

北東グリーンランド氷流での国際氷床深層掘削プロジェクトによる気候・氷床変動の研究  
Studies on variations of climate and ice sheet under the international deep ice core project at the North East Greenland Ice Stream

\*東 久美子<sup>1,2</sup>、川村 賢二<sup>1,2</sup>、藤田 秀二<sup>1,2</sup>、奥野 淳一<sup>1,2</sup>、阿部 彩子<sup>3</sup>、グレーベ ラルフ<sup>4</sup>、齋藤 冬樹<sup>5</sup>、本間 智之<sup>6</sup>、東 信彦<sup>6</sup>、榎本 浩之<sup>1,2</sup>、本山 秀明<sup>1,2</sup>、Dahl-Jensen Dorthe<sup>7</sup>

\*Kumiko Goto-Azuma<sup>1,2</sup>, Kenji Kawamura<sup>1,2</sup>, Shuji Fujita<sup>1,2</sup>, Jun'ichi Okuno<sup>1,2</sup>, Ayako Abe-Ouchi<sup>3</sup>, Ralf Greve<sup>4</sup>, Fuyuki SAITO<sup>5</sup>, Tomoyuki Homma<sup>6</sup>, Nobuhiko Azuma<sup>6</sup>, Hiroyuki Enomoto<sup>1,2</sup>, Hideaki Motoyama<sup>1,2</sup>, Dorthe Dahl-Jensen<sup>7</sup>

1.国立極地研究所、2.総合研究大学院大学、3.東京大学、4.北海道大学、5.海洋研究開発機構、6.長岡技術科学大学、7.コペンハーゲン大学

1.National Institute of Polar Research, 2.SOKENDAI, 3.University of Tokyo, 4.Hokkaido University, 5.JAMSTEC, 6.Nagoka University of Technology, 7.University of Copenhagen

グリーンランド氷床は、近年、夏期の融解が内陸部まで及んだり、海への氷の流出量が増加するなど、急激な変化を示している。グリーンランド氷床の変動は、海水準変動にも直接関わるため、そのメカニズムの解明が急務となっている。グリーンランドで掘削された氷床コアを解析することにより、過去の氷床表面融解や表面質量収支の変化に関する情報が得られているが、それだけでなく、最近ではグリーンランドの多地点で掘削された氷床コアの解析データを統合し、モデル研究と組み合わせることにより、過去の氷床高度を復元することが可能になってきた。しかし、これまでのグリーンランド氷床コア掘削は、掘削地点での気候・環境変動の復元を目的としており、可能な限り水平方向の流動速度が小さい地点で掘削を行なっていたため、氷床流動についての詳細な情報を得ることができなかった。

氷床の底面滑りや氷の変形メカニズムの解明は、グリーンランド氷床の変動予測、更には海水準変動予測に不可欠であるため、デンマークのコペンハーゲン大学が中心となって、グリーンランド氷床変動の研究を第一の目的とする東グリーンランド深層氷床掘削プロジェクト（EGRIP計画）が立案された。EGRIP計画では、グリーンランド最大の氷流である「北東グリーンランド氷流（North East Greenland Ice Stream）」の上流部で掘削を行う計画である。水平方向の流動速度が年間数十メートルと推定されているEGRIP地点<sup>1</sup>での氷床コア掘削・解析が実現できれば、氷床流動についての新たな知見が得られると期待できる。EGRIP計画の第二の目的は、完新世初期の詳細な気候・環境変動を復元することである。この時代は現在よりも温暖であったと推定されており、温暖化した将来の地球の気候・環境を予測するためのヒントとなる時代であるが、これまで詳細な分析データがなかったため、EGRIP計画により詳細な研究を実施する。更に、最終氷期に生じた急激な気候変動のメカニズムについても研究を行う計画である。

現在のところ、デンマーク、日本、アメリカ、ドイツ、ノルウェー、フランス、スイスがEGRIPに参加する予定である。2015年4月にEGRIP掘削地点で掘削を実施するための設営作業を開始し、2015年から掘削開始を予定している。EGRIP地点で岩盤までのアイスコア掘削、掘削孔の観測、底面の物質と融解水の採取、またEGRIP及びその周辺地域で測量及び氷床表面流速の観測等を計画している。掘削したアイスコアは、EGRIPで現場解析を実施すると共に、各国へ持ち帰ったサンプルを用いた様々な分析を実施する。また、現場観測とアイスコアの分析だけでなく、氷床モデル、気候モデルの研究も計画している。2015年10月末にコペンハーゲンで第1回EGRIP運営会議が開催され、掘削・観測の年次計画概要が示された他、各国の研究計画が提案された。また、EGRIPコアやEGRIPでの観測に関連した研究を実施するため、分野ごとのコンソーシアムが置かれることが決まった。JpGUではEGRIPの研究計画やプロジェクトの進行状況に関する最新情報について報告を行う。

