

デジタル画像処理を用いたキルギス天山山脈グレゴリア氷帽アイスコアの氷結晶粒径に関する研究  
Digital-image processing to analyze grain size variation in ice core from Gregoriev Ice Cap, Kyrgyz Tien Shan

松橋 勇太<sup>1\*</sup>; 藤田 耕史<sup>1</sup>; 竹内 望<sup>2</sup>; ウラジミール B アイゼン<sup>3</sup>  
MATSUHASHI, Yuta<sup>1\*</sup>; FUJITA, Koji<sup>1</sup>; TAKEUCHI, Nozomu<sup>2</sup>; VLADIMIR B, Aizen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学大学院, <sup>2</sup>千葉大学, <sup>3</sup>アイダホ大学  
<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>Chiba University, <sup>3</sup>University of Idaho

極域の氷床アイスコア中の氷結晶粒径の成長は、ダストなどの不純物が多く含まれることにより阻害されることが知られている。一方、中緯度の氷河で得られたアイスコアに含まれる不純物濃度は、氷床アイスコアと比較して高い濃度を示すことが知られているが、氷結晶粒径の成長に対して、どのような影響を及ぼしているかについてはわかっていない。本研究では、2007年にキルギス天山山脈グレゴリア氷帽にて掘削されたアイスコアを用い、中緯度地域における氷結晶粒径の成長と不純物の関係を明らかにすることを目的とした。

本研究では、アイスコアから薄片(0.4mm厚)を作成し、薄片に対する偏光板の角度を変えた(0°、30°、60°)、3枚の画像を撮影した。結晶粒界を画像処理により自動抽出するため、薄片写真の2値化画像を作製し、さらに写真のコントラスト、RGBを調節した画像を複数枚重ねることで、すべての結晶粒界を抽出することができた。これらの手順により、目視よりも短時間で精度よく結晶粒界を抽出することが可能となった。このようにして得られた結晶粒界から粒径を自動算出し、ダストなどの濃度と比較を行う。

発表では、解析手法の紹介とともに、ダスト濃度と比較した結果を報告する。

キーワード: アイスコア, 結晶粒径, グレゴリア氷帽  
Keywords: ice core, grain size, Grigoriev ice cap

## 南極の異なる堆積環境下における主要イオン濃度の堆積後の変化 Post-depositional alteration of major ions under different accumulation environment in Antarctica

保科 優<sup>1\*</sup>; 藤田 耕史<sup>1</sup>; 飯塚 芳徳<sup>2</sup>; 本山 秀明<sup>3</sup>  
HOSHINA, Yu<sup>1\*</sup>; FUJITA, Koji<sup>1</sup>; IIZUKA, Yoshinori<sup>2</sup>; MOTOYAMA, Hideaki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>北海道大学低温科学研究所, <sup>3</sup>国立極地研究所

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, <sup>3</sup>National Institute of Polar Research

Major soluble ions and water stable isotopes are important for reconstructing paleo-environment and atmosphere circulation. It is also known that ion and isotope signals are modified after deposition if firn or ice core samples are analyzed at high temporal resolution such as seasonal scale. In inland Antarctica, we revealed that low accumulation rates have resulted in significant post-depositional modification of ions and isotopes due to long time exposure of snow near the surface.

We further investigated relation between major ion concentration and accumulation rate using a several snow pits and firn cores taken from east and west Antarctica. To exclude the geographical factor (east or west), we analyzed correlations with ions against oxygen stable isotope. Correlations of sea salt against oxygen stable isotope are gradually changed from no correlations under higher accumulation sites near coast to more negative correlations under dry environment in inland. On the other hand, correlations of MSA (methanesulfonic acid) against oxygen stable isotope rapidly are changed from positive to negative correlations at  $100 \text{ kg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  of accumulation sites. Those different trends suggest different mechanisms of post-depositional modification for these ion species.

キーワード: 南極, アイスコア

Keywords: Antarctica, ice core

## NGRIP と GISP2 氷床コアから見る過去 2000 年のグリーンランドの気温変動 Greenland temperature variability over the past 2000 years inferred from NGRIP and GISP2 ice cores

小端 拓郎<sup>1\*</sup>; 東 久美子<sup>1</sup>; 川村 賢二<sup>1</sup>; Vinther Bo<sup>2</sup>; Blunier Thomas<sup>2</sup>; Box Jason<sup>3</sup>; Buizert Christo<sup>4</sup>; Muto Atsuhiko<sup>5</sup>; White James<sup>6</sup>

KOBASHI, Takuro<sup>1\*</sup>; GOTO-AZUMA, Kumiko<sup>1</sup>; KAWAMURA, Kenji<sup>1</sup>; VINTHER, Bo<sup>2</sup>; BLUNIER, Thomas<sup>2</sup>; BOX, Jason<sup>3</sup>; BUIZERT, Christo<sup>4</sup>; MUTO, Atsuhiko<sup>5</sup>; WHITE, James<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> コペンハーゲン大学, <sup>3</sup> デンマーク・グリーンランド地質調査所, <sup>4</sup> オレゴン州立大学, <sup>5</sup> ペンシルバニア州立大学, <sup>6</sup> コロラド大学ボルダー

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Copenhagen University, <sup>3</sup>Geological Survey of Denmark and Greenland, <sup>4</sup>Oregon State University, <sup>5</sup>Pennsylvania state University, <sup>6</sup>University of Colorado at Boulder

