

# 論文審査の結果の要旨

氏名 末 吉 哲 雄

地球の高緯度地域や高山地帯に分布する永久凍土は、現在の各場所での地表の気候を反映しているだけでなく、過去の気候変動に関する情報を持っている。北アメリカ大陸とシベリア地域では凍土層の分布が異なることは知られており、各大陸の過去の表面環境の違いによるものであらうと考えられているが、それらの分布から過去の表層環境を定量的に読み取る試みはなされていない。本論文は凍土の凍結・融解の過程を、数万年の時間スケールで数値シミュレーションすることにより、過去の表層環境の変動を明らかにし、両大陸における凍土分布の違いを説明した。

本論文は 7 章から構成される。第 1 章と第 2 章は導入部であり、本論文の構成がまとめられ、永久凍土の地表分布、凍土層の深さの緯度変化、永久凍土と気候変動との関わり等が示される。永久凍土層は年間を平均した地表温度が凍結温度より低い地域で形成されるものであり、地表のそれぞれの地域の表層環境を反映したものであるが、一方で永久凍土の存在が、表面近くの凍土の融解、凍結に伴う潜熱の解放や土壌水分の変化によって、気候変動に影響を与えることが指摘される。また、高緯度の厚い凍土層がある場所では、地表の気候条件に対する凍土の応答時間が気候変化のタイムスケールに比べてずっと長くなることから、現在の凍土分布が過去の気候変動に対する情報を持つことが示される。本論文の主題である北米とシベリアにおける凍土の厚さの緯度分布が詳細に示され、凍土層の空間分布、厚さの緯度分布と、各地域の年平均気温との関係が示されている。

第 3 章では、本研究で用いた数値シミュレーションの方法について詳述される。この方法は境界条件の変動に対応した熱と水分移動の方程式を連立させて解くものであり、従来は凍土の季節変動のモデリングに用いられていた。本論文では、より長期の変動のシミュレーションに用いられるように拡張を行っている。本章ではさらに計算手法の有効性を確かめるために、季節変化に関してはシベリアの Yakutsk（北緯 62 度）で観測されている大気温度を用いてシミュレーションを行い、観測結果を再現できることを確かめている。長期的な変動については、地表温度の年平均値が 1 万年間にわたってゆっくりと減少する場合について計算を行い、永久凍土層

の成長過程が安定に再現されることを確かめている。

第4章では、凍土の長期的な消長モデルの重要なパラメーターである地殻深部からの熱流量をカナダとシベリア地域についてコンパイルし、両地域の過去の数万年間の表面温度の変化をグリーンランドのアイスコアデータから推定し、さらに過去の大陸氷床の分布、特に最終氷期の氷床の様子を調べている。

第5章では、測定されている過去数年間の地表温度と表面での熱流量の季節変化をパラメータとし、シミュレーション計算によって、現在のシベリアの各地域の凍土の安定性を吟味している。シベリア地域は地球上でもっとも広く永久凍土が分布している地域であるが、500mを越える厚い永久凍土層が存在する Yakutsk 地域では、厚い凍土層が底から融けつつあることが見いだされた。一方、より高緯度及び低緯度の地域では凍土層がほぼ定常状態にあることが示された。

第6章では、最近数万年間の凍土の変動に関するシミュレーション計算を行った。地表温度変化、深部の地殻熱流量、大陸氷床の有無等に関しては、第4章でコンパイルされた値を参照しながら、広い範囲に変動させてパラメータスタディーを行っている。この結果、北米のカナダ地域の凍土の分布は現在の地表気温と平衡した状態にあり、その理由は、この地域が過去の最終氷期の全盛期には大陸氷床で覆われていたためであることが定量的に示された。カナダ地域の凍土層は最終氷期には存在せず、大陸氷床が融けさることによって、地表温度が冷却して凍土層が成長し、現在ほぼ平衡状態に至っている。一方、シベリア地域では、Yakutsk 地域の深い凍土層は、最終氷期にも氷床が覆っておらず、かつ内陸地域であるために沿岸部に比べて10度程度気温が低かったことで説明される。この地域より高緯度及び低緯度の地域については、大陸氷床は存在せず、気温も過剰な冷却はなかったとして説明出来る。シベリア地域はカナダ地域と異なり、2万年前の最終氷期には既に厚い凍土層が存在し、その後だんだんと融解して薄くなってきていることが分かった。

以上述べてきたように、本論文は凍土層の凍結や融解過程のシミュレーション計算を行い、現在の凍土層の厚さ分布がシベリアと北アメリカで異なっていることを定量的に説明し、それぞれの地域の過去の表面環境を読み取ることに成功している。本論文で行った大陸氷床の有無、地表温度等の表面環境を現在の凍土の分布から推定する方法は、凍土の分布から過去の表面環境を再現するために有効であり、地球表層環境の推定のための新しい手段を提供し、地球科学、環境科学の発展にとって重要な寄与をなすものである。従って、審査委員全員は、本論文が博士（理学）の学位論文として十分な価値があるものと判定した。