

南極における異なる涵養域での水安定同位体比と主要イオン
Inconsistent relations among water stable isotope in Antarctic snow under different accumulation environments

保科 優^{1*}; 藤田 耕史¹; 飯塚 芳徳²; 本山 秀明³
HOSHINA, Yu^{1*}; FUJITA, Koji¹; IIZUKA, Yoshinori²; MOTOYAMA, Hideaki³

¹ 名古屋大学, ² 北海道大学低温科学研究所, ³ 国立極地研究所
¹Nagoya University, ²Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ³National Institute of Polar Research

Water stable isotopes and major soluble ions are important for reconstructing paleo-environment and atmosphere circulation. It is also known that ion and isotope signals are modified after deposition if firm or ice core samples are analyzed at high temporal resolution such as seasonal scale.

We compared oxygen isotope, major ions and accumulation rate in shallow ice cores and snow pits from Antarctica with highly temporal resolution data. We showed seasonal cycle of oxygen isotope and major ions were surely preserved at sites over the threshold of accumulation rate with calm wind condition. In order to analyze the samples widely collected from east and west Antarctica, we calculated correlation coefficients of annually averaged major ions to oxygen isotope and then compare with accumulation rate among which the accumulation rate highly correlates. The correlations of most ions change from no correlation to negative one with decrease of accumulation rate. The negative correlations in inland Antarctica could be formed by inconstant accumulation due to low but larger inter-annual variability. The relations among major ions and oxygen isotope may not be those reflecting climatic footprint but be formed as a unique signal in the extremely arid environment.

Estimation of the age-depth relationship of Dome Fuji Ice Core using a sequential Bayesian approach

Estimation of the age-depth relationship of Dome Fuji Ice Core using a sequential Bayesian approach

中野 慎也^{1*}; 鈴木 香寿恵¹; 川村 賢二²; Parrenin Frederic³; 樋口 知之¹
NAKANO, Shin'ya^{1*}; SUZUKI, Kazue¹; KAWAMURA, Kenji²; PARRENIN, Frederic³; HIGUCHI, Tomoyuki¹

¹ 統計数理研究所, ² 国立極地研究所, ³ Laboratoire de Glaciologie et Geophysique de l'Environnement

¹The Institute of Statistical Mathematics, ²National Institute of Polar Research, ³Laboratoire de Glaciologie et Geophysique de l'Environnement

We have developed a method for estimating the age as a function of depth in Dome Fuji Ice Core and evaluating its uncertainty. The age–depth relationship is mainly determined by the accumulation of snow at the site of the ice core and the thinning process due to the horizontal stretching and vertical compression of the ice layer. However, since neither the accumulation process nor the thinning process are fully understood, it is essential to incorporate observational information into a model that describes the accumulation and thinning processes. In the proposed technique, the age as a function of depth is estimated from age markers and delta-O-18 data. The estimation is achieved using the particle Markov chain Monte Carlo method, in which the sequential Monte Carlo method is combined with the Markov chain Monte Carlo method. The performance of the proposed technique is demonstrated by applying it to ice core data from Dome Fuji in Antarctica.

キーワード: 氷床コア, 年代決定, ベイズ推定

Keywords: ice core, dating method, Bayesian estimation

南極ドームふじコアとドームCコア間の過去21万6千年間の火山同期 Volcanic synchronization of Dome Fuji and Dome C Antarctic deep ice cores over the past 216 kyr

藤田 秀二^{1*}; Parrenin F.²; Severi M.³; Motoyama H.¹; Wolff E.⁴
FUJITA, Shuji^{1*}; PARRENIN, F.²; SEVERI, M.³; MOTOYAMA, H.¹; WOLFF, E.⁴

¹ 情報・システム研究機構 国立極地研究所, ²CNRS, LGGE, F-38041 Grenoble, France, ³Department of Chemistry, University of Florence, Florence, Italy, ⁴Department of Earth Sciences, University of Cambridge, UK
¹National Institute of Polar Research, ²CNRS, LGGE, F-38041 Grenoble, France, ³Department of Chemistry, University of Florence, Florence, Italy, ⁴Department of Earth Sciences, University of Cambridge, UK

