



中房温泉の化学合成微生物群集である硫黄芝の 光学顕微鏡的構造とバクテリアセルロース

仁科美奈子¹, 田川聡美², 河合繁³, Shawn McGlynn⁴, ○松浦克美^{4,5}

¹ 埼玉県立松山高, ² 宮崎大工学教育研究部, ³ 豊橋技科大応生,

⁴ 東工大地球生命研, ⁵ 代謝初期進化研

硫黄芝とは何か？

- 硫化水素を含む高温の温泉の流れ（45～80℃，中性 pH）の中の白色の付着物や揺れうごく物体
- 微生物の働きで硫化水素が元素硫黄に酸化され，白色の小さな硫黄顆粒が多く含まれるため，白く見える



- 三好学（1897）により日光湯本で研究され，硫黄芝と記載された
- 牧陽之助（1980-2004）により主に東北の温泉で，微生物との関係が詳しく研究された
- Ogawa and Maki (2003) によりセルロースを含むことが，化学分析により示された

三好學（1897）による「硫黄芝」の命名

植物學雜誌第十一卷 第百廿六號

○日本鑛泉ノ生態學的研究略報

明治三十年八月二十日

三好學

第二 日光湯本鑛泉ニ於ケル硫黄芝形成ノ顯象

日光山湯本温泉ハ多量ノ硫化水素ヲ含有シ、

殆ンド中性ノ反應ヲ呈スルモノニシテ、

先ヅ硫黄芝ノ形成ニ就テ研究セル結果ヲ略述スベシ、

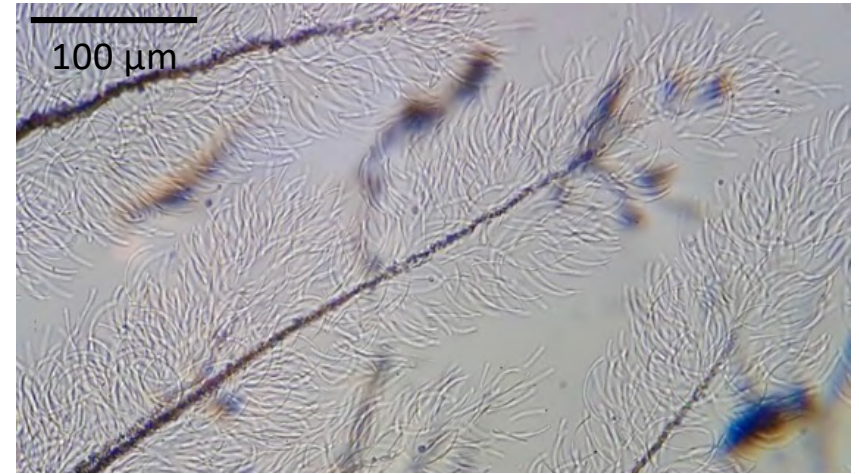
硫黄芝 (*Schwefelrissen*) トハ予ガ特ニ命名セルモノニシテ、

温泉流出ノ場所ニ於テ一面ニ帶黄白色ノ硫黄絲條ガ

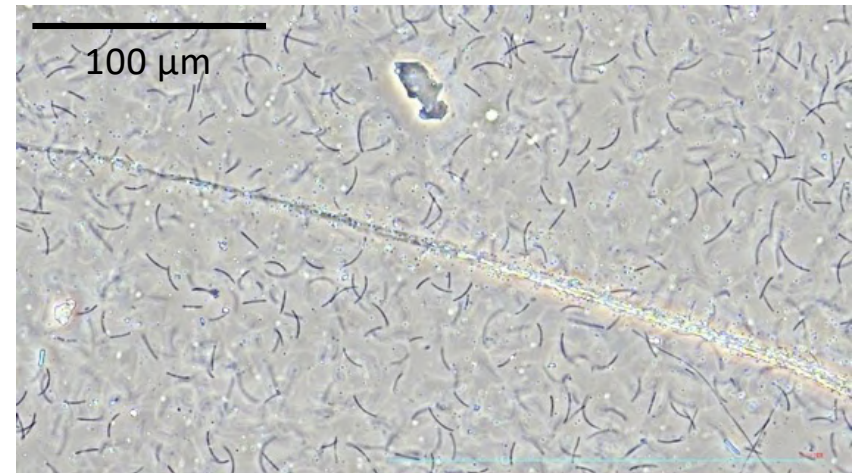
水流ニ伴フテ漂フモノヲ謂フ、

目的

1. 硫黄芝の微細構造が壊れやすいので、現地でできるだけ元のままの微細構造を明らかにする。
2. セルロースがどのように硫黄芝の微細構造に寄与しているかを明らかにする。



