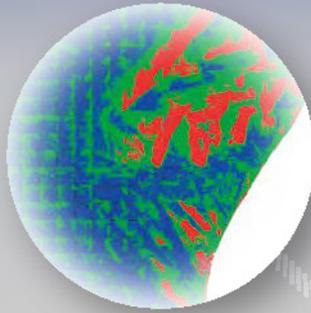
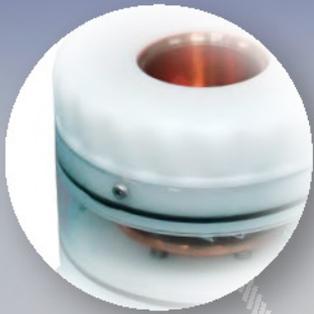
ISSN 1346-0811
2018年7月発行
隔月6回発行
第30巻 第3号
(通巻155号)



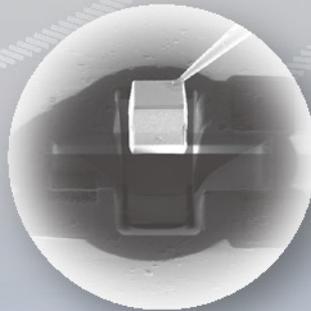
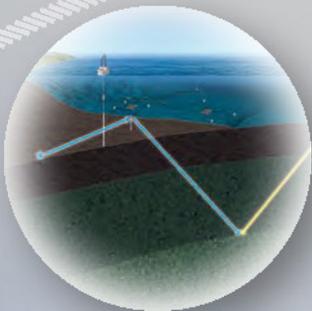
155

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

イノベーションの 萌芽を育む



Innovation



Team KUROSHIO 決勝へ！
南海トラフの地震発生帯を目指す
掘削エンジニア
雲をつかまえる船旅

- 1 **Close Up**
インド洋・エドモンド
熱水フィールドの風景
- 2 **特集**
イノベーションの萌芽を育む
- 20 **Aquarium Gallery**
わくわく海中水族館シードーナツ
幸せを運ぶ白いナマコ——マナマコ
- 22 **私がIODPで解きたい謎**
南海トラフの地震発生帯を目指す
掘削エンジニア
櫻井紀旭
地球深部探査センター 運用部 掘削管理グループ 技術副主任
- 26 **社会とつながるJAMSTEC**
Team KUROSHIO 決勝へ！
Shell Ocean Discovery XPRIZE挑戦中
- 28 **Marine Science Seminar**
雲をつかまえる船旅
海洋地球研究船「みらい」
大気海洋相互作用観測の20年
勝俣昌己
地球環境観測研究開発センター
海洋大気戦略観測研究グループ
グループリーダー代理
- 32 **BE Room**
JAMSTECと任天堂『スプラトゥーン2』が
コラボレーション
定期購読のご案内

裏表紙 **Pick Up JAMSTEC**
日本科学未来館でJAMSTEC提供の
シミュレーション動画を展示開始！

インド洋・エドモンド 熱水フィールドの風景

2016年2月26日、有人潜水調査船「しんかい6500」はインド洋のエドモンド熱水フィールドの潜航調査を行っていた。2人のパイロットと共に「しんかい6500」に乗り込んだのは、深海・地殻内生物圏研究分野 ポスドク研究員のChong Chenさんである。

水深3,300m。Chenさんは、「しんかい6500」ののぞき窓から見える深海の風景を撮影した。それが、この写真だ。無数の生き物たちが熱水噴出孔に群がっている。イソギンチャク、ツノナシオハラエビ……。ここでは、海底から噴き出す熱水に含まれる硫化水素やメタンなどをエネルギー源にして有機物をつくり出す化学合成微生物を一次生産者とする、豊かな化学合成生態系が育ま

れているのだ。深海に現れたオアシスを捉えたこの写真は、第12回科学技術の「美」パネル展*優秀賞を受賞した。

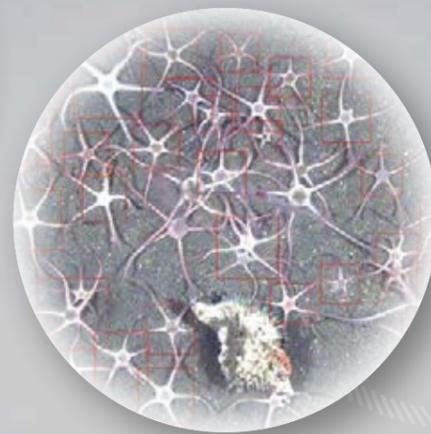
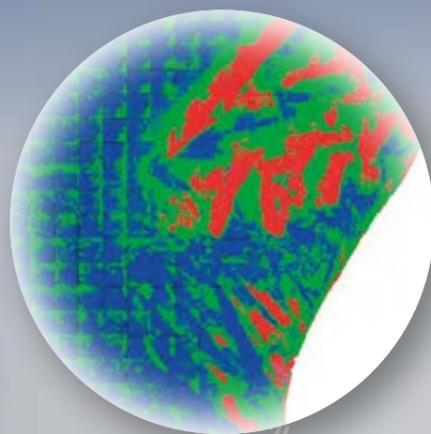
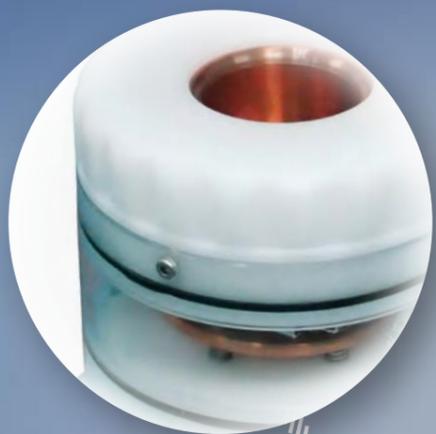
(取材協力：Chong Chen 現 海洋生物多様性研究分野 研究員)

*科学技術の「美」パネル展：科学技術団体連合が主催し、研究などの過程や成果で得られた美しく感動的な画像を通して一般の方々に科学技術に興味を持っていただくことを目的に、作品を毎年公募している。採用された作品は全国の科学館などで巡回展示され、来館者の投票により優秀作品が選ばれる。

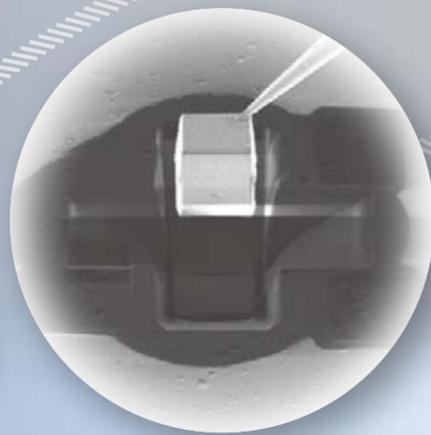
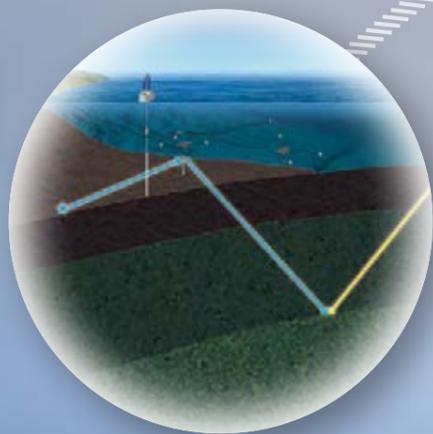
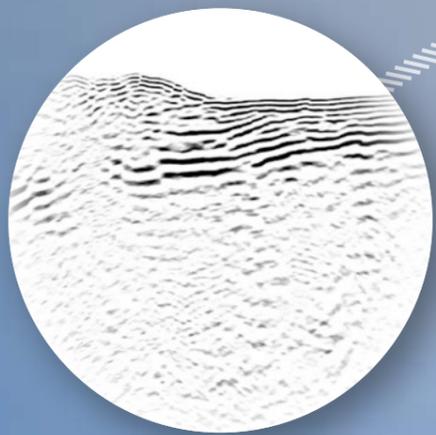


イノベーションの 萌芽を育む

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、これまでの自立的発想に基づく研究開発だけでなく、社会のニーズに基づいたイノベーションを創出していくことが、強く求められている。将来のイノベーションにつなげるための取り組みとして、「JAMSTECイノベーションアワード」が2015年度に創設された。2017年12月には第2回として、新たなイノベーションの種となり多様な展開が期待される「イノベーション萌芽研究プログラム」の提案をJAMSTEC内から募り、36件の応募から11件が採択された。そのなかから4つの提案を紹介する。



Innovation



深海で冷凍する

取材協力

深海・地殻内生物圏研究分野
川口慎介 研究員

誰もやっていないから

深海で冷凍する——このアイデアを提案したのは、川口慎介さんだ。「私が知っている限りでは、深海で冷凍環境をつくった人はいません。誰もやっていないからやる。それがイノベーションでしょう」

このアイデアは10年ほど前から、川口さんの頭

のなかにあった。「実験に使う冷却装置を自作しようと情報を集めていて、ペルチェ素子の存在を知ったのがきっかけです」

ペルチェ素子とは、電力と熱を変換できる熱電素子の一種で、2種類の半導体を電極で挟んだ構造をしている。電気を流すと、ペルチェ効果と呼ばれる現象によって片面からもう片面へ熱が移動して温度差が生じ、低温側では吸熱が、高温側では放熱が起きる。その結果、低温側が冷却される。

「冷却装置にはコンプレッサーなどの圧縮機やフ

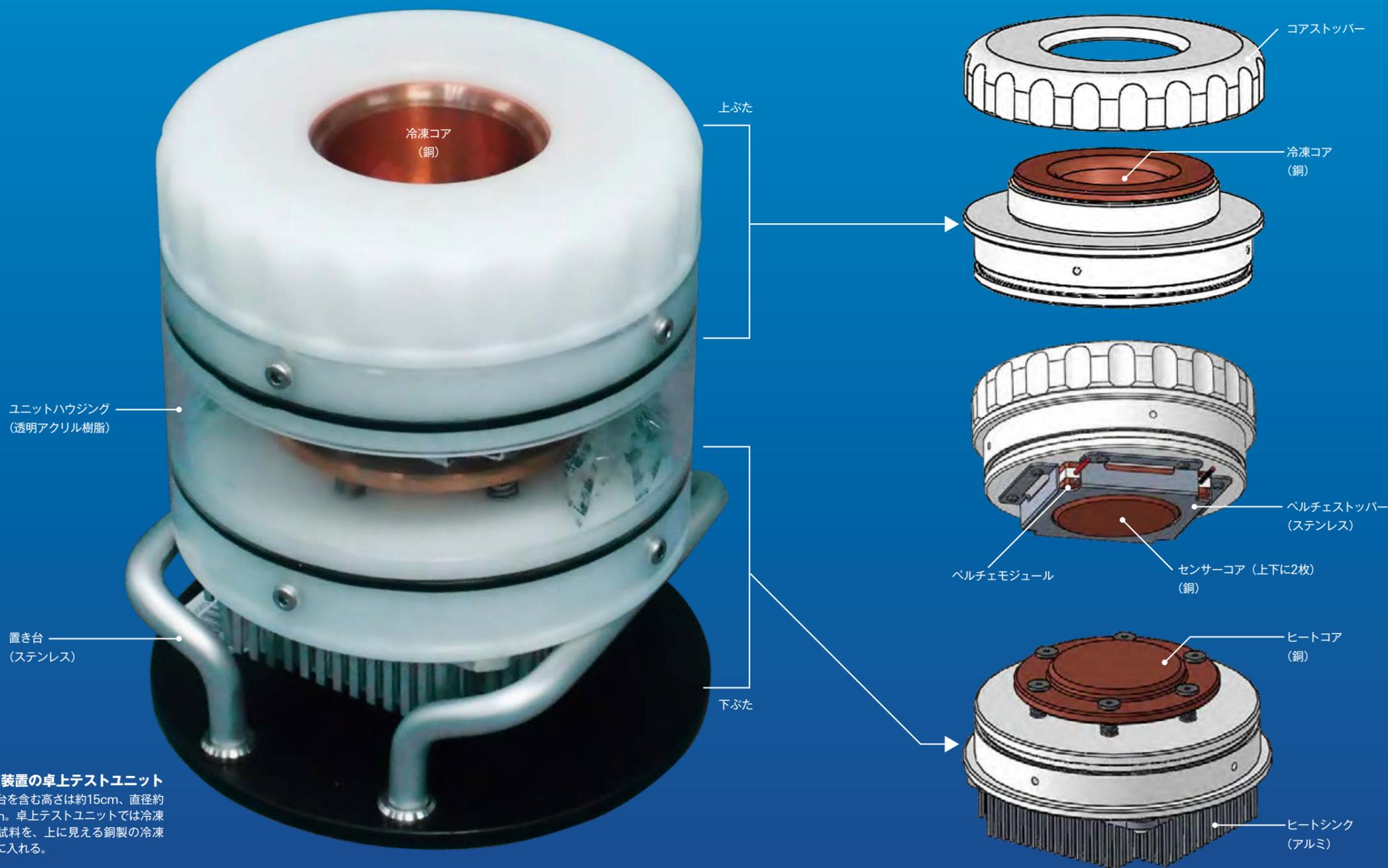
ロンなどの冷媒が使われていますが、ペルチェ素子は電気だけでいい。これは実験用にもいいんじゃないか、と思ったのです。でも詳しく調べてみると、みんな排熱に苦労しているんですね」

低温側を冷却するには、高温側から出る熱を効率よく取り除く必要がある。ペルチェ素子は現在、コンピュータや家電の冷却装置などとして使用されているが、ファンや、熱伝導率の高いアルミや銅を使い比表面積が大きくなるように複雑な構造にしたヒートシンクを付けるなど、さまざまな排熱対策

が施されている。

「排熱対策でこんなに苦労するのだったら、ペルチェ素子を用いた冷却装置を自作するのは厳しいな。そう思ったとき、ん？ 深海ならいけるんじゃないか？ とアイデアが浮かんだのです」と川口さんは振り返る。「深海には4℃くらいの冷たい海水が大量にあります。その冷たい海水を使えば、高温側を効率よく排熱できる。低温側はどんどん冷却され、物が凍るよね、と」

そして、「JAMSTECイノベーションアワード・



冷凍装置の卓上テストユニット
置き台を含む高さは約15cm、直径約13cm。卓上テストユニットでは冷凍する試料を、上に見える銅製の冷凍コアに入れる。



冷凍装置の卓上テストユニットによる実験
卓上テストユニットをウォーターバス（循環型冷却装置で6℃に維持）のなかに入れ、ペルチェモジュールに電気を流した。冷凍コアの温度が低下していき、マイナス8℃に到達したところで水が凍り始めた。

深層学習で海底の特徴を自動分類して分布図を描く

取材協力

海底資源研究開発センター 環境影響評価研究グループ
山北剛久 研究員

海の分布図に深層学習を導入する

山北剛久さんは、航空写真や人工衛星、ROV（無人探査機）の画像やデータベースの情報を使って海の生物群集や海底地質を分類した分布図を描き、海洋生態系を空間的に理解する研究を続けてきた。「そのような分布図から、水産資源や生物多様性に重要な海域や、海底資源がありそうな場所がわかります。分布図は、海を社会に役立てるための基盤情報です」

