

## シンポジウム報告

### 氷河情報センター公開シンポジウム報告 「日本の多年性雪渓と氷河—これまでの研究と今後の展望—」

白岩孝行<sup>1</sup>, 内藤 望<sup>2</sup>, 飯田 肇<sup>3</sup>, 福井幸太郎<sup>3</sup>

#### 1. はじめに

平成 24 年 6 月 30 日, 公益社団法人日本雪氷学会 氷河情報センター主催, 立山カルデラ砂防博物館共催により, 氷河情報センター公開シンポジウム「日本の多年性雪渓と氷河—これまでの研究と今後の展望—」を開催したので以下報告する。

2012 年 5 月に出版された「雪氷」74 巻 3 号に掲載された福井幸太郎・飯田肇による原著論文「飛騨山脈, 立山・剣山域の 3 つの多年性雪渓の水厚と流動—日本に現存する氷河の可能性について—」は, 信頼に足る実測データによって 3 つの多年性雪渓の流動現象と, 30 m を越す厚い氷体を確認し, これら 3 つの多年性雪渓を氷河であると主張した。従来, 氷河が存在しないと考えられていた我が国において, この論文の出版は画期的な出来事であり, 氷河情報センターとしては, この論文を機に, 改めて国内の多年性雪渓の研究史を振り返り, 福井・飯田による主張の妥当性を検討するシンポジウムを企画した。

シンポジウムの企画にあたっては, 長年にわたり進められてきた日本の多年性雪渓研究において主導的な役割を果たしてきた研究者を中心にプログラムを構築し, 総合討論に十分な時間を配分した。約 100 人の参加を得, 一日という短い時間であったにもかかわらず, 包括的な研究史を含め, 多年性雪渓の構造, 質量収支, 流動, 平衡線といった雪氷学的な諸特徴の整理を行い, 氷河の定義に新たな視点を付与与できるような深い議論を行うことができた。また, 我が国で初めて科学的に氷河

と認められ得る三ノ窓雪渓, 小窓雪渓, 御前沢雪渓を重要な地域資源として位置づけるべく, ジオパークへの登録を推進すべきであるという社会的な価値を導き出すことにも成功した。以下, 話題提供者の要点を振り返りながら, シンポジウムの概要を紹介したい。

#### 2. 話題提供

「日本における, いわゆる雪食地形と多年性雪渓研究史」

岩田修二 (東京都立大学名誉教授)

明治 11 (1878) 年のライマンによる報告に始まる日本の多年性雪渓・氷河研究の 130 余年にわたる歴史を概観し, 多年性雪渓と氷河との類似性を各研究者がいかに考えてきたかを詳述し, これらの多年性雪渓が氷河として認められてこなかった理由を整理した。今回の福井・飯田による研究は, 流動を確認した点が氷河と認定しうる大きな前進といえる。しかし, 多年性雪渓と類似の規模を持つニッチ氷河と比較した場合, ニッチ氷河の末端部縦断型が凸型を呈するのに対し, 三ノ窓・小窓・御前沢の三つの雪渓はいずれも平滑ないし凹型の末端部縦断型をもつ。よって, 地形学的には, これらの多年性雪渓を氷河と結論するには未だあいまいな点があると考えられる。

「立山内蔵助雪渓, 剣沢はまぐり雪の氷体研究」

飯田 肇 (立山カルデラ砂防博物館)

1960 年代以降に立山・剣岳周辺で実施された多年性雪渓研究のうち, 剣沢はまぐり雪と内蔵助雪渓での氷体研究に焦点をあて報告した。はまぐり雪では, 国内では最も長期間にわたり氷体やその変動研究が実施されている。1961~64 年の富山

