

2023.11.19 (日)

雲南懇話会

雪と氷にすむ生き物たち 雪氷生態学への招待

竹内 望

千葉大学 理学部地球科学科
大学院理学研究院

雪氷生態学との出会い



幸島司郎
(京都大学名誉教授)

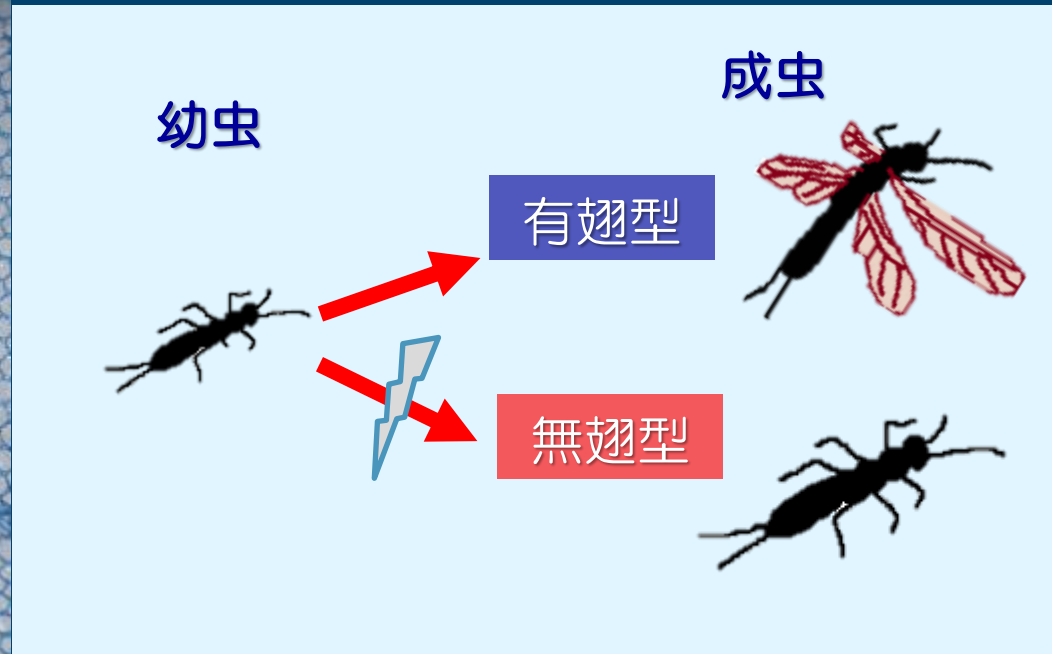
ユキムシの研究から雪氷生態学を確立

セツケイカワゲラ（ユキムシ）

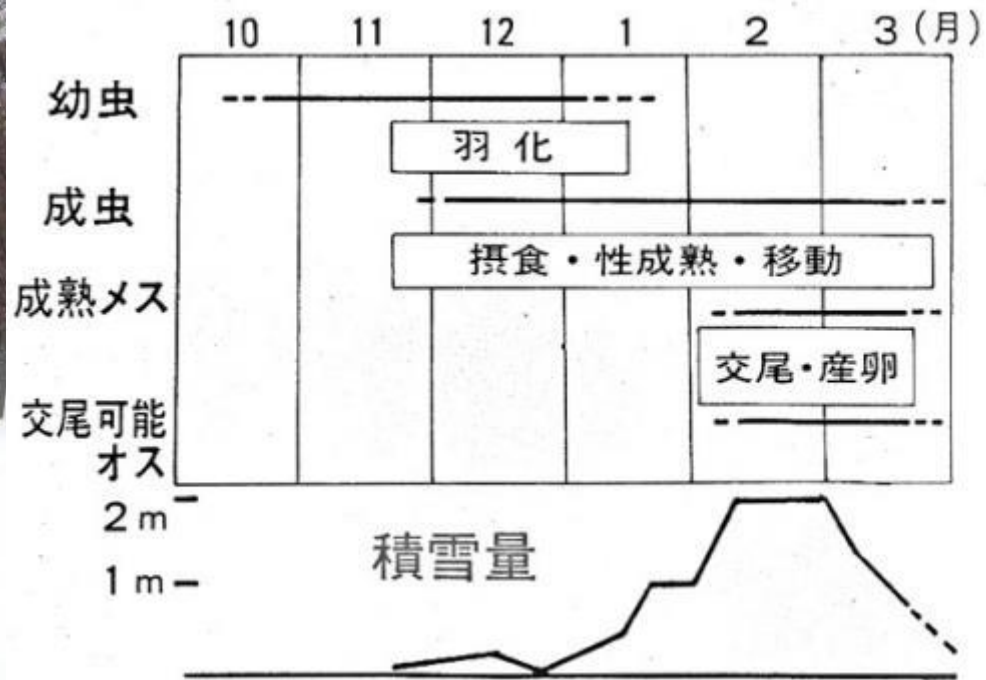
積雪上で活動する翅のないカワゲラ(昆虫)
日本列島の積雪地に広く分布
寒さに強いが、暑さに弱い
～気温が高くと、体が動かなくなる。



一般のカワゲラの幼虫
(川底の石の裏に生息)



セツケイカワゲラの生活史



日本のユキムシ

積雪のような低温環境に適応した昆虫類
雪の上で、いったい何を食べているのか？



セツケイカワゲラ

クモガタガガンボ

トビムシ

ユキムシはなにを食べているのか？

1993.7-9

山小屋(劔沢キャンプ場管理小屋)アルバイト



赤雪現象

融雪期に、雪氷藻類(光合成微生物)の大繁殖によって、積雪表面が赤くなる現象。
雪の赤潮

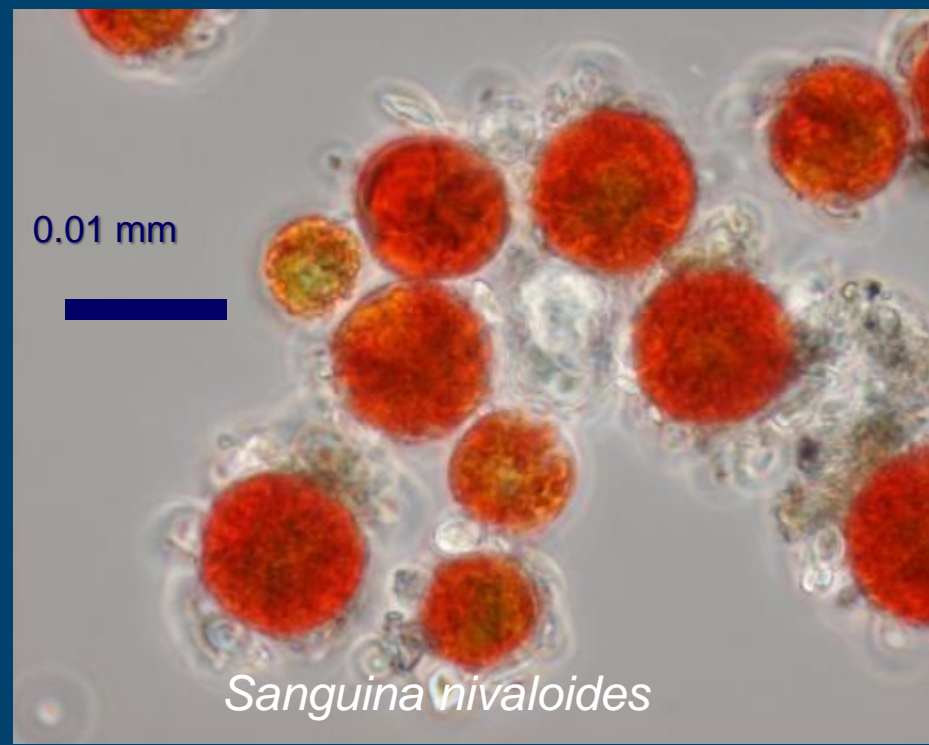


立山雷鳥沢周辺

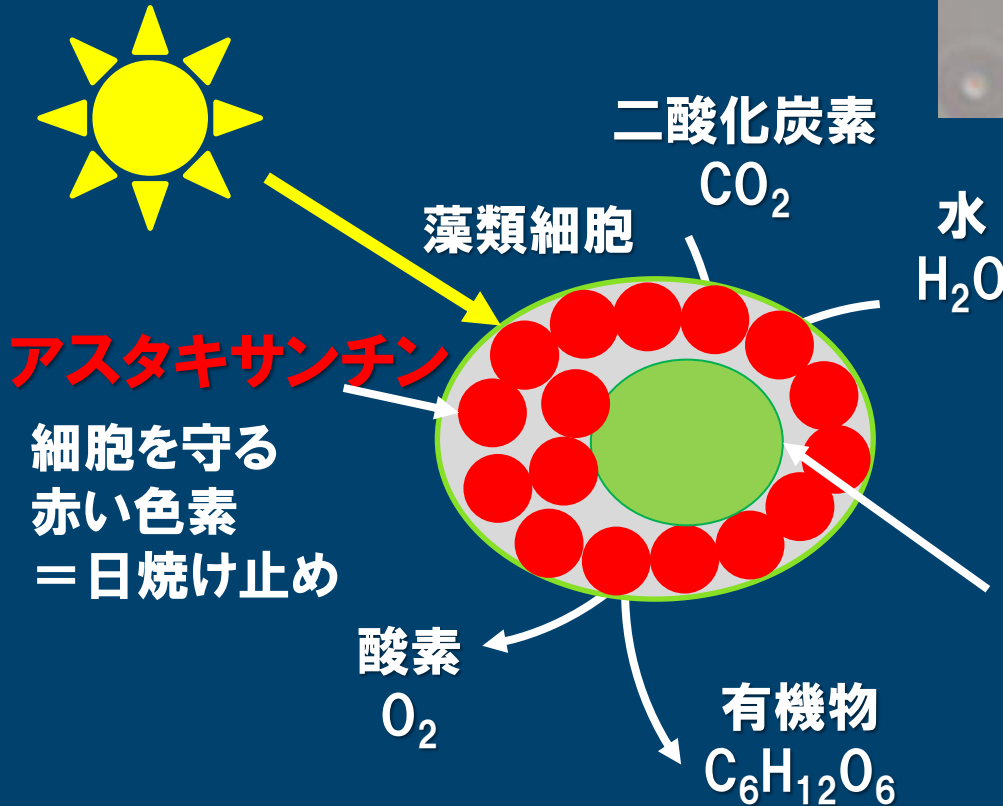


雪氷藻類

雪や氷の上で繁殖する藻類
光合成で繁殖
赤い色は、強い日射対策
ユキムシのエサになる



赤雪中の雪氷藻類
(サングイナ・ニバロイデス)

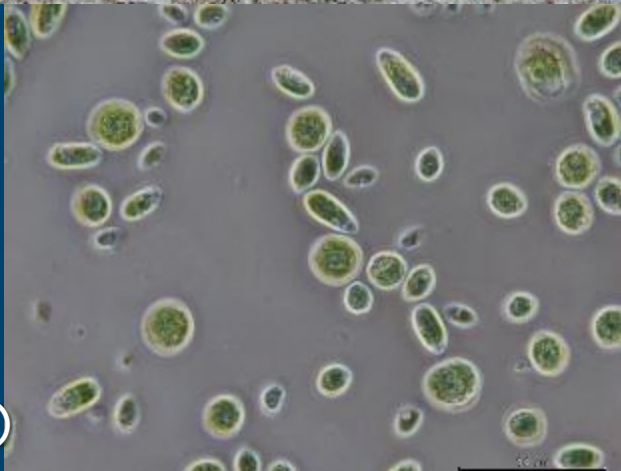


樹林帯には緑雪

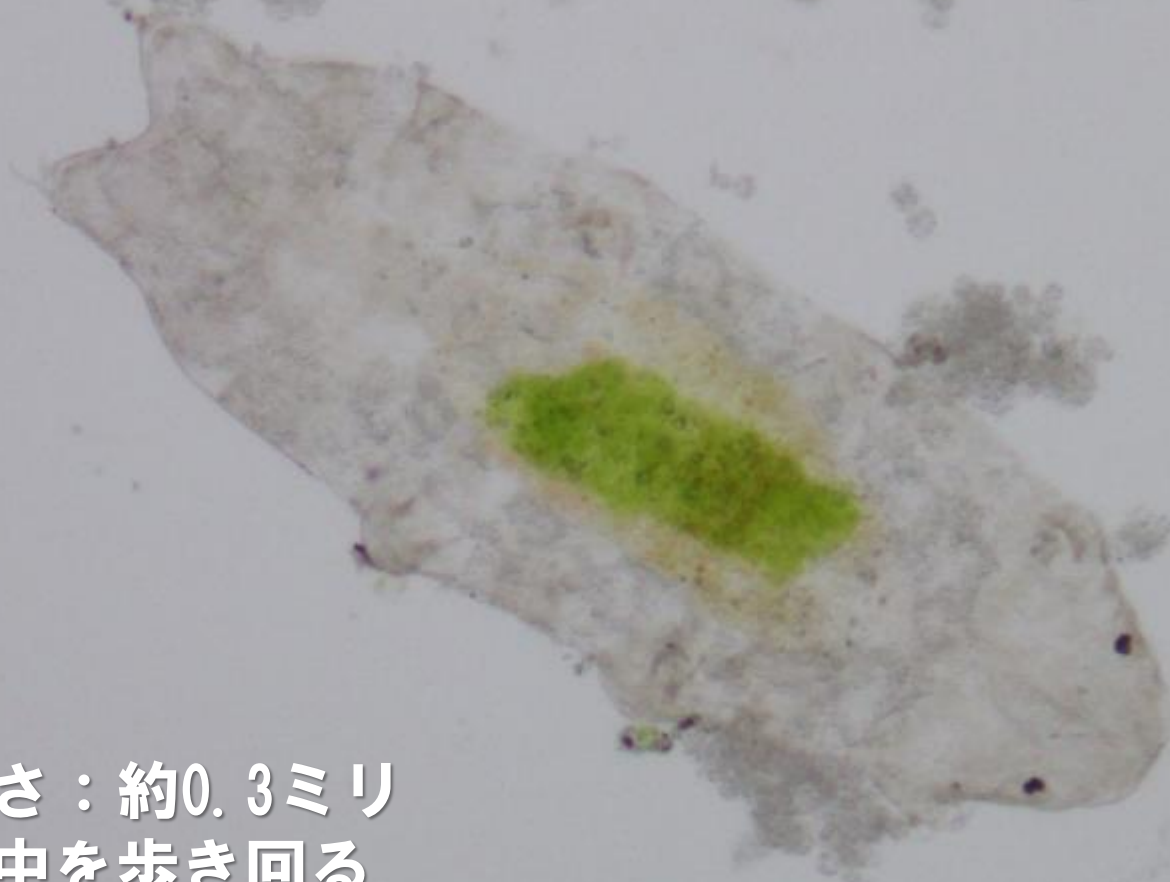
山形県月山のブナ林（5月）



緑雪中の
微生物
(雪氷藻類)