しかし、と山北さんは続ける。「分布図づくりのかなりの部分は人の手で行っているため、作成に多くの時間がかかります。私は学生のころ、航空

写真から富津干潟（千葉県）のアマモの分布図をつくる研究を行いました。分布の30年間の変化を描き出すのに数ヵ月間かかりました」

図1Aの航空写真は、タイ南部の沿岸で海草が生い茂る藻場を写したものだ。この写真から、砂地・藻場に分類した分布図を、いままでの経験に基づき人が判別して描くのに、5時間ほどかかる（図1B）。

ある程度の面積について、このような分布図があれば、それを「ピクセル型教師付き分類」という色の値を用いた機械学習の判別モデルに学習させ、半自動的に分布図を描くことができる（図1C）。「しかし、似た特徴を持つところでも、地域ごとに判別モデルの調整を行う必要があり、それに時間がかかるという課題があります」

2016年、深層学習の主な手法であるCNN（畳み込みニューラルネットワーク）を応用したGAN

（敵対的生成ネットワーク）による画像生成を用いて、画像—画像変換が容易にできるモデルが公表された。

「その深層学習のモデルを使うと、航空写真や人工衛星の画像を、道路や宅地に分類した地図に短時間で変換することができます。そうした深層学習のモデルを使って陸上のさまざまな地図を自動作成する検討が、企業でも急速に進んでいるようです。私は、そのモデルを海の分布図づくりに導入することにしました」

従来法と深層学習では、どのような違いがあるのか。「リンゴとバナナを判別するとしましょう。従来法では、『リンゴは丸くバナナは長細いので、扁平率で分けよう』と、見分けるための特徴を人が見だし、判別式も人が作成します。一方、深層学習では、リンゴとバナナの画像をたくさん学

習させます。するとリンゴとバナナの違いを見分けるための特徴を機械が見だし、判別式も自動的に作成して、分類できるようになります」（図2）

沿岸の砂地や藻場を分類する先ほどの例では、従来法では、たとえば、各点の色の特徴で判別を行う。一方、深層学習では、凹凸やコントラストなど、考えられるさまざまな特徴を抽出して判別する。

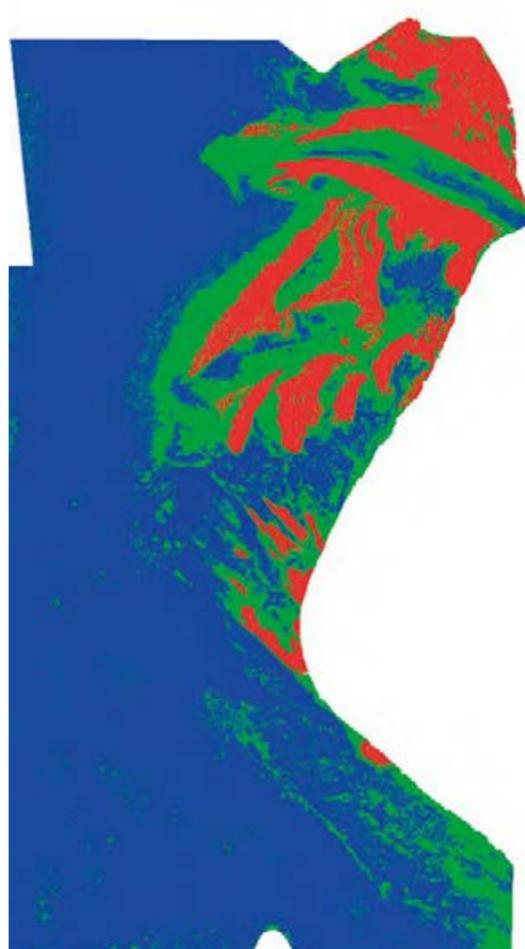
「深層学習では、判別に用いている特徴の種類が多いのです。図1Dが、深層学習のモデルで分類した分布図です。実は、カラーの航空写真（図1A）をモノクロ画像にして学習させました。従来、砂地と藻場の判別では色の特徴が重要だと考えられてきました。しかし、モノクロ画像でも判別可能だということは、色以外の特徴も判別に重要なのです」

ある程度の面積を持つ一地域について、人が判別して分布図を描く必要があることは、従来法も

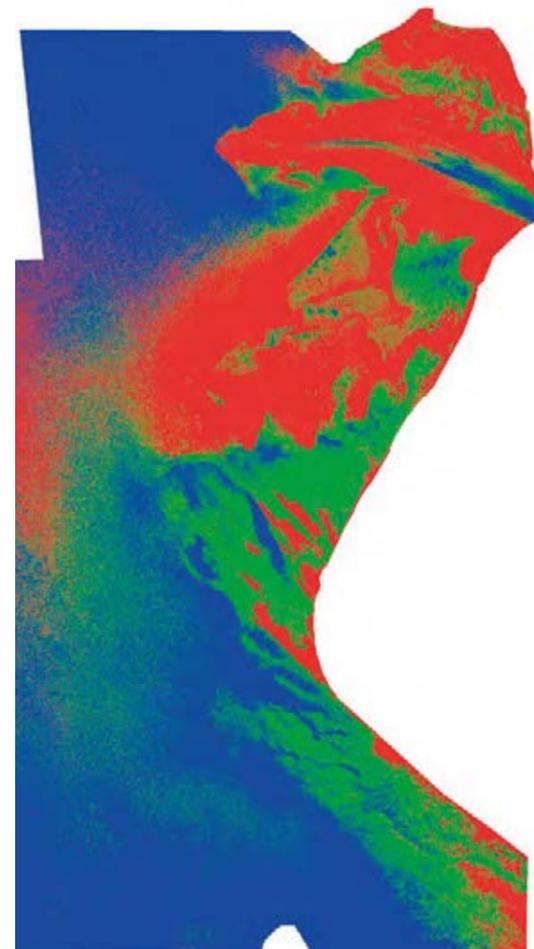
図1 沿岸の藻場の分布図



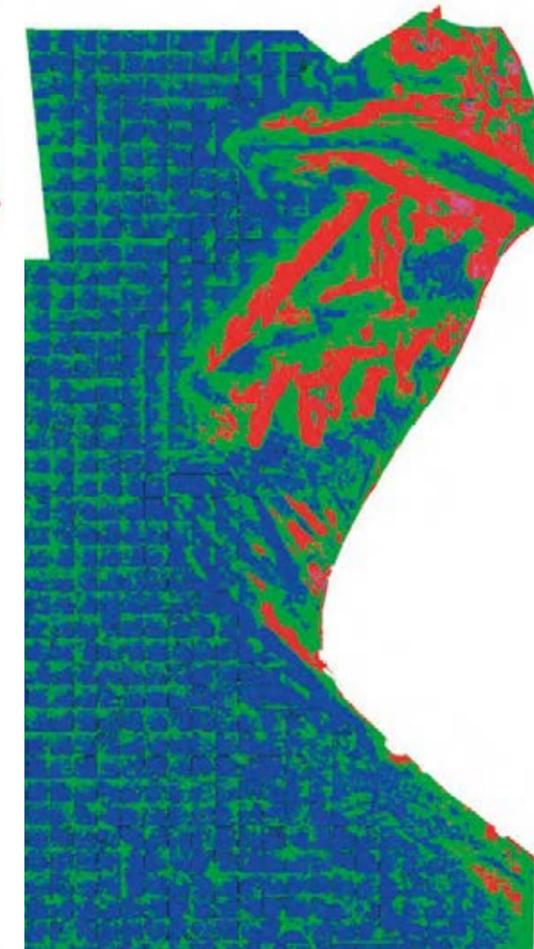
A：元画像
 タイのハットチャオマイ国立公園の沿岸域の藻場を撮影した航空写真。



B：人による分類
 経験をもとに砂地・低密度の藻場・高密度の藻場の3種類に分類したものを。



C：従来法による分類
 ピクセル型教師付き分類による。



D：深層学習による分類
 今回検討する深層学習モデル（GANを応用したpix2pixによる画像—画像変換モデル）による。（出典：山北剛久ほか 2018、投稿中）



深層学習も変わらない。深層学習は人があらかじめ判別しておく必要がある面積が従来法よりも広いが、作成されたモデルの適用範囲も広いと期待される。「人がつくった分布図と元画像を1時間ほどかけて深層学習のモデルに学習させると、画像から分布図を数秒で描けるようになります。特徴の判断材料が多い深層学習ならば、似た特徴を持つ別の地域についても、その都度、人が調整を行うことなしに、次々と分布図を描いていくことができるようになるでしょう」

タイ沿岸の藻場は、多くの魚の産卵場所であり、ジュゴンやウミガメなどの餌場にもなっている。「藻場が沿岸の生物多様性を育む重要な場所になっているのです。また最近では、藻場における光合成による二酸化炭素(CO₂)の吸収力の高さにも注目が集まり、藻場が最終的にどれくらいCO₂の蓄積に貢献しているかという研究が進められています」

地球温暖化の予測では、人類が大気中に放出したCO₂を海がどれくらい吸収するかが鍵となる。海が吸収するCO₂は「ブルーカーボン」とも呼ばれる。「深層学習などで藻場の分布図を自動的に作成するモデルを開発して、Google Earth EngineやNOAA(アメリカ海洋大気庁)などのデータベースにある世界中の衛星画像を判別することも検討してみたいですね。それにより全世界の藻場の分布図を短時間で描くことができれば、藻場によるCO₂吸収量の推定に大きく貢献できるでしょう」

それを時系列で行えば、今後の温暖化の進行により、藻場の分布がどのように変化し、水産資源や生物多様性、CO₂吸収量にどれくらい影響を及ぼすかを推定するための重要な手掛かりが得られるはずだ。

深層学習で深海底を面で理解する

JAMSTECでは、船からケーブルでつながれた

ROVなどのカメラによって、深海底の映像や画像を撮影してきた。「その膨大なデータを深層学習で分類し、海底を砂地・岩石・シロウリガイなどに分類した分布図をつくらせたり、特定の生物の分布を捉え、その数を自動カウントしたりするモデルを開発する計画です」(図3)

海底が岩石か砂地かの底質によって生息している生物の種類が異なるため、深海の生物探査に底質の分布図は重要だ。また、シロウリガイは海底下からメタンや硫化水素を含む海水が湧き出る断層や熱水噴出孔の周囲に生息している。シロウリガイの分布は、断層や熱水噴出孔を探すための目印になるのだ。

「1日の航海で、ROVにより5~6時間分の海底の映像を撮影します。それを岩石・砂場・シロウリガイに人が分類して分布図を描くには、撮影時間の倍以上の作業時間がかかります」

深層学習により、その日のうちに映像から海底の分布図を描くことができれば、目的の生物がいそうな場所や、断層や熱水噴出孔がありそうな場所を絞り込み、次の日から有人潜水調査船「しんかい6500」などによりピンポイントの探査ができるようになる。

山北さんは、予備的な検討として、岩石・シロウリガイ・砂地の海底を写したそれぞれの画像を、従来法と深層学習で分類した。「従来法では画像中の明るさの違い(コントラスト)などで特徴量を計算し、エッジ部分の特徴量の分布などを抽出して分類しました。すると、シロウリガイが点在した画像は判別できましたが、密集した画像は判別できませんでした。また、画像中のコントラストが少ない砂地の画像は、従来法では判別に必要な特徴量を抽出できませんでした。そのような従来法で判別に失敗した多くの画像を、深層学習では正しく判別できることが分かりました」(図4)

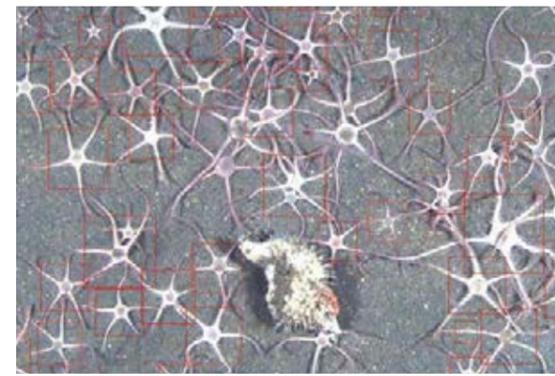


図3 従来法によるクモヒトデの分類抽出例
(参考: Yamakita et al. 2018, Ecol Res)
機械学習により画像からクモヒトデ(赤枠)を分類抽出することにより、その数もカウントして定量的な自動解析が可能となる。深層学習を導入することで、さらに、さまざまな種類の生物を分類抽出できるようになると期待される。

「深層学習で海底の特徴を判別するモデルを開発できれば、半世紀に及ぶJAMSTECの深海探査で蓄積してきた膨大な映像や画像を、短期間で分類できるようになるかもしれません」

今後の深海探査では、ケーブルにつながれずに無人で探査ができる海中ロボット(AUV:自律型無人探査機)の活躍が期待され、JAMSTECでも深海巡航探査機「うらしま」などの開発・運用を続けてきた。

海中では光はすぐに減衰してしまうので、カメラで海底を一度に撮影できる範囲は限られている。一方、音波を使ったソナーならば広範囲の海底の凹凸についての画像が得られる。ただし従来、その解像度はあまり高くなかった。JAMSTECでは合成開口ソナーという技術により、音波を使って海底のシロウリガイなどを判別できる解像度を達成しようとしている(『Blue Earth』153号「JAMSTEC生まれの種たち」)。

AUVと合成開口ソナーにより広大な未知の海底を探査し、その膨大な海底画像を深層学習で分類できるようになれば、深海探査にブレークスルーが起きる。「これまで、点や線で探査していた深海底を、面で探査して理解できるようになります」

人が理解できるモデルを開発して公開

「深層学習では、機械が元画像からどのような特徴を抽出して判別しているのか、情報処理の過程を見てもすぐには分かりません。そのため、ある地域の判別をうまくできたとしても、どれくらい似た地域まで判別できるのか適用範囲を予測しにくく、地域に合わせて判別モデルの調整を行うことも難しいという課題があります。深層学習で機械がどのような特徴を抽出して判別しているのか

元画像 ©JAMSTEC	従来法(2分類) ●岩石 ●シロウリガイ	従来法(3分類) ●岩石 ●シロウリガイ ●砂地	深層学習(3分類) ●岩石 ●シロウリガイ ●砂地
岩石	○	×	○
シロウリガイ	×	○	×
砂地	未試験	……	×
	未試験	……	○

図4 深海底の画像の分類(予備的な検討結果)
従来法ではエッジ部分の特徴量を拾いやすい「KAZE特徴量」を使って、岩石かシロウリガイかの2分類、岩石かシロウリガイか砂地かの3分類を行った。深層学習では3分類のみを行った。表中の「……」は、分類に必要な特徴量を抽出できなかったもの。従来法が3分類で30件中8件の画像のみ正しく分類できたのに対して、深層学習では27件の画像を正しく分類できたが、ここでは失敗例も紹介している。(協力: 現 嶋マリン・ワーク・ジャパン 小笠幸子)