キーワード：EGRIP、グリーンランド、アイスコア

Keywords: EGRIP, Greenland, Ice core

## 南極観測における今後6カ年のアイスコア関連計画

Japanese glaciological activity in Antarctica for the next six years (JARE Phase IX)

\*川村 賢二<sup>1</sup>、本山 秀明<sup>1</sup>、東 久美子<sup>1</sup>、藤田 秀二<sup>1</sup>、ドームふじ アイスコアコンソーシアム\*Kenji Kawamura<sup>1</sup>, Hideaki Motoyama<sup>1</sup>, Kumiko Goto-Azuma<sup>1</sup>, Shuji Fujita<sup>1</sup>, Dome Fuji Ice Core Consortium

1.情報・システム研究機構 国立極地研究所

1.National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems

ドームふじ深層氷床コアは72万年間をカバーし、現在までその解析が進められてきた。第VIII期南極地域観測事業においては重点研究観測のひとつとして「氷期-間氷期サイクルから見た現在と将来の地球環境」を実施し、第2期ドームふじコアの持ち帰りや浅層・中層コア掘削、広域雪氷観測等を進めた。

日本も参加しているアイスコア研究の国際組織IPICS (PAGES, SCAR, IACSが支援する、アイスコア研究者・設営関係者で構成される組織)では、最重要の科学目標の一つとして、氷期-間氷期サイクルの卓越周期が変化した時代をカバーする150万年のアイスコアの掘削を挙げている。我々としては、この目的に沿って現ドームふじ基地近傍における次期掘削の検討を開始し、地上レーダー探査による底面環境の調査と掘削候補地域の大まかな選定を行ってきた。

第IX期(2016年度から6年間)には、新たな深層コア掘削点を探るための雪氷学的調査を実施したうえで、掘削点を選定し、深層掘削につながるパイロット孔掘削から500m級の深度まで掘削することを目的とする。また、第2期ドームふじ深層コアの一部はドームふじ基地に保管されており、当該コアの研究推進のためその早期持ち帰りが必須である。

本発表では、内陸以外の観測や最新の国際状況のアップデート等も紹介する。

キーワード：南極地域観測事業、気候変動、アイスコア

Keywords: Japanese Antarctic Research Expedition, Climate change, Ice core

南極内陸ドームふじ次期氷床深層アイスコア掘削計画での「最古の氷」掘削地点の選定  
Determination of the ice drilling site in the next deep ice coring project of the "oldest ice" at Dome Fuji

\*藤田 秀二<sup>1,2</sup>、川村 賢二<sup>1,2</sup>、東 久美子<sup>1,2</sup>、本山 秀明<sup>1,2</sup>、ドームふじ アイスコアコンソーシアム<sup>3</sup>

\*Shuji Fujita<sup>1,2</sup>, Kenji Kawamura<sup>1,2</sup>, Kumiko Goto-Azuma<sup>1,2</sup>, Hideaki Motoyama<sup>1,2</sup>, . Dome Fuji Ice Core Consortium<sup>3</sup>

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 複合科学研究科 極域科学専攻、3.ドームふじアイスコアコンソーシアム

1.National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems(ROIS),  
2.The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI) , 3.Dome Fuji Ice Core Consortium

国立極地研究所を中心とした日本の氷床アイスコアの研究グループは、第IX期(2016~)およびそれ以降の南極地域観測事業のなかで、南極ドームふじ近傍において80万年(現存最古のドームCコア)を大きく超える年代のアイスコア(仮称:第3期ドームふじ氷床コア)の掘削につながる諸活動を実施する。今後の観測のなかでは、掘削候補地域における氷床表面及び内部層、底面状態の精緻な調査を行い、深層掘削地点を選定し、その上で深層コアの取得に向けたパイロット孔掘削とケーシング、浅層~中層深度までの深層ドリルによる掘削を目的としている。より古い氷に到達するための掘削地点の選定にかかる条件を以下に列挙する。