ユキヤマクマムシ（緩歩動物）新種

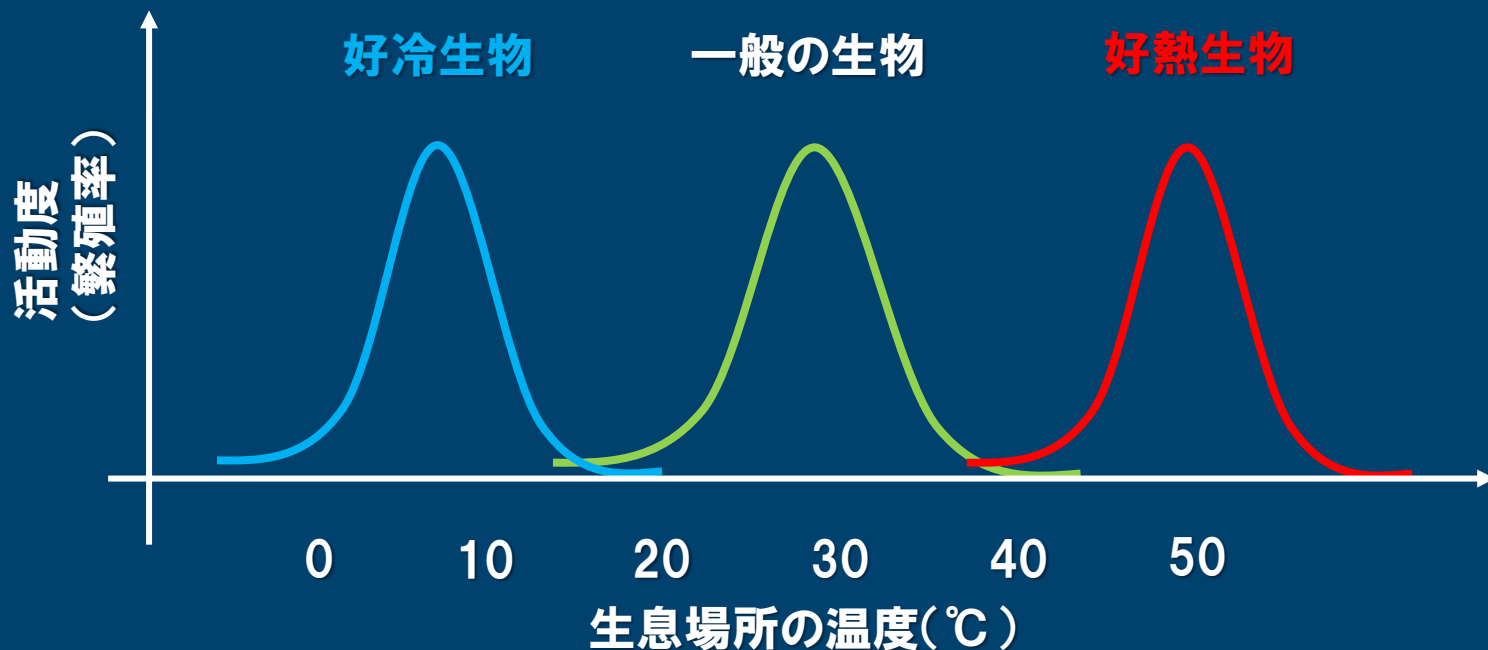


大きさ：約0.3ミリ
雪の中を歩き回る
雪氷藻類を食べる
極限環境生物

100 μm

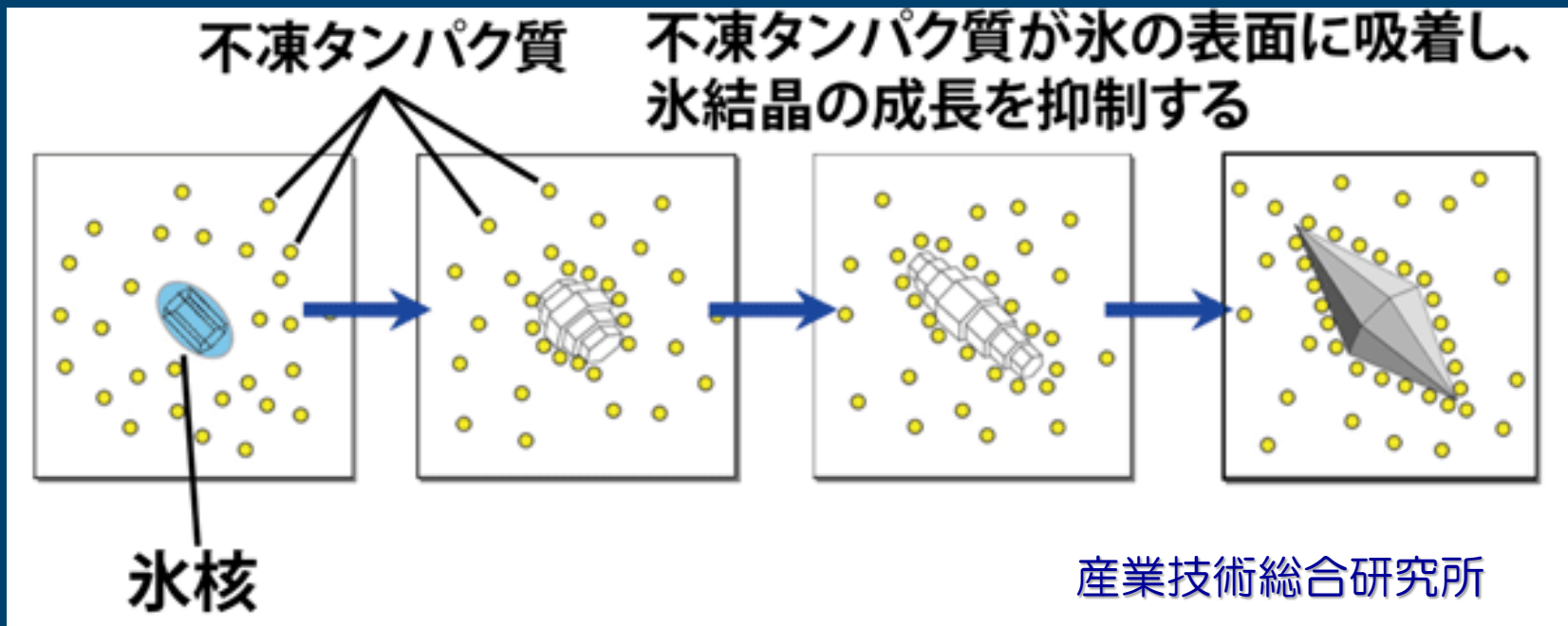
雪氷生物＝低温環境に適応した生物

- 生物は、活動(繁殖)に最適な温度がある。
→最適温度
- 一般の生物(常温生物)は、 $+25^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$
- 雪氷生物＝好冷生物＋耐冷生物



なぜ低温でも活動できるのか

- 低温でも機能する, 特殊な酵素(タンパク質)
- 低温でも固まらない, 特殊な細胞膜(不飽和脂肪酸)
- 細胞が凍らないような生理機能 (不凍物質)



A photograph of a snow-capped mountain peak in the Himalayas, with a valley and a glacier visible in the foreground. The mountain is covered in snow and has some dark rocks exposed. The sky is blue with some clouds. The foreground shows a rocky, dark-colored slope.

ヒマラヤへ (1994)

ネパール・ランタン谷 ヤラ氷河

ヒョウガユスリカの発見 (1982)

ヒマラヤ・ヤラ氷河
で幸島司郎が、氷河
上で生活する昆虫を
世界で初めて発見。

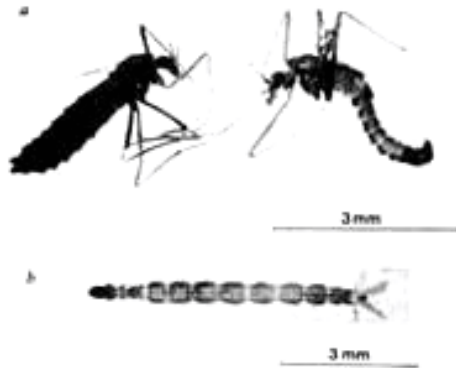


Fig. 1 a, Adults of *Diamesa* sp. Left, female; right, male. b, Larva of *Diamesa* sp.

Reprinted from Nature, Vol. 310, No. 5974, pp. 225-227, 19 July 1984
© Macmillan Journals Ltd., 1984

A novel cold-tolerant insect found in a Himalayan glacier

Shiro Kohshima

Department of Zoology, Kyoto University,
Kitashirakawa-Oiwakecho, Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan

Here we report the discovery of a new species of cold-tolerant midge (Chironomidae, *Diamesa* Meigen sp.) in a high-altitude glacier of the Nepal Himalayas. The adult insect, characterized by reduced wings and antennae (Fig. 1a), is unable to fly, and is found walking on the surface of the glacier and in small cavities beneath it. The larvae grow in melt-water drainage channels under the ice and feed on blue-green algae and bacteria. The insect is the first to be found which spends its entire life cycle in the snow and ice of a glacier—the coldest insect habitat ever recorded^{1,2}. The insect was active at temperatures as low as -16°C , well below those at which activity has been seen in insects living in other cold habitats, including Antarctic ones. The study also reveals a previously unsuspected ecosystem based on the algae and bacteria growing on glacial ice.

Research was done at the Yala glacier (5,100–5,600 m altitude) in the Langtang region of Nepal between 14 September and 24 October 1982, from the end of the monsoon season to the beginning of winter. The Yala glacier is a clean mountain glacier, without debris, and has many flat terraced plateaus divided by ice cliffs and crevasses (Fig. 2). The study was concentrated on three of these plateaus, termed P1, P2 and P3 (5,130 m, 5,200 m and 5,400 m altitude, respectively), at a season when each was covered with snow (0.1–1.0 m on P1, 1.0–2.0 m on P2 and >3 m on P3) and had many tunnel-like melt-water drainage channels running along the boundary of the glacial ice and the snow cover (Fig. 3).

The only insect found on the Yala glacier was the previously unknown midge *Diamesa* Meigen sp. The main habitats of the insect are melt-water drainage channels and small cavities in the snow and ice. In the daytime, many adults were seen walking on the surface of the snow when the Sun was shining, but they would quickly disappear when it became overcast, going down through the snow to the surface of the glacier ice (ablation surface).

Larvae (Fig. 1b) were found living in the melt-water drainage channels running along the ablation surface of P1 and P2. The ablation surface in this part of the glacier contained many characteristic small pits, each with small mud-like granules (0.1–2.0 mm in diameter) at their bottoms. At the bases of the melt-water drainages on P1 and P2, the pits were often as much



Fig. 2 a, Map of the Langtang region, showing the location of the Yala glacier. b, Outline map of the Yala glacier (5,100–5,600 m altitude).

