

接地線の後退に対する南極氷床の応答のシミュレーション modelled response of the volume and thickness of the Antarctic ice sheets to transient retreat of the grounding lines

小長谷 貴志^{1*}, 阿部彩子¹, 齋藤冬樹²
Takashi Obase^{1*}, ABE-OUCHI, Ayako¹, SAITO, Fuyuki²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構

¹AORI, University of Tokyo, ²JAMSTEC

The volume of Antarctic ice sheet is about 60 meters equivalent sea level.

besides of climate change, interaction between ice shelves and ocean may be significant to Antarctic ice sheet.

The grounding line shift is a important factor in considering interaction between ice shelf and ocean. The position of grounding line is thought to be governed by ice flow and mass balance between ice shelves and ocean. Last retreat of grounding line (20ka to present) is reconstructed from marine data.

To simulate evolution of Antarctic ice sheet, explicit treatment of grounding line movement also should be included. However, simulation of transient behavior of the grounding line is still difficult using a numerical large-area ice sheet model. Instead, grounding line is prescribed as a boundary condition.

According to Saito and Abe-Ouchi (2010), grounding line position is a most important factor of Antarctic Ice Volume while climate factor is relatively small.

In this study, Antarctic ice sheet volume at prescribed grounding line patterns and Antarctic ice sheet volume change since last glacial maximum by retreat of grounding line is tested. Results show that Antarctic ice sheet volume has high sensitivity to grounding line in a term of deglaciation.

キーワード: 南極, 氷床, 棚氷, 接地線, 海水準, 棚氷海洋間相互作用

Keywords: Antarctica, Ice sheet, Ice shelf, Grounding Line, Sea level, Ice shelf-Ocean Interaction

ドームふじ氷床コアにおける金属組成が示す気候変動 The relationship between metal composition and climate change derived from the Dome Fuji ice core

佐藤 弘康^{1*}, 鈴木 利孝², 本山 秀明³
Hironori Sato^{1*}, Toshitaka Suzuki², Hideaki Motoyama³

¹ 山形大学大学院理工学研究科, ² 山形大学理学部, ³ 国立極地研究所

¹Yamagata University Graduate School of Science and Engineering, ²Faculty of Science, Yamagata University, ³National Institute of Polar Research

南極氷床中には積雪と共に降下・堆積したエアロゾルが保存されている。エアロゾルは地球上の様々な場所から供給されたものであり、その化学組成は供給源の環境変化を反映するため、氷床コア中の粒状物は地球環境変動を評価するための重要な情報源となる。これまで、ドームふじ基地で掘削された3035mの深層氷コアについても、様々な物理・化学的特性に関する研究が進められてきた。また、粒状物に含まれる金属成分の多くは難溶性であり、その重要性が指摘されている。しかし、金属成分に関しては溶存成分の解析が中心に進められており、難溶性の粒子態金属成分に関する研究は十分に行われていない。そこで、本研究ではマイクロ波酸分解法を用いて粒状物を全分解した後、金属全濃度を測定し、環境変動を復元することを目的とした。

化学組成解析の結果、多くの金属成分の組成は氷期には平均地殻組成に近く、間氷期には平均海水組成に近くなるという結果が得られた。また、金属成分は(1)平均地殻組成と平均海水組成の間を安定して推移するグループ、(2)変動範囲が広く不安定な挙動を示すグループに分類でき、供給源の変遷や変質に対する応答が異なることが示唆された。さらに、SrとBaの組成は約34万年を境に変動パターンが大きく異なっていることが判明した。本報告ではこれら金属組成変動と環境変動の関係について議論する。

キーワード: 氷床コア, エアロゾル, 気候変動
Keywords: ice core, aerosol, climate change

SP2 を用いたグリーンランド NEEM における積雪中ブラックカーボンの測定 SP2 analysis of black carbon in snow at NEEM, Greenland

小川 佳美^{1*}, 東久美子¹, Remi Dallmayr¹, 近藤豊², 大畑祥², 茂木信宏², Martin Irwin², 平林幹啓¹, 榎本浩之¹, 本山秀明¹, J. P. Steffensen³, Dorthe Dahl-Jensen³
Yoshimi Ogawa^{1*}, GOTO-AZUMA, Kumiko¹, DALLMAYR, Remi¹, KONDO, Yutaka², Ohata, Sho², MOTEKI, Nobuhiro², IRWIN, Martin², HIRABAYASHI, Motohiro¹, ENOMOTO, Hiroyuki¹, MOTOYAMA, Hideaki¹, STEFFENESSEN, J.P.³, DAHL-JENSEN, Dorthe³

