

【和鉄の道・Iron Road 2024】【地球46億年 鉄と生命誕生の関係模索 資料収集の手始めに】

＜ 2024 年 7/18 ニュース7とニュースウォッチ 9

「 20 億年前 ” 地球最古の微生物？ 生命の起源に迫る重要な発見か この岩の中に？」

<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240718/k10014514831000.html>

つい最近 NHK のサイエンス番組で地球の生命誕生に迫る大発見を伝える番組で

大発見チームの主要メンバーのひとり東京大学理学部の鈴木庸平准教授の語る番組を視聴しました。

“ 20 億年前 ” 地球最古の微生物？ 生命の起源に迫る重要な発見か

2024 年 7 月 18 日 18 時 30 分サイエンス

南アフリカの地下に広がる 20 億年前の地層から、生きているとみられる微生物を採取することに東京大学の研究チームが成功しました。

「まるで“玉手箱”を開けるような感覚に近い」(専門家) これまでに見つかった最も古い生きた微生物は、およそ 1 億年前のものです。

今後の解析などで 20 億年前の生物と確定すれば、科学界最大の謎の 1 つともいわれる地球の生命の起源や進化に迫る重要な発見になる可能性があります。



“20億年前”地球最古の微生物？ 生命の起源に迫る重要な発見か

[2024.7.18.NHK ニュースより採録](#)

目次 ・ 鈴木准教授「天と地がひっくり返る発見」 ・ 20 億年前の地層とは？

東京大学理学部の鈴木庸平准教授はことし 5 月、南アフリカの北東部に広がる「ブッシュフェルト」と呼ばれる岩石の地層を掘削する国際研究プロジェクトに参加しました。

「ブッシュフェルト」は、クロムやプラチナといったレアメタルの世界有数の産出場所として知られるとともに、20 億年前に地球の地下深くにあるマントルが上昇して地殻に入り込んで形成された極めて特殊な場所です。

先月までに深さ 500 メートルまで掘り進められていますが、これまでに採取された岩石を鈴木准教授が国内に持ち帰って詳しく観察した結果、岩の内部の亀裂付近を中心に多数の微生物が確認できたということです。

さらに特殊な装置で分析したところ、DNA を含んだ細胞が見つかり、細胞内からは生きた生物が作り出すたんぱく質も検出されたことから、見つかった微生物は岩の中で“生きている”とみられることも確認できたとしています。



【地球46億年 鉄と生命誕生の関係模索 資料収集の手始めに】

「 20 億年前 ” 地球最古の微生物？ 生命の起源に迫る重要な発見か この岩の中に？」

【PDF Web File】 <https://infokkna2.com/ironroad2/2024htm/2024iron/24iron04.pdf>

【スライド動画】 <https://infokkna2.com/ironroad2/2024htm/iron20/R0608OriginLifeNHKNews0718.mp4>

添付 Internet 収集資料

海洋研究開発機構(JAMSTEC)HP 連載 「生命の起源」ほか

研究チームによりますと、掘削が行われた地層は現在にいたるまで安定していることがわかっていて、20億年前の原始的な微生物が岩の中で生き残っていた可能性が高いとしています。

これまでに見つかった最も古い生きた微生物の記録は、海底の堆積物などから見つかったおよそ1億年前ということで、20億年前はこれを大幅にさかのぼることになります。

研究チームは今後、ゲノムを解析し、20億年前の微生物かどうか確認した上で遺伝情報を詳しく調べて地球の生命の起源や進化の歴史を明らかにしたいとしています。

鈴木准教授「天と地がひっくり返る発見」

東京大学理学部 鈴木庸平 准教授

「いままで知られている生物とは全く違う可能性があり、生物界にとって天と地がひっくり返る発見になるかもしれない。20億年前の生物は当時の情報をたくさん持っていると考えられ生命誕生の謎を解く上での重要な糸口になることを期待している」

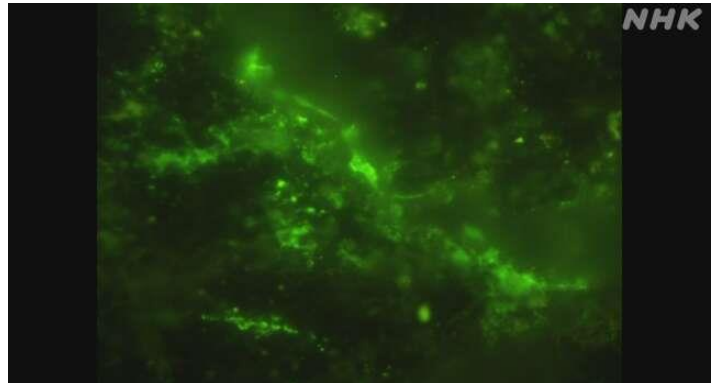
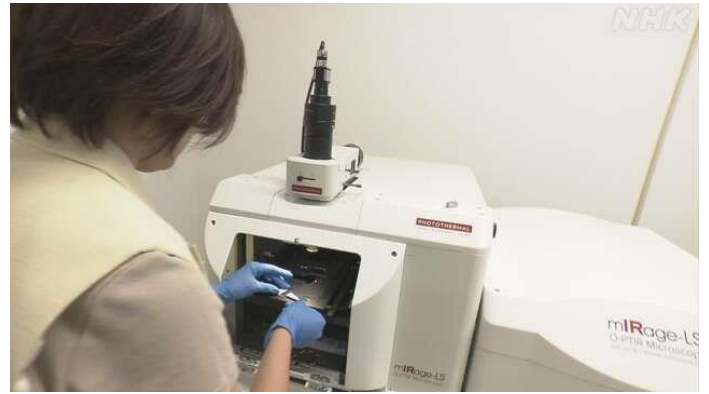
20億年前の地層とは？

掘削調査が行われたのは南アフリカの北東部に位置する「ブッシュフェルト」と呼ばれる場所です。

この場所は20億年前に東西に480キロ、南北に240キロ、深さ8キロにわたって地下の高温のマントルが上昇して大規模な岩石の地層を形成したと考えられている地球上でも極めて特殊な場所です。

一方、この場所でこれまで本格的な掘削調査が行われたことはなく、今回、およそ1年かけて深さ2.5キロまで掘削し地層の成り立ちや詳細な構造を明らかにしようとするプロジェクトをICDP＝国際陸上科学掘削計画のチームが立ち上げました。

プロジェクトには世界各国の研究者が参加し、岩石や地質などの調査が分担して行われ、日本からは「地下微生物学」のエキスパートとして東京大学の鈴木准教授がメンバーに選ばれました。



注目される地下生命圏 そのワケとは？

地下に生息する微生物はここ最近、急速に注目されている研究分野です。

これまで地下は酸素がなく光が届かない上、栄養もほとんどないことから、生物がすめない過酷な環境だと考えられてきました。

しかし、近年、分析技術の向上によって地下には大量の微生物が生きていることが明らかになり、その量は地上や海の中の微生物の総量を上回るとみられていて、地下が生命誕生の場の新たな候補としても注目されるようになりました。

