

質問 「赤雪」という現象について教えてください。

回答 「赤雪（あかゆき）」とは、読んで字のごとく赤い雪のことです。誰もが雪は白いものと信じているものですから、「赤雪」という言葉には、なにやら奇妙な、またはミステリアスなものを感じます。しかし、この赤雪という現象の実体は、意外と知られていないようです。ためしにインターネットの検索エンジンで、「赤雪」という言葉がのっているホームページの数を調べてみたところ、Yahooでは0件、gooでは14件、Infoseekでは34件と非常に少ないことがわかりました（1999.12現在。ちなみに比較のため「雪氷」を検索すると、それぞれ11件、2151件、4686件）。また、このヒットしたホームページの中でも、赤雪という現象について述べられているページは、わずか5件でした。このことは、「赤雪」が、あ



図1 北極、スピッツベルゲンの雪渓で見られた赤雪。

雪氷学にかかる疑問や技術的な問題など、広く会員の方々の質問に答えるコーナーです。雪氷編集委員会あてに、文書で質問をお寄せ下さい。

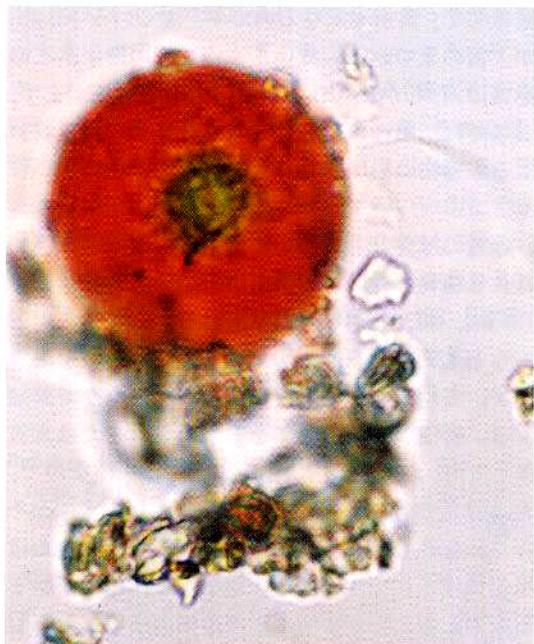


図2 立山内蔵助雪渓の赤雪に含まれていた雪氷藻類 (*Chlamydomonas nivalis*)。大きさは、直徑約25 μm。まり知られていないことを示しています。

赤雪は、春、解けはじめた積雪の表面で見ることができます（図1）。残雪上ならばいつでもどこでも見られる、というわけではないのですが、山岳地帯の森林の中や、森林限界上の残雪の表面でたまに見ることができます。目を凝らして見ないと、赤いのがよくわからないこともあります。山に行って残雪の上を歩いたあと、足跡を注意して見ると赤くなっていることでわかったりします。実際に私がよく見るのは、調査でよく行く富山県の北アルプスの立山周辺です。5月から7月の残雪期に、雷鳥沢や内蔵助の雪渓で、毎年ほぼ確実に見ることができます。

一般にいわれる赤雪の原因には、二つあります。ひとつは黄砂です。黄砂とは、中国大陸で強い嵐

によって巻き上げたれた細かい砂粒が、ジェット気流にのって日本に飛んでくるものです。この黄砂が春先の雪と混ざって降ったもの、または雪の表面に積もったものを、北陸、東北地方では「赤雪」と呼んでいるようです（角皆、1991）。しかし、この黄砂による雪の色は、光の加減にもよるかも知れませんが、実際には赤いというよりは、黄色から茶色をして見えます。もうひとつの原因是、微生物の繁殖です。これは、雪氷藻類と呼ばれる赤い色をした微生物が、残雪の表面で大量に繁殖して、雪が赤くなるのです。海でいう「赤潮」が、雪の上で起こっているようなものです。この赤雪は、たしかにきれいな赤い色をして見えます。ここでは、私の専門分野でもある後者の微生物による赤雪について、くわしく説明したいと思います。

