

2013 年 9 月 14 日 (土)

富山県民会館 304 号室

14:00~15:30

「常識を覆した立山の氷河～温暖氷河とは～」

富山大学 名誉教授

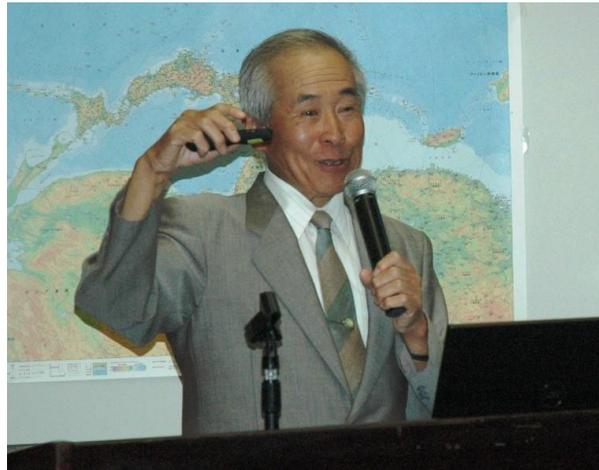
川田 邦夫 氏

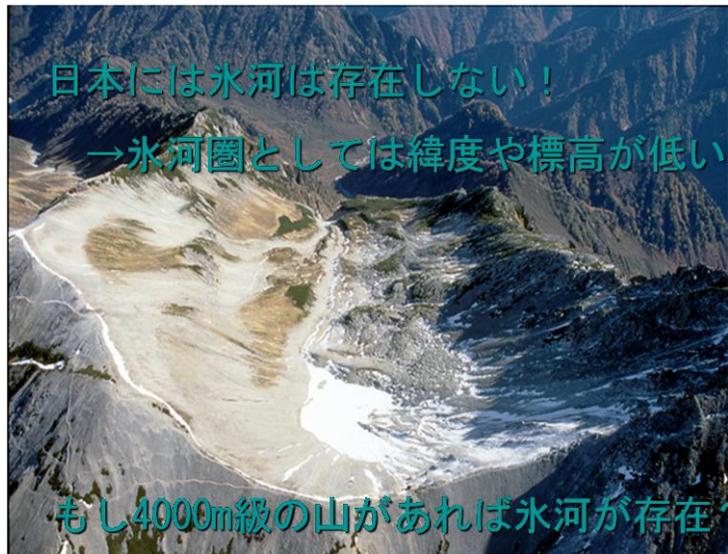
1. 氷河とは何か

立山の氷河については、立山カルデラ砂防博物館の飯田肇さん、福井幸太郎さんが分かりやすくお話ししているので、私は主に氷河とは一体何か、富山に氷河はあるのか、温暖氷河についてお話ししたい。また、今日は、飯田さんの了解を得て彼のスライドを幾つか入れていることをお断りしておく。

氷河というイメージは皆さんそれぞれお持ちだと思う。氷河の研究はヨーロッパで始まった。大きな氷体がいつも同じような所に存在することは知られていたが、それが動いているのではないかと、氷の河が流れるのではないかとという疑問を持った人たちが山へ登って確かめたのである。当時は今のよう GPS などはなかったので、何百メートルもある氷体の上に石を真横に並べて、それが移動するかどうかを調べたのだが、時間がたつにつれてそれが円弧になっていくので動いているということが分かった。これは大変な発見で、以後、どういう動き方をしているかという氷河学が発達した。

富山にも万年雪とか、越年する雪渓（多年性雪渓）と呼ばれるものがあつた。また、かつて氷河があつた痕跡を示す圏谷（カール）があることも、自然地理の先生方を中心に知られていた。それで、山崎直方氏などは、後に彼にちなんで命名される山崎カールなどはヨーロッパと同じではないかと言っていたのである。しかし、日本に現存の氷河はないというのが通説だった。それは、世界で氷河のあるグリーンランドや南極、ヒマラヤやアルプス、スカンジナビア、カナダの北極圏などの地域と比べて緯度や標高が低いことから、ないだろうと思われていたのである。





2. 積雪から氷河水へ

実は私は雪の研究者である。降った当初の「新雪」には雪の結晶形が見られる。右の図は -10°C 以下でも凍らないような液体の中に積雪の塊を入れ、更に温度を下げて全体を固め、積雪をカンナで削って 0.1mm 程の薄片にして撮った写真である。そうすると、米粒のような形態がよく見える。これがだんだん変化して小さな粒ができた状態が「しまり雪」である。普通、雪玉を作ることができるものである。それにいったん水が入ると粒は急激に粗大化する。これが「ざらめ雪」である。また、「しもざらめ雪」は氷の中に霜ができたものである。