南極の2つの離れた地点、ドームふじ (DF)、ドームC (EDC) で掘削された深層コアについての年代に対する理解を深めるために、これらの年代同期作業をおこなった。合計1401箇所の火山同期タイポポイントを、21万6千年の期間をカバーするアイスコア区間について同定した。DFコアの年代は、これを通称DFO2006と呼び、「氷床コアから抽出したガス中のO₂/N₂比を地球軌道年代のタイムマーカーにして強く束縛し、束縛点間の年代を氷床モデルで内挿した年代」(age-marker-based datingと呼ぶ)であるが、これを、AICC2012と呼ばれる「氷床流動モデルと年代束縛点をあわせた計算から求めた」(glaciological datingと呼ぶ)EDCコアの年代と比較した。2つの年代スケール間の年代ギャップは、多くの年代においては、2千年以下であったが、海洋同位体ステージ(MIS)5では、大きなギャップがあることが判明した。DFO2006年代は、本来同じ年代であるはずの氷で、AICC2012年代に対し、古い値を示し、その最大値は、MIS 5dで約4,500年、MIS 5bで約3,100年となった。この年代ギャップのピークが存在によって、気候イベント発生期間(duration)の比DFO2006/AICC2012は、MIS 6後期~MIS 5の期間において、約85%、MIS 5d - 5bの期間において、約114%となった。私達はさらに、このDFO2006年代を、glaciological datingの手法を用いて導出したドームふじコアの年代であるDFGT2006年代と比較した。DFGT2006年代は、AICC2012年代と同様に、氷床流動モデルと年代束縛点による弱い束縛をあわせた計算から求めたものである。私達は、DFO2006年代とDFGT2006年代の年代差の特徴は、DFO2006年代とAICC2012年代の年代差の特徴と非常によく似た特徴をもつことをみいだした。この事実に基づき、私達は、MIS 5の期間においてDFO2006年代とAICC2012年代の間に見いだされた系統的なギャップは、年代決定の手法の差異に何らかの関係があるとの仮説をたてた。これらに加え、私達は、中国で報告されている石筍の年代をDFO2006年代やAICC2012年代と比較した。石筍のもつ年代は、DFO2006年代と、MIS 5cや5dでよく一致した(誤差数百年以内)が、MIS 5bでは年代ギャップが数千年であった。こうした結果から、少なくともMIS 5cや5dでは、DFO2006年代とAICC2012年代の間に見いだされたギャップの主因は、AICC2012年代にあり、そしてその原因は、氷床流動モデル計算にあたり水同位体の値に基づいて推定した氷床表面マスバランスの見積り誤差に起因すると推定した。すなわち、glaciological approachには共通してこの誤差が発生する。アイスコアや石筍の年代マーカーの互換性については、今後慎重な検討を必要とする。

キーワード: アイスコア, 年代, ミランコビッチ, ドームふじ, ドームC, 南極
Keywords: ice core, dating, Milankovitch, Dome Fuji, Dome C, Antarctica

過去70万年間の南極の気温と水蒸気起源温度の数千年スケール変動 Millennial scale site and source temperatures variability in Antarctica over the past 700,000 years

植村 立^{1*}; 本山 秀明²; ドームふじ氷床コア研究グループ.²
UEMURA, Ryu^{1*}; MOTOYAMA, Hideaki²; DOME FUJI ICE CORE RESEARCH GROUP.²

¹ 琉球大学 理学部 海洋自然科学科, ² 情報・システム研究機構 国立極地研究所

¹University of the Ryukyus, ²National Institute of Polar Research

氷の酸素・水素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$, δD) はそれぞれ地表気温変動の指標として用いられている。しかし、これらの同位体比は水蒸気起源から降雪地点までの降水量に強く依存している。そこで、 δD と $\delta^{18}\text{O}$ を組み合わせて解析することで、水蒸気起源 ($\Delta\text{Tsource}$) と南極地点の気温 (ΔTsite) を分離して推定する研究が行われている。しかし、 ΔTsite のデータは Vostok コアの過去 42 万年が最長であり、30 万年前以前の数千年スケールの変動を検証できるデータが必要とされていた。日本の国立極地研究所を中心とする研究グループにより、南極ドームふじにおいて、第二期 DF コアが掘削された。本講演では、第二期 DF コアの $\delta^{18}\text{O}$ と δD を深度 2400m から 3034m (297-700 kyr BP に対応) を 10cm 間隔で測定した結果を紹介する。 $\delta^{18}\text{O}$ と δD データから ΔTsite と $\Delta\text{Tsource}$ の高時間分解能のデータを算出し、解析を行った。 ΔTsite の数千年スケールの変動は、 $\delta^{18}\text{O}$ から推定される気温変動と類似していた。 $\Delta\text{Tsource}$ は間氷期の数千年スケール変動において、特徴的なパターンが見られた。また、 ΔTsite と $\Delta\text{Tsource}$ の差には 720kyr を通して、中緯度-高緯度の日射量勾配に対応すると予想される強い 4 万年周期が確認された。