赤雪の原因となる微生物は、主に雪氷藻類と呼ばれる植物の仲間です。藻類というのは、水たまり、沼、湖、どぶなどで見かける、緑色をしたどろつとしたもの、いわゆる「藻（も）」のなかもです。雪や氷などの温度の低い環境のなかで繁殖する、特別な種類の藻類を雪氷藻類（または冰雪藻）と呼んでいます。藻類は植物の一種なので、太陽の光をあびて光合成をして繁殖します。おそらく、もともと雪のなかに含まれていた、または風で飛ばされてきた藻類の胞子から、増殖が始まるものと考えられます。この藻類の多くは単細胞性、つまり各個体はひとつの細胞からできており、そのひとつの大ささは、種類にもよりますが $1\text{ }\mu\text{m} \sim 50\text{ }\mu\text{m}$ ぐらいです。赤雪を持ち帰って顕微鏡を使って観察してみると、その藻類の姿を見ることができます。赤い雪氷藻類として、代表的なものが *Chlamydomonas nivalis*（クラミドモナス・ニバリス）という種名の藻類です（図2）。クラミドモナスというのは、2本の鞭毛をもち、泳ぎまわることのできる藻類の仲間です。ニバリスは、ラテン語で「雪」を意味します。しかし、泳ぎまわる姿はなかなか見ることはできず、ほとんどは直径 $20 \sim 40\text{ }\mu\text{m}$ ほどの球形の赤い休眠胞子が観察されます。このほかにも、数10種の雪氷藻類が日本の雪渓から報告されています（Fukushima, 1963）。

この雪氷藻類が赤い色をしているのは、カロチノイドという物質が細胞の中に大量に含まれてい

るからです。カロチノイドとはニンジンを赤くしている物質と同じです。このカロチノイドは、紫外線から細胞を守る効果があると言われています。白い積雪の中では、太陽の紫外線が非常に強いため、雪氷藻類はこのカロチノイドを大量に持っていると考えられています（Bidigare *et al.*, 1993）。蛇足ですが、カロチノイドはガンを抑える物質ともいわれています。カロチノイドかどうかは忘却ましたが、雪氷藻類に含まれるある物質を、薬品として使えるかどうかの可能性の研究をしている方がいると新聞記事でみたことがあります。いつの日か、赤雪が貴重な漢方薬になることもあるかも知れません。

色のついた雪は、赤い色をした「赤雪」だけではありません。他にも、綠雪、黄色雪、黒雪などものもあります。日本では一般に色のついた雪の名称として「色雪（いろゆき）」、「彩雪（さいせつ）」、「五色雪（ごしきゆき）」、「着色雪（ちゃくしょくせつ）」とも呼ばれているようです。これらの、色の違いは繁殖している藻類の種類による違います（Fukushima, 1963）。同じ種類の藻類でも、繁殖条件の違いで色がかわる場合もあります。*Chloromonas polyptera* という綠藻は、日陰では緑色になり、日当たりのよい場所では黄色からオレンジ色になるという報告があります（Hoham *et al.*, 1983）。さらに、繁殖を終えた藻類の遺体が、雪の上に蓄積はじめると、雪は黒い色になります。これは、藻類の遺体がバクテリアに分解されて、腐植物質という黒い物質が形成されるためです。夏の雪渓の表面は黒い泥のようなもので汚れているのを見ます。この黒い泥は、周辺から飛ばされてきた土砂と考えられていましたが、実はこの泥の大部分は、雪渓上の生物活動によって形成された腐植物質などの有機物なのです。

赤雪は、もちろん日本だけの現象ではなく、南極や、北極、ヒマラヤ、アルプス、ロッキー、アンデスなどの世界中の積雪や氷河から報告されています。いままでに私が調査で訪れたヒマラヤ、パタゴニアの氷河でも、実際に赤雪を目にしてきました。特にパタゴニアの氷河の赤雪は鮮やかな赤い色をしていました。博物学者チャールズ・ダーウィンの有名な著作「ピークル号航海記」にも赤雪が登場します。19世紀前半、南米チリのアンデスの山中を旅行中真っ赤な雪を発見し、この

