

氏名 五十嵐 誠

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第202号

学位授与の日付 平成8年3月21日

学位授与の要件 数物科学研究科 極域科学専攻
学位規則第4条第1項該当

学位論文題目 スバルバル諸島亜極地型氷河における堆積環境シグ
ナルの特性に関する研究

論文審査委員 主査教授 山内 恭
教授 渡邊 興 亞
助教授 神山 孝 吉
教授 高橋 修 平
(北見工業大学)
教授 小林 俊 一 (新潟大学)

題目 スバルバル諸島亜極地型氷河における堆積環境示標シグナルの特性に関する研究

南北両極域に存在する氷河や氷床上に蓄積された雪氷層は、年間を通じて非常に低温のため、火山や海洋、砂漠、森林など地球起源の物質、各種人為起源物質、そして宇宙塵などの地球外起源の諸物質を保存している。これまでに、南極大陸やグリーンランド氷床の中央部で掘削された雪氷コアからは、過去数千～数十万年に相当する気候や大気環境の示標シグナルが抽出されている。しかし、北極域において雪氷コア掘削が盛んに行なわれているグリーンランド氷床中央部は、海洋の占める割合が大きな北極域のなかではきわめて内陸的な特性をもつ気候下であり、北極域全体から見ると特殊な環境下に置かれた氷床（氷河）といえる。したがって北極域の過去の気候・大気環境を復元するためには、氷河上の気候が海洋の影響を強く受けているところでも雪氷コア掘削を行ない、その試料を解析する必要がある。ただ、そのような地域は比較的温暖であることが多く、夏季の融雪期間中、表面付近の積雪が激しく融解している可能性がある。このため雪氷コアを用いた過去の気候・大気環境の解析法は、グリーンランドなどの真極地氷河で用いられる方法とは別の、その場所に適した方法を新たに検討しなくてはならない。そこで本研究では、海洋性の気候を示す地域として、冬季でも海流の影響で海水が凍結しないスバルバル諸島を選び、同諸島の3つの氷河、ブレッガー氷河（標高450m）、オスゴルド氷河（1140m）、北東島氷河（600m）において雪氷コア掘削と積雪表層の観測を行なった。また、各氷河の雪氷コア試料や積雪表層試料を解析するための基礎資料として用いるために、スピッツベルゲン島北西部に位置するニー・オルスンにおいて、大気中のエアロゾル、ガスと降水の採取を行なった。そして、これらの試料を用いて堆積層位解析、化学主成分（ Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} ）分析、安定同位体分析を行ない、それぞれについて鉛直プロファイルを作成し各氷河の特徴を検討した。

本研究で観測に対象とした3つの氷河は、これまでの研究から年平均降水量が推定されており、その値は3カ所ともほぼ等しいことがわかってきている。しかし、各氷河の層構造の鉛直プロファイルから、（1）氷河上に堆積した積雪が完全に氷化する深度（完全氷化深度）、（2）一旦氷河上に堆積した積雪が一融雪期を経て残存する量（年間涵養量）、には明瞭な違いがあらわれ、ブレッガー氷河の雪氷層が最も融解が激しく生じ、以下オスゴルド氷河、北東島氷河の順に融解が生じにくくなることがわかった。これら3つの氷河の融解の激しさの違いは、（3）氷温の鉛直プロファイル、それぞれの氷河雪氷層中の化学主成分の濃度プロファイルの変動幅にあらわれている（4）流出機構の違い（化学主成分流出量）、からも明らかである。また、3つの氷河の中で最も融解の影響が小さい北東島氷河においても、その雪氷層はほぼ全層にわたって融解による影響を受けて形成されたものであることがわかり、グリーンランド氷床頂上付近の雪氷層の堆積環境とは大きな違いがあることが確認された。

3つの氷河の各種観測結果より明らかになった雪氷層の融解特性をもとにして、亜極地型氷河の堆積環境を理解するためにそれぞれの氷河雪氷層中の物質の移動、流出、再凍結の過程を模式的に表した。ブレッガー氷河では、ある1年間に堆積した積雪は融雪期を経た後わずか数cm程度しか残らず、その中に含まれていた気候、大気環境の示標シグナルとなる物質が融雪によりそのほとんどが流出してしまうというその堆積環境の特徴から、物質の移動、流出、再凍結の過程を単層の模式図で示すことができた。一方、オスゴルド氷河と北東島氷河では、雪氷層が完全に氷化するまでには数年かかり、その間気候、大気環境の示標シグナル物質の一部が融雪水とともに移動し分配され、最終的には完全に氷化する深度で固定される。このような物質の移動、流出、再凍結の過程を、オスゴルド氷河、北東島氷河それぞれの堆積環境に適合するように複層の模式図を構築した。

気候、大気環境の示標シグナルとなる物質の移動、流出、再凍結の過程を示した単層および複層の模式図は、観測の対象とした各氷河の堆積環境の特徴に最も適したように作成したが、雪氷層の融雪過程と雪氷層中に含まれている物質の動きには共通点が存在することがわかった。このことから、融雪の激しさが異なる氷河においても共通のモデルで示標シグナル物質の移動、流出、再凍結の過程を表すことが可能であると考え、河川流量の推定などに用いられるタンクモデルを参考にし、北極域に広がる亜極地型氷河の一般的な堆積環境を示す「物質定着—氷化モデル」を作成した。

