

氏 名 佐 藤 和 秀

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大乙第82号

学位授与の日付 平成12年9月29日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学 位 論 文 題 目 南極氷床における積雪特性からみた雪氷環境とその変動

| | | |
|--------|--------|--------------|
| 論文審査委員 | 主 査 教授 | 藤井 理行 |
| | 教授 | 神山 孝吉 |
| | 教授 | 渡邊 興亞 |
| | 教授 | 山内 恭 |
| | 教授 | 上田 豊（名古屋大学） |
| | 教授 | 庄子 仁（北見工業大学） |

南極氷床はその地理的な位置によっても特有な気候・気象条件のもとにあり、氷床表面に年々降り積もる雪の大半は溶けることもなく、数十万年のオーダーで蓄積され氷床を形成してきた。この広大な南極氷床に関する科学的観測調査研究も進み、多くの知見が得られ、南極氷床の気候学的・雪氷学的特徴も理解されるようになってきたが、個々の過程においてははいまだ未解明な部分も多い。

日本南極地域観測隊は1957年に昭和基地を建設して以来、基地周辺から氷床内陸部にいたるまで、精力的な調査研究を行ってきた。特に雪氷観測計画に関連しては1968年～1969年の昭和基地-南極点旅行、1969年～1975年のみずほ高原・エンダービーランド雪氷観測計画、1979年～1982年の極域気水圏観測計画（POLEX-south）および1982年～1987年の東グリーンモードランド研究計画などが行われてきた。また内陸旅行中の浅層雪氷コア掘削やみずほ基地での700m深雪氷コア掘削なども実施された。

本論文は、これらの長期にわたって実施され得られたEast Dronning Maud Landにおける観測データ、特に南極氷床の堆積環境として非常に重要な積雪特性として10m雪温、積雪量、積雪の酸素同位体組成データを集約し、その広域空間分布および経年変動特性などの全体構造を解析した。また現在のこうした雪氷環境が過去にも適用できると仮定して、日本南極地域観測隊によって掘削して得られた2500m深のドームふじ深層コアの年代を推定し、その酸素同位体組成プロファイルから氷期-間氷期の気温変動特性を解析した。

10m深雪温はその場所の年平均気温を示す温度として一般には知られているが、年平均気温が -30°C 以下の高所では、氷床表面の地上気温より低温であることを示した。その程度は年平均気温 10°C につき、約 1°C 地上温度より低温となる。それは氷床内陸部における接地逆転層の強さを反映していることを示した。また標高に対する温度勾配は、標高3000mまでの地域ではほぼ $-1.23^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であるが、それ以上の高所（内陸）では $-2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下にもなり、しかも地域によって違いがあるという地域特性を明らかにした。それは氷床表面の尾根と谷といった大きな表面形態の違いが、地域的な気候形成に影響している可能性を指摘した。以上の特性をふまえて、East Dronning Maud Land地域の氷床表面温度の空間分布図を作成した。また人工衛星画像から得られた氷床表面の輝度温度と10m雪温との関連を示し、衛星データの有用性を述べた。

積雪量については、氷床沿岸部から内陸頂上部にいたる間を解析しその分布特性の詳細を述べた。表面積雪密度について、沿岸より標高2000mまでは増加し、それより標高が高くなると減少するという地域特性を示し、その密度と積雪深から年間積雪量を求め、その空間的・時間的変動を言及した。1968年から1996年にいたる29年間の年間積雪量の変化は、1968年から1987年までは全体的には緩やかな増加傾向が、それ以降1996年まで減少傾向にあることを明らかにした。さらに積雪量の変化を、表面起伏による要因と気候的要因について解析し、沿岸部ほど気候的要因による寄与が大きく、内陸部ほど表面起伏による要

