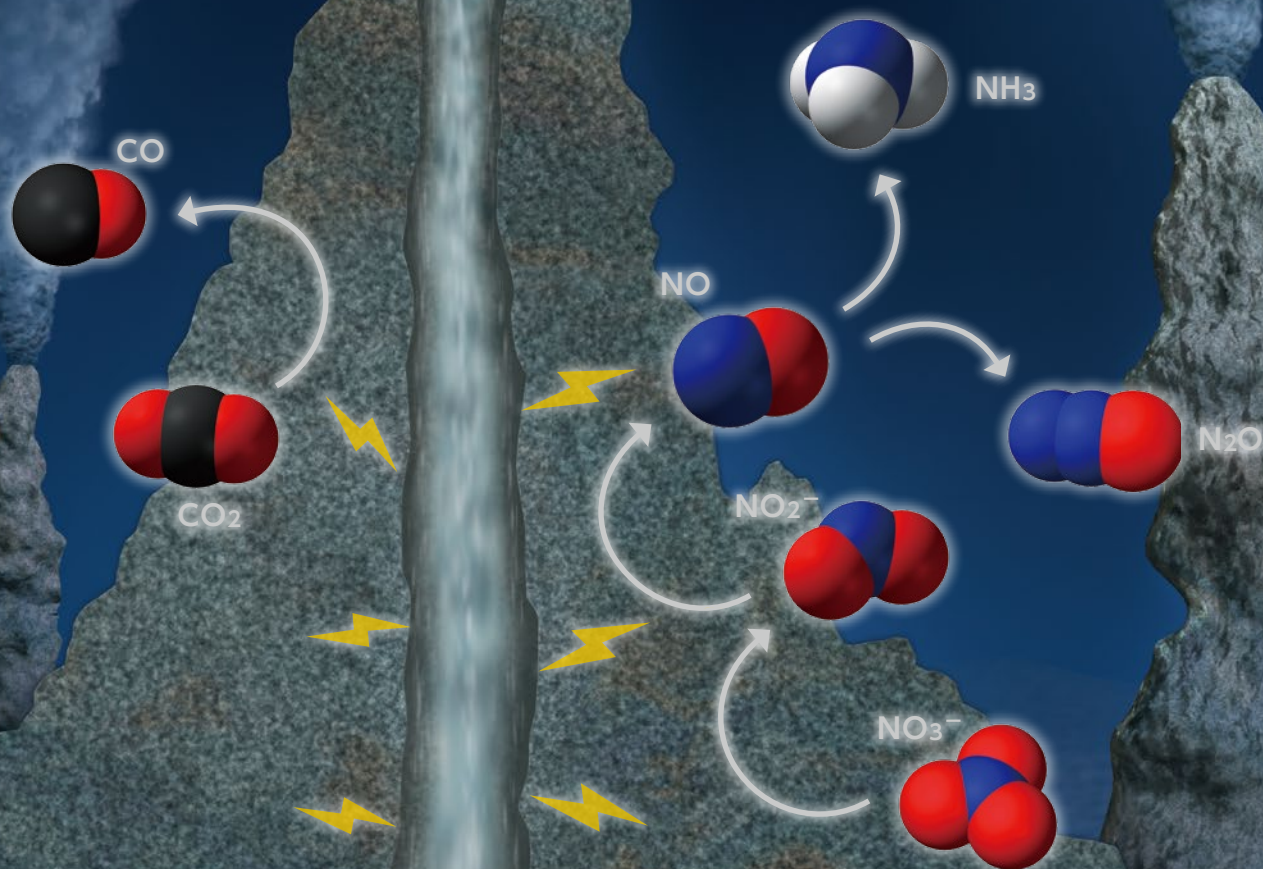




地球生命は こうして生まれた



地震・津波碑をデジタル保存しよう

海洋性細菌の酵素で
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

地球生命はこうして生まれた

『Blue Earth』148号では、私たちにつながる共通祖先がどのような生命であるか、海洋研究開発機構（JAMSTEC）などの調査研究によって明らかになった姿を紹介した。では、地球最初の生命は、どのように生まれてきたのだろうか。無機物から生命へ——今号では、その過程の解明に挑んでいるJAMSTEC内外の研究者の最新成果を紹介しよう。

取材協力

高井 研	JAMSTEC 深海・地殻内生物圏研究分野 分野長
渋谷岳造	JAMSTEC 深海・地殻内生物圏研究分野 研究員
山本正浩	JAMSTEC 深海・地殻内生物圏研究分野 研究員
中村龍平	理化学研究所 環境資源科学研究センター 生体機能触媒研究チーム チームリーダー
北台紀夫	東京工業大学 地球生命研究所 研究員
西澤 学	JAMSTEC 深海・地殻内生物圏研究分野 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
藤島皓介	東京工業大学 地球生命研究所 研究員
木賀大介	早稲田大学 先進理工学部 教授

- 1 **特集**
地球生命はこうして生まれた
- 14 **私がIODPで解きたい謎**
限界を超えていく
生命の生存戦略を知りたい
鈴木志野
高知コア研究所 地球深部生命研究グループ 特任主任研究員
- 18 **Aquarium Gallery**
マリンワールド海の中道
玄界灘の荒波を生きる——スズメダイ
- 20 **社会とつながるJAMSTEC**
日本全国の地震・津波碑を
デジタル保存しよう！
谷川 亘
高知コア研究所 断層物性研究グループ 主任研究員
- 24 **JAMSTEC発イノベーション**
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
大田ゆかり
海洋生命理工学研究開発センター
深海バイオ応用研究開発グループ グループリーダー代理
- 28 **Marine Science Seminar**
オオミズナギドリと貨物船で海流を測る
新たな観測手法がひらく海流予測の新展開
宮澤泰正
アプリケーションラボ ラボ所長代理／
海洋・大気環境変動予測応用グループ グループリーダー
- 32 **BE Room**
Information
『Blue Earth』定期購読のご案内
- 裏表紙 **Pick Up JAMSTEC**
「ハイパードルフィン」2,000回、
「しんかい6500」1,500回潜航達成！

地球生命は、いつ、どこで、つくられて いったのだろうか。

取材協力

高井 研
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
分野長
渋谷岳造
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
研究員

JAMSTECの高井研さんを中心とする研究グループが提唱している、私たちにつながった最古の生態系の成り立ちとありさまのシナリオは“JAMSTECモデル”と呼ばれている（『Blue Earth』148号参照）。世界的にも支持されているモデルだが、研究グループの渋谷岳造さんは、「JAMSTECモデルでは、生命誕生の場を深海熱水活動域としています。それは、最終生命製造の場が深海熱水活動域であるという意味です。最初から最後まで深海熱水活動域で進行的なのか、ほかの環境、たとえば大陸や宇宙から材料の供給や相互作用があった可能性はないのか。それらについても、検証していく必要があるでしょう」と指摘する。それを検証するためにも、生命が誕生した40億年前、地球はどのような環境だったのかを知る必要がある。地球の歴史をひもといてみよう。

約46億年前、生まれて間もない太陽を取り巻く円盤のなかで、ガスやちりが集まって微惑星となり、微惑星同士が衝突・合体を繰り返して太陽系の惑星や衛星たちが誕生した。地球もその1つだ。

生まれたばかりの地球は、微惑星の衝突エネルギーによって超高温となり、すべての物がどろどろに溶けていた。マグマオーシャンだ。やがて微惑星

の衝突頻度が減少すると地球は冷え、金属成分と岩石成分が分離する。金属成分は中心に集まって核になった。さらに冷却が進むと、岩石成分はマントルと表面を覆う薄い地殻に分かれた。

このとき、海はまだない。地球は厚い大気に覆われ、また冷えたといっても500℃を超えていた。そのような超高压・超高温の環境では、液体は存在できず、超臨界流体という特殊な状態にある。そして、さらに冷却が進んで400℃を切ったとき、初めての雨が降った。

しかし、その雨は地表には到達しない。大気は外側から冷えていくため、地表に近づくほど温度が上がり、雨はまた蒸発してしまうのだ。それを繰り返しつつ、冷却が進むにつれて雨が蒸発する高度が下がっていき、ようやく最初の1滴が地表をぬらした。だが、それもすぐに蒸発してしまう。降雨と蒸発が幾度となく繰り返されるうちに地表の温度が下がり、あちらこちらに小さな水たまりができ、やがて大きくなり、つながっていった。海の誕生だ。

渋谷さんは、地球最初の雨の組成を探っている。「原始大気には、現在の海水に含まれている塩素や私たち生命の体をつくっている炭素などがすべて含

まれていたでしょう。塩素は塩酸として、炭素は二酸化炭素として水に溶けます。そうした情報をもとに計算すると、地球最初の雨はpH(水素イオン指数)が1の強酸性だったと考えられます」

では、原始の海水は？「強酸性の雨が地表に降り注ぎ、当時の地球表面を覆っていた地殻の岩石と反応します。その反応をモデルに基づいて計算すると、原始の海水は、鉄などの金属やカリウムなど生命が必要とする物質がたくさん溶け込み、二酸化炭素濃度が高く、中～弱酸性であるという予想が立てられます」

海は、地球が誕生しておよそ2億年後、いまから44億年前には存在していたと考えられている。その根拠になっているのが、オーストラリア西部のジャックヒルズで発見された堆積岩中のジルコンという鉱物である。そのジルコンに含まれる鉛とウランの同位体比からその鉱物が44億年前につくられたこと、また酸素とハフニウムの同位体比から低温の水と高温の岩石との反応があったことが分かった。つまり44億年前には海が存在していたことが示されたのだ。

しかし海は、44億年前からずっと安定的に存在していたわけではない。そのころはまだ微惑星の衝突が続いていて、衝突エネルギーによって海が蒸発し、再びマグマオーシャンとなってしまう確率が高かった。これでは、たとえ生命が誕生、あるいはその準備が進んでいたとしてもリセットされてしまった可能性がある。海を蒸発させてしまうような微惑星衝突の危険性が去ったのは39億年くらい前だと考えられている。私たちにつながる生命の誕生をおよそ40億年前とするのは、このような理由にもよる。

地球生命の起源をめぐるのは、深海の熱水活動域ではなく、陸上の温泉で誕生したという説もある。以前は40億年前には大きな陸は存在しないと考えられていたため、陸上温泉説は机上の空論と見なされることも多かった。しかし、カナダ北西部のアカスタ片麻岩に含まれる40億年前に生成されたジルコンの解析から、40億年前にはすでに大陸地殻が存在していたことを示す証拠が得られたことで、当時の陸域の温泉環境で生命が誕生したと考える研究者も現在では多い。

しかし高井さんは、「陸上温泉説には有利な点も多いが、不利な点も多い」という。「陸上の温泉で生命を誕生させる最大の強みは、さまざまな生命の材料をつくり得る多様な物理・化学環境条件を生み

出せることです。しかし、その強みは最大の弱点にもなります。つまり当時の陸上温泉は、極めて不安定な場でもあったということです」

不安定であるが故に、地質学的時間軸での“瞬間的”に、生命の誕生に必要なそれぞれのステップに有利な条件になることも考えられる。しかし不安定であるが故に、ばらばらの条件でつくられた寄せ集めの材料や生命のサブシステム（たとえば、複製、転写、翻訳、膜などの要素）が安定的に組織化して働く条件がすべてそろふことは難しいだろう。

とはいえ、その確率はゼロではないはずだ。その指摘に対して高井さんは、こう答える。「よしんば奇跡的に条件がそろってヨチヨチ歩きの初期生命が誕生したとしても、その生命の存続や広がりにも大きな障壁が待ち構えています」

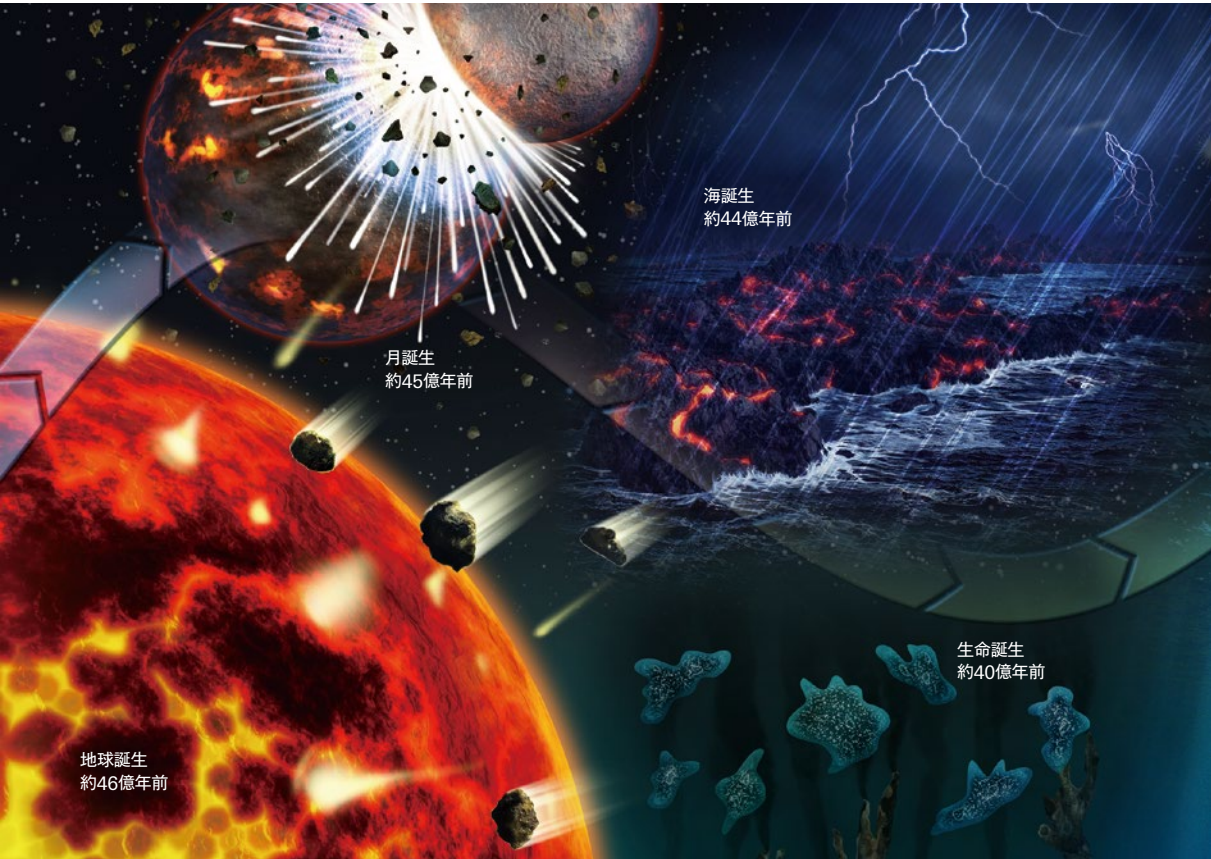
あらゆる微生物のゲノム情報に基づいた進化生物学的な研究アプローチによって、地球生命の共通祖先が深海熱水活動域に生息し、そこから全球的な深海環境、そして海洋環境に分散、適応、そして進化していったことが分かりつつある。だとすれば、陸上の温泉環境で奇跡的な確率で誕生した初期生命は、空間的にも環境条件的にも大きな隔りがある深海熱水環境にたどり着き、共通祖先として生き永らえる必要がある。それは奇跡の連続でなければあり得ないような現象だ。

「地球に生命が誕生して私たちにつながったことは間違いありません。しかし、私たち地球生命は奇跡の積み重ねの上につながった、はかない存在なのでしょうか」と高井さんは問い掛ける。「私は、40億年前の地球に生命は当たり前のように誕生して、当たり前のように持続・分散・適応・進化していったと考えます」

深海熱水説か陸上温泉説か。「どちらを支持するかは、生命の誕生と初期進化を“必然”と捉えるか、“偶然”としてもよいと捉えるか、という根本的な違いがあるのではないか」と高井さんは指摘する。「もちろんどちらが正しいかは現時点では分かりません。しかし、生命が誕生する場と持続・進化する場が同じであり、それを支えた場の広がりや安定性など、プロセス全体の可能性の大きさから見た場合、生命の誕生と初期進化を必然と捉える深海熱水説が圧倒的に有利だと考えられます」

では、深海の熱水活動域で、どのように“必然”の生命が誕生したと考えられているのだろうか。

地球の歴史
地球は約46億年前に誕生した。月の誕生には諸説あるが、およそ45億年前、火星くらいの大きさの天体が地球に衝突して形成されたという説が有力だ。海の誕生は、およそ44億年前。そして40億年前、生命が誕生したと考えられている。
イラスト：本多冬人



原始の海で生命の材料をいかにつくるか。熱水噴出孔の発電現象の発見により新展開。

取材協力

山本正浩
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
研究員

中村龍平
理化学研究所
環境資源科学研究センター
生体機能触媒研究チーム
チームリーダー

「生命が生まれるためには、生命を構成する材料が必要です。無機物から生命の材料がつくられていく過程を化学進化といい、それがどこどのように起こり生命の材料が準備されたのかを明らかにすることが、生命誕生の理解には不可欠です」。そう語るのは、JAMSTECの山本正浩さんだ。

化学進化が起きるには、エネルギーが必要だ。化学進化のエネルギー源として、雷や潮汐、宇宙線、小天体衝突など、さまざまな説が提唱されてきた。「それらの説の弱点は、エネルギーの供給頻度や供給量がランダムであることです。生命の材料は、エネルギーが適度な量で安定供給され、系統的かつ組織化されて次々とつくられてきたと、私

