

Blue Earth

海と地球の情報誌

ISSN 1346-0811
2017年3月発行
隔月年6回発行
第29巻 第2号
(通巻148号)



148

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

深海に私たちの はじまりを探して

Team KUROSHIO、ラウンド1へ

海底の堆積物から
過去の火山活動を読み解きたい

ニホンアワサンゴ

1 **特集**
深海に私たちのはじまりを探して

14 **私がIODPで解きたい謎**
海底の堆積物から
過去の火山活動を読み解きたい
浜田盛久
海洋掘削科学研究開発センター
海洋・地球リソスフェア研究グループ 研究員

18 **Aquarium Gallery**
なぎさ水族館
いのちをつなぐ——ニホンアワサンゴ

20 **社会とつながるJAMSTEC**
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
西田祐也
Team KUROSHIO 共同代表
九州工業大学 若手研究者フロンティア研究アカデミー 特任助教
大木 健
Team KUROSHIO 共同代表
JAMSTEC 地震津波海域観測研究開発センター 技術研究員
中谷武志
Team KUROSHIO 共同代表
JAMSTEC 海洋工学センター 技術研究員
藤森英俊
JAMSTEC 海洋工学センター 企画調整室 室長代理
杉山真人
JAMSTEC イノベーション・事業推進部 事務主任

24 **JAMSTEC発イノベーション**
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
山本美希
数理科学・先端技術研究分野 研究員

28 **Marine Science Seminar**
微なるかな微なるかな、地球初期に至る
微小領域分析で挑む大陸形成の始まり
牛久保孝行
高知コア研究所
科学支援グループ/同位体地球化学研究グループ
技術研究員

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

裏表紙 **Pick Up JAMSTEC**
JAMSTECにちなんだ
海底地形名が国際的に承認・登録

表紙：中央インド洋海嶺かいいいフィールドのブラックスマー
カー。QUELLE 2013における「しんかい6500」潜航調
査にて。

深海に 私たちの はじまりを探して

取材協力

高井 研 JAMSTEC 深海・地殻内生物圏研究分野 分野長

中村謙太郎 東京大学大学院工学系研究科 准教授

渋谷岳造 JAMSTEC 深海・地殻内生物圏研究分野 研究員

この地球上で、生命は、いつ、どこで、どのように生まれたのか——

私たち人類は、その問いを抱き続けてきた。古くは、アリストテレスが自然発生説を唱えた。

2400年近くも前のことだ。新しい問いも出てきた。地球以外の天体にも生命は存在するのか——

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、

また太陽系以外の惑星系、しかも地球型の惑星が相次いで発見されている。

海洋研究開発機構（JAMSTEC）は、生命の起源や初期進化に関する世界屈指の研究拠点でもある。

生物の研究者と地球科学の研究者が混在する稀有な環境のなか、国内外の研究者とも緊密に連携しながら、

人類の根源的命題に挑んでいる。その答えに、どこまで近づけたのだろうか。

無機物からの生命誕生、生命の誕生から私たちの共通祖先に至る初期進化、

そして地球外生命の可能性まで、生命の起源や宇宙における

生命の存在可能性に関する最新の研究を3号連続で特集する。

今号では、私たちへとつながる初期の生命をめぐる研究を紹介しよう。

インド洋かきれいフィールドで、初期生命生態系の生き残り「ハイパースライム」に出会った。

取材協力

高井 研

JAMSTEC

深海・地殻内生物圏研究分野
分野長

2002年、インド洋かきれいフィールドの調査が、有人潜水調査船「しんかい6500」とその支援母船「よこすか」によって行われた。高井 研さんは、「このとき私たちは、地球生命のはじまりを探す旅の途中にいました。まるで濃霧のなかをさまようような先の見えない状態でしたが、根拠のない自信と情熱だけはありました」と振り返る。

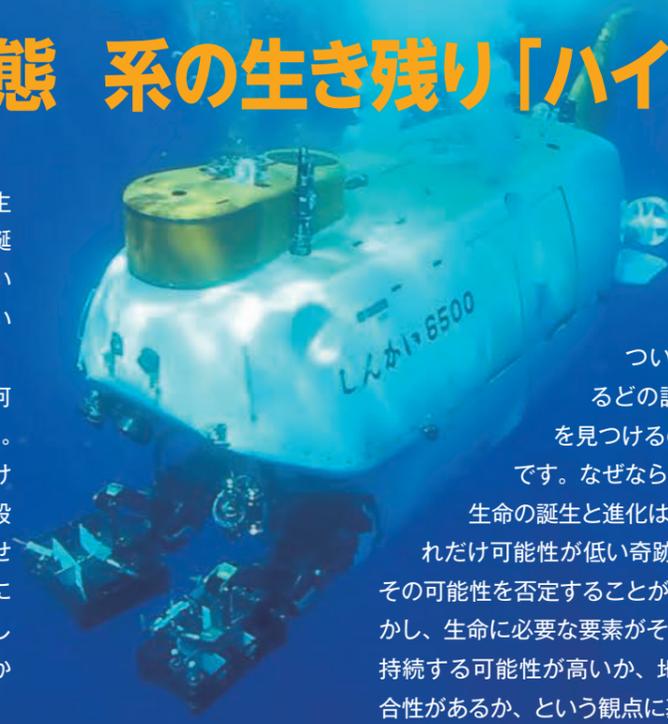
かきれいフィールドは、中央インド洋海嶺など3つの海嶺がぶつかり合う場所にある。2000年、無人探査機「かいこう」と深海調査研究船「かきれい」によって、インド洋で初めて深海熱水活動と熱水に依存した化学合成生物群集が発見されたことから、その名前が付いた。深海熱水活動とは、深海底から300℃を超えるような熱水が噴き出している現象をいう。かきれいフィールドと地球生命のはじまり。その2つが、どう関わるのだろうか。

生命の起源や誕生した場については、昔からさまざまな仮説や考えが議論されてきた。地球での自然発生説や宇宙からの飛來說、雷放電や隕石衝突、熱

水活動による有機物生成、宇宙有機物の供給、生命誕生の場として陸上の温泉や深海の熱水、生命誕生における大陸の必要性などなど。生命の起源というのは、それほど人類の興味をひきつけてやまないテーマだといえるだろう。

「生命のはじまりを考えるには、まず“生命とは何か”を知る必要があります」と高井さんは強調する。「生命の定義は、定義するのも難しいですが、受け入れるのもとても難しい問題です。科学者や一般の人々の間でコンセンサスを得るには至っていません。しかし“生命に必要な要素は何か”という問いには明確な答えが出つつあります。必要性の順番として、①エネルギー、②多様な無機元素とそれを溶かす溶媒としての水、そして③有機物です」

また、私たちが最も知りたいのは、自分たちにつながる生命のはじまりだ。つまり、生命が生まれるだけでなく、生まれた後に生命の連鎖が継続しなければならない。さらに、現実起きた現象、つまり地球に残された化石や生物のゲノム（遺伝子）に刻



まれた記録とも整合している必要がある。

「地球生命の起源について現在提唱されているどの説が正しいのか、真実を見つけるのは非常に難しいことです。なぜなら、私たちに繋がった生命の誕生と進化は一度きりの現象で、どれだけ可能性が低い奇跡的な現象であっても、その可能性を否定することができないからです。しかし、生命に必要な要素がそろっているか、生命が持続する可能性が高いか、地質や生物の記録と整合性があるか、という観点に基づいて可能性の大小を比較・評価することはできます。そのような観点から総合的に考えた場合、一番有力だと考えられているのが、深海熱水活動域での生命誕生・初期進化説です」

生命が深海熱水活動域で誕生したのならば、初期

の生命は高温の熱水に含まれる水素や二酸化炭素などの無機化学物質をエネルギー・栄養源とする超好熱性化学合成独立栄養性生命である可能性が高く、しかも持続性を高めるためには単一の生命ではなく超好熱性化学合成独立栄養性生命を一次生産者としたさまざまな機能を持った生命群から成る生態系が最初から存在していた方が圧倒的に有利だった、と高井さんは予想。そして、現在の深海熱水活動域、特にその海底下環境にもその始原的な生態系の特徴を色濃く残した“生き残り”生態系が存在するに違いないと考えた。そのような生態系を「ハイパースライム」と名付け、最古の持続的生態系としての「ハイパースライム仮説」を提唱した。

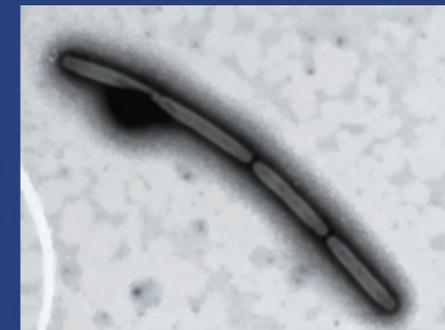
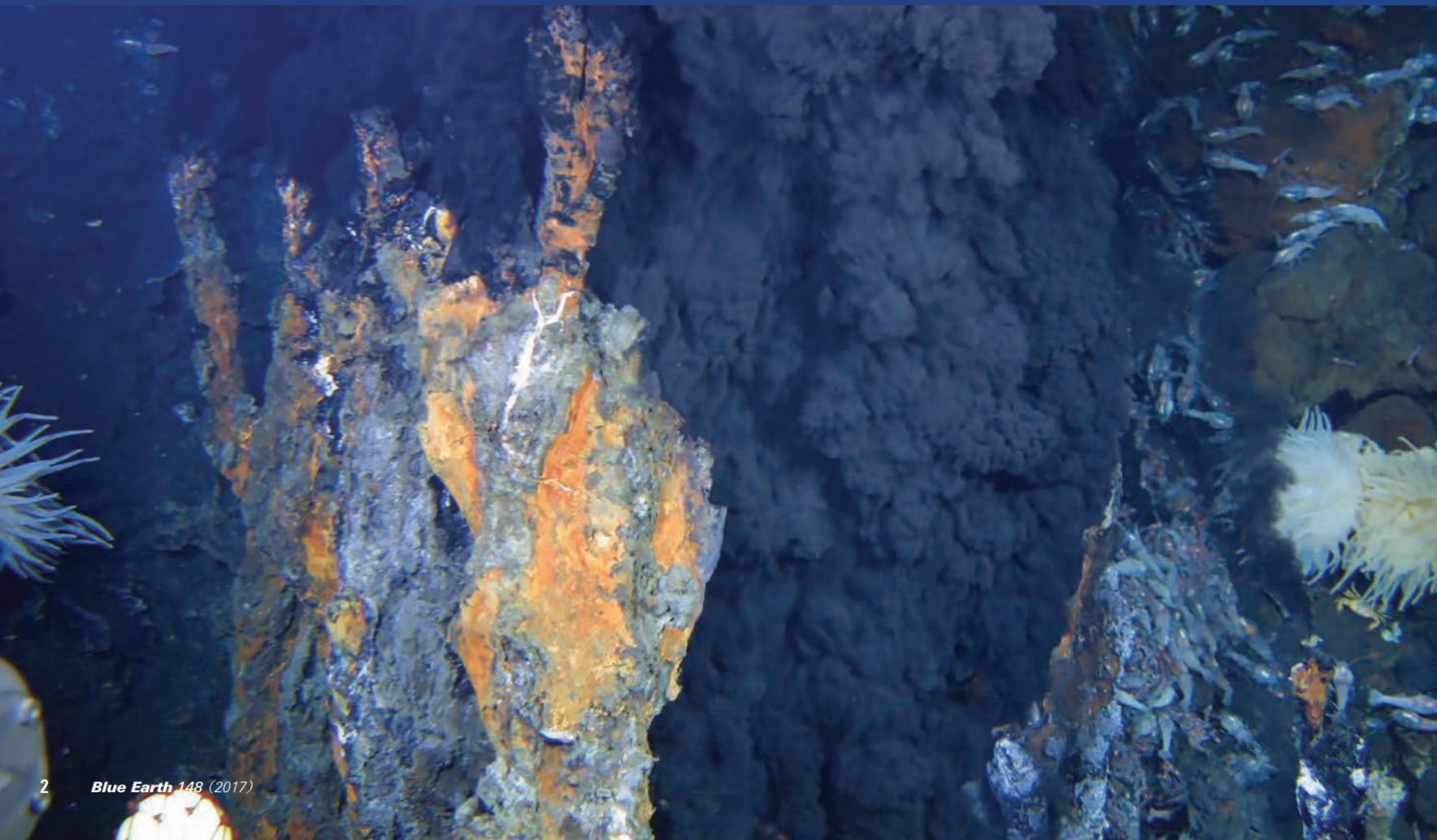
ハイパースライムの存在を実証したい。そう思った高井さんたちは、2000年ごろから日本周辺の沖縄トラフや伊豆小笠原弧、バブアニューギニアのマヌス海盆などの深海熱水活動域で、ハイパースライムが存在する証拠を探してきた。しかし、まったく見つからなかった。それが、高井さんがかきれいフィールドの調査を前に感じていた「濃霧のなかをさまようような感覚」の背景だ。

そして「しんかい6500」で、かきれいフィールドへ。現場濃縮装置を用いて熱水活動域に生息している微生物を採取し、船上で培養実験を行った。現場濃縮装置とは、ステンレスの筒に軽石を詰めたもので、ハイパースライム採取を目指し、高井さんらが開発した。それを熱水の噴出孔に数日間設置しておく、チムニーの内壁や海底下に生息している微生物が熱水と共に流れ込み、微生物は軽石に付着して濃縮され、効率よく回収できるのだ。培養実験を始めてわずか数時間後、これまでの結果を覆すハイパースライムの存在を強く示す結果が得られた。「思わず踊っちゃいました」と高井さん。

航海終了後の詳細な研究によって、かきれいフィールドでは、一次生産者である超好熱メタン菌が75%、消費者である超好熱発酵菌が25%の割合で構成されるハイパースライムが存在し、海底下環境において熱水中の水素と二酸化炭素を利用してエネルギーを得て、広範囲に高密度で生息していることなどが明らかになった。「私たちは、現在の地球に生きる初期生命の生き残りの姿にたどり着いたのです。もちろん世界初です」。この成果は2004年に発表され、大きな注目を集めた。

一方で、かきれいフィールドでのハイパースライム発見は新しい謎をもたらした。

2002年、初期の生態系の生き残りであるハイパースライムが見つかった、インド洋かきれいフィールド熱水活動域。水深2,450m。熱水に鉛や亜鉛、銅、鉄などの硫化物が多く含まれているため、黒く見える。海水で冷やされると金属成分が沈殿し、チムニーと呼ばれる煙突状の堆積物が形成される。



ハイパースライムの一次生産者の一種である超好熱メタン菌 *Methanoterris formicicum* (上) と *Methanopyrus kandleri* (下) の電子顕微鏡写真。 *M. kandleri* は、それまでの微生物の最高生育温度を更新し、122℃で増殖することが確認されている。

ハイパーズライムが存在する条件とは? ウルトラ H³ リンケージ仮説の最後のピースを埋める。

取材協力

高井 研

JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
分野長

中村謙太郎

東京大学
大学院工学系研究科
准教授

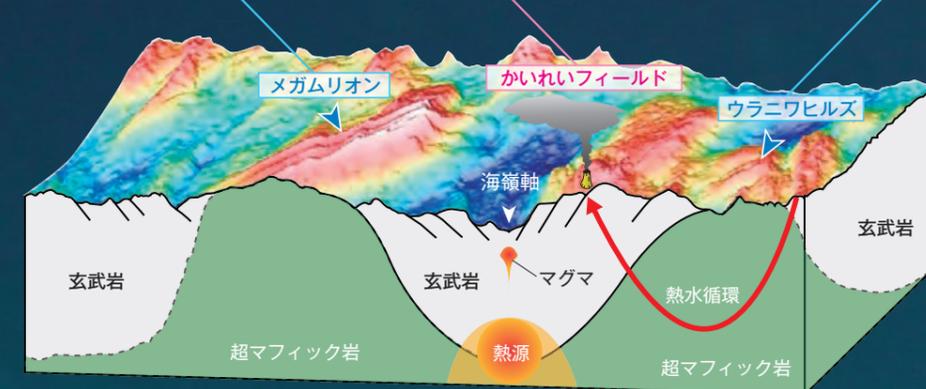
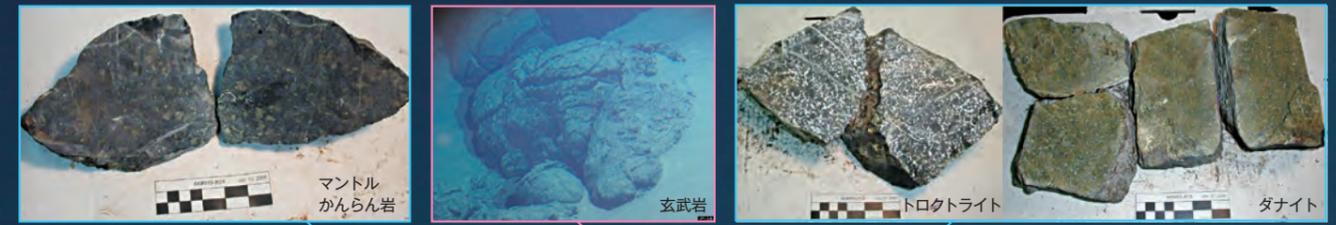
「ハイパーズライムは、世界の深海熱水活動域のどこにでも存在すると思っていました」と高井 研さん。しかし、沖縄トラフや伊豆小笠原弧、マヌス海盆の深海熱水活動域ではハイパーズライムは見つからず、インド洋かいいいフィールドでは驚くほど簡単に見つかった。「ハイパーズライムが存在する場所と存在しない場所では、何か違いがあるはずです。熱水の化学組成を調べてみると、かいいいフィールドの熱水には水素が非常に高濃度で含まれていることが分かりました」

