海と地球の情報誌

# Blue Earth

ISSN 1346-0811
2017年8月発行
隔月年6回発行
第29巻 第4号
（通巻150号）

JAMSTEC

150

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

# 宇宙の海に生命を探す

**恐竜を絶滅させた小惑星衝突の温度・圧力を高圧鉱物で確定する**

**深海2017、おすすめ展示**

**地震波を使って海底下を診る**

海と地球の情報誌
# Blue Earth 150
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology


1 **特集**
**宇宙の海に生命を探す**

14 **特別座談会**
私たちは宇宙に生命を探します
田村元秀
東京大学大学院 理学系研究科 教授
自然科学研究機構 アストロバイオロジーセンター センター長
矢野 創
宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 学際科学研究系 助教
海洋研究開発機構 深海・地殻内生物圏研究分野 招聘研究員
高井 研
海洋研究開発機構 深海・地殻内生物圏研究分野 分野長

22 **Aquarium Gallery**
番匠おさかな館
追星で戦う――カワムツ

24 **私がIODPで解きたい謎**
恐竜を絶滅させた
小惑星衝突の温度・圧力を
高圧鉱物で確定する
富岡尚敬
高知コア研究所
同位体地球化学研究グループ 主任技術研究員

28 **社会とつながるJAMSTEC**
深海2017、おすすめ展示を紹介
河戸 勝
海洋生物多様性研究分野 技術主任

30 **Marine Science Seminar**
地震波を使って海底下を診る
新井隆太
地震津波海域観測研究開発センター
プレート構造研究グループ 研究員

34 **海と地球の情報誌『Blue Earth』通巻150号記念**
バックナンバーのご紹介

40 **BE Room**
Information
『Blue Earth』定期購読のご案内

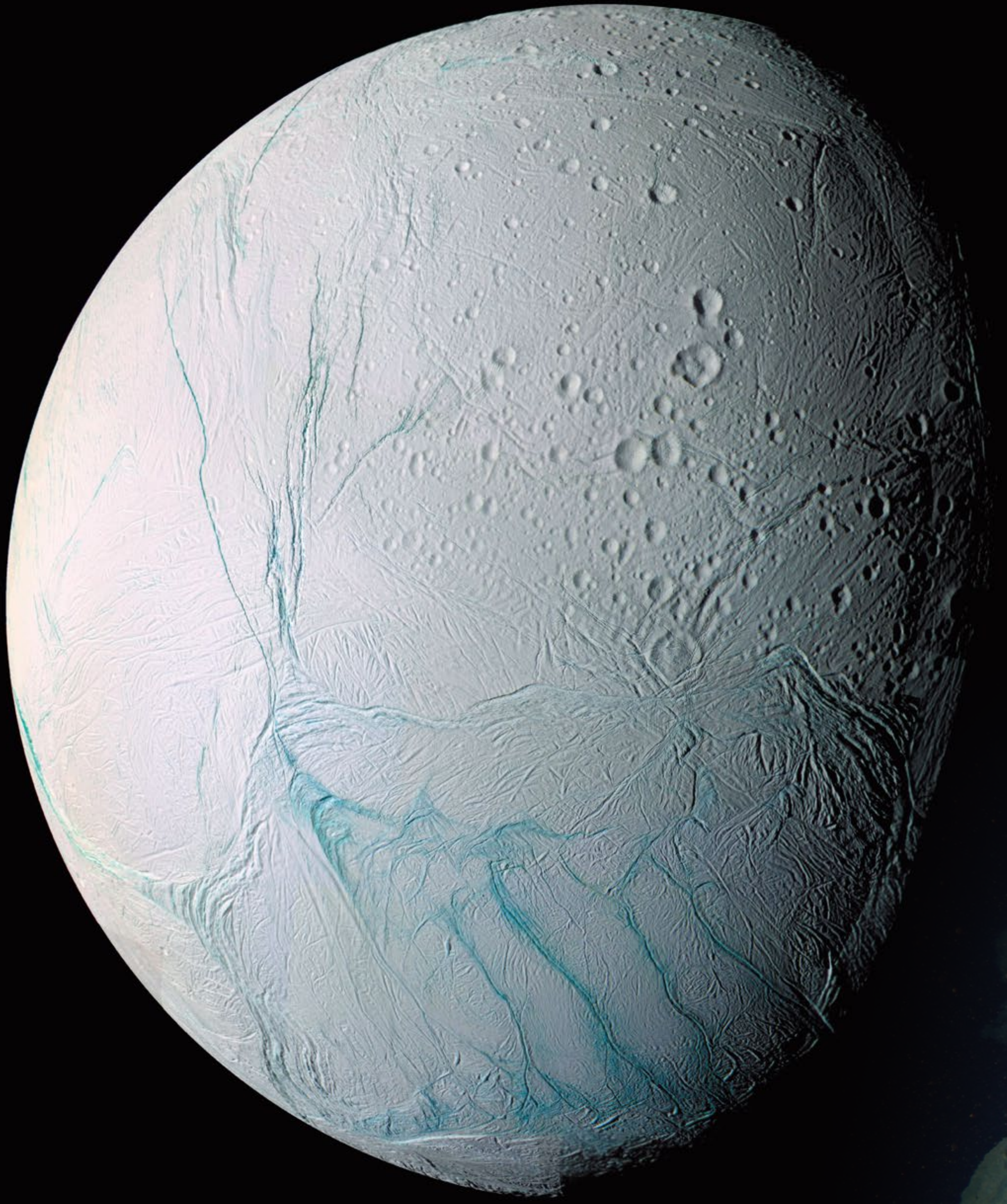
裏表紙 **Pick Up JAMSTEC**
「しんかい2000」機械遺産に認定


# 宇宙の 海に生命を探す

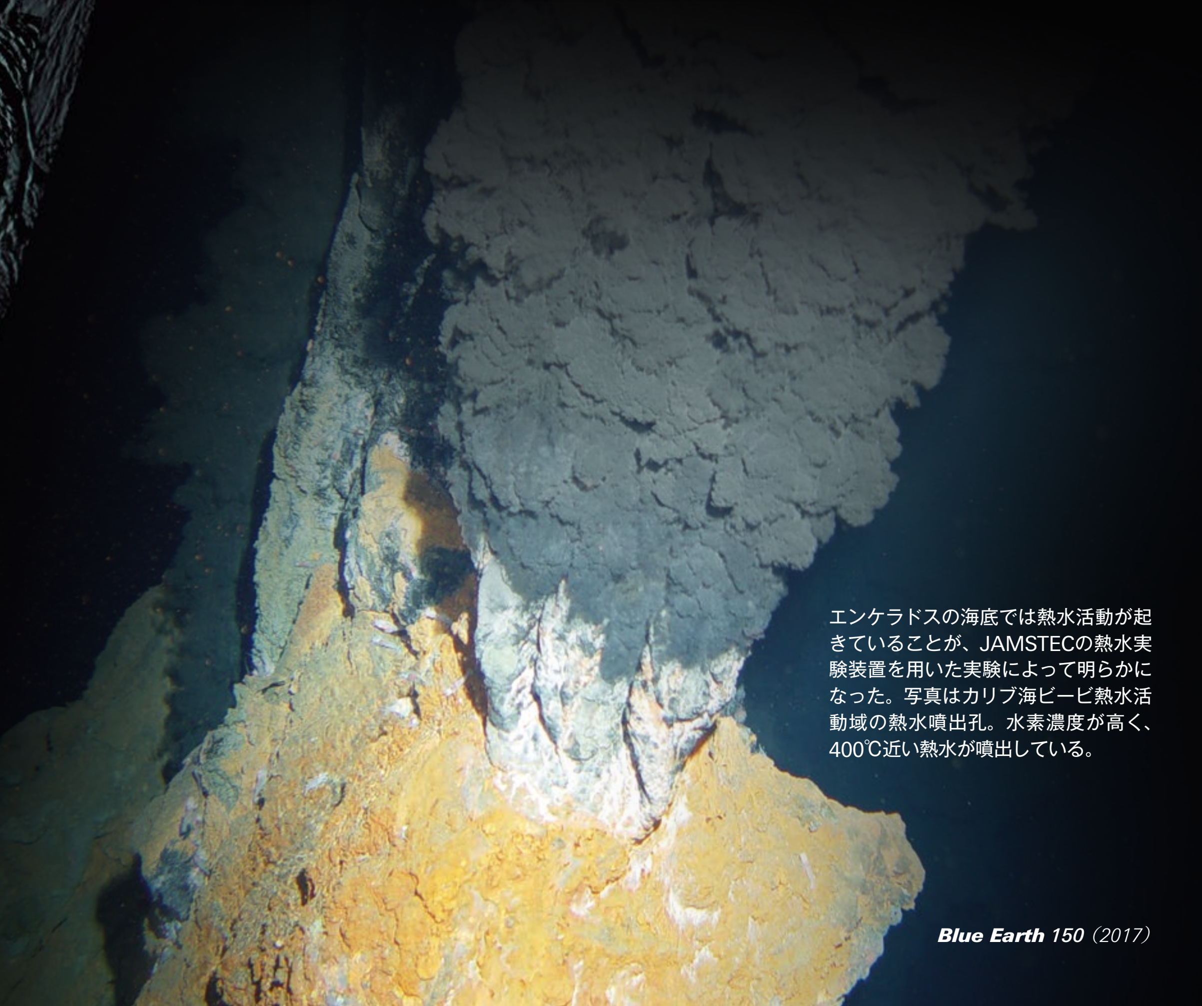
『Blue Earth』148号では私たちにつながる共通祖先は深海熱水噴出孔の周辺に暮らしていたこと、149号では無機物から生命誕生へ至るすべてのステップが深海の熱水活動域で起きた可能性が高いことを紹介してきた。それは、生命の誕生が偶然ではなく“必然”であり、条件がそろえば地球以外の天体にも生命が誕生し得ることを意味している。地球外生命の可能性、そしてそれを確かめる探査についての最新研究を紹介しよう。


**取材協力**

**高井 研** JAMSTEC 深海・地殻内生物圏研究分野 分野長
**関根康人** 東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 准教授
**渋谷岳造** JAMSTEC 深海・地殻内生物圏研究分野 研究員
宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 学際科学研究系 客員准教授
**矢野 創** 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 学際科学研究系 助教
JAMSTEC 深海・地殻内生物圏研究分野 招聘研究員
**藤島皓介** 東京工業大学 地球生命研究所 研究員
**高野淑識** JAMSTEC 生物地球化学研究分野 主任研究員

NASAの土星探査機「カッシーニ」が撮影した土星の第2衛星エンケラドス。生命が存在するかもしれないとして最も注目されている太陽系天体の1つである。直径500kmほどで、表面は氷に覆われている。北半球にはたくさんのクレーターがあるが、南半球にはクレーターが少なく、タイガー・ストライプと呼ばれる氷の割れ目が見える。クレーターが少ないのは現在も地質活動が起きていることを示唆し、氷の下には全球規模の液体の海があることも明らかになっている。
© Cassini Imaging Team, SSI, JPL, ESA, NASA



エンケラドスの海底では熱水活動が起きていることが、JAMSTECの熱水実験装置を用いた実験によって明らかになった。写真はカリブ海ビービ熱水活動域の熱水噴出孔。水素濃度が高く、400℃近い熱水が噴出している。

# 氷に覆われた土星の衛星エンケラドスが、 いま最も注目される理由。

取材協力
**関根康人**
東京大学大学院
理学系研究科
地球惑星科学専攻
准教授

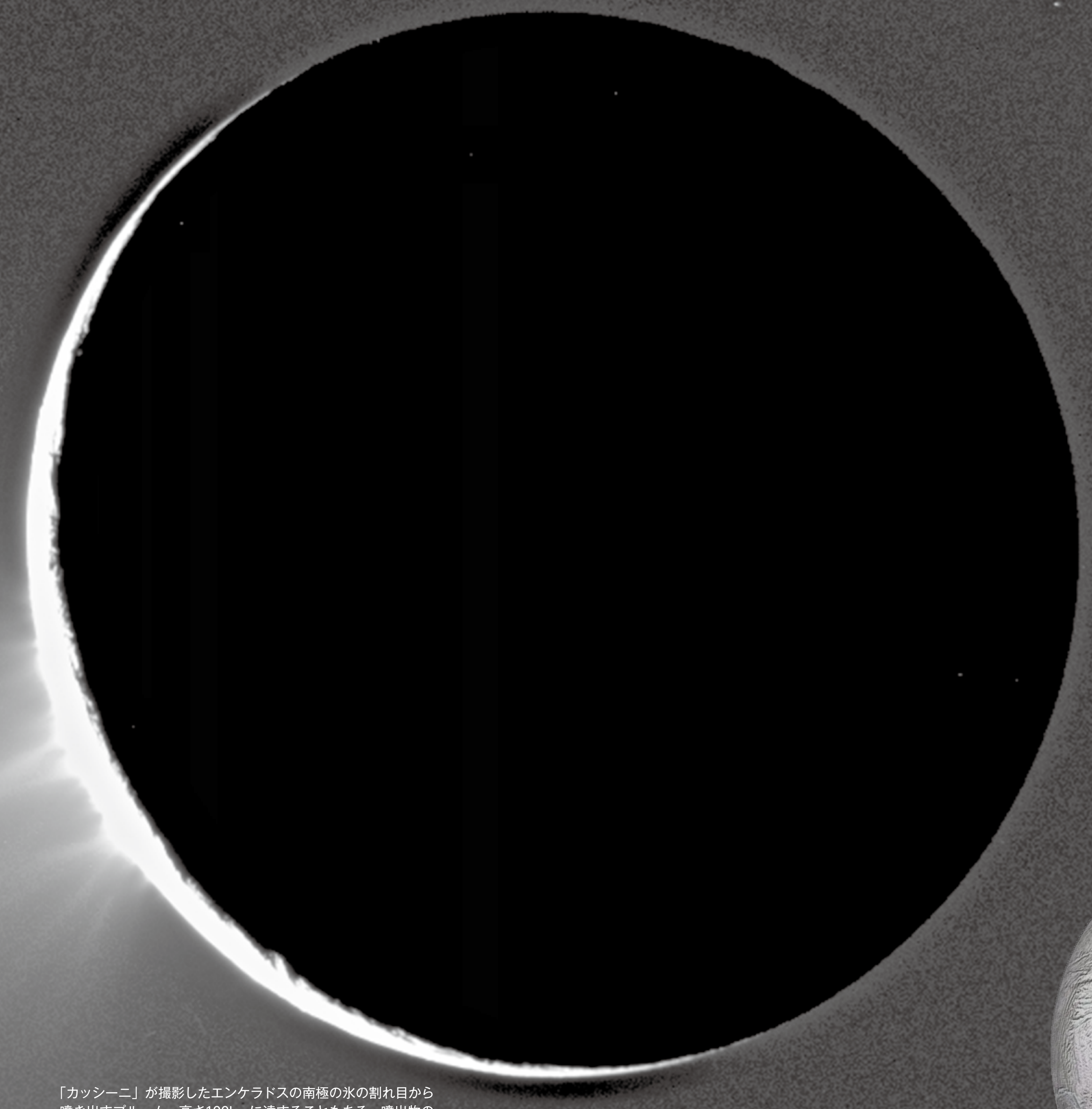
海洋研究開発機構（JAMSTEC）の高井研さんは、「地球で生命が誕生することが必然であり、その条件が海、熱水活動、水素、高アルカリ性、電気という要素であるならば、その条件を満たすことができる地球以外の天体でも生命が誕生することも必然となります」という言葉で『Blue Earth』149号の特集「地球生命はこうして生まれた」を結んだ。

生命が存在しているかもしれないと、いま最も注目されているのが、土星の衛星エンケラドスである。直径500kmほどの小さな天体だ。エンケラドスが一躍注目を集めたのは2005年、土星探査機「カッシーニ」が撮影した写真がきっかけである。

「カッシーニ」はNASA（アメリカ航空宇宙局）によって1997年に打ち上げられ、2004年に土星系に到着し、観測を開始した。「当初の主目的は、土星とその最大の衛星タイタンの探査でした。当時大学院生だった私はNASAのエイムズ研究センターで、『カッシーニ』から切り離されたESA（ヨーロッパ宇宙機関）の小型探査機『ホイヘンス』によって、タイタンの大気の化学組成を調べるプロジェクトに携わっていました」。そう語るのは東京大学の関根康人さんだ。タイタンの環境は初期の地球に似ていると考えられ、大気の化学組成を調べることで生命に至る化学進化の一端を明らかにできると期待されていた。

「エンケラドスの観測は当初、たくさんある土星の衛星のうちの1つという程度の位置付けでした。ところが、『カッシーニ』が撮影した写真には、南極付近の氷の割れ目からプルームと呼ばれる間欠泉のような噴出現象が捉えられていたのです。その現象は、氷の下に液体の海があることを示唆しています。そして液体の海の存在は、生命の存在を期待させます。その結果を受けて『カッシーニ』の探査計画が見直され、エンケラドスの集中観測が決定しました。そして私もエンケラドスの研究を始めました」

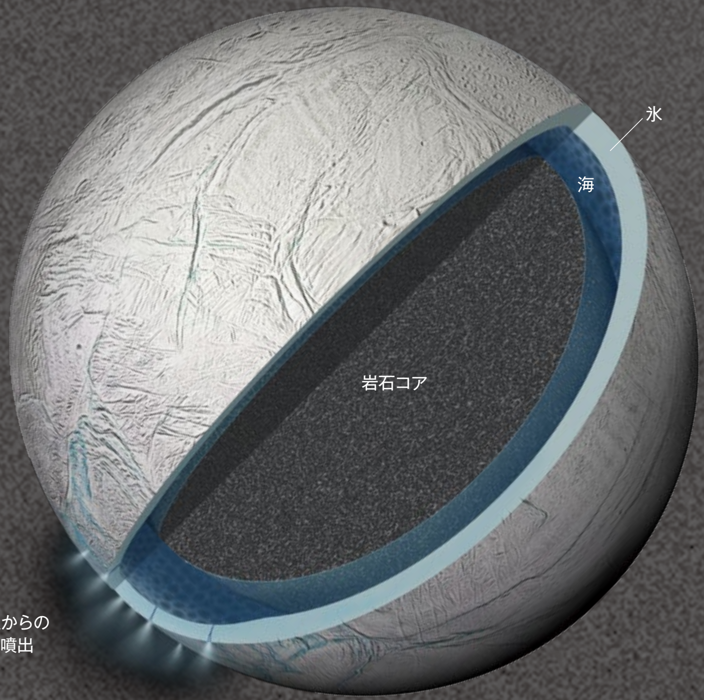
「カッシーニ」はエンケラドスのプルームを何度も通過して、搭載している質量分析計などを用いてプルームの成分分析を行った。分析の結果、プルームの主成分は水であり、水蒸気や氷として噴出して



「カッシーニ」が撮影したエンケラドスの南極の氷の割れ目から噴き出すプルーム。高さ100kmに達することもある。噴出物の一部はエンケラドスの表面に降り積もり、一部は土星の重力に捕らえられてEリングを構成する。プルーム中のナノシリカは氷に埋もれているため検出が難しいが、Eリングではプラズマなどによって氷が剝ぎ取られ、ナノシリカが宇宙空間に放出される。「カッシーニ」は、この放出されたナノシリカを捕らえた。
© NASA/JPL/Space Science Institute

いた。また、二酸化炭素やアンモニア、ナトリウム塩、炭酸塩、単純な有機物などが含まれていることが分かった。「ナトリウム塩の存在は、エンケラドスの氷の下に岩石と水が触れ合う環境がある、つまり液体の海が存在する証拠になります」と関根さん。ナトリウムはもともと岩石に含まれている。岩石と水が反応することで岩石から溶け出して、ナトリウム塩が海水に含まれるのだ。地球以外の海水を分析したのは人類史上初めてである。これが2009年だ。

その年、関根さんは「カッシーニ」に関わる研究者たちが集うワークショップに参加した。そこでドイツの研究者が、質量分析計の解析によってエンケラドスのプルームにナノシリカが含まれることを発見したと報告。ナノシリカとは主に二酸化ケイ素から成るナノメートル（nm）スケール（1nmは1mmの100万分の1）の微粒子である。「ナノシリカは、プルームを通過したときではなく、土星の環の1つEリングから飛来したものを探査機が偶然捕らえたものです。Eリングは、エンケラドスから噴き出したプルーム粒子を起源とします。従って、これらのナノシリカはエンケラドスの海でつくられ、プルームとともに放出されたと考えられます。ナノシリカは地球上では比較的ありふれた物質ですが、宇宙ではまれな物質です。なぜエンケラドスでナノシリカが生成されるのか、とても不思議に思いました」と関根さん。「すぐJAMSTECの渋谷岳造さんに連絡し、エンケラドスの海がどういう条件であればナノシリカができるかを確かめる実験を始めました」




エンケラドス内部の模式図。エンケラドスは中心に岩石のコア（核）がある。全球的な海が存在し、南極付近では氷の厚さは5kmほどしかない。氷の割れ目から海水が宇宙空間に噴き出している。
© NASA/JPL-Caltech

# エンケラドスの氷の下に広がる海。その 海底では現在、熱水活動が起きている。

取材協力

**渋谷岳造**
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
研究員
宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所
学際科学研究系
客員准教授

**関根康人**
東京大学大学院
理学系研究科
地球惑星科学専攻
准教授

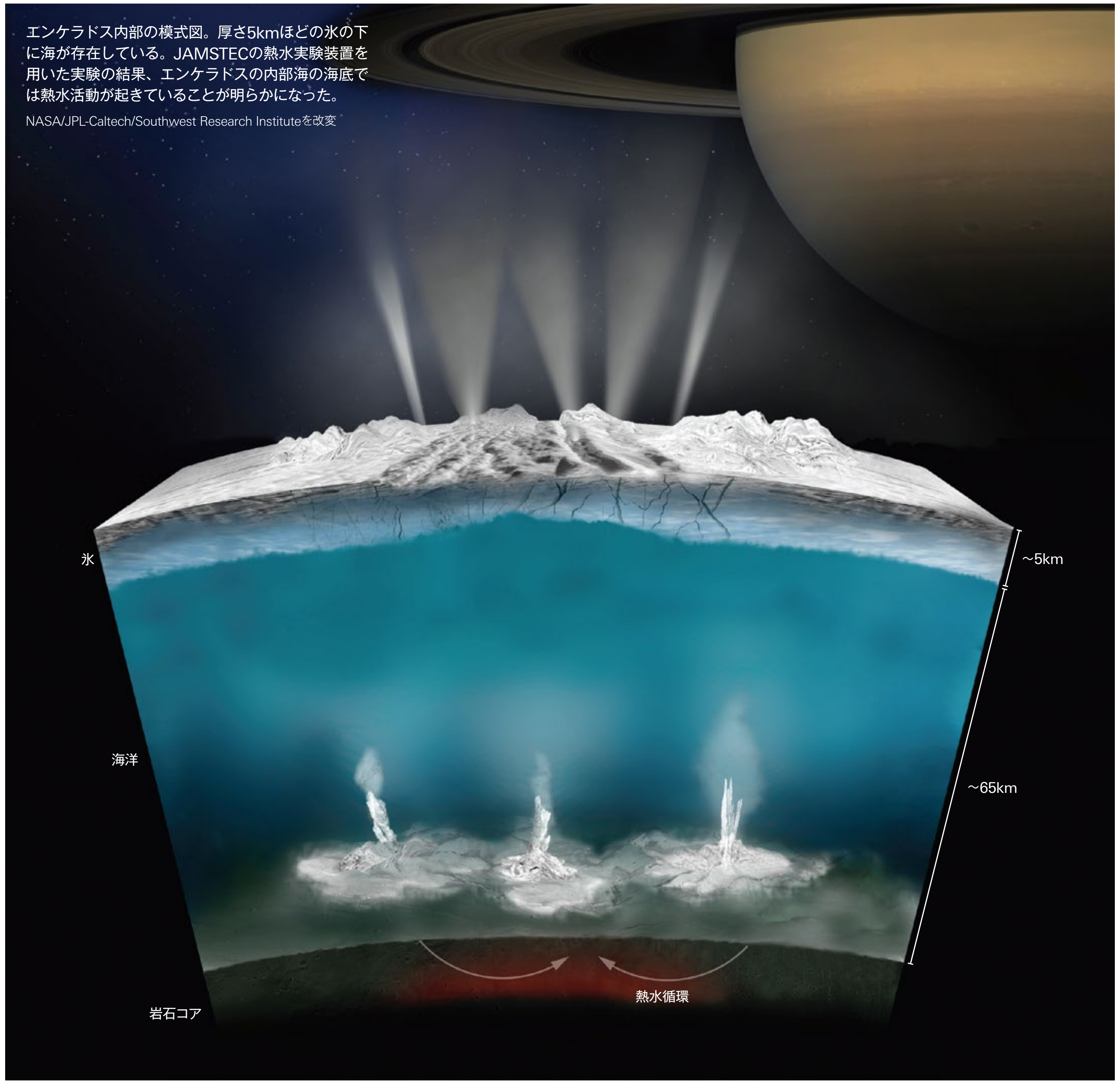
「関根さんから『エンケラドスのプルーム由来のナノシリカが見つかったようです。これは何を意味すると思いますか』と聞かれ、『熱水がありますね』と即答しました」と、JAMSTECの渋谷岳造さんは2009年当時を振り返る。ナノシリカは地球上では、岩石と高温の水が反応することで生成し、急冷されたときに析出することが知られているからだ。

渋谷さんと東京大学の関根康人さんは早速、高温・高圧の環境を再現できるJAMSTECの熱水実験装置で実験を開始。「地球の深海熱水環境を模擬するためにつくった装置ですが、エンケラドスを模擬した海水と岩石を使うことでエンケラドスの熱水環境を再現することができます」と渋谷さん。模擬海水は、プルームの分析結果をもとに二酸化炭素やアンモニアの水溶液を用意。エンケラドスのコア（核）はかんらん石と輝石から成ると推定されることから、その粉末を模擬岩石として使用した。そして、温度を何段階か変えて、エンケラドスの岩石コアの内部に相当する400気圧で反応させ、ナノシリカができる条件を探った。「その結果、ナノシリカができるためには、90℃以上の温度でpH（水素イオン指数）8〜10のアルカリ性の海水と岩石が反応する必要があることが分かりました」と渋谷さんは解説する。「カッシーニ」で検出されたナノシリカの直径は10nmほどだった。シリカは生成からの時間経過とともに大きくなる。10nmという大きさは、できてから長くても数年しかたっていないと考えられる。つまり、エンケラドスの海底では熱水活動が現在も起きているのだ。