グリーンランドの気温変動の理解は、将来の氷床変動予測をするうえで欠かせない。しかし、これまで数十年から百年規模の変動を知ることは非常に難しかった。そこで、氷床コア中の気泡のアルゴンと窒素を使うことにより表面の気温を復元する手法を開発した (Kobashi et al., 2010; Kobashi et al., 2011)。これまでこの手法は、GISP2 コアのみに適応されていたが、本研究では NGRIP のアルゴン・窒素を使った過去 2000 年の気温復元データを紹介する。

これまでの先行研究では 300 キロ離れた GISP2 と NGRIP コアの過去 2000 年の酸素同位体比と積雪量には相関がなかったため、この二つの地点の数十年から百年の気温変動にどの程度関連があるかに関しては全く分からなかった。しかし、窒素とアルゴン同位体比から、復元した気温変動には、統計的に有意で高い相関があることが分かった。また、本研究では、アルゴン・窒素を使った気温復元 (フォワードモデル) のほかにも、掘削孔の気温データのみを使った気温復元、インバースモデルモデルを用いた復元、酸素同位体比を使った気温復元など、いくつかの手法を用いて過去 2000 年の気温復元を行い、現実起こった過去 2000 年の気温変動を最も信頼性高く評価することを試みる。

Kobashi, T., Severinghaus, J. P., Barnola, J. M., Kawamura, K., Carter, T., and Nakaegawa, T.: Persistent multi-decadal Greenland temperature fluctuation through the last millennium, *Climatic Change*, 100, 733-756, 2010.

Kobashi, T., Kawamura, K., Severinghaus, J. P., Barnola, J.-M., Nakaegawa, T., Vinther, B. M., Johnsen, S. J., and Box, J. E.: High variability of Greenland surface temperature over the past 4000 years estimated from trapped air in an ice core, *Geophysical Research Letters*, 38, 10.1029/2011GL049444, 2011.

キーワード: グリーンランド, 気温, アイスコア, GISP2, NGRIP, 2000 年

Keywords: Greenland, temperature, ice core, GISP2, NGRIP, 2000 years

## 過去千年気候シミュレーションにおけるグリーンランドの気温変動 Greenland temperature variations in the last millennium climate simulation

吉森 正和<sup>1\*</sup>; 阿部 彩子<sup>1</sup>

YOSHIMORI, Masakazu<sup>1\*</sup>; ABE-OUCHI, Ayako<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup> Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

A series of climate simulations of the last millennium are conducted using the MIROC climate model. These include a simulation under volcanic-only, solar-only, or total forcings. Sensitivity experiments using different strength of volcanic and solar forcings are also conducted. With these dataset, we analyze the factors that influence Greenland temperature variations during the last millennium. Attention is paid to the effect of different external forcings and changes in the atmosphere and ocean circulations such as the North Atlantic Oscillation and the Atlantic meridional overturning circulation.

## MIROC および MIROC-ESM を用いた過去 1000 年シミュレーションにおける北極域 雪氷圏の変動 The variation of the Arctic cryosphere in the Last Millennium simulation using MIROC and MIROC-ESM

末吉 哲雄<sup>1\*</sup>; 大垣内 るみ<sup>1</sup>; 吉森 正和<sup>2</sup>; 羽島 知洋<sup>1</sup>; 阿部 学<sup>4</sup>; 大石 龍太<sup>4</sup>; 岡島 秀樹<sup>1</sup>; 齋藤 冬樹<sup>1</sup>; 渡邊 真吾<sup>1</sup>; 河宮 未知生<sup>1</sup>; 阿部 彩子<sup>2</sup>

SUEYOSHI, Tetsuo<sup>1\*</sup>; OHGAITO, Rumi<sup>1</sup>; YOSHIMORI, Masakazu<sup>2</sup>; HAJIMA, Tomohiro<sup>1</sup>; ABE, Manabu<sup>4</sup>; O'ISHI, Ryouta<sup>4</sup>; OKAJIMA, Hideki<sup>1</sup>; SAITO, Fuyuki<sup>1</sup>; WATANABE, Shingo<sup>1</sup>; KAWAMIYA, Michio<sup>1</sup>; ABE-OUCHI, Ayako<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>3</sup> 国立環境研究所, <sup>4</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup> Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo,

<sup>3</sup> National Institute for Environmental Studies, <sup>4</sup> National Institute of Polar Research

### 1. はじめに

本研究では、大気海洋結合モデル MIROC および地球システム統合モデル MIROC-ESM を用いた過去 1000 年再現実験 (Last Millennium Experiment: 以後 LM と略記) の結果を解析し、モデルで再現される雪氷圏の応答を解析する。この実験で扱う西暦 850 年以降の期間には、ヨーロッパ地域が中世にやや温暖だったとされる「中世温暖期」や、ほぼ全球的に寒冷な気候が続いたとされる「小氷期」が含まれ、積雪・降雪などを中心にどのようなシグナルが見られるかに注目する。

