

Blue Earth

海と地球の情報誌

163

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ISSN 1346-0811
2020年2月発行
年4回発行
第32巻 第1号
(通巻163号)



1 特別記事

最後の生物大量絶滅の原因か?
隕石衝突の痕跡を南鳥島沖で発見!

2 特集

JAMSTECの 研究フィールドは 地球まるごと

18 社会とつながるJAMSTEC

ボードゲームで
北極研究をアウトリーチ

最後の生物大量絶滅の原因か？ 隕石衝突の痕跡を南鳥島沖で発見！

取材協力 野崎達生
海洋機能利用部門 海底資源センター
地質地球化学グループ グループリーダー代理

3億年前から現在までに少なくとも11回、生物が大量絶滅するイベントがあったことが知られている。最後に起きた大量絶滅は約1160万年前だ。それ以前の10回については、隕石衝突や火成活動、あるいは酸素の欠乏した海が広がる海洋無酸素事変など、大量絶滅の原因となった可能性のあるイベントの痕跡が発見されている。しかし最後の大量絶滅イベントだけは原因が不明だった。

そのような中、野崎さんらは北西太平洋・南鳥島沖の深海堆積物から、隕石衝突に由来する堆積物層を発見。その年代を約1100万年前と推定した。年代測定の誤差の範囲内で時期が重なることから、海洋への隕石衝突が1160万年前の大量絶滅を引き起こした可能性がある。

今回の発見は、レアアース泥と呼ばれる海底鉱物資源の調査を主目的に、2014年に海洋地球研究船「みらい」のピストンコアラーという装置で採取したコア試料からもたらされた。

「コア試料中に、オスミウムという元素が異常に濃集した特異な層を見つけました。その異常に高いオスミウム濃度と低い同位体比（¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os）は、マントルを構成するかんらん岩の混入、あるいは宇宙起源物質の混入でしか説明できません」

そう語る野崎さんらは、さらに化学組成分析や顕微鏡観察を行い、その特異層に、宇宙起源の隕石由来物質と地球表層の堆積物が混在していることを明らかにした。「隕石衝突によって生成されたと推定される球状粒子やニッケルに富むスピネル（尖晶石）も多数含まれていました。私たちは隕石が衝突した証拠を発見したのです」

年代	生物大量絶滅の原因
約1160万年前	不明
約3600万年前	隕石衝突
約6600万年前	隕石衝突、火成活動、海洋無酸素事変?
約9420万年前	火成活動、海洋無酸素事変
約1億1600万年前	火成活動、海洋無酸素事変
約1億4500万年前	隕石衝突
約1億8270万年前	火成活動、海洋無酸素事変
約2億130万年前	火成活動、海洋無酸素事変
約2億1500万年前	隕石衝突
約2億5220万年前	火成活動、海洋無酸素事変
約2億5980万年前	火成活動、海洋無酸素事変

3億年前から現在までの生物大量絶滅イベント
Rampino and Caldeira (2017) を一部改変

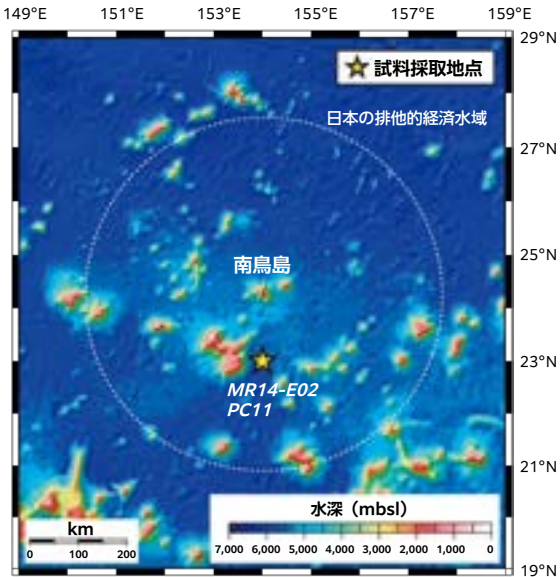
陸上では、約1100万年前に隕石が衝突した跡（クレーター）は見つかっていないため、この隕石は深海底に衝突したと考えられる。深海底に衝突した隕石の痕跡は発見が難しく、約251万年前に南氷洋（南極海）に衝突したエルタニン（Eltanin）隕石しか知られていない。今回の発見は、深海底に衝突した隕石の2例目の痕跡である可能性が高い。

イリジウムという元素は、地球表層の地殻や堆積物にはわずかにしか含まれていないが、隕石衝突によって地球表層で高濃度に検出されるケースがある。今回、南鳥島沖で発見された堆積物層のイリジウム濃度は、恐竜絶滅を引き起こした6600万年前の隕石衝突に伴う堆積物層よりやや低いものの、カナダに直径約90kmのクレーターを形成し生物大量絶滅を引き起こした、約2億1500万年前の隕石衝突による堆積物層に匹敵する高い値だった。

「約1100万年前の隕石衝突は、かなり大規模だった可能性があります。今後は、ほかの海域のコア試料についても研究を行い、衝突した隕石のサイズや衝突地点を推定して、地球環境や生物に与えた影響などを詳しく解明していきたいと思います」