氷河の上でなにを食べているのか？



氷河表面の黒い汚れ = クリオコナイト (Cryoconite)

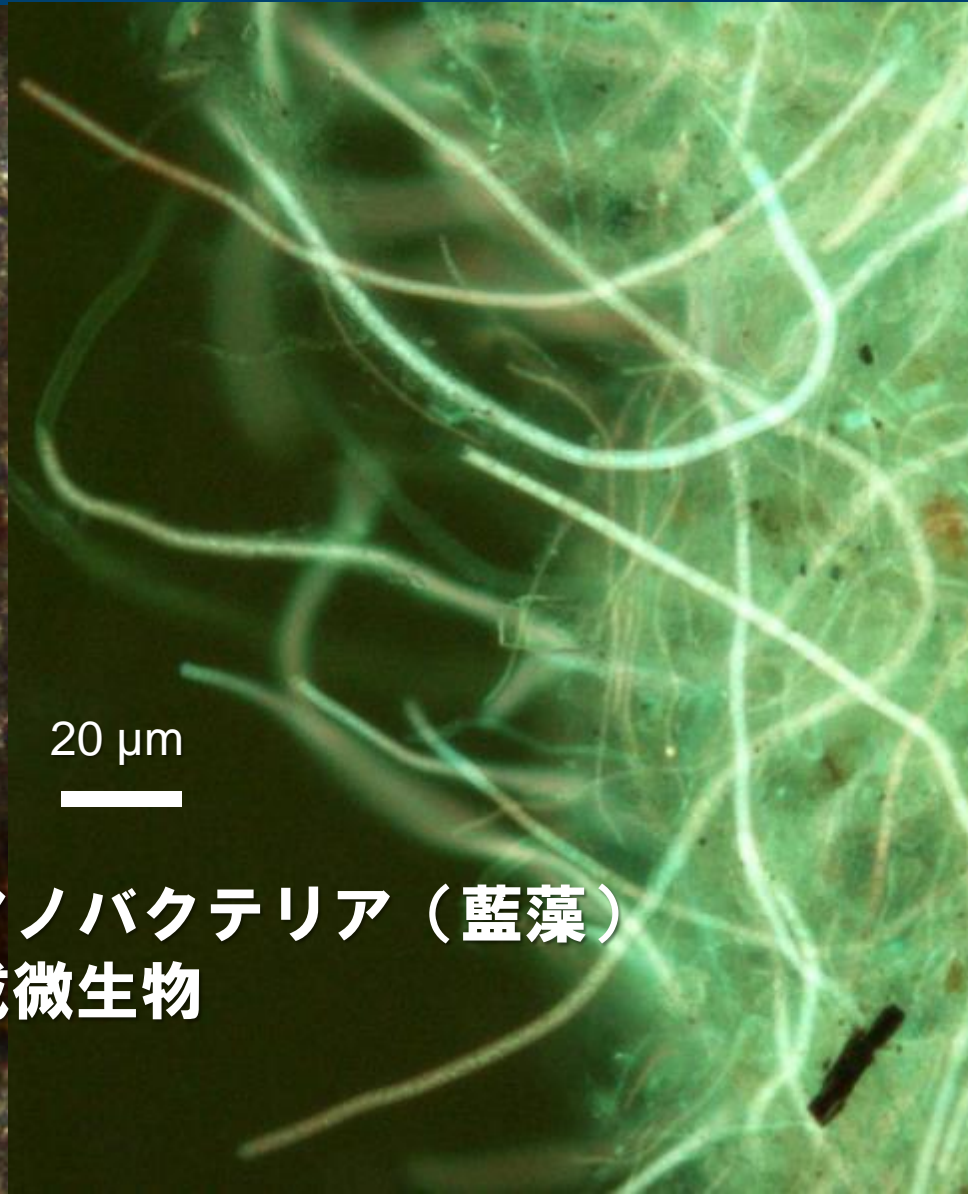
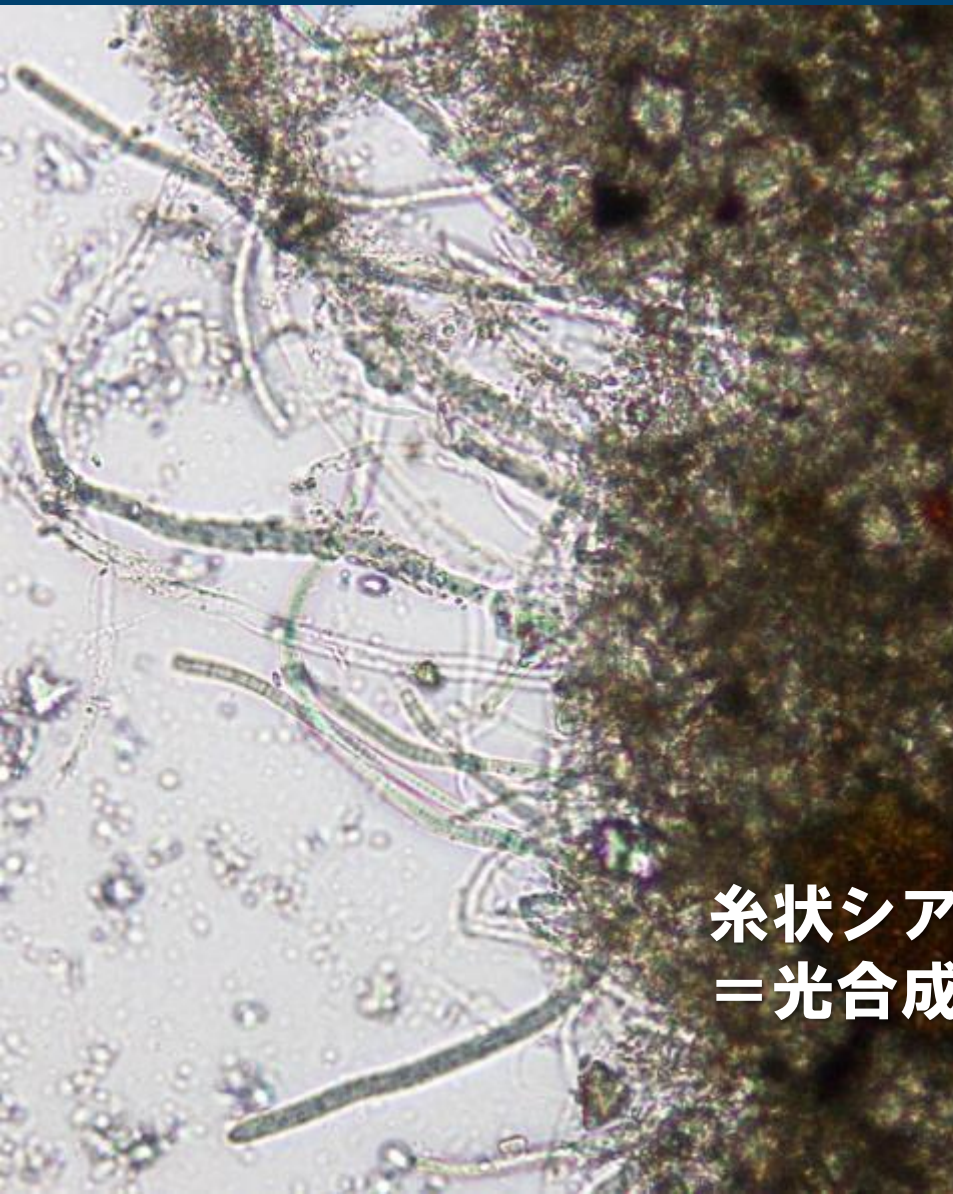
粒状の沈澱物
クリオコナイト粒



Cryo + conite
氷 + ダスト(ギリシャ語)

