



人呼んで雪氷生物学！

—— 幸島研究室～基礎生物学講座 ——



幸島 司郎 助教授

「氷河」……高山や極地方の万年雪がかたまって自身の重みで斜面の低い方にゆっくり流れくだるもの。あなたの脳裏に思い浮かぶのは、どのような光景だろうか。「氷」の河というだけに氷のイメージが強いかも知れないが実際は雪および雪が変化してできた氷のかたまりがゆっくりと流れているものである。このような雪と氷の世界にも目に見える生物が生きている。昆虫である。この小さな節足動物が、幸島先生の関心を引きつけてしまったのだ。一体彼らは何を食べて生きているのか？ 氷河を観察していた幸島先生は、昆虫が雪の上で真っ黒い泥を食べているところを目撃する。「ただの泥ではない、きつとうまいものに違いない」と考えた先生はそれが生物であると予想し、研究を始めた。



氷河の表面はどろんこ

白一色に見える氷河も、近づいて見るとその表面は雨上がりの雪道のような泥んこの状態になっている。その表面にはシリンダー状の穴があいている（写真）。この穴はなんだろう。良く見ると穴があいているのは泥が特に集まったところだ。しかも、穴を覗くと底もまた泥のように真っ黒になっている。真っ黒……白い氷河の上に黒いものがあればそれは当然光を吸収する。もうお分かりと思うが光が真っ黒い泥を温め、その熱で氷が溶かされ穴が作られたのである。

では氷河を泥んこにして、しかも穴をあける原因である泥の正体は一体何なのだろう。先生はシリンダー状の穴の底や氷河の表面の泥を採取して分析してみた。すると顕微鏡で見てみれば、ただの泥と思ったものは、驚いたことに全て、小さなボール状をしていたのだ。それは微生物である藍藻が丸く層を成したものであった。

なぜ、このような層を成すのか、それを理解す

るために、まず図1を参照してほしい。昼間は、糸状に生えた藍藻が伸びる。夜になると鉱物粒子などの、様々な粒子が藍藻に取り込まれる。そしてまた昼間になると藍藻が伸びて……これが延々と繰り返され層状の構造がだんだん発達する。以上のようにボール状になった藍藻の固まりが、人



穴のあいた氷河

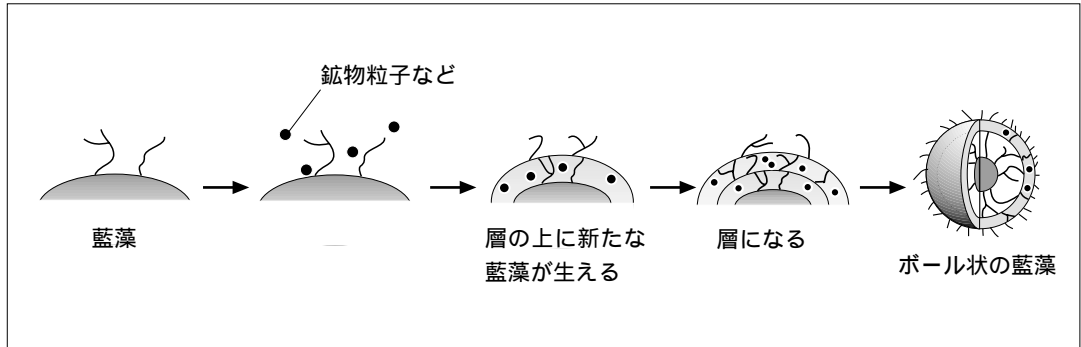


図1 藍藻の形成

間の目には泥のように見えるのだ。

以上に述べてきたのは、ヒマラヤの氷河についてである。

北極の氷河は、ヒマラヤと違い近づいてもなお白く見える。これは何故なのだろうか。北極にも藍藻がいるので穴はできる。しかし緯度の低い地方と違い、北極は気温が極端に低い。そのため気

温の上昇で氷河が溶かされる割合が少なく、日射のみだから黒い部分だけが局部的に溶かされる。そうすると穴はヒマラヤなどに比べ深くなる。しかも黒い底の部分だけ深くなるので(30cmくらいにもなる)表面からは見えなくなり、結果全体として白く見えるのである。



氷河の気候と植生

ヒマラヤそして北極というように、北半球の氷河について述べてきたが、北半球以外の氷河の例として南アメリカ大陸のパタゴニアの氷河を挙げよう。パタゴニアの氷河は白く見える。白く見えるのだが、生息しているのは、前述の北極とは異なり緑藻である。パタゴニアの氷河がこのように白いのは、藍藻ではなく緑藻が生息しているからである。緑藻は赤い色素を持っている。赤いとは言っても、大発生したときのみ氷河がうっすらと赤く見える程度のものである。この赤い色素は紫外線によって核の中のDNAが壊れるのを防ぐために、サングラスの様な役割を果たしていると考えられている。