どうやって岩の中で生きている？

こうした地下の生態系を支えるメカニズムの1つに「蛇紋岩化反応」と呼ばれる岩と水との反応があります。

この反応が起きると岩からは水素やメタンなどが生成され、それらをエサにすることで岩の中の微生物は長期間にわたって生き続けることが知られています。

特に南アフリカの地下の岩石はこの蛇紋岩化反応が起こりやすい「かんらん石」と呼ばれる鉱物が豊富に含まれていることがわかっていました。



”地下で進化せず 20 億年前の当時の姿に”

微生物の調査が、数十億年前のレベルの古い地層で行われた例はこれまでなかったということで、鈴木准教授は南アフリカの地下の岩石には 20 億年前当時すみついた微生物がいまも生き続けている可能性があると考えていました。

また別のグループの研究で地下の微生物のほとんどは増殖する速度が極めて遅く、少なくとも 1 億年程度では進化しないこともわかっているため、今回見つかった微生物もほとんど進化せずに 20 億年前の当時の姿をとどめている可能性が高いとみています。

「生命の起源」の謎を解明する糸口に

【最大の謎 “生命の起源”】

今回の発見は科学界最大の謎の1つともいわれる「生命の起源」の解明に向けた研究を大きく前進させる可能性があります。地球上に生命が誕生したのはいまからおよそ 40 億年前と推定されていますが、生命がどこで、どのように誕生したのかはいまも論争が続いています。

これまで深海の熱水噴出孔や陸上の温泉などが生命誕生の場の有力な候補として挙げられ、体の中に「核」をもたない単純な構造をした「原核生物」の仲間が最初に誕生したと考えられています。

そして、およそ 20 億年前に細胞の中に「核」をもつ真核生物が誕生し、長い年月をかけて私たち「ヒト」や動物、植物などへと進化していったと考えられています。

【“生きている”微生物の意義】

こうした進化については、おもに生物のわずかな痕跡や化石などから推定されてきました。

現時点で確実に生物の痕跡とされているものは 27 億年前のものが最古とされていて、それ以前のものについては科学者の間でも意見が分かれています。

ただ、生物の化石などからはよほど保存状態が良くないかぎり DNA を読み取ることができないため、当時の生物の詳しい生態や遺伝情報まではわかりません。

しかし、今回見つかった微生物は生きてるとみられるため、DNA やゲノムを解析することが可能です。このため、この微生物が 20 億年前からほとんど進化していなかった場合、地球に誕生した初期の生物の特徴を色濃く残している可能性が高く、研究チームは「生命の起源」の謎を解明する糸口になるかもしれないと期待しています。

岩盤が地上の微生物が混じる“汚染”を阻止

地下の微生物を調査するうえで最も注意が必要なのは、地上の微生物が混ざってしまうことによる“汚染”です。今回、調査が行われた「ブッシュフェルト」は地下深くまで固い岩盤の地層が幾重にも重なる構造をしています。鈴木准教授はこの重なった岩盤が地上からの水や微生物の侵入をくい止めるとともに、20 億年前にすみついた微生物を岩の中に閉じ込め続ける役割も担っていると考えています。

調査では徹底した“汚染”対策も

今回の調査では、回収された岩を、ただちに地上で清潔な水で洗淨したあと、表面をガスバーナーで加熱し、真空状態で袋詰めにして低温で保管します。

さらに念を入れた対策も講じられました。

通常、掘削する穴の中にはドリルを円滑に作動させるための水が加えられますが、鈴木准教授はこの水の中に一般的な微生物よりもやや小さな 0.3 マイクロほどの「蛍光ビーズ」を大量に混ぜました。

この「蛍光ビーズ」は紫外線に反応するため、最終的に岩の中を分析する前に紫外線を当てることで水が岩の中まで浸透していないかを目視で確認することができます。

もし岩の中で「蛍光ビーズ」の反応が確認された場合は、現代の微生物に汚染されている可能性があるとして分析からは除外し、こうした基準をクリアした試料だけを分析する手法を採用しました。

これによって今回確認された微生物が、岩の中に閉じ込められたものだと分かるということです。

専門家「“玉手箱”を開けるような感覚」

生命の起源や進化の研究を専門にしている東京工業大学の藤島皓介准教授は「20 億年前の岩石や鉱物は地球上にたくさんあるが、その中に閉じ込められて生きている微生物がいるというのは聞いたことがない。

20 億年前となると桁違いであり、ほとんど進化していない過去の微生物を見ることはまるで“玉手箱”を開けるような感覚に近く非常に貴重なものだ」と話していました。

そして「本当に 20 億年前の微生物かを確認するためには今後、ゲノムを解析する必要があるが、それによって同時に遺伝情報も明らかになり、どのような進化の歴史をたどってきたのかがわかる」と指摘した上で、「今回の研究は地球の生命の起源と進化に迫るだけではなく、火星など、他の惑星の地下にいまも岩石の中にトラップされ生き続けている微生物を見つけることにもつながるかもしれない」と期待を寄せていました。



【資料収集メモ】 地球46億年 鉄と生命誕生の関係模索の手始めに

今 大きく変わりつつある「生命の起源」の研究

ばらばらの資料収集 今回はまだ整理ついていませんがお許しください。 2024.7.23. Mutsu Nakanishi
「“20億年前”地球最古の微生物? 生命の起源に迫る重要な発見か この岩の中に?」

<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240718/k10014514831000.html>

つい最近 NHK のサイエンス番組で地球の生命誕生に迫る大発見を伝える番組で

大発見チームの主要メンバーのひとり東京大学理学部の鈴木庸平准教授の語る番組を視聴

“20億年前”地球最古の微生物? 生命の起源に迫る重要な発見か

南アフリカの地下に広がる20億年前の地層から、生きてるとみられる微生物を採取することに東京大学の研究チームが成功。「まるで“玉手箱”を開けるような感覚に近い」とNHKのhome pageにも紹介。

NHK web News 2024年7月18日 18時30分発信



“20億年前”地球最古の微生物? 生命の起源に迫る重要な発見か

南アフリカの地下に広がる20億年前の地層から、生きてるとみられる微生物を採取することに東京大学の研究チームが成功しました。

「まるで“玉手箱”を開けるような感覚に近い」(専門家) これまでに見つかった最も古い生きて微生物は、およそ1億年前のものという。

今後の解析などで20億年前の生物と確定すれば、科学界最大の謎の1つともいわれる地球の生命の起源や進化に迫る重要な発見になる可能性がある。

「鉄の惑星 地球」の生命体の起源へ迫る大発見。

「鉄」をキーワードにまとめてきたHP「和鉄の道・Iron Road」でも、生物の生命維持のシステムや地球を覆う大気中の酸素形成等々密接な役割を演じる「鉄」などについて紹介してきました。

その原点「鉄の惑星 地球の生命の起源・生命体誕生」にも「鉄」が重要な役割を演じていたのではないかとぼんやりと機会があれば調べてみたい。でも「鉄」と「生命の起源」が本当に結びつくのか? 知識は全くなし。取り掛かりを考えあぐねているときに知った上記の記事。