スウェーデンの北極探検家
ノルデンショルドが命名

クリオコナイトを顕微鏡で見ると

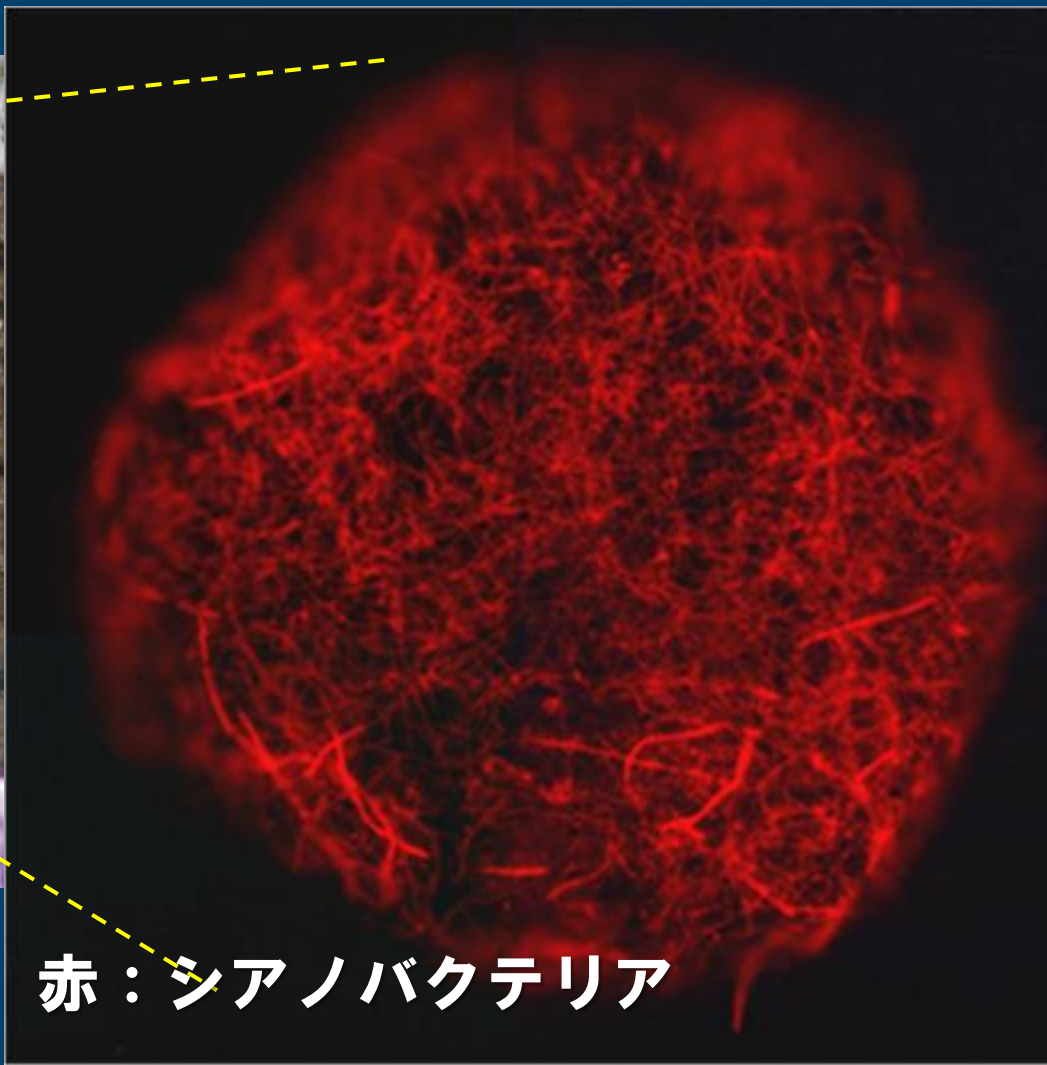


糸状シアノバクテリア（藍藻）
= 光合成微生物

粒状構造＝シアノバクテリアが作る粒

蛍光顕微鏡（葉緑素を赤く光らせる）

クリオコナイト粒

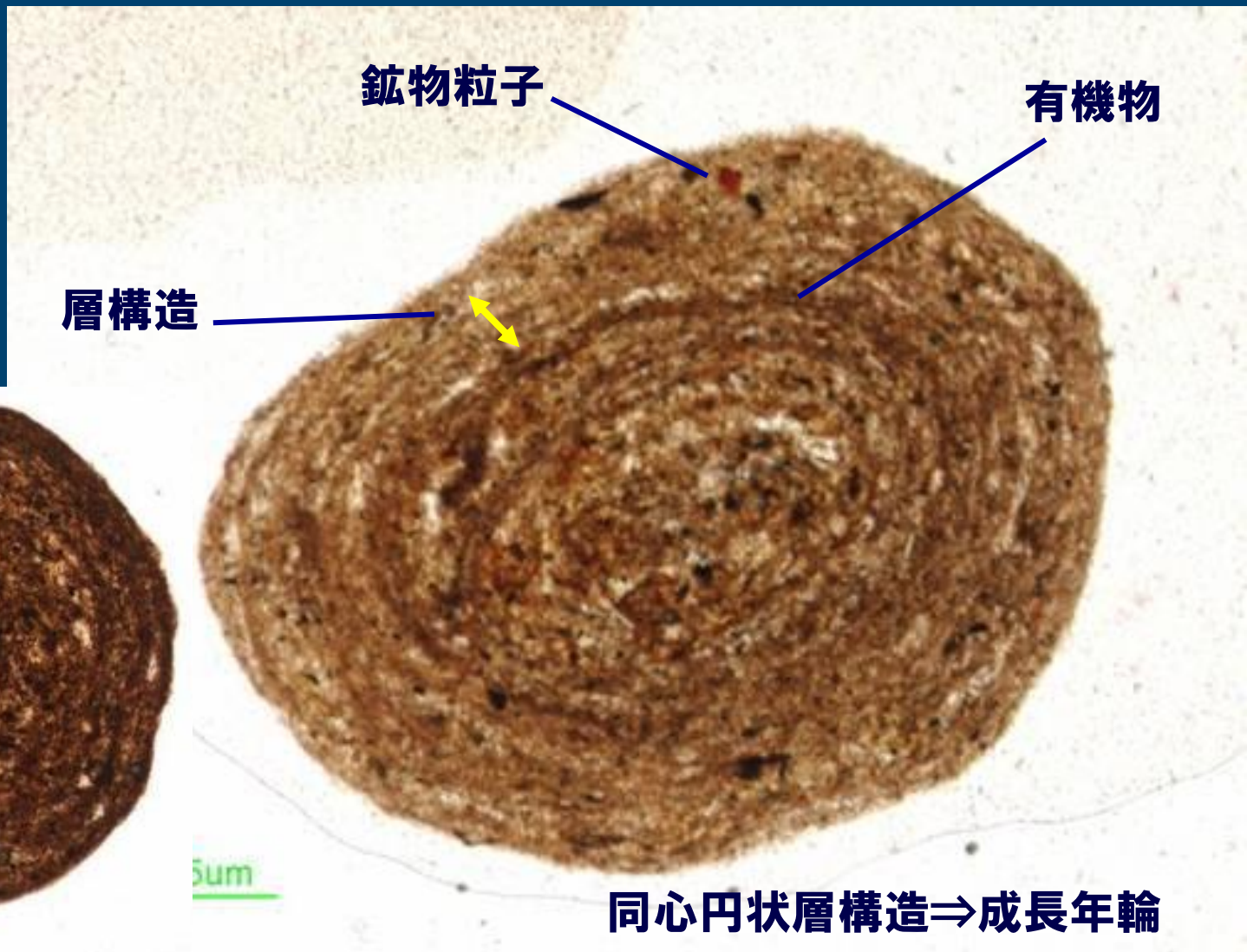


赤：シアノバクテリア

クリオコナイト粒の断面の観察

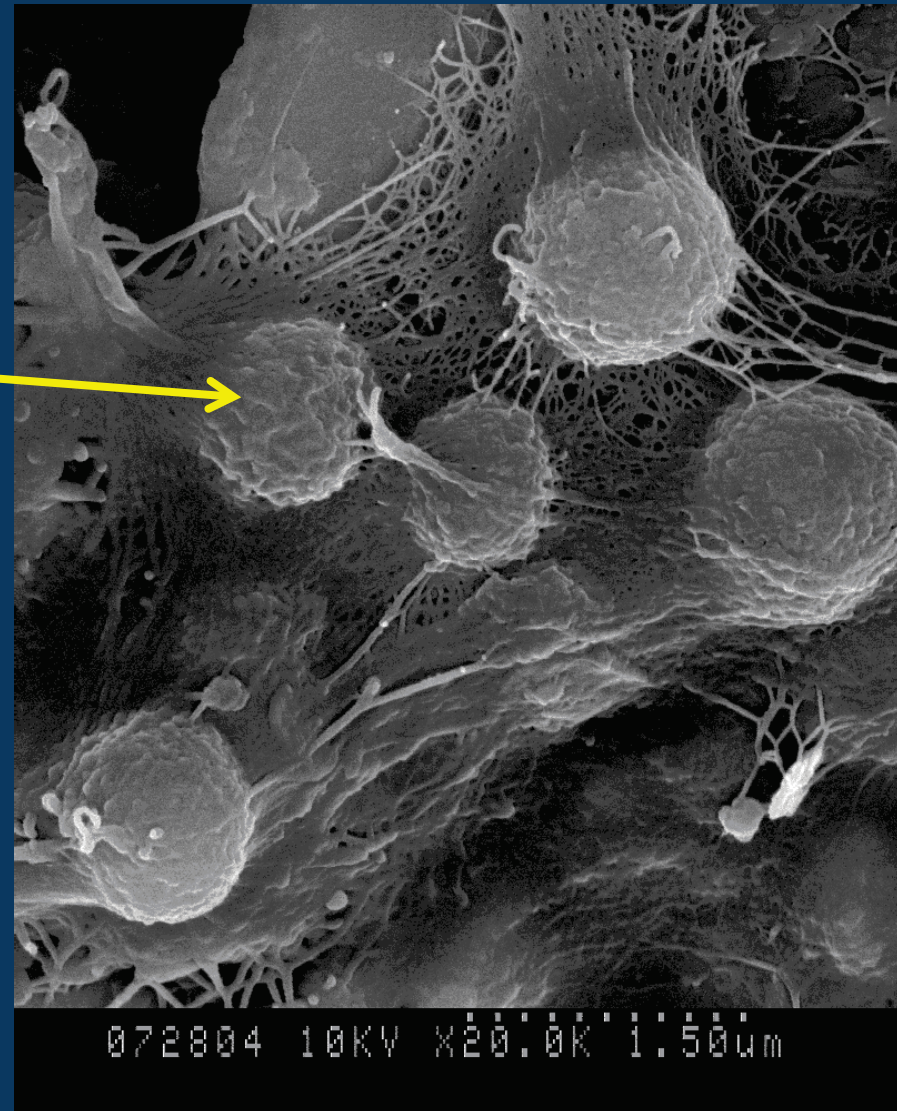
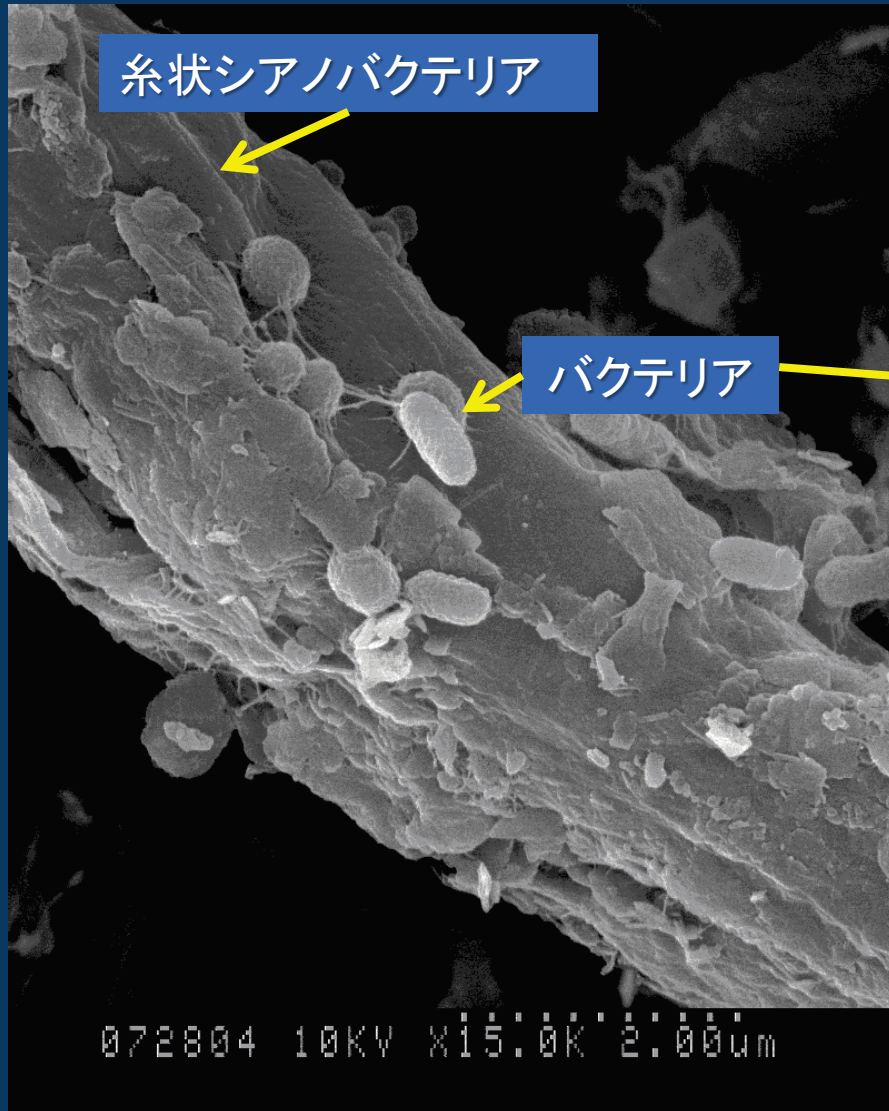
多粒構造