キーワード: アイスコア, 酸素同位体, 水素同位体, d-excess, 南極

Keywords: ice core, oxygen isotope, hydrogen isotope, d-excess, Antarctica

氷期の急激な気候変動と大西洋深層循環の熱的閾値 Glacial abrupt climate changes and thermal threshold of the Atlantic meridional overturning circulation

岡 顕^{1*}; 阿部 彩子¹; 横山 祐典¹; 川村 賢二²; 羽角 博康¹

OKA, Akira^{1*}; ABE-OUCHI, Ayako¹; YOKOYAMA, Yusuke¹; KAWAMURA, Kenji²; HASUMI, Hiroyasu¹

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 国立極地研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, ² National Institute of Polar Research

Abrupt climate changes known as Dansgaard-Oeschger events (DO events) took place frequently in glacial periods. Many geological evidences support the idea that changes of the Atlantic meridional overturning circulation (AMOC) are related to these events, but question on what triggers the AMOC changes remains unsolved. Although the most of studies have regarded freshwater flux from melting ice sheet as a cause of the AMOC changes, we recently identified the existence of the thermal threshold of the AMOC during glacial climate. Here, from the results of climate model simulations about the glacial AMOC, we report that the thermal threshold of the AMOC can be a triggering mechanism of DO events. We investigated the structure of the thermal threshold in glacial climate by conducting ocean general circulation model simulations under various thermal conditions in which degrees of sea surface cooling are systematically changed separately or simultaneously in northern and southern hemispheres. The results suggest that the threshold is located near the condition in which the climate is slightly warmer than the coldest glacial conditions. We also found that the amplitude of AMOC changes in crossing this threshold depends on thermal conditions in northern and southern hemispheres. This amplitude becomes the largest when the southern hemisphere is slightly warmer than the coldest glacial conditions. It is also demonstrated that gradual warming in the southern hemisphere from the colder glacial climate leads to crossing the threshold and can cause very large strengthening of AMOC. Therefore, the thermal threshold could be a triggering mechanism of DO events accompanying the warming of southern hemisphere before their abrupt warming in northern hemisphere.

キーワード: 大西洋深層循環, ダンスガード・エシガーイベント, 急激な気候変動, 気候モデル

Keywords: Atlantic meridional ocean circulation, Dansgaard-Oeshger events, Abrupt climate changes, Climate model

氷期に氷期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^{1*}; 阿部 彩子¹; 吉森 正和³; 岡 顕¹; 陳 永利¹
SHERRIFF-TADANO, Sam^{1*}; ABE-OUCHI, Ayako¹; YOSHIMORI, Masakazu³; OKA, Akira¹; CHAN, Wing-le¹

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構, ³ 北海道大学大学院地球環境科学研究院

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

³ Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

Several atmosphere-ocean coupled general circulation model (AOGCM) studies suggest that glacial ice sheets exert a large impact on the Atlantic meridional overturning circulation (AMOC). However, the process by which the ice sheets impact on the AMOC is not yet fully understood because of the complicated nature of the AOGCMs. On the other hand, recent oceanographic studies showed that surface wind changes play a crucial role on changes to the AMOC under glacial climate. Therefore, in this study, we investigate in detail, the process by which the ice sheet modifies the AMOC through surface wind change. Moreover, recent modeling study using MIROC AOGCM showed that the effect of the glacial ice sheet on the AMOC depends on the background climate. In their study, they suggested that a strong relation between sea ice coverage and the wind field might play an important role. However, it is still unclear to what extent the sea ice coverage affects the surface wind change induced by the glacial ice sheet. Therefore, we will also explore the effect of the sea ice distribution on the ice sheet induced wind change. Here we conduct numerical experiments using an atmospheric general circulation model (AGCM) and an ocean general circulation model (OGCM) separately. Our method consists of 2 steps. First, from AGCM experiments, we evaluate the effect of glacial ice sheets on the surface wind. Second, from OGCM experiments, we evaluate the influence of the wind stress change on the AMOC by applying the surface wind change as a boundary condition, while leaving other boundary conditions (surface heat and water fluxes) unchanged. In this way, we can evaluate the wind effect of glacial ice sheet on the AMOC. In addition, we conduct several sensitivity experiments. Using the AGCM, we changed the sea ice distribution. Moreover, using the OGCM, we change the surface wind gradually or apply the surface wind change only at a specific region in order to explore the wind change effect in detail.

