

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2009

課題番号：18310015

研究課題名（和文） 北極雪氷コアから解読する気候・環境シグナルの標高依存性

研究課題名（英文） Ice core studies of past climate and environment and their altitudinal variability in the Arctic

研究代表者

東 久美子（AZUMA KUMIKO）

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：80202620

研究成果の概要（和文）：カナダのマウントローガン、キングコルで掘削した雪氷コアから、過去の気候・環境復元を行った。この地点の気候・環境はPDO（Pacific Decadal Oscillation）の影響を強く受けていることが明らかになった。さらに、マウントローガンの標高が高い地点では見られなかった、1940年代からの硫酸イオンと硝酸イオンの増加傾向が明らかになり、この地域における環境変動の標高依存性が明らかになった。

研究成果の概要（英文）：We have reconstructed past climatic and environmental changes using an ice core drilled on King Col, Mt. Logan, Yukon, Canada. Climate of this site is strongly influenced by Pacific Decadal Oscillation. Sulfate and nitrate increased significantly since 1940s due to anthropogenic input of the atmospheric pollutants. This is in contrast with a higher elevation site on the same mountain, which does not show the anthropogenic increases of these species. This result confirms altitudinal dependence of environmental changes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2007年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2008年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2009年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
総計	15,400,000	4,620,000	20,020,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：雪氷コア、北極、マウントローガン、スパーラルバル、標高依存性

## 1. 研究開始当初の背景

IGBP-PAGES（古気候復元）プロジェクトの一つとして1990年代半ばにICAPP（環北極雪氷コア古気候復元計画）が開始された。ICAPP計画は、北極域における気候・環境変動の地域差を解明することを目的とし、当時研究が

立ち後れていたグリーンランド以外の氷河・氷帽において雪氷コアの掘削・解析を推進した。ICAPPの一環として、スパーラルバルやカナダ北極域東部など、北極域北大西洋セクターの多点で雪氷コア掘削が実施され、北極域北大西洋セクターにおいては、顕著な気候・環

環境変動の地域差が見られることが明らかになった。

一方、北極域北太平洋セクターにおける雪氷コア研究は従来、ほとんど実施されてこなかった。唯一、1980年代にカナダ、ユーコン準州マウントローガンのNWコル（標高5340m）において掘削された雪氷コアの解析例があるだけだった。マウントローガンNWコルの雪氷コア解析の結果は、意外にも、このコアのデータが掘削地点の気候とではなく、はるか遠く、北太平洋低緯度地域の気候と良い相関関係があることを示唆していた。その原因としては、この掘削地点の標高が高く、この地点の降水が太平洋赤道域から長距離輸送される水蒸気を起源としていることが考えられる。ここで、同じ地域でも、標高の違いによって気候・環境変動の生じ方に相違のある可能性が指摘された。しかし、1980年代に実施した雪氷コア解析は十分なものではなく、解析技術が格段に進歩した21世紀になり、再びマウントローガンで雪氷コアの掘削・解析を行う必要性が国際的に認識されるようになった。同時に気候・環境変動の標高依存性を研究する必要も認識されるようになった。

このような背景から、ICAPP計画のもと、2002年にマウントローガンが位置するセントエライアス山系において、標高の異なる3地点における雪氷コア掘削を実施した。掘削プロジェクトは日本、カナダ、アメリカの国際共同研究として実施し、掘削地点はマウントローガンのPRコル（標高5430m）とキングコル（標高4150m）、及びエクリプス氷原（標高3000m）であった。日本は研究代表者らの研究グループが、キングコルで深さ220mまでの雪氷コア掘削を行った。このように、標高依存性を研究するために必要な雪氷コアが利用可能となった。

## 2. 研究の目的

本研究は、北極域の北太平洋セクター及び北大西洋セクターにおける気候・環境変動を復元し、その標高依存性とテレコネクションを解明することを目的としている。そのため、これまで限られた雪氷コアデータしかなかった北極域北太平洋セクターのマウントローガン、キングコルで日本が掘削した雪氷コアの解析を行う。これをカナダとアメリカが同地域の異なる標高の2地点で掘削した雪氷コアのデータと比較し、北太平洋セクターにおける気候・環境シグナルの標高依存性を研究する。