(i) 氷床底面が凍結していること。

(ii) 氷床の流動によって層位が乱されることなく底面付近の氷床の層構造が維持されていること。

(iii) 氷期・間氷期にわたって表面質量収支が概ね正であること。

(i)の条件を満たすには、南極内陸部では氷床下に高地が存在する必要がある。東南極内陸部ドームふじ近傍では、氷床の厚さが概ね2850mより薄いとき、氷床底面が凍結していることが観測により明らかにしてきた。南極ドームふじの南方約50kmに、氷床の厚さが概ね2200mの地域があり、その底面は凍結していることをこれまで明らかにした。(ii)の条件を満たすには、現在の氷床頂部に近い地理的位置である必要がある。南極ドームふじの南方約50kmは、その条件を満たす。80万年を大きく超える古さの氷の層は、氷床底面付近の5%程度の厚さに圧縮されていると考えられるため、そうした氷の存在条件やレオロジーを調べることも今後のアイスコア掘削調査の目的となる。(iii)の条件に関しては、氷床探査レーダーの内部層の状況から概ね満たされることを確認している。

掘削候補地点については、1997年より既に予備的な調査を行っていた。これまでの調査によって掘削候補地点を絞り込み、その地点での氷床浅層コアの掘削をおこなってきた。今後、候補地点近傍の数キロメートル四方の領域についてさらに詳細な基盤地形調査をおこない、最終的な深層掘削候補地点を決定する。

キーワード：南極、氷床、アイスコア

Keywords: Antarctica, ice sheet, ice core

## 第57次南極地域観測隊による氷床沿岸でのアイスコア掘削と周辺観測の報告

Ice core drilling and related observations by Jare57 in 2015/2016 austral summer on the coastal region of Antarctic ice sheet

\*本山 秀明<sup>1,2</sup>、川村 賢二<sup>1,2</sup>、櫻井 俊光<sup>1</sup>、須藤 健司<sup>2</sup>、荒井 美穂<sup>3</sup>、鈴木 利孝<sup>3</sup>

\*Hideaki Motoyama<sup>1,2</sup>, Kenji Kawamura<sup>1,2</sup>, Toshimitsu Sakurai<sup>1</sup>, Kenji Sudo<sup>2</sup>, Miho Arai<sup>3</sup>, Toshitaka Suzuki<sup>3</sup>

1.情報・システム研究機構 国立極地研究所、2.総研大、3.山形大学

1.National Institute of Polar Research, 2.Sokendai, 3.Yamagata University

We were carried out an ice core drilling on the coastal region of Antarctic ice sheet as a part of the 57th of Japanese Antarctic Research Expeditions (2015/2016 of austral summer). We selected the H128 site for drill site (69.40S, 41.55E, 1,380m a.s.l . 100km inland from the coast). Advantages of H128 site were as below; high time resolution, few changes of annual snow accumulation rates, low annual mean temperature (10m depth ice temperature) -24 C. We finally drilled to 260m in depth. We will be able to analyze the climate changes of past 2000 years. Firn air samplings were also carried out. We also conducted the borehole logging, snow pit observation, setup of automatic weather station.

キーワード：南極氷床、アイスコア掘削、フィルンエアサンプリング

Keywords: Antarctic ice sheet, ice core drilling, firn air sampling

中世温暖期から小氷期にかけてのNGRIPアイスコア中の有機エアロゾルトレーサー記録  
Organic aerosol tracer records in NGRIP ice core during the period from MCA to LIA

\*関 宰<sup>1</sup>、山下 洋平<sup>2</sup>、河村 公隆<sup>1</sup>、小端 拓郎<sup>4</sup>、東 久美子<sup>3</sup>

\*Osamu Seki<sup>1</sup>, Yohei Yamashita<sup>2</sup>, Kimitaka Kawamura<sup>1</sup>, Takuro Kobashi<sup>4</sup>, Kumiko Azuma<sup>3</sup>

1.北海道大学低温科学研究所、2.北海道大学地球環境科学院、3.国立極地研究所、4.ベルン大学

1.Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 2.Faculty of Environmental Earth Science, 3.National Institution for Polar Research, 4.University of Bern

Secondary organic aerosol (SOA) formed by the photooxidation of biogenic volatile organic compounds (BVOCs) and biomass burning organic aerosol are major components of organic aerosol in the atmosphere. Those aerosols are thought to play an important role in atmospheric chemistry and physics, as well as regional and global climate via direct and indirect effects on radiative balance. However, substantial impact of those aerosols on the Earth's climate remains unclear. To better understand the substantial role of those aerosols in the climate system, it is vital to investigate long-term variability of those aerosol components and property in a past. Here we for the first time report biogenic SOA- and biomass burning- (levoglucosan) tracers and UV absorption spectra of organic matter in ice cores from Greenland ice core (NGRIP) during the period from Medieval Climate Anomaly (MCA) to Little Ice Age (LIA). We find that the concentrations and composition of biogenic SOA- and biomass burning- tracers relate to climate with increases in the organic aerosol concentrations during MCA. On the other hand, UV absorption spectra of organic matter in NGRIP ice core also drastically changes associated with climate change. These results suggest dramatic changes in source, loading and property of organic aerosol from the warm MCA to cold LIA.