現地での通常の光学顕微鏡での画像



実験室へ持ち帰ったサンプルでの位相差顕微鏡画像

中房温泉：長野県安曇野市 硫黄泉（硫化水素含有，弱アルカリ）



源泉数 30カ所以上
温度 60℃～95℃
湧出量 1500 L/min 以上

pH 8.0～9.5
硫化水素 200～400 μmol/L
硫酸イオン 150～300 μmol/L
炭酸イオン 1～2 mmol/L



生育地での硫黄芝の顕微鏡観察：中房温泉・合戦の湯



調査地全景



81°Cの硫黄芝



現地での蛍光顕微鏡／位相差顕微鏡観察

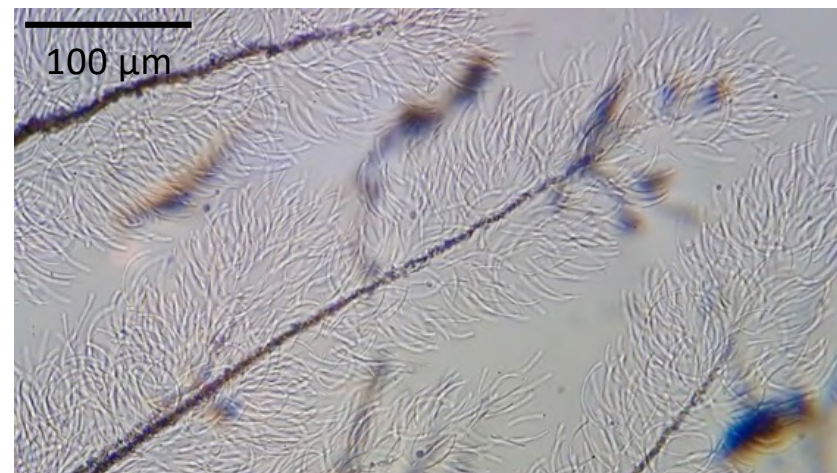


62°Cの硫黄芝

温泉水からそっと引き上げた硫黄芝の顕微鏡観察



温泉流水中の硫黄芝



そっと引き揚げた硫黄芝の先端部

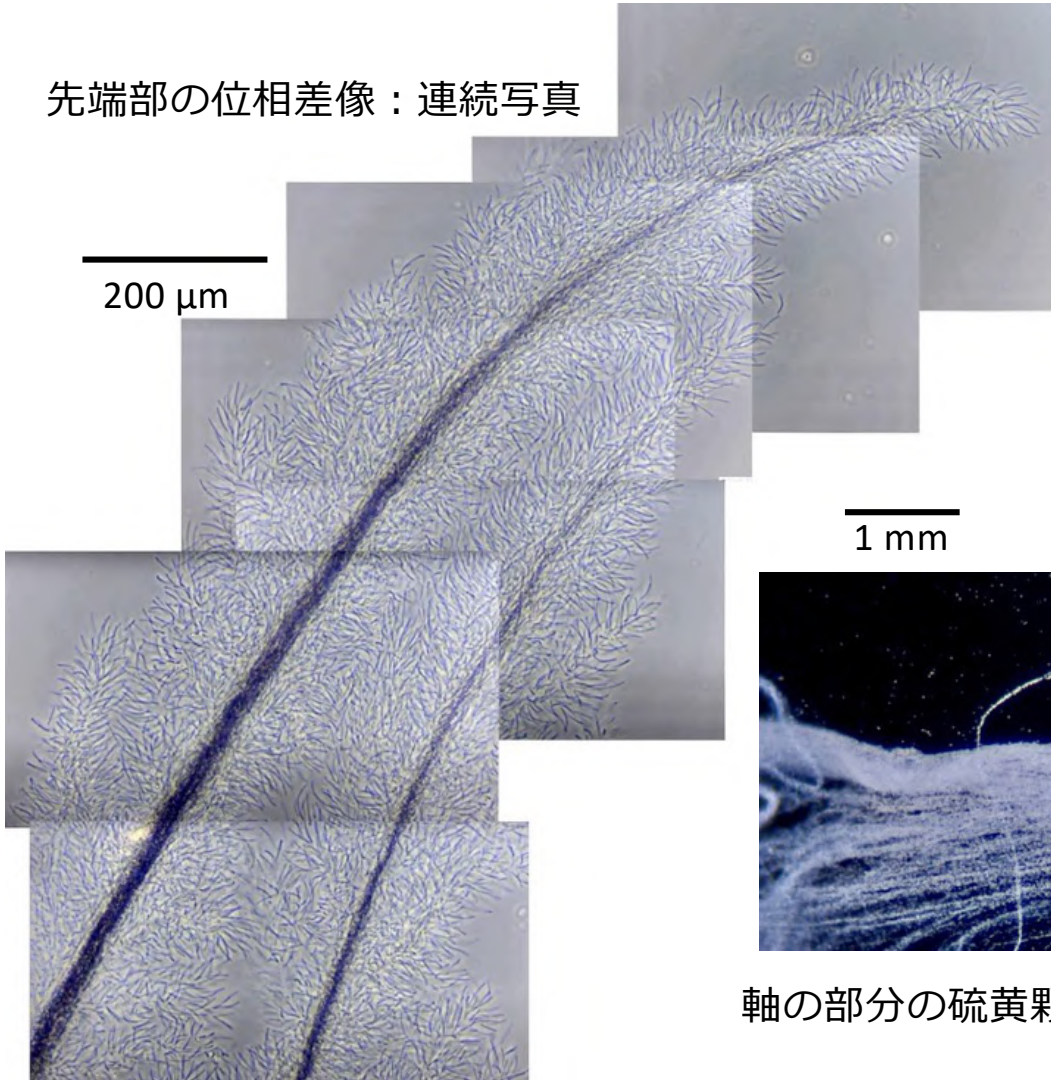


温泉水からそっと引き揚げた硫黄芝

- 水からそっと引き揚げた硫黄芝の先端部は、これまでの報告より長く細胞が連なっていた。
- 粗雑に扱うと、連なっている部分の細胞は部分的に外れて短くなりがちであった。
- 顕微鏡の透過光では、白い硫黄粒子の部分は、黒く観察された。