We find that glacial ice sheets largely intensify the AMOC by surface wind change under glacial climate. Compare to other regions, it reveals that the wind change at the North Atlantic mid-high latitude (NAMH) is a key region. There, the positive wind stress curl enhances, which intensifies the salt and heat transport at NAMH surface through strengthening the gyre circulation and the Ekman upwelling. As a result, the AMOC intensifies. On the other hand, we find that this wind effect of glacial ice sheet strongly depends on the NAMH sea ice cover, as the expansion of sea ice reduces the positive wind stress curl anomaly induced by the glacial ice sheet. This supports the important role of the sea ice coverage on glacial ice sheet effect suggested by the study using MIROC AOGCM.

Keywords: AMOC, surface wind, sea ice, glacial ice sheet

南極氷床での中層掘削計画と深層孔検層結果について Intermediate depth ice core drilling project 2015/2016 and some results of deep borehole logging, Antarctic ice sheet

本山 秀明^{1*}; 古崎 睦²; 的場 澄人⁸; 杉山 慎⁸; 高橋 昭好³; 田中 洋一⁴; 宮原 盛厚⁵; 高田 守昌⁶;
澤柿 教伸⁷; 新堀 邦夫⁸; 森 章一⁸
MOTOYAMA, Hideaki^{1*}; FURUSAKI, Atsushi²; MATOBA, Sumito⁸; SUGIYAMA, Shin⁸; TAKAHASHI, Akiyoshi³;
TANAKA, Yoichi⁴; MIYAHARA, Morihiko⁵; TAKATA, Morimasa⁶; SAWAGAKI, Takanobu⁷; SHINBORI, Kunio⁸;
MORI, Shoichi⁸

¹ 国立極地研究所, ² 旭川工業高等専門学校, ³ (株) 地球工学研究所, ⁴ (株) ジオシステムズ, ⁵ (株) アノウイ, ⁶ 長岡技術科学大学, ⁷ 北海道大学大学院地球環境科学研究院, ⁸ 北海道大学低温科学研究所

¹National Institute of Polar Research, ²Asahikawa National College of Technology, ³Geo Tecs Co. Ltd, ⁴Geosystems Inc., ⁵Anori Inc., ⁶Nagaoka University of Technology, ⁷Faculty of Env. Earth Science Hokkaido University, ⁸Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

第57次南極地域観測隊は2015/2016シーズンに南極氷床氷縁部にて300—500m級の中層掘削を計画している。環境保全や物資量、掘削可能時間の問題で、ドライ掘削する予定である。そのためコア質の悪化と孔の縮みによる掘削への影響がある。この掘削孔変化について議論し、孔の縮みに対してはリーミングで対応するが、その検討が必要である。この中層掘削計画について紹介する。

南極ドームふじ基地にて実施していた深層掘削は、2007年1月にほぼ岩盤付近の深さである3035.22mmで終了した。掘削孔の変形を防ぐために液封液として酢酸ブチルを使用し、液面は氷床表面から約120m下にある。2007年1月、2011年1月、2013年1月にそれぞれ孔底まで検層観測を実施した。測定項目は、液温、氷温、液圧、孔径、傾斜である。2013年の検層観測を中心に、過去3回の測定結果とその問題点を報告し、今後の改良ポイントについて紹介する。特に孔径変化、傾斜変化、氷床内の熱流量について解析結果を報告する。例えば、氷温度測定は困難で、液温測定を氷床温度と仮定する。氷床温度分布から温度勾配を推定し氷床内の熱流量分布を求めた。氷床底面は融解しているので未知な地殻熱流量の下限を見積もることが出来た。

キーワード: アイスコア, 南極氷床, 中層コア掘削, 検層観測, 熱流量

Keywords: ice core, Antarctic ice sheet, intermediate depth ice core drilling, borehole logging, heat flux