を探り、その判別法を、人が理解できるモデルである従来法に導入していくつもりです」

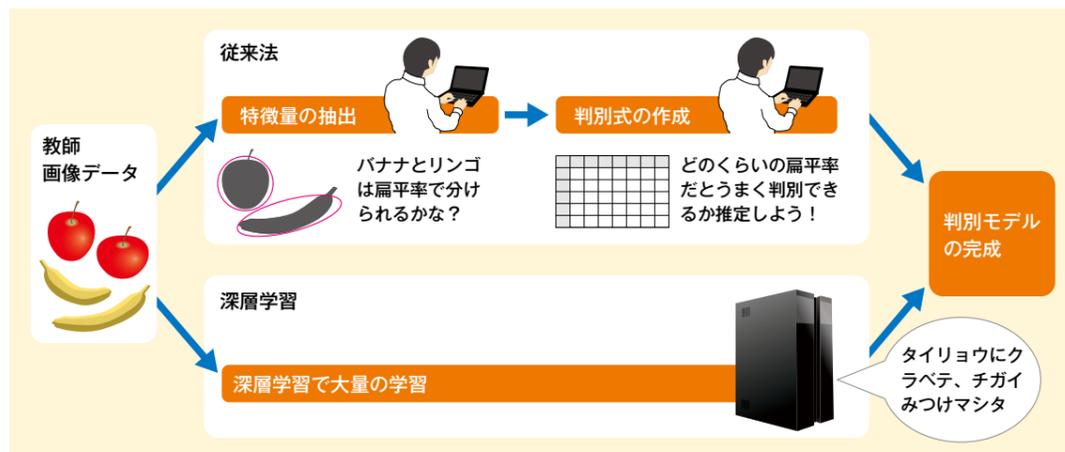
陸上の画像を深層学習で分類する取り組みは、企業で盛んに研究が進められているようだが、企業が開発したモデルが公開されることはほとんどないだろう。

「一方、私たちが開発しているモデルは、公開してさまざまな人たちに利用してもらおう計画です」。JAMSTECの国際海洋環境情報センター(GODAC)では、潜航調査で得られた映像や画像を「深海映像・画像アーカイブスJ-EDI」*で公開している。「その膨大な映像や画像を、多くの人たちが目的に合わせて自動分類できるようにしたいですね。人が理解できるモデルを開発して公開することで、利用者が目的に合わせて調整することが可能になります。私が学生時代に数ヵ月間かけて行った、アマモ分布の30年間の変化を調べるような研究を、これからの学生さんは、沿岸域だけでなく深海底も対象にして、数日間ですべてできるようになるでしょう」

* 深海映像・画像アーカイブスJ-EDI
<http://www.godac.jamstec.go.jp/jedi/j/>

図2 機械学習の従来法と深層学習の違い

リンゴとバナナを判別する際、従来法では、判別するための特徴となる扁平率を人が見だし、判別式の作成も人が行う。一方、深層学習では、リンゴとバナナの画像をそれぞれ大量に機械に学習させることで、見分けられる特徴を機械が見つけ出し、判別式も自動的に作成して、判別できるようになる。(山北剛久「e種生物学研究」2018を参考に作成)



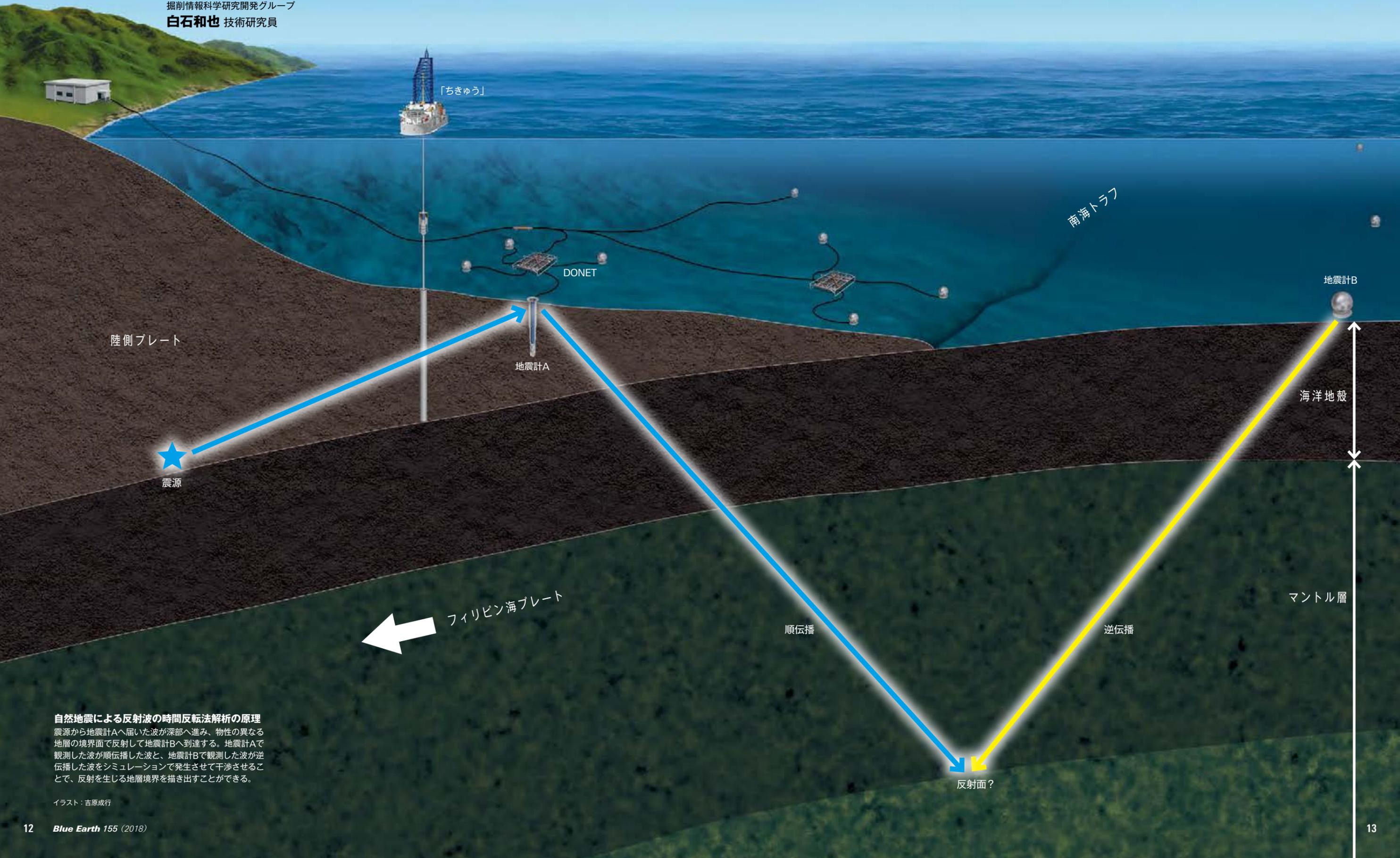
自然地震を新手法で解析して、マントル層の詳細構造を見る

取材協力

海洋掘削科学研究開発センター

掘削情報科学研究開発グループ

白石和也 技術研究員



自然地震による反射波の時間反転法解析の原理

震源から地震計Aへ届いた波が深部へ進み、物性の異なる地層の境界面で反射して地震計Bへ到達する。地震計Aで観測した波が順伝播した波と、地震計Bで観測した波が逆伝播した波をシミュレーションで発生させて干渉させることで、反射を生じる地層境界を描き出すことができる。

イラスト：吉原成行

人工震源による海底下の構造探査

フィリピン海プレートが陸側のプレートの下に沈み込む南海トラフでは、1944年にマグニチュード(M) 7.9の昭和東南海地震、さらに2年後の1946年にM8.0の昭和南海地震が発生した。南海トラフでは100~150年周期でM8クラスの地震が繰り返し起きてきたことが知られている。昭和の東南海・南海地震から70年以上が経過し、今後30年以内にM8~9の地震が70~80%の確率で起きると予測されている。その巨大地震の発生帯は、海底下にある。

JAMSTECでは、南海トラフで起きる地震の仕組みを理解して防災に役立てるため、想定震源域の海底下の構造探査を行ってきた。まず、船からエアガン海中に投入して人工的に振動を発生させる。すると、その波が海底下へ伝わり、地層の境界で反射したり屈折したりして海底や海面付近へ戻ってくる。その波を海底地震計や海面付近のストリーマーカーケーブルという装置で観測する。「その観測データを解析することで地層境界を描き出し、断層(地層のずれ)を推定することができます」と白石和也さんは説明する。

このような人工震源を用いた海底下の構造探査の手法は、海底油田の探査で開発された技術だ。その技術により海底下5kmほどの詳細な構造を描き出すことができる。JAMSTECではその技術を発展させ、さらに深部の構造を解析している。

パワーの強い自然地震で深部を見る

2018年度には、地球深部探査船「ちきゅう」により、昭和の東南海・南海地震の震源がある紀伊半島沖において、海底下約5kmにある地震発生帯

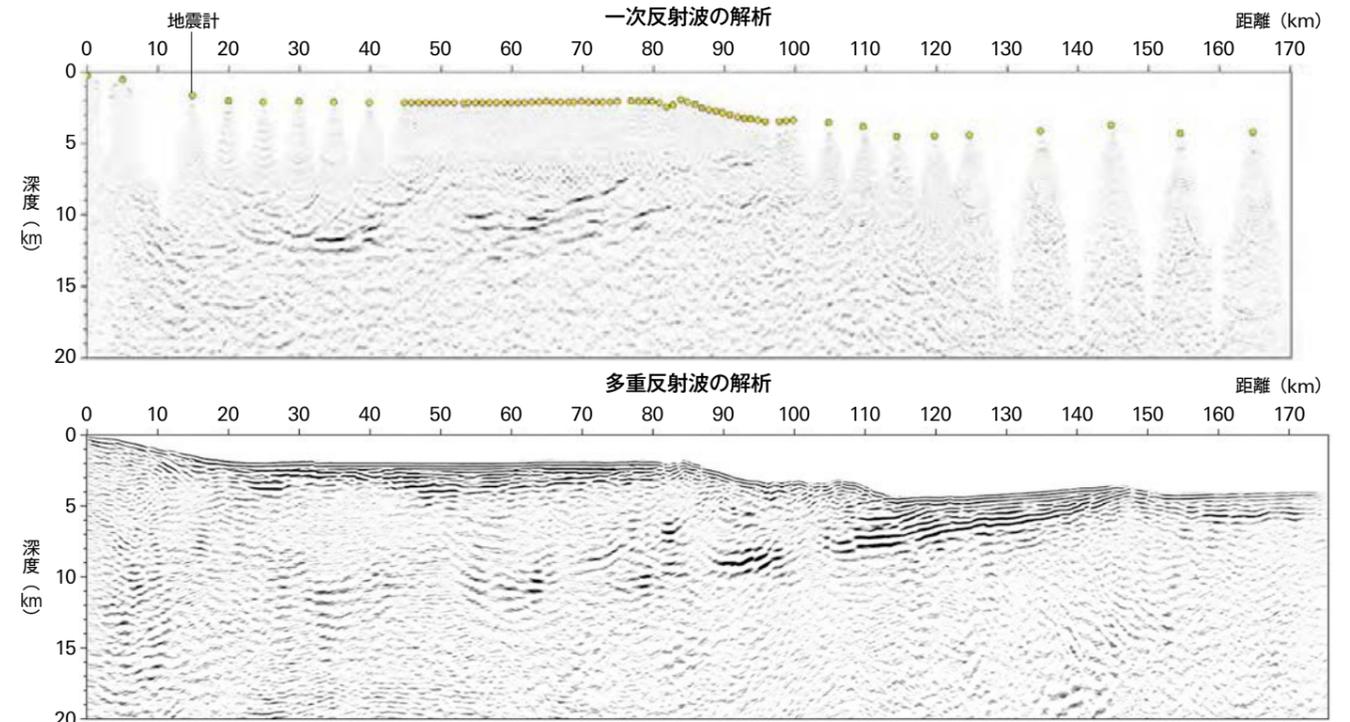
まで掘り進める計画だ。白石さんは、これまでに得られている構造探査データを解析し直すことにより、掘削海域の海底下の詳細構造を描く研究を進めている。「ただし、人工震源のデータから細かな地層境界などを描くことができるのは、海底下約十数kmまでです。私は、さらに深部の詳細構造を描き出すために、自然地震の反射波を解析する新しい手法の開発を進めています」

地震波が速く伝わる領域ほど、そこを構成する物質の密度は高く温度が低いと見なすことができる。自然地震が伝わる速度の解析から、地球深部の構造が理解されてきた。

ただし、細かな地層境界などの構造を描くには、地震波のうち短い波長の反射波を解析する必要がある。波長が短い波ほど地中で減衰しやすい。パワーの弱い人工震源に含まれる短い波長の波は、深部の地層境界へ進み反射して海底へ戻ってくる間に大きく減衰してしまう。それが、人工震源では深部の詳細構造の解析が難しい大きな理由だ。

一方、近い場所で起きたパワーの大きな自然地震ならば、深部の地層境界で反射した波長の短い波が海底へ届く。「その反射波を、高密度に並べた海底地震計で観測して解析することで、深部の詳細構造を描き出すことができるはずだ」

南海地震や東南海地震の震源域では、多数の地震計と海底圧力計をケーブルで陸上と結びリアルタイムで観測を行う「地震・津波観測監視システム(DONET)」が運用されている。また、「ちきゅう」による掘削孔では、地震計を含む長期孔内観測システムによる観測が行われている。「そのような密度の高い観測網で長期間観測された自然地震の膨大なデータを解析する計画です。人工震源を



一次反射波と多重反射波による構造解析

同じ数の地震計による観測データでも、地震波が地層境界で1回だけ反射した一次反射波を解析するよりも、さまざまな場所で何度も反射した多重反射波を解析した方が、異なる反射面をより広く連続的に描き出すことができる。この画像は、白石さんらが海域における人工震源と海底地震計による観測データから、フィリピン海プレートが沈み込む紀伊半島沖の南海トラフの地下構造を解析したものの。

用いる場合は、いつ、どこで、どのような波が出るかが分かっているのに対し、自然地震では分かりません。自然地震の反射波から海底下の構造を描き出す解析法の開発は、世界的にも例が少ない挑戦的なテーマです」

多重反射波を時間反転法で解析

白石さんは、「時間反転法解析」を導入する計画だ。AとBの2地点の海底地震計を考えてみよう。震源から地震計Aへ届いた波が深部へ進み、反射波を生じる地層境界で反射して地震計Bへ到達する。時間反転法解析は、地震計Aで観測した波が時間の流れに従い順伝播した波と、地震計Bに届いた波が動画を逆再生するように逆伝播した波を、それぞれシミュレーションで発生させて干渉させることで、反射点が分布する地下の構造を描き出す。

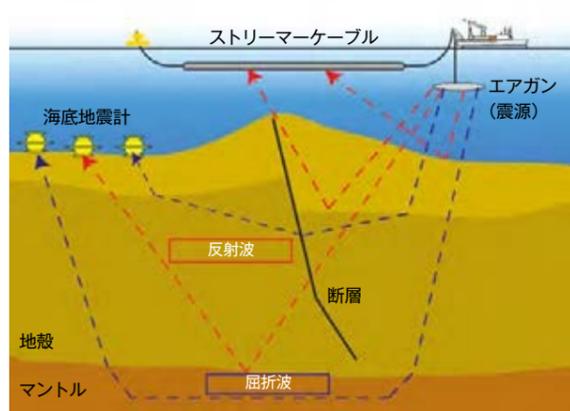
「1回の地震でも、それぞれの地震計には、さまざまな時刻に、いろいろな角度から波が届きます。反射波をやりとりする地震計の組み合わせも無数にあります。そこで、すべての地震計で観測した波について、順伝播と逆伝播の波のシミュレーションを繰り返して、それらの波を干渉させます。2つの波の山と山、谷と谷が重なると波は強め合い、山と谷がぶつかると弱め合います。波が強められる反射点として地層境界の姿が現れます」