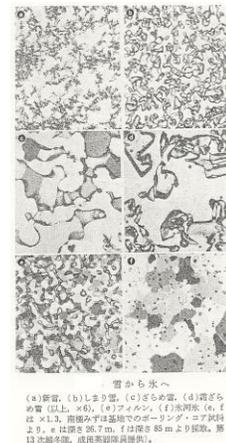
雪がだんだん押し固められていくと、中の気泡が小さくなっていく。雪は氷と空気の混合体だが、それが長い時間の間にだんだん縮まっていくと、だんだん空気が押し出されていき、最後に残った空気が気泡として閉じ込められる。そういう状態を「氷」と言うのである。氷河などではそうならない前の状態を「フィルン (firn)」と呼んでいる。しかし、日本語に訳すと全部「雪」である。英語では新しく降って雪の結晶が残っている状態をスノークリスタルと呼んでいる。スノークリスタル、フィルン、アイスと区別している。

その区別の境界は密度で表され、密度 $0.83\text{g}/\text{cm}^3$ 以下が積雪で、密度 $0.83\text{g}/\text{cm}^3$ を超えると通気性がなくなり、氷に分類される。完全な氷になると、密度は $0.917\text{g}/\text{cm}^3$ となり、気泡が見えないので、全くの透明となる。しかし、その中に、見えないまでに小さくなった気泡が存在している。

私は南極でボーリング（掘削）をして氷を採取する作業に従事してきたことがある。深い所へ行くとだんだん透明の氷になってくるが、それを地表へ上げてくると、圧縮されて

積雪から氷河水へ

- ・新雪：雪の結晶の集合体
- ・しまり雪：丸みを帯びた小さな粒状の雪粒が焼結により互いつながった構造を作る。
「圧密」
- ・ざらめ雪：融け水を含んで再凍結を繰り返すと雪粒は粗大化する。
- ・しもざらめ雪：積雪内部に温度勾配ができると、雪の内部で昇華蒸発・凝結が起こって大きな霜の結晶が発達する。



雪から氷へ
(a)新雪、(b)しまり雪、(c)ざらめ雪、(d)しもざらめ雪 (上、×6)、(e)フィルン、(f)氷河氷 (e、fは×1.3、前掲みずほ基地でのボーリング・コア試料より)、gは雪を 80°C より加熱、第13次融氷期、成程英研隊員提供。

いた空気が圧力から解放されるので氷が壊れてしまうと思われるだろう。しかし、空気泡は氷の結晶の中で結晶化して、氷の中の化合物のようになってしまふと安定して割れなくなる。すなわち、圧力が掛かった状態ではそういう物質が出てくるということである。この例が二酸化炭素ガスの固形物やメタンハイドレートである。また、私が南極から持ち帰った氷をオンザロックにして飲むとチーン、チーンという音がする。あの音は氷が溶ける時に泡がある場所に達して破裂する音である。

3. 立山の雪渓



立山劔岳の氷河と万年雪



- 立山連峰の東側(季節風の風下側)に万年雪が集中している。
- その中でも特に規模の大きなものが、
左より 御前沢雪渓、内蔵助雪渓、三ノ窓雪渓、小窓雪渓。
その中に「氷河」が現存しないかの確認調査を行う。

上の 2 枚の写真は立山の裏から撮った写真である。一番左にあるのが御前沢の雪渓、その右が内蔵助の雪渓である。これらが場合によっては氷河かもしれないということになって研究が始まっている。

劔御前にあるのが「はまぐり雪」、劔岳から延びているのが劔沢雪渓、三ノ窓雪渓、小窓雪渓である。はまぐり雪などは確かに小さいが、いつも確実に残っていて、下の方には越年した証拠を示すようなしま模様/year layer が出ている。ただ、これらは山崎カールも含めて、全て山の東側にある。これは卓越風が西の方から吹いているので、風下側にあるのがほとんどである。従って、これらは氷河ではないだろうという話もここから出ている。