なぜ、かいいいフィールドの熱水は水素濃度が高いのか。かいいいフィールドは中央インド洋海嶺など3つの海嶺がぶつかり合うところにある。海嶺とは、海洋プレートが両側に拡大し、あるいは引っ張られて、海洋底が新たに生み出されている場所である。インド洋や大西洋の海嶺は、太平洋の海嶺に比べ拡大速度が遅いことが知られている。このような遅い拡大速度の海嶺では、拡大の際に海洋プレートが両側に引っ張られるにつれて、通常は地下5kmほどの深いところにある上部マントルが断層によって引きずり出されて、海底に露出することがある。

「上部マントルは、超マフィック岩の一種、かん

らん岩で構成されています。超マフィック岩にはかんらん石が豊富に含まれ、それは高温の水と反応すると蛇紋石に変わり、同時に水素を発生します。かいいいフィールドの熱水の高水素濃度はこの蛇紋岩化反応によってもたらされたのではないかと考えました」と高井さん。「私の専門は微生物学で、地球科学はそれほど詳しくはなかったのですが頑張って勉強しました。生命の起源や初期進化を知るためには極めて重要な情報ですから」

ハイパーズライムの存在に必要な条件が見えてきた。高井さんは、その条件を「ウルトラH³ (エイチキューブ) リンケージ仮説」と名付けた。ウルトラは超マフィック岩 (Ultramafic rocks)、H³は熱水活動 (Hydrothermal activity) と水素発生 (Hydrogenesis) とハイパーズライム (HyperSLiME) であり、それらが互いに結び付いている (linkage) という意味が込められている。「この仮説には1つ大きな欠陥がありました」と高井さんは自ら指摘する。「ハイパーズライムが見つかったかいいいフィールドの熱水活動に超マフィック岩が関わっている証拠がなかったのです。そこで、かいいいフィールドの近傍に、まだ見ぬ超マフィック岩の存在を探しに行くことにしました」



海底から染み込んだ海水が、地中の熱によって暖められ、軽くなって上昇し海底から熱水として噴出する。地下に超マフィック岩があると、海水と反応して水素が発生する。その結果、水素濃度の高い熱水となる。

かいいいフィールドの周辺は、一般的な海洋地殻である玄武岩に覆われている。2006年の調査によって、かいいいフィールドの東側のウラニウヒルズで、超マフィック岩であるトロクタイトとダナイトが大量に発見された。また、かいいいフィールドの西側のメガムリオンでも、超マフィック岩であるかんらん岩が発見された。超マフィック岩とは、マフィック鉱物と呼ばれるかんらん石や輝石を多く含む岩石である。

付着物があったりして、表面を見ただけでは種類が分かりません。船上で切断して内部を観察するのですが、一般的な海洋底の岩石である玄武岩ばかり。やっぱりないのかな、と思ったとき、出たのです！」と中村さん。「岩石の研究者ならば、断面を見ればすぐ分かります。間違いなく、超マフィック岩でした。研究者はみんな、大興奮でした」

高井さんの反応は? 「岩石調査は研究航海の前半で、高井さんは後半からの乗船だったので、発見の場にはいませんでした。乗船してきた高井さんに満を持して報告したのですが、『ああ、そう』と反応が薄かったですね」と中村さんは苦笑いを浮かべる。「ウルトラH³リンケージ仮説は正しいと、すでに確信していたのでしょね」。高井さんは実は、メールで送られてくる航海の経過報告で超マフィック岩発見を知り大興奮し、ようやく落ち着いたところだったそうだ。

航海終了後の研究で中村さんは、ウラニウヒルズで発見された超マフィック岩と海水を反応させると、かいいいフィールドの熱水とほとんど同じ組成になることを確認した。ウルトラH³リンケージ仮説の最後のピースが埋まり、ハイパーズライムが存在できる条件がついに明らかになった。しかし、それは現在の地球上で生きているハイパーズライムについてだ。ウルトラH³リンケージ仮説は、初期の生命にも当てはまるのだろうか。

その調査に誘われた一人が、当時JAMSTECのポスドク研究員だった中村謙太郎さんだ。「私の専門は岩石学で、熱水をつくり出す岩石と海水の反応を研究していました。たまたま大学の卒業論文でインド洋の岩石を研究していたことから、声を掛けていただきました。生命の研究とは無縁でしたが、高井さんの話が面白く、すぐに参加を決めました」。中村さんは、かいいいフィールドの周辺に超マフィック岩があると確信していたのだろうか。「その当時、インド洋の海嶺で超マフィック岩の露出が確認されていたのはごく限られた特殊な場所だけでした。本当のことをいうと、かいいいフィールド周辺にも露出しているというのは、ちょっと考えにくい、と思っていました」

研究航海は2006年、「よこすか」と「しんかい6500」によって行われた。「しんかい6500」で潜航し、かいいいフィールドの周辺の海底から岩石を採取してきた。「海底の岩石は、変色していたり、

かいいいフィールド西側のメガムリオンの海底の様子。2016年、「しんかい6500」による潜航調査にて。

初期生命を維持できるだけの水素はあったのか？ 40億年前の海水と岩石の反応を再現して検証。

取材協力

渋谷岳造
JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
研究員

2006年のインド洋かいいいフィールドの岩石調査には、渋谷岳造さんも参加していた。「超マフィック岩が初めて発見されたとき、岩石を切断していたのは私です。うお〜！と、思わず叫んでしまいました」

かいいいフィールドの周辺で超マフィック岩が発見されたことで、ウルトラH³リンケージ仮説は完成した。「ただし、あくまでも現在のハイパースライムについてです」と渋谷さんはいう。「初期の生命が生息していたのは、約40億年前の冥王代です。そのころの地球では、マントルの温度が現在より数百℃も高く、活発な火山活動により海洋地殻が現在より厚くなっていました。そのため、マントルかんらん岩が海底に露出していることは、ほとんどありませんでした。しかし、高温のマントルが溶けたマグマが、厚い海底地殻を突き抜けて海底のあちこちから噴出していたと考えられています。

それが急冷されるとコマチアイトという岩石ができます。それは超マフィック岩の一種です。コマチアイトでも、ハイパースライムのような初期生態系を支えられるほど水素濃度の高い熱水ができるのか。それを実験で検証する必要があります」

しかし、すぐに実験というわけにはいかなかった。深海の熱水環境を再現するには高温高压に耐え得る実験装置や特殊な実験・分析手法が必要だ。そこで、600気圧、600℃までの実験が可能な熱水実験装置を開発し、それを用いた40億年前の深海熱水再現実験手法もゼロからつくり上げた。

もう1つの問題は、コマチアイトだ。現在の地球にもコマチアイトは残っている。しかし、すでに熱水と反応して変質してしまっているため、新たに熱水と反応させても、もう水素は発生しない。どうすればよいのだろうか。「つくってしまうことにしました」と渋谷さん。コマチアイトの組成と同じ粉末

の試薬を白金製のつぼに入れ、1,600℃まで加熱してマグマにした後、急冷させる。40億年前にコマチアイトが形成されたときと同じ過程を再現し、合成コマチアイトを作製したのだ。

そして、純金製の容器に合成コマチアイトと模擬海水を入れ、熱水実験装置を用いて300℃、500気圧で約3カ月間反応させた。500気圧は、水深およそ5,000mに相当する。その結果、水素が発生することを確認。しかも熱水1リットル(1kg)あたり23ミリモルと高濃度だった。かいいいフィールドの熱水の水素濃度はおよそ熱水1リットルあたり5~10ミリモルなので、その濃度はハイパースライムを支えるのに十分だ。

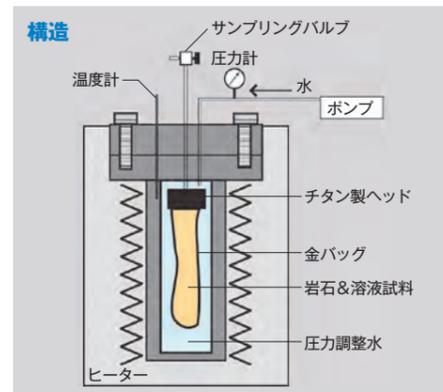
実験はこれで終わりではない。「40億年前の海水は現在よりはるかに高濃度の二酸化炭素が含まれていたと考えられています。その条件で実験しなければ、検証にはなりません。そこで、二酸化炭素

濃度の高い海水とコマチアイトを反応させる実験を行いました」

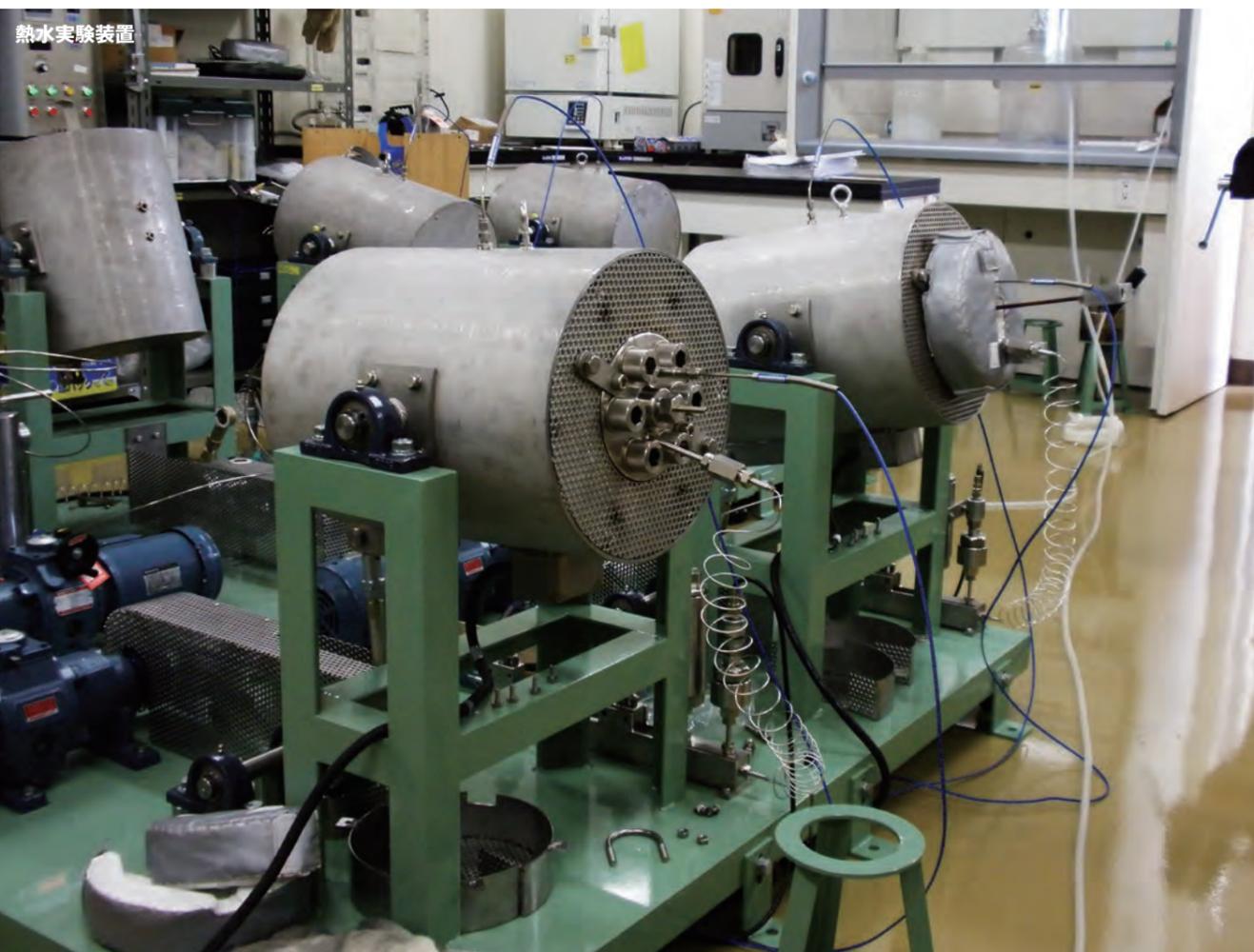
すると、発生する水素の濃度は少し低下した。これは、コマチアイトに含まれる鉄が二酸化炭素と反応してしまい、熱水と反応しにくくなるためである。とはいえ、350℃の熱水で1リットルあたり数ミリモル以上と、水素濃度は依然として高かった。また、熱水の温度が高いほど二酸化炭素は鉄と反応しにくくなるため、熱水との反応が進み、水素の発生量が増える。「40億年前の熱水は400℃を超えていた可能性もあります。二酸化炭素濃度の高い海水であっても、高温の深海熱水活動であればコマチアイトと反応して初期生態系を維持するのに十分な濃度の水素を供給できることが確かめられました」



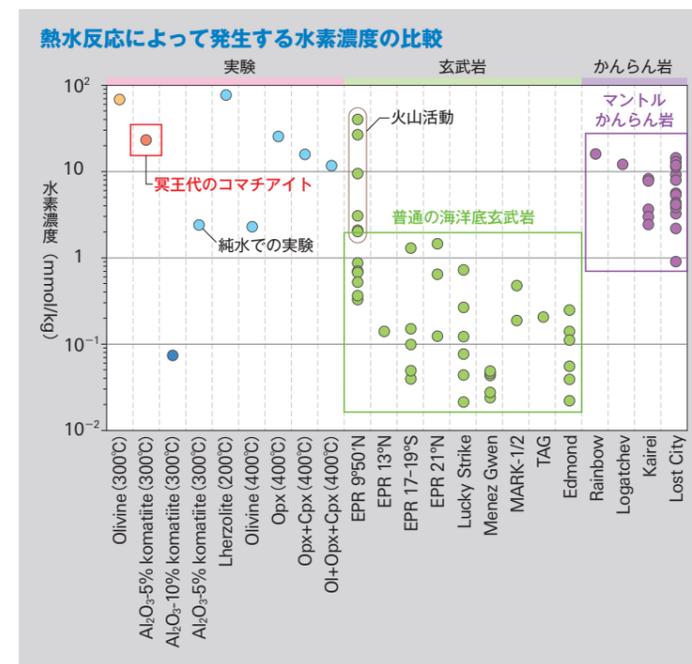
反応容器の外観 内部



600気圧、600℃までの実験が可能。海水(水)と岩石を純金製の容器に入れて反応させる。金は反応性が低いため、岩石や熱水と反応しないという利点がある。また、金はやわらかいので、計測のために熱水を抜くと、その量に応じて変形する。圧力を変えることなく実験を続けることができるという利点もある。



熱水実験装置



コマチアイトと模擬海水を高温高压下で反応させると、現在のマントルかんらん岩から生成される熱水に匹敵する高濃度の水素を発生する。コマチアイトとマントルかんらん岩は、超マフィック岩の一種である。(Shibuya et al., 2015, PEPS)



合成コマチアイトの顕微鏡写真。コマチアイトは超マフィック岩の一種で、マントルが溶けた1,600℃以上の高温のマグマが急激に冷やされてできる。その過程を模擬してコマチアイトを合成した。急冷によってかんらん石の結晶が板状に成長することでできる特徴的なスピニフェクス組織も見られる。

ハイパースライムは、かきれいフィールド にしかいないのか？

取材協力

高井 研

JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
分野長

初期の生態系の生き残りであるハイパースライムは、2002年の調査によって、インド洋かきれいフィールドで発見された。ハイパースライムは、かきれいフィールド以外には生息していないのだろうか。

海底熱水活動は、1977年、アメリカの有人潜水調査船「アルビン」によってガラバゴス諸島沖で初めて発見された。その後、次々と見つかり、現在ではおよそ500カ所以上が知られるようになった。「ハイパースライムの存在からウルトラH³リンケージ仮説の提唱に至ったわけですが、ウルトラH³リンケージ仮説が正しければ、高濃度の水素を含むほかの深海熱水活動域、たとえば大西洋中央海嶺のレインボーフィールド、ロガチェフフィールドやロストシティフィールドにもハイパースライムがいると、当然予想しますよね」と高井 研さんはいう。

大西洋中央海嶺は、かきれいフィールドがあるインド洋の海嶺よりもさらに低速で拡大している場所だ。そのため、より多くの上部マントルの超マフィック岩が海底に露出していると予想され、ハイパースライム発見の期待がさらに膨らむ。

そして2005年、フランスの調査船と無人探査機を使い、レインボーフィールドとロストシティフィールドの調査を実施。その結果、超マフィック岩の一種であるかんらん岩が関与している高温熱水噴出域のレインボーフィールドには、かきれい

フィールドのハイパースライムと極めてよく似た生態系が存在することが分かった。一方、比較的低温の熱水を噴出するロストシティフィールドでは、ハイパースライムとは異なる微生物生態系が形成されていることが分かった。

