様式C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成23年6月1日現在

機関番号：62611
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2009～2010
課題番号：21710017
研究課題名（和文）　南極内陸地域への水および物質の輸送・堆積過程の研究

研究課題名（英文）　The characteristics of chemical compositions and surface mass balance in the present-day snow, Antarctica

研究代表者
倉元　隆之（KURAMOTO　TAKAYUKI）
国立極地研究所・研究教育系・特任研究員
研究者番号：30511513

研究成果の概要（和文）：水蒸気や雪に含まれる化学物質が、どのように極域へ輸送されているかという物質循環過程を知ることが重要である。沿岸から内陸地域間への水および化学物質の輸送経路を明らかにするとともに、物質の沈着量を明らかにすることを目的とした。本研究では、ドームふじルート上で採取した表面積雪試料の水の安定同位体比や各化学成分濃度の測定を行った。その結果、南緯73度付近より内陸では成層圏由来と考えられる成分が増加しており、沿岸と内陸地域では、表面積雪の化学特性が異なることが分かった。

研究成果の概要（英文）：It is important to clarify the transportation and depositional processes of the chemical substance to the current Antarctica inland area. In this study, we aimed to clarify a chemical characteristic in the surface snow from the coastal area to the Dome Fuji, Antarctica. The samples were collected by Japanese Antarctic Research Expedition. We analyzed the pH, electric conductivity, stable isotope of water, and major anions and cations. As a result, the chemical characteristics in the surface snow of Antarctica were different according to the variation of the transportation routes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総　計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：雪氷学、水文学
科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析
キーワード：環境分析、南極、表面積雪、物質循環、水循環

１．研究開始当初の背景

氷床に降り積もる雪は、徐々に圧密される事で氷へと変化していく。その過程で、エアロゾルなどとして運ばれた化学物質も保存されている。南極大陸は周囲を海洋に覆われており、海塩由来の物質が対流圏を通って沿岸から内陸地域へ向かって輸送されている。一方、内陸地域では、成層圏から直接氷床へ化学物質が輸送される経路があることが過去の研究で指摘されている。例えば、火山噴火で成層圏まで達した物質や宇宙線によって生成された物質などは、成層圏から運ばれる。そのため、これらを起源とする成分は、沿岸よりも内陸地域の表面積雪の方が高濃

度となる。
水および化学物質の輸送経路の違いによって、表面積雪中の化学特性は沿岸と内陸地域では異なると考えられる。また、沿岸と内陸地域では年間の涵養量が異なるため、表面積雪に含まれる化学物質濃度が変化していると考えられる。
ドームふじで掘削された氷床コアを用いて、過去 72 万年の気候変動の解明にむけた解析が進められている。過去の気候変動をより詳しく解明するためには、間氷期と考えられる現代において、水蒸気や雪に含まれる化学物質がどのように極域へ輸送されているかという物質循環過程を知ることが求められる。
本研究で得られる結果は、現代の南極での物質の輸送過程および堆積過程を示すだけのものでなく、過去の間氷期の南極氷床への物質の沈着量を示す指標のひとつとなり、古気候・古環境復元のための有益な情報となりうることが期待される。

２．研究の目的

日本の南極地域観測隊は、沿岸の昭和基地近傍から内陸のドームふじ基地まで、約 1000 km の内陸旅行を行っている。このルート上には、雪尺が数 km おきに設置されており、観測隊が通過するたびに雪尺観測が実施されている。そのため観測された積雪深の変化をもとに、地点ごとの涵養量を求めることができる。この情報をもとに、涵養量に対応する積雪試料を採取することもできる。
本研究課題では、沿岸から内陸地域間への水および化学物質の輸送経路を明らかにする事を目的とする。

３．研究の方法

試料の採取は、南極地域観測隊がドームふじまでの内陸旅行を行うルート上で行う。約 1000 km の行程の中で、約 10 km おきに表面積雪をすくい取る方法で採取する。すくい取って採取した表面積雪の試料は、観測隊が採取地点を通過した時の直近の降雪、または直前に運ばれて堆積した雪である。また、雪尺観測の結果から算出した涵養量をもとにして、過去数年間に堆積した雪だけを採取する。こちらは、約 1000 km の行程の中で、約 10 ヶ所で試料の採取を行う予定である。いずれの試料採取にも、試料への化学物質や微粒子などの汚染を防ぐために、ダストフリーのサンプル袋や洗浄済みのポリビンなどを用いる。
このような方法で採取した雪試料は、融解せず冷凍状態のまま日本に持ち帰り、分析時まで冷凍保存する。その後、下記の分析項目の測定を行う。
分析項目：pH、電気伝導度、主要イオン濃度、水の安定同位体比（δD・δ^{18}O）