⇒融合



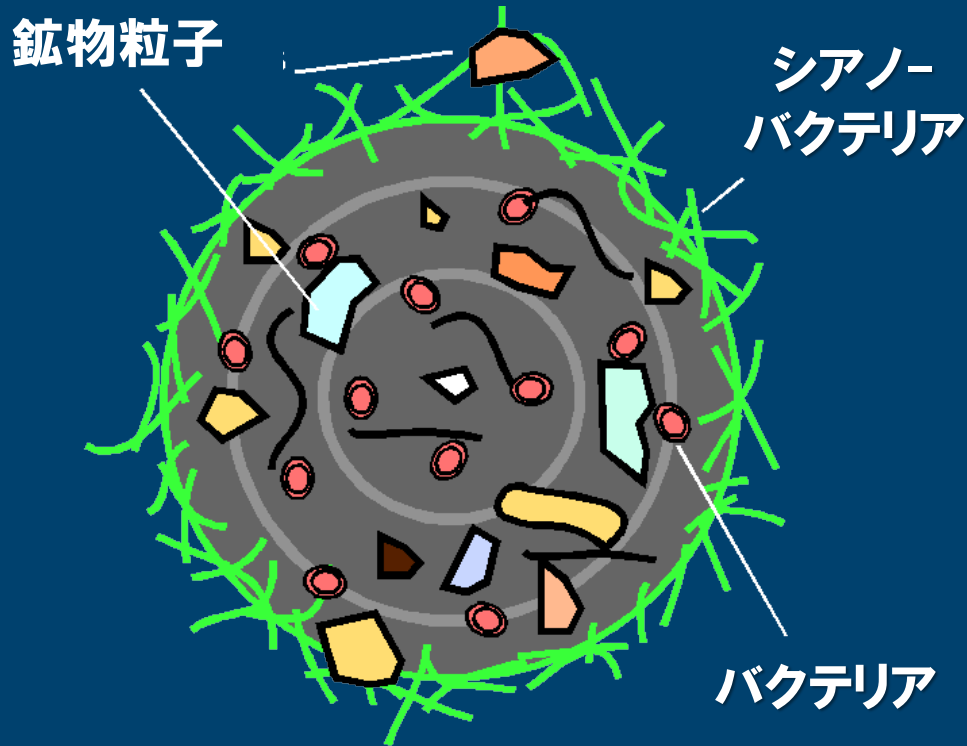
クリオコナイトの電子顕微鏡(SEM)観察

糸状シアノバクテリア表面に付着するバクテリア



クリオコナイト粒＝微生物複合体

光合成で有機物を
生産, 成長



有機物を使う
従属栄養微生物



マリモ

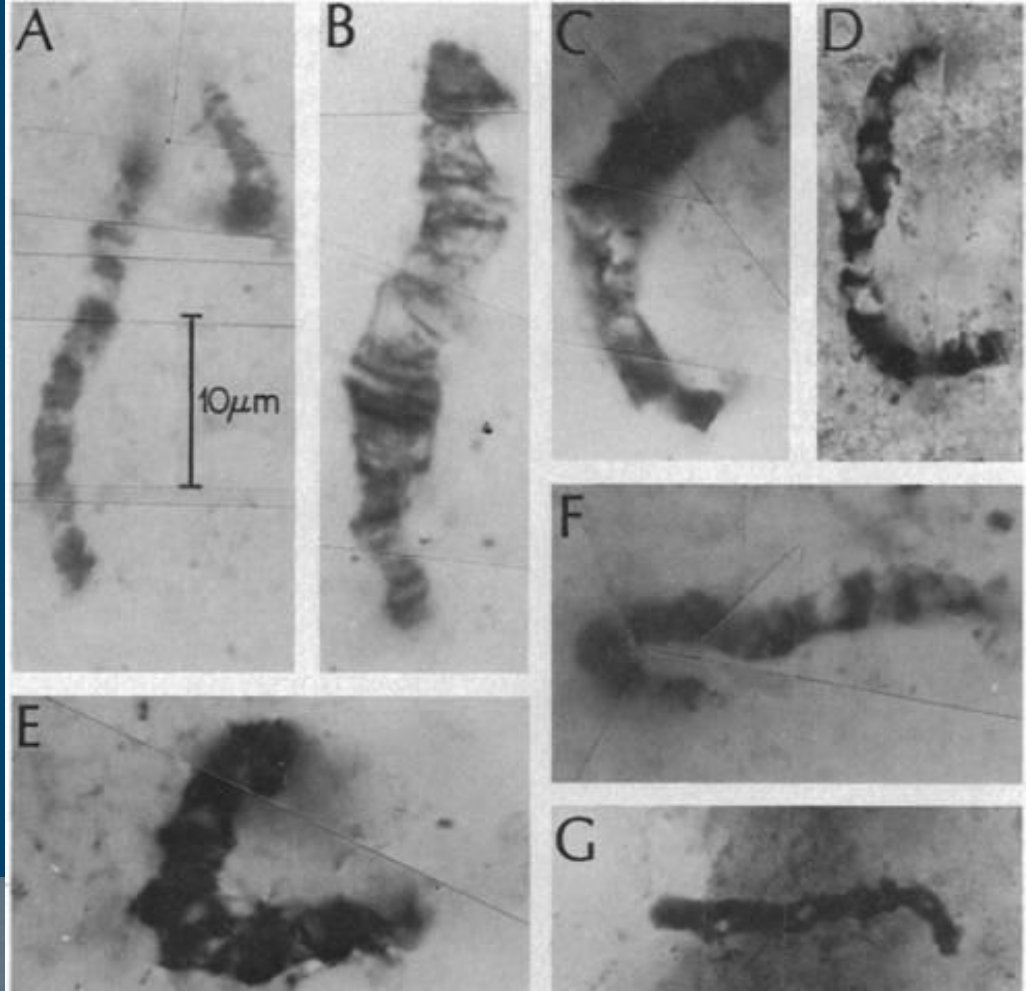
シアノバクテリア という微生物

35億年前、地球で最初に誕生した**光合成生物**

→地球の**酸素**を作った

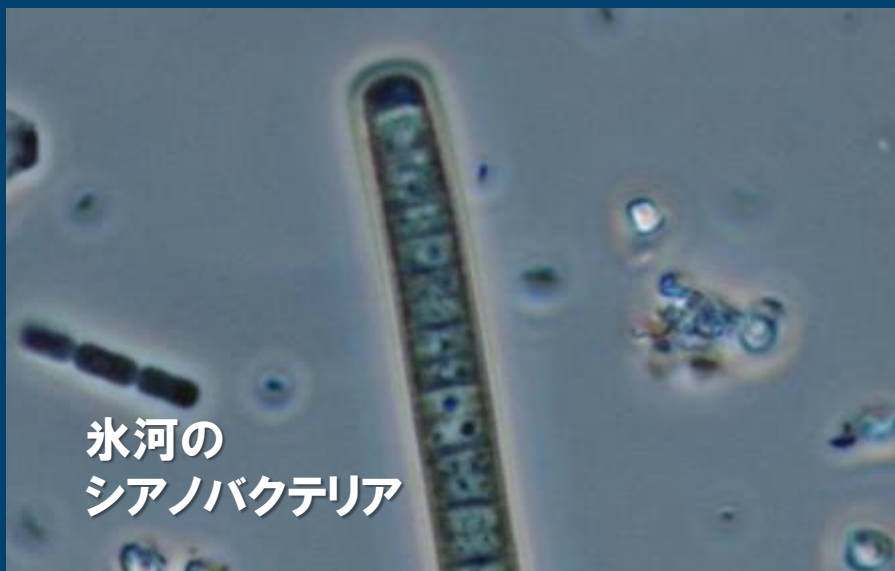
現在は、**極限環境**(温泉など)
を中心に生存

時代を超えて氷河に生息？



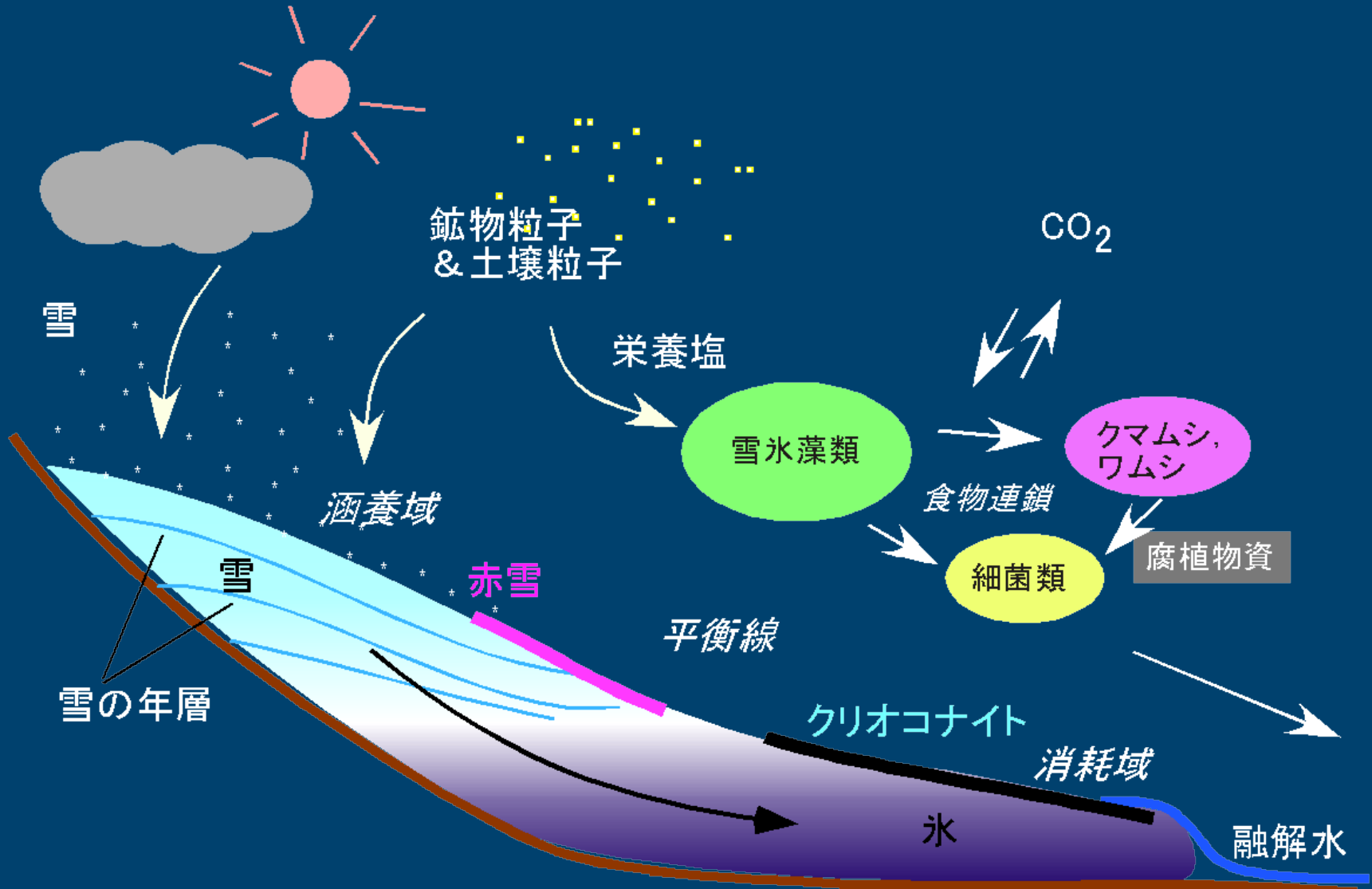
Schopf and Packer (1987) Science

35億年前の
シアノバクテリアの化石
(オーストラリア)



氷河の
シアノバクテリア

氷河の上に多様な生物が存在 ～氷河生態系



アジア山岳域の雪氷生物分布



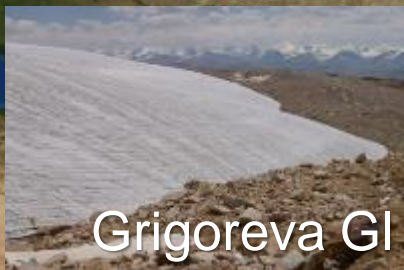
Urumqi GI
(Tianshan, China)



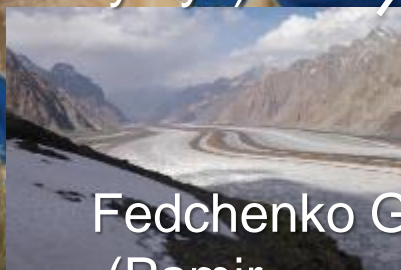
Akkem GI
(Altai, Russia)



Miaoergou GI
(Tianshan, China)



Grigoreva GI
(Tianshan, Kyrzys)



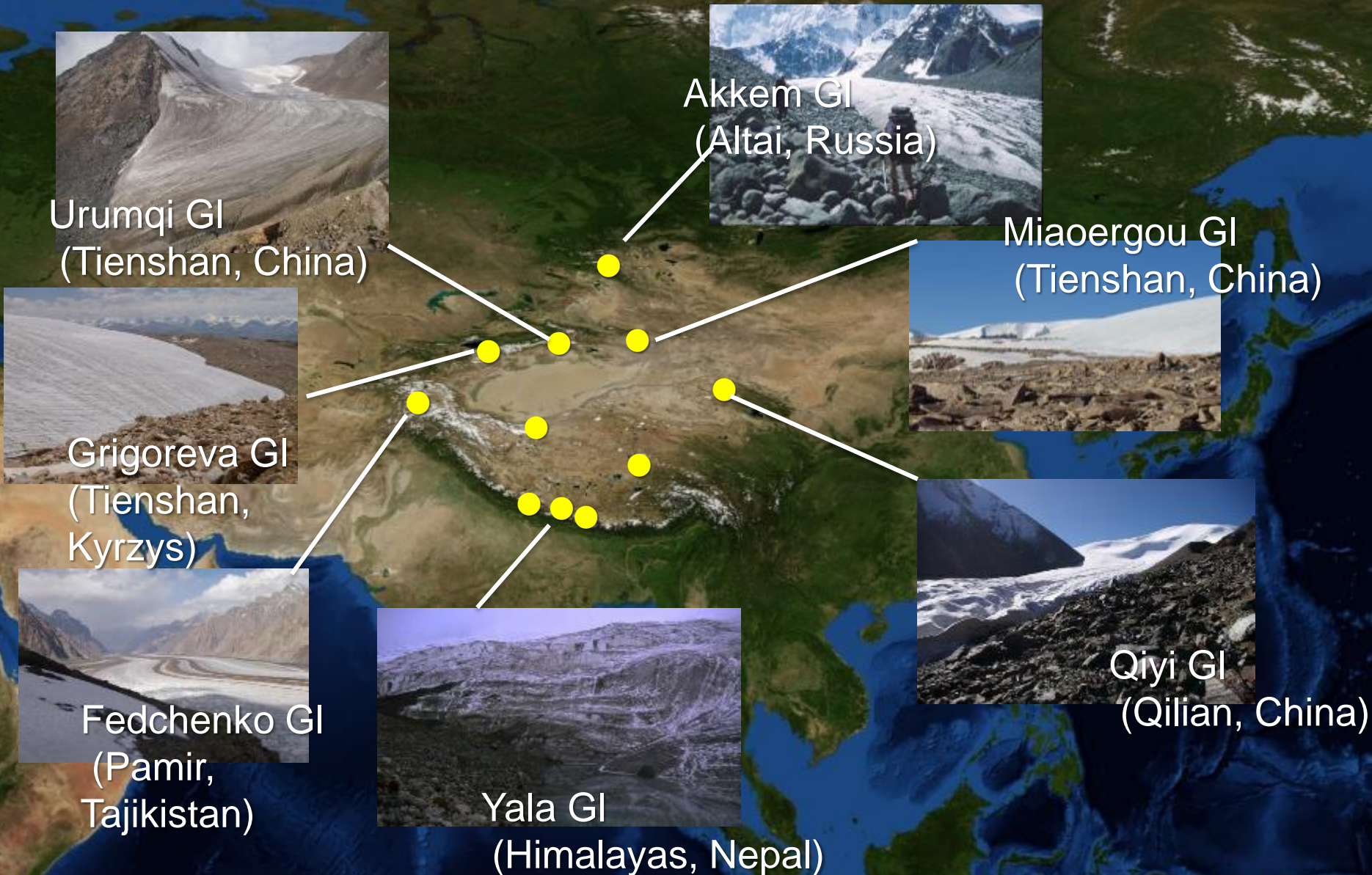
Fedchenko GI
(Pamir, Tajikistan)



Yala GI
(Himalayas, Nepal)



Qiyi GI
(Qilian, China)



氷河性動物の分布

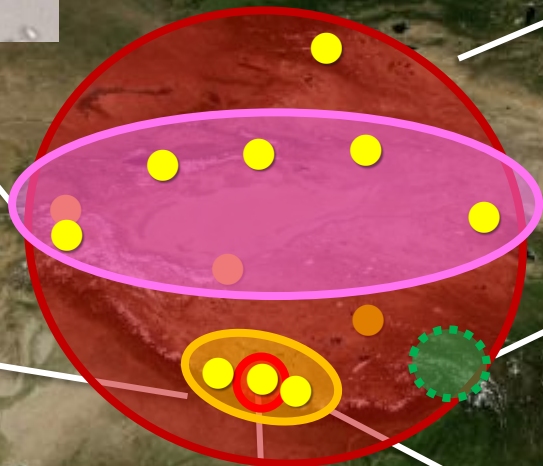
クマムシ
(クリオコニス属)
祁連・天山・パミール



トビムシ (全世界)



クマムシ
(ヤマクマムシ属)
ヒマラヤ



コオリミミズ? (未確認)
(1970年代の中国語論文)



ヒョウガユスリカ
(ヒマラヤ・ヤラ氷河のみ)



ヒョウガソコミジンコ(ヒマラヤ)

チベットのコオリミミズ?