さらに高井さんは2013年、「しんかい6500」世界一周航海QUELLE 2013において、カリブ海中部ケイマン海膨の熱水活動域の調査を行った。ビービーフィールドは水深約5,000mにあり、世界最深で、熱水の温度は400℃近い。ケイマン海膨も海洋プレートが低速で拡大しているため、超マフィック岩が露出し、水素濃度が高いことが予想された。「水素は予想を超える高濃度でした。となると、ハイパースライム存在の期待が大きく膨らみました。ところが、超好熱メタン菌を一次生産者とするハイパースライムは見つかりませんでした」と高井さん。とても残念がっているかと思えば、むしろ楽しげだ。

「新しい謎の登場は喜ばしいこと。その謎が解ければ、ハイパースライムの存在できる条件について、さらには初期の生命について、新しい発見があるかもしれません。実際、ビービーフィールドの調査から、かきれいフィールドのハイパースライムとは異なる新しい水素依存型の微生物生態系が見つかり、それがより始原的な生態系の生き残りの可能性が出てきました」

カリブ海中部ケイマン海膨のビービーフィールドのブラックスモーカー。約400℃の高温を記録した。熱水には極めて高濃度の水素が含まれており、かきれいフィールドのハイパースライムとは異なる新しい水素依存型の微生物生態系が見つかった。

高濃度水素を含む深海熱水活動域の分布



岩石—水—生命の化学相互作用を解くことで、暗黒の生態系の組成や量を予測可能に。

取材協力

中村謙太郎
 東京大学
 大学院工学系研究科
 准教授

超マフィック岩が存在すると、海水との反応によって水素に富んだ熱水が発生し、そのような高濃度の水素を含む深海熱水域では、水素によって支えられる生態系ハイパースライムが存在するというウルトラH³リンテージ仮説は実証された。では、超マフィック岩以外の岩石が関与する深海熱水活動域には、ウルトラH³リンテージとは異なる岩石—水—生命相互作用が存在しているのだろうか？ また、岩石だけでなく海水の化学組成も異なっていたと考えられる初期地球の岩石—水—生命相互作用を明らかにする術はあるのだろうか？

中村謙太郎さんは、「反応する岩石が変われば、熱水の組成は変わります。また、同じ岩石でも反応する海水が変われば、熱水の組成は変わります。そして、熱水の組成が変われば、それに支えられている生物も当然変わるはずです」と解説する。「こうした岩石—水—生命の一連の関係を化学によって定量的に記述することができれば、超マフィック岩以外が関わる深海熱水域はもちろん、手掛かりの少ない初期地球の生態系も理論的に予測することができるようになります」

現在の海洋底では超マフィック岩は限られた場所にしかなく、最も代表的なのは玄武岩である。また、プレートの沈み込み帯の熱水活動域では酸性岩が卓越する。中村さんは、そうした世界中のさまざまなタイプの熱水活動域について、岩石の組成、熱水の組成、生態系の情報を収集、解析してきた。

そして2014年、岩石—水—生命の化学的相互作用を統一的に説明できるモデルの構築に成功。このモデルを用いると、岩石の組成から熱水の組成を求めることができ、熱水の組成からは、生物が何を食べ、どういう代謝反応をすれば最もエネルギーを多くとれるかを求めることができる。つまり、どのような生物が優占するのかを予測できるのだ。また、熱水の組成からは、熱水が生物にもたらすエネルギー量を求めることもできる。さらに、このエネルギー量から熱水が支えることができる生態系の規模も求めることが可能だ。

この一連の研究は、ウルトラH³リンテージに加え、1997年にアメリカの地球化学者トム・マッカラムとエベレット・ショックが発表した「マッカラム-ショック予想」がベースになっている。「マッカラム-ショック予想とは、“熱水を食べる生物の種類や量は熱水から得られるエネルギー量によって理論的に決まっている”という予想です。発表当初、生物の研究者からはほとんど注目されていないようでした。でも私は、化学で生物を記述してしまうという彼らの天才的な発想に感銘を受けました」と中村さん。

あらゆる岩石や海水組成に適用できる一般化された岩石—水—生命化学相互作用のモデルは、初期生命の姿を探る強力な道具になる。「私たちは、どんなに頑張っても初期地球の海底に噴出する熱水の組成や、そこに生息していた生命を直接調べるこ

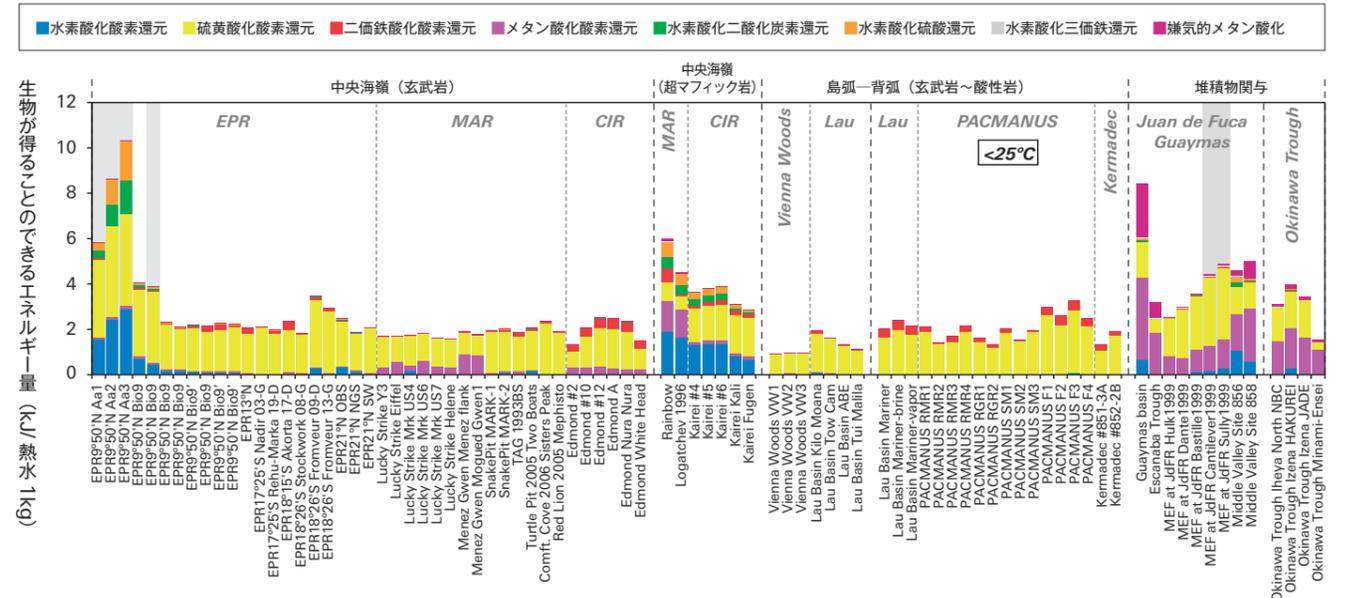
とはできません。しかし、このモデルを使えば、唯一の手掛かりともいえる岩石の組成を基に、生命の存在可能性から、存在可能な場合は生物の種類や量まで、理論的に予測することができるのです」

このモデルを用いて、初期地球におけるさまざまな岩石を基盤とする熱水についてシミュレーションすると、存在可能なのは超マフィック岩を基盤とする熱水の水素を食べる生物にほぼ限定されるという結果が出た。具体的には、水素を二酸化炭素で酸化してエネルギーを得てメタンや酢酸をつくるメタン菌や酢酸菌、水素で硫酸を還元してエネルギー

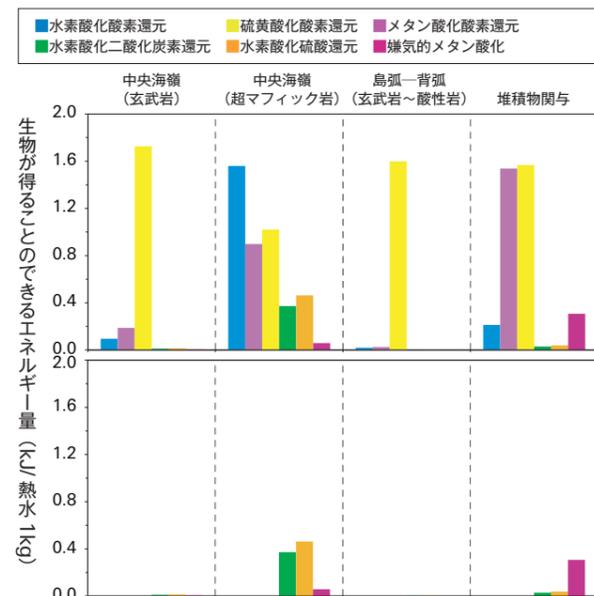
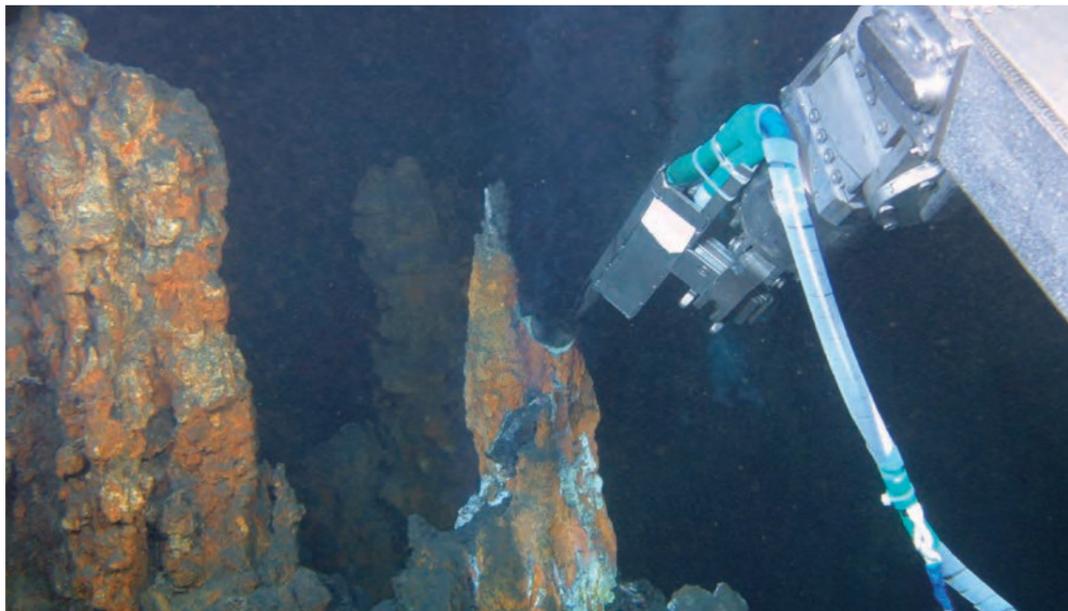
を得る硫酸還元菌である。また、生態系の規模は非常に小さいことも分かった。

「この岩石—水—生命化学相互作用のモデルは、地球以外の惑星や衛星にも適用可能です」と中村さん。「ぜひ、地球外生命の研究にも使っていきたいですね」

さまざまな地質セッティングの多様な岩石を基盤とする熱水から、各代謝反応によって得ることが可能なエネルギーの量。JAMSTECの深海調査で計測した値や論文で報告されている値を基にシミュレートしている。熱水の化学組成は、基盤となる岩石の種類に応じて、水素に富む「超マフィック岩型」、メタンに富む「堆積物関与型」、硫黄に富む「玄武岩～酸性岩型」に大別できる。また、それぞれの熱水生態系において微生物がどの代謝反応を用いているかを調べると、熱水の化学組成と生態系組成との間に化学的な関係性が成り立っていることが分かる。
 Nakamura and Takai (2015) を改変



「しんかい6500」で熱水を採取している様子。南太平洋ケルマディック島弧Brothers海山にて。



岩石—水—生命化学相互作用のモデルを用いて求めた、代表的な4種類の地質を基盤とする熱水から各代謝反応によって得ることが可能なエネルギーの量。上は現在の地球、下は初期地球。初期地球は酸素に乏しいため酸素を用いた代謝を行う生物は存在できず、現在の地球とは生物の種類が大きく異なる。初期地球で生存可能なのは、主に水素を用いた嫌氣的代謝を行う生物のみである。
 Nakamura (2014) を改変



海底熱水活動のイメージ。マグマによって熱せられた海水が岩石と化学反応することで、岩石の成分が溶け込んだ熱水が形成される。反応後の岩石は変質岩となる。熱水は岩石から海水でとっただし、といえる。

JAMSTECモデル——生命誕生の場と 初期の生命生態系の姿にたどり着いた。

約40億年前の深海底熱水活動域の想像イラスト。熱水は、超マフィック岩であるコマチアイトと反応し、高濃度の水素を含んでいた。また、熱水は強アルカリ性で大量のシリカを含んでいたと考えられることから、ホワイトスモーカーであったらしい。

イラスト：矢田明

愛”が強いことが1つ。また、航海という研究・生活を共有する特別な時間を過ごす機会も多く、表面的ではない本質的な議論を交わしながら研究を進めることができる研究環境も大きな強みではないでしょうか」

岩石学が専門の中村謙太郎さんは、生命の研究に取り組むことをどう感じているのだろうか。「以前は、生命は岩石や熱水とは別の世界のできごとのように感じていました。でも、JAMSTECでの研究を通じて気付いたのです。岩石と水の反応も、生命活動も化学反応であり、岩石から水、そして生命は、一連の化学反応系列として扱えると。それに気付いてから、研究の幅が大きく広がりました」

生命の起源や初期進化について、今後どのように研究を進めていこうとしているのだろうか。

高井さんは「現在からさかのぼっていき、私たちの祖先といえる初期の生命生態系にたどり着いたところまでが、JAMSTECモデルです。その初期生命がどのように生まれたのか。その解明が次の課題です。非生命と生命の間、たとえば複雑な有機物の集合と原始生命の間には、まだまだ大きなギャップがあります。そこを埋めなければ」と語る。

そして渋谷さんが続ける。「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したのか、ほかの環境、たとえば大陸や宇宙からの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」

次号では、無機物からの生命誕生までをめぐる研究を紹介しよう。

BE

モデルだと思っています」と胸を張る。

地球における生命の起源や初期進化について、JAMSTECは世界をリードする独創的な研究成果を発信してきた。JAMSTECには、どういう強みがあるのだろうか。高井さんの答えはこうだ。「生物・生化学の研究者だけでなく、岩石・鉱物・熱水化学など地球科学を含めたさまざまな分野の研究者が参加する“自分たちの研究所意識” JAMSTEC

「私たちが提唱している生命の誕生と初期進化のシナリオを“JAMSTECモデル”と呼んでいます」と高井研さんはいう。

生命誕生の場は、約40億年前の深海熱水活動域である。熱水は超マフィック岩の一種であるコマチアイトと反応し、高濃度の水素を含んでいた。生命の誕生とほぼ時を同じくして、私たちにつながる共通祖先生命は、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、あるいは硫酸や酸化鉄を還元する超好熱菌を一次生産者とする持続的始原的生態系を形成し、地球規模の深海熱水環境に広がっていった——これが、JAMSTECモデルの概要である。

渋谷岳造さんは、「私たちは、JAMSTECモデルを現場観測、実験、エネルギー論的シミュレーションを通じて検証してきました。非常に信頼性の高い

取材協力

高井 研

JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
分野長

中村謙太郎

東京大学
大学院工学系研究科
准教授

渋谷岳造

JAMSTEC
深海・地殻内生物圏研究分野
研究員

私が
IODPで
解きたい謎

浜田盛久

海洋掘削科学開発センター
海洋・地球リソスフェア研究グループ
研究員

はまだ・もりひさ。1974年、山口県生まれ。博士（理学）。専門は火山学。2006年、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。東京大学地震研究所特別研究員、京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設研究員、東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻特任助教などを経て、2013年より海洋研究開発機構（JAMSTEC）研究員、現在に至る。

2014年5～7月に行われたIODP第351次研究航海において、アメリカの深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション」船上で、コアの地震波速度測定装置の前に立つ浜田盛久さん。写真提供：浜田盛久