４．研究成果

極域の雪氷試料のように化学成分をごく微量にしか含んでいない水試料の pH や電気伝導度を正確に測定することは難しい。これまでは、電気伝導度の低い試料の測定時に、pH 電極の感度が不安定になることや、電気伝導度のセル容量が大きいため正確な測定には約 20 ml の試料が必要でる事が問題点であった。そこで、少ない試料量で精度よく pH と電気伝導度測定を行うために、改良を行った。pH 電極のセンサー部分を電極の内部液と同じ 3.3 N KCl に浸して保管することで、電極の劣化を防ぐようにした。また、電気伝導度センサーのセル容量を 1 ml まで小型化し、測定に必要な試料量を約 10 ml まで少なくした。これらの改良の結果、極域の雪氷試料でも、少ない試料量で精度良く pH と電気伝導度測定ができることを確かめられた。
改良した方法で、南極沿岸からドームふじ間のルート上の表面積雪の pH と電気伝導度を測定した。南緯 73 度（標高 3000 m）付近を境に、pH と電気伝導度に急激な変化が見られ、表面積雪の化学特性が変化していた。南緯 73 度以南の地域では、内陸に入るにつれて電気伝導度が高くなり、pH は低くなっていた。ドームふじ基地付近の pH は 4.8 を下回っており、表面積雪の酸性化が著しいことが分かった。
主要イオン濃度では、海塩由来の物質である Na^+濃度などは、海から離れるに従って濃度が低下していた。一方、非海塩起源と考えられる NO_3^-濃度は、南緯 73 度付近から急激に濃度が高くなっており、内陸地域の濃度は沿岸の濃度の約 20 倍になっていた。内陸地域では、NO_3^-などが成層圏からの地表へ沈降し、表面積雪へ沈着していると考えられる。よって内陸地域での pH の低下は、NO_3^-濃度の増加に起因していると考えられる。MSA 濃度と SO_4^{2-}濃度は、沿岸よりも内陸地域で高くなった。物質の輸送過程を検討するために、Cl^-/Na^+と MSA/nssSO_4^{2-}（nssSO_4^{2-}：非海塩起源硫酸イオン）の変化の検討を行った。海に近い南緯 70 度付近までは、Cl^-/Na^+ は海塩比とほぼ一致していた。しかし、内陸に入るにつれて海塩比からのずれが大きくなり、Na^+に比べて Cl^-が多くなっていた。このことから、Cl^-は海に近い地域では海塩として運ばれて沈着しているが、内陸地域へは HCl ガスなどとして運ばれて沈着していると考えられる。MSA/nssSO_4^{2-}は、海に近い地域ではばらつきが大きくなるが、南緯 73 度以南ではほぼ同じ値に収束していた。このことから MSA と

$nssSO_4^{2-}$は、内陸地域へ同じような輸送過程で運ばれていると考えられる。海に近い地域では、海塩由来のSO_4^{2-}が沈着しているが、内陸地域ではMSAとともに運ばれた海洋植物プランクトン由来の SO_4^{2-}が沈着していると考えられる。

水の安定同位体比は、標高が高くなる（内陸に入る）につれて低くなる傾向が見られた。このことから、同位体比には高度効果や内陸効果の影響が表れていると考えられる。

これらの結果から、南緯 73 度付近より内陸では成層圏由来と考えられる成分が増加しており、沿岸と内陸地域では表面積雪の化学特性が異なることが分かった。

次に採取時期（春と夏）の異なる表面積雪の化学特性について検討した。南緯 73 度より南の地域では、各イオン濃度が春よりも夏に低くなっていた。主に海塩由来の物質であるNa^+濃度とCl^-濃度には、春と夏での明らかな季節差は見られなかった。一方、NO_3^-濃度は、いずれの季節でも内陸地域で高く、その季節差は大きくなっていた。春は夏と比べてNO_3^-の沈着量が多く、冬季に積雪に沈着したNO_3^-が表面積雪に保存されているのに対し、夏は成層圏からのNO_3^-の沈着量が少なく、積雪表面からNO_3^-が移動をした事が理由として考えられる。

これまでの結果を基に、陰イオン組成の検討を行った。沿岸ではCl^-の割合が高く、内陸地域ではNO_3^-の割合が高くなっていた。南緯73度より南の地域では、季節を問わずNO_3^-が約80%を占めていた。南緯73度より北の地域では、SO_4^{2-}の割合が夏に高くなっていた。そこで、SO_4^{2-}の起源を推定するためにSO_4^{2-}に占める $nssSO_4^{2-}$濃度の比の検討を行った。その結果、南緯 73 度より北の地域では、夏に$nssSO_4^{2-}$が多くを占めていた。このことから$nssSO_4^{2-}$が沈着することで陰イオンに占めるSO_4^{2-}の割合が増えたと考えられる。夏の$nssSO_4^{2-}$の起源の一つとして、海洋植物プランクトンが考えられる。