「表面を覆う氷の下に液体の海が存在すると推定される天体は、木星の衛星エウロパやガニメデなど複数見つかっています。しかし、その内部の様子が明らかになったのはエンケラドスが初めてです。実験は、とてもスムーズに進みました。JAMSTECが蓄積してきた熱水環境に関する知識と実験技術があったからこそだと思います」と関根さん。「この成果を2015年に発表すると、国内外から大きな注目を集めました。『カッシーニ』の10年以上にわたる数多くの成果のなかでもインパクトの大きさではトップクラスに挙げられています」

この実験では、コアの岩石と熱水が反応して蛇紋岩に変わるときに水素が発生することも確かめられた。そして2017年4月にはNASAが、「カッシーニ」の質量分析装置でエンケラドスのプルーム中に水素を検出したことを発表。実験結果と符合する。「水素は生命の存在を考える上でとても重要」と関根さん。その理由を渋谷さんが解説する。「私たちは、40億年前の地球では当時の海底を覆っていたコマチアイトというかんらん石を多く含む超マフィック岩と熱水の蛇紋岩化反応によって水素が発生していたことを、この装置を使った実験によって明らかにしています。そして、その水素と二酸化炭素を食べて生きる超好熱メタン生成菌こそが、私たちにつながる共通祖先であると考えています。

**エンケラドスの内部海を模擬した熱水実験**
熱水実験装置（上）と90℃以上の温度でpH8〜10の海水と岩石の反応によって生成したナノシリカの顕微鏡写真（右）。




エンケラドス内部の模式図。厚さ5kmほどの氷の下に海が存在している。JAMSTECの熱水実験装置を用いた実験の結果、エンケラドスの内部海の海底では熱水活動が起きていることが明らかになった。
NASA/JPL-Caltech/Southwest Research Instituteを改変

エンケラドスを模擬した熱水実験で発生した水素の量は、そうした微生物の生命活動を支えるのに十分です」

エンケラドスの海に生命が存在できる可能性が高まった。ただし関根さんは、「地球の深海熱水活域に生息している微生物をエンケラドスの海に持っていったら、生きていけるでしょう。しかし、それとエンケラドスに生命が誕生したかどうかは別問題」と指摘する。太陽から遠く離れていながら液体の水が存在しているということは、エンケラドス内部で熱が発生していることを意味する。その熱源としては、土星とエンケラドスとの間の引力で生じる潮汐力や、岩石に含まれている放射性核種の崩壊などが挙げられているが、確定していない。「熱源が分かれば、どのくらいの期間、液体の海が存在し得るかを求めることができます。それが、生命が誕生するために十分な時間かどうか。それは今後明らかにしなければいけない課題の1つです」

エンケラドスの海に生命はいるのだろうか。それを確かめようという探査が日本で構想されている。

# 日本の技術を結集し、エンケラドスの海　水を地球に持ち帰る。


取材協力

**矢野　創**
宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所
学際科学研究系 助教
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
招聘研究員

**藤島皓介**
東京工業大学
地球生命研究所 研究員

**高野淑識**
JAMSTEC
生物地球化学研究分野
主任研究員


エンケラドスの氷の下に海があることが分かってすぐ、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の矢野創さんは、エンケラドスのプルームの試料を採取し地球に持ち帰るサンプルリターンを行いたいと考え始めた。「私の専門は太陽系天体の科学探査ですが、過去に海洋を相手にしたことはありませんでした。生物の専門家でもないので、エンケラドスの海洋探査を行うには、海と生命について熟知している人たちとの連携が必須です。サンプルリターンが実現するのは、早くても2030年代でしょう。そのときに現役の研究者であった方がいい。そこでJAMSTECの高井研さんに声を掛けました」。こうして2011年、エンケラドスのサンプルリターン実現に向けたJAXAとJAMSTECの研究者の間でボトムアップの連携が始まった。

土星まで探査機を送り、土星を周回しながらエンケラドスに近づいたときにプルームを通過して試料を採取する。プルームを何度か通過した後、地球への帰路に就く。試料の一部は探査機内で分析し、残りの試料はカプセルに格納して大気圏に突入させ、回収する。これが、矢野さんたちが描くエンケラドス・サンプルリターンの大まかなシナリオだ。「最大の課題はサンプルの採取」と矢野さん。探査機はプルームに秒速4kmの速度で突入する。「猛スピードで衝突してくるプルームの粒子を、なるべく壊れないように、そっと優しく捕らえる必要があります。それにはエアロゲルが最適だと考えています」

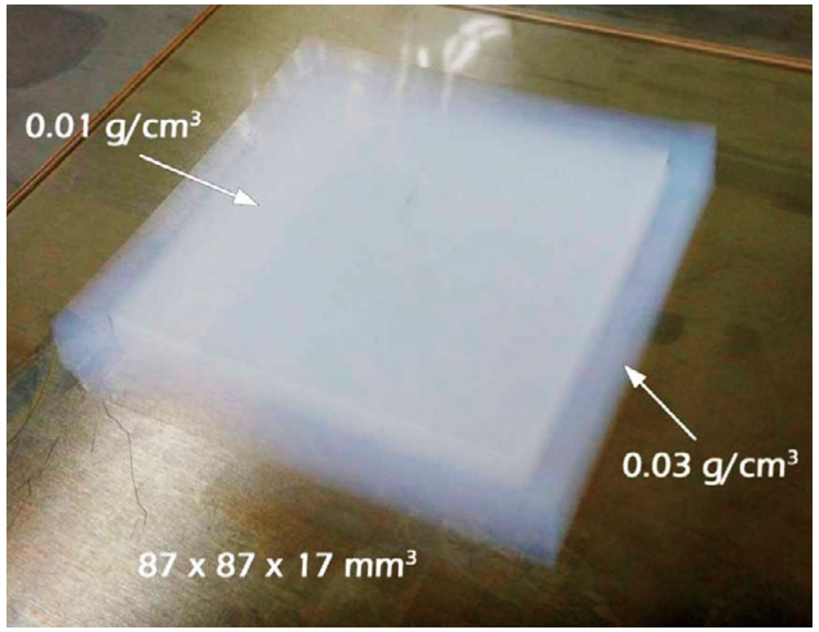
エアロゲルとは、二酸化ケイ素のガラスでできた寒天のような極低密度の固体物質である。矢野さんは現在、このエアロゲルを使った「たんぽぽ」実験を、高度約400kmの地球低軌道を周回している国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟で実施中だ。エアロゲルはNASAの「スターダスト」探査機が彗星の微粒子を採取して地球に持ち帰る際にも使用されたが、「たんぽぽ」で使用しているエアロゲルの密度はその3分の1、水と比べれば100分の1に相当する、1cm$^3$当たり0.01gしかない。衝突時の加熱を抑えて、粒子をより優しく捕らえることができる。「これほど低密度のエアロゲルをつくれて、宇宙実績も積んでいるのは日本だけ」と矢野さんは胸を張る。

「たんぽぽ」では、1年程度ずつエアロゲルを宇宙空間にさらして微粒子を捕獲し、地球に持ち帰る。そして、どのくらいの宇宙塵が地球に降り注いでいるのか、そのなかに生命の材料となり得る有機物がどのくらい含まれているのか、また、地球由来の微粒子に生きた微生物が含まれていないかも調べる。これは、地球生命の起源の謎や生命の惑星間移動の可能性を明らかにすることを目指す、世界に類を見ない実験である。「1回だけではなく、4年間にわたって繰り返し実験するのが大きな特徴です。すでに初年度に実験した試料を回収し、解析を進めているところで、微粒子の捕獲はとてもうまくいっています。エアロゲルを宇宙で何度も実証できる機会は貴重で、『たんぽぽ』の機器開発、軌道上運用、試料分析の経験はすべてエンケラドス・サンプルリターンの実現に向けた布石となっています」

「エンケラドスのプルームのなかには有機物が見つかっています。アミノ酸そのものは見つかっていませんが、宇宙においてできやすい有機物の1つなので、氷の下の海にもおそらく存在しているでしょう。もし生命に関連した化学反応が生じている場合、数個のアミノ酸が連なったペプチドもあるかもしれません。そういう高分子をぜひ捕らえたい」と意気込むのは、東京工業大学地球生命研究所の藤島皓介さんだ。「ペプチドを壊さずに捕獲できるように、また捕らえたペプチドを確実に抽出して分析できるように、矢野さんと共にエアロゲルの改良を進めています」

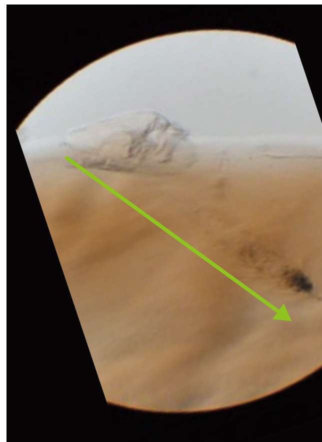
エアロゲルの検討にはJAMSTECの高野淑識さんも加わっている。「親水性のエアロゲルは氷を含む粒子を、疎水性のエアロゲルは有機物を含む粒子を、うまく捕らえることができると考えています。親水性と疎水性の2種類のゲルを使ったら捕獲効率がどのくらい上がるかなど、予察的な検証実験を行っています」と高野さん。

矢野さんも「海底の砂粒、熱水活動で形成されたナノシリカ、生物由来のマリンスノー粒子など、微粒子の種類と分析する項目によって最適な捕集材は変わってきます。プルーム粒子にどのような物質が含まれるかを予測し、どのような捕集材を使うかを考えておくことは重要」と指摘する。「この点でもJAMSTECの力が不可欠です。エンケラドスの熱水環境を模擬した条件で生成された物質を超高速で射出して捕獲する地上実験を準備しています。その結果をもとに捕集材の開発をさらに進めるつもりです」




「たんぽぽ」実験で使用されているエアロゲル。二酸化ケイ素のガラスでできている。新たに開発した0.01g/cm$^3$という極低密度のエアロゲルの外側を、宇宙で実績のある0.03g/cm$^3$のエアロゲルで保護している。
Tabata et al., Journal of Sol-Gel Science and Technology, 2016より

「たんぽぽ」のエアロゲルは、簡易曝露実験装置（ExHAM）に取り付けられ、国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟の船外に設置された。そのときの写真は、学術誌『Astrobiology』（Mary Ann Liebert, Inc. Publishers）の表紙を飾った。



「たんぽぽ」の
エアロゲルに衝突して
捕獲された微粒子

© たんぽぽプロジェクト

**エンケラドス・サンプルリターンにおける試料採取のイメージ**
プルームを通過中にエアロゲルを敷き詰めた捕集装置を展開し、微粒子を捕らえる。捕集装置を収納し、土星周回軌道を離脱して地球に帰還する。動画『Enceladus』（藤島皓介 監修）より。

© WOW Inc. / Kosuke Fujishima（ELSI）

# エンケラドスから持ち帰った試料を分析する準備がJAMSTECで進行中。


取材協力

**高野淑識**
JAMSTEC
生物地球化学研究分野
主任研究員

**藤島皓介**
東京工業大学
地球生命研究所 研究員

**矢野　創**
宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所
学際科学研究系 助教
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
招聘研究員


エンケラドスのサンプルリターンでは、JAMSTECが試料分析の中核を担う予定である。宇宙の試料をなぜJAMSTECで？ と疑問に思うかもしれない。それに対してJAMSTECの高野淑識さんは、こう答える。「JAMSTECの横須賀本部と高知コア研究所には高性能の質量分析装置と、その性能を100%、いや120%発揮できる技術を持った人がいます。そして、地球の試料もエンケラドスの試料も同じ太陽系内の物質であり、物質科学という視点では違いはありません」

あまり知られていないが、JAMSTECでは、小惑星探査機「はやぶさ」が持ち帰った小惑星イトカワの試料や「たんぽぽ」の試料の解析も行っている。そして高野さんは矢野さんたちと共に「はやぶさ2」の試料を採取する装置の開発にも関わり、「はやぶさ2」が地球に帰還したら小惑星リュウグウの試料をJAMSTECで解析する予定になっている。

「捕獲できるエンケラドスの試料は微量でしょう。その少ない試料を無駄にしないように確実に分析することが求められています」と高野さん。「微粒子が超高速で衝突するときには、世界最高レベルのエアロゲルであっても、高分子の有機物は熱や衝撃で一部が変形したり壊れたりしてしまう可能性があります。そこで、どのような物質がどのように変化するかを衝突実験で繰り返し調べ、たとえ壊れてしまっても得られた情報をもれなく活用できる分析技術を確立することを目指しています」

エンケラドス探査での最大の関心事は、生命の有無だ。「どの分子が見つかったら生命がいると判断できるのか。生命存在の証拠となる『バイオシグネチャー』についての議論が必要です」と東京工業大学地球生命研究所の藤島皓介さんは指摘する。「自然界ではできない、あるいは長時間維持できない有機物が大量に見つかれば、エンケラドスに地球生命に似た生命が存在する可能性は一段と高まります。しかし、そこまではっきりとした分析結果が出なかった場合に備えて、エンケラドスの環境を模擬した化学進化実験を、私が特任准教授を兼任している慶應義塾大学の学生とJAMSTECで行っています。生物を介さない化学反応では生成しない物質が見つかったら、生物が存在している可能性があるといえるでしょう。エンケラドスの環境を模擬した実験を行えるのは、世界でもJAMSTECくらいですから、大いに期待しています」

さらに藤島さんは、こんな問題を指摘する。「微粒子がエアロゲルに衝突したエネルギーによってプルームに含まれる成分が化学反応を起こして、偶然、有機物ができてしまう可能性もあります。衝突によってどのような合成・分解反応が起きるかを調べる衝突実験も不可欠です」

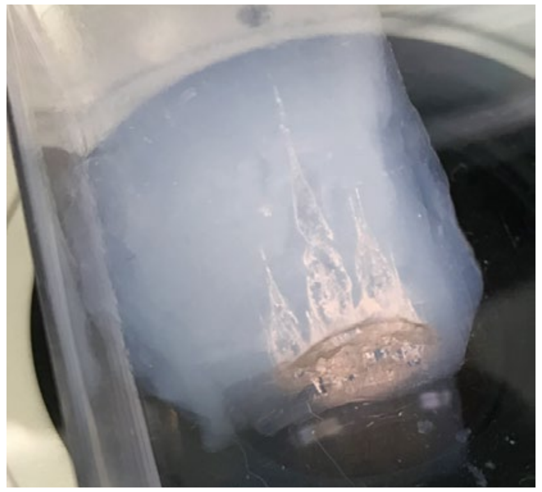
エンケラドスのサンプルリターンでは「惑星保護」という大きな課題もある。生命に至る化学進化や生命圏が現存する可能性があると科学的に考えられる天体を探査する場合、地球から微生物などを持ち込まないように徹底した対策が求められている。逆に、そうした天体から地球に試料を持ち込むときも、地球生命圏にとって安全性が証明されるまでは試料を密閉しておかなければならない。エンケラドスからの回収試料からは生命由来の有機物、もしかしたら微生物そのものの痕跡が見つかる可能性もある。

岩石質の小惑星イトカワに生命圏が現存するとは科学的には考えられないため、「はやぶさ」の地球帰還カプセルに惑星保護上の密閉要求はなく、オーストラリアのウーメラ砂漠で回収できた。そしてJAXA内の初期分析施設へ搬入した後、真空チェンバー内で開封して、捕獲微粒子も速やかに外界に出し、全世界の分析研究者に配布することができた。2020年に地球帰還を予定している「はやぶさ2」が採取する小惑星リュウグウの微粒子でも、同様の計画である。

一方、エンケラドスのサンプルリターンでは惑星保護の対策は避けて通れない。そこで高野さんは、JAMSTECの高井研さんやJAXAの矢野創さんと共に、エンケラドスのサンプルリターンにおいて地球深部探査船「ちきゅう」を利用することを提案している。「公海上では科学活動の自由が保障されています。また、陸地と隔絶されている海上で開封・解析することで、万一密閉が破れる事故が起きても人類の生活圏がエンケラドスの生命で汚染されるリスクを下げることができます」

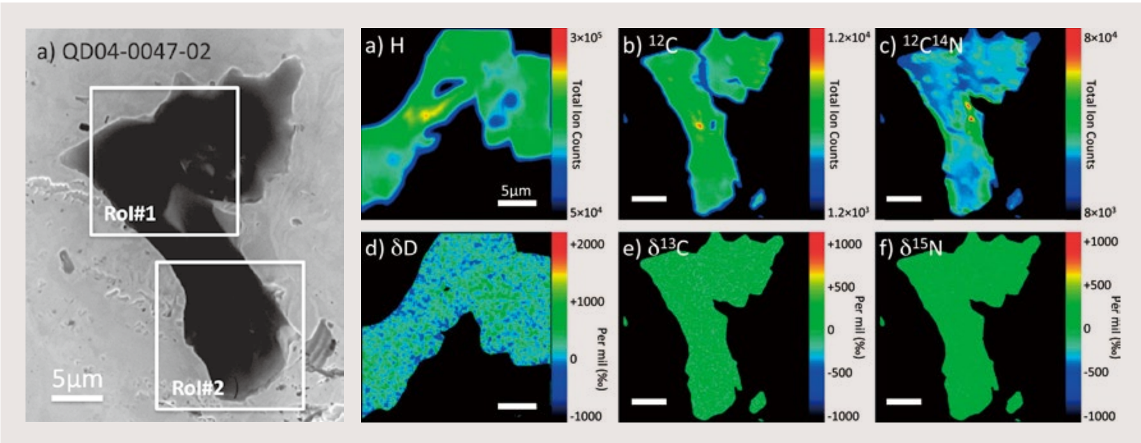
エンケラドスのサンプルリターンは、まだ構想の段階である。矢野さんは「残念ながら、現時点では日本単独でエンケラドスまで探査機を送ることはできません」という。「日本の探査機は、まだイトカワまで、つまり火星の少し外側までしか行った実績がないのです。しかし諦める必要はありません。『はやぶさ』シリーズで培った電気推進技術と2010年に小型ソーラー電力セイル実証機『イカロス』で培った航行技術を合わせた『ソーラー電力セイル』探査機を飛ばして、2020年代に木星の近くにあるトロヤ群小惑星を探査する計画があります。そうした日本の独創的な深宇宙探査技術の実績を着実に積み重ねられれば、やがてエンケラドスもターゲットにできるようになるでしょう」

もちろん日本単独ではなく、NASAなど海外の宇宙機関との共同ミッションという道もある。「共同ミッションになる場合でも、日本の科学と技術抜きにはエンケラドスの生命探査は完遂できない、という存在感を示すことが必要です。それが『たんぽぽ』のエアロゲルであり、ソーラー電力セイル、『はやぶさ』で実証されたサンプルリターン技術、そして宇宙の研究所であるJAXAと海洋・生命の研究所であるJAMSTECの強力なコラボレーションです」と矢野さんは語る。



**衝突実験の後に撮影したエアロゲル**
有機物を含む微粒子を秒速4kmでエアロゲルに衝突させた。大小さまざまな衝突痕が形成されている様子が分かる。

JAMSTECの高知コア研究所にある高解像度高感度二次イオン質量分析装置NanoSIMS。固体表面にイオンビームを入射させることによって、試料から発生した二次イオンを質量分析計で検出する。数十nmから数十μmの微小領域の微量元素の測定や安定同位体比の測定を超高感度で行うことができる。




**小惑星イトカワの微粒子の解析**
左は小惑星探査機「はやぶさ」が持ち帰った微粒子QD04-0047-02の電子顕微鏡写真。右は高解像度高感度二次イオン質量分析装置NanoSIMSによる解析結果。H、$^{12}C$、$^{12}C^{14}N$の元素分布と、水素と酸素と窒素の安定同位体比（$\delta D$、$\delta^{13}C$、$\delta^{15}N$）の分布を示す。
Ito et al., Earth Planets Space, 2014より

# 広がる生命探査のターゲット――エウロパ、ガニメデ、タイタン、火星、ケレス……

取材協力

**関根康人**
東京大学大学院
理学系研究科
地球惑星科学専攻
准教授

**矢野 創**
宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所
学際科学研究系 助教
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
招聘研究員

「カッシーニ」は今年2017年、20年に及んだ運用を終了させる。2017年4月からは、土星の環の内側に飛び込み、かつてない近距離から土星や環の内側の観測を行っている。土星の重力に引き寄せられたり機器が故障したりしてしまうまで、最長で9月15日まで探査を続ける予定だ。

「カッシーニ」の偉大な成果を受けてNASAは、2019年に初飛行を予定している次世代の超大型ロケット「スペース・ローンチ・システム（SLS）」を使った「オーシャンワールド（海洋天体）」探査プログラムを打ち出している。近年その数を増やし続けている海洋を持つ太陽系天体に、地球外生命を探そうというのだ。最初のターゲットは、木星の衛星エウロパである。直径3,140kmで、表面を氷で覆われている。クレーターはほとんど見られず、赤茶色のひび割れが縦横に走っている。色の正体はナトリウム塩などで、エンケラドスと同様、氷の下に液体の海があって岩石と反応していることを示している。NASAは、エウロパの氷の下の海について詳しく探査する「エウロパ・クリッパー」を計画中だ。早ければ2020年に打ち上げることを目指している。

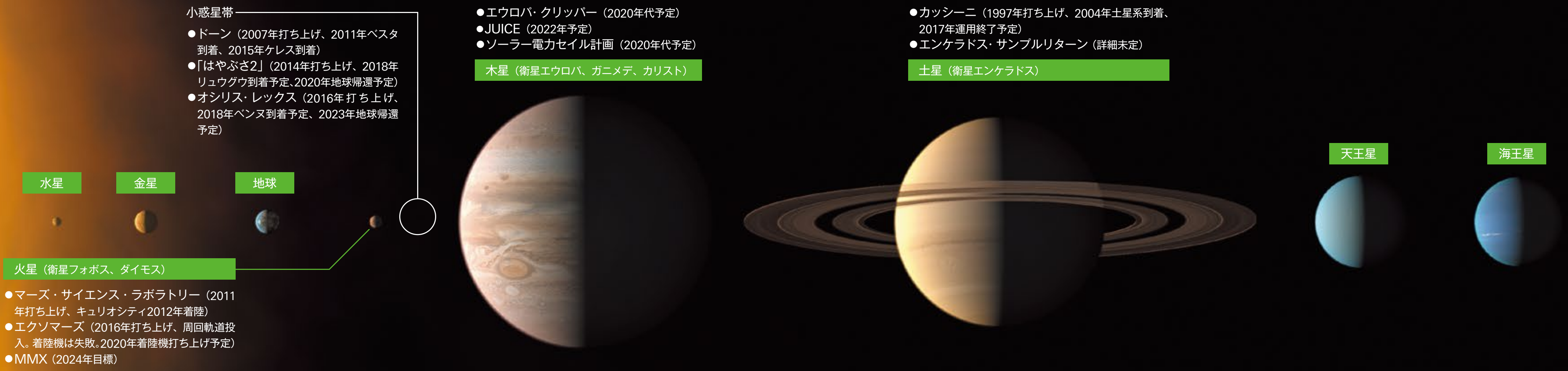
エウロパと同じ木星の衛星であるガニメデも氷の下に液体の海を持つと考えられている。ESAは、木星氷衛星探査機「JUICE」を2022年に打ち上げる予定だ。2030年に木星系に到着、木星を周回しながらエウロパとカリストに接近したときに観測を行い、2033年にガニメデの周回軌道に入る。「JUICE」には日本とアメリカの研究者も参加している。日本側のプロジェクト・サイエンティストを務めている東京大学の関根康人さんは、「エウロパ、カリスト、ガニメデ、そしてエンケラドスは、いずれも表面を氷に覆われ、その下に海があると考えられています。それぞれの海の環境は違うのか、同じなのかに興味があります」と語る。「太陽系天体における海を理解するには、地球の海の知識が不可欠です。JAMSTECにはぜひ、地球だけでなく太陽系天体にまで対象を広げた海の総合的な理解を目指していただきたいと思っています」。関根さん自身も、JAMSTECの装置に学んで2,000気圧にもなるエウロパの海底の環境を再現できる熱水実験装置を開発し、実験を始めたところだ。

JAXAの矢野創さんは「準惑星のケレスも興味深い」と語る。ケレスは、準惑星という太陽系天体の区分ができる前は小惑星帯最大の小惑星に位置付けられていた天体で、NASAの「ドーン」探査機による詳細な観測によって、地下の一部に液体の水が現在も貯蔵されていると考えられるようになった。「加えて土星最大の衛星であるタイタンも、生命探査の重要なターゲットです。しかし、エウロパやエンケラドスなどとは同列に語れません。タイタンにも地下に海洋があると考えられますが、天体表面にある海洋を満たしている物質は水ではなく、メタンやエタン、つまり油だからです」と矢野さんは指摘する。地球では、海水のなかで炭素つまり脂質で体を構成する生命が誕生した。エウロパやエンケラドスの海洋に生命がいる場合も同様だろうと考えられている。一方、タイタン表面の海洋に生命がいる場合、「水と油の世界」が逆転しているかもしれない。「私たちが知らない生命の在り方を想定しなければいけないので、生命探査の難易度は跳ね上がります」

また関根さんは「エンケラドスやエウロパに注目が集まり、存在感が薄くなっているかもしれませんが、火星も重要なターゲット」と語る。関根さんが関心を寄せているのは、火星で見つかった40億年前に形成されたとされるマンガンノジュールだ。マンガンノジュールとは、マンガンの酸化物がかたい物質を中心にして同心円状に沈着したものである。「マンガンノジュールがあるということは、酸素が大量に存在していたことを示唆しています。地球の大気に酸素が増加したのは、誕生から20億年後くらいで、その酸素をつくったのはラン藻という生物です。誕生したばかりの火星で、酸素はどのようにしてできたのか、生物がつくったのか。それを明らかにしたいと思っています」

日本は、火星衛星探査計画（MMX）で火星の衛星フォボスとダイモスを観測し、うち1つからのサンプルリターンを目指している。ソーラー電力セイルで木星圏まで行き、トロヤ群小惑星を調べる計画も開発中である。そしてその次、いよいよエンケラドスを目指すことになるのだろうか。

