

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：83208

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25702016

研究課題名(和文) 飛騨山脈北部での氷河分布の全貌の把握と氷河の特性の解明

研究課題名(英文) Identifying new active glaciers, and climate condition, mass balance, flow mechanism and recent retreat of the active glaciers in the northern Japanese Alps, central Japan

研究代表者

福井 幸太郎 (FUKUI, Kotaro)

公益財団法人立山カルデラ砂防博物館・その他部局等・その他

研究者番号：10450165

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：2012年4月に飛騨山脈北部で日本にも氷河が現存していることが判明した。本研究では、飛騨山脈の未調査の多年性雪渓で氷河の可能性を探る現地観測を行った。その結果、鹿島槍ヶ岳カクネ里雪渓と劔岳池ノ谷雪渓、立山内蔵助雪渓が新たに氷河であると判明した。日本で氷河と判明した多年性雪渓は合計6つになった。

また、飛騨山脈の氷河の特性を現地観測データから検討した。気候条件的に飛騨山脈では氷河が分布可能であること、雪崩による積雪の集積で氷河水がつくられていること、この地域の氷河は近年ゆっくりと縮小していることが分かった。

研究成果の概要(英文)：We carried out ground-penetrating radar soundings and geodetic survey in 4 perennial snow patches in the northern Japanese Alps and considered the possibility of the active glacier. The Kakunezato and the Ikenotan perennial snow patches have large ice masses that had flowed over 2m/a. Hence, we regarded both the snow patches as active glaciers. Since the Kuranosuke perennial snow patch had flowed only 3cm/a, we regarded the snow patch as active glacier which had been transforming into perennial snow patch. The climate condition of the alpine zone in the northern Japanese Alps was similar to that in equilibrium-line altitude (ELA) of Nisqually glacier, Cascade range, USA. This indicated that active glaciers could be formed and preserved under current climatic condition in the northern Japanese Alps. Some of the glaciers have lost only 12 to 16 percent of their surface areas between 1955 and 2016. Hence, the recent retreat of the glaciers in this region should be slow.

研究分野：自然地理学

キーワード：氷河 多年性雪渓 飛騨山脈 質量収支 平衡線高度 雪崩

1. 研究開始当初の背景

福井・飯田(2012)は飛騨山脈立山と劔岳に分布する3つの多年性雪渓(劔岳の三ノ窓雪渓, 小窓雪渓, 立山の御前沢雪渓)で地中レーダー(ground penetrating radar: GPR)や測量用GPSといった新しい観測機器を用いて氷河の可能性を探る現地観測を行った。その結果, 調査を行った3雪渓は全て厚さ27m以上の大規模な氷体を持ち, 小窓雪渓・三ノ窓雪渓は1ヶ月あたり30cm, 御前沢雪渓は1ヶ月あたり5cm前後流動していることを確認し, これらの多年性雪渓は現存する氷河であると判明した。

2012年6月30日に日本の氷河・雪渓研究に関するシンポジウムが行われ, 福井・飯田(2012)の主張が妥当か否か, 国内の氷河研究者の間で意見が交わされた。その結果, 3つの多年性雪渓を氷河と呼ぶことに異議は出なかった(白岩ほか2012)。これにより, ようやく日本にも氷河が現存していることが学術的に認められた。

しかし, 現時点で氷河と判明しているのは3雪渓だけであり, 飛騨山脈の氷河分布の全貌は明らかになっていない。また, 氷河分布地の気候条件, 質量収支, 内部構造, 近年の面積変化, 流動機構といった氷河の特性に関する情報も不明であった。

2. 研究の目的

本研究では, 氷河の可能性が指摘されている4つの多年性雪渓で氷厚と流動の現地観測を行い氷河の可能性を探るとともに, 氷河分布地の気候条件, 質量収支, 内部構造, 近年の面積変化, 流動機構について調査と解析を行い飛騨山脈の氷河の特性を明らかにする。