キーワード：アイスコア、有機エアロゾル、中世温暖期、小氷期

Keywords: ice core, organic aerosol, Medieval Climate Anomaly, Little Ice Age

グリーンランドNEEM氷床コアと南極Dome Fuji氷床コアから復元された完新世におけるメタン濃度  
 CH<sub>4</sub> concentrations during the Holocene reconstructed from the NEEM (Greenland) and Dome  
 Fuji (East Antarctica) ice cores

\*大藪 幾美<sup>1</sup>、川村 賢二<sup>1</sup>、北村 享太郎<sup>1</sup>、青木 周司<sup>2</sup>、中澤 高清<sup>2</sup>、Edward Brook<sup>3</sup>、Thomas Blunier<sup>4</sup>

\*Ikumi Oyabu<sup>1</sup>, Kenji Kawamura<sup>1</sup>, Kyotaro Kitamura<sup>1</sup>, Shuji Aoki<sup>2</sup>, Takakiyo Nakazawa<sup>2</sup>, Edward J Brook<sup>3</sup>,  
 Thomas Blunier<sup>4</sup>

1.情報・システム研究機構 国立極地研究所、2.東北大学、3.Oregon State University、4.Centre for Ice  
 and Climate, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen

1.National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, 2.Tohoku  
 University, 3.Oregon State University, 4.Centre for Ice and Climate, Niels Bohr Institute,  
 University of Copenhagen

Methane (CH<sub>4</sub>), the second most important anthropogenic greenhouse gas, has increased in the atmosphere by a factor 2.5 since the onset of the Industrial Revolution, which account for ~20% of the total increase in radiative forcing over that time<sup>[1]</sup>. Ice cores from both polar regions preserve the past atmospheric CH<sub>4</sub>, and thus have the potential to constrain the changes in CH<sub>4</sub> concentration difference between the polar regions. The inter polar difference of CH<sub>4</sub> is one of the approaches to understand the evolution of CH<sub>4</sub> budget and its relationship with climate. To reconstruct the CH<sub>4</sub> inter polar difference during the Holocene, we have been measuring CH<sub>4</sub> concentrations in the NEEM (Greenland) and Dome Fuji (Antarctica) ice cores over the period from 200 to 14500 years before present (yr BP), with a mean time resolution of ~50 years. Since most of this time period is overlapping with the brittle zone in the Greenland core, it is challenging to reconstruct accurate CH<sub>4</sub> concentration during the Holocene from the NEEM ice core.

Ice samples without visible cracks were carefully selected from the NEEM and Dome Fuji ice cores. We employed a newly established wet extraction system (an improved version of ref. 2) the National Institute of Polar Research, with a typical sample size of ~80 g (ice). The air released from ice was first collected into a sample tube (electropolished stainless steel tube with a metal-seal valve), and then it was split into two aliquots. One aliquot was measured by a gas chromatograph (Agilent Technologies 7890A) for CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O concentrations, and the other was measured by a mass spectrometer (Thermo DELTA V Plus) for δ<sup>15</sup>N of N<sub>2</sub>, δ<sup>18</sup>O of O<sub>2</sub>, δ(O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>), δ(Ar/N<sub>2</sub>) and total air content. We have measured 181 samples for the NEEM ice core. Analytical precision of CH<sub>4</sub> concentration was estimated to be ±2.4 ppb from the pooled standard deviation from duplicate measurements (n=53).

Before the Holocene, the NEEM CH<sub>4</sub> concentration is relatively high (620-705 ppb) during the Bølling-Allerød, and it rapidly decreases to <500 ppb during the Younger Dryas, and then increases to ~750 ppb at the beginning of the Holocene. During the Holocene, CH<sub>4</sub> concentration first decreases to the minimum of ~610 ppb around 5000 yr BP, and it increases afterwards. Our record agrees well with a high resolution CH<sub>4</sub> concentration record from the GISP2 ice core for last 2000 years<sup>[3]</sup>, and that of the NEEM ice core measured by a CFA system between 9500 and 14500 yr BP<sup>[4]</sup>.