**世界の主な生命探査など**（運用中・計画中）
図中に示した以外にも運用中・計画中のものは多数ある。火星探査では、メイブン（NASA）とマンガルヤーン（インド）も運用中である。また、インサイト（NASA、2018年）、レッド・ドラゴン（スペースX社、2018年）、マーズ2020ローバー（NASA、2020年）、アル・アマル（アラブ首長国連邦、2020年）、小型火星探査機（情報通信研究機構・東京大学など、2020年）、火星周回機・ローバー（中国、2020年）の打ち上げが予定されている。

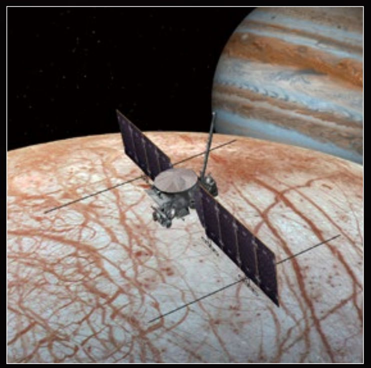


**火星衛星探査計画**（MMX）
日本が主導する国際ミッション構想。2020年代前半の打ち上げを目指している。火星の衛星フォボスとダイモスを観測し、うち1つからサンプルを採取して地球に持ち帰る。

© JAXA

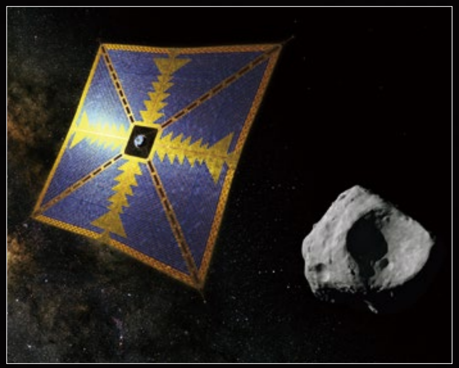
**エウロパ・クリッパー**
NASAのミッション。早ければ2020年の打ち上げを予定。木星を周回しながらエウロパ接近時に氷の下の海について詳細な探査を繰り返し行う。

© NASA/JPL-Caltech



**木星氷衛星探査機「JUICE」**
ESAが主導する日本・アメリカとの共同ミッション。2022年に打ち上げ予定。2030年に木星系に到着、木星を周回しながらエウロパやカリストを近くから観測した後、2033年からガニメデの周回観測を行う。

© Spacecraft：ESA/ATG medialab、Jupiter：NASA/ESA/J. Nichols (University of Leicester)、Ganymede：NASA/JPL、Io：NASA/JPL/University of Arizona、Callisto and Europa：NASA/JPL/DLR



**ソーラー電力セイル**（木星トロヤ群小惑星探査）**計画**
日本が主導する国際ミッション構想。2020年代の打ち上げを予定。日本独自の技術で外惑星領域へ達するための工学試験と、惑星間空間での天体観測、木星トロヤ群小惑星の起源を解明するための着陸探査を実施する。

© JAXA

© The International Astronomical Union/Martin Kornmesser

# JAMSTECは、地球の海、太陽系の海、さらには銀河系の海をターゲットに。


取材協力

**高井 研**
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
分野長

**藤島皓介**
東京工業大学
地球生命研究所 研究員

**高野淑識**
JAMSTEC
生物地球化学研究分野
主任研究員

**関根康人**
東京大学大学院
理学系研究科
地球惑星科学専攻
准教授

**矢野 創**
宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所
学際科学研究系 助教
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
招聘研究員


この地球で、生命は、いつ、どこで、どのように生まれたのか。地球以外の天体にも生命は存在するのか――こうした人類の命題に答えることを目指す学問領域が「アストロバイオロジー」である。日本語では宇宙生物学と訳される。宇宙を意味する接頭語「astro」と生物学を意味する「biology」を組み合わせた、NASAによる造語である。

そのNASAで1年の半分、研究をしている東京工業大学地球生命研究所の藤島皓介さんは、「アメリカでは一般の人もアストロバイオロジーについての関心が高いですね。着陸した『キュリオシティ』はいま火星で何をしているの、エンケラドスから水素が見つかったね、という会話が普通にされています。一方、日本ではアストロバイオロジーはまだまだ一般の人に浸透していない印象があります」と語る。「日本でも、子どもたちは宇宙や生命に対して知的好奇心を持っています。しかし成長していくなかで、それを失ってしまう。あるいはアストロバイオロジーを学びたくても、どの大学を選べばいいか分からない。そういう状況をどうにかしたくて、特任准教授をしている慶應義塾大学の先端生命科学研究所（山形県鶴岡市）で『アストロバイオロジーキャンプ』を高校生や大学生を対象に毎年開催しています。将来的にはアストロバイオロジーやアストロケミストリーを体系的に学ぶことができる学科をつくる必要があると思っています」

そのサイエンスキャンプの講師を務めているJAMSTECの高野淑識さんも、次世代育成の必要性を訴える。「JAMSTECには最高性能の質量分析装置など超一流の研究基盤がそろっています。しかし、道具があれば最高の分析ができるわけではありません。バイオリンの名器ストラディバリウスを持っているからといって、誰もが世界最高の音色を出せるわけではないのと同じです。『はやぶさ2』が小惑星リュウグウの試料を地球に持ち帰るのは2020年の予定です。エンケラドスからの試料が地球に届くのは2030年代かもしれません。そのとき、装置の性能を最大限発揮できる技術を持った人が育っている必要があります」

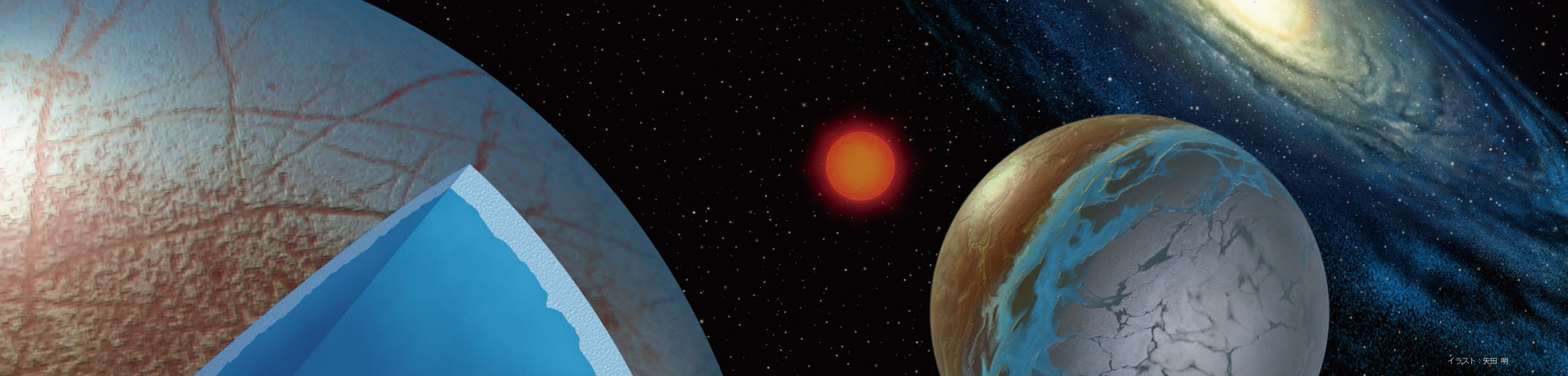
なぜ宇宙に生命を探すのだろうか。藤島さんは、こう答える。「アストロバイオロジーは、すぐに社会に役立つ分野ではありません。しかし、私たち以外に生命がいることが分かった瞬間、生命観、宇宙観が大きく変わるでしょう。そのインパクトの大きさは計り知れないものがあります。人類のロマンですね」

「エンケラドスに生命が見つかれば、人類にとって大発見です。しかし、いなければいないで面白い」と語るのは、東京大学の関根康人さんだ。「地球に生命がいて、エンケラドスに生命がいないとしたら、エンケラドスにはないけれども地球にはある要素、たとえば陸や大気が生命の誕生に必須なのかもしれない、と考えられます。生命はいかにして生まれたのか。地球以外の天体に生命がいるのか。それを明らかにするには、エンケラドスだけでなく、さまざまな太陽系天体の海を探査する必要があります」

JAMSTECの高井研さんは、「私たちは、地球の海、そして地球生命の起源についての研究を先導してきたという自負があります。地球の海と生命の研究で得た知識とノウハウをもとに、太陽系天体の海や生命の探査にも貢献したいと思っています」と語る。高井さんらは、無機物から生命誕生へ至るすべてのステップが深海の熱水活動域で起きた可能性が高いと考えている。しかし、そのシナリオが正しいかどうか、現時点で結論を出すことは難しい。地球以外の天体で生命が見つかれば、そのシナリオの確かさも検証できると期待されている。

「エンケラドス・サンプルリターンについての相談で2011年に初めて高井さんに会ったとき、JAMSTECは地球の海しかやってはいけないのですか？と尋ねました。地球以外の海もやりましょうよ、といった記憶がありますね」とJAXAの矢野創さんは振り返る。それから6年余りたったいま、高井さんはこう語る。「海ということでは地球もエウロパもエンケラドスも同じです。何も地球の海に閉じている必要はありません。2017年には、太陽系外のトラピスト1（TRAPPIST-1）という星に7個の惑星があり、うち3個には水が存在しているらしいことが分かりました。太陽系の海、さらには太陽系外の海も私たちのターゲットになり得ますし、そうしなければならないと思っています」

JAMSTECはJapan Agency for Marine-Earth Science and Technologyの略称である。「2020年代にはJAMSTECではなく、ターゲットが太陽系（Solar System）に広がってSAMSTEC、2050年代には銀河系（Galaxy）まで広がってGAMSTECになっているでしょう」と高井さんは冗談めかして笑うが、目は真剣だ。「地球外生命の探査を行うには、深海探査以上に、時間もお金もかかります。その分、皆さんからの支持が必要です。そのためにも、これからもいっそう海そして生命研究の面白さと魅力を皆さんに伝えていきます」 BE



イラスト：矢田 明

特別●
座談会

# 私たちは宇宙に生命を探します

**木星や土星の衛星に地下海や深海熱水活動の証拠が見つかり、また太陽系以外に地球型の惑星が相次いで発見されていることなどから、いまアストロバイオロジー（宇宙生物学）に大きな注目が集まっている。アストロバイオロジーの定義はさまざまだが、この言葉をつくったNASA（アメリカ航空宇宙局）は「宇宙における生命の起源、進化、伝播および未来を研究する学問」と定義している。『Blue Earth』3号にわたる「生命」特集の総まとめとして、天文学、太陽系探査科学、微生物学それぞれの立場で日本のアストロバイオロジーをけん引する3人が、生命の起源そして地球外生命探査について語り合う。**

## 天文学、太陽系探査科学、微生物学。三者三様の研究者の出会い

**高井**：アストロバイオロジーの会議ではよく同席しますが、この3人だけで会うのは初めてかもしれませんね。まず自己紹介や互いの印象から話を始めましょう。

**矢野**：私は生物の研究者ではなく、太陽系の成り立ちを明らかにするために彗星や小惑星、それらのかけらである宇宙塵などを調べて太陽系の初期物質を探す研究を、学生時代からやってきました。小惑星探査機「はやぶさ」（2003年5月打ち上げ、2005年11月イトカワ着陸、2010年6月地球帰還）やNASAの彗星探査機「スターダスト」（1999年2月打ち上げ、2004年1月ヴィルト第2彗星の試料採取、2006年1月地球帰還）では試料採取・分析を担当してきました。「はやぶさ2」（2014年12月打ち上げ、2018年リュウグウ到着予定、2020年地球帰還予定）でも試料採取・分析を担当しています。そのなかで、太陽系の初期物質と地球の初期環境や生命誕生をつなぐことにずっと興味がありました。その課題に対して太陽系探査の専門家である自分にどんな貢献ができるのだろうかと、「はやぶさ」の運用に従事しながら考えていました。

「はやぶさ」がイトカワに到着して試料採取の本番を迎えていた2005年に、土星探査機「カッシーニ」が土星の衛星エンケラドスの南極周辺から噴き出しているプルーム粒子を分析して、氷の下に海があることが明らかになりました。微粒子の採取と分析から物質情報を引き出すアプローチであれば自分がいままで積んできた実績の延長で直接貢献できる、と気付きました。エンケラドスの「海水サンプルリターン」はそのときに着想したのですが、世界初の小惑星サンプルリターンに挑んで満身創痍となっていた「はやぶさ」を地球に帰還させることが、当時の私の人生における最優先事項でした。小惑星のかけらを持ち帰る前に土星衛星の海水を持ち帰る妄想など、いい出せるはずがありません。2010年に「はやぶさ」を無事地球に帰還させてオーストラリアのウーメラ砂漠でカプセルを拾い、イトカワの微粒子の分析が成功した段階になって、ようやくそのアイデアを公にいい始めたのです。

もちろん地球外の海洋、さらに地球外生命の探査というのは、当時の私の専門知識と経験を超えていました。そこで、「エンケラドスのサンプルリターンが実現するまで20年くらい付き合ってくれる海の生命の研究者はいませんか？」と、東京薬科大学の山岸明彦さんに尋ねたのです。すると、「日本には1人しかいないんじゃないの」と紹介されたのが高井さんでした。

**田村**：私は天文学者で、大学を出た後、アメリカに行ったりしながら国立天文台（NAOJ）で20年ほど研究をしてきました。現在は、東京大学で教壇に立つ一方、自然科学研究機構（NINS）の新機関として2015年に設立されたアストロバイオロジーセンター（ABC）のセンター長をしています。観測する光の波長別でいうと、専門は赤外線天文学です。赤外線は波長が長いので、低温の天体やダストに埋もれた恒星や惑星を観測するのに適しています。しかし、日本で天文観測をするにはいろいろな障害があり、苦労してきました。

**高井**：なぜ日本では天文観測は難しいのですか。

**田村**：天文観測する場所としては、日本は天気が悪いのです。日本は海の国なので、湿度も高い。天気がよくて湿度が低く、大気が安定していて夜空が暗いという天体観測に理想的な条件を備えたハワイ島のマウナケア山頂に「すばる」望遠鏡が1999年に完成し、ようやく可視光・赤外線領域において世界トップレベルの天文観測ができるようになりました。

「すばる」の完成に先立つ1995年、太陽系以外の惑星「系外惑星」が初めて発見されました。それはペガスス座51番星を回る木星サイズの巨大惑星でした。これを機に、系外惑星探査が活発になりました。私たちも「すばる」で系外惑星を観測するための取り組みを始めましたが、ほかの天文台の後追いはやりたくない。そこで、挑戦的過ぎるのですが、系外惑星を直接見ることを目標に掲げて取り組んできました。

矢野さんとは宇宙を観測対象にしているという意味では近しいのですが、高井さんとの付き合いはまだ深くありません。ABCを立ち上げる少し前、東京薬科大学の山岸さんや横浜国立大学の小林憲正さんから面白い研究者がいると聞き、それが高井さんだったのです。現在はABCの運営委員として鋭い意見を頂いています。

**矢野**：私たちを高井さんと結び付けたのは、山岸さんだったのですね。私も紹介されるまで高井さんを存じ上げなかったのですが、ゼロから新しい研究分野を創り出している方だと感じています。日本では、なかなかそういう人に出会いません。しかも自分と同世代なので勇気づけられるし、科学者としてリスペクトしています。ミュージシャンが違うジャンルのミュージシャンの音楽性をリスペクトする感じ、というのでしょうか。ぜひセッションしてみたいなと。

**田村**：私は同じ分野の研究者には結構厳しいことをいいますが、違う分野の研究者にはそこまではいえません。高井さんは、それがいえる人。裏表がまったくなくて、見ていて気持ちがいい研究者です。

**高井**：矢野さんに最初に会ったのは2011年2月、海洋研究開発機構（JAMSTEC）の高野淑識さんも一緒でした。私は、それまでアストロバイオロジーは大嫌いでした。いろいろ面白そうなことをいうけれども、結局、絵に描いた餅だったのです。でも矢野さんと初めて会ったとき、「エンケラドスのサンプルリターンを本気でやる気がありますか？」と聞いてくるわけですよ。私たちはお茶を濁そうかなと思っていたので

すが、結局、「宇宙航空研究開発機構（JAXA）が本気でやるんだったら、JAMSTECも本気でやりましょう」となったのです。矢野さんは初志貫徹型ですね。思い込んだら何がなんでも進んでいく。そして、タフネゴシエーターです。特に外国人との交渉は、本当に粘り強い。

　私の専門は微生物学で、アストロバイオロジーより地球の生命の起源を探る方が重要でした。しかし急がば回れで、宇宙に生命を探すことがその近道だと分かってきたので、徐々にアストロバイオロジーに対して少し優しい態度を取るようになりました。

## 日本におけるアストロバイオロジーの系譜

**高井**：日本でもアストロバイオロジーが広がりを見せてきましたが、たまたま同時多発的に機が熟して一緒に盛り上がったのでしょうか。NAOJの台長をされていた海部宣男さんも以前からアストロバイオロジー的な試みをされていましたよね。

**田村**：海部さんのご専門の1つは星間分子なので、アストロバイオロジーにも当然興味をお持ちです。いろいろな人に声を掛けて勉強会も進められていましたし、星元紀さんと丸山茂徳さんと共に『宇宙生命論』という書籍も編集されました。一方ABCは、当時NINSの機構長だった佐藤勝彦さんと理事だった観山正見さんがNINSの天文分野と生物分野をつなぐ新しい試みとして実現したものです。佐藤さんは宇宙論の第一人者ですが興味の幅が非常に広く、生命の起源や宇宙における生命にも興味をお持ちでした。私たちの上の世代もアストロバイオロジーをやりたいと同時多発的に考えられていたのでしょう。

**高井**：JAXAでもアストロバイオロジーの種はいくつかありましたよね。

**矢野**：JAXAに統合（2003年、宇宙開発事業団、宇宙科学研究所、航空宇宙技術研究所が統合）される以前の宇宙科学研究所（ISAS）についていえば、彗星のなかに生命の原材料となるどんな有機物が存在し得るかを確認しようとした研究者が1980年代にいました。日本初の惑星探査機としてハレー彗星を観測した「さきがけ」「すいせい」の科学観測をけん引した清水幹夫さんです。物理学を出発点にしながら、地球生命の遺伝暗号の起源は4種のヌクレオチドの複合体がつくるポケットがアミノ酸に対して鍵と鍵穴の関係をつくるからだとする「C4N仮説」を提唱し、地球生命が使うアミノ酸が20種に限られている理由を明確に説明しました。ESA（ヨーロッパ宇宙機関）の彗星探査機「ロゼッタ」（2004年打ち上げ、2014年チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星到着、着陸機フィラエ投下、2016年着陸）の観測によって、彗星の核に存在する地球外のアミノ酸の種類を議論できるようになった現代においてようやく注目されるようになった課題を、当時すでに実験的に証明しようと努力しておられました。

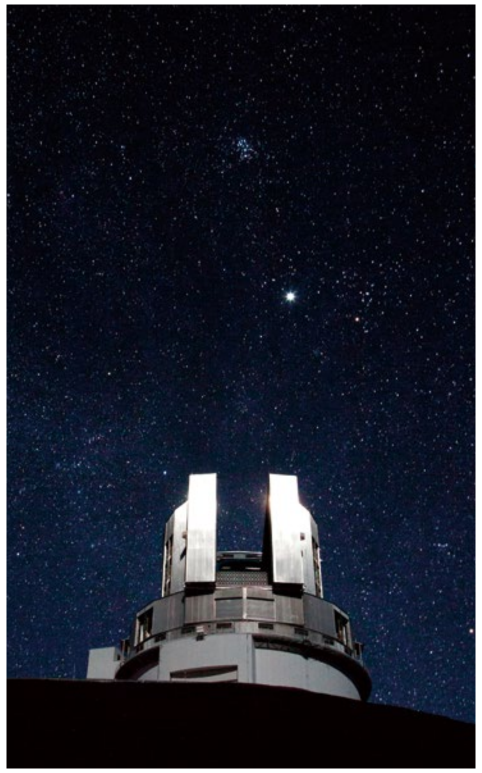
　また2002年のノーベル化学賞の受賞論文の共著者でもある山下雅道さんは、工学、物理、化学、生物の博覧強記を武器に、「生命の進化は居住する天体の特性と切り離せない」という考えに立ち、重力や放射線などが地球生命に与える影響を研究するアストロバイオロジーの第一人者です。1995年に日本初のフリーフライヤー衛星「SFU」のなかでイモリの成長実験を行ったり、将来人類が火星に居住したときに自給自足するための「宇宙農業」を創成したりしました。

　JAXA統合前のISASでは、そうした天才的にとがった研究者がぽつぽつと出てきていました。彼らの研究が天文学や海洋科学のような近隣分野と結び付いていれば、ISASにもっと早くアストロバイオロジーの核が形成されたのでしょうが、残念ながら当時は孤高の成果にとどまっていました。いま、ようやく時代が彼らに追い付いてきたと感じています。当時、清水さんの研究は検証が極めて困難なため、太陽系科学の世界ではあまり顧みられなかったようです。それがいまでは、探査機が持ち帰った小惑星や彗星のかけらを分析できるようになりました。清水さんが30歳若かったら、すごいことになっていたでしょう。

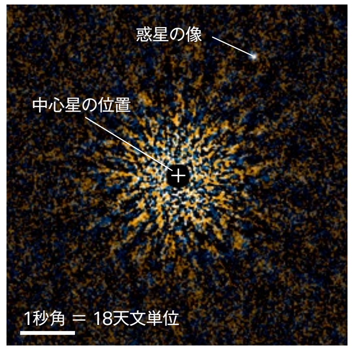
**高井**：そういう人がいま欲しいですね。日本で最初のアストロバイオロジストは、私たちを結び付けた山岸さんの師匠、大島泰郎さんです。彼は1960年代にNASAのエイムズ研究センターで生命の起源の研究の行うとともに、火星の微生物探査にも携わっていました。本業の生化学の方でも素晴らしい業績を上げている大島さんのおかげでアストロバイオロジーがエセ科学にならなかったのだと思います。そういう人が出てこないと、なかなか盛り上がりません。

田村元秀
Motohide TAMURA

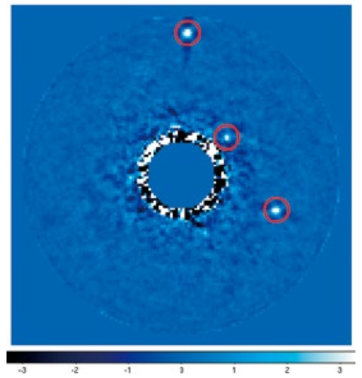
東京大学大学院理学系研究科天文学専攻教授。自然科学研究機構アストロバイオロジーセンターセンター長。1959年、奈良県生まれ。京都大学大学院理学研究科博士課程修了。博士（理学）。アメリカ国立光学天文台研究員、NASA ジェット推進研究所研究員、国立天文台太陽系外惑星探査プロジェクト室室長などを経て現職。専門は赤外線天文学。星・惑星系形成、系外惑星の観測的研究を行っている。



「すばる」望遠鏡のドーム上に輝く散開星団すばると木星。「すばる」望遠鏡は1999年、標高4,200mのハワイ島マウナケア山頂に建設された。光を集める鏡の有効口径が8.2mの大型光学赤外線望遠鏡である。
©国立天文台（Photo by Mr. Pablo McLoud - Subaru Telescope, NAOJ.）




「すばる」望遠鏡によって直接撮像に成功した系外惑星GJ 504 b。地球から約60光年の距離にある太陽型の恒星GJ 504を周回している。近くにある恒星の明るい光を遮って暗い惑星を検出するための高コントラストコロナグラフ撮像装置HiCIAOと大気の揺らぎをリアルタイムで補正する補償光学装置を組み合わせることで、直接画像に写すことに成功した。
©国立天文台



「すばる」望遠鏡による系外惑星の直接観測画像。2016年に新たに搭載された高コントラスト近赤外線面分光装置CHARISの試験観測時に得られた画像で、HR 8799星を周回する3個の惑星が鮮明に写し出されている。CHARISは、明るい恒星を周回する暗い惑星を見分けて分光観測を行うことで惑星表面の状態・温度・大気の様子などを明らかにすることを可能にする。
©プリンストン大学カリス・チーム、国立天文台

## 地球生命誕生のシナリオをいかに検証するか

**高井**：私たちは、自分たちの生命の起源を知りたくて深海熱水活動域の研究を進めてきました。そして、私たちの共通祖先は深海熱水活動域というゲートを通ってきたという証拠が積み重なり、それはほぼ確実になっています。しかし、生命が誕生した場所とその共通祖先のゲートとの間は埋めなければいけない。生命をつくった工場がどこにあり、そこにどうやって材料が持ち込まれたか。それは、まさにアストロバイオロジーにおける生命起源の研究です。

　私たちは、深海熱水活動域のチムニーのなかで無機物から生命の材料がつくられ、さらにシステムとしての生命が生み出されたというシナリオを提唱しています。このシナリオが正しければ、エンケラドスやエウロパでも、そして系外惑星でも生命が誕生することになります。

**田村**：宇宙のどこでも生命が誕生し得るという意味では、非常に魅力的なシナリオです。ただし、生命誕生のプロセスのすべてを深海熱水活動域で賄えるのかどうか、そこを実証するのは難しいのではないでしょうか。

**矢野**：あまり違和感がないシナリオだと思いますが、生命誕生には陸が必要であるとか、海のなかでは低分子から高分子への重合が進まないという指摘もあります。

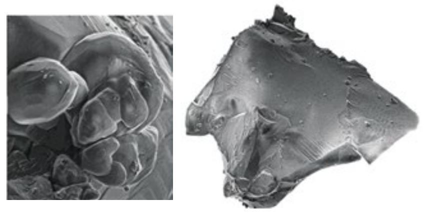
**高井**：生命の誕生の仕方は1つではないかもしれません。どんなに確率が低くても起きてしまえば事実であり、どのシナリオも否定はできません。私たちは、「JAMSTECモデルが正しい」といっているのではなく、「確率が高い」といっているのです。確率論的にほかのシナリオに比べて起こりやすいから、地球でそのように生命が誕生したと考えるのがいまのところベストでしょう、ということです。

