

35 億年前のメタン生成菌をオーストラリアで発見

上野雄一郎

東京工業大学の上野雄一郎助手らは、西オーストラリアにある 35 億年前の地層の鉱物中に生物が作り出したメタンがあることを発見した。これは当時、すでにメタン生成菌が存在していたことを示し、これまでの記録を 7 億年も塗り替えるメタン生成菌の最古の証拠となった。この研究成果は Nature 3 月 23 日号で発表された。

生物進化に時間軸を入れる

Nature Digest — 今回の発見にはどんな意義があるのでしょうか？

上野 — 生物進化の解明と初期の地球環境の解明という 2 つの意義があります。まず生物学的意義ですが、生物の系統樹は現存する生物の遺伝子解析をもとに描かれています。この手法では、どれが原始的な生物かはおおまかにわかりますが、いつ分岐が起きたのかまではわかりません。今回、35 億年前の地層からメタン生成菌の証拠を見つけました。これはメタン生成菌が属する古細菌と大腸菌などが属する真正細菌が、当時すでに分岐していたことを示します¹。つまり、生物の進化に時間軸を組み入れた意味があります。

ND — 生命の最も古い痕跡として、38 億年前の化石が見つかっていると聞いています。

上野 — 1996 年にグリーンランドで発見されました^{2,3}。38 億年前の地層から採取した変成岩の中に炭状物質のグラファイトが入っていて、その炭素同位体^{*1}を分析したところ、生物由来の同位体組成だったのです。しかしこの状態では、それがどういう生物だったかはわかりません。私たちが知りたいのは「どの種類の生物が、いつごろ地球上に現れて、どのような場所に生息していたか」です。

ND — 初期の地球環境についてはどんなことがわかりましたか？

上野 — メタンは、二酸化炭素と同じく温室効果ガスです。大気中に微量しか含まれていませんが、温室効果は二酸化炭素の 50 倍もあります。いわゆる「暗い太陽のパラドックス^{*2}」は、初期地球の大気組成が現在とはまったく異なり、現在よりも温暖で液体の水が存在していたことを示しています。米国ペ

ンシルベニア大学のキャスティング博士たちは「もし、初期地球にメタン生成菌がいなかったなら、当時のメタン濃度は現在の 1,000 倍ほどだった」との計算結果を発表しました⁴。今回、メタン生成菌の証拠が見つかったことによって、地球を暖め、凍結から防ぐのにメタンが重要な役割を果たしたらしいことがわかってきました。

「流体包有物」からメタンを取り出す

ND — メタン生成菌をどのようにして発見したのですか？

上野 — 西オーストラリアのピルバラに近いノースポール地域にある 35 億年前の地層には、海底に向かって熱水が通っていた割れ目を埋める形でシリカ岩脈が形成されています（写真 1 参照）。海底付近は 0°C 程度の低温のため、海底下から熱水が上昇するにつれて水温がしだいに下がっていき、熱水に溶け込んでいた成分（シリカ、二酸化ケイ素）が結晶化したのです。その岩石を採取してきました。

ND — その中にメタン生成菌がいたのですか？

上野 — メタン生成菌そのものがいたわけではありません。たとえ鉱物の中にメタン生成菌がいたとしても、形だけを見て特定することは不可能です。メタン生成菌は古細菌に分類される、とても原始的でシンプルな生物体だからです。私たちは環境条件からメタン生成菌の存在を推測し、その生成物、つまりメタンそのものを特定しようとしてきました。結晶化してできたのは石英で、顕微鏡で水と気泡の「流体包有物」が見えました。気泡のほとんどは二酸化炭素でしたが、メタンもごく微量含まれていました（写真 2 参照）。メタンには、メタン生成菌が作るもの、マグマからの放出ガスに含まれるもの、地層中にたまった生物死骸の有機物に熱が加えられて放出されるものなどがあります。同位体分析でそれが微生物由来であることを確かめました。

ND — 今回の研究の成功の秘訣はどこにあったのでしょうか？

上野 — 目のつけどころです。どの種類の生物が初期地球にいたかを特定するのは、実に困難な仕事です。従来のように生物の細胞の形を研究するのではなく、生物活動によって生成された気体を岩石から取り出し、分析することで生物の種類を特定するという手法が成功を導きました。

また、流体包有物をこういった視点から分析した研究はこれまでありませんでした。もっと高温の地殻の火山活動を調べる

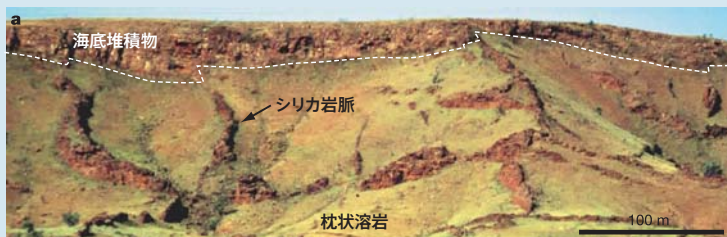
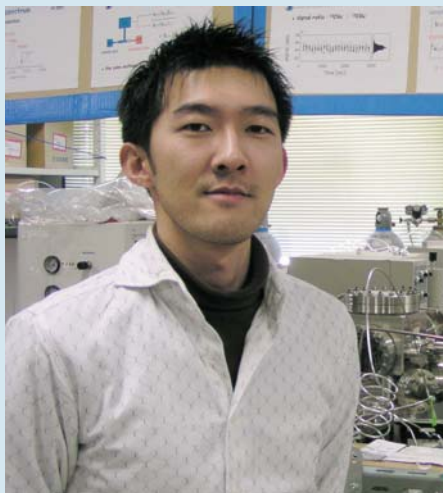