立山の南側にある針ノ木雪渓は、劔沢雪渓、白馬大雪渓ともに日本三大雪渓と言われるが、深さはそれほどでもない。下に川が流れているので融解する部分が相当ある。これは氷河とは言っていないが、これを氷河と言ってもいいのではないかという話もある。そんなことを言うなら池ノ谷の万年雪の方が絶対大きい、あれも氷河でないかという意見もあるので、今、さらにその調査もしようとしている。しかし、池ノ谷や三ノ窓、小窓の調査は結構大変である。あそこは元気な人でないとなかなか行けない所である。また、北海道の方にも氷河があるような気がするし、鳥海山のものも氷河だと言われるようになるかもしれない。

万年雪と氷河の分布



立山連峰の万年雪と氷河の分布

すべての氷河の融け水は黒部川へ流れる

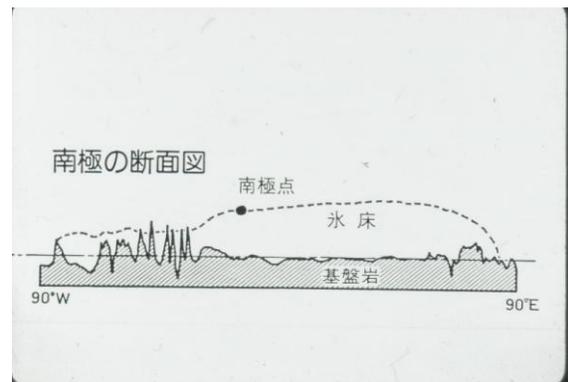
4. 氷河の分類

(1) 氷河の形態的分类

スウェーデンのアールマン氏は、氷河をその形態から以下の三つに分類している。第 1 は、連続的なシート状の氷河で、南極氷床、グリーンランド氷床、アイスランドの氷帽などがその例である。ちなみに、下の左図は南極氷床が海に流れ出て氷山になる様子であり、下の右図は南極大陸を氷床が覆っている様子である。第 2 は氷の流れに主方向があって、鮮明な流路が見えるもので、谷氷河、圏谷氷河と呼ばれるものである。そして第 3 が、大きな氷床から溢流して、麓の基盤上を覆っているもので、山麓氷河と呼ばれる。



南極氷床から海に流れ出て氷山となる



(2) 地球物理学的分類

しかし、氷河をその形態から一つのカテゴリーで分類するのはなかなか難しいということで、大ざっぱに①融点に達することがあって、夏になると解けるものを温暖氷河 (Temperature glacier)、②氷体の温度が融点以下にあって、全く解けることがない寒冷氷河に分けようという考え方もある。また、その中間にあるものを亜極地氷河と言う。これ

は、夏期に表面が融解するものである。それに対して、南極やグリーンランドの中央にある年中解けないものを高緯度極地氷河と言う。

ちなみに、温度や融解の有無は氷河の形成過程や流動に非常に大きな影響を及ぼす。また、氷河がどうして流れるかにも関わる。斜面上に雪氷の塊があると、粘性体として変形して必ず流動する。また、これだけではなく、固体がクレバスやセラックのように割れて動くものと、底面で滑り出てくるグライドなどが重なったものが一つの孤立氷体の動きとなってくる。流動があるかどうかという言葉には、そういうニュアンスがある。

5. 氷河の四つの相と境界線

氷河の上流部から末端部までを分けると四つの相に分けられる。高い、寒い所では降った雪がなかなか解けずずっと残っている。それがどんどん溜まってくると重力の作用により下流の方へどんどん流動してくる。そして、末端の方に来ると解けてなくなる（右図）。

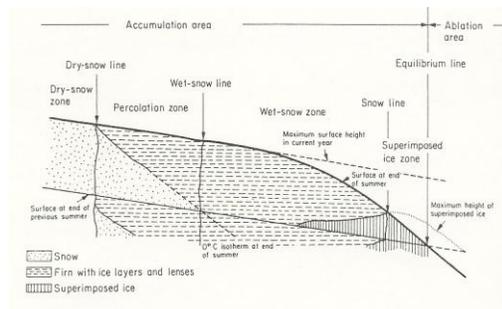
前年度にある線まで解けたのだが、その上にまた雪が積もって、それがまた夏場に解けていくという様相を示すが、これを何年も繰り返しているのが典型的な氷河である。

