

カムチャツカ・カリムスキー火山噴火に伴う 熱水の微生物学的研究

¹東邦大学医学部、²科学技術庁放射線医学総合研究所

³Russian Academy of Science, Institute of Volcanology

杉森賢司¹・五十嵐広明¹・渡辺恵子²

Sergey USHAKOV³・Sergey FAZLULLIN³・Gennadii KARPOV³

(平成11年12月16日受付,平成12年2月25日受理)

Microorganisms in the Thermal Waters which had occurred with Eruptions of Karymsky Volcano in Kamchatka, Russia

¹Toho University School of Medicine, ²National Institute of Radiological Research

³Institute of Volcanology, Russian Academy of Science

Kenji SUGIMORI¹, Hiroaki IGARASHI¹, Keiko WATANABE²

Sergey V.USHAKOV³, Sergey M. FAZLULLIN³ and Gennadii A. KARPOV³

キーワード：カムチャツカ、火山活動、熱水(温泉)、好熱性藻類、好熱性細菌

Key words: Kamchatka, Volcanic Activity, Thermal Water (Hot spring), Thermophilic Algae, Thermophilic Bacteria

ABSTRACT

On January 2nd, 1996, Karymsky Volcano in Kamchatka, erupted. At the same time, a lake bottom eruption occurred in the north part of Karymsky Lake, about 5 km far from the volcano. According to the volcanic ash, lapilli, heat and a tsunami of lake water, it seemed with the naked eye, that all life was lost there. After the volcanic activity was over at the lake, green and brown microbiological mats were observed in the new thermal stream which was occurred after the eruption of the lake bottom, situated at the north part of the lake. The green colored mat mostly consisted of the cyanobacterium, *Phormidium* sp. at 58 °C, but the brown colored mat consisted of, mainly, cyanobacterium *Anabena* sp., and cyanobacterium *Synechococcus* sp., *Phormidium* sp. and *Anabaenopsis* sp., and green alga *Cosmarium* sp.. The condition of their living was different only in 2 °C, but it was clearly divided into 2 parts looks like a man made line. The highest point of sampling was 76 °C, but no alga was detected. But, waves of skein were observed in the water flow at 73 °C conditions, and there were bacterial cell lines as strings by light microscopic observation. At the wet edge of the thermal water flow, green colored algae mats were observed at 57 °C, and it consisted of *Nostoc* sp., *Anabaenopsis* sp. and *Phormidium* sp.. As for the bacteria of this point, *Thermus* sp. was isolated from the hot water stream at 70 °C incubation. At the new geothermal place on a new fault, named Ushakov's Springs, 2 kind of springs which had different pHs were recognized. Four kinds of bacteria were isolated from the springs by using different types of medium at 70 °C incubation. Gram variable *Bacillus* sp. and *Thermococcales* bacteria were detected, living together in the same culture as isolation. It seems gram variable *Bacillus* sp. and *Thermococcales* bacteria depend on each

other. Gram negative *Bacillus* sp. was isolated in neutral medium, and acidophilic *Bacillus* sp. were isolated in acidic medium.

1、はじめに

地球上の火山分布をつぶさに観察すると、そのほとんどがいわゆるプレートが沈み込む場所やプレートができる海嶺と呼ばれる場所に集中しているのがわかる。また、活動をしている火山の半分以上が、太平洋を取り囲む環太平洋火山帯に属している。一方、温泉の分布を見ると、プレートの沈み込みと海嶺の位置にほぼ一致し、その多くが、環太平洋火山帯に分布しているのがわかる(堀田、1997)。最近、生命の起源論にて注目されている海底の温泉(いわゆるブラックスモーカー)についても沖縄沖やメキシコ沖の海溝部にて発見され、それはプレートと非常に密接な関係にある(大島、1995; 堀田、1997)。陸上部の温泉は必ずしも火山性の温泉とは限らないが、火山性温泉の成因は地表に降った雨水が地表近くまで

上昇してきたマグマ溜まりあるいはある程度冷却した高温岩体に温められ、まわりの成分も溶解し温泉水となると考えられている(湯原ら、1981)。また、それは断層に沿って湧出する場合がある。繰り返し行われてきた火山活動、造山活動は断層や地震を伴い、地熱活動と温泉とは切っても切り放すことができない関係にある(白水、1994)。この様な過程を経て湧出した温泉は外界の温度の変化に対してもほとんどその泉温の変化が見られず、生物にとっては年間を通じ生活環境の変化が無く、特に下等な生物にとっては安定した生理活性を保つことが出来る場所であると言える。このような生物にとって安定した環境をもたらしている温泉とそこに生息する生物については伊藤(1944)、江本(1964; 1965abc; 1966ab; 1967ab; 1968abc; 1969abcd)、広瀬(1953)、Brock(1978)をはじめとする温泉生物学者の調査により膨大な資料が残され、温泉の泉質、泉温、pHの違いによりそれらに適した様々な生物が明らかになっている。また、高温や強酸性等の特

