

### 3. 生態系と微生物

#### ～地球を支えるミクロの生物圏～

北海道大学 低温科学研究所 福井 学

## 1. はじめに

木々の緑がまぶしい夏が過ぎ、秋になると森の緑は色を変え、地面には落ち葉が降りつもります。しかし、翌年の春には落ち葉の多くは消えてなくなってしまったように見えます。これは微生物の働きによるものです。私たちが住んでいる地球での微生物の働きを紹介いたします。

## 2. 微生物って何？

文科系の大学1年生向けの生物学の講義で、「微生物に対するイメージは？」と質問すると、必ずと言っていいほどこんな答えが返っています。

「バイキン」、「汚い」、「きもい」、「病気の原因」など。

一般の人には、こんなふうに「微生物は印象の悪い生き物」として受け止められているようです。しかし、地球上に存在する微生物のうち、病気に関わるものはほんの一部です。微生物とは肉眼で見えない生き物をさします。一般的には、単細胞生物で、数ミクロン（1mmの千分の一が1ミクロン）のバクテリアから数百ミクロンの原生動物（ゾウリムシのなかま）や植物プランクトン（ケイ藻など）が含まれます。

こうした微生物を観察するには、顕微鏡が必要です。原生動物や植物プランクトンであれば、高校や中学校の理科室にある光学顕微鏡（約400倍程度）で観察することができます。しかし、バクテリアは1000倍くらいに拡大しないと観察できません。観察に慣れていないと、黒い点にしか見えないことがあります。バクテリアの細胞の内部を詳細に観察するためには、やはり電子顕微鏡（透過型）を使う必要があります（図1）。残念なことですが、大学で生物学を専攻した学生でも電子顕微鏡で観察する機会はありません。

