

2022年12月20日

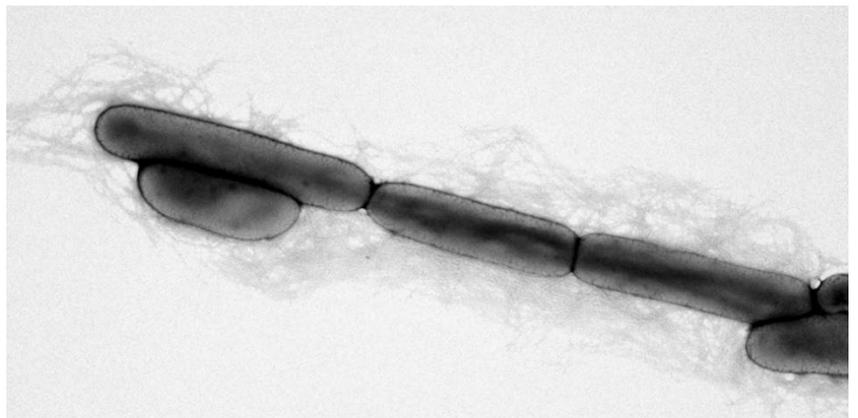
南極の極限環境から光と空気の両方を食べて生きられる謎の光合成バクテリアの培養に世界で初めて成功 ～バクテリア界に新しいグループ（門）の創設へ～

<発表のポイント>

- ・地球最南端の火山「南極のエレバス山（標高 3,794m）」にある氷の洞窟から「門」（バクテリア界の最上位分類階級）レベルで新しい光合成バクテリアの培養に成功し、バクテリア界に 44 門目となる新門「エレミオバクテロタ」を提唱しました。
- ・発見した光合成バクテリアは光と空気（空気中の CO₂ と微量 H₂）を食べて生きられるポテンシャルを持ちます。
- ・この光合成バクテリアは従来とは異なる光合成装置（光を集めて生命活動のエネルギーに変換する装置）を持つことが分かりました。新しい光合成装置を持つバクテリア培養門の発見は半世紀ぶりです。
- ・光合成の起源・進化と多様性の理解に迫る重要な成果です。さらに将来、この新しい光合成装置が洞窟のような暗環境でどのような効率よく僅かな光を収集しエネルギー変換しているのかの仕組みが解明されれば、人工光合成への応用も期待できます。

<概要>

元東北大学大学院農学研究科・准教授（現、株式会社県南衛生工業ハザカプラント研究所）の矢部修平は、ワシントン大学化学科の Bradley Tebo 教授、カリフォルニア大学スクリップス海洋研究所の Hubert Staudige 名誉教授、元東京大学バイオリソース研究分野の横田明准教授、東北大学大学院農学研究科の阿部敬悦教授、同研究科博士課程の武藤清明氏と共同で、南極のエレバス火山山頂付近にある氷の噴気性洞窟から新しい門（バクテリア界の最上位分類階級）に分類され、これまで未培養であった光合成バクテリアの培養に世界で初めて成功し、バクテリア界に 44 門目となる新しい門「エレミオバクテロタ」を提唱しました。日本を中心とした研究グループが提唱した門はこれで 5 門目となります。この新しい光合成生物は従来とは異なる光合成装置（光化学系 II の新しいファミリー）を持つことを見出しました。なお、新しい光合成装置を持つバクテリア門の発見は約半世紀ぶりです。この新規光合成生物が光合成の起源や進



バクテリア界に43門目となる新しい門「エレミオバクテロタ」を提唱
南極のエレバス火山の氷の洞窟から発見された新奇光合成バクテリア (*Vulcanimicrobium alpinus* WC8-2)

化・多様性の理解を深める重要な生物資源となることが高く見込まれます。また、この生物が属する新門エレミオバクテロタは、地球上の火星類似環境とされる火山の荒廃土壌や南極の砂漠などの極限的に貧栄養な陸地環境に広く生息するグループですので、この系統は生命活動の限界を拡張する未知の生存戦略を持つ可能性が高く、宇宙生物研究の発展に資する画期的なバイオリースと成り得ます。