また、北極域北大西洋セクターのスパールバル北東島、アウストフォンナ氷帽で日本が掘削した雪氷コアの解析データをノルウェーがスパールバルのロモノソフフォンナ氷帽で掘削した雪氷コアのデータと比較することにより、大西洋セクターにおける気候・

環境変動の標高依存性を研究する。さらに、北太平洋セクターと北大西洋セクターの雪氷コアデータを比較する。本研究において特に着目するのは水蒸気、エアロゾル、微生物の起源、輸送過程であり、その標高依存性と気候・環境変動との相互作用を主として研究する。

## 3. 研究の方法

### (1) 雪氷コア自動融解装置の開発

雪氷コアの迅速かつ連続的な分析に向けて、従来の雪氷コア前処理方法に加えて、サンプルを汚染無しで自動的に融解・分注するための雪氷コア自動融解装置の開発を行う。特に汚染の影響を受けやすい微生物の分析が可能となるための融解装置の開発を目指す。

### (2) 分析手法の開発・改良

含有量が非常に少ないため、従来は困難であった微生物分析を実施するための分析方法を開発する。また、マウントローガン、キング・コルの雪氷コアは南極内陸部の雪氷コアよりもイオン含有量が少ないため、イオンクロマトグラフの分析手法改良により、極微量のイオン成分を分析可能にする。

### (3) 雪氷コアの精密年代決定及び高時間分解能解析

過去の気候・環境変動を高時間分解能で解析するため、キング・コルの雪氷コアを深さ方向に数センチメートルの高分解能で分析する。これにより、季節単位での気候・環境復元を可能にするとともに、イオン成分の季節ピークを数えることにより、雪氷コアの精密年代決定を行う。

### (4) 雪氷コアのデータ解析

キング・コルの雪氷コアから得られたデータを、PRコル、及びエクリプス氷原の雪氷コアのデータと比較する。また、北極域の他の地点で掘削された雪氷コアのデータと比較する。

## 4. 研究成果

### (1) 雪氷コア自動融解装置の開発

微生物分析と化学分析では問題となる汚染源が異なるため、化学分析用と微生物分析用にそれぞれ別個の装置を開発した。それぞれの装置において、融解サンプルを希望する深度ごとに自動的にサンプル瓶に注入するため、融解装置にレーザー距離計を接続し、サンプルの深度を自動計測するシステムを構築した。

微生物分析用の融解装置では、雪氷コア表面からのコンタミネーションを除去するために、氷内部、氷内部と氷外部との中間部、および氷外部のサンプルをそれぞれ独立して採取するための融解装置の作成を行った。また、フィルン部分と氷部分にそれぞれ対応

した2種類の融解装置の開発を行うとともに、サンプル毎のクロスコンタミネーションを回避させるための改良を行った。氷表面にバクテリアと同程度の大きさの蛍光ビーズを塗布したもの、および氷内部のみを蛍光ビーズで作成した実験氷を用いて融解実験を行ったところ、それぞれ氷表面のみ、および氷内部からのみ蛍光ビーズが検出され、開発した融解装置を用いる事でコンタミネーションが起ころうる氷表面を除去し、正確に氷内部のみ採取することに成功した。

## (2) 分析手法の開発・改良

微生物分析に関しては、共焦点レーザー顕微鏡やセルソーターなどを利用して、雪氷コア中のバクテリア群集構造解析を可能にすることを試みるなど、雪氷コア中の生物成分の新たな解析法の開発を行った。イオン分析に関しても、イオンクロマトグラフによる分析手法の改良により、従来は定量限界以下であった、マグネシウム、カルシウム、フッ化物イオンの定量が可能になった。その結果、これらのイオンが明瞭な季節変動を示すことが明らかになった。

## (3) マウントローガン、キングコルで掘削された雪氷コアの解析

酸素同位体比、イオン濃度の詳細データを用いて雪氷コアの年代を決定し、気候・環境変動を高時間分解能で復元した。その結果、この地点の気候・環境はPDO (Pacific Decadal Oscillation) の影響を強く受けていることが明らかになった。さらに、マウントローガンの標高が高い地点では見られなかった、1940年代からの硫酸イオンと硝酸イオンの増加傾向が明らかになり、この地域における環境変動の標高依存性が明らかになった。