図1 調査地域

3. 研究の方法

(1) 新たな氷河の可能性を探る観測

鹿島槍ヶ岳カクネ里雪渓, 劔岳西面の池ノ谷雪渓, 立山内蔵助雪渓, はまぐり雪雪渓(以降, はまぐり雪と呼ぶ)で実施した。

氷厚観測

各雪渓が流動可能な厚さの氷体を持っているのか明らかにするため, 現地にて地中レーダー観測を実施した。

流動観測

融雪末期の9月に, アイスドリルで雪渓表層の積雪を貫通して氷体に達するまで鉛直に4.6mの穴を開け, 長さ4.6mのアルミ製ポール(ステーキ)を挿入してその位置をGPS(測位衛星技術社製GEM1)を使って1時間スタティック法で測位した。一定期間の後, ステーキの位置を再度GPSで測量し, ステーキの動いた量から氷体の流動量を求めた。

(2) 氷河の特性の解明

カクネ里, 池ノ谷, 内蔵助雪渓および氷河と判明している御前沢雪渓で実施した。

気候条件の検討

氷河は降雪を主とする涵養と, 融雪融氷を主とする消耗の収支のうえに維持されているため氷河の分布は気候条件に規定されている。消耗は6~8月の平均気温(以降, 夏季気温と呼ぶ), 涵養は年降水量(積雪量+夏季降水量)を指標にできる。立山の夏季気温と年降水量を, 世界各地の70の氷河の平衡線付近における夏季気温と年降水量(Ohmura et al. 1992)と比較して飛騨山脈の氷河分布地としての気候条件を検討した。

質量収支観測

質量収支観測はすでに氷河と判明している御前沢雪渓で2011~2016年にかけてステーキ法を用いて実施した。

内部構造観測

2013年10月4日に氷河と判明している御前沢雪渓の下流部の標高2,550m地点で電動ボーリングマシン(特注品)を用いて氷コア掘削を行い, 直径7.2cm, 長さ約7mの氷サンプルを採取した。サンプルを持ち帰り, 博物館の低温室で層位と密度を測定した。

2015年10月19日にカクネ里雪渓の上流部に出現したクレバス(標高2,100m)に懸垂下降で潜り深さ6m付近までの層位と密度を測定した。密度は直方体に切り出した氷の重量を現場にて測定した。

氷体面積の変化の観測

2016年9月27日と10月7日にヘリコプターまたはマルチコプター(DJI社製Phantom4)で各雪渓の空中写真を50枚ほど連続撮影した。撮影画像をSfMソフト(Agisoft社製PhotoScan1.3)を用いてオルソ画像に変換し, GISソフト(ESRI社製ArcGIS10.3)にオルソ画像を取り込んで氷体分布図を作成した。

1955年9月25日の米軍撮影の空中写真には氷体全部が露出したカクネ里雪渓と池ノ谷雪渓が記録されている。この空中写真から当時の両雪渓の氷体の分布を判読して, 2016年の氷体分布図にプロットしカクネ里・池ノ谷両雪渓の過去61年間の氷体面積の変化を調べた。

流動機構の検討

カクネ里雪渓と内蔵助雪渓の氷厚と表面傾斜から塑性変形による流動速度を数値モデルで求め, GPS観測で実測された表面流速と比較して氷体の流動が塑性変形だけで説明できるのか検討した。

4. 研究成果

(1) 新たな氷河の可能性

カクネ里雪渓では、厚さ 30 m を超える氷体と秋の 24 日間で 12~17cm の流動を確認(図 2a), 池ノ谷雪渓でも厚さ 39 m に達する氷体と 42 日間で 22, 23cm の流動を確認できた(図 2b). これらのことから両雪渓は現存氷河であると考えられる. 内蔵助雪渓は流動速度が 5 年間で 11, 14cm (2, 3 cm/年) と遅く(図 2c) 多年性雪渓に移行しつつある氷河, はまぐり雪は現在流動していないので(図 2d) 多年性雪渓と考えられる. 飛騨山脈で氷河と判明した多年性雪渓は合計 6 つになった.

