

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：62611

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25740007

研究課題名(和文)ドームふじコアを使った新たな気温復元手法の開発と過去4000年の東南極の気候復元

研究課題名(英文)Reconstruction of Dome Fuji temperature over the past 4000 years

## 研究代表者

小端 拓郎 (Kobashi, Takuro)

国立極地研究所・研究教育系・外来研究員

研究者番号：00527129

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではドームふじコアを使って過去4000年の気温復元を試みた。ドームふじは、南極の内陸に位置し年平均気温がマイナス50度近くで、降雪量も年平均3cm(氷換算)と少ない。このため約70年おきの分析を行い百年規模の気温変動の復元を試みた。気温復元に必要な窒素、アルゴン同位体比、窒素アルゴン比の精度は、これまでと同様の結果を得ることができた。これらのデータを使って気温を計算すると、西暦1500年前後に過去1000年の気温の最小値があり、西暦1000年頃には、暖かかったことがわかった。これらの気温変動の原因を、突き止めるため気候モデルなどを用いて解析する予定である。

研究成果の概要(英文)：We reconstructed Dome Fuji temperature (East Antarctica) over the past 4000 years using argon and nitrogen isotopes trapped in ice cores. Currently, Dome Fuji has annual temperature of around -50 C and annual accumulation rate of around 3 cm, which make reconstructed temperature to be lower resolution than that for Greenland ice cores. Therefore, we conducted analyses for every 70 years. We obtained high precision for argon and nitrogen isotopes similar to our earlier analyses for Greenland ice cores. Using these data, we calculated temperatures, which show low temperature around 1500 AD, and high temperature around 1000 AD. We plan to use climate models to investigate the causes of these changes.

研究分野：気候変動

キーワード：気候変動 南極 ドームふじ 氷床コア 同位体 空気 温暖化 フィルン圧密

### 1. 研究開始当初の背景

これまで、木の年輪の幅や、氷床コア・海底堆積物コアの酸素同位体比などが過去の気温変動の指標として多く用いられてきた。これらの多くは、気温変動以外の要素、たとえば年輪の場合、干ばつなど乾湿の変動にも、また氷床コアの酸素同位体比は降雪量の季節性や低気圧の平均移動経路の変動にも影響される。氷床コアの場合、現在の多地点における酸素同位体比と気温との間に線形関係が成立することが知られているが、その関係が一地点における長期の時間変化にも当てはまるかどうかは問題となる。そのため、過去数千年における百年から数百年の気温変動の復元を行うためには、新たな温度指標の開発が必要である。

新しい温度指標として最近注目を浴びているのが、氷床コア中の気泡の窒素とアルゴンの同位体比である。大気中の窒素とアルゴンの同位体比は、数十万年スケールで一定である。しかし、空気が氷床上部のフィルン層(通気性のある雪層)においては拡散分別を起こすため、氷床に気泡として取り込まれる窒素とアルゴンの同位体比は大気の数値から大きくずれている。この分別は、重力や温度勾配の下で、気体の移動機構が分子拡散である状況で起こる。重力分離の度合いはフィルンの厚さに比例し、静水圧平衡に従ってより重い分子は下方へ濃縮する。温度分離は、フィルンの底部と上部の間に温度差が生じた際に起こる分別で、一般的により重い分子が低温側に濃縮する。その度合いは、温度勾配に比例し、比例定数は分子ごとに異なる(室内実験によって求められる)。従って、氷床コアの気泡中の窒素とアルゴンの同位体比の計測により、過去のフィルンの厚さと上下の温度差を復元できる(Severinghaus et al., Nature, 1998)。この手法により、過去にグリーンランドで起こった起こった急激な気温変動の定量化がなされてきた(Kobashi et al., Quaternary Science Reviews, 2007)。この手法は、物理現象に立脚しているため数十年から数百年スケールの温度変化復元に対して非常に信憑性が高い。申請者は、上記の手法で推定したフィルンの温度勾配を、フィルンの圧密・熱伝導モデルと組み合わせることにより表面温度を復元する新手法を開発した(Kobashi et al., Earth Planetary Science Letters, 2008; Kobashi et al., Climatic Change, 2010)。これまでの手法では、氷の酸素同位体比データを併用しなければ表面温度が算出できなかったが、本手法は酸素同位体比を使用しない。これによって、完新世のように比較的気温変動が小さく酸素同位体比の温度代表性が明らかでない期間においても、数十年から数百年周期の表面気温変動の復元が可能になった(Kobashi et al., Climatic Change, 2010)。この手法を使ってグリーンランド氷床コア「GISP2」を分析した結果、過去4000年の高時間分解能<2

0年)の気温データが得られた(Kobashi et al., Geophysical Research Letters, 2011)(図1)。また、この気温復元データを使って、グリーンランドの気温