まず「生命の起源」をキーワードにして、最新の研究資料を集め、「鉄」とのかかわりを探ることでの第一歩。

■ 海洋研究開発機構(JAMSTEC)のHP「生命の起源」をキーワードにした最新の研究のレビュー連載 JAMSTEC BASE、海洋研究開発機構(JAMSTEC)のHPにも「生命の起源」をキーワードにした最新の研究のレビューが連載を見つけました。今までの定説を突き破った新しい成果がHP上に連続掲載されている。まだまだ、良く理解できませんが、「和鉄の道・Iron Road」これらの資料の転載紹介する事から、「地球生命体と鉄」の関係探求ののっかかりに。

◆ 海洋研究開発機構(JAMSTEC)のHP <https://www.jamstec.go.jp/j/pr/about/>

■ 【動画：特別解説】人類と鉄の邂逅—隕鉄から錬鉄へ—：人類史最古の鉄器はどうやって作られたのか? 愛媛大学 村上恭通教授らが「隕石鉄器加工の実際」についての研究プロジェクト【人類・鉄創世記プロジェクト】を立ち上げられた。

既に人工鉄の起源と鉄器時代の展開については広く明らかにされてきたが、鉄器の使用は古く青銅器時代からあり、隕石鉄器が現れるが、隕石鉄器加工の実態もよくわからず、隕石鉄器の鉄器加工の実態を明確にしたいという、興味津々で資料等フォローしたいと考えています。



【特別解説】人類と鉄の邂逅—隕鉄から錬鉄へ—：人類史最古の鉄器はどうやって作られたのか? 愛媛大学アジア古代産業考古学センター長の村上恭通教授

考古学者・日本刀の刀匠・鍛冶師がタッグを組み、隕鉄製鉄器を復元・分析、世界最古の隕鉄鍛造技術の謎に迫るプロジェクト【人類・鉄創世記プロジェクト】

◆【特別解説】人類と鉄の邂逅—隕鉄から錬鉄へ—:人類史最古の鉄器はどうやって作られたのか？

<https://www.youtube.com/watch?v=1dKCXMc520k>

■ インターネットからの資料収集中に、もうびっくり。ふと目にしたこんな話の紹介
宇宙に人工衛星、宇宙基地での研究も進み、月や他の惑星からの岩石を持ち帰りも実現可能な時代へ
名前はよく知る「隕鉄のウイドマンシュテッテン模様」についてこんな話がある。

真空に近い空間 極低温の空間なれども熱伝導物質は???

冷却はほとんど進まず、凝固するには何億年もかかるのだと初めて知る

＜ 惑星が飛び交う宇宙から地球に落ちた鉄隕石に見られるウイドマンシュテッテン模様

AWNL Japan ウイドマンシュテッテン構造～壮大な宇宙の秘話 より

<https://www.awnl-japan.com/blogs/the-journal/widmansatten-pattern-secret-words-from-outer-space>

◆ 鉄のウイドマンシュテッテン構造とその模様

隕石に現れるウイドマンシュテッテン組織模様の形成には約二千万年から二億年がかかるという。まさに神の領域 地球上では再現できぬという

ええ～ 驚きました。絶対零度に近い宇宙空間と思うのですが、

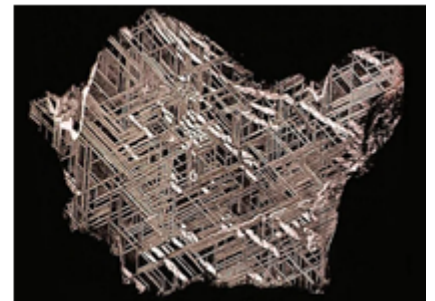
考えてもみなかった宇宙空間での星の変化の実像

宇宙の火の玉は溶融から凝固までこんなに時間がかかるのか

星の寿命 地球だって 内部は火の玉…… こんなことも頭も頭によぎる。

ウイドマンシュテッテン構造は、隕石の溶融コアが宇宙で長い時間をかけて冷却されてから形成される。結晶構造は、最初の隕石前駆体にある鉄ニッケル溶融物の化学形成とその冷却速度による。

結晶粒は 1000 年に 1°C 下がるという非常に長い冷却プロセスを経て形成される。鉄石の共生は、時間、圧力、温度の完璧な結合によるもの。これら巧緻な 8 面体の鉄隕石にあるウイドマンシュテッテン構造の形成は約二千万年から二億年かかる。



AWNL Japan ウイドマンシュテッテン構造～壮大な宇宙の秘話 より

こんなブラックボックスだらけの鉄隕石を鉄器に加工する技術が、青銅器時代にすでにあり、数多くの鉄隕石加工鉄器が存在。しかも宇宙でしかできぬ構造を有している想像もつかぬ鉄隕石の構造でも人工鉄の鉄鍛冶技術が確立するはるか前に鉄隕石から鉄器が作られているという。愛媛大学 村上恭通教授らが隕石鉄器加工の実際についての研究プロジェクト【人類・鉄創世記プロジェクト】を立ち上げられ、この人工鉄による鉄器技術のはるか前から存在した鉄隕石加工技術の解明にも興味津々でいる。

◆ 今回 たまたま NHK TV でみた下記の番組

「“20 億年前”地球最古の微生物？ 生命の起源に迫る重要な発見か この岩の中に？」

<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240718/k10014514831000.html>