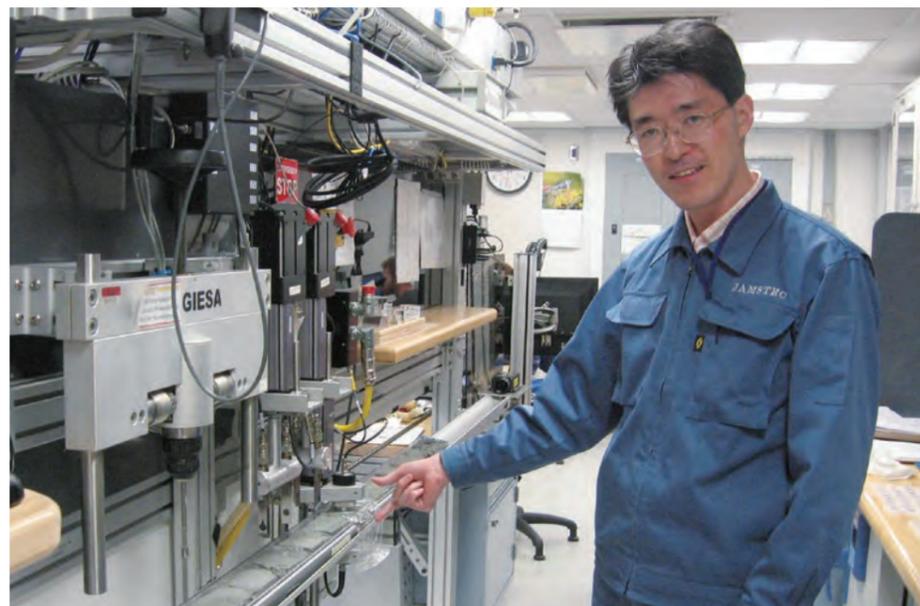
子どものころに 火山に関心を持った

—いつごろから地球科学に興味を持つようになったのですか。

浜田：小学生・中学生のころからだったと思います。私自身は山口県下関市で生まれ育ったのですが、両親は鹿児島出身です。鹿児島の祖父母の家に行くと、桜島に連れていってもらい、噴煙を見て子どもながらに火山の不思議さを感じていました。また小学生だった1986年に起きた伊豆大島の三原山の噴火や、高校生だった1991年に起きた雲仙普賢岳の火砕流に伴い、住民の方々が避難する様子を

海底の堆積物から 過去の火山活動を 読み解きたい

マグマに含まれるガス成分の研究を続けてきた浜田盛久さんは、2014年5～7月、アメリカの深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション」による国際深海科学掘削計画（IODP）第351次研究航海に参加した。その航海は島弧の進化、そして大陸地殻の成因の解明を目指した、伊豆-小笠原-マリアナ弧（IBM弧）における海底掘削3航海の一環で行われたものだ。浜田さんは現在、掘削で得られた海底堆積物の分析と解析を進め、島弧での火山活動の歴史を読み解こうとしている。浜田さんがIODPで解きたい謎とは？



ニュースで見て、火山と共存して生きていかなければならないこと、また火山災害から暮らしや命を守る仕事は大事だなと、何となく思っていました。

マグマのガスの研究を始める

—学生時代はどのような研究を？

浜田：大学の卒業論文では、北海道の豊羽鉱床の成因について研究しました。その研究も面白かったのですが、大学院に進学するにあたっては、子どものころに関心を持った火山の研究をやりたいという思いがありました。そして、火山学なら防災・減災というかたちで社会貢献

もできるのではないかと考えたのです。

そのような希望を大学院での指導教官の藤井敏嗣先生（現 東京大学名誉教授）に話して研究テーマを決めるとき、高温・高圧装置を使ってマグマの水の研究を試みたらどうかと提案されたのが、私の研究人生の始まりでした。マグマに溶けているガス成分のなかで、水は量的に最も多く、マグマのガス成分の代表といっでよいでしょう。ガス成分の量やマグマのなかでのガスの振る舞いは、噴火の様式や規模にも影響します。ひいては火山噴火の予知にも非常に役立つ情報なので、それらを調べることによって火山防



浜田さんが参加したIODP第351次研究航海では、奄美三角海盆の掘削が行われた。水深4,711mの海底から海底面下1,611mまで掘削され、堆積物層や基盤岩のコアが得られた。上は乗船者の集合写真、左下は船内ミーティングの様子で、右下はコアのどの部分を採取して分析するべきかを議論している最中の写真である。

災・減災に貢献できると思っています。—マグマのガスの研究とは具体的に？

浜田：私自身は、マグマのなかにガス成分として含まれる水の量が、マグマが結晶化してできる鉱物の組成や鉱物の組み合わせにどう影響するのかを、含水マグマの高温・高圧実験を行って研究していました。

マグマ中のガスを調べるのは簡単ではありません。炭酸飲料の栓を抜くと、炭酸は泡になって抜けてしまい、飲料のなかにもともとどれくらい炭酸が入っていたのかは分からなくなります。それと同じで、噴火して地表に出てきたマグマからはガスがすでに抜けてしまっていて、そのマグマを調べてもガスのことはほとんど分かりません。そこで、高温・高圧装置を使って地下のマグマだまりを実験室で再現することは、噴火する前のマグマに含まれていたガス成分を調べる有効な研究手法の1つといえるのです。

—大学院を出た後は、どのような研究をされてきたのですか。

浜田：2006年に大学院を修了し、2013

年にJAMSTECに来るまでの7年間に5つの研究室を渡り歩き、さまざまな研究テーマに取り組んできました。でも根底にはマグマに含まれるガス成分という共通テーマがあり、それを少しずつかたちを変えながら発展させてきました。たとえば、伊豆大島で採取した鉱物中のメルト包有物を分析して、噴火前のマグマがどれくらいガスを含んでいたのかを調べる研究を行いました。

—メルト包有物とは？

浜田：マグマが急速に冷えて鉱物が結晶化するとき、メルトと呼ばれるマグマの液滴が鉱物のなかに取り込まれることがあります。それをメルト包有物といいます。メルト包有物は、ガスを含んだままのメルトを缶詰のように閉じ込めているのです。メルト包有物を調べることで、噴火する前のメルトに含まれていたガス成分がわかります。時代を追ってメルト包有物を調べることで、火山活動の歴史をひもとくこともできます。

JAMSTECに来てすぐに、1年後の2014年に予定されていたIBM弧におけるIODP第351次研究航海の計画について話を聞

く機会がありました。そのとき、伊豆大島のメルト包有物を分析した経験をIBM弧の進化を解き明かす研究に生かせるのではないかと、思ったのです。提案書を書いて応募したところ、乗船が実現しました。

島弧進化の解明を目指した 3航海

—メルト包有物とIBM弧の進化はどのように関係しているのでしょうか。

浜田：プレートが沈み込む海溝付近にできる弧状に連なった島々を「島弧」といいます。日本列島も島弧です。IBM弧は、フィリピン海プレートの下に太平洋プレートが沈み込む海溝に沿って存在しています。

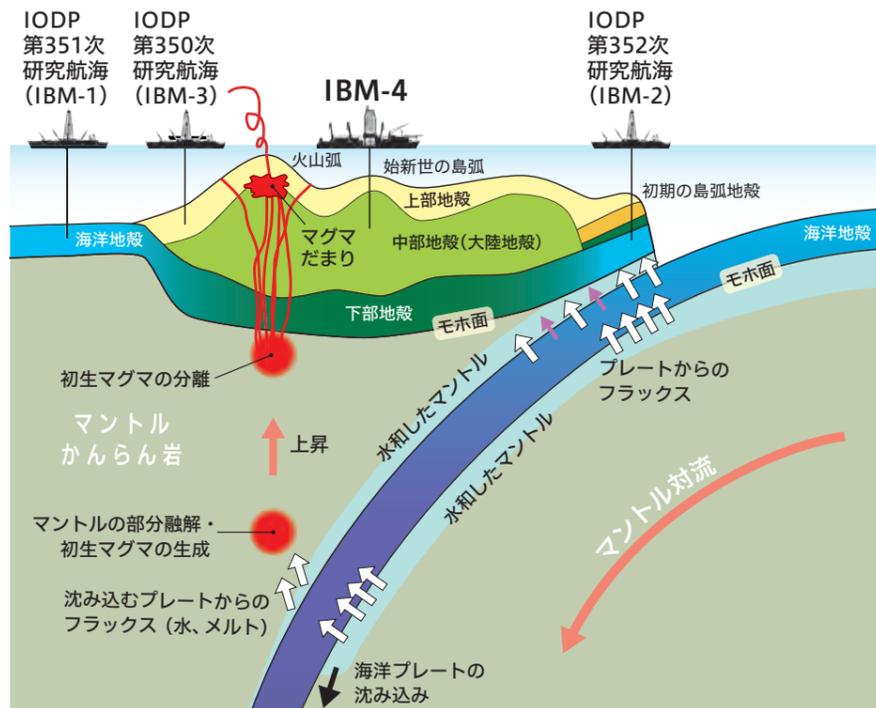
プレートが地下深くまで沈み込んでいくと高温・高圧になり、プレートに含まれていた水などのガス成分が流体として絞り出されます。流体が付加したマントルが部分的に溶けてマグマが生成されます。これは初生マグマと呼ばれ、ガス成分を含んでいます。マグマはマントルから地殻へと上昇して、結晶分化作用によって成分を変え、一部は地表あるいは海底に噴出して火山を形成していきます。島弧での地殻の成長もマグマの活動に伴うものです。

マグマはさまざまな噴火様式で噴出し、堆積します。海底火山から噴出した火砕性噴出物は海底面を高速で流れ下り、数十km先の遠方まで運ばれて堆積することも珍しくありません。海底ではそうした噴火・運搬・堆積が長期間にわたって何度も繰り返され、火山からの噴出物が時間の経過とともに層状に堆積していきます。それらのなかには、メルト包有物も含まれているので、それらの成分、特にガス成分を時系列に沿って調べることでIBM弧の火山活動の歴史、さらには島弧の進化の過程を知ることができる可能性があるのです。

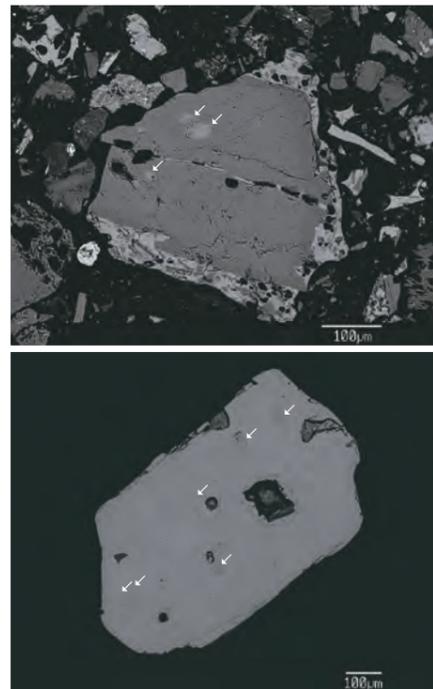
—IODP351次航海は、350～352次という一連の航海のうちの1つでしたね。

浜田：2014年3月末から9月末にかけて、アメリカの深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション」で、2ヵ月ずつ、3回の航海が行われました。

島弧から見て海溝に近い側を前弧、海溝から遠い側を背弧といいます。第350



IBM弧における島弧進化の総合的理解と大陸地殻成因の解明のための科学掘削計画。第351次 (IBM-1) での奄美三角海盆のほか、第350次 (IBM-3) では伊豆弧の背弧、第352次 (IBM-2) では伊豆弧の前弧の掘削が行われた。IBM-4では将来、「ちきゅう」を使って中部地殻の掘削を目指している。



上は海底面下394mから採取された斜長石、下は海底面下727mから採取された普通輝石の結晶中のメルト包有物 (矢印) の反射電子顕微鏡像。©浜田盛久

次航海ではIBM弧の背弧側、第352次航海ではIBM弧の前弧側を掘削しました。私が参加した第351次航海の掘削地点は、第350次航海よりさらに背弧側に位置する奄美三角海盆です。ここを掘削することによって、プレート沈み込み開始前から開始後に至るIBM弧の発達史に関する情報が得られることが期待されていました。

——島弧を調べることの重要性は？

浜田：島弧は、大陸がどうやってできるかというのをリアルタイムで見られる興味深い場所である、ということです。従来、地質学者たちは、大陸の形成について、大陸そのものの地質を調べることで明らかにしようとしてきました。しかし最近になって、島弧でできた地殻が衝突と合体を繰り返して大陸をつくると考えられるようになりました。島弧はまさに、できたての大陸地殻を調べることができる場所だと考えられているのです。私たちは将来、地球深部探査船「ちきゅう」を使ってIBM弧をより深く、中部地殻まで掘削して、できたての大陸地殻を手にするを目指しています。

——IODPの第351次航海ではどのようなことが分かったのですか。

浜田：奄美三角海盆は堆積物が分厚く

たまっている場所です。海底面下1,611mまで掘削したうちの1,461mは堆積物で、基盤岩の掘削は最後の150mほどでした。掘削によって明らかになったことの1つに、その基盤岩の成因に関することがあります。

IBM弧では、フィリピン海プレートの下に太平洋プレートが沈み込んでいます。この海洋プレートの沈み込みは、プレートが強い力で押されたわけでもないのに、太平洋プレートが勝手に沈んでいくことで始まったのだらうと考えられています。このような沈み込み方を「自発的沈み込み」といいます。自発的な沈み込みが起きると、2つのプレートの間に隙間ができ、そこを埋めるように下からマントルが湧き上がってきて、玄武岩から成る海洋地殻が形成されます (前弧拡大)。IBM弧の沈み込みの開始期には、前弧側の非常に限られた範囲で、この前弧拡大と呼ばれるイベントが起こり、「前弧玄武岩」の海洋地殻が形成されたと考えられています。

第351次航海の前には、奄美三角海盆の基盤岩は、沈み込みが始まる前から存在していた古い海洋地殻だと考えられていました。しかし実際に掘削したところ、奄美三角海盆の基盤岩は若く、沈み込

みの開始と同時の約5200万年前に形成され、これまで前弧域で見つかったことが判明したのです。このことは、自発的沈み込みによって新しくできた前弧玄武岩の海洋地殻が、これまで考えられてきたような前弧域の狭い範囲だけではなく、奄美三角海盆のような背弧側に至る広範囲にわたって形成されていたことを意味します。

1000万年間の火山活動を研究

——第351次研究航海で得られた堆積



浜田さんが乗船したIODP第351次研究航海で掘削中の「ジョイデス・レゾリューション」 (右) と岩石物性測定チームのメンバー (上)。

物中のメルト包有物については、どのような研究が進められているのでしょうか。

浜田：掘削によって得られた1,461mの堆積物の試料のうち、私と共同研究者は約1,000mの範囲に注目しています。この部分は、4000万年前から3000万年前にかけての年代にあたります。そこに、IBM弧初期の1000万年間にわたる火山活動の歴史が記録されているのです。

メルト包有物は直径数十μm程度と、とても微小なものです。1,000m分のコアのなかにある、多数のごく小さなメルト包有物を丹念に調べていきます。すごい重労働ですが、少しずつ分析と解析を進め、IBM弧における火山活動の歴史を読み解いているところです。

専門外の仕事で視野が広がった

——船上ではどのような仕事を？

浜田：台風の影響などもあり、実際に掘削を行っていたのは1ヵ月余りでした。掘削作業は24時間行われ、スタッフは昼夜2交代制で勤務します。私は昼シフトを担当しており、昼の12時から夜の12時まで仕事をしていました。

掘削されたコアが船内の研究室に運び込まれると、コアの物性を計測したり、肉眼で見てどのような岩石や堆積物からできているのかを岩石学的に観察したりして、さまざまな情報を記載していきます。

私は、岩石物性スペシャリストという役割で、コアの地震波の速度や熱伝導率をひたすら計測していました。それらの仕事は、実は私の専門とは関係ないも

のでした。乗船できる研究者の数が限られていますから、必ずしも専門の仕事が割り振られるわけではありません。しかし自分の視野を広げる意味でも有意義で、また新鮮な経験ができたと思っています。

——乗船中の一番の思い出は？

浜田：乗船仲間といろいろと語り合ったことですね。国際会議に参加すれば海外の研究者と知り合う機会はありますが、数日間の会議に参加して知り合うことと、閉鎖空間で2ヵ月間生活を共にして同じ釜の飯を食べることで、絆の太さがまったく違います。

岩石物性の測定チームには、カリフォルニア工科大学の地震研究所の所長さんもいらっしゃいました。私の通常の研究生活では、そのような立場の方とペアを組んで対等に仕事をするとはまずありませんが、船の上では立場は関係なく、皆平等という雰囲気でしたね。

——乗船仲間の研究者の方々とはいまでも連絡を取り合っているのでしょうか。

浜田：はい。研究成果をまとめるために連絡を取ることはもちろん、旅行で日本を訪れる乗船仲間の研究者がいれば案内するなど、公私両面で友情を深めています。彼らとのつながりは大きな財産です。

——研究面で、航海に参加したからこそよかった点はありますか。

浜田：試料に対する思い入れが違いますね。やはり自分で持ち帰った試料を使って研究をすると、航海中の楽しかったことや苦しかったことなどを思い出しながら、何としまかたちにしな

ければという気持ちになります。

過去と現在の研究を融合したい

——初めての掘削航海の印象は？

浜田：研究を進める上で、掘削は1つの有効な手法です。第351次航海で、それを実感できたことは非常に貴重な体験でした。陸上と違い、海底は試料の保存状態がとてもよいです。陸上では風化してなくなってしまうような情報が、海底では長く保存されているので、過去をひもとくための多くの情報を秘めていると感じています。

今回、掘削航海に参加したことで、掘削科学の醍醐味を実感することができました。また掘削では試料を手に入れるだけでなく、温度や磁気などさまざまな物性の情報を得られることを目の当たりにしたことも、今後研究を進めていく上で大きな財産です。

——今後はどのような研究を？

浜田：私自身の研究の根底にはやはり、マグマのなかのガス成分を研究し、その成果を火山防災・減災にも役立てたいという動機付けがあります。その初心を大事にしながら研究を続けていきたいと思っています。