では、パタゴニアの氷河には緑藻が、北半球の氷河には藍藻が生えるというように、植生(どの種類の植物がどのくらいの割合で生えているか)が違うのは何故なのだろう。

藍藻は短波長の光で、緑藻は長波長の光で光合成をしている。ここで注意すべきは穴の底まで届く光が、氷の中を通過した散乱光となっていることである(図2)。そうすると光のうちの赤い成分、つまり長波長の光は、氷河中を通過するうち

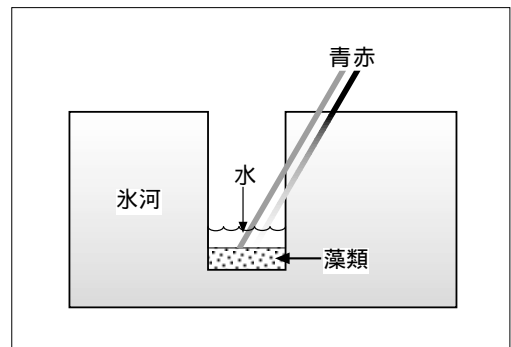


図2 日光の散乱

にみるみる減少してしまう。そのため、底まで届くのは、短波長の光のみである。穴が深くなればなるほど、底に届く光は、青い成分、つまり波長の短い光になってくる。海の色が青く見えることと同じ原理がもっと小さいスケールで起こっていると考えると良いだろう。

さてここで藍藻がヒマラヤに多くいるのは、ヒマラヤは穴ができやすい気候で短波長の光のみが入っていたからだ、としたらどうだろうか。穴が

できやすい気候であるとは、藍藻にとって都合が良い。パタゴニアは逆に、穴ができにくい気候だと言える。北極の例で挙げたように、氷河は暖かい空気と日射による溶解が原因で藻類によって穴をあけられて溶ける。このように「穴ができやすいか、できにくいかわり」つまり氷河の気候が、氷河の植生に影響を及ぼすというのが先生の考えである。

先生は氷河の分散様式の違いについても新たな考えを持っている。これまで北半球と、北半球以外の例としてパタゴニアの氷河を紹介してきた。藻類の分散の仕方がこんなにも大きく分かれるのは何故なのか。先生の新たな仮説でその理由が説明できる。通常雨や雪などの核となっているのは海ではじけた塩類や火山噴火などによる噴煙であ

ると考えられている。しかし、先生は、この中に植物（微生物）などの種（孢子）が含まれていると考えられている。この考えをもとにして藍藻、緑藻の氷河での分布を見てみよう。藍藻は北半球全域に同種分布している。対して緑藻は分布が地域に限定されている（例として挙げたパタゴニアなど）。この違いは前者が大気循環に乗るほどの広域的な循環であり、後者は山谷風でないほど局地的な循環であることだろうと先生は考えている。このことを証明するために氷河上の大気から雪のレプリカを作ろうとしている。

このように氷河の色が黒くなったり、うっすら赤みを帯びることは、氷河の気候とそれともなう植生に密接な関係を持つのである。



氷河の植生を使って

「地球の温度が上昇していること」を氷河の植生を使って調べる方法を先生は提案している。

その方法をひとつ紹介しよう。氷河の植生は我々の身近な植物の分布と同じように、それぞれ適応している環境が異なっている。そのため氷河の藻類の化石は、地層と同様に層を成している。断面をとってみると、氷河は図3のようになっている。氷河に馴染みのない私達には分かりにくく感じるが、氷河の中ではなんと扇のように広がって層を成しているのである。

この成り立ちを説明しよう。氷河はある高さを境にして上流と下流に分けられる。上流では雪が降り積もっていき、下流では氷河が溶けていく。ある高さというのはその境界となっているのである。上流は毎年雪が降り積もっていくため、昔降り積もった雪は新しく積もった雪の重さでどんどん圧縮されていく。雪は上からの重みで何年も圧縮されると氷のようになる。このように、降り積もった雪は層になっていく。また上流に行けば行くほど積もる雪の量が多くなっていくので、下流で溶けていくにしたがい扇のように移動していくことになる。図3を見れば、下流の方が古い氷河であることも納得がいくだろう。しかし、だからといって下流を掘っても、それがいつ頃の氷河なのかが分からない。そのためボーリングで使われるのは上流の氷河である。深い部分ほど古い氷ということが分かる。このような氷河の層の構造を

もとに、その中の藻類の化石によって当時の気候を復元することもできる。暖かい年であれば高いほうへ、寒い年であれば低い方へ植生がずれてくる。例えば標高の高い位置には普通、気温が低い所を好む植物が生えている。しかし気温の高い年になると、植物は種類と量が共に変化し、分布は斜面に沿って高い位置にずれる。するとともに気温の低い所を好む植物が生えていた位置には、それより高い気温を好む植物が生えてくる。このことを利用し、氷の中にある植物（この場合は藻

