

熱水噴出域に発達した微生物被膜の光学顕微鏡的性状： 水曜海山と第2春日海山

牧 陽之助*1

伊豆・小笠原海域の水曜海山および北部マリアナ背弧海盆の第2春日海山の二つの熱水噴出域で微生物被膜を採集し、微分干渉位相差法およびアクリジンオレンジとDAPIによる蛍光染色法による光学顕微鏡観察を行った。水曜海山の微生物被膜には、細胞内にアクリジンオレンジとDAPIに染色される板状ないし塊状の構造を持つ糸状体が観察され、さらにその構造に付随して単体イオウの粒子が存在した。第2春日海山の微生物被膜からは、2種の比較的に太くて分枝しない均一な太さの糸状体と、鞘を持ち、先端ほど細くなるシアノバクテリアの*Calothrix*とよく似た糸状体が見出された。2種の太い糸状体のうち1種の細胞表面には、アクリジンオレンジとDAPIで染色される桿菌様の粒子が一面に付着していた。他の1種には細胞内に空胞様の構造が観察された。水曜海山の糸状体、および第2春日海山の2種の糸状体は、その形態的性状が硫酸酸化細菌には該当せず、むしろシアノバクテリアに似ていた。

キーワード：熱水噴出域、微生物被膜、糸状体、単体イオウ、シアノバクテリア

Microscopic Observations of Microbial Mats at Two Hydrothermal Vent Areas: Suiyo Seamount and Kasuga 2 Seamount

Yonosuke MAKI*2

Microbial mats were collected at two hydrothermal areas: Suiyo Seamount in Izu-Ogasawara and Kasuga 2 Seamount in northern part of Mariana Trough. The downy hair-like microbial mats were examined using differential phase-contrast microscopy and fluorescent microscopy. Microbial mat from Suiyo Seamount consisted of trichome which had strange cellular structures staining with Acridine Orange and also with DAPI. Furthermore, the microbial mat included trichome which contained granule of elemental sulfur associated with the strange structure. Two non-branched and comparatively wide trichomes and one tapered trichome with sheath were observed in Kasuga 2 Seamount. One of the wide trichomes was covered densely with bacillus-like small bacterial cell, and another trichome had vacuole-like structure in the cell. The tapered trichome was similar to *Calothrix*. One trichome at Suiyo Seamount and three trichomes at Kasuga 2 Seamount were all resembled morphologically to cyanobacteria.

Keywords : hydrothermal vent, microbial mat, trichome, sulfur inclusion, cyanobacteria

*1 岩手大学人文社会科学部生物学教室

*2 Biol. Lab., Fac. Human. & Soc. Sci., Iwate Univ.

1. はじめに

熱水噴出域の周辺にあって、熱水の影響を受けるあらゆる固体表面には、微生物による被膜 (microbial mat) が形成されることはよく知られている (Jannasch and Taylor, 1984)。これら微生物による被膜は、熱水噴出域の生物群集を支える第一次生産の一翼をになうという意味できわめて重要である。微生物細胞の形態的特徴から、これらの被膜にはいくつかのタイプが知られている (Jannasch and Taylor, 1984)。

一方、被膜 (mat または film) という存在様式は、せまい空間に機能の異なった微生物が共存し、被膜全体として個々の微生物では不可能な一定の機能をはたすことができ、異なった種の共存あるいは共生のあり方として、極めて興味がある。筆者らは、生命の歴史のごく早い時期にまでさかのぼる原核微生物の共存・共生系として「原始共生系」(prestin ecosystem) という考え方を提唱した (加藤・清水, 1996) が、陸上の温泉や熱水噴出域の微生物被膜はその具体的なイメージでもある (牧, 1996)。陸上の温泉に発達する微生物被膜 (硫黄芝) については、それが系統的に最も古い原核生物を含むことで、近年ようやく注目されるようになった (Yamamoto, et al. 1998)。しかし熱水噴出域においては、深海という特殊な環境での研究手段の制約から、陸上の温泉にくらべて研究はあまり進んでいない。

1997年に二つの熱水噴出域で採集した微生物被膜を光学顕微鏡で観察し、形態学的検討を行った。その結果、微生物被膜を構成する糸状体は、硫酸酸化細菌よりもシアノバクテリアによく似ていた。

2. 調査潜航の概要

「SUSTAIN 97」と命名された1997年6月1日から13日の伊豆・小笠原諸島調査潜航では、「しんかい2000」の第946潜航から第950潜航まで、合計5潜航が行われた。調査海域は小笠原群島北北西の須美寿カルデラ (第946潜航) および北西の水曜海山 (第947・948・949・950潜航) であった。著者が研究者として潜航した第948潜航は、1997年6月7日に行われ、着底点は、28-34.040N, 140-38.650E, 水深1330mであった。潜航の詳細については、Cruise Report (Naganuma et al., 1997) を参照されたい。

SHINKAI 2000/DOLPHIN-3K/NATSUSHIMAによる北部マリアナ背弧海盆の調査潜航は、1997年11月13日から12月5日まで、「ドルフィン-3K」による6回の潜航と「しんかい2000」による6回の潜航 (第986から第

991潜航) が行われた。著者は第990潜航に研究者として乗船した。着底点は、21-35.811N, 143-38.228E, 水深612mであった。潜航結果の詳細については、Onboard Report (Fujikura et al., 1997) を参照されたい。

3. 方 法

3.1 水曜海山

微生物被膜は、砂質の底質・シチヨウシンカイヒバリガイ (*Bathymodiolus septemdierum*) (Hashimoto and Okutani, 1994) の殻・岩石を覆っていた。砂質の底質に広がった微生物被膜は、堆積物とともにブッシュ・コアサンプラーを使って2個所で採取したが、いずれも堆積層が薄く、微生物被膜をうまく採ることはできなかった。

シチヨウシンカイヒバリガイに付着した微生物被膜は、貝ごと採取した。母船で歯ブラシと指を使って掻き落とし、殻に付着した褐色物質とともに直ちに中性ホルマリン (5%) ないしエタノール (70%) で固定した。

岩石に付着した微生物被膜は、適当な大きさの岩ごと採取した。岩石に付着生息している数センチメートルの枝状の生物体にも、白色綿毛状の被膜が観察できた。このような場合は、生物体ごと岩から剥ぎ取った。岩に直接付着し、産毛のように見えるものについては、指で摘み取るようにして集めた。いずれの場合も、ホルマリンまたはエタノールで固定した。

3.2 第2春日海山

微生物被膜は、水曜海山と同じように砂質の底質、岩石を覆っていた。岩ごと母船に持ち帰った微生物被膜は、指を使って摘み取った。砂上のものは採集できなかった。集めた綿毛状の糸状体は、ホルマリンないしエタノールで固定した。

3.3 顕微鏡観察

固定して研究室に持ち帰った試料を、1) 微分干渉位相差法、2) アクリジンオレンジ (Acridin Orange) または DAPI (4', 6-Diamidino-2-phenylindole Dihydrochloride) 染色による蛍光顕微鏡法によって観察した。微分干渉位相差法による場合は、ホルマリンないしアルコールによる固定試料をそのまま観察に供した。アクリジンオレンジ染色では、4mg/ml のアクリジンオレンジ (関東化学) 溶液を10倍量の試料に加えて5分間、DAPI 染色では5μg/ml の DAPI (和光純薬) 溶液を10倍量の試料に加えて10分間染色し、それぞれBlue励起ないしUV励起で観察した。

3.4 熱水の物理化学的性質の測定

Cruise Report (Naganuma *et al.*, 1997) および Onboard Report (Fujikura *et al.*, 1997) を参照されたい。