ガスの研究には、いくつものやり方があります。野外調査に出掛けて火山噴出物を採取し、そのなかに含まれるメルト包有物を分析してガス成分を調べる手法や、ある条件下でマグマがどれくらいガスを含むことができるかを高温・高压実験によって調べる手法などです。火山ガスの観測や、マグマ中のガスの振る舞いに関する理論的な研究も盛んに行われています。そういったいくつもの研究手法がうまく組み合わせられて、火山ガスの研究は成り立っています。

先ほどもいいましたように、私は大学院生のころ、マグマの高温・高压実験を行い、マグマのなかに水をはじめとするガスがどれくらい含まれるのか、その結果としてマグマから結晶化する鉱物の組成や組み合わせがどう変化するのか、などを研究していました。当時の研究と、いま取り組んでいるメルト包有物の研究は、根底ではつながっています。それらをさらに融合することで、IBM弧の発達史や大陸の成因についての新しい知見を切り開きたいと考えています。

なぎさ水族館のニホンアワサンゴ。なぎさ水族館では、2009年より飼育を始めた。人工繁殖に成功したのは2016年になる。この写真はサンゴの触手にある緑色の蛍光タンパク質がきれいに見えるように青色のライトで照らしている。

山口県周防大島の沖合には、ニホンアワサンゴの群生地がある。その広さはおよそ2,000m²。ニホンアワサンゴの日本最大級の群生地だ。瀬戸内海に広がるこのニホンアワサンゴ群生地の多様性見たとき、その迫力に圧倒された。

ニホンアワサンゴを初めて見たのは、ここ、なぎさ水族館へ転職した2011年のことだ。大学の研究室の後輩が、この水族館に就職することが決まっていた。「僕が館長になったら、先輩を雇ってあげますよ」。そんなことを無邪気に語っていた後輩は、2011年3月11日、岩手県陸前高田市で帰らぬ人となった。海や魚、自然が好きで後輩だった。後輩の代わりにほかの誰かに任せるのが、嫌だった。どうしても、それまで勤めていた会社を辞めて、なぎさ水族館の飼育員になることにした。

なぎさ水族館はとても小さな、地域に密着した水族館だ。この水族館を地域の人々に愛される、日本一の水族館にしたい。何かできることはないかと、周防の海に広がるニホンアワサンゴに目を付けた。ニホンアワサンゴの人工繁殖は、これまで例のない挑戦だった。

2012年の9～10月、ニホンアワサンゴのプラヌラ幼生の採集に出た。多くのサンゴは、放卵と放精が別々に行われ、海中で受精する。ニホンアワサンゴの受精は、これとは違う。雌雄同体で、他個体からの精子を受け入れ、自分の体内で受精する。そして幼生にまで成長したものを海中へと放出する。卵から成長したプラヌラ幼生は、放出間近になるとポリプの先の手のひらのような触手付近にすることが多い。

素潜りで3～5mほど潜り、先端にストローが付いたプラス

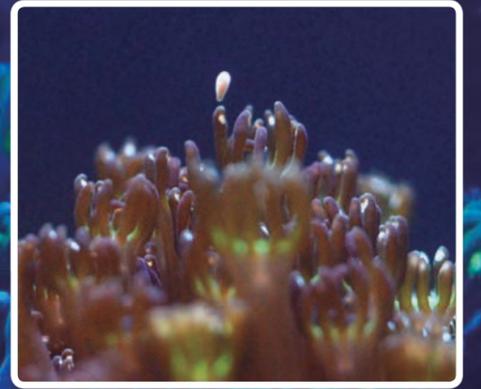
チックの容器を使って、触手の先をそっと吸い上げる。すると、放出間近のプラヌラ幼生がストローを伝って容器のなかに入る。いくつもの触手からプラヌラを採集して、水面まで上昇。息を整えながら別の容器に大切なプラヌラ幼生を移す。息継ぎはどうしてもギリギリになる。かなり苦しい。

その秋、こうした採集を繰り返した。まとまった数のプラヌラ幼生を集めることに成功。いよいよ満を持して人工繁殖の検討を始めた。たくさん集めたプラヌラ幼生を使って、水温や水質、さまざまな飼育条件が検討できた。それでも4年、試行錯誤の繰り返しだった。しかし、ついに2016年、ニホンアワサンゴの人工繁殖の成功発表にこぎ着けたのだ。成功してみれば、鍵は照明だった。照明を変えると、採集してきたプラヌラ幼生が着底し、新たなプラヌラ幼生をつくり、また

ニホンアワサンゴのポリプ先端には、指のような触手が12本並んで生えている。触手の先には白い斑点がある。そのなかでオレンジ色っぽく見えるのが、プラヌラ幼生。



プラヌラ幼生の放出。プラヌラ幼生の大きさは1.5～2mmほど。この幼生が着底すると、2mmのポリプを広げ、3～4年かけて成熟する。条件がよければ、数か月でポリプに緑色の蛍光タンパク質が現れる。



山口県周防大島沖の天然のニホンアワサンゴ。
写真撮影：小川智之/
LOVE&BLUE



着底した。3個体のニホンアワサンゴが第2世代となった。

次は第3世代へ。それから、ニホンアワサンゴも含んだ瀬戸内海の豊かな海を水族館に再現する。協力してくれる方々や、気に掛けてくれる方々、水族館から地域に幸せを運びたい。地域に根差した新しい夢が、いのちをしっかりとつないでいく。

BE

取材協力：内田博陽／なぎさ水族館 飼育員
写真提供：なぎさ水族館

◆ **Information:** なぎさ水族館
〒742-2601 山口県大島郡周防大島町伊保田2211-3
TEL 0820-75-1571
URL <https://nagisapark.jimdo.com>



国際海洋ロボットコンペ「Shell Ocean Discovery XPRIZE」に、日本の共同研究チーム「Team KUROSHIO」が挑戦している。

現在、Team KUROSHIOは第1関門である技術提案書の審査を通過し、次なる関門である実海域試験（ラウンド1）に向けて準備を進めている。ラウンド1は2017年9月に開催予定であり、Team KUROSHIOを含めて世界各国から21チームが参加する。

このコンペの課題は、有人支援母船なしに、ロボットだけで広大な海域の海底地形図を構築し、併せて海底の写真を撮影することだ。Team KUROSHIOの関係者たちに、今回のコンペに参加することの意義やラウンド1に向けた取り組みを聞いた。

取材協力 西田祐也

Team KUROSHIO 共同代表
九州工業大学
若手研究者フロンティア研究アカデミー
特任助教

大木 健

Team KUROSHIO 共同代表
JAMSTEC
地震津波海域観測研究開発センター
技術研究員

中谷武志

Team KUROSHIO 共同代表
JAMSTEC 海洋工学センター
技術研究員

藤森英俊

JAMSTEC 海洋工学センター 企画調整室
室長代理

杉山真人

JAMSTEC イノベーション・事業推進部
事務主任

ラウンド1への出場チーム

Shell Ocean Discovery XPRIZEホームページ (<http://oceandiscovery.xprize.org/teams>) より

- | | |
|-------------------------------------|---|
| ARGGONAUTS (ドイツ) | Oceanus (アメリカ) |
| BangaloreRobotics (インド) | OD-Africa (ガーナ) |
| Blue Devil Ocean Engineering (アメリカ) | Orca Robotics (アメリカ) |
| CFIS (スイス) | PISCES (ポルトガル) |
| Eauligo (フランス) | SubUAS (アメリカ) |
| ENVIRODRONE (カナダ) | Tampa Deep-Sea X-plorers (アメリカ) |
| Exocetus Autonomous Systems (アメリカ) | Team Tao (イギリス) |
| GEBCO-NF (ニュージーランド) | Texas A&M University Ocean Engineering (アメリカ) |
| Team KUROSHIO (日本) | Virginia DEEP-X (アメリカ) |
| LeHigh Tide (アメリカ) | X994 (アメリカ) |
| Ocean Quest (アメリカ) | |



海域試験を行うTeam KUROSHIO 東京大学生産技術研究所のAUV「AE2000f」(手前)と「AE2000a」(2017年3月9日、駿河湾)

●地球の海底について、
月や火星の地表よりも分かっていない!

—今回の国際海洋ロボットコンペを主催するアメリカの非営利組織XPRIZE財団は「Google Lunar XPRIZE」という月探査機の開発レースを進めていますね。「Shell Ocean Discovery XPRIZE」の開催は、いつ発表されたのですか。

大木: 2015年12月に開催されたアメリカ地球物理学連合 (AGU) の大会で概略が発表されました。ルールの詳細が公開されたのは2016年6月。メインスポンサーは石油業界大手のRoyal Dutch Shell、賞金総額700万ドル (約8億円) です。海底油田の事前調査には詳細な海底地形図が欠かせません。その調査に多くのコストと時間がかかっているため、低コストで高速に海底地形図を作製する

技術が欲しいという動機で、このコンペを企画したようです。詳細な海底地形図は、海底資源探査だけでなく水産業や防災、海洋・地球科学研究にとっても欠かせない基本情報です。

—詳細な海底地形図がない海域がまだ多いのですか。

大木: ほとんどの海域は、500m~1km四方につき1点しか海底の高低が分からないといった状況です。いまや月や火星の地表の方が詳細な地形図がつくられています。

藤森: 月や火星には海がないので、人工衛星による電磁波の観測で詳細な地形図を描くことができます。しかし、海中では電磁波はすぐに減衰してしまいます。船を走らせながら音波を海底へ出して反射して戻ってくる時間を計ることで海底地形を調べる方法がありますが、解像度には限界があります。解像度を高めるには、海底に

近づいて観測する必要がありますが、それでは広い面積を一気に測ることができなくなります。

●産業界が海洋ロボットに求めるもの

—Team KUROSHIO結成までの経緯を教えてください。

大木: コンペの概略が発表された後、海中ロボット (AUV: 自律型無人探査機)に興味を持つ若手が集まりました。主なメンバーは、私と西田さん、そして海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の中谷武志さん (海洋工学センター 技術研究員)、東京大学のソーントン・ブレアさん (生産技術研究所 准教授) の4人です。

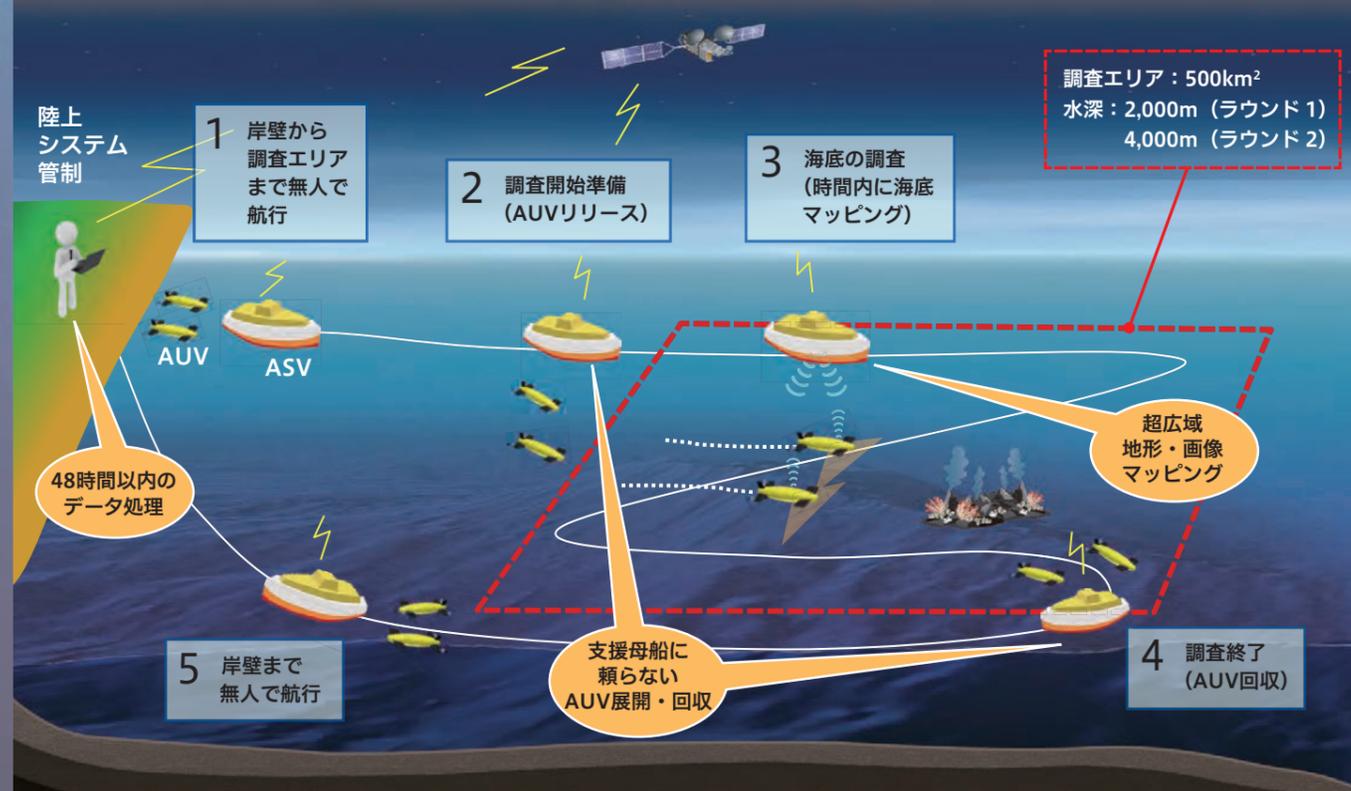
西田: このコンペの課題はとてハードルが高く、1つの研究機関だけで参加するのは困難です。オールジャパンの若手で頑張ろうと、

週1回くらいのペースで集まってアイデアを練りました。

—コンペの課題で難しいのはどういう点ですか。

大木: まず、無人で調査する点です。これまでのAUVは有人支援母船で調査海域まで運び、そこでAUVを海中に投入して、調査を終えて海面に浮上してきたAUVを回収しています。調査海域に人がまったく入らずにAUVだけで調査した例は聞いたことがありません。ただし、人が関わると大きなコストがかかります。コストを下げるには無人化が必要だとRoyal Dutch Shellは考えたのでしょうか。

西田: 調査面積の広さと時間も難しい点です。最終目標は500km²、東京ドーム約1万個分の広さです。21チームで競う2017年9月のラウンド1の課題は、水深2,000mで16時間以内に最低100km²以上の海底地形の計測、海底の重要ターゲットの写真を5枚以上撮影す



Team KUROSHIOの戦略案 岸からASV (洋上中継器) が複数台のAUV (海中ロボット) を調査海域に運ぶ。AUVが海底で調査を行った後、浮上してきたAUVをASVが回収して岸まで戻ってくる。



ラウンド1で使用予定のAUV



Team KUROSHIO 7機関のメンバー
左から4人目から、西田祐也さん、中谷武志さん、大木 健さん。
(2017年2月17日の合同記者会見にて撮影)

Team KUROSHIO ホームページ

http://www.jamstec.go.jp/maritec/od_xprize/j/
※2017年5月下旬まで“academist”にてクラウドファンディングに挑戦中です。皆さまからのご支援をお待ちしています！

また、チームではご支援いただける企業・団体を募集しています。ご関心のある方は、下記までご連絡ください。
Team KUROSHIO コミュニケーショングループ
xprizepr (at) jamstec.go.jp

ること。そこを勝ち抜いた10チームが2018年9月に開催される予定の決勝のラウンド2に進みます。その課題は、水深4,000mで24時間以内に最低250km²以上の海底地形の計測、写真撮影10枚以上です。どちらのラウンドも、ロボットが岸に戻ってきてから、48時間以内に海底地形図を作製して提出するというルールです。

海底地形図の解像度は水平方向で5m以下、垂直方向で50cm以下がノルマです。これはそれほど難しくはありません。私たちは、より高い精度の観測を目指してAUVの開発を進めてきました。海底地形図の解像度では、コンペのノルマより1~2桁高いレベルをすでに達成しています。しかし調査面積と時間は、私がかかっているAUVでは8時間で10km²未満です。ラウンド1でも、2倍の時間で10倍以上の面積の計測を行う必要があります。低コスト化とともに高速化が強く求められているのです。

——ハードルが高いにもかかわらず、今回のコンペに挑戦したいと思った動機は何ですか？

西田：私は小学校2年生のときから、将来はロボット開発がしたいと思っていました。八代工業高等専門学校（現 熊本高等専門学校）に進み、チームで高専ロボコンに挑戦しました。しかし、全国大会に進めず悔しい思いをしました。その後もロボット開発一筋で、さまざまなロボットの開発に携わってきました。今回のコンペは、産業界からAUVに対する具体的な要求が初めて出てきたものだと思っ受け止めています。ロボット研究者として、その要求に応える義務があると思いました。

大木：私も小学生のころからロボット開発を志し、進学した東北大学では宇宙ロボットの研究室に入りました。移動型ロボットで未知の世界を探索したいと思ったのです。その学生時代に東日本大震災を経験し、ロボットを防災にも役立てたいと思うようになりました。JAMSTECでは南海トラフ地震を監視する「地震・津波観測監視システム (DONET)」の構築に携わりました。先ほど紹介したように、

