



Title	藻類による彩雪現象
Author(s)	山本, 鎔子
Citation	低温科学, 70, 1-8
Issue Date	2012-03-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/48998
Type	bulletin (article)
File Information	LTS70_002.pdf



[Instructions for use](#)

藻類による彩雪現象

山本 鎔子¹⁾

2011年12月27日受付, 2012年1月18日受理

雪が着色する現象は世界の山岳地帯や極地でしばしば観察されている。最も普通にみられるのは赤雪でその多くは *Chlamydomonas* のような単細胞性の緑藻が原因である。しかし本報告の尾瀬においては4月から5月かけての融雪期にみられる大規模な雪の赤褐色化は、直径約10 μm の球もしくは楕円状の赤褐色粒子によるものである。赤褐色の原因は単細胞性の緑藻 *Hemitoma* 胞子の被殻に多量に含まれる酸化鉄が原因である。

Spring red snow phenomenon caused by the algae

Yoko Yamamoto¹

Spring red snow phenomenon is frequently observed in alpine and polar environments with extremely low temperature, high light intensity, and low nutrient levels around the world. The red snow phenomenon is mostly caused by the green algae such as *Chlamydomonas* and *Chloromonas*, and its reddish color is derived from carotenoids in the algae's vacuoles. However, we have recently found that the red snow in Oze National Park in Japan is caused by the green algae, *Hemitoma*, and its reddish color is caused by Fe-oxide accumulating at the surface of spores in the alga. Therefore, the cause of the red snow is divergent. In this review, we overview recent knowledge of the algae-dependent red snow.

キーワード：赤雪, 藻類, *Hemitoma* sp
Red snow, Algae, *Hemitoma* sp

1. はじめに

雪が色づく現象は日本をはじめとして世界の山岳地帯や極地で報告されており、それほど珍しいものではない。その色調に従い赤雪、緑雪、黄雪などと呼ばれているが、この中で最も普通に見られるのが赤雪 (Red snow, Water melon snow) である。古くはアリストテレス (Aristotle: 384 BC-322 BC) の時代から、探検家や登山者のあいだで知られており靴底を真っ赤に染めるといった印象的な現象であると記述されている。その原因は不明のまま、19世紀末に入ってから光学顕微鏡の発達によりその正体が徐々に明らかになった。

イギリスの探検家 ジョン・ロス (John Ross) は1818年にグリーンランド北西岸ヨーク岬 (Cape York) の白い断崖に血のように赤い彩雪を発見しそれ

を採取し本国に持ち帰った。1818年12月4日のタイムズ紙は、この彩雪の原因は隕鉄によるものであると発表している。19世紀末になると光学顕微鏡が発達し、Bauer (1819)をはじめとしてKol (1942), Kol and Flint (1968), Hoham (1975), Hoham et al. (1983, 1993, 2001), Parker et al. (1982)などの藻類研究者の検鏡観察から彩雪の要因の多くは、藻類によるものであると発表され、これを契機に積雪中に生息する藻類 (雪氷藻類) に対しての知見が急速に増えてきた。近年世界各地の彩雪が大きく取り上げられている。たとえば2006年の朝日新聞 (2006.11.21) にアラスカ氷河に発生した赤雪は太陽光を吸収しやすく氷河を溶けやすくさせ、地球環境に与える影響は大きいのではないかと、また2008年の同新聞には「南極の変色」気温の上昇に伴う氷河を覆う藻——と題して彩雪の写真がのせられている。南極の血の滝とよばれる地点の真下には無酸素状態の世界が広がり、そこに生息する微生物の作用により岩盤から鉄分が析出し、これを含んだ赤色の水が氷河の表面に溶出したとする報告 Mikucki et al. (2009), Akiyama, (1979), Ohtani et al. (1988), Fujii et al. (2010) の南極の報告な

1) 元明治大学農学部

¹ Faculty of Agriculture, Meiji University, Kawasaki, Japan

E-mail: maya.yamamoto@nifty.com

表 1：彩雪現象が観察された地域

グリーンランド、南極、アラスカ、シエラネバダ山脈など北アメリカの西岸および東岸、ヒマラヤ山脈、日本、ニューギニア、ヨーロッパ（アルプス山脈・スカンディナヴィア・カルパティア山脈）、中国、チリのパタゴニア、サウス・オークニー諸島