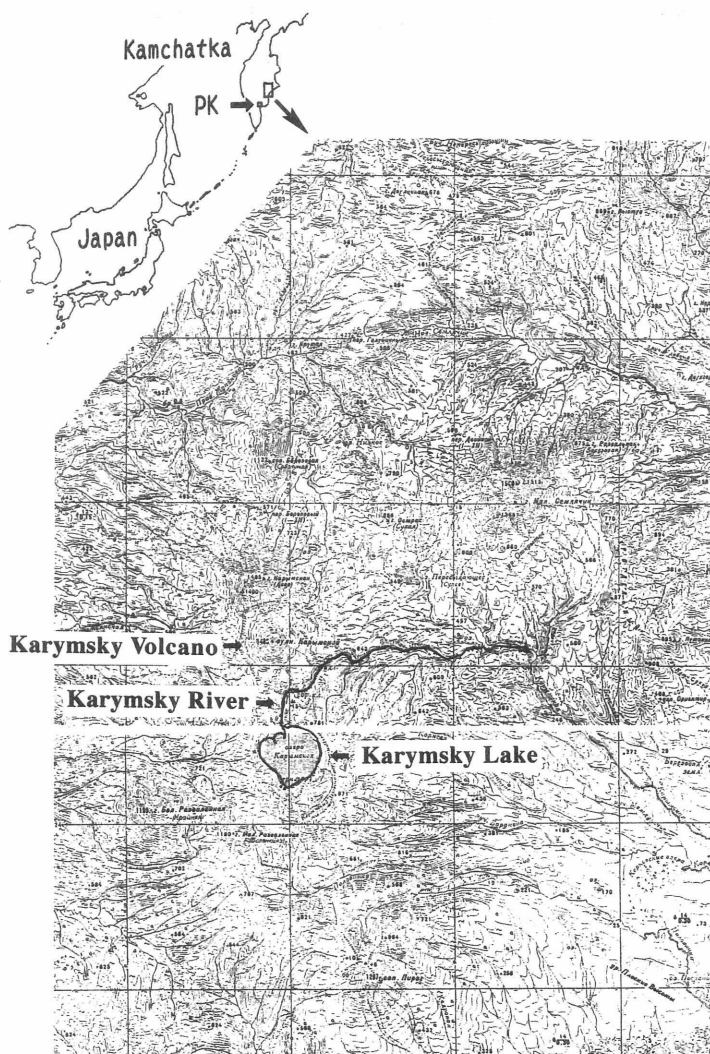
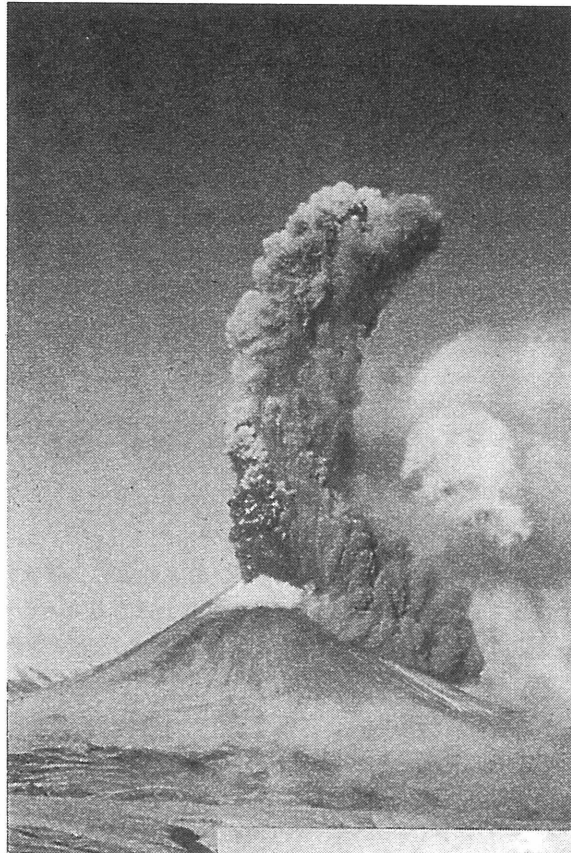


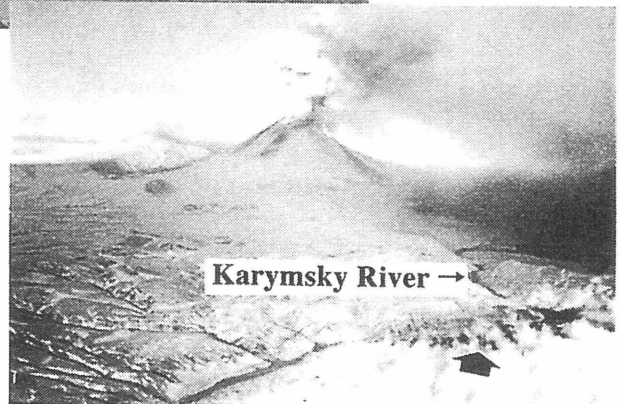
Fig. 1 Location of Kamchatka Peninsula and Karymsky Volcano, Karymsky Lake and Karymsky River (PK: Petropavrovsk - Kamchatky City)

殊環境を好んで生息する生物もそれらが有する特殊性に注目され、工業面などの応用がされている。しかし、一見安定していると思われがちな温泉ではあるが、一時の火山活動等によりその周囲の地形が変化したり、新たな熱水が湧出したり、反対に枯渇したりということも事実である。

調査対象としたカリムスキー火山があるカムチャツカ半島は北海道から千島列島を通り、1,500 Km 離れたところにある半島で、千島列島火山帯の北端に位置する (Fig.1)。日本列島のようにプレートが沈み込むところに位置することから、火山活動や地殻活動が激しいところで、地球科学的に興味を持たれている場所である。今回噴火が起きたカリムスキー火山はカムチャツカ州の州都ペトロパブロフスク・カムチャツキー (図中はPKと略す) から北東に150 Km のところに位置し (Fig 1)、その麓には活動状態や火山性地震等に関する観測施設があり定期観測を行っている。今回のカリムスキー火山の噴火については Fazlullin .ら (投稿中) によると、1995年4月にはじまったカリムスキー火山 (1,486 m) の火山性地震はその年の12月31日と翌1996年1月1日に M5 ~ 6 の大きな地震が3回記録され、さらに1月2日には M5 以上の地震が10回以上記録された。1月2日現地時間午前8時に、カリ



**Karymsky
Volcano**



Karymsky River →

Karymsky Lake

Photo 1 Eruption of Karymsky Volcano and Karymsky Lake

ムスキー火山の噴火が始まった(Photo 1、上)。カリムスキー火山では2ヶ所の火口が確認され、さらに火山から南に約5 kmの所にあるカリムスキー湖の湖底においても噴火が起きた(Photo 1、下→)。湖の北西部、カリムスキー川が流出する付近の湖岸から100~200 mのところは噴火中心で、水蒸気やガスの勢いで、湖面から5~6 mの高さに水柱が吹き上がっていた。湖面の氷も直径200 mにわたり溶け、雪は火山灰で覆われていた。湖底噴火により、10 mもの波(津波)が発生し、大量の湖水が川(谷)に沿って流れ出したことも確認されている。また、湖水の温度の急な上昇により、生息していた魚はすべて死滅したと考えられる。湖水のpHも酸性になった。1月3,4日はカリムスキー火山の噴火の勢いがさらに激しくなり、爆発は山体と同じくらいの高さに噴煙が立ち上がっているのも観察された。山頂付近の噴出口からは濃い灰色の火山灰の噴出を伴っておこる爆発が見られ、下方の噴出口からは白色の噴煙が立ち上るガス爆発が観察された。前者は2~3分間続き、後者は1.5~2分間続いた。湖にはFig. 2に示すような2ヶ所の断層が観察され、それに沿って、新たな熱水湧出口や小噴火口と考えられるすり鉢状の窪みが出現した。