1 北海道大学低温科学研究所

2 広島工業大学環境学部

3 立山カルデラ砂防博物館

大・北海道大の先駆的な調査で、15年分の年層を含む氷体や10cm径の単結晶氷が発見され、日本に氷河が現存と話題になった。しかし、その後の名古屋大の調査で流動が確認されず、この氷河論争は終息した。1967年以降は、名古屋大が40年以上にわたり雪渓の消長と気候変動との関連を調査し、年々変動が大きいこと、融雪末期の面積は1990年頃までは減少トレンドでそれ以降は横ばいであること、雪渓中心部の積雪深は22m程度で限界深が存在すること、涵養は冬型気圧配置が卓越する2月までに完成すること等がわかってきた。また、1980年代から名古屋大等により内蔵助雪渓の詳細な氷体調査が実施され、厚さが30mに及ぶこと、20m深のムーランがあること、下部氷体は氷河と同様の衝上構造を持つこと、底部の氷体の年代が $1760 \pm 140$ yBPであること等が判明した。内蔵助雪渓の構造は全くもって氷河そのものだが、流動が確認されなかったため化石氷体と呼ばれた。ここまでの研究で、氷河の条件のうち厚い氷体を持つことは十分クリアされたが、氷体の流動について説得力のある実測が得られないまま、今回の立山・劔岳における氷河研究まで持ち越されることになる。氷体の詳細な構造が判明している内蔵助雪渓についても、今後更なる流動観測が望まれるところである。

#### 「立山劔岳の現存する氷河確認調査」

福井幸太郎 (立山カルデラ砂防博物館)

劔岳の三ノ窓雪渓および小窓雪渓で、2011年と2012年春にアイスレーダー観測を行い、厚さ30~60m、長さ900~1200mに達する日本最大級の長大な氷体の存在を確認した。2011年秋に行った高精度GPSを使った流動観測の結果、三ノ窓・小窓両雪渓の氷体では、1ヶ月間に最大30cmを超える比較的大きな水平方向の流動が観測された。これらのことから三ノ窓・小窓雪渓は現存する「氷河」と考えられる。

立山東面の御前沢雪渓では、2009年秋にアイスレーダー観測を行い、雪渓下流部に厚さ27m、長さ約400mの氷体を確認した。2010年と2011年の秋に高精度GPSを使って氷体の流動観測を行った結果、誤差以上の有意な水平方向の流動が観測された。流動速度は1ヶ月あたり10cm以下と小さいものの、2年連続で秋の時期に流動して

いる結果が得られたため、御前沢雪渓も現存する「氷河」と考えられる。

立山の内蔵助雪渓では、2011年秋に高精度GPSを使って氷体の流動観測を行った。その結果、52日間で3~4cmの流動が観測された。観測された流動量は非常に小さく、誤差の可能性もある。このため、氷河であるか否かを明らかにするためには、今後も継続した流動観測を行う必要がある。

#### 「北アルプス内蔵助雪渓から考える豪雪山岳地域の氷河形成論」

藤井理行 (国立極地研究所名誉教授)

立山・内蔵助雪渓は、氷河と同様の衝上構造を持つ下部氷体と、不整合で上位に載る積雪層の二層からなっている。内蔵助雪渓の塑性変形をグレンの流動則と形状ファクターFを用いて算出したところ、平均傾斜を $12^\circ$ と仮定した場合、上部の積雪が多い冬期には年間数10cm程度の流動が期待され、氷河と認定できるような特徴をそなえるが、上部積雪が減少する夏期は、底面剪断応力が氷の降伏応力を越えず、結果として顕著な流動が生じない。立山・劔山域のように、冬期の豪雪、夏期の高湿多湿な環境下では、冬期にのみ氷河的振る舞いをする氷体が存在する可能性があり、これを季節的氷河として氷河の一形態として認めたい。

#### 「立山における平衡線高度の推定」

小野有五 (北星学園大学北海道大学名誉教授)

Hoshiai and Kobayashi (1957) が求めた現在の日本上空の雪線高度 $4035 \pm 85$ mは、気温のみを考慮して推定された値であり、立山・劔山域のような豪雪地帯では、適用できない。Ohmura et al. (1992) が提案した平衡線高度における気温と降水量の関係に応用し、現在の立山周辺の気温・降水量データから、仮想的な平衡線高度を推定すると、約2970mとなる。よって、内蔵助雪渓は、その氷体の構造と、計算された平衡線高度から、きわめて近い過去に氷河であったことが考えられる。詳細な氷河モデルを用い、内蔵助雪渓の流動シミュレーションを行うことにより、どの時期まで氷河として流動していたか、知見が得られるであろう。