We completed the NEEM measurements and started the Dome Fuji measurements, and the resulting CH<sub>4</sub> inter polar difference will be deduced and discussed in the presentation.

#### References

- [1] P. Forster et al., in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon et al., Eds. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2007), pp. 131-234.  
 [2] Kawamura et al. (2003). Atmospheric CO<sub>2</sub> variations over the last three glacial-interglacial

climatic cycles deduced from the Dome Fuji deep ice core, Antarctica using a wet extraction technique. *Tellus B*, 55(2), 126-137.

[3] Mitchell et al. (2013). Constraints on the Late Holocene Anthropogenic Contribution to the Atmospheric Methane Budget. *Science*, 342(6161), 964-966.

[4] Chappellaz et al. (2013). High-resolution glacial and deglacial record of atmospheric methane by continuous-flow and laser spectrometer analysis along the NEEM ice core. *Clim. Past*, 9(6), 2579-2593.

キーワード：アイスコア、メタン、完新世、グリーンランド、南極

Keywords: Ice core, methane, Holocene, Greenland, Antarctica

氷期中のミレニアムスケールの急激な気候変動のMIROC大気海洋結合モデルによる再現  
Glacial climate states and abrupt climate change in MIROC AOGCM

\*阿部 彩子<sup>1,2,3</sup>、陳 永利<sup>1</sup>、大垣内 るみ<sup>2</sup>、川村 賢二<sup>3</sup>、吉森 正和<sup>4</sup>、岡 顕<sup>1</sup>、シェリフ多田野 サム<sup>1</sup>

\*Ayako Abe-Ouchi<sup>1,2,3</sup>, Wing-Le Chan<sup>1</sup>, Rumi Ohgaito<sup>2</sup>, Kenji Kawamura<sup>3</sup>, Masakazu Yoshimori<sup>4</sup>, Akira Oka<sup>1</sup>, Sam Sherriff-Tadano<sup>1</sup>

1.東京大学大気海洋研究所、2.海洋研究開発機構、3.国立極地研究所、4.北海道大学

1.Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2.JAMSTEC, 3.NIPR, 4.Hokkaido University

Millennial climate change such as D-O cycles and AIM recorded in ice cores in both Hemispheres is known to show a relatively higher amplitude in the middle-level of a glacial cycle than in the interglacial state or severe glacial state. Here we ran several sensitivity experiments using a coupled atmosphere and ocean GCM (MIROC4m, renamed from MIROC3.2.2) and show that the response to fresh water release to the ocean and bipolar response is highly dependent on the background climate. The experiments were conducted with 500 years water hosing of 0.05 to 0.1 Sv (where 1 Sv is equivalent to the water flux of 10m sea level rise in 100 years) in the North Atlantic 50-70N under different basic states; modern climate state with the pre-industrial condition, middle glacial climate state and full glacial condition, mainly differing in the ice sheet configuration and atmospheric amount of Greenhouse Gases. The results under middle glacial condition show largest cooling/warming response in North Atlantic and a reasonable bipolar warming/cooling signal revealed in the ice core data of the both hemisphere. We discuss the responses under different background climates which involve the strong coupling between atmosphere, ocean and sea ice and their dependence on the configuration of ice sheet.

キーワード：古気候、気候モデル

Keywords: Paleoclimate, Climate Model



アイスコアと堆積物の<sup>10</sup>Beが示す17~20万年前の長周期太陽変動

Long-term periodicities in solar activity between 170 and 200 kyr ago reconstructed from <sup>10</sup>Be in ice-core and sediment archives

\*堀内 一穂<sup>1</sup>、鎌田 佳苗<sup>1</sup>、前島 舜<sup>1</sup>、佐々木 祥<sup>1</sup>、佐々木 宣欣<sup>1</sup>、山崎 俊嗣<sup>2</sup>、藤田 秀二<sup>3</sup>、本山 秀明<sup>3</sup>、松崎 浩之<sup>4</sup>

\*Kazuho Horiuchi<sup>1</sup>, Kanae Kamata<sup>1</sup>, Shun Maejima<sup>1</sup>, Sho Sasaki<sup>1</sup>, Nobuyoshi Sasaki<sup>1</sup>, Toshitsugu Yamazaki<sup>2</sup>, Shuji Fujita<sup>3</sup>, Hideaki Motoyama<sup>3</sup>, Hiroyuki Matsuzaki<sup>4</sup>

