

永久凍土コアの物理化学分析から探る環境変動

Environmental change study based on the physical-chemical analysis of permafrost core

*猿谷 友孝¹、末吉 哲雄¹、渡邊 達也²、池田 敦³、榎本 浩之¹

*Tomotaka Saruya¹, Tetsuo Sueyoshi¹, Tatsuya Watanabe², Atsushi Ikeda³, Hiroyuki Enomoto¹

1.国立極地研究所、2.北見工業大学、3.筑波大学

1.National Institute of Polar Research, 2.KITAMI Institute of Technology, 3.University of Tsukuba

環境変動や将来の温暖化予測を議論するために重要な古環境の情報は主に氷床コアの分析から得ることができるとは限られており、古環境の情報も極域周辺に限られている[IPCC 4th Report (2007)]。そのため、氷床のない地域でも古環境情報を取得できる研究手法の確立が求められている。その中で永久凍土は北半球陸域の広範囲に分布し、長期スケールでの変動を示すことから古環境の情報源として近年注目され始めている[Schuur et al. (2015), Nature]。永久凍土は最終氷期後の中期的・局所的な気候変動によって発達してきた。そのため、永久凍土の内部構造や凍結融解履歴は百～千年スケールでの気候変動に関する情報を持っていると考えられる。また、凍土の構成要素（土粒子や有機炭素、ガス）や熱伝導率、含水率など物理量の定量的な把握は気候変動将来予測の高精度化のためには必要不可欠であり、凍土内部物性の空間プロファイル作成や環境依存性の定量化が求められている。

我々は富士山白山峰とスバルバル諸島スピッツベルゲン島において永久凍土の掘削を行い、凍土コアを取得した。得られたコアは周囲の気象要素や堆積環境を強く反映しており、異なる構造を示していることがわかった。本発表では永久凍土の内部構造・物性の環境依存性や永久凍土コアの物理化学分析から古環境変動を探る手法について議論する。

キーワード：永久凍土、富士山、スバルバル

Keywords: permafrost, Mt. Fuji, Svalbard

アイスコアに含まれる花粉を利用した植物種の古代ゲノム解析の可能性

Potential of paleogenomics on plant species by using pollen in ice cores

*中澤 文男¹、陶山 佳久²、伊村 智¹、本山 秀明¹

*Fumio Nakazawa¹, Yoshihisa Suyama², Satoshi Imura¹, Hideaki Motoyama¹

1.国立極地研究所、2.東北大学

1.National Institute of Polar Research, 2.Tohoku University

氷河から見つかる花粉は、他の堆積物試料から見つかる花粉と異なり、細胞内物質（原形質）を残存しているものが多い。氷河中の花粉をDNA分析しその遺伝情報が得られれば、花粉を種レベルで同定したり、遺伝的多様性の解析が可能となる。そしてそれはアイスコアから過去の植生変遷や森林生態系を古気候・古環境と関連づけて議論できることになる。そこで本研究では、全ゲノム増幅法を用いて、試料に含まれるマツ属花粉1粒ずつから遺伝情報の取得を試みた。花粉試料は、ロシア・アルタイ山脈にあるペルーハ氷河にて、2003年夏に採取したピット試料とアイスコアに含まれていたマツ属花粉を用いた。花粉は1.8-1.9 m深と45.3-45.9 m深、101.5-101.7 m深から集められ、それぞれ2002年、1923年、1600年代に氷河上に沈着したものと考えられた。分析の結果、暫定的な値であるが、塩基配列の取得成功率は2002年の花粉が24% (n=21)、1923年のものは13% (n=68)、1600年代のものは26% (n=19) であった。

キーワード：氷河、アイスコア、花粉分析、DNA、ロシア・アルタイ山脈

Keywords: glacier, ice core, pollen analysis, DNA, Russian Altai Mountains

中央アジア天山ウルムチNo.1氷河の浅層アイスコアの化学成分と鉱物粒子

Chemical solutes and mineral particles in a shallow ice core from Tianshan Urumqi No.1 Glacier

*宮内 謙史郎¹、竹内 望¹、若林 梢¹、石田 依子¹、Li Zhongqin²

*Kenshiro Miyauchi¹, Nozomu Takeuchi¹, Kozue Wakabayashi¹, Yoriko Ishida¹, Zhongqin Li²

1.千葉大学、2.天山氷河観測所

1.Chiba University, 2.Tianshan Glaciological Station

中央アジアの氷河で掘削されるアイスコアには、乾燥域特有の砂塵の供給によって数多くのダスト層が含まれている。ダスト層は年層決定に使われることも多いが、それぞれのダスト層の化学的、鉱物学的特徴についての詳細な分析はほとんど行われていない。本研究では、中国天山山脈のウルムチNo.1氷河で2006年に掘削された深さ8mの浅層アイスコアを用いて、化学成分と鉱物粒子に注目した分析を行った。顕微鏡分析の結果、このアイスコアにはおよそ10層のダスト層が含まれていることがわかった。化学成分との比較の結果、ダスト由来成分であるCaやMgイオンの濃度は、ダスト層の粒子濃度とは必ずしも一致しなかった。またダスト層によってCa/Mg比が高い層と低い層があることが明らかになった。このことは、毎年形成されるダスト層でも鉱物粒子の構成が異なることを示唆している。これはダストの供給源が年によって異なるためと考えられる。