異なる測定原理に基づく極域雪氷試料中固体微粒子の分析結果の比較 Comparison of different measurement techniques of micro-particles in polar snow and ice

東久美子^{1*}; 平林幹啓¹; 本山秀明¹

GOTO-AZUMA, Kumiko^{1*}; HIRABAYASHI, Motohiro¹; MOTOYAMA, Hideaki¹

¹ 国立極地研究所

¹ National Institute of Polar Research

古気候・古環境復元を目的として、これまで多くの研究者によってアイスコアに含まれる固体微粒子の分析が実施され、固体微粒子の粒径分布やフラックスの時空間変動について議論されてきた。しかし、固体微粒子の粒径の定義は測定原理によって異なっており、異なる分析装置によるデータを単純に比較することはできない。固体微粒子の体積は粒径に依存するため、体積を直接測定する原理の固体微粒子分析装置を用いない場合、フラックス（積雪量、固体微粒子の体積濃度、固体微粒子の密度の積として計算される）は、粒径の定義に依存する。このため、異なる原理の分析装置を用いた結果を比較する際には注意を要する。本研究では、微粒子の体積を直接測定する Coulter Multisizer 4、レーザー光の遮蔽を測定する Klotz 社の Abakus、レーザー光の散乱を測定する Met One Model 211 という 3 種類の固体微粒子分析装置の比較を行なった。また、その結果を、最近導入した画像処理法に基づく固体微粒子分析装置 JASCO IF-200nano の結果と比較した。その結果、Abakus と Met One Model 211 は、固体微粒子の形状が球からずれると Coulter Multisizer 4 と異なる結果を与えることが分かった。

本研究により、南極ドームふじコアにおいては、氷期に球形に近い微粒子が多く、間氷期には球形からはずれた形状の微粒子が多いことが示唆された。また、異なる分析装置によって得られた粒径分布やフラックスのデータを比較する際は、従来考えられていた以上に注意が必要であることが明らかになった。

キーワード: 固体微粒子, 分析法比較, 極地雪氷

Keywords: micro-particles, analytical techniques, polar snow and ice

熱収支モデルをもちいたアイスコア中の氷板からの夏気温復元
Physically based reconstruction of summer temperature from ice layers in ice cores

藤田 耕史^{1*}; 的場 澄人²; 竹内 望³; 青木 輝夫⁴

FUJITA, Koji^{1*}; MATOBA, Sumito²; TAKEUCHI, Nozomu³; AOKI, Teruo⁴

¹ 名古屋大学環境学研究科, ² 北海道大学低温科学研究所, ³ 千葉大学理学研究科, ⁴ 気象研究所

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University,

³Graduate School of Science, Chiba University, ⁴Meteorological Research Institute

Previous studies, which have reconstructed summer temperature from ice layers in ice core, relied on approximate relationship between ice layer and instrumental temperature observed nearby station. Here we demonstrate a novel method to reconstruct summer temperature from ice layers in ice core using an energy balance model, in which heat conduction through firn and refreezing of meltwater are taken into account. Parameters used in the model are firstly calibrated with 2-year meteorological data observed at the SIGMA-A site, northwest Greenland. Using the ERA-Interim reanalysis dataset, we calculate amount of refrozen water within firn under different settings of summer temperature and annual precipitation, and then prepare a lookup table containing summer temperature, annual precipitation, and refrozen amount. We then estimate summer mean temperature from refrozen amount and annual accumulation, which are available from an ice core, by referring the lookup table. We apply this method to three ice cores under different climates; Belukha in the Russian Altai, Aurora in the Alaska, and SIGMA-A in the northwest Greenland. Reconstructed summer temperatures show large inter annual variability, which is comparable to those of observed temperature, but show some biases, which are affected by albedo setting. This method allows us to estimate summer temperature using information solely available in ice core without making any approximate relationship between temperature and ice layer.