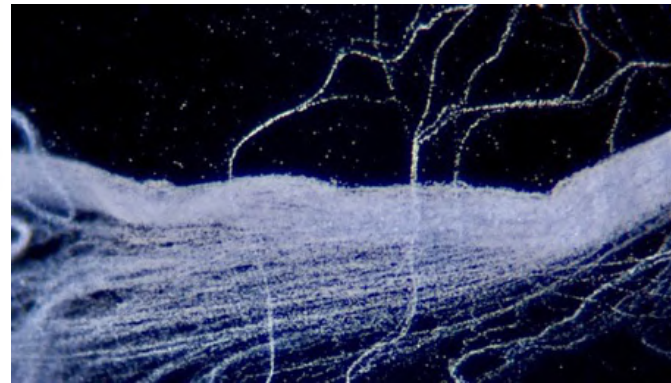
硫黄芝の先端部 / 硫黄顆粒を含む軸とそれから横に広がる細胞

先端部の位相差像：連続写真

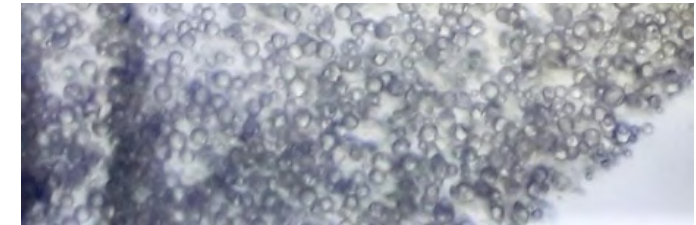


- 硫黄芝の先端は硫黄顆粒と細胞を含む軸と、横に広がる細胞からなる樹状構造であった。
- 横に広がる細胞は先端は1-2細胞の長さであったが、だんだんと5-6細胞の長さになり、やがて枝分れの構造も見られた。

