

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 庭野 匡思

論 文 題 目

Development of the physical snowpack model SMAP

: Application to seasonal snowpack in Japan and the Greenland ice sheet

積雪変質モデル SMAP の開発

: 日本の季節積雪とグリーンランド氷床への適用

論文審査担当者

主 査 名古屋大学大学院環境学研究科教授 西村浩一

委 員 名古屋大学大学院環境学研究科准教授 藤田耕史

委 員 名古屋大学宇宙地球環境研究所教授 檜山哲哉

委 員 岡山大学大学院自然科学研究科教授 青木輝夫

論文審査の結果の要旨

別紙 1-2

地球表面の積雪は、高アルベド、低温、高い断熱効果、小さい地表面粗度、さらに相変化の発現という特徴を持つ。総面積は約 4700 万 km^2 に達するとされるが、近年の地球温暖化に伴って、範囲の縮小や根雪期間の減少等が報告されており、アルベドの低下による地球温暖化を加速しているとの議論もある。現在進行中の積雪状態の変化を正確に理解するためには、観測に基づく実態把握に加えて、精度の高い積雪変質モデルの構築が不可欠である。こうした背景のもと、本研究では、アルベドと積雪内部の短波加熱率を高い精度で計算可能な積雪変質モデル SMAP (Snow Metamorphism and Albedo Process) が開発された。

本モデルでは、地上気象の時系列データを用いた積雪の圧密、相変化、変態、水分移動、不純物の含有によるアルベドの変化等の物理過程の計算を経て、熱と質量収支の時間変化が算出される。本モデルを札幌の 2007 年から 2009 年に至る 2 冬期間に適用し、観測値と比較を行ったところ、積雪深、アルベド、雪面温度は、いずれも有意な結果が得られた。他の要素の精度も概ね良好でモデルの妥当性が確認されたが、暖冬であった 2008 年から 2009 年は積雪深が過大評価された他、大気下層が強安定の際に雪面温度が低く見積もられる傾向が認められた。一方、積雪中のブラックカーボンとダストの存在により 2008 年は 19 日、2009 年は 16 日、それぞれ融雪時期が早まったことも示された。

次に、上記の 2 つの課題の解決を目指して、Richards 式の導入による水分移動計算の精緻化、積雪の圧縮粘性係数の計算手法の高度化、さらに強安定時の大気-積雪間の乱流熱交換計算の見直しが行われた。その結果、2008 年から 2009 年の積雪深および 2 冬期の雪面温度の精度は著しく向上した。感度実験からは、積雪深には圧密過程、雪面温度には乱流熱交換計算手法の改良が、それぞれ最も効果的であったことも示された。また、モデルで計算された融雪期 (3 月) の平均日積算流出量からは、札幌における融雪が、晴れ間の出現と気温上昇、及び雪面アルベドの低下によって加速されていたことも示唆された。

近年、雪氷の融解に与える雲の効果が世界的に注目を集めているが、その実態は未だ明らかになっていない。そこで、上記の改良を施した SMAP を用いて、グリーンランド氷床で記録的な表面融解が発生した 2012 年 7 月 12 日前後の期間について、その間の大気-積雪相互作用の詳細な理解を試みた。その結果、6 月 30 日から 7 月 14 日にかけて現地で取得された気象・雪氷データを用いたアルベドと雪面温度の出力結果は、非常に高い精度を示した。そこで、雪面熱収支に着目して、晴天が継続した 6 月 30 日から 7 月 9 日の期間と気温上昇と急激な表面融解が進行した 7 月 10 日から 14 日の期間を比較したところ、後者の短波放射収支量は前者に比べ著しく減少した (-42.3 W m^{-2}) のに対して、長波放射収支・顕熱・潜熱はいずれも顕著に増加 ($+57.1$ 、 $+11.3$ 、 $+25.2 \text{ W m}^{-2}$) しており、後者で観測された急激な表面融解は、暖気を伴う下層雲の存在が大きく寄与したという事実を明らかにした。

このように、本研究で開発された積雪変質モデル SMAP は、日本とグリーンランド両地域で積雪の変化過程を高精度で再現し、気候研究への適用が可能であることが確認された。更なるモデルの精緻化は不可欠であるが、本研究で開発された積雪変質モデル SMAP は積雪域での雪氷の物理過程の理解、さらには今後の気候研究の進展に大きく貢献するものであり、本論文の提出者 庭野匡思氏は、博士 (理学) の学位を授与される資格があるものと判定した。