その下の図はそれを日本語で簡単に示したもので、氷河上流部で降った雪は解けないのでぬれない、ここを乾燥帯と言う。それに対して、温度が高くなって少し表面が解けてくる所を浸透帯と言うが、前年度の層までは達しない。前年度層まで解け水が達してしまうような所が湿潤帯である。乾燥帯→浸透帯の境目が乾雪線、浸透帯→浸潤帯の境目が湿潤線である。また、上積氷帯（うわづみこおりたい）とは解け水がずっと入って氷ができてくるような所で、浸潤帯→上積氷帯の境目をフィルン線と言う。消耗帯はどんどん解けていくだけの所である。これが典型的な氷河のパターンである。そうすると、氷河の形が全然変わらないとすると、上の方で供給されるものと下の方で解けてくるものとの収支のバランスが取れている平衡線があるということになる。

従って、「氷河とは、重力によって長期間にわたり連続して流動する雪氷体」と日本雪氷学会の解説書に書いてあるが、はっきり言って氷河の明確な定義はない。飯田さんの講演でも非常に言葉に注意して表現しておられると思う。とにかく、非常に大きな雪氷体があるということと、それが移動しているということが条件である。少し地表に張り付いたような雪渓がある程度では氷河とは言えないだろう。

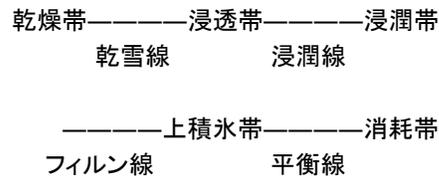
従って、「氷河とは、重力によって長期間にわたり連続して流動する雪氷体」と日本雪氷学会の解説書に書いてあるが、はっきり言って氷河の明確な定義はない。飯田さんの講演でも非常に言葉に注意して表現しておられると思う。とにかく、非常に大きな雪氷体があるということと、それが移動しているということが条件である。少し地表に張り付いたような雪渓がある程度では氷河とは言えないだろう。

氷河を4つの相に分ける



氷河の4つの相と境界線

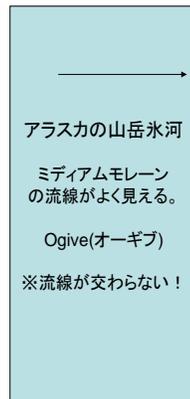
- 氷河の上流から



氷河の運動

ヨーロッパで山岳氷河と言われるものには、右図のようなきれいなしま模様を示すものがある。しま模様としま模様の間では、支流というか、横の氷河から来たものが合流して、その境目に汚れの線ができています。こういうものを見ていると、立山の氷河と少し違うなどと思うが、ゆっくりした川の流れのように、移動してはいるものの、粘土の固まりをぐっと引っ張っていくと、動きが速い場合などその流れの方向だけの線ではなく、流れに直交するような割れ目の模様ができるのである。また、モレーンとは、氷河が削った岩くずなどが氷河に載っているもの、あるいはずっと末端まで運ばれてきたものが氷河の後退した後にその場に残されたものを言う。

また、右図のクレパスと呼ばれるようなものは、氷河がぐっと引っ張られるような所にできる。しかし、氷河の流れの傾斜が変わって圧縮が起こるようになると、この形は消えていくことになる。



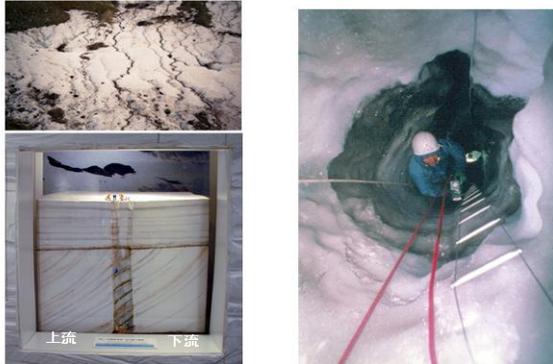
6. 立山における氷河の研究

氷河の定義が曖昧なので、昔は氷河跡という形で地理学の先生方が議論しておられたのだが、その後、物理学的見地からの研究が始まった。日本ではそういう研究は非常に遅れていたが、三八豪雪を機会に全国の研究機関で雪の研究を進めようということで北海道大学の低温科学研究所の先生方がこちらに入り込んできて、ついでに、「はまぐり雪」を見に行くことになった。そこで「これはすごい、年層がしっかり出ている」という話になり、当時、富山大学におられた小笠原和夫先生が、下の方に単結晶の氷の 10cm ぐらいの塊が見られたことから、「これは温暖氷河と言ってもいいのではないか」となったわけである。これに猛烈に反対したのが名古屋大学の研究グループで、「あんなものは氷河ではない、氷河とは動かなければいけない」ということを強調された。しかし、その後、鳥海山の方でも雪渓が残っていて、これを、小氷河という名前でも発表されたので、名古屋大学の先生も現在はそれを認めていたようだ。