◆ この生命の起源に迫る大発見の中身を知るため、インターネット検索中にみつけた

JAMSTEC BASE は、海洋研究開発機構(JAMSTEC) の

「生命の起源」をキーワードに数々の新しい研究成果を紹介しているページ

海洋研究開発機構(JAMSTEC) の HP <https://www.jamstec.go.jp/j/pr/about/>

上記インターネット検索サイトで見つけた資料を転記紹介する事で、

「鉄」と生命体起源の関りの資料あ弦の発端とさせていただきます。

また、村上恭通教授たちの取組についても別途資料にまとめて紹介したい。

興味津々の「生命の起源」と「鉄」との関係への思い どうなるかわかりませんが 勉強の第一歩です

2024.7.20. Mutsu Nakanishi

◆ 光合成を行う生物はいつ誕生したのか？

地球生命史年表が書き変わる大発見に迫る！

<https://www.jamstec.go.jp/j/pr/topics/explore-20240626/>

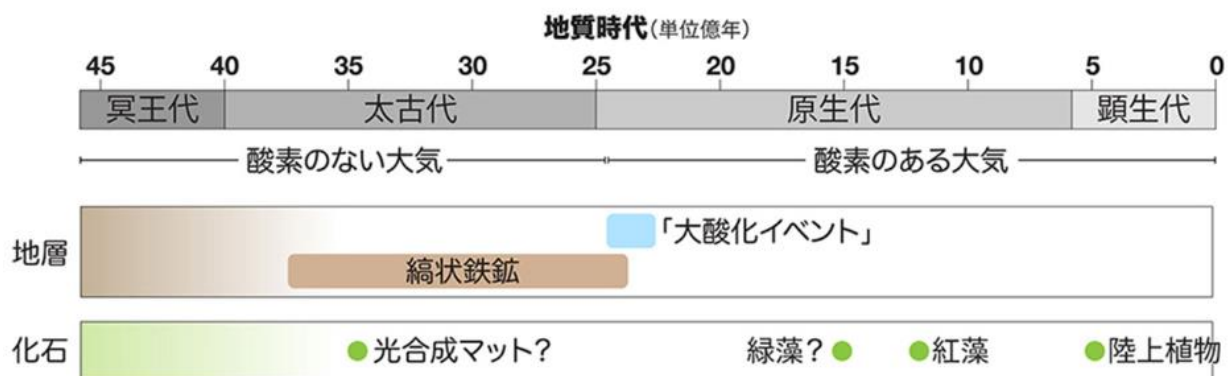
これまでに見つかった最も古い生きた微生物は、およそ1億年前のものです。

今後の解析などで20億年前の生物と確定すれば、科学界最大の謎の1つともいわれる地球の生命の起源や進化に迫る重要な発見になる可能性があります。

「地球誕生は約46億年前 その地球の25億年前の岩の中に生きている生物確認の大発見!!!」

最初の生命はいったいどこで生まれたのか？

この大いなる謎は長年、研究者たちを悩ませてきました。これまでにさまざまな説は提唱されましたが、



地質時代と大酸化イベント (図版提供: JAMSTEC)

植物は光合成をしています。では、この光合成を行う生物はいつ誕生したのでしょうか？

科学に詳しい方なら、およそ25億年前にシアノバクテリアが酸素をつくるようになって……と答えるかもしれません。

しかし、その仮説が変わる大発見をしたのが、国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)超先鋭研究開発部門 超先鋭研究開発プログラム主任研究員の延優(Masaru K. Nobu)さんです。



延優主任研究員 (撮影: 神谷美寛 / 講談社写真部)

生命はなぜ光合成をはじめたのか？ それはいつ、誰がはじめたのか？

この問いから地球生命年表を書き換える大発見についてくわしく紹介します。

(取材・文: 岡田仁志)

目次

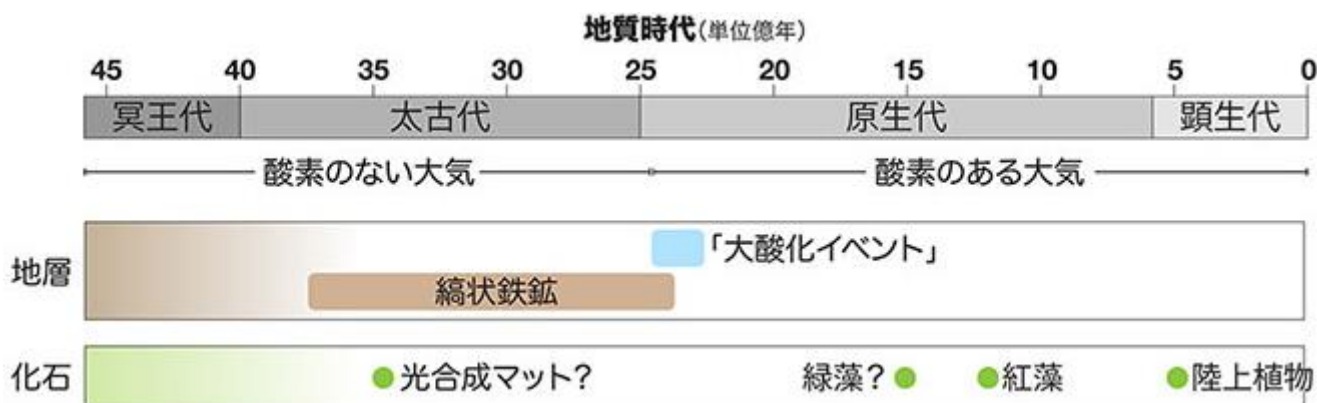
1. [地球史や生命史における大テーマ「酸素生成」](#)
2. [24億年より前に酸化した鉄がある理由は？](#)
3. [酸素を使わずに鉄を酸化する微生物が！](#)
4. [シアノバクテリアが大気を酸素に変えたのか？](#)
5. [そもそも「光合成」ってどんな仕組み？](#)
6. [酸素発生型と酸素非発生型の光合成の違いは？](#)
7. [「生命の進化」と「生命の持つ機能の進化」とは](#)
8. [最新データによるバクテリアの進化系統樹](#)
9. [進化系統樹のミッシングリンクに挑む！](#)
10. [10万種以上の微生物のゲノム情報を解析した結果は](#)
11. [酸素生成型光合成の起源が見えた！](#)

1. 地球史や生命史における大テーマ「酸素生成」

— 現在の私たちは酸素なしに生きられません、大昔の地球の大気には酸素がなかったといわれています。

地球の環境が激変したのは、光合成をする生物が登場したのが原因だと考えてよいのでしょうか？

地質学的には、およそ 24 億年前に「酸素のない地球」から「酸素のある地球」に変わったことがわかっています。そのころに何らかの「大酸化イベント」が起きたと考えられているんですね。



地質時代と大酸化イベント(図版提供:JAMSTEC)

そして、酸素を生成する能力は、生物の光合成以外にはほとんどありません。それが大気の化学組成をガラッと変えたのですから、光合成の進化は地球史上でも最大の事件といえるでしょう。

その進化がいつ、どのように始まったのかは、地球史や生命史における大テーマです。

でも微生物は化石をほとんど残さない。残している場合でも容姿だけでは誰の化石か判別できないので、24 億年前に光合成をする生物が存在したかどうかはわかりませんでした。

ここでいう微生物は原核生物を指します。

光合成をする緑藻や紅藻などが化石で確認できるのは、だいたい 15 億年前からです。

もっと昔の 35 億年前の化石からは、光の届く水深に微生物がいたことがわかっていますが、それが光合成をしていたかどうかは定かではありません。

35 億年前から 15 億年前までのあいだに光合成がどのように進化したのかは、地質学的な情報や化石などからは追うことができないんです。

2. 24 億年より前に酸化した鉄がある理由は？

ちなみに、光合成は必ず酸素をつくるわけではありません。

酸素を発生する光合成と、酸素を発生しない光合成の 2 種類があるんですね。

そのどちらが先に生まれたのかも大きな謎なのですが、それを知るうえで重要な手がかりになるのが、37 億年前から 24 億年前までの地層に見られる「縞状鉄鉱」です。

鉄とシリカをベースとした層が縞を描くように交互にできているんですが、その縞状鉄鉱の中にあるのが「酸化された鉄」なんです。これは、地質学者から見るとすごく奇妙なことでした。

北アメリカで発見された縞状鉄鉱層の岩石。

重さは約 8.5 トン、高さ約 2 メートル、幅約 3 メートル、厚さ約 1 メートル。



ドイツ国立鉱物地質博物館所蔵(André Karwath)

—— 酸素のない時代にできたものですからね。

はい。酸素が鉄と無機的に反応して、酸化した鉄ができるわけです。

現存する生物の中には鉄を酸化する能力を持つものがありますが、その大半は酸素を必要としているんですね。いづれにしても、37 億年前～24 億年前の地層に酸化した鉄があるのはおかしいわけです。