たちは考えています。しかし、それを可能にする適切なエネルギー源やメカニズムが不明のままで、化学進化の研究は行き詰まっていた。その状況を打開すると期待されているのが、深海熱水噴出孔で発生している電気です」と山本さん。

話は2009年にさかのぼる。理化学研究所の中村龍平さん（当時、東京大学大学院工学系研究科助教）が、高井研さんと山本さんを尋ねてきた。中村さんの目的は、深海から採取してきた熱水噴出孔の鉱物を解析させてほしい、ということだった。熱水噴出孔とは、海底から染み込んだ海水が地中の熱によって暖められ、熱水となって噴き出している場所である。熱水にはさまざまな金属成分が溶け込

んでいて、海水中に放出されるときに冷却され鉱物として沈殿し、堆積する。

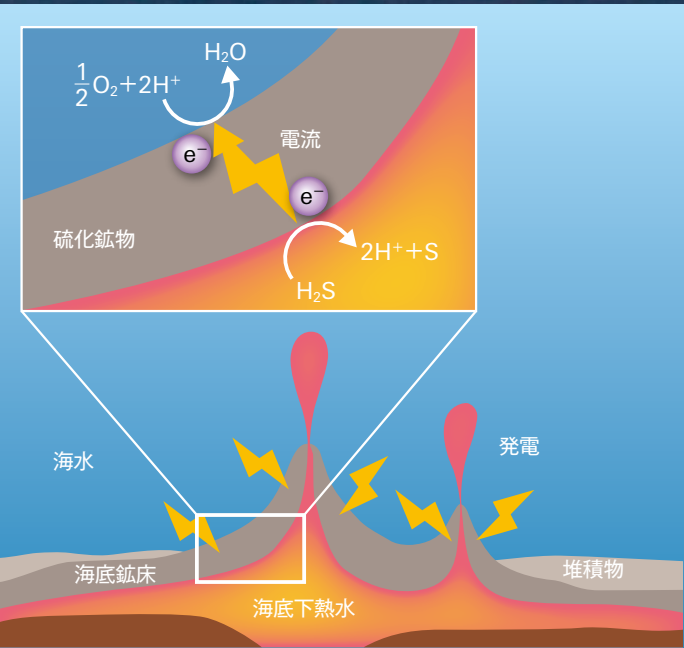
「私の専門は電気化学です。熱水噴出孔の構造や組成などから、鉱物は電気を通し、また燃料電池と同じ仕組みで発電しているに違いないと考えていました。それを確かめたかったのです。お二人は、最初は私の話に首をかしげていましたね」と中村さんは振り返る。

熱水噴出孔の鉱物の一部を提供してもらい、中村さんが実験したところ、それは予想していた以上に電気を通すことが分かった。山本さんは、「データの値を聞いて驚きました。熱水噴出孔の鉱物の主成分は鉄や銅の硫化物です。それらは半導体に分類され、それほど電気を流さないというのが常識なのです」と解説する。

「熱水噴出孔の内部には微細な孔がたくさんあって、比表面積が大きくなっています。それが電気伝導度を高めているのではないかと考えていますが、詳しいことはまだ分かっていません」

熱水には、電子を放出しやすい水素や硫化水素がたくさん含まれている。一方、海水には電子を受け取りやすい酸素がたくさん含まれている。そして熱水と海水を隔てる鉱物は電気を通す。そのため、熱水噴出孔の内壁面が硫化水素や水素から電子を受け取り、電子は鉱物を伝わり、外壁面で酸素に電子を渡すことで電流が発生する。つまり、深海において発電現象が起きていることが示唆されたのである。「熱水噴出孔はとても性能のよい燃料電池です。しかも、温度差によって電気が発生する熱電変換の性質もあります。私たち人類はまだ、これほど素晴らしい発電装置をつくることはできていません。さまざまな技術開発において自然に学ぶべきことはたくさんあると思っています。深海熱水噴出孔は、生命のはじまりを理解するだけでなく、人類の未来を考える上でも重要な場なのです」と中村さんは語る。

山本さんと中村さんは2012年、沖縄トラフ伊平屋北オリジナルフィールドにJAMSTECがつくった人工熱水噴出孔で現場実験を行った。熱水側と海水側にそれぞれ電極を配置して電線をつなぐと、間に入れたLEDライトが点灯することを確認。さらに2015年には、沖縄トラフの伊平屋北オリジナルフィールドにおいて、天然の深海熱水噴出孔の表面と熱水、海水の酸化還元電位をそれぞれ計測。酸化還元電位とは、電子の渡しやすさ・受け取りやすさを



深海熱水活動域における発電現象の概念図
熱水には電子（e⁻）を放出しやすい硫化水素（H₂S）が、海水には電子を受け取りやすい酸素（O₂）が大量に含まれている。硫化鉱物を主成分とする熱水噴出孔の鉱物は電極触媒と導電体として機能し、硫化水素から電子を受け取り、酸素に渡す。

示す。その値から熱水噴出孔で発電現象が起きていること、しかも熱水噴出孔周辺だけでなく、海底や海底下の熱水鉱物沈殿物を通じて100m四方を超える広範囲において電気が流れていることが実証された。

深海熱水噴出孔での電気発生は、ランダムではなく安定して持続する。また、雷や宇宙線は化学進化を起こす一方で、エネルギーが高過ぎるためにできた分子を破壊してしまうが、この電気はちょうどよいエネルギー量だ。「40億年前の地球には深海熱水活動域は現在よりたくさん存在しており、そこでは現在と同じように広範囲に電気が発生していたと考えられます」と山本さん。「その電気を使うことで、これまで考えられていたエネルギー源では不可能だった化学反応や、原始的な代謝とも呼べる連鎖的な化学反応が可能となり、無機物から生命誕生までの化学進化を一気に結び付けて理解できるかもしれません」

生物は、体内で連鎖的な複雑な化学反応を起こして、生命活動に必須な物質を合成し、またエネルギーを獲得している。それを代謝と呼ぶ。深海熱水噴出孔で発生する電気によって、本当に生命の材料や原始的な代謝ができるのだろうか。それを確かめるべく、実験が行われている。

沖縄トラフ伊平屋北アキフィールドのHDSKチムニー。チムニーとは、熱水に溶け込んでいた金属成分が沈殿し、熱水噴出孔の周囲に堆積して形成された煙突状の構造物である。水深1,071m。チムニーの高さは約6m。酸化還元電位は、熱水が-96mV、海水が+466mVであった。マイナスほど電子を渡しやすく、プラスほど電子を受け取りやすいことを表す。チムニー表面の酸化還元電位は、海水の値より熱水の値に近いことから、チムニーの内側で熱水中の硫化水素から取り出された電子が表面まで伝わっていることが分かる。海水に対する電圧（海水の電位との差）は、チムニーのトップが高く、麓が低い。これは、麓は内壁面から表面への電子の移動距離が長く抵抗が働いたためである。

チムニー表面（麓）：+138mV

チムニー表面（トップ）：-22mV

チムニー表面（中腹）：+32mV

海水：+466mV

熱水：-96mV

電気化学進化で生命の材料はどこまでつくられるか。

取材協力

北台紀夫
東京工業大学
地球生命研究所 研究員

中村龍平
理化学研究所
環境資源科学研究センター
生体機能触媒研究チーム
チームリーダー

山本正浩
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
研究員

生命に不可欠な要素の1つが有機物だ。有機物とは炭素を含む化合物の総称である。「原始の大気や海洋中には二酸化炭素がたくさん含まれていたと予想されるため、炭素はあります。問題はそれをどうしたら使えるかです」。そう語るのは、東京工業大学地球生命研究所の北台紀夫さんだ。「生物は二酸化炭素からいとも簡単に有機物をつくります。しかしそれは、現代でも多くの有機化学者が挑戦し続けている、とても難しい反応なのです。とはいえ、炭素が使えなければ、生命の誕生どころか材料づくりもままなりません」

そこで北台さんが注目したのが、一酸化炭素だ。「二酸化炭素より反応性が高いので、一酸化炭素を出発物質とすれば比較的簡単に有機物をつくるができます。しかし問題は、一酸化炭素を継続的に豊富に供給し続けている環境があるか、ということです」

原始地球の大気には一酸化炭素が一定量存在していたと考えられるが、濃度や安定性はよく分かっていない。雷や小天体衝突の高エネルギーによって二酸化炭素から一酸化炭素をつくれるが、継続性はない。一酸化炭素は火山ガスにも含まれているが、濃度は低い。そうしたなか北台さんはようやく一酸化炭素を継続的に豊富に供給し続けることができる環境を見つけた。「深海熱水噴出孔です」

熱水が高温、高アルカリ性で水素濃度が高く、触媒となる硫化カドミウムがあれば、熱水噴出孔を流れる電気を用いて二酸化炭素から一酸化炭素を継続的に豊富に供給し続けることができることを、実験やモデル計算から導き出したのだ。同じ条件がそろっていれば深海以外の熱水環境でも可能だ。しかし、たとえば陸上の温泉では、圧力が足らないため100℃を超える高温にはならず、一酸化炭素の生成に必要な電位を生じることが難しい。電気を伝える

深海熱水噴出孔における電気化学進化の概念
熱水噴出孔で発生する電気が駆動力の1つとなり、二酸化炭素から有機分子、生体分子、生体高分子へと至る一連の化学反応が進行していったのではないかと考えられている。

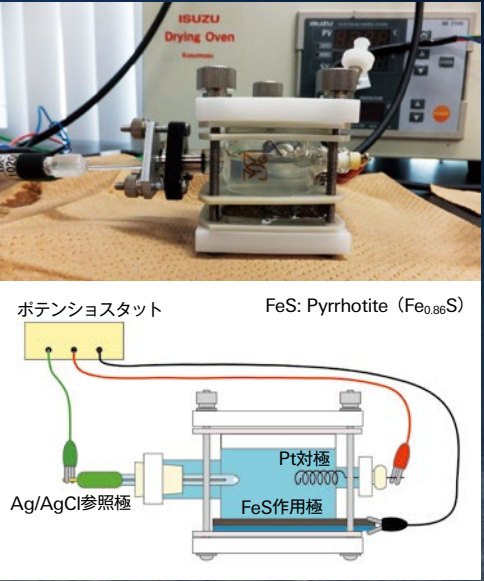
実証されている電気化学反応の例
硫化カドミウム (CdS) を触媒として二酸化炭素 (CO₂) から一酸化炭素 (CO) が、硫化モリブデン (MoS₂) を触媒として硝酸 (NO₃) からアンモニア (NH₃) が、それぞれ高効率に生成することが確認されている。一酸化炭素やアンモニアからはアミノ酸などの生体分子がつくられる。

深海熱水噴出孔における電気化学進化を模擬した実験で使用しているJAMSTECの電気化学セルの外観と構造。化学反応の出発点となる化合物を入れ、硫化鉄 (FeS) の板に電気を流し、どのような化合物がつくられるかを調べる。

えるでしょう」と中村さんは解説する。

JAMSTECの山本正浩さんも、深海熱水噴出孔での電気による化学反応を模擬できる電気化学セルを用いて、化学進化の実験を進めている。「有機酸やアミノ酸など、生命にとって重要な分子が生成されることを確かめています」と山本さん。「自然界で生命の材料がつくられたときは、系統のかつ組織化された化学反応が次々と進んだと考えられます。現在私たちはまだ、化学反応をいくつか切り出して再現している状態です。それでも、これまで再現が困難であった化学進化をいくつも電気を用いることで実現したことは大きな進歩です」

北台さんもこう語る。「生命のすべての材料を電気化学的な反応だけでつくれるとは思っていません。たとえば、アミノ酸や核酸を長く連ねてタンパク質やDNA、RNAなどの生体高分子を合成するには、異なる駆動メカニズムを考える必要があるでしょう。しかし、電気によってどのような反応を起こせるか、その限界を探ることは、生命の発生プロセスを正しく理解するためにとても重要になります」。北台さんは高圧・高温で実験できる電気化学セルを開発し、さらなる実験を進めようとしている。「熱水噴出孔で電気が発生していることを発見し、電気化学進化を提唱したのは、中村さんと私です。そこに北台さんも加わり、この分野では私たちのグループが世界で独走しています。しかし、海外の研究者もどんどん注目し始めているので、うかうかしていられません」と山本さんは表情を引き締める。



窒素分子を生命が使えるかたちにしたのは 小天体衝突か？ その可能性を検証する。

取材協力

西澤 学

JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
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

「窒素はアミノ酸やDNAを構成する主要元素で、生命に必須です。地球の大気には窒素分子がたくさん含まれています。しかし、窒素分子はとても安定なため、多くの生物は窒素分子を直接取り込んで利用することはできません。この問題は、生命の誕生プロセスを考える上でも重要です」。そう語るのはJAMSTECの西澤学さんだ。

現在の地球では、一部の微生物だけが窒素分子を取り込んでアンモニアをつくることができる。それを窒素固定といい、そうしてつくられたアンモニアを植物、そして動物が取り入れているのだ。西澤さんは、35億年前の地球にすでに窒素固定を行う超好熱メタン生成菌が存在していたことを明らかにしている。「地球最初の生命も窒素固定ができた可能性はあります。それは今後検証すべきことですが、生命誕生前にも何らかの方法で窒素分子からアンモニアなどの窒素化合物がつくられていなければ、アミノ酸やDNAなど生命に必須の材料がでず、生命は誕生できません。理化学研究所の中村龍平さんは、深海熱水活動域で発生する電気によって、硫化モリブデンを触媒として硝酸からアンモニアがつくられることを示しました。私が注目しているのは、小天体衝突です」

彗星や小惑星など太陽系小天体とそのかけらである隕石や宇宙塵には、炭素や水素、酸素、窒素などの生命必須元素、そして有機物も豊富に含まれている。小天体衝突によってそれらが地球にもたらされ生命の原材料となったという説がある。「単に生命の原材料が運ばれてくるだけでなく、たとえば小天体が海洋に衝突すればそのエネルギー

によって窒素分子からアンモニアへの化学反応が進んだ可能性もあります。それを確かめるため、2015年から宇宙航空研究開発機構（JAXA）の矢野創さんたちと共同で実験を行っています」と西澤さん。

JAXAには垂直型の二段式軽ガス銃による超高速衝突実験設備がある。約5mの高さから直径数mmの弾丸を秒速5～6kmの超高速で下に向かって撃ち出し、標的に衝突したときにどのような物理化学現象が起きるかを調べられる。しかし真空チェンバー内の汚染や性能低下を懸念して、液体の標的には対応していなかった。「1年間試行錯誤しながら、真空チェンバーを守りつつ模擬海洋衝突実験ができる特殊な水槽を組み立てました。垂直型の二段式軽ガス銃は、NASA（アメリカ航空宇宙局）エイムズ研究センターなど世界でも数えるほどしかありません。そのなかでも現在、定常的に液体に弾丸を撃ち込めるのはJAXAの装置だけです」と矢野さんは胸を張る。

そして2016年から科学データを取得する実験を開始。具体的には、水槽の底に海底の岩石に見立てた玄武岩を固定して水を張り、小惑星を模擬した直径2mmの弾丸を秒速5～6kmで衝突させた。その様子を超高速カメラで観察し、大きさや速度によって弾丸の壊れ方が異なることなど、基本的な情報を得た。2017年からは、地球で回収された炭素質コンドライト隕石をくりぬいてつくった弾丸を使うなど、本格的な実験を開始したところだ。

矢野さんは、「隕石でつくった弾丸は水面に衝突して、水中を潜っていく過程で細かく壊れてしまい

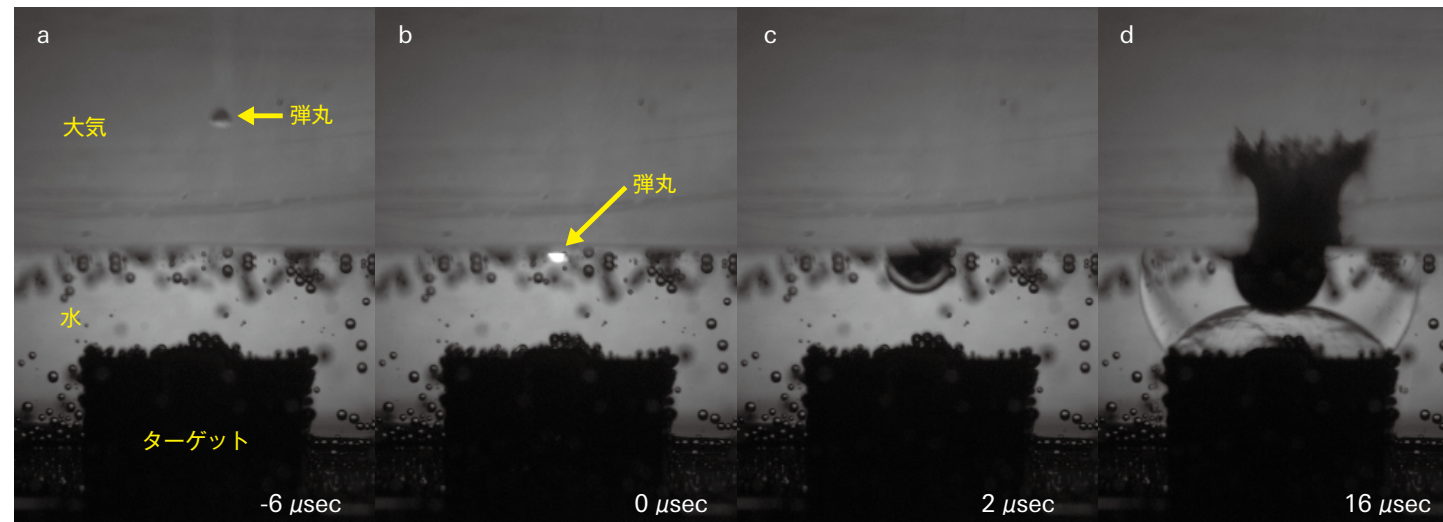
ます。これは意外でした」と語る。「当初は、小天体が海底に衝突してクレーターをつくるときに高温高圧状態になり、主に地球の海底物質の化学反応が進むと予想していたのです。模擬海水衝突実験から、大気突入を生き延び海洋面に衝突しても海底に到達する前に水中で壊れて内部物質を海中にばらまいてしまうほど小さな小天体こそが、生命の原材料を海中へもたらし、化学反応を起こした主役なのではないかと考え始めています」。海底にクレーターをつくるような、海の深さと同じくらい大きな小天体の衝突頻度はきわめてまれで、局所的だ。一方、海の深さより小さな小天体の衝突頻度ははるかに高く、しかも地球表面の全域に降下している。「考えてみれば当たり前ですが、実験をしてみても初めて気づくことも多いものです」