### 2. モデルと境界条件

#### 2.1 モデルの構成

本研究で用いるモデルは、東京大学・海洋研究開発機構・国立環境研究所を中心に継続的に開発が行われている大気海洋結合大循環モデル MIROC を地球システムモデル化した、MIROC-ESM) である。水平解像度 T42 (2.8 $\sigma$  格子)・80 層の大気モデルと中解像度 (0.5-1 $\sigma$  × 1.4 $\sigma$ ) の海洋モデルをベースに、6 層 14m の 1 次元陸面モデル MATSIRO、陸上動態植生モデル SEIB-DGVM、エアロゾル輸送モデル SPRINTARS、及び海洋生態系モデルを統合したものである。陸面モデルでは、雪面・氷床上での融解水によるアルベド低下、並びにダストおよびブラックカーボンの沈着によるアルベド低下を考慮している。

#### 2.2 初期値と境界条件

実験設定は Paleoclimate Modelling Intercomparison Project Phase III (PMIP3) の仕様に従い、西暦 850 年から西暦 2000 年まで、時間変化する境界条件を与えて時間発展問題として実施した。与える境界条件は軌道要素、太陽の日射量変動、火山活動の影響、温室効果ガス濃度が含まれる。ESM 実験については、大気 CO<sub>2</sub> 濃度を強制条件とせず、炭素循環コンポーネントが予報した値を大気モデルの放射過程で参照する、CO<sub>2</sub> 濃度予報実験とする。

初期値としては、大気海洋陸面とも、Preindustrial Control と呼ばれる 1850 年条件の標準実験から開始してスピンアップを行った。西暦 850 年と 1850 年では強制条件の値が似通っており、地形などの境界条件に変更はないため、60 年分のスピンアップで大気物理場が平衡に達したのちに本実験へと移行した。

### 3. 予備的な結果と今後の展望

現在 GRENE 北極環境研究によって現地観測が行われている極域の 4 地域に着目し、冬季気温、降水、降雪、降水に占める降雪の割合、地表面流出量の時系列を解析した。20 世紀後半の温暖化が顕著である一方で 19 世紀以前の変動には目立ったトレンドが見られず、年々の振幅が大きい結果となっている。降水量には変動が見られないにも関わらず積雪は減少しており、冬季の気温上昇を反映して降雪の割合が低下している結果が現れていると考えられる。

キーワード: 古気候, 気候モデル, 過去 1000 年, 雪氷圏, 気候変動

Keywords: paleoclimate, climate modelling, Last Millennium, cryosphere, climate change

## ドームふじアイスコアから得られた長期<sup>10</sup>Be記録と宇宙線層序学 A long-term <sup>10</sup>Be record from Dome Fuji ice core and cosmic-ray stratigraphy

堀内 一穂<sup>1\*</sup>; 須口 翔太<sup>1</sup>; 須田 健介<sup>1</sup>; 内田 智子<sup>2</sup>; 阿瀬 貴博<sup>3</sup>; 横山 祐典<sup>4</sup>; 村松 康行<sup>5</sup>; 松崎 浩之<sup>6</sup>; 本山 秀明<sup>7</sup>  
HORIUCHI, Kazuho<sup>1\*</sup>; SUGUCHI, Shota<sup>1</sup>; SUDA, Kensuke<sup>1</sup>; UCHIDA, Tomoko<sup>2</sup>; AZE, Takahiro<sup>3</sup>; YOKOYAMA,  
Yusuke<sup>4</sup>; MURAMATSU, Yasuyuki<sup>5</sup>; MATSUZAKI, Hiroyuki<sup>6</sup>; MOTOYAMA, Hideaki<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 弘前大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 東京工業大学大学院理工学研究科, <sup>4</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>5</sup> 学習院大学理学部, <sup>6</sup> 東京大学大学院工学系研究科, <sup>7</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University, <sup>2</sup>Institute of Geology and Paleontology, Tohoku University, <sup>3</sup>Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, <sup>4</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>5</sup>Faculty of Science, Gakushuin University, <sup>6</sup>Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, <sup>7</sup>National Institute of Polar Research

地球に到達する銀河宇宙線とその二次粒子の大気中でのフラックスは、太陽磁場と地球磁場と言う二つの遮蔽要因の時間変動に主に支配されていることが知られている。地球上では主に銀河宇宙線と大気との相互作用により生成される宇宙線生成核種 (<sup>10</sup>Be, <sup>14</sup>C, <sup>26</sup>Al, <sup>36</sup>Cl など) は、従ってこれらの磁場の強度変動に依存してその生成率を変化させる (Lal and Peters, 1967)。大気にて生成された宇宙線生成核種は、それぞれの化学種に固有な経路を経由しながら、最終的には堆積物やアイスコア及び年輪等の様々な古環境アーカイブに保存される。よって古環境アーカイブ中での宇宙線生成核種の分布を知ることで、過去の宇宙線変動を、ひいては太陽活動や地球磁場強度の変動を知ることができるとみなされている (例えば Masarik and Beer, 1999)。

一方で上記の事実は、逆方向から考えると、アーカイブ中での宇宙線生成核種の分布が、異なる古環境アーカイブ間を同期させる手段、つまり層序学的対比手段となることを意味する (堀内, 2014)。

我々は、日本の南極観測拠点から得られたドームふじアイスコアを対象にして、様々な年代スケールで宇宙線生成核種の分析を行っている。本発表では、なかでも過去 30 万年間を千年分解能で網羅する <sup>10</sup>Be 記録を主な対象とし、そこに刻まれた変動の特徴を半定量的に明らかにするとともに、実際にこれに基づいて異なる古環境アーカイブ間の対比を試みた結果を紹介する。