因の寄与が多くなることを見いだした。

積雪の酸素同位体組成については、その組成は一般に水分子の相変化に伴う同位体分別で変化し、その時の温度に密接に関連していると理解されている。氷床表面層での温度分布を想定し、温度勾配下にある積雪実験により降雪が堆積した後の同位体分別による組成の変動傾向を解析した。その結果を基に表面積雪層の酸素同位体組成の変質モデルを提出した。また積雪の酸素同位体組成の季節変動、標高との関係、空間分布特性や、浅層雪氷コアの酸素同位体組成の深さ方向のプロファイルから、5 年の卓越周期を持つ変動特性なども見いだした。さらに平均酸素同位体組成と標高、年平均気温や接地逆転層温度とが直線関係にあること、および酸素同位体組成と積雪量との関係を導いた。

このような現在の積雪特性を持つ雪氷環境が過去にも適用できるという仮定のもとに、ドームふじ深層コアの酸素同位体組成プロファイルから積雪量変化、さらに定常流動（鉛直歪み）モデルから圧密年層厚を求め、ドームふじ深層コアの年代を推定した。さらに酸素同位体組成と年平均気温との関係を用いて、過去の気温変動を復元した。この過去 33 万年におよぶ気温変動から、スペクトル解析により氷期-間氷期サイクルを説明すると言われるミランコヴィッチの天文学説の周期に近い卓越周期を検出した。

以上のように本論文は、南極氷床の 10m 雪温、積雪量および積雪の酸素同位体組成の空間分布や時間変動などの積雪特性を解析し、現在の南極氷床の雪氷環境とその変動を明らかにした。得られた知識を基に、過去 33 万年におよぶ古気候復元に適用展開し、その変動特性の解明を試みた。

論文の審査結果の要旨

本論文は、南極氷床東クイーンモードランド地域における表層積雪の 10m 雪温、積雪涵養量、酸素同位体組成の広域分布および経年変動などの積雪特性から、雪氷環境とその変動を明らかにしたものである。また、現在のこうした雪氷環境の空間特性が過去にも適用できると仮定して、ドームふじ深層コアの年代を推定した論文である。

南極氷床の積雪特性のうち、10m 雪温は一般に年平均気温を指標する温度であることが知られているが、本出願者は、年平均気温が -30°C 以下の高所では、地上気温より低くなることを示し、内陸部の接地逆転の強さを反映していることを指摘した。また、その標高に対する温度勾配の地域特性も明らかにした。すなわち、標高 3000m までの地域ではこの勾配はほぼ一定であるが、それ以上の高所（内陸）では大きく、しかも地域によってさらに違いがあることを明らかにした。氷床表面のリッジとトラフと言った大きな表面形態が、地域的な気候形成に一定の役割を果たしている可能性も指摘した。

積雪涵養量については、氷床沿岸部から頂上部にいたる範囲でその特性の詳細を明らかにした。積雪量の地域特性については、これまで様々な解釈されてきたが、本出願者は積雪密度の地域特性を明らかにするとともに、その密度と積雪量から積雪涵養量を求め、その時空間変動に言及した。新しい知見として、1960 年代後半からの 20 数年間の積雪涵養量の変化は全体的傾向としては緩やかな増加の後 1980 年代半ばから緩やかな減少傾向に転じること、地域的には沿岸部でその傾向が強いこと、さらに積雪涵養量の変化は沿岸部ほど気候的要因に依存して変化することなどを得た。

積雪の酸素同位体組成については、実験により積雪堆積後の同位体分別を明らかにするとともに、標高および 10m 雪温で与えられる年平均気温との間に直線関係があるなど空間分布特性に新しい知見を得た。

こうした、現在の雪氷環境の空間変化特性が過去に適用できるとの仮定のもと、ドームふじ深層コアの酸素同位体組成プロファイルから涵養量変化、さらに氷の鉛直歪み（流動）モデルから圧密年層厚を求め、その逆数の積算からコア年代を推定した。こうして求めたコア年代による酸素同位体組成の変動周期をスペクトル解析により求め、ミランコビッチサイクルにほぼ一致するとの結果を得た。

本論文は、南極氷床の気候－雪氷システムに新しい知見をもたらすもので、南極氷床の地球科学的解釈に重要な貢献となる。よって、本審査委員会は本論文が学位授与の対象として十分な内容を持っているものと認めた。