3. 酸素を使わずに鉄を酸化する微生物が！

しかし数十年前に、酸素を使わずに鉄を酸化する微生物が見つかりました。

光のエネルギーを使って、鉄を酸化する能力を持っているんです。

この微生物は、光合成をするけれど、酸素は発生しない。

37 億年前の地球にこのタイプの微生物がいたとすれば、酸素のない時代に縞状鉄鉱がつけられたことも説明ができます。もしそうだとすると、まず先に「酸素を発生しない光合成」が 37 億年前から存在していて、24 億年前に「酸素を発生する光合成」が進化したように見えますよね？

でも、それを裏づける証拠はありません。地質学の世界でも、「縞状鉄鉱の鉄を酸化させたのが本当に生物なのかどうかは疑わしい」という議論がありました。

その議論に決着をつけるには、地質学的な情報だけでなく、生物の遺伝子の情報、つまり分子情報による裏付けが必要です。それが得られれば、冥王代から原生代の始まりまで約 20 億年ぐらいの地球の歴史がわかるでしょう。

4. シアノバクテリアが大気を酸素に変えたのか？

—— 一般的には、シアノバクテリア(藍藻)の出現によって

地球の酸素濃度が一気に高まったといわれていますが。

たしかにシアノバクテリアの大繁殖によって酸素濃度が高まったと思われませんが、それが酸素を発生する光合成の始まりかどうかはわかりません。別の微生物が酸素を発生する光合成を初めて開発し、それを受け継いだのがシアノバクテリアなのかもしれませんよね。

それ以前の問題として、酸素発生型の光合成と酸素非発生型の光合成のどちらが先に生まれたのかもわからない。今回の研究では、それらの問いに答えを出すことができました。

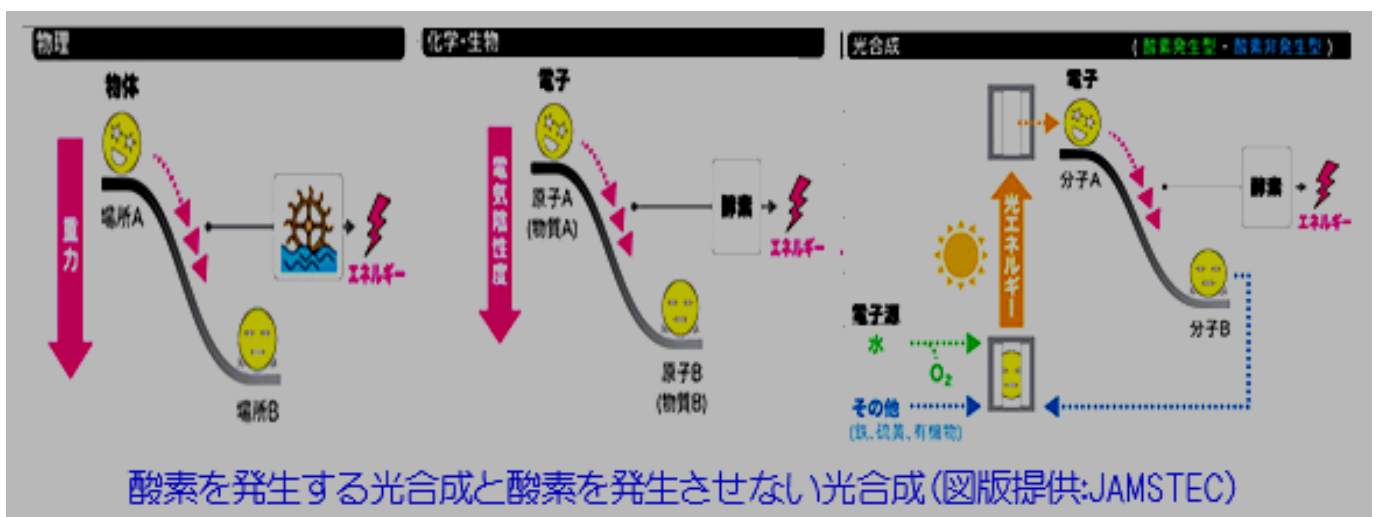
—— それはすごい！……で、どんな結論が出たのですか？

それを理解するには、いろいろな背景を知る必要があるので、ちょっとお待ちください(笑)。

やや遠回りにはなりますが、まずは、われわれ生物が生きるためのエネルギーを獲得する仕組みについて説明しましょう。光合成は、そのために生物が編み出した方法のひとつですからね。

5. そもそも「光合成」ってどんな仕組み？

生物は複雑な仕組でエネルギーを獲得していますが、その根本的な原理は単純な物理と変わりません。



物理では、図のように場所Aにある物体には重力によって位置エネルギー(ポテンシャル・エネルギー)があると

考えます。高い場所から低い場所に落ちると、それが運動エネルギーになる。たとえば水力発電は、それを人間が使うことのできる電気エネルギーに変換しているわけです。

化学や生物の世界で起きていることも、構図はそれと同じ。

ある場所にある物質 A(電子)にポテンシャル・エネルギーを与えているのは、重力ではなく電気陰性度(原子が電子を引き寄せる強さの相対的な尺度)です。

生物は、電子が動くときに放出されるエネルギーを、酵素を介在させることによって、自分たちが活用できるエネルギーに変えている。ごく簡単にいえば、これが生物のエネルギー獲得システムです。

では、光合成はどのような仕組みなのか。

生物は基本的に高エネルギー電子を持つ分子がなければエネルギーを得られません。一方で、光合成は、図のように、光エネルギーによって低エネルギー電子を高エネルギー状態まで運び上げてしまうんです。

なので、他の生物が通常エネルギーの源にできない分子(水、鉄、硫黄、有機物など)さえも利用できます。それをくり返すのが、光合成です。

これは生物にとっては、ものすごく大きな「発明」ですよ。

われわれのように光合成をしない生物は、もともと高いエネルギーを持つ分子がなければ、エネルギーを得られません。しかし光合成は、光エネルギーを使うことで、どこにでもある電子を高いエネルギー状態に引き上げて、それを転がすことができる。

生物にとっては、ものすごく大きな「発明」ですよ。

6. 酸素発生型と酸素非発生型の光合成の違いは？

—— 酸素発生型と酸素非発生型の光合成は、どこが違うのですか？

電子源が違うだけです。

酸素発生型は水、非発生型は水以外の分子から電子を引き剥がして、光を使ってエネルギー状態を上げている。酸素非発生型の中には、下に落として低エネルギー状態になった電子をまた光エネルギーで上げて下に転がす……ということをくり返している生物もいます。

ただグルグル回しているだけですが、あいだに酵素を挟むことで必要なエネルギーを生産できているので、光のみでエネルギーを確保できてしまうんです。

これは、揚水発電とまったく同じ仕組みなんです。日中にソーラーパネルで集めた光エネルギーを使って水を持ち上げて、夜のあいだにその水を流して発電する。工学者たちが揚水発電を発明してくれたことで、光合成の説明がしやすくなりました(笑)。