過去450年間におけるアイスコア中の有機エアロゾルトレーサーの変動 Ice core records of organic aerosol tracers over the past 450 years

関 宰^{1*}; 河村 公隆¹; 白岩 孝行¹
SEKI, Osamu^{1*}; KAWAMURA, Kimitaka¹; SHIRAIWA, Takayuki¹

¹ 北海道大学・低温科学研究所

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Carbonaceous aerosols, which include a mix of light absorbing and light-scattering components, influence the global climate via direct and indirect effects on radiative balance. However, the natural variability and factors controlling the emissions, transport and role in the climate system of carbonaceous aerosols are highly uncertain both for the past and future. Here we analyzed organic molecule tracers in ice-cores collected from Greenland and Kamchatka Peninsula over the past 450 years. Newly generated and previously published organic tracer records (Kawamura et al., 1996, 2012) were derived from Greenland Site-J and the Kamchatka Ushkovsky ice-cores. Concentrations of specific organic tracers: soil bacteria derived long-chain dicarboxylic acids (hereafter di-acids), higher plant leaf-wax derived long-chain monocarboxylic acids (hereafter leaf-waxes), and biomass burning derived levoglucosan are applied to reconstruct changes in the deflation and transport of soil organic matter (di-acids and leaf-waxes) and biomass burning products (levoglucosan and leaf-waxes). The concentrations and composition of biomass burning-, soil bacterial- and plant wax -tracers in the two ice cores were found to correspond with Arctic and regional temperatures from the different parts of the world over solar modulated multi-decadal time-scales with order of magnitude decreases (increases) in abundance during the colder (warmer) phases of the Little Ice Age. Thus, our study suggests a strong link between Arctic climate and carbonaceous aerosol loading in the high latitude.

キーワード: アイスコア, グリーンランド, カムチャツカ, 有機エアロゾル, 小氷期, 北極振動
Keywords: ice core, Greenland, Kamchatka, organic aerosol, Little Ice Age, Arctic Oscillation

キルギス・グレゴリア氷河のアイスコア試料を用いたシアノバクテリアの遺伝子解析
Reconstructions of past cyanobacteria flora from ice core samples on Gregoriev Glacier,
Kyrgyz Tianshan

瀬川 高弘^{1*}; 竹内 望²; 米澤 隆弘³
SEGAWA, Takahiro^{1*}; TAKEUCHI, Nozomu²; YONEZAWA, Takahiro³

¹ 国立極地研究所 新領域融合研究センター, ² 千葉大学, ³ 復旦大学

¹Transdisciplinary Research Integration Center, National Institute of Polar Research, ²Chiba University, ³Fudan University

Analyses of ice cores have often been used as a means to reconstruct past environments. The species composition of the organism such as microorganism in the ice cores could reflect the environmental condition at that time. Thus, organisms in ice cores could be useful to reconstruct past environments. However, analysis of the biological contents of ice cores is still highly limited. The ice core samples collected on Gregoriev Glacier, Kyrgyz Tianshan were melted using a device that enabled us to obtain water only from the inner portion of the cores. Complete separation of the inner and outer cores is required to avoid contamination microorganisms such as bacteria and fungi that can adhere to the cores during drilling and storage. We report results of cyanobacterial species and their evolution by molecular DNA analysis collected from the ice core sample (about 8,000 and 12,500 years old). We also attempted to reconstruct the organisms and their interactions within the community and with the environment on the sampled sites. The results implied genomic information used as an environmental marker for past environmental studies.

キーワード: アイスコア, 微生物, シアノバクテリア, 進化

山岳アイスコアを用いた北部北太平洋域の古環境復元
Reconstruction of paleo-environmental changes in the northern North Pacific region from
an alpine ice core

對馬 あかね^{1*}; 的場 澄人²; 白岩 孝行²
TSUSHIMA, Akane^{1*}; MATOBA, Sumito²; SHIRAIWA, Takayuki²

¹ 北海道大学大学院環境科学院, ² 北海道大学低温科学研究所
¹Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ²Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

A 180.17-m ice core was drilled at Aurora Peak in the central part of the Alaska Range, Alaska, in 2008 to allow reconstruction of centennial-scale climate change in the northern North Pacific. The 10-m-depth temperature in the borehole was -2°C , which corresponded to annual mean air temperature at the drilling site. In this ice core, there were many melt-refrozen layers due to high temperature and/or strong insolation during summer seasons. We analyzed stable hydrogen isotopes (δD) and chemical species in the ice core. The ice core age was determined by annual counts of δD and seasonal cycles of sodium ions, and we used reference horizons of tritium peaks in 1963 and 1964, major volcanic eruptions, and a large forest fire in 2004 as age controls. Here, we show that the chronology of the Aurora Peak ice core from 180 m to the top corresponds to the period from 1666 to the summer season of 2007, with a dating error of ± 3 years. Our results suggest that temporal variations in δD and annual accumulation rates are strongly related to shifts in the Pacific Decadal Oscillation index (PDOI). The remarkable increase in annual precipitation since the 1970s has likely been the result of enhanced storm activity associated with shifts in the PDOI during winter in the Gulf of Alaska.

