HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	アカシボおよび赤雪の微生物群集の特徴
Author(s)	小島, 久弥
Citation	低温科学, 70, 61-65
Issue Date	2012-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/49014
Type	departmental bulletin paper
File Information	LTS70_008.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

低温科学 70 （2012） 61-65

アカシボおよび赤雪の微生物群集の特徴

小島　久弥[1)]

2012 年 1 月 5 日受付，2012 年 1 月 18 日受理

本稿では，積雪一般，赤雪，およびアカシボについて，バクテリアを中心とした微生物群集が持つ特色について概説する．一般に積雪中のバクテリア群集の分類群構成は，他の淡水低温環境と類似した特性を有している．これに対し赤雪では，紫外線に対する防御機構を有するバクテリアの存在比が特に高くなることが示唆されている．一方アカシボでは，好気的なメタン酸化細菌と嫌気的な鉄還元菌がともに多く含まれるという独自の微生物群集が成立している．

Characteristics of microbial communities associated with Akashibo and red snow

Hisaya Kojima[1]

This article outlines structural characteristics of microbial communities associated with general snow, red snow, and Akashibo, with a focus on bacteria. Generally, taxonomic composition of bacteria in deposited snow has properties similar to those of other cold freshwater environments. It has been suggested that bacterial community in red snow tends to be dominated by organisms that can protect against ultraviolet radiation. Distinctive bacterial community in Akashibo is characterized by concomitant abundance of aerobic methane oxidizers and anaerobic iron reducers.

キーワード：アカシボ，赤雪，バクテリア
Akashibo, red snow, bacteria

1．はじめに

温度は生物活性に大きな影響を及ぼす環境要因であり，低温環境下において生命活動は大きな制限を受けると考えられる．一方で，低温に適応した生物は数多くの分類群に存在し，このような生物群によって低温環境に特徴的な群集が形成される．アカシボや彩雪などもまた低温環境で見られる現象であるが，これらの発生条件下では一般的な積雪とも異なる環境が形成されており，温度以外の要因も生物群集の構造に大きく影響していると考えられる．また，こうした現象の発生そのものがその場における生物群集の機能に起因していることも考えられる．本稿では，バクテリアを中心とした微生物群集について，積雪一般，赤雪，アカシボで認められる特徴について概説する．

1）北海道大学　低温科学研究所
[1] Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan
E-mail: kojimah@pop.lowtem.hokudai.ac.jp

2．積雪内の微生物群集

環境試料中のバクテリアの群集構造を解析する場合，16S rRNA 遺伝子を対象とするのが一般的である．得られた遺伝子配列から試料中に存在する微生物の系統的な位置づけを推定することになるが，これらの結果はしばしば門ないし綱レベルで記載される．積雪中から検出されることの多いバクテリアの分類群としては，*Betaproteobacteria* 綱，*Bacteroidedes* 門，*Actinobacteria* 門などが挙げられる．この傾向は，氷河や極域湖沼などの淡水性の低温環境に共通して認められる（Margesin and Miteva, 2011）．積雪中の微生物群集の特徴として，大気から降下する微生物の影響を大きく受けていることが指摘されている（Margesin and Miteva, 2011）．積雪中に液体状の水が存在しない場合，大気中から供給された微生物はそこで活動することなくそのまま保持されることになる．これらについては，積雪中を生活の場としているものとは区別して考える必要があろう．一方で，十分な厚さを持った積雪の下部は厳冬期においても 0 °C付近に保たれ，液体の水が存在し得る．こうした環境や，春先の融雪時などにおいては，積雪中で微生物が活動す

