

氏名(本籍)	いけ だ あつし 池 田 敦 (神奈川県)
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	博 甲 第 3395 号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	地球科学研究科
学位論文題目	<b>Rock glacier dynamics near the lower limit of mountain permafrost in the Swiss Alps</b> (スイスアルプスの山岳永久凍土帯下限付近における岩石氷河の挙動)
主 査	筑波大学教授 理学博士 松 岡 憲 知
副 査	筑波大学教授 理学博士 松 倉 公 憲
副 査	筑波大学教授 Ph. D. 安仁屋 政 武
副 査	筑波大学助教授 理学博士 池 田 宏

### 論 文 の 内 容 の 要 旨

岩石氷河は寒冷環境下の山地に広く認められる堆積地形で、永久凍土の塑性変形（クリープ）によって発達すると考えられている。山岳地域では、地中の永久凍土の存在を指示する唯一の地形であるため、気候変動に対する岩石氷河の応答性を理解することは、将来の山岳永久凍土の変動を予測するうえで重要である。そこで本研究では、第一に、スイスアルプスの永久凍土帯下限に位置する小規模な岩石氷河を対象に、短期的な挙動に関する総合的な観測とモデル化を行った。小規模な岩石氷河は、観測・モデル化が容易であり、環境変化への応答性が高いという点で有利である。第二に、岩石氷河の短期変動モデルを長期変動の理解に拡張するために、スイスアルプスの広域の山地を対象に、活動状態の異なる多数の岩石氷河について温度条件と岩屑供給条件を比較し、岩石氷河の長期変動過程を分析した。研究対象地域では、最終氷期後に氷床から露出した緩傾斜面に、多数の岩石氷河が形成されている。

短期変動に関する集中的な観測は、長さ・幅 100 - 200m、高さ 10m の小規模な二つの岩石氷河（BN, BW）で実施した。BN は上下 2 段（BNU, BNL）に分かれる。これらの岩石氷河において、三角測量による地表面流速の観測、弾性波探査と二次元電気探査による内部構造調査、データロガーを用いた地温観測を行った。BNU では掘削によって永久凍土の構造を直接観察したほか、傾斜計と温度センサーを埋設し、永久凍土の変形と地温を連続的に観測した。また、岩壁からの剥離礫の体積計測により岩屑供給量を推定した。長期変動に関する研究では、広域の現地踏査と空中写真・地形図の判読により、岩石氷河分布図の作成と各種地形量の計測を行った。さらに、地温観測、弾性波探査による永久凍土・活動層調査を多数の岩石氷河で行った。

BNU の永久凍土では、礫の間隙を氷が占め、体積含水率は 45 - 60%、温度は年間を通じてほぼ融点にある。電気比抵抗値も凍土層としては低く、永久凍土層は薄い (< 20m) と推定される。BNU の表面流速は岩石氷河としては非常に大きく ( $50 - 150 \text{ cm a}^{-1}$ )、その年々変化も大きい。BNL の流速は BNU より 1 桁小さい。BW はほとんど流動しておらず、むしろ凍土の融解を示唆する沈下が認められる。BNU の変形の大部分は地下 5 - 8m 付近の永久凍土層内で起こっている。

BNUの大きな流動は、永久凍土が融点にあり多量の不凍水を含むために生じていると考えられる。永久凍土の変形は活動層内の温度が高いときほど大きい。一方、岩壁からは岩石氷河の前進に見合うだけの岩屑供給はなく、現在のBNUの流動は岩屑供給量と均衡していない。実測した岩屑供給量・変形特性を満たすシミュレーションにより、BNUの流速は20年以内に急減すると予測される。BNU、BNL、BWの流動と内部構造の違いは、岩石氷河の停滞化の過程を示す。温暖化により薄い永久凍土層が融点に近づくことで、岩石氷河の可塑性は増大し、地温の季節変化・年々変化にも大きく反応するようになる。しかし、この不安定状態は一時的なもので、永久凍土の融解に伴って、最終的に岩石氷河は停滞化する。

多数の現成・停滞・化石岩石氷河の温度・岩屑供給条件を比較により、長期的な岩石氷河の変動が推定される。三種の岩石氷河は岩壁規模・標高・方位・地温・活動層厚で異なる。現成型と停滞型の年平均地温の差(約 $1^{\circ}\text{C}$ )は、完新世の寒冷期と現在の気温差に対応しており、現在の停滞型も小氷期には流動していたと推定される。また、岩壁の平均斜面長( $L_{RW}$ )と岩石氷河の傾斜( $\alpha$ )を組み合わせた変数( $L_{RW}\sin\alpha$ )で、現成型と停滞・化石型は区分される。 $L_{RW}$ は岩屑供給量、 $\sin\alpha$ は永久凍土クリープの指標である。年平均気温が等しい場合、現成型では停滞・化石型に比べ $L_{RW}\sin\alpha$ が大きい。従って、永久凍土帯下限付近において岩石氷河が完新世を通じて流動しつづけるためには、岩壁からの多量の岩屑供給を必要とする。

### 審 査 の 結 果 の 要 旨

岩石氷河の挙動を物質収支と変形機構に基づくモデルを提唱した研究は過去に数例あるが、組み込まれた変数に仮定が多く、実証性に欠けていた。本研究は、総合的な現地観測データに基づく信頼度の高いモデルを提唱し、将来予測を行っている点で従来の研究を凌いでいる。とくに、気候変動への応答性が高く、しかも観測・モデル化の容易な、永久凍土の存在限界にある小規模な岩石氷河を対象としたことが秀逸で、気候温暖化に伴って岩石氷河は一時的に加速し、その後衰退することを最初に実証した研究として位置づけられる。本研究は、周氷河地形学および凍土学の分野に新たな知見を加えたもので、高く評価される。

よって、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。