海の探査は難しく未知の世界です。その海洋の探査や開発ではAUVのような海洋ロボットをもっとうまく使う必要があると実感しています。日本にはAUV開発を続けてきた歴史があります。ただしAUVが活躍する場がこれまで限られており、AUVの市場規模がとても小さいことが課題です。そこを何とかしたいと思っていたときに、今回のコンペが発表されました。それに挑戦することが、日本のAUV開発の突破口になると思い、ぜひ参加したいと思いました。

西田：私たち4人は週1回ほど集まってコンペの課題をクリアするためのアイデアを出し合い、2016年4月ごろに基本構想が固まりました。ただし、実際にコンペに参加するには、さまざまな支援が必要です。

●JAMSTECの原点回帰

——JAMSTECではなぜ、Team KUROSHIOを支援することにしたのですか？

藤森：2013~15年に行われた「Wendy Schmidt Ocean Health XPRIZE」に、JAMSTECは紀本電子工業(株)と合同チームをつくって参加しました。それは海洋酸性化の実態を把握するのに重要な海水のpH (酸性かアルカリ性を示す指数) を測るセンサーの開発を競うコンペでした。合同チームは「値の正確さ」部門で3位という好成績を上げ、JAMSTECと日本企業の実力を世界に示すことができました。

その経験からJAMSTEC内部でもXPRIZEのコンペについては知れ渡っており、今回のコンペにも関心を持ちました。しかしルールを見て、JAMSTECのAUVでは無理だと思いました。JAMSTECのAUVは有人支援母船なしで運用したことはありません。それに加えて、今回のルールは、40フィートコンテナ1台に入るものしか持ち込むことができません。40フィート (約12m) では、JAMSTEC

の主力AUVである深海巡航探査機「うらしま」(全長10m) ならば1機だけで埋まってしまう。残念ながら、今回は参加を諦めざるを得ないと考えていましたが、大木さんや西田さんたちが今回のアイデアを温めていました。そして2016年6月、JAMSTECとして正式にこのXPRIZEへの挑戦を支援することになりました。今回のコンペも産業界との連携が重要です。企業への支援のお願いなどを、杉山さんたちイノベーション・事業推進部が担当しています。**杉山**：資金面の支援だけでなく、わが社のこういう技術をTeam KUROSHIOに生かせないか、と前向きに検討してくださる企業がかなりあります。産業界も深海を新しいビジネスチャンス場として期待しているのだと感じています。

もともとJAMSTECは、日本経済団体連合会 (経団連) の要望により、政府の出資金と産業界からの寄附金をもとに海洋科学技術センターとして1971年に設立されました。産業界が必要とする技術を、JAMSTECが大学や企業と一緒に開発を進めるTeam KUROSHIOは、JAMSTECにとって先祖返りともいえるプロジェクトです。今回のコンペでの連携をきっかけに、産業界が必要とする技術を開発するJAMSTECの取り組みをさらに発展させていきたいと思ます。

●産学7機関がチームを組み、ラウンド1へ

——Team KUROSHIOの戦略について教えてください。

大木：今回のコンペのルールには、AUVを使えとは書いてありません。どんな方法でも無人ならばいいのです。そこがロボコンの面白いところです。

40フィートコンテナ1台という持ち込み制限は、日本にとっては幸いです。アメリカやイギリス、ドイツなどは海底資源開発や軍事のため、たくさんのAUVを持っています。持ち込み制限がなければ、たくさんのAUVを使えるそれらの国々のチームが有利になります。

持ち込み制限は低コスト化を促す大きな要素です。今回のコンペの課題を達成するには、既存の技術だけでは難しく、独創的なアイデアが必要です。各チームの重要なアイデアは特許の対象となり、競技は基本的に非公開で進められます。私たちTeam KUROSHIOの戦略も具体的にお話しすることはできませんが、複数台のAUVをASV (洋上中継器) が調査海域まで運んで調査をします。

藤森：JAMSTECのAUVはすべて有人支援母船で海域まで運び、クレーンで海面に着水させます。そして音波でAUVの位置を追跡して行動し、調査終了後、浮上位置を把握し、浮上したAUVをクレーンにつないで回収します。すべて人の手が介在しています。

西田：100km²は東京ドーム約2,140個分の広さです。そのどこかに浮上してきたAUVを無人で回収する必要があります。AUVの浮上位置を把握する技術、物理的に回収する技術が開発のポイントです。

大木：今回のコンペには世界22カ国32チームが参加登録しました。そして2016年12月に技術提案書を提出、審査の結果、2017年2月16日に21チームがラウンド1に進むことが公表されました。日本からは3チームが登録しましたが、選ばれたのはTeam KUROSHIOだけでした。

その2週間ほど前の2月1日には、JAMSTEC、東京大学生産技術研究所、九州工業大学、海上・港湾・航空技術研究所、三井造船(株)、日本海洋事業(株)、(株)KDDI総合研究所の7機関が共同研究契約を締結し、Team KUROSHIOが本格的に始動しました。それぞれ海洋調査を続けてきた歴史があり、日本において、これ以上ない布陣です。

西田：それぞれの研究者と個別には交流がありましたが、一堂に会したのはTeam KUROSHIOが初めてです。いままでにない組み合わせの連携で新しい技術を生み出し、ラウンド1に挑みます。 **BE**

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

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、
深海巡航探査機「うらしま」など
高機能の海中ロボット（AUV：自律型無人探査機）を開発してきた。
しかし、少数の高機能AUVだけで広大な海を探索するには限界がある。
山本美希さんは数理学を駆使して
多数の超小型・低機能AUVを自発的に協調させることにより
海を効率的に探査する技術を開発しようとしている。

取材協力
数理学・先端技術研究分野
山本美希 研究員

IoT時代の海洋研究開発の基盤を築く

「スマートフォンに代表されるように、比較的安価な情報機器が大量生産され、誰もが利用する時代になりました。それら多数の機器を協調させることで新しい価値を生み出す“IoT（モノのインターネット）”の時代が到来する、といわれています。そのような時代にJAMSTECは何をすべきか考えました」と山本さんは、新しい研究テーマに取り組み始めた動機を語る。

これまでJAMSTECでは、有人潜水調査船として世界最深の潜航能力を誇った「しんかい6500」や、マリアナ海溝の世界最深部に到達した無人探査機「かいこう」などを開発してきた。

「それらは、ほかではできない観測ができる高い機能を持ちますが、高価な特注品であり、少数しかつくれません。海は広大です。機能が限定的ながら安価な量産品をたくさん投入して、それらを協調させることで効率的に海を探索する技術を開発すべきだ、と思うようになりました」

山本さんは有志を募り、「JAMSTECイノベーションアワード」の「イノベーション萌芽研究プログラム」に「非線形力学系理論を利用した多数AUVの効率的同時運用法の数理基盤構築とその実証」を提案して採択され、研究を進めている。

電磁波を使えない海洋探査の難しさ

山本さんたちの具体的な目標は、全長数十cmの低機能AUVを多数用いて、観測対象を等距離で球状に取り囲み、一点集中観測することだ（図1）。どんなに高い機能を持つAUVでも、少数では特定の角度からしか対象を観測できない。あらゆる角度から同時に観測することで、対象について初めて得られる情報があるはずだ。

ただし、海中で多数のAUVに隊形を安定して組ませることは容易ではない。可視光や電波などの電磁波ならば、大量の情報を超高速で伝えることができるが、海中では電磁波はすぐに減衰してしまう。そのため、母船などから海中の多数のAUVの現状を把握し、詳細な指令を送って隊形を組ませることは難しい。

「電磁波を使えないことが、宇宙に比べて海洋の探査が進んでいない大きな原因の1つです」と山本さんは指摘する。電磁波を使える宇宙では、はるかかなたの惑星探査機の現状を把握して指令を送ったり、人工衛星によって陸地や海面の広大な面積を一気に観測したりすることができる。それが海中ではできない。

海中の無線通信には音波が使われる。ただし音波は速度が遅く、伝えることができる情報量も限られるほか、大きなノイズが含まれるという欠点を持つ。音波でも送れる簡単な指令で多数のAUVに隊形を組ませるには、どうすればよいのか。

近年、特殊な電磁波であるレーザーにより、水中でも約10m以内の短距離ならば高速で正確な情報通信が可能となっている。多数の高機能AUVならば、母船などから音波で簡単な指令を送るだけで、AUV同士が水中レーザーで情報をやりとりして隣のAUVの位置や運動方向・速度を把握し、自らの運動方向や速度を細かく調整することで隊形を組む複雑なシステムをつくることも可能かもしれない。「ただし、海中では海流などが常に変動しています。高機能AUVでも、変動に適応して安定に隊形を組むことは容易ではないでしょう」

自発的に協調させる数理理論

自然界では、個々の能力は限られていても、見事な隊形を組んで集団行動する生物が見られる。たとえば、逆V字形を描いて飛ぶ「雁行」と呼ばれる鳥の編隊飛行だ。個々の鳥は、周りの鳥の動きを見ながら位置や速度を調整する単純な反応をしているだけで、逆V字形を描こうとしているわけではないはずだ。隊形を指揮するリーダーがいるわけでもない。それにもかかわらず、安定した編隊飛行ができる。

山本さんは、雁行のような自然界で見られる自発的で安定的な運動を、非線形力学系と呼ばれる数理学の理論で解明する研究を続けてきた。「非線形力学系理論とは、ダイナミックな現象を記述する数式から、その解の持つ性質を導き出す数学的手法の1つです。私は非線形力学系理論を使って、多数の低機能AUVに球状の隊形を自発的に組ませる研究を進めています。そのとき、いくつか

図1 多数の低機能AUVで
一点集中観測するイメージ
それぞれのAUVは水中レーザーで隣のAUVの位置や運動を把握して、自らの運動を制御する。

の条件を設定しています。それぞれのAUVへの指令は、海上の母船などから音波でも送れるように、簡潔で同一の内容にすること。それぞれのAUVは水中レーザーにより近距離にいるAUVと位置や運動方向・速度の情報を高速でやりとりすること。そして、それぞれのAUVの航行プログラムは同一で簡潔な数式に基づくものにする、です」

1990年代には未成熟だったこと

山本さんは、近距離にいるAUVの位置や運動方向・速度によって、自分はどう動くのかという関係性を表し、自発的に協調して球状の隊形

を組ませる数式をつくり出した。そして、その数式を用いた二次元のシミュレーションを行っている(図2)。それぞれの点がAUVを表している。最初ばらばらな配置だった各点が、観測対象の位置を指令すると、対象から等距離に集まり円形の隊形を組む。さらに対象が移動するのに従い円形の隊形のまま移動する。対象からの距離を変更する指令を与えると、大きい円形の隊形を組む。

この二次元シミュレーションは、一見、簡単なものに見えるが、高度な非線形力学系理論により実現されている。雁行のように個々の要素が相互作用して全体として新しい機能が自発的に生まれるような現象(創発現象)を、数理モデルを用いて解明しようとする研究は、1990年代に「複雑系科学」として大きな注目を集めた。しかし、現象の仕組みを理解し、工学の制御などに応用する取り組みは、非常に遅いペースでしか進展しなかった。

「この二次元シミュレーションでは、たとえば数式中のパラメータを変えるだけで、ある点を包囲する隊形をつくらせたり別の場所へ移動させたりすることができます。20年前でもそれっぽい動きはつくれるものの、正確にコントロールすることは不可能でした。この二次元シミュレーションは、21世紀に進化した非線形力学系理論の研究成果を応用して実現したのです(図3)。ただし雁行の仕組みは、現在でも完全には理論的に解明できていません」

2020年代の実用化を夢見て

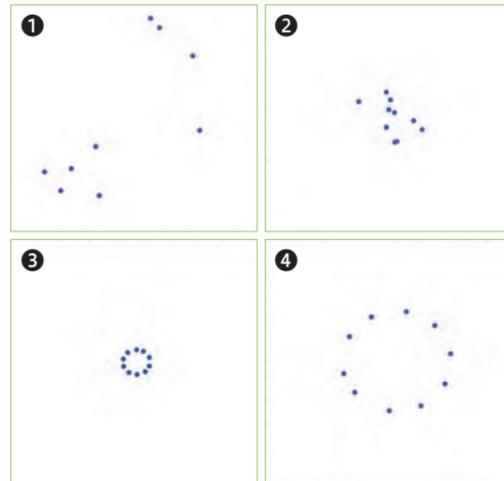
水中レーザー通信には音波通信ほどではないにせよノイズが含まれ、隣のAUVの位置や運動情報にも誤差が含まれる。「それでも隊形が崩れないかどうか、あるいは、どれくらいの強さの海流まで隊形を安定に保つことができるのか、理論的に確かめる研究を現在、進めています。同時に、複数台の掃除ロボットを使い、円形の隊形を組ませる実験を行い、現実世界で起きる問題を洗い出しているところです」(図4)

今後の実用化へ向けた取り組みについては未定だが、「私個人の希望として聞いてください」と山本さんは展望を語る。「水中において三次元の球状隊形を組めるかどうか、実証試験を進める必要があります。まず、JAMSTEC横須賀本部の水槽で毎年開かれている“水中ロボコン in JAMSTEC”への出場を目指したいと考えています」

水中ロボコン in JAMSTECは、全国からさまざまな人たちが参加して、自作の水中ロボットによる競技会やプレゼンテーションを行うもので、

図2 円形の隊形を組ませる二次元シミュレーション

AUVを示す各点が、観測対象から等距離で集まり円形の隊形を自発的に組む(③)。包囲パラメータを変えるだけの簡単な指令により、隊形を組んだまま移動したり、大きな円の隊形を組んだりする(④)。



$$\dot{\mathbf{r}}_i = f(\mathbf{r}_i, \mathbf{a}_i, \omega) + \xi_i$$

$$\dot{\mathbf{a}}_i = g(\mathbf{r}_i, \mathbf{a}_i, \omega) + \sum_{n,n} h(\mathbf{r}_j, \mathbf{a}_j, \omega) + \eta_i$$

図3 非線形力学系理論の数式の一例

山本さんは、このような数式から隊形を自発的に組ませる簡潔な数式をつくり出した。



図4 掃除ロボットに隊形を組ませる実証実験

それぞれの掃除ロボットの上にパソコンを載せて通信させ、円形の隊形を自発的に組ませる現実世界での二次元の実証実験を進めている。

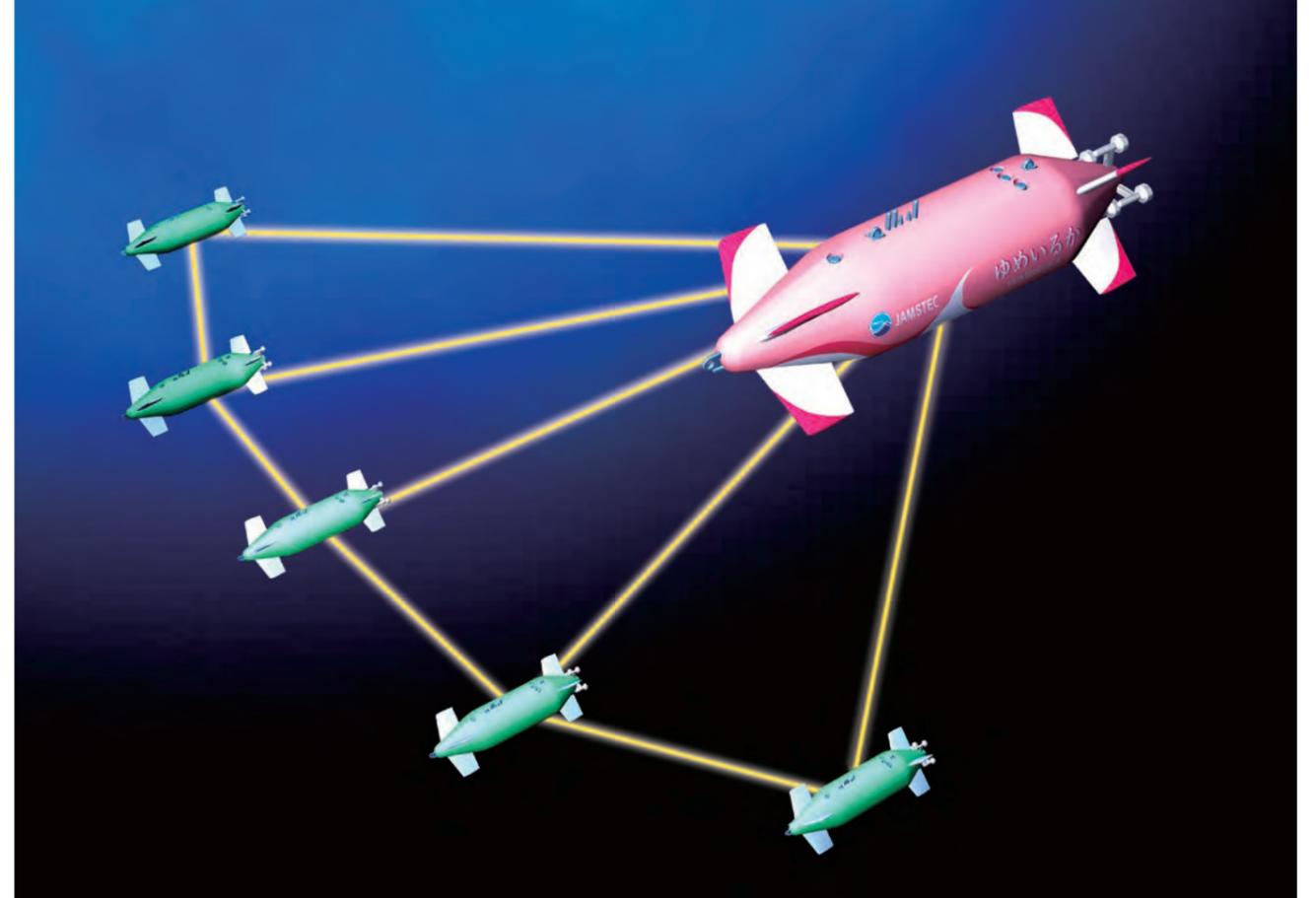


図5 多数の低機能AUVと1機の高機能AUVが協調して観測を進めるイメージ

多数の低機能AUVの観測データを、1機の高機能AUVが水中レーザー通信により回収することなどが考えられる。

AUV部門も設けられている。「現在、出場しているAUVはいずれも単体で動くものですが、2018年を目標に、私は複数のAUVで参加させてもらいたいと希望しています」

