

春採湖の光合成細菌について

三上 英敏 石川 靖

要 約

筆者らは春採湖の光合成細菌集積層の形成を確認するため、1995年5月に調査を実施した。その結果、春採湖の嫌気層上部にてバクテリオクロロフィル-dを中心とする光合成色素が高濃度で存在していたことから、高密度の光合成細菌が集積していることを確認した。

Key words : 春採湖、部分循環湖、光合成細菌、バクテリオクロロフィル

1 はじめに

春採湖は釧路市内に位置するほぼ東西方向に細長くのびた汽水湖であり、その長軸に沿う延長は1.9km、幅は120-350m、周囲長は4.85kmおよび湖面積は36.4haである。図1に示したように、春採湖は幅の狭い中央部を境に西部湖盆と東部湖盆の大きく2つに分けられる。東部湖盆は、水深が1.5m以浅であり夏期と冬期に塩分や水温による弱い成層が見られるが、春期と秋期の循環期にはほぼ鉛直的に一様になる。一方西部湖盆は、海面より大幅に低い最大水深5.8mを有するため、逆流してきた海水は湖内深部に停滞する。そのため、深部は年間を通じて高塩分かつ嫌氣的であり、春採湖は塩分成層を伴った部分循環湖である¹⁾。

春採湖は、レクリエーション等の地域的利用価値の高い湖沼であり、かつ1937年に「春採湖のヒブナ生息地」として天然記念物として指定されていることから、これまで多く調査がなされてきた。春採湖西部湖盆の深部の嫌気層には、塩化物イオンとともに流入してきた海水由来の硫酸イオンが硫酸還元菌の代謝により大量の硫化水素に変換されて蓄積しており^{1), 2)}、また嫌氣的な状況下により底泥から窒素やリンが大量に回帰し蓄積していることがよく知られている¹⁾。

このような硫化水素を含んだ嫌気層を有する部分循環湖や、夏期の停滞期に一時的に硫化水素を含んだ嫌気層が形成される湖沼等において、嫌気層上部に光合成細菌の集積層が形成した報告は多数ある。現在までに湖沼等に増殖する光合成細菌について、それらの増殖環境や生育制限因子、水界の物質循環における役割、および光合成特性等の様々な角度から研究報告がある^{3)~9)}。

春採湖の光合成細菌集積層形成に関しては、Takahashi et al.³⁾によって、日本全国の他9湖沼における調査結果とともに報告されている。それによる、1965年9月の春採湖調査結果から、本湖に増殖していた光合成細菌は光合成色素である Bchl-d (バクテリオクロロフィル-d) もしく

は Bchl-c を有する緑色イオウ細菌の一種であり、3.6m層にて Bchl-d + Bchl-c で $543 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ にも及ぶほど高密度で増殖していた。筆者らは春採湖の調査をする機会を得た1995年5月9日に、春採湖の光合成細菌の集積を再確認するため最深部である公共用水域 St.1において鉛直採水をおこない、光合成細菌の存在を簡潔に確認できるバクテリオクロロフィルの分析等を実施した。以下に、その結果に関してまとめ若干の考察を加えて報告する。

2 方 法

調査は1995年5月9日に、図1に示した春採湖最深部の公共用水域調査地点 St.1にて行った。水温と溶存酸素は、サーミスター水温計付き DO メータ (YSI モデル58型) をもちいて直接測定した。採水はリゴー社の1.3リットル採水器を用いて鉛直的に行った。