表 2：彩雪についての記述

- アリストテレス（384 BC-322 BC）時代はその原因は不明、推測として鉱物の酸化物が岩石から浸出？
- The Times より
1818年 John Ross によるグリーンランド北西岸ヨーク岬（Cape York）で赤色雪の観察。彩雪の原因は低緯度域に落下する隕石の一種ではないか？
（隕石は鉄とニッケルを多量に含み、この隕石の鉄分が彩雪の原因ではないか）
- 19世紀末以降の光学顕微鏡の発達にともない、原因は藻類であると判明；Bauer. (1819) Kol, Hoham, Parker などにより詳細に研究された。
- 日本における彩雪現象（尾瀬に関するものについては表 6 を参照）
小暮理太郎（1894）、藤島敏男、大下藤次郎（1908）、田中阿歌麿（1905）
福島・小林（1952）：学術的な記載
福原ほか（2002）
山本ほか（2006）

表 3：各地域で観察された赤雪

Species	snow color	location of snow water	cells mL ⁻¹	Reference
<i>Hemitoma</i> sp	Red-brown	Japan	3.4×10 ⁵	Yamamoto et al., (1999)
<i>Chlamydomonas nivalis</i>	Red	USA	6.3×10 ⁴	Thomas (1994)
<i>Chloromonas rubroleosa</i>	Red	Antarctic	2×10 ⁵	Ling & Seppelt (1993)
<i>Chloromonas</i> sp.	Salmon Orange	USA	8.6×10 ⁵	Hohman (1993)
<i>Desmotetra</i> sp.	Red or Orange	Antarctic	—	Ling (2001)
<i>Mesotanienum ggrenii</i>	Gray-pink	Antarctic	1.5×10 ⁵	Ling & Seppelt (1990)

ど数多い。日本における初めての学術報告は小林・福島（1952）の尾瀬によるものであった。しかし彩雪の原因はそのほかにもカビ類（椿，1996，1998）、バクテリア、鉱物（井上・吉田，1978）などが挙げられているが現在のところ藻類の報告が最も多い。

表 1 に彩雪現象が観察された代表的な地域を、また表 2、表 3 に彩雪についての報告例を纏めた。

2. 日本の赤雪

日本における彩雪の報告は、続日本書紀の天平 14 年（西暦 742）にさかのぼる。「陸奥黒川郡以北 11 郡に赤雪降る」と記載され、宝暦元年（西暦 1751 年）には会津藩の記録のなかに、「怪星出現し赤雪降る」という記録が残されている。これらの原因については黄砂の可能性が高い。

その後、彩雪についての記載は登山者、博物学者の紀行文の中で見られるようになった。尾瀬についての学術的な報告は小林・福島（1952 a, b）、福島（1963）により行われた。さらに Fukushima（1962）は全国各地の残雪を入念に調べ、その原因の多くは藻類によるもので *Chlamydomonas* をはじめとした単細胞性緑藻が多いと報告している。八甲田、八幡平、乗鞍岳、立山、志賀高原、北海道の湿原、東北地方の月山、鳥海山など多湿地

表 4：彩雪の主な原因としての藻類

緑藻	<i>Chlamydomonas nivalis</i> <i>Chloromonas brevispina</i> , <i>Ch. pichinchae</i> , <i>Ch. rubroleosa</i> <i>Chodatella brevispina</i> , <i>Destroma</i> sp., <i>Mesotaenium breggreni</i> , <i>Scotiella nivalis</i> <i>Hemitoma</i> sp. <i>Tracheromonas</i> sp. <i>Raphidonema</i> sp. <i>Trochiscia americana</i> <i>Mesotanienum berggrenii</i>
黄色鞭毛藻類	<i>Ochromonas itoi</i> , <i>O. smithii</i>
珪藻	<i>Pinnularia gibba</i> , <i>Gomphonema subtile</i>
その他	Yeast, <i>Chionaster nivalis</i> , <i>Selenotiella</i> sp.

帯など広範に及ぶ。

福島県の裏磐梯などの標高 1000 m 付近に黄雪がみられその原因として黄色鞭毛藻類の *Ochromonas* (*O. itoi* と大型の *O. smithii* 設楽ら；藻類学会発表) が報告されているように至るところで緑藻をはじめとして、またその他の種についての報告が相次ぐ。表 4 は彩雪の主な原因としての藻類を示す。彩雪に関わる藻類の多くは単細胞性の緑藻であり、最も普通に見られるのは *Chlamydomonas nivalis* である。彩雪に関わる主な単細胞性藻類の特徴を表 5 に示す。