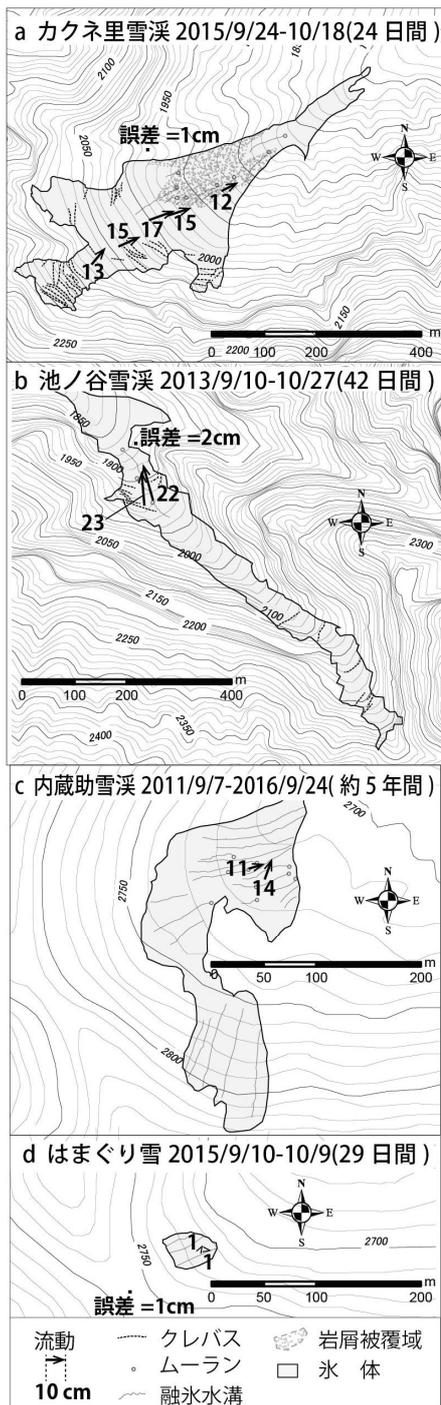


図 2 各雪渓の氷体の分布(2016年秋)と水平方向の流動量

(2) 飛騨山脈北部の氷河の特性

気候条件

世界各地の 70 の氷河の平衡線付近における夏季気温および年降水量を散布図(Ohmura et al. 1992)に立山の夏季気温(8~9.2)と年降水量(約 5,000 mm)をプロットしてみると(図 3), 立山は氷河の分布地としては世界的にも極めて夏季気温が高く年降水量が多い場所に位置しているが, ポイントの分布範囲内にあるため気候条件的には氷河が分布可能であるといえる.

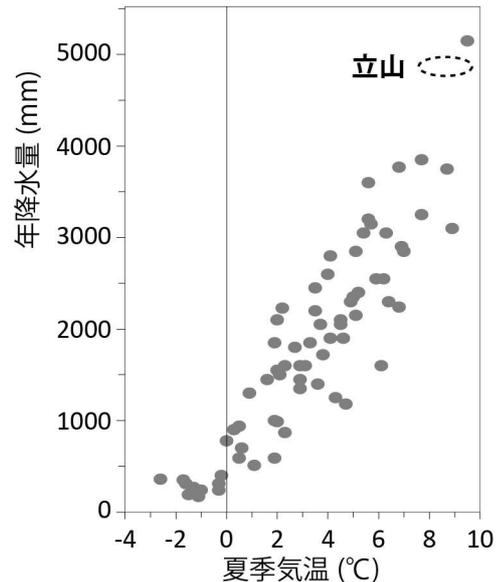


図 3 世界の 70 の氷河の平衡線付近および立山の夏季気温と年降水量(Ohmura et al. 1992 に立山のデータを追記).