A NEW GENUS AND SPECIES OF ENCHYTRAEIDAE FROM TIBET

LIANG YAN-LING

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica)

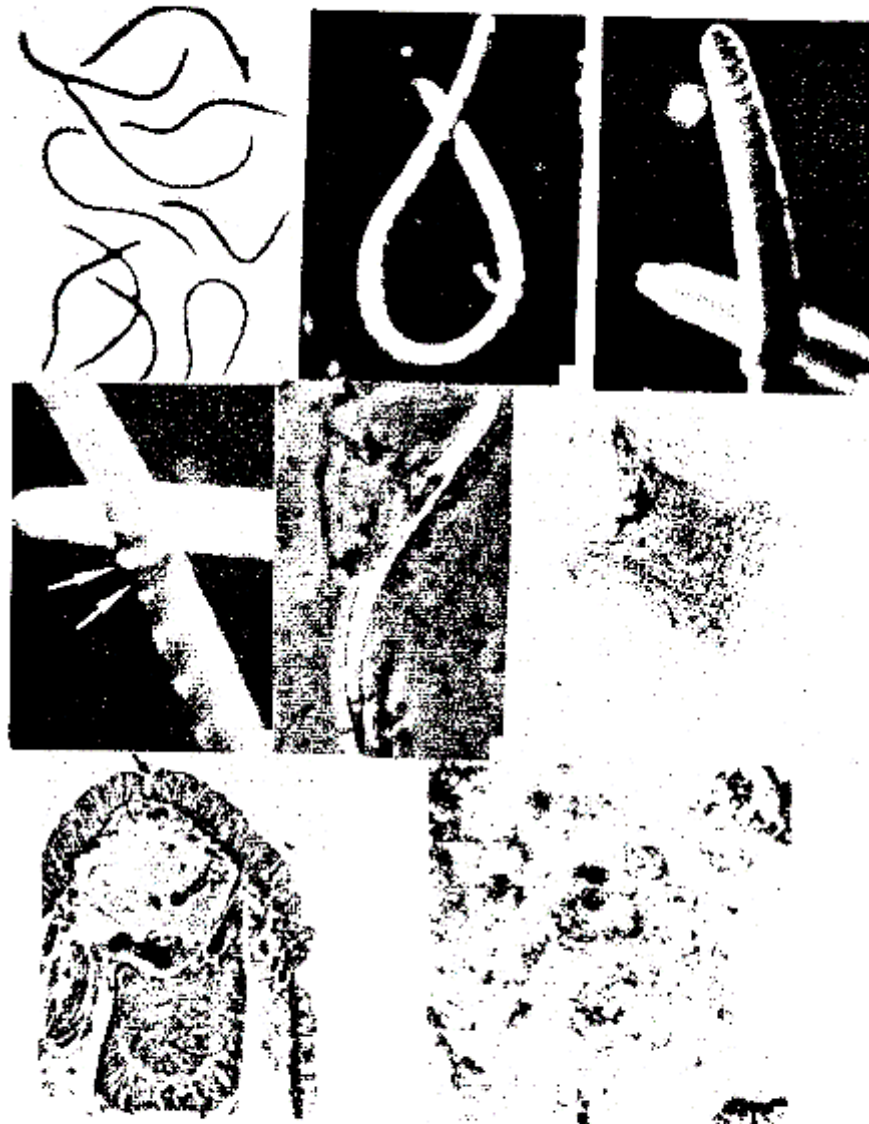
Hsü CHIH-RANG CHANG TRUNG

(Department of Biology, Nanjing University)

Altogether 82 specimens belonging to the family Enchytraeidae, Oligochaeta, were collected from the Glacier Jaoguo of Tibetan Plateau at 4,600 m altitude during 1973—1975. These ice worms are found to belong to a new genus and species.

Sinenchytraeus Liang et Hsü, gen. nov.

Setae sigmoid, simple pointed, with nodulus. Head pore at the apex of prostomium. Dorsal pores absent. Four pairs of septal glands. Digestive tract simple, oesophagus merging gradually into the intestine. Peptonephridia and intestinal di-



1. 本種の新種 *Sinenchytraeus phoeniceus* sp. nov. 2. 本種の新種 *Sinenchytraeus phoeniceus* sp. nov. 3. 本種の新種 *Sinenchytraeus phoeniceus* sp. nov. 4. 本種の新種 *Sinenchytraeus phoeniceus* sp. nov. 5. 本種の新種 *Sinenchytraeus phoeniceus* sp. nov. 6. 本種の新種 *Sinenchytraeus phoeniceus* sp. nov.

唯一，1979年に中国で出版された論文。それ以降，未確認

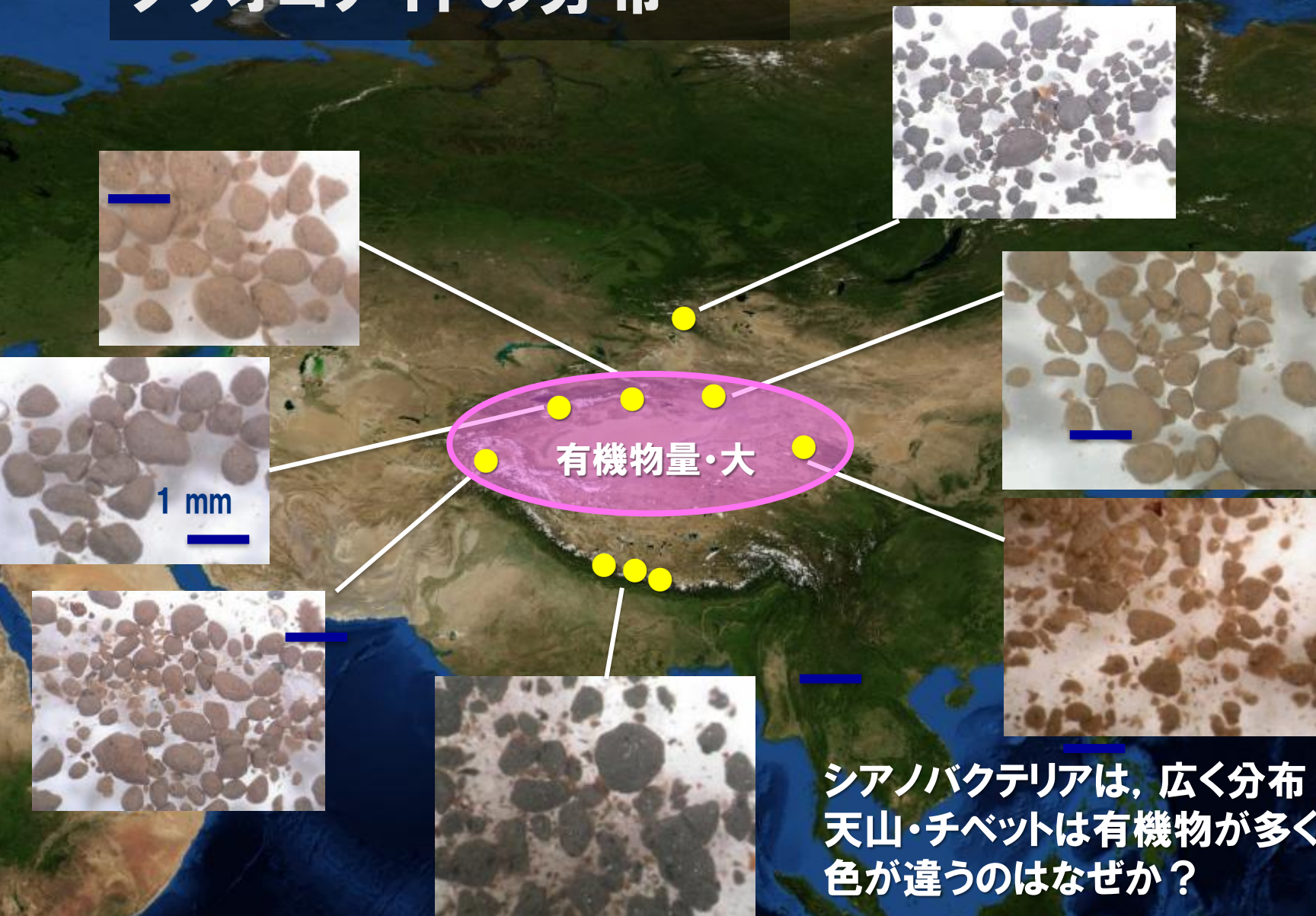
Glacier Jaoguo at 4600 m

82 specimens collected

YL Liang

Acta Zootaxonomica Sinica, 1979

クリオコナイトの分布



シアノバクテリアは、広く分布
天山・チベットは有機物が多く茶色
色が違うのはなぜか？

雪氷生物の分布と環境



シベリア

アルタイ

天山

乾燥域

祁連山

チベット

ヒマラヤ

パミール

偏西風

アジアモンスーン

氷河にすむ生物の種類は、
気候条件と関係

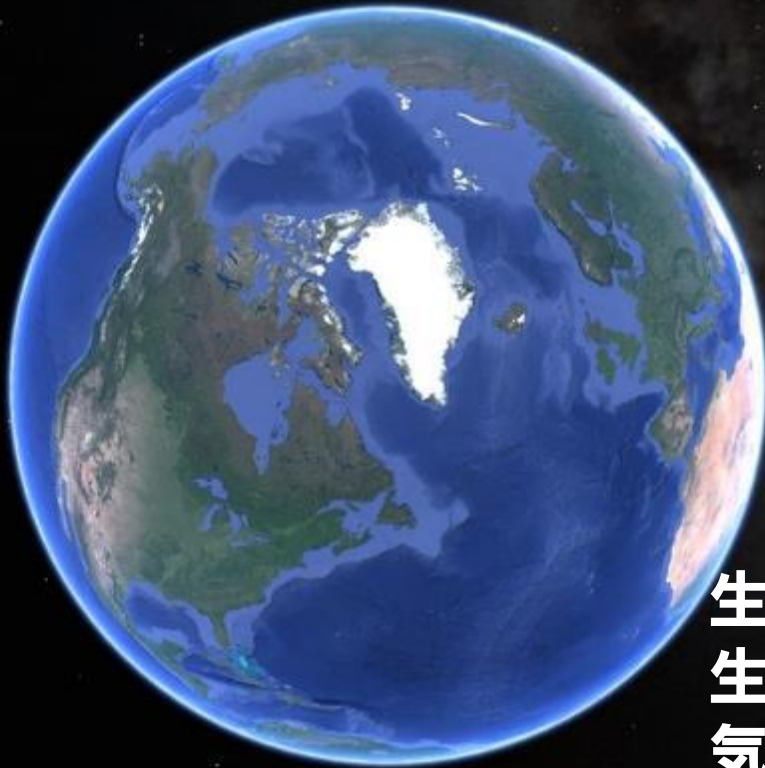
雪氷生物の分布と気候変動

地球の気候の歴史：温暖期と寒冷期の繰り返し

現在の地球
間氷期



2万年前の地球
氷期（氷河期）



生物は氷期に分布を広げる？
生物分布＝氷河分布？
気候変動と雪氷生物の進化

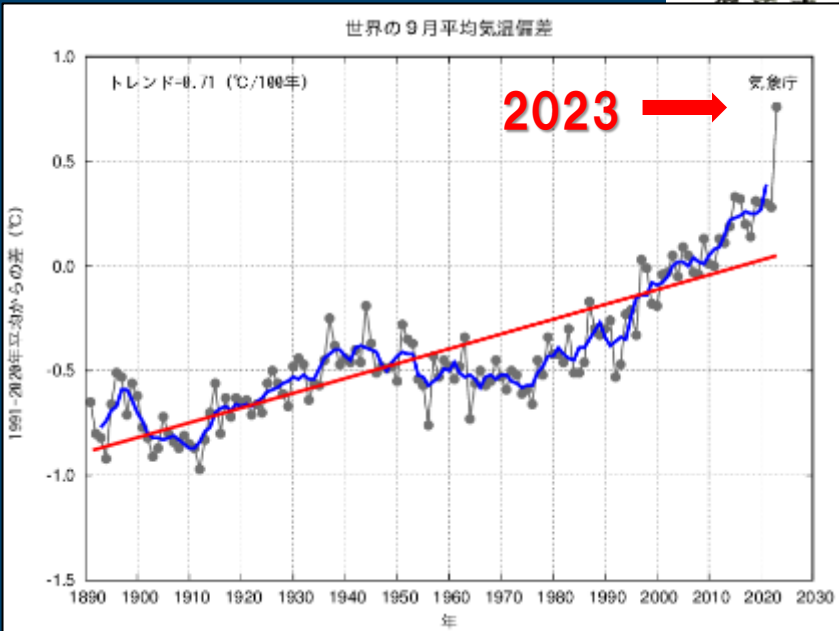
地球温暖化と氷河の縮小



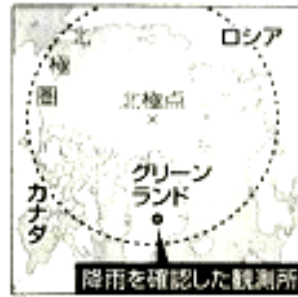
**ヒマラヤ・ヤラ氷河の明らかな後退
(11年で約200m)**

地球温暖化と とける北極の氷

9月の世界平均気温（気象庁）



〈朝日新聞提供〉



降雨は14、16日、最高地点にある気象観測所で観測された。1989年に始まった同所での観測では、これまで真夏でも降雪しか確認されていなかった。大半が北極圏にあるグリーンランドの8割は、陸地の上に分厚い氷が載った氷床で覆われ、その面積は日本の国土の4・5倍に相当する約170万平方キロメートルだ。発表によると、北米大陸から暖気が入り込みや気圧配置になった影響で氷床全体で3日間で70

の雨水が降り注ぎ、降雨量が1950年以降で最多になった可能性があるという。15日には、解けた氷の量

2021年(令和3年)8月23日(月曜日)

夕刊

グリーンランド 氷床最高地点に雨

北極圏に位置するグリーンランドの氷床の最高地点（標高3216メートル）で、雨を観測史上初めて確認したと、米国立雪氷データセンターが発表した。氷床全体で、大雨によって氷が大量に解けたことも確認されたという。