小天体が壊れることで、その内部に含まれていた元素や有機物がどのように海中を拡散していくのか。衝突エネルギーによって海中の圧力や温度はどのように変わり、小天体の内部物質と地球の海水の間にどんな化学反応が起きて、何がつくられるのか。アンモニアなどの窒素酸化物はできるのか。これからも衝突時に起きる物理化学的現象を、詳細に調べていく計画だ。

矢野さんは、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」日本実験棟を使い、2015年から4年間の予定で「たんぼぼ」という実験を実施中だ。毎年、エアロゲルという寒天のような低密度の物質を敷き詰めたパネルを1年程度ずつ宇宙空間にさらして微粒子を捕獲し、地球に持ち帰って調べる。「初年度試料のうち1回目に回収されたものの詳細解析、2回目に回収されたものの初期解析の最中ですが、捕獲された小天体起源の宇宙塵の個数は実験開始前の予想より多い可能性があります」と矢野さんは解析結果を紹介する。「『たんぼぼ』実験から得られるデータは、有機物などが宇宙塵によって原始地球にどのくらいもたらされたかを推定するベンチマークになります」

一方で西澤さんは、原始大気の組成を再現した環境での放電実験も行っている。ユーリー・ミラーの実験の現代版だ。「窒素酸化物の供給において、大気中の放電と海へ的小天体衝突のどちらが重要なのかを評価したい」と意気込む。それによって、深海熱水噴出孔での電気化学進化の重要度も分かってくるだろう。

小天体を模擬したポリカーボネートの弾丸が水中に秒速6kmで超高速衝突したときの超高速カメラによる連続写真。水面衝突時を0マイクロ秒（μsec）と基準にしている。



JAXA宇宙科学研究所にある垂直型二段式軽ガス銃設備。一番下の真空チェンバー内部に模擬海水を入れて密封した水槽を入れ、装置上部から炭素質コンドライト隕石製の弾丸を、秒速5～6kmの超高速で水中に撃ち込む。小天体が海洋に衝突したときに進む海中の物理化学現象を再現し、観測する。

より複雑な高分子、そしてシステムをつくり、生命へ。その道筋を解く。

取材協力

藤島 皓介
東京工業大学
地球生命研究所 研究員

木賀 大介
早稲田大学
先進理工学部 教授

深海熱水噴出孔で発生する電気を用いることで、これまで化学進化の障壁となっていた化学反応がいくつも実現できるようになった。しかし、まだ分子量の小さな化合物までだ。地球生命のシステムを再現するには、アミノ酸が連なったタンパク質や、核酸が連なったDNAやRNAなどの高分子も必要だ。それがどのようにつくられてきたのかを明らかにしようという研究も進んでいる。

その1人が東京工業大学地球生命研究所の藤島皓介さんだ。地球の生物はすべて、DNAに書き込まれた遺伝情報がRNAにコピーされ、その情報をもとにアミノ酸が連なって化学反応を促進する触媒機能を持つタンパク質ができるという共通のシステムを持っている。その共通システムは、セントラルドグマと呼ばれる。藤島さんは、「セントラルドグマができあがる前、生命が誕生する過程でどのようなシステムがあったのかを知りたい」という。

セントラルドグマ以前のシステムとして支持されているのが、RNAワールドだ。DNAの遺伝機能とタンパク質の触媒機能の両方をRNAが担っていたというものが、藤島さんは、RNAだけですべて説明できることには否定的だ。「RNAを構成する核酸は、塩基、糖、リン酸という3つの部品を組み合わせた複雑な構造をしています。これだけを大量につくり、維持するのは非常に難しいでしょう」

そこでRNAワールドを補完するかたちで藤島さんが提唱しているのが、生命の起源におけるペプ

チドの役割である。アミノ酸が連なってできたペプチドと呼ばれる短いタンパク質が先に存在し、そのペプチドが選択的に代謝や核酸の合成を行い、最終的に核酸が連なったRNA、さらにはRNAとタンパク質が絡み合ったリボソームと呼ばれる翻訳系ができたというものである。「現在の生物が使っている20種類のアミノ酸の並び方をさまざまな組み合わせで設計してペプチドをつくり、その機能を調べています。このような手法を合成生物学といいます。核酸をつくるなどRNAと協調的に働く機能を持つペプチドが見つかれば、セントラルドグマの始まりにおけるペプチドの重要性を証明できることになるでしょう」

一方でペプチドやRNAをつくるのには、別の難しさもある。「アミノ酸や核酸が連なってペプチドやRNAのような高分子のひもをつくるためには脱水反応といって水を取り除かないといけないのです。この問題を解決しない限り、深海は生命誕生の場ではないという批判を免れません」と藤島さん。海水中で脱水反応が可能なのだろうか。「実は、深海熱水活動域では水のなかでありながら乾いた環境が存在することが分かってきました。そういった深海の熱水活動域の特殊な環境であれば高分子のひもを維持できるかもしれません」。それによって、生命誕生の場は深海熱水活動域であるという説がさらに揺るぎないものとなるだろう。

早稲田大学の木賀大介さんも合成生物学を駆使

して生命のはじまりに迫ろうとしている。「私たちの共通祖先が誕生するより以前に“ありえた生命”をつくることで、生命のはじまりを理解することを目指しています」

“ありえた生命”とは？「現在の生物は、タンパク質は20種類のアミノ酸、核酸は4種類の塩基を使っています。しかし、生命がつくられていく途中では、アミノ酸や塩基の数はもっと少ないとき、あるいはあいまいな使われ方をしながら種類は多いときがあったはずです。たとえば、それが“ありえた生命”です。最終的には、どこまで文字を減らしても生命が成り立つのかを確かめたいと思っています」

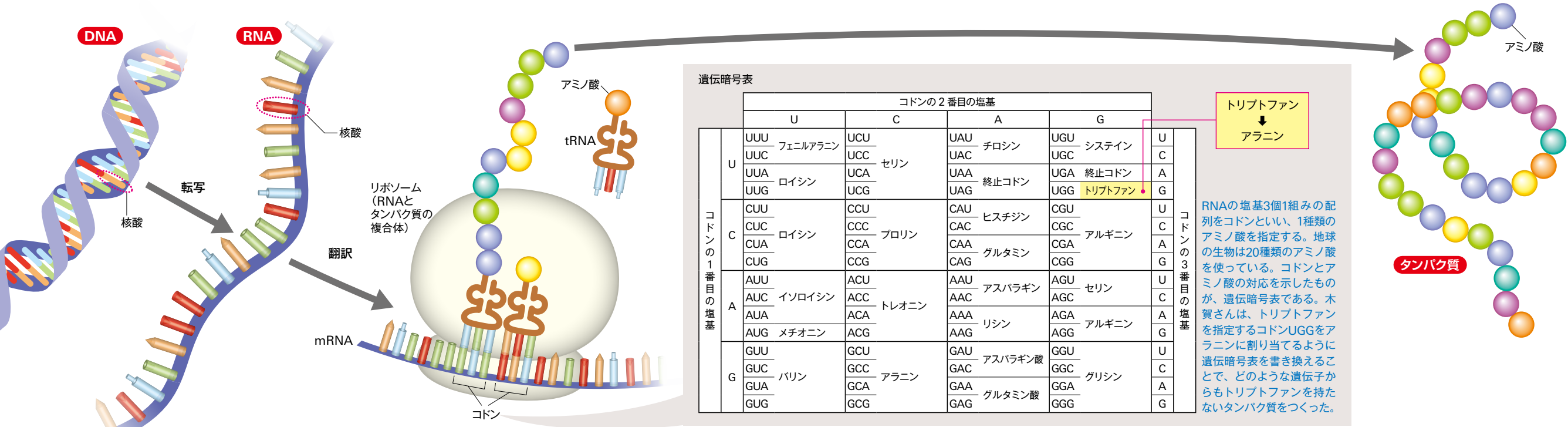
木賀さんは、手始めに20種類のうちトリプトファンというアミノ酸を抜いてみることに。塩基配列3文字1組みをコドンと呼び、アミノ酸1個を指定している。そのコドンとアミノ酸の対応関係を示したものが遺伝暗号表だ。トリプトファン以外の19種類のアミノ酸だけを使うように遺伝暗号表を書き換えた。その遺伝暗号表は正しく機能し、どのような遺伝子からもトリプトファンを含まないタンパク質ができる。「合成生物学の楽しいところは、妄想するだけでなく実際に試してみる点ができる点」と木賀さん。つくったタンパク質をそれぞれ異なる条件で人工進化させ、特定の機能が高い上位のものを選び、それらをまた異なる条件で進化させて……と繰り返すことで、特定の条件下で効率よく機能するタンパク質が得られる。生命誕生の準備が進

んでいるころの地球環境を条件として設定すれば、当時に“ありえたタンパク質”を再現できるのだ。

「システムを扱えることも合成生物学の特徴」と木賀さん。生物は高分子同士や細胞同士のコミュニケーションによって成り立っているが、その複雑なシステムとしての現在の生命を実験で丸ごと理解するのはとても難しい。合成生物学では、数理モデルで記載できる生命の部分システムたちを試験管内につくり、続いてそれらを組み合わせる複雑なシステムも理解できるという利点がある。たとえば、さまざまな生物のDNA配列を組み合わせ、それらの発現を制御するプログラムを書くことで、望んだ性質を持つ複合システムをつくることも可能だ。それを細胞内に導入し、設計通りに動いているかを確認して、必要に応じて数理モデルを改善する。細胞を用いる実験とコンピュータを使う実験を行き来することで、どのように複雑な生命のシステムがつくられてきたのか、その理解も進む。

木賀さんは「タイムマシンがない限り40億年前の生命を直接見ることはできませんよね」という。「しかし合成生物学を駆使すれば、40億年前の地球に“ありえた生命”をつくり観察することができてしまう。塩基やアミノ酸の配列のパラエティーは膨大なため、実在していた生命と同じではないことには注意が必要ですが、機能は同じです。“ありえた生命”は、地球生命の起源だけでなく、宇宙における生命たちについて多くのことを教えてくれるはずだ」

生命のセントラルドグマ。地球のすべての生物が持っている共通システムである。遺伝情報は、DNAに4種類の塩基（A：アデニン、T：チミン、G：グアニン、C：シトシン）の並びとして書き込まれている。DNAは、AとT、GとCが結び付いた二重らせん構造になっている。DNAの塩基配列がRNAにコピーされ（TはU：ウラシルに置き換わる）、RNAの塩基3個1組みの配列（コドン）ごとに1種類のアミノ酸に翻訳される。アミノ酸が連なって触媒機能を持つタンパク質ができる。



地球における生命誕生は必然である。

取材協力

高井 研

JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
分野長

40億年前より少し前の地球。海が一瞬にして蒸発してしまうような微惑星衝突も収まったころ、深海の熱水活動域では、化学進化によって無機物からさまざまな有機物がつくられていった。それらの材料から生命がつくられるには、材料が濃集する必要がある。しかし海の隔たりのない海水のなかでは、せっかくつくられた材料たちは、あっという間に拡散してしまう。それを理由に、深海熱水活動域は生命の誕生の場になり得ない、という指摘もある。

それに対して高井研さんは、こう反論する。「熱水から析出した鉱物が沈殿してできたチムニーの内部には、小さな孔がたくさんあります。その孔のなかの空間や、孔の内外を隔てる区切りの表面や内部で、さまざまな化学進化が起こったと考えられています。それならば、つくられた生命の材料が霧散してしまうことはありません」

小さな孔1個1個が細胞のような役割をしていたのだろう。孔を縁取る鉱物は選択的に元素やイオン、有機物などを透過させて、孔の内外の物質が交換できることも知られている。そのような孔の集合体のなかで生命の材料は濃集し、相互作用を繰り返して原始的な代謝が始まり、アミノ酸の高分子化のような生体高分子の生成も促進される。またチムニーは熱水噴出の変化によって、まるで細胞分裂や細胞死のように生成と分解を繰り返す。さらに脂質から成る原始的な膜が形成され、孔の内外を隔てる鉱物の代わりを果たすようになる。外界と内側を区切る細胞膜ができてしまえば、自発的な代謝によってチムニーの孔から離れても持続的に生きることができるようになり、1つのチムニーから別のチムニーへ、1つの熱水活動域から別の熱水活動域へ、というように自身を増やしながら生息の場を広げていくことができる。

このチムニーの小さな孔のなかで無機物から有機物へ、材料からサブシステムへ、サブシステムから原始細胞へ至るプロセスこそが生命の誕生であり、チムニーの小さな孔を旅立ち次々と深海環境に伝播、分散していった細胞生命こそが、私たちへとつながる共通祖先だったのだろう。それらは、

水素と二酸化炭素を食べてメタンや酢酸をつくる超好熱メタン菌や超好熱酢酸菌を一次生産者とする生態系を形成していたと考えられているが、深海熱水噴出孔で発生する電気を直接利用していた可能性も新たに出てきた。

無機物から生命へ——深海熱水噴出孔で広範囲に電気が発生しているという発見によって、化学進化のプロセスとその空間的な広がりについての理解に革新的な進展があった。しかし当然、まだ明らかにすべきこともたくさん残されている。二酸化炭素から一酸化炭素を、硝酸からアンモニアを、それぞれ電気化学的な反応でつくるためには、触媒として硫化カドミウムや硫化モリブデンが必要とされている。当時の深海熱水噴出孔にそれらは存在したのだろうか。炭素や窒素などと並んで生命にとって必須な元素であるリンはどのように濃縮されたのか。生命活動の根本をなす代謝回路であるTCAサイクルやその他の生合成代謝経路は、いつ、どのようにしてできたのだろうか。情報を担う分子と代謝を担う分子は、いつ分かれたのか、あるいはいつ出会ったのか……。生命の起源をめぐる謎解きはまだ続く。

再び「地球における生命誕生は奇跡の積み重ねだったのでしょうか」と高井さんは問い掛ける。生命の材料は、宇宙から直接もたらされることもあり、また地球において温泉、雷、宇宙線、潮汐、小天体衝突などが供給する高エネルギーによってもつくられる。しかし、それぞれの環境で起きる化学反応の特徴が異なるため、できた材料には偏りや過不足が生じる。これまでの化学進化の考え方に従った場合、生命の誕生には、さまざまな由来を持つ材料から適材を選択し、それをさまざまな適所に集めサブシステムへと加工し、さらにそれを1ヵ所に集め最終製品として生命を組み上げる必要がある。

これまでの研究者の多くは、約40億年前の地球にその過程をうまく結び付けた“流通網”、物質循環経路が存在し、最終的に生命を完成させた場“ミラクルポイント”があったと考え、そのミラクルポイントを見つけようと試みてきた。いくつかの有力候補が提唱されており、特殊な条件を満たした陸上温泉環境もその1つだ。しかし仮に特殊な陸上温泉で生命が誕生したとして、その生命が海へ、さらに深海熱水活動域へとたどり着き共通祖先として生き永らえていく必要があり、その障壁が非常に大きいことは3ページで紹介した通りだ。さらに生命誕

深海熱水活動域のチムニー内部の小さな孔のなかでの生命誕生のイメージ。電気化学的な反応などによって無機物から有機物がつくれ、それらの生命材料から複製や転写、翻訳などのサブシステムがつくれ、それらが膜に包まれることで原始細胞が誕生したと考えられる。原始細胞はチムニーの孔を旅立ち、深海環境に伝播、分散していった。それこそが私たちにつながる共通祖先だったのだろう。

イラスト：矢田 明

生に至る各段階を結び付ける“流通網”を想定することは可能だとしても、現状では材料を生成する1つ1つの化学反応に適した都合のよいそれぞれの環境を単純に結び付けたものにすぎず、材料が運搬される際の拡散や希釈、分解や変性といったネガティブな影響はほとんど考慮されていない。「これまでの考え方は“確率の上では不可能ではない”というぐらい偶然に頼ったシナリオです」と高井さん。

一方で、ようやく深海の熱水噴出孔環境を再現した化学進化実験が可能となり、これまで知られなかった電気化学や鉱物触媒による化学進化プロセスが深海熱水環境で実現することが分かりつつある。「その研究が進むにつれて、奇跡的な現象の積み重ねの結果としてのシナリオよりも、無機物から生命誕生へ至るすべてのステップが深海熱水噴出孔という空間的にほぼ同一の環境、しかも地球規模で考えた場合極めて普遍的な環境で起きたとするシナリオの可能性が圧倒的に大きいということが証明されると思います。そして、その可能性の大きさをともに、私たちは、地球で生命が誕生することは“必然”であると示すことができるでしょう」

そして、こう結ぶ。「地球で生命が誕生することが必然であり、その必然の条件が海、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」