写真 1：西オーストラリア・ノースポール地域の 35 億年前の熱水性シリカ岩脈が地表に現れた現場の写真。点線より上の部分は当時の海底堆積物が堆積しており、堆積が起きた当時ここが海底面だった。その下は枕状溶岩でできている。海底に向かって熱水が通っていた当時の割れ目は現在鉱物で満たされ、シリカ岩脈とよばれる壁状の岩石となっている。



上野雄一郎（うえの・ゆういちろう）／東京工業大学地球史研究センター助手。理学博士。1974年、神奈川県生まれ。1997年、東京工業大学理学部卒業。2002年、同大学大学院地球惑星科学専攻博士課程終了。同年4月、東京大学総合文化研究科で日本学術振興会特別研究員、2004年12月から現職。

地球初期、特に太古代（40億～25億年前）の生物活動の痕跡を地質記録から読み取り、生物活動が当時の表層環境にどのような影響を与え、かつ環境変動とともにどのように進化したかについての解明をめざす。そのため、炭素や硫黄などの安定同位体を用いた地球化学、原核生物化石の古生物学、および地質学という3つの独立な知見から研究を行っている。



写真2：石英にみられる流体包有物。ほとんどが水だが、二酸化炭素とごく微量のメタン(矢印)も含まれる。

のに使われてきたのです。さらに流体包有物はひとつひとつが1ミクロンほどの大きさしかなく、そのほとんどが水で、メタン含量率は100万分の1にすぎません。その微量のメタンを岩石から取り出し、分析する技術を独自に開発したことが今回の成果につながったと思っています。

ND — どのような技術ですか？

上野 — まず、岩石から破砕法とよばれる方法でガスを取り出し、ガスクロマトグラフで水、二酸化炭素、メタンに分離します。岩石中のメタンの量は非常に微量なので、分析を行うためには大気中のメタン等、ほんのわずかな混入も許されません。そこで、まず岩石の洗浄法などを工夫して汚染なくメタンを岩石から取り出す方法を開発しました。さらに、メタンと二酸化炭素を別々に質量分析計で分析し、炭素の同位体である ^{12}C と ^{13}C の比率から、取り出したメタンが生物由来であることを確認しました。今、私が所属する研究室はこれまで大気や海水中に溶解している微量ガスの分析を行っており、岩石の研究をしたことはありませんでした。私の地質学の知識とこの研究室の微量分析技術を組み合わせたのです。

ND — もともと分析化学に興味があったのですか？

上野 — 私は以前、東京工業大学の地球惑星科学科で、初期地球の研究をしていましたが、昔の地球にどのような生物がいたかに興味があり、これまで7回、西オーストラリアの野外調査に参加しました。その際に採集した数多くの鉱物が東京工業大学に保管されています。これらのサンプルからどういった情報を取り出せるかに研究の軸足を移そうと、現在の分析化学の研究室へ移ってきました。

全球凍結イベントの原因を突き止めたい

ND — 今後はどのような研究を行う予定ですか？

上野 — 23億年前に初めての「全球凍結イベント^{*3}」があったといわれていますが、たいへん興味深いテーマです。なぜ23億年前に地球がまるごと凍結してしまったのか。その理由として、このイベントの直前に酸素を作り出す生物（光合成

生物）が出現し、地球に酸素が満ちあふれるようになり、酸素とメタンが反応してメタン濃度が急激に減り、温室効果が少なくなったからという仮説があります。これを実証するためには、全球凍結イベント前後のメタン濃度を調べなければなりません。今回と同じく、流体包有物からメタンを取り出す技術を使って、研究しようと思っています。西オーストラリアのほか、南アフリカの古い地層も利用する予定です。

ND — 地球外生命体の研究にも、この手法は使えるのでしょうか？

上野 — この種類の研究は、最近日本でも始まりましたが、米国では「アストロバイオロジー^{*4}」と称して以前から盛んに行われています。今のところ、私たちは地球以外の天体についての研究はしていません。しかし、太古の地球は現在の地球とは異なる星といえます。大気組成、海のような、生息している生物もまったく異なります。過去の地球を研究するなかで培われた手法は、地球外天体の研究にも十分応用できると考えています。将来を見据えて、今はまず地球の過去を研究しているというところです。

ND — ありがとうございました。 ■

聞き手は三森八重子（ジャーナリスト）。

*1 炭素には原子量が12 (^{12}C) と13 (^{13}C) の安定同位体とがある。生物体は軽い ^{12}C のほうを取り込みやすい性質があるため、メタンに含まれる炭素の同位体組成を調べることで、それが生物由来かどうかわかる。

*2 数十億年前の太陽は現在の70～80%の明るさしかなかったため、当時の地球の大気組成が現在と同じであったなら、地球は完全に凍りついていたはずだ。ところが実際には、現在よりも暖かで液体の水も存在したと考えられている。この矛盾を「暗い太陽のパラドックス」とよぶ。

*3 地球全体が厚さ1キロメートル以上の厚い水で覆われた状態になってしまうこと。46億年前に地球が誕生して以来、約23億年前と7～6億年前の2度起きたといわれている。

*4 宇宙との関連から生命の起源を探り、地球上での生命の起源と進化だけでなく、ほかの天体に生命が存在するかどうかなどについて、ケムレベルから銀河系のレベルまでで探求する新しい学問。

1. Ueno, Y. et al. *Nature*, **440**, 516-518 (2006)
2. Mojzsis, S. J. et al. *Nature*, **384**, 55-59 (1996)
3. Rosing, M. T. *Science*, **283**, 674-676 (1999)
4. Kasting J.F. *Precambrian Research*, **137**, 119-129 (2005)