4. 結果と論議

4.1 水曜海山の微生物被膜

白色の微生物被膜は砂質の底質・岩石・シチヨウシンカイヒバリガイばかりでなく、マーカーとして設置したプラスチック製のブイや紐のような人工物にも観察できた。砂質の底質では、微生物被膜の発達した部分は、周囲がうすい黄褐色であるのに比べやや灰色に見え、明確に区別できた (図1)。

シチヨウシンカイヒバリガイの殻には数ミリメートルから数センチメートルの長さの糸状体が、ちょうど芝生のように伸びているのが観察できた。微生物被膜は、熱水噴出孔の周囲で発達が著しく、熱水噴出孔から離れるほど貧弱であった。熱水の影響の強い場所では、シチヨウシンカイヒバリガイは真っ白に見えるほどであった (図2,①) が、熱水の影響の少ないと推察される場所では、微生物被膜の発達は微弱であった (図2,②)。

岩に付着した微生物被膜は、全体としてシチヨウシンカイヒバリガイのものほど顕著ではなかった。しかし、熱水の影響が比較的強いと考えられる岩の凸部はあきらかに白く、微生物被膜が観察できた (図3)。

4.2 第2春日海山の微生物被膜

第2春日海山の頂上付近の熱水噴出域は、数十メートル四方にわたって白色の堆積物で覆われていた。熱水は100ppm以上の溶存硫化物を含み、水温は約70℃であった。白色に見える堆積物に微生物被膜があるかどうか、「しんかい2000」の船内からの観察では確認できなかった。

熱水のジェット噴出のすぐ近くでは微生物被膜の発達が著しく、綿毛状の糸状体が束になってゆれていた。黒い岩の表面の微生物被膜は、白色半透明の産毛状で、長さ約5mm程度、水中では視覚的にはっきりと確認できた。ことに岩の凸部では明らかであった (図4)。しかし、水からあげてしまうと肉眼的に確認は難しかった。糸状体の付着はかなりしっかりしていて、ピンセットでつまんだ程度では剥ぎ取ることはできなかった。微生物被膜は、砂上にも発達していたが、採集できなかった。

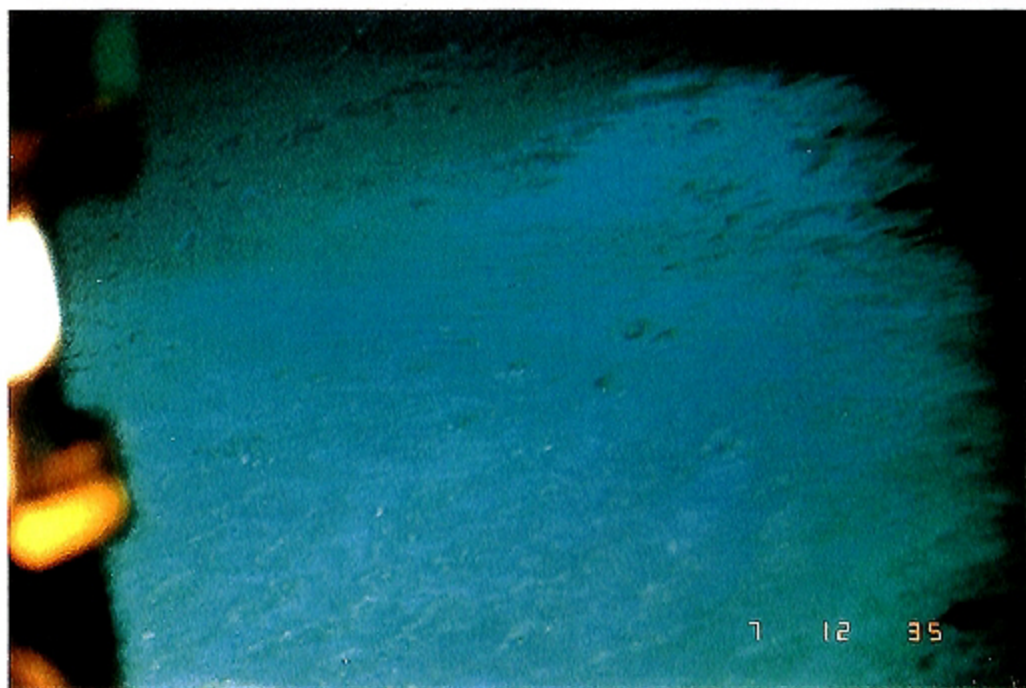


図1 水曜海山の砂質の底質に発達した微生物被膜

白色産毛状の微生物被膜が数メートルないし十数メートルにわたって広がっていた。場所によって白色に濃淡があり、微生物被膜の発達の程度に差のある事が分かる。周囲の底質とは色調によって明らかに区別できた。

Fig. 1 Microbial mat developed on sandy bottom at Suiyo Seamount.

White and downy hair-like microbial mat stretched distinctly for about a few tens meters on sandy sea-floor. Variations in density of white color probably indicate the thickness of microbial mat on sandy sea-floor.

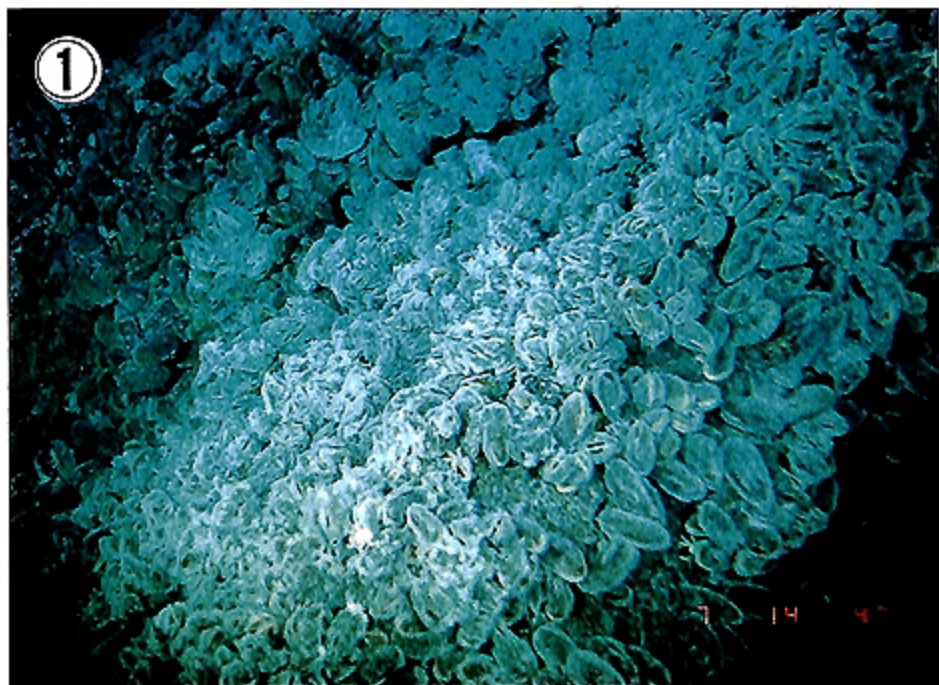


図2 永曜海山のシチヨウシンカイヒバリガイの殻上に発達した微生物被膜

熱水の影響が強いと考えられる場所では、真っ白になるほど微生物被膜が付着していた (①) が、熱水のあまり当たらない部位では、被膜の発達は一弱であった (②)。

Fig. 2 Microbial mat on *Bathymodiolus septemdierum* at Suiyo Seamount

There were great difference in development of microbial mat on the shell. It seemed strongly influenced by the concentrations of hydrothermal fluid in flow..