地球以外の天体に生命は存在するのだろうか。生命が存在するとしたら、どの天体で、どうすればそれを見つけることができるのだろうか。次号で紹介しよう。

BE



鈴木志野

高知コア研究所
地球深部生命研究グループ
特任主任研究員

すずき・しの。1975年、東京都生まれ。博士（農学）。東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了。（株）海洋バイオテクノロジー研究所 研究員、東京大学生物生産工学研究センター研究員、J. Craig Venter InstituteのStaff Scientistを経て、2015年より現職。

IODP第366次研究航海で「ジョイデス・レゾリューション」に乗船した鈴木志野さん（左端）



限界を超えていく 生命の生存戦略を知りたい

生命に必須の元素を得ることや呼吸することが難しい

極限環境にも微生物は生息している。

いったいどうやって微生物は生き延びているのか。

その生存戦略を探っている鈴木志野さんは2016年12月～17年2月、

国際深海科学掘削計画（IODP）第366次研究航海

「マリアナ前弧域蛇紋岩泥火山掘削」で

アメリカの深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション」に乗り込んだ。

鈴木さんがIODPで解きたい謎とは？

真実を求める安心感

——子どものころから、科学者になリたかったのですか。

鈴木：いいえ。私は作曲家を目指して4歳から専門家の厳しいレッスンを受けました。でも、高校生のときに作曲家を目指すことに不安を感じました。私がつくった曲がある先生は高く評価しても、別の先生が同じように評価してくれるとは限りません。人によって評価が異なる音楽の世界に人生を懸けることが怖くなったのです。

その対極にあるのがサイエンスです。真実が必ず存在することを探究するとい

う安心感があります。授業でメンデルの遺伝法則を学び、一見複雑に見える生物もシンプルな原理で理解できるのかもしれないと思い、興味を持ちました。国語や英語が得意で、数学は苦手だったのですが、東京理科大学基礎工学部の生物工学科に進学しました。——微生物を研究するようになったきっかけは？

鈴木：学部4年生のときに入る研究室では、医療にも関係する免疫を学ぼうと思っていました。でも免疫の実験で扱うマウスが苦手で、微生物の遺伝子を調べる研究室に入りました。それ以来、微

生物を対象に研究を続けています。

生き延びるために 植物と共生する窒素固定菌

——その後、東京大学大学院農学生命科学研究科に進まれました。

鈴木：そこでは、植物と共生する微生物の研究をしました。たとえば、窒素固定菌は植物の根に根粒というこぶをつくり共生しています。窒素は生物の必須元素です。空気の組成の8割は窒素分子ですが、ほとんどの生物は窒素分子のままでは利用できません。窒素固定菌は空気中の窒素分子からアンモニアなど生



上段：IODP第366次研究航海に参加した女性科学者たち。最前列がPatricia B. Fryer教授。
下段：コアの分析を進める鈴木さん。
©Tim Fulton (IODP-JRSO)

物が利用できる窒素化合物をつくり植物に与えます。代わりに植物は栄養分を窒素固定菌に与えるという、互いに利益となる共生関係を築いています。

根粒のなかで窒素固定菌の大半は細胞分裂ができない形態となり、もはや植物の器官の一部になります。ただし、一部は細胞分裂する能力を維持しています。そしてその植物が枯れると、別の植物と共生関係を築いて生き延びます。

窒素固定菌は、ほかの生物にはできない空気中の窒素分子を利用するための遺伝子を獲得して植物と共生し、その大半が細胞分裂する機能を失っても、一部がその機能を保つことで、遺伝子を受け継ぎ生き残るという生存戦略を取っているのです。私は、そのような生物の生存戦略に興味を持ち、研究を続けてきました。

陸の蛇紋岩化作用と微生物

——2008年から研究の場をアメリカに移されました。

鈴木：学位を取った後、（株）海洋バイオ

テクノロジー研究所の研究員となりました。そこで夫と出会い、結婚しました。その後、夫が書いた論文が、Kenneth H. Nealson博士の目に留まり、博士が研究をしていたJ. クレイグ・ヴェンター研究所（J. Craig Venter Institute）に夫婦で来ないかと誘ってくれたのです。Nealson博士は世界的に著名な微生物学者で、NASA（アメリカ航空宇宙局）のJPL（ジェット推進研究所）で、アストロバイオロジー（宇宙生命科学）の研究グループを率いた人です。私は修士課程のときJPLにあるNealson博士の研究室で数週間、研究をした経験がありました。

——所長のVenter博士は、ヒトのゲノム（全遺伝情報）解読や人工生命の研究で有名ですね。

鈴木：その研究所には、Venter博士のほか、ノーベル賞受賞者など優れた研究者がそろっていて、彼らとのディスカッションは本当に刺激的でした。ところが渡米して1ヵ月後にリーマンショックが起き、Nealson研究室の研究費が削減されてしまいました。そこで研究室では、研究費獲得のための提案書づくりに追わ

れることになりました。研究室ではさまざまな提案を申請しましたが、私たち夫婦が原案を書いた提案書だけが採択されました。その1つが、私が提案した蛇紋岩化作用が起きている場所の微生物を調べる研究でした。

北カリフォルニアには、マントル層を構成する岩石であるかんらん岩が水と反応して蛇紋岩ができる反応（蛇紋岩化作用）が活発に起きているThe Cedarsという場所があります。そこにある泉は、pH（水素イオン指数）が高く、生物に必須の元素である炭素・窒素・リンを利用したり、呼吸したりすることが難しい環境です。

微生物は呼吸するとき、食べ物の糖などから電子を引き抜き、その電子のエネルギーを使って細胞膜の外側に水素イオン（H⁺）をくみ出します。すると膜の内側より外側の方がH⁺濃度が高くなります。それにより濃度の高い外側から内側へH⁺が逆流することを利用して、ATP（アデノシン三リン酸）というエネルギー物質を合成します。こうして使われた電子は最終的に酸素などが受け取ります。私たちが呼吸で酸素を必要とするのはこのためです。ところがThe Cedarsの泉水には、電子を受け取る酸素などの物質がないため、呼吸することが難しいのです。

さらに、この場所はpHが12ほどと極めてアルカリ性が高い環境です。つまりH⁺濃度が低く、水酸化物イオン（OH⁻）濃度が高いのです。細胞膜の外側にくみ出したH⁺はすぐにOH⁻と結合して水（H₂O）となります。細胞膜の外側と内側の水素イオン濃度の差を利用してATPを合成することがとても難しい環境です。

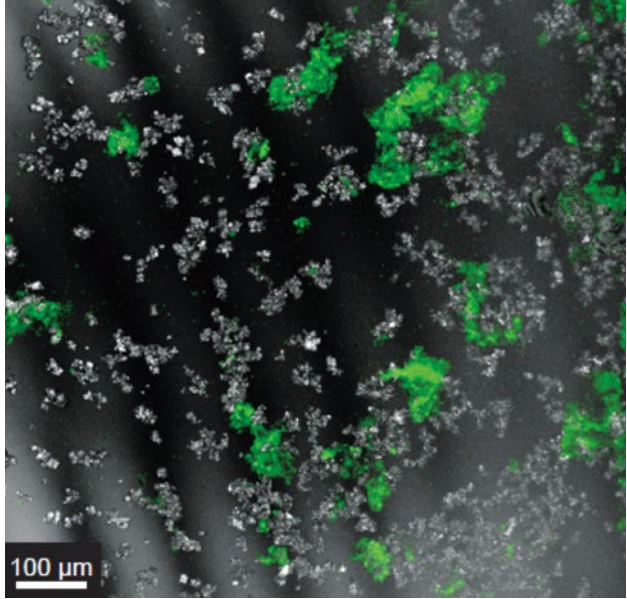
普通に考えると、The Cedarsの泉水は生物が生育できる環境ではありません。しかし、そこにも微生物が生きています。どのような生存戦略で微生物は生き延びているのか、それを探る研究を私は提案しました。

——なぜ、その提案が採択されたのですか。

鈴木：生命誕生の謎や、火星での生命探査にも関係するからかもしれません。火星の地表はかんらん岩に覆われ、水が存在することも確実です。かんらん



アメリカ北カリフォルニアThe Cedars地域にある蛇紋岩滲出水の泉（ニップルスプリング）
カルシウムが空気中の二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムの白い結晶ができています。



炭酸カルシウムの上で生きる *Serpentinomonas*
緑色が *Serpentinomonas*、白色が炭酸カルシウム。



超アルカリ環境で炭酸カルシウムを食べる *Serpentinomonas*
左は炭酸カルシウムの粉末。右は *Serpentinomonas* に食べられて構造が変化した炭酸カルシウム。

岩と水が反応する蛇紋岩化作用では、水素とメタンができます。火星に生命がいるとすれば、その水素とメタンをエネルギー源として利用しているのではないかと考えられています。また、初期地球でもそのような反応が起きていたと考えられています。そのため、The Cedarsに生息する微生物の生き様が、地球の初期生命や火星生命を理解するための参考になると考えられたからだと思います。

炭酸カルシウムを食べる微生物

——The Cedars泉水で、微生物はなぜ生き延びることができるのですか。

鈴木：まだ研究の途中ですが、興味深いことが分かってきました。たとえば、最も生育に適した環境がpH11という微生物 *Serpentinomonas* が見つかりました。好アルカリ性微生物の多くは、最も生育に適した環境がpH9ほどで、pH10.5くらいまでなら何とか生きられるというものでした。ところが *Serpentinomonas* はpH12.5くらいまで生育が可能です。ただし、pH10以下では生きていけません。

それがなぜかも謎です。

Serpentinomonas は炭酸カルシウムを食べることができるという特殊な能力があります。The Cedarsの岩からはカルシウムがたくさん溶け出し、空気中の二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムができています。普通の生物は炭酸カルシウムから炭素を引き抜いて栄養にすることはしませんが、*Serpentinomonas* はそれが可能です。そのような極限環境で微生物が生き延びるために獲得した機能のなかには、人間にとって有用なものがあるかもしれないと考えています。

さらに、*Serpentinomonas* のゲノムのサイズは、近縁の微生物と比べ小さいことが分かりました。ゲノムはリンを主要成分とするDNAに書かれています。The Cedars泉水ではリンもカルシウムと結合してしまい、微生物が利用できるリンが不足している状態です。そのためゲノムを小さくする必要があったのでしょう。

——ほかには、どのような微生物がいるのですか。

鈴木：The Cedarsの地下水圏にはとて

も不思議なゲノムを持つ微生物群が生息していることが分かりました。ゲノムのサイズがとても小さい上に、ATPの合成酵素など、生物に必須と考えられる遺伝子を持っていないのです。いったいどのようにして生きているのか、まったく分かりません。

これは私の想像ですが、それぞれの微生物はゲノムサイズがとても小さく限

られたタンパク質しかつくることができないため、微生物群のなかでそれぞれ役割分担をしているのかもしれませんが。微生物Aはタンパク質Aを、微生物Bはタンパク質Bをつくり出して、それぞれに必要な物質をやりとりすることで、微生物群は生き延びている可能性があります。そして環境の変化によってタンパク質Aがたくさん必要な状況では微生物Aが増え、タンパク質Bが必要な状況では微生物Bが増えるといったかたちで、環境の変化に適応しているのかもしれない。

私たちの体のなかでは、ある状況では遺伝子Aがたくさん発現してタンパク質Aをつくり、別の状況では遺伝子Bが発現してタンパク質Bをつくるといったように、遺伝子発現の制御が行われています。ただし、その制御のためには、たくさんのタンパク質が必要です。利用できる物質やエネルギー源が限られた環境で、ゲノムサイズがとても小さい微生物がそのような遺伝子発現の制御を行うことは難しいでしょう。そこで、微生物同士が役割分担することで集団として生き延びるという生存戦略を取っているのかもしれないと私は考えています。

陸から深海・海底下へ

——2015年、研究の場を日本の海洋研究開発機構（JAMSTEC）高知コア研究所に移されました。

鈴木：アメリカで長女を出産しましたが、子育て環境を考えて、両親の協力も得られる日本に帰国することになりました。

私たちの研究分野においてアメリカから日本を見たとき、人工生命などの研究を進めている慶應義塾大学先端生命科学研究所と、深海や海底下の生命探査を進めるJAMSTECが断然、目立っています。独創的な研究をしているJAMSTECは、日本国内の人たちが思う以上に国際的な存在感があります。

私は、ぜひJAMSTECで深海や海底下にすむ微生物の研究がしたいと思いました。そこで夫婦で応募して、高知コア研究所にポストを得ることができました。

帰国後、次女を出産しました。その8日後、IODP第366次研究航海の招待状が届きました。マリアナ海溝の西側には、海底下で大規模な蛇紋岩化作用が起きている場所があります。そこを掘削する航海です。とても興味がありましたが、次女が生まれたばかりなので、参加するかどうか迷っていたら、夫が「自分の目で現場を見るべきだ」といつてくれました。

——初めてのIODP航海の印象は？

鈴木：とても楽しかったです。普段は、子育てと研究の両立に大変な毎日ですが、乗船中は研究に集中できるという開放感があります。この航海の共同首席研究者の1人でハワイ大学のPatricia B. Fryer教授には、とてもお世話になりました。彼女は長年この海域の調査を行い、「マリアナの女王」と呼ばれている地質学者です。生物学者の私に、この海域の地質的な特徴など、さまざまなことを教えてくれました。彼女の解説を聴き海底下を想像しながら、どんな

掘削試料（コア）が上がってくるのか、とてもわくわくしながら待ちました。現在、そのコアの分析が続けているところです。

——注目点は？

鈴木：まず微生物がいるかどうか。いるとしたら、The Cedarsの微生物と似ているか似ていないか、ゲノムを比較したいと思います。マリアナ前弧域で蛇紋岩化作用が起きている場所は広大で、The Cedarsとは規模が違います。また、ここでは呼吸において電子を受け取ることができる硫酸が存在するなど化学的環境も異なるので、The Cedarsとはまったく違う微生物が独自の生存戦略で生き延びていると想像しています。

——今後もIODPに参加したいですか。

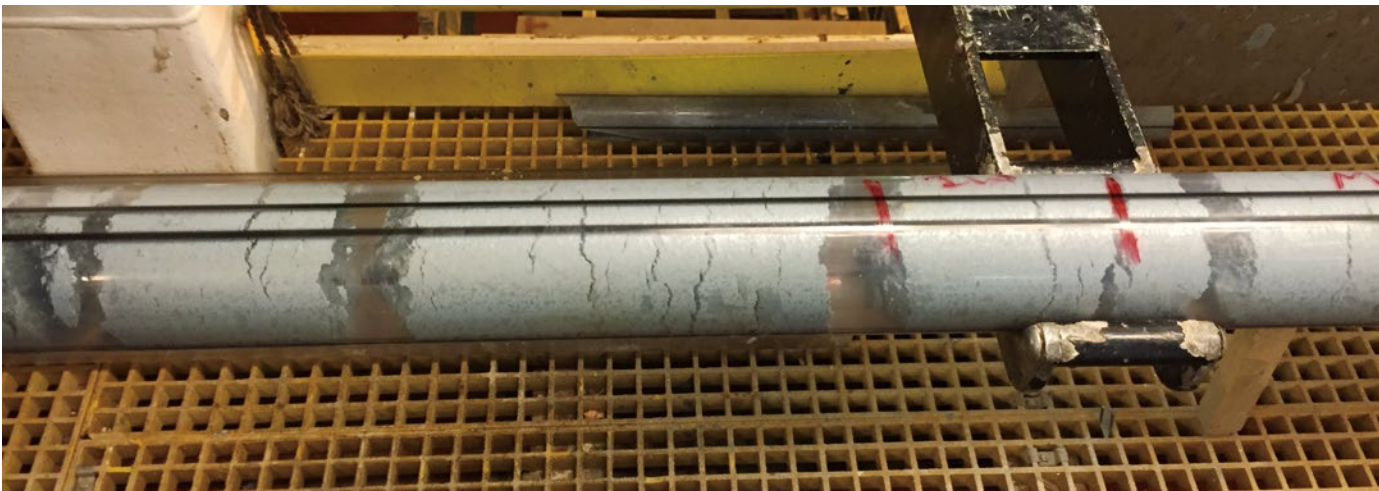
鈴木：JAMSTECではマントル層への到達を目指しています。マントル層に近づくにつれて、どんどん厳しい生育環境になりますが、そこでも生き延びている微生物がいるかもしれません。

IODP第366次研究航海で一緒に乗船した高井 研さん（JAMSTEC深海・地殻内生物圏研究分野 分野長）たちは、物質から生命が誕生する生命誕生の謎を調べています。一方私は、誕生した生命が、地球環境の変遷とともにどのように適応進化し、さまざまな生存戦略を獲得し、多様性をつくり出してきたのかを探る研究を、IODPに参加して続けていきたいと考えています。生命現象は複雑ですが、1つの機能を獲得することが、その極限環境で生き延びるための決め手になるケースがあります。そのような鍵となる現象を見つけて、生存戦略を理解していきたいと思います。

——最後に、将来は子育てと研究を両立させたいと考えている『Blue Earth』の若い読者にメッセージをお願いします。

鈴木：先日、子どもが突然、熱を出したりして、子育てと研究の両立はとても大変で、周りのサポートなしでは成り立ちません。でも、子どもたちはとてもかわいく、また自分で道を切り開いていける研究の仕事に携われることはとても幸せです。研究への情熱と好奇心を持ち、互いの幸せを願えるパートナーがいれば、苦は苦でなくなり、子育てと研究の両立を何とか実現できると思います。