酸素同位体比の異なる3サンプル(高、低、中)に対して、<sup>16</sup>SrRNA 遺伝子分析をおこなった結果、17-22種類のバクテリアが検出された。そのうち季節を通じて共通して供給されたバクテリアは2-6種であった。変性剤濃度勾配ゲル電気泳動解析を用いてバクテリアのバンドパターンの比較を行った結果、酸素同位体比の高い試料と中程度の試料とのバクテリアが類似しており、酸素同位体比が小さい試料のバクテリアとの類似は低かったことから、氷河に供給されるバクテリアは季節によって異なることが分かった。

## (4) 北極域における多点雪氷コアの比較

北極域では、20世紀前半と1990年代以降に顕著な温暖化が生じたことが報告されている。フランツ・ジョセフランド、セベルナヤ・ゼムリヤの雪氷コアデータは、これらの地域で20世紀前半の温暖化が生じていたことを示している。スバルバルのアウストフオンナ氷帽でも20世紀前半の顕著な温暖化

が見られた。これらはすべて標高850m以下の地点で掘削された雪氷コアである。しかし、スバルバルでも標高の高いロモノソフオンナでは、この温暖化が見られなかった。また、標高1800m以上の地点で掘削されたグリーンランド南部、グリーンランド中央部、バフィン島、エルズミア島の雪氷コアは、20世紀前半の温暖化を示していない。1990年代以降の温暖化については、コアのデータが限られているため、地域差、標高差を十分に検討することができないが、同じ地域でも標高の低い気象観測点で顕著な温暖化傾向が見られるのに対し、標高の高い雪氷コア掘削地点では、温暖化傾向が見られない地点があった。このように、標高の違いによる気候変動の違いが明らかになった。

マウントローガンのコアについては、標高の高いPRコルで19世紀中盤に大気循環の大きな変化があり、水蒸気の起源が変化したことが明らかになったが、標高の低い地点では、このような変化が見られなかった。さらに、PRコルの気候変動は、北大西洋とのリンクしていることが示唆された。

## 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12件)

- ① 三宅隆之、平林幹啓、植村 立、東久美子、本山秀明、極域氷床深層コアの化学成分分析用試料の汚染除去前処理方法の検討, 南極資料, Vol.53, No.3, 259-282., 2009. (査読有)
- ② Takeuchi, N., T. Miyake, F. Nakazawa, H. Narita, K. Fujita, A. Sakai, M. Nakawo, Y. Fujii, K. Duan, T. Yao (2009): A shallow ice core re-drilled on the Dundee Ice Cap, western China: recent changes in the Asian high mountain, Environmental Research Letters, Vol.4, 045207. (査読有) doi:10.1088/1748-9326/4/4/045207.
- ③ Steffensen, J.P., K.K. Andersen, M. Bigler, H.B. Clausen, D. Dahl-Jensen, H. Fischer, K. Goto-Azuma, M. Hansson, S.J. Johnsen, J. Jouzel, V. Masson-Delmotte, T. Popp, S.O. Rasmussen, R. Rothlisberger, U. Ruth, B. Stauffer, M.-L. Siggaard-Andersen, A.E. Sveinbjörnsdóttir, A. Svensson, and J.W.C. White, High resolution Greenland ice core data show abrupt climate change happens in few years., Science, 321, 680-684, 2008. (査読有)
- ④ Fisher, D.A., E. Osterberg, A. Dyke, D. Dahl-Jensen, M. Demuth, C.