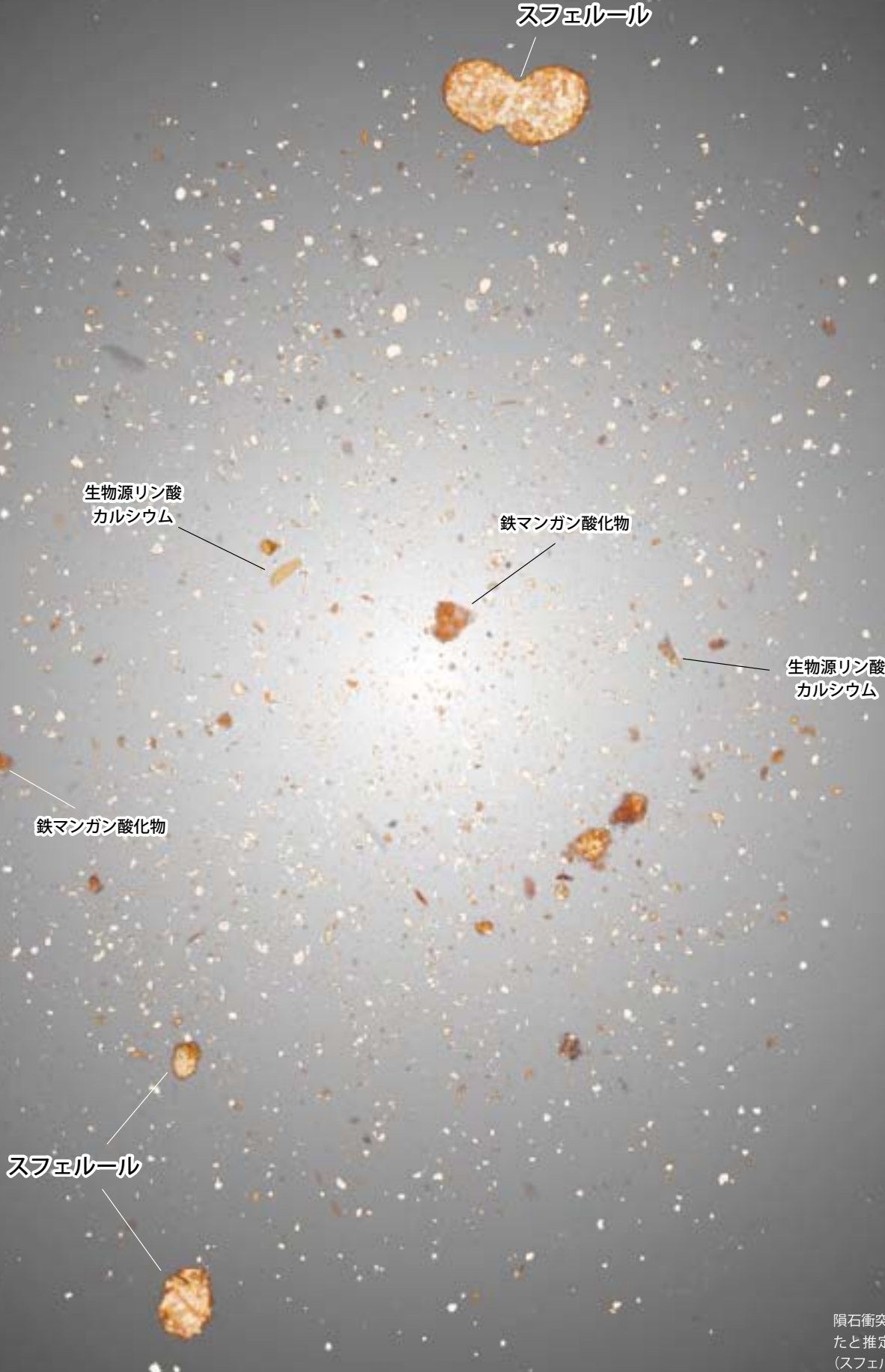
BE

（文・立山 晃／フotonクリエイト）



隕石衝突の痕跡を発見したコア試料の採取地点

500μm



隕石衝突によって生成されたと推定される球状粒子（スフェルール）

JAMSTECの研究フィールドは地球まるごと

JAMSTECの研究対象は、海洋だけではない。

陸、大気、さらには海底下にも及ぶ。

そこで生きる微生物から動物、植物までのあらゆる生物、

また現在だけでなく過去、そして未来もだ。

地球まるごとを相手に展開している

JAMSTECの研究活動を紹介しよう。

海底下から採取されたコア試料（柱状の地質試料）の比抵抗値を測定する研究者。地球深部探査船「ちきゅう」による国際深海科学掘削計画（IODP）第358次研究航海「南海トラフ地震発生帯掘削計画」にて。【研究プラットフォーム運用開発部門】



©JAMSTEC/IODP

国内8つの研究機関や企業から若手が集まって結成された「Team KUROSHIO」が国際海洋ロボットコンペティション「Shell Ocean Discovery XPRIZE」に参加。写真は、2018年12月に行われた決勝に当たるRound 2実海域競技のときのミッションコントロールルーム。準優勝を収めた。



詳しくは「海洋と地球のWEBマガジン #JAMSTEC From OCEAN」へ

高知コアセンターのスーパークリーンルームでのコア試料の分析。コアは、「ちきゅう」によるIODP第370次研究航海「室戸沖限界生命圏掘削調査」によって採取された。海底下生命圏の温度の限界を探り、生命圏がどの深度まで広がっているかを明らかにすることを目指している。

【超先鋭研究開発部門】



採水器によってさまざまな深度から採取してきた海水を、分析項目ごとに取り分ける。海洋地球研究船「みらい」の甲板にて。【地球環境部門】



撮影：杉江恒二/JAMSTEC



有人潜水調査船「しんかい6500」の定員は3人。パイロットが2人乗船していたが、改修工事を行い、2018年10月からパイロット1人による運航ができるようになった。写真は、ワンマンパイロットによる初めての潜航。

【研究プラットフォーム運用開発部門】

表紙：「みらい」による北極航海で行われた係留気球観測の様子。上空のブラックカーボンやエアロゾル粒子の個数や大きさの計測、サンプリングを行った。164号にて詳細を紹介しします。【地球環境部門】

撮影：竹谷文一/JAMSTEC



撮影：佐藤智紀/JAMSTEC



北極ボードゲーム体験会の様子。北極ボードゲームについては本誌18ページ参照。【地球環境部門】

日本の最東端に位置する南鳥島周辺の海底でドレッジ（船とケーブルでつないだ容器を引きずって海底の堆積物や岩などを採取する）を実施。海底火山と海洋プレートの成因を探る鍵となる火山岩試料が引き揚げられるのを待ちわびる研究者たち。

【海域地震火山部門】

世界の海へ

地球表面の7割を占める海。

近年、ペルー沖の熱帯太平洋の海面水温が上昇するエルニーニョ現象や、北極海における海水の減少など、さまざまな変動が起きている。海の変動は、異常気象の発生や地球温暖化など気候変動に影響を及ぼす。

大気中に増加した二酸化炭素を海洋が吸収することで起きる海洋酸性化や、プラスチックごみによる汚染も深刻だ。

そうした課題を解決するには、まず現在の海の姿を知ることが不可欠である。研究者たちを乗せた船は、北へ南へ、東へ西へ、世界の海に行く。

「みらい」から撮影した南極海の海水。南極の周辺では冷やされて重くなった海水が沈み込み、底層水となって全海洋に広がっていく。南極底層水の生成量の変化は、地球規模の気候変動を引き起こす。【地球環境部門】



撮影：土居知将／JAMSTEC

日本ーパラオ親善ヨットレースに参加した「トレッキー号」(右)と伴走する帆船「みらいへ」に採取装置を設置し、レース中にマイクロプラスチックの調査を実施した。レースは、2019年12月29日に横浜ベイブリッジを出発して太平洋を南下、パラオまでの3,197kmを航走。「トレッキー号」は2020年1月8日、2着でフィニッシュした。マイクロプラスチックの観測データが少ない海域も通っているため、貴重なデータとなる。【地球環境部門】



詳しくは「海洋と地球のWEBマガジン #JAMSTEC From OCEAN」へ



出来たての氷が広がる北極海を進む「みらい」。海水が凍った氷の結晶が集まり円盤状の蓮葉氷となり、蓮葉氷が結合しながら大きく成長していく。北極域は地球温暖化の影響が最も顕著に出現する地域であり、継続的な観測により変化を捉えることが重要だ。【地球環境部門】

撮影：竹谷文一／JAMSTEC



バブアニューギニアの北方、熱帯太平洋の赤道上に浮かぶトライトンブイと月。トライトンブイは、深度750mまでの海水温度と塩分、大気温度と降水量などを観測する。データは人工衛星を通じてリアルタイムで陸に送られ、エルニーニョ現象の研究や発生予測、天気予報などに利用されている。トライトンブイの回収・設置を行う「みらい」から撮影。

【地球環境部門】

海の中へ

海は広いだけでなく、深い。
最も深いのはマリアナ海溝チャレンジャー海淵で、
水深約1万900mだ。地球全体の海を平均すると
水深約3,800mである。
太陽の光が届くのは表層だけ。
水深が数百mを超えると、真っ暗な世界になる。
船の上からでは見えない海の姿を知るため、
観測装置を下ろし、探査機を送り、人も行く。

提供：川合義美／JAMSTEC

「白鳳丸」から海に投入され、降下していくCTD採水システム。CTDは海水の塩分、水温、圧力（深度）を計測するセンサーで、採水器の下部に取り付けられている。円状に並んでいる縦長の筒が採水器で、異なる深度の海水を採取できる。【地球環境部門】

「しんかい6500」の着水後、搭乗した研究者がのぞき窓から撮影した、深海潜水調査船支援母船「よこすか」の船尾。2019年8月に行われた伊豆・小笠原海域の研究航海にて。海の透明度が高く、15mほど離れた「よこすか」のプロペラも鮮明に見える。【超先鋭研究開発部門】

撮影：Chen Chong／JAMSTEC



北極海の海水の下。2016年、小型の自律型無人潜水機（AUV）試作機を用いて、海水下の自律航走に日本で初めて成功した。塩分、水温、深度などを測定し、海水下の映像の撮影を行った。【地球環境部門】

北極の海水下を自律して航行できる極域用海中観測ドローンの開発を行っている。写真は水槽試験の様子。【地球環境部門】

あふれる生命

地球は多様な生命に満ちあふれている。

もちろん海もだ。生命は海で誕生したと考えられている。

しかし、海は広く深いため、そこにくらす生物たちについて分かっていないこともまだ多い。

私たちが気付いていない、有用な機能を持つ生物もいるだろう。

また、海水温上昇や海洋酸性化、海底資源開発などによって

海洋生態系に影響が出ることが危惧されており、

モニタリングや対策が必要だ。



マリアナ海溝の水深8,178mで撮影されたシンカイウサオの仲間。映像とセンサーに基づく正確な水深の両方が記録された魚類の出現記録としては世界最深である。餌にはヨコエビが群がっている。4Kカメラを搭載した自動昇降式の観測装置によって、2017年に撮影された。【地球環境部門】