今回、われわれはカリムスキー火山大噴火に伴う湖底噴火後に現地調査をする機会を得た。すなわち、カリムスキー火山の噴火活動と同時に5km離れたカリムスキー湖の湖底噴火を起こした場所に新しくできたクレーター付近(以前から確認されている断層上)、および新しく確認された断層上で湧出した熱水に注目し、火山活動によって新たに湧出した熱水に生息しはじめた微生物について、考察を行った。

2、現地調査・資料採取・培養・観察方法

2-1、現地調査

噴火1年7ヶ月後の1997年8月に現地を調査したが、前述のように噴火によって湖の状態が大きく変わり、また、津波によって剔られた湖周辺、湖岸に打ち上げられた木の残骸、特に新しく形成された湖北部のクレーター周辺で火山灰や火山れきによって覆われた湖岸等が観察された(Fig. 2)。ところ

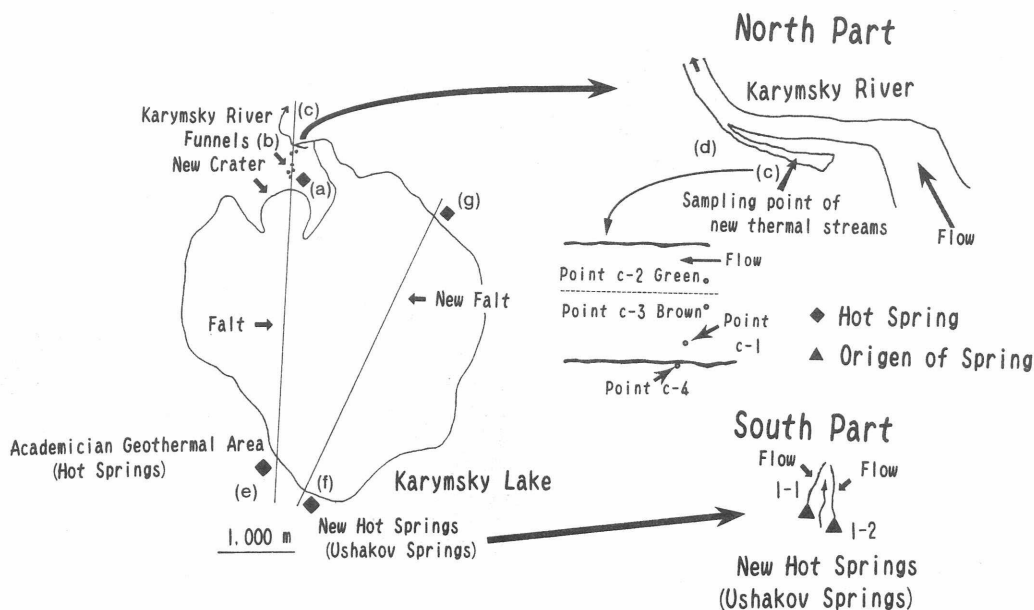


Fig. 2 Sampling locations of Karymsky Lake area, north part and south part of geothermal area around the lake

で、噴火開始後1年半を経たカリムスキー火山は依然として活動が活発で、約5分毎にガス爆発あるいは火山灰を吹き上げる噴火を行っていたが、湖底噴火についてはおさまっていた。湖の北西部には新たなカルデラ(直径約550m)ができ、その陸地側の湖岸(地点a)は57~78℃であった。湖底噴火の爆発中心(水深58m)から湖岸の地熱地帯を通る断層上北側に大小6個のファンネル状(ひとつは円筒状)爆発口(地点b)が見られ、さらにその北側に熱水の湧出ならびにその流れ(地点c)が見られた。この熱水の流れは幅約3m長さ約150mにわたり見られ、最終的に湖から流出している川に合流している(地点d)。前述のように大きく変化を受けた湖岸周辺において、生物



Photo 2 Sampling point of new thermal stream (Point c) at the north part of the lake

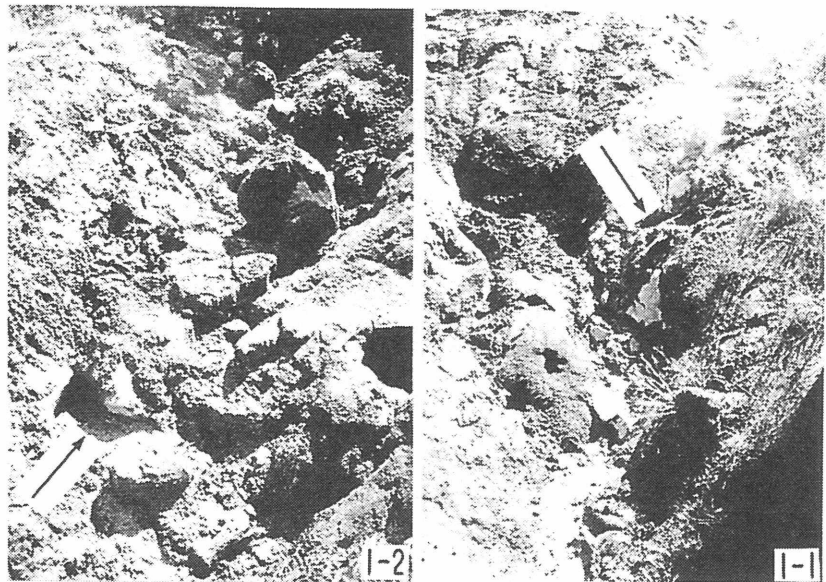


Photo 3 : Sampling point of new thermal waters at the south part of the lake, Ushakov Spring

が生息しているような様相を呈した場所は湧出している熱水の流れの中や縁(岸)であり、そこには緑色や茶色の生物らしい集団が存在しているのが確認された。この流れの中に緑色と茶色の生物の固まりのようなものが肉眼により観察された場所(図中※印)より数種類の生物試料ならびに熱水(沈殿物も含む)試料を採取した(Photo 2)。泉温(または生物が生息している場所の温度)、pH、酸化還元電位(Eh)は現地にて測定した。一方、湖の南側にアカデミシャンと呼ばれている従来からの熱水プール群(地点e)が存在していたが、その東方約100mの場所に、噴火後新たに地熱地帯が現れた(地点f)。ウシャコフ・スプリングと呼ばれているその地熱地帯には2ヶ所の湧出口が存在し(Photo 3; ↓)、そこから泥熱水を採取した。この熱水は新たな東側の断層に沿って湧出したものである。なお、図中South Partの矢印付き波線(↑)は水の流れを表す。さらに、それらの泉温、pH、酸化還元電位(Eh)は現地にて測定した。