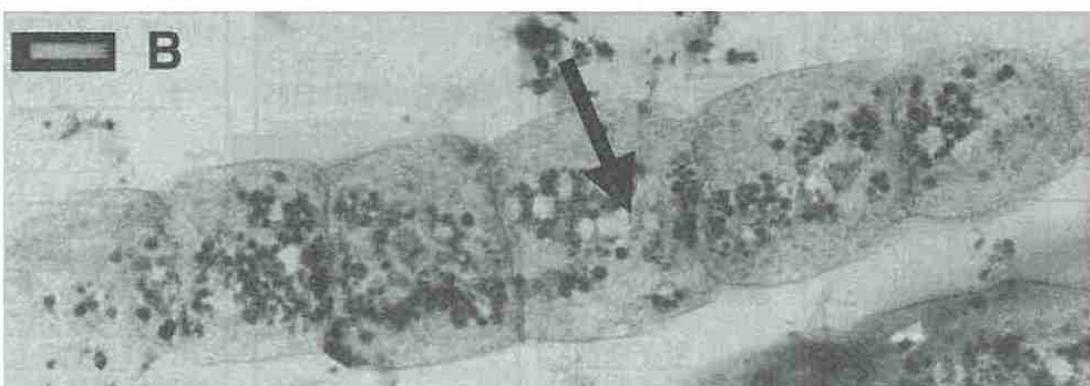


図1. 糸状性バクテリアの透過型電子顕微鏡写真。1つの細胞の大きさが約1ミクロン。  
細胞内に硫黄粒子が観察されます（矢印）。

### 3. 落ち葉を分解する働き

落ち葉はセルロースなどの有機物をふくんでいます。有機物は炭素をふくんだ物質で、生き物の体は水をのぞけば、ほとんどが有機物です。

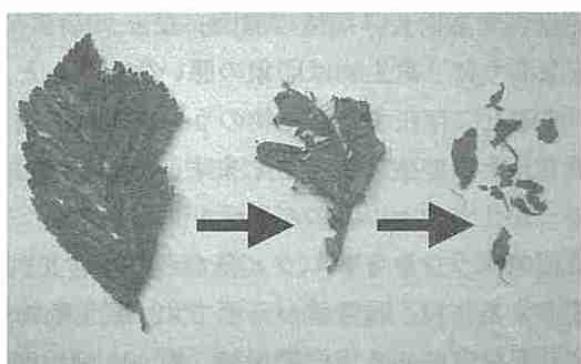


図2. 落ち葉が微生物分解されるようす

木から落ちた葉は地面の土（土壤）に住んでいる微生物によって分解されます。その仕組みは、皆さんのが飯などを食べて、エネルギーをえているのと同じ働きです。この時、エネルギーを食べ物から取り出すには空気にある酸素が必要です（酸素呼吸）。また、そのエネルギーと体を作る物質から皆さんのが成長しています。土に住んでいる微生物も落ち葉に含まれている有機物を酸素を使って分解し、微生物の数も増加します（図2）。その結果、有機物の多くの部分は二酸化炭素と水に変換されます。ふたたび植物によって光のエネルギーを利用して二酸化炭素と水から有機物が作られます（光合成）。

#### 4. 温泉に行こう

札幌のまわりにはいろいろな温泉があり、露天風呂につかるととても気持ちのよいものですね。

中谷宇吉郎博士は、こんな言葉を残しておられます。「始終流しはなしにしておくことができて、はじめて温泉の値打ちが出てくる（中略）ホテルの大理石の湯舟よりも、田舎の温泉地で流し放しにしてある、粗末な石畳みの湯のほうが、ずっと贅沢なものである」（「温泉の有り難さ」より、昭和27年）。

それでは、ちょっと遊び心をだして、自然にわいている温泉を観察してみましょう。場所は、定山渓温泉がよいでしょう。ただし、やけどには気をつけてください。かならず保護者のかたと一緒に観察してください。40~50℃の温泉が豊富に流れているところの石や岩の表面をみてごらん。きっと緑色の藻（も）のようなものがついています（図3）。これを顕微鏡で見ると、2~3ミクロンの好熱性シアノバクテリア（サーモシネコッカスと呼びます）であることがわかります（図4）。この微生物は熱い環境を好みで、植物と同じように光合成を行います。生命が誕生した頃の地球は今よりも熱く、しかも酸素のない環境であったと考えられています。およそ27億年前の地球で誕生した最初の酸素を発生する光合成微生物は温泉の岩についている藻の仲間だったかもしれません（図5）。こうした微生物が酸素を作り出すことによって、酸素呼吸を行う微生物が誕生したと考えられています。