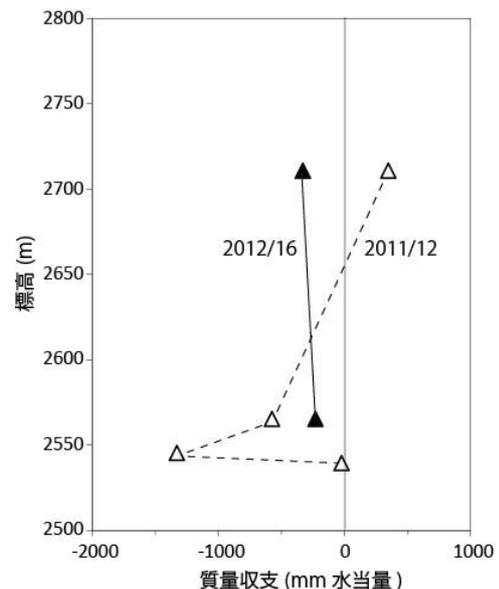


図 4 御前沢雪渓の質量収支と標高

質量収支

御前沢雪渓の 2011/2012 年の質量収支は雪渓末端付近 2,539m 地点がほぼゼロ, 2,545 m 地点と 2,565 m 地点がそれぞれ -1,328mm, -573mm と大きく負, 上流部の 2,711 m 地点が 347mm と正の値をとった(図 4). 質量収支観測が行われている世界の多くの氷河では, 氷

河末端部の質量収支が大きく負で、標高が上がるにつれて質量収支が正に近づいていき質量収支がゼロになる標高が平衡線高度になる。御前沢雪渓では、本来ならば質量収支の値が大きく負になるはずの氷河末端付近で質量収支がほぼゼロになった。このことから御前沢雪渓の質量収支は標高よりも側壁からの雪崩による涵養に依存している可能性が高い。

世界的には末端から上端までの標高差が小さい(全域涵養・全域消費になりやすい)氷河や雪崩などの影響で質量収支が標高に依存しない氷河では、平衡線高度という概念が適用できないと考えられている。御前沢氷河は標高差が280 mと小さく質量収支も標高に依存しないことから平衡線高度という概念が適用できない氷河の典型例といえるかも知れない。

内部構造

図5aに2013年10月4日の御前沢雪渓下流部の氷コアの層位と密度プロファイルを示す。層位は表面～深度0.7 mまでが濡れたフィルン(前冬の残雪)、深度0.7～7 mが氷河水で、深度0.6, 1.7, 4.4 m付近に汚れ層があった。密度はフィルン層が570～740 kg/m³(平均695 kg/m³)、氷河水が824～907 kg/m³(平均860 kg/m³)である。

図5bに2015年10月19日に観察したカクネ里雪渓上流部のクレバスの断面の層位と密度を示す。層位は表面から深度0.9 mまでが濡れたフィルン(前冬の残雪)、深度0.9 m～6 mが氷河水で深度0.7～0.9 mと1.5～1.6 m, 2.5 m付近に汚れ層がみられた。密度はフィルン層が710～780 kg/m³、氷河水の部分は820～880 kg/m³である。今後、詳しい調査が必要であるが、表層の濡れたフィルン層が次の積雪期にさらに圧密されて氷化し氷体が形成されている可能性がある。

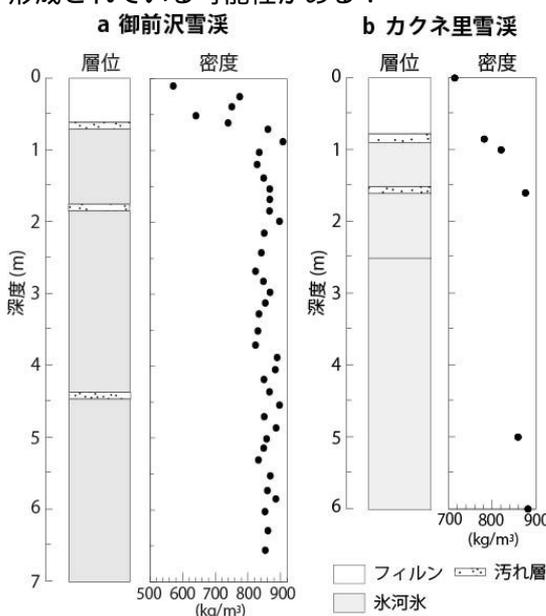


図5 御前沢雪渓とカクネ里雪渓の層位と密度

氷体面積の変化

カクネ里雪渓の氷体の面積は1955年9月25日が102,200 m²、2016年9月27日が89,900 m²であった。面積は過去61年間で12%ほど減少した。氷体が縮小したのは氷体が枝分かれしている雪渓上端付近であり、それ以外の氷体の主要な部分はほとんど変化していなかった。

