

別記様式第 10 号（第 8 関係）

博士論文の要旨及び審査結果の要旨		
氏名	有江 賢志朗	
学位	博士（理学）	
学位記番号	新大院博（理）第 486 号	
学位授与の日付	令和 5 年 3 月 23 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当	
博士論文名	飛驒山脈の雪崩涵養型の氷河と多年性雪溪の質量収支に関する研究	
論文審査委員	主査	教授・奈良間 千之
	副査	教授・本田 明治
	副査	教授・河島 克久
	副査	教授・副島 浩一
<p>博士論文の要旨</p> <p>2012 年以降、飛驒山脈の六つの雪崩涵養型の多年性雪溪が小規模氷河であることが確認された。国内の多年性雪溪の質量収支観測は、「吹きだまり涵養型」多年性雪溪でおこなわれており、「雪崩涵養型」氷河・多年性雪溪の質量収支観測はおこなわれておらず、飛驒山脈の氷河と多年性雪溪の維持メカニズムや世界の氷河との違いは明らかでない。また、飛驒山脈における氷河分布の全貌は示されていない。</p> <p>地球温暖化により世界の山岳氷河の縮小が報告されており、気候変動の指標の一つとされる山岳氷河の動向が世界的に注目されてきた。特に、小規模氷河は気候変動への応答が速く、今後数十年間でその多くの消滅が予想されており、乾燥地域での水不足や海面上昇への影響が危惧されている。一方、一部の小規模氷河は、温暖化環境下で存続できることが指摘されているが、その具体的な観測事例は少なく、存続する氷河の維持メカニズムは明らかでない。飛驒山脈に存在する小規模氷河の維持メカニズムの解明は、将来存続する氷河の理解や将来の氷河分布予測に関する情報の提供につながる。また、中緯度の多雪かつ低標高で存在する飛驒山脈の小規模氷河は、これまで報告されてきた世界の氷河とは異なる環境で維持されていると考えられ、飛驒山脈に存在する小規模氷河の維持メカニズムの解明は、氷河学のさらなる知見の獲得という点でも研究の意義がある。</p> <p>そこで本研究では、1) 飛驒山脈の雪崩涵養型の小規模氷河と多年性雪溪の質量収支観測、2) 氷河の可能性が高い多年性雪溪での氷厚および流動の調査を実施し、定常状態の場合の年間表面質量収支の高度プロファイルを算出した。この成果は日本の小規模氷河の理解はもとより、将来的な世界の氷河分布予測の理解にも資する。</p> <p>飛驒山脈の雪崩涵養型の小規模氷河における 2015～2022 年の年間質量収支、涵養深、消耗深の観測の結果、飛驒山脈の小規模氷河は、消耗深の年々変動は小さいのに対し、涵養深および年間質量収支の年々変動は大きく、小規模氷河の年々変化はその年の積雪深に依存することが示された。また、飛驒山脈の小規模氷河の涵養深、消耗深は 20m を超え、その質量収支振幅は、世界で観測されている氷河（WGMS 氷河）の中で最大であった。加えて、質量収支振幅と年間質量収支の標準偏差には正の相関関係が確認され、飛驒山脈の小規模氷河は、WGMS 氷河の中で最も年間質量収支の年々変動が大きいことが示された。</p>		

別記様式第 10 号の 1 (第 8 関係)

以上のことから、飛驒山脈の小規模氷河は WGMS 氷河の中で最も積雪、融雪が多く、かつ年々変動が大きいことが示唆された。

また、唐松沢雪渓、杓子沢雪渓、不帰沢雪渓で実施した現地調査の結果、これまで確認された小規模氷河と同程度以上の氷厚および流動が観測され、定義上の現存氷河であることが示された。加えて、唐松沢雪渓の融雪末期の約一ヶ月間および一年間の測定期間で測定された流動速度を比較すると、融雪末期の約一ヶ月間の流動速度のほうが速かったため、飛驒山脈の小規模氷河の流動メカニズムとして底面滑りの寄与が示唆された。

さらに、本研究の質量収支観測において、飛驒山脈の小規模氷河の年間質量収支は、多雪年に全域が涵養域、少雪年に全域が消耗域になる特徴に加え、氷河の沈降・浮上速度が 0 と仮定して算出した年間表面質量収支の高度プロファイルにおいて正の勾配を持たない年が存在することを定量的に示した。しかしながら、観測した年間質量収支からは、飛驒山脈の小規模氷河の氷河平衡線が定義できない課題があった。そこで本研究では、実測された氷厚と流動速度、イメージマッチング解析による岩屑堆積域の水平移動および氷河流動の連続の式から、杓子沢雪渓とカクネ里氷河の定常状態の場合の年間表面質量収支の高度プロファイルを算出した。その結果、飛驒山脈の小規模氷河は、気候的な氷河平衡線高度以下に存在するが、雪崩や吹き溜まりなどの地形効果による積雪によって長期の平均表面質量収支がわずかに正となる涵養域を局所的に作ることで形成・維持していることが示唆された。

審査結果の要旨

提出された論文は、1 章：序論、2 章：飛驒山脈の小規模氷河の質量収支、3 章：多年性雪渓の氷厚と流動、4 章：飛驒山脈の氷河の平衡線高度、5 章：結論の構成となっており、全 97 ページである。

1 章では、氷河の質量収支の解説、小規模氷河の研究レビュー、国内の多年性雪渓と氷河の研究レビュー、そしてこれらを踏まえた研究の意義について記載された内容である。2 章では、質量収支の測定法と精度検証、質量収支の結果とそこから得られた表面質量収支の高度プロファイル、飛驒山脈の小規模氷河の質量収支特性について記載された内容である。3 章では、氷河の可能性が高い多年性雪渓の氷厚と流動の測定について、現地調査の測定方法、地中レーダー探査、GNSS 測量を用いた多年性雪渓の氷厚と流動の結果と、飛驒山脈の小規模氷河の流動機構について記載された内容である。4 章では、3 章で得られた流動と氷厚のデータをもとに、定常状態の場合の 2 つの多年性雪渓と氷河の長期の表面質量収支を解明し、平衡線高度を決定した内容である。5 章では、これまでのまとめと今後の研究課題の内容である。それぞれの章では、先行研究、方法、得られた結果と考察がよくまとまって記載されていた。

本論文で評価される点は、1) はじめて雪崩涵養型の多年性雪渓と氷河の 7 年間分の質量収支変動を明らかにし、飛驒山脈の氷河と多年性雪渓の質量収支特性を解明したこと。2) 3 つの多年性雪渓の流動と氷厚を測定した結果から、氷河と多年性雪渓の長期の表面質量収支の高度プロファイルを算出し、はじめて平衡線高度を決定したこと。3) 飛驒山脈の氷河と多年性雪渓の維持メカニズムの違いを明らかにしたこと。4) 現在の地球温暖化で将来的に維持される小規模氷河の地形的条件を示したことである。すでに 2 章と 3 章の結果の一部は学術論文として国内外の学術雑誌に掲載されている。また、3 章と 4 章のデータは未発表データであり、今後の論文投稿が期待される。以上のように、飛驒山脈の雪崩涵養型の小規模氷河と多年性雪渓の質量収支変動の特徴と中緯度の低標高の飛驒山脈の氷河の維持メカニズムを解明した本論文の結果は高く評価できる。

よって、本論文は博士（理学）の博士論文として十分であると認定した。