表5：彩雪に関わる主な単細胞性藻類の特徴

	<i>Hemitoma</i> sp.	<i>Chlamydomonas nivalis</i>	<i>Chloromonas</i> sp	<i>Haematococcus</i>
	Phacotaceae ヘミトマ属	Chlamydomonaceae クラミドモナス属	Chlamydomonaceae クロロモナス属	Chlamydomonaceae ハエマトココッカス属
Spore size (μm)	9.5±1.2×15±2.7	5-8×12±15		9.5
Flagella	2 (等長)	2 (等長)	2 (等長)	
Pyrenoid	無	有, 馬蹄形 or 半環状の ピレノイド, 眼点無	数個有	無
Chloroplast	杯状, 1個	杯状, 種多し	杯状	多数, パピラ有 細胞壁に並ぶ
Color or Pigment	Fe-oxide	Astaxanthin	Astaxanthin	Astaxanthin
Cell wall	網目状被壁		暑い粘質鞘	
Growth (pH)	5.7~6.5	4.1~5.4		
Growth temperature ($^{\circ}\text{C}$)		0~2	>10	1
Fe-content ($\mu\text{g}/10^8$ cells)	2.8±2.1 (n=26)	<1		
備考		乾燥重量の1%以下		

表6：尾瀬における彩雪現象の紹介者

紹介者	紹介内容
早田 文蔵	植物学雑誌 (7巻91号, 1903) に掲載された論文には, 植物学的にも興味深い新種が記載されている
武田 久吉	山岳雑誌「尾瀬紀行」(第1年, 第1号, 1906年4月) で記載されている
渡辺千吉郎	紀行文「利根水源探検紀行」(1884) の中で秘境として記述, これを機に急激に明治以降に注目されるようになる
平野 長蔵	初代長蔵小屋の主人で, 尾瀬の近代化推し進め, 和歌に記載 (1943)
平野 長英	尾瀬沼長蔵小屋2台目経営者. 短歌として記述; アカシボのにちめる水漂いて春静かなり山の上の沼 (会津の山々・尾瀬; p.17, 川崎隆章編, 木耳社)
平野 長靖	「尾瀬に死す」(社会思想社, 現代教養文庫, 1995) に, 「やがて雪水の表面が赤茶色に染まり (プランクトンの繁殖によるもので私たちはこれを赤シボと呼んでいる) もう湖面は危険で渡れなくなった。」と記載 (p.20)
武田 久吉	「尾瀬と鬼怒沼の中で」(平凡社ライブラリー, 1996) に, 「紅雪」を記載 (p.213, L6). 尾根には残雪の諸所に, 暗紅色の斑点を認めた. 帰途にはその雪を採集し, 東京まで携え帰って顕鏡した結果, 推測に違わず, 下等の単細胞藻による「紅雪」であることが確かめられた.
谷川 洋一	写真集として紹介. 1)「湿原の宇宙」谷川洋一写真集 小学館 2)長蔵小屋オリジナルカレンダー「四季の調べ」(写真:谷川洋一)

3. 尾瀬の赤雪

尾瀬では, 融雪期に大規模に現れる赤雪をとくにアカシボあるいはアカシブと呼んでいる. 尾瀬の彩雪についての記載はふるくは早田文蔵 (1903), 武田久吉 (1920), 渡辺千吉郎 (1884) の紀行文のなかに記載されているが, 尾瀬の近代化を推し進めた初代長蔵小屋の主人平野長蔵 (1943) はその和歌「アカシボのにちめる水漂いて春静かなり山の上の沼」の中で雪の赤くなる現象をアカシボとよび約70年前に記している (表6). 1952年の小林・福島 of 学術的調査がなされるまでは登山者あるいは植物学者たちの紀行文に記されているに過ぎなかったこの現象もいまでは絵葉書になるほど多くの人に知られるようになった. 小林・福島は, 赤雪の主な要因は単細胞性緑藻 *Chlamydomonas nivalis* の休眠胞子によるものであるとしている. そのほかに緑藻として *Chionaster nivalis* や *Chodatella* sp., さらに僅かでは

あるが *Raphidonema nivale*, *Scotiella nivalis* の存在も確認した.

雪の中という低温で, 且つ少量の栄養塩下のもとで生育できる低温耐性の藻類の多くは, 緑色植物門の緑藻類や接合藻がこれに含まれ, これらを氷雪藻と呼ぶこともある. しかしこのような氷雪藻類といえども完全に凍結した雪や氷の中では増殖することはできない. 彩雪現象を起こすほどに増殖するには少なくともある程度の水分が必要である. 尾瀬にみられるアカシボは融雪期に集中して起きることは水温は低いもののある程度は水分が補給され, この融雪水がアカシボ粒子の増殖に何らかの影響を与えていることは間違いない. 10月下旬に採取した試料 (湿原表層0-2cmの堆積物) からアカシボを構成している粒子と同様の赤褐色細胞様粒子が多量に見出されているが遊走型の細胞は観察されていない (山本ほか, 2006). 冬期の湿原は積雪前から既に凍結しており (野原, 2012), 藻類が増殖する可能性は低く, 少なくと