**矢野**：検証する方法はないのですか。

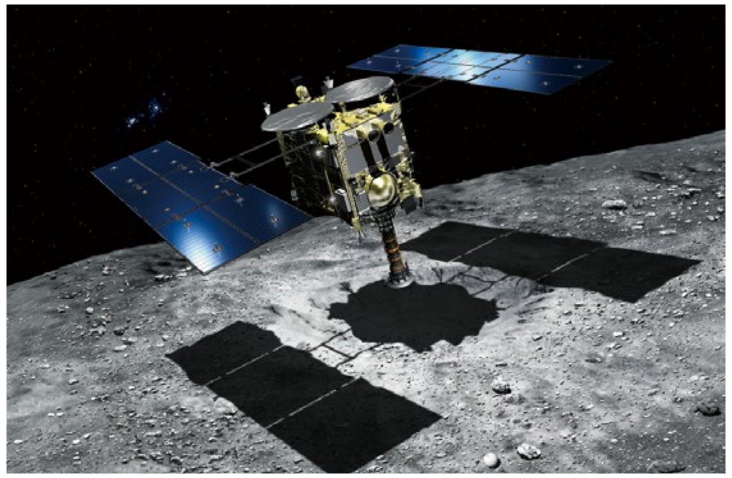
**高井**：おそらく地球の生命を調べるだけでは検証できません。けれども、ほかの天体を観測してサンプル数を増やすことで確からしさを求めるという方法があります。地球以外に生命を探すのです。しかし、そのような探査や検証は、私たちの世代だけでは成し遂げられません。だからこそ、何世代にもわたって支持される強固なシナリオでなければいけない。生命は深海熱水で誕生したというシナリオは、それに耐え得る強固で魅力的なものだと確信しています。

## 「ハビタブル」とは

**田村**：JAMSTECモデルが正しいとすると、生命は宇宙のどこでも誕生できる。一方、ある特殊な場所、奇跡のようなことを仮定しないといけないとなると、宇宙に生命が存在する確率はぐっと下がります。系外惑星の観測からは、宇宙における生命に関して統計データを得ることができます。すでに、惑星を保持する確率としては、太陽のような星であれば10%、



小惑星探査機「はやぶさ」が持ち帰ったイトカワの微粒子の電子顕微鏡写真。左の写真では、かんらん石特有の結晶のかたちを持つ粒子が表面を覆っていることが分かる。©JAXA



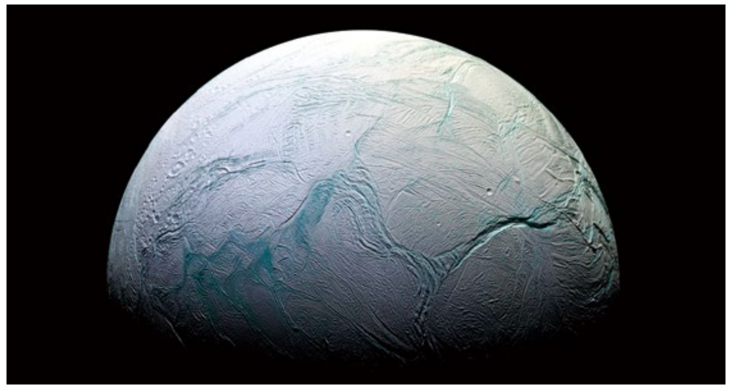
小惑星探査機「はやぶさ2」によるリュウグウの試料採取の想像イラスト。衝突装置で人工的に直径数m程度のクレーターを形成し、露出した表面から試料を採取する。宇宙風化や熱などの影響をあまり受けていない新鮮な地下物質の情報が得られると期待されている。試料を採取するサンプラホーンという装置の開発にはJAMSTECの研究者も参加した。地球に持ち帰ったリュウグウの試料の解析はJAMSTECでも行う予定。
イラスト：池下章裕

太陽より少し軽い星であれば50～100%の割合で生命が存在できるかもしれない地球型惑星を持っていることが分かってきました。今後、それらの表面の分光観測ができるようになれば、生命存在の証拠「バイオシグネチャー」となる酸素やメタンの有無が分かるはずです。10年後には、生命が存在していると考えられる系外惑星がどのくらいの確率であるのかが計算できるでしょう。その確率が高ければ生命誕生は必然であり、低ければ生命誕生は特別なできごとである、といえるのではないでしょうか。

**高井**：私は、エネルギー論的な生命の存在条件という話をよくします。生命システムが維持される最低限のエネルギーポテンシャルと生命システムが暴走しない最大限のエネルギーポテンシャルを電位差として予測すると0.05～1.23Vです。1.23Vというのは水が電気分解してしまう電圧なので、水の惑星における生命はそれ以上の電位差を生み出す環境では生きていけません。また最近、面白い論文を読みました。中心星の温度が高温でエネルギーの高い光を出していると、その惑星では生命は存続できないだろうというものです。

天文学者は、ぜひそういう議論に加わってほしい。生命のことは分からなくても、エネルギー論であれば天文学者も同じ土俵で議論できるはずです。1.25V以上のエネルギーポテンシャルを生み出す環境では水を基礎とする生命は絶対に生きられない。バイオシグネチャーの分光観測だけでなく、そういう厳密なルールから惑星環境をトータルに理解するようなアプローチが出てきたら、天文学におけるアストロバイオロジーがもう一歩進むと思います。

**矢野**：いままでハビタブルゾーン（生命存在可能領域）は、天体の表面に液体の水が存在するかどうかで判定されていました。ところが、水が氷として存在するスノーライン（太陽系では火星と木星の間）以遠にあって表面を氷に覆われている天体であっても、地下の海洋に生命が存在することが確かめられたら、異なるコンセプトのハビタブルゾーンを考えなければいけないでしょう。田村さんに聞きたいのですが、ハビタブルゾーンについて銀河系内の位置も関係しているという話があります。近くにこういう恒星があっては駄目、銀河系の腕のこのあたりでは駄目といった理解は、どこまで進んでいるのでしょうか。



海水のサンプルリターン計画を構想中の土星の衛星エンケラドス。NASAの土星探査機「カッシーニ」が撮影。表面を覆う氷の下には全球規模の液体の海があり、その海底では熱水活動が起きていることが明らかになっている。
©NASA/JPL-Caltech

**田村**：生命の誕生に必須である重元素は銀河系のなかでどこに多いかを調べる研究の一環としてギャラクティック・ハビタブルゾーン（銀河系規模の生命存在可能領域）という概念はあり、面白いと思います。しかし、銀河系全体というのは観測対象が地球から遠過ぎるため、検証するというレベルには当分到達しないでしょう。今後10年、20年は、数十光年以内にある地球型惑星を見つけて詳しく調べる、というのが精いっぱいです。

**矢野**：高井さんに質問です。「ハビタブル（habitable）」と「インハビテッド（inhabited）」は必ずしもイコールではないですよね。

**高井**：「生命がすむことができる場所」と「生命が現在すんでいる場所」ですね。

**矢野**：たとえばエンケラドスがハビタブルならば、仮に地球の深海熱水活動域から微生物を連れていけたら、それらはエンケラドスの海で増殖するでしょう。けれども、だからといってエンケラドスが無機物から発生した独自の生命によって現在もインハビテッドされているかどうかは分かりませんよね。

**高井**：「ハビタブルだけれども生命がすんでいない状態」と「ハビタブルだけれども生命が誕生しない状態」、この2つは区別がつくと思っています。たとえばエンケラドスを複数回探査しても生命の証拠が見つからなかったとしましょう。そのとき重要なのは、熱水活動がどのくらいの時間スケールで続いているかです。地球において生命が誕生するまでどれだけの時間がかかったのかは分かっていませんが、ある程度の長い時間が必要なことは間違いありません。200万～300万年ぐらいという試算もあります。エンケラドスの熱水活動が独自の生命が誕生するのに必要な時間に達していなければ、「ハビタブルだけれども生命がすんでいない状態」といえます。一方で、生命誕生に必要な時間より長く熱水活動が続いているのに生命が見つからなかったのであれば、「ハビタブルだけれども生命が誕生しない状態」といえます。後者の場合は、生命の誕生には地球にあってエンケラドスにないもの、たとえば陸が必須なのかもしれません。

**矢野**：地球以外の海洋を持つ天体で生命を探査することによって、より普遍的な意味での生命の誕生の条件が分かるということですね。

**高井**：地球でも面白いことが分かってきています。JAMSTEC高知コア研究所の鈴木志野さんは、アメリカ・カリフォルニア州のかんらん岩が多い地層で地下深部から湧き出る水を採取して調べました（2017年7月21日JAMSTECプレスリリース）。かんらん岩が地下深部で熱水と反応すると蛇紋岩化反応によって水素を発生します。地球の微生物には水素をエネルギー源として利用して生きるものがいますから、採取した蛇紋岩泉水はエネルギー論的にはハビタブルです。しかし蛇紋岩化反応が起きるとき、その水からカルシウム、ナトリウム、マグネシウムなど生命に不可欠な塩が取り除かれてしまいます。つまり、採取した蛇紋岩泉水はエネルギー論的にはハビタブルだけれども、元素利用面から見ると生命がすむことができない、アンインハビタブル（uninhabitable）な状態です。ところが、その水に微生物がいたのです。しかもCandidate Phyla Radiation（CPR）という微生物は、ゲノムのサイズが大腸菌の約10分の1と小さい上に、多くの生物が持っている代謝システムに関する遺伝子を持っていなかったのです。エネルギー論的にはハビタブルだけれども元素的にはアンインハビタブル。しかし現実ではインハビテッドである。

その微生物は、少なくとも私たちがよく知っている代謝とは違うやり方で生きているということになります。これが、現在のアストロバイオロジーにおける主流の理論と現実の大きなギャップを示していると思います。地球ですらこのようなことが起きるのです。私たちの不完全な理論でいろいろ考えても結局は現実に打ち負かされてしまう。探査をしてしまう方が早道だと思います。

## トラピスト1の系外惑星発見に興味津々

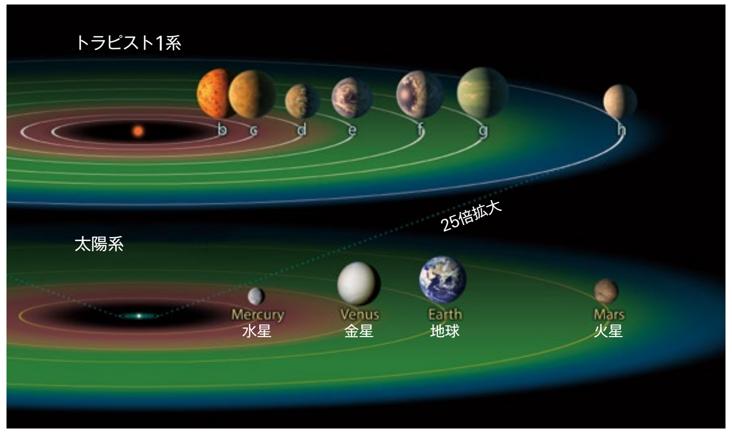
**高井**：2017年2月にNASAが発表したトラピスト1（TRAPPIST-1）は、とても面白いですね。

**田村**：トラピスト1は、みずがめ座の方向約40光年の距離にある恒星で、その周りに7個の地球サイズの惑星があることが分かりました。トラピスト1の質量は太陽の約10分の1で、非常に暗く低温のため、ハビタブルゾーンは太陽系でいえば水星軌道よりずっと内側（0.1天文単位未満。1天文単位は太陽─地球間の距離）になります。それほど中心星に近いと、潮汐ロックによって惑星が常に同じ面を中心星に向けることになります。月と地球の関係と同じです。トラピスト1の7個の

矢野 創
Hajime YANO

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所学際科学研究系助教。海洋研究開発機構深海・地殻内生物圏研究分野招聘研究員。1967年、東京都生まれ。イギリス・ケント大学院宇宙科学科博士課程修了。Ph.D.（宇宙科学）NASA ジョンソン宇宙センター研究員、旧文部省宇宙科学研究所研究員を経て、1999年より現職。総合研究大学院大学併任。慶應義塾大学院特別招聘准教授、法政大学院客員准教授、東京大学院非常勤講師も務める。専門は太陽系探査科学。小惑星・彗星・宇宙塵・流星など太陽系小天体の理論・観測・分析・実験・探査の融合的研究と、海洋天体生命探査の研究開発を進めている。

トラピスト1の惑星系と太陽系（一部）の比較。トラピスト1の周りには7個（b~h）の地球サイズの惑星があり、少なくとも3個（e~g）はハビタブルゾーン（緑色の帯）に位置している。トラピスト1の惑星系は、NASAの赤外線天文衛星「スピッツァー」などを用いて惑星が中心星の手前を通過したときに中心星が暗くなる様子を観察することで、ベルギー・リエージュ大学の研究グループによって発見された。
©NASA/JPL/Caltech




惑星のうち少なくとも3個はハビタブルゾーンに位置していることも分かりました。

これまでは太陽に似た恒星の周りにある惑星系を探そうとする観測が主流でしたが、銀河系で一番多いのはトラピスト1のような軽い恒星です。そのため私たちは、トラピスト1で見つかったような系外惑星がたくさんあると考えています。トラピスト1の惑星は、最初に生命を探す場所として有望です。

**高井**：トラピスト1は惑星が7個あるので、その相互作用から密度を計算できます。密度から、それらは岩石惑星であること、そして水も存在していることが強く示されています。惑星が自転していれば全球に海が広がっていても高温にさらされるときに徐々に蒸発してしまいますが、潮汐ロックしていることで、中心星を向いている面は高温になるため海洋は枯渇し、反対の面は極低温になるため凍り付き、境界部分だけ帯状に海洋が存在している可能性があります。表裏の温度差によってエネルギーが生み出されたり、地殻変動が起きたりしているかもしれません。トラピスト1の発見によって、系外惑星についてようやく具体的なイメージを持つことができて、そこに生きられる生物とは……と妄想が膨らんでいきます。

**田村**：系外惑星の観測を生物の研究者に面白いと思ってもらえることは、非常に重要です。2018年に打ち上げ予定の次世代宇宙望遠鏡ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）によって、比較的小さな系外惑星の分光観測も可能になります。トラピスト1のいくつかの惑星については、少なくとも水の有無、うまくいけば酸素の有無も分かるでしょう。

**高井**：深海熱水活動域の調査航海では、熱水の専門家だけでなく、生物学、化学、地質学などのさまざまな分野の研究者が参加しています。だから新しい熱水域を発見した瞬間にアイデアがスパークしてその場で一気に研究がビッグバンのように広がります。同じように系外惑星の観測の段階で生命の研究者が入っていると、本当はいいんですよね。

## アストロバイオロジーの存在意義

**高井**：生命起源の研究はJAMSTECの研究開発の長期ビジョンに入っているので認められているのですが、アストロバイオロジー研究は認められていません。

**田村**：実学である海洋科学が最優先ということですか。

**高井**：理事長や理事も、アストロバイオロジーは面白い、将来的には重要だ、とはいいます。しかし国立研究開発法人の経営上、文部科学省研究開発局の海洋地球課にアストロバイオロジーをやりたいといっても運営交付金は付きません。宇宙開発利用課がありますから、役所では一番やってはいけない「他人の島を荒らす」という行為になるわけです。ではどうするかというと、科研費など競争的資金を得てやっています。ABCは共同研究を公募して研究費を出している、日本で唯一のアストロバイオロジーに特化した組織です。日本のアストロバイオロジーはABCのおかげで生きているといっても過言ではないでしょう。ABCにはぜひこれからも頑張ってほしい。

**田村**：共同研究の公募やワークショップの開催を通した研究力強化と若手育成、アストロバイオロジーのための大規模装置の開発は大学では難しいので、大学共同利用機関であるABCがやらなければいけないことだと思っています。

**矢野**：太陽観測衛星「ひので」（2006年打ち上げ）はNAOJとISASの共同プロジェクトです。そういう関係がJAMSTECとISASであってもいいと思っています。役所の壁を越えてはいけないという話がありましたが、越えてはいけないもの同士の得意技を持ち寄って初めて実現できるプロジェクトもあるはずです。「JAMSTECが研究する海洋は地球以外の天体の海洋でもいいよ」という組織になってくれると、うれしいですね。

**高井**：JAMSTECはそうあるべきだと思います。NAOJとISASは合体した方がいいという議論があったくらい親和性が高い。一方、JAMSTECとJAXAはこれまであまり親和性が高くなかったので、これから互いに歩み寄りたいと思っています。

**田村**：アストロバイオロジーがなければ天文分野とJAMSTECとの接点はまったくといっていいほどなかったでしょう。さまざまな分野と接点を持って自由な意見をいい合って互いに切磋琢磨するというのがアストロバイオロジーの特徴なので、この状況を今後も盛り上げて広げていきたいと思います。

**高井**：天文の研究者と普通に会って話をするということ自体、10年前には考えられませんでした。その関係が加速できればいいですが、大事なのは続くこと。それを若い人が当たり前だと思うことが大事でしょう。

**矢野**：宇宙探査は林業のような営みだと思っています。物理的に遠いところに探査機を送り込まなければいけないので、どうしても時間がかかります。「はやぶさ」も前の世代の先輩たちが植えた木を、私たちの世代が実働して刈り取らせてもらったのです。若い人たちには、私たちがいま植えているエンケラドス・サンプルリターンのような「アストロバイオロジー探査」という木を、ぜひ刈り取りに来てほしいですね。

**田村**：若い人たちには、宇宙生命は科学的に議論できる対象である、ということを強く訴えたい。初めての系外惑星が見つかっておよそ20年。これまでに、約3,500個の系外惑星が発見されています。若い人たちにとって系外惑星の存在は当たり前で、私たち世代よりこの分野に抵抗がないはずです。アストロバイオロジーを学びたい、追究したいという人が増えてほしいと思います。

**高井**：アストロバイオロジーの存在意義は唯一、人類の知的好奇心です。アリストテレスが生命の自然発生説を唱えて以来、2400年近くも解けなかった生命の起源の問題が解けるかもしれない。それは学術的に「革命」といえるほど大きな意味があることです。しかし、すぐに社会の役に立つわけではありません。それでもアストロバイオロジー研究を進めていくためには、ぜひ皆さんの意識を変えてもらう必要があります。

JAMSTECの研究調査活動で興味を持っている分野を聞くと、生命研究が上位に来ます。しかし今後の日本にとって重要な研究開発活動は何かと聞くと、生命研究の順位は大きく下がり、国の研究開発として重要だと報道されることが多い海底資源研究開発が上位に来ます。なぜ、自分が面白い、知りたいと思うことを追究する営みを重要な活動だと考えないのでしょうか。なんとなく世間的にそういわれているから重要なのではないかと思っているだけかもしれません。

若い皆さんには、たくさんの情報のなかから本当に大切な情報を探し当て、自分が本当に重要だと思える今後解決すべき問題や研究開発分野を見つけることができる人になってほしいと思います。私たちはそのための情報を常に出します。それをしっかり吟味して学んで、本当の意味で賢く、そしてしたたかになってほしい。自分が興味のあることは国にとっても重要である、といえるくらい賢くしたたかになってほしいのです。そして宇宙に生命を探しましょう。私たち以外に生命がいることが分かったら、どのように現実の世界が変わって見えるのか？ あるいは現実の世界がどう変わるのか？ それはそうなってみないと分からないことです。しかしその未来をつくることが人間の知的好奇心に基づく究極の文化活動であると思います。 BE

高井 研
Ken TAKAI

海洋研究開発機構深海・地殻内生物圏研究分野分野長。1969年、京都府生まれ。京都大学大学院農学研究科水産学専攻博士課程修了。博士（農学）。1997年より海洋科学技術センター（現 海洋研究開発機構）深海環境フロンティア研究員。海洋・極限環境生物圏領域深海・地殻内生物圏研究プログラムプログラムディレクターなどを経て、2014年より現職。専門は微生物学。超好熱菌の微生物学、極限環境の微生物生態学、深海・地殻内生命圏における地球微生物学を経て、現在は地球における生命の起源・初期進化における地球微生物学および太陽系内地球外生命探査に向けた宇宙生物学の研究を行っている。

座談会撮影：藤牧徹也

Aquarium Gallery

### 番匠おさかな館

# 追星で戦う──カワムツ

繁殖期の雄の口周りには、追星と呼ばれるかたい突起ができる。強い雄ほどたくさんの大きな追星を持つ。どこか威厳すら感じる姿だ。カワムツはコイの仲間で、大きい雄では全長15cmほどに成長する。西日本に広く分布しており、地元ではヤマトバエと呼ばれ、親しまれている。繁殖期のカワムツを特別にアカブトと呼ぶ。

番匠川上流を再現した水槽。水槽自体は屋外に設置されており、草木も植樹されている。この水槽のなかに大小合わせて100匹近いカワムツがいる。カワムツは自然界では5年ほど、飼育下では7年近く生きる。

追星をぶつけ合う、雄同士の縄張り争いの様子。2匹でこのように戦うときもあれば、ときには3匹が三つどもえで戦うこともある。

口でつかみ合い、雄同士が争っている。顎下から腹にかけては赤い婚姻色が現れている。

番匠おさかな館は、道の駅やよいに併設する水族館で、近くを流れる番匠川をテーマにしている。身近な生きものにこそ、スポットを当てる。それがこの水族館のこだわりだ。番匠川は、大分県南部を流れる1級河川。上・中流域で最も多く見られる魚がカワムツだ。

写真のカワムツは繁殖期の雄だ。毎年5～8月のこの時期には、顎下から腹までがよりいっそう美しい赤い婚姻色に染まる。口の周りや尻びれには、追星と呼ばれる白いこぶ状の突起ができる。追星は成熟した雄にでき、繁殖期を迎えるにつれ大きくなっていく。かたく、先端が丸くとがった構造をしていて、強く大きな雄ほど、たくさんの立派な追星を持つ。

この追星にはいったいどんな役割があるのか。繁殖期、追星を蓄えた雄たちは、互いに平行して泳いだり、ひれを広げて体を大きく見せるフィンスプレッドという行動を取り、縄張り争いを行う。それがエスカレートすると、口でつかみ合って力比べをしたり、顔の横の追星を激しくぶつけ合ったりしながら泳ぐ。つまり顔の追星は武器の役割をしているのだ。力が拮抗するほど争いは長引き、日に何度も衝突することもある。こうして争いに勝った雄は、よい餌場に縄張りをつくり、多くの雌と交尾することができる。繁殖期が終われば、追星は次第に小さくなり、冬場には目立たなくなる。それと同時に争いも少なくなる。カワムツはありふれた魚かもしれないが、その行動を観察すると実に面白い。

水族館では、番匠川の上流域を模した水槽でおよそ100匹のカワムツのほか、ヤマメやアユ、タカハヤなどを展示している。この水槽は、屋外に設置されていて、自然光がさんさんと降り注ぐ。向かって左端につくられた滝が水槽内に水流を生み出すことで、自然に近い魚たちの行動が見られる。魚たちは流れに向かって泳ぎ、水流によって餌が得られやすい場所、得られにくい場所が生じることから、餌場をめぐって魚たちの縄張り争いが繰り広げられる。

水族館が身近な魚たちにこだわるのには理由がある。子どもたちに番匠川へ実際に行ってもらい、自然と触れ合うことと、水族館を見ることをセットで楽しんでほしいと考えているからだ。そのため、野外観察にも力を入れている。番匠川は透明度が高く、とても魚影が濃い。川でたも網を振り回せば、小さなカワムツなら簡単に捕まえることができる。どこか遠くの普段見ることができない生きものではなく、身近な自然を肌で感じて、水族館でもその様子を再確認する。ふるさとの川を何度も追体験する。カワムツの暮らす水槽は、本物の自然とつながっている。 BE

取材協力：立川淳也／株式会社道の駅やよい 番匠おさかな館 館長
写真提供：番匠おさかな館

**Information：** 番匠おさかな館

〒876-0112　大分県佐伯市弥生大字上小倉898番地1
TEL　0972-46-5922
URL　http://michinoeki-yayoi.com/osakanakan/index/index.htm

私が
IODPで
解きたい謎

# 恐竜を絶滅させた 小惑星衝突の温度・圧力を 高圧鉱物で確定する

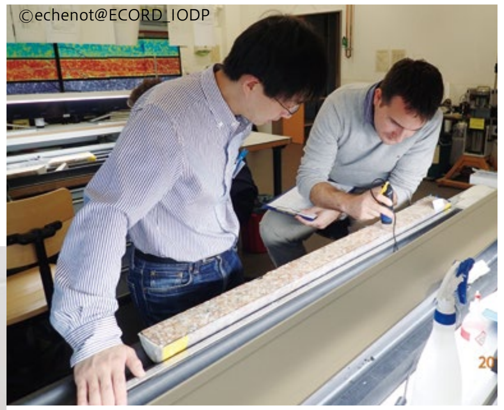
約6600万年前、小惑星の衝突により地球環境の大変動が起き、恐竜が絶滅したと考えられている。その衝突でできたチチュルブ・クレーターがメキシコ・ユカタン半島の地下に埋没している。
国際深海科学掘削計画（IODP）第364次研究航海「チチュルブ・クレーター掘削計画」が2016年に実施され、4〜5月に掘削された試料（コア）の基礎分析がドイツ・ブレーメン大学において9〜10月に行われた。
その基礎分析に参加した富岡尚敬さんは、コアのなかから高温・高圧でできる鉱物を見つけ出し、小惑星衝突で生じた温度・圧力を確定しようとしている。


## 富岡尚敬

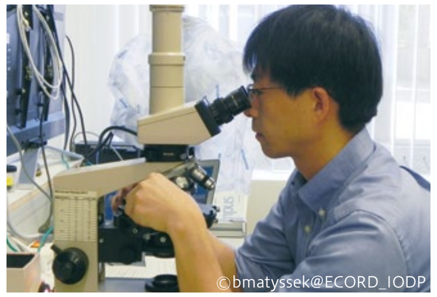
高知コア研究所
同位体地球化学研究グループ
主任技術研究員


とみおか・なおたか。1969年、北海道生まれ。博士（理学）。北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻博士後期課程修了。アメリカ・アリゾナ州立大学地質学科 客員研究員、神戸大学理学部地球惑星科学科 助教、岡山大学地球物質科学研究センター 准教授などを経て、2014年より現職。