7. 「生命の進化」と「生命の持つ機能の進化」とは

さて、光合成の仕組みはそういうものなのですが、問題は酸素発生型と酸素非発生型のどちらが先に地球上で開発されたのか、ということでした。

それを調べるためには、「生命そのものの進化」と「生命の持つ機能の進化」の両方を考える必要があります。というのも、生命の進化と機能の進化は必ずしも一対一で紐づいているわけではありません。

機能は、特定の生物種によって独占的に発達・進化されることもあれば、また、様々な生物種を飛び回るうちに変化することや、複数の生物が進化した他能力と融合することもあります。

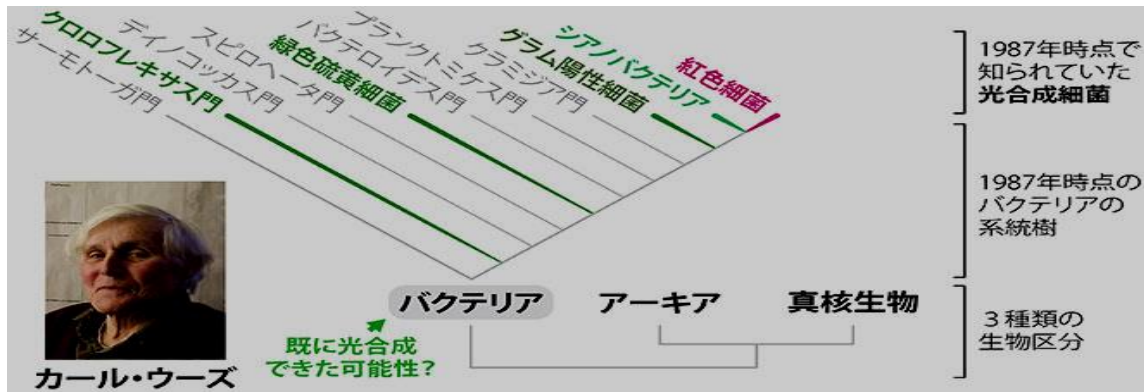
だからこの分野には、生命そのものの進化を調べる研究者と機能の歴史を調べる研究者がいるのですが、その成果を別々に見ているだけでは、進化の全体像を把握できません。

両方を連動させたほうが、より大きなものが見えてくるはずですよ。

そこで僕は今回の研究で、生命そのものの進化と機能の進化をつなげるような解析手法をメインとしました。

——つまり、バクテリアの進化と光合成という機能の進化を調べて、両者を結びつけるようなイメージですね。

そういうことです。バクテリアの進化については、1987年にイリノイ大学のカール・ウーズ博士が生物を「バクテリア・アーキア・真核生物」という3つのドメインに分けたことから、大きく進展しました。



3つのドメインと生命の進化。図左上がカール・ウーズ博士(図版作成:JAMSTEC)

じつは僕も、イリノイ大学の出身なんですよ。

カール・ウーズは僕が入学して間もなく亡くなってしまいましたが、アーキア(古細菌)とバクテリアの違いに気づいて生物を3つに分類したのは、きわめて大きな意義があったと思います。

8. 最新データによるバクテリアの進化系統樹

——しかし延さんは、海底堆積物の中から見つかった「MK-D1」というアーキアの研究を通して、人類を含む真核生物の祖先がアーキアである可能性を指摘されたんですね。

そうすると、生物のドメインはバクテリアとアーキアの2つになるかもしれない。

はい、そうなんです。そこはまだいろいろな議論がありますが、いずれにしても、バクテリアとアーキアが別のものであることは間違いありません。

そして、カール・ウーズの分類にしたがって、アーキアとは異なるバクテリアの性質を調べてみたところ、その多くが光合成の機能を持っていることがわかりました。

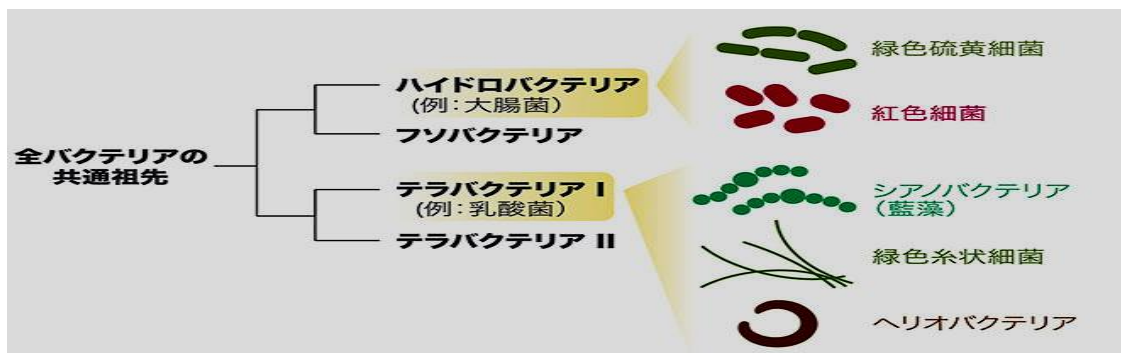
そのため当時は、バクテリアは最初から光合成ができたのだらうと思われたんですね。

しかしその後、培養技術や遺伝子解析の進歩で多様なバクテリアの研究が進んだ結果、光合成できるバクテリアはむしろ系統的にマイナーな存在であることがわかってきました。

ちなみに最新の系統分類では、バクテリアは4種類に分けられます。「ハイドロバクテリア」、「フソバクテリア」、2種類の「テラバクテリア」(ここでは「テラバクテリアI」「テラバクテリアII」とします)です。

(最新の名前はそれぞれ Pseudomonadati, Fusobacteriati, Bacillati, Thermotogati)。

これは「ドメイン」の下の「界」レベルの分類ですが、その中で光合成細菌を含むのは「ハイドロバクテリア」と「テラバクテリアII」の2種類だけです。



バクテリアの進化の系統(図版提供:JAMSTEC)