1.弘前大学大学院理工学研究科、2.東京大学大気海洋研究所、3.国立極地研究所、4.東京大学総合研究博物館  
1.Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University, 2.The Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3.National Institute of Polar Research, 4.The University Museum, The University of Tokyo

Centennial to millennial periodicities of past solar activity in the Holocene epoch have been well investigated by using cosmogenic-nuclides records from tree-ring (<sup>14</sup>C) and ice-core (<sup>10</sup>Be) archives. However, those of the older ages are quite unclear because high-resolution records of cosmogenic nuclides are scarce. We obtained multiple high-resolution <sup>10</sup>Be records (atmospheric <sup>10</sup>Be flux and authigenic <sup>10</sup>Be/<sup>9</sup>Be ratio) of 170–200 kyr ago, the period that includes the Iceland Basin geomagnetic excursion interval (Horiuchi et al., in press). Strong consistency among the records enables us to construct a robust <sup>10</sup>Be stack of this interval. A wavelet analysis of the stacked record reveals 4-kyr and 8-kyr periodicities, both of which can be interpreted as intrinsic geomagnetic cycles. We also found a cycle of 1.7 kyr in the <sup>10</sup>Be stack record, but it is significant only near the <sup>10</sup>Be maximum (the minimum of the geomagnetic paleointensity). A relative enhancement of solar modulation in <sup>10</sup>Be production is predicted with reduced paleointensity (Masarik and Beer, 1999; Beer et al., 2012). Therefore, it is possible to attribute this cosmogenic 1.7-kyr cycle to the long-term solar cycle that is identified in this period. The wavelet spectrum of the highest-resolution <sup>10</sup>Be record (obtained from the Dome Fuji ice core) shows more a detailed structure than the stacked record. The 4- and 1.7-kyr cycles show similar tendencies to, and are clearer than, those of the stack. The spectrum also shows somewhat intermingled multi-centennial (0.3, 0.5 and 0.7 kyr) cycles around the maxima of <sup>10</sup>Be, which likely represent solar cycles in this period (note: 200-yr Suess/de Vries cycle is under the detection limit of our record). On the other hand, the 2.2–2.4-kyr Hallstatt cycle and 1-kyr Eddy cycle, which are frequently documented in Holocene cosmogenic records, are not dominant in our records.

ドームふじアイスコアの $^{10}\text{Be}$ 分析による単年宇宙線イベントの調査Research of annual cosmic ray events using  $^{10}\text{Be}$  in the Dome Fuji ice core\*三宅 芙沙<sup>1</sup>、増田 公明<sup>1</sup>、堀内 一穂<sup>2</sup>、本山 秀明<sup>3</sup>、松崎 浩之<sup>4</sup>、望月 優子<sup>5</sup>、高橋 和也<sup>5</sup>、中井 陽一<sup>5</sup>\*Fusa Miyake<sup>1</sup>, Kimiaki Masuda<sup>1</sup>, Kazuho Horiuchi<sup>2</sup>, Hideaki Motoyama<sup>3</sup>, Hiroyuki Matsuzaki<sup>4</sup>, Yuko MOTIZUKI<sup>5</sup>, Kazuya Takahashi<sup>5</sup>, Yoichi Nakai<sup>5</sup>

1.名古屋大学宇宙地球環境研究所、2.弘前大学理工学部、3.国立極地研、4.東京大学総合研究博物館 MALT、5.理研

1.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, 2.Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University, 3.National Institute of Polar Research, 4.MALT, University Museum, University of Tokyo, 5.RIKEN

$^{14}\text{C}$ や $^{10}\text{Be}$ などは、地球外からの宇宙線によって大気中で生成される（宇宙線生成核種）。 $^{14}\text{C}$ は樹木年輪へ、 $^{10}\text{Be}$ は氷床コアへ蓄積されるため、 $^{14}\text{C}$ や $^{10}\text{Be}$ の濃度を調べることで過去の宇宙線強度を知ることができる。

年輪中 $^{14}\text{C}$ の単年測定によって発見された宇宙線イベント（775年、993年or994年）は、南極・グリーンランドのアイスコア中 $^{10}\text{Be}$ 単年測定によってその存在が確認されている。我々は南極ドームふじアイスコアを用いた単年 $^{10}\text{Be}$ 分析を行い、宇宙線イベントの検出を行った。本稿では、 $^{10}\text{Be}$ 測定結果の詳細や、 $^{14}\text{C}$ と比較した議論を行う。