©JAMSTEC/NHK/Marianas Trench Marine National Monument U.S. Fish and Wildlife Service



インド洋の深海熱水活動域でのみ生息が知られている腹足類スケーリーフット。2019年、国際自然保護連合（IUCN）レッドリストに絶滅危惧種として登録された。将来的な海底資源開発による生息環境攪乱を考慮したもので、世界で初めての例である。

【超先鋭研究開発部門】

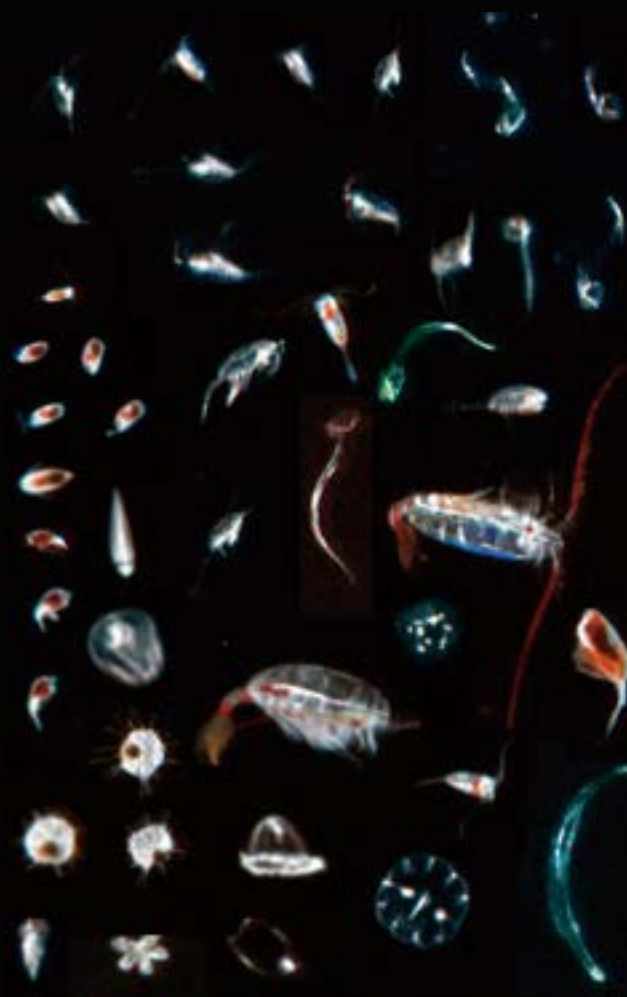
撮影：Chen Chong／JAMSTEC

「しんかい6500」ののぞき窓から撮影した熱水噴出孔に群がる生物群集。インド洋のエドモント熱水フィールド、水深3,300m。熱水に含まれる硫化水素などの化学物質を利用して有機物をつくる生物を一次生産者とする、化学合成生態系が形成されている。深海熱水活動域は、生命の進化や起源を考える上で非常に重要な環境である。

【超先鋭研究開発部門】



撮影：Chen Chong／JAMSTEC



真核生物の祖先に最も近縁なアーキアであるPrometheoarchaeum syntrophicum MK-D1株の走査型電子顕微鏡写真。真核生物の祖先に最も近縁なグループのアーキアの培養に成功したのは、世界で初めて。写真は増殖が終わるころの細胞形態で、触手状の長い突起をつくり、小胞（矢印）を細胞外に放出する。私たち人間を含む真核生物がどのように誕生したかを知る大きな手掛かりとなる。

【超先鋭研究開発部門】

提供：井町寛之／JAMSTEC

ビジュアル・プランクトン・レコーダー（VPR）が捉えたプランクトン。2016年に行われた北極海の太平洋側に位置するチュクチ海の調査で撮影された画像を、実物と同じ比率で組み合わせる。VPRはデジタルカメラとリングストロボを組み合わせた暗視野水中顕微鏡のような装置で、小型プランクトンの鮮明なカラー映像を撮影できる。光合成によって二酸化炭素を吸収した植物プランクトンがほかの生物に食べられ、そのふんや死骸が沈んでいくことで、二酸化炭素は表層から深海へと運ばれる。炭素循環の鍵を握っていることに加え、プランクトンの種類や量が変わると食物連鎖を通じて生態系全体に影響が広がることから、プランクトンの調査は非常に重要である。【超先鋭研究開発部門】

提供：Lindsay Dhugal／JAMSTEC

「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」において、海底下2,466mから採取した石炭層に固有の微生物群集が存在することを発見。写真は、培養に成功した微生物群集。これまで最も深く、堆積物1cm³当たり100細胞以下と極めて微量であることから、海底下深部の生命圏の限界域に到達したことを示唆している。【超先鋭研究開発部門】

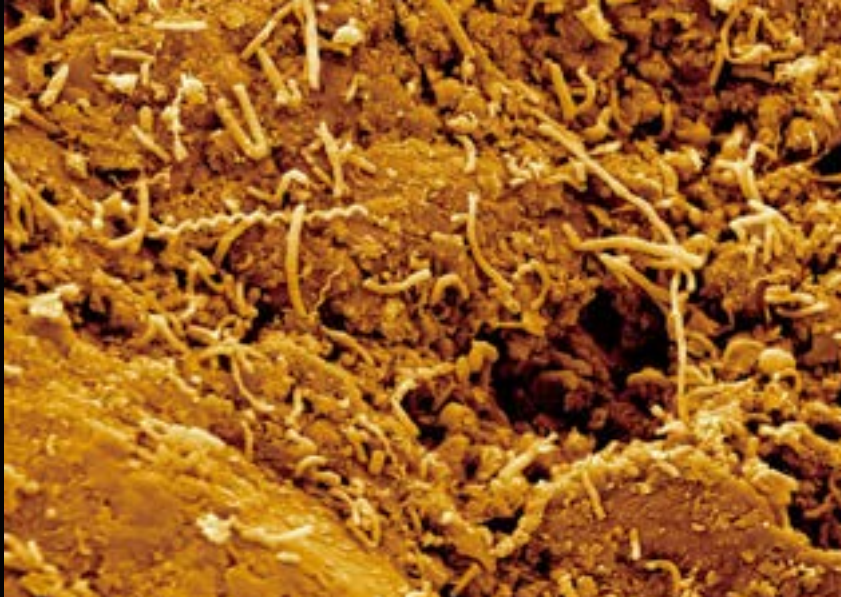
奥尻島周辺の海底地形図。奥尻島沖では1993年に北海道南西沖地震（M7.8）とそれに伴う大津波が発生し、甚大な被害が出た。JAMSTECでは地震発生後から現在まで震源域付近で多くの観測・研究を行ってきており、それらの調査航海で得られた海底地形と海上保安庁や大洋水深総図（GEBCO）などの地形データなどを統合して、赤色立体地図を作成した（アジア航測株式会社が保有の特許技術）。斜度を赤色にすることで地形の起伏が強調され、複雑な地形となっていることが分かる。【海域地震火山部門】

提供：野 徹雄／JAMSTEC

日本の南東約1,800km沖にある拓洋第5海山の南斜面において、無人探査機「かいこうMk-IV」を用いてコバルトリッチクラストを採取している様子。コバルトリッチクラストは、コバルト、ニッケル、白金などのレアメタルやレアアースを含み、将来の鉱物資源として有望とされている。【海洋機能利用部門】



提供：鈴木勝彦、飯島耕一／JAMSTEC



海の底へ、さらにその下へ

詳細な海底地図があるのは、海洋全体の10%ほど。

私たちが知っている海底は、ごくわずかだ。

最近の調査によって、日本周辺の深海底には、コバルトリッチクラストやレアアース泥などさまざまな資源が存在していることが報告されている。

また、巨大地震を発生させるプレート境界の挙動を捉えるのに、海底は格好の場である。

さらに海底下に目を向けると、そこには巨大な生命圏が存在していることが分かってきた。

「ちきゅう」によるIODP第358次研究航海「南海トラフ地震発生帯掘削計画」において、2018年12月、海洋科学掘削として世界最深となる海底下深度3,262.5m（水深1,939m）まで到達した。写真は、海洋科学掘削として世界最深となる海底下深度2,836.5mから2,848.5mの区間で採取した計約2.5mのコア試料。【研究プラットフォーム運用開発部門】