もこの藻類の増殖は、10月下旬以前に行なわれたものであろうと推定した。

Krienitzら(1990)により報告された春のエルベ川河川水を赤色化させた原因生物は緑藻 Phacotaceae 科、*Hemitoma* 属の休眠孢子である。この休眠孢子は被殻表面が酸化鉄を含むために河川水を赤色にそめている。尾瀬にみられる赤褐色粒子はその形態的特徴、被殻表面に多量に含む鉄など、この種に類似している。

また報告例の少ない Phacotaceae 科 *Hemitoma* 属に近縁な種 *Phacotus lendneri* は、バルト湖地域の水域に低温時に出現し、湖水を赤色化するという。単細胞性、2本の等長鞭毛、遊泳性で細胞の周りにさまざまな形の被殻をもち、被殻は酸化鉄を含み、細胞には葉緑体を1個、ピレノイド、眼点、収縮胞がある(Giering et al. 1990)。尾瀬の赤褐色粒子はいくつかの点で上記の藻に類似していることから尾瀬にみられる赤褐色粒子は Phacotaceae 科 *Hemitoma* 属 *Hemitoma* sp (山岸高旺先生により同定)と判定したが、その生活史を明らかにできなかったために種名は不明である。

氷雪藻として最も多く報告されているのはボルボックス目(Volvocales)の *Chlamydomonas* や *Chloromonas* である。特に *Chlamydomonas nivalis* が代表的である。尾瀬では前者の赤褐色の彩雪ほど大規模ではないが紅色の彩雪が見られる。これらは2本の等長鞭毛をもち遊泳しているが、ひとたび環境が悪化すると、一時的に鞭毛がなくなり厚い寒天質に覆われ細胞内にカロチノイドを蓄積することが知られている。環境が良くなると再び鞭毛により遊泳し始める。*Chlamydomonas* に近縁な種である *Haematococcus* を用いてカロチノイドの蓄積の経緯を調べたところ、N-不足、低温、強光の下で鞭毛を失い、多量のカロチノイド・アスタキサンチンを蓄積した(図1、江口、2002)。*Chlamydomonas nivalis* も同様の経緯をたどり赤色化するものとする(Bidigare et al., 1993)。

尾瀬で観察された赤褐色粒子による彩雪現象は東北地方の各地域においても観察される。尾瀬や東北地方で観

察された赤褐色状の彩雪現象は、*Hemitoma* (図2a)で、その他に *Chlamydomonas* (図2b)も観察されている。

図2の写真にも示されるように電子顕微鏡像から被殻の周囲には多数のバクテリアや糸状体の存在している様子がわかる。

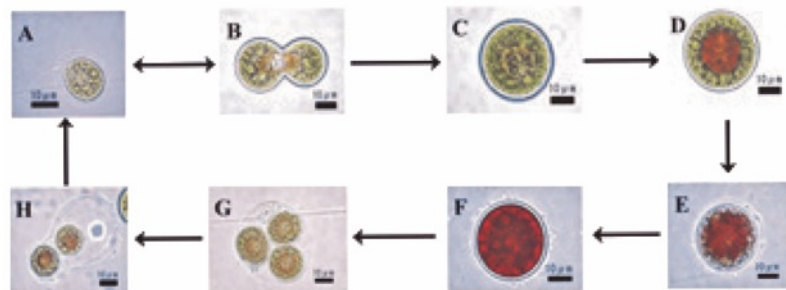
Chlamydomonas による彩雪は、尾瀬沼の周辺域でむしろ低木林の近くにみられ、アカシボの赤褐色粒子と様相がかなり異なる。その規模は小さく、雪の表層がわずかに紅色に染まっているに過ぎない。この試料には多くの石英砂の碎片とカビの糸状体が見られた。

Chloromonas も彩雪原因の藻類である。2本の等長鞭毛、その基部にパピラがあり葉緑体は多数で細胞壁に並んで存在する。ピレノイドはない。野外から得られたアカシボを培養すると、この種の藻株が観察された(図3)。そのほか尾瀬沼沿岸帯のアカシボ発生地点から(OL2, OL3, OL5)数種の緑藻を単離できた(附図1)が同定には至っていない。OL5地点からの単離株は *Chlamydomonas* 様の孢子が観察された。

4. 雪の中の藻細胞数

尾瀬沼周辺で採取した積雪試料からは、他にも単細胞性の緑藻が単離されているが、その多くは種の同定には至っていない(附図1)。

表3は各地の彩雪中で観察された藻細胞数を示す。ここに示される藻細胞の大きさは10~20 μm の球体もしくは楕円体である。アカシボ粒子 *Hemitoma* もほぼ同じくらいの大きさであるが、融雪水1mLあたり 10^3 個以上存在すると肉眼的に雪が色づき、 $10^5 \sim 10^6$ 個になると色鮮やかに見えるようになる。 $10^5 \sim 10^6$ 個になると、赤褐色化が進み黒色に近い色調となる。アカシボ粒子の赤褐色の原因は、休眠孢子的被殻に酸化鉄(図4)が多量に附着した結果である。さらに赤褐色粒子数と融雪水中の全鉄濃度との間には高い相関関係がある(図5)。図6に積雪中の赤褐色粒子の分布を示した。