¹ 国立極地研究所, ² 東京大学大学院理学系研究科, ³ コペンハーゲン大学

¹National Institute of Polar Research, ²Graduate School of Science, University of Tokyo, ³University of Copenhagen

2010年にグリーンランド NEEM のピットで採取された積雪中のブラックカーボン (BC) の分析を行った。ピットの深さは 3.4m で 3-7cm 毎に 1 試料採取した。BC 濃度の分析には SP2(Single Particle Soot Photometer) を使い、Ohata et al. (2011) の方法を応用した。融かした雪試料中の BC 粒子は超音波ネブライザーで微小な液滴として噴霧され、その後加熱によって揮発せず残る BC 粒子が SP2 に導入される。SP2 はレーザー誘起白熱法を利用した BC 測定装置で、レーザーを照射して個々の BC 粒子が発する白熱光を検出し、その強度から各 BC 粒子の質量が測定される。白熱光シグナルのキャリブレーションには、fullerene soot を用いた。また、5 種類の粒径の異なる PSLs(polystyrene latex spheres) を使いネブライザー粒子化効率を測定し、ネブライザーでのエアロゾル化中の BC 粒子損失の影響を補正した。BC 濃度の季節変動を水安定同位体比との比較により評価し、またイオン成分の濃度変動との比較を行った。

キーワード: ブラックカーボン, NEEM, グリーンランド

Keywords: black carbon, NEEM, Greenland

極域フィルンにおける対流混合による気体の動的分別 Kinetic fractionation of gases by deep air convection in polar firn

川村 賢二^{1*}, Jeffrey P. Severinghaus²
Kenji Kawamura^{1*}, Jeffrey P. Severinghaus²

¹ 国立極地研究所, ² スクリップス海洋研究所

¹National Institute of Polar Research, ²Scripps Institution of Oceanography

A previously unrecognized type of gas fractionation occurs in firn air columns subjected to intense convection. It is a form of kinetic fractionation that depends on the fact that different gases have different molecular diffusivities. Convective mixing continually disturbs diffusive equilibrium, and gases diffuse back toward diffusive equilibrium under the influence of gravity and thermal gradients. In near-surface firn where convection and diffusion compete as gas transport mechanisms, slow-diffusing gases such as krypton and xenon are more heavily impacted by convection than fast diffusing gases such as nitrogen and argon, and the signals are preserved in deep firn and ice. We show a simple theory that predicts this kinetic effect, and the theory is confirmed by observations of stable gas isotopes from the Megadunes field site on the East Antarctic plateau. Numerical simulations confirm the effect's magnitude at this site. A main purpose of this work is to support the development of a proxy indicator of past convection in firn, for use in ice-core gas records. To this aim, we also show with the simulations that the magnitude of kinetic effect is fairly insensitive to the exact profile of convective strength, if the overall thickness of convective zone is kept constant.

NEEM フィルン中での氷と空隙の異方性構造の発達 Evolution of the anisotropic structure of ice and pore spaces in firn at NEEM

藤田 秀二^{1*}, 東 久美子¹, 平林 幹啓¹
Shuji Fujita^{1*}, Kumiko Goto-Azuma¹, Motohiro Hirabayashi¹

¹ 情報・システム研究機構 国立極地研究所

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

The evolution of the structure of firn core recovered at NEEM camp was investigated in order to improve our understanding of firn densification and bubble formation processes. The relative dielectric permittivities in both the vertical and horizontal planes were measured at ~35 GHz. The results were compared with those of firn at Dome Fuji in East Antarctica. Results are summarized as follows. Down to ~20 m, permittivity exhibited a positive correlation with the strength of dielectric anisotropy along the vertical. In contrast, the correlation is negative in deeper firn. This is a feature of the density crossover. We found that the crossover density is almost the same at NEEM and at Dome Fuji, confirming earlier studies of the polar firn. A remarkable difference between two sites is that strength of dielectric anisotropy at NEEM is only two thirds of that at Dome Fuji. In addition, negative correlation between permittivity and dielectric anisotropy is much more developed at NEEM. This fact suggests that the 3-D vertical anisotropic structure decreases rapidly in firn at NEEM and that limited layers deform rapidly by some factor. In contrast, at Dome Fuji, 3-D vertical anisotropic structure is preserved much longer period of time than NEEM. We speculate that at NEEM impurity plays a major role for selective deformation and that at Dome Fuji texture plays a major role for selective deformation.