2-2、藻類の観察

湖の北部熱水から得られた生物試料は10%ホルマリンで固定後(1mlの試料に10%ホルマリン2滴)、光学顕微鏡(OLIMPUS BX50)を用い観察し、必要に応じて写真撮影を行った。また、必要に応じて、走査電子顕微鏡(HITACHI; S450)を用い加速電圧15kVにて微細構造の観察を行い、写真撮影をした。走査電子顕微鏡観察用試料はすべて10%ホルマリンで前固定した。前固定後、懸濁液状の試料は0.1%ポリ-L-リジン処理をしポリカチオン膜を張ったカバーガラス上に滴下して接着させ、以降の処理はカバーガラスごとに行った。すべての試料は0.1Mリン酸緩衝液(pH 7.4)にて洗浄後、1%オスミウム酸で後染色した上で2%タンニン酸にて導電染色を施した。エタノール系列で脱水後、酢酸イソアミルに置換し、臨界点乾燥器(HITACHI HCP-2)にて臨界点乾燥を行った。イオンスパッタリング法により金を被覆後、観察試料とした。藻類の同定には日本淡水藻類図鑑(廣瀬、山岸、1997)、淡水藻類写真集(山岸、秋山、1984~1998)、日本淡水プランクトン図鑑(水野、1983)を用いた。

2-3、好熱性細菌の分離・性状

湖北部を流れている熱水(沈殿物も含む)を滅菌済みのサンプルチューブ(10ml または 50ml)に採取し、好熱性細菌分離用の試料とした。また、湖の南側のウシャコフ・スプリングと呼ばれている地熱地帯の2ヶ所の湧出口から熱水(泥を含む)を採取し、同様の試料とした。採取された試料は中性の培地(Table 1)および酸性の培地(Table 2)に約10%の割合になるよう接種し、70℃にて培養を試みた。さらに中性の培地には10%の割合

Table 1 The medium for identification of thermophilic bacteria refer from ATCC Catalogue, *Bacillus* Medium No. 573

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1.3g
KH_2PO_4	0.37g
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.25g
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.07g
FeCl_3	0.02g
Yeast Extract	1.0g
DW	1000 ml
	pH 7.0

Table 2 The medium for acidophilic bacteria, BY-medium *Sulfolobus* Medium

$\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.005g
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.230g
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.090g
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.023g
$\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{XH}_2\text{O}$	0.050g
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16-18\text{H}_2\text{O}$	0.030g
$\text{MnSO}_4 \cdot 4-6\text{H}_2\text{O}$	0.008g
KH_2PO_4	0.280g
$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	0.520g
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.030g
$\text{NaB}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0.005g
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1.3g
Yeast Extract	1.0g
DW	1000 ml
	pH 3.0

で寒天 (Agar ; Difco) を加え、酸性の培地には0.6%の割合でGelrite (Difco) および0.06%の割合で $\text{CaCO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を加え平板培地を作成し、細菌の分離培養に用いた。分離培養された好熱性細菌はグラム染色キット (日水製薬) を用い、簡便法によりグラム染色後、光学顕微鏡を用い形態を観察し検討した。

3、結果

3-1、湧出している熱水

湖北部の地熱地帯 (Fig. 2、地点 d) ならびに湖南部に新たに湧出したウシャコフ・スプリング 2ヶ所 (1-1、1-2) において、泉温または生物が生息している場所の温度、pH、Eh を測定した。その結果を Table 3 に示した。北部熱水流においては Photo 2 の場所にてサンプルを採取した時の泉温または生物生息地の温度である。ここは最高温度 76℃ を示すほぼ中性の熱水であった。酸化還元電位 (Eh) は温度が高く湧出口付近では酸化状態にあり他の場所では還元状態にあった。一方、南部熱水の温度は非常に高く、湧出口が隣接しているにもかかわらず全く異なる pH 値を示した。酸化還元電位は北部熱水より還元状態にある。化学成分に関しては現在検討中である。また、参考として、新たに出来た湖東部の断層に沿って、ウシャコフ・スプリングとは反対側 (湖北部 ; Fig. 2、地点 g) にも約 30℃ の温水が湧出していることがわかって

3-2、湖北部の熱水中の微生物

サンプリング地点 (Fig. 2、地点 d) において、熱水流中に濃い緑色の部分と茶色の部分が境界線を隔てている様に存在した。緑色の部分の泉温は 58℃ で、茶色の

Table 3 Temperature, pH and Eh of geothermal area near the Karymsky Lake

Samples	Temperature (°C)	pH	Eh (mv)
North Part			
Point C-1	76	7.56	88
Point C-2	58	7.02	-36
Point C-3	60	7.02	-36
Point C-4	57	—	—
South Part (Ushakov Spring)			
Point 1-1	97	7.74	-154
Point 1-2	86	3.70	-304