1 mm

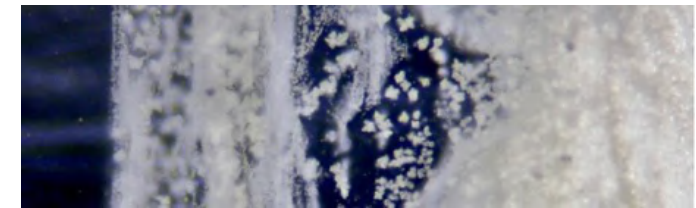


軸の部分の硫黄顆粒：斜め上から照明



丸い硫黄顆粒

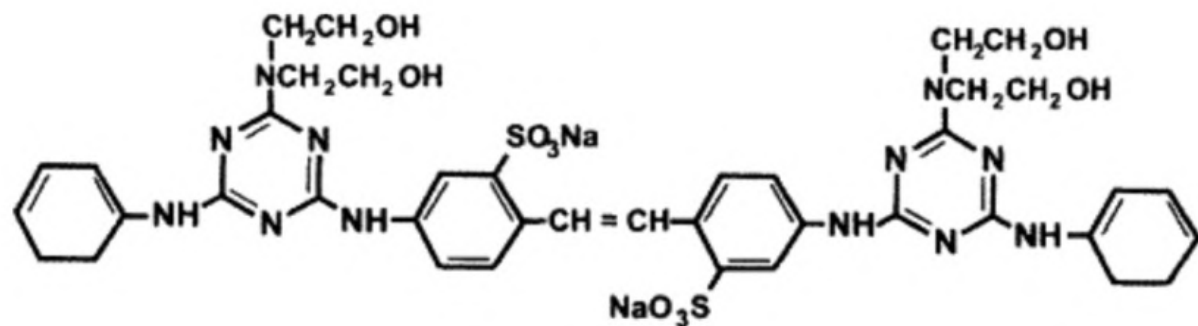
20 μm



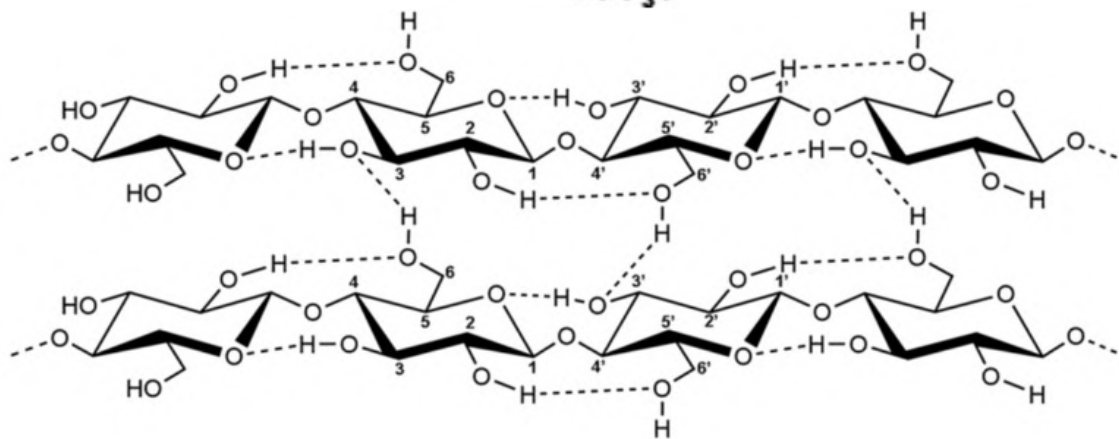
角張った硫黄顆粒

100 μm

蛍光色素 カルコフルオルホワイト によるセルロースの検出

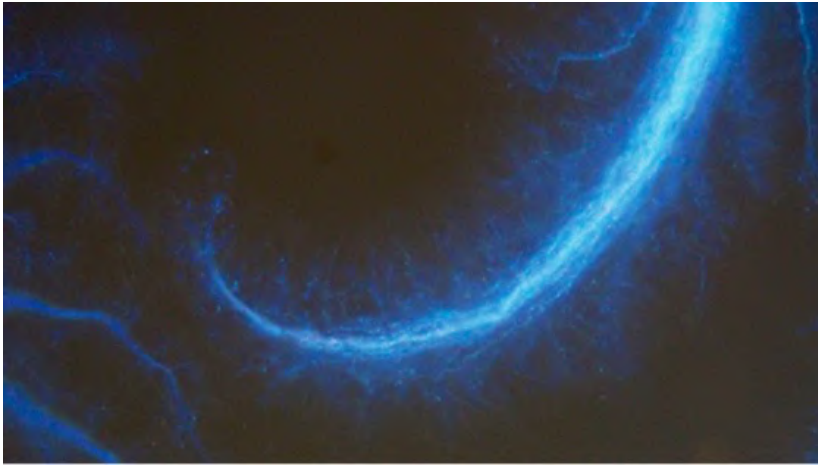


カルコフルオルホワイト