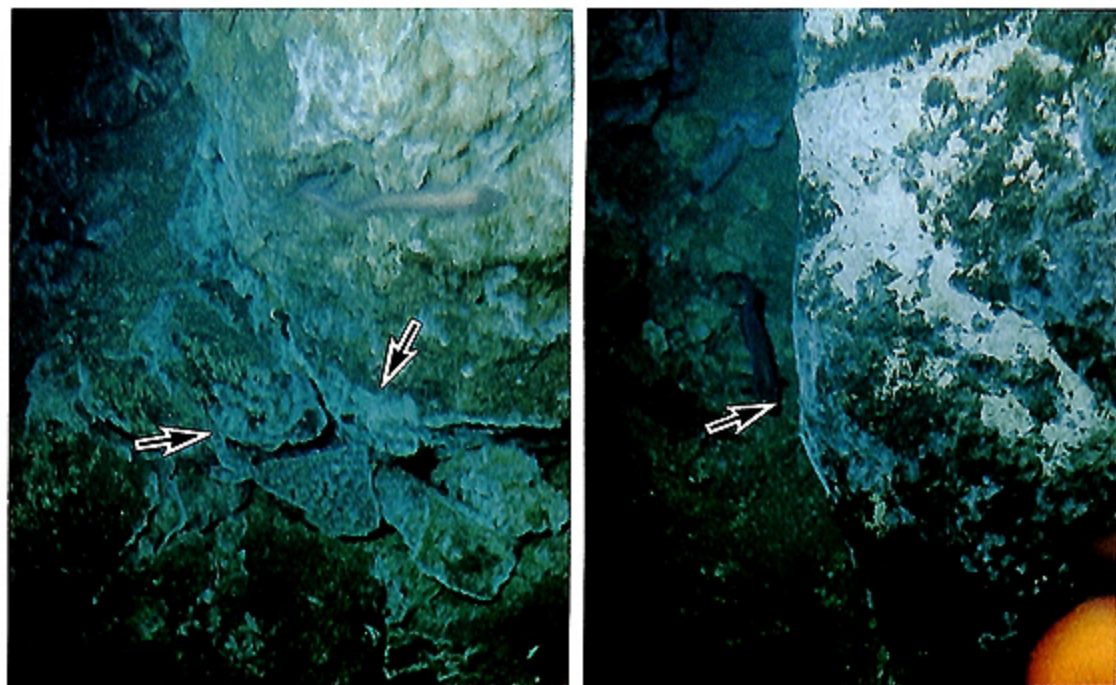


図3 水曜海山の岩上に発達した微生物被膜。岩の凸部（矢印）に特に顕著に微生物被膜が認められた。
 Fig. 3 Microbial mat on rock at Suiyo Seamount
 Microbial mat (arrow) was distinct at edge of rocks.



図4 第2春日海山の岩上に発達した微生物被膜。岩の凸部（矢印）では肉眼でも確認できた。
 Fig. 4 Microbial mat (arrow) on rocks at Kasuga 2 Seamount

4.3 顕微鏡観察

4.3.1 水曜海山の微生物被膜

図5には、水曜海山で採取した微生物被膜の微分干渉位相差像を示した。岩に直接付着していた糸状体、生物体に付着した糸状体、およびシチヨウシンカイヒバリガイ殻上の糸状体を、互いに区別することはできなかった。

糸状体はほぼ均一な太さで分枝せず、細胞間にくびれはほとんどなかった(図5,①)。シチヨウシンカイヒバリガイの殻上に付着した糸状体の付着部の細胞(図5,②)は変形しており、付着細胞であることがわかった。糸状体を構成する細胞は円筒状で、直径14–20 μm 、長さ28–55 μm で、大きさの点では真核細胞のレベルであった。しかし、核に相当する構造は、微分干渉位相差像でも蛍光染色像でも認められなかった。

細胞内には、微分干渉位相差像でも(図5,③,④)、アクリジンオレンジまたはDAPIによる蛍光染色像(図6)でも、これまで見たこともない特異な構造が観察された。この構造には、細胞全体の体積に占める割合が比較的大きいもの(50から80%以上)と小さいもの(30から40%)が区別でき、割合のおおきいものはおおむね角張っていて、「湾曲した板状」とも表現できた(図5,③,④)。また、いくつか筋状に別れているようにも見えた(図6,②)。これに対し、割合の小さいものの形状は多様であったが、概して丸く、一塊をなしていた(図6,②,③)。いずれの場合もアクリジンオレンジないしDAPIによって、全体が染色された。

一方、多くの糸状体に混じって、細胞内に粒状物を持つ糸状体が観察された(図7)。細胞内の粒状物の量は1粒ないし数粒から無数のものまでさまざまであったが、糸状体を構成するどの細胞にも同じ程度含まれていた。粒状物の位置は、細胞のほぼ中央に近く、上記の特異な板状ないし塊状の構造と密接に関連しているようであった(図7,②)。

この粒状物は、微分干渉位相差法による透過光の屈折の具合から判断して、単体イオウと推察された(図7,③,④)。細胞内にこのような単体イオウが含まれることは、*Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Thioploca* などでよく知られており(Larkin *et al.*, 1983)、このことはこれらの微生物の代謝生理に硫黄化合物が密接に関わっていることを示している。水曜海山の熱水域は、高温で硫化水素を含む環境であるから、そこに発達する微生物被膜を構成する糸状体にイオウ粒が含まれることは十分納得できる。

しかし、以下に述べるような点で、水曜海山の糸状体は*Beggiatoa*などの糸状の硫黄酸化細菌に比べて特異的

であった。すなわち、1) 糸状硫黄酸化細菌の場合、細胞内の単体イオウはsulfur globuleと呼称されるように、球状に見える。しかし、水曜海山の糸状体で観察された粒子は明らかに固体で、結晶状であった。2) 細胞内にsulfur globuleが作られる場所は、ペプチドグリカン層の内側でかつ細胞膜の外側とされている(Strohl, *et al.*, 1981)。とすればイオウ粒は細胞内に散らばっているように見えるはずで、事実、*Beggiatoa*, *Thiothrix*などではそのように観察されている(Larkin *et al.*, 1983; Brigmon, *et al.*, 1994)。ところが水曜海山の糸状体のイオウ粒は、ほぼ細胞の中心部に塊状に分布していた。

4.3.2 第2春日海山の微生物被膜

岩に付いた分枝状の生物体には、たくさんの白色の綿毛が白いカビのようについてた。これは比較的細い糸状体で、生物体にぎっしり付着していた(図8,③)。先端には、さらに細い別の糸状体の付着が見られた(図8,①)。糸状体の基部には、丸い細胞が確認できた(図8,②,④)。糸状体は基部ないし中央部ではほぼ縦横同じ長さ(3から4 μm)の細胞からなっていたが、先端部に近くなるにつれて細くなり、細胞も細くなった(図9,①,②)。中央より基部に近い部分には、はっきりと褐色を帯びた鞘が確認できた(図9,③)。

岩に直接付着していた微生物被膜には、2種類の糸状体が区別できた。どちらも太さは均一で分枝せず、細胞どうしの接合部のくびれはほとんどなかった。やや細い糸状体は、直径12から15 μm で、細胞の長さは14から28 μm であった(図10,①)。糸状体の先端も細くはならず、細胞のなかには空胞のような構造が観察できた(図10,②)。一方、図11の①に示した糸状体はやや太く(直径16から21 μm)、細胞の長さは太さよりやや長い程度(15から32 μm)であった。空胞のような構造は観察できなかった。

このやや太い糸状体を、アクリジンオレンジないしDAPIで染色し、蛍光顕微鏡で観察した像が、図11の②、④(アクリジンオレンジ染色)と③(DAPI染色)である。図に明らかなように、糸状体の表面には、ぎっしりと桿菌様の粒子が並んで付着していた。粒子は、糸状体の長軸と自身の長軸とが一致するように、互いに接するようにしてならんでいた。図11の④では、細胞表面からはがれたように見える粒子が観察できた。粒子の大きさはほぼ幅0.4 μm 、長さ1から2 μm で、細菌細胞の大きさのレベルであった。アクリジンオレンジとDAPIに染色された事とあわせて考えると、この粒子は細菌細胞と判断された。