©VolkerDiekamp@ECORD_IODP

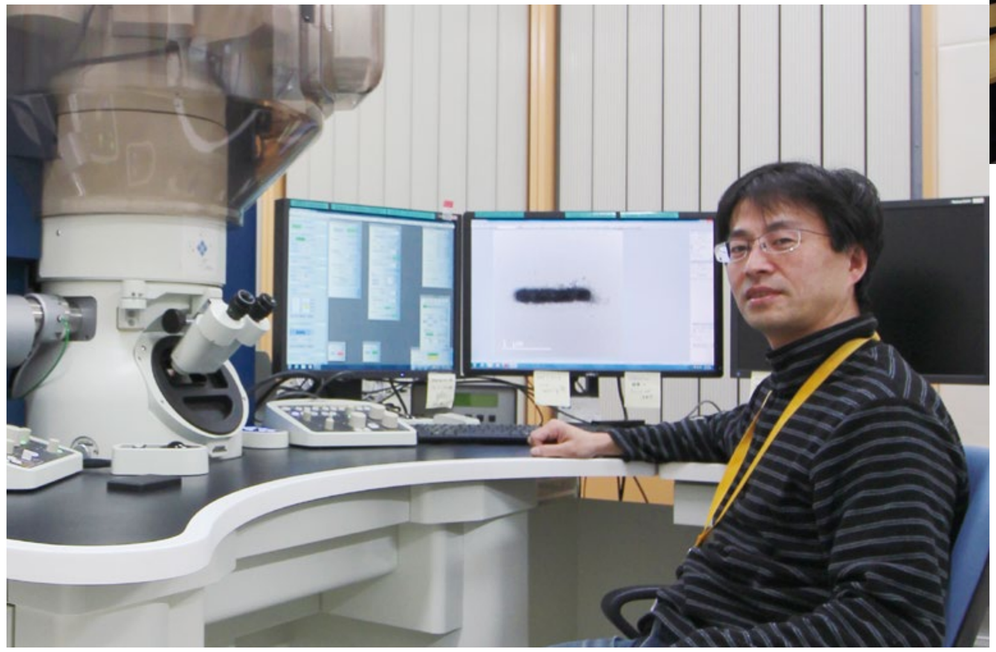


©echenot@ECORD_IODP



©bmatyssek@ECORD_IODP

IODP第364次研究航海のオンショア・サイエンスパーティーに参加した研究者たち（上）と、コアの分析を行う富岡さん（下）。



富岡尚敬さん。高知コア研究所の透過電子顕微鏡（TEM）の前で。モニターに、IODP第370次研究航海「室戸沖限界生命圏掘削調査（T-リミット）」で掘削されたコアから抽出した海底下の微生物の画像が映し出されている。

### 高温・高圧装置で人工鉱物を合成してマントルを知る

**——ご出身はどちらですか。**

富岡：北海道旭川市です。家は市街地にありましたが、自然豊かな環境で育ちました。子どものころは宇宙に興味があり、『天文ガイド』を愛読して、望遠鏡をのぞきました。

北海道大学に進学して、天体物理学を志望しましたが、物理や数学が苦手でした。せめて宇宙からやって来る隕石の研究がしたいと、地質学鉱物学科の研究室に入りました。しかし、そこでは隕石の研究ではなく、地球のマントルにある鉱物を調べる研究を行っていました。マントル深部の鉱物が地表にもたらされることはほとんどありません。そこで、マントルと同様の高温・高圧状態を再現する装置で人工的に鉱物を合成して、電子顕微鏡などを使って分析します。

**——マントルにどんな鉱物があるのか、よく分かっていないのですか。**

富岡：概要は分かっていますが、マントルは均一ではなく、場所や深度で化学組成が異なります。たとえば、地表を覆うプレートが地球深部へ沈み込む海溝では、海水がマントルに供給されるため化学組成がほかの場所とは異なります。また、化学組成が同じでも、温度や圧力によって鉱物の結晶構造は異なります。鉛筆の芯などに使われる黒鉛と、ダイヤモンドは、どちらも炭素からできていますが、かたさなどの物性が大きく異なります。かたいダイヤモンドは高温・高圧のマントル深部でできる高圧鉱物です。

### 隕石中に新しい高圧鉱物を発見、『Science』で論文デビュー

**——その後、隕石の研究も始められたのですね。**

富岡：大学院で人工鉱物を合成して分析する研究を続けていましたが、その知見を天然の鉱物で検証してみたいと思うようになりました。マントル深部の高圧鉱物は手に入りませんが、隕石のなかに、微細な高圧鉱物が見つかるケースがあるという話を聞きました。隕石のもととなる小惑星がほかの小惑星と衝突することでマントルと同様な高温・高圧状態となり、高圧鉱物ができます。

私は指導教官にお願いして、テンハム隕石を購入していただきました。握りこぶし半分ほどの大きさで5万円ほどでした。それは、1879年にオーストラリアに落下した隕石です。1960年代末から70年代末にかけて、それまで天然では見つかっていなかった高圧鉱物がテンハム隕石から発見されました。しかし、私が大学院博士課程でテンハム隕石の分析を始めた1990年代には、隕石から新しい高圧鉱物を探す研究は長らく下火になっていました。

私は透過電子顕微鏡（TEM）を使って、1$\mu$m（1,000分の1mm）以下の微細な鉱物を探した結果、私たちが合成した人工鉱物と同じ結晶構造のものが見つかりました。それは600〜2,000℃、18万〜25万気圧でできたと推定される、天然で初めて見つかった鉱物でした。その発見をまとめた論文が1997年、アメリカの科学雑誌『Science』に掲載されました。それが私の論文デビュー作、博士課程2年生のときのことです。発見者には命名権が与えられます。私たちは、高圧鉱物研究の先駆者である秋本俊一博士にちなんで、「akimotoite」と名付けました。

この発見をきっかけに、新しい高圧鉱物を探す研究が再び世界的に盛んになりました。私は学位を取った後、アメリカのアリゾナ州立大学、神戸大学や岡山大学で高圧鉱物の研究を続けました。

### 太陽系の形成シナリオに貢献

**——隕石中の高圧鉱物の研究により、どのようなことが分かるのですか。**

富岡：隕石のもととなる小惑星がほかの小惑星との衝突により経験した温度・圧力を知ることができます。その圧力が高いほど衝突速度が速かったこと、温度が高いほど小惑星を構成していた物質がやわらかかったことが分かります。

現在も小惑星同士の衝突は起きていますが、最も盛んに起きたのは約46億年前、太陽系ができ始めたときです。たくさんの小惑星が衝突・合体を繰り返して、地球などの惑星ができました。さまざまな隕石について高圧鉱物を調べることで、太陽系ができるときの小惑星同士の衝突について知ることができます。それをもとにシミュレーションを行い、太陽系がどのようにできたのか詳しく理解できるようになります。

### “幻の鉱物”を発見！

**——2014年、海洋研究開発機構（JAMSTEC）高知コア研究所に着任されました。**

富岡：高知コア研究所に、最新のTEMや、見たい箇所をピンポイントで切り出してTEM用の試料をつくることができる集束イオンビーム加工装置（FIB）が導入されました。それら最新の装置を使いこなすことができる研究者として私は採用されました。まず試しに、テンハム隕石を観察してみることにしました。すると、1,900〜2,000℃、17万〜20万気圧でできたと推定される、正方晶という結晶構造を持つガーネット（majorite）を発見しました。それは天然では見つけにくく“幻の鉱物”といわれていたものです。2007年に海外の研究者による報告がありますが、その観察データだけでは本当に天然の正方晶ガーネットであるかどうか疑問が残されていました。私たちは結晶構造の完全な記載を行い、天然の正方晶ガーネットの存在を確かなものにしました。

**——なぜ、いきなり大発見をすることができたのですか。**

富岡：この特殊な高圧鉱物は、結晶学や高圧地球科学、隕石学などさまざま

な知識がないと、たとえ顕微鏡の視野に映っていても見つけられません。そもそも見つけようという人がほとんどいなかったマニアックな鉱物です。これまでの経験と最新の装置により発見することができました。

## 恐竜絶滅の小惑星衝突説

**――どのような経緯でIODP第364次研究航海「チチュルブ・クレーター掘削計画」に参加したのですか。**

富岡：JAMSTECに来るまで海洋掘削のコアを分析したことはありませんでしたが、チチュルブ・クレーターには、高圧鉱物や岩石鉱物中の変形・溶融組織といった小惑星衝突によって生じた高温・高圧状態の痕跡があると考えられます。私のこれまでの経験をフルに生かせるプロジェクトだと思い応募しました。

**――恐竜絶滅の主因とされる小惑星衝突を探るプロジェクトですね。**

富岡：小惑星衝突説が提案されたのが1980年。1991年、その衝突でできたと考えられる直径約200kmのクレーターが、メキシコ・ユカタン半島の地下に埋没していることが分かり、チチュルブ・クレーターと名付けられました。

しかし、恐竜が絶滅したころには大規模な火山活動もあったと考えられ、恐竜絶滅の主因について論争が続きました。そして2010年、小惑星衝突説を裏付けるさまざまな状況証拠をまとめた論文が『Science』に発表され、論争にほぼ終止符が打たれました。

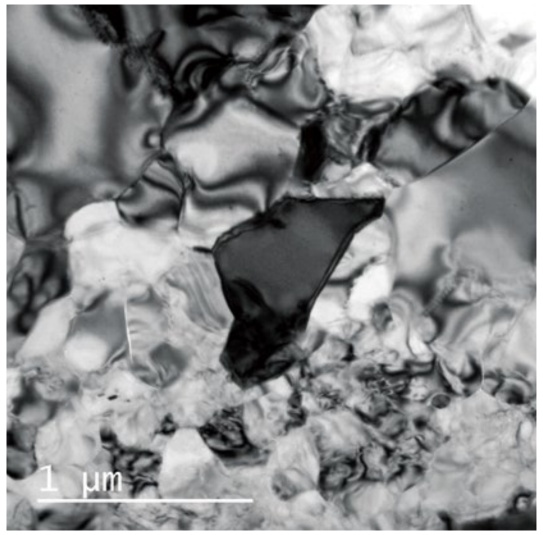
ただし、チチュルブ・クレーターの形成過程や、衝突後にどのような環境変動が起きて恐竜が絶滅したのか、詳しいことはよく分かっていません。巨大クレーターの内側には、ピークリングと呼ばれる環状の高まりができます。そこを調べることが、チチュルブ・クレーターの形成過程や、衝突後に起きた環境変動を知る鍵となります。そのピークリングが今回の掘削のターゲットでした。

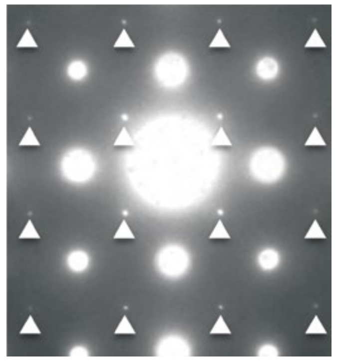
2016年4～5月に特定任務掘削船で掘削されたコアがドイツに輸送され、基礎分析を行う「オンショア・サイエンスパーティー」がブレーメン大学において9月21日～10月15日に行われました。私はそこに参加しました。

テンハム隕石中で発見された高圧鉱物

| 鉱物名 | 結晶構造 | 化学組成* | 文献 |
|---|---|---|---|
| **wadsleyite** | 変形スピネル | $Mg_2SiO_4$ | Putnis and Price (1979) † |
| **ringwoodite** | スピネル | $Mg_2SiO_4$ | Binns et al. (1969) †, ‡ |
| **majorite** | ガーネット（立方晶） | $MgSiO_3$ | Price et al. (1979) |
| **majorite** | ガーネット（正方晶） | $MgSiO_3$ | Xie and Sharp (2007) †<br>Tomioka et al. (2016) |
| **akimotoite** | イルメナイト | $MgSiO_3$ | Tomioka and Fujino (1997) †<br>Tomioka and Fujino (1999) ‡ |
| **bridgmanite** | ペロヴスカイト | $MgSiO_3$ | Tomioka and Fujino (1997) †<br>Tschauner et al. (2014) ‡ |
| **lingunite** | ホランダイト | $NaAlSi_3O_8$ | Tomioka et al. (2000) |

＊化学組成は端成分（主要成分）で表されている
†天然試料として初めての記載を行った文献
‡新鉱物として命名を行った文献



左は、富岡さんたちが発見した、テンハム隕石中の正方晶ガーネットの粒子集合体の透過電子顕微鏡画像。右は電子線回折パターン。△で示した白い点が、この鉱物が正方晶という結晶構造であることを示している。

## 温度・圧力を確定する高圧鉱物を探す

**――掘削船に乗船しないでIODPに参加する方法もあるのですね。どのようにコアの基礎分析を進めたのですか。**

富岡：世界各国から31人の研究者が集まり、専門ごとにチームに分かれ、早朝から昼前、昼前から夜までの2シフトで分析を行いました。1日11時間、土日も休みなしでした。集まった研究者はクレーターの専門家が多く、分野が異なる私はほとんどの人と初対面でした。

2016年11月、基本分析に基づく研究成果が『Science』に発表され、私も筆者の1人に名を連ねました。これまで巨大クレーター形成のシミュレーションがさまざまな研究者によって行われ、形成メカニズムについて、いくつかのモデルが提唱されていました。今回の掘削計画のリーダーの1人であるJoanna Morgan博士も自ら提唱したモデルに基づきチチュルブ・クレーター形成のシミュレーションを行っていました。それと今回のコアの分析結果がよく一致することが分かりました。

ただし、謎はまだ残されています。今回の掘削計画に参加したメンバーは、一定期間、コアを独占的に分析して、2019年末までに論文を投稿するという決まりです。私もコアから希望する箇所の試料を持ち帰り、分析しています。

**――どのような分析で何を探っているのですか。**

富岡：主に3種類の分析を進めています。1つ目は、衝突によって生じた鉱物中の欠陥を調べることです。さまざまな大きさの圧力を鉱物にかけて欠陥をつくる衝突実験の結果と照合することで、小惑星衝突によりどれくらいの圧力が鉱物にかかったのか推定できます。

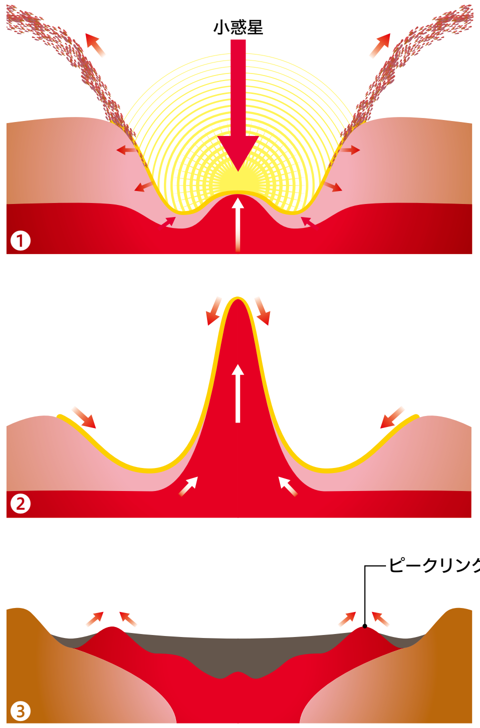
欠陥を調べるにはいくつかの手法があり、クレーター地質学者の多くは光学顕微鏡を使います。一方、私は電子線を試料に当てたときの可視光の発光を観測します。欠陥が多いほど発光強度が強くなる原理を利用した手法です。異なる手法で欠陥を調べることで、クレーター地質学者たちの分析結果を検証することができます。

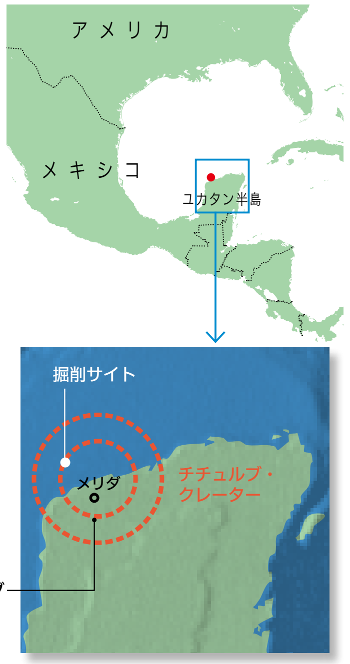
2つ目は、衝突により高温・高圧状態となった岩石が流動してクレーターができる過程で、鉱物がどのように変形・溶融したのかを調べることです。それはクレーターの形成過程だけでなく、地震の理解にも役立ちます。衝突によりマグニチュード10を超える超巨大地震が起きたと推定されています。地震で断層が動いたときの摩擦熱で岩石の一部が溶けると、シュードタキライトという黒い脈ができます。それと同様のものが、今回のコアからも見つかっています。

3つ目は、高圧鉱物を見つけることです。特定の高圧鉱物が見つかれば、衝突で生じた温度・圧力を確定することができます。先ほどの欠陥を調べる手法は、衝突実験の結果と照合して圧力を推定します。しかし衝突実験と小惑星衝突では衝撃圧縮状態の時間スケールが大きく異なるため、どこまで符合するか疑問が残ります。一方、高圧鉱物ができる温度・圧力は物理法則でより強く制約されるので、誰もが納得するかたちで温度・圧力を確定できます。

それは、衝突後に起きた環境変動を推定する上でも重要です。「大量のちりが発生して地球を覆い太陽光を遮った」「堆積物中の石こうが分解して酸化硫黄が大気に放出され、水と反応した結果、酸性雨となって降り注いだ」など、さまざまな環境変動の仮説があります。ただし、それらがどれくらいの規模で起きたのかを推定するには、衝突により生じた温度・圧力を知ることが不可欠です。今回の掘削計画のメンバーのなかで高圧鉱物の専門家は私だけなので、温度・圧力の決定的な証拠をコアから発見できるのは私しかいません。

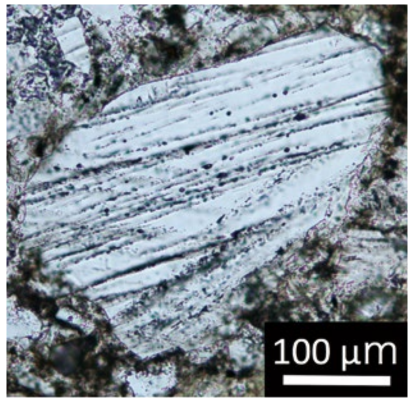
巨大クレーターの形成過程



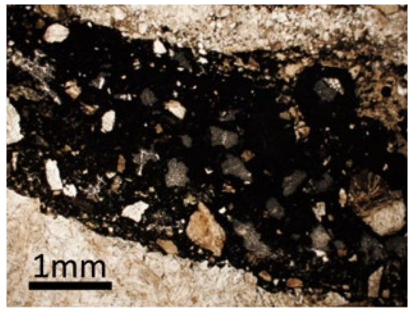




AAAS資料より作成

IODP第364次研究航海のコアから得られた試料




衝突による圧力でできた石英中の面状欠陥




基盤岩の花崗岩中の断層摩擦によってできたシュードタキライト状の黒色脈

## 「はやぶさ2」、マントル掘削、海底下生命圏の探査……

**――今後、どのような研究に携わっていきますか。**

富岡：日本の小惑星探査機「はやぶさ2」が小惑星リュウグウの試料を2020年に持ち帰る予定です。私が所属する同位体地球化学研究グループでは、伊藤元雄さん（グループリーダー代理）が中心となって、「はやぶさ2」の試料を分析する準備を進めています。地球に飛来した隕石は、太陽系のどこからやって来たのか、出所を推測するしかありません。一方、「はやぶさ2」は、出所が明らかな試料を持ち帰ります。それを分析することで、これまでの隕石研究の知見を検証して、太陽系形成の理解を深めることができます。

2020年代には、地球深部探査船「ちきゅう」によるマントル掘削も計画されています。マントル対流に伴い岩石は応力を受けて鉱物が変形します。その再現実験が行われてきましたが、時間スケールの大きな違いから、マントルの鉱物の変形を正確に再現することは極めて困難です。地表に露出したマントル由来の鉱物がありますが、それは地表に上昇するときにも大きな変形を受けています。その影響のない、人類が初めて手にするマントルのフレッシュな鉱物をぜひ分析してみたいですね。それによりマントル中での岩石の流動の理解が深まるはずです。

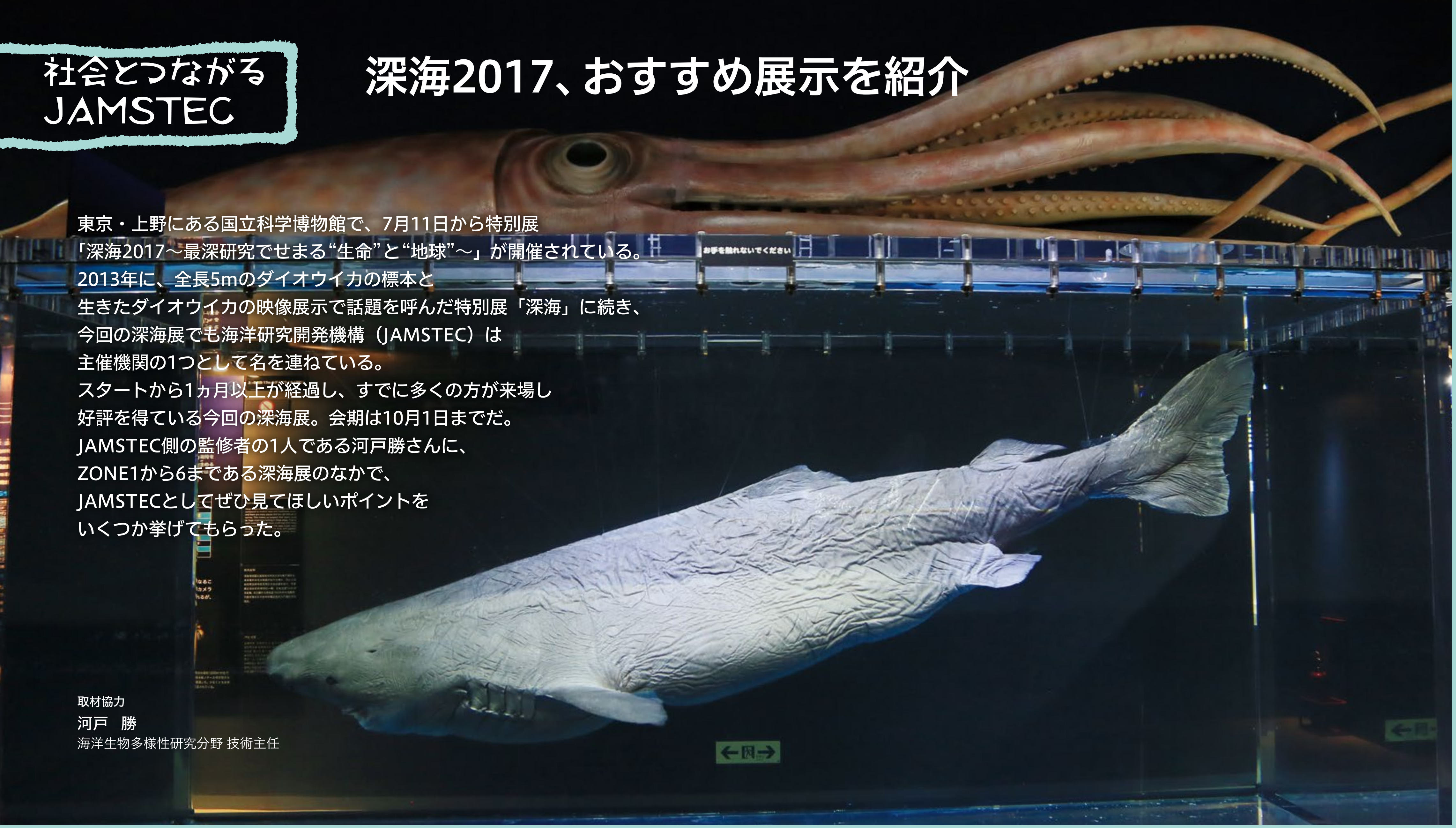
**――海底下の微生物の観察も始めているそうですね。**

富岡：高知コア研究所で海底下生命圏の探査を進めている諸野祐樹さん（地球深部生命研究グループ グループリーダー代理）たちの試料をTEMで観察しています。現在は、鉱物の隙間などにすんでいた微生物を取り出して観察しています。今後は、すみかである周りの鉱物ごと微生物を観察することを目指しています。微生物は周囲の鉱物と物質をやりとりして生きているそうです。TEMを使えば、鉱物の結晶構造や微生物の構造がナノスケールで分かります。

生物に興味がなかった私が海底下生命圏の研究に携わるなんて、高知コア研究所に来るまで思ってもみませんでした。諸野さんたちの解説を聴きながら、さまざまなかたちの微生物を観察していると、面白くて仕方ありません。BE

社会とつながる
JAMSTEC

# 深海2017、おすすめ展示を紹介



東京・上野にある国立科学博物館で、7月11日から特別展「深海2017～最深研究でせまる“生命”と“地球”～」が開催されている。2013年に、全長5mのダイオウイカの標本と生きたダイオウイカの映像展示で話題を呼んだ特別展「深海」に続き、今回の深海展でも海洋研究開発機構（JAMSTEC）は主催機関の1つとして名を連ねている。スタートから1ヵ月以上が経過し、すでに多くの方が来場し好評を得ている今回の深海展。会期は10月1日までだ。JAMSTEC側の監修者の1人である河戸勝さんに、ZONE1から6まである深海展のなかで、JAMSTECとしてぜひ見てほしいポイントをいくつか挙げてもらった。

取材協力
河戸　勝
海洋生物多様性研究分野 技術主任

深海展会場でのオンデンザメのホルマリン標本。上に見えているのはダイオウイカの模型である。

液浸標本づくりのために、オンデンザメがJAMSTECに到着したときの作業風景。重さが250kgもあり、重機がなければ移動させることも難しい。

腹を上にして泳ぐシダアンコウ。深海展会場では、シダアンコウの標本と共に泳ぐ映像を見ることができる。

東北地方太平洋沖地震の地震断層コア。採取時は上の写真のような状態だったが、研究に使われて現在では下の写真のように虫食い状態になっている。

前回と異なる目玉の1つとして河戸さんが挙げてくれたのが、オンデンザメの液浸標本（ZONE2）だ。液浸標本とは、いわゆる「ホルマリン浸け」の標本のことである。オンデンザメは深海ザメのなかで最大級の種で、全長7mにも達するという。「今回標本にした個体は全長が3m近く、重さが250kgほどあります。これほど大きなオンデンザメの液浸標本は、日本ではおそらく例がないと思います」と河戸さん。