## 南極氷床コアと北半球海底コアの年代同期：特に40万年前の間氷期に着目して Age synchronization between an Antarctic ice core and Northern Hemisphere marine cores: with special focus on MIS 11

川村 賢二<sup>1\*</sup> ; 青木 周司<sup>2</sup> ; 中澤 高清<sup>2</sup> ; 阿部 彩子<sup>3</sup> ; 齋藤 冬樹<sup>4</sup>

KAWAMURA, Kenji<sup>1\*</sup> ; AOKI, Shuji<sup>2</sup> ; NAKAZAWA, Takakiyo<sup>2</sup> ; ABE-OUCHI, Ayako<sup>3</sup> ; SAITO, Fuyuki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 東北大学, <sup>3</sup> 東京大学, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Tohoku University, <sup>3</sup>University of Tokyo, <sup>4</sup>JAMSTEC

Investigation of the roles of different forcings (e.g. orbital variations and greenhouse gases) on climate and sea level requires a paleoclimate chronology with high accuracy. Such a chronology for the past 360 ky was constructed through orbital tuning of O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ratio of trapped air in the Dome Fuji and Vostok ice cores with local summer insolation (Kawamura et al., 2007). We extend the O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> chronology back to ~500 kyr by analyzing the second Dome Fuji ice core, and find the duration of 11 ka, 5 ka, 9 ka, and 20 ka for MIS 5e, 7e, 9e and 11c interglacial periods in Antarctica, with similar variations in atmospheric CO<sub>2</sub>. The termination timings are consistent with the rising phase of Northern Hemisphere summer insolation.

Marine sediment cores from northern North Atlantic contain millennial-scale signatures in various proxy records (e.g. SST, IRD), including abrupt climatic shifts and bipolar seesaw. Based on the bipolar correlation of millennial-scale events, it is possible to transfer our accurate chronology to marine cores from the North Atlantic. As a first attempt, we correlate the planktonic d<sub>18</sub>O and IRD records from the marine core ODP 980 with the ice-core d<sub>18</sub>O and CH<sub>4</sub> around MIS 11. We find that the durations of interglacial plateaus of planktonic d<sub>18</sub>O (proxy for sea surface environments) and benthic d<sub>18</sub>O (proxy for ice volume and deep-sea temperature) for MIS 11c are 20 and 15 ka, respectively, which are significantly shorter than originally suggested. These durations are similar to that of Antarctic climate and atmospheric CO<sub>2</sub>. However, the onsets of interglacial levels in ODP980 for MIS 11 are significantly later than those in Antarctic d<sub>18</sub>O and atmospheric CO<sub>2</sub> (by as much as ~10 ka), suggesting very long duration (more than one precession cycle) for the complete deglaciation and northern high-latitude warming for Termination V. Atmospheric CO<sub>2</sub> may have been the critical forcing for this termination. The long duration of Termination V is consistent with our new ice sheet simulations (extended from the work of Abe-Ouchi et al., 2013) in which an ice-sheet/climate model is forced by insolation and CO<sub>2</sub> variations. In the presentation, comparisons for other interglacial periods will also be reported.

キーワード: 南極氷床コア, 海底コア, 年代決定, 氷期・間氷期サイクル

Keywords: Antarctic ice core, Marine core, Chronology, Glacial-interglacial cycles

## 氷期の気候変動を強く支配する要因について What is the major factor which control global climate in the ice age?

公文 富士夫<sup>1\*</sup>  
KUMON, Fujio<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 信州大学理学部  
<sup>1</sup> Faculty of Science, Shinshu University

筆者は共同研究者や大学院生の協力を得て、日本の湖沼堆積物や日本海の堆積物に含まれる有機炭素量の変動を高時間分解能で測定してきた。また、堆積物中の有機炭素量変動が気候変動（特に気温）に支配された湖沼（海洋）内の生物生産性であることを花粉組成との比較などを通じて検証してきた。その結果、中緯度地域に当たる日本列島周辺でも、特に氷期においては、グリーンランドの氷床の酸素同位体比変動をきわめて良く一致する生物生産性変動が生じていたことが明らかになった。異なる湖沼間や日本海という環境の大きく異なる場においても共通して生じていることからみて、それは少なくとも半球規模で生じている気候変動に支配されていると考えられる。

もっとも有力な根拠は、日本海堆積物の有機炭素含有率（濃度）の経年的変動が、グリーンランド氷床の酸素同位体比の変動の変動と酷似することである（Urabe et al., 2013）。特に氷期における一致は高く、間氷期にはずれがある。その点で以下の議論は氷期に限定したものと考えてほしい。