キーワード: 山岳アイスコア, 北部北太平洋域, 水素安定同位体比, d-excess
Keywords: Alpine ice core, Northern North Pacific region, δD , d-excess

天山山脈グリゴリア氷帽アイスコア中の硝酸体窒素および酸素の安定同位体比 Variations in oxygen and nitrogen stable isotopes in nitrate in an ice core of Tianshan Mountains

竹内 望^{1*}; 大手 信人²; 藤田 耕史³; Vladimir Aizen⁴
TAKEUCHI, Nozomu^{1*}; OHTE, Nobuhito²; FUJITA, Koji³; VLADIMIR, Aizen⁴

¹千葉大学, ²京都大学, ³名古屋大学, ⁴アイダホ大学
¹Chiba University, ²Kyoto University, ³Nagoya University, ⁴University of Idaho

雪氷中の硝酸の窒素および酸素安定同位体比は、硝酸の起源を推定する強力な手段である。その同位体比は、エアロゾルとして供給される硝酸の供給源だけでなく、最近では氷河上に繁殖する微生物による窒素の硝化、脱窒、窒素固定などの効果も反映されていることがわかってきた。本研究では、中央アジア・天山山脈の西部、キルギスタンのグリゴリア氷帽で2007年9月に掘削した約87mのアイスコア中に含まれる硝酸の窒素および酸素安定同位体比を分析し、硝酸起源および氷河上の微生物活動の時系列変動を明らかにすることを目的とした。グリゴリア氷帽は、標高4600-4100mにわたる氷河で、掘削を行ったのはドーム形をした4600mの頂上部分の平らな雪原である。87mのアイスコアは、底部から得られた土壌の放射性炭素年代から約12700年分の雪氷を含むことが明らかになっている。アイスコアの平均硝酸濃度は288 ppbで、いくつものスパイク状の濃度上昇が存在した。全体的な濃度変動は、20世紀後半に高く、それ以前はいくつかの濃度上昇はあるものの比較的低い値であった。硝酸の窒素安定同位体比は、20世紀以前は+0.5~+7.5‰であったのに対し、20世紀以降は-8.9~-1.8‰とはっきりとした違いがみられた。これは、グリーンランドのアイスコアでも同様の傾向が見られている通り、硝酸の起源が、自然起源だったものが、20世紀以降は人為起源に変わったことを示している。一方、硝酸の酸素安定同位体比は、時代に関わらず概ね+70~+80‰の範囲であったが、1960年代および約6000-7000 BPに、+30~+60‰の比較的高い値がみられた。これは、ほとんどの硝酸は大気由来のものであるが、同位体比の高い値を示した時代では、氷河表面の微生物過程によって生産された硝酸が含まれていることを示唆している。以上の結果から、中央アジアのアイスコアの硝酸の窒素および酸素安定同位体比によって、硝酸エアロゾルの起源の変化および氷河表面の微生物過程を復元できる可能性が示された。

キーワード: アイスコア, 安定同位体, 硝酸, 雪氷微生物, 中央アジア, 天山山脈
Keywords: ice core, stable isotope, nitrate, glacial microbe, central asia, tianshan mountains

レーザー氷床掘削のための氷の融解に関する研究 Studies of melting ice using laser for ice drilling

櫻井 俊光^{1*}; Chosrowjan Haik¹; 染川 智弘¹; 藤田 雅之¹; 本山 秀明²; 渡辺 興亜²; 井澤 靖和¹
SAKURAI, Toshimitsu^{1*}; CHOSROWJAN, Haik¹; SOMEKAWA, Toshihiro¹; FUJITA, Masayuki¹;
MOTOYAMA, Hideaki²; WATANABE, Okitsugu²; IZAWA, Yasukazu¹