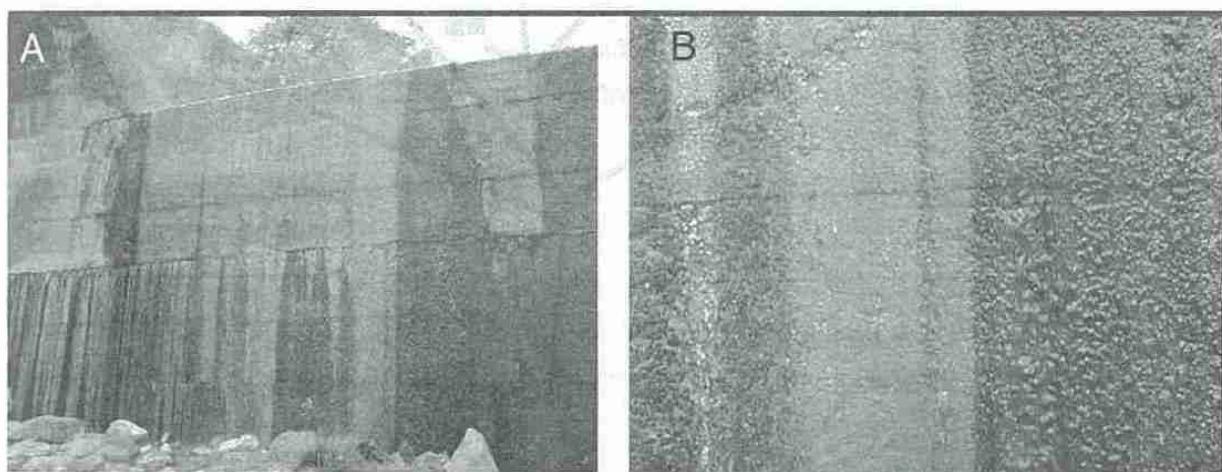


図3. 湯量の豊富な温泉水の流れに発達したバイオマット。様々な色のマットが観察され、それぞれ種類の異なる微生物が増殖しています。

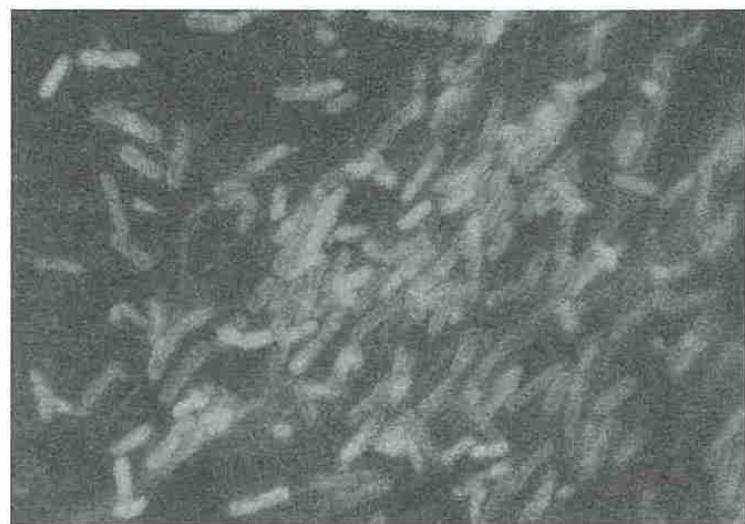


図4. 緑色の温泉バイオマットに生息する好熱性光合成バクテリアの蛍光顕微鏡写真。細胞の大きさが約5ミクロンで、比較的大きい。このバクテリアは光合成色素を有しているので、顕微鏡下で励起光を照射すると蛍光を発します（これを自家蛍光と呼ぶ）。