なお、この成果は 2022 年 12 月 16 日、ISME Communications 誌に掲載されました。

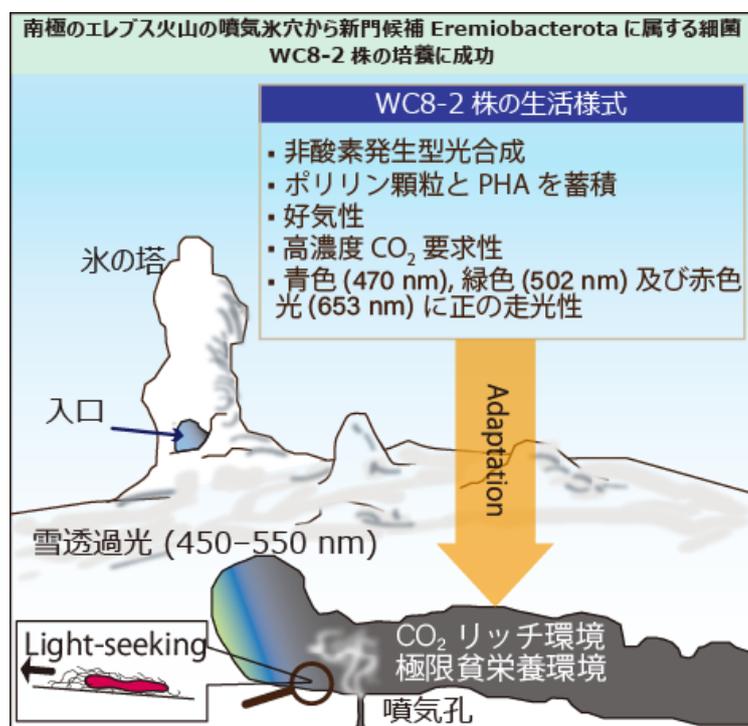
<研究の背景>

地球上の微生物種のうち 99%は未培養とされており、宇宙に存在する目に見えない正体不明の暗黒物質になぞらえ「微生物ダークマター」と呼ばれています。実験室で培養された僅か 1%の微生物種の知見に基づき今日のバイオサイエンスの基礎が築かれたことを考えると、ダークマターの培養化が微生物学の発展と人類に与える影響の大きさは計り知れません。ところで、最近の遺伝子解析や画像処理の技術の発展によって未培養微生物種のゲノムの遺伝情報は培養できなくても容易に得ることができます。その遺伝情報によって未培養種であっても生息環境でどのような役割を果たしているのか予想することができます。ところが、結局、その予想は培養された微生物種で実証された代謝機能に依存していることから、ダークマターの培養化の重要性はますます増えています。ダークマターであった新門「エレミオバクテロタ（別名 WPS-2）」も遺伝情報により存在自体は 2001 年から知られておりました (Appl Environ Microbiol 2001)。近年、南極の砂漠や北方コケから検出された未培養エレミオバクテロタの遺伝情報から光合成能や大気中微量ガスをエネルギー源とする大気化学合成能を持つと予想される系統が含まれることが発表され (Nature 2017, Front Microbiol 2019)、その生物学的な重要性から、培養化を優先すべきダークマターとされました (Nat Rev Microbiol 2021)。私たちの研究グループは 2019 年から南極エレバス火山の氷の洞窟で生活を営むダークマターの培養化に取り組んでおりましたところ、新門エレミオバクテロタの培養化に成功しました。

<研究の内容>

南極のエレバス火山の山頂付近（標高 3794m）にある噴気性氷穴は新門エレミオバクテロタが優占生息するユニークな生態系を持つことは共同研究者の Bradley Tebo 教授らの先行研究により明らかとされておりました (Front Microbiol 2015)。今回は、それら噴気性氷穴サンプルから新門エレミオバクテロタに属するバクテリア WC8-2 株の純粋分離に世界で初めて成功しました。WC8-2 株は光照射によって生育が促進され、光合成色素であるバクテリオクロロフィル a の生産及びその生合成遺伝子 (bchM) の転写が促進されたことから光栄養性であることが明らかとなりました。また、青色光 470~赤色光 624 nm を照射すると、その方向に移動する性質（正の光走性）を示すことが分かりました。バクテリアは紫外線を避けるため青色光に対して逃げるものが多いため、この青色光への正の走光性はユニークな特徴です。雪や氷は青色光を透過し易いことを考えると、おそらくこの性質は本菌株が暗くて貧栄養な過酷な氷穴環境

においても生き残るため、雪を透過して差し込んだ光エネルギーを探し求めるために備わった生存戦略の可能性がります。ゲノムには炭酸固定系を担うルビスコ (type IE RubisCO) 遺伝子やそれを駆動する新奇の光合成装置の遺伝子 (pufL, pufM)、さらには大気中の微量水素分子を直接酸化する高親和性水素