キーワード：アイスコア、ダスト、中央アジア

Keywords: Ice core, dust, Central Asia

過去21万6千年間の東南極における、気候に依存した質量収支のコントラスト

Climate dependent contrast in surface mass balance in East Antarctica over the past 216 kyr

*藤田 秀二^{1,2}、Frédéric Parrenin^{3,4}、阿部 彩子^{5,6}、川村 賢二^{1,2}、Masson-Delmotte Valérie⁷、本山 秀明^{1,2}、齋藤 冬樹⁵、Severi Mirko⁸、Stenni Barbara⁹、植村 立¹⁰、Wolff Eric¹¹
*Shuji Fujita^{1,2}、Frédéric Parrenin^{3,4}、Ayako Abe-Ouchi^{5,6}、Kenji Kawamura^{1,2}、Valérie Masson-Delmotte⁷、Hideaki Motoyama^{1,2}、Fuyuki SAITO⁵、Mirko Severi⁸、Barbara Stenni⁹、Ryu Uemura¹⁰、Eric W Wolff¹¹

1.大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立極地研究所、2.総合研究大学院 大学複合科学研究科 極域科学専攻、3.CNRS, LGGE, Grenoble, France、4.Univ. Grenoble Alpes, Grenoble, France、5.独立行政法人海洋研究開発機構、6.東京大学 大気海洋研究所、7.Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, France、8.University of Florence, Italy、9.Ca' Foscari University Venice, Italy、10.琉球大学、11.University of Cambridge, UK

1.National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems(ROIS)、2.Department of Polar Science, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI)、3.CNRS, LGGE, Grenoble, France、4.Univ. Grenoble Alpes, Grenoble, France、5.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama, Japan、6.Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), University of Tokyo, Japan、7.Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, France、8.University of Florence, Italy、9.Ca' Foscari University Venice, Italy、10.University of the Ryukyus, Japan、11.University of Cambridge, UK

東南極における過去の質量収支を記述することは、アイスコアの年代決定や、海水準の地球規模の変動における氷床の寄与分の見積もりにとって重要である。本研究では、南極ドームC(EDC)とドームふじ(DF)で得られた2箇所の氷床深層アイスコアを精密に火山同期し、且つ流動変形分を補正することにより、これらの2地点における表面質量収支の比率(SMB比)の過去の変動を調査した。

過去21万6千年間、このSMB比 (SMB_{EDC}/SMB_{DF} として定義) は 0.7 ~ 1.1の範囲の値をとり、寒冷な時期には比較的小さく温暖な時期には大きな値を示した。本研究の結果は、EDCにおいて、DFよりも大きな振幅の変動が起こったことを意味している。そしてその結果は、水の安定同位体から見積もってきた質量収支や気温の傾向と一貫している。最終氷期の開始時期 (Marine Isotope Stages, MIS-5c と MIS-5d) において、精密火山同期に基づいたSMB比は、水の安定同位体比をもとにして見積もったSMB比とくらべて、最大0.2におよぶ偏差をもつ。さらには、SMB比は、現在の間氷期やその一つ前の間氷期において、水同位体比が対照的な傾向を示すのに反して、ほぼ一定の値をとる。これらのような、「水の同位体比には反映されていないSMB比の変動」はDFコアとEDCコアの年代決定結果に偏差が出現したことの原因である可能性がある。

そのようなSMB比の変動を起こした原因として、以下のいくつかの可能性を提起する：

(i)空気塊の輸送や地域的な気候に関連した気候プロセス、(ii) 2つのドーム地域の相対的な高度差にも関連した氷床変動プロセス、あるいは (iii) 両方のプロセスの組み合わせ、すなわち、堆積の変動とドーム位置の変動。

本研究で推定したSMB比は、氷床流動モデル研究にとって重要な意味をもつ。すなわち、SMB比は氷床モデルや大気モデルの境界条件となり、SMB比はそうしたモデル研究で再現できるかどうかのテスト対象となる。

キーワード：南極、表面質量収支、氷床、アイスコア

Keywords: Antarctica, Surface mass balance, ice sheet, ice core

退氷期における南大洋の大気海洋変動に対する両半球の氷床融解水の役割

The role of glacial meltwater in the both hemispheres on the Southern Ocean during the last deglaciation

*小長谷 貴志¹、阿部 彩子^{2,1}

*Takashi Obase¹, Ayako Abe-Ouchi^{2,1}

1.東京大学大気海洋研究所、2.海洋研究開発機構

1.Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 2.Japan Agency for Marine Science and Technology