※ Each points refer for Fig. 2

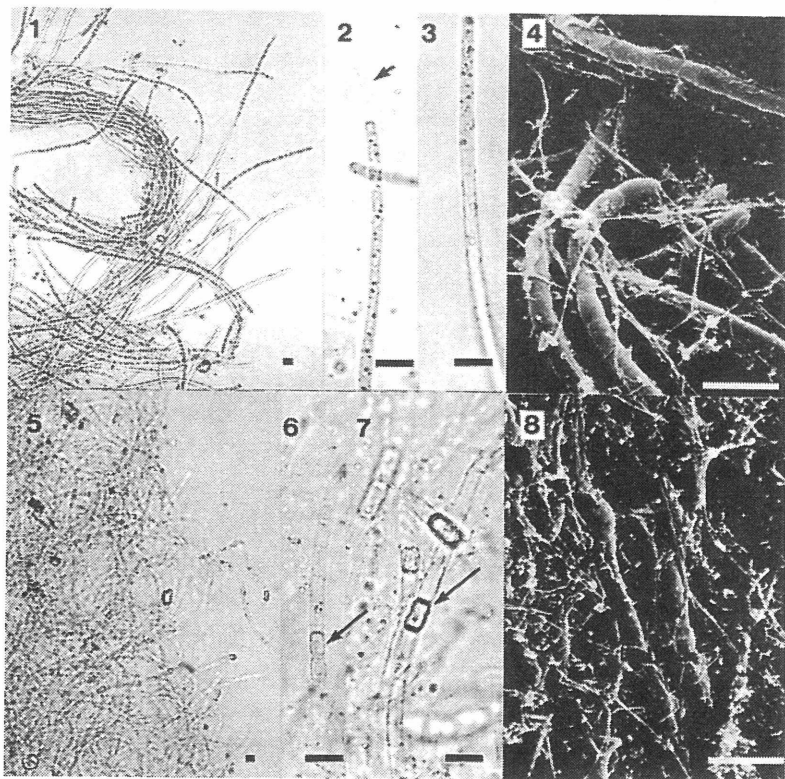


Photo 4 : Algae of green part (Point c-2) in the north thermal stream

部分は60℃であった。光学顕微鏡および電子顕微鏡による観察結果を Photo 4 に示す(写真中にあるバーの長さは10 μm を示し、以下同様である)。緑色を呈した部分のほとんどが単一の藻類で占められており(Photo 4-1)、その藻類のトリコーム(Trichomes; 細胞体)の大きさは幅2~5 μm 、長さ5~10 μm であった。また、トリコーム内にはらん青色の粒子が数個存在し(Photo 4-2, -3)、その細胞体には透明な鞘が存在する(Photo 4-2)ことから、この藻類は藍藻*Phormidium* sp. であると同定された。この藻類の電子顕微鏡写真によると、ほぼ均一のトリコームが並んでおり、トリコームとトリコームの間は竹の節のようである。また、藻体は粘着物質のようなものがまとわりついているように観察された(Photo 4-4)。一方、茶色の部分で観察された藻類(Photo 4-5)のトリコームは先に示した緑色の部分の主要藻類である*Phormidium* sp. よりは太く、幅4 μm 、長さ10 μm であった。さらに大きな特長としては連鎖している細胞体の所々にヘテロシスト(Heterocyst; 異形細胞)(Photo 4-6, -7: ↓)が観察された。このヘテロシストは幅5 μm 、長さ6~7.5 μm であった。また、連鎖している細胞体には分岐や仮分岐は見られないので、藍藻*Anabena* sp. であると同定された。この藻類の電子顕微鏡写真によると、所々コブの様にふくらんでいる場所や著しくくびれた部分等が観察され、先の*Phormidium* sp. の様に表面がスムーズでなめらかな表面ではなく、なにか表面がごつごつしている様に感じられた。この様に、茶色の部分において主体となる藻類は*Anabena* sp. であるが、Photo 5 に示すように、この茶色の部分においては他の藻類も多く観察された。*Anabena* sp. に次いで多く観察されたのはPhoto 5-4 に示す濃い緑色の細胞体(5 \times 4 μm)の集団である。幅の広い桿状のらん青色をした細胞体が2~4個連なっているのが観察された。その形態から好熱性の藍藻の代表格である*Synecococcus* sp. であることがわかった。さらに、前述の緑色部分の主体となる藻類である*Phormidium* sp. (Photo 5-5)が観察されたが、これは先の緑色部分の主体となっている藻類である*Phormidium* sp. に見られたトリコーム中の緑色粒子がはっきりと観察されなかった。さらに、緑藻

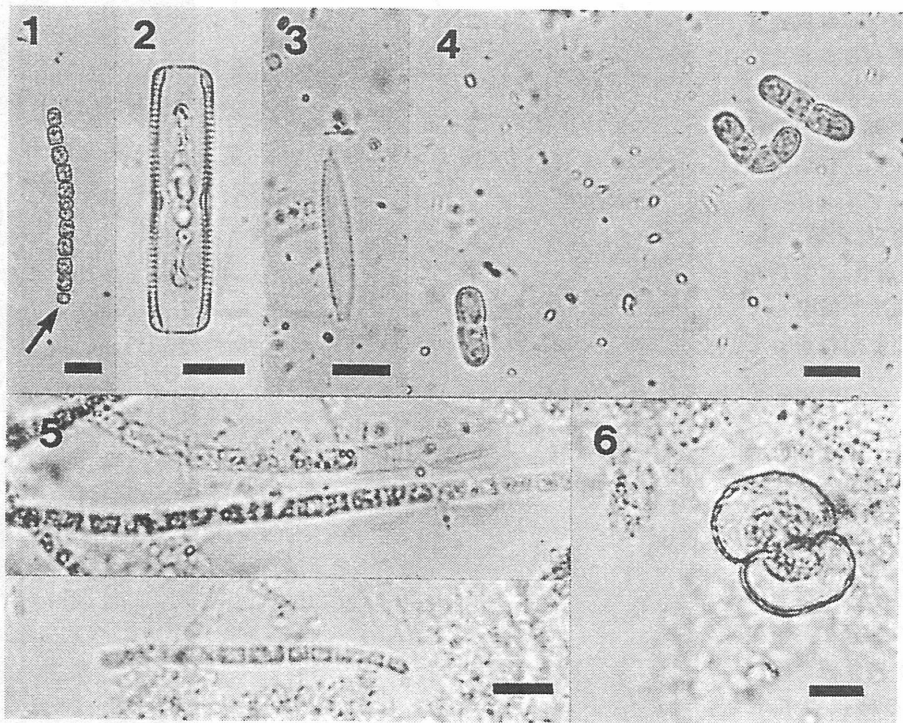


Photo 5 : Algae of brown part (Point c-3) in the north thermal stream

Cosmarium sp.(ツヅミモ; Photo 5-6)はそのほとんどが藻体に絡まって存在し、また、時折藻体中に珪藻(Photo 5-2 and 3)が観察された。黄緑色をした長い細胞列の藻体の端に小さなヘテロシストが存在している藻類が観察された(Photo 5-1)。また、平面的に見るとそのトリコームは $5 \times 5 \mu\text{m}$ の正方形タイプで、これらの性状よりこの藻類は藍藻 *Anabaenopsis* sp. であると同定された。さらに、茶色を呈した藻類の集団部分よりも川岸寄りの水中は最高水温が 76°C と高く、 60°C の環境下で観察された茶色の藻類の集団は見られなかった。しかし、水流にゆれる白色の糸状の微生物が 73°C の地点にて観察され、その形態から細胞が連鎖している糸状菌(Photo 6-4)であることがわかった。糸状菌が見られた付近の沈殿物中には珪藻(Photo 6-5)も観察された。