キーワード：宇宙線生成核種、単年宇宙線イベント

Keywords: cosmogenic nuclide, annual cosmic ray event

## 顕微ラマン分光法による南極ドームふじ氷床コア中の硫酸微液胞の発見

Micro-droplets containing sulfate in the Dome Fuji deep ice core, Antarctica: Findings using micro-Raman spectroscopy

\*櫻井 俊光<sup>1,2</sup>、大野 浩<sup>3</sup>、本山 秀明<sup>1</sup>、内田 努<sup>4</sup>

\*Toshimitsu Sakurai<sup>1,2</sup>, Ohno Hiroshi<sup>3</sup>, Hideaki Motoyama<sup>1</sup>, Tsutomu Uchida<sup>4</sup>

1.国立極地研究所、2.北海道大学低温科学研究所、3.北見工業大学社会環境工学科、4.北海道大学工学院

1.National Institute of Polar Research, 2.Institute of Low Temperature Science, Hokkaido

University, 3.Department of Civil and Environmental Engineering, Kitami Institute of Technology,

4.Graduate School of Engineering, Hokkaido University

Climatic signals in deep ice cores, particularly from ion concentrations, may be affected by the diffusion of liquid solution along grain boundaries of ice. Such solutions include sulfates. Because of the difficulty of detecting sulfate liquids in the ice matrix, we must infer the phase state of the sulfates from the ice temperature and inclusion properties. In this study, we use micro-Raman spectroscopy to determine the phase state of three sulfate micro-inclusions in the Dome Fuji ice core at 2798.5-m depth. Using a temperature-ramp test, we find a peak position at  $984\text{ cm}^{-1}$  and a change in the full width at half maximum (FWHM) of the S-O stretching mode that identifies the sulfate in the micro-droplets. Considering the peak position and FWHM of sulfate inclusions, we argue that the sulfate would have existed as a micro-droplet liquid on an air hydrate in the ice. Additionally, the increase in the low frequencies of the Raman spectrum below  $30\text{ cm}^{-1}$  that we detect can be generally used to identify liquids in natural ice. Our investigation also indicates that the surface of air-hydrates in ice is a preferred location for liquid micro-inclusions. The importance of this finding will be discussed.

## 天山山脈グリゴリア氷帽アイスコア中に観察された特異な炭酸塩鉱物層

Carbonate mineral particles observed in a layer of an ice core drilled from Grigoriev ice cap in Kyrgyz Tianshan, Central Asia

\*竹内 望<sup>1</sup>、藤田 耕史<sup>2</sup>、Aizen Vladimir<sup>3</sup>

\*Nozomu Takeuchi<sup>1</sup>, Koji Fujita<sup>2</sup>, Vladimir Aizen<sup>3</sup>

1.千葉大学、2.名古屋大学、3.アイダホ大学

1.Chiba University, 2.Nagoya University, 3.University of Idaho

2007年天山山脈グリゴリア氷帽(4600m)の頂上部で、深さ約87mの岩盤まで達するアイスコアを掘削した。本研究では、そのアイスコア中に見られた特異的に炭酸塩鉱物が大量に含まれる層について報告する。アイスコア中には、多数の茶色いダスト層が含まれており、顕微鏡観察からそのダスト層はどれも珪酸塩鉱物の粒子で構成されていた。一方、表面から深さ53.5 mの層に、顕微鏡観察から他の層の鉱物粒子とは明らかに異なる透明な粒子が大量に含まれていることが明らかになった。電子顕微鏡(SEM)による観察と分析の結果、この粒子は炭酸塩鉱物であること、他のダスト層にみられるような珪酸塩鉱物はわずかしが含まれていないことがわかった。さらにその層では、酸素安定同位体比が厚さ10cmに渡って約6%の低下が見られ、溶存化学成分も濃度が数倍の上昇がみられた。花粉を使った年代決定から、この層は西暦1833年に相当することがわかった。以上の結果は、この年に大量の降雪をとまなう特異なイベントが起こったことを示している。炭酸塩鉱物の起源については、はっきりしたことはわからないが、周囲の土壌に由来するものではなく、遠方の乾燥地帯で巻き上げられたものが巨大な嵐によってもたらされたものであると考えられる。

キーワード：アイスコア、炭酸塩鉱物、中央アジア

Keywords: ice core, carbonate minerals, Central Asia

テンシャン山脈グレゴリア氷河コアに含まれるシアノバクテリアの遺伝子解析と地理的分布  
Reconstructions of past cyanobacteria flora from ice core samples on Gregoriev Glacier,  
Kyrgyz Tianshan

\*瀬川 高弘<sup>1,2</sup>、米澤 隆弘<sup>3</sup>、竹内 望<sup>4</sup>

\*Takahiro Segawa<sup>1,2</sup>, Takahiro Yonezawa<sup>3</sup>, Nozomu Takeuchi<sup>4</sup>

1.新領域融合研究センター、2.国立極地研究所、3.復旦大学、4.千葉大学

1.Research organization of information and systems, Transdisciplinary research integration center,  
2.National Institute of Polar Research, 3.Fudan University, 4.Chiba University

Cryoconite, a microbe-mineral aggregate found on glaciers worldwide is formed by the action of microbial phototrophs, principally Cyanobacteria.