る．このような微生物の活性は，積雪に覆われる面積の大きさや期間の長さを勘案すると，物質循環に対して無視できない大きさの寄与をもたらしている可能性がある．

3．赤雪の微生物群集

赤雪の微生物群集を解析した近年の例として，南極沿岸域で見出された赤雪の研究が挙げられる（Fujii et al., 2010）．この研究の特徴のひとつとして，赤雪を構成する藻類の同定法が挙げられる．培養と形態観察を基盤とする従来法を用いず，試料から直接抽出したDNAを対象とすることによって，試料間での藻類種の差異と同一試料内での複数種の共存を明らかにしている．この研究では，赤雪試料中に含まれるバクテリア群集についても解析を行っている．主体となる藻類の種類が異なる2つの赤雪試料を解析し，両者に共通する主要なバクテリアとして*Hymenobacter*属を検出している．この属のバクテリアは様々な環境から見出されているが，積雪から検出される典型的な分類群とは見なされていない．検出された他のバクテリアについては概ね他の低温環境の傾向と一致しており，*Hymenobacter*属が高い割合で存在することが赤雪バクテリア群集の特徴となっていると考えられる．赤雪が通常の積雪と大きく異なる点として，氷雪藻の光合成産物に由来する豊富な有機物の存在が挙げられる．この有機物を利用して特定の微生物が増殖すれば，有機物に乏しい一般的な積雪とは異なる群集が成立すると予想される．この有機物は光合成可能な積雪表面付近で生産されるため，積雪表面の環境条件に適応した微生物ほど利用しやすいと考えられる．これに対応した*Hymenobacter*属の特徴として，アスタキサンチン合成能を持つことが挙げられる．この色素は紫外線に対する防御機構として雪氷藻類が合成するものと共通である．「有機物は手に入り易いが強い紫外線にさらされる環境」に適応したバクテリアの割合が高くなることで，赤雪に特異的な微生物群集が形成されていると考えることができる．このような解釈のもとでは，赤雪微生物群集におけるバクテリアの存在は藻類の光合成に依存した副次的なものと捉えられる．バクテリアの活動が赤雪の発生に不可欠であるという可能性も排除しきれないが，バクテリアの必要性を積極的に支持する研究結果は今のところ得られていない．

4．アカシボの微生物群集

アカシボの微生物群集については，尾瀬沼における研究が報告されている（Kojima et al., 2009）．積雪表面に見出されたアカシボ粒子の凝集体，およびコア試料の解析からアカシボのバクテリア群集が他に類を見ない特徴を有していることが明らかとなっている．アカシボ試料からは*Gammaproteobacteria*綱および*Deltaproteobacteria*綱が高い頻度で検出されているが，これは他の積雪環境には見られない特徴である（図1）．コア試料を用いた深度別の解析により，積雪中におけるこれら2群のバクテリアの分布がアカシボ粒子の分布と対応することが明らかとなっている．一般的に，16S rRNA遺伝子の配列として検出された微生物の機能を推定することは困難である．しかし検出された配列が，特定の機能を共有する微生物からなる単系統群に属した場合，検出された配列に相当する微生物もその機能を有していると推測できる．アカシボに特徴的であった2群の塩基配列はいずれもこのケースに該当しており，それぞれメタン酸化細菌と鉄還元菌に相当するものと推定された．さらに積雪内部における鉄とメタンの分布も，この推定を支持するものであった．興味深いことに，これらふたつの微生物群が好むと考えられる環境条件は相反している．検出されたメタン酸化細菌が酸素存在下でのみ生育可能と考えられるのに対し，アカシボから検出された鉄還元菌は偏性嫌気性菌であると推測された．この一見矛盾した結果の解釈のひとつとして，アカシボ内での環境異質性の存在が考えられる．微視的な空間スケールを持つ好気的環境と嫌気的な環境の双方がアカシボ内に共存し，それぞれに適応した微生物群が活動していたと考えることで，観察された微生物と物質の分布は説明可能である．また別の可能性として，2群の微生物の活動時期が異なっており，既に活動を終えたものが積雪中に保存されていたことも考えられる．このような空間的あるいは時間的な分離について検討するためには，現段階ではデータが不足している．より高い空間解像度を持った解析法の導入や，時間経過に伴う微生物群集の変化を追跡することなどが望まれる．

アカシボ粒子の実体を解明するための試みとして，真核微生物の18S rRNA遺伝子を対象とした解析も行われている（Kojima et al., 2009）．この解析では多様な生物が検出されたものの，そのほとんどについて機能の推定が不可能であった（図2）．

5．おわりに

アカシボや赤雪の微生物群集構造は，低温であることの影響を反映させつつも他の積雪環境とは明確に異なる性質を有している．このように現象と微生物群集の対応関係は明らかになったものの，両者の間の因果関係については推測の域を出ていない．検出されたバクテリアがアカシボの発生そのものに深く関わっているのか，あるいはアカシボ発生後の環境に依存しているのかを解明することが今後の課題となる．これまでの解析によって推定されたバクテリアの機能や，他の積雪環境との共通点，相違点を考慮に入れたさらなる研究が期待される．