2009年7月にグリーンランドNEEMの深層氷床コア掘削現場において深さ約2 mの積雪断面観測を実施し、積雪サンプルの採取を行った。極域における物質循環と堆積過程を明らかにすることを目的として解析した。水の安定同位体比は、夏に極大となる明確な季節変化を示し、採取した試料は、過去約4年間に堆積した雪である事が分かった。表面質量収支を検討した結果、過去3年間の平均年水収支は175.6 mmであった。水の収支は、「夏から冬」よりも「冬から夏」に 10-20 mm 多くなった。極域の内陸に位置する氷床上ではあるが、南極の内陸地域に比べ、水の涵養量の多かった。各イオン濃度にも明瞭な季節変化がみられた。海塩由来の物質（Na^+、Cl^-など）は、冬から初春に濃度が高くなった。海塩由来のイオン濃度が上昇した直後の春に、陸域ダスト起源の物質（Ca^{2+}、K^+など）の濃度が高くなる季節変化が見られた。

本研究によって、極域の物質循環や堆積環境の一端を把握することができた。ここで得られた成果は、現代の極域における物質循環を把握する成果であるとともに、極域の氷床コアを解析するためにも役立つデータであると考えられる。その一方で、未解明な点も多く、今後も極域の物質循環を解明する研究を進めていく必要がある。

５．主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計１件）

(1) Takayuki KURAMOTO, Kumiko GOTO-AZUMA, Motohiro HIRABAYASHI, Takayuki MIYAKE, Hideaki MOTOYAMA, Dorthe DAHL-JENSEN, Jorgen Peder STEFFENSEN, Seasonal variations of snow chemistry at NEEM, Greenland, Annals of Glaciology, 査読有, Vol. 52, 58, 2011, 印刷中.

〔学会発表〕（計９件）

(1) Kuramoto T., Goto-Azuma K., Uetake J., Hirabayashi M., Miyake T., Motoyama H., Dahl-Jensen D., Steffensen J.P.. Snow chemistry of the last four years at NEEM, Greenland. Second International Symposium on the Arctic Research. 2010年12月9日, 一橋記念講堂（東京都千代田区）.

(2) 倉元隆之, 三宅隆之, 平林幹啓, 東久美子, 本山秀明：極域雪氷試料のpH・電気伝導度測定法の改良と第2期ドームふじ氷床コア試料での測定, 雪氷研究大会（2010・仙台）, 2010年9月28日, 東京エレクトロンホール宮城（宮城県仙台市）.

(3) 倉元隆之, 植竹淳, 東久美子, 平林幹啓, 三宅隆之, 本山秀明：グリーンランド・NEEMにおける積雪中の化学成分の季節変化, 雪氷研究大会（2010・仙台）, 2010年9月27日, 東京エレクトロンホール宮城（宮城県仙台市）.

(4) Takayuki Kuramoto, Jun Uetake, Kumiko Goto-Azuma, Takayuki Miyake, Hideaki Motoyama, Dorthe Dahl Jensen, J. P.

Steffensen. Seasonal variations of snow chemistry at NEEM, Greenland. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate. 2010年6月24日，北海道大学（北海道札幌市）.

(5) T. Kuramoto, M. Hirabayashi, H. Motoyama: Seasonal features of chemical compositions in surface snow on the Dome Fuji route, East Antarctica, AGU 2009 Fall Meeting, 2009年12月17日, Moscone Convention Center（アメリカ・サンフランシスコ）.

(6) Takayuki Kuramoto, Motohiro Hirabayashi, Hideaki Motoyama: Seasonal features of chemical compositions in surface snow on the Dome Fuji route, Antarctica, The 2nd International Symposium on the Dome Fuji ice core and related topics, 2009年11月19日，国立極地研究所（東京都立川市）.

(7) 倉元隆之，平林幹啓，本山秀明：南極沿岸からドームふじルート上における表面積雪の化学成分の季節特性，第32回極域気水圏シンポジウム，2009年11月17日，国立極地研究所（東京都立川市）.

(8) 倉元隆之，平林幹啓，本山秀明：南極沿岸からドームふじルート上における表面積雪の化学成分の季節特性，雪氷研究大会（2009・札幌），2009年9月30日，北海道大学（北海道札幌市）.

(9) 倉元隆之，平林幹啓，本山秀明：南極沿岸からドームふじルート上の表面積雪の化学特性，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月20日，幕張メッセ国際会議場（千葉県千葉市）.

６．研究組織

(1)研究代表者

倉元　隆之（KURAMOTO　TAKAYUKI）

国立極地研究所・研究教育系・特任研究員

研究者番号：30511513