池ノ谷雪渓の氷体の面積は1955年9月25日が69,900 m²、2016年10月7日が58,780 m²であった。面積は過去61年間で16%ほど減少した。氷体が縮小したのは氷体が薄い最上流部と末端部、左俣へ数十m入り込んでいた部分であり、それ以外の氷体の主要な部分はほとんど変化していなかった。過去61年間で氷体の面積がわずかではあるが減少したためカクネ里・池ノ谷の両雪渓は、雪崩による涵養を含めた状態で現在の気候条件下では全体の質量収支がわずかに負になっている可能性がある。

世界には過去60年間で面積が1/2～1/3まで減少した氷河が多数ある。カクネ里・池ノ谷の両雪渓は61年前と現在で氷体の主要な部分の面積や形がほとんど変わらず、その縮小速度は極めてゆっくりであるといえる。

塑性変形による流動速度の検証

塑性変形による氷河流動の一般則であるグレンの流動則からカクネ里雪渓中流部での融雪期末期の流動を考えてみる。ここでは表面傾斜が25°、氷厚が30 mとすると流動速度は約2.4 m/年となった。GPS観測で得られた融雪期末期の雪渓中流部の流動速度は2.3～2.6 m/年で、モデル計算による流動速度とほぼ一致した。したがって、カクネ里雪渓の流動速度は塑性変形による氷河の流動モデル計算で妥当な値が得られるといえる。

内蔵助雪渓中央部でも同様にグレンの流動則から流動速度を考えてみる。ここでは表面傾斜を8°、氷厚は融雪期末期で25 m、積雪期末期で33 m(積雪深を16 mと仮定)とすると流動速度は2～5 cm/年となる。流動速度の年間平均は3.5 cm/年になり、GPS観測での実測値2～3 cm/年と近似する値となった。したがって、内蔵助雪渓の流動速度も塑性変形による氷河流動のモデル計算で妥当な値が得られるといえる。

<引用文献>

福井幸太郎・飯田肇 2012. 飛騨山脈, 立山・剣山域の3つの多年性雪渓の氷厚と流動 - 日本に現存する氷河について - . 雪氷 74 : 213 - 222 .

白岩孝行・内藤望・飯田肇・福井幸太郎 2012. 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 - 」. 雪氷 74 : 353 - 357 .

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

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

(1) Masato FURUYA, Kotaro FUKUI, Hajime IIDA, Shoichiro KOJIMA and Takeshi MATSUOKA. Experimental Observations of Two Mountain Glaciers on the Eastern Slope of Mt. Tsurugi by Pi-SAR2 Airborne SAR. Bulletin of Glaciological Research (査読有), 35, 2017, 7 - 17. doi: 10.5331/bgr.16R04

(2) 福井幸太郎・飯田肇, 日本にも現存していた氷河 - 立山劔岳での現地観測から - . 地理月報 (査読無), 543号, 2015年, 6 - 9

(3) 福井幸太郎・飯田肇, 立山山頂, 大汝休憩所(標高3000m)での気温, 風向風速, 気圧の観測. 立山カルデラ砂防博物館研究紀要 (査読無), 14, 2015年, 1 - 20.

(4) 福井幸太郎・飯田肇, 立山連峰の氷河と万年雪. とやまと自然(査読無), 148, 2015年, 1 - 8.

[学会発表](計13件)

(1) 福井幸太郎・飯田肇, 劔岳池ノ谷右俣の多年性雪渓の氷厚と流動, 日本地球惑星科学連合2013年連合大会 2013年5月24日, 千葉

(2) 福井幸太郎・飯田肇, 劔岳池ノ谷右俣雪渓の流動観測と長次郎雪渓, 劔沢雪渓, 三ノ窓雪渓(氷河)の氷厚観測, 第36回極域気水圏シンポジウム, 2013年11月15日, 東京