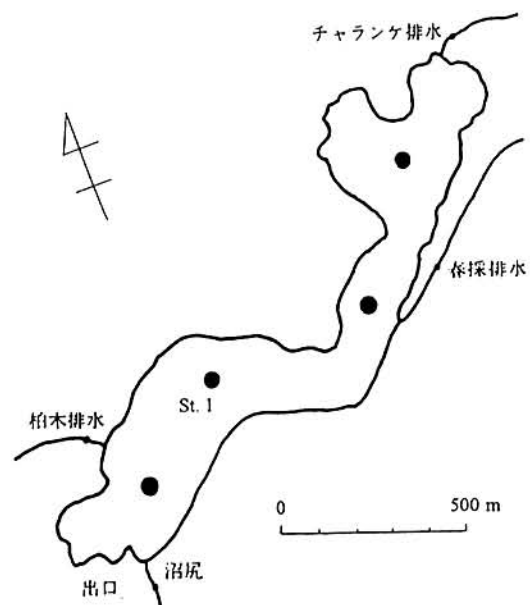


図1 春採湖の調査地点

表1 春採湖の調査結果

採水地点	採水水深m	水温℃	DO mg·l ⁻¹	H ₂ S-S mg·l ⁻¹	Cl mg·l ⁻¹	Bchl-d μg·l ⁻¹	Bchl-a μg·l ⁻¹
1	0	11.9	11.2	0	930*	0	0
1	1	11.8	11.2	0	—	0	0
1	2	10.0	9.4	0	—	0	0
1	2.5	—	—	15	—	193	15
1	3	5.2	0.0	75	6610	244	20
1	4	5.6	0.0	180	8220	133	10

*印：公共用水域調査結果参考¹¹⁾

調査地点：公共用水域 調査地点 St.1

調査日：1995年5月9日 調査時刻：10:20 天候：晴れ

全水深：5m 透明度：1.8m

バクテリオクロフィル用のサンプルは、採水後現地にワットマン GF/F フィルターを用いて試水をろ過後直ちに凍結し、当センターまで持ち帰り分析までそのまま凍結保存した。分析の前日には90%アセトンを加え1晩冷暗所にてバクテリオクロフィルを抽出した。その後、吸光度計にて吸光スペクトルをとると同時に、850、772、662、654 nm の吸光値を測定し Takahashi et al.¹⁰⁾ を参考にバクテリオクロフィルを算出した。溶存硫化水素は、採水後直ちに液体検知管（光明理化学工業製）を用いて求めた。塩化物イオンは、当センターへ試料を持ち帰った後、硝酸銀滴定法にて求めた。

3 結果と考察

表1に調査結果を示した¹¹⁾。このときの採水地点の全水深は5m、透明度は1.8mであった。溶存酸素に関して、0m層から2m層まで好気的であったが、3m以深では嫌気的な環境であった。水温も急激に2-3m層間で減少していた。塩化物イオン濃度は3m以深で6000mg·l⁻¹以上の高濃度を示した。一方、表層は1000mg·l⁻¹以下とそれらより低濃度であったが厳密な淡水ではなく汽水状況を示していた。また1、2m層の塩化物イオン濃度は測定しなかったが部分循環湖の特性を考慮し、他の調査報告¹⁾や溶存酸素の鉛直分布結果から推定すると、それらはほぼ表層と類似した値が若干高い値と推察され、それ以深の2-3m層間で急激に上昇すると考えられる。溶存硫化水素は、好気的な0-2m層間は検出されなかったが、2.5m層でSとして15mg·l⁻¹と検出され、底へ向かうにつれて濃度上昇が認められ4m層では180mg·l⁻¹にも達していた。

2.5m以深の嫌気層の採水時において、肉眼で着色した濁りが確認できるほど光合成細菌集積層が見られた。光合成細菌の光合成色素であるバクテリオクロフィルに関しては一般的に数種類¹²⁾あるが、90%アセトン抽出にお