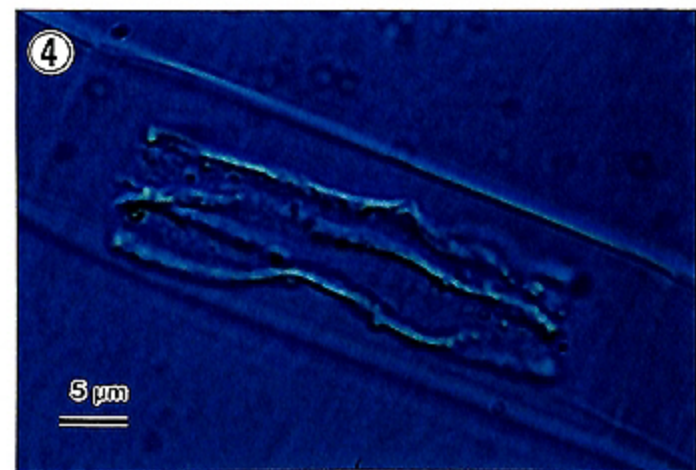
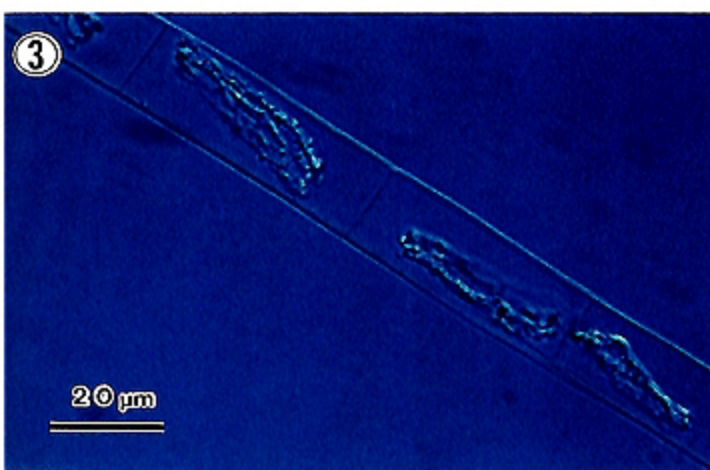
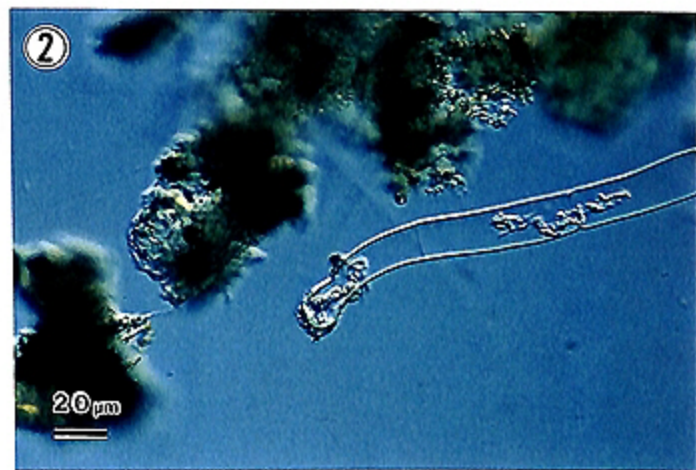
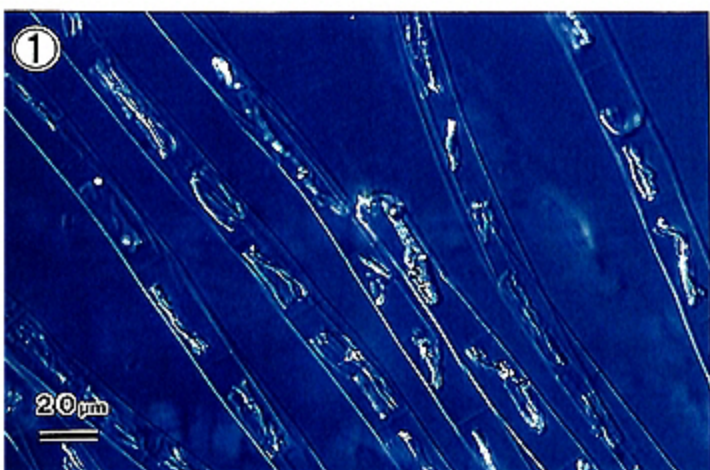


図5 水曜海山の微生物被膜を構成する糸状体の微分干渉位相差像

糸状体は分枝することなくほぼ均一な太さ（直径 $14 - 20 \mu\text{m}$ 、長さ $28 - 55 \mu\text{m}$ ）で、細胞間のくびれもほとんどなかった（①）。付着部には変形した付着細胞があり（②）、細胞の内部に特異な構造が観察された（③、④）。

Fig. 5 Images of trichome at Suiyo Seamount by differential phase-contrast microscopy.

Trichome had even diameter, did not branch, and there was no constriction between two cells. Cell size was about $14 - 20 \times 28 - 55 \mu\text{m}$. Trichome had a cell for attachment, and strange structure was observed in cell.

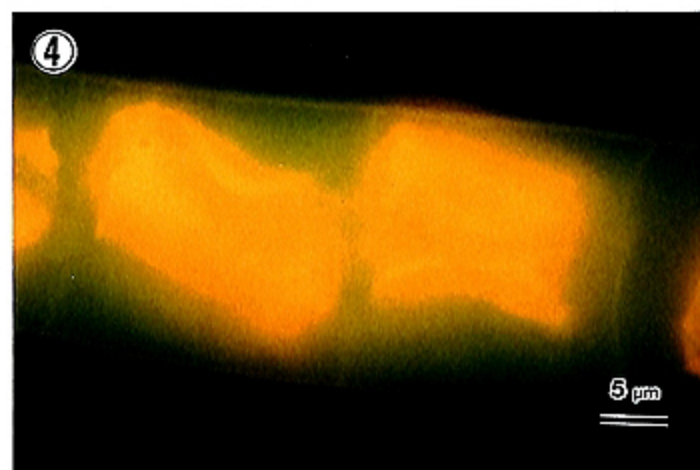
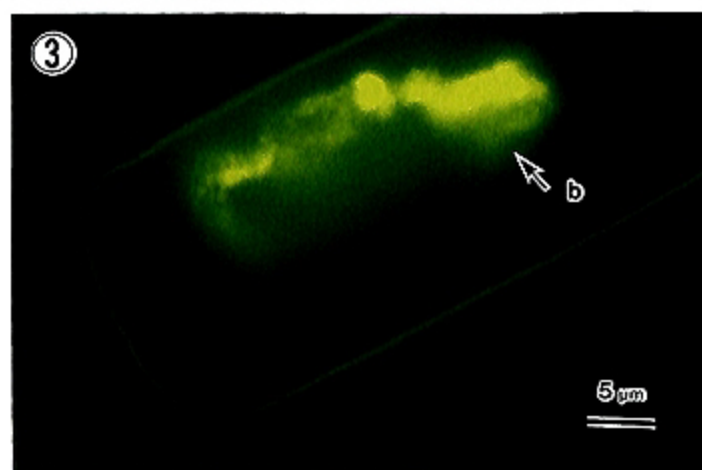
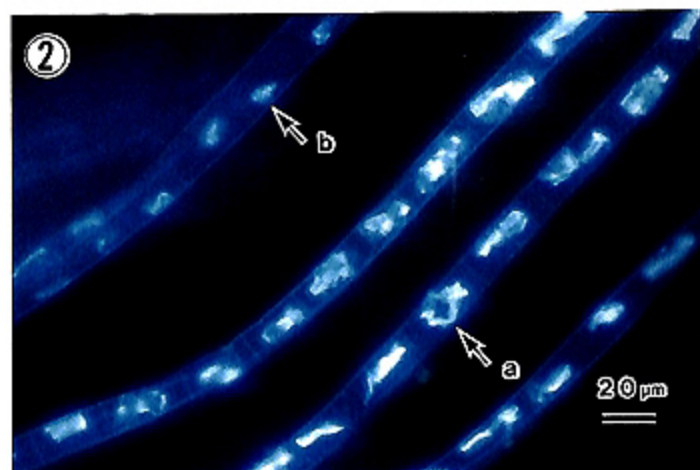
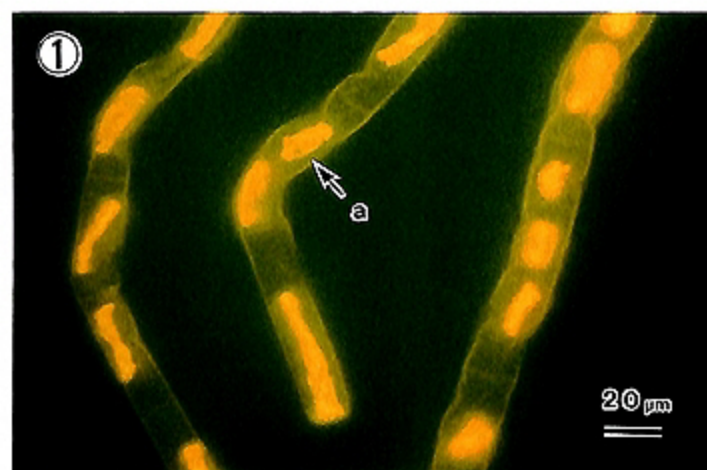