A・B 栄養細胞期(鞭毛による運動性があり、増殖を繰り返す)
 C・D 休眠状態形成前期(鞭毛を消失、運動性がない、カロチノイドを細胞内に蓄積)
 E・F 休眠状態形成後期 細胞全体にカロチノイド蓄積
 G・H 休眠状態から栄養細胞に変化

図1: *Haematococcus lucustris* の生活史

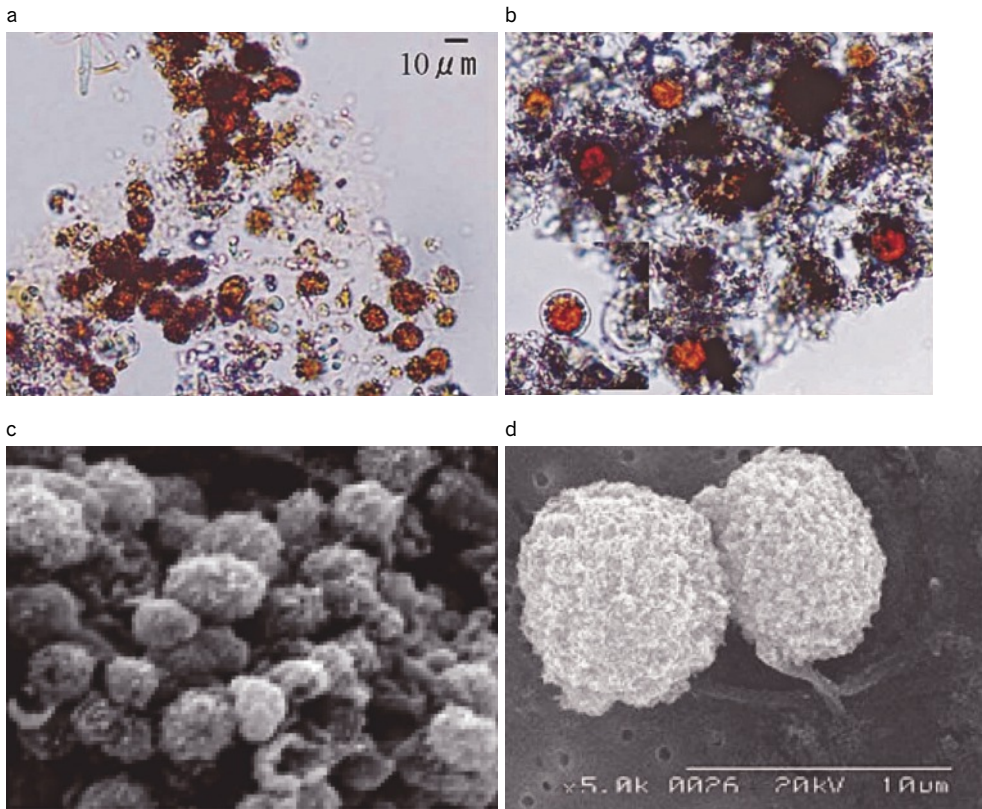


図2：尾瀬ヶ原のアカシボ粒子の光学および電子顕微鏡図

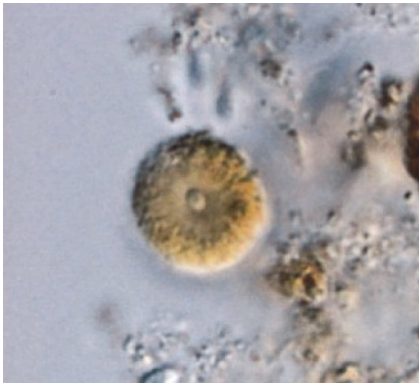


図3：培養で出現した *Chloromonas*

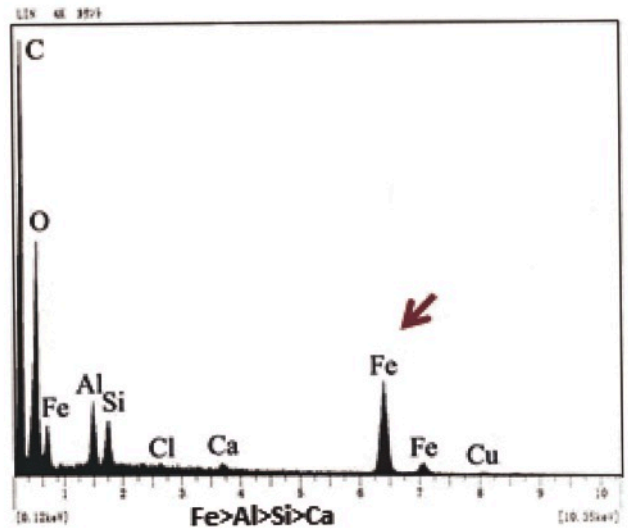


図4：赤褐色粒子の金属元素

山本ら (2006 より引用)