一方、サンプリング地点付近の湿潤な岸は 57°C であったが、そこには緑色のマットが見られ、光学顕微鏡観察によると、Photo 6-1, -2, -3, -6に示された数種の藻類によって、この微生物マットが構成されていることがわかった。各藻類について順にみると、まず、幅 $2.5 \mu\text{m}$ 、長さ $5 \mu\text{m}$ のトリコームが長く連なった藻体の中央部にヘテロシスト(幅 $5 \mu\text{m}$ 、長さ $7.5 \mu\text{m}$)が存在する藻類(Photo 6-1)が観察された。その形態からこの藻類は藍藻 *Nostoc* sp.と同定された。また、平面的に見ると、幅 $2.5 \mu\text{m}$ 、長さ $2.5 \mu\text{m}$ の正方形のトリコームが長く連なった藻体の端にヘテロシスト(幅 $3.5 \mu\text{m}$ 、長さ $5 \mu\text{m}$)が存在する藻類(Photo 6-2)はその形態から *Anabaenopsis* sp. であると同定され

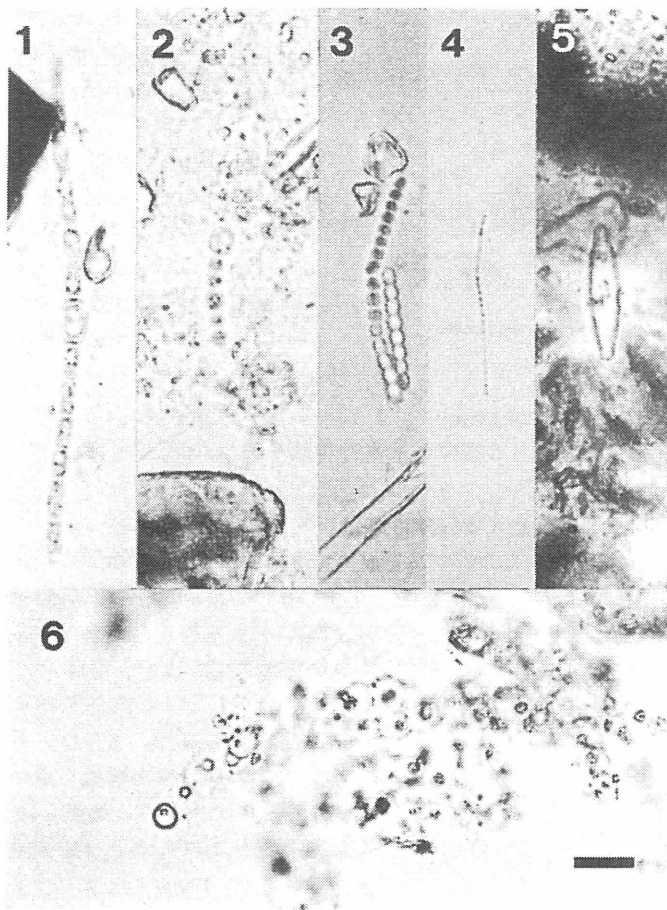


Photo 6 : Algae at the edge of the north thermal stream (Point c-4) and waves of Skein

た。このマットの中にも前述の緑色の微生物集団を形成している藻類と同種の *Phormidium* sp. (Photo 6-3)が観察された。しかし、この藻体のトリコームは $1.5 \times 1.5 \mu\text{m}$ と小さく、その形態はどちらかというといふ *Anabaenopsis* sp.に類似しているが、ヘテロシストが見られなかったことや透明の鞘が存在することから、 *Phormidium* sp. とした。このマットの中で比較的多く見られた藻類をPhoto 6-6に示した。ジェリー状の物質($7 \sim 8 \mu\text{m}$ の球形)に包まれた $1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ の球形のトリコームは長く連なっており、集団を形成しているが、その藻体の端に $5 \mu\text{m}$ の球形のヘテロシストが存在する。前述のPhoto 6-1とはその形態が異なっているが、この藻類は *Nostoc* sp.と同定した。

熱水の流れは流れの中央部である緑色の部分において、湯量も多くある一定の流れを形成しているが、茶色の部分から岸にかけては中央部ほどの流れは認められなかった。また、この流

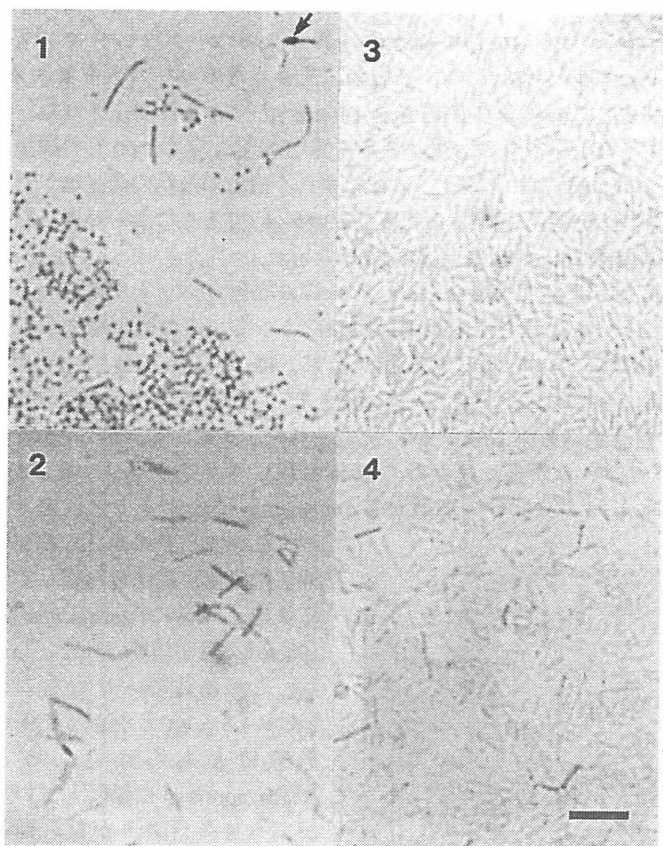


Photo 7 : Thermophilic Bacteria which lives in thermal waters
(Point 1-1, 1-2 and c-1)