米機関 初確認

温暖化が大量に解ける

降雨は14、16日、最高地点にある気象観測所で観測された。1989年に始まった同所での観測では、これまで真夏でも降雪しか確認されていなかった。

大半が北極圏にあるグリーンランドの8割は、陸地の上に分厚い氷が載った氷床で覆われ、その面積は日本の国土の4・5倍に相当する約170万平方キロメートルだ。発表によると、北米大陸から暖気が入り込みや気圧配置になった影響で氷床全体で3日間で70



グリーンランドの氷床の最高地点にある気象観測所。今月中旬、観測史上初の降雨が確認された（米国立科学財団提供）

2021.8.23
読売新聞

ていることは、前例のない出来事だ。単に10年や20年に1度起きる偶然ではない」と、コメントした。

国連の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第1作業部会が今月公表した報告書では、気温上昇の影響によって、グリーンランドの氷床は今後、融解が

海面水と指摘
と指摘
国立
夫特任
「グリ
12年
たが、
い場所
の影響
いに来
いう印



解ける氷の大地・グリーンランド氷床

グリーンランドの氷の量



その他の氷河

160兆トン
= 0.5 m
(海水準)

スカイツリーの高さ
634 m



日本の積雪

0.09兆トン
(冬期最大)

最大15 m

グリーンランドの氷の量の変化：予想以上の減少

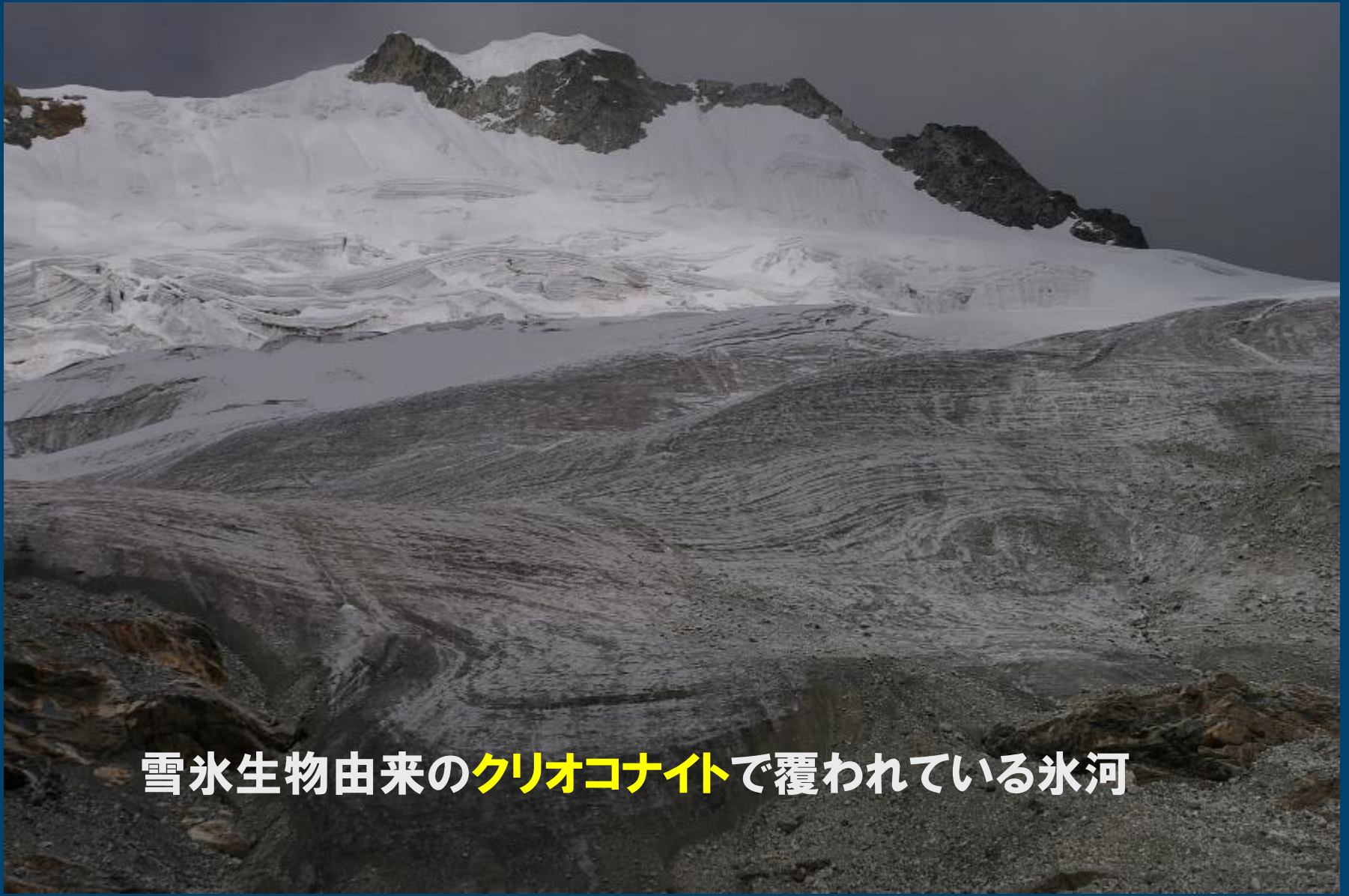
なぜ予想以上に解けるのか？
温暖化のほかにも原因？



氷の量 単位：10億トン



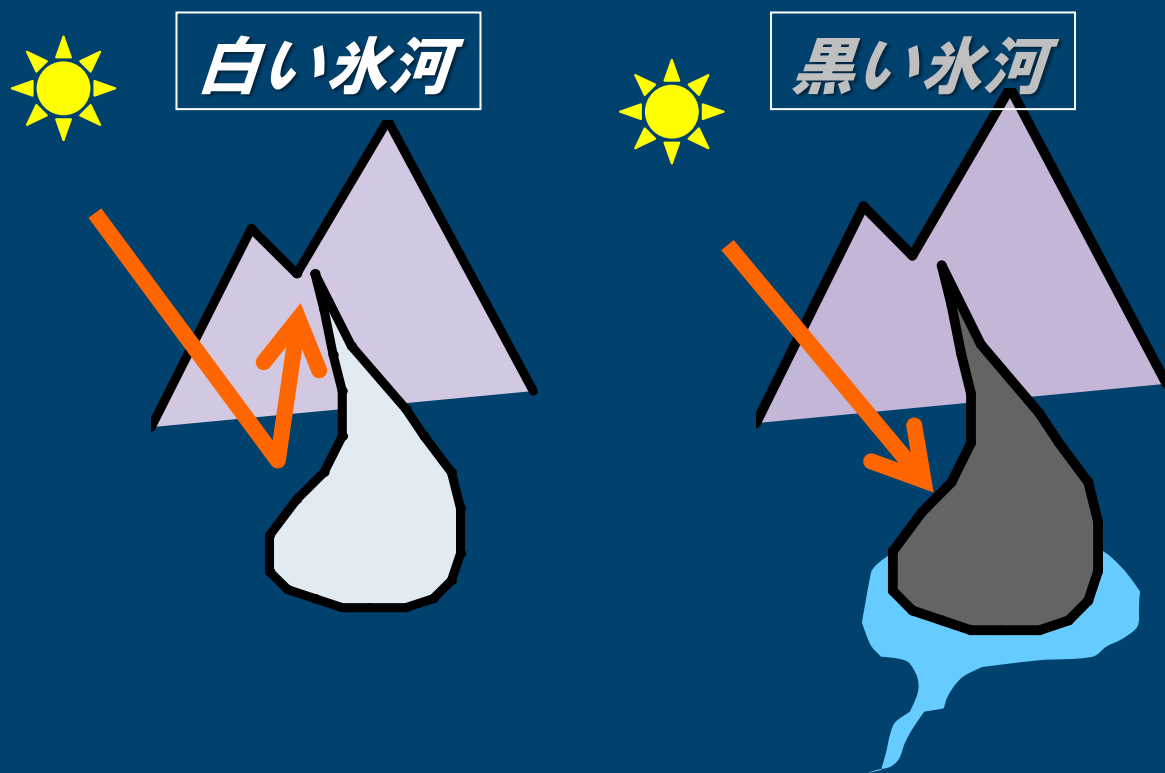
ヒントは、アジアの氷河のクリオコナイト？



雪氷生物由来の**クリオコナイト**で覆われている氷河

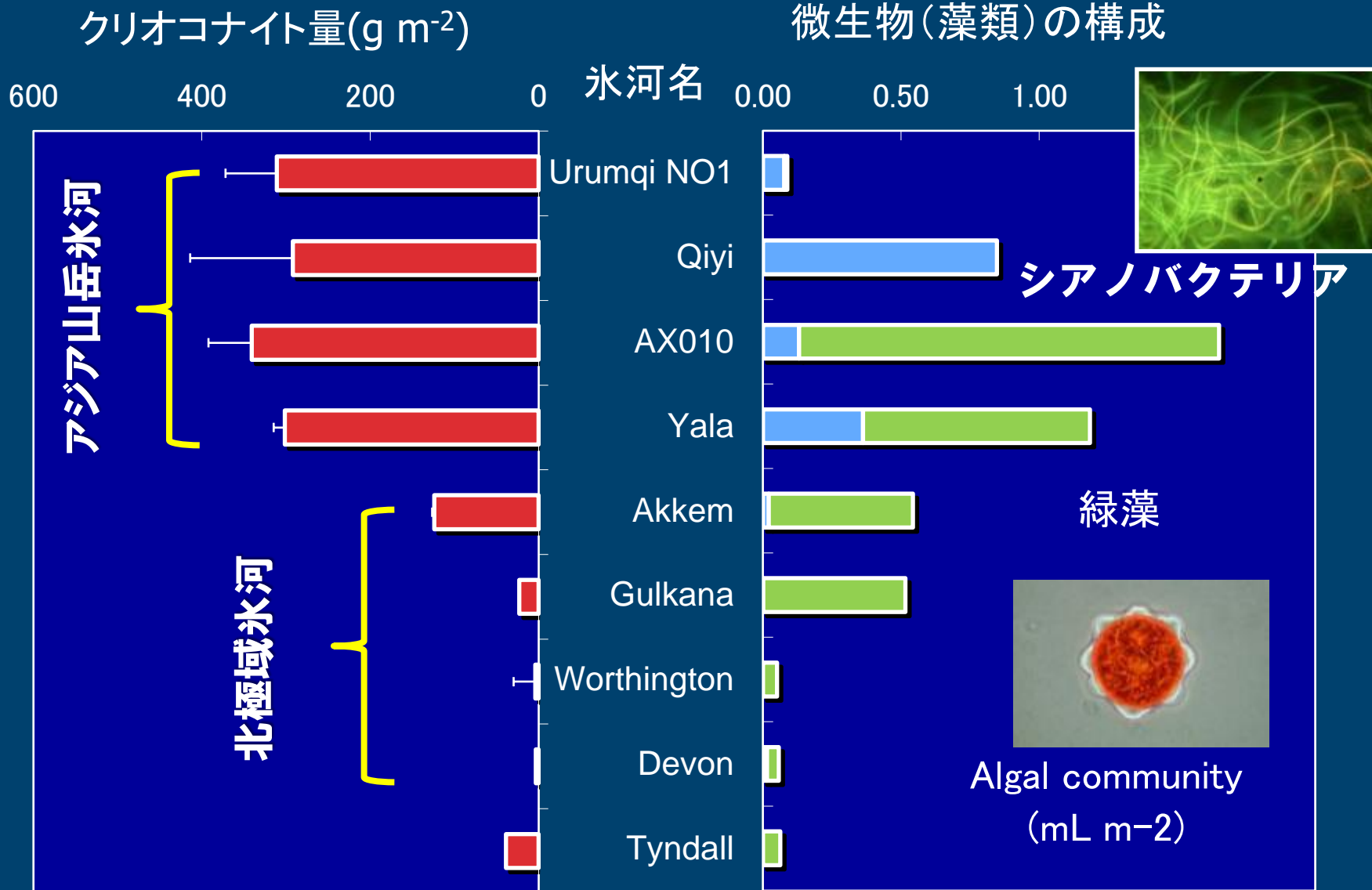
黒い氷は解けやすい

表面が黒いほど、日射を吸収し速く解ける
(アルベド効果)