図6 水曜海山の微生物被膜を構成する糸状体の蛍光顕微鏡像

細胞内の特異な構造はアクリジンオレンジ (①,④) でも DAPI でもよく染色された。この構造は、角張った筋状にも (a:①,②), また塊状にも見えた (b:②,③)。

Fig. 6 Images of trichomes at Suiyo Seamount by fluorescent microscopy

The strange structure was stained well with Acridine Orange and also with DAPI.

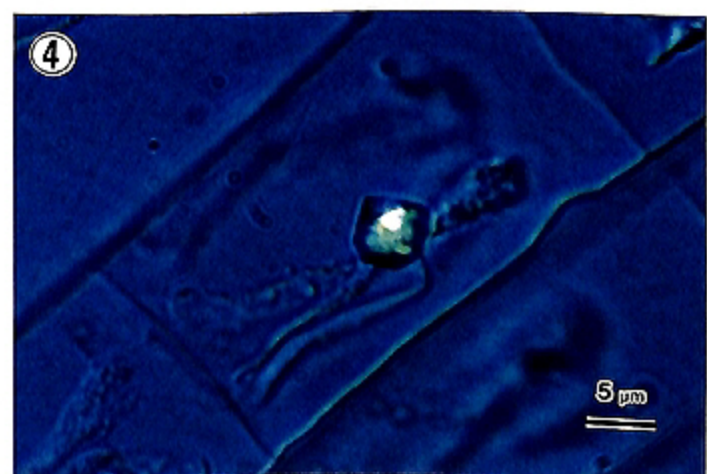
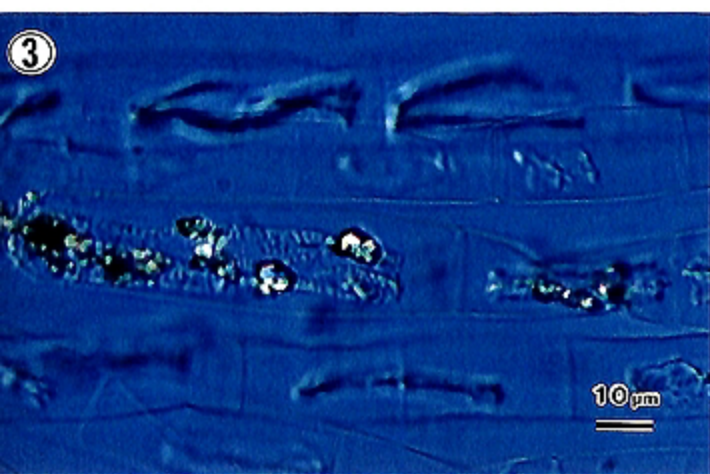
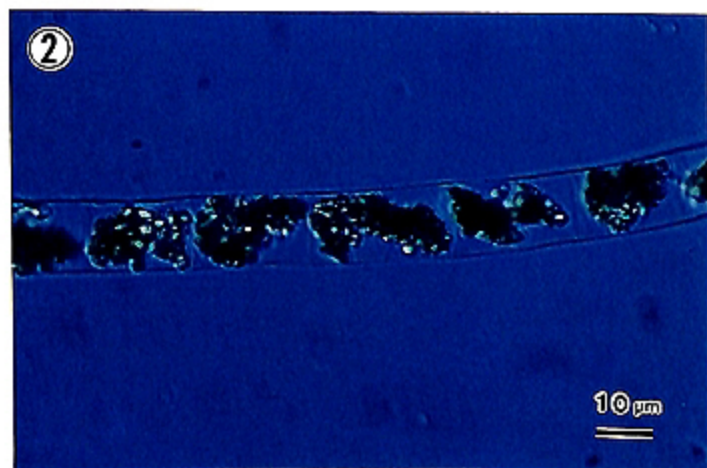
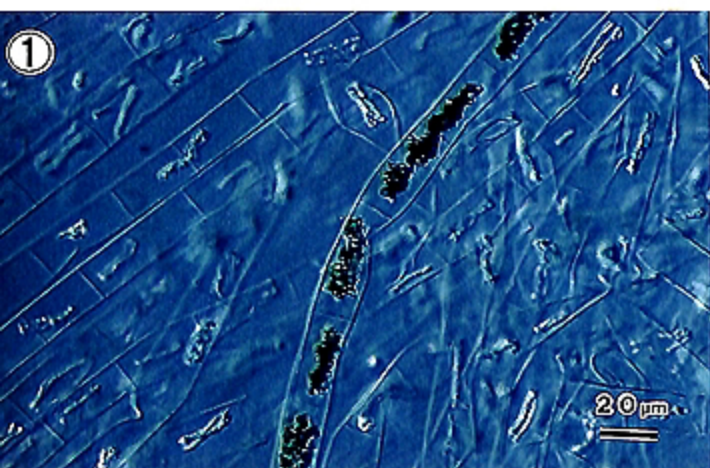


図7 水曜海山の微生物被膜に見られた単体イオウを含んだ糸状体

細胞内の粒状物は、透過光の屈折の様子(④)から単体イオウと判断できた。それぞれの細胞に含まれる量は糸状体ごとに違っていたが、一本の糸状体についてはどの細胞にもほぼ同じであった。イオウ粒は形状から見て明らかに固体で、球状には見えなかった。また、全体に散らばることなく、細胞のほぼ中央に、特異な構造とともに存在した(②,③,④)。

Fig. 7 Trichomes containing various amount of elemental sulfur granule

Microbial mat collected from Suiyo Seamount contained trichomes which have granules in cell. Judging from the refraction, the granule was elemental sulfur. The elemental sulfur looked solid and not globular, and distribute at center of the cell associated with the strange structure.