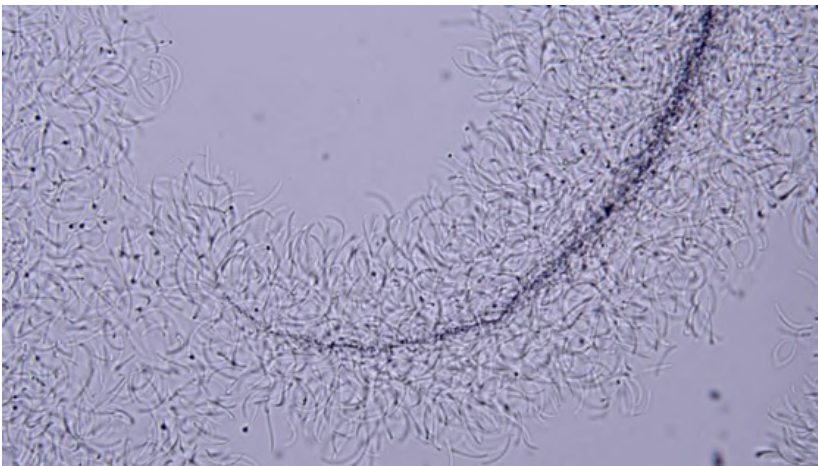


セルロース

硫黄芝の先端部のセルロース染色した蛍光像



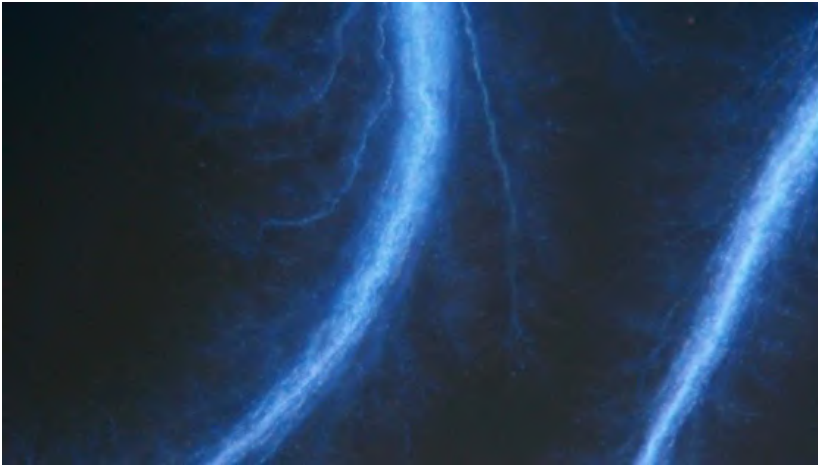
カルコフルオルホワイト蛍光像 100 μm



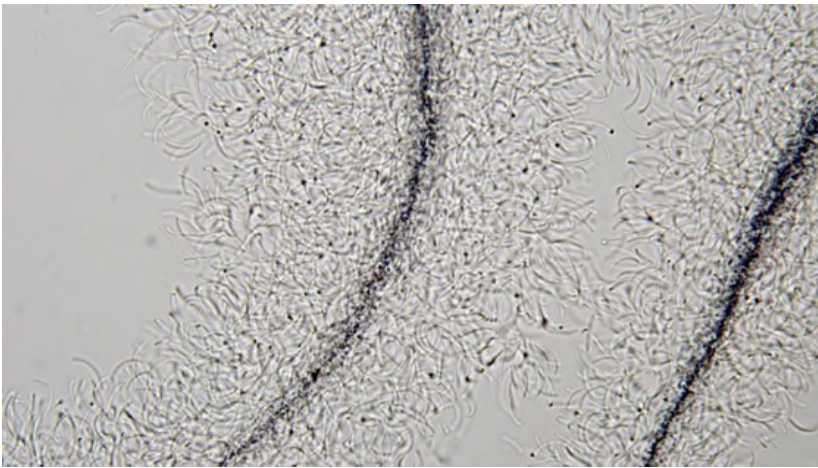
透過光像 100 μm

- 硫黄顆粒が含まれる軸の部分には、強い蛍光が見られた。
- 細胞が横に広がった枝の部分にも、細胞に沿って弱い蛍光が見られた。ただし、枝の一番先端の細胞では蛍光がほとんど観察されず、軸に近い部分ほど蛍光が強かった。