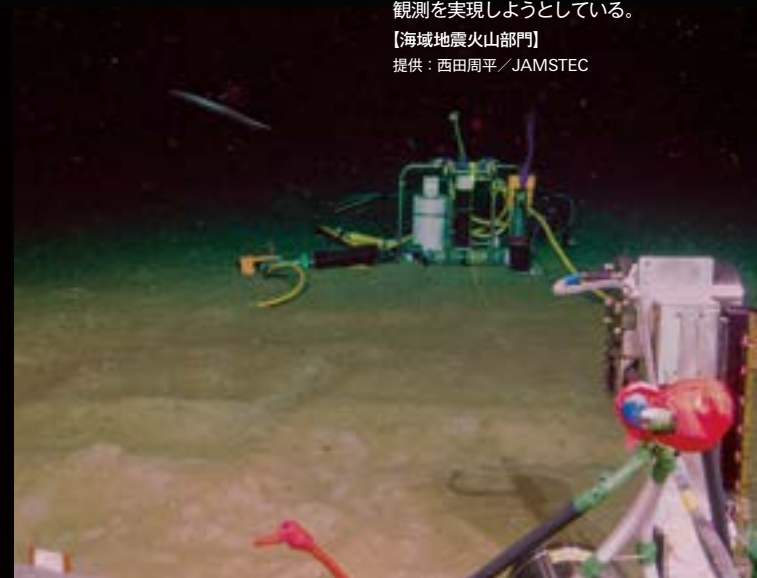
©JAMSTEC/IODP

地殻変動を観測する海底水圧計（奥）の現場校正を、移動式水圧校正装置（手前）で行っている様子。海底が上下すると水圧が変化するため、海底水圧計を用いることで地殻変動を観測できる。海底水圧計は東南海地震震源域である紀伊半島沖熊野灘に展開している地震・津波観測監視システム（DONET）で使用されているが、時間がたつと計測値が真の値からずれていってしまうという問題がある。現場校正を行うことで、高精度な地殻変動観測を実現しようとしている。

【海域地震火山部門】
提供：西田周平／JAMSTEC

2012年に行われた「ちきゅう」によるIODP第343次研究航海「東北地方太平洋沖地震調査掘削」では、海底下820m付近から巨大地震と大津波を引き起こしたプレート境界断層のコア試料を採取し、掘削孔に温度計を設置。温度計は8カ月後に回収し、震源断層の摩擦熱を直接計測することに成功した。写真は、水深6,897.5mの日本海溝の海底の様子で、掘削孔に温度センサーを設置し切り離すところ。【研究プラットフォーム運用開発部門】

©JAMSTEC/IODP



※DONETはJAMSTECが開発・設置したもので、2016年4月に防災科学技術研究所に移管され、運用されています。

陸へ

地球表面の3割しかない陸だが、そこには変化に富んだ地形が広がり、多様な生物たちがくらしている。海底や地球内部にあった地層や岩石が、地殻変動によって陸上に現れていることがある。

それらは、地球の過去や内部の様子を語ってくれる。

地球温暖化の進行を把握し、未来を予測する上でも、陸は重要だ。人間活動で大気に放出された二酸化炭素のうち、約30%が海に、約30%が陸に吸収されていると見積もられている。

陸は、これからも二酸化炭素を吸収し続けることができるのだろうか。そして実は、そもそも陸がどのようにできたのか分かっていない。

ロシア・サハ共和国における典型的なカラマツ林の様子。林床より撮影。植生物理量や植物季節（季節によって変化する植物の状態）など衛星観測の地上検証に必要なデータを長期的に取得している。【地球環境部門】 撮影：永井 信／JAMSTEC



アラスカに出現した永久凍土の露頭。この永久凍土は、地表面が冷却されて収縮して生じた割れ目に地下水が入って凍結してできた巨大なくさび状の氷を含むもので、エドマ層と呼ばれる。河川によって侵食されて現れた露頭で、光っているのが氷の部分、黒く見えているのが土壌部分。氷が融解すると、捉えられていたメタンや二酸化炭素などの温室効果ガスが直接大気に放出され、また融解した土壌炭素が分解されて新たな温室効果ガスを生成する。

【地球環境部門】



撮影：斉藤和之／JAMSTEC



2017年7月に「よこすか」から撮影した小笠原諸島・西之島の噴火の様子。西之島の海底と陸上に噴出した溶岩の採取・分析を行った結果、西之島直下のマントルが融解して安山岩質マグマを噴出していることが明らかになった。安山岩質マグマは、大陸地殻を形成する原料である。西之島の噴火は、かつて地球で大陸がつくられた様子を再現していると考えられる。

【海域地震火山部門】

撮影：田村芳彦／JAMSTEC

撮影：佐藤智紀／JAMSTEC



アラビア半島の東端に位置するオマーンでは、海洋プレートが地表に乗り上げたオフィオライトと呼ばれる岩体が露出している。海洋プレートは地殻とマントル上部から成り、海底を掘らなくてもマントルについて調べることができる。ただし、それはマントルの化石のようなものだ。マントルまで掘削し、マントルの物質を直接採取しようという計画が検討されている。【海域地震火山部門】

撮影：永井 信／JAMSTEC



マレーシア・サラワク州ランビルオイルパーム農園に設置された高さ30mの観測タワー。観測タワーの上部において、タイムラプスカメラや光量子センサーを用いて植物季節の連続観測を行っている。【地球環境部門】



「みらい」の巨大なドームの中にドップラーレーダーのアンテナがある。パラボラアンテナから観測対象の雲に向けて電波を発射し、降水粒子（雨粒や雪）に当たって戻ってきた電波の強度や周波数のずれ（ドップラー効果）から、雲の中の降水粒子の位置・量・動きを測定できる。写真は、「海大陸」と呼ばれる東部インド洋から西部太平洋にかけての海と陸の混在域での気象・気候現象の理解を目指す国際プロジェクト「YMC」の研究航海にて。【地球環境部門】
撮影：勝俣昌己／JAMSTEC



南極昭和基地のPANSYレーダー。PANSYは南極最大の大型大気観測レーダーで、対流圏から電離圏に至る上空約500kmまでの3次元風速やプラズマの温度と密度を高分解能・高精度で観測できる。南極は人間の生活圏と隔絶されているため、ノイズが少なく大気観測に適している。しかし、環境は過酷だ。強風や低温に耐え、省電力で、南極の自然にも配慮した設計となっている。奥に南極観測船「しらせ」が見える。【地球環境部門】
©JARE60

空へ

大気もまた、広く、高い。
その状態を知るには、遠く離れた場所を測れるレーダーやバルーンを用いた観測なども必要になる。
熱や水、そして窒素やエアロゾルなどの物質が大気と海と陸の間を巡っている。それらは地球温暖化を促進あるいは抑制するなど、気候や気象に大きく影響する。しかし、さまざまな種類の物質や、熱などのエネルギーがどこでどれだけ排出され、どのように輸送され、どこにどんな形で吸収・蓄積されるか、分らないことはまだ多い。例えば、二酸化炭素は植物の光合成によって大気から吸収されるが、一方で、植物の呼吸は二酸化炭素を大気に排出もしている。こういった物質やエネルギーが実際に大気中に入出入りする量、すなわち収支を把握することが重要だ。



撮影：小林秀樹／JAMSTEC

アラスカにあるポーカーフラットリサーチレンジ（PFRR）フラックス観測スーパーサイト。高さ17mのフラックス観測タワーを中心に、周囲の針葉樹林帯に設置した観測機器で構成されている。北極域の気象や温室効果ガスが大気中へ出入りする量（フラックス）、植物の季節変化などを観測する。【地球環境部門】



北極海上でのオゾンゾンデ放球。大気中のオゾン濃度を計測するオゾンゾンデ観測は、北極沿岸の観測点で行われているが、北極海上で行われたのは2014年のこのときが初めてである。オゾンゾンデ放球の様子を360度カメラで撮影。【地球環境部門】