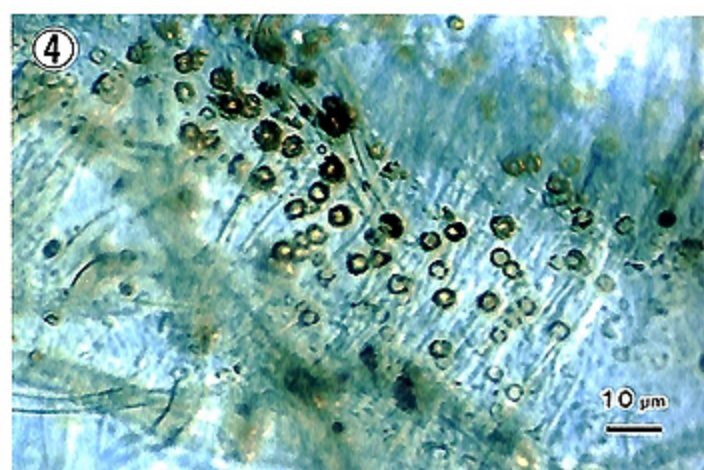
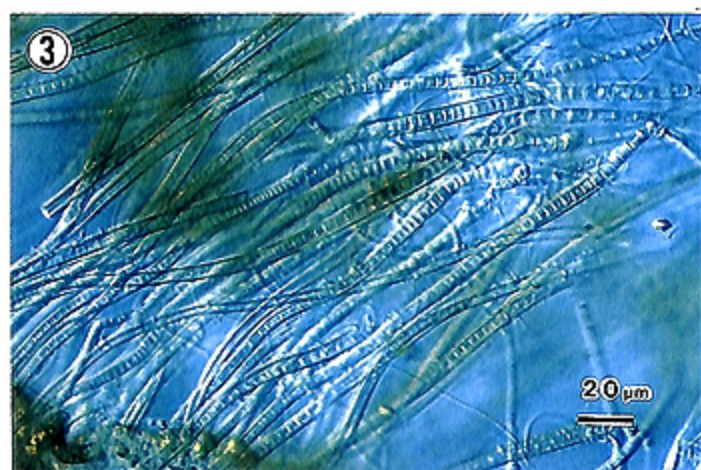
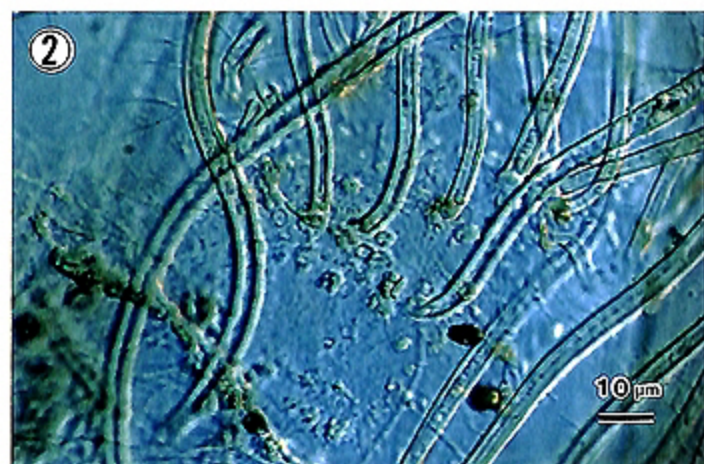


図8 第2春日海山の岩状の生物体についた微生物被膜の糸状体 (KASUGA II S)
生物体の表面にぎっしり付着し (③), 先端には別のより細い糸状体が付着していた (①)。基部には明らかに形態の異なった
丸い細胞が観察された (②, ④)。

Fig. 8 *Calothrix-like* trichome (KASUGA II S) included in microbial mat of Kasuga 2 Seamount
Trichomes attached densely with one spherical cell to the surface of organism.

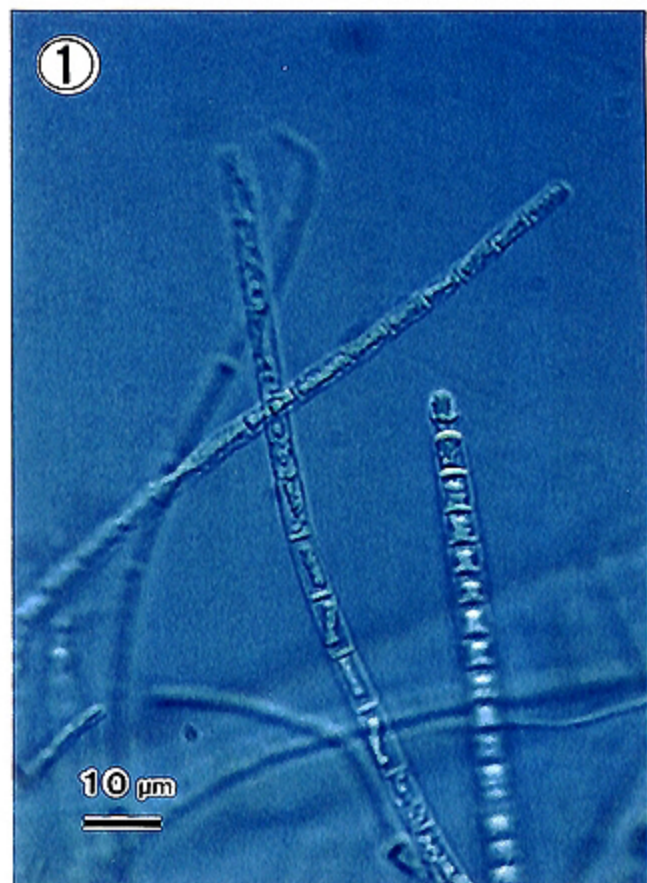


図9 第2春日海山の岩に付着した生物体についた微生物被膜の糸状体 (KASUGA II S)

糸状体は先端ほど細く (①,②), 基部には鞘が観察できた (③)。

Fig. 9 *Calothrix*-like trichome (KASUGA II S) included in microbial mat of Kasuga 2 Seamount

Trichome tapered gradually and had a colored sheath.

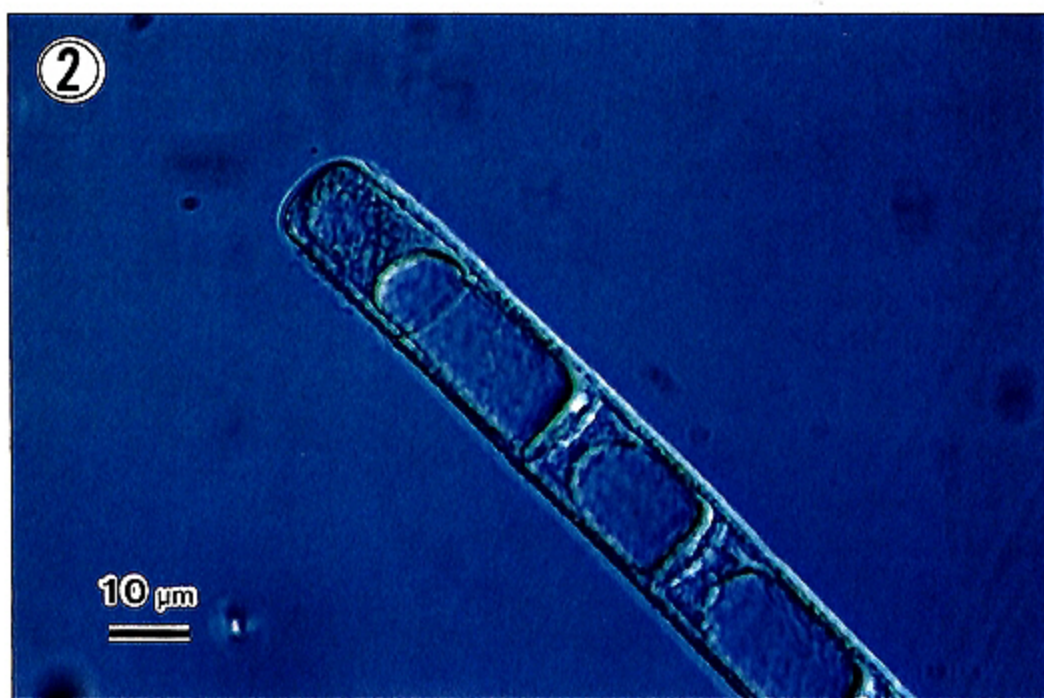
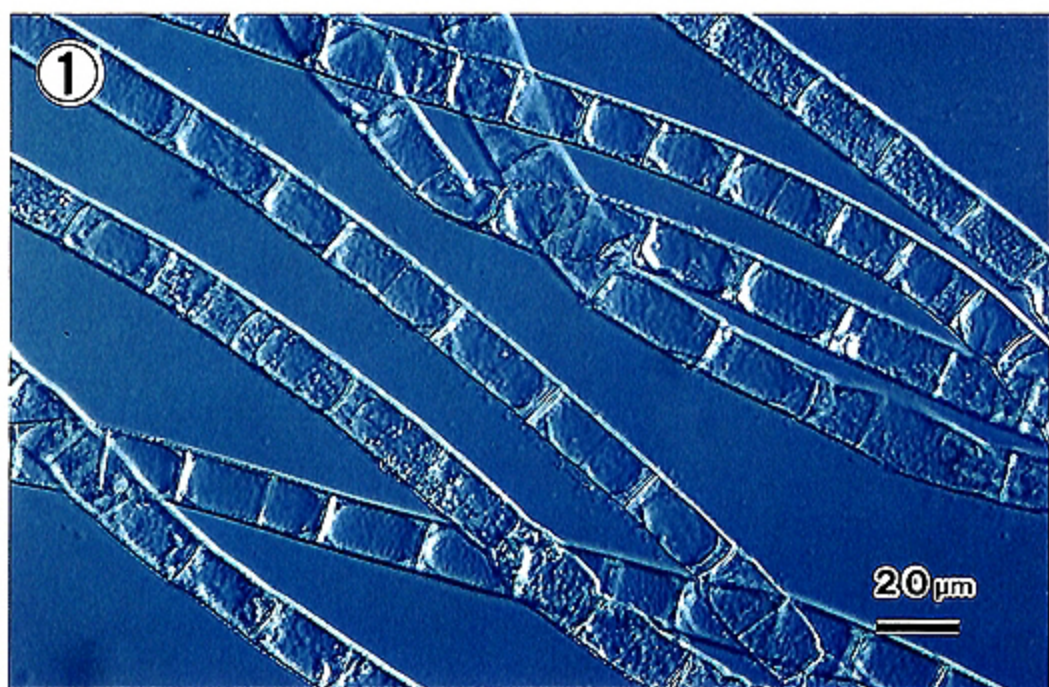