Eremiobacterota は 8 番目の光合成細菌門

Phototrophic Phylum	CO ₂ fixation	Reaction center
<i>Cyanobacteria</i>	CBB	PS I, PS II
<i>Firmicutes</i>	None	RC I
<i>Chlorobi</i>	rTCA	RC I
<i>Acidobacteria</i>	None	RC I
<i>Chloroflexi</i>	3-OH-PB	RC II
<i>Proteobacteria</i>	CBB	RC II
<i>Gemmarimonadates</i>	None	RC II
Ca. Eremiobacterota (strain WC8-2)	CBB ?	RC II

新奇の光化学系 II 型反応中心タンパク質

PufM Proteo.+ Gemma. Chlo. Eremi. PufL
Eremi. Proteo.+ Gemma. Chlo. Eremi. Proteo.+ Gemma.
Cyanobacteria

酸化酵素 (group 1 h [NiFe] -hydrogenase) やチオ硫酸酸化を担う sox 遺伝子群がコードされていました。これらの遺伝的特徴はこのバクテリアが光合成だけでなく大気中の微量水素ガスや硫黄化合物をエネルギー源とした独立栄養のポテンシャルも有する非常にジェネラリスト的な代謝能を持つ系統であることを意味しております。他方、酵母エキスを含む培地を用いた培養実験において明暗条件ともに炭酸固定能力が示されたものの、完全無機培地での独立栄養増殖は本研究では証明することができませんでした。興味深いことに WC8-2 株は好気性ですが、生育には高濃度の CO₂ を要求する性質を示しました。この性質は CO₂ を豊富に含む噴気環境に適応したものと考えられます。以上を総合すると、本系統は過酷な環境に適応するためジェネラリスト的な代謝能を獲得した極めてユニークな光合成バクテリアです。今回、私たちは、バクテリア門に 44 門目となる新たな門「エレミオバクテリオタ」を提唱し、また WC8-2 株の学名は分離源の火山に因んでローマ神話に登場する火の神様を意味するラテン語「ヴァルカヌス (ラテン語)」と標高の高い地帯を意味するラテン語「アルピヌス」を含ませ「ヴァルカニミクロビウム・アルピヌス (*Vulcanimicrobium alpinus*) 」と命名しました。

<社会的意義>

現地球のほぼすべての有機物は光合成に由来します。つまりすべての生命体は光合成で支えられています。この光合成の起源や進化、メカニズムや多様性は未だ謎が多く残っています。未培養種や絶滅した光合成生物の存在が、進化の解明を妨げています。今回、門レベルで新しい光合成バクテリアの培養に成功したことは、その謎を解くために不可欠な重要な成果です。特に WC8-2 株は極限的に貧栄養な洞窟内で生活を営んでいることから、僅かな光の逃さずにエネルギーに変える高効率の光合成装置が備わっているのではないかと期待しています。その仕組みや性能が明らかとなれば、人工光合成研究へ応用できるかもしれません。

<論文情報>

論文タイトル : *Vulcanimicrobium alpinus* gen. nov. sp. nov. in the candidate phylum “Eremiobacterota”, the first cultivated representative, is a metabolically versatile aerobic anoxygenic phototroph

掲載誌 : ISME Communications

Vol. 2, Article number: 120

DOI: <https://doi.org/10.1038/s43705-022-00201-9>

著者 : Shuhei Yabe^{1,2}, Kiyooki Muto¹, Keietsu Abe¹, Akira Yokota¹, Hubert Staudigel³, and Bradley M. Tebo⁴

- 1、東北大学大学院農学研究科
- 2、株式会社県南衛生工業ハザカプラント研究所
- 3、カリフォルニア大学カリフォルニア大学スクリップス海洋研究所
- 4、ワシントン大学化学科

<研究資金>

本研究は、日本学術振興会「基盤研究」（課題番号：18K05406, 16H06279）及び国際共同研究加速基金 A（18KK0424）、The National Science Foundation (NSF) Office of Polar Programs（ANT-0739731、ANT-0739712）の支援を受け実施しました。

<お問い合わせ先>

矢部修平

株式会社県南衛生工業ハザカプラント研究所

TEL: 0224-83-4319

E-mail: hazakensis@outlook.com

<取材・報道に関するお問い合わせ先>

川邊 晃一

東北大学大学院農学研究科

TEL:022-757-4003

E-mail: koichi.kawabe.e4@tohoku.ac.jp