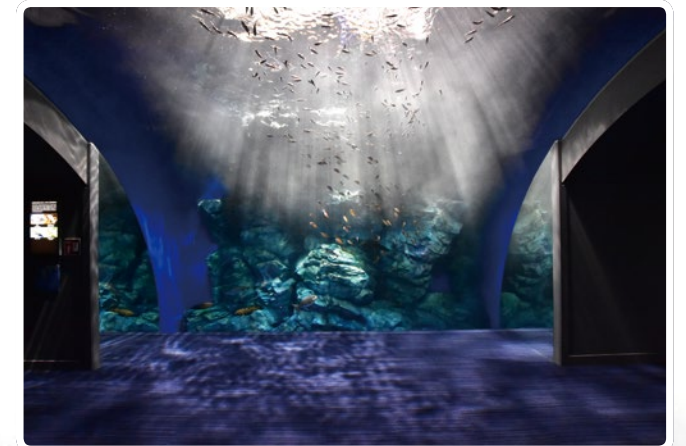
BE



IODP第366次研究航海の掘削コア

マリアナ前弧域の蛇紋岩泥火山の海底下から掘削されたコアには、蛇紋岩化作用で発生する水素やメタンのガスにより亀裂が入っている。

スズメダイの成魚は、集団で生活する。大きな目に茶色と紫色の地味な魚だ。福岡では郷土料理の食材として「あぶっても」 という名称で流通しているなじみ深い魚でもある。日本全体でもスズメダイを食べる地域はとても少ない。



マリンワールド海の中道は2017年4月12日にリニューアルオープンを迎えた。この玄界灘水槽は、リニューアルの目玉の1つだ。水槽の水量は65t。幅5m、深さは3m60cm。1分ごとに500リットルもの水が水面に落ちてきて、激しい白波を水中につくり出す。

北西の強風が吹けば、玄界灘は大荒れのしけがやって来る。マリンワールド海の中道は九州本土と志賀島をつなぐ砂州にあり、南は博多湾、北は玄界灘に面している。2013年、全館リニューアルが決まって真っ先に思ったのは、この玄界灘を再現することだった。どこに設置するかもまったく考えず、水槽の図面を引いた。玄界灘の荒磯に打ち寄せられて泡立つ白波を水槽内で再現するには、水槽の壁面、岩の色や形状もこれまでの水槽とは違ったかたちで表現する必要があった。荒波を白ではなく自然界に近い青で再現するため、太陽光に近い照明を一灯のみとすることでより自然光に近づけた。荒れ狂う海に沸き立つような波の再現、そして次の課題は荒波

のなかで力強く生きる魚たちの選択だ。主役は、普通なら決して主役には選ばれないものたち。そう、それがスズメダイだった。

この玄界灘水槽には、現在12種類300匹ほどの魚たちが生活している。その魚たちのほとんどがスズメダイだ。全長15cmほどのスズメダイが激しい白波のなかで群がっている。

スズメダイの準備は、リニューアルオープン半年前の2016年10月に始まった。水族館のスタッフが近辺の岸壁から約600匹を釣り水族館まで運んだ。しかし、当時マリンワールドは休館工事中でこれだけの魚をオープンまで飼育する水槽が限られていた。そのため、急ぎょ直径8mの屋外のプー

ルを設置し、そこで飼育することにした。しかし、屋外のプールは外気にさらされ寒い。1～2月には飼育水温が急激に落ちてしまう。水温低下によりスズメダイは餌の食いが悪くなり、多くの個体が当初より痩せてしまった。年が明け4月に入り水槽が完成し、スズメダイを入れると、やはり飼育環境の急激な変化に耐えられず、毎日少しずつ数が減っていった。水槽に慣れ、元気な個体数が安定したのは、スズメダイを水槽に入れて1ヵ月ほどたってからのことだった。

玄界灘水槽では、荒波がひとしきり押し寄せた後にやって来る静寂の間には、真っすぐな光が落ちる。それもつかの間だ。ししおどしのような仕掛けによって、毎分500リットル

の水が再びなだれ込む。水槽は半円形状のため観覧面の頭上に「水塊」が落ちてくる。ドーンと鳴り響く音に、オー！ という歓声上がる。多くの人々が足を止め、荒波に群れるスズメダイを見つめていた。

BE

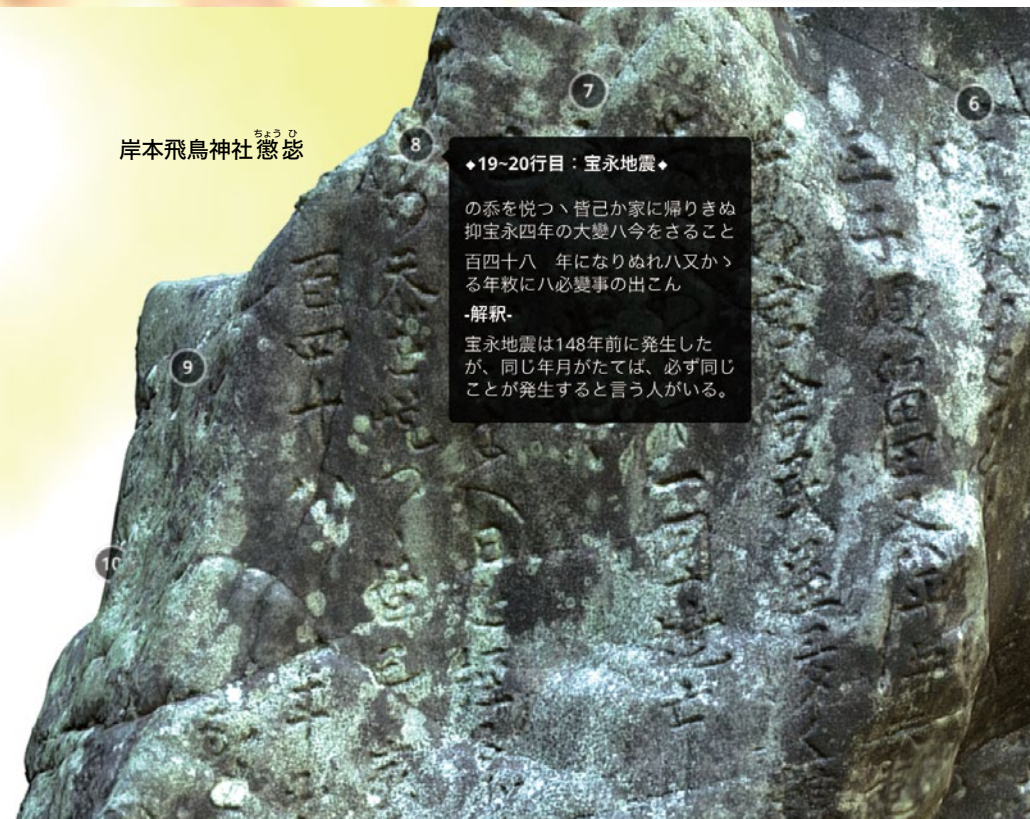
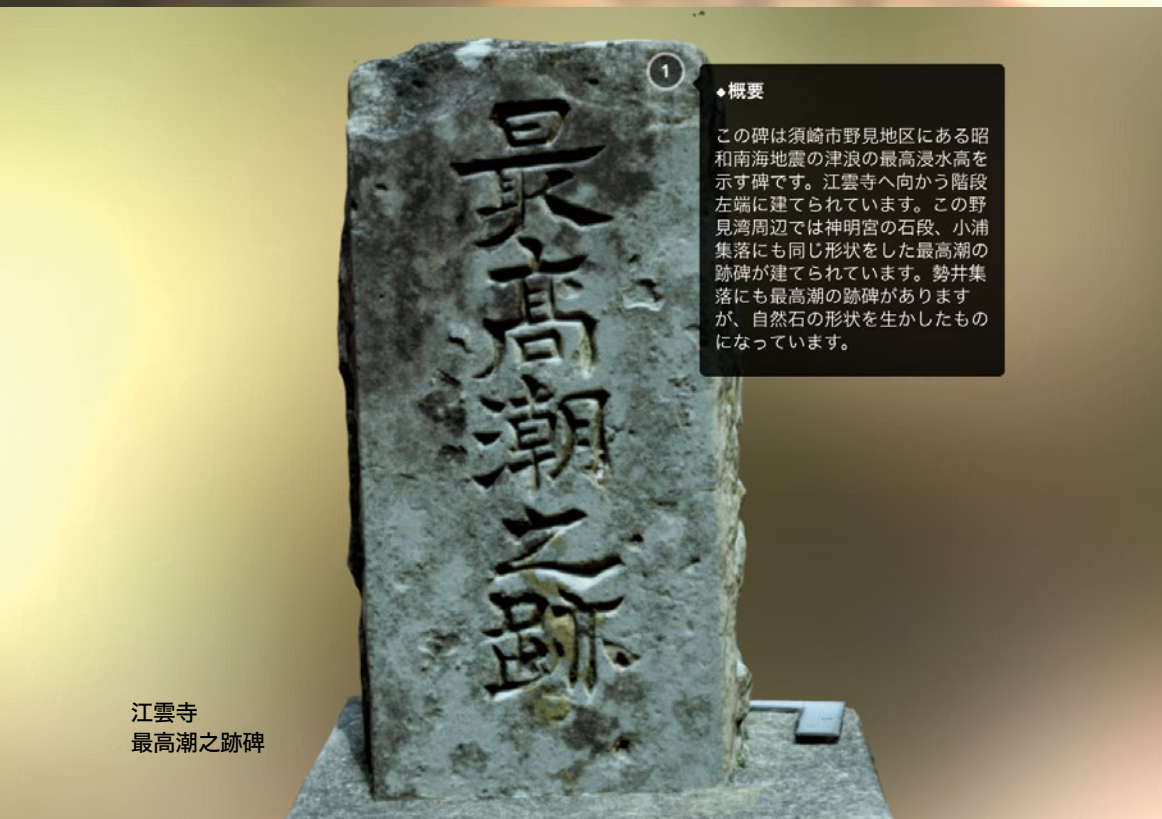
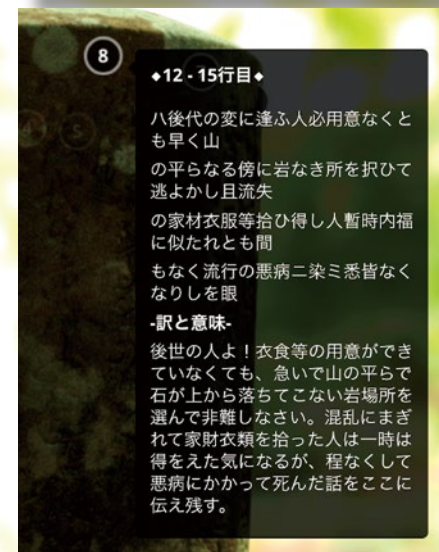
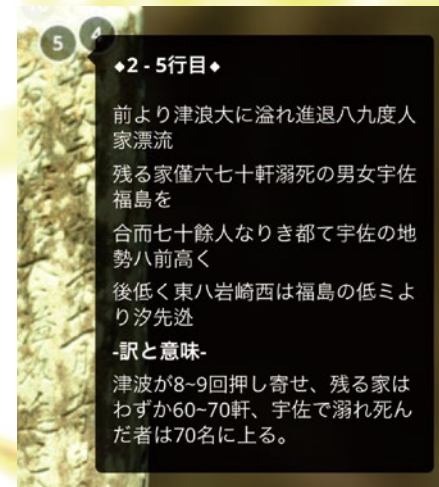
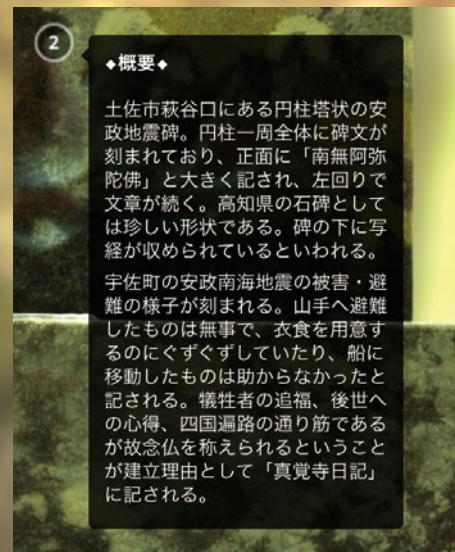
取材協力：福田翔吾／マリンワールド海の中道 展示部 魚類課

◆ **Information:** マリンワールド海の中道
〒811-0321 福岡市東区西戸崎18-28
TEL 092-603-0400
URL <https://marine-world.jp/>

日本全国の地震・津波碑をデジタル保存しよう！

東日本大震災をきっかけに、過去に起きた地震や津波を後世に伝える石碑の重要性が再認識されている。ただし、その存在が一般の人たちにあまり知られていない石碑や、風化によって文字の判読が難しいものも多い。そこで、谷川 亘さんたちは高知県内の地震・津波碑をデジタル保存するプロジェクトを進めている。将来の目標は、多くの人たちの協力を得て、日本全国の地震・津波碑をデジタル保存することだ。

取材協力
高知コア研究所
断層物性研究グループ
谷川 亘 主任研究員



●高知県内の地震・津波碑を三次元でデジタル保存

——地震・津波碑のデジタル保存に取り組み始めたきっかけは？

谷川：2014年春に行われた学会で、防災科学技術研究所の内山庄一郎さんたちの取り組みを知ったことです。内山さんたちは、千葉県にある関東大震災を記した石碑を例に、判読が難しい文字がデジタル技術によって鮮明に読めるようになることを紹介されました。私たちが研究を行っている高知コア研究所がある高知県にも、過去に南海トラフで繰返し起きた地震や津波を伝える石碑が各地にあります。その年の秋に内山さんに高知に来ていただきデジタル化の手法を習い、県内の石碑を対象に自分たちでやってみましたところ、とてもきれいにデジタル化することができました。そこで、高知県内の地震・津波碑をデジタル保存するプロジェクトを、防災科学技術研究所や高知大学と共同で2015年度から始めました。——地震断層の研究を進めている谷川さんが地震・津波碑に着目したのはなぜですか。

谷川：東日本大震災の体験が、自分の研究スタンスを見直す契機となりました。そのとき私は、国際深海科学掘削計画（IODP）第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」の準備のため、青森県八戸港に停泊していた地球深部探査船「ちきゅう」の船上にいました。津波で車などが流されていく光景を目の当たりにして、大きなショックを受けました。そして、自分たちの研究をどのように社会に役立てるか、あらためて考えさせられました。

東北地方太平洋側では、869年の貞観地震など過去に大きな地震・津波があったにもかかわらず、それがあまり注目されていませんでした。“想定外”といわれた東日本大震災により、過去の地震や津波を知ることの重要性が再認識され、地震の状況や津波の到達地点の指標として、そして震災の教訓を後世へ伝えるツールとして、地震・津波碑が再評価されています。

——高知県内にはいくつの地震・津波碑があるのですか。

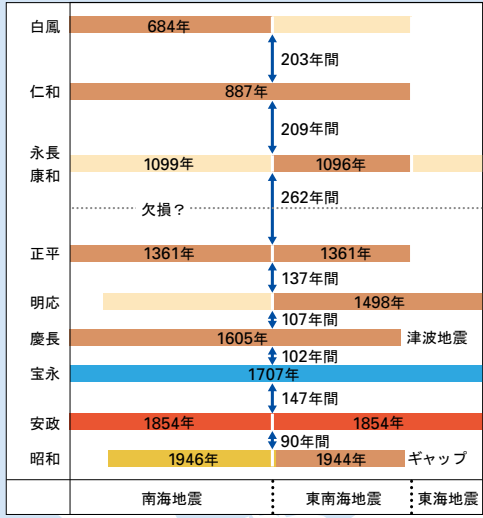
谷川：文献によると、マグニチュード（M）8.6と推定されている1707年の宝永地震から、1960年のチリ地震（M9.5）により発生し太平洋を横断して到達した津波を記載したものまで、40基以上あります。1946年の昭和南海地震（M8.0）とともに、1854年の安政地震（安政東海地震、安政南海地震、ともにM8.4）を伝える石碑が多いですね。「宝永地震のときには村で何百人も被害者が出たが、147年後の安政地震では数十人の被害で済んだ」といった内容が書かれたものがあります。江戸時代にも世代を超えて地震・津波の教訓が伝えられていたのです。その伝承に地震・津波碑が大きな役割を果たしたのでしょう。

——どのようにしてデジタル保存を進めているのですか。

谷川：地震・津波碑は個人が建てたものもあります。文献を頼りに1つ1つの石碑について持ち主を確認して撮影の許可をもらいます。三次元で記録するため、あらゆる角度から撮影します。隣り合う画像を50%ほど重なるように撮影する必要があるため、1基につき200~300枚ほどが必要ですが、1時間ほどで撮影を完了できます。

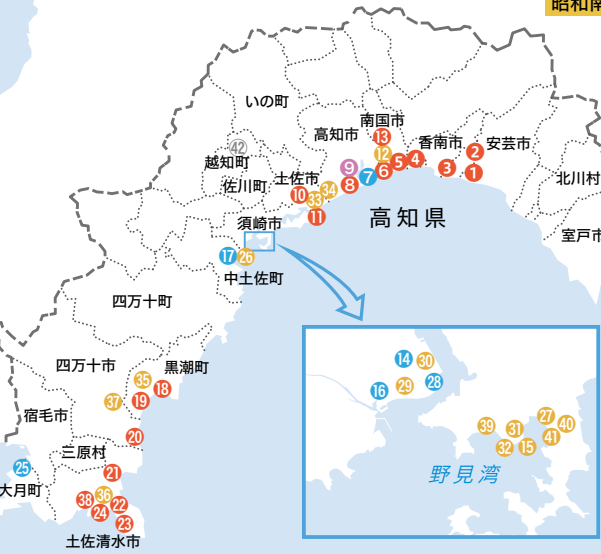
次に画像ソフトを使って石碑に刻まれた文字を読みやすくする画像調整を行い、さらに3Dソフトによって三次元化します。そして、石碑の画像をクリックすると、そこに刻まれた文章や現代訳・意味が表示されるようにします。現在、そのデジタル保存データを、「地震津波碑デジタルアーカイブ」というサイトで公開しています。