これだけの巨体を液浸標本にするには、多くの時間と労力を要したそうだ。250kgもの巨体のため、運び出すだけでも重機が必要になる。ホルマリンを体全体にしっかりと浸透させるため、実に3ヵ月間ホルマリンに浸漬した。容器のふたを開けてでき上がりを見たのは開会の約1週間前。まさに一発勝負の標本づくりだったと河戸さんは振り返る。「標本を見て、まずは大きさ、太くずんどうな体形、つぶらな目などの特徴を、液浸標本ならではの美しさとともにじっくりと見てほしい。その後には、なぜ深海でこれほど巨大化したのか？ 何年くらい生きているのか？ 生態系にどれだけ大きな影響を持つ存在なのか？ といった疑問について、展示パネルを見ながら考えてもらえたらうれしいです」

ZONE2の「喰う・喰われる」から「深海のトップ・プレデター」にかけてのコーナーもおすすめだ。

「喰う・喰われる」では深海生物が喰うための、あるいは喰われないための工夫が紹介されている。このコーナーでは実物と共に、そばに置かれたモニターでその生物の捕食シーンの映像が流されている。深海ではめったに見られないシーンの数々で、一見の価値ありと河戸さんはいう。なかでも河戸さんのおすすめはシダアンコウだ。チョウチンアンコウは誘引突起で獲物をおびき寄せる。シダアンコウも一見、同じようにしているように見える。「しかしよく見ると、上下逆さまになって泳いでいます」と河戸さん。逆さまになることで、頭の誘引突起を下向きに垂らし、海底付近の獲物をおびき寄せると考えられているそうだ。「実際、獲物を見つけても逆さまで襲うのか？ 食べた後も逆さまなのか？ 見てみたいものです」

喰われない工夫としては、ムラサキヌタウナギを見てほしいと河戸さん。ムラサキヌタウナギは敵に襲われると、一瞬のうちに体表から大量の粘液を放出する。敵は粘液が体内に詰まることを嫌がり逃げていく。「映像ではサメとの攻防が見られます。ムラサキヌタウナギに喰い付いたサメがどうなるのか？ 注目です」

「深海のトップ・プレデター」のコーナーでは、深海での生態系の頂点に立つトップ・プレデター候補である大型魚類のホルマリン標本が並ぶ。どれも本展の前に国立科学博物館と協力して作製したものだが、展示だけを目的とした標本ではない。「水槽の前で、標本の腹を下側からちらっとのぞいてほしい。縫合の痕が見えます。ホルマリンに浸ける前に、解剖して研究に必要な臓器や組織はすべて採取してから、詰め物をして縫合したのです」。博物館展示は研究あってこそのもの。本展ではどのZONEにおいても、それが伝わってくるだろう。

今回の深海展は深海生物展示のみならず、「深海と巨大災害」というテーマにも深く切り込んでいるのが特徴だ。たとえばZONE3では2011年に発生した東北地方太平洋沖地震の地震断層の実物を、地震発生メカニズムの解明に向けた最新の研究成果とともに世界初公開している。この地震断層コアは、宮城県東方沖約200kmの海底下から地球深部探査船「ちきゅう」により採取された。研究目的の試料であるため、ところどころ試料が抜き取られて虫食い状態になっている。逆にいえば隙間だらけであることが実際にさまざまな研究で使われていることを示しており、研究現場の一端をうかがわせるものでもある。「断層のコアを採取するために実際に使われたドリルパイプやコアビット、その操縦席であるサイバーチェアなども実物が展示され、スケールの大きさやプロジェクトの困難さが伝わってきます。それを感じつつじっくりとパネルで最新の成果に見入っていただきたい」と河戸さん。

「本展には随所に、なぜ深海を研究するのか？ 深海を研究することで何が得られるのか？ 深海を研究しないとどうなってしまうのか？ といったメッセージが含まれていると思います。深海展の出口を出るとき、それらのメッセージが記憶の片隅にでも残っていてくれたら幸いです」

もちろん見どころは上記以外にもたくさんある。さまざまな点で「深化」を進めた特別展「深海2017」。まだ見ていない人はもちろん、一度見た人ももう一度、今回のおすすめやメッセージを意識して上野まで足を運ばれてはいかがだろうか。 BE

＊深海2017の開館時間など、詳しくはホームページをご覧ください。
http://shinkai2017.jp

Marine Science Seminar

# 地震波を使って<br>海底下を診る

地球情報館公開セミナー 第202回（2016年8月20日開催）

新井隆太　地震津波海域観測研究開発センター
プレート構造研究グループ 研究員

地下の岩石の種類などによって、地震波の伝わり方は違います。
この性質を利用すると、地下の様子を調べることができます。
地震の多くは海底下で発生することから、海洋研究開発機構（JAMSTEC）では
船から曳航した装置で人工的に地震波を発生させて海底下の様子を調べ、
地震の謎に迫ろうとしています。地震波を使って海底下を調べる手法、
そしてその手法を用いて調査した東北地方太平洋沖地震の震源域や、
将来の巨大地震発生が懸念されている南海トラフ、さらに南西諸島周辺の
津波地震震源域や海底火山などの研究成果について紹介します。

あらい・りゅうた。1984年、群馬県生まれ。東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程修了。博士（理学）。ハワイ大学研究員、海洋研究開発機構ポスドク研究員を経て、2016年より現職。専門は構造地震学。海域地震観測による地殻構造研究に携わる。

## 海底下で起きる現象を診断する

今回のセミナーのタイトルを付けるにあたり、「みる」という言葉にあえて「診る」という漢字を当てました。「診」の字は「診断」などで使われるように、医者が患者を診る場合などに使われます。地震の研究者は、人間ではなく地球を相手にして、地震波を使ってさまざまな現象が起きる理由を診断しようとしているという意味を込めて「診」の字を当てています。

私たち地震研究者は、地球の内部にとても興味があります。しかし穴を掘って内部を直接調べることは技術的にもとても難しく、これまでに掘られた最も深い穴でも地下12kmまでしか到達していません。掘るのが難しければ、何かしら遠隔的に情報を得るしかありません。

これまで地球内部の情報を最もたくさん取り出すことができているのが、地震波を使って診る方法です。地球内部は層構造になっていて、外側から地殻、マントル、そして中心に核があると考えられていますが、このような区分も地震波を利用して調べることで明らかになってきたのです。

## できるだけ震源の近くで観測したい

地球の表面は、地殻とマントルの最上部から成る、十数枚のかたい岩板（プレート）で覆われています。マントルでは対流が起きており、その対流に伴ってプレートは横方向に動いていきます。場所にもよりますが、動く速さは1年間に数cm、爪や髪の毛が伸びるのと同じくらいの速さで動いています。

プレート同士がぶつかるところでは、一方のプレートがもう一方のプレートの下に沈み込んでいきます。このプレートの沈み込みに伴って、地震や火山などの現象が生じます。地震は世界中で一様に起きているわけではなく、プレートの境界部分で集中して発生しているのです。

日本付近は、太平洋プレートやフィリピン海プレート、北米プレートやユーラシアプレートなど、いくつものプレートが互いに複雑にぶつかり合っています（図1）。このような場所では、2011年の東北地方太平洋沖地震や、将来発生することが懸念される南海トラフの地震などといった巨大地震も起こり得ます。

プレートが沈み込むところでは、さまざまな深さで地震が発生します。内陸の地震もありますが、地震の多くは海底下で起きます。震源に近い場所の方が詳しく観測できるので、研究者は、できるだけ震源に近づいて観測したい。そこで私たちは、海から地球内部に迫ろうとしているのです。

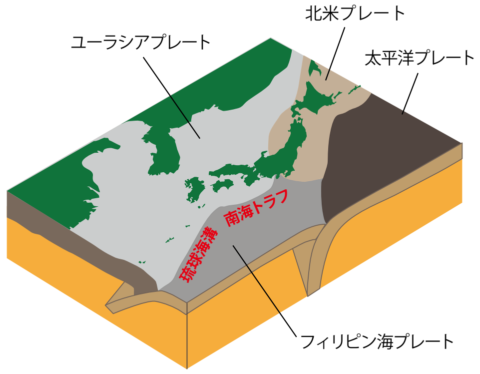




**図1：日本列島周辺のプレート**
日本列島は、複数のプレートがぶつかり合う場所に存在している。

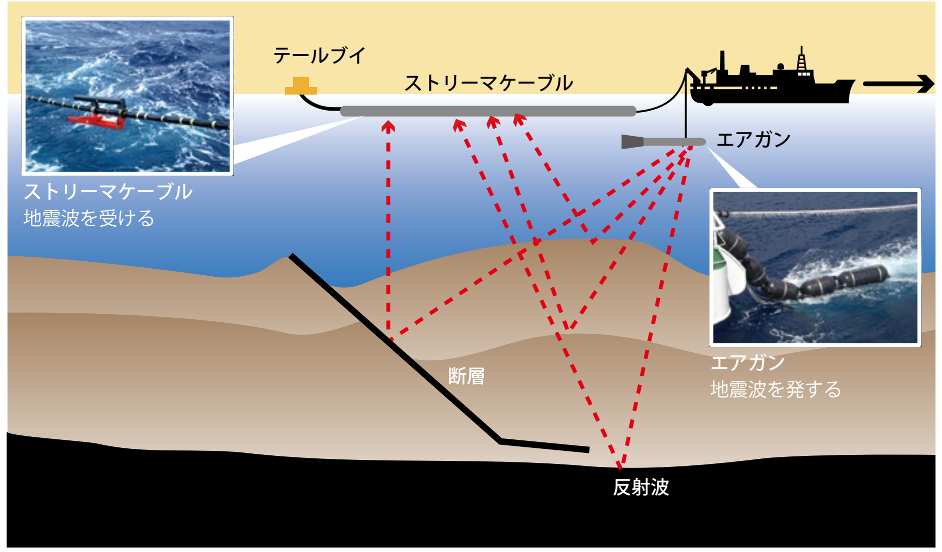




**図2：反射法探査の仕組み**
エアガンで発生させた地震波が、断層や地層の境界などで反射して返ってきたものを、ストリーマーケーブルの受振器で捉える。

## 地震波で海底下を診る方法

人体を診るためのいわゆるレントゲン写真は、X線を利用して体のなかを調べます。それと同じように、地震波を利用して地下の“レントゲン写真”を撮ることができます。岩石の種類などによって、地震波の伝わり方は変わります。その性質を利用すると地下の様子を画像化できます。地下の構造を調べることを「構造探査」といい、その手法には反射法探査と屈折法探査の2種類があります。

反射法探査は、海底下から返ってくる反射波を利用する方法です（図2）。まず船で曳航する「エアガン」と呼ばれる発振装置から地震波を出します。地震波は海中から海底下へと伝わっていき、海底下の断層や地層などの境界で反射して返ってきます。その反射波を、船から伸ばした「ストリーマーケーブル」という長いケーブルに設置した受振器で捉えるのです。たとえばJAMSTECの深海調査研究船「かいれい」のストリーマーケーブルは長さ6kmで、ケーブル内には444個の受振器が12m間隔で取り付けられています。

一方、屈折法探査は、海底下で屈折して戻ってくる波を捉える方法です（図3）。深さや岩石の種類によって地震波の伝わる速度が変わるため、地震波が屈折します。エアガンから地震波を出し、その屈折波を海底に設置した海底地震計で捉えることで、地震波が地下のそれぞれの場所でどれくらいの速さで伝わるかという、地下全体の速度構造の情報を得ることができます。JAMSTECでは200台ほど海底地震計を持っており、さまざまな調査に利用しています。屈折法探査では、海底地震計を数十個から100個ほど1列に並べて地震波を捉えます。

反射法も屈折法も、得られたデータをもとに海底下の様子を画像化することができます。海底下の“レントゲン写真”といえるものが得られるのです。

## 東北沖地震の前後を比較

ここまで紹介してきたような手法を用いることで分かってきたことについて、最近の研究成果からいくつか紹介します。まず2011年の東北地方太平洋沖地震（以下、東北沖地震）に関連した研究です。

東北沖地震では、日本海溝に近い浅いプレート境界が大きくすべることで、あのような巨大地震と巨大津波が発生したことが分かってきました。プレート境界では、上側のプレートが引きずり込まれてひずみがたまり、ひずみが限界に達すると一気に動いて巨大地震が起こります。プレート同士のくっつき具合のことを「固着」といいますが、固着が強いほどプレートのひずみがたまりやすくなります。海溝付近の浅い領域は固着が弱いと考えられていたので、東北沖地震でそこが大きくすべったことは研究者にとって意外でした。

JAMSTECでは東北沖地震の直後に、大きくすべったとされる場所で反射法探査による“レントゲン写真”を撮りました。そのとき調査された海域では、地震発生前の1999年にも同様の“レントゲン写真”が撮られていました。地震の前後の写真を比較したところ、海底が数十mの規模でずれていることが分かりました。このように時間を置いてレントゲン写真を撮ることで、地下で起きた変化を読み取ることも可能になります。

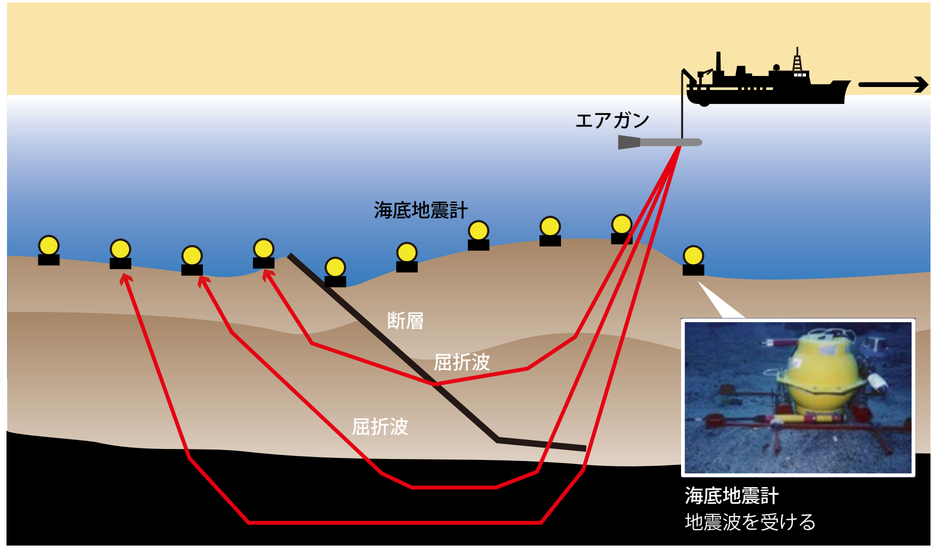




**図3：屈折法探査の仕組み**
エアガンで発生させた地震波が、海底下のプレートを通り、屈折して戻ってきたものを、海底地震計で捉える。観測後は取り付けてある重りを切り離して地震計を浮上させ、回収する。

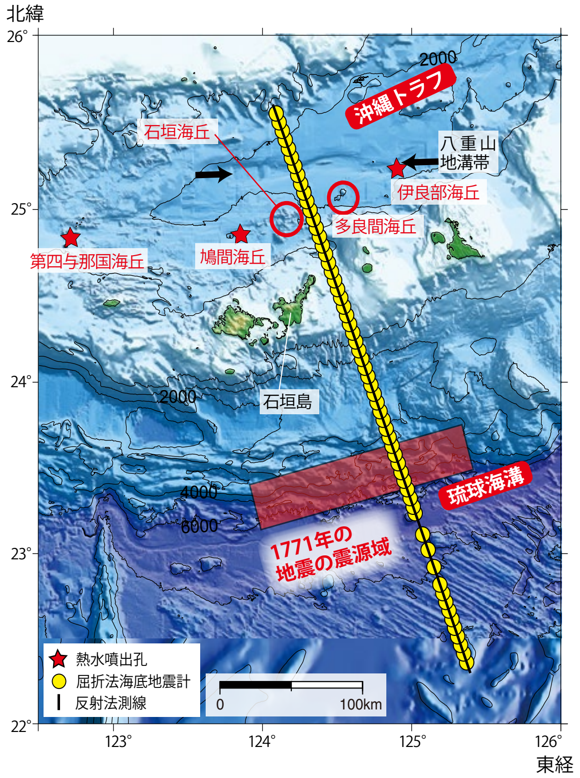



**図4：石垣島周辺の海底地形図**
黒いラインに沿って、反射法、屈折法による探査が行われた。黄色い○は海底地震計を設置した地点。1771年の津波地震の震源域も示してある。また周辺の海丘などの位置も示してある。

## 注目されるプレートの形状

次に南海トラフの例を紹介します。ここは歴史的に、マグニチュード8を超えるような巨大地震が100〜200年の間隔で繰り返されてきた場所です。

南海トラフでは、巨大地震が単独で発生するケースと、巨大地震が1度発生した後、少し時間を空けてもう1度発生するケースがあります。1854年に2度発生した地震や、1944年と46年に発生した地震は後者のケースです。

南海トラフの震源域はいくつかに分かれていて、それぞれの領域を「セグメント」と呼びます。そのセグメントごとに別々に地震が起きたり、いくつかのセグメントで一度に地震が起きたりしていることで、地震の発生にいくつかのパターンが生じているのではないかと考えられています。

南海トラフでは、ユーラシアプレートの下にフィリピン海プレートが沈み込んでいます。フィリピン海プレートの形状を調べたところ、紀伊半島の下でプレートが屈曲していることが分かってきました。そのようなフィリピン海プレートの形状が、あるときは1つのセグメントで止まり、あるときは複数のセグメントが連動して動くというような、力学的に非常に複雑なシステムをつくる要因になっているのではないかと注目されています。

JAMSTECでは2000年代から南海トラフで集中的に調査をしてきました。これまでは南海トラフ全体を網羅的に調べる段階でした。今後は、セグメント同士がどのように連動し得るのかをより正確に理解するために、セグメントの境界部分がどのようにつながっているのかを調べるための観測研究の計画が出されています。

## 南西諸島の津波地震の現場

南西諸島の南東側にある琉球海溝は南海トラフとつながっており、同じようにユーラシアプレートの下にフィリピン海プレートが沈み込んでいます。ただ南西諸島ではプレート境界で大きな地震が発生した記録は少なく、南海トラフと連動して地震が発生した例も確認されていません。

その一方で琉球海溝では、数日から数週間かけてプレートが比較的ゆっくりとすべる「スロースリップ」と呼ばれる現象が観測されています。スロースリップが繰り返し発生する領域はプレート境界の固着が弱い領域と考えられています。琉球海溝は全体的に固着が比較的弱いとみられており、これは巨大地震が起きていないこととも整合します。ただし、この周辺は観測点が少ないため、詳しいことはよく分かっていません。詳細を知るためにも調査が必要です。

巨大地震が少ないにもかかわらず、石垣島や宮古島の周辺は周期的に津波に襲われてきました。最も有名なのは1771年に起きた八重山地震津波（明和の大津波）です。周辺の島々で津波が陸上を駆け上がり、石垣島では高さ30mに達した記録が残っています。一方で地震のゆれによる被害はわずかでした。地震の規模に対してとても大きな津波を発生させる「津波地震」というタイプの地震があります。1771年には、そのような津波地震が起きたとみられています。

**図4**は石垣島周辺の海底地形図です。津波地震を引き起こした場所が、どのような構造をしているのかを調べるために撮った海底下の“レントゲン写真”が**図5**です。

**図5**は反射法探査の結果で、海溝軸付近の断面図です。このあたりではプレート境界から枝分かれするように海底に向かって伸びる「分岐断層」があると従来からいわれてきましたが、私たちの調査でも分岐断層の存在が確認できました。分岐断層で地震が起きると海底を持ち上げるような動きをします。同じ規模の地震でも、分岐断層がすべった場合は、海底面を大きく持ち上げる効果があるので、より大きな津波が発生しやすくなります。

反射断面をより細かく見ると、別の実態も見えてきます。**図5右上**の拡大画像は、反射波のパターンを赤と黒で示したものです。反射波のパターンが、海底からのものとプレート境界の一部とで、反転しているところがありました。詳しい説明は省きますが、これはプレート境界に流体、主には水があるからではないかと解釈されています。海側のプレー

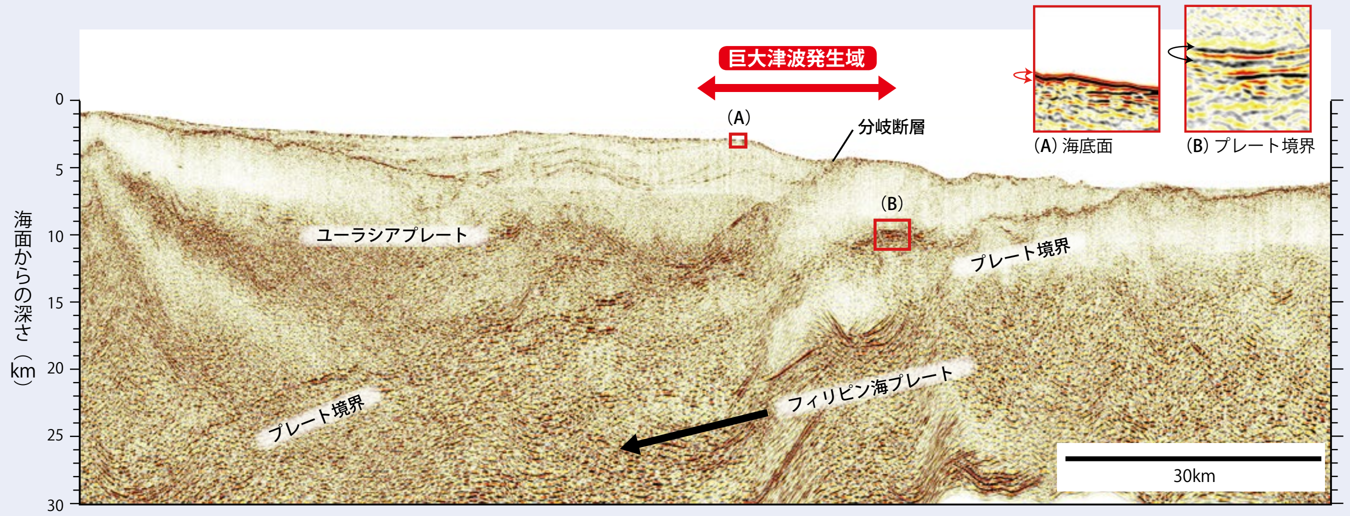



**図5：津波の発生域付近の反射断面**
分岐断層は、1771年の巨大津波を引き起こした断層の可能性がある。右上は（A）（B）の枠内を拡大した画像。海底からの反射波と海底下からの反射波とで赤、黒のパターンが異なる。Arai et al.（2016, Nature Communications）より。

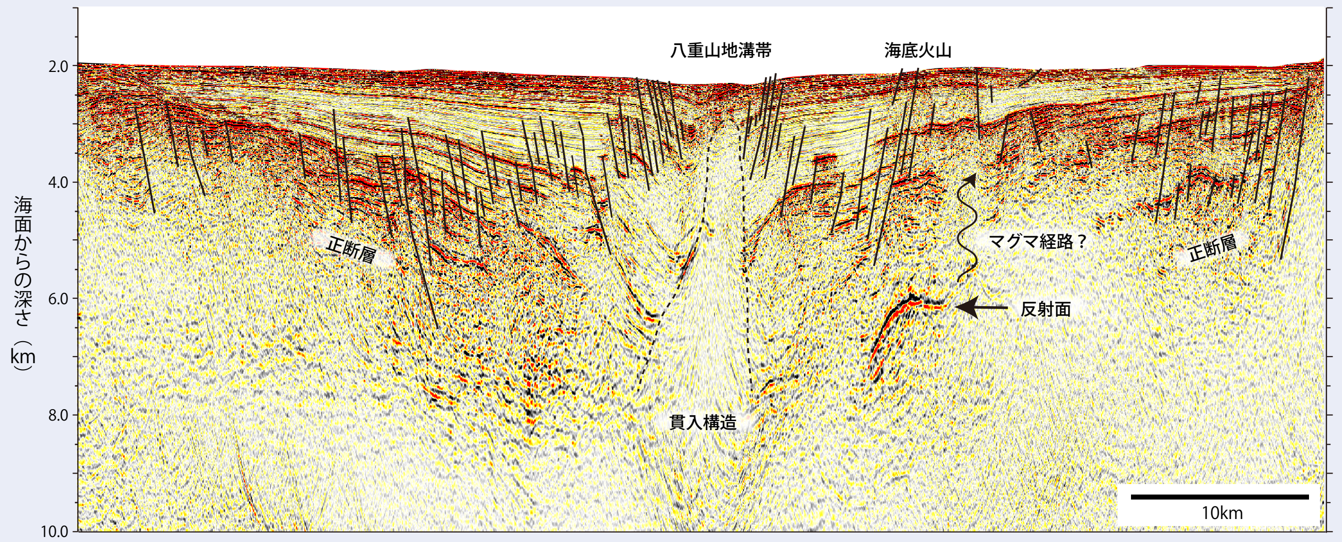



**図6：海底火山付近の海底下の断面**
図4の八重山地溝帯付近の海底下を反射法探査で調べたもの。多くの正断層のほか、両側から引っ張られて開いたところにマグマのような熱いものが上がってきて冷えて固まってできた「貫入構造」も見られた。また海底火山の地下には反射面も見られ、屈折法探査の結果も合わせると、反射面の下の方にマグマだまりがありそうなことも分かった。Arai et al.（2017, JGR）より。

トは沈み込むときに水を持ち込みます。ある程度の深さまでいくと高温・高圧のために水が絞り出される「脱水」という反応が起きて、プレートとプレートの間に水がたまります。

反射波のパターンの反転は、プレート境界が強く固着しているところではほとんど見られません。おそらくプレート間が強く固着しているために水がたまるスペースがないのだとみられています。逆にいうと、水がたまっている琉球海溝では、それほど強く固着してはいないと考えられます。

## 海底火山の地下を診る

石垣島の北側で、1924年に海底火山が噴火したことが知られています。西表島北北東海底火山と呼ばれていますが、実は正確にどこで噴火したのかは分かっていません。ただ海底地形の調査から、沖縄トラフの石垣海丘が噴火場所の候補とされています。海底火山の実態はよく分かっていないので、私たちはこうした海底火山の研究も進めています。

**図6**は石垣海丘の付近の反射断面に、断層や境界を黒い線で描き込んだものです。沖縄トラフは両側に引っ張られており、それによって広がろうとしているために正断層というタイプの断層がたくさん発達しています。こうした引っ張りに伴って、沖縄トラフ自体も浅い地震が比較的活発に起きている場所です。海底面まで突き抜けている断層もあるので、津波のリスクがあることも示唆しています。

