

学 位 論 文 題 名

Geographic effects on surface ablation of mountain glaciers
revealed by spatially distributed empirical modelling

（平面分布モデルによる氷河表面融解量への地理的影響の評価）

学位論文内容の要旨

氷河の地球上での役割は、水循環の一役を担うことと気候変化の指標となることである。地球上の淡水の80%が雪や氷として地表面に蓄えられており、人間はその融解水を生活や産業に利用している。そのため、融解水の流出量予測や、質量変動の正確な把握のため、融解量を正確に測定する必要がある。また、氷河は気候変化によってその質量を変化させるため、氷河は気候変動を表しているといえる。気候変動は地球各地で地域性をもって進んでおり、質量収支の変化という氷河の反応も地域差が大きく現れる。そこで、そのような地域差がどのような要素のもとで生じるのかについて、特に地理的条件について検討した。

多くの氷河での融解量の測定は、代表的な数点での実測をもとに得られてきた。しかし、実際の氷河の融解は平面的に一律ではなく、分布を考慮する必要がある。そこで、数多く存在する実測困難な氷河にも適用することを目的に、平面分布を計算するモデルが考えられてきた。その多くは数多くの測定項目を要する物理モデルで、正確ではあるが適用可能な氷河が少ないという問題がある。また、これまでに考えられた経験モデルは degree-day 法を応用した方法であり、表面状態により使い分けているため、初期積雪量が必要であった。本研究では、これらの問題を克服する新たなモデルを構築し、それを利用して様々な地理条件での融解分布を推定した。

2003年夏季にスウェーデンの Storglaciären で行った観測をもとに氷河表面融解分布を計算するモデルを構築した。モデルは、多くの氷河に適用できることを目標としている。熱収支型の計算から入力データの種類を少なくし、最終的に短波放射量と気温だけをパラメータとした。そのため、熱収支計算に必要な各観測項目をこれら2種類の項目で表す式を導いた。平面へ拡張する前に、一点においてアルベド、長波放射量、水蒸気圧をそれぞれ実測に合うように気温と日射量の式としてチューニングを行った。乱流フラックスは Oerlemans and Grisogono (2002) の式を元に改良した。平面への拡張には GIS を利用し、DEM と構築した融解モデル、観測から得られた気温遞減率を利用した。同氷河の融解分布

のモデル計算結果は、熱収支計算結果と一時間の分解能で同じ変動を表し、一日単位の積算値でも実測値と一致した。

同様の計算を Spitsbergen の Kongsvegen とスイスの Morteratschgletscher という二つの氷河について行ったところ、前者では日計算積算値で一致し、後者では日が進むにつれて徐々に外れていった。融解に影響する気温／日射の比率やアルベドの時間変化の相違が影響していると考えられる。

このモデルにおいて緯度、起伏、流下方位の各地理的要素を変化させてそれぞれの影響評価を行った。真夏の一日を例にとると、高緯度ほど日射量の影響が大きく、氷河の表面傾斜が緩やかな場合には場所による融解量の変化が小さくなることが示された。これは、高緯度ほど太陽高度が低く、日照時間が長いためである。また、深い谷に存在する氷河では、日射が遮蔽される領域の増大により同一氷河でも変化量が大きく異なった。さらに、同形で向きが異なる氷河の場合、方位により融解の進行速度が異なるだけでなく、融解の平面パターンも異なることが分かった。また、Storglaciären 融解量の気温に対する感度実験をした。現在その地域で予測される気温上昇率に対して、Storglaciären に融解量は今世紀末には著しく増加することが予想される。

学位論文審査の要旨

主 査	助教授	成 瀬 廉 二
副 査	教 授	池 田 元 美
副 査	教 授	藤 吉 康 志
副 査	助教授	石 川 信 敬

学 位 論 文 題 名

Geographic effects on surface ablation of mountain glaciers revealed by spatially distributed empirical modelling

(平面分布モデルによる氷河表面融解量への地理的影響の評価)

申請者の博士課程の研究は、ある山岳氷河において気象と熱収支に関するフィールド観測を行い、その結果をもとに融解量の平面分布を求めるモデルを作成し、そのモデルを用いて氷河の存在する場所の緯度、地形、気候等の地理的諸要素が氷河融解量に及ぼす影響を評価しようとするものである。