図10 第2春日海山の岩に直接付着した微生物被膜の糸状体 (KASUGA II LA)

太さはほぼ均一 (直径 $12 - 15 \mu\text{m}$ 、長さ $14 - 28 \mu\text{m}$) で、細胞間のくびれもほとんどなく、分枝しなかった (①)。細胞内に空胞様の構造が見えた (②)。

Fig. 10 Trichomes (KASUGA II LA) developed on rock at Kasuga 2 Seamount

Trichome had even diameter and not branched. There were no constriction between two cells. Cell size was about $12 - 15 \times 14 - 28 \mu\text{m}$.

Vacuole-like structure was seen in cell.

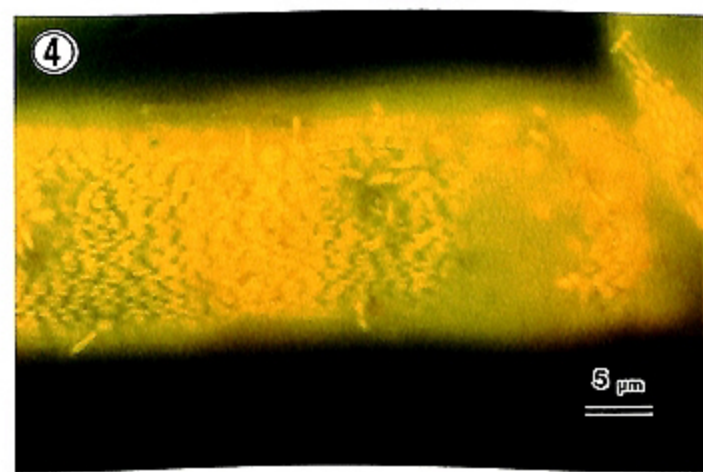
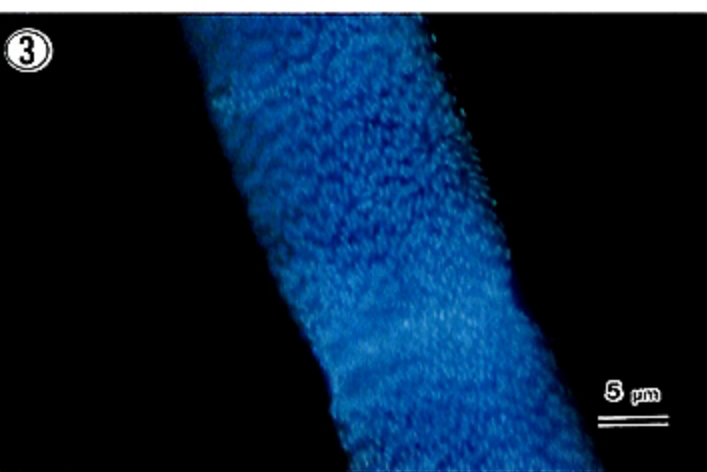
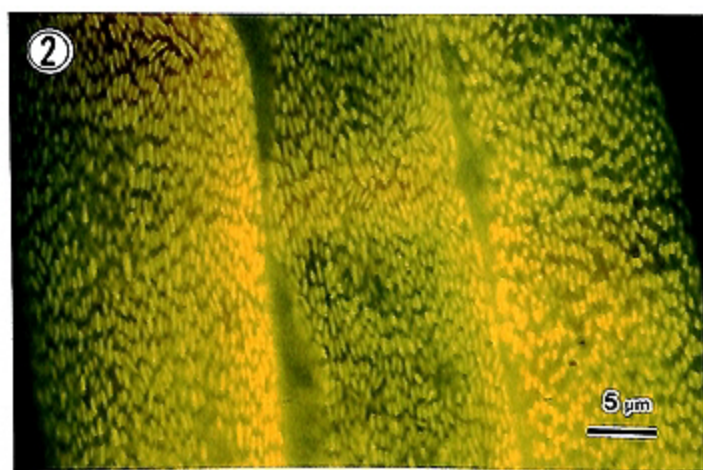
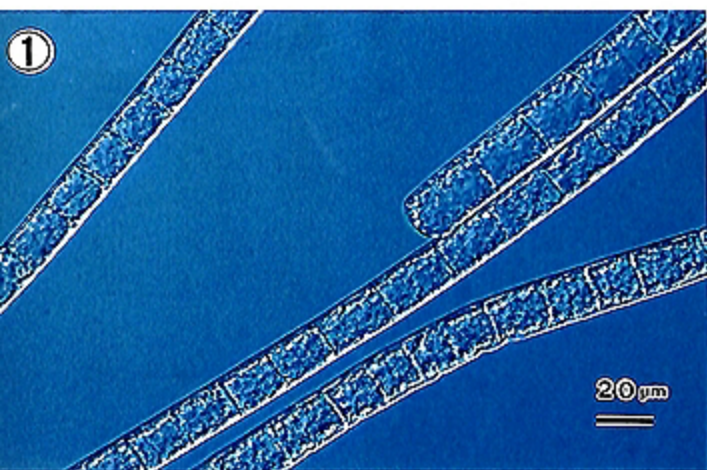


図 11 第2春日海山の岩に付着した微生物被膜の糸状体 (KASUGA II LB)

太さはほぼ均一 (直径 $16 - 21 \mu\text{m}$, 長さ $15 - 32 \mu\text{m}$) で細胞間のくびれもなく, 分枝しなかった。また, 空胞様の構造もなかった (微分干渉位相差像①)。細胞表面にはぎっしりと桿菌様の粒子が付着しており (アクリジンオレンジ染色, ②,④: DAPI 染色, ③), 剥がれた粒子も観察できた (④)。粒子の大きさは, 幅 $0.4 \mu\text{m}$, 長さ 1 から $2 \mu\text{m}$ で, 細菌細胞と考えられた。

Fig. 11 Trichomes (KASUGA II LB) developed on rock at Kasuga 2 Seamount

Trichomes had even diameter and not branched. There were no constriction between two cells. Cell size was about $16 - 21 \times 15 - 32 \mu\text{m}$. Vacuole-like structure was not detected in cell (image of differential phase-contrast).