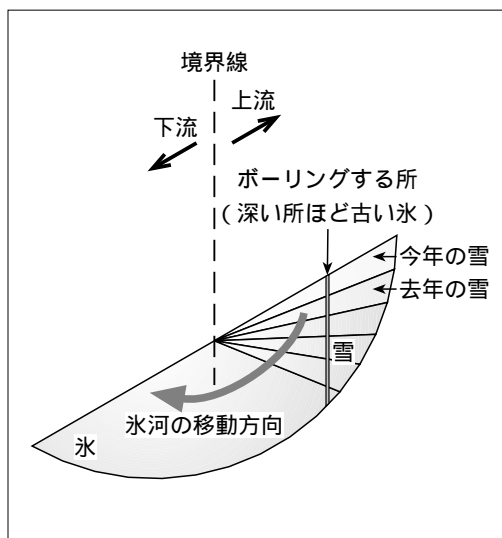


図3 氷河の断面

類)の化石を使うことで当時の気候を復元することができる。植生のずれから過去のその土地での気候変動が探れるのである。最近20~30年の経過を調べると、確かにこの10年は暖かくなっていることが分かっている。しかし、温暖化の兆候と言い切るには調査期間が20~30年というのは短すぎ、この傾向は兆候と言うほどのものでないのかも知れない。もっと長期にわたる調査が必要だそうだ。

今までの調査方法では、まず氷河の雪の中に閉じ込められた空気を取り出していた。それはいわば空気の化石であるから、その成分を分析することによって、当時の地球の温度を調べることができる。しかしこの方法では、雪が空気を長期間閉じ込めておかなければならないため、一年中溶けない氷、例えば南極大陸の中央付近などのごく限られた場所でしか観測が不可能であった。なぜなら氷河が融解することで溶けた氷はかき混ぜたようになる。すると物理・化学的な情報(例えば酸素同位体)が乱れてしまう。だから溶けない氷河だけしか研究対象にできなかったのである。先生の考える氷河の植生による測定方法を使えば、氷

が溶ける地域での観測も可能になる。そのような氷河ならこの地球のあちこちにある。たとえ赤道直下の地域でも高山には氷河が存在する。その地域の藻類を使うことで、今よりもずっと広い範囲の氷河を利用し温度の上昇の様子を調べることができる可能性が出てきたのである。

他に氷河の微生物の植生分布から、氷の溶け具合が調べられる。例として世界で2番目に大きいグリーンランドの氷河は、温暖化の影響が1番大きい。最近の温暖化による温度上昇によって自然に溶ける分に加え、本来なら藻類が氷を溶かす分がある。増えた藻類によって色づいて、光の吸収率が上がり氷河は溶ける量が増えるはずである。しかし実際は藻類のような生物による影響はほとんど考えられずに調査されている。温暖化で生物の植生に変化が起こる可能性があるから、氷の溶け方にも当然変化が起こるだろう。このことは先ほどの藍藻の話からも分かることであろう。それを考慮しなければ、氷の溶け具合がどれほどのものか正しい予測はできない。

このような理由で、氷河の生態系を調べ、そのモデルを考えることは重要なのである。



疑問はまだまだ多く...

氷河にいる昆虫の大きさはみんな数mm~2cm程である。そんな小さな生物が氷河のような厳しい条件のもとでどのように生命を維持しているのだろうか。

まず、体内の水分が0度以下で凍らないのか?という疑問である。このことについては、化学の授業でお馴染みの凝固点降下で説明できる。0度で凝固する水でも、不純物が多ければ凝固点が下がるという現象である。氷河の昆虫は体内のグリセリン濃度を高めることで、氷河の-20度という

環境でも活動することができる。

しかし生命維持には体内にとりこんだ植物の消化なども必要である。氷河の昆虫が、暖かい気候の昆虫と体の構造は大して違わないのになぜ寒さに耐えられるのか、消化はどのように行っているのか、いまのところ分かっていない。先生は「酵素自体の構造が常温とは異なっていて低温適応できる、つまり低温でも活性が高いからか」等考えていらっしやるが、これも今後の課題となるだろう。

ここでは、雪と氷の世界の研究について紹介してきた。しかし、実際に先生のなさっている研究はこれだけにとどまらない。全て紹介できないのが残念である。現在研究室にいる学生の研究テーマも種々様々で、皆それぞれ、おもしろそうだと思うことを自由に研究しているようだ。

「自分の経験から、どうせ苦労するなら自分が

一番やりたいことをして苦労した方がええんちゃうかって。そういう意味でおかしな所だから、間違っって入ってこないでね。」

.....そう言われると何故か余計に惹かれてしまうのは私だけだろうか。

(雨貝 郁)