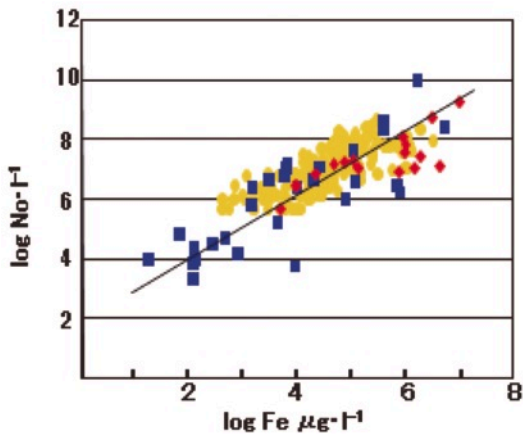


図5：赤褐色粒子数と融雪水中の全鉄濃度

	r	n
● 尾瀬ヶ原	0.752	141
■ 尾瀬沼	0.820	29
◆ 東北	0.780	17
	P<0.001	

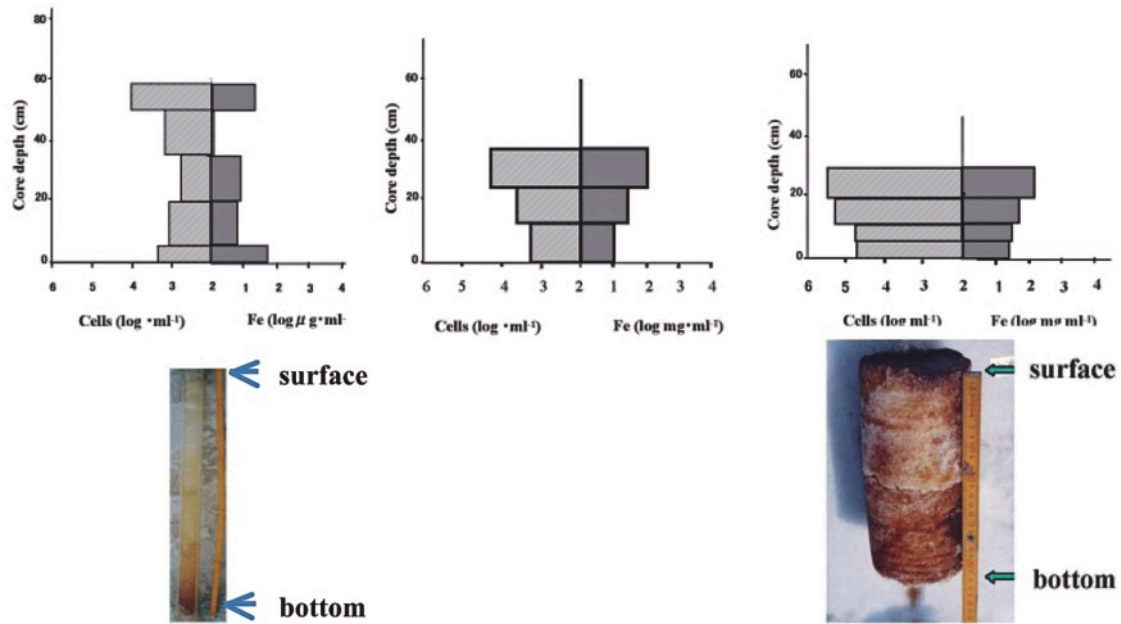


図6：積雪中の赤褐色粒子の分布（2006 山本らから引用）

赤雪の原因が黄砂（井上・吉田，1978）の場合では、雪の表面のみが着色している。アカシボは積雪下層から雪面に向けて着色が進行しているので、尾瀬の赤雪は黄砂が原因であるとは考えにくい。

5. 雪の中の微生物

Kol (1968a) は雪のなかの微生物 466 種を検索し、カビ 77, バクテリア 35, 残りは藻類に寄生していることを示している。そのうち 3 種のカビが *Chlamydomonas* spp. と Desmid, *Ancylonema nordenskioldii* に寄生していることを示している。真正細菌についての報告例は比較的少ないが、Handfield et al. (1992) は、1～4℃で生育するグラム陽性菌、酵母 4 種類を分離している。そのほか Thomas (1994) は Tioga Pass, California の赤雪の中には藻類は 4.9×10^4 cells mL⁻¹ に対し、真正細菌は 3.2×10^5 cells mL⁻¹ で、それに対し白色雪には赤雪の中で見られた藻類の 1～5%，真正細菌は 11～33%であったことを報告している。これらの微生物が赤雪藻類と栄養塩をめぐって相互に依存しているのではないかと考えに否定的な見方 (Weis, 1983) もある。