色が微細な藻類によるものであることを明らかにしています。

雪や氷といった寒い世界にこんな藻類が生きてることには驚くばかりですが、じつはこの藻類を食べながら雪や氷の世界で生活する昆虫などの動物もいるのです。日本では通称「雪虫」とも呼ばれている「セッケイカワゲラ」、「セッケイカワゲラモドキ」は、雪氷藻類を食べながらこの雪の世界で暮らしています。ヒマラヤの氷河では、蚊の仲間の「ヒョウガユスリカ」、ミジンコの仲間の「ヒョウガソミジンコ」、さらに微生物であるワムシ、センチュウ、クマムシなどの動物が、雪氷藻類を食べながら生活をしています。また、雪や氷の中に、これらの生物の遺体を分解するバクテリアの存在も確認されています。このように氷河や雪渓の上には、寒い環境に適応した生物で構成される、単純で閉鎖的な生態系が存在していると考えられます(e.g. 幸島, 1994)。雪や氷の中に、今まで考えもしなかった多様な生物の世界があるのです。

赤雪のような微生物による雪や氷の着色は、雪や氷の融解過程に大きな影響を与えていていることもわかつてきました。もともと白い雪は光の反射率(アルベド)が高く、太陽の光のほとんどを大気中に反射してしまいます。しかし、この白い雪面に微生物によって赤や黒の色がつくと、日射の吸収が増えて、雪や氷の融解が促進されます。これは、生物活動が雪や氷の融解速度に大きく影響することを意味しています。実際に、ヒマラヤの氷河では、微生物の活動によって形成された黒い汚れ物質が氷河表面を覆い、融解を3倍も促進していることが明らかになっています(Kohshima et al., 1993)。高いアルベドを持つ雪氷圈は、地球規模の気候システムにも大きな影響を及ぼしているといわれています。したがって、この「赤雪」という微生物の現象は、地球環境にも大きくかかわっているのです。

しかし、まだまだこのような雪氷微生物に関する研究は少なく、わかっていないことが多いのが現状です。たとえば、雪氷藻類がどこから飛んできて、どのような条件になると大繁殖し「赤雪」になるのか、ということでさえはっきりとわかつていません。世界的に見てもこの雪氷藻類の研究をしている人は数えるほどしかいません、

これから発展が望まれる分野です。

最後に余談を少し。赤雪という現象は、なんと聖武天皇の時代から記録に残っています。「続日本書紀」に、「陸奥黒川郡以北11郡に赤雪降る。平地で2寸。天平14年1月23日(西暦724年)」という記録があります。また、江戸時代に書かれた「会津年表」には、「怪星出現し赤雪降る。宝暦元年正月(西暦1751年)」という記録があります。なにやら非常に興味を惹かれる記述です。たまたま大量に黄砂が飛んできたとも考えられますが、なにかしらの繁殖条件の変化によって微生物が大量に繁殖したのかもしれません。また、インターネットで検索していたところ、「赤雪山」と呼ばれる山があることがわかりました。この山は、栃木県の足利山域に位置し、標高は621mで、登山道もついていて、なかなか展望のいい山だそうです。「赤雪山」という名の由来ですが、昔、戦で雪を赤く染めたという藤姓足利氏にまつわる言い伝えがあるそうです。この山にいけば「赤雪」が見られる、というわけではなさそうです。

文 献

- Bidigare, R.R., Ondrusek, M.E., Kennicutt II, M.C., Iturriaga, R., Harvey, H.R., Hoham, R.W. and Macko, S.A., 1993: Evidence for a photoprotective function for secondary carotenoids of snow algae. *Journal of Phycology*, **29**, 427-434.
- Fukushima, H., 1963: Studies on cryophytes in Japan. *Journal of the Yokohama Municipal University, Ser. C-43*, 144, 146 pp.
- Hoham, R.W., Mullet, J.E. and Roemer, S.C., 1983: The life history and ecology of the snow alga *Chloromonas polyptera* comb. nov. (Chlorophyta, Volvocales). *Canadian Journal of Botany*, **61**, 2416-2429.
- Kohshima, S., Seko, K. and Yoshimura, Y., 1993: Biotic acceleration of glacier melting in Yala Glacier, Langtang region, Nepal Himalayas. *IAHS, Publ.*, **218**, 309-316.
- 幸島司郎, 1994: 氷河生態系. *日本生態学会誌 (Jpn. J. Ecol.)*, **44**, 93-98.
- 角皆静男, 1991: 日本周辺域で観測された黄砂. 黄砂, 名古屋大学大気水圈科学研究所編, 85-108.

参考ホームページ

東工大幸島研究室

<http://www.bio.titech.ac.jp/~skohshim>

(東京工業大学生命理工学部 竹内 望)