パワーの弱い人工震源では、1回反射した波である「一次反射波」を解析して構造を描くことが一般的だ。「一方、自然地震はパワーが強いので、海底下の異なる場所で何度も反射した波を観測しやすいという利点があります。そのような『多重反射波』を解析します。また、異なる震源で起きた自然地震は、別の場所でも反射を繰り返します。異なる震源で起きた多数の自然地震による多重反射波を時間反転法で解析することで、海底の直下から深部までの詳細構造を描き出すことが目標です」

フィリピン海プレートのような海洋プレートは、厚さ6kmほどの海洋地殻の下にマントル層が続いている。「南海トラフの地震発生帯のさらに深部にある、フィリピン海プレートのマントル層の詳細構造を描き出したいですね。そこに巨大地震の仕組みを理解するための重要な情報が隠されているかもしれません」

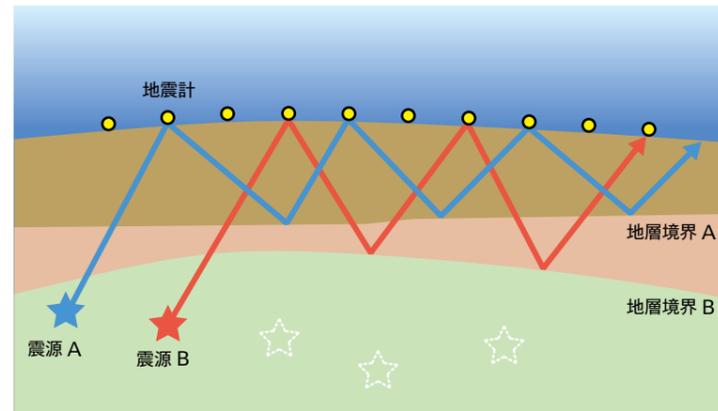
2020年代、「ちきゅう」により史上初となるマントル層の掘削が計画されている。「自然地震による反射波の時間反転法解析で、その掘削地点のマントル層の詳細構造も描いてみたいですね」

白石さんが開発を進める新しい解析法は、マントル層の探査を目指す21世紀の掘削科学や地震科学の重要な手法になると期待される。



人工震源による海底下の構造解析の原理

人工震源(エアガン)で起こした波が海底下の地層境界で反射したり屈折したりして海底や海面付近へ戻ってくる。その波を海底地震計や海面付近のストリーマーカーケーブルで観測して解析する。人工震源はパワーが弱いので、深部へ進み反射して戻ってくる間に波は減衰してしまうため、深部の地層境界を描き出すことは難しい。



自然地震の反射波による構造解析の原理

自然地震はパワーが強いため、深部のさまざまな地層境界で反射した多重反射波を観測しやすい。異なる震源の波は違う場所で反射する。異なる震源の多数の自然地震で発生した多重反射波を解析することで、海底の直下から深部までの詳細構造を描き出すことができる。

顕微掘削+クライオ電子顕微鏡で 地球深部へ沈み込んだ水を化学分析する

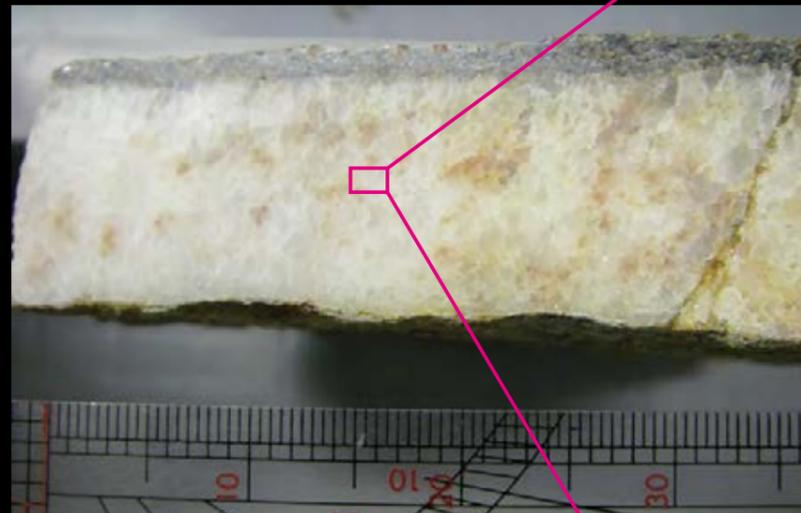
取材協力

海洋掘削科学研究開発センター
海洋・地球リソスフェア研究グループ

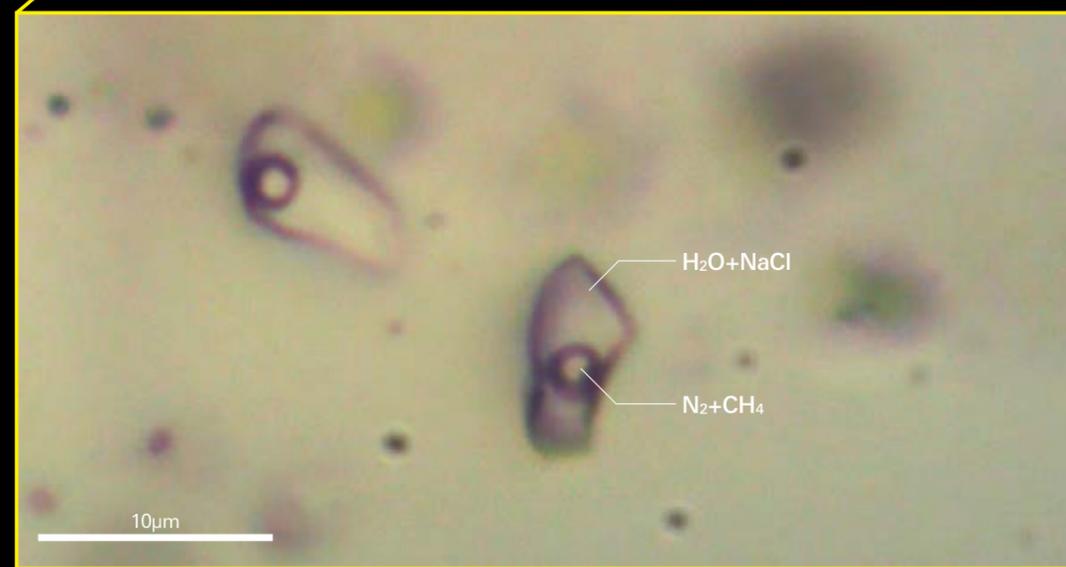
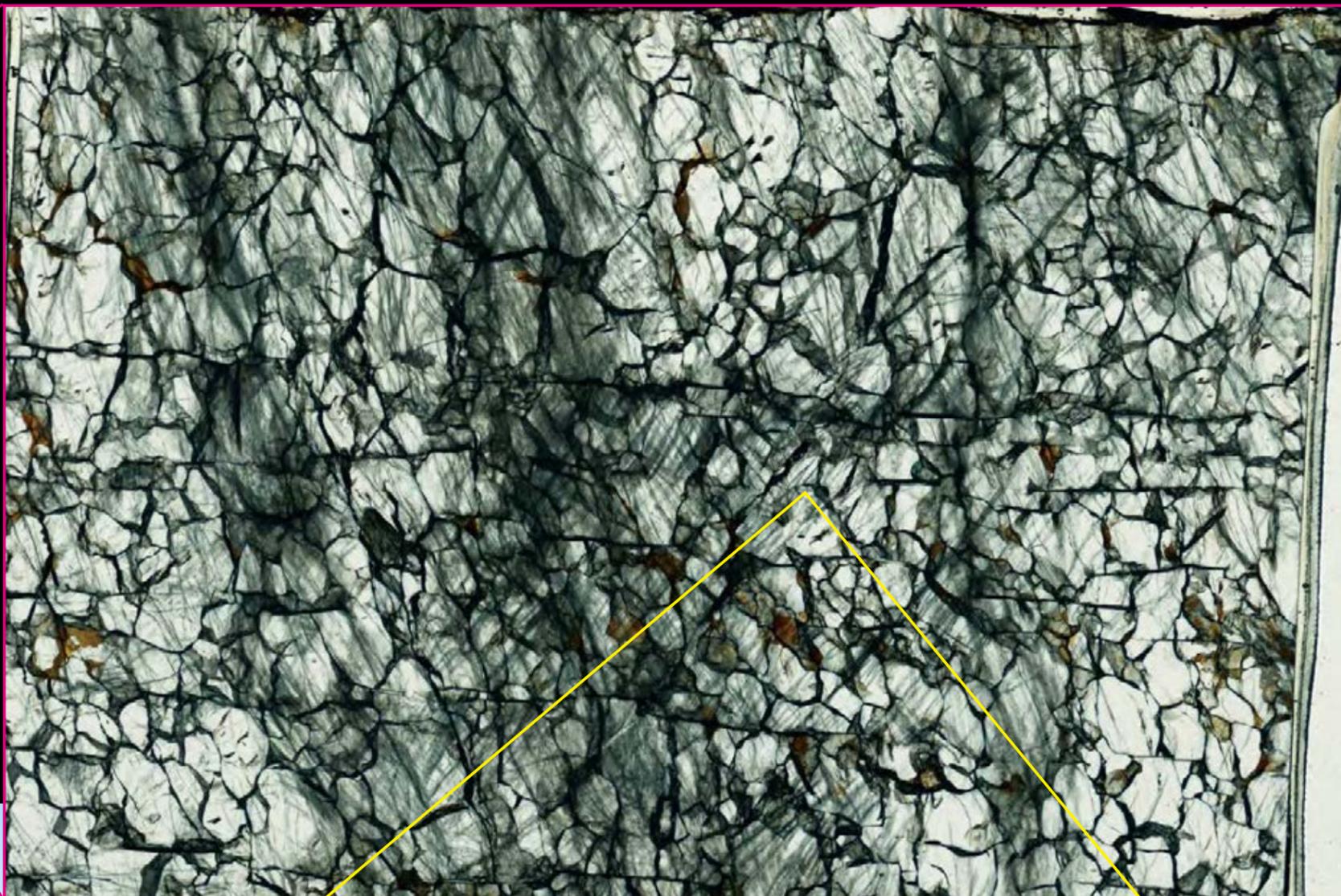
吉田健太 研究員

岩石薄片 (縦が約2cm)

岩石断面



変成岩



流体包有物

プレートと共に地球内部へ沈み込んだ水「流体包有物」

プレートの沈み込みと共に変成を受けた岩石が、長い年月をかけて地上へ隆起するケースがある。その変成岩中の流体包有物を分析することにより、プレートと共に沈み込んだ水を分析することができる。

巨大地震や火山活動に深く関わる 地球深部へ沈み込んだ水

太平洋プレートやフィリピン海プレートが、陸側のプレートの下へ沈み込む日本列島の周辺では、巨大地震や活発な火山活動が起きる。そのような沈み込み帯で起きる現象では、プレートと共に地球深部へ沈み込んだ水が重要な役割を果たしていると考えられている。

水は断層をすべりやすくさせて地震を引き起こす要因となる。地下深部で水はOH基のかたちで岩石の結晶構造に取り込まれて含水鉱物ができ、さらに高温・高圧の深部へ沈み込むと、脱水反応が起きて再び自由に動ける水となる。水が加わると岩石の融点下がって溶け、マグマが発生する。そのマグマが上昇して火山活動を引き起こす。

地球深部へ沈み込んだ水を分析することは、大陸地殻の形成、さらには地球という惑星の特徴を知る上でも重要だ。海洋地殻は玄武岩などの岩石から成り、大陸地殻は軽い安山岩などから成る。太陽系の天体のなかで大陸地殻が見つかったのは地球だけだ。大陸地殻の形成には、地球深部へ沈み込んだ水と岩石の相互作用が重要だと考えられている。

地下数十km以上といった地球深部を掘削し、沈み込んだ水を採取して分析することは不可能だ。ただし、地球深部で変成した岩石が長い年月をか

けて陸上へ隆起するケースがある。

「そのような変成岩のマイクロな領域に水が取り込まれていることがあります。私は、そのような流体包有物を分析して、沈み込み帯で水が関与する現象を理解する研究を学生のころから続けてきました」と吉田健太さんは語る。

ピンポイントで掘り出す「顕微掘削」

「変成岩の試料には、変成を受けた年代が異なる領域が含まれている場合があります。地球深部における水の役割を探るには、特定の年代の流体包有物を分析する必要があります。私は、イオンビームで試料を10nmほどの精度で加工できるFIBという装置により、調べたい領域にある流体包有物をピンポイントで掘り出し、大型放射光施設SPring-8によるX線CT撮影を行った経験がありました。それにより流体包有物がどのような形状で岩石中に取り込まれているのか、詳細に観察することができました」

吉田さんは、試料からピンポイントで見たい箇所を掘り出すことを「顕微掘削」と名付けた。

「地球深部で水と岩石によりどのような化学反応が起きるのかを知るために、流体包有物に含まれる微量元素の種類や量が重要な手掛かりになります。しかし、いままでよい分析手法がありませんでした」

化学分析には、質量分析装置などが使われる。しかし変成岩に含まれる流体包有物のサイズは多くの場合、5~10μmほどだ。そこに含まれる微量元素は、量が少な過ぎて質量分析装置で測定することが難しい。

JAMSTEC横須賀本部に2017年3月、cryo-FIBという分析装置が導入された。試料を極低温に冷却して測定を行うクライオ(cryo)電子顕微鏡とFIBを組み合わせた装置だ。