まずグリーンランドの氷床の酸素同位体比は調査サイトと氷床を構成する雪（水蒸気）の起源海域との距離を反映しており、言い換えれば、グリーンランド氷床の面積を直接的に反映することになる。グリーンランド氷床を拡大させる要因はシベリアや北アメリカ北部の氷床をも拡大させ、北極域の氷床全体の拡大をもたらした可能性が高い。北極域における氷床面積の拡大は、北極の寒冷な気団の強化・拡大をもたらし、それは夏季にも冬季にも影響して、大気における南北循環の境界のひとつ（極前線）の平均的な位置を南下させる。極前線は日本付近においても南下し、日本列島周辺が寒冷な北極気団に支配される期間の増加や平均的な気温の低下をもたらす。それが日本の湖沼や日本海における生物生産性を支配したと考えると、Tada et al.(1999)が指摘したようにその同時性・同調性が説明できる。また、気温の上昇や低下が生物生産の増加（減少）をもたらすプロセスとしては、湖沼の場合には春季と秋季の全循環期の拡大（縮小）や、海洋では混合水塊の発達（弱体化）や季節風による吹送が原因となる湧昇の強化（弱体化）を通じた栄養塩供給の増加（減少）が推定できるが、まだ、その検証はまだ十分とは言えない。

ミランコビッチ・サイクルに支配された夏季の太陽放射量の変動が氷期—間氷期サイクルを支配するという学説は、多くの研究者に受け入れられている。それは北半球の夏季に残される氷床量が地球全体の気候を支配するメカニズムがあることを意味している。例えば、氷床の拡大は反射能（アルベド）の増加をもたらし、一層の寒冷化に寄与するという正のフィードバック機能もよく知られている。一方、氷床が無限に拡大することはなく、ある程度の厚さの氷床となると、氷床底面における融解が不安定化をもたらし、大規模な氷床の崩壊がおき、多量の氷山となって流出する（ハインリッヒ・イベント）。すなわち、氷床には自律的な増減のメカニズム（binge-purge model）があることになる。ミランコビッチの周期に加えて、このような短い周期での氷床量（面積）の自律的な変動があれば、D-Oサイクルのような短い周期の気候変動が説明できる。

一方間氷期には、北極域の氷床量が減少するため、その増減が北極気団へ強く影響せず、全球レベルの気候変動に対して十分な影響力を持たなくなる。それが日本海資料の間氷期における一致性の弱さを説明することになる。氷期モードとの閾値は、MIS 5bの時期の氷床量程度と推定される。

謝辞：本研究において科学研究費補助金（代表者 公文富士夫）とMH21プロジェクトの支援を受けた。

キーワード: 有機炭素量, 気候変動, 氷床, 日本海堆積物, ミランコビッチサイクル, ハインリッヒイベント  
Keywords: organic carbon content, climate change, ice sheet, Japan Sea sediment, Milankovich hypothesis, ping-purge model



## 氷期に氷床が大気循環変化を通して大西洋子午面循環に与える影響 The influence of glacial ice sheet on Atlantic Meridional Overturning Circulation through atmospheric circulation change

シェリフ多田野 サム<sup>1\*</sup>; 阿部 彩子<sup>1</sup>; 吉森 正和<sup>1</sup>; 陳 永利<sup>1</sup>  
SHERRIFF-TADANO, Sam<sup>1\*</sup>; ABE-OUCHI, Ayako<sup>1</sup>; YOSHIMORI, Masakazu<sup>1</sup>; CHAN, Wing-le<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup> Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

In glacial period, huge ice sheet covered the North America and the Northern Europe. Also, the Antarctica Ice sheet had expanded and increased its altitude. It is well known that these ice sheets (hereafter glacial ice sheets) have large influence on climate, for example atmospheric circulation, surface air temperature, and sea surface temperature. On the other hand, recent studies showed that wind stress changes play a crucial role on the AMOC under glacial climate. Moreover, increasing evidence suggests that glacial ice sheets have large influence on the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC). However the process how the ice sheets cause such a large impact on the AMOC is yet fully understood. Thus, in this study, we aim to reveal the detailed process of the ice sheet affecting the AMOC through atmospheric circulation change.

Commonly, the Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM) is used to assess the influence of the ice sheet on the AMOC. However, as the atmospheric general circulation model (AGCM) and ocean general circulation model (OGCM) interacts in this model, the wind change as well as other process affect the AMOC. Therefore, it is difficult to divide each effect. Using the AGCM and the OGCM separately can overcome this problem because in this manner, they do not interact and the wind stress or other process can be treated as a boundary condition for the OGCM. This method consists of 2 steps. First, by using the AGCM, the effect of glacial ice sheets on the surface wind stress are evaluated by adding glacial ice sheets as a boundary condition. Second, by using the wind stress result as a boundary condition for the OGCM, the influence of the wind stress change on AMOC is estimated. In addition, by analyzing the results from each model, the underlying mechanism is explored.

As a result, glacial ice sheets largely intensified the AMOC under glacial climate. It was also found that the wind stress change at North Atlantic was important, thus glacial ice sheets at northern hemisphere were important. On the other hand, the AMOC was hardly influenced by wind stress change at Southern Ocean, which is mainly induced by the change in the Antarctica Ice sheet. Therefore change in the Antarctica Ice sheet had small impact on AMOC through surface wind stress change.

By analyzing the results from the AGCM and OGCM, it revealed that two processes were crucial; first, the strengthening of the northward salt transport, which resulted from enhanced westerly due to the North America Ice sheet. Second, the northward sea ice transport due to the southerly wind at Norwegian Sea forced by the Northern Europe Ice sheet. These two processes were found to drastically intensify the AMOC through affecting the sea ice distribution and shifting the NADW formation region.