山岳氷河の質量収支のうち支出を担う最も主要な要素は、氷河表面の融解である。ある時間内の融解量は、放射収支、顕熱、潜熱の熱収支の結果として決定されるが、これらの熱収支各成分は、氷河の傾斜、方位、周辺地形の日陰効果や標高差により、氷河上で一様ではない。そのため、少ない気象要素から融解量の二次元分布を算出できるモデルが求められてきた。また、将来の地球環境変化、とくに温暖化による地球上各地の氷河の変動を予測する場合、従来広く用いられている気温のみをパラメータとする簡便な経験式（degree-day 法など）では、定量的な予測に限界がある。

本学位論文は6章からなる。第1章は Introduction、第2章では、2003年6～9月に観測を実施したスウェーデン北部の Storglaciären の概要、および氷河上の気象観測の方法と結果を述べている。とくに、気温と風速の鉛直分布の解析に力を入れ、同氷河では弱い氷河風がしばしば認められることを示した。第3章では、融解におよぼす熱収支成分の寄与の割合を算出し、同年夏期は、放射収支が著しく卓越していることを示した。第4章は、融解モデルの作成方法と結果の説明である。まず氷河上の1点における融解量を日射量と気温のみで算出できる経験式を求める。次にその融解量算出式をもとに、Storglaciären のデジタル地形図 (DEM) を利用し GIS の計算により融解量の平面分布が求められるモデルを構築した。また、モデルの妥当性の検証、推定誤差の見積もりを行った。第5章は、モデルを用いた数値実験の章である。緯度、地形の起伏、

斜面の方位をそれぞれ変化させて、各地理的要素が融解量に及ぼす影響の評価を行った。また、将来気温が上昇した場合、および日射量が増減した場合の、融解量におよぼす影響を計算し、考察を行った。第6章は結論である。

申請者は、スウェーデンの共同研究者と連絡をとりつつ、氷河調査計画の立案、観測機器の準備を行い、日本から一人で Storglaciären の氷河調査に参加し、微気象観測の大半は本人が設置、保守を行った。このような、積極性、意欲、忍耐力は、大学院生としては高く評価できる。融解モデルの作成に関しては、アルベド、雲量、風速等のパラメータ化にさらなる検討、改良の余地があるが、本論文で提起した結果は、第1段階のモデルとしては許容できるものである。本モデルは、短波放射が卓越する高緯度の内陸性氷河に適合するようにパラメータ化されたので、これを湿潤温暖な海洋性氷河とか、さまざまな気候帯の氷河に応用するためには、パラメータの調整が必要なことは言うまでもない。地理的影響の評価の内、地形要素については Storglaciären の地形を基準とした起伏の強調と、斜面方位の影響のみを行った。地理的影響をさらに詳しく議論するためには、異なる形態の地形および季節変化、緯度による気温変化等を考慮に入れた感度実験を行うことが必要である。気候変化の影響評価のうち、気温が上昇すると顕熱のみではなく、アルベドを介して短波放射収支、水蒸気圧を介して凝結潜熱、および大気長波放射のいずれも増加するので、著しい融解量の増加が予測された。また、日射量の増減の影響では、本モデルでは全天日射量の増減にともない雲ファクターが減増するので、結果として大気長波放射量が減少または増加し、融解量の増減は抑制される。一般によく用いられる degree-day 法では、このような地形の影響や日射量変化を考慮に入れることが出来ないので、本研究で提唱している融解量モデルは有用であり、その価値が高い。以上の研究をさらに発展させれば、将来予想される地球規模の著しい気候変動にともなう、山岳地域の自然環境の変化、雪氷を起源とする水資源の増減、さらに全地球の海水準変動の予測に貢献するものであり、本研究はその道筋を明らかにしたと言える。

審査委員一同は、申請者の様々な条件下における観測の遂行、多岐にわたる緻密なデータ解析、作成したモデルの有用性、および各種感度実験の成果を高く評価し、また研究者としての主体性、堅実性を認めるとともに、大学院課程における勤勉な学習、取得単位、ならびに国内外の多くのシンポジウム等における研究成果発表などもあわせて、申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。