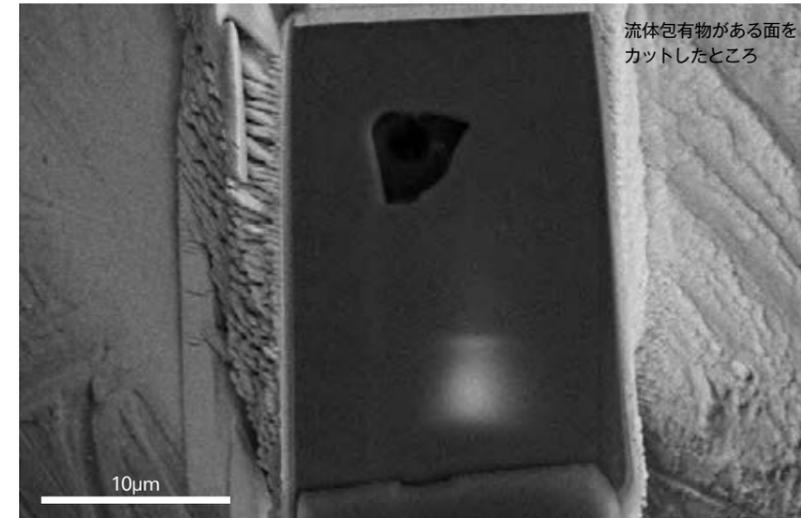
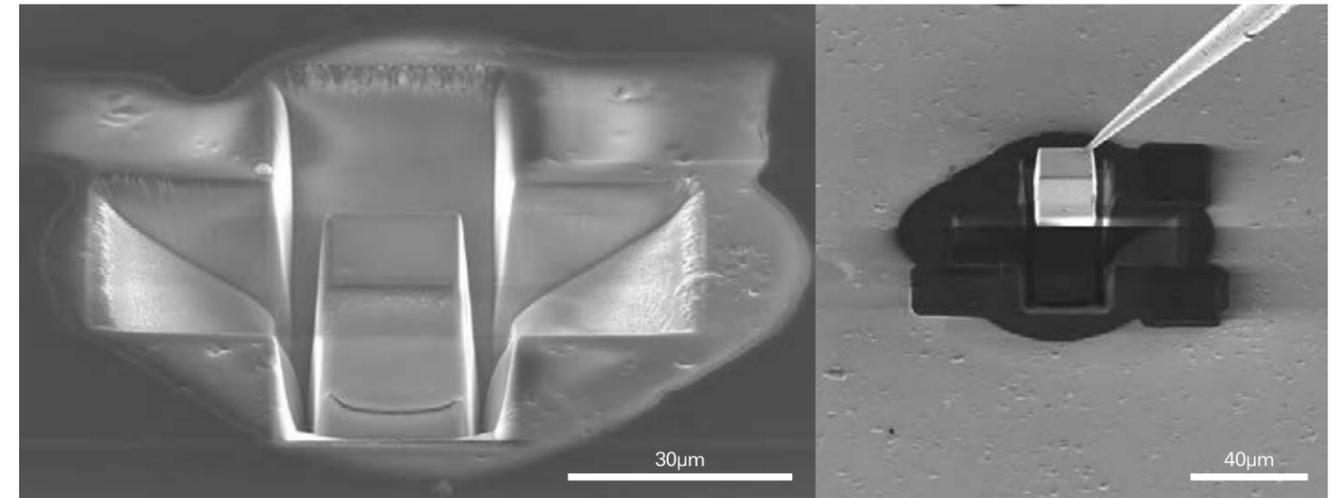
2017年のノーベル化学賞は、「溶液中の生体分子を高解像度で構造決定できるクライオ顕微鏡の開発」に対して贈られた。

「cryo-FIBをJAMSTECに導入したのは、有機分子などが専門の岡田 賢さん(海洋生命工学研究開発センター 研究員)たちです。ただし共用装置なので、さまざまな分野の研究者が利用できます。私は、cryo-FIBは流体包有物の化学分析に使える!と思いました」

最終目標は0.1%未満の微量元素の測定

電子顕微鏡では、試料を真空中において電子線を当てて測定する。しかし流体包有物のような液体を真空中に置くと、すぐに蒸発するので測定で

必要な箇所を箱状に掘り、取り出しているところ

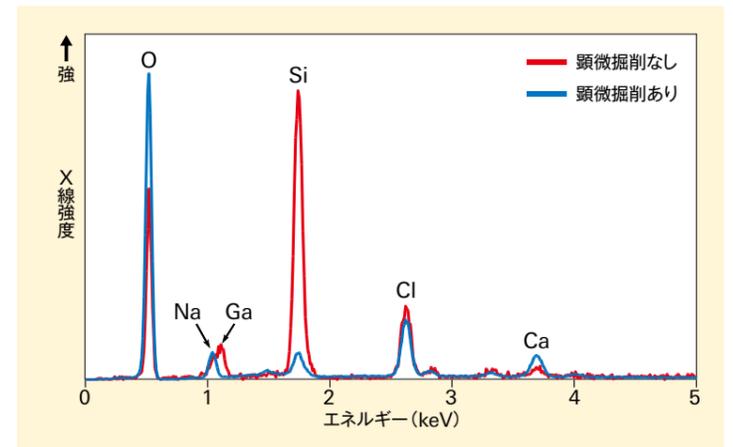


流体包有物がある面をカットしたところ

FIBによる顕微掘削
FIBにより流体包有物を含む領域を箱状に掘り出し、その箱を流体包有物がある面でカットしてステージに設置し、垂直方向から電子線を当てる。流体包有物に含まれる元素が発するX線を測定する。

顕微掘削とクライオ電子顕微鏡による流体包有物の測定例

顕微掘削なし(赤)は、電子線を斜め方向から当ててX線を測定した例。顕微掘削により電子線を垂直方向から当てることにより、元素の種類と量を正確に測定することができる(青)。横軸のエネルギーが元素の種類、縦軸のX線強度が量に対応する。



きない。

「試料を極低温に冷やして測定するクライオ電子顕微鏡ならば、流体包有物も分析できるはず。電子線を当てると、そのなかに含まれる元素がX線を出します。そのX線のエネルギーと強度を測定すれば、元素の種類と量が分かります」

高い精度で分析するには、試料の切断面に対して垂直方向から電子線を当てる必要がある。「私は、流体包有物を含む領域をFIBで箱状に掘り出し、その箱を流体包有物がある面でカットしてステージに置き、垂直方向から電子線を当ててX線を測定する実験を進めています。5~10μmの領域に閉じ込められた流体包有物の全体質量に対して、数%の割合で含まれる元素の種類と量を分析できるようにすることが、当面の目標。最終目標は、0.1%未満で含まれる微量元素の分析です。顕微掘削とクライオ電子顕微鏡を組み合わせて流体包有物の微量元素を分析する研究は、私の知る限り世界に例がありません」

試料の見たい箇所をピンポイントで掘り出して

微量元素を測定する手法が確立できれば、海洋掘削で得られた希少な試料の分析にも有効だろう。2020年末、小惑星探査機「はやぶさ2」が、小惑星リュウグウから岩石試料を持ち帰る予定だ。そのような地球外の微小な試料の分析にも役立つはずだ。

「さらには、私が思ってもみないような科学分野や産業分野にも適用されるかもしれません」 **BE**

JAMSTEC横須賀本部
に導入されたcryo-FIB





底面には吸盤付きの管足が並んでいる。管足を使い、体を伸び縮みさせながら、移動を行う。伸びているときにはぶよぶよしてとても柔らかいが、縮まっているとタイヤのゴムのようにかたくなる。



口の部分。反対側の先端には肛門がある。

種類としては食用にされるマナマコで、通常は赤や青、茶色などの色をしている。この白いナマコはアルビノと呼ばれる遺伝的に色素がほとんどできないまれな個体。アルビノの発生率は、生物界で10万分の1くらい。また、白い色は自然界で目立ちやすく、捕食されやすいことから、めったに見つからない。

「正直、気持ち悪い」。そう思った。初めて見る白いナマコは、本当に真っ白で、なじみのあるナマコとあまりにも懸け離れていた。

わくわく海中水族館シードーナツにも、この白いナマコと同じマナマコという種類がタッチプールにいる。水族館で飼っているそれらのナマコたちは茶色などで、双方を比べると白いナマコは異彩を放っていた。

この白ナマコと出会ったのは2018年3月27日のことだ。昼すぎに1本の電話がかかってきた。電話の相手は熊本県天草市の崎津で素潜り漁を行っている漁師さん。珍しい生きものを見つけたという。急ぎ支度をし、夕方には漁師さんのもとへ駆け付けた。初対面の白いナマコの大きさは、伸び切った状態で約20cm、重さは300gほどだった。発泡スチロールの箱に海水を入れて酸素を送り込み、そこへ白いナマコを入れて水族館へ持ち帰った。

ナマコは自然界では、海底に降り積もった有機物を食べている。水族館では人工の餌をすりつぶして与えた。普段、じっとしているように見えるナマコだが、意外に動き回る。展示する側の思惑とは裏腹に、展示水槽の端へと進み、吸盤の付いた管足を使って器用にガラスを登っていく。注意深く探さないと、どこにいるのか分からないような状況によくある。白いナマコは幸福を運ぶといわれている。水族館を訪れる皆さんに幸福を運んでほしいのに、そうやすやすとは姿を見せてくれない。

そもそも幸福を運ぶという伝えは、その希少性に由来するようだ。20年来素潜り漁を行ってきた漁師さんも、白いナマコを見つけたのは初めてだという。通常のマナマコは茶色や青、赤といった色をしている。白いナマコは遺伝的に色素を欠いたアルビノで、その発生率は自然界で10万分の1といわれている。

そんな希少な白いナマコをなぜ漁師さんが面識もない水族館に寄贈してくれたのか、不思議に思い聞いてみた。漁師さんは、白いナマコを捕った天草にある崎津を多くの人に知ってほしいと思って連絡した、とのことだった。その白いナマコの展示は、全国紙で紹介された。くしくも2018年6月30日には「長崎と天草地方の潜伏キリシタン関連遺産」として、崎津集落のユネスコ世界文化遺産への登録が決まり、世界中の人たちにその存在がアピールされることになった。白いナマコが捕れたのは、隠れキリシタンの里である崎津集落の眼前に広がる海だ。小さな白いナマコを見ていると、そんな偶然の連鎖をなんだかこいつが運んできたもののように感じてしまうのだ。

BE

取材協力：河野壮志／わくわく海中水族館シードーナツ・飼育員
写真提供：わくわく海中水族館シードーナツ

◆ **Information:** わくわく海中水族館 シードーナツ
〒861-6102 熊本県上天草市松島町合津6225-7
TEL 0969-56-2570
URL <http://www.amakusapearl.com/sea-donut/dolphin/index.html>

私が
IODPで
解きたい謎

櫻井紀旭

地球深部探査センター (CDEX)
運用部 掘削管理グループ
技術副主任

さくらい・のりあき。愛知県生まれ。愛知県立一宮高等学校卒業、東海大学海洋学部卒業。東京大学大学院修士課程修了。海洋掘削会社を経て、2014年よりJAMSTEC地球深部探査センター 技術副主任 (現職)。

南海トラフの地震発生帯を 目指す掘削エンジニア

地球深部探査船「ちきゅう」により進められてきた南海トラフの掘削プロジェクトが、2018年度にクライマックスを迎える。海底下約5,000mの地震発生帯への掘削を目指すのだ。「掘り進む地層は崩れやすいことが予想され、掘削孔が崩れてドリルパイプが動かなくなってしまう危険性もあります。私たちはさまざまな事態を想定して対策を練っているところです」そう語る櫻井紀旭さんは、掘削エンジニアとして、船上で掘削ドリルを操作する具体的な指示を出す役割を担う。



「ちきゅう」のドリラズハウスで掘削クルーに指示を出す櫻井さん(左端)

「ちきゅう」の掘削エンジニア

—「ちきゅう」の掘削作業を担うCDEX運用部に所属されています。どのような仕事を行っているのですか。

櫻井: 船上では掘削作業を行う指揮官OSI(船上代表)のもとで、掘削作業を行う作業員(クルー)に作業指示を出す仕事をしています。「ちきゅう」の中心にある巨大やぐら(デリック)の下には、掘削作業を行っているドリルフロアという場所があり、そこには掘削ドリルやパイプ類、大型の掘削機器が数多くあります。それらを操作する場所(ドリラズハウス)が主な仕事場です。ドリルフロ

アでの掘削作業は、水深を含めると海底下数kmを掘り進める作業となるため、船体の挙動も影響を与えます。そのため、操船を行うブリッジとの連携も必須で、ドリラズハウスからの作業指示は掘削中の操船の要ともなります。一方で、現場で掘削のオペレーションを円滑に進めるためには、事前に緻密な掘削計画を立てておくことも重要です。航海がないとき、陸上では運用部を中心に、掘削計画を練って議論を繰り返しています。それも掘削エンジニアの仕事です。—掘削作業を指示する上で、気を付けていることはありますか。

櫻井: 科学掘削は石油・ガス掘削では行わないような特殊な場所で掘削することが非常に多く、石油・ガス掘削の現場と比べて“新しい・特殊である”などの特徴を持った機器を多く使用します。石油・ガス掘削では百戦錬磨のクルーであっても、そのような機械を使用した経験がありません。彼らと一緒にその機器の特徴や重要性を再確認して作業を行うように心掛けています。

学生のとき、 南海トラフ科学掘削に出合う

—いつごろから海洋科学に興味を持つ

ようになったのですか。

櫻井: 誰に影響を受けたわけでもなく、小さいころから海がとにかく好きでしたね。高校生のころ、漠然と海の研究者になりたいと思っていました。具体的に海の研究ができる東海大学海洋学部に進学して、積極的に研究室の先生に声を掛けていました。そこで、固体地球科学のプレートテクトニクスに興味を持ちました。大学4年生のときに大学の先生の紹介で、JAMSTECで海底電磁探査法の開発を行っていた後藤忠徳先生(現 京都大学 准教授)のもとで研究生として卒業研究を行ったことが、海洋に関する研究の始まりです。

—どのような研究を行ったのですか。

櫻井: 海底下にはメタンハイドレート(メタンが水の分子に取り込まれている水状物質)が存在しているのですが、その分布を海底電磁探査という手法で調べる研究を行いました。その研究のデータを取得するために、JAMSTECの海洋調査船「なつしま」や深海調査研究船「かいらい」に乗船しました。そのとき、船上でのいろいろな作業を通して現場観測の難しさも学びました。—卒業後の進路を決めるきっかけは？
櫻井: JAMSTECで卒業研究を進めていた当時、同じフロアにいた斎藤実篤さん

(現 海洋掘削科学研究開発センター)が「掘削同時検層(LWD: Logging While Drilling)」について、実際のデータをもとに、その意味を熱く熱く熱く！語ってくださったことがあったんです。検層(電気伝導度や自然ガンマ線、音波速度などの物性を計測する手法)から、掘削した孔内の地層の状態を知ることができます。そのデータから地層の実態を解明していくことに強く魅せられ、さらに研究を深めたいと思うようになったのです。そこで、東京大学大学院の修士課程に進学し、海洋底地質学分野の芦寿一郎先生の研究室に所属しました。そして引き続き、JAMSTECの研究生として斎藤さんから検層を使ったデータ解析の手法を学び、研究をスタートさせました。

研究テーマは、検層により推定した掘削孔内の地層の物性と、ほぼ同じ地点で採取された地質試料(コア)の物性がどれだけ一致するか(コア・ログ・インテグレーション)を明らかにすることです。検層では地層中の砂と泥の境界を検知できるため、そのデータから地層に砂が多いか泥が多いかなどを推定できます。それが本当に正しいかどうかを調べるために、コアを使って定性かつ定量的に解析を行い、メートル単位のスケールであれば検層により地層の物性を正しく推定