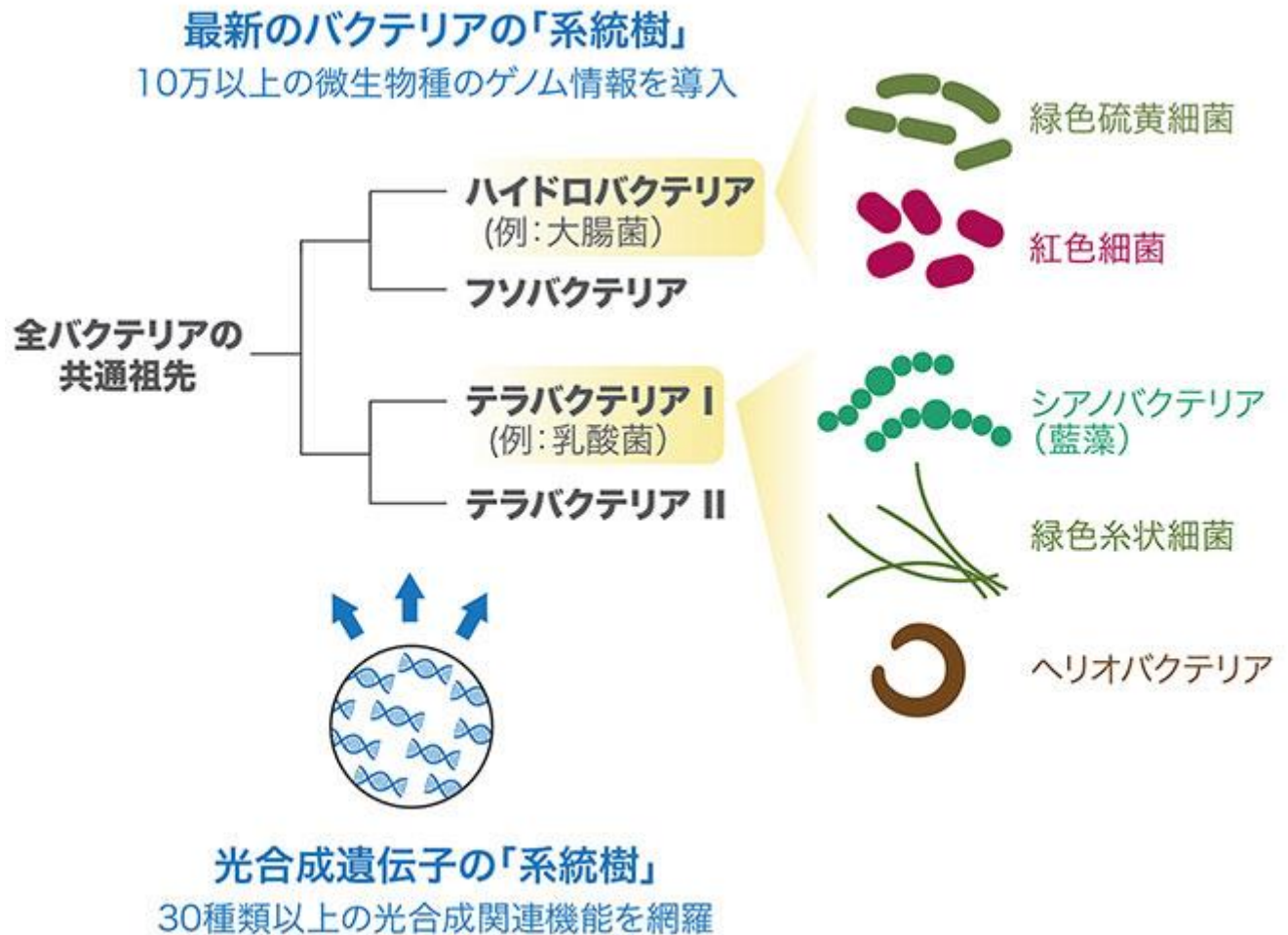
さらにその下の「門」レベルでは100種類ぐらいに分けられますが、その中で光合成できるものは、10分の1程度しかありません。もしバクテリアの祖先が光合成の能力を持っていたとしたら、それがバクテリア世界の少数派になるのは不自然にも思えますよね。

そこで多くの専門家たちが、あらためてバクテリア全体の系統樹を描こうと試みました。ところがどう描いても、光合成をするバクテリアが系統樹の深いところ、つまり祖先に近いところに来ないんですね。光合成遺伝子が系統樹のどこかに現れては、途中で消えていくので、それがどこから受け継がれてきたのかをたどれないんです。

◆ [3つのドメインやMK=D1 について詳しく知りたい方はこちらも「生物学最大の謎を解く世界初の「アーキア培養」はこうして成功した」](#)

9. 進化系統樹のミッシングリンクに挑む！

—— 遺伝子は上の世代から下の世代に継承されるものなのに、つながらないんですか？
バクテリアは別の種類同士で機能を交換したり、一方的に受け取ったりするんです。
だから、ある機能をバクテリア A がバクテリア B に渡した後、バクテリア A の子孫がその機能を失うと、
バクテリア B のその機能がどこから来たのかわからなくなるんですよ。



バクテリアの進化系統樹と光合成の謎(図版提供:JAMSTEC)