¹ レーザー総研, ² 極地研

¹ILT, ²NIPR

分析されたアイスコアから過去の気候変動の詳細が明らかにされているが、アイスコアを掘削するためには多大なる努力と時間が必要である。我々は短時間でアイスコアと同等のデータを得るための技術開発を進めている。氷は赤外域の光をよく吸収する。赤外域の代表的なレーザーとして、波長 $10.6 \mu\text{m}$ の CO_2 レーザーがある。 $10.6 \mu\text{m}$ の波長の光を氷に照射すると、氷は深さ 1mm 程度ですべて光を吸収することが計算から導き出された。このような特徴に着目して、 CO_2 レーザーを氷に照射して融解速度を計測する実験を行った。結果、レーザー強度 $50\text{W}/\text{cm}^2$ 程度で氷は $0.8\text{mm}/\text{sec}$ 、密度 $0.15\text{g}/\text{cm}^3$ の雪では $4\text{mm}/\text{sec}$ の融解速度であった。水平面から傾けてレーザーを氷に照射すると、融解水の影響で融解速度が減少することが解った。ファイバーカップル赤外レーザーを利用すれば、氷床を掘削することは可能であると我々は考えている。

キーワード: 氷, レーザー, 吸収, 融解, 掘削, 氷床

Keywords: ice, laser, absorption, melt, drilling, ice sheet

アイスコアからみる過去8回の氷期サイクルにおける気候安定性 State dependence of climatic instability from ice-core records over the past eight glacial cycles

川村 賢二^{1*}; ドームふじ氷床コア研究 プロジェクト¹
KAWAMURA, Kenji^{1*}; DOME FUJI ICE CORE PROJECT, Members¹

¹ 国立極地研究所

¹ National Institute of Polar Research

Climatic variability on millennial timescales with bipolar seesaw pattern during glacial period has been documented in palaeoclimatic records, but their frequencies and relationships with mean climatic state are still unclear. Here we investigate the long-term characteristics of such variability using a new 700,000-year ice core record from Dome Fuji, East Antarctica, combined with another long Antarctic record. The 10^3 - to 10^4 -year warming events over the past eight glacial-interglacial cycles are most frequent when Antarctic temperature is slightly below average, equivalent to an intermediate climate during glacial periods. With the ice core data and climate modeling, we suggest that the prerequisite for the most frequent climate instability with bipolar seesaw pattern during the late Pleistocene is not only the extent of continental ice sheets but also low CO₂. North Atlantic cooling sets high sensitivity of AMOC and climate to small perturbations such as moderate freshwater anomaly.

キーワード: ドームふじ氷床コア, 急激な気候変動, 数千年スケール変動

Keywords: Dome Fuji ice core, Abrupt climate change, Millennial-scale variability

急激な気候変化のモデリング：南北両極シーソーの応答の気候状態依存性 Modelling the state dependency of abrupt climate change and bipolar seesaw

阿部 彩子^{1*}; 大垣内 るみ²; 吉森 正和³; 岡 顕¹; 高橋 邦生²; 川村 賢二⁴
ABE-OUCHI, Ayako^{1*}; OHGAITO, Rumi²; YOSHIMORI, Masakazu³; OKA, Akira¹; TAKAHASHI, Kunio²; KAWAMURA, Kenji⁴

¹ 東京大学大気海洋研究所, ²JAMSTEC, ³ 北海道大学, ⁴ 国立極地研究所

¹AORI, Univ. of Tokyo, ²JAMSTEC, ³Hokkaido University, ⁴National Institute of Polar Research

Millennial climate change such as D-O cycles, 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. Although massive discharge or melt water of Ice sheet to ocean is one of the cause thought to be responsible for the millennial climate change, the thermal response to fresh water release in North Atlantic in global models and/or the paleoclimatic data in the region far from North Atlantic do not agree and even do not explain the dependence of the amplitude upon the level of climate state. Here we ran several sensitivity experiments using a coupled atmosphere and ocean GCM (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 in the same manner and position as CMIP/PMIP protocol under different basic states; Modern Hosing under modern climate with the pre-industrial condition, and Glacial hosing under LGM condition (21ka as PMIP, with ice sheets and lowered Greenhouse Gases). The results show largest cooling response in North Atlantic and a reasonable bipolar warming signal as in the ice cores of Antarctica, and the dependence upon background climate is not relatively the same for the both hemisphere. The mechanism of different responses are discussed in detail through the analysis of model experiment of atmosphere, ocean and sea ice coupling.

キーワード: 気候モデル, 急激な気候変化

Keywords: climate model, abrupt climate change