屈折法探査による速度構造の情報も合わせて考えると、海底火山の下にある反射面のさらにその下、海底面から4〜5kmほどの深さのところにマグマだまりがありそうだということも明らかになってきました。

これまで紹介してきたように、地震波を利用して断面を画像化することで、地球の内部、そして地震や津波を起こした場所や海底火山の地下の姿が少しずつ見えてきます。そしてそれが、将来的にどのような現象が起こり得るのかを考え、備える材料になるのだということが、皆さんに伝わったとしたら幸いです。BE

海と地球の情報誌

# 『Blue Earth』通巻150号記念

## バックナンバーのご紹介

海と地球の情報誌『Blue Earth』は、今号で通巻150号を迎えました。
1巻1号は、1989年1月に『JAMSTEC』として刊行されました。
2000年4月に誌面と内容を一新し、誌名も『Blue Earth』と変更し、現在に至ります。
通巻150号を記念して、『Blue Earth』になってからのすべての表紙と記事タイトル、
そして『Blue Earth Special Issue』をご紹介します。
最新号以外はJAMSTECのウェブサイトでも閲覧いただけます。

**1～46** 在庫切れ
（1989年1月～2000年3月）

**47** 在庫切れ
2000年 vol. 3（5-6月）
**進化する海洋観測技術**
インド洋で発見された「エル・ニーニョの兄弟」
キタクシノハクモヒトデの群生
大規模な地殻構造探査によって南海トラフ巨大地震破壊域の構造を探る

**48** 在庫切れ
2000年7-8月
**海から見えてくる地球環境**
地球最後の未踏地に挑む地球深部探査船
噴出するブラックスモーカー
プランクトン調査によって高い生産性と生物多様性を持つサンゴ礁の生態系構造を探る
北極点に我が国初の氷海観測用小型漂流ブイを設置
エル・ニーニョ発生の条件である暖水の蓄積が過去10年で最大
南海トラフに巨大な海山の沈み込みを発見

**49** 在庫切れ
2000年9-10月
**海底地形とプレートテクトニクス**
注目される清浄で栄養豊富な冷たいエネルギー海洋深層水
捨てられたマネキンの首
「うらしま」の開発に携わり自律型無人探査機実用化への道を切り拓く
伊豆諸島でマグマの動きを探るための観測を実施

**50** 在庫切れ
2000年11-12月
**最新テクノロジーが解明する海洋生物の世界**
プレートテクトニクス研究の現在
海中で噴出した溶岩流の造形美
集められた観測データを管理しより快適にデータを使うことができる情報環境の実現を目指す
氷海観測用小型漂流ブイデータが示す北極海の海洋変動
音響トモグラフィーにより、ラ・ニーニャの終息時の海流変化を観測
北の海の研究拠点「むつ研究所」、10月に発足

**51** 在庫切れ
2001年1-2月
**21世紀の海洋研究**
地球環境解明のカギを握る北の海の研究拠点
深海の幸、ズワイガニ
過去の海洋環境の変遷から将来の地球の気候変動のメカニズムを予測する
ダイポールモード現象をモデルで再現

**52** 在庫切れ
2001年3-4月
**OD21 地球深部へのチャレンジ**
インド洋中央海嶺で熱水噴出孔生物群集を発見
チムニーに取りついた巨大イソギンチャク
地球全体の気候が決定されるなかで、海が果たす役割を鮮明にする

**53** 在庫僅少
2001年5-6月
**生命はどこから始まったのか？**
**深海の謎を解き明かす**
**「深海調査システム」**
宮古沖の日本海溝海側斜面で発見された新しい裂け目
天皇皇后両陛下JAMSTECをご視察
パナマ運河を行く「よこすか」
潜水調査船整備場
地球研究の一端を担う「かいれい」
計測ポイントで日本列島をぐるり

**54** 在庫僅少
2001年7-8月
**固体地球はどのように進化してきたか？**
**海底地形図をつくる**
四国海盆東部の紀南海山にある鋪装タイプのマンガン
リアルタイムの気象要素観測データが取得できる「沖ノ鳥島」のウェブページがスタート
南部マリアナトラフ「バクテリアマット」に覆われた斜面
荒れる海なら任せなさい「みらい」
ゲノム解析で生命進化の過程を解き明かす

**55** 在庫僅少
2001年9-10月
**海と地球を見つめて30年 JAMSTEC History**
**レッツ！トライ マリンサイエンス・スクール2001**
小笠原海台の南西端、急斜面に露出する石灰岩
30年来のなぞが解けた！ 亜熱帯反流は、ハワイの高い山と風が原因
ブラックスモーカーに群がるエビ
私たちの仕事場は、北極海です
多くの支援装置と自慢のスタッフを乗せて「よこすか」
未来の海洋観測を支えていくプロジェクト

**56** 在庫僅少
2001年11-12月
**「うらしま」、水深3,518mの潜航試験に成功**
**圧力の驚異と深海への挑戦**
マヌス海盆パックマヌス海域
ニホンウナギの産卵生態を解明する調査が本格的にスタート
伊豆・小笠原弧 多金属硫化物鉱床
潜水訓練プール
研究者の気持ちをよく知る運航スタッフも自慢です「なつしま」
宇宙（そら）から地球~大気系の変動を丸ごとつかむ

**57** 在庫僅少
2002年1-2月
**国際海洋環境情報センターOPEN**
**地球環境と物質循環の解明に取り組む むつ研究所**
マリアナトラフ南部熱水域で見られるウミエラの一種
第4与那国海丘「しんかい6500」・「ハイパードルフィン」訓練潜航
超音波水槽
広い甲板に多くの観測機器を積んで、めざす海域へ「かいよう」
沈み込み帯とマントルプルームを探り、地球内部の物質循環と地球の進化を解明する
欧米の温暖化促進 原因はアジアの大気汚染物質

**58** 在庫僅少
2002年3-4月
**地球深部探査船「ちきゅう」**
**地震、その発生の謎にせまる**
エイの死骸 1993年北海道南西沖地震後の奥尻島周辺の海底
深海に生息する新種の巨大イカを発見
海洋地球研究船「みらい」による北極海観測航海
電子顕微鏡室
潜航調査のとりまとめ役、それが「司令」の仕事です「しんかい2000」
観測技術員として、研究プロジェクトを基盤から支える観測データを提供

**59** 在庫僅少
2002年5-6月
**地球の未来を映し出すスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」**
世界初の快挙！ インド洋で熱水活動と周辺に生息する生物群集を発見
「地球シミュレータ」の性能を最大限に活用して気象学と気候学の境界領域の研究にチャレンジしたい
日本で初めて生きたまま捕獲されたコウモリダコ
大気汚染物質の移動を地球規模で予測することが可能に！
世界に誇る潜航能力で日本の深海研究に貢献「しんかい 6500」

**60** 在庫切れ
2002年7-8月
**海洋生態系の不思議に迫る**
日本海・奥尻島西側沖 北海道南西沖地震の震源付近
海洋音響の研究をベースに海洋学への興味をさらに深めていきたい
クラゲの傘の内側に寄生するヤドリクラゲ
梅雨期に集中豪雨をもたらす降水システム解明をめざして高精度観測を実施！
飼育実験で明らかになった浮遊性有孔虫の生態
日本で初めての深海用遠隔操作型ビークル「ドルフィン-3K」
シロナガスクジラの遠距離通信とサウンドチャンネル

**61** 在庫僅少
2002年9-10月
**横浜研究所**
海洋観測ブイシステム「トライトン」実海域への展開を開始
水中音響通信技術を進化させ海洋科学の未来を開拓する
熱水噴出孔周辺に生息するユノハナガニ
深海巡航探査機「うらしま」、駿河トラフ縦断に成功
トライトンブイ全18基展開完成！
地球の水循環変動の解明をめざして
海中で大活躍する“音”の話

**62** 在庫切れ
2002年11-12月
**海洋観測機器**
「しんかい2000」沖縄トラフで大規模な熱水活動によるチムニー群を確認
地球深部探査船「ちきゅう」が世界の海で活躍する姿を見るのが楽しみです
翼のような胸ビレで深海を舞うムラサキギンザメ
熊野灘沖南海トラフの地震発生帯で発見された分岐地震断層
世界で最も深くまで潜航できる「かいこう」
海底捜索の切り札サイドスキャンソーナーの話

**63** 在庫切れ
2003年1-2月
**地球システムの変動を探る**
パラオ海溝の深海にそびえ立つ白亜の壁の不思議
電磁気による地下構造の解析技術を確立し地球内部の仕組みを明らかにしていきたい
3つの長いヒレで深海底に立つナガヅエエソ
火山帯を形成するマントルの“熱い指”
地球深部探査センター発足
潜水調査船で活用される水中音響技術

**64** 在庫切れ
2003年3-4月
**しんかい2000**
深海底の変動をビデオがとらえた瞬間
共生というシステムが存在することに、自然界の不思議を感じます
気候変動研究で注目される植物プランクトン円石藻
黒潮が日本周辺の気候に与える影響を衛星観測データから発見
最新鋭の深海用遠隔操作型ビークル「ハイパードルフィン」

**65** 在庫僅少
2003年5-6月
**BEAGLE2003「みらい」南半球周航観測研究**
海洋地球研究船「みらい」の進水式
空の十字路の中心で雲と雨の変化を観測
ヘビのように深海を漂う地球最大の生き物クダクラゲ
地球は模範的なゼロエミッション工場
小笠原沖に沈んだH-Ⅱロケットを探せ

**66** 在庫僅少
2003年7-8月
**海洋底から見えてくる地球のしくみ**
「しんかい6500」人類初のインド洋深海底到達
貴重な深海映像を電子化
ヒドロ虫から巻き貝まで生き物を養う“海の森”ヤギ類
宇宙飛行士・毛利衛氏 深海6,500mからのメッセージ
1994年に日本で観測された記録的な猛暑の原因を解明
クラゲたちの不思議な生きざま

**67** 在庫僅少
2003年9-10月
**北極観測**
北極点に日本初の氷海観測用小型漂流ブイ・J-CADを設置
地下生命圏の研究から海底下の豊かな微生物圏と地球史と生命史との関係を探る
化学合成生物群集分布の謎を秘めた海底の“飛び石”鯨骨生物群集
沈み込み帯震源地震の発生メカニズムに迫る
地球シミュレータの使命

**68** 在庫僅少
2003年11-12月
**地球システム変動の解明をめざしてIODP始動！**
四国沖南海トラフで巨大海山の沈み込みを発見！
自ら考え作業する水中ロボット開発中「目指すは海洋版・アトム」
愛称は“ビッグレッド”糸状の触手を持たない変わり者
沖縄は2つの海流に挟まれていた
地球温暖化実験―100年後の未来をどう探るか

**69** 在庫僅少
2004年1-2月
**海洋科学技術の未来**
世界に誇る有人潜水調査船「しんかい6500」誕生
理論やモデルをもとに盛夏期に日本を覆う高気圧の成因を解明
日本最大の「海の熱帯林」、石西礁湖の豊かな生態系を探る
「地球シミュレータ」の解析結果を三次元で体感
北極からのメッセージ

**70** 在庫僅少
2004年3-4月
**極限環境に潜む生命の謎を探る**
独立行政法人海洋研究開発機構 新たなる出航
自然界で初めて見つかった アマクサクラゲのポリプ
海洋・地球環境情報の集積・発信拠点 国際海洋環境情報センター
日本の地震研究の現状

**71** 在庫僅少
2004年5-6月
**地球と人類の未来を開拓する海洋研究開発機構**
**BEAGLE2003 航海達成**
世界に先がけて、津波が生まれる瞬間の姿を捉えた
イカたちの知られざる生活
北太平洋北緯47度線の再観測で発見された最深部の水温上昇
大気中の汚染物質による化学反応と気候変動の相互作用を探る
梅雨の気象のカギは大陸にあり

**72** 在庫僅少
2004年7-8月
**海洋観測の最前線で活躍する観測技術員**
**深海探査と技術開発**
浮遊性有孔虫を飼育し、その生態をDVDにまとめる
クラゲに付着するクラゲノミの仲間
超高圧高温環境を再現する技術を開発しマントル最深部に残されたミステリーを解明
ローコストで持続的な海の浄化システムを実験中
地球深部探査船「ちきゅう」の挑戦

**73** 在庫僅少
2004年9-10月
**地球の未来を切り拓く「地球シミュレータ」**
**海底下構造探査の最前線で活躍する観測技術員**
10,000m級無人探査機「かいこう」、水深10,911mへの挑戦
「かいこう」事故と「かいこう7000」
世界で初めて観察されたユノハナガニの生殖シーン
東海スロースリップの原因と推定される地下構造を発見
南極海の深層水の流れを地球シミュレータで再現に成功
海底観測で探る地球の現在・過去・未来

**74** 在庫僅少
2004年11-12月
**地球温暖化と気候変動予測**
JAMSTECにおける最初の海洋物質循環研究
プランクトンの群集構造から中・深層の生態系の謎に迫る
JAMSTECのご長寿アイドル 水槽生活10年の“ボテちゃん”
世界最大の海底溶岩流を発見
日本の梅雨の周期を解明
高温で生きる微生物

**75** 在庫僅少
2005年1-2月
**地磁気から読み解く地球システム**
ニューギニア島北岸沖地震・津波の調査を実施
スマトラ島沖大地震
太平洋熱帯域の暖水プールにおける海洋変動をデータ解析の手法から研究中
歩けない甲殻類 深海に棲むフジツボの脚線美?!
インド洋ダイポールモード現象の終息原因を解明
深海底総合観測ステーション

**76** 在庫僅少
2005年3-4月
**海洋地球科学技術の未来を拓く**
下北半島沖で海底下のメタンハイドレート層が崩壊した形跡を発見
世界最深部11,000mの深海底泥より分離した好熱性細菌の全ゲノム解析終了
マリアナ海溝チャレンジャー海淵に原始的な有孔虫が多数生息していた
海洋音響研究とソーナー技術の最前線
「うらしま」AUV連続航走距離の世界記録317kmを達成

**77** 在庫僅少
2005年5-6月
**スマトラ島沖大地震 緊急調査報告**
シンカイヒバリガイ類の楽園 沖縄・黒島海丘
「しんかい6500」乗船体験記
クラゲたちの優雅な舞姿 新江ノ島水族館
相模湾初島沖「深海底総合観測ステーション」で新観測機器接続実験に成功
観測機器の盗難や損壊に悩まされるトライトンブイ
地球環境のコンピュータシミュレーション

**78** 在庫切れ
2005年7-8月
**地球深部探査船「ちきゅう」発進！**
深海底に眠る自然の造形美 北フィジー海盆
日本科学未来館を訪ねる
海洋深層水で育つ深海性生物たち 京急油壺マリンパーク
無人探査機「かいこう7000」いよいよ運用開始
3.5kmメッシュの全球雲解像大気モデルを開発
100年後の地球を予測する
スマトラ沖緊急調査航海と海賊対策

**79** 在庫僅少
2005年9-10月
**「ちきゅう」が拓く地球・生命科学の未来！**
ユーモラスな深海の住人オオグチボヤ 富山湾
新江ノ島水族館を訪ねる
オウムガイの長期飼育に挑む 鳥羽水族館
海洋大循環モデルOFESによる超高解像度シミュレーションデータを公開
中国における$NO_2$濃度の増加を人工衛星データで実証
大気汚染で気候が変わる？

### 80 在庫切れ
2005年11-12月
**温暖化と地球環境の未来**
深海に現れた地殻・マントル境界 アトランティス海台西南斜面
科学技術の未来を予測
ジンベエザメを大海原に還す いおワールド かごしま水族館
高知コアセンターを改組してできた「高知コア研究所」
雲とそのモデリング
電顕支援はセミサイエンティスト

### 81 在庫僅少
2006年1-2月
**もっと知りたい海洋・地球科学**
深海に屹立するビッグチムニー 沖縄・鳩間海丘
アカガニの展示飼育に挑戦 横浜・八景島シーパラダイス
超高圧高温発生技術によって巨大ガス惑星深部の新鉱物を合成
BEAGLE2003によって明らかにされた海洋が吸収した人為起源$CO_2$量の変動
地球温暖化とエコシステムの最前線

### 82 在庫切れ
2006年3-4月
**海洋観測の世界**
海底火山の噴火に遭遇 南部マリアナ海域
海洋研究と研究船
天然海水を取り入れ沖縄のサンゴ礁を再現 沖縄美ら海水族館
相模湾の深海生物を多数捕獲 長期飼育を目指す
地球深部探査船「ちきゅう」初のコアサンプル採取に成功
海流予測の展開
船上の万能ツール、ロープの世界

### 83 在庫僅少
2006年5-6月
**海洋・地球科学の未来を拓く研究者たち**
生きた化石ウミユリ 小笠原諸島海域須美寿島付近
東京湾の豊かな自然を展示水槽に再現 東京都葛西臨海水族園
相模湾で見つかった珍しい「ホネクイハナムシ」の新種
有孔虫はどのような生物なのか?
ロープワークを日常生活に役立てる
深海の水圧パワー

### 84 在庫僅少
2006年7-8月
**海溝型巨大地震を探る**
ビデオカメラがとらえた深海底の地すべり 相模湾初島沖 深海底総合観測ステーション
映画『日本沈没』完成記念 特別インタビュー 作家・小松左京
特殊な環境に生息する南極の生物の繁殖に成功 名古屋港水族館
晴天が増える一方、巨大積乱雲が豪雨をもたらす
波浪エネルギー、海からの恵み
ロープワークを日常生活に役立てる
海洋コンベアベルト

### 85 在庫切れ
2006年9-10月
**深海生物研究の最前線**
メタンハイドレートが露出する深海底 日本海新潟沖
地殻構造調査が新しい大陸棚の定義を導き出す
豊かな富山湾の海洋生物を展示 魚津水族館
氷に閉ざされた北極海のリアルタイム観測に成功
梅雨前線と集中豪雨
おいしくムダなくバランスよく乗務員の健康をあずかる 船員食堂

### 86 在庫切れ
2006年11-12月
**変動する北極圏と地球環境**
「うらしま」の音響探査で描かれた泥火山の微細イメージ 熊野トラフ第5海丘
国際海洋環境情報センター開設から5年間をふり返る
サンゴの飼育にチャレンジ サンシャイン国際水族館
沖縄の熱水活動域で液体二酸化炭素プールを発見
都市大気中の汚染化学物質の2～4割が植物などの燃焼に由来することを明らかに
深海のトレジャーハンティング

### 87
2007年1-2月
**「しんかい6500」17年の軌跡**
有人潜水調査船「しんかい6500」深海潜航中の雄姿を撮影
紀伊半島沖熊野灘へのリアルタイム観測システム構築計画がスタート
海の生物たちの“生きざま”を紹介 神戸市立須磨海浜水族園
インド洋ダイポールモード現象の予測に世界で初めて成功
生物圏を支える微生物
マントルとは

### 88 在庫切れ
2007年3-4月
**「地球シミュレータ」と可視化**
**「しんかい6500」1,000回潜航を迎えて**
新しい種類の火山活動プチスポットを発見
さらなる進化をめざす有人潜水調査船「しんかい6500」
生活に馴染み深い魚の飼育にも挑戦 アクアマリンふくしま
極限環境の水「超臨界水」と生命の起源
新江ノ島水族館「相模湾大水槽」で水中探査機による水中生物追跡機能試験を実施

### 89 在庫切れ
2007年5-6月
**地球温暖化はどこまで進むのか?**
**「IPCC第4次評価報告書」を読み解く**
深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」が始動!
深海からの旅人 ラブカ あわしまマリンパーク
人も環境も相互作用
1粒の砂から地球の歴史が見えてくる
東海・東南海・南海地震発生サイクルの数値シミュレーション
7,000m級無人探査機「かいこう7000Ⅱ」

### 90
2007年7-8月
**地球変動の現場をゆく**
海底に“いかり”を下ろし、ゆらゆら揺れる奇妙な生物
中国からやって来たアオウミガメ 小笠原海洋センター
自分の心の声を聞く
海中ロボット「うらしま」の最新技術で深海底を探る

### 91 在庫切れ
2007年9-10月
**深海から見た生命進化**
地球深部探査船「ちきゅう」“南海掘削”を開始
群れなすウシバナトビエイ エプソン品川アクアスタジアム
予想外のものと出会うために
ミクロの世界を見るJAMSTECの匠
深海のふしぎな生き物たち
地球深部探査船「ちきゅう」を守る自動船位保持システム

### 92
2007年11-12月
**海底下から見えてきた巨大地震の姿**
アルゴフロート3,000台達成!全海洋の常時監視が本格始動
動かざること王のごとく ダイオウグソクムシ 鳥羽水族館
岩石に秘められた物語を紡ぎ出す
深海生物の長期飼育に挑む
大気汚染を予報する
進化を続ける海洋観測ブイシステム「トライトンブイ」
初島生物群集

### 93 在庫僅少
2008年1-2月
**地球を掘り進め!**
**深海掘削50年史**
シベリアの永久凍土が融けていく
青い万華鏡の世界を舞う ミズクラゲ 伊豆・三津シーパラダイス
コンピュータのなかで雲をつかむ
摩擦熱で輝く不思議な天体「降着円盤」
2008年ー地球を考える3つの国際年
深海探査の生命線「浮力材」
海底地滑り

### 94 在庫僅少
2008年3-4月
**深海に挑む**
「ちきゅう」がプレート境界の試料を手に入れた
海へと帰る道を知る ジンベエザメ いおワールド かごしま水族館
「しんかい6500」のパイロットになるには
超臨界水の世界をのぞく高温・高圧顕微鏡
砂上の楼閣は本当に危ないのか?
熱川沖の長大溶岩流

### 95
2008年5-6月
**サンゴ礁と地球環境変動**
湾流が生み出す巨大な上昇流 遠方の気候にも影響
砂浜に降る星々 ホタルイカ 魚津水族館
サンゴからシンカイヒバリガイ 生物活動の痕跡を求めて
1000分の1mm単位で岩石や化石を削る「GEOMILL326」誕生
数年先の気候変動を予測する
船舶の「主要目」の見方
沖ノ山堆の化学合成生物群集

### 96
2008年7-8月
**やってみよう 海と地球の自由研究**
「ABISMO」マリアナ海溝水深1万350mへ
庄内の海からのおくりもの クラゲ 鶴岡市立加茂水族館
有孔虫に魅せられて
地球温暖化の核心部、北極海 戻らぬ変化の臨界点を越えたのか?
海底下の未知の構造を探る新しい構造探査システムを開発
海底谷とごみ

### 97
2008年9-10月
**地球っておもしろい!**
**もっと知ろう、大切にしよう**
国際極年に「みらい」が北極を観測
空を写した瑠璃色のザリガニ おたる水族館
人の役に立つ微生物を見つけたい
内陸で起きた最近の大地震
船舶の「主要目」の見方2
深海底の定点観測

### 98
2008年11-12月
**深海に隠れたチャンスをつかめ!**
**深海を探査する技術**
アカチョウチンクラゲと、そこに集う生物たち
“幸せのバブルリング”をつくる シロイルカ 島根県立しまね海洋館アクアス
現場で取ったデータは真実を語る
イカ学入門
海面変動と地殻変動

### 99
2009年1-2月
**海に生きる 生物の多様性、共生、**
**そして海洋酸性化の危機**
約27億年前、大気中に酸素が増え始めた直接的な証拠を発見
東南アジアからの使者 コツメカワウソ 大阪・海遊館
海底から海と地球を探る
音波で探る海の下

### 100
2009年3-4月
**Blue Earthはこうして生まれた**
**キーワードは“地球—生命相互作用システム体”**
「みらい」、太平洋横断観測航海「SORA2009」へ
ネコの眼をした魚 ネコザメ 下田海中水族館
微量元素から地球史46億年を読み解く
地球温暖化と寒冷圏
「バイオ・ジオパーク」としての相模湾

### 101
2009年5-6月号
**ダーウィン生誕200年**
**海洋調査と地球科学の発展**
北極温暖化の監視に活躍する氷上ブイ
名古屋港水族館 オワンクラゲ
かんらん岩には地球の歴史が記録されている
海洋調査船「なつしま」
巨大地震のつめあとが残る日本海溝
フロンで探る海の動き

### 102
2009年7-8月号
**完成から20年 深海調査の歴史を**
**開拓し続ける「しんかい6500」**
「ちきゅう」、海洋科学掘削史上初のライザー掘削に挑戦
横浜・八景島シーパラダイス アクアミュージアム マイワシの群泳
個性豊かな氷河が目に見える気候変動の指標となる
支援母船「よこすか」
熱帯気象の主役 積乱雲
「海の女王」と呼ばれる海洋生物学者シルヴィア・A・アールさん、JAMSTEC来訪

### 103
2009年9-10月号
**海から拓く 地震研究の未来**
海は地球の「青い心臓」その大切さに気づいてほしい
東海大学海洋科学博物館 駿河湾の深海魚
海のプランクトンから生態系と気候変動の歴史を探る
海洋調査船「かいよう」
海洋探査に欠かせない水中音響技術開発の最新成果
海で生まれる大陸

### 104
2009年11-12月号
**シミュレーション科学の新たな世界へ**
超高速インターネット衛星「きずな」で「PICASSO」の海中映像を生中継
アクアワールド茨城県大洗水族館 サメの飼育種数日本一
コンパクトで安価な機器を開発$CO_2$濃度観測の空白域を埋める
地球深部探査船「ちきゅう」
海に降る雪 マリンスノー

### 105
2010年1-2月号
**海洋変動をとらえる観測研究**
スケーリーフットの大群集を発見
アクアマリンふくしま シーラカンス生態調査
「乱流衝突」という物理現象をもとに豪雨をもたらす雲の発達を計算し予測する
海洋地球研究船「みらい」
地球温暖化を救うのは誰?