キーワード: 氷床, 氷期気候, 大西洋子午面循環, 風応力

Keywords: Ice sheet, Glacial climate, AMOC, wind stress

## 大気海洋大循環モデルと陸域生態系モデルを用いた古植生分布再現とその不確実性評価 Reconstruction of paleo-vegetation distribution by using an atmosphere ocean coupled GCM and a DGVM

大石 龍太<sup>1\*</sup>; チャン ウィンリー<sup>2</sup>; 阿部 彩子<sup>2</sup>  
O'ISHI, Ryouta<sup>1\*</sup>; CHAN, Wing-le<sup>2</sup>; ABE-OUCHI, Ayako<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>3</sup> 海洋開発研究機構

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, <sup>3</sup>JAMSTEC

ネアンデルタールと現生人類の交替が起きた20万~3万年までのうち、最終氷期の後期にあたる6万~3万年前は、ダンシュガード・オシュガーサイクルと呼ばれる数千年スケールでの気候変動が頻発した時代でもあった。この時期のネアンデルタールと現生人類の遺跡の分布は、当時の古植物相および古動物相と相関があることが示唆されている。この結果は、当時の変動する気候のもとで実現した植生分布と対応した動物種を、食料資源として適切な方法で狩ることが可能だったかどうかという点で、ネアンデルタールと現生人類の環境適応能力の差異を反映していると考えられる。従って、ネアンデルタールと現生人類の交替時期を通して、動物相、植物相、気候の変化を面的に時系列に沿って再現・推定することが、交替劇を解明するためには重要な課題となる。一方で、過去における動物の分布を正しく推定するには、当時の植生分布状況、気候変動に由来する環境の変化を定量化する必要があるが、それらは直接的には特定地点の湖底や海底の堆積物等から得られた花粉の構成比率や、酸素同位体比などの古環境指標から情報を得ており、堆積物等の発掘だけでこれらの古環境情報に面的な広がりを持たせるのは非常に困難である。

本研究では大気大循環モデルによる古気候再現実験結果と、植生分布を再現可能な全球動態植生モデルを用いることで、アフリカ北部~地中海沿岸~ヨーロッパにかけての植物相変動の面的な再現を6万~3万年前を対象として試みた。大気大循環モデルは大量の計算機資源を必要とするため、通常は低解像度で行う。しかし、低解像度では人類学の研究資料としては不十分である。そこで本研究では、手法として差分法を用いた高解像度化を行い、大気大循環モデルの再現する古気候情報を反映しつつ、比較的高解像度で植生分布を得ることができた。しかし、技術的には古植生分布の再現は可能になったものの、現時点では地質学的証拠から得られている当時の古植生情報とどのように比較できるかを判断できていない。今後は、植生モデルの入力に用いる古気候実験が適切であるかどうか、また、植生モデルの出力結果をどのように地質学証拠と比較し、意味のある結果として提供することが可能かを検討してゆく。

キーワード: D-O サイクル, 古気候, 古植生, モデリング

Keywords: D-O cycle, Paleoclimate, Paleovegetation, Modeling

## 最終間氷期のグリーンランド氷床と極域気温増幅：植生の役割 Arctic amplification and the Greenland ice sheet at the Last Interglacial: the role of vegetation feedback

阿部 彩子<sup>1\*</sup>; 大石 龍太<sup>1</sup>; 高橋 邦夫<sup>2</sup>; 齋藤 冬樹<sup>2</sup>  
ABE-OUCHI, Ayako<sup>1\*</sup>; O'ISHI, Ryouta<sup>1</sup>; TAKAHASHI, Kunio<sup>2</sup>; SAITO, Fuyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup>JAMSTEC

<sup>1</sup>University of Tokyo AORI, <sup>2</sup>JAMSTEC

We calculated the climatic conditions, mass balance and the transient volume of the Greenland ice sheet in the last interglacial period using the atmosphere slab-ocean vegetation general circulation model ASVGCM MIROC-LPJ and IciES ice sheet model. Taking into account the vegetation feedback, the annual mean temperature anomaly increases from +1 K to +2 K, and of summer temperature anomaly from +4 K to +6 K in central Greenland. This is close to the +5 K at NGRIP and +8 K at NEEM as inferred from ice core isotope data, which takes into account that summer precipitation contributes more to oxygen isotope values{reference}. The vegetation feedback, also increases precipitation by 20% averaged over the entire ice sheet and by 30 % in northwestern Greenland. The combination of the sea ice-temperature feedback and the vegetation feedback amplifies both the temperature and precipitation changes in the Eemian.

The increased ablation caused by high temperatures in central Greenland is partly compensated by the increased precipitation. The ice volume loss of Greenland in the Eemian compares to present day amounts to 1 to 2.5 meters sea level equivalent depending on the inferred present day reference climate and model parameters, such as lapse rate. The spatial pattern of increased temperature and increased precipitation is supported by the fact, that the modeled Eemian Greenland ice sheet covers all locations of ice core sites (GRIP/GISP, NGRIP, NEEM and Dye3), for which the existence of Eemian ice is confirmed. The reconstructed sea level elevations in the Eemian range from 6 to 9 m{references} above present day sea level. Thus, our results imply that the larger part of the difference in sea level between Eemian and present day stems from the Antarctica ice sheet.