そして2020年代の実用化を夢見る。「5年後には、実際の海中で10機ほどのAUVで安定した球状隊形が組めるかどうか、テストを実施したいですね。そして将来は、小型船で調査海域に行き、100~200機といった多数の低機能AUVを投入してさまざまな隊形で海洋探査ができるようにしたいと思います。それにより、広い海域を短時間で探査できるだけでなく、AUV同士の間隔を密にすることで、従来にない高い解像度での観測も可能になるでしょう」

いずれ高機能AUVは必要なくなるのだろうか。「そんなことはありません。たとえば、コンピュータの世界では、スーパーコンピュータからパソコン、スマートフォンに至るまで、さまざまな機能のものが適材適所で使われています。同じようにAUVも機能ごとに役割分担をさせ、協調させて使う時代になるでしょう。多数の低機能AUVによる観測でも、低機能AUVをすべて海上に浮上させてから観測データを回収するのではなく、高機能AUVが加わり海中で水中レーザー通信により観測データを集める方が確実でしょう」(図5)

数理科学でJAMSTECにイノベーションを起こす

山本さんは、AUVなどの工学分野だけでなく、JAMSTEC内外のさまざまな研究分野の研究者と共同研究を進めている。2017年1月には、海洋酸性化と有孔虫に関する研究が論文発表され、筆者に名を連ねた(2017年1月27日プレスリリース「有孔虫の炭酸カルシウム殻形成は水素イオン排出がカギ」)。

「数理科学はあらゆる分野に応用できます。以前、大学で研究していたときには、古文書に書かれている社会の人口動態や人々の地位・貯蓄などの関係性を数式化することに挑戦しました。論文に仕上げるまで5年ほどかかりましたが、その経験から、たいいていのは数式で記述できるという自信が持てました。JAMSTECにも分野の壁がないわけではありませんが、私がさまざまな分野の研究現場に行っても、不審がらずに研究について説明してくれたり、数理科学に興味を持ってくれたり、そういう人が少なからず存在しています。JAMSTECには数理科学にとって面白いネタがたくさんあります」

山本さんは、数理科学によって海洋・地球科学の研究開発に数々のイノベーションをもたらそうとしている。





微なるかな微なるかな、地球初期に至る

— 微小領域分析で挑む大陸形成の始まり —

地球情報館公開セミナー 第199回 (2016年4月16日開催)

牛久保孝行 高知コア研究所 科学支援グループ/同位体地球化学研究グループ 技術研究員

地球を特徴づけているのは花崗岩

地球は水の惑星であるといわれます。しかし地球を語るときには、実は水だけでなく陸も非常に重要です。

地球には海洋地殻と大陸地殻があります。海洋地殻に特徴的な石は玄武岩という黒い石、一方で、大陸地殻に特徴的なのは花崗岩という白い石です(図1)。比重は花崗岩よりも玄武岩の方が大きく、同じ大きさのものを持った玄武岩の方が少し重いです。

海の底にある海嶺では、新しい海の石、海洋地殻が次々につくられます。海洋地殻と大陸地殻が衝突する場所では、重い海洋地殻が、軽い大陸地殻の下に沈み込んでいきます。そのとき大量の水を含んだ堆積物や岩石も、海洋地殻と一緒に引きずり込まれます。地下に潜ると温度と圧力が上がるため脱水が起きて水が出てきます。地下深くでマンタルなどと水とが反応してマグマができ、それが大陸地殻のもとになるのではないかと考えられています(図2)。

海が地球を特徴づけていることは確かなのですが、隣の惑星である火星にも

かつて海はありました。一方で、地球と同じく岩石で覆われている月や火星、水星、金星には、少なくとも巨大な花崗岩の岩盤は見つかっていません。実は陸地の石である花崗岩こそ、地球を特徴づけているもののなのです。陸地の石の成り立ちを調べることは、地球の成り立ちそのものを知ることに繋がります。

地球の表面は溶けていた

たくさんの小さな天体が衝突しながら集まって、地球はつくられました。衝突時のものすごいエネルギーによって、地球の表面は溶けたり、部分的に気化したりします。生まれたばかりの地球は、どろどろに溶けた「マグマの海」に覆われていたと考えられています。

地球の歴史は、冥王代、始生代、原生代、新生代などに分けられます。このうち最も古い冥王代と始生代を分けているのは、石が存在するかどうかです。地球最古の岩石は、カナダ北西部で発見されています。その岩石の年代がおよそ40億年前で、それより前が冥王代とされています。

以前は、石が見つからない冥王代の地球は、表面が溶けていたのではないかと考えられていました。しかし最近、そうではないことが分かってきました。カナダ北西部で見つかった地球最古の石は、大陸地殻の石だと考えられています。そうだとすると、陸地ができたのは、それより前の時期だったことになります。

大昔の地球をジルコンの結晶で調べる

何十億年も前の石で、現在でも残っているものは多くありません。古い石は、時間とともに埋もれたり壊れたりしてしまうからです。36億年前よりも古い石が見つかっているのは、世界中で10ヵ所程度です。陸地の始まりを詳しく調べるには、それらの石から情報を取り出す必要があります。

石が残ってなくても、もっと古い時代の地球を調べる方法はあります。ジルコン($ZrSiO_4$)の結晶を調べるのです。ジルコンは、ジルコニウム(Zr)とケイ素(Si)の酸化物です。非常にかたく、酸でも簡単には溶けません。身近なところではセラミック包丁の原料に使われて

現在の地球上で見ついている最古の石は、およそ40億年前のもので、大昔の地球を調べるには、そのような古い時代の石を調べます。では石が見つからない時代について調べることはできないのでしょうか。実は方法があります。ジルコンという鉱物の小さな結晶を調べるのです。とても小さな結晶のなかの酸素の同位体比を調べることで、地球でいつごろ大陸地殻がつくられたのかなど、古い時代の地球の姿を知ることができるのです。ジルコンの結晶を通して見えてきた地球初期の姿を紹介しましょう。

います。「ウラン・鉛年代法」という方法を使うと、ジルコンの結晶が何年前にできたものなのか、年代を決めることができます。ジルコンの結晶は、地質活動の変成作用や風化作用に対して岩石全体よりもはるかに強く、簡単には壊れません。そのため結晶ができた当時の情報を非常によく保存しています。この結晶を研究することで、石が残ってなくても古い時代の地球を知ることができるのです。

ジルコンの結晶のなかには、これまで少しずつ成長してきた痕跡が残っています。そのような小さな痕跡を詳しく調べるために、二次イオン質量分析計(SIMS)という同位体比分析装置を使います(図3)。とても小さなものを調べるために、非常に大きな装置が必要なのです。

この分析装置では、1万ボルトのエネルギーで加速した直径0.01mmのイオンビームを試料の分析したい部分にたたき付けます。するとビームが当たった部分の試料が蒸発するので、その蒸発した試料を分析器に導いて、さまざまな特徴を調べます。私たちはこの分析器を使って、ジルコンの結晶に含まれている酸素(O)の同位体の非常に小さな変化を調べています。

酸素同位体比の違いを指標に使う

原子は原子核と電子から成り、原子核は陽子と中性子から成ります。陽子と電子は同じ数だけあり、陽子の数が異なると違う元素になります。同じ元素でも中性子の数が異なることがあります。陽子の数は同じなので化学的性質はほとんど同じです。そのようなものを同位体といいます(図4)。

酸素の場合、陽子と電子、中性子がそれぞれ8個ずつのものが一般的です。これは陽子と中性子の数を合わせて ^{16}O と表現します。一方で陽子と電子は8個ずつで、中性子が10個ある原子も存在します。これは陽子と中性子を合わせて18個なので ^{18}O と表現します(図4)。

標準の海水(VSMOWと呼ぶ)では ^{16}O が圧倒的に多く、 $^{18}O \div ^{16}O$ で求められる酸素同位体比は0.0020052、つまり ^{16}O は ^{18}O の500倍ほどです。そこからどれくらい違いがあるのかを示すのに、 δ という記号を使って表現することがあります。 $\delta^{18}O_{VSMOW} = 0$ は、標準の海水とまったく同じ比率という意味です。 $\delta^{18}O_{VSMOW} = 1$ は、 ^{18}O の比率が0.1%だけ高いという意味で、 $^{18}O \div ^{16}O$ が0.0020072になります。

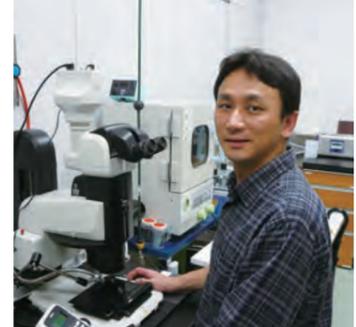
海洋地殻が沈み込んで大陸地殻ができるとき、水が関わるかそうでないかによって $\delta^{18}O_{VSMOW}$ の値は変化しま

す。始原的なマグマ、つまり海洋地殻をそのままつくるようなマグマからできたジルコンの $\delta^{18}O_{VSMOW}$ は5程度です。それに対して、地下で水と反応してできるようなマグマからできたジルコンでは $\delta^{18}O_{VSMOW}$ が6より高くなる傾向があり、カルデラの火山活動などで急激に水とマグマが反応したような場合は、 $\delta^{18}O_{VSMOW}$ は逆に下がる傾向があります。

つまり酸素同位体比を調べることで、昔の地球で何が起きていたのかが分かるのです。

カナダ・アカスタ地域に残る約40億年前の地殻形成活動

カナダのアカスタ片麻岩体は、極めて古い石が存在することで知られています。片麻岩とは、一度石としてできたものが再加熱によって性質が変わってしまった石のことで



うしくぼ・たかゆき。1973年、埼玉県生まれ。東京大学大学院理学系研究科修了。博士(理学)。アメリカ・アリゾナ州立大学研究員、ウィスコンシン大学研究員を経て、2013年より現職。専門は惑星科学、地球化学。同位体比分析による地球表層環境変動の研究に携わる。



図1: 海の石と陸の石
アメリカ・ハワイ州ハワイ島で見られる玄武岩=海の石(左)と、アメリカ・カリフォルニア州ヨセミテ渓谷で見られる花崗岩=陸の石(右)。

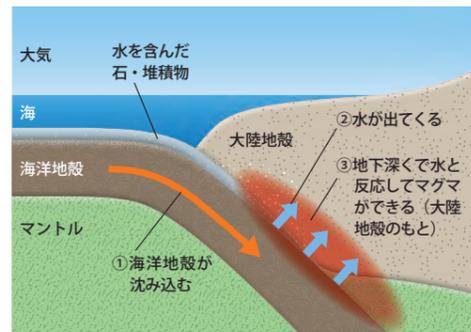
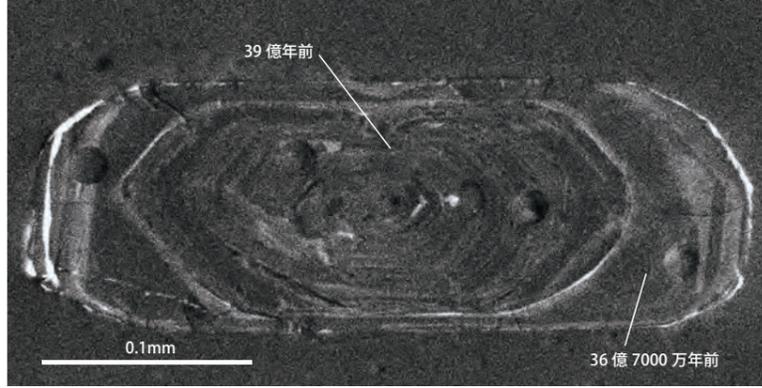


図3: 微小試料の同位体比分析装置
JAMSTEC高知コア研究所にある同位体分析装置。後ろ姿の人物は牛久保さんである。

図5：アカスタ片麻岩のジルコン結晶
全体でも大きさが1mmに満たない結晶のなかに累帯構造が見えている。



何度も火成活動の影響を受けて性質が変わってしまっていると、石から古い情報を取り出すのは難しくなります。しかしジルコンは火成活動を受けても性質が簡単には変わりません。そのため、石のなかのジルコンを調べることで古い情報を得ることができます。

図5は、アカスタ片麻岩から回収したジルコンを、カソードルミネッセンス法という方法で撮影した写真です。何層かに分かれています。中央部分は39億年前で、その外側は36億7000万年前という年代です。この2つの年代は、最初に結晶ができたときの年代と、その後の火成活動で結晶がさらに大きく成長した年代を反映していると考えられます。このような層構造のことを「累帯構造」といいます。複雑な累帯構造があると、複

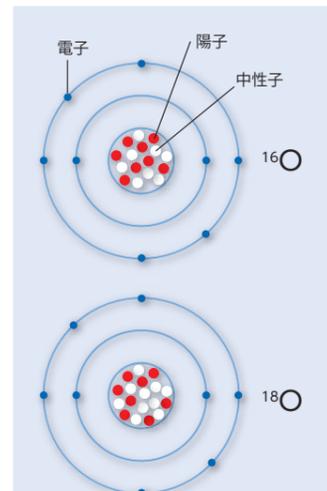


図4：酸素の同位体
酸素には中性子の数によって¹⁶O、¹⁷O、¹⁸Oの3つの安定同位体が知られている。そのうちの¹⁶Oと¹⁸Oの同位体比を用いて研究が進められている。

数の火成活動を経てきたジルコンであることが分かります。

このようなジルコンを丹念に回収して、酸素同位体比を調べました(図6)。グラフを見ると、40億年前あたりで $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ が大きく変動しています。始原的(海洋地殻的)なマグマ起源のジルコンの範囲を超えて、上にも下にもはみ出すほどの変動です。これはおそらく、この地域において最初に大陸地殻が作られたときのさまざまなプロセスを反映していると考えられています。

一方で、39億5000万年前あたりからはずっと同じ6~6.5程度の値になっています。つまり大陸地殻的な性質のジルコンがずっとつくられているということです。ですからこの時期には継続的に大陸地殻が形成されていたといえます。

このようにジルコンを調べることで、大陸地殻的なかどうかを明確に分けることができます。最初に非常に複雑なプロセスがあった後に大陸地殻的なものがつくられ、その後は大陸地殻がずっとつくられ続けたというようなことが分かるのです。

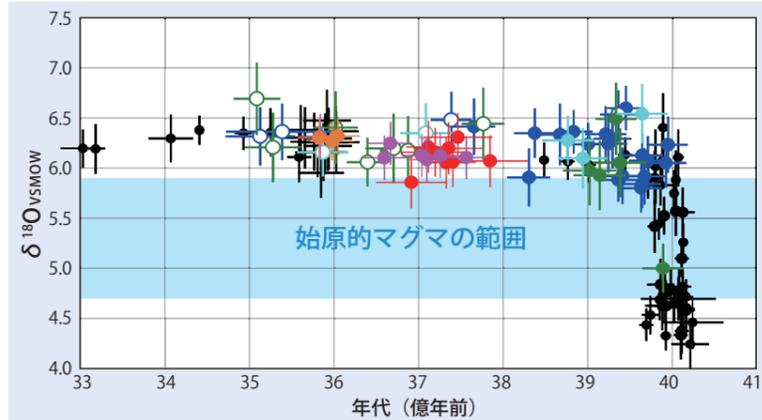


図6：アカスタ片麻岩のジルコンの年代と $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$
 $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ の値が4.7~5.9の部分は、始原的マグマの範囲である。アカスタ地域の異なる場所で採取した試料のデータを色分けし、過去の文献値(黒色)と合わせてプロットしている。なおVSMOWは「Vienna Standard Mean Ocean Water」の略で、標準海水($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}=0$)を基準にしていることを示している。

38億年前には多様な陸地が存在

オーストラリア大陸の西の端に、ジャックヒルズという乾燥地帯があります。ジャックヒルズの岩に埋め込まれていた44億~33億年前のジルコンを調べたところ、すでに43億年前のジルコンが $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}=6.5$ と高い値を示していました。

ということは、このジルコンは大陸地殻をつくっていた石に由来すると推定できます。40億年より前の石がない時代は、どろどろに溶けた熱い時代だと以前は考えられていたのですが、実は43億年くらい前には大陸地殻が作られていた証拠が見えるようになってきたのです。