Bacillus-like granules attached densely to cell surface (Acridine-Orange staining, ②,④): DAPI staining, ③). The size was about $0.4 \times 1 - 2 \mu\text{m}$, and it was probably bacterial cell.

4.3.3 熱水噴出域の微生物被膜

表1には、水曜海山および第2春日海山の微生物被膜に観察された4種類の糸状体と、糸状の硫黄酸化細菌4種、および糸状のシアノバクテリア3種の性状をまとめて示した。

水曜海山の均一な太さの糸状体は、単体イオウの含有物を持つことから糸状硫黄酸化細菌との関連が推測されるが、細胞の大きさや形態から考えて、*Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Leucothrix* とは考えられない。一方、細胞の大きさからすれば、糸状シアノバクテリアもその候補である。しかし、水曜海山の糸状体は鞘を持っていないから、*Lyngbya*とは異なる。また、*Oscillatoria* の糸状体とよく似ているが、*Oscillatoria* の場合、比較的太い糸状体では、細胞長は直径よりも短く、円盤状になる傾向がある (Castenholz, 1989) という。以上の諸点から、水曜海山の糸状体は、これまで報告された硫黄酸化細菌やシアノバクテリアとは異なっていた。

第2春日海山の比較的太い2種の糸状体では、単体硫黄粒は観察できなかったが、同様に糸状シアノバクテリアとの関連が考えられる。第2春日海山の場合、糸状体とともに採取された岩には、小さなフジツボとともに単体イオウ粒が混じっているのが観察でき、硫化水素を含んだ熱水の影響のもとにあることは間違いない。

水深約1,300m (水曜海山) および水深約400m (第2春日海山) という光のない海底環境を考えると、光合成をしないあるいは色素を失ったシアノバクテリアという考え方 (Jannasch and Taylor, 1984) が、適当かもしれない。

一方、第2春日海山の生物体に付随して採取された細い糸状体は、糸状体・鞘・細胞の顕微鏡的形態から、シ

アノバクテリアの *Calothrix* とよく似ている (Whitton, 1989)。しかし他の糸状体と同様、水深約400mという海底で光合成は考えにくく、光合成をしない *Calothrix* と考えなければならない。Jannasch らによれば、熱水噴出域の微生物被膜には、*Calothrix* と区別しがたいシアノバクテリア様の糸状体がしばしば観察されるという (Jannasch and Taylor, 1989)。

水曜海山の糸状体の細胞の特異な構造、および第2春日海山の糸状体に観察された細胞表面の桿菌様粒子については、現在のところ議論できるだけの資料を持たない。

謝 辞

伊豆・小笠原海域の潜航調査「SUSTAIN 97」の主席研究員長沼毅博士ならびに同乗の研究員の方々、また北部マリアナ背弧海盆の潜航調査の主席研究員藤倉克則博士ならびに研究員の方々には、試料の採取から処理にいたるまでいろいろお世話になりました。厚く御礼申しあげます。また、依田代志男司令をはじめとする「しんかい2000」の運行チーム、ならびに支援母船「なつしま」の田中等・長谷川潔船長以下クルーの方々に、謝意を表します。

引用文献

- Brigmon, R. L., G. Bitton, S. G. Zam, H. W. Martin, and B. O'Brien (1994): Identification, enrichment, and isolation of *Thiothrix* spp. From environmental samples. *Current Microbiol.*, 28: 243-246.
- Castenholz, R. W., (1989): Order *Oscillatoriales*, in "Bergey's Manual of Systematic Bacteriology vol.3" pp.1771-

表1 熱水噴出域の微生物被膜に見られた糸状体と糸状硫黄酸化細菌および糸状シアノバクテリアの性状の比較

Table 1 Comparison of trichomes collected at two hydrothermal vents and trichomes of sulfur-oxidizing bacteria and cyanobacteria.

Organism	Filament Diameter(μm)	Sheath +/-	Sulfur inclusion +/-	Holdfast +/-	Habitat Marine/Fresh	Notes
<i>Beggiatoa</i>	<1-50	-	+	-	M. & F.	cottony masses
<i>Thiothrix</i>	1.0-1.5	+	+	+	M. & F.	rosette
<i>Thioploca</i>	1-43	+	+	-	M. & F.	multiple filaments in single sheath
<i>Leucothrix</i>	2-3<	-	-	+	M.&(F.)	(rosette)
<i>Lyngbya</i>	1-80	+	-	-	M. & F.	
<i>Oscillatoria</i>	1-100<	-	-	-	M. & F.	
<i>Calothrix</i>	<2.8-18, tapered	+, colored	-	+	M. & F.	basal heterocyst
SUIYO	14-20	-	+	+	M.	AO-, DAPI-stained structure
KASUGA II S	2-4, tapered	+, colored	-	+	M.	basal heterocyst(?)
KASUGA II LA	12-15	-	-	?	M.	vacuole-like structure
KASUGA II LB	16-21	-	-	?	M.	massive adhesion of bacteria

- Fujikura, K., H. Ueno, J. Ishibashi, S. Tsuchida, Y. Maki, and W. Gaze (1997): Onboard report: SHINKAI 2000/DOLPHIN-3K/NATSUSHIMA Cruise The Northern Part of Mariana Trough, 13 Nov.-5 Dec., 1997. JAMSTEC pp.1-140.
- Hashimoto, J., and T. Okutani (1994): Four new mytilid mussels associated with deepsea chemosynthetic communities around Japan. *Jap. J. Malac.*, 53: 61-83.
- Jannasch, H. W., and C. D. Taylor (1984): Deep-sea microbiology. *Ann. Rev. Microbiol.* 38: 487-514.
- 加藤憲二, 清水晃 (1996): 原始共生系—微生物生態学の新展開, 地球, 18: 31-35.
- Larkin, J. M. and W. R. Strohl (1983): *Beggiatoa*, *Thiothrix*, and *Thioploca*. *Ann. Rev. Microbiol.*, 37: 341-367.
- Maier, S., and R. G. E. Murray (1965): The fine structure of *Thioploca ingrica* and a comparison with *Beggiatoa*. *Can. J. Microbiol.*, 11: 645-655.
- 牧陽之助 (1996): 硫黄酸化細菌被膜 (硫黄芝) と地球史, 地球, 18: 41-45.
- Naganuma, T., W. Gaze, Y. Iwabuchi, J. Ishibashi, H. Kobayashi, D. Lindsay, Y. Maki, D. Roberts, N. Takeda, and S. Tsuchida (1997): Cruise report: Sumisu-Suiyo-Kaikata Thermal Activity Investigation (SUSTAIN 97); 1-13 June 1997 JAMSTEC.
- Strohl, W. R., I. Geffers, and J. M. Larkin (1981): Structure of the sulfur inclusion envelope from four *Beggiatoa*s. *Curr. Microbiol.* 6: 75-79.
- Whitton, B. A., (1989): Genus I *Calothrix* Agardh 1824, in "Bergey's Manual of Systematic Bacteriology vol.3" pp1791-1793.
- Yamamoto, H., A. Hiraishi, K. Kato, H. X. Chiura, Y. Maki, and A. Shimizu (1998): Phylogenetic evidence for the existence of novel thermophilic bacteria in hot spring sulfur-turf microbial mats in Japan. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 1680-1687.

(原稿受理: 1998年7月27日)