先端部近くの硫黄顆粒を含まない枝分れ構造のセルロース



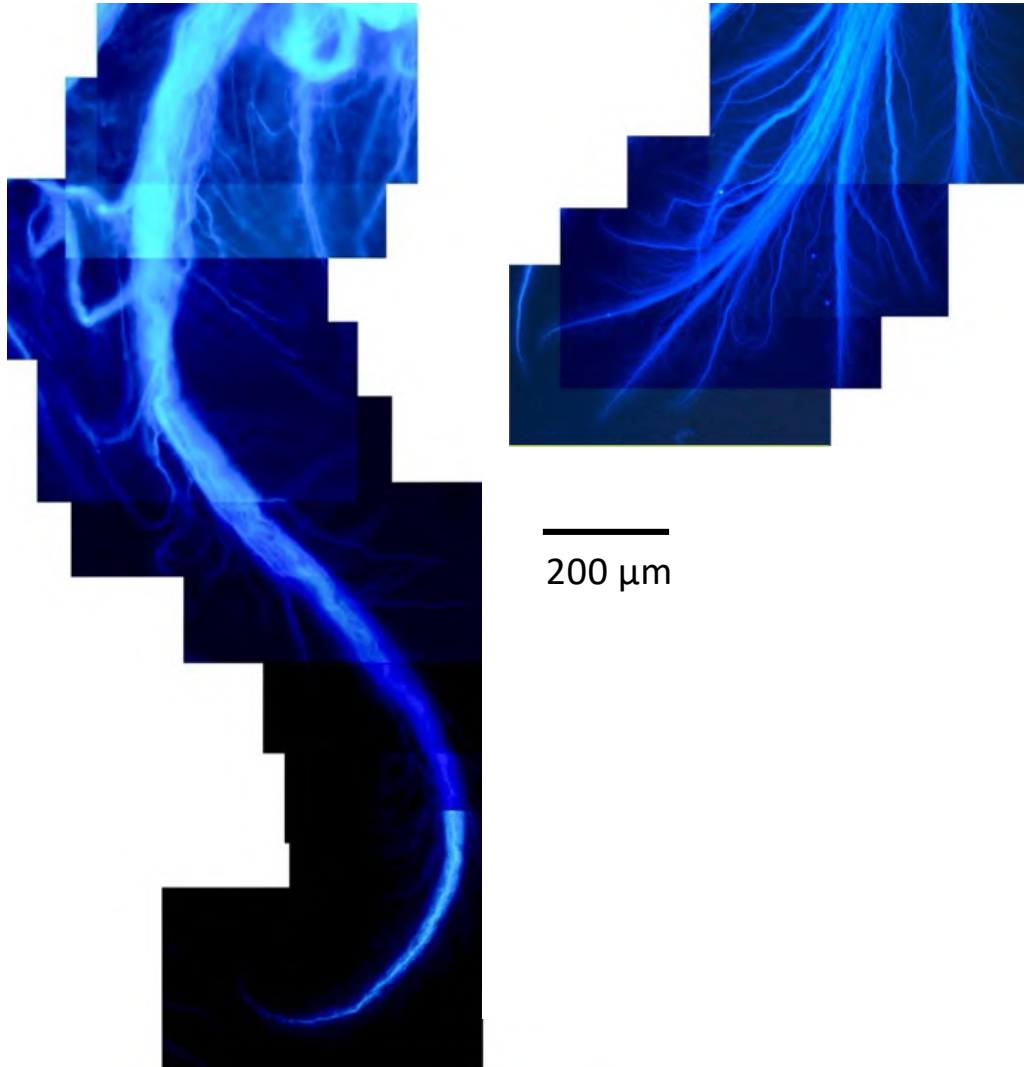
カルコフルオルホワイト蛍光像 100 μm



透過光像 100 μm

- まだ硫黄顆粒が見られない部分にセルロース染色の濃い枝分れ構造が観察された。
- 明確な硫黄顆粒の蓄積に先立って、セルロースが蓄積されている可能性が考えられた。