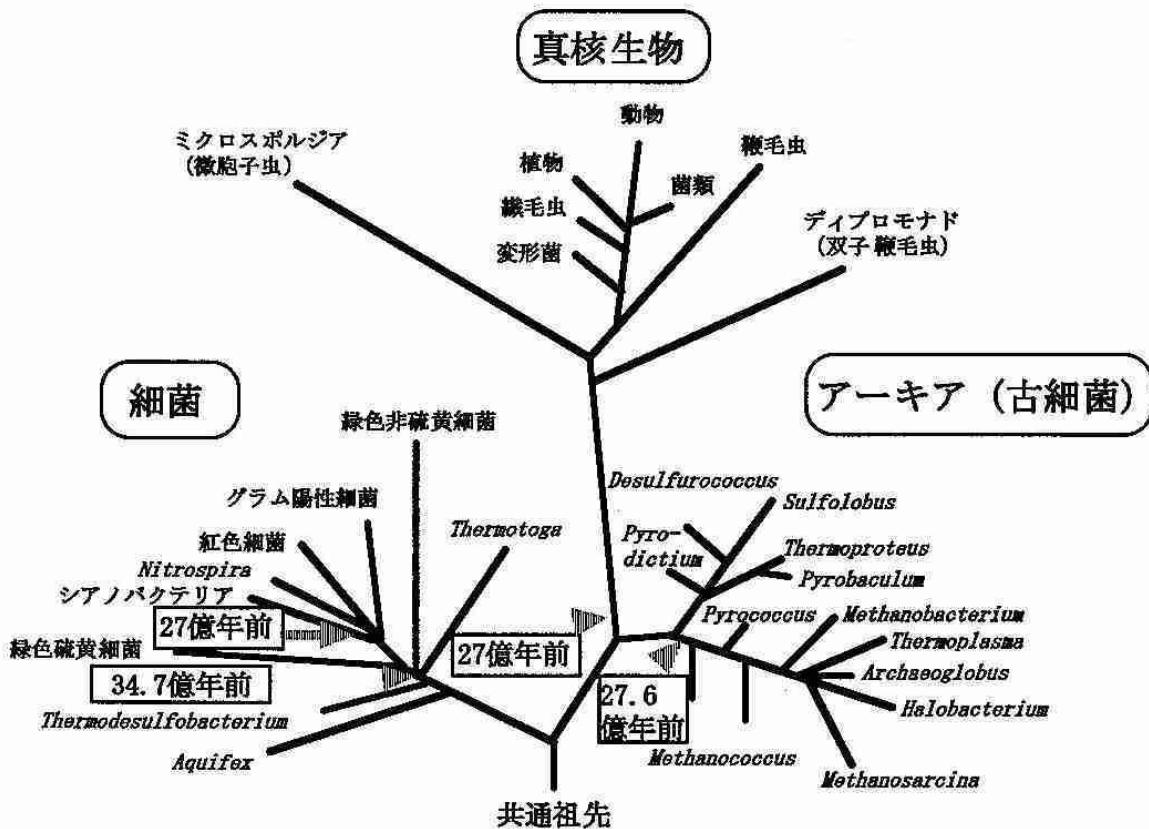


図5. スモールサブユニットリボソーム RNA の塩基配列に基づいた生物の分子系統関係。

この他にも温泉には硫黄（いおう；卵の腐ったようなにおい）を食べる微生物もいます（図6）。硫黄と言っても、この場合硫化水素です。およそ70~80℃の温泉に含まれている硫化水素をエネルギー源にして増殖することのできる微生物で、好熱性硫黄酸化バクテリアと呼びます。