コンピュータの中から

雲の生成や海流、地震の発生……、自然の現象はどれも複雑だ。

その現象のメカニズムを理解しようとするときに役立つのが、

コンピュータ・シミュレーションである。

あらゆる現象は、物理法則に基づいた数式の組み合わせで表現できる。

その数式をコンピュータで計算することで、

現象をコンピュータの中に再現し、詳しく解析できるようになるのだ。

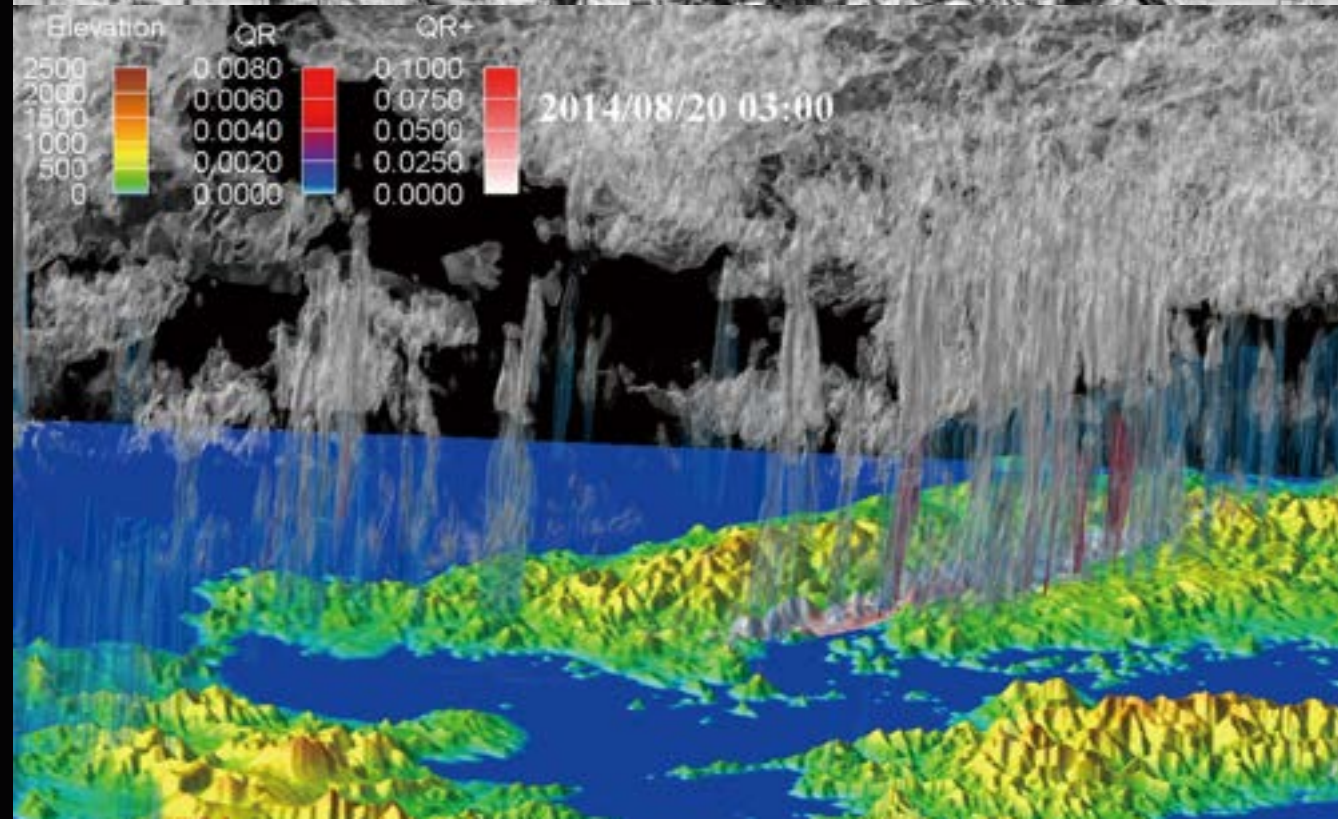
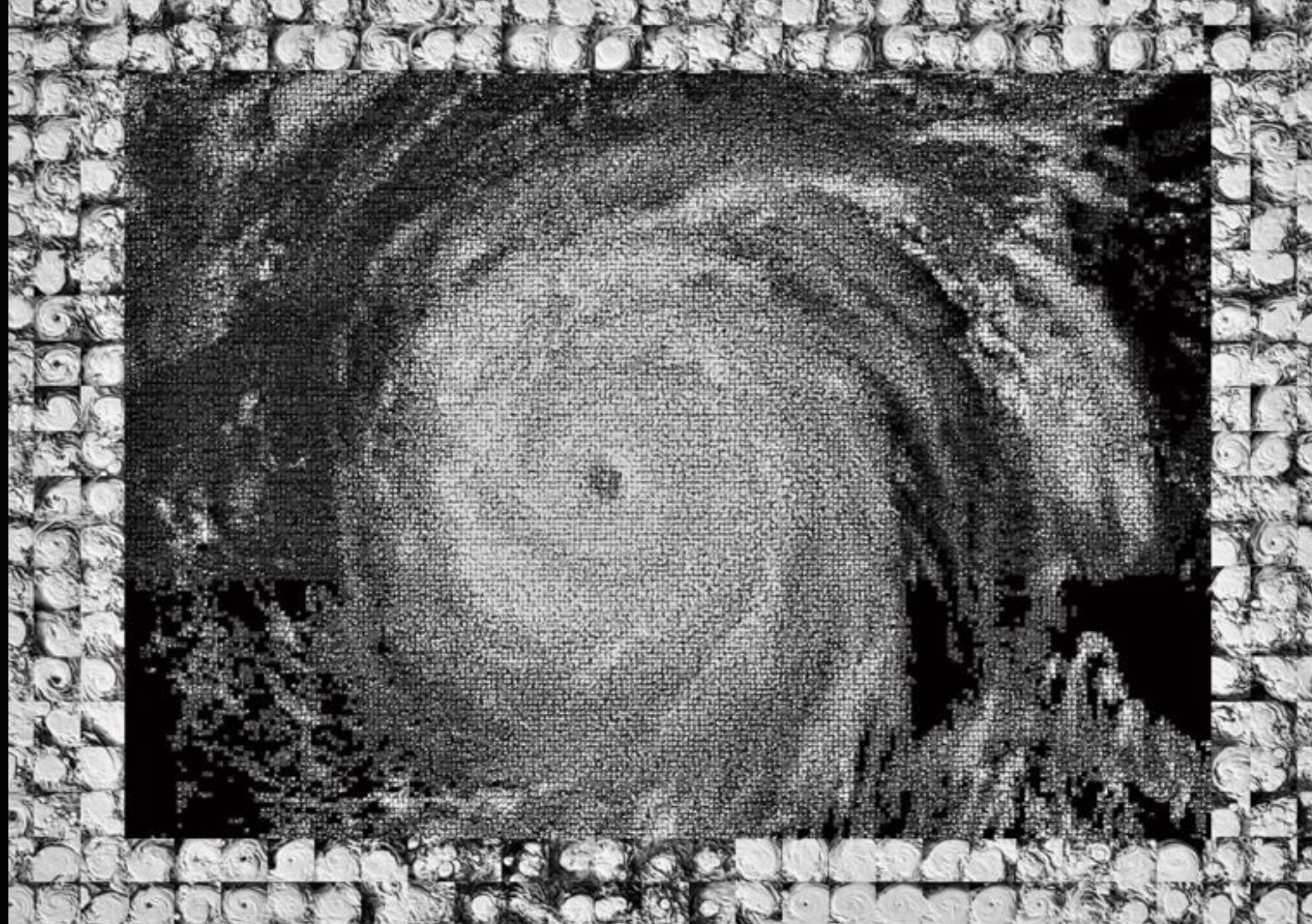
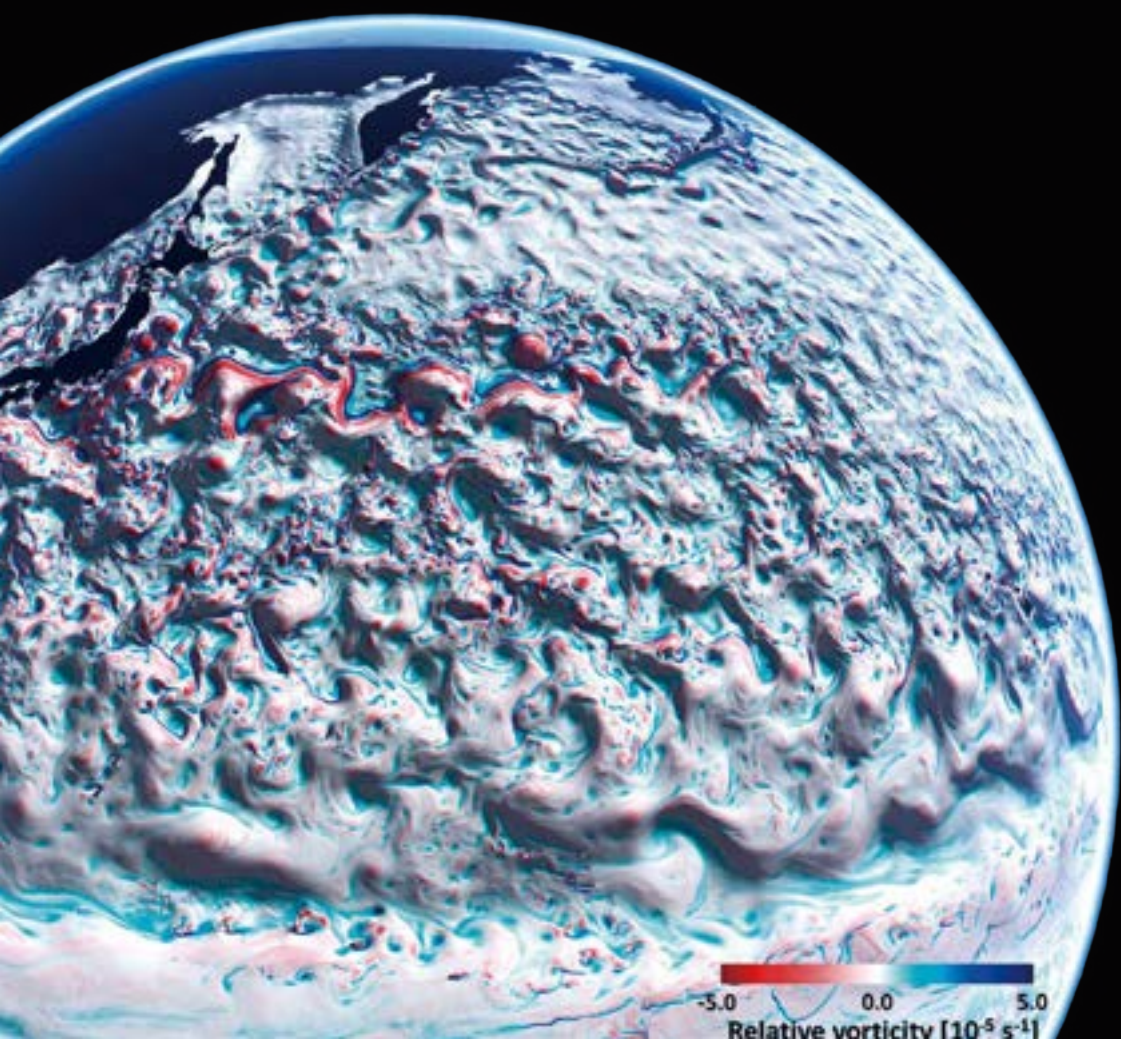
それによって、観測や実験では分からなかった現象のメカニズムや本質が見えてくる。