「地震津波碑デジタルアーカイブ」より



南海トラフ地震の履歴
(石橋、2004年をもとに改変)

宝永地震：1707年
安政地震：1854年
関東大震災：1923年
昭和南海地震：1946年



高知県内の
地震・
津波碑

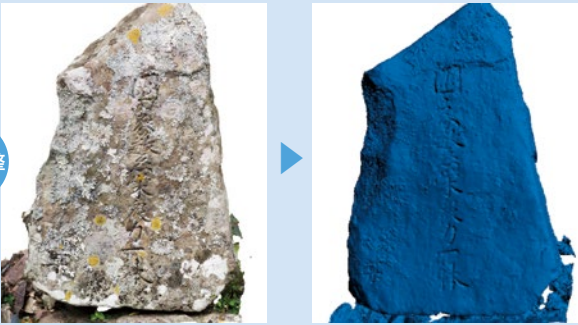
	碑名	碑文に関連する地震
1	夜須観音山碑	安政
2	西山観音寺地藏座碑	安政
3	岸本飛鳥神社惣参	安政
4	上岡八幡宮震災碑	安政
5	里改田琴平神社玉垣碑	安政
6	三里仁井田神社玉垣碑	安政
7	種崎久保家墓地碑	宝永
8	浦戸稲荷神社石柱碑	安政
9	北高見南無妙地震碑	関東大震災
10	萩谷名号碑	安政
11	青龍寺国家繁栄碑（青龍寺）	安政
12	仁井田神社五本松御旅所の碑	昭和
13	十津供養地藏尊	安政
14	須崎寛永津浪溺死之塚	宝永
15	野見震災復興碑	昭和
16	須崎大善寺地藏尊台座碑/津野神社地藏尊台座碑	宝永
17	久礼熊野神社地震碑	白鳳・宝永・安政
18	伊田海岸地震碑	安政
19	入野加茂神社安政碑	安政
20	下田水戸住吉神社碑	安政
21	五味天満宮地震碑	安政
22	清水中浜岬池家墓碑	宝永・安政
23	清水中浜港地震碑	安政
24	三崎十時橋碑	安政
25	大島鶴神社石段の潮位碑	宝永・安政
26	久礼漁港災害碑	昭和
27	河原恵美須神社地震碑	昭和
28	新町須崎津浪碑	宝永・昭和・チリ地震
29	須崎八幡宮震災碑	昭和
30	原町地藏堂地震碑	昭和
31	野見神明宮：最高潮之跡碑	昭和
32	江雲寺：最高潮之跡碑	昭和
33	宇佐漁協前震災碑	昭和
34	宇佐町真覚寺の最高潮位碑	昭和
35	入野賀茂神社地震碑	昭和
36	三崎平之段震災碑	昭和
37	為松公園震災碑	昭和
38	三崎浦震災供養石仏	安政
39	勢井の海岸：最高潮之跡碑	昭和
40	小浦集落中：最高潮之跡碑	昭和
41	小浦集落東：最高潮之跡碑	昭和
42	越知町柴尾の一本杉	不明

地震・津波碑のデジタル保存化

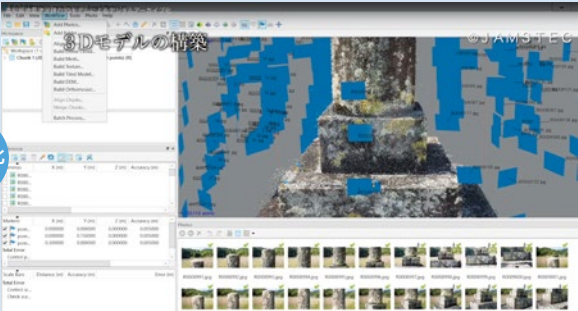
撮影



画像調整



三次元化



地震津波碑デジタルアーカイブ

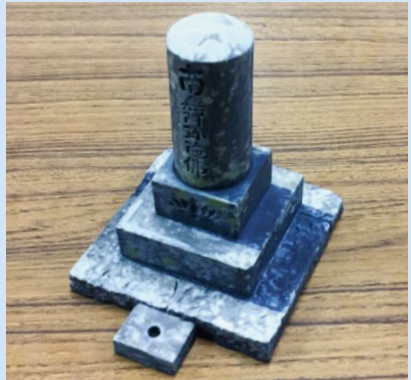
<http://www.jamstec.go.jp/res/ress/tanikawa/index.html>

Web上で
公開

下記のサイトで
3Dモデルを直接閲覧する
こともできます。
[https://sketchfab.com/
tanikawa_wataru](https://sketchfab.com/tanikawa_wataru)



3Dプリンターでつくった
地震・津波碑のフィギュア



三次元でデジタル化することにより、専用装置を使えばバーチャルリアリティーを体験することができます。また、3Dプリンターを使って地震・津波碑のフィギュアをつくることもできます。

防災科学技術研究所では、地図情報と災害情報をリンクさせた「eコミュニティ・プラットフォーム（eコミ）」というWebシステムを開発しています。それを利用して、地図をクリックすると地震・津波碑の情報を見ることができるようになる予定です。さらに、高知県の津波浸水予測図や震度予測の分布図に地震・津波碑の位置をプロットしてみたいと考えています。すると、地震・津波碑がある位置の理由が見えてくるかもしれません。

●掘削試料を使って地震断層のすべりを再現する

——地震・津波碑をデジタル保存することにより、社会にどのような貢献ができそうですか。

谷川：まず、多くの人たちに地震・津波碑の存在を知っていただくきっかけになることを期待しています。幸い、地元を中心に新聞やテレビが私たちの取り組みを紹介してくださり、教育委員会や自治体から学校での防災教育や地域での防災活動で利用したいというお話を頂いています。さらに、石碑を通じて私たちの進めている地震断層の研究にも関心を持っていただきたいですね。

——断層物性研究グループではどのような研究を進めているのですか。

谷川：南海トラフや日本海溝では、陸側のプレートの下に海洋プレートが沈み込んでいます。その沈み込みに伴い、陸側のプレートが引きずり込まれて、ひずみがたまっていきます。そしてあるとき、陸側のプレートがひずみを解消するためにもとに戻るように跳ね上がり、プレート境界の断層が一気にすべって巨大地震が発生します。

「ちきゅう」により南海トラフの地震発生帯の掘削調査が続けられています。私たちは、海底下を掘削した試料（コア）を使って、地震のときに断層がすべる現象を再現する実験を進めています。岩石同士を高速ですべらせると、化学反応でガスが発生したり岩石がもろくなったりします。地震発生の過程で起きるそのような現象を観察することができるのです。さらに、地震断層がある海底下の高温・高圧の環境を再現できる装置を開発して、より高い精度の実験を始める計画です。そのような実験によって、南海トラフをはじめとする海溝型巨大地震の発生メカニズムや断層がすべる過程を理解しようとしています。

●684年の巨大地震で水没した幻の集落を科学的に検証

——巨大地震で海底に水没したと伝えられる集落の調査も進めているそうですね。

谷川：684年に起きた白鳳地震により水没した集落があるという言

い伝えが高知県各地にあり、その集落は「黒田郡」あるいは「〇〇千軒」と呼ばれています。私はそれを2012年に掲載された『高知新聞』の連載記事で知り、興味を持ちました。

昭和南海地震により、高知県内には1mほど沈降した地域があることが報告されています。684年から現在までの約1,300年間に繰り返し起きた南海トラフの地震により、当時から5m以上沈降した場所があっても不思議ではありません。高知県の沿岸には海底に人工物らしきものが見つかる場所がいくつかあります。私たちは高知大学と共同で、その場所が本当に地震で沈降して水没したのか、科学的な調査を進めています。

地震により隆起してできる海岸段丘などの調査から、南海トラフでは、M9レベルの超巨大地震が4,000～5,000年間に2回ほど起きた可能性を示唆するデータもあります。しかしデータが少なく確かなことは分かっていません。一方、地震で沈降した海底の調査はこれまであまり行われていません。水没した集落の伝承を科学的に検証することにより、南海トラフにおける過去の地震の履歴を知る上で貴重な情報が得られると期待しています。

●デジタル保存を日本全国の人たちの手で

——地震・津波碑をデジタル保存する取り組みは今後、どのように発展させていくつもりですか。

谷川：隣の徳島県にも高知県と同じくらいの数の地震・津波碑があります。それを文化財として登録する取り組みを県が進めています。さらに、私たちの技術でデジタル保存をしようという話が進んでいます。一方、防災科学技術研究所の内山さんたちは、東北地方にある地震・津波碑のデジタル保存を始めています。

ぜひ、日本全国にある地震・津波碑のデジタル保存を目指していきたいと思います。そのためには、多くの人たちに協力していただく必要があります。全国の大学やNPOの方々に地元の地震・津波碑を撮影していただき、そのデータを私たちに送ってもらいデジタル化することが考えられます。

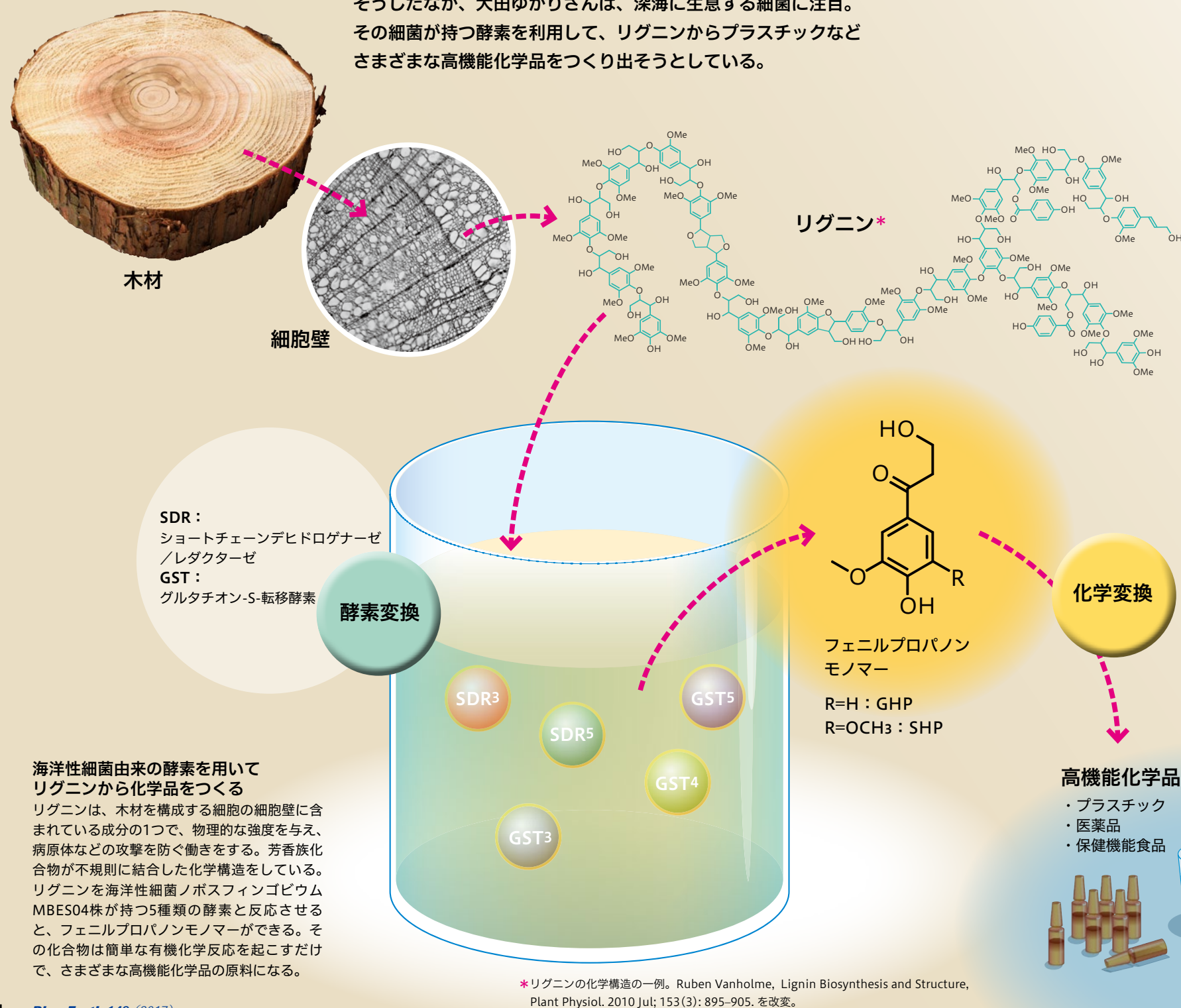
——『Blue Earth』の読者の中学生や高校生にも、地震・津波碑の写真撮影を協力してもらえそうですね。

谷川：撮影の手順などをホームページに掲載して協力を呼び掛けることも検討していきたいと思います。日本全国の多くの方々に協力していただくことで、地震・津波碑の存在が広く知られ、過去の教訓が受け継がれるとともに、文献には記載されていない地震・津波碑が発掘されると期待しています。実際に私たちは、文献には載っていない地震・津波碑を数基、地元の方に教えていただき、デジタル保存しました。そのような石碑が日本全国にはまだ数多くあるでしょう。それらを発掘することで過去に日本で起きた地震・津波への理解がさらに深まり、将来に備えることができます。

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

取材協力
海洋生命理工学研究開発センター
深海バイオ応用研究開発グループ
グループリーダー代理
大田ゆかり

近年、化石資源の代わりに植物バイオマス、特に食料と競合しない木材を、燃料や化学品の材料として活用しようという機運が高まっている。しかし、木材の成分のうちリグニンは、量が多いものの分解が難しく、その利用技術の開発が大きな課題となっていた。そうしたなか、大田ゆかりさんは、深海に生息する細菌に注目。その細菌が持つ酵素を利用して、リグニンからプラスチックなどさまざまな高機能化学品をつくり出そうとしている。



化石資源から植物バイオマスへ

「JAMSTECで研究員になる前ですから、10年くらい前になりますが」と大田さんは話し始めた。「毎週水曜日の朝、プラスチックごみが入った大きな袋を運びながら、考えていたのです。人間はどれだけ地球を汚しているのだろうか？ いつの日か、このプラスチック問題に取り組みたい、と」。その想いが、いまま大田さんの研究の原動力だ。

地球温暖化の原因となる二酸化炭素の排出を低減し、低炭素社会を実現することが、世界的な目標となっている。二酸化炭素の主要な排出源は、石油などの化石資源である。人類は燃料や化学品の原料として化石資源を大量に利用してきたが、化石燃料が燃焼するときに二酸化炭素が発生してしまうのだ。しかも化石資源は有限だ。そこで、化石資源に代わるものとして注目されているのが、バイオマスである。

バイオマスとは生物由来の物質のことで、特に注目されているのが植物由来のバイオマスだ。植物は大気中の二酸化炭素を吸収して太陽のエネルギーを利用することで、さまざまなバイオマスをつくる。バイオマスを燃やしても大気中の二酸化炭素の量は変わらない。そして、バイオマスは再生可能である。

「植物バイオマスのなかで化石燃料の代替として有望視されているのが、木材です」と大田さん。生産量が植物バイオマスのなかで最も多いことに加え、食料ではないことも、木材が有望視される大きな理由である。食料になる植物バイオマスをエネルギー源や化学品の原料として使ってしまうと、食料の価格が高騰したり農地が不足したりしてしまうからだ。「木材を構成する成分のうちセルロースの利用は進んでいます。一方、リグニンはセルロースに次いで存在量が多いにもかかわらず、ほとんど利用されていません。そのため、リグニンをいかに利用するかが、低炭素社会の実現

に向けた重要な課題になっているのです」

複雑な構造のリグニンをほどく

セルロースは、私たちが普段使っている紙の原料であることに加え、エタノールなど燃料としても利用されている。一方、リグニンは、プラスチックなど化学品の原料としての利用が期待されている。化学品は原油に含まれるナフサという化合物からつくられており、リグニンとナフサの構造がよく似ているからだ。しかし大田さんは、「リグニンの利用は、セルロースに比べてはるかに難しい」と指摘する。その理由は構造にある。

セルロースとリグリンはどちらも1〜数種類の低分子が連なった高分子である。しかし、セルロースとリグニンでは、それらの構成も連なり方も違うのだ。「セルロースは、1種類の糖がひも状に規則正しく連なり、それが折り畳まれています。一方、リグニンは3種類の芳香族化合物がランダムにつながり、枝分かれしながら連なっています。それらを燃料や化学品原料として利用するには、結合を分解して、扱いやすいかたちに整える必要があるのですが、不規則に連なっているリグニンは、規則的なひも状のセルロースよりそれが難しいのです」

そのため、多くの研究者がリグニンを化学品の原料として利用するための技術開発に取り組んでいる。「リグニンラッシュと呼ばれるほど、ここ数年でリグニンに関する論文の数が急増しています。さまざまなアプローチが検討されているなかで、私はJAMSTECでなければできないことをやろうと考えました。それが深海の細菌です」