### 106
2010年3-4月号
**深海底から探る**
**生命の起源と進化**
有孔虫の殻形成における石灰化メカニズムを解明
海の生き物たち
しながわ水族館 東京湾の生物たち
石と水の化学反応から、地球の元素循環と生命の謎を解く
深海調査研究船「かいれい」
チェンジング・ブルー

### 107
2010年5-6月号
**コンピュータのなかに見えてきた 温暖化した地球の姿**
最近16年間の海洋の顕著な温暖化を確認
日和佐うみがめ博物館カレッタ 中学生と浜太郎の願い
なぜ地球にだけ大陸があるのだろうか?
磁石→地球の磁場→生命・宇宙
海溝型巨大地震への挑戦

### 108
2010年7-8月号
**やってみよう**
**海と地球の自由研究 第2弾**
日本近海は種多様性が極めて高く全海洋生物種の14.6%が出現
国立科学博物館 ダイオウイカ
「うらしま」で熱水噴出孔を次々と発見し、新しい地球観を築く
海水の塩分→深層循環→気候変動
防御力:100 すばやさ:0 深海「ヨロイ」貝の研究速報

### 109
2010年9-10月号
**北大西洋で環境変動の**
**シグナルをとらえる**
熱水噴出孔直下、生命地下圏のコアを世界で初めて採取
笠岡市立カブトガニ博物館 カブトガニ
世界最高のアーキア・ハンターになる
地球の内部構造→超高圧実験→太陽系外惑星
「ちきゅう」と断層とマンションと天然記念物

### 110
2010年11-12月号
**地球内部ダイナミクスと**
**環境大変動**
「地球シミュレータ」がHPCチャレンジアワードのグローバルFFT部門で世界最速を達成
東京都葛西臨海水族園 メガネモチノウオ
雪を追う
地球の自転→大気海洋相互作用→冷夏・猛暑の予報
新たな災害リスク、海底大崩壊を明らかにせよ

### 111
2011年1-2月号
**IODP特集**
**海底下から未来を拓け!**
深海のアーキア(古細菌)は究極のエコ生活をしていた
京都大学白浜水族館 ヒトデ
“オールジャパン”の海のロボットをつくろう!
大陸移動→マントル対流→地球の歴史
音を使った海中高速通信

### 112
2011年3-4月号
**海——生物多様性のゆりかご**
東北地方太平洋沖地震、フィリピン海プレート北東端で破壊は止まった
マリンピア松島水族館 アメリカンビーバー
地球シミュレータとスピード競走

### 113
2011年7月
**M9 超巨大地震の謎**
生命は40万Gの重力化でも生存できる
アクアマリンふくしま マルアオメエソ
気候変動予測に挑む
約45億年前 火山の山頂に雨が降り注ぎ地球最初の海水がつくられた
2010年の記録的猛暑と今夏の最新予測
1971年 シートピア計画

### 114
2011年9月
**気候変動予測は**
**社会を変える**
M9の震源付近の海底で大きな亀裂を確認
氷期に消えた$CO_2$——30年来の謎を解く
約22億年前 全球凍結した海氷の下、生物は大進化への準備を進めた
海底に沈んだ鯨が育む生態系
1981年 有人潜水調査船「しんかい2000」

### 115
2011年11月
**就航30周年記念 海洋調査船**
**「なつしま」が切り開いた**
**深海フロンティア**
地震で発生する水素ガスを“食べる”生態系が存在するかもしれない
九十九島水族館「海きらら」 アマモ、ヤマトウミヒルモ
変化する北極海のいま
1978年 波力発電装置「海明」

### 116
2012年2月
**海を拓く 海洋・深海探査**
**技術の最先端**
竹島水族館 深海からの贈り物
温暖化した地球の海を探る
約27億年前 地球は酸素のある惑星に変わり始めた
巨大海溝型地震の理解に向けて
1995年3月24日 「かいこう」マリアナ海溝チャレンジャー海淵到達

### 117
2012年5月
**海底下生命圏**
京都水族館 オオサンショウウオ
海洋無酸素事変はなぜ起きたのか
海は呼吸する
2002年「地球シミュレータ」

### 118
2012年8月
**東北地方太平洋沖地震に関連**
**するJAMSTECによる調査・**
**研究 その成果と今後**
沼津港深海水族館 メンダコ
海洋循環から環境変動に迫る
透明球有人潜水船で知られざる生態系を探る
生物多様性
2005年 地球深部探査船「ちきゅう」完成

### 119
2012年10月
**来るべき南海トラフの**
**巨大地震に備える**
「ちきゅう」用ハイブリッド保圧コアシステムの開発に成功
男鹿水族館GAO ハタハタ
急変する北極海を解析する
一ノ目潟の湖底から気候変動を追う
マントルまで掘ろう!
縞のなかに 秋田県一ノ目潟

### 120
2012年12月
**温暖化に直面する**
**北極域生態系の急変**
大分マリーンパレス水族館「うみたまご」 セイウチ
地球と「ちきゅう」をもっと知ってほしい
QUELLE2013
2013年「江戸っ子1号」が日本海溝水深8,000mの深海底に降り立つ
梅雨前線の正体
白い氷の黒い模様 北極海中央部

### 121
2013年1月
**Blue Earthをめぐる**
高校生だって研究航海に行きたい!
宇宙プラズマ物理学入門
「淡青丸」、新たな場で再出発

## 122
2013年3月

**生命の限界に迫る QUELLE2013 「しんかい6500」世界一周航海へ**

おんねゆ温泉・山の水族館 凍る水槽
地学オリンピックで世界を目指せ！
世界の中のJAMSTEC Fleet
「よこすか」からの便り インド洋海嶺

## 123
2013年4月

**JAMSTECの研究者 未来を語るPART1**

永久凍土の融解と土壌の湿潤化でタイガが枯れていく
アクアワールド茨城県大洗水族館 ヒゲツノザメ
都市の気候変化
東北海洋生態系調査研究船「新青丸」 山口県下関市

## 124
2013年5月

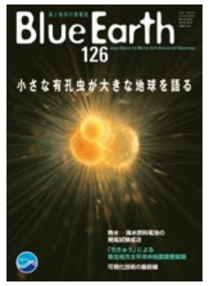
**JAMSTECの研究者 未来を語るPART2**

東北地方太平洋沖地震震源域に設置した長期孔内温度計を回収
環境微生物の秘めたる能力を探る
超深海は微生物の活動が活発 マリアナ海溝チャレンジャー海淵

## 125
2013年7月

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

チャレンジャー海淵は有機物供給と生命活動が活発
名古屋港水族館 メリベウミウシ
地層と微生物を見て生命の初期進化に迫る
1億歳の微生物は存在する？！
東北海洋生態系調査研究船「新青丸」が完成



## 126
2013年10月

**小さな有孔虫が大きな地球を語る**

熱水―海水燃料電池の発電試験成功
すさみ海立エビとカニの水族館 オーストラリアンスノークラブ
深海底を覆う泥に息づく生態系を探る
コンピュータと人をつなぐ可視化技術の最前線
「ちきゅう」による東北地方太平洋沖地震調査掘削の概要
水深5,000m、400℃の熱水噴出域 カリブ海・中部ケイマン海膨

## 127
2013年11月

**地球シミュレータで Blue Earthをめぐる**

長高水族館 カクレクマノミ
JAMSTECで地学と出会った 横浜高校 サイエンス・パートナーシップ・プログラム
沈み込むプレートの行方
世界で2番目に深いホライゾン海淵へ 南太平洋トンガ海溝

## 128
2014年1月

**日米で気候変動の予測に挑む JAMSTEC-国際太平洋研究センター(IPRC) 共同研究**

鴨川シーワールド シャチ
成功！「江戸っ子1号」水深8,000mへの挑戦
生まれたままのマグマ、初生マグマを世界で初めて発見 マリアナ諸島パガン島沖の海底

## 129
2014年2月

**地球温暖化の行方「IPCC第5次評価報告書」を読み解く**

志摩マリンランド オニオコゼ
『地球の腹と胸の内』に導かれて
面白い！ から始まる
世界最深部に生きるカイコウオオソコエビの食生活
「江戸っ子1号」が見た深海 房総沖日本海溝

## 130
2014年3月

**ここまで分かった 巨大地震・巨大津波の謎**

特別展「深海 挑戦の歩みと驚異の生きものたち」を振り返って
PM2.5はどこまで分かったか
「ちきゅう」、もう1つの闘い 宮城県沖日本海溝

## 131
2014年7月

**生命の限界に迫る QUELLE2013 「しんかい6500」世界一周航海**

下関市しものせき水族館・海響館 フグの仲間たち
地上・海底で得られる岩石から地球深部の活動を探る
深海用プロファイリングフロートDeep NINJA
近くて遠い深海への旅
「ニコニコ超会議」で「しんかい6500」実機を展示！

## 132
2014年10月

**激変する北極海域 極北の環境変化を探る**

おたる水族館 エゾトミヨ
ダイポールモード現象の発見から機構シミュレーションを社会に活かす
採泥器 マルチプルコアラー
地震はどこまで予測できるのか
「ハガキにかこう海洋の夢コンテスト」入賞者、「なつしま」に乗船

## 133
2015年1月

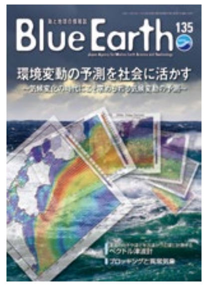
**海洋科学掘削 新たな“発見”の10年へ**

神戸市立須磨海浜水族園 ウミガメと人をつないで泳げ
地震・津波による海洋への影響を調査し東北の未来に役立てる
砂粒から見えてくる地球と環境 IODP「Sand for Students」プロジェクト

## 134
2015年2月

**深海探査機・調査研究船の最先端に迫る**

沖縄美ら海水族館 水槽生まれの元気な深海っ子
科学の力を被災地の漁業復興に役立てたい
深海曳航調査システムDeep Tow
短期気候変動予測研究の次なるステージ
国際学会「AGU Fall Meeting」に出展



## 135
2015年3月

**環境変動の予測を社会に活かす**

越前松島水族館 丸くて小さくてトゲトゲって何だ？
課題探しも解決策もフィールドで見出し、地域と一体になって復興への道を歩む
ベクトル津波計
ブロッキングと異常気象
ナノテクノロジー総合点でJAMSTEC独自のナノテクを紹介！

## 136
2015年3月

**海洋生物の生存戦略に学べ！**

東北地方太平洋沖地震と津波による下北沖底層生態系への影響
宮島水族館 みやじマリン きらりと光る瀬戸内の“名刀”
生物の密度分布を調べて被災地の水産業の復興に役立てる
カイメン四方山話
「しんかい6500」誕生の地でその軌跡と未来を語る

## 137
2015年6月

**DONETで南海トラフ地震発生域の変動をとらえる**

世界初 チンアナゴの産卵映像！
世界の仲間と出会い、共に学び競い合う「国際地学オリンピック」
JAMSTECの潜水研修事業を振り返る
海洋コアの科学
JAMSTECの船舶・探査機を利用した研究成果発表会「ブルーアース2015」開催

## 138
2015年8月

**掘削科学の未来を拓け！ 高知コア研究所の10年**

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
南北に遠く離れた海と自然に出会い地元の海を見直す子どもたち
サンゴ礁と粘液の話
JAMSTEC横須賀本部 施設一般公開

## 139
2015年10月

**「ちきゅう」10周年記念 地球内部研究の最前線**

アクアワールド茨城県大洗水族館 尾びれもないのに海原を大回遊
大槌湾の環境変化を明らかにして水産業の復興を後押しする
「アラウンドビューモニター」の技術
世界の海洋生物情報をインターネットで公開し生物多様性の理解にも役立てる
JAMSTECむつ研究所一般公開

## 140
2015年12月

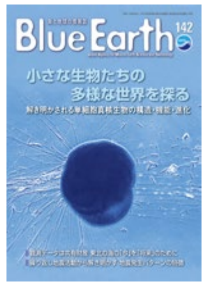
**マッデン・ジュリアン振動 熱帯気象理解のカギを握る巨大な雲群**

仙台うみの杜水族館 三陸の海を濃縮した赤い珍味
貴重な水産資源を追跡し持続可能な漁業の実現を支援する
「第9回国際地学オリンピック」で日本人選手全員がメダル受賞
大陸河川の科学
「地震学 夏の学校2015」をJAMSTECで開催

## 141
2016年2月

**計算科学で海洋地球環境の未来を解き明かせ！**

ウニと昆布の関係を明らかにし津波で破壊された“海の杜の再生に取り組む”
洋上中継器ASV
北極海の環境変化
退役が決まった海洋調査船「なつしま」・「かいよう」JAMSTEC横須賀本部の岸壁で最後の対面



## 142
2016年3月

**解き明かされる単細胞真核生物の構造・機能・進化**

城崎マリンワールド 美しい海のエステティシャン
観測データは共有財産 東北の海の「今」を「将来」のために
繰り返し地震活動から解き明かす地震発生パターンの特徴
海洋調査船「なつしま」「かいよう」の輝かしい歴史を礎として海洋科学技術のさらなる発展を目指す
『Blue Earth』のバックナンバーなどが閲覧できるJAMSTEC文書カタログ

## 143
2016年7月

**JAMSTEC発 イノベーション**

地下水族科学館もぐらんぴあ アオウミガメ
三重県で開催の国際地学オリンピックに向け、日本代表が合宿
福島第一原子力発電所事故と海
海底広域研究船「かいめい」誕生

## 144
2016年9月

**全球海洋観測システム「アルゴ」**

アルゴ計画を支えるフロートの投入協力
アクアマリンいなわしろカワセミ水族館 バンダイハコネサンショウウオ
生のマントルから惑星地球の過去と未来を知りたい
太古の深海熱水環境から探る生命と地球の物語
「ちきゅう」国際乗船スクール開催

## 145
2016年10月

**掘削情報科学が 教科書を書き換える**

井の頭自然文化園 ミズグモ
GODACは沖縄、そして世界とつながっている
国際地学オリンピック 三重県で開催
史上初の海洋観測開発レース「Wendy Schmidt Ocean Health XPRIZE」への挑戦
生命圏の温度限界を探る「T-リミット」が始まった

## 146
2016年12月

**Blue Earthに 潜ってみたら**

独自手法で海底下の微生物の生き様を見たい
RNAウイルスを網羅的に検出する技術を開発する
北の海で起きている海洋酸性化！
北極海で海氷下の自律航走と撮影に成功

## 147
2017年2月

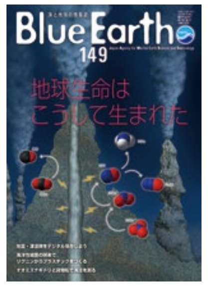
**「みらい」で南太平洋を縦横断して 海洋地球大変動を探る**

むつごろう水族館 ムツゴロウ
珪藻の休眠胞子から地球変動と生物進化を読み解きたい
自然科学と情報科学の融合でイノベーションを創出
「地球シミュレータ」を、どう動かしているのか！
新たな海洋鉱物資源調査システムの海中試験に成功

## 148
2017年3月

**深海に私たちの はじまりを探して**

海底の堆積物から過去の火山活動を読み解きたい
なぎさ水族館 ニホンアワサンゴ
国際海洋ロボットコンペShell Ocean Discovery XPRIZEへの挑戦 Team KUROSHIO、ラウンド1へ
多数の海中ロボットを自発的に協調させて広大な海を探る
微なるかな微なるかな、地球初期に至る
JAMSTECにちなんだ海底地形名が国際的に承認・登録



## 149
2017年7月

**地球生命は こうして生まれた**

限界を超えていく生命の生存戦略を知りたい
マリンワールド海の中道 スズメダイ
日本全国の地震・津波碑をデジタル保存しよう！
海洋性細菌の酵素で木材成分リグニンからプラスチックをつくる
オオミズナギドリと貨物船で海流を測る
「ハイパードルフィン」2,000回、「しんかい6500」1,500回潜航達成！

## 150
2017年8月

**宇宙の海に生命を探す**

特別座談会 私たちは宇宙に生命を探します
番匠おさかな館 カワムツ
恐竜を絶滅させた小惑星衝突で生じた温度・圧力を高圧鉱物で確定する
深海2017、おすすめ展示を紹介
地震波を使って海底下を診る
「しんかい2000」機械遺産に認定

# Blue Earth Special Issue

就航10周年記念誌

**海洋地球研究船「みらい」のすべて**

10周年記念誌

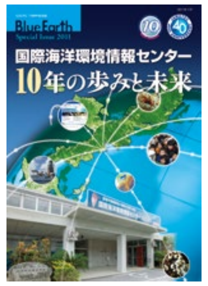
**むつ研究所 10年の軌跡**

就航30周年記念誌

**学術研究船「淡青丸」のすべて**

就航10周年記念誌

**深海調査研究船「かいれい」のすべて**



10周年記念誌

**国際海洋環境情報センター 10年の歩みと未来**

**地球深部探査船「ちきゅう」誕生10周年記念誌**

就航20周年記念誌

**学術研究船「白鳳丸」のすべて**

就航30周年記念誌

**深海調査船「なつしま」のすべて**

就航20周年記念誌

**海洋地球研究船「みらい」ガイドブック**

定期購読していただきますと、1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。
在庫がある号については、バックナンバーもご購読いただけます。詳しくは、40ページをご覧ください。
『Blue Earth』最新号以外と『Blue Earth Special Issue』（非売品）はJAMSTECのウェブサイト（http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/）でも閲覧いただけます。

＊在庫は2017年7月末の状況です。

# BE Room Information

## JAMSTEC関連イベントの情報を地図で紹介！

JAMSTECが展示協力している企画展・常設展などのイベント情報は、「JAMSTECイベントマップ」でご覧いただけます。イベントは各地で開催されていますので、お近くにお越しの際はぜひお立ち寄りください。

**アクセス方法**
JAMSTECホームページ
http://www.jamstec.go.jp
▼
トップページ上部の
「広報活動」をクリック
▼
「JAMSTECイベントマップ」
をクリック

## 『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、①～⑤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きます）。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。
平日10時～17時に限り、横浜研究所地球情報館受付にて、直接お支払いいただくこともできます。なお、年末年始などの休館日は受け付けておりません。詳細は下記までお問い合わせください。

### ■ お問い合わせ・申込先

〒236-0001　神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
海洋研究開発機構 横浜研究所 広報部 広報課
TEL.045-778-5378　FAX.045-778-5498
Eメール　info@jamstec.go.jp
ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。

＊定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号（154号）までとさせていただきます。
バックナンバーの購読をご希望の方も上記までお問い合わせください。

### ■ バックナンバーのご紹介

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。

## 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）

## 賛助会（寄付）会員名簿　2017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しては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。（アイウエオ順）

株式会社IHI
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社
株式会社アイケイエス
株式会社アイワエンタープライズ
株式会社アクト
朝日航洋株式会社
アジア海洋株式会社
株式会社天野回漕店
株式会社アルファ水工コンサルタンツ
株式会社安藤・間
泉産業株式会社
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
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ンコーポレーション
株式会社MTS雪氷研究所
株式会社OCC
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
株式会社きんでん
株式会社熊谷組
クローバテック株式会社
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
鉱研工業株式会社
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
国際石油開発帝石株式会社
国際ビルサービス株式会社
株式会社COAST
コスモス商事株式会社
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
株式会社コンポン研究所
相模運輸倉庫株式会社
佐世保重工業株式会社
三建設備工業株式会社
三洋テクノマリン株式会社
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー
JFEアドバンテック株式会社
株式会社JSP
株式会社JVCケンウッド
シチズン時計株式会社
シナネン株式会社
株式会社シーフロアーコントロール
清水建設株式会社
シモダフランジ株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社
シュルンベルジェ株式会社
株式会社昌新
株式会社商船三井
新日鉄住金エンジニアリング株式会社
須賀工業株式会社
鈴与株式会社
セイコーウオッチ株式会社
株式会社関ケ原製作所
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・インク
損害保険ジャパン日本興亜株式会社
第一設備工業株式会社
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
高砂熱学工業株式会社
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
千代田化工建設株式会社
株式会社鶴見精機
株式会社帝国機械製作所
株式会社テザック
寺崎電気産業株式会社
電気事業連合会
東亜建設工業株式会社
東海交通機械株式会社
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
トピー工業株式会社
新潟原動機株式会社
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
日東電工株式会社
株式会社日放電子
日本アキュムレータ株式会社
日本SGI株式会社
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
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
株式会社ハイドロシステム開発
濱中製鎖工業株式会社
ハリマ化成株式会社
東日本タグボート株式会社
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
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
株式会社ベッツ
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・ソフトウエア株式会社
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
八洲電機株式会社
ヤンマー株式会社
郵船商事株式会社
郵船ナブテック株式会社
株式会社ユー・エス・イー
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
株式会社ラジアン
株式会社ロボット

海と地球の情報誌 Blue Earth
第29巻 第4号（通巻150号）2017年8月発行

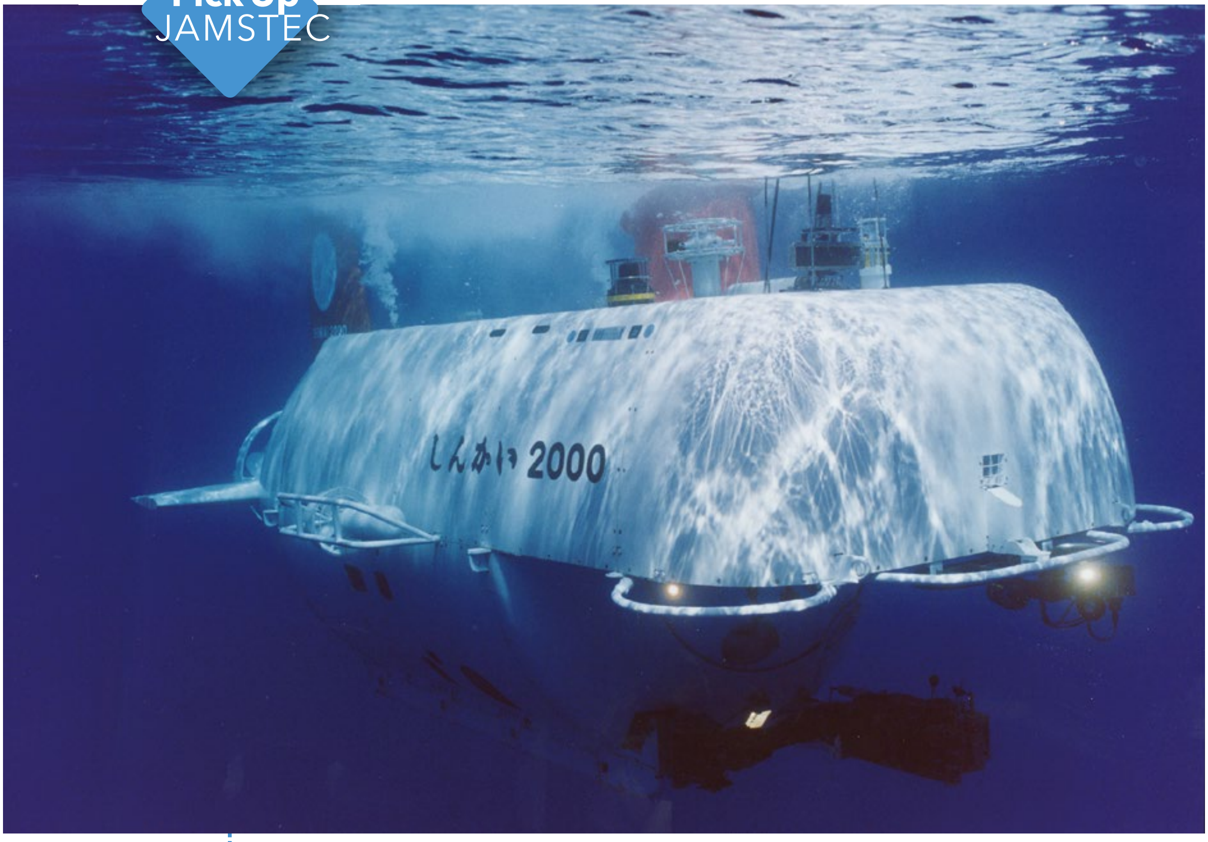
発行人　田代省三　国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部
編集人　田代省三　国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部 広報課
Blue Earth 編集委員会

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（p24-27）、鈴木志乃（p1-21、裏表紙）
岡本典明／ブックブライト（p28-33）、坂元志歩（p22-23）
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）
撮影　藤牧徹也（p14、p16、p19、p20、p21）

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。

Pick Up JAMSTEC

潜航する「しんかい2000」。全長9.3m、幅3.0m、高さ2.9m。パイロット2人と研究者1人が、内径2.2mの耐圧殻に乗り込む。通常潜航時間は7時間、最大潜航深度は2,000m。




# 「しんかい2000」機械遺産に認定

2017年7月、海洋研究開発機構（JAMSTEC）が開発・運航していた有人潜水調査船「しんかい2000」が機械遺産に認定された。機械遺産とは、日本国内の機械技術面で歴史的意義のある事物・資料を大切に保存し、文化的遺産として次世代に伝えることを目的に、日本機械学会が認定しているものである。2007年から毎年認定を行っており、これまでに東海道新幹線0系電動客車、旅客機YS11、札幌市時計台の時計装置などが認定されている。2017年には「しんかい2000」のほか、東京の隅田川に架かる可動橋である勝鬨（かちどき）橋や国産初の地下鉄車両「モハ1000形1001号」など7件が認定され、これまでの認定数は90件となっている。

「しんかい2000」は、1981年に完成した日本初の本格的な有人潜水調査船で、水深2,000mまで潜航可能。日本周辺を中心にさまざまな海域で潜航調査を行い、相模湾の初島沖での化学合成を行うシロウリガイのコロニーの発見や、沖縄トラフにおける熱水噴出現象の発見など、日本の深海研究の進展に大きく貢献してきた。また「しんかい2000」の開発・建造によって培われた技術と経験は、有人潜水調査船「しんかい6500」や無人探査機「かいこう」など、その後の海洋調査機器の開発にも活かされている。

「しんかい2000」は、2002年11月11日に行われた1,411回目の潜航の後に運航を休止。2004年3月をもってリタイアした。20年以上にわたって活躍した「しんかい2000」は、深海調査・海洋開発の歴史を伝えるシンボル的存在として、2012年から神奈川県藤沢市の新江ノ島水族館で常設展示されている。

詳しくは JAMSTEC のウェブサイトをご覧ください。
http://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/heritage_2k/

Blue Earth 150号

2017年8月発行　隔月年6回発行　第29巻　第4号（通巻150号）

編集・発行　国立研究開発法人海洋研究開発機構　横浜研究所　広報部　広報課
〒236-0001　神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25

JAMSTEC 国立研究開発法人 海洋研究開発機構
JAPAN AGENCY FOR MARINE-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY

リサイクル適性Ⓐ
この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。
VEGETABLE OIL INK
R70 古紙パルプ配合率70%再生紙を使用

定価 本体286円＋税