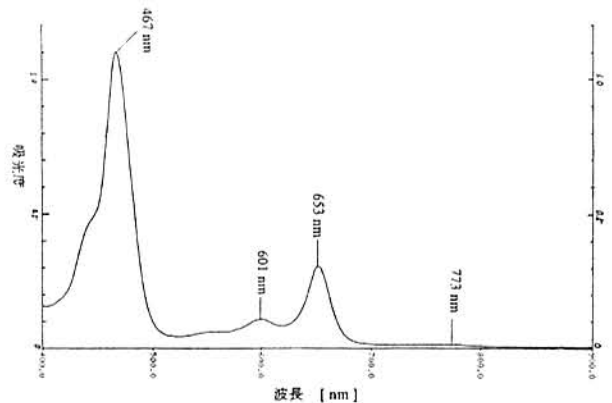


図2 春採湖から採取した光合成細菌の90%アセトン抽出による吸光スペクトル

サンプル：1995年5月9日、3m層水

条件：GF/F 100ml ろ過、90%アセトン 8ml 抽出

る吸光スペクトルにそれぞれ特徴的な吸収域を示すことが知られている³⁾。春採湖3m層の90%アセトン抽出における吸光スペクトルを図2に示した。この図で特徴的なのは、467、601、653、773nm付近にピークが見られたことである。Takahashi et al.³⁾によれば、水を緑色に着色させる光合成細菌の90%アセトン吸光スペクトルは、470nmと654nmもしくは662nmに特異的なピークが現れ、特に654nmのピークはBchl-d、662nmはBchl-cによるものであり、ともに緑色イオウ細菌に由来すると報告している。図2の吸光スペクトルでは、Bchl-dによる吸収ピークと極めて一致した波長において吸収が認められたことから、Bchl-dを有する緑色イオウ細菌が増殖していたと考えられる。また、わずかではあるが773nm付近にもピークが確認されたが、Bchl-aに由来するピークは772nmに現れる事から^{3)、10)}、春採湖の光合成細菌もわずかにBchl-aが

含んでいると考えられる。Bchl-aは緑色イオウ細菌にもわずかに含まれているが、おもに紅色イオウ細菌に含まれる光合成色素の一種であり、春採湖の光合成細菌も一部紅色イオウ細菌が含まれている可能性がある。Parkin et al.⁵⁾の論文による、緑色イオウ細菌と紅色イオウ細菌の混合集積していたLake MirrorやLake Fishの光合成細菌の90%アセトン吸光スペクトルは、大きな468nmのピーク、654nmのピーク、わずかな772nmのピークが認められており、図2で示された春採湖のそれに極めてよく類似していた。特に、468nmのピークは緑色イオウ細菌にも含まれるが紅色イオウ細菌に圧倒的に多く含まれるカロチノイド化合物に由来するものと報告されている。本調査では顕微鏡による細菌の直接観察等を行っていないので、光合成細菌の種についての詳細な検討はできない。しかし、以上のことから1995年5月に春採湖の嫌気層上端で集積していた光合成細菌群集は、主として緑色イオウ細菌類であり、もしかすると紅色イオウ細菌類も混在していた可能性がある。

表1に示したように、1995年5月の調査結果において、Bchl-dは2.5m層 $193 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、3m層 $244 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、4m層 $133 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であり、Bchl-aは2.5m層 $15 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、3m層 $20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、4m層 $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。Bchl-dおよびBchl-aのいずれも2.5-3m層の嫌気層上端部で高濃度であり、嫌気層上部により多くの光合成細菌が増殖していることが確認された。また、光合成細菌が出現した他水域と比較しても^{3), 13)}、春採湖のBchl-d濃度は高く、光合成細菌が大量に増殖していたと考えられる。

春採湖のような嫌氣的な硫化水素を多く含む底泥をその嫌氣的直上水とともにガラス瓶などに空気に触れないように密栓し、実験室等の日の当たる場所に放置するだけで、水が着色懸濁し光合成細菌が増殖するといわれている¹²⁾。筆者らもそれらを確認するため、春採湖の底泥を直上水とともに密栓して持ち帰り実験室に放置したところ、1週間もたたないうちに水が緑色に着色したことを確認した。このことは、春採湖において嫌氣的な底泥に光が当たるだけで、光合成細菌が水中に容易に増殖することを意味する。

緑色イオウ細菌や紅色イオウ細菌は硫化水素などを用いて光合成を行うため、それらの安定的な増殖条件は硫化水素が存在する層に光が到達する事である^{3), 8)}。春採湖の透明度、は今回の調査では1.8mであり、容易に2.5~3mの嫌気層上端部に光が到達し光合成細菌集積層が安定的に増殖できる条件が整っているといえる。

一方、嫌気層上部に増殖している光合成細菌が魚類等の生息する好気層に与える影響に関して、光合成細菌は嫌気層下部から拡散してきた大量の硫化水素を光合成作用によってすみやかに酸化することにより、大量の硫化水素の好気層への拡散量を減少させ、硫化水素による好気層の酸化還元電位の低下を軽減させると考えられる。

また、このような嫌気層を有する部分循環湖では、植物プランクトンが最も消費しやすいアンモニア態窒素やリン酸態リンが大量に回帰しており、それらが好気層に拡散したとき植物プランクトン類を増殖させる大きな因子になる。しかし、嫌気層から好気層へ拡散するそれら無機栄養塩類は嫌気層上端の光合成細菌群集に大量に消費され、好気層に供給される無機栄養塩類は減少するため、安定した光合成細菌集積層が形成することは植物プランクトンの増殖を抑止することになると考えられる。^{4), 13)}