その後、各地でいろいろ研究が進められたが、氷河に相当するようなものはなかなか出てこなかった。それで「はまぐり雪」のような小さな雪渓よりも、すぐ隣に内蔵助という

大きな氷体があるのではないかというので、これを化石氷体として、富山大学も参加して結構大きな力を注いで観測することになった。確かにあれは氷河の末端部にある形態に似ている。しかも、氷河の末端部には下図のようなムーランと呼ばれる縦穴が開くのだが、それが内蔵助の雪渓にいっぱい見られる。しかも、ここにはモレーンと呼ばれる氷河が運んだ土砂でできた堤防状の地形も二つほど見られた。また、その山のような地形の近くにある穴は深さ 20m もあって、そのほとんど半分以上が氷だった。

内蔵助雪渓



しかし、その後、何年間かしてその穴が見えなくなってしまった。一昨日の晩、私は学生と一緒に内蔵助の小屋に泊まっていたが、ご主人の常行さんに聞くと、もう 10 年以上、15 年は出ていないと言っていた。つまり、20m の深さがある氷体の上に現在 5~10m の雪が積もっているということである。地球温暖化といっても、今は雪がどんどん積もっているという感じである。そこでボーリングなどいろいろ試みたのだが、その氷体にはいっぱい岩くずが入っていると思われるので、ドリルで掘ってもガツンと突き当たって刃が折れてしまい、奥深くまで調べられない。開いた穴を調べるのが唯一の方法だったのだが、それが今、ふさがっているということだ。

その後、あちこちの雪渓を調査した後、御前沢雪渓に入って調査をすると、確かに動いていることが観察されている。先ほど言ったように、氷河は粘性で動く動きと底面から動く動きが合わさって動く。従って、できるだけ深く棒を差して、その上に GPS を付けて、測定したと研究者は説明している。

氷河上で、1 年間に積雪が溜まる量が溶ける量より多い場所を涵養域と呼ぶ。涵養域は主に氷河上流部に位置し、1 年中、雪に覆われている場合が多い。北陸は日本海からの水蒸気の蒸発が非常に多く、高い山の方へ行くと温度がある程度低いため、積雪量は北海道より多くなる。また、普通に積もった雪なら解けてしまうが、立山では残る。ということは、普通に積もった雪よりも異常に多い堆積の仕組みがあるということである。次の図は立山室堂平での積雪断面観測である。積雪深は平均 6~7m、黄砂による汚れが層を成しているのが分かる。16~17m 積もる所はやはり吹き溜まりである。天狗平からカーブして室堂平に入る辺りで一番雪が少ないのは、あの辺の雪が全部吹き払われて風下に溜まっているからである。また、ずっと急勾配の斜面が続いているような地形では降った雪が流れを起こしてどんどんたまることになる。このように、吹き溜まりと雪崩などの流れで普通

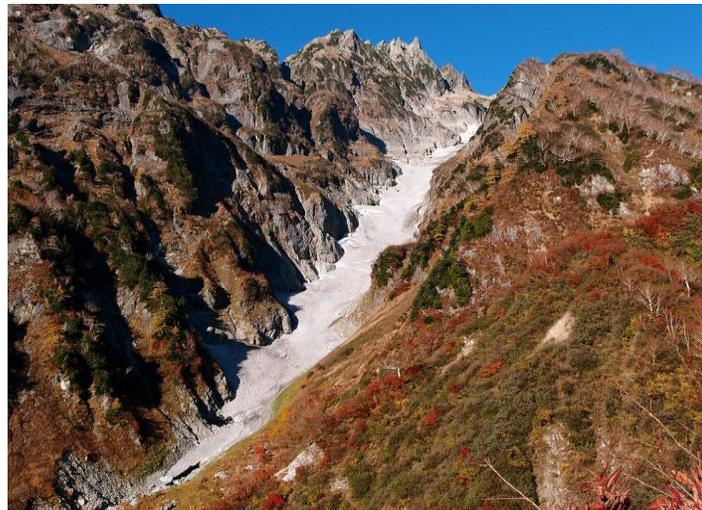
以上の堆積を作る。さらに、山の陰になっているためにいつまでも融けにくいことから異常な堆積になっている。

しかし、ずっと融けないわけではなく、年中少しは融けている。だから、先ほどの物理学的分類で言うならば、温暖氷河と言えるだろう。とにかく、そのような異常な堆積をするような要素がこの富山県にあるということである。そして、その融けた水が黒部川や常願寺川に流れている。