- Zdanowicz, J. Bourgeois, R. M. Koerner, P. Mayewski, C. Wake, K. Kreutz, E. Steig, J. Zheng, K. Yalcin, K. Goto-Azuma, B. Luckman, and S. Rupper, The Mt Logan Holocene-late Wisconsinan isotope record: tropical Pacific-Yukon connections, *The Holocene*, 18, 667-677, 2008. (査読有)
- ⑤ Goto-Azuma, K., T. Shiraiwa, S. Matoba, T. Segawa, S. Kanamori, Y. Fujii and D. A. Fisher. Climate and environmental variability in the North Pacific region during the past 100 years, *Proceedings of the First International Symposium on Arctic Research (ISAR-1)*, 234-237, 2008. (査読無)
- ⑥ Motoyama, H., K. Kamiyama, O. Watanabe, M. Igarashi, S. Matoba T. Kameda, K. Goto-Azuma, K. Izumi, H. Narita, Y. Iizuka and E. Isaksson. Analyses of ice core data from various sites in Svalbard glaciers from 1987 to 1999, *NIPR Arctic Data Report*, 7, 1-79, 2008. (査読無)
- ⑦ 三宅隆之、成田英器、藤田耕史、藤井理行、中尾正義、Vladimir B. Aizen, ロシア・アルタイ山脈氷河のアイスコア解析による古環境復元、黒水城人文と環境研究 黒水城人文と環境国際各術討論会文集、90-103, 2007. (査読無)
- ⑧ Yasunari T. J., Shiraiwa, T., Kanamori, S., Fujii, Y., Igarashi, M., Yamazaki, K., Benson, C. S., Hondoh, T., Intra-annual variations in atmospheric dust and tritium in the North Pacific region detected from an ice core from Mount Wrangell, Alaska, *J. Geophys. Res.*, 112, D10208, doi:10.1029/2006JD008121, 2007. (査読無)
- [学会発表] (計 22 件)
- ① 東久美子, 雪氷コアの水同位体分析による過去の気候・環境変動の復元, 安定同位体を用いて生態系と気候変動の関わりを科学する—陸と海と空, 過去・現在・未来をつなぐ安定同位体—, 2010年3月9日, 三重大学 (津市)
- ② 東久美子, 極域の氷床と温暖化, 地球観測連携拠点(温暖化分野)平成21年度ワークショップ「統合された地球温暖化観測を目指して」—雪氷圏における観測の最前線—, 2010年1月29日, 千代田放送会館ホール (東京都)
- ③ Okamoto, S., Re-evaluation of past summer temperature reconstruction by melt features in Belukha ice cores, Russian Altai, International Workshop on the Northern Eurasia Mountain Ecosystems, NEESPI/NASA and CEOP HE, 2009年9月8日～15日, ビシエーク (キルギスタン)
- ④ Segawa, T., Microbial analysis of subglacial samples drilling at Dome Fuji, Antarctica, Xth SCAR International Biology Symposium, 2009年7月26日～31日, 北海道大学 (札幌市)
- ⑤ 東久美子, 北極域の雪氷コアから見た過去200年間の気候・環境変動, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月16～21日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉市)
- ⑥ 瀬川高弘, キルギス・グレゴリア氷河から掘削されたアイスコアの遺伝子解析による古環境復元, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月16～21日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉市)
- ⑦ 岡本祥子, ロシア・アルタイ山脈バルーハ氷河アイスコアの氷層を用いた夏季気温復元法の再検証, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月16～21日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉市)
- ⑧ Okamoto, S., Re-evaluation of past summer temperature reconstruction by melt features in Belukha ice cores, Russian Altai, European Geosciences Union General Assembly 2009, 2009年4月20日, ウィーン (オーストリア)
- ⑨ Goto-Azuma, K., Climate and environmental variability in the North Pacific region during the past 100 years, *The First International Symposium on Arctic Research (ISAR-1)*, November 4-6, 2008, Tokyo, Japan.
- ⑩ Motoyama, H., Studies on global warming in 1920's using various ice cores in the Arctic. *First International Symposium on the Arctic Research (ISAR-1)*, Tokyo, Japan, November 4-6, 2008.
- ⑪ Segawa, T., Altitudinal change in bacterial and cyanobacterial flora on the No.1 Glacier, China, analyzed by 16S rRNA gene, *International Conference on Polar and Alpine Microbiology*, May 11-15, 2008, Banff, Canada.
- ⑫ 瀬川高弘, 南極氷床および氷床下の微生物解析, 平成19年度新領域融合研究プロジェクト研究集会, 2008年2月18日, 東京.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

東 久美子 (AZUMA KUMIKO)  
国立極地研究所・研究教育系・准教授  
研究者番号：80202620

### (2) 研究分担者

本山 秀明 (MOTOYAMA HIDEAKI)  
国立極地研究所・研究教育系・教授  
研究者番号：20210099  
瀬川 高弘 (SEGAWA TAKAHIRO)  
情報・システム研究機構・新領域融合研究  
センター・特任研究員  
研究者番号：90425835  
三宅 隆之 (MIYAKE TAKAYUKI)  
国立極地研究所・研究教育系・特任研究員  
研究者番号：90390715  
五十嵐 誠 (IGARASHI MAKOTO)  
独立行政法人理化学研究所・牧島宇宙放射  
線研究室・協力研究員  
研究者番号：50435624  
(H20→H21：連携研究者)

### (3) 連携研究者