遺伝子情報を過去から現在まで線でつなぐことができないため、いまから 5 年ほど前に、「光合成の進化は遺伝子情報からはわからない」と断言する論文が発表されました。

それも、この分野における 2 人の大御所がそれぞれ別の論文で同じようなことをいったんですね。

そのためこの分野の専門家たちは、光合成の進化をたどることを諦めてしまったような状況になっていました。

僕がこの研究に飛び込んだのは、その後なんですけど(笑)。

—— みんなが絶望している対象に、希望を見出したんですか？

やり始めたときは知らなかったんですが、途中で「ああ、みんな諦めたんだな」と気づきました(笑)。

でも僕は工学部出身で、光合成の進化についてはほとんど知識がない状態で飛び込んだので、フレッシュな目で全体を見渡すことができたと思います。

もちろん、光合成研究者・進化学者がこれまで積み上げてきた膨大な知識や理論が基盤としてなければ今回の研究は達成できませんでした。

それに、僕はもともと自分の知らない分野に飛び込むのが好きなんです。

その道の専門家が当たり前だと考えていることでも、自分自身が引っかけりを感じれば調べてみたい。それが研究のモチベーションになっています。

10. 10万種以上の微生物のゲノム情報を解析した結果は

——そこに飛び込んで、どうやって絶望を乗り越えようとしたのでしょうか。

まず、10万種以上の微生物のゲノム情報を導入して、先ほどお話した4種類のバクテリアの関係性と、その中に属するあらゆる微生物の関係性を調べました。

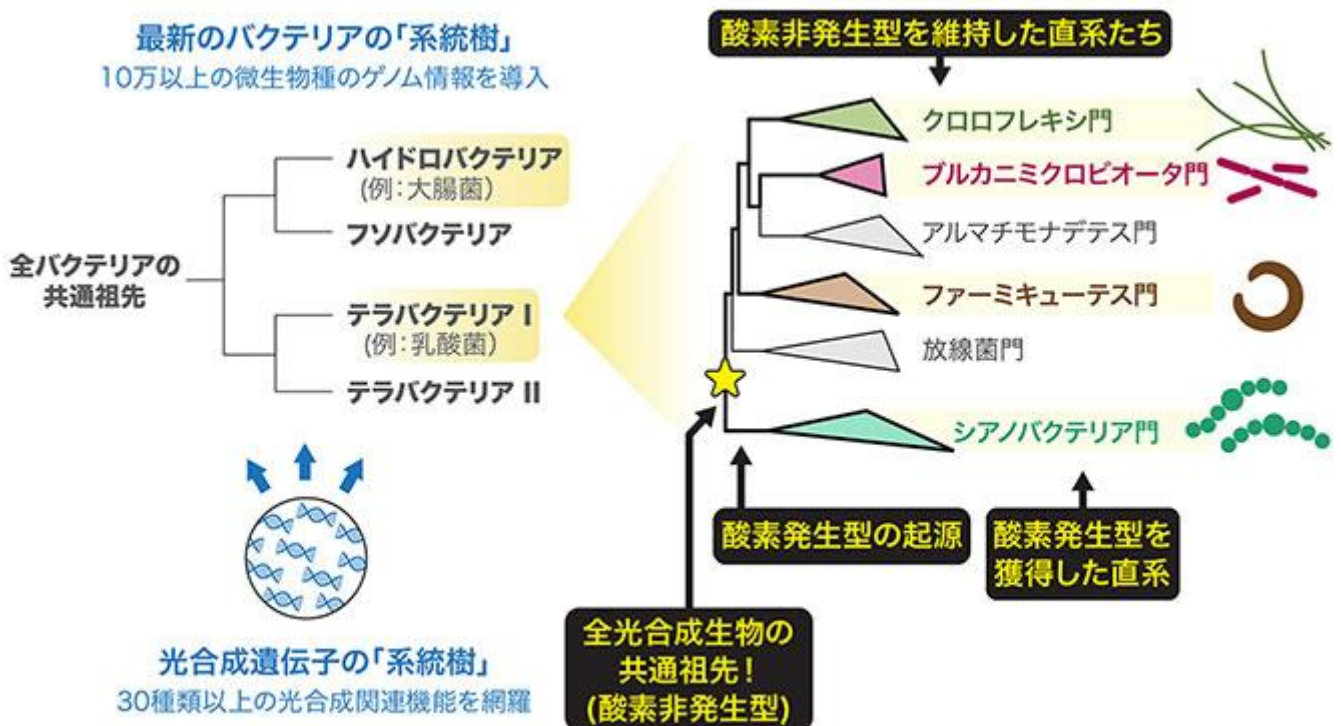
「バクテリアそのものの系統樹」を明らかにしたわけですが、その上で、光合成という機能に関係する30種類以上の遺伝子を精密に解析して、光合成遺伝子の系統樹を構築しました。

こちらは「機能の進化」ですね。

その光合成遺伝子の系統樹を、バクテリアの系統樹にマッピングすることで、バクテリアそのものの進化と、光合成に関わるさまざまな機能の進化の関係性を解析しました。

両者を紐づけることで、全体像を見ようとしたのです。

その結果、現存する光合成遺伝子のほぼすべてが、テラバクテリア I の系統で進化したことがわかりました。図を見ればわかるとおり、その系統には、シアノバクテリア門もあります。



最新バクテリアの系統樹と光合成遺伝子のマッピング結果 (図版提供: JAMSTEC)

ちなみに上から2番目のブルカニバクテリア門は、去年、日本人の研究者が発見したものです。

日本はいま微生物の培養にすごく力を入れているんですよ。

ラボで培養して観察するのは、微生物研究の基盤。今回の僕の研究も、そういう人たちの頑張りのおかげで、多くのことが見えてきました。

せっかく微生物学者が新しい光合成細菌の培養に成功しても、進化学者が「どうせ進化はたどれない」と諦めていたらそれを活用できませんが、僕にとってはきわめて有効な情報なので、じつにありがたいことです。

ともあれ、バクテリアの系統樹に光合成遺伝子の系統樹をマッピングすることで、ほとんどの光合成遺伝子がシアノバクテリアを含むテラバクテリア I の系統で代々受け継がれてきたことがわかりました。共通の祖先から光合成機能を直系で受け継いできた子たちは、テラバクテリア I にしかないんです。

11. 酸素生成型光合成の起源が見えた！

——先ほど「ハイドロバクテリア」にも光合成をする微生物がいるとお聞きしましたが、そちらは直系ではないということですか？

はい、誰かからもらった光合成遺伝子を自分のものにして、進化したことになります。

昔はハイドロバクテリアに属する紅色細菌や緑色細菌が光合成細菌の祖先的な存在かもしれないと思われていましたが、今回の解析ではそれが否定されました。

直系で光合成機能を受け継いでいるのは、シアノバクテリアをはじめとするテラバクテリアの系統です。

ただし、現存する全光合成生物の共通祖先(図の☆マーク)が光合成の起源ではありません。テラバクテリアの兄弟や従兄弟みたいな微生物がいたとしても、その系統はすでに絶滅しているので、遺伝情報を追うことができません。光合成という機能自体は、この共通祖先よりも前から存在したはずですよ。

また、この共通祖先が持っていた光合成遺伝子を解析した結果、酸素非発生型の光合成をしていたことがわかりました。その遺伝子がのちに起こした変異を解析すると、やがて水から酸素を生成できる構造、すなわち酸素発生型の光合成ができる機能、を持つようになります。

シアノバクテリアが生まれたのは、その機能が登場してからしばらく経ってからです。

ですから、最初に酸素発生型の光合成を始めたのはシアノバクテリアではありません。

前の世代からそれを受け継いで、その能力を極めたのがシアノバクテリアだったということです。

—— 酸素発生型が非発生型よりも後で進化したことはわかったわけですね。

そういうことになります。

しかしここまでの話では、光合成そのものの起源にも、酸素発生型の起源にも触れていません。

今回の研究ではそれも明らかになったので、じっくりご説明しましょう。



撮影:神谷美寛/講談社写真部)

- 取材・構成:岡田仁志
- 取材・図版協力:超先鋭研究開発部門 延優(Masaru K. Nobu) 主任研究員
- 撮影:神谷美寛・講談社写真部

この記事はブルーバックスウェブから読むこともできます。

https://gendai.media/list/series/exploring_jamstec

いよいよ次の記事

「なぜ生物は酸素を作り始めたのか。最初に光合成をした生物は誰？ 地球生命史が変わる大発見！」では、酸素発生型光合成、そして光合成生物の起源について迫ります！

<共同研究者紹介>

海洋研究開発機構 塚谷祐介

産業技術総合研究所 西原亜理沙 (現所属・理化学研究所)

中央大学 浅井智広

◎本記事の論文を読みたい方はこちらへ

<https://www.jamstec.go.jp/j/pr/topics/explore-20240626-2/>

この連載のほかの記事を読む

- ◆ [地球のどこまで「生命」は存在するのか？ 海底下の微生物から見えた「生命現象」を考える](#)
- ◆ [DNAを組み立てれば、生命はつくることのできるのか。生命活動の発動スイッチはどこに](#)

光合成を行う生物はいつ誕生したのか？地球生命史年表が書き変わる大発見に迫る！

- ◆ [なぜ生物は酸素を作り始めたのか。最初に光合成をした生物は？地球生命の共通祖先の姿を追う！](#)
- ◆ [生物の集まりから「生態ピラミッド」の形を調べる！地球の生物多様性の減少問題に挑む研究とは](#)

JAMSTEC BASE は、海洋研究開発機構(JAMSTEC)

HP 掲載 Key Word リンク

[微生物](#)

[JAMSTEC 訪問](#)

[生命の起源](#)

海洋研究開発機構(JAMSTEC)の Home Page にはが解かりやすくレビューした資料が沢山あり。私も勉強中
ご興味のある方は直接 上記 海洋研究開発機構(JAMSTEC)の home Page にアクセスください。