できることが分かりました。

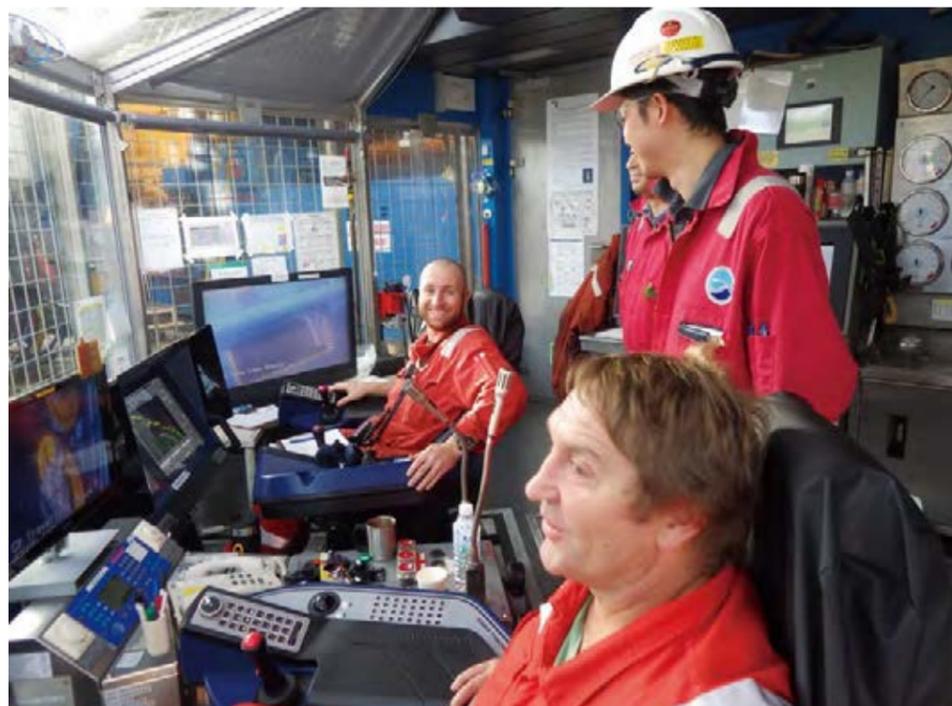
—研究で使用したコアと検層データはどこから取得されたものですか。

櫻井: 使用したコアと検層データは、IODP(国際深海科学掘削計画)の一環で実施された「南海トラフ地震発生帯掘削計画」(IODP第314・315次研究航海)で掘削した複数の掘削地点のうち、付加体に突入する前の、地層が水平になっていて堆積物が卓越していると推測されるC0002の掘削孔から採取されたものです。実際に、検層データを取得した場所とコアを採取した場所は約350m離れていました。ただし、反射法地震探査により海盆内の成層構造が明瞭にイメージされていて断層によって層序が不連続であることも見られなかったため、互いの比較は十分に可能でした。当時、研究指導を受けていた芦先生が同研究航海の首席研究者として、また、斎藤さんが同じくLWDスペシャリストとして乗船していたため、幸いにも同海域のコアと検層データの採取背景を伺うこともでき、とても興味深い研究となりました。

海洋掘削の現場へ

—修士課程を修了後、海洋掘削会社に就職されたそうですね。

櫻井: 修士研究でLWDを研究テーマに



ドリラズハウスで掘削クルーと談笑



していたこともあり、「検層」という手法の知識も深まり、「掘削する」という技術にさらに興味が湧きました。そこで、実際に船上で掘削を行う「ドリラー」になるべく、海洋掘削会社に就職しました。

——掘削クルーの仕事はどうか？

櫻井：掘削クルーに配属されても、いきなりドリラーにはなれません。ドリラーになるには相応の年数がかかります。就職して最初の2年は、イラン、ミャンマー、マレーシアの洋上で石油や天然ガス田を掘削するジャッキアップやセミサブマージブルといった掘削プラットフォームで働きました。

当時の仕事は、1分1秒を争う掘削の現場だったため、外国籍の掘削クルーと密にコミュニケーションを取りながら協力して作業を行っていました。一度乗船すると、最低でも4週間は休みなしで働きます。1シフトは12時間で、大きなハンマーを振ったり、掘削するためのパイプを運んだり、12時間ずっと運動部さながらに体を動かしていました。イラン沖では気温40℃を超えるなかで、マレーシア沖では雨季のすさまじいスコールが連続的に1日を通して打ち付けるなかで、少しでも時間を無駄にしないよう常にチームワークを大切に作業を進めていました。船上クルー仲間の国籍は、代表的なところで、イギリスやオーストラリア、ニュージーランド、インドやフィリピン、マレーシア、アメリカなどさまざまでした。

掘削作業では非常にかたくて大きいもの

のばかり扱います。一歩間違えば大事故につながりかねない非常に危険な現場です。そのため、作業現場では仲間の集中力も当然のこと、英語で24時間怒号が飛び交っていました。

2年の掘削クルーの海外経験を経て、2013年に「ちきゅう」の掘削クルーとして乗船することになりました。

——「ちきゅう」では掘削クルーとして、どんな仕事を行っていたのですか。

櫻井：船上では、最初は掘削クルーとして勤め、その後にサブシーエンジニアに

転向しました。サブシーエンジニアは、掘削時に海底に設置される噴出防止装置（BOP：Blowout Preventer）のメンテナンスを行います。BOPは、海底を掘り進めることで地層に埋まっている石油や天然ガスが船上に噴出して、爆発や火災を引き起こすのを防ぐ重要な安全装置です。また、掘り進めるときに少しずつガスを逃がして掘削孔内の圧力をコントロールする役割もあります。BOPが正常に機能せず、石油や天然ガスが地中から噴出すると、船上に被害が及び多くの人命が失われる恐れがあるため、重要な仕事でした。

——2014年11月にJAMSTECに転職されました。

櫻井：それまで経験した石油や天然ガス

を掘削する仕事も世のなかにエネルギーを供給するとても大きな仕事ですが、「ちきゅう」による科学掘削もまた、乗船する研究者を通して、地震大国である日本の防災へ還元していく非常に大事な仕事だと考えています。「ちきゅう」が現在IODPの計画のなかで取り組んでいる「南海トラフ地震発生帯掘削計画」はまさに将来的な南海トラフ巨大地震の予測を可能とする重要な任務です。いままでの経験を活かして、その任務に関わることができることをとても誇りに思います。

「ちきゅう」ではそれまで経験した掘削現場の雰囲気とは異なり、指示する側とされる側の距離がすごく近いことに驚きました。科学掘削は石油ガス掘削では通常行わないような、初めてすぐめの科

学プロジェクトばかり。それを安全かつ確実に成功させるためには、オペレーションを指示する運用側（CDEX）と現場（船上）との確実なチームワークがとても重要だと感じています。

南海トラフ地震発生帯で 大水深・超深度に挑む

——2018年10月、南海トラフ地震発生帯で海底約5,000mの掘削が始まります。

櫻井：「ちきゅう」が掘削を進めている紀伊半島熊野灘の南海トラフは、黒潮（速いところで約6ノット〔約3.1m/秒〕）の流路で、季節や海況によって蛇行もするため、掘削作業が非常に困難となる環境下にあります。また、台風や寒冷前線に

非常に影響されやすく、時期によって掘削作業が困難となりやすい場所でもあります。いままで経験してきた資源掘削では海域が安定した場所で作業を行っていたため、ほかのドリルシップで働く仲間から、「黒潮のような流れが速い環境下で掘削するなんて、信じられないよ」といわれたこともあります。

今回の掘削では、プレート境界断層に到達するのに最短となる掘削地点（C0002）において、科学掘削として成功すれば世界初となる海底下5,000mを目指し、大深度掘削を行うとともに掘削同時検層、コア採取を行う予定です。

前回の同地点での掘削で海底下3,058mまで掘進しているため、あと約2,000mを掘る予定です。同地点で、掘り進める地層はとても崩れやすいと予測されています。実際の作業では、掘削孔の壁が崩れないようにケーシングパイプを差し込みますが、その前に孔が崩れるとドリルパイプが固定されて、掘り進めることも引き抜くこともできなくなる危険性がある、かなり挑戦的なオペレーションとなります。航海の予定期間（2018年10月～2019年3月）中に地震発生帯へたどり着けるよう、現在は想定されるさまざまな事態への対策を検討しているところです。

この科学掘削に成功したら、本当にすごいことだと思います。水深2,000mで4～6ノットの潮流が卓越する黒潮の海域で、海底下5,000mまで掘り進めた事例は過去にありません。160日という非常に長いオペレーションとなります。長期間のオペレーションだからこそ、どんな状況下でも安全を最優先に、CDEX・研究者・船上クルー・各種サービス会社など、全員のチームワークが鍵となります。

——2020年代には、「ちきゅう」によるマントル層の掘削も計画されています。

櫻井：かたい海洋地殻を貫通する必要があります。私は、マントル層掘削用の新しいドリルビットの開発チームにも加わり、検討を進めています。今後、掘削エンジニアとしての経験をさらに積み、いずれは「ちきゅう」の運航・掘削の最高指揮官OSIとして、マントル掘削のような難しいけれど面白い掘削プロジェクトに挑んでいくことが目標です。 **BE**



「ちきゅう」のドリルフロアでの作業



2012年、海洋掘削会社の掘削クルーとしてマレーシア沖の掘削プラットフォームにて。
©櫻井紀昭

Team KUROSHIO 決勝へ！ Shell Ocean Discovery XPRIZE 挑戦中

無人探査ロボットを使って
超高速かつ超広域に海底探査を行う
国際コンペティション
「Shell Ocean Discovery XPRIZE」に、
日本の「Team KUROSHIO」が挑戦している。
「Team KUROSHIO」は、
2017年2月の技術提案書審査、2018年1月の
予選にあたるラウンド1を通過し、
2018年10～11月に行われる決勝にあたる
ラウンド2への進出が決定した。
「Team KUROSHIO」の挑戦の様子を
紹介する。

「XPRIZE」は、アメリカの非営利組織Xプライズ財団が主催し、世界が抱える課題の解決を目的とした賞金付きの国際コンペティションである。石油業界大手のロイヤル・ダッチ・シェルがメインスポンサーとなっているのが「Shell Ocean Discovery XPRIZE」だ。海底油田の調査のためには広域の海底地形調査が不可欠で、その高速化、低コスト化が望まれている。そうした背景から海底探査の技術を競うXPRIZEが企画され、2015年12月に開催が発表された。

課題は、超広範囲の海底地形図を、水平方向5m以下、垂直方向50cm以下の解像度で作成すること。それを、有人支援母船なし、機材は40フィートコンテナ（長さ12m、幅2.4m、高さ2.6m）1個に収める、規定の調査時間終了後48時間以内に海底地形図を作成、というルールで行う。賞金総額は700万ドル（約8億円）だ。

現在は自律型無人探査機（AUV）の場合でも、有人の母船で調査海域まで運び、人がクレーンを操作して海中に投入し、回収し

ている。それを、すべて無人で行わなければならない。しかもAUVの航行速度は徒歩と同じ時速5kmほどなので、超広域調査には複数のAUVが必要になる。無謀ともいえる課題・ルールだ。

しかし、誰もやったことがないからこそ面白い、やってみよう、というチャレンジ精神旺盛な研究者や技術者がいた。そうした人たちが集まり結成されたのが「Team KUROSHIO」である。海洋研究開発機構（JAMSTEC）、東京大学生産技術研究所、九州工業大学、海上・港湾・航空技術研究所、三井E&S造船、日本海洋事業、KDDI総合研究所、ヤマハ発動機の若手、30人以上で構成されている。

2016年9月の期限までに22カ国32チームが参加登録した。日本からは「Team KUROSHIO」を含めて3チームが参加。2016年12月に技術提案書による審査が行われ、2017年2月に発表された通過チームは21、日本からは唯一「Team KUROSHIO」が通過した。

取材協力
Team KUROSHIO



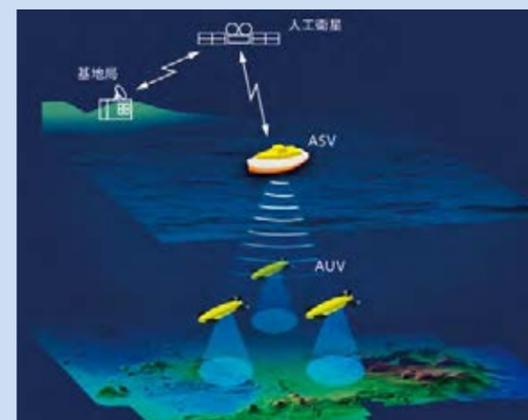
2018年1月、東京大学生産技術研究所の水槽で行われたラウンド1の様子。東京大学生産技術研究所のAUV「AE2000f」による画像撮影のデモンストレーション。メンダコのみを水槽の底に置き、撮影した。タコは英語でオクトパスなので、「置く」と審査をパスするという験担ぎである。



ラウンド1における、過去に取得した海底調査のデータから海底地形図を作成するデモンストレーションの様子。100km²以上のデータ処理が48時間以内で可能なことを示した。水平方向5m以下、垂直方向50cm以下という解像度は研究用より1～2桁低いため、チームにとっては難題ではない。



ラウンド1の終了後の記念撮影。「Team KUROSHIO」の名前は、日本を代表し世界でも知られている暖流の黒潮にちなみ、熱く、そして力強いトレンドを日本から起こしていきたいという想いが込められている。左はソナーを搭載し海底地形を調査する「AE2000a」、右はカメラを搭載し写真撮影を行う「AE2000f」。いずれも東京大学生産技術研究所のAUVである。



「Team KUROSHIO」の戦略図。ASVが岸壁から調査海域まで複数のAUVを曳航し、切り離す。AUVは、あらかじめプログラムされたルート通りに海底地形の調査を行う。調査を終えて浮上してきたAUVをASVが回収、調査時間（24時間）終了後48時間以内にデータを処理して海底地形図を作成する。

予選にあたるラウンド1の課題は、水深2,000mの海域で16時間以内に100km²以上の海底地形を調査し、海底の重要ターゲットの写真を5枚以上撮影すること。「Team KUROSHIO」は、3機のAUVとそれらを調査海域まで曳航して展開・回収する洋上中継器（ASV）の構成で挑むことを決め、駿河湾などで試験を重ねていった。

ところが、2017年8月にプエルトリコで開催予定だったラウンド1は、超大型ハリケーンの影響で中止に。審査員が各チームを訪れ、ラウンド1で求められる技術を持っているかを11項目の判定基準で審査することになった。「Team KUROSHIO」の審査は2018年1月、東京大学生産技術研究所の実験水槽などで行われた。3月に結果が発表され、ラウンド1に参加した19チームのうち通過したのは9チーム。「Team KUROSHIO」はアジアのチームで唯一の通過だ。

決勝となるラウンド2は、2018年10～11月に行われる予定であ

る。課題は、水深4,000mの海域で24時間以内に250km²以上、目標500km²の海底地形を調査し、海底の重要ターゲットの写真を10枚撮影すること。500km²は東京ドーム約1万個分の広さだ。「Team KUROSHIO」は現在、決勝に向けた準備を急ピッチで、そして全力で進めている。

コンペティションに出るからには優勝したい。しかし、それが「Team KUROSHIO」のゴールではない。インターネット通販ではワン・クリックで望んだ商品が届く。同じように、この海域の地形図や写真が欲しいという注文に応じてAUVが調査し、届ける。そんな誰でも簡単に海中・海底のデータを得られる「ワン・クリック・オーシャン」の実現を目指している。

「Team KUROSHIO」は、多くのパートナー企業やクラウドファンディングによる支援、そして皆さんからの声援に支えられて、決勝に挑む。結果発表は2018年12月だ。

BE

雲をつかまえる船旅

——海洋地球研究船「みらい」

大気海洋相互作用観測の20年——

地球情報館公開セミナー 第210回 (2017年6月17日開催)

勝俣昌己 地球環境観測研究開発センター 海洋大気戦略観測研究グループ グループリーダー代理

海の雨雲は大気と海を知るために重要

今日の話の主演は、海洋地球研究船「みらい」と雲です。雲のなかでも私が興味を持っているのは海の上の雨雲です。雲のなかには、水や氷の小さな粒（雲粒）がたくさんあります。雲粒が水蒸気を吸い込んだり、雲粒同士が合体したりして大きくなり、浮いていられなくなると、雨粒として落ちてきます。雨粒ができるには、まずたくさんの雲粒ができる必要があります。