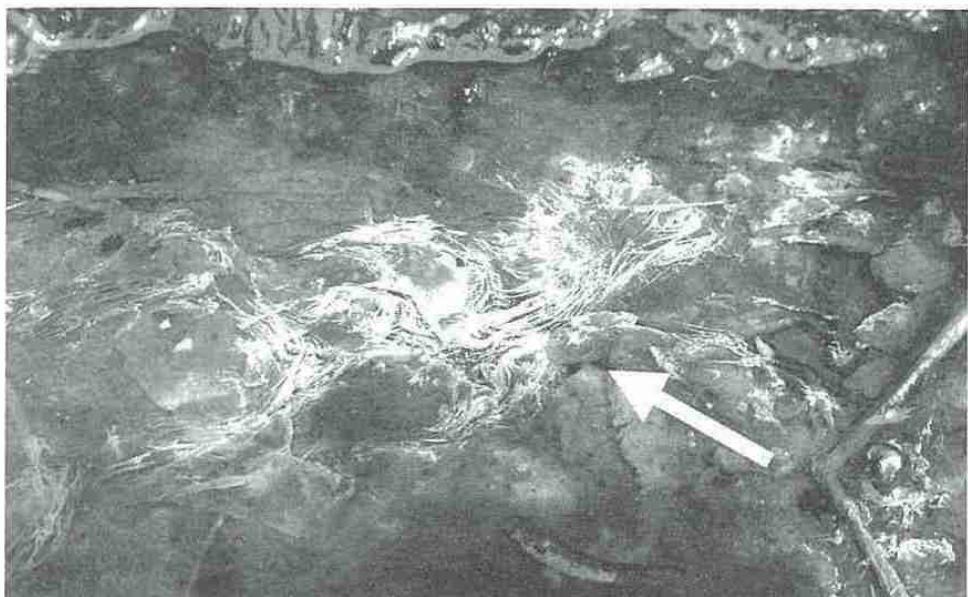


図6. 温泉の流れにそって発達する白い微生物マットのようす。この微生物が硫化水素を食べ、その結果白い硫黄の粒を作り出します。

この白かったり、灰色だったりする微生物マットを良く観察してみると、サーモサルフォバクテリリウムと呼ばれる、嫌気性細菌（酸素がない条件でしか増殖することができないバクテリア）が観察されます。どうして、嫌気性細菌が温泉の中で増殖しているのでしょうか？それは、硫化水素を含んだ温泉水には酸素を含んでいないからです。では、この微生物はいったいどのようにしてエネルギーを得て活動しているのでしょうか？それは前に説明しました、好熱性の硫黄酸化バクテリアが鍵になります。すなわち、好熱性の硫黄酸化バクテリアが有機物を生産し、そのときに硫化水素を酸化して硫酸イオンを作り出します。この硫酸イオンを酸素の代わりに使って有機物を酸化してエネルギーを得ることができる微生物がサーモサルフォバクテリリウム（好熱性硫酸塩還元バクテリア）です（図7）。こうしたエネルギーの獲得形式を「硫酸呼吸」と呼びます。我々ヒトの「酸素呼吸」に対する呼び方です。ここで、あることに気がつきませんか？温泉水中で好熱性の硫黄酸化バクテリアと好熱性硫酸塩還元バクテリアが硫黄の循環に関与しています。もう一度、図5の生物の系統関係をご覧ください。両バクテリアとも生物の共通祖先に比較的近い位置にいます。これらのことから、生命がこの地球上に誕生し、今から35億年くらい前には両バクテリアが存在し、生態系の硫黄循環に関与していたことが想像されます。

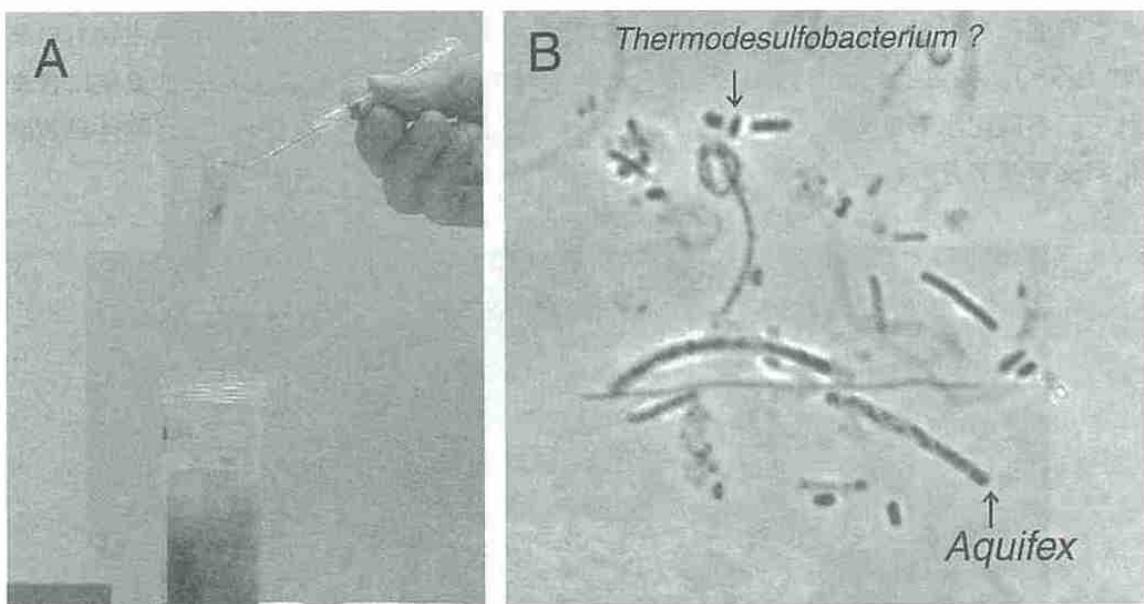


図7. 温泉溜まりに発達する微生物ストリーマーの例（長野県湯俣温泉）。A) 注射針で引っ掛けたストリーマー。B) 顕微鏡写真（纖維状の好熱性硫黄酸化バクテリアとかん状的好熱性硫酸還元バクテリアが観察されます）。