さらに、光合成細菌は嫌気層で硫化水素を用いて無機炭素や一部低分子有機炭素からさらに高分子の有機物を合成するが、それらが好気層の動物プランクトンに補食されることが知られている^{3), 11)}。春採湖の光合成細菌も嫌気層で無機炭素から硫化水素を用いて自らが増殖し、それが一部好気域の食物連鎖につながっていると考えられる。光合成細菌の安定的な増殖は、栄養塩類の好気層への拡散を防ぎ植物プランクトン増殖を減少させるけれども、動物プランクトン類の増殖には貢献し、水質環境が保全されつつ魚類の安定的生存が維持されることに貢献していると考えられる。

以上のことから、今後、春採湖の環境保全や魚類環境を考慮するうえで、光合成細菌の有機物生産レベルを把握するとともに、その季節的、周年的変動や光合成細菌・好気層生物間の関連性などを詳細に解明することは重要なことと考えられる。

参考文献

- 1) 岡崎由夫, 伊藤裕三, 伊藤俊彦, 東海林明雄, 岩瀬政吉, 山代淳一: 「春採湖及び周辺環境保全基礎調査報告書」, p1-37, 釧路市, 1988
- 2) 吉村信吉: 日本の湖水の化学成分IV硫化水素, 陸水学雑誌, vol.4, pp.12-27, 1934
- 3) Takahashi M. and S. Ichimura: Vertical distribution and organic matter production of photosynthetic sulfur bacteria in Japanese lakes, *Limnol. and Oceanogr.*, Vol.13, pp.644-655, 1968
- 4) Matsuyama M.: Some considerations on the dense population of a Purple Sulfur Bacterium, *Chromatium* sp., at the mid-depth of Lake Kaiike, *Jap. J. Limnol.*, Vol.41, NO.2, pp.84-94, 1980
- 5) Parkin T. B. and T. D. Brock: The effects of light quality on the growth of phototrophic bacteria in lakes, *Arch. Microbiol.*, Vol.125, pp.19-27, 1980
- 6) Parkin T. B. and T. D. Brock: The role of phototrophic bacteria in the sulfur cycle of a meromictic lake, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.26, NO.5, pp.880-890, 1981
- 7) Overmann J., J. T. Beatty, K. J. Hall, N. Pfennig and T.

- G. Northcote: Characterization of a dense, purple sulfur bacterial layer in a meromictic salt lake, *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 36, NO.5, pp.846-859, 1991
- 8) Guerrero R., E. Montesinos, C. Pedros-Alio, I. Esteve, J. Mas, H. Van Gernerden, P. A. G. Hofman, and J. F. Bakker: Phototrophic sulfur bacteria in two Spanish lakes: Vertical distribution and limiting factors, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.30, NO.5, pp.919-931, 1985
- 9) Van Gernerden, H., E. Montesinos, J. Mas, and R. Guerrero: Diel cycle of metabolism of phototrophic purple sulfur bacteria in Lake Ciso (Spain), *Limnol. Oceanogr.*, Vol.30, NO.5, pp.932-943, 1985
- 10) Takahashi M. and S. Ichimura: Photosynthetic properties and growth of photosynthetic sulfur bacteria in lakes, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.15, pp.929-944, 1970
- 11) 北海道保健環境部環境室環境対策課：「公共用水域の水質測定結果（北海道）平成7年度」，1997
- 12) 北村博，森田茂廣，山下仁平：「光合成細菌」，p18, p280-282, p339-341, 学会出版センター，東京，1984
- 13) 三上英敏，日野修次，有末二郎：青潮発生後の網走湖の化学的・生物学的環境変化，北海道環境科学研究センター所報，Vol.20, pp.55-59, 1993

Phototrophic bacteria in Lake Harutori

Hidetoshi MIKAMI and Yasushi Ishikawa

Abstract

The authors investigated in Lake Harutori in May 1995, in order to confirm a formation of phototrophic bacterial layer. Then it was clarified that a dense, phototrophic bacterial layer formed at the top of anaerobic layer in Lake Harutori, for photosynthetic pigments of phototrophic bacteria, mainly bacteriochlorophyll-d, was detected at the layer.

Key word : Lake Harutori, meromictic lake, phototrophic bacteria, bacteriochlorophyll