は認められず、また分岐も見られなかった(Photo 7 - 3)。以上の性状から、この細菌は *Thermus* 属の細菌であることがわかった。これらの細菌の基本的性状をTable 4 に示した。

3 - 3、湖南部のウシャコフ・スプリングに生息する好熱性細菌

ウシャコフ・スプリング2ヶ所において採取したサンプルを前述の中性の培地および酸性の培地を

Table 4 Characteristics of bacteria isolated from thermal water
(Point Number 1-1, 1-2, c)

Strain	Shape	Gram stain	Spore	Size(μ m)
Point1-1				
1-1-1	Rod	V	+T	0.5 × 2 - 3
	Short rod	-	-	0.25 × 0.5
1-1-2	Rod	-	+T	0.25 × 2 - 3.5
Point1-2				
1-2	Rod	-	+CT	0.25 × 2 - 3
Pointc				
c-1	Rod	-	-	0.25 × 2 - 3

T: terminal, CT: central to terminal, V: variable

れの上流に存在する湧出口は1ヶ所ではなく、多くの場所からにじみ出るように湧出しており、湧出している付近での泉温は75～80℃前後であった。また試料採取地点のさらに下流では83℃であり、流れの岸の部分やその付近からも熱水が湧出しており、この付近の泉温も76℃と高く肉眼では生物の生息が認められなかった。数度の差を持って各地点に生息する生物種の違いがみられた。

一方、この熱水流に生息する高熱性細菌に関し、地点dにおいて採取したサンプルを中性の培地(*Bacillus* Medium No. 573 変法培地)および酸性の培地(BY-Medium; *Sulfolobus* 用)を用い、70℃において培養した結果、中性の培地において混濁(細菌の増殖)が確認された。さらに同培地の平板培地を用い分離培養を試みたところ、グラム陰性の桿菌が分離された。基本的性状についてみると、まっすぐな葉巻型の菌体において、胞子の形成

を用い、70℃において培養した結果、地点1-1から採取したサンプルは中性の培地にて、また、地点1-2から採取したサンプルは酸性の培地にて増殖が認められた。さらに、それぞれ同中性培地の平板培地を用い分離培養を試みたところ、地点1-1から採取したサンプルより2株の細菌が分離された。Photo 7-1に示すように、グラム不定の桿菌が分離された。この桿菌は胞子を形成する

(Photo 7-1: ↓)ことから、*Bacillus* 属の細菌であることがわかった。しかし、分離培養をし、コロニーを作らせたにもかかわらずこのカルチャーにはグラム陰性の球菌が混在していた。好熱性でグラム陰性の球菌は現在 *Thermococcales* に属する細菌であることがわかっている。また、Photo 7-2 に示すようなグラム陰性の桿菌も分離された。先のPhoto 7-1 に示されたように本菌株も孢子を形成することから、*Bacillus* 属の細菌であることがわかった。一方、地点 1-2 から採取したサンプルについて、先と同様に同酸性培地の平板培地を用いて分離培養を試みたところ、グラム陰性の孢子を形成する桿菌が分離された(Photo 7-4)。以上の性状からこの細菌は好酸性の *Bacillus* 属の細菌であることがわかった。これらの細菌の基本的性状をTable 4 に示した。

4、考 察

カリムスキー火山の大爆発により、それが引き金となりカリムスキー湖の湖底噴火が起きた。噴火による熱や湖でおきた津波により、この湖や爆発した周辺においては火山灰や火山れきによる荒涼とした大地が広がり、一見生物が生息しない死の世界になった。噴火と同時に従来から存在した断層が動き、湖北部の尾根には数メートルの段差が見られ、この断層に添った新たな熱水が湧出した。また、湖東側にも新たな断層が見られ、前述のように新たな熱水や温水が湧出した。ところで、荒涼とした大地とは対照的に、新たな熱水の流れには生物の集団が生息している光景が観察された。そこには好熱性の藻類をはじめとした微生物の集団が観察され、わずかな温度の違いにより様々な生物が棲み分けしているのも観察された。つまり、湖北部の58℃の熱水流において、緑色の部分を構成する藻類は*Phormidium* sp. という単一の藍藻の集団から成ることがわかったが、それよりわずか2℃異なる生息環境60℃に生息する生物集団は茶色を示し、さらにこの微生物マットは先の単一の種から成る緑色のマットとは異なり数種類の藻類により構成されていることがわかった。わずか2℃異なるこの茶色の環境においても*Phormidium* sp. が観察されたが、58℃の環境下でみられたトリコーム中の緑色粒子がはっきりと見られず、あたかも生物活性を失った抜け殻のようにも感じられた。それを裏付けることとして、Richard(1969a, b)によると、*Phormidium* sp. の生息上限は58～60℃という記載があるが、60℃は生育ぎりぎりの線を示し、やはりこの藻類は60℃を過ぎてしまうと生命体の存在が危ぶまれるようである。肉眼で観察すると、きれいに線を引いたかの様に緑色の部分を構成する*Phormidium* sp. と茶色の部分を構成する*Anabena* sp. を主とする多数の藻類が棲み分けをしているが、よく観察するとその境界線には、緑色のマット上に茶色のマットがおおい被さった様に観察された場所がある。流れのわずかな変化により環境温度が上昇し、生物種のすみかえが行われたものと考えられる。これが茶色の藻類の部分に緑色の*Phormidium* sp. が混在していることだと考える。また、熱水の流れの湿潤な岸にも57℃という温度のもとで多くの好熱性藻類が観察された。この熱水流の周囲は依然として生物の生息が見られない荒涼とした場所が広がっているが、熱水中や高熱の湿潤な流れの岸に光合成を行う藻類をはじめとした様々な生物が生息し始めた事実は地球上に生命が誕生し、光合成を行い酸素を出す生物が定着しはじめた頃の状態ではないかと想像する。このように周囲での生命体が観察されない状態において、生命が全くみられなくなった状態から生命体の生息が認められる様な状態になるにはこの様な熱水(温水)の存在が重要で、生物が生息し始めやすい環境であると考えられる。一方、藻類の生育が見られない高温の環境にも好熱性細菌が生息しており、中性環境に生息する代表的な好熱菌である *Thermus* 属の細菌や孢子を形成する *Bacillus* 属の細菌や好熱性の球菌である *Thermococcales* に属する細菌が分離されこれら好熱菌の生息が認められたが、さらに詳細な性状の検討を行いそれら種の決定については現在検討中である。南部の地熱地帯の東側に新たに出来たウシャコフ・スプリングは湧出口が2ヶ所近接し存在するが、その2ヶ所の熱水のpHが全く異なっていることは興味深い点である。この点については成分の分析を現在行っている最中であるが、この熱水の源が全く異なっていることが推察される。生育環境の大きな違いから、当然そこに生息する生物も異