日本では椿 (1996, 1998) が尾瀬の赤色の残雪には碇型やテトラポット型の不完全菌を発見しているが、彩雪に直接のかかわりはないと報告している。

謝辞

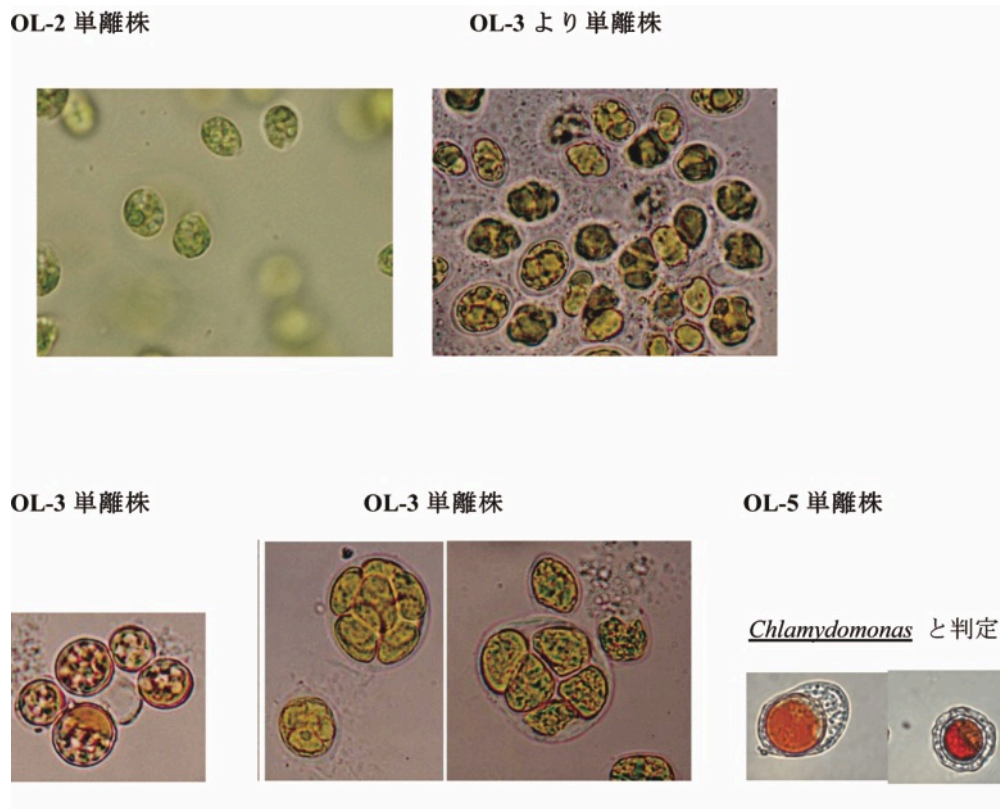
本研究は、「干潟等湿地生態系に関する重点国際共同研究」(独立行政法人国立環境研究所)の一部として開

始され、国立環境研究所と環境省(庁)との協議、及び許可、文化庁の許可を受けて行われた。尾瀬沼の調査に当たっては、福島県尾瀬保護指導委員会の調査の一部として許可の範囲内で実施した。尾瀬地域の入山にあたっては、東京電力 KK, 尾瀬林業 KK の許可を受けた。記して感謝申し上げたい。

引用文献

- Akiyama, M (1979) Some ecological and taxonomic observations on the colored snow algae found in Rumpa and Skarvsnes, Antarctica, *Memoirs of National Institute of Polar Research. Special issue 11*, 27-34.
- Bauer, F. (1819) Microscopical observations on the red snow. *Q. J. Lit. Sci. Arts* **7**, 222-229
- Bidigare, R., M. E. Ondrusek, M. C. Kennicutt II, R. Iturraga, H. R. Harvey, R. W. Hoham and S. A. Macko (1993) Evidence for a photoprotective function for secondary carotenoids of snow algae. *J. Phycol.*, **29**, 427-434.
- 江口邦子 (2002) 緑藻 *Hematococcus lacustris* の培養に関する研究, 明治大学修論 p49.
- Fukushima, H. (1962) Studies on Cryophytes in Japan. Tokohama Municipal University, C. 43: 1-46.
- Fujii, M., Y. Takano, H. Kojima, T. Hoshino, R. Tanaka, and M. Fukui (2010) Microbial community structure, pigment composition, and nitrogen source of red snow in Antarctica. *Microb. Ecol.*, **59**, 466-475.
- Giering B., L. Krienitz, S. J. Casper, T. Peschke and H. Raidt (1990) LM and SEM observations on the asexual reproduction and lorica formation of *Phacotus lendneri* Chodat (Chlamydomonadales, Phacotaceae). *Arch. Protistenkunde*, **138**, 75-88.
- Handfield M., H. G. Jones, R. Letarte and P. Simard (1992)