過去や未来も、実験ができない巨大な現象も、微小な現象も——つまり地球まるごと——

コンピュータの中に表現できる。BE

北西太平洋の表層水の流れの様子を、超高解像度の海洋大循環モデルOFESを用いて、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」上で計算した結果。渦の強さを色（暖色は時計回り、寒色は反時計回り）で、海面の高さを陰影で可視化している。この計算により、微小な渦が直径100～300kmの中規模渦の発生に大きな影響を及ぼすこと、中規模渦を活性化させることで海洋循環の季節変動に関わっていることを、世界で初めて明らかにした。一見すると平らに見える海の表面にも、多くの凹凸があることも分かる。【付加価値情報創生部門】

提供：佐々木英治、松岡大祐／JAMSTEC



ディープラーニングによって、全球雲解像モデルNICAMの気候実験データから熱帯低気圧と発達前の“タマゴ”の状態の雲を高精度に検出する方法を開発した。NICAMの20年分の気候実験データから熱帯低気圧とその“タマゴ”の状態の雲画像5万枚、熱帯低気圧に発達しなかった低気圧の雲画像100万枚を切り出し、学習させることで可能になった。写真は、学習に使った雲画像を1つの大きな熱帯低気圧に見えるように並べたもの。

【付加価値情報創生部門、地球環境部門】

提供：松岡大祐、中野満寿男／JAMSTEC

2014年8月20日未明に広島市では線状降水帯がもたらした豪雨によって土石流が発生した。この豪雨は、広島県南西部で次々と発達した積乱雲が風下で大雨を降らせるバックビルディング型の特徴を持っていた。この現象の再現には積乱雲の発達を精緻に再現することが重要であり、高い解像度で数値気象予報をする必要がある。スーパーコンピュータ「京」を用いることで、これまでの計算機では難しかった超高解像度の計算ができるようになり、再現に成功した。研究を進めることで、災害をもたらす豪雨の予測精度向上に貢献することが期待される。白は雲、赤は降水強度を表す。地上の白と赤は積算雨量を表す。【付加価値情報創生部門】

提供：大泉 伝／JAMSTEC

（構成：鈴木志乃／フォトンクリエイト）

ボードゲームで 北極研究をアウトリーチ

北極は現在、急速に海氷が減少するなど、かつてないスピードで変化しつつある。

JAMSTECが参画するArCS（北極域研究推進プロジェクト）では、研究成果発信の取り組みの1つとして、日本科学未来館と協働で、北極の「今」と「未来」を考えてもらうボードゲームを制作した。一般公開などで体験会を実施し、幅広い年齢層の体験者から好評を博している。

「北極ゲーム」はどのようにしてつくられたのか。

このボードゲームを通じて研究者が伝えたいことは？

JAMSTECでボードゲームの制作に携わった木村元さんと渡邊英嗣さんの2人に話を聞いた。

北極ゲーム（正式名称は「The Arctic - Arctic Challenge for Sustainability -」）のメインボードに氷タイルを配置した状態を撮影した。タイルを取り扱うとボードに描かれた北極の地図が現れる。実際の北極海の海氷は、ロシア側が比較的薄く、カナダ側が厚い。ゲームでもそれを模しており、最も厚い6mmのタイルはカナダ側に偏って置くようになっている。

北極ゲームでは、左の大きな写真に写るメインボードと、小さな写真に写るサブボードを使用する。メインボードでめくった氷タイルをサブボード上の所定の位置に置いていく。サブボード上部には、選択イベントや投票イベントに対応した対策が並んでいる。プレイヤーは予算との兼ね合いで対策を実行するかどうかを決めていく。

社会科学の研究を融合させて、政策決定者の意思決定をサポートするような研究成果を出していくことを目指している。

日本科学未来館のイベントでは、自然科学研究と人文・社会科学の双方の観点から、北極の生態系の変化と人間社会の関わりをテーマとする講演が行われた。また、海洋地球研究船「みらい」の北極航海の際に採取した海氷（特大サイズ!）やプランクトン、北極先住民の道具なども展示された。「講演会にはたくさんの小学生が参加してくれて、研究者にたくさんの質問が投げ掛けられました」と、このイベントを企画した木村さん。