なっており、当然ではあるが、培養温度70℃において、1-1(中性環境)の試料中には中性培地で増殖する細菌が、1-2(酸性環境)の試料中には酸性培地で増殖する細菌がみられた。1-1の試料は酸性培地で、一方、1-2の試料は中性培地で増殖する細菌が認められなかったが、55℃の培養温度においては異なったpH環境で増殖する細菌が認められた(未発表データ)。この詳細な結果については現在検討中であるが、これらの興味ある結果は生物の生育の多様性を物語っている。

なお、この研究成果の一部は第51回日本温泉学会大会(別府、1998.8)、および、第52回日本温泉学会大会(草津、1999.8)において発表した。

謝 辞

本研究を行うにあたり、カムチャツカでのフィールドワークが出来るきっかけを与えて下さった、東京大学大学院 総合文化研究科・教授 高野穆一郎先生に感謝いたします。また、火山に関する知識等をご教授下さいました東京工業大学名誉教授 小坂丈予先生に感謝いたします。さらに、化学分析や化学知識に関しご助言をいただいた東京大学大学院 総合文化研究科・助教授 松尾基之先生に感謝します。共同研究や顕微鏡使用等に関しご協力下さいました東邦大学医学部・教授 黒田 優先生に感謝いたします。

東邦大学医学部生物学研究室の皆様にもご協力を戴き感謝しております。

文 献

- Brock, T., D. (1978) : Thermophilic Microorganisms and Life at High Temperature, p465, Springer-Verlag, New York.
- 江本義数(1941) : 日本産温泉植物に就いて、温泉科学、1、119 - 138.
- 江本義数(1964) : 我が国の温泉中に棲息する生物(その1)、温泉工学会誌、2、148 - 159.
- 江本義数(1965a) : 我が国の温泉中に棲息する生物(その2)、温泉工学会誌、3、19 - 29.
- 江本義数(1965b) : わが国の温泉中に棲息する生物(その3)、温泉工学会誌、3、89 - 101.
- 江本義数(1965c) : わが国の温泉中に棲息する生物(その4)、温泉工学会誌、3、173 - 182.
- 江本義数(1966a) : わが国の温泉中に棲息する生物(その5)、温泉工学会誌、4、39 - 50.
- 江本義数(1966b) : わが国の温泉中に棲息する生物(その6)、温泉工学会誌、4、90 - 104.
- 江本義数(1967a) : わが国の温泉中に棲息する生物(その7)、温泉工学会誌、4、151 - 165.
- 江本義数(1967b) : わが国の温泉中に棲息する生物(その8)、温泉工学会誌、5、24 - 31.
- 江本義数(1968a) : 続・わが国の温泉中に棲息する生物、温泉工学会誌、5、61 - 91.
- 江本義数(1968b) : 続・わが国の温泉中に棲息する生物(その2)、温泉工学会誌、6、29 - 53.
- 江本義数(1968c) : 続・わが国の温泉中に棲息する生物(その3)、温泉工学会誌、6、85 - 11.
- 江本義数(1969a) : 続・わが国の温泉中に棲息する生物(その4)、温泉工学会誌、6、135-164.
- 江本義数(1969b) : 続・わが国の温泉中に棲息する生物(その5)、温泉工学会誌、7、25 - 52.
- 江本義数(1969c) : 続・わが国の温泉中に棲息する生物(その6)、温泉工学会誌、7、75 - 108.
- 江本義数(1969d) : 日本における温泉生物学の進歩、温泉科学、20、126 - 134.
- 廣瀬弘幸(1953) : 温泉と藻類、藻類、1、10 - 16.
- 広瀬弘幸、山岸高旺(1977) : 日本淡水藻類図鑑、p950、内田老鶴圃、東京.
- 堀田 宏(1997) : 深海底から見た地球、p246、有隣堂、横浜.
- 伊藤祐一(1944) : 温泉生物、1 - 84、創元社、東京.
- 水野寿彦(1983) : 日本淡水プランクトン図鑑、p353、保育社、大阪.

大島泰郎(1995) : 生命は熱水から始まった、p146、東京化学同人、東京.

Richard, W., Castenholz (1969a) : The Thermophilic Cyanophytes of Iceland and the Upper Temperature Limit, *J. Phycol.*, 5, 360 - 368.

Richard, W., Castenholz (1969b) : Thermophilic Blue-Green Algae and the Thermal Environment, *J. Phycol.*, 33, 476 - 504.

白水晴雄(1994) : 温泉のはなし、p201、技報堂出版、東京.

山岸高旺、秋山 優(1984) : 淡水藻類写真集第 1 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1984) : 淡水藻類写真集第 2 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1985) : 淡水藻類写真集第 3 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1985) : 淡水藻類写真集第 4 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1986) : 淡水藻類写真集第 5 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1987) : 淡水藻類写真集第 6 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1987) : 淡水藻類写真集第 7 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1988) : 淡水藻類写真集第 8 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1989) : 淡水藻類写真集第 9 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1989) : 淡水藻類写真集第 10 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1993) : 淡水藻類写真集第 11 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1994) : 淡水藻類写真集第 12 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1994) : 淡水藻類写真集第 13 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1995) : 淡水藻類写真集第 14 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1995) : 淡水藻類写真集第 15 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1996) : 淡水藻類写真集第 16 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1996) : 淡水藻類写真集第 17 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1997) : 淡水藻類写真集第 18 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1997) : 淡水藻類写真集第 19 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

山岸高旺、秋山 優(1998) : 淡水藻類写真集第 20 集、p100、内田老鶴園新社、東京.

湯原浩三、瀬野錦蔵(1981) : 温泉学、p293、地人書館、東京.