スバルバル諸島の亜極地型氷河において雪氷層中に含まれる気候、大気環境の示標シグナルは、物質定着—氷化モデルを適用すると完全に氷化するまでの数年間の情報を平均化して示しているものと解釈することができる。本研究で分析した項目のうち、実際にこのような数年間以上の時間スケールで変化していたものは、オスゴルド氷河の $\delta^{18}\text{O}$ であった。 $\delta^{18}\text{O}$ は気温の示標シグナルであり、35m深付近を境に上下の層において平均値で約1.7%異なっていた。この値が変化する35m深付近は、トリチウムの鉛直プロファイルから推定した年代によると1900年頃に当たっており、ヨーロッパを中心に1700年代の終わり頃から継続していた小氷期と呼ばれる低温な時期が終焉する年代と一致した。したがって、亜極地型氷河において過去の気候、大気環境の情報の抽出は、「物質定着—氷化モデル」を適用してその時間精度を検証した後有効な時間スケール以上の変動がみられた観測値を用いれば、可能であることを示唆した。

(論文審査結果)

第四紀の氷期-間氷期サイクルを通じての地球環境および気候の変動復元研究にとって、永久雪氷圏を構成する氷河、氷床中の諸物質の量および存在状態が示標シグナルとして環境、気候の変動情報を提供することは良く知られている。特に最近数十万年の気候変動の解明には、南極およびグリーンランド氷床氷から抽出された示標シグナルが重要な役割を果たした。しかし、こうした極地型の氷床・氷河はその立地条件からみて地球上の特異な環境条件下にあり、例えば海洋起源物質の示標シグナルなどは希釈され微弱な情報となっている可能性がある。北極海を中心とする北極域の環境および気候復元では、海水分布の変動からの影響が大きく、海陸分布の変動という形で気候、環境変動に直接的な影響を与える可能性がある。特に北極海の熱収支に重要な影響を与えるグリーンランド海に面するスバルバル諸島は北極海大気環境研究に欠くべからざる地理的条件を備えている。

本研究の目的は、グリーンランド氷床高所(極地型氷河域-乾雪相域)とは異なる堆積相環境を示すスバルバル諸島の準極地型氷河域(湿潤堆積相)の氷河より得られる雪氷コアの各種シグナル(物質存在量、存在形態、同位体特性等)のもつ環境、気候示標性の検討とその評価である。

スバルバル諸島雪氷圏は、全体としては海洋性気候の影響を強く受けているが、周辺海域の海水の発達には海流および気流系の地理的分布により地域的特性を示す。同諸島の北部域でほぼ同程度の降水量を示す三つの氷河(プレッガー、オスゴルド、北東島西氷帽)を選び、それぞれの地点から氷河掘削により雪氷コアを得るとともに、最新積雪層の観測を行なった。また、西海岸に近いニー・オルスン(日本の観測基地が置かれている)では大気中のエアロゾル、降水中の諸物質の季節変化、年変動を観測し、各地の雪氷コア解析に対する基礎資料とした。

各地の雪氷コアは気候条件を反映し、様々な「融解-再凍結過程」を示す。こうした氷河より得られる雪氷コア中の各種示標シグナルは、融解-再凍結過程での、積雪層そのものの変態およびそれに伴う物質の二次的移動が生じるため、降雪初期の示標シグナルが改変される可能性が高い。したがってこうした二次的示標シグナル情報の妥当性の検討が必要である。また、その評価にはそうした過程そのものの機構の解明とそれによる物質存在量、存在形態への影響評価が必要となる。

本研究では、雪氷コアおよび表面堆積層に関する堆積層位解析、各種物質の存在量分析、水の同位体組成分析を全層に対して行ない、それらの完全なプロファイルを作成し、化学成分に対してはそれぞれの物質に対する濃度プロファイル、イオンバランス分析を実施し解析精度の検証を行なった。しかし、前述したようにこうした準極地型の氷河の雪氷堆積層は「融解-再凍結過程」の影響を受けており、得られた諸プロファイルの直接解析からのみでは妥当な示標性を持つシグナルを抽出できない。本研究では、それぞれの地域の雪氷コアの解析によって、(1)完全氷化深度、(2)年間涵養量、(3)化学主成分流出量、(4)氷温、を求め、それらの発現特性から、研究対象とした氷河の雪氷層形成についての、(1)単層物質定着-氷化モデル、(2)複層物質定着-氷化モデル、を求めた。それぞれのプロセスの決定因子パラメーターを実際の観測データから推定し、モデルに導入することにより示標シグナルの二次的定着過程を解析した。またそれと初源情報との比較から時間分解能解析を行ない、モデルが示す示標プロファイル変化について、時間経過変化過程をシミュレートし、観測プロファイルの再現を計り、その再現性からモデルの妥当性の検討を行なった。現在のスバルバル諸島の堆積環境下では1~数年の気候-環境解析は困難であると結論づけられるが、10年程度の時間分解能を許容すれば、示標シグナルとしての有効性を持つことが推定された。その検証のために水の同位体組成プロファイルに適用した解析では20世紀初頭の寒冷期の抽出に成功している。本研究では「融解-再凍結過程」が生じる準極地型氷河における雪氷コアの環境・気候示標シグナルについて、一定の条件下でのその有効性を検証し、その解析方法を開発した。本研究の解析に用いた層位解析、化学分析、同位体解析等の理学的手法は質・量ともに充実したものと認められる。こうした解析方法はこれまでにない独創的発想に基づくものであり、学位論文としての価値が認められる。