キーワード: グリーンランド, フィルン, 変態, 厚密, NEEM, 氷床
Keywords: Greenland, ice sheet, firn, metamorphism, densification, NEEM

氷床の限界厚と氷底湖 Limit of the ice-sheet thickness and the subglacial lake

成田 豊^{1*}

Yutaka Narita^{1*}

¹ 応用地質株式会社

¹OYO Corporation

雪氷が累積すると氷床が発達し、自重によって次第に沈降して氷が塑性変形し流動する。厚い氷床の底部には水が存在し、そこでの氷は凍結・融解・再凍結という活動サイクルがあるといわれており、ここでは、氷床底部の高圧下での基本構造と氷床の限界厚さについて考察した。

1) 氷底湖の形成

NASAのICESat衛星の氷透過レーダーにより、東南極氷床下の広範囲にわたって氷底湖が多数発見され、水が存在していることが確認されている。氷底湖の水温は-2~-3程度と考えられ、氷床荷重による高圧のため液体を保っており、氷の圧力融解点と温度勾配が交わる場所の温度であると考えられる。

氷底湖で最も大きいポストーク湖は、氷床下約3,800mにあり、総面積は14,000km²(オンタリオ湖に匹敵する大きさ)で、湖の深度は平均125mである。ポストーク基地における氷床深層掘削においては、2012年に3,768mまで掘削し氷底湖に到達したと報告されている。

2) 氷の高圧下での転移

氷床は降雪による上載荷重により、積雪内部で圧力が徐々に増していき、この圧力は南極氷床の最下部では30MPa程度に達する。雪粒子は高い荷重(応力)のため塑性変形を起こして圧密し、粒子間の空隙を埋めるように変形する。この圧密の過程で地表の大気が雪粒子間に取り込まれ、深度200m前後で孤立気泡となる(Ice-Gas領域)。

これより深い深度領域では、この孤立気泡が圧力により徐々に収縮していき深度1,000m程度に達すると、この高圧の空気泡は氷と反応を起こし新しい結晶を構成するようになりクラスレート・ハイドレート(水和物)が発生する(Ice-Hydrate領域)。このクラスレート水和物は、水分子が作る籠型構造(クラスレート構造)の中に気体分子(ゲスト分子)を取り込んだ独特な構造をもつ結晶であり、気体と氷(水)の共存状態において、ある圧力(解離圧)を超えると相転移を起こし生成される(本堂・内田、1992)。

さらに氷床深度が増加して氷床内の圧力が高くなると氷温が徐々に上昇して、氷が融解して水ハイドレートが生成される領域に達する(Water-Hydrate領域)ことで、氷床底部が圧力融解の状態となり水が発生すると考えられる。

3) 氷の破壊強度と限界氷床厚

氷の圧力と歪の関係については、氷になんらかの力が加わって破壊現象が起こるとき、破壊が起こるまでの過程(歪速度)の違いによって脆性破壊・延性破壊に変化する。静水圧下での氷の加圧実験から、加圧静水圧を増大すると破壊強度は増大するが、30MPaと55MPaの静水圧を比べると30MPaの方が55MPaの破壊強度より大きくなり、静水圧と破壊強度に逆相関が生じて、破壊は延性的になり、みかけの破壊強度は小さくなる(水野、1993)。このことから、破壊強度の最大は35MPa程度(氷床厚で4,100m)であると見込まれ、4,000m程度を超えた氷床に積雪荷重がかかると氷床底部の高圧部では、降伏点をすぎても脆性破壊をせず塑性的な変形をつづけていく延性的破壊が生じることになる。また、氷床底部の高圧下では温度が高くなると氷が生成され流動性が増加するため、さらに強度が低下するといえる。

南極の氷床は、過去数十万年にわたって降り積もった雪が圧密されて氷化したものであり、氷床の最大厚さは4,000m程度であるといわれている。南極での氷床掘削深の最大はポストークの約3,800mであり、氷床下にある氷底湖の深さを加えても4,000m程度である。このことから、氷床の発達には現在の最大厚さが限界であり、これ以上に氷床は発達できないと推測する。すなわち、氷床の限界厚さは4,000m程度であり、限界厚さを超えると氷床下で塑性流動が生じて氷が生成され、その跡の空間が氷底湖になると考えられる。

文献

- ・本堂武夫、内田努(1992): 極地氷床における空気包接水和物の生成過程、低温科学 物理篇、第51号、197-212。
- ・水野悠紀子(1993): 多結晶氷の圧縮強度に対する静水圧の効果、低温科学 物理篇、第52号、1-13。

キーワード: 氷床厚, 氷底湖, 圧力融解

Keywords: Ice-sheet thickness, Subglacial lake, Pressure melting