## 5. 雪の中で暮らす微生物

「雪は天から送られた手紙である」

これは雪国に暮らす人たちには、あまりにも有名な中谷宇吉郎のことばです。雪の形成には、核になる固形物が必要のようです。大気中には植物の胞子や微生物が浮遊し、これらが核となって雪が形成され、地上に舞い降りてきます。つまり、雪の中には微生物が存在することになります。はたして、雪の中で微生物は増殖することができるのでしょうか？

群馬県、新潟県、そして福島県の県境に尾瀬ヶ原があります。みなさんは、中田喜直作曲の「夏の思いで」でご存知だと思います。ちょうどミズハショウが咲く直前、雪融けの頃、尾瀬湿原や尾瀬沼の雪が赤褐色になる現象が見られます（図8）。これを、「アカシボ」と呼びます。1週間くらいの短期間で、雪が急激に赤くなってしまいます。その原因をここ10年くらい調べているのですが、赤くなった雪を顕微鏡で観察するとヘミトマと呼ばれる藻類や鉄酸化バクテリアが認められます。



図8.融雪時に日本の湿原で見られる赤雪現象（アカシボ）。

低温環境下で、しかも短時間に鉄酸化バクテリアや藻類の一種（左下の顕微鏡写真）が増殖すると考えられており、それらを補食する昆虫等も観察される。しかし、その発生メカニズムは不明であるが、地球の物質循環と微生物との関連性を解き明かす好現象の一つである。

どうして、鉄酸化バクテリアが増殖しているのでしょうか？まだ十分に解明されていいる訳ではありませんが、次のことが考えられます。雪融けの時期、湿原から地下水が雪に浸透していきます。地下水には還元鉄が溶けていて、この還元鉄を酸素や硝酸塩を用いて酸化することによりエネルギーを獲得することができます。その結果、赤い酸化鉄が大量に生成されます。この反応は、雪国の人たちには欠かせない「ホカラ」が熱くなる反応と全く同じです。鉄酸化バクテリアは還元鉄の反応でエネルギーを得ていますが、体の元になる炭素はどこから得ているのでしょうか？それは、雪融け水や空気中に含まれる二酸化炭素を同化して有機物を得ています。つまり、鉄酸化バクテリアは無機物だけで生きていける微生物です。このように氷点下の世界でも、エネルギー源や炭素が供給されれば、微生物は増殖することができます。

それでは、エネルギー源や炭素が供給される条件が整っているのであれば、微生物はどれくらいの低温まで増殖可能なのでしょうか？この点に関しては、まだまだわかっていないことばかりです。また、低温環境下で生態系の物質循環はどうなっているのでしょうか？いろいろと考えてみると、是非とも究極の低温生態系で研究を行ってみたいになります。はたして、南極や北極で微生物は生態系の中でどんな役割をしているのでしょうか？こうした未知の世界を切り開いていくのは、飽くなき探究心を持った若者です。一人でも多くの若者が生態系での微生物の役割を明らかにする科学（微生物生態学）に携わってほしいと期待しています。

### 参考文献

- 福井 学. 2000. 尾瀬のアカシボへの想い—ミクロとマクロの接点—. 日本産業技術振興協会ニュース. No. 369: 2-3.
- 福井 学. 2001. 海洋堆積物における硫黄の循環と微生物. 月刊海洋. No. 23: 83-90.
- 2001.
- 福井 学・松浦克美. 2002. 温泉に太古の生命を探る. 遺伝 7月号. 56巻: 30-35.
- 日本微生物生態学会教育研究部会編著. 2004. 微生物生態学入門：地球環境を支えるミクロの生物圏. 日科技連出版社, 東京.