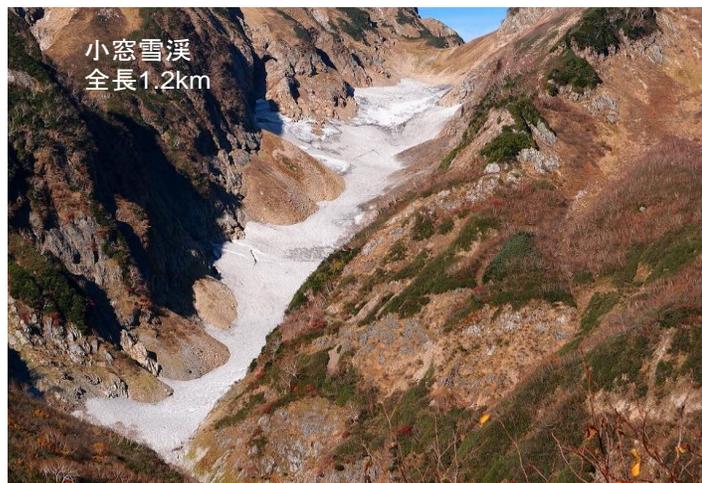


- 立山室堂平での積雪断面観測
- 積雪深は6~7m
- 汚れ層が見られる

右の図は三ノ窓の雪溪の上の方だと思う。季節は秋なので下の方で解けてきている。これも上の方で測ったところ動きがあるということで、氷河と認定されたという言葉を使っている。論文に動きがあったということを書いて、その論文が通ったということをもって認定という言葉を使っているのだが、最初に申し上げたように氷河について正確な定義はない。一般的に氷河と言ってもいいのではないかと私どもは考えているが、そうではないと言う人も世界中にいっぱいいる。



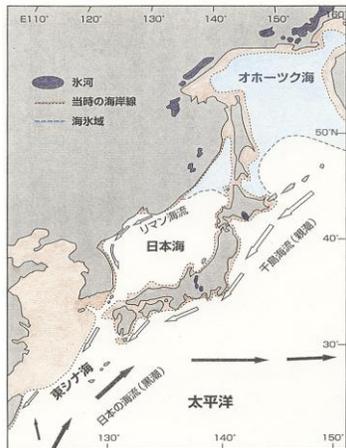
右の図が全長 1.2km の小窓雪溪である。この上の方で測ったところ、やはりこれも動いていることが発見できた。ただ、なかなか行きにくい所にあるので研究を進めるのは大変である。



7. 富山県が目指す自然科学財産

日本にも氷河時代があった。また、7 万年前から現在までの北海道の気温の変化をたどると、今から 2 万年前ぐらいに一番寒い時期があったことが分かる。下の図は最終氷期の最寒期における日本海の様子である。氷河期には海の水の多くが大陸で凍っているのに、海面は低下し、日本海は外洋から閉ざされた状態に近くなっている。黒くなっている所は氷河があった所である。このように、日本でも北アルプスから南アルプス、北海道の日高山脈にも氷河があったと言われている。

最終氷期の最寒期における日本海



- 間宮海峡 12m
- 宗谷海峡 55m
- 津軽海峡 130m
- 対馬海峡 130m

日本海は外洋から
閉ざされた状態に
近い！

下の 2 枚の写真は、御前沢カール、内蔵助雪渓、劔岳である。今日はカールなど、氷河が削ったことばかりお話ししてきたが、雪崩や氷河の塊が積もっては崩れ、積もっては崩れしているうちに、ヨーロッパのモンブランのように針峰という尖った峰が形成されてくる。劔岳もそういうヒマラヤヒダのようなものが見られることから、劔岳も氷河に削られてできた地形だろうと言われている。



日本にも1万年以上前には氷河があった！



今、富山県の立山は、ラムサール条約に登録され、非常にいい環境になってきている。また、もう一つジオパークという構想もある。これは一言で言うと、自然博物館に近いものだろう。私たちはそれに向けて学習を進めるためにいろいろ研究をしているところで、日本にも 30 ほどそういう所ができています。世界ジオパークは 100 件あるそうだが、黒部立山ジオパーク構想がかなり進んでいるので、皆さんも応援してほしい。また、世界遺産の話もあり、これにはいろいろな制約があるが、ジオパークは自分たちで作っていい。今、そういう活動が行われていることを最後にお伝えして、私の話を終わりたい。