キーワード: climate

## 最終間氷期の気候条件がグリーンランド氷床に与える影響について Sensitivity of Greenland ice sheet to climatic parameters during the last interglacial

高橋 邦生<sup>1\*</sup>; 阿部 彩子<sup>2</sup>; 齋藤 冬樹<sup>1</sup>; 大石 龍太<sup>3</sup>  
TAKAHASHI, Kunio<sup>1\*</sup>; ABE-OUCHI, Ayako<sup>2</sup>; SAITO, Fuyuki<sup>1</sup>; O'ISHI, Ryouta<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学 大気海洋研究所, <sup>3</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup>Atmosphere Ocean Research Institute, University of Tokyo, <sup>3</sup>National Institute of Polar research

In the last interglacial (LIG), sea level was 5 to 9 m above present, including contribution from Antarctica. Whole melting of the Greenland ice sheet (GIS) can contribute to the global sea-level rise of up to 7 m. It is important source of sea-level change. In the previous IPCC report in 2007 (IPCC AR4), estimates the GIS contribution to sea-level change during LIG range between 4 to 6 m. New IPCC AR5 points out that based on ice-sheet model simulations consistent with elevation changes derived from a new Greenland ice core, the Greenland ice sheet *very likely* contributed between 1.4 to 4.3 m sea level equivalent.

In this study, we present numerical experiments of GIS from 140 ka to 110 ka by using anomaly approach (present-day climate + perturbation obtained from MIROC-AGCM simulations including dynamic vegetation). We focus on the influence of the climatic parameters such as AMOC or northern hemisphere ice sheets. Our results are consistent with IPCC AR5. Considering of transient response to transient climate change are important to moderate ice melting. Several uncertainties remain however, such as the reference climate condition (influence melt from south, north or both?). and related the ice sheet model itself, more numerical studies are required.

キーワード: 最終間氷期, グリーンランド, 氷床, 海水準  
Keywords: Last interglacial, Greenland, Ice sheet, Sea-level

3次元氷床力学モデルより求められた氷床融解史に基づくグリーンランドにおける  
第四紀海水準変動と地殻変動  
Sea-level changes and crustal deformations in Greenland based on the loading histories  
derived from 3D ice sheet model

奥野 淳一<sup>1\*</sup>; 齋藤 冬樹<sup>2</sup>; 阿部 彩子<sup>3</sup>; 高橋 邦生<sup>2</sup>  
OKUNO, Jun'ichi<sup>1\*</sup>; SAITO, Fuyuki<sup>2</sup>; ABE-OUCHI, Ayako<sup>3</sup>; TAKAHASHI, Kunio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 東京大学大気海洋研究所  
<sup>1</sup>NIPR, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>AORI, Univ. Tokyo

We study the implications of a recently published ice sheet history in Northern hemisphere and Greenland ice sheet, derived from the 3D thermo-mechanical ice sheet model (Ice Sheet for Integrated Earth system Studies: IcIES developed by Abe-Ouchi et al. 2013). To characterize the effects of this glaciologically consistent ice sheet history, we examine the time-variations of various geophysical quantities in response to the ice and water mass redistributions. They include vertical uplift and subsidence, global patterns of sea-level change, and regional sea-level variations along the coasts of Greenland. Relative sea-level (RSL) changes in response to past ice and water load variations are obtained solving the sea-level equation, which accounts for the crustal deformation due to glacio-isostatic adjustment (GIA). In this study, we report the predictions of RSL and geodetic signals in Greenland induced by GIA process based on the glaciologically and climatologically consistent ice loading history. And also, we show the temporal and spatial characteristics of predicted geophysical signals in Greenland in comparison with these observations. We expect that using the ice sheet histories derived from IcIES as input in GIA model may put better constraints on postglacial rebound and current rates of crustal deformation.

キーワード: グリーンランド氷床, 海水準変動, 地殻変動, アイソスタシー  
Keywords: Greenland ice sheet, relative sea-level change, crustal deformation, isostasy

## 過去10万年間のグリーンランドNEEM氷床コア中に含まれる不揮発性微粒子の化学組成 Chemical compositions of non-volatile particles in NEEM (Greenland) ice core over the last 100,000 years

大藪 幾美<sup>1\*</sup>; 飯塚 芳徳<sup>2</sup>; Karlin Torbjorn<sup>3</sup>; 福井 学<sup>2</sup>; Hansson Margareta<sup>3</sup>  
OYABU, Ikumi<sup>1\*</sup>; IIZUKA, Yoshinori<sup>2</sup>; KARLIN, Torbjorn<sup>3</sup>; FUKUI, Manabu<sup>2</sup>; HANSSON, Margareta<sup>3</sup>

<sup>1</sup>北海道大学環境科学院, <sup>2</sup>北海道大学低温科学研究所, <sup>3</sup>ストックホルム大学

<sup>1</sup>Graduate school of Environmental Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Institute of Low Temperature Science, <sup>3</sup>Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University, Sweden

The polar ice cores provide us with information of past atmospheric aerosols. Soluble aerosols in polar ice cores are well discussed by using proxies of ion concentration/flux, however, there are few studies about chemical compositions of soluble aerosols in ice cores. Using a sublimation method, we show differences in the compositions of non-volatile aerosols over the last 100,000 years in the NEEM ice core, which was drilled during 2008-2012 on the northwest ridge line of Greenland ice sheet (77° 27' N, 51° 03' W).