(3) 福井幸太郎・飯田肇, 立山内蔵助雪渓と池ノ谷右俣雪渓の氷厚と流動観測, 日本地理学会2014年春季学術大会, 2014年3月29日, 東京

(4) 福井幸太郎・飯田肇, 地中レーダー(GPR)を用いた立山連峰の5つの多年性雪渓の氷厚観測, 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月29日, 横浜

(5) 福井幸太郎, 氷の世界 立山から南極まで - , 日本機械学会流体工学部門流れの夢コンテスト特別講演会(招待講演), 2014年10月25日, 富山

(6) 福井幸太郎・藤田耕史・ブンツォツェリン, 2014年秋に実施したブータン・ヒマラヤでの小型氷河と永久凍土観測, 第5回極域科学シンポジウム, 2014年12月2日, 東京

(7) 福井幸太郎・藤田耕史・ブンツォツェリン, 2014年に実施したブータンヒマラヤでの氷河と永久凍土の観測, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 2015年5月25日, 千葉

(8) Kotaro FUKUI and Hajime IIDA. Identifying active glaciers in Mt. Tateyama and Mt. Tsurugi in the northern Japanese Alps, central Japan. XIX INQUA Congress. 2015年7月31日, 名古屋

(9) 福井幸太郎・飯田肇・藤田耕史・砂子宗次郎, 複数の周波数を用いた日本の氷河と多年性雪渓の地中レーダー観測, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015年9月15日, 松本

(10) 福井幸太郎・飯田肇・カクネ里雪渓学術調査団, 鹿島槍ヶ岳カクネ里雪渓の氷体の流動, 日本地理学会2016年春季学術大会, 2016年3月21日, 東京

(11) 福井幸太郎・飯田肇・カクネ里雪渓学術調査団, 後立山連峰, 鹿島槍ヶ岳カクネ里雪渓の氷体の厚さと流動, 日本地球惑星科学連合2016年大会,(招待講演), 2016年5月24日, 千葉

(12) 福井幸太郎・飯田肇・カクネ里雪渓学術調査団, 後立山連峰, 鹿島槍ヶ岳カクネ里雪渓の氷体の流動. 雪氷研究大会(2016・名古屋), 2016年10月1日, 名古屋

(13) 福井幸太郎・飯田肇, 2016年秋の飛騨山脈北部の氷河雪渓の融解状況, 日本地理学会2017年春季学術大会, 2017年3月28日, つくば

[図書](計2件)

(1) 福井幸太郎・飯田肇(分担執筆), 日本の氷河, 『低温環境の科学事典』, 朝倉書店, 2016年, 278-279

(2) 福井幸太郎(分担執筆), 日本にもあった氷河, 『新詳地理資料 COMPLETE2017』, 帝国書院, 2017年, 31

[その他]

(1) 報道

毎日新聞(2016年1月28日)や朝日新聞(2016年1月29日)に鹿島槍ヶ岳カクネ里雪渓観測の記事が掲載.

NHK ニュースおはよう日本(2016年10月20日)で内蔵助雪渓の氷体にてできるムーラン(縦穴)に関する映像が全国放送.

(2) アウトリーチ

・2016年度市立大町山岳博物館企画展「鹿島槍ヶ岳カクネ里氷河への道のり」(2016年6

月 11 日～8 月 28 日) 監修・入場者 5930 人
・2016 年 7 月 10 日にサン・アルプス大町(大町市)にてカクネ里雪溪(氷河) 学術調査団報告会(一般向け講演会)を開催・参加者 130 人
・2015 年 6 月 6 日に長野県塩尻市立自然博物館にて「日本の氷河」の講演会を開催・
・2015 年 5 月 17 日大阪府熊取町立熊取図書館にて「立山連峰の氷河」の講演会を開催・

(3) ホームページ等

立山劔岳氷河・万年雪の用語集

<http://www.tatecal.or.jp/stuff/fukui/index7/index7.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福井幸太郎 (FUKUI KOTARO)

富山県立山カルデラ砂防博物館・主任学芸員

研究者番号：10450165

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し

(4) 研究協力者

飯田肇 (IIDA HAJIME)

富山県立山カルデラ砂防博物館・学芸課長

研究者番号：70574309