- Seasonal fluctuation pattern of the microflora on Agassiz ice sheet, Ellesmere Island, Canadian Arctic Muskox, **39**, 119-123.
- Hoham, R. W. (1975) Optimum Temperatures and Temperature Ranges for Growth of Snow Algae. *Arctic and Alpine Research*, **7**(1), 13-24.
- Hoham, R. W. and B. Duval (2001) Microbial ecology of snow and freshwater ice. In *Snow Ecology*. Cambridge University Press: Cambridge, 168-228.
- Hoham, R. W., J. E. Mullet, and S. C. Roemer (1983) The life history and ecology of the snow alga *Chloromonas polyptera* comb. nov. (Chlorophyta, Volvocales). *Can. J. Bot.*, **61**, 2416-2429
- Hoham, R. W., Laursen, A. E. Clive, S. O. and Duval, B. (1993) Snow algae and other microbes in several alpine areas in New England. In *Proc. 50th Annual western Snow Conf.*, pp.165-173
- 井上克弘・吉田稔 (1978) 岩手県盛岡市に降った“赤雪”中のレスについて, *土壤肥料学雑誌*, **49**, 226-236.
- 小林義雄・福島博 (1952) 日本に於ける赤雪と緑雪に就いて I, *Bot. Mag. Tokyo*, **65**, 77-85.
- 小林義雄・福島博 (1952) 日本に於ける赤雪と緑雪に就いて II, *Bot. Mag. Tokyo*, **65**, 123-135
- Kol E. (1942) The snow and ice algae of Alaska. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, **101**, 1-36.
- Kol, E. and Flint, E. A. (1968) Kryobiologie. Biologie und Limnologie des Schnees und Eises. I. Kryovegetation. In Thienemann, A. (founder), Elster, H.-J. and Ohle, W. (eds.), *Die Binnengewässer*. Vol.24. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 216 pp.
- Krienitz, V. L., T. Peschke and B. Fiering (1990) Lichimikroskopische, rasterelektronen -mikroskopische und röntgenmikro-analytische Untersuchungen an *Hemitoma maandrocystis* Skuja (Chlorophyta, Phacotaceae). *Arch. Protistenkd* **138**, 159-170.
- Ling, H. U. and R. D. Seppelt (1993) Snow algae of the Windmill Islands, continental Antarctica. 2. *Chloromonas rubroleosa* sp. nov. (Volvocales, Chlorophyta) an alga of red snow. *Eur. J. Phycol.* **28**, 77-84.
- Ling, H. U. (2001) Snow algae of the Windmill Islands, continental Antarctica: *Desmotetra aureospora*, sp. nov. and *D. antarctica*, comb. nov. (Chlorophyta). *J. Phycol.*, **37**, 160-174.
- Mikucki, J., A. Pearson, D. Johnston, A. Turchyn, J. Farquhar, D. P. Schrag, A. Anbar and J. Priscu and P. Lee (2009) A contemporary microbially maintained subglacial ferrous “ocean”. *Science*, **324**, 397-400.
- 野原精一 (2012) 尾瀬の自然環境の概要 *低温科学* **70**, 9-20.
- Ohtani, S. Chen, B. & Nakatsubo, T. 1998. Distribution of snow algae at King George Island, Antarctica with reference to physical and chemical characters of snow. *Chinese J. Polar Res.* **10**, 191-203. (in Chinese)
- Parker, B. C., Simmons, G. M. Jr., Seburg, K. G., Cathey, D. D. and Allnut, F. C. T. (1982) Comparative ecology of planktonic communities in seven Antarctic oasis lakes. *J. Planktonic Res.* **4**, 271-286.
- Thomas, W. H. (1994) Tioga Pass revisited; Interrelationships between snow algae and bacteria. In *Proc. 62nd Annual western Snow Conf.*, pp.56-62.
- 椿啓介 (1996) 春の彩雪と残雪, カビの不思議 p 131-141. 筑摩書房, 東京.
- 椿啓介 (1998) 「カビと酵母」小崎道雄・椿啓介編: p 54-55
- Weis, R. L. (1983) Fine structure of the snow alga (*Chlamydomonas nivalis*) and associated bacteria. *J. Phycol.*, **19**, 200-204.



附図1：OL 採取地点からの単離株の顕微鏡写真