雪氷藻類の繁殖が、氷河を黒くして解かす

北極の氷河のクリオコナイト量は少ない？



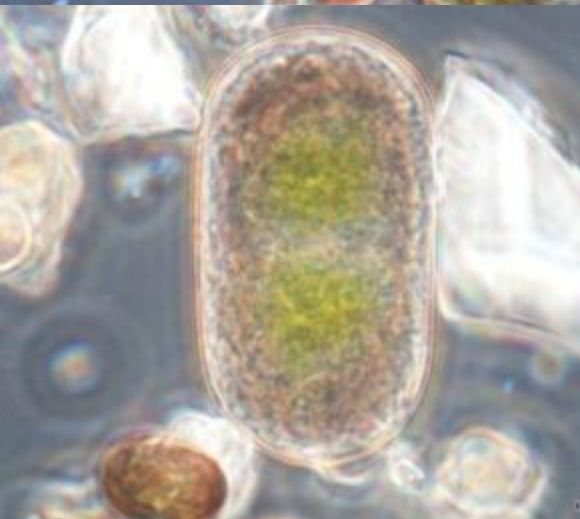
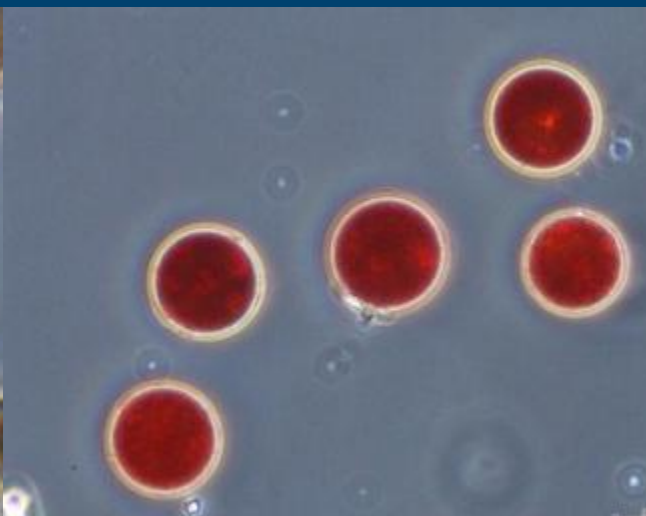
グリーンランドの氷河も 黒かった

北西部
カナック地域

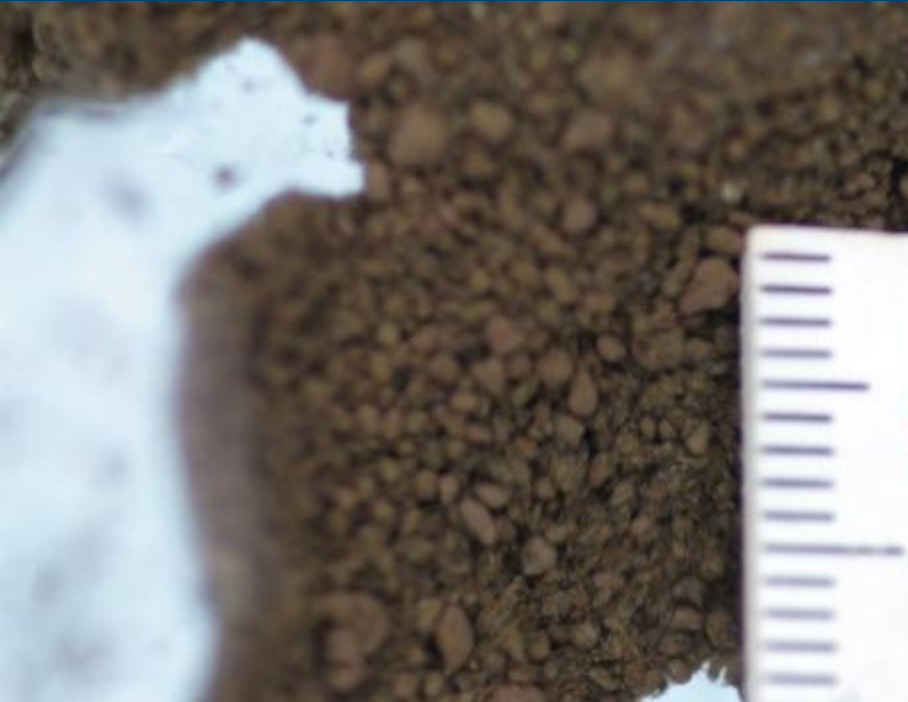


カナック氷河（2012年）

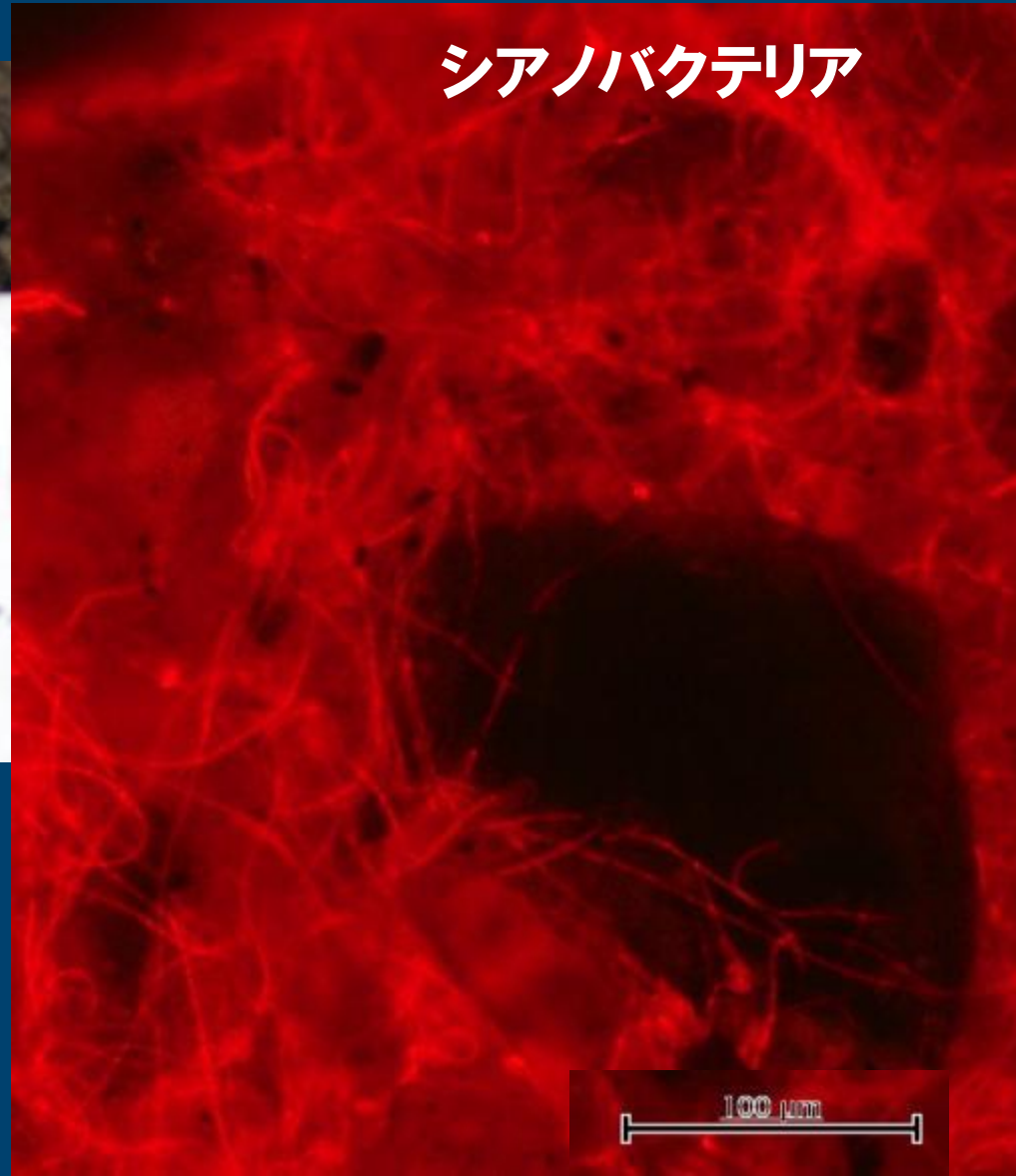
グリーンランド氷床の氷の上の多様な微生物



グリーンランド氷床のクリオコナイト



4-7 (w/w) %
有機物含有量



シアノバクテリア

グリーンランド氷床が黒くなったのは2000年代

ランドサット衛星写真

1987.8.12

2012.7.23

暗色化した氷



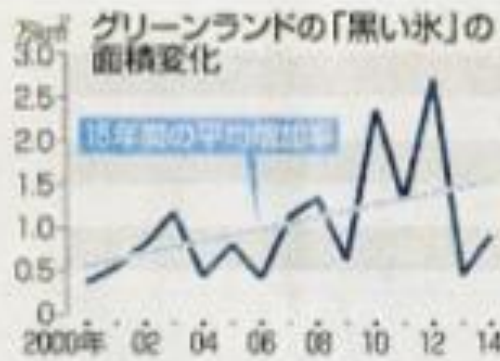
北極圏に「黒い氷」広がる

微生物繁殖 温暖化、融解を加速

千葉大調査



黒く染まった北極圏の水床 - 2012年7月、グリーンランド・カナック(共同)



温暖化が進む北極圏グリーンランドで、微生物が大量に繁殖し水床が黒くなる現象が確認され、2012年には黒い部分の面積が、四国の1・5倍に相当する。

約2万7千
したことが
竹内望教授
らの衛星画
で分かった
子版に発表
竹内教授
陽光を吸収
上昇に加え
速める一因
能性がある
る。

竹内教授
水の原因は
アなどの微
する「クリ
言われる直
質。クリオ
たまった水
上昇で解け
散らばって
る。

研究では

加

載し
定で
する
ヘル
定対
照)

退
職

本社に何度も欠員の補充を要
請したが改善されず、14年5月、
備前境が厳し

グリーンランド
氷床の暗色域
面積の拡大
面積：
四国の1.5倍

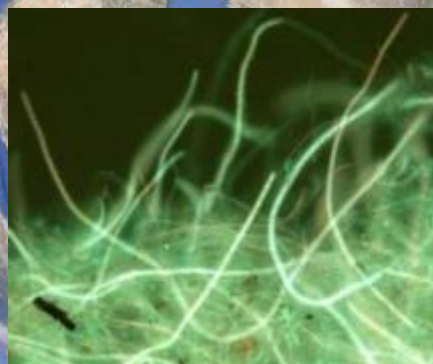
予想以上に氷河が解ける理由



氷河の縮小の理解に必要なのは、雪氷生態学

北極域氷河
(暗色化)

北極：雪氷生物の繁殖域が拡大



アジア山岳氷河
(暗色化)

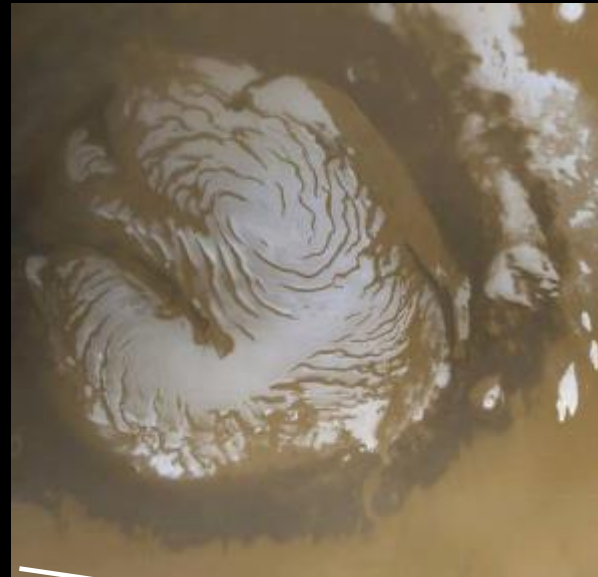
アジア：多様で豊富な雪氷生物

地球外にも広がる雪氷の世界 ～雪氷生物は地球外生命探査の鍵

極冠(北極)

火星の氷河

直径1000 km



火星

火星探査機が撮影 NASA発表

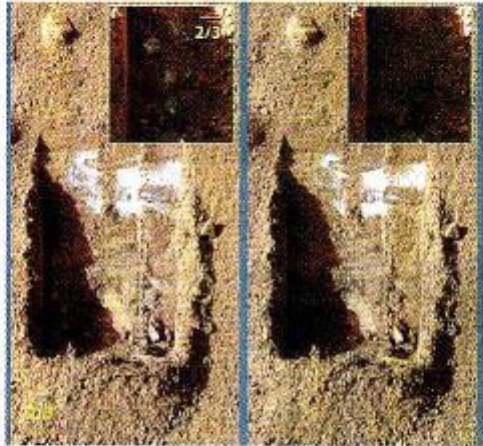
【ワシントン＝増満浩志】

米航空宇宙局(NASA)とアリゾナ大は20日、火星探査機フェニックスが、氷にほぼ間違いなく物体を撮影したと発表した。氷か塩とみられていた数個の白い塊が、約4日後には消失したのを写真で確認した。

研究チームは「氷が日光を浴びて蒸発した」と判断。探査機周辺に氷があるのが確実になったことで、今後、掘削して採取した試料を分析し、火星に現存する氷を初めて直

2008.6.21

「氷に間違いはない」



掘削直後の15日(写真左)には左下の日陰部分にあった数個の白い塊が、19日に届いた写真(右)では消えている。それぞれの右上は拡大画像(NASA、ジェット推進研究所、アリゾナ大、テキサス農工大提供)

まとめ

- **雪氷生物**とは、氷河や積雪の**寒冷環境に適応した特殊な生物**.
- **日本の積雪**や**ヒマラヤの氷河**を含め、各地に多様な雪氷生物が生息していることが明らかに.
- **アジアの氷河**は、特に**生物量が多く、種の多様性も高い**.
- 現在すすむ**氷河の融解**は、地球温暖化による気温上昇だけでなく、**雪氷生物の繁殖による雪氷の暗色化**も重要
- **雪氷生態学**が、地球環境や地球外生命探査に新しい視点を提供

雪氷生物の世界を
詳しく解説した
初めての書籍

2023年7月
発売
丸善出版