気候変化に対する南極氷床の応答を理解するためには、過去の南極氷床変動との対比による検証が欠かせないが、たとえば直近の間氷期である最終間氷期の高い海水準を説明できるような氷床の後退と、完新世に西南極氷床が解け残った理由をモデルは説明できていない。西南極氷床を後退させるには、現在よりも南極域の海水温が高く、棚氷底面融解速度が大きいことが必要であることが氷床モデルから言われているが(Pollard and Deconto 2009, Sutter et al., 2016)、最終間氷期の日射と温室効果ガスを与えた気候モデル実験では、これを説明するのに十分な海水温の上昇はみられない(Lunt et al., 2013; Otto-Bliesner et al., 2013)。これに関して、最終間氷期の前の氷期からの北半球氷床の融解水が北大西洋に流入し、熱塩循環を弱めて両半球間の熱分配をかえたり (Holden et al., 2010)、南極氷床の融解水が直接南大洋に(Golledge et al., 2014)、もしくは北半球氷床の融解水の影響が南大洋に伝わることによって南大洋の成層を強め(Dome F community members, 2016, submitted)垂表層の水温をあげることが南極棚氷融解に効きうるということがこれまでの研究から示されている。しかし、退氷期の北半球及び南半球の淡水流入に対する南大洋への影響は十分調べられていない。そこで、気候モデルを用いて退氷期の北半球及び南半球の淡水流入に対する南大洋への影響を調べる。現在気候、最終氷期、退氷期それぞれの大気海洋場のもとで、現実の海水準上昇に近い淡水を北大西洋と南大洋に流入させた実験をそれぞれ行って、南極域の大気海洋場の応答とその時間発展を解析する。

キーワード：南極氷床、南大洋、間氷期、退氷期、氷床融解水

Keywords: Antarctic Ice Sheet, Southern Ocean, interglacial, deglaciation, glacial meltwater

Investigating stadial-interstadial climate changes with the MIROC climate model

*Wing-Le Chan¹, Ayako Abe-Ouchi^{1,2}, Ryouta O'ishi^{1,3}, Kunio Takahashi²

1.Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2.Research Institute for Global Change, JAMSTEC, 3.National Institute of Polar Research

The Late Pleistocene was a period which started about 126,000 years ago and, in the northern hemisphere, was mostly characterized by glaciation across much of North America and Eurasia. Ice core data from Greenland show a series of abrupt climate changes known as Dansgaard-Oeschger events within that period. These events begin with a relatively rapid warming giving rise to the milder climates of the interstadials, followed by progressive cooling over 1,000 years. Some of these cool states, known as stadials, coincide with Heinrich events during which large amounts of freshwater from melting icebergs were released into the North Atlantic Ocean, altering the global ocean circulation and climate. These abrupt changes may have had a profound effect on the lives of early modern humans, both directly and indirectly through changes in vegetation and the environment. To investigate how these two extreme climates differed, we used results from a coupled atmosphere-ocean model (MIROC) experiment to run further experiments using a stand-alone atmospheric model, in particular a high-resolution version, with the advantage that these types of models perform faster than the coupled ones. The effects of large freshwater discharge into the Atlantic Ocean are taken into account by specifying the corresponding sea ice and sea surface temperature. The freshwater forcing leads to a bipolar climate pattern with cooler and drier conditions across most of the northern hemisphere and warmer and wetter conditions in parts of the southern hemisphere. We compare with a variety of proxy data globally, for example speleothems which can act as markers of long-term changes in paleomonsoons. Furthermore, we apply our climate model results to a separate dynamical vegetation model to assess how vegetation, especially across Europe, responds to such climate changes. Access to a variety of proxy data can increase confidence in model results while model results are of particular use in locations where proxy data are sparse.

Keywords: Paleoclimate, Climate modeling, Late Pleistocene, Stadial-Interstadial, Vegetation modeling

氷期氷床が急激な気候変動に与える影響

The impact of glacial ice sheets on abrupt climate change

*シェリフ多田野 サム^{1,2}、阿部 彩子^{1,2}*Sam Sherriff-Tadano^{1,2}, Ayako Abe-Ouchi^{1,2}

1.東京大学大学院理学系研究科、2.東京大学大気海洋研究所

1.Graduate School of Science, University of Tokyo, 2.Atmosphere and Ocean Research Institute

Reconstruction from ice cores show that millennial climate change such as D-0 events frequently occurred during mid-glacial period, when atmospheric amount of Greenhouse Gases and ice sheets over the continent were lower/larger compare to the interglacial period, but not as full glacial period. Couple modeling experiments using MIROC recently showed that the climatic response to fresh water release to the ocean becomes larger and more abrupt under larger ice sheets. This suggests that the expansion of the ice sheets may play a role in modifying the abruptness and the amplitude of the climate change, though the mechanism behind this remains elusive. Here we conducted several sensitivity experiments using an atmospheric general circulation model (AGCM) and ocean general circulation model (OGCM) to investigate the results reported in MIROC. Using the AGCM, modern and glacial ice sheets are applied under large and small sea ice conditions. Using the OGCM, changes in the surface wind are applied at different magnitudes, ranging from the full glacial to modern levels. The results suggest that stronger interaction between the Icelandic Low, cold advection into the northern North Atlantic and surface heat flux from the ocean is important. Results from the OGCM sensitivity experiments are also discussed.

キーワード：急激な気候変動、氷期氷床、アイスランド低気圧

Keywords: abrupt climate change, glacial ice sheet, Icelandic Low