研究成果を発信する手段としては講演会が一般的だが、講演会では来場者にしか内容を伝えられない。また、平日の昼間など中高生が来場できない日時に開かれることが多い。「イベントの好評を受け、講演会に来られない若い年齢層の人たちにも情報発信したい、また自然科学研究と人文・社会科学の連携による研究成果の発信を継続していきたいと考えて、ArCSの研究者の一部と日本科学未来館とで話し合い、ゲーム形式の学習ツールを制作してみてはどうかということになりました」

ArCS側では木村さんが中心となり、日本科学未来館の科学コミュニケーター（以下、SC）と検討を進めた。「最初はサイコロを振って駒を進めるすごろくのようなゲームをつくってみたいでしたが、研究と社会のつながりをなかなかうまく表現できませんでした。そこで、まずは市販されているボードゲームについて調査してみることにしました」

ボードゲームカフェに足を運んだり、国内の研究プロジェクトが作成したゲームを体験したり、海外の研究機関が作成したボードゲームについて調べたりした結果、いくつかの大事なポイントがあることに気付いたという。「今回のボードゲームでは、北極について知るという教育的な要素が非常に大事です。そうはいつでもゲームは楽しくなければ遊んでもらえません。もう一つ大事なのが利便性です。例えば駒や紙幣などのパーツが増えると準備が煩雑になり、プレイするのに時間もかかります。教育性とゲーム性に加えて利便性の3つのポイントを満たすことが必要だと分かりました」

日本科学未来館のSCと検討を重ね、その検討結果を持ち帰り、ArCSの研究者から意見を聴取する。そして、また日本科学未来館の

北極で起きていることを考えるきっかけに

ゲームのメインボードを広げると、そこには北極の地図が描かれている。日本では普段あまり目にする事のない、北極を真上から見た地図だ。その地図上に、海氷を模した合計33枚のタイルを置いてゲームをスタートする。

海水タイルの厚さは6mm、4mm、2mmと3種類ある。最も薄い2mmのタイルからめくっていき、薄いタイルを一定枚数めくり終えたら、順々に厚いタイルをめくっていく。タイルの裏にはゲームのイベントの番号とタイトルが書かれており、「イベントブック」という冊子の中の対応ページを見て、そこに書かれている指示に従いなが

らゲームを進めていく。

北極では近年、急速に海水減少が進んでいる。そのような北極の自然環境の変化は、生態系に影響を与えるだけでなく、北極に暮らす人々の生活を脅かしている。一方、海水が溶けたことで、ヨーロッパとアジアの間の海上輸送の距離を大幅に短縮できる北極海航路の利用や、北極域に眠る石油や天然ガスなどの資源の開発に関心が集まっている。現在、さまざまなことが絡み合いながら、北極の社会は変化しつつある。

このゲームでは、タイルをめくすることで、海氷が減少していく様子を体験できる。イベントブックには、海氷が減ったときに何が起きる

のかなどが書かれている。「このゲームを通じて、北極で進む海水減少と、それに伴う北極の社会の変化を体感し、北極について考えるきっかけにしてほしい」。そう語るのは、JAMSTECで国際法を研究している木村元さんだ。

研究成果を継続的に発信する手段として

2018年1月、ArCSと日本科学未来館とが共催で、北極に関するイベントを日本科学未来館で開催した。

ArCSは国立極地研究所、JAMSTEC、北海道大学の3機関が中心となって進めてきた研究プロジェクトで、自然科学の研究と人文・

SCと検討する。それを何度も繰り返した、と木村さんは振り返る。
ボードゲーム制作メンバーは、ArCSのさまざまな分野の研究者8人で構成されている。JAMSTECでは木村さんと渡邊さんを含め、4人の研究者がゲーム制作に関わった。会議では、各研究者の研究内容や、それらの研究が互いにどのような接点があるのか、といったことについて全員で話し合った。「その結果を私と日本科学未来館のSCとで整理し、ゲーム会社のアドバイスも得ながら、ゲームのコンテンツを調整していきました」と木村さん。

「各研究者の専門が細かく分かれており、盛り込みたい内容はたくさんありました。ただ全てを入れるわけにはいきません。取捨選択するのが研究者としては悩ましかったですね」と渡邊さん。渡邊さんはJAMSTECで数値モデルによる北極海のシミュレーションなどを行う研究者だ。「完成したゲームは、自然科学の研究と人文・社会科学の研究とがうまく盛り込まれたものになっています」

役割に成り切って北極を考える

ゲームのプレイヤーは、海洋学者、文化人類学者、漁業者（水産業者）、先住民、開発業者、外交官という6つの役割のいずれかに成り切ってゲームに参加する。ゲームでは「環境」「文化」「経済」という3つのパラメーターが設定されており、ゲームが進行する＝海氷が減少するのに伴って、パラメーターの数値が変動する。プレイヤー

が最初に受け取る役割カードには、プレイヤーがゲーム終了時に達成すべきパラメーターの数値が載っている。

海氷タイルをめくったときに出るイベントには、「発生」「選択」「投票」という3種類がある。「発生」は、例えば海洋酸性化のような強制的に起こるイベント、「選択」はタイルをめくったプレイヤーが対策を採用するかどうかを決めるイベント、「投票」は全員の投票によって対策を採用するかどうかを決めるイベントだ。対策を採用するかどうかを決めるには、プレイヤー間の議論が重要になる。

なぜ役割に成り切る＝ロールプレイングを導入したのか？「例えば北極で情報インフラを整備するかどうかについて決定するように言われても、子どもたちが自分で判断し、自分の意見を言うことは難しいと思います。そこで、役割に成り切ることで発言しやすくなるだろうと考えて『役割』を導入しました」と木村さん。

投票イベントが出たときには、各プレイヤーがそれぞれの役割に成り切って、議論をした上で多数決によって採用するかどうかを決める。「互いに膝を突き合わせて議論できるのが、ボードゲームの良いところです。正解はありません。各プレイヤーには、それぞれの立場で、どう行動するかを考えてもらいます」

ただし全体の予算が設定されており、全ての対策を採用することはできないようになっている。ゲームの途中で予算が尽きてしまうと、投票イベントや選択イベントで、対策を採用することができなく



2019年11月2日、JAMSTEC横須賀本部施設一般公開で行われた「北極ボードゲーム体験会」の様子。

なる。プレイヤーは予算との兼ね合いを考えながら、対策を採用するかどうかを判断していくことになる。

「実は自分の勝利だけを目指していると、なかなかクリアできない設定になっています」と渡邊さん。「相手の立場も考えつつ、意見を交換しながらみんなで一緒に対策を取らないとクリアできないことが、ゲームを進めるうちに分かるようになっています」

ゲームの体験者からは大好評

このボードゲームは、日本科学未来館では一般向けのほか、学校などの団体向けに活用されている。JAMSTEC、北海道大学、国立極地研究所の3機関では、一般公開や大学の講義、出前授業などで活用することが予定されている。

研究者がファシリテーターを務めるときは、イベントブックの内容を研究者が説明する。「私たちが伝えたいのは、イベントブックの内容です。ただその内容を伝えたくても、冊子を渡しただけでは読んでくれる人は少ないでしょう。ゲームを進める中で読んでもらい、例えば海氷が減ると生態系にどのような影響を与えるのか、といったことを知ってもらいたいのです」と渡邊さん。

JAMSTECではこれまで主に、施設一般公開のときに体験会を実施してきた。ゲームを体験したのは小学生が多かった。「中高生を想定してつくったゲームなので、小学生では途中で飽きてしまうのではないかと心配でした。ところがゲームを始めると、とても楽しんでプレイしてくれました。ゲームを通じて北極について新しい見方ができたという人も多いです。北極の研究をするにはどうしたらいいかと質問する人もいました。予想以上の反響がありましたね」と渡邊さんは言う。

現在のイベントブックは中高生向けにつくられているため、これとは別に文章表現を小学生向けに変えたイベントブックを制作中とのことだ。

「持続可能な北極」について考えてほしい

最も薄い2mmのタイルを一定枚数めくると、次に4mmの中間の厚さのタイルをめくっていく。これはより厚い海氷が溶けていくことを表現しており、より海氷が溶けたときに起こり得ること（イベント）が、4mmのタイルの裏には書かれている。そして最も厚い6mmのタイルの裏には、これから起こるかもしれない非常に重大な事態（イベント）が書かれており、パラメーターに大きく作用する。