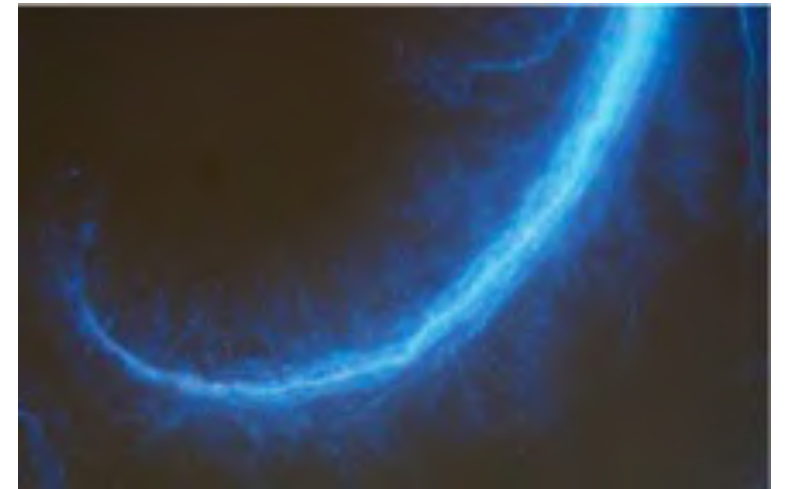
軸が太くなったり枝分かれしたりする様子とセルロース



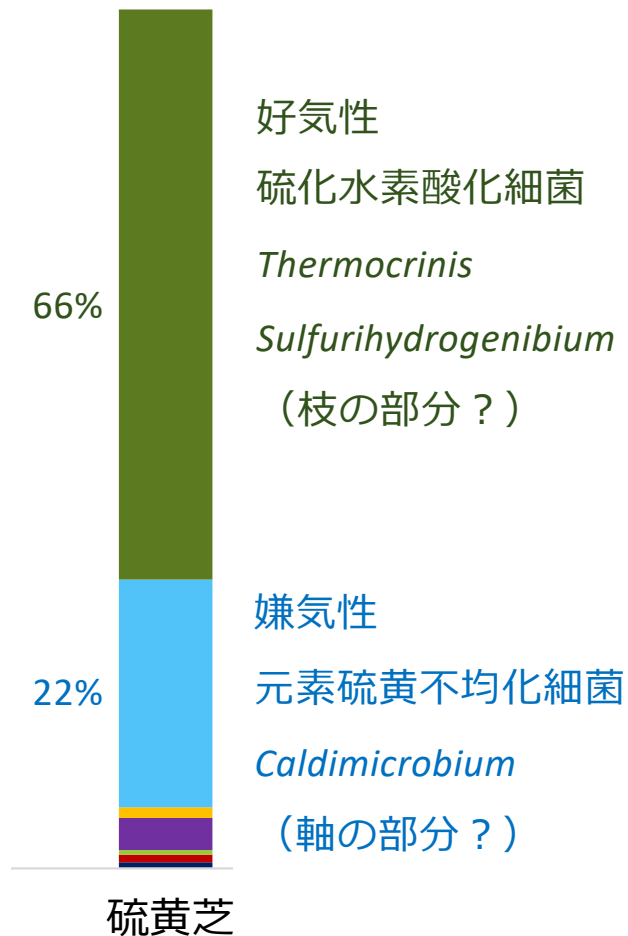
- 軸は根元になるに従って太くなり，セルロースが多く含まれていた.
- 枝分かれのパターンは多様であり，流れの影響が考えられた.

まとめ

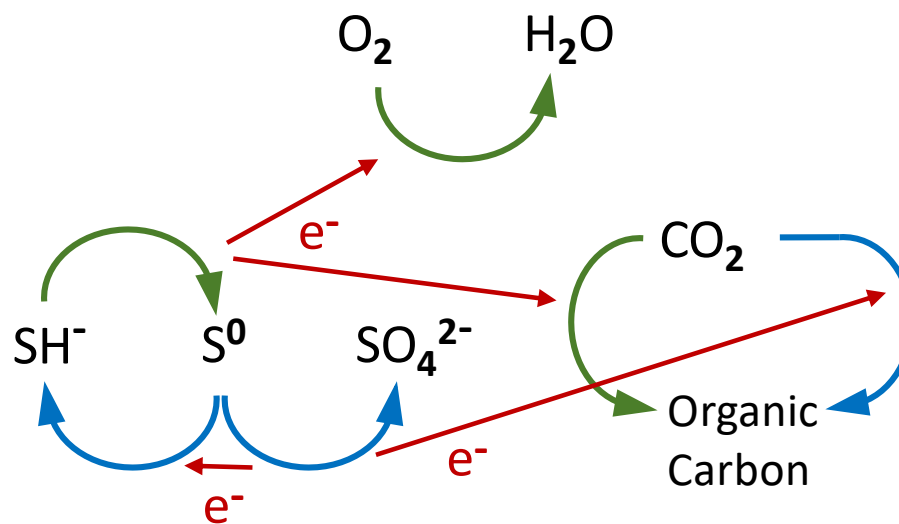
1. 硫黄芝は、硫黄顆粒を含む軸の部分とそれから横に広がった細胞のつらなりの部分から構成される樹状構造をとっていた。
2. 横に広がった細胞のつらなりは壊れやすく、長さはこれまでの報告（松の葉状）より長かった。長い広がりには、硫化水素や酸素を効率よく吸収する役割が考えられた。
3. 軸の部分ではセルロースが多く、枝の部分でも薄くセルロースの存在が確認された。
4. セルロースは、速い流れの中での硫黄芝の全体の構造の維持に大きな役割を果たしていることが考えられた。



硫黄芝に存在する 硫黄代謝に関する2種類の化学合成細菌



硫化水素を元素硫黄に酸化し、
 酸素と二酸化炭素を還元する*



元素硫黄を硫酸と硫化水素に不均化し、
 二酸化炭素を還元する*

*いずれも状況的根拠の段階