## 「大雪山「雪壁雪溪」の観測研究」

高橋修平 (北見工業大学)

大雪山の雪壁雪溪では、1960~70年代に形態・構造・質量収支の観測が行われ、10年間の中断を経て、1989年から現在まで毎年秋に形態の測量が継続されている。秋の質量最小時の形態の時系列変化には、火山灰降下による急激な融解などのノイズが表れているものの、長期的な変動には、気候変化が表れている可能性が高いことがわかってきた。また、雪壁雪溪のような吹きだまり型雪溪は、涵養における上限が存在することがわかった。この上限を越えるような涵養があった場合、過剰な積雪は風によって吹き払われてしまうのである。

「日本の多年性雪溪における氷体形成機構—温暖氷河との共通点・相違点—」

河島克久 (新潟大学)

大雪山のヒサゴ雪溪には、下部に氷体が存在し、その氷体の上部にのる積雪層には帯水層が存在する。この帯水層の存在が、積雪の高速氷化に寄与しているという仮説を立て、室内実験により上載荷重と積雪の圧密速度の関係を求めた。その結果、帯水層は積雪の高速圧密に寄与することがわかったが、雪溪で観察されるような上載荷重では氷化に至ることは難しいことが判明した。雪溪中の帯水層の氷化には、秋の寒気による凍結が重要である。一方、雪崩涵養型のような低高度に位置する雪溪には、観察した限りにおいて帯水層も氷体も存在しない。雪崩涵養型と考えられる三ノ窓・小窓雪溪になぜ厚い氷体が存在するのか、その氷化メカニズムの研究が重要であろう。

「流動の視点から考える雪溪・氷河問題」

成瀬廉二 (NPO 法人 氷河・雪氷圏環境研究舎)

氷河の定義のひとつとして、流動の存在が重要である。一般に、ある厚さを持った氷体の変形を知るためには、グレンの流動則が用いられる。しかし、グレンの流動則は、小さな試料片の変形実験から求められた経験則であり、流動パラメーター A や、形態ファクター F などの変数を必要とする。そこで、完全塑性体近似を使い、氷を 100 kPa の剪断応力で変形すると仮定して、三ノ窓雪溪と小窓雪溪の流動の可否を検討した。氷の密度を  $700 \text{ kg m}^{-3}$ 、三ノ窓雪溪の傾斜を  $20^\circ$ 、氷厚

を 43 m、小窓雪溪の傾斜を  $40^\circ$ 、氷厚を 23 m と仮定すると、どちらの雪溪も底面の剪断応力は 100 kPa に達しており、変形が可能であることがわかった。一方、これらの雪溪では、理想的な氷河の涵養域および消耗域でみられる沈降速度や浮上速度が観測されておらず、理想的な氷河とは言い難いと考えている。

## 3. 総合討論「日本の多年性雪溪の諸問題」

コーディネーター

上田 豊 (名古屋大学名誉教授)

### 3.1 問題提起

澤柿教伸 (北海道大学)

総合討論の冒頭で、8人の話題提供を整理し、総合討論のために以下の問題提起を行った。福井・飯田 (2012) の論文で取り上げられた3つの氷河のうち、少なくとも三ノ窓雪溪と小窓雪溪は、その明瞭な流動特性から氷河と考えても問題はなく、ユネスコの氷河分類に則れば、550223 と分類できる。今後の課題として、I) 氷河として認定するための基準として必要な要素を更に観測によって明らかにすること。これらの要素には、1) 氷体の維持機構、2) 流動メカニズム、3) 質量収支、4) 涵養・消耗メカニズム、5) 底面すべり、6) 結晶構造、がある。II) 現在の平衡線高度が時空間拡張への基準点となりうるかについて検討すること。III) 地域振興としての「氷河」の重要性。『北アルプス・富山湾の氷河・氷期ジオパーク (仮称)』の設立提案。