ここで大事なのは、水という物質が、水（固体）、水（液体）、水蒸気（気体）という3つの状態の間で変化することです。その変化の過程で、周りの空気の色度を変えます。水蒸気が水へ、そして水へと変わるときには、周囲の空気を暖めます（逆に水から水へ、そして水蒸気へと変わるときは、周囲を冷やします）。

雲粒ができるときには、水蒸気が雲粒（つまり液体や固体）へと変化して、周囲の空気を暖めます。暖められた空気は軽くなって浮かび、上昇流となります。

しかし上昇流は、いずれはどこかで「天井」にぶつかります。最も大きく頑丈な「天井」は、対流圏と成層圏の境界部分

(圏界面)です。そういった「天井」では、上昇した空気は横方向に流れていき、いずれは下に降りてきます。

このように、雨雲でできた上昇流をきっかけとして大気の流れ、すなわち「風」ができます。つまり雨雲は、大気の流れをつくるエンジンの1つなのです(図1)。

人工衛星などのデータによると、陸上よりも海上で多くの雨が降っています。最新の研究データによれば、降雨量は陸上では1年間に230mm、海上では1年間に760mmと、海上の方が3倍ほど多いようです。つまり、大気の流れを考える上で、それだけ海上は大事なのです。

もう1つ大事なことがあります。海面付近の風は、海表面の水を水平方向に引きずります。また風が強くなったり弱くなったりすると、海の水が鉛直方向にかき混ぜられます。さらに雨は海水の塩分や温度にも影響します(図1)。このように、雨雲ができることは大気だけでなく海にも影響を与えます。

これほどに大事な海上の雨雲ですが、それを観測できる手段は非常に限られており、実態の理解が遅れています。そんな海上の雨雲について、詳細な観測デー

タを得ることができるのが「みらい」です。

海洋地球研究船「みらい」

「みらい」は全長128m、全幅19mで、大気や海洋の観測を行う研究船のなかでは世界最大級の船です(図2)。原子力船「むつ」をもとに、原子炉を撤去してディーゼル機関を搭載するなどして研究用に改造された船で、1997年に竣工して以来、20年以上の歴史があります。

「みらい」は気象レーダーを搭載しています。レーダーは、アンテナから電波を出し、雨粒や雪に当たって反射された電波を受信する装置です。雨粒の多い場所からは、より強い電波が反射されてきます。また「みらい」のレーダーは雨粒の動きが分かる「ドップラー・レーダー」なので、雨粒を動かす風を観測することができます。またアンテナを上下左右に動かすことで、雨雲の内部構造を立体的に捉えることもできます。ドップラー・レーダーを装備している研究船は、いまでも世界に数えるほどしかありません。

また「みらい」には、ラジオゾンデの自動放球装置も備えられています。ラジオゾンデは、大気の状態を計測するために、センサーを気球にひもでつるして上空に放出するものです。センサーには、温度計や湿度計、気圧計、GPSアンテナなどが取り付けられています。レーダーで雲の内部を計測して、ラジオゾンデで雲の周辺を計測するのです。

巨大雲群マッデン・ジュリアン振動(MJO)

「みらい」はこれまで、熱帯の西太平洋やインド洋のあたりで多くの観測を行ってきました。マッデン・ジュリアン振動

雨雲は、風の流れや雨をつくり出すことで、大気や海の状態に大きく影響します。しかし、多くの雨を降らせる海上の雲は、まだ観測データが足りず、理解が進んでいません。私たちは海洋地球研究船「みらい」に乗って、「マッデン・ジュリアン振動(MJO)」という巨大な雲群をつかまえようと観測を続けてきました。MJOとはどんなものなのか、また「みらい」を使ってどのような観測を行い、どんなことが分かってきたのかについて紹介します。

(MJO)という雲の群れを観測するためです(図3)。

MJOはインド洋で発生して、インドネシアから太平洋の方へ赤道沿いに東向きに移動していき、40~50日ほどで地球を1周します。雲の群れの大きさは、インド洋を半分以上覆うほどになり、大きな風の流れをつくります。

そのうちの1つが、海面近くでの強い西風です。この西風が、西太平洋の暖かい水を東側に運ぶことが、エルニーニョ現象発生の一つのきっかけといわれています。また、この強い西風は、台風発生の原因の一つともいわれています。さらにMJOの上昇流は、より南方や北方の風の流れを変え、日本付近など中緯度の気象に影響することもあります。

このようにMJOは地球の気候や気象に大きな影響をもたらします。しかし1972年に発見されてから何十年もたっているにもかかわらず、MJOにはいまだに多くの謎があります。なぜ、どうやってインド洋で発生するのか。どうしてその発生が不規則なのか。また東へ進む速度がどうしてこんなに遅いのか。インド洋から西太平洋へ向かう途中で強くなったり弱くなったりするのはなぜか、などなど……。こうした謎が残っているのは、観測データが不足しているためでした。

「みらい」によるMJOの観測

MJOの詳細な構造を初めて捉えたのは、1992~93年に西太平洋で行われたTOGA/COARE(トガ・コア)という国際観測でした(図4)。TOGA/COAREでは2例のMJOが観測されました。

より多くの、より詳細な観測データを求めて、私たちは「みらい」での観測研究



図2: 海洋地球研究船「みらい」
「みらい」のような大型の船は、さまざまな機材を同時に運用できるなどの利点がある。右上は気象レーダー、右下はラジオゾンデの写真。

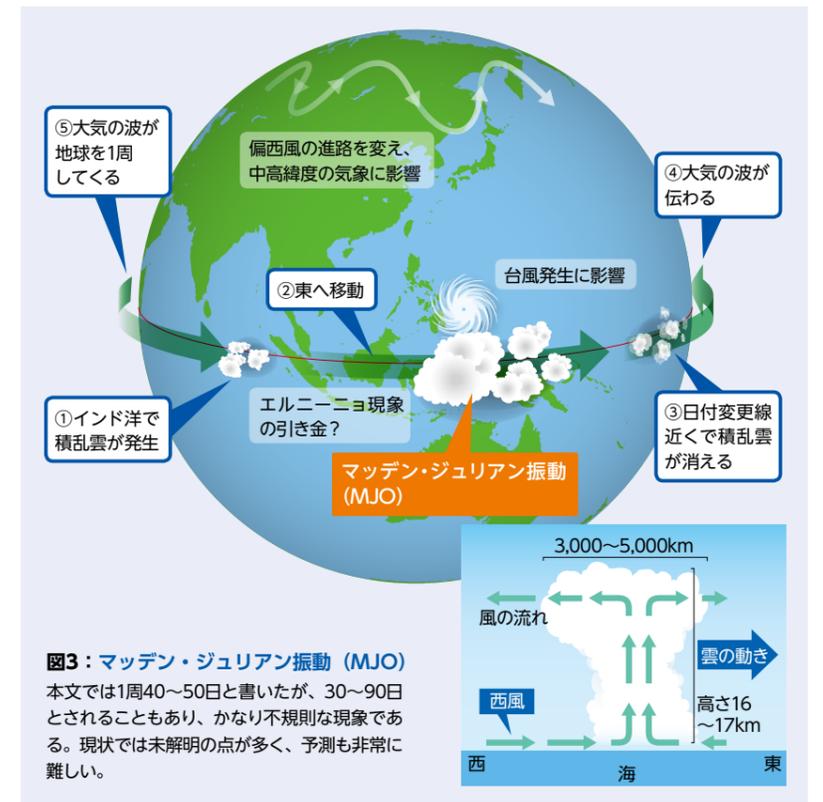


図3: マッデン・ジュリアン振動(MJO)
本文では1周40~50日と書いたが、30~90日とされることもあり、かなり不規則な現象である。現状では未解明の点が多く、予測も非常に難しい。

を開始しました(図4)。最初は1999年のNauru99というプロジェクトで、西太平洋のナウルの近くで約20日間観測しました。このときは残念ながら雨がほとんど降ら

ず、雨を測るレーダーを担当していた私は非常にがっかりして帰ってきました。その後、2000~04年には、観測海域を太平洋のより西方に設定し、毎年約1ヵ月



かつまた・まさき。1970年、北海道生まれ。北海道大学大学院理学研究科博士課程修了。博士(理学)。1999年よりJAMSTEC海洋観測研究部研究員。2014年より現職。専門は気象学。特に降水雲とそれを取り巻く大気海洋環境の観測研究に携わる。

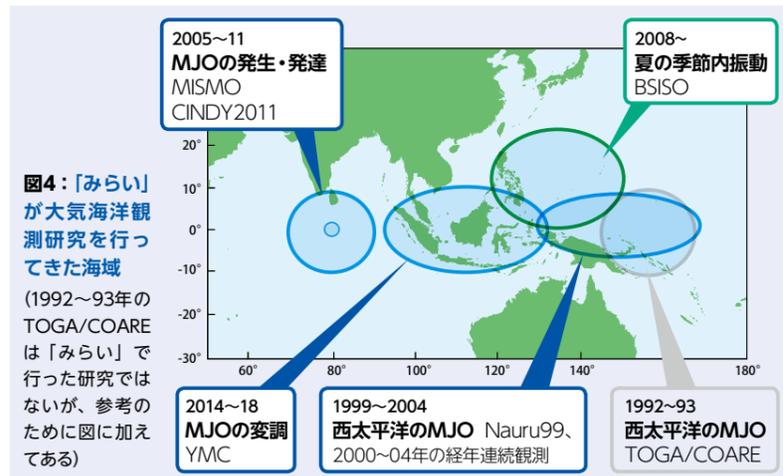


図4:「みらい」が大気海洋観測研究を行ってきた海域 (1992~93年のTOGA/COAREは「みらい」で行った研究ではないが、参考のために図に加えてある)

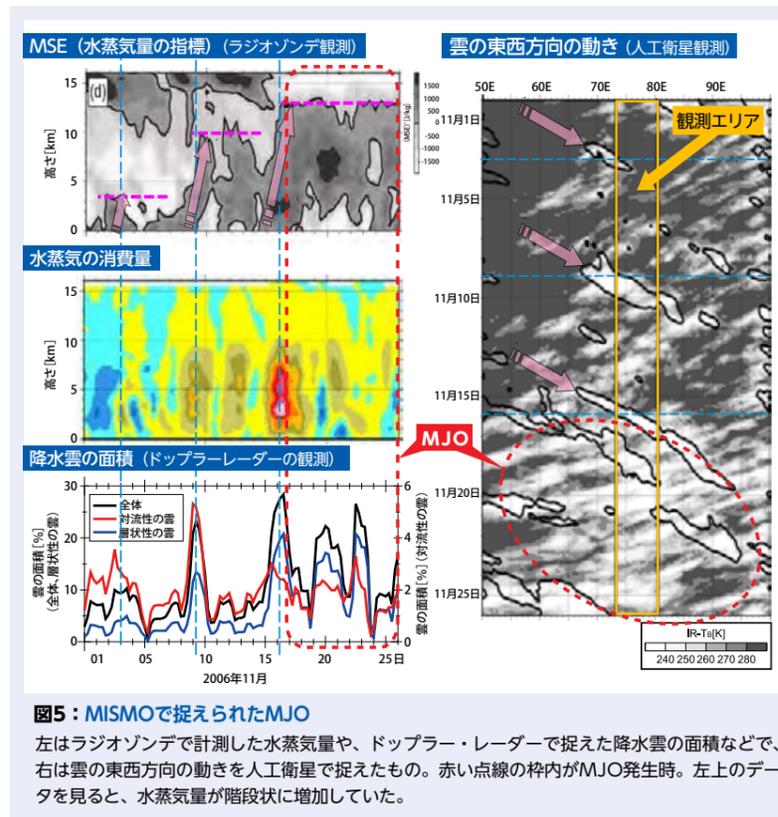


図5: MISMOで捉えられたMJO

左はラジオゾンデで計測した水蒸気量や、ドップラー・レーダーで捉えた降水雲の面積などで、右は雲の東西方向の動きを人工衛星で捉えたもの。赤い点線の枠内がMJO発生時。左上のデータを見ると、水蒸気量が階段状に増加していた。

ずつの観測を行いました。これらの観測航海では、多くのMJOの観測に成功しました(図4)。しかし、その当時は、新しく強力な人工衛星やスーパーコンピュータを使った成果が次々に出てきた時代でもありました。

研究上の強力なライバルが続々と現れる状況のなか、私たちはこれまでにない新しい観測をしようと考えました。1つは、新たな海域へのチャレンジです。発生メカニズムの分からないMJO、その発生海域であるインド洋では、詳細観測データが得られていませんでした。そこで私たちはMISMOというプロジェクトを計画し、2006年10月末~12月初頭にインド洋に向かうことにしました(図4)。

もう1つのチャレンジは、島と船との共同観測です。MISMOでは、インド洋に浮かぶモルディブの2つの島にレーダーやラジオゾンデを配置し、「みらい」と併せた観測網でMJOを待ちました。多点での同時観測で、より詳細なMJOのメカニズムを捉えようというもろみです。

果たしてMISMOでは、MJOの発生現場を捉えることに成功しました。MJOの発生前、湿った層が階段状に厚くなっていく様子が捉えられました。つまり、雲の材料である水蒸気が段階的に蓄えられていく様子が捉えられたのです。この湿った層を厚くしているのは、5~6日ごとに西からやって来た降水雲でした。そして最後にやって来た雨雲がMJOでした(図5)。

国際共同観測プロジェクト CINDY2011

首尾よくMJOの発生を捉えたMISMOでしたが、問題が残りました。MISMO

の観測網では観測点が不足しており、MJOの後半で誤差が生じる可能性があったのです。また、MISMOの1つだけの事例では説得力が不足しているとの指摘も受けました。これらをクリアするためには、より多くの観測点を、より長期に展開することが必要です。

私たちは、世界中にメールを送ったり、多くの学会に出たりして、いろいろな人に協力を依頼しました。その結果、2011年にCINDY2011という国際共同での観測プロジェクトを実施することになりました(図4)。

CINDY2011では、「みらい」のほかに、

アメリカ、インド、インドネシアからも研究船が参加しました。島もモルディブのほか、スリランカやディエゴガルシアにも観測点を設置し、6点での観測を2ヵ月以上継続することができました。

CINDY2011では4例のMJOが捉えられ、さまざまな研究成果が得られました。そのごく一部を紹介します。

MJOのときには雨がたくさん降りますが、その前にも雨が降っていないわけはありません。MJOの雲は高さ十数kmに達する背の高い雲なのですが、MJOの前の雲は、3~4km程度の低い雲が多いのです。この低い雲が、MJOの「燃料」

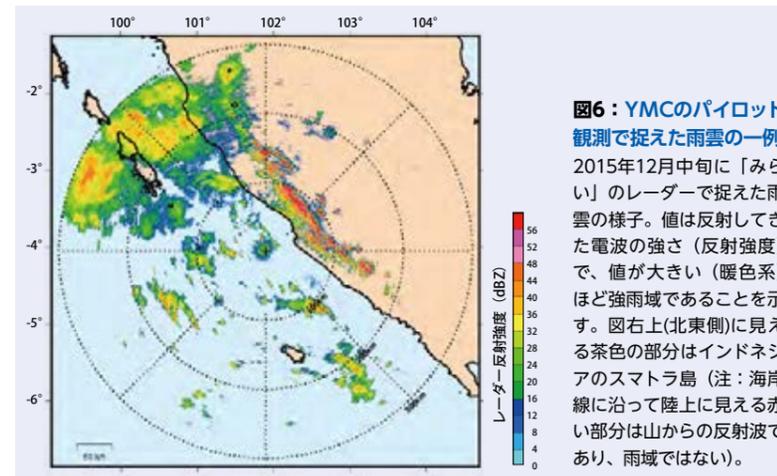


図6: YMCのパイロット観測で捉えた雨雲の一例 2015年12月中旬に「みらい」のレーダーで捉えた雨雲の様子。値は反射してきた電波の強さ(反射強度)で、値が大きい(暖色系)ほど強雨域であることを示す。図右上(北東側)に見える茶色の部分はインドネシアのスマトラ島(注:海岸線に沿って陸上に見える赤い部分は山からの反射波であり、雨域ではない)。