A total of 86 samples were distributed from NEEM ice core sections from 220 to 2195 m, which covers from late Holocene to Dansgaard-Oeschger event 24. Non-volatile particles were extracted from the ice by sublimation system [Iizuka et al., 2009]. Constituent elements of each non-volatile particle were measured by a scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectroscopy. We made a classification of non-volatile particles into insoluble dust, soluble sulfate salts and soluble chloride salts as following; if Si found in a particle, we regard the particle as dust (Silicates); if S found, we regard the particle as sulfate; if Cl found, we regard the particle as chloride salt. For the sulfate salt, we did further classification that a particle containing Ca and S are assumed as CaSO<sub>4</sub>, Na and S are Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Mg and S are MgSO<sub>4</sub>, K and S are K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, the residual sulfate particles are "the other sulfate salt (other-S)". In the same way, for chloride salts, we assumed NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, KCl and the other chloride salt (other-Cl).

The number ratio of soluble salts to total particles is 9±6% during Dansgaard-Oeschger (DO) events. In Last Glacial Maximum (LGM), the ratio decreased in 3±2%. In Bolling-Allerod (BA), ratio of soluble salts slightly increased (10±5%). In Younger Dryas (YD), the ratio decreased again (6±3%). After Holocene, the ratio increased (16±10%). In summary, more than 90% of particles contain insoluble dust during the cold stages. These ratios suggest that during cold periods, insoluble dust concentration is higher contribution to total non-volatile particles than that in warm periods.

We examined chemical characteristics of non-volatile particles by dividing into 7 climatic stages (Late Holocene; LH, Early Holocene; EH, YD, BA, LGM, DO events-warm; DO-W and DO events-cold; DO-C). The 7 stages can be sorted into 2 types; interglacial-type (LH, EH and BA) and glacial-type (YD, LGM, DO-W and DO-C). For the interglacial-type, number of Na-containing particles is larger than that of Ca-containing particles (Na:Ca = 4:3). On the other hand, for the glacial-type, number of Ca-containing particles is larger than that of Na-containing particles (Na:Ca = 5:9). Ca-containing particles is suggested to mainly comes from terrestrial materials and Na-containing particles is mainly comes from sea-salt [Steffense et al., 1997]. Our results of the ratio of Ca and Na particles may be explained by not only absolute concentration of dust and sea-salt but also relative valance of those concentrations. In the three interglacial-type, the ratio of other-S and other-Cl, those are sulfate and chloride salts without Na, Mg, K, nor Ca, during the LH are relatively higher than the other stages. Since NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentration increased due to increasing of vegetation area and biological activity by warming in LH [Fuhrer and Legrand, 1997], other-S and Cl might be ammonium sulfate and ammonium chloride, respectively. Focusing on Ca-particles more in detail in the four glacial-type, number of Ca-containing particles without S and Cl is higher in LGM (11%) and DO-C (12%) than that in YD (6%) and DO-W (7%). Since the X-ray spectroscopy cannot detect carbon, the Ca-containing particles may be CaCO<sub>3</sub> in the LGM and DO-C because CaCO<sub>3</sub> was founded during the LGM by single particle measurement in the GRIP (Greenland) ice core [Sakurai et al., 2009].

キーワード: アイスコア, エアロゾル, 古気候, グリーンランド, 氷床  
Keywords: ice core, aerosol, paleo climate, greenland, ice sheet, NEEM

## 過去千年の気候と二酸化炭素濃度のモデリングの初期的研究 Modelling the climate and the terrestrial carbon cycle for the last millennia

阿部 彩子<sup>1\*</sup>; 大石 龍太<sup>1</sup>; 吉森 正和<sup>1</sup>  
ABE-OUCHI, Ayako<sup>1\*</sup>; O'ISHI, Ryouta<sup>1</sup>; YOSHIMORI, Masakazu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup> University of Tokyo AORI

Climate-induced changes in the terrestrial biosphere and the ocean modulate the release and uptake of carbon dioxide and this, in turn, alters atmospheric composition and influences the climate. This is known as the climate-carbon cycle feedback. The Coupled Carbon Cycle Climate Model Intercomparison Project (C4MIP), using models of the ?terrestrial and ocean carbon cycles inside ocean-atmosphere general circulation models, has shown that the carbon cycle-climate feedback appears to be positive BUT there is great uncertainty about the magnitude. It is important to know the magnitude of this feedback because it affects the amount of carbon dioxide that can be emitted in the future in order to stabilize the concentration of CO<sub>2</sub> at a given level. There are projects attempting to reduce these uncertainties through systematic evaluation of carbon cycle models against observations of the contemporary carbon cycle. An alternative approach is to use knowledge about past variations in climate and CO<sub>2</sub> to provide additional constraints. Here we therefore work on the last millennium (LM) climate-carbon modeling and examine the factors that contribute to atmospheric CO<sub>2</sub> change. Ice core is the only proxy that provides the CO<sub>2</sub> content in detail for the last millennium and it shows up to 10ppm change around the Little Ice Age and during the LM. Several LM experiments by AOGCM are used to drive the terrestrial carbon cycle model LPJ. We investigate the role of external forcing of climate such as volcano and solar forcing as well as that of internal variability of climate in an unforced experiment of decadal to centennial time scale. We show that the CO<sub>2</sub> changes in the same order of magnitude in the unforced experiment as in the forced experiment.