深海に木材を食べる細菌を探す

リグニンを持つのは、ほとんどが陸上の植物だ。なぜ深海の細菌に注目したのだろうか。「木材が海に流れてくることはよくあります。フナクイムシなど穿孔性の二枚貝や細菌などが木材のうち分解しやすい成分を食べ、残った部分はやがて海底に沈みます。深海は栄養源にとっても乏しい環境ですから、表層の細菌が食べ残した難分解性のリグニンも貴重な栄養源でしょう。ということは、リグニンを食べる、つまり分解できる細菌がいるに違いないと考えたのです」

そこで、深海調査によって採取された堆積物や、魚の網に引っ掛かった沈木などを入手した。それらの試料を、おがくずの成分を加えた培地に入れ、増殖した細菌を分離。培地に加えるおがくずの成分を変えながら培養と分離を繰り返すことで、リグニンを食べている細菌を絞り込んでいった。「朽

ちた木は、皆さんにとっては単なるごみかもしれませんが、私にとっては宝なんです。そのなかに目的の細菌がいたらこういうものを食べたいに違いないというのを、細菌の気持ちになって考える。そして培養条件を決め、最上のおもてなしをしてあげる。すると、目的の細菌が増えてくれるのです。ただし、おもてなしを気に入ってもらえないことも多いのですが……」

そして、ようやくリグニンを分解することができる細菌、ノボスフィンゴビウム（*Novosphingobium* sp.）MBES04株を発見。この細菌は駿河湾で採取された沈木から分離されたもので、リグニンの内部構造で最も多い結合を切ることができる。

生体内の代謝反応は酵素というタンパク質が担う。大田さんは次に、その細菌が持っているリグニンの代謝酵素を探索。そして、この細菌が持つ特異な6種類の酵素とその遺伝子を特定することができた。

酵素を組み合わせると天然リグニンの分解に成功

リグニンを分解する海洋性細菌、そして酵素の発見は、それだけでも大きな成果である。しかし、大田さんの研究は、そこでは終わらない。「私のゴールは、細菌や酵素を発見したその先で、リグニンから化学品をつくることですから」ときっぱりいう。

大田さんは、発見した酵素のうちの5種類を組

み合わせて、木材から取り出した天然リグニンと反応させてみた。すると、フェニルプロパノンモノマーという化合物ができた。フェニルプロパノンモノマーにはさまざまな種類があるが、針葉樹であるスギから取り出したリグニンと反応させるとGHP（グアヤシルヒドロキシプロパノン）という1種類のフェニルプロパノンモノマー、広葉樹であるユーカリの場合はGHPとSHP（シリンギルヒドロキシプロパノン）の2種類のフェニルプロパノンモノマーができた。

実は、リグニンを分解する酵素はこれまでも発見されている。その酵素は陸上の微生物が持つもので、リグニンをまねて人工的に合成したモデル低分子を分解できることが確かめられている。しかし、天然リグニンの分解は確認できていなかった。人工リグニンモデル低分子の構造は均質だが、天然リグニンはさまざまな部分構造を持つため、酵素が作用しにくいのだと考えられている。そのため、酵素でリグニンを分解して化学品原料として利用できるようにするのは難しいのではないかと、という声も上がっていた。

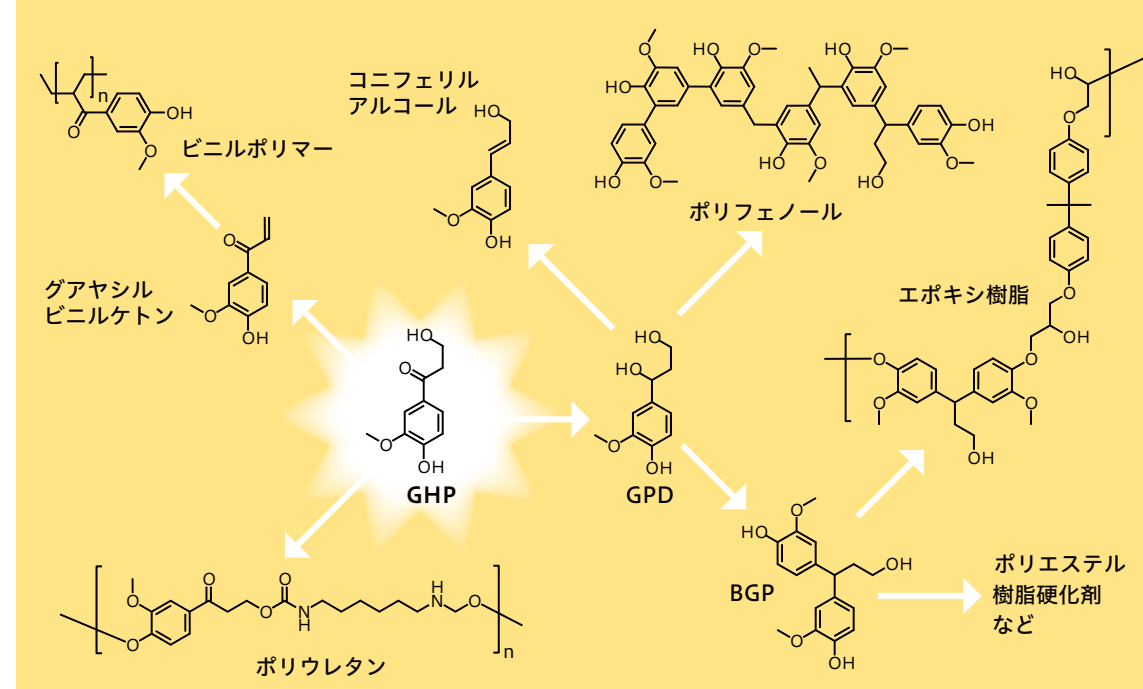
そうしたなか、5種類の酵素を組み合わせることで天然リグニンの分解に成功した大田さんの研究は、大きな注目を集めた。しかも、1～2種類の特定の化合物だけができるというのは、高機能な化学品の原料とする上でも理想的だ。

基幹化合物からの展開の入り口を示す

大田さんは、すぐにフェニルプロパノンモノマーについて詳しく調べた。「これまでほとんど知られていない化合物でしたが、シンプルな有機化学反応によってさまざまな化学品に誘導することができると基幹化合物であることが分かりました」

具体的には、フェニルプロパノンモノマーに対してシンプルな有機化学反応を行うことで、ポリウレタンやポリエステル、エポキシ樹脂、コニフェリルアルコール、ポリフェノールなどが得られる。それらは、プラスチックや医薬品、保健機能食品の原料になるものだ。2016年12月に発表した論文には、この新しい化合物から何をつくれるかという提案まで含めた。

「海洋性細菌が持つ酵素を使ってリグニンから新しい化合物ができたというだけでも大きな成果です。しかし、化合物ができたというだけでなく、何に使えるかを示すことが、とても重要だと私は考えています。しかも、用途は1つだけでなく、いくつもあった方がいいですね」と大田さんは語る。図にすると基幹化合物から星状に広がることから、スターダイヤグラムと呼んでいる。



フェニルプロパノン化合物（GHP）を基幹とする化学品への展開

「JAMSTECのような基礎研究が中心の研究機関でできることは限られています。しかし、スターダイヤグラムを示しておけば、いろいろな分野の人に興味を持ってもらうきっかけになり、企業がその先を進めてくれる可能性もあります」

大田さん自身が取り組んでいるのは、スーパーウルシオールの実現だ。ウルシオールとは、ウルシ科の植物に多く含まれる成分である。ウルシの樹液は工芸品の塗料として利用されているが、国産のウルシは絶滅が危惧されている。そこで、リグニンを海洋性細菌由来の酵素で分解してできたGHPに脂肪酸を添加するなどいくつかの有機化学反応を起こすことで、ウルシオールをつくらうとしているのだ。

「ウルシオールを人工的につくるというだけでなく、天然のウルシより強く美しく、さらにはアレルギーを起こさない、スーパーウルシオールの実現を目指しています。実用化の成功例を1つ示すことで、より多くの人に興味を持ってもらい、海洋性細菌の酵素を用いたリグニンの利用を加速できるのではないかと期待しています」。スーパーウルシオールに関する研究は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業「先端的低炭素化技術開発（ALCA）」プロジェクトで、京都大学の片平正人教授、中村正治教授、西村裕志助教との共同研究として行われている。

栄養源に乏しい深海に生きる戦略か

大田さんは、リグニンからフェニルプロパノンモノマーがつけられるとき5種類の酵素がリグニン内部のどこに働いているかも調べた。酵素が反応する化合物を基質という。多くの酵素は、基質特異性が高く、特定の化合物とだけ反応する。と

ころが、その5種類の酵素は基質特異性が低く、幅広い化合物と反応することが分かった。「意外でした」と大田さん。

なぜ基質特異性が低いのだろうか。「栄養源の少ない環境で、えり好みをしていたら生きていけませんよね。過酷な環境で生きる戦略として、幅広い化合物と反応できる酵素を持っている方が、都合がよかったのではないのでしょうか」

大田さんは、リグニンを分解できる細菌の進化にも興味を持っている。「陸でリグニンを分解していた細菌が海に適応したのか。それとも海から陸に進出したのか。それを明らかにするために、ノボスフィンゴビウムMBES04株の近縁種の探索も行っています」

30年ほど前、陸上から数百mの深さまで掘られた穴の泥からノボスフィンゴビウムMBES04株に近縁の細菌を発見した例がある。大田さんも、深海だけでなく海底下にまで探索範囲を広げている。「JAMSTECは深海だけでなく、海底下の探索も得意ですからね。JAMSTECにいる強みを最大限活かしたいと思います」

ノボスフィンゴビウムMBES04株の近縁種がどこに生息しているかが分かれば、リグニンを分解するさらに有用な酵素を持つ細菌を効率的に探索できるようにもなるだろう。「私たちがまだ知らない有用な酵素を持っている細菌もたくさんいると思いますよ。そう考えるとワクワクします」と大田さん。そして最後にこう語った。

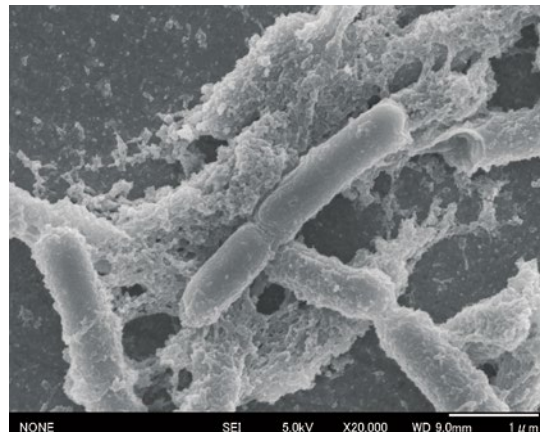
「海洋性細菌の酵素を用いてリグニンから化学品をつくる技術を現実的に使えるものに育てていくこと。それが私の使命だと思っています」。リグニンの利用においていち早く海洋性細菌に注目した先駆者の言葉は力強い。

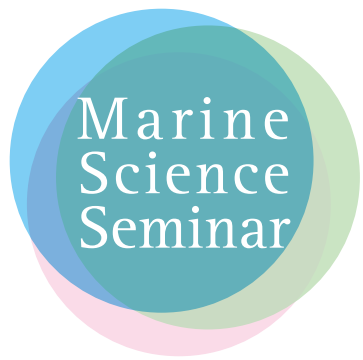
BE

リグニンを分解する細菌を探索した試料。海底の堆積物や沈木を採取して、そのなかからリグニンを分解する細菌を探索した。



海洋性細菌ノボスフィンゴビウムMBES04株の電子顕微鏡写真





オオミズナギドリと 貨物船で海流を測る

— 新たな観測手法がひらく海流予測の新展開 —

地球情報館公開セミナー 第200回（2016年6月18日開催）

宮澤泰正 アプリケーションラボ ラボ所長代理／
海洋・大気環境変動予測応用グループ グループリーダー

海流をコンピュータで予測する

皆さんは天気予報をよくご覧になると
思います。実は海にも高気圧や低気圧
に相当するものがあり、海流や渦の変動
がそれにあたります。私たちのグループ
は、スーパーコンピュータを使った海流
などの予測に取り組んでいます。これは
海中の天気予報とでもいえるものです。

太平洋は全体的に、大きく時計回りの
風が吹いています。基本的にはこの風
に吹き回されて海水が動くので、海流も
時計回りの循環になっています。ただし
海洋には小さな渦がたくさんあります。

図1は日本周辺の海流の様子を、海洋
研究開発機構（JAMSTEC）アプリケ

ーションラボで開発した「JCOPE-T」
という海流予測モデルを使ってスーパー
コンピュータで計算したものです。渦の
回り方によって色分けしてあり、赤が反
時計回り、青が時計回りの渦を示してい
ます。日本列島の太平洋岸には黒潮と
いう非常に強い海流があり、その周囲に
はたくさんの渦が存在していることが分
かります。

海流を予測するには、まず現在の海
流や渦の状態を観測して、その情報を
コンピュータに入力してやる必要があり
ます。その初期状態から出発してどのよ
うに変化していくのかを計算するのです
が、計算結果は時間の経過とともに実

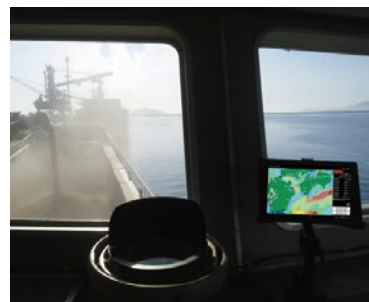


図2：海流予測の船橋での利用例

際の海の状態からずれていってしまいま
す。そこで観測データをもとにコンピュ
ータの計算結果を修正して、それを新
たな初期状態として計算していきます。
それを繰り返して海流を予測するのだ
す。このような手法を「データ同化」と
いいます。天気予報などでも使われて
いる技術です。

海流を予測する場合、データ同化をし
ないと1ヵ月ほど先の計算結果は、実際
の観測結果からかなりずれてしまいま
す。私たちは週に1度（最近では2度）初
期状態を更新して、コンピュータの計算
結果を修正しながら2ヵ月先まで予測を
行っています。

実社会にも役立っている海流予測

海流の予測は船の燃費向上などに役
立てることができます。たとえば石油タ
ンカーは、遠く中東からインド洋、台湾、
沖縄を経て、日本の沿岸にあるさまざま
な石油基地にやって来ます。そのとき黒
潮に乗れば燃料を節減できます。JAMSTECの研究者が中心となって立
ち上げたベンチャー企業であるフォーキ
ャスト・オーシャン・プラスが、日本郵
船と共同で行った実験の結果、海流予
測を利用して48時間で最大約9%の燃料

海流の予測は、船の燃費向上や汚染物質の拡散を知ることなどに役立ちます。
予測はスーパーコンピュータを使って行いますが、そのとき
出発点となるのは現在の海の状態です。そのため、観測によって
海のいまの状態を知ることがまず必要です。現在は人工衛星などの
観測データをもとに海流予測が行われていますが、海はとても広いので、くまなく、
そして詳しく観測するのは非常に困難です。そこで、オオミズナギドリという水鳥や
日本各地の港を結ぶ貨物船などを利用して海の小さな現象まで捉え、
海流予測の精度向上に生かそうという研究が進められています。

節減が確認できました。このように海外
の港と行き来する外航船で、実際に私
たちの海流予測を利用していただいて
います。

最近では日本各地を結ぶ内航貨物船
でも、海流予測を利用していただくよう
になりました。図2は、タブレット端末
を船橋に置いて利用しているところだ
す。内航海運は実は、トラックなど自動
車による貨物輸送に匹敵するほど、多く
の貨物を運んでいます。船での貨物輸
送は非常に効率がよく、同じ重量の貨
物を運ぶのに自動車の5分の1のエネル
ギーで済みます。海流予測によって、そ
のような内航貨物船を効率的に運用で
きる可能性があります。

海流予測は、放射性物質や汚染物質
が日本周辺の海域に拡散していく様子
を推定することにも利用できます。東北
地方太平洋沖地震のときに福島原子力
発電所から海に流れ出した放射性物質
の広がりを推定したり、津波によって
流出したフッ素化合物の量を推定したり
するときなどにも使われました。

海の現在を知るための観測

海流をきちんと予測するには、まず観
測によって海の現在の状態を把握する
ことが必要です。海流予測を行うのに必
要なデータを得るための観測には、いく
つか方法があります。

その1つが漂流ブイです。その名の通
り、海を漂流しながら人工衛星と通信し
て自分の位置を知らせます。漂流ブイの
位置を追跡することで、海の流れを知る
ことができるのです。

人工衛星によって得られた海面高度
や海面水温などの観測データも、海流

予測に利用されています。図3は海面高
度を観測する衛星の1つで、アメリカの
Jason-2という衛星です。海流予測にと
って、海面高度のデータは非常に重要
です。海面高度が高いところは天気
でいう高気圧、高度が低いところは低気
圧にあたります。人工衛星で、海の高
気圧と低気圧を観測するのです。

海水は風と同じように高気圧から低
気圧の方へ流れます。そのとき高気圧
の周りには時計回りの渦ができ、低気圧
の周りには反時計回りの渦ができます。
これは空の天気でもまったく同じです。
海面高度（海面の凹凸）の情報から、
海流を知ることができるのです。

海面高度を観測する人工衛星は、海
面をくまなく観測できるわけではありません。
観測されない隙間があるため、海
流の観測は100kmほどのスケールより小
さな現象は観測できません。100kmより
小さな渦については、コンピュータで計
算して隙間を埋めて推定しています。

また、沿岸に近づくほど渦は小さくな
ります。コンピュータで計算すると小
さい渦も現れるのですが、それが正しい
かどうかは、実際に観測してみないと分
かりません。ですから現状で分かるより
も細かい現象を観測することが必要な
のです。