The species composition of cyanobacteria in the ice cores could reflect the environmental condition at that time. Thus, these microorganisms in ice cores could be useful to reconstruct past environments. Despite the ecological importance in glacial environments, the phylogeographic distributions and genetic structures of glacial cyanobacteria are still highly limited.

We report results of cyanobacterial species and their evolution by molecular DNA analysis collected from the ice core samples collected on Gregoriev Glacier, Kyrgyz Tianshan. We reconstruct the organisms and their interactions within the community and with the environment on the sampled sites. We also present detailed pictures of cyanobacterial distribution patterns on glaciers over the Arctic, Antarctic, and Asian high mountains combination of 16S rRNA and 16S-23S internal transcribed spacer (ITS) regions. The results implied cyanobacteria could migrate across Asian glaciers for the last 10,000 years.

キーワード：氷河、アイスコア、遺伝子、シアノバクテリア

Keywords: glacier, ice core, DNA, cyanobacteria

## 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<sup>1</sup>、末吉 哲雄<sup>1</sup>、渡邊 達也<sup>2</sup>、池田 敦<sup>3</sup>、榎本 浩之<sup>1</sup>

\*Tomotaka Saruya<sup>1</sup>, Tetsuo Sueyoshi<sup>1</sup>, Tatsuya Watanabe<sup>2</sup>, Atsushi Ikeda<sup>3</sup>, Hiroyuki Enomoto<sup>1</sup>

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、含氷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<sup>1</sup>、陶山 佳久<sup>2</sup>、伊村 智<sup>1</sup>、本山 秀明<sup>1</sup>

\*Fumio Nakazawa<sup>1</sup>, Yoshihisa Suyama<sup>2</sup>, Satoshi Imura<sup>1</sup>, Hideaki Motoyama<sup>1</sup>

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<sup>1</sup>、竹内 望<sup>1</sup>、若林 梢<sup>1</sup>、石田 依子<sup>1</sup>、Li Zhongqin<sup>2</sup>

\*Kenshiro Miyauchi<sup>1</sup>, Nozomu Takeuchi<sup>1</sup>, Kozue Wakabayashi<sup>1</sup>, Yoriko Ishida<sup>1</sup>, Zhongqin Li<sup>2</sup>

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<sup>1,2</sup>、Frédéric Parrenin<sup>3,4</sup>、阿部 彩子<sup>5,6</sup>、川村 賢二<sup>1,2</sup>、Masson-Delmotte Valérie<sup>7</sup>、本山 秀明<sup>1,2</sup>、齋藤 冬樹<sup>5</sup>、Severi Mirko<sup>8</sup>、Stenni Barbara<sup>9</sup>、植村 立<sup>10</sup>、Wolff Eric<sup>11</sup>

\*Shuji Fujita<sup>1,2</sup>、Frédéric Parrenin<sup>3,4</sup>、Ayako Abe-Ouchi<sup>5,6</sup>、Kenji Kawamura<sup>1,2</sup>、Valérie Masson-Delmotte<sup>7</sup>、Hideaki Motoyama<sup>1,2</sup>、Fuyuki SAITO<sup>5</sup>、Mirko Severi<sup>8</sup>、Barbara Stenni<sup>9</sup>、Ryu Uemura<sup>10</sup>、Eric W Wolff<sup>11</sup>

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<sup>1</sup>、阿部 彩子<sup>2,1</sup>

\*Takashi Obase<sup>1</sup>, Ayako Abe-Ouchi<sup>2,1</sup>

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 Chan<sup>1</sup>, Ayako Abe-Ouchi<sup>1,2</sup>, Ryouta O'ishi<sup>1,3</sup>, Kunio Takahashi<sup>2</sup>

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<sup>1,2</sup>、阿部 彩子<sup>1,2</sup>

\*Sam Sherriff-Tadano<sup>1,2</sup>, Ayako Abe-Ouchi<sup>1,2</sup>

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