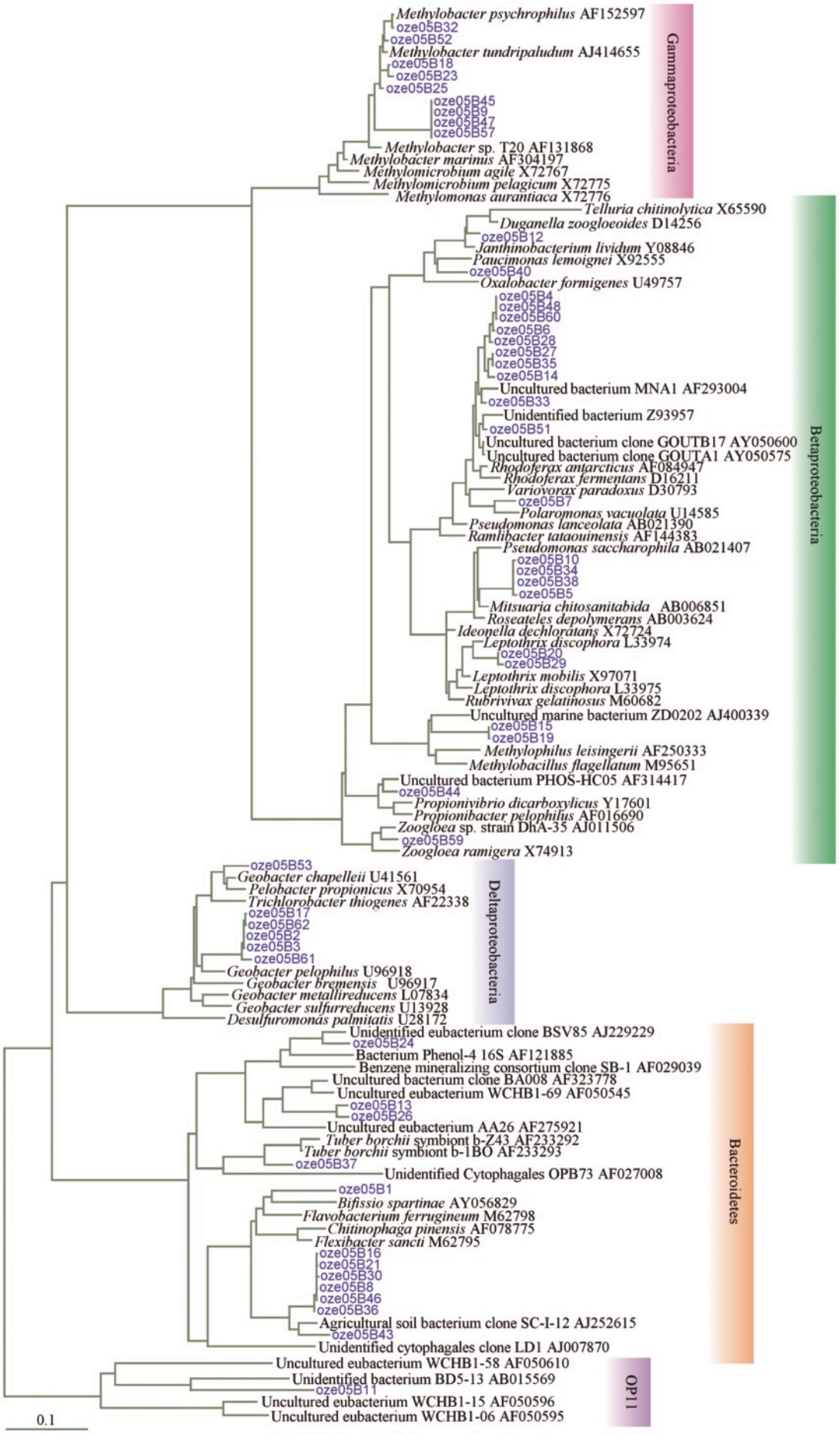

図1：アカシボに含まれていたバクテリアの系統的な位置づけ．青字で oze05B と表記されたものが Kojima et al., 2009 においてアカシボ試料から検出された 16S rRNA 遺伝子配列を示す．