### 3.2 質疑応答

総合討論では、8人の話題提供者と澤柿が登壇し、上田豊による司会によって進行した。まず会場からの質問を受け付けた。最初の質問は、観測された多年性雪溪群の底面融解速度であった。年間 1 mm というオーダーが福井氏から述べられたが、内蔵助雪溪の底部で 1700 年前の植物遺体が見つかっている事実からすると、ほとんど融けていないのではないかと、という意見が小野・藤井から述べられた。その原因として、永久凍土の存在が指摘された。一般的な雪溪は、底面融解が進み、スノーブリッジ上になって崩壊するという消失パターンをとるため、底面融解速度が雪溪と氷河の遷移過程に大きく関与している可能性がある。

内蔵助雪渓では、1963年に激しい表面融解が起こり、その結果、現在見られる不整合面が形成されたという見解が藤井によって述べられたが、1963年は38豪雪の年であり、これをどう考えるのかという質問があった。飯田は、観測事実がない以上、推測の域を出ないと断った上で、里雪と山雪の違いに触れ、38豪雪時は山地で寡雪であった可能性を指摘した。

「多年性雪渓」、「越年生雪渓」、「万年雪」という用語が同じような文脈で使用されているが、どのように使い分けているのか、という質問に対しては、岩田・上田が、「万年雪」→「越年生雪渓」→「多年性雪渓」という用語の変遷の歴史を紹介し、現在では多年性雪渓 Perennial snowpatch が正式な用語として英語圏でも日本でも使用されていると説明した。

近年の温暖化が多年性雪渓に与える影響について訊ねられた飯田は、富山の積雪は減少しているものの、室堂の積雪が減少していない観測事実を挙げ、夏の気候の年々変動が激しくなっていると指摘した。高橋は、大雪山の雪壁雪渓の観測から、1970年代の後半に雪渓が大きくなり、近年は雪渓が小さくなっている長期変動を紹介した。また、河島は、北アルプス白馬岳の大雪渓が夏期の豪雨によってガリー状に浸食された出来事を紹介し、突発的な気象イベントが雪渓に与える影響を指摘した。

### 3.3 総合討論

#### 3.3.1 福井・飯田 (2012) の氷河認定についての妥当性

今回の発表・質疑応答、議論を通じて、三ノ窓雪渓、小窓雪渓、御前沢雪渓を氷河と呼ぶことについて、否定的な見解は述べられなかった。ただし、涵養・消耗機構、流動機構について、まだ詳細がわからない点もあり、これらの雪渓が「理想的」な氷河とは呼べない、という意見も出た。一方、年間20mに達する涵養・消耗量を持つ氷河は世界的にも異例であり、季節的に大きく質量が変わることで氷河底面の剪断応力を大きく変えるなど、従来の氷河研究では注目されてこなかった新しい課題も明らかとなった。それゆえ、これらの氷体を異質なものと捉えるべきではなく、氷河の多様性を押し広げるという視点から研究を進め

ることで、氷河学に新たな貢献ができる可能性があることが示された。シンポジウム参加者は、今後、三ノ窓雪渓、小窓雪渓、御前沢雪渓を「三ノ窓氷河」、「小窓氷河」、「御前沢氷河」と呼ぶことに異議を唱えない。またユネスコの分類としては、650223であることを確認した。

一方、内蔵助雪渓については、流動量が小さいか、観測されないという事実もあり、現段階ですぐに氷河と認定すべきであるという積極的な意見は出なかった。唯一、小野がR.F. Flintの定義を用い、過去に流動した氷河も氷河として認めるべきであるという意見を述べたが、これについて参加者の積極的な賛同は見られなかった。

#### 3.3.2 日本の多年性雪渓・氷河研究における今後の課題

何よりも、今回福井・飯田 (2012) によって観測された雪渓群の長期観測の継続と、モデリング研究が必要である。涵養量・消耗量という質量収支観測、複数の横断面における流動観測、クレバスを利用した氷体の密度観測、ボーリングによる雪渓の構造調査や底面すべりの観測、などが急務の課題である。また、北半球スケールの気候モデルとのリンクを考え、雪渓をモデルに如何に組み込むかという視点の研究も必要であろう。