ただ本当に重大な事態が起きるかどうかは、実はそれ以前により薄い氷タイルをめくってきた中で、どのような対策をしてきたかによって異なってくる。「ゲームが終わってから、あのとき対策をしておけばこれは防げたのに、というような議論をしてほしい」と木村さんは語る。最後に暗いイベントが出てくるのはプレイヤーにとって楽しくないのではないかという意見も、制作段階では出たという。研究や政策などで対策しておくことで、重大な事態を防ぐことができるということを感じてほしいのです」

「このゲームにはどのような対策をすればよいかについて正解はありませんし、勝ち負けも重要ではありません」と木村さん。「現在、北極の環境は急激に変化しています。環境の変化は、北極に暮らす人々の生活に大きな影響を与えています。一方、環境の変化は、例えば航路を利用したい人や資源を開発したい人にとってはチャンスになります。北極では、現在、さまざまな立場や事情が複雑に絡み合っていることを理解してもらいたいですし、そこからさらに、持続可能な北極とはどういうものだろうということを考えてほしいのです」

高校の授業などで国連のSDGs（持続可能な開発目標）を取り上げる際にも利用できる素材になっているという。研究者が学校などに outward 出前授業での利用や、ゲームの貸し出しも可能なので、興味を持たれた方はぜひ連絡していただきたい。

（文・岡本典明／ブックブライト）



制作メンバーのArCS研究者と日本科学未来館の担当者で、テレビ会議システムも利用し、何度も会合を行った。写真は2019年2月に日本科学未来館で行われた会合の様子である。北極で起きている現象や、各研究者の研究テーマなどをホワイトボードに貼り出しながら、丸1日かけて打ち合わせを行った。



イベントブックの内容の例。投票イベントや選択イベントでは、「Q」の項目があり、取り決めづくりや調査などの対策を行うかどうかがかかれている。対策を取るかどうか、投票イベントではみんなで議論して決め、選択イベントでは自分で考えて決めていく。

Pick Up
JAMSTEC

「みらいへ」全航跡

日本-パラオ親善ヨットレースで
海洋プラスチック調査を実施

2020年1月14日、帆船「みらいへ」がパラオ・コロール港に入港した。「日本-パラオ親善ヨットレース」の伴走船として、2019年12月29日に横浜ベイブリッジを出発。太平洋を南へ、3,197kmを航走してきた。

「みらいへ」には、JAMSTECの千葉早苗さんら3人が海洋プラスチック調査チームとして乗船。「みらいへ」と競技艇「トレッキー号」にマイクロプラスチック採取装置が設置され、レース中に海水からマイクロプラスチックの採取を行っていた。「みらいへ」には、パラオの子どもたち6人も乗船。17日間の航海中、海洋の教育プログラムに参加したり、ネット用いた採取調査を行ったりした。「トレッキー号」は2着でフィニッシュ。1月15日の表彰式では、JAMSTEC理事の阪口 秀さんから「トレッキー号」と「みらいへ」に感謝状が贈呈された。

採取されたマイクロプラスチックはJAMSTECで分析中だ。分布などを知る貴重なデータとなる。



▶詳しくは「海洋と地球のWEBマガジン
#JAMSTEC From OCEAN」へ



賛助会 (寄付) 会員名簿 2020年2月10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しては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。(アイウエオ順)

株式会社IH
株式会社IH原動機
株式会社アイケイエス
株式会社アイウェンテンプライズ
株式会社アクト
朝日航洋株式会社
アジア海洋株式会社
株式会社大野回漕店
株式会社アルファ水工コンサルタンツ
株式会社安藤・間
いであ株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所
伊藤忠テクノソリューションズ
株式会社
潮冷熱株式会社
株式会社エス・イー・エイ
株式会社エスイーシー
株式会社SGKシステム技研
株式会社エヌエルシー
株式会社NTTデータCCS
株式会社NTTファシリティーズ
株式会社江ノ島マリナーコーポレーション
株式会社MOLマリン
株式会社MTS雪氷研究所
株式会社OCC
岡本硝子株式会社
株式会社オキシーテック
沖電気工業株式会社
海洋エンジニアリング株式会社
海洋電子株式会社
株式会社化学分析コンサルタント
鹿島建設株式会社
株式会社カネカ
川崎汽船株式会社
川崎近海汽船株式会社

川崎重工工業株式会社
川崎地質株式会社
株式会社環境総合テクノス
株式会社キュービック・アイ
共立インシュアランス・ブローカーズ
株式会社
共立管財株式会社
極東貿易株式会社
株式会社きんてん
株式会社熊谷組
クロバテック株式会社
株式会社グローバルオーシャン
ディベロップメント
株式会社KSP
KDDI株式会社
京浜急行電鉄株式会社
鉦研工業株式会社
株式会社構造計画研究所
神戸ペイント株式会社
広和株式会社
株式会社COAST
国際石油開発帝石株式会社
国際ビルサービス株式会社
コスモ商事株式会社
株式会社コノエ
株式会社コベルコ科研
五洋建設株式会社
株式会社コンボン研究所
相模運輸倉庫株式会社
佐世保重工業株式会社
三洋テクノマリン株式会社
三和化成工業株式会社
株式会社ジー・エス・ユアサテクノロジ
株式会社シーフロアコントロール
株式会社JSP

JX石油開発株式会社
JFEアドバンテック株式会社
株式会社JVCケンウッド
静岡市
シチズン時計株式会社
シナネン株式会社
清水建設株式会社
清水港振興株式会社
シモダフランチ株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社
シュルンベルグ株式会社
株式会社巴島新
株式会社商船三井
鈴与株式会社
セイコーウォッチ株式会社
株式会社清友素材センター
株式会社関ヶ原製作所
石油開発サービス株式会社
石油資源開発株式会社
セコム株式会社
セナーアンドバーンズ株式会社
株式会社ソリッド・ソリューションズ
株式会社ソルトン
損害保険ジャパン日本興亜株式会社
ダイキンMRエンジニアリング
大成建設株式会社
ダイハツディーゼル株式会社
大陽日酸株式会社
有限会社田浦中央食品
株式会社竹中工務店
株式会社地球科学総合研究所
中国塗料株式会社
中部電力株式会社
株式会社鶴見精機
株式会社帝國機械製作所

株式会社テザック
寺崎電気産業株式会社
株式会社寺本鉄工所
電気興業株式会社
東亜建設工業株式会社
東海交通株式会社
洞海マリンシステムズ株式会社
東京海上日動火災保険株式会社
東京製綱繊維ロープ株式会社
株式会社東京チタニウム
東北環境科学サービス株式会社
東洋建設株式会社
株式会社東陽テクニカ
株式会社東和製作所
トーヨーテック株式会社
トビー工業株式会社
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
株式会社日産電機製作所
ニッスイマリン工業株式会社
日鉄エンジニアリング株式会社
日東電工株式会社
株式会社日放電子
日本アキュムレタ株式会社
日本アドバンステクノロジー株式会社
株式会社日本インテリジェントビジネス
日本エヌ・ユー・エス株式会社
日本海工株式会社
日本海洋株式会社
株式会社日本海洋科学
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
日本軽金属株式会社
日本サルヴェージ株式会社
日本水産株式会社
日本電気株式会社
日本ペイントマリン株式会社
日本メントル・クエスト株式会社

日本無線株式会社
日本郵船株式会社
野村建設株式会社
株式会社ハイドロシステム開発
濱中製鋼工業株式会社
ハリマ化成株式会社
東日本タグポート株式会社
日立造船株式会社
株式会社風力エネルギー研究所
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
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
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
株式会社マルト
三鈴マシナリー株式会社
三井E&S造船株式会社
株式会社三井E&Sマシナリー
三井住友海上火災保険株式会社
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
三菱造船株式会社
三菱電機株式会社
三菱電機特機システム株式会社
株式会社森京介建築事務所
ヤンマー株式会社
株式会社ユー・エス・イー
郵船商事株式会社
横河電機株式会社
株式会社ラジアン
株式会社ロボット