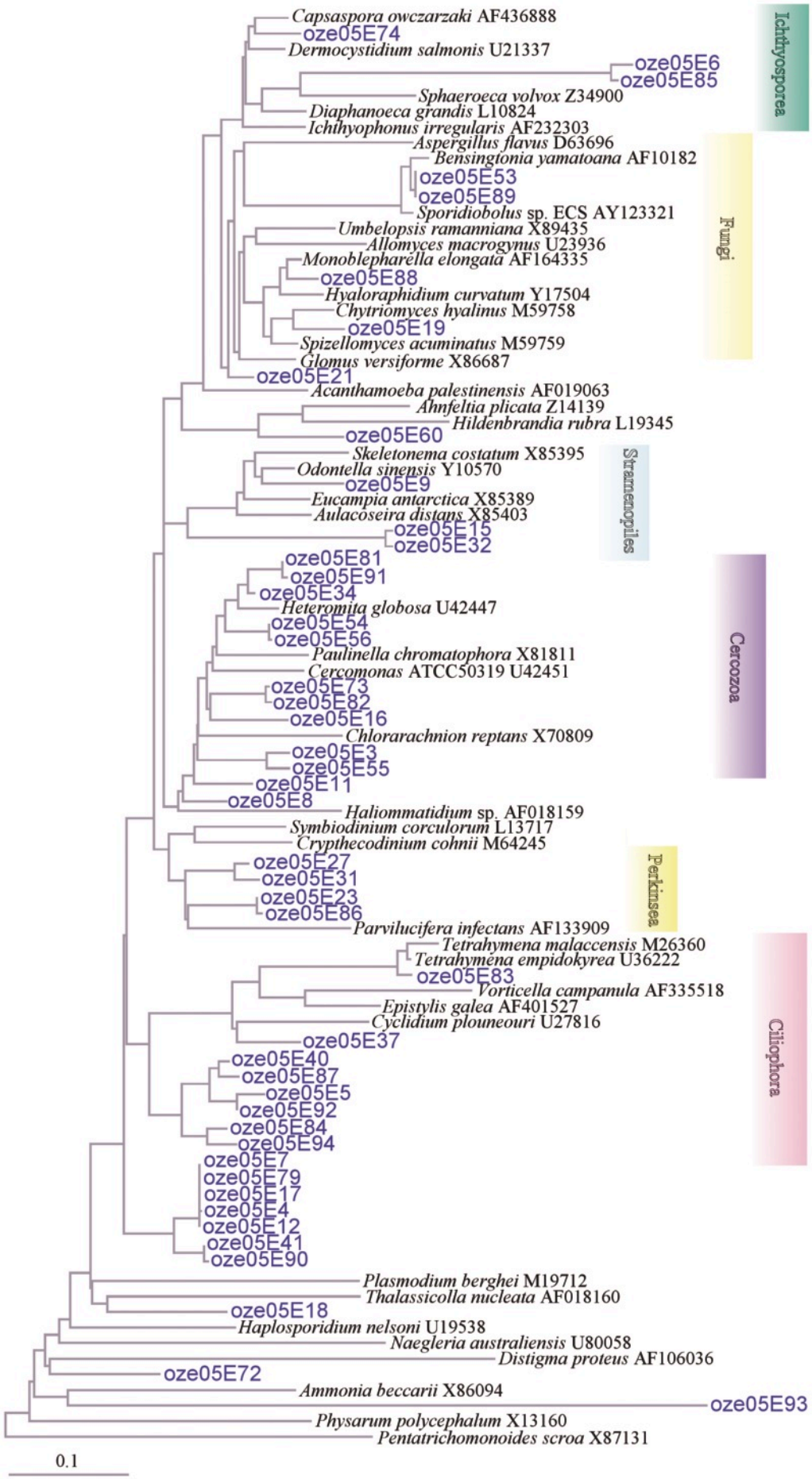

図2：アカシボに含まれていた真核微生物の系統的な位置づけ．青字で oze05E と表記されたものが Kojima et al., 2009 においてアカシボ試料から検出された 18S rRNA 遺伝子配列を示す．

引用文献

Fujii, M., Y. Takano, H. Kojima, T. Hoshino, R. Tanaka, and M. Fukui (2010) Microbial community structure, pigment composition, and nitrogen source of red snow in Antarctica. *Microb. Ecol.*, **59**, 466–475.

Kojima, H., H. Fukuhara, and M. Fukui (2009) Community structure of microorganisms associated with reddish-brown iron-rich snow. *Syst. Appl. Microbiol.*, **32**, 429–437.

Margesin, R., and V. Miteva (2011) Diversity and ecology of psychrophilic microorganisms. *Res. Microbiol.*, **162**, 346–361