動物や船で細かいデータを集める

私たちとしては、できるだけ細かい現
象を捉えることができる観測を増やして
いきたいと考えています。新型の人工衛
星の開発も進んでいますが、そのような
従来の方法とはまったく異なる新しい手
法にも、私たちは注目しています。それ
は動物を利用する「バイオリギング」や、



みやざわ・やすまさ。1967年、長野県生まれ。
京都大学大学院数理工学研究科修了。博士（理
学）。㈱三菱総合研究所を経て、2004年より
JAMSTEC地球環境フロンティア研究センター技
術研究員。2017年より現職。専門は海洋物理学。
観測データと数値モデルの融合による海流予測
研究に携わる。

船を利用する「シップロギング」という
技術です。

陸上の天気の場合、一般の人たちに
観測してもらうことも可能です。皆さん
いろいろなところを歩き回っていますか
ら、たとえば気温や気圧を測定するセン
サーを搭載したスマートフォンのデー
タを収集して、気温や気圧を調べるよう
なこともできます。

しかし海の場合、人が簡単に行くこと
はできません。それならば海で活動する
動物に情報を集めてもらおうというのが
バイオリギングです。ペンギンやトド、
ウミガメや大型の魚などにカメラや各種
センサーを取り付けて、さまざまな情報

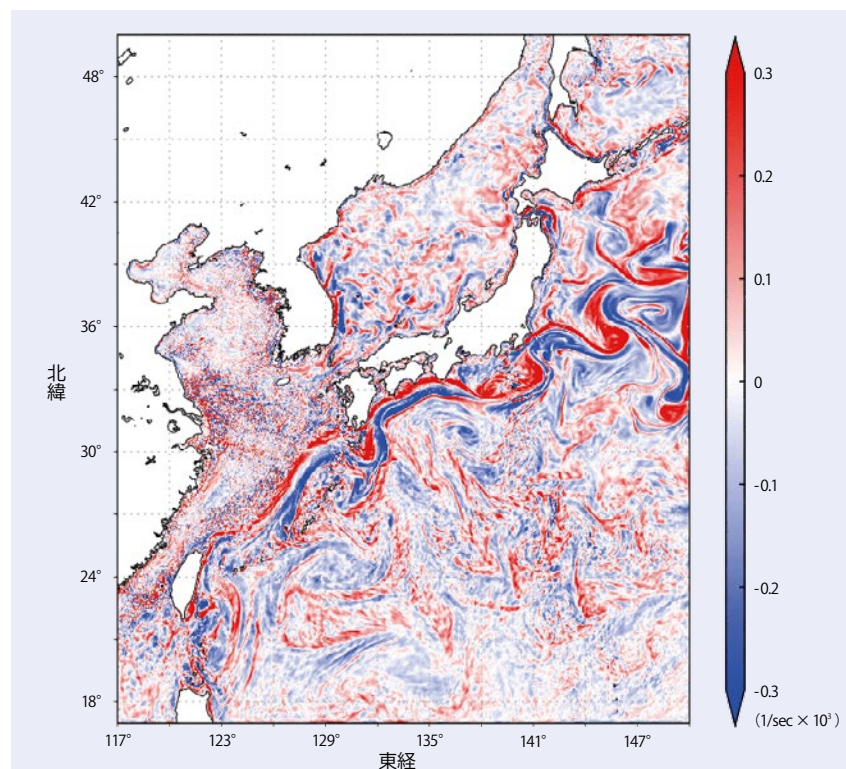


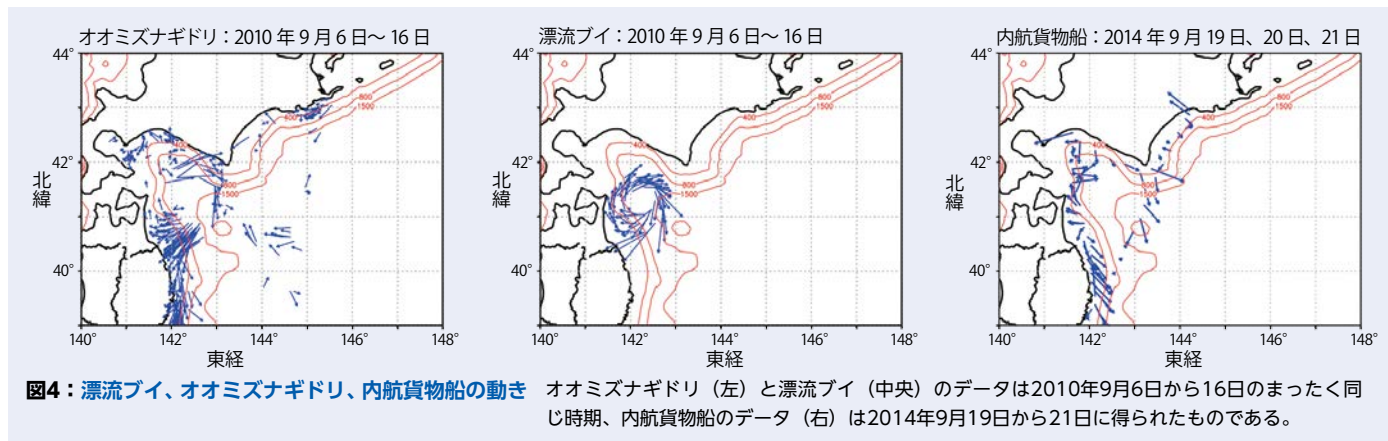
図1：モデルで再現した日本周辺の海流

沖縄から九州、関東の南岸を走る流れが黒潮である。小さな渦が多く存在していることが分かる。



図3：海の高さを観測する人工衛星

海面高度を観測するためのJason-2衛星
（上）と、衛星による海面高度の観測のイ
メージ（下）。斜めの格子状に色が付いた
部分が衛星で観測できる領域で、観測で
きない隙間がある。



を集める研究がすでに行われています。最近のセンサーは、小型のものでも加速度や地磁気、温度や気圧などを計測し、GPS機能まで搭載しているものもあります。動物は巣から出て遠くまで行って餌を捕り、また巣に戻ってくる習性

があります。戻ってきたときにデータを記録した機器を回収します。動物ではなく、仕事で海に出ていく人たちに観測していただく方法もあります。現在、海上技術安全研究所と共同で、内航貨物船に私たちの海流予測情報を

利用して効率的な運航のために使ってもらうと同時に、航行中に海流を観測してそのデータを提供してもらう試みをしています。このように船に情報を集めてもらう技術をシプロロギングといいます。

水鳥のデータで海流予測を改善

津軽海峡では西から東に津軽暖流が流れています。津軽海峡の東側では、暖かい水が津軽海峡から流れ出てきて、時計回りの渦ができています。この海域について、漂流ブイ、オオミズナギドリという水鳥、そして内航貨物船から得られた海流のデータを比較したのが図4です。

オオミズナギドリは、海の上に浮かんでいるときは、エネルギーを節約するために自分では動かず海流に流されることが知られています。そのためGPSを使ってオオミズナギドリの位置を計測することで、どのように流されたのか、つまり海流の様子が分かります。

一方、貨物船は海流によって、進もうと思った方向からずれて進みます。そのようなずれを偏流といいます。図4の内航貨物船のデータは、そのような偏流をもとにして得られた海流の様子です。

図4の漂流ブイとオオミズナギドリのデータは、2010年夏と同じ期間に観測したものです。青い矢印が、どちらも時計回りの渦を示しています。別の年に得られた内航貨物船での偏流のデータからも、時計回りの渦が見られました。これらの結果を見て、海流予測の精度向上にバイオリギングやシプロロギングを使えるのではないかと考えて研究を進めることにしました。

人工衛星など従来のデータだけから

予測した結果と、オオミズナギドリや内航貨物船のデータを同化した予測結果を比較したのが図5です。オオミズナギドリと内航貨物船のどちらも、赤い円のあたりの黒い矢印が変化していることが分かります。このように修正した海流情報を、ほかの漂流ブイ（図4中央）などデータ同化に使わない観測結果と比較したところ、修正しない場合に比べより観測に一致する結果となり、精度の改善を実現することができました。

オオミズナギドリは、南はオーストラリアから、北はカムチャツカ半島まで、広い範囲に分布しています。内航貨物船の場合は沿岸も効率的に観測できます。水鳥や船を利用して人工衛星の観測の隙間を埋めるような部分のデータを得ることで、海流予測の精度を改善していけるのではないかと考えています。

水鳥の位置情報を海流予測以外にも利用

オオミズナギドリの位置情報は、海流予測以外にも使うことができます。オオミズナギドリは海に浮かびながら、海中の魚を捕って食べることがあります。魚はプランクトンを餌にしていますから、オオミズナギドリがいた場所にはプランクトンも多いと推定できます。実際に人工衛星で観測した海のプランクトンの分布と比べてみると、オオミズナギドリの分布と合致します。バイオリギングを進めることで、海の生態系の情報も得られるのです。

オオミズナギドリのデータから、風についての情報を得ることもできます。オオミズナギドリは羽ばたかずに風に乗って移動します。そのときの移動速度は風向や風速に関係しているので、移動速

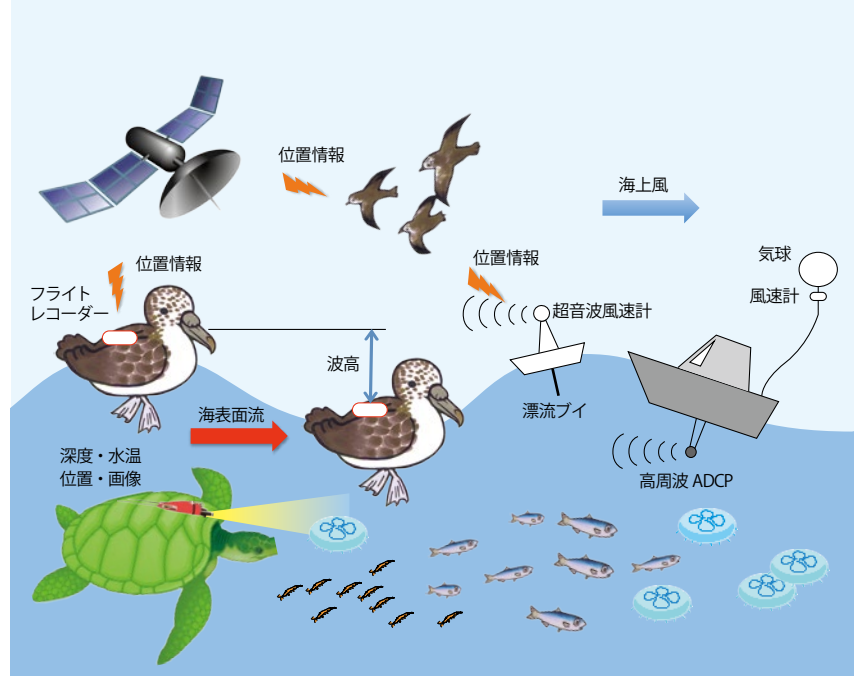


図6：今後の観測検証計画
 科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業CREST課題「サイバーオーシャン：次世代型海上ナビ機構」 代表：佐藤克文・東京大学大気海洋研究所教授、より。

度から風向や風速が分かるのです。

オオミズナギドリは、台風の辺縁あたりならば普通に飛ぶことができます。オオミズナギドリから台風接近時の風に関する情報を得ることで、台風の進路予測の精度向上にも寄与できる可能性があると考えられています。

また、ハシボソミズナギドリという別の種類の水鳥を使って、環境のモニタリングをしようという試みもあります。水温の分布が変化すると、餌になるオキアミの分布が変わるのに伴って、ハシボソミズナギドリの分布も変わります。そのような情報を、気候変動のモニタリングに使えるのだということが分かってきています。

また海洋汚染のモニタリングにも利用できます。水鳥は海の生態系の最上位クラスですから、汚染物質を濃縮して内臓にため込みます。工業活動によってPCB（ポリ塩化ビフェニル）やDDT（ジクロロジフェニルトリクロロエタン）などの微量の化学物質が環境中に放出されます。水鳥による濃縮を通じて、海洋の汚染がどのように広がっているかの把握にも使えるのです。

今後の課題と観測検証計画

バイオリギングで問題になるのが電力や通信です。電力については、特に海に潜るような動物の場合、太陽エネルギーが使えません。そこで、動物自身、

たとえば魚の尾ひれの振動を利用して発電する研究などが行われています。

現状では巣に戻った動物から機器を回収してデータを得ています。しかし私たちのように、海流予測などにデータを使う研究者にとっては、1ヵ月前に収集されたデータよりも、リアルタイムのデータが欲しいのです。そのため、たとえば人工衛星経由でのデータ通信など、リアルタイムでの通信技術についての研究も進められています。

バイオリギングで得られたデータが実際の海の状態を示したもののなかどうか、まだ厳密に検証されているわけではありません。そのため別の観測機器で得られたデータと厳密に比較する必要があります。そこで現在、東京大学大気海洋研究所のグループを中心に、観測検証計画が進められています。バイオリギングのセンサーを取り付けてある鳥やウミガメなどのすぐ近くで、ADCP（超音波流速計）という高精度の海流観測機器や漂流ブイなどで観測し、得られたデータを比較しようという計画です（図6）。

センサーの高度化や小型化も進んでいます。通信技術の研究が進めば、観測データが自動的にどんどん得られるような時代が来るのではないかと期待しています。そしてさまざまなデータを海流予測のモデルに入れて精度を向上させていければと考えています。

深海デブリデータベースを公開！

JAMSTECの潜水調査船や無人探査機などによる潜航調査で撮影された映像や画像に写っている海底ごみ（デブリ）の情報を公開しています。海底ごみの種類による分類や、海底ごみが撮影された潜航調査場所、深海に沈んだごみの映像や画像を見ることができます。

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
 「データベース」をクリック

▼
 「画像・映像・サンプル」の
 「深海デブリデータベース」
 をクリック



ごみに付着する
イソギンチャク

マネキン魚の頭部

賛助会（寄付）会員名簿 2017年6月30日現在

国立研究開発法人海洋研究開発機構の研究開発につきましては、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	海洋エンジニアリング株式会社
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	海洋電子株式会社
株式会社アイケイエス	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アイワエンタープライズ	鹿島建設株式会社
株式会社アクト	川崎汽船株式会社
朝日航洋株式会社	川崎近海汽船株式会社
アジア海洋株式会社	川崎重工業株式会社
株式会社天野回漕店	川崎地質株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	株式会社環境総合テクノス
株式会社安藤・間	株式会社キュービック・アイ
泉産業株式会社	共立インシュアランス・ブローカーズ
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	株式会社
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社	共立管財株式会社
潮冷熱株式会社	極東貿易株式会社
株式会社エス・イー・エイ	株式会社きんでん
株式会社エスイーシー	株式会社熊谷組
株式会社SGKシステム技研	クローバテック株式会社
株式会社エヌエルシー	株式会社グローバルオーシャン
株式会社NTTデータ	ディベロップメント
株式会社NTTデータCCS	株式会社KSP
株式会社NTTファシリティーズ	KDDI 株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	京浜急行電鉄株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	鉱研工業株式会社
株式会社OCC	株式会社構造計画研究所
株式会社オキシテック	神戸ペイント株式会社
沖電気工業株式会社	広和株式会社

『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 沖縄県名護市宇豊原224番地3
 TEL. 0980-50-0111（代表）

海と地球の情報誌 Blue Earth

第29巻 第3号（通巻149号）2017年7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（p14-17、p20-23）、鈴木志乃（p1-13、p24-27、裏表紙）
 岡本典明／ブックブライツ（p28-31）、坂元志歩（p18-19）

デザイン 株式会社デザインコンビリア
 （飛鳥井羊右、山田純一、岡野祐三）

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>

Eメールアドレス info@jamstec.go.jp

＊本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

Pick Up
JAMSTEC

左は「ハイパードルフィン」2,000回潜航達成、
右は「しんかい6500」1,500回潜航達成を祝して、
船上での記念撮影。



「ハイパードルフィン」2,000回、 「しんかい6500」1,500回潜航達成！

無人探査機「ハイパードルフィン」は、2017年2月14日に福島県沖で潜航調査を行い、通算2,000回の潜航を達成した。退役したものを含めても、海洋研究開発機構（JAMSTEC）の有人潜水調査船、無人探査機のなかで最多の潜航回数である。「ハイパードルフィン」の初潜航は2000年。最大潜航深度は当初3,000mだったが、改造を行い2010年に4,500mとなった。超高感度ハイビジョンカメラと重作業が可能なマニピュレータを搭載し、機動性に富む。その特徴を活かし、海底火山噴火や深海生物の観察、岩石の採取、深海底への観測装置やケーブルの設置などで大きな成果を上げており、これからも活躍が期待される。

2017年6月5日には、有人潜水調査船「しんかい6500」が南鳥島周辺において通算1,500回目となる潜航を達成した。初潜航は1990年で、パイロット2人と研究者1人が乗船し、水深6,500mまで潜航可能だ。2012年には建造以来最大となる改造を行い、加速・制動性能が向上した。また2016年11月から2017年3月にかけて搭乗者が乗り込む耐圧殻内の改修工事を行った。各種機器の配置を見直したほか、無線LANを使用して潜航情報などをタブレット型端末で確認できるようになり、操縦性が大きく向上した。「しんかい6500」は日本近海だけでなく、太平洋やインド洋、さらには大西洋でも潜航調査を行っており、世界の深海調査研究の中核を担う有人潜水調査船としてさらなる活躍が期待されている。一方で「しんかい6500」の完成からすでに28年たっていることから、次の有人潜水調査船の実現に向けた検討も進められている。



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(A)
この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。



R70
古紙・リサイクル紙70%再生紙を使用

定価 本体286円＋税