#### 3.3.3 氷河・氷期公園構想

UNESCO世界遺産が世界で唯一の価値を認定条件としていることに対し、ジオパークは、その地域で価値のある自然を教育や地域振興に役立てることを目的としている。内蔵助雪渓の化石氷体は近い過去に存在した氷河であることはほぼ異論がなく、また三ノ窓氷河、小窓氷河、御前沢氷河は日本で初めて学術的に認められた氷河である。これらをジオパークに登録することは重要と考える。

この地域をジオパークに登録するにあたっては、いくつかの要素が重要である。立山の山岳信仰、富山湾の海底林、立山・劔山城の氷期の氷河遺跡群などどう組み合わせるか、今後検討する必要がある。

全国的に見ると、北海道では白滝の黒曜石が日本全国のみならず、極東地域の石器を支えていた可能性が根拠となり、既にジオパークに認定されている。新潟県では佐渡全体をジオパークに登録

する構想があり、北海道では、つい最近、鹿追の永久凍土とそこに生息するナキウサギをセットでジオパークに登録する案が浮上しつつある。

以上のように、全国的に貴重な自然をジオパークに登録することが進んでいるので、学術的にも地域振興策の一つとしても、今回認定された水河群を中心に、この地域でジオパーク構想が進むことをシンポジウム参加者は積極的に支援することを確認した。

## 文 献

福井幸太郎・飯田 肇, 2012: 飛騨山脈, 立山・剣山域の3つの多年性雪渓の水厚と流動—日本に現存する氷河の可能性について—. 雪氷, **73**, 213-222.

Hoshiai, M. and K. Kobayashi, 1957: A theoretical discussion on the so-called "snow line", with reference to the temperature reduction during the Last Glacial Age in Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography*, **28**, 61-75.

Ohmura, A., P. Kasser, and M. Funk, 1992: Climate at the equilibrium line of glaciers. *J. Glaciol.*, **38**, 397-411.

(2012年7月23日受付)

# 国際雪氷学会シンポジウム “International Symposium on Seasonal Snow and Ice 2012” 参加報告

杉浦幸之助<sup>1</sup>, 朝岡良浩<sup>2</sup>, 池田慎二<sup>3</sup>, 岩田幸良<sup>4</sup>, 榎本浩之<sup>5</sup>,  
大久保晋治郎<sup>6,4</sup>, 尾関俊浩<sup>7</sup>, 兒玉裕二<sup>5</sup>, 佐藤篤司<sup>8</sup>,  
柴田啓貴<sup>9</sup>, 竹内由香里<sup>10</sup>, 豊田威信<sup>11</sup>, 野村大樹<sup>6,12,11</sup>,  
平島寛行<sup>8</sup>, 宮田俊介<sup>2</sup>

## 1. 概要

佐藤篤司 (防災科学技術研究所)

国際雪氷学会 (IGS) が2012年5月28日から6月1日の期間、フィンランドの都市ラハティ市 (Lahti) で開かれた。テーマは「季節積雪と季節氷」で2年前の札幌大会以来の生活にも密着した、

幅広い研究分野の発表大会であった。ラハティ市はヘルシンキより北方約100kmにあり、人口約10万人の静かな美しい町であった。シンポジウムは大きな湖 (Vesijärvi) に面し、会議場とコンサートホールを持つシベリウスホールで開かれた (図1)。口頭発表は1つの会場で催され、全ての発表を聞くことが出来た。

開会式は実行委員長の Matti Leppäranta 氏 (ヘルシンキ大学) の司会のもと、Douglas MacAyeal 国際雪氷学会会長、市の Vaskelainen さん、Association of Polar Early Career Scientists (APECS) 代表の Zaika 氏の挨拶の後、開会記念講演「変動する環境と気候におけるトナカイ」が Pekka Aikio 氏よりあった。フィンランド北方を含むラップランドはトナカイの放牧で有名だが、ここにも温暖化の影響が現れている興味深い、フィンランドならではの講演であった。

1 海洋研究開発機構

2 東北大学

3 土木研究所

4 農業・食品産業技術総合研究機構

5 国立極地研究所

6 日本学術振興会

7 北海道教育大学

8 防災科学技術研究所

9 北見工業大学

10 森林総合研究所

11 北海道大学

12 ノルウェー極地研究所