同じように古い石が存在する地域として有名なグリーンランド西部から回収した約39億年前の試料を調べた研究からは、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ は始原的なマグマの範囲に多く分布することが分かっています。

中国の奥地でも約38億年前の古いジルコンが見つかります。そのジルコンを調べると、アカスタのものよりもさらに $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ が高いものがあります。これは非常に発達した陸地がすでにあったと

いうことを示唆しています。これらの結果から、38億年よりも前の時代の地球には、地域による多様性がすでにあって、相当量の陸地があったのではないかと考えられています。

初期の地球を知るために重要なIBM弧

ジャックヒルズの試料から、少なくとも43億年前には大陸の石があったことが分かりました。

最初の方でお話したように、沈み込み帯で海洋地殻が大陸地殻の下に沈み込むと、さらに大陸地殻が発達します。しかし実は、最初にどうやって大陸地殻ができたのかは分かっていません。

地球も最初は海洋地殻しかなかったはずで、その海洋地殻同士が衝突して大陸地殻ができたのではないかと推定されます。そのことをどうやって証明するかというところで、日本が登場します。大陸地殻形成のモデル地域として、伊豆・小笠原・マリアナ弧(IBM弧)が非常に

有力な地域になっています。小笠原諸島や伊豆諸島は、海洋地殻同士の衝突によって、いままさにマグマ活動が進行中の地域ではないかといわれています(図7)。その意味で、初期の地球を知るために、IBM弧は非常に重要なのです。

海洋研究開発機構(JAMSTEC)も参加する国際深海科学掘削計画(IODP)のなかで、IBM掘削計画が進められており、JAMSTECからも多くの研究者が参加しています。海洋地殻同士が衝突して沈み込むことによって、陸地がいままさに形成されている現場の試料を直接入手しようという取り組みです。2014年に3回にわたって掘削航海が行われました。将来的にはもう1回、地球深部探査船「ちきゅう」を用いて大規模な掘削航海を行うという提案がされています。

この地域は、大陸地殻ができ始めているだけではなく、成長しているモデル地域になるのではないかとみられていま

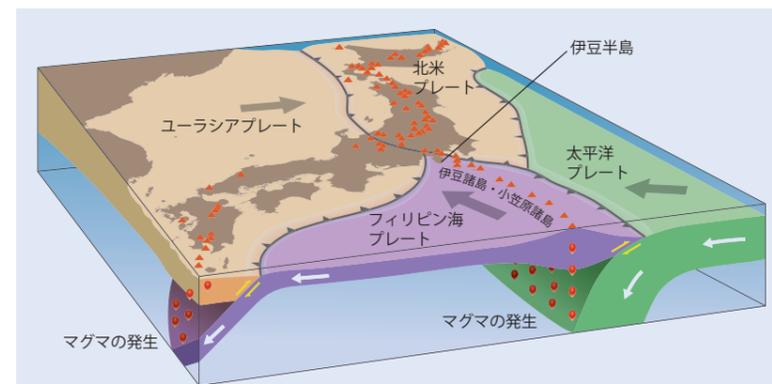


図7：伊豆・小笠原諸島と伊豆半島
伊豆諸島や小笠原諸島は、海洋地殻とマントル上部から成る海洋プレート同士(太平洋プレートとフィリピン海プレート)が衝突して、一方が沈み込む付近にある。さらに南側のマリアナ諸島を併せてIBM弧と呼ばれる(BIは小笠原諸島の英語名Bonin Islandsに由来)。

す。大陸地殻が産声を上げているIBM弧が、北側に移動して日本列島とぶつかっている地域があります。伊豆半島や富士山などの火山地域で、伊豆衝突帯と呼ばれています。陸地の種ができ、それが集まって巨大な大陸に成長していくモデル地域になるのではないかと考えられているのです。

私たちは、IBM弧や伊豆衝突帯のさまざまな場所からジルコンを回収して $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ の値を調べました。すると、場所によって大陸地殻的な値になるところがありました。これはまさしく、大陸地殻がつくられる現場で、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}=6$ のジルコンがつけられている初めての証拠になると私たちは考えています。

陸地の石の研究は海の研究でもある

43億年前の地球は、水があり陸地があり、沈み込み帯で新しい大陸地殻が形成されていた時代だったと私たちは考えています。

陸地の石の存在は、その石をつくるために海があったことを示しています。海はどんどん変わってしまうので、証拠をつかむことは大変困難です。しかし海があることによってできる石を追求することは、本来見ることができない海の存在を追求する研究でもあるのです。

今回の講演のタイトルは、『孫子』の虚実篇に出てくる言葉「微乎微乎 至於無形(微なるかな微なるかな無形に至る)」に由来します。ここでは「微か」ではなく「微小な」の意味になりますが、今日の講演はこの言葉の通り、微小な鉱物試料を調べることで、地球初期の海という形の無いものを追い求める話だったので

JAMSTEC 画像ギャラリー 公開!

JAMSTECが保有する船舶・探査機をはじめ、研究・観測の現場で撮影された深海の生物や海底の様子、シミュレーション画像など、ほかでは見られない画像を集めたギャラリーです。

高解像度画像をダウンロードすることもできますので、ぜひお楽しみください。



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「ミュージアム」をクリック

▼
「見る」の「JAMSTEC画像ギャラリー」をクリック

*トップページからのリンクもあります。



『Blue Earth』定期購読のご案内

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

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■申し込み方法

Eメールまたは電話でお申し込みください。
Eメールの場合は、①～⑥を明記の上、下記までお申し込みください。
① 郵便番号・住所 ② 氏名(フリガナ) ③ 所属機関名(学生の方は学年) ④ TEL・Eメールアドレス ⑤ Blue Earthの定期購読申し込み
*購読には、1冊本体286円+税+送料が必要となります。

■支払い方法

お申し込み後、振込案内をお送り致しますので、案内に従って当機構指定の銀行口座に振り込みをお願いします(振込手数料をご負担いただけます)。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。
平日10時～17時に限り、横浜研究所地球情報館受付にて、直接お支払いいただくこともできます。なお、年末年始などの休館日は受け付けておりません。詳細は下記までお問い合わせください。

■お問い合わせ・申込先

〒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。

賛助会(寄付) 会員名簿 2017年3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	オフショア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	海洋エンジニアリング株式会社
株式会社アイケイエス	海洋電子株式会社
株式会社アイワエンタープライズ	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アクト	鹿島建設株式会社
朝日航洋株式会社	川崎汽船株式会社
アジア海洋株式会社	川崎近海汽船株式会社
株式会社天野回漕店	川崎重工業株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタント	川崎地質株式会社
株式会社安藤・間	株式会社環境総合テクノス
泉産業株式会社	株式会社キュービック・アイ
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	共立インシュアランス・ブローカーズ
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社	株式会社
潮冷熱株式会社	共立管財株式会社
株式会社エス・イー・エイ	極東貿易株式会社
株式会社エスイーシー	株式会社きんでん
株式会社SGXシステム技研	株式会社熊谷組
株式会社工ヌエールシー	クローバテック株式会社
株式会社NTTデータ	株式会社グローバルオーシャン
株式会社NTTデータCCS	ティベロップメント
株式会社NTTファシリティーズ	株式会社KSP
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	KDDI株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	京浜急行電鉄株式会社
株式会社OCC	鉦研工業株式会社
株式会社オキシテック	株式会社構造計画研究所
沖電気工業株式会社	神戸ペイント株式会社

広和株式会社	株式会社ソリッド・ソリューションズ・インク
国際石油開発帝石株式会社	損害保険ジャパン日本興亜株式会社
国際ビルサービス株式会社	第一設備工業株式会社
コスモス商事株式会社	大成建設株式会社
株式会社コノエ	ダイハツディーゼル株式会社
株式会社コベルコ科研	太陽日酸株式会社
五洋建設株式会社	有限会社田浦中央食品
株式会社コンボン研究所	高砂熱学工業株式会社
相模運輸倉庫株式会社	株式会社竹中工務店
佐世保重工業株式会社	株式会社地球科学総合研究所
三建設工業株式会社	中国塗料株式会社
三洋テクノマリン株式会社	中部電力株式会社
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジ	千代田化工建設株式会社
JFEアドバンテック株式会社	株式会社鶴見精機
株式会社JVCケンウッド	株式会社テザック
シチズン時計株式会社	寺崎電気産業株式会社
シナネン株式会社	電気事業連合会
株式会社シーフロアーコントロール	東亜建設工業株式会社
清水建設株式会社	東海交通株式会社
シモダフランチ株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
シュルンベルジェ株式会社	東京製綱繊維ロープ株式会社
株式会社昌新	株式会社東京チタニウム
株式会社商船三井	東北環境科学サービス株式会社
新日鉄住金エンジニアリング株式会社	東洋建設株式会社
須賀工業株式会社	株式会社東陽テクニカ
鈴与株式会社	トビー工業株式会社
セイコーウオッチ株式会社	新潟原動機株式会社
石油資源開発株式会社	西芝電機株式会社
セコム株式会社	株式会社ニシヤマ
セナーアンドバーンズ株式会社	日油技研工業株式会社

株式会社日産電機製作所	古河電気工業株式会社
ニッシイマリン工業株式会社	古野電気株式会社
株式会社日放電子	株式会社ベッツ
日本アキュムレータ株式会社	松本徽章株式会社
日本SGI株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
日本エヌ・ユー・エス株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
日本海工株式会社	株式会社マルトー
日本海洋株式会社	三鈴マシナリー株式会社
日本海洋掘削株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
日本海洋計画株式会社	三井造船株式会社
日本海洋事業株式会社	三菱重工業株式会社
一般社団法人日本ガス協会	三菱スペース・ソフトウェア株式会社
日本サルヴェージ株式会社	三菱電機株式会社
日本水産株式会社	三菱電機特機システム株式会社
株式会社日本製鋼所	株式会社森京介建築事務所
日本電気株式会社	株式会社モンベル
日本マントル・クレスト株式会社	八洲電機株式会社
日本無線株式会社	ヤンマー株式会社
日本郵船株式会社	郵船商事株式会社
株式会社ハイドロシステム開発	郵船ナブテック株式会社
濱中製鎖工業株式会社	株式会社ユー・エス・イー
ハリマ化成株式会社	ヨコハマゴム・マリン&
東日本タグボート株式会社	エアロスペース株式会社
日立造船株式会社	株式会社落雷抑制システムズ
深田サルベージ建設株式会社	株式会社ラジアン
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	

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2号(通巻148号) 2017年3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 松井宏泰 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

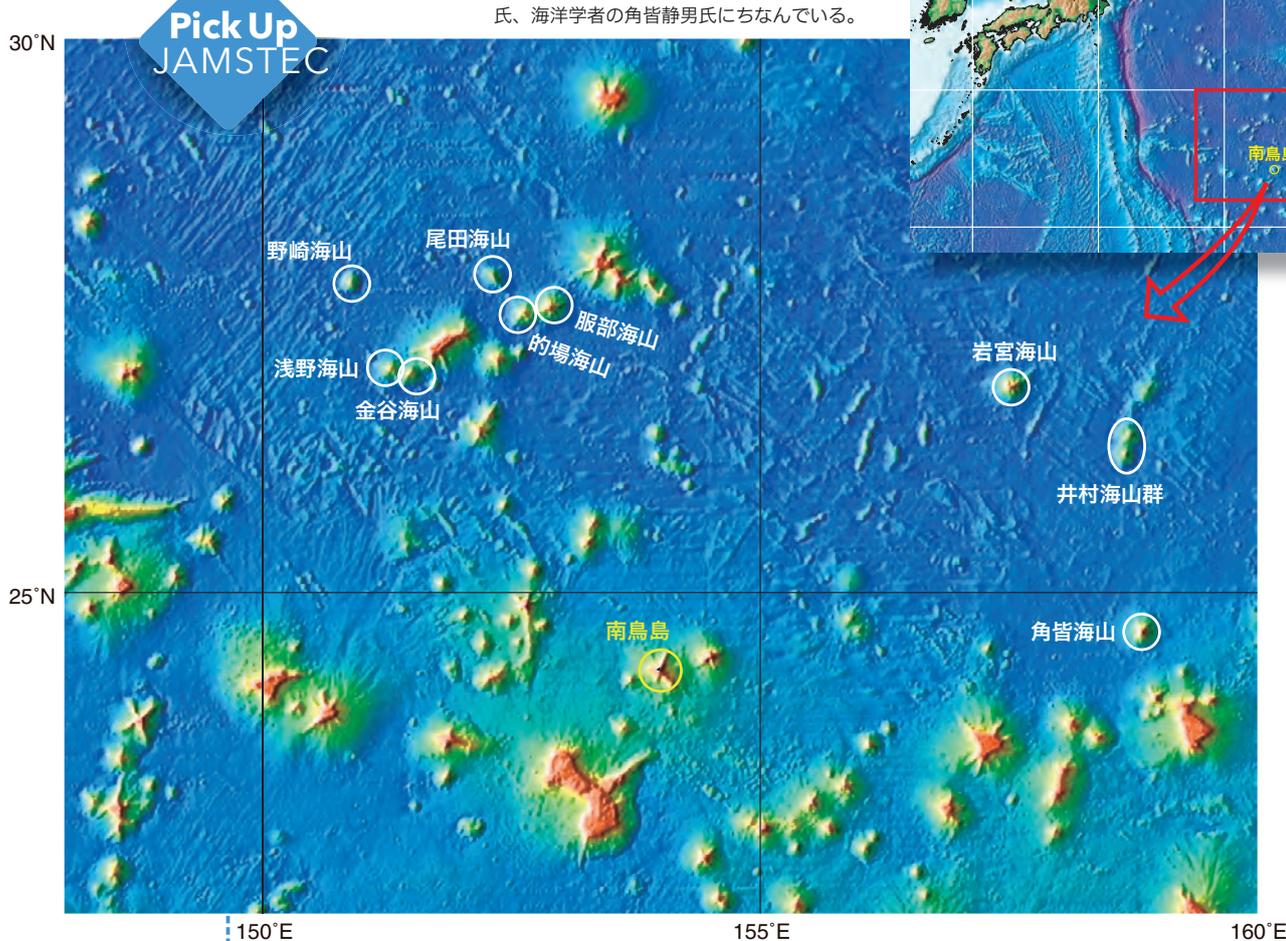
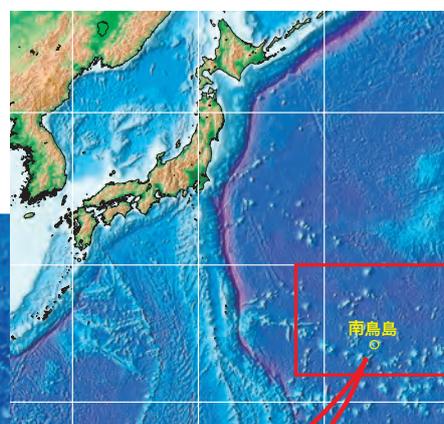
制作・編集協力 有限会社フォトンクリエイト
取材・執筆・編集 立山 晃 (p20-27)、鈴木志乃 (p1-13、裏表紙)
岡本典明/ブックブライツ (p14-17)、坂元志歩 (p18-19)
デザイン 株式会社デザインコンビビア
(飛鳥井羊右、山田純一、岡野祐三)

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>

Eメールアドレス info@jamstec.go.jp

*本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

今回承認された、海洋調査研究分野で功績のあった人の名前を冠した海底地形名の位置。それぞれ、海洋化学者の野崎義行氏、微化石学者の浅野清氏、金谷太郎氏、尾田太良氏、的場保望氏、海洋地質学者の服部陸男氏、測定装置の普及に尽力した岩宮浩氏、調査船船長の井村齊氏、海洋学者の角皆静男氏にちなんでいる。



JAMSTECにちなんだ海底地形名が国際的に承認・登録

2016年9月に開催された世界の海底地形名を公式に定める国際会議において、日本が提案した海底地形名23件が承認・登録された。このうち9件は、海洋調査研究分野で功績のあった人の名前を冠したもので、北西太平洋の南鳥島の北方海域にある海山に付けられた。そのなかで「服部海山」と「井村海山群」は、海洋研究開発機構(JAMSTEC)に関わりが深い人物にちなんでいる。

服部海山は、海洋地質学者の故・服部陸男氏にちなんだものである。服部氏はJAMSTEC在籍中、有人潜水調査船「しんかい2000」を用いた相模湾の化学合成生物群集の地質学的研究に取り組み、また3,000m級無人探査機「ドルフィン3K」の開発と実用化に携わった。井村海山群は、「しんかい2000」の支援母船である海洋調査船「なつしま」の初代船長に就任し、深海潜水船運航の確立に尽力された故・井村齊氏にちなんでいる。

承認・登録された海底地形名は、国際水路機関(IHO)/ユネスコ政府間海洋学委員会(IOC)海底地形名集に掲載され、世界中に周知される。すでに登録されているJAMSTECに在籍した人の名前を冠した海底地形名には、堀田海山、小林海盆・海嶺地形区、デシャン海山がある。

詳しくはJAMSTECのウェブサイトをご覧ください。
<http://www.jamstec.go.jp/ceat/j/topics/20170131.html>