図7:「海大陸」での雲の観測 YMCでの観測中に「みらい」船上から撮った写真。白い球形のカバーのなかに、レーダー観測用のパラボリアンテナが収められている。

である水蒸気を大気の下層の方に徐々に蓄え、その後MJOが発生する、という様子が捉えられました。

また、MJOの構造は、これまで東西方向が主に注目されてきましたが、CINDY2011では南北構造も明らかになりました。観測中、赤道にはアメリカの研究船「ロジャー・レビル」が、赤道から1,000kmほど離れた南には「みらい」が位置していました。その両者では雨雲の様相はまったく異なっていました。赤道では、「MJOの前は晴れ、MJOは雨」という従来の概念通りの変化だったのに対し、赤道から離れた「みらい」では「MJOの前は雨、MJOの発生時には晴れ」というまったく反対の状況が観測されたのです。

新レーダーを装備した「みらい」で海大陸へ

「みらい」レーダーの老朽化が心配されていた2014年、「みらい」に新たなレーダーが設置されることになりました。

新たなレーダーには多くの性能向上が施されました。特に「二重偏波」という新機能は、従来の横向きに振動する電波に加え、縦向きに振動する電波も同時に観測するものです。これによ

て、雨雲のなかの雨粒のかたちに関する情報が得られ、粒の種類(雨なのか、雪なのか、霰なのか……)の判別や、降水量の高精度推定などが可能となります。二重偏波レーダーを搭載した船は「みらい」が世界初です。この新しい観測機器を携え、私たちは2015年に「海大陸」と呼ばれる海域で観測を行いました(図6)。

海大陸というのは、インドネシア周辺の、海と陸(島)が複雑に入り組んだ地域のことです。海水温は高く、降雨量も多い場所です。MJOはインド洋で発生しますが、海大陸でさまざまな変化をします。

観測では、MJOの到来前と到来後で、動きや高さがまったく異なる雨雲が捉えられました。MJOの到来前は毎日規則的に島から海へやって来た雨雲が、MJOの到来後は、沖合側から不規則にやって来るようになったのです。MJO到来前に観測された大雨や雷、竜巻などは、MJO到来後にはしばらくと途絶えました。こうした現象が、レーダーで捉えられた雨雲のなかの構造とどのように結び付いているのかが非常に興味深

いところで、現在解析を続けているところと

ころです。この観測は「海大陸研究強化年(YMC)」(2017~19年)の先行研究として2015年に行われましたが、現在はYMC本番の観測研究も進み、興味深いデータが取得されつつあります(図7)。

雨雲を捉える旅は今後も続く

今日紹介したのは、主にMJOを対象とした観測研究です。一方、2008年からは、夏のアジア太平洋域の気候・気象に大きく影響する「北半球夏季季節内振動(BSISO)」の観測研究も開始されました(図4)。こうした重要な現象の観測研究は今後も継続していきたいと考えています。また個人的には、南太平洋収束帯(SPCZ)やベンガル湾、南シナ海の雨、あるいは台風など、多くの降雨があるにもかかわらず観測データの乏しい海域・現象での観測にも、いずれチャレンジしたいと思っています。

また、将来の観測研究には、高解像度の空間分布観測が必要だと考えています。そのためには、雨雲と、それを取り巻く大気、そして海洋、それぞれの空間構造を捉えることのできる最新の機器群を組み合わせることが必要です。こうしたことを考え始めたのはしばらく前のことですが、その一部は「みらい」二重偏波レーダー、あるいは雲の外をレーザーで観測する「ライダー」、海を移動しながら観測する無人ボート「ウェーブライダー」などで実現しつつあります。こうした最新の観測機器を組み合わせ、さまざまな場所に行き、さまざまな雨雲を捉える旅を、まだこれからも続けていきたい。そう、私は考えています。 **BE**

Information

JAMSTECと任天堂『スプラトゥーン2』が コラボレーション

JAMSTECは、子どもから大人まで国内外で多くの方に親しまれているNintendo Switch™専用ソフト『スプラトゥーン2』と連携して、海洋科学技術に親しみながら学ぶための取り組み「Jamsteeec 海と地球をカガクしなイカ?」を実施しています。

公式サイトでは、「海と地球を学んじょうコラム」や「イカ研究所&JAMSTEC 共同研究」などを掲載。夏休み期間中には、JAMSTEC 横浜研究所にてパネル展示などを開催します。詳しくは「イベント情報」をご覧ください。



<http://www.jamstec.go.jp/sp2/>

『Blue Earth』定期購読のご案内

<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メールまたは電話でお申し込みください。
Eメールの場合は、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(フリガナ) ③ 所属機関名(学生の方は学年) ④ TEL・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冊本体286円+税+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

〒237-0061 神奈川県横浜須賀野市夏島町2番地15
海洋研究開発機構 横須賀本部 広報部 広報課
TEL.046-867-9052

Eメール info@jamstec.go.jp

ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。

*定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号(160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案内

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



*お預かりした個人情報は、『Blue Earth』の発送や確認のご連絡などに利用し、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。

賛助会 (寄付) 会員名簿 2018年6月30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は、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。(アイウエオ順)

- | | |
|--------------------|-------------------|
| 株式会社IHI | 株式会社カネカ |
| 株式会社アイケイエス | 川崎汽船株式会社 |
| 株式会社アイワエンタープライズ | 川崎近海汽船株式会社 |
| 株式会社アクト | 川崎重工業株式会社 |
| 朝日航洋株式会社 | 川崎地質株式会社 |
| アジア海洋株式会社 | 株式会社環境総合テクノス |
| 株式会社天野回漕店 | 株式会社キュービック・アイ |
| 株式会社アルファ水工コンサルタンツ | 共立インシュアランス・ブローカーズ |
| 株式会社安藤・間 | 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 |
| 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 | 極東貿易株式会社 |
| 潮冷熱株式会社 | 株式会社きんでん |
| 株式会社エス・イー・エイ | 株式会社熊谷組 |
| 株式会社エスイーシー | クローバテック株式会社 |
| 株式会社SGKシステム技研 | 株式会社グローバルオーシャン |
| 株式会社エヌエルシー | 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 | KDDI株式会社 |
| 株式会社江ノ島マリンコーポレーション | 京浜急行電鉄株式会社 |
| 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 | 神戸ベイント株式会社 |
| 沖電気工業株式会社 | 広和株式会社 |
| 海洋エンジニアリング株式会社 | 国際石油開発帝石株式会社 |
| 海洋電子株式会社 | 国際ビルサービス株式会社 |
| 株式会社化学分析コンサルタント | 株式会社COAST |
| 鹿島建設株式会社 | コスモス商事株式会社 |

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 株式会社コノエ | 株式会社ソリッド・ソリューションズ |
| 株式会社コベルコ科研 | 株式会社ソルトン |
| 五洋建設株式会社 | 損害保険ジャパン日本興亜株式会社 |
| 株式会社コンボン研究所 | 大成建設株式会社 |
| 相模運輸倉庫株式会社 | タイハツディーゼル株式会社 |
| 佐世保重工業株式会社 | 太陽日酸株式会社 |
| 三洋テクノマリン株式会社 | 有限会社田浦中央食品 |
| 三和化成工業株式会社 | 株式会社竹中工務店 |
| 株式会社ジーエス・ユアサテクノロジ | 株式会社地球科学総合研究所 |
| JFEアドバンテック株式会社 | 中国塗料株式会社 |
| 株式会社JSP | 中部電力株式会社 |
| 株式会社JVCケンウッド | 株式会社鶴見精機 |
| シチズン時計株式会社 | 株式会社社帝国機械製作所 |
| シナネン株式会社 | 株式会社テザック |
| 株式会社シーフロアコントロール | 寺崎電気産業株式会社 |
| 清水建設株式会社 | 株式会社寺本鉄工所 |
| 清水港振興株式会社 | 電気事業連合会 |
| シモダフランチ株式会社 | 東亜建設工業株式会社 |
| シュルンベルジェ株式会社 | 東海交通株式会社 |
| 株式会社昌新 | 洞海マリンシステムズ株式会社 |
| 株式会社商船三井 | 東京海上日動火災保険株式会社 |
| 新日鉄住金エンジニアリング株式会社 | 東京製綱繊維ロープ株式会社 |
| 須賀工業株式会社 | 株式会社東京チタニウム |
| 鈴与株式会社 | 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 |
| 株式会社清友農材センター | 株式会社東陽テクノカ |
| 株式会社関ヶ原製作所 | 株式会社清友製作所 |
| 石油開発サービス株式会社 | トビー工業株式会社 |
| 石油資源開発株式会社 | トーホーテック株式会社 |
| セコム株式会社 | 新潟原動機株式会社 |
| セナーアンドバーンズ株式会社 | 西芝電機株式会社 |
| | 株式会社ニシヤマ |

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 日油技研工業株式会社 | 古河機械金属株式会社 |
| 株式会社日産電機製作所 | 古河電気工業株式会社 |
| ニッスイマリン工業株式会社 | 古野電気株式会社 |
| 日東電工株式会社 | 株式会社ベッツ |
| 株式会社日放電子 | 松本徽章株式会社 |
| 日本アキュムレータ株式会社 | マリメックス・ジャパン株式会社 |
| 日本エヌ・ユー・エス株式会社 | 株式会社マリン・ワーク・ジャパン |
| 日本海工株式会社 | 株式会社マルトー |
| 日本海洋株式会社 | 三鈴マシナリー株式会社 |
| 日本海洋掘削株式会社 | 三井E&S造船株式会社 |
| 日本海洋計画株式会社 | 株式会社三井E&Sマシナリー |
| 日本海洋事業株式会社 | 三井住友海上火災保険株式会社 |
| 一般社団法人日本ガス協会 | 三菱重工業株式会社 |
| 日本軽金属株式会社 | 三菱スペース・ソフトウェア株式会社 |
| 日本サルヴェージ株式会社 | 三菱造船株式会社 |
| 日本水産株式会社 | 三菱電機株式会社 |
| 日本電気株式会社 | 三菱電機特機システム株式会社 |
| 日本ペイントマリン株式会社 | 株式会社森京介建築事務所 |
| 日本マントル・クレスト株式会社 | 八洲電機株式会社 |
| 日本無線株式会社 | ヤンマー株式会社 |
| 日本郵船株式会社 | 郵船商事株式会社 |
| 株式会社ハイドロシステム開発 | 郵船ナブテック株式会社 |
| 濱中製鋼工業株式会社 | 株式会社ユー・エス・イー |
| ハリマ化成株式会社 | 株式会社落雷抑制システムズ |
| 東日本タグボート株式会社 | 株式会社ラジアン |
| 日立造船株式会社 | 株式会社ロボット |
| 深田サルベージ建設株式会社 | |
| 株式会社フグロジャパン | |
| 株式会社フジクラ | |
| 富士ソフト株式会社 | |
| 富士通株式会社 | |
| 富士電機株式会社 | |

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 神奈川県横浜須賀野市夏島町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 沖縄県名護市宇豊原224番地3
TEL. 0980-50-0111 (代表)

海と地球の情報誌 Blue Earth 第30巻 第3号 (通巻155号) 2018年7月発行

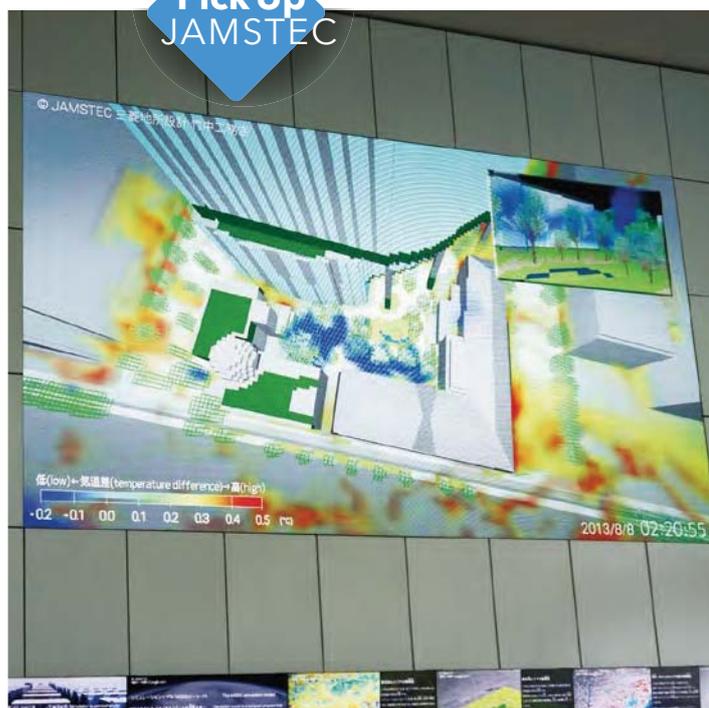
発行人 村田範之 国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部
編集人 田村真正 国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部 広報課
Blue Earth 編集委員会

制作・編集協力 有限会社フォトンクリエイト
取材・執筆・編集 立山 晃 (p8-19, p22-25)、鈴木志乃 (p1-7, p26-27、裏表紙)
岡本典明/ブックライト (p28-31)、坂元志歩 (p20-21)
デザイン 株式会社デザインコンビビア
(飛鳥井羊右、山田純一、岡野祐三)

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。

大型ディスプレイに表示された「東京ヒートアイランド～東京圏内都市の熱環境シミュレーション」(左)と「ジオ・コスモス」に映し出された大気汚染物質拡散シミュレーション



日本科学未来館でJAMSTEC提供のシミュレーション動画を展示開始！

東京・お台場にある日本科学未来館を訪れると、まず目に入ってくるのが、1階から6階までの吹き抜け空間に浮かぶ直径6mの「ジオ・コスモス」だ。1000万画素を超える高解像度でさまざまな地球の姿を映し出す、日本科学未来館のシンボル展示である。この「ジオ・コスモス」に2018年6月20日から新コンテンツが加わった。JAMSTECが提供した、大気汚染物質の拡散をシミュレーションした化学天気予報の動画だ。都市部や工業地帯で発生した大気汚染物質が、国境を越え、地球全体に拡散していく様子が映し出される。

また、1階コミュニケーションロビーの大型ディスプレイのコンテンツも更新され、JAMSTECが提供した「東京ヒートアイランド～東京圏内都市の熱環境シミュレーション」が公開されている。東京湾臨海部やみなとみらい21地区などの真夏の気温について、熱環境に関わるあらゆる要素や効果を組み込み、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」によって高精度・高解像度でシミュレーションしたものである。それらは、都市計画への活用が期待されている。

日本科学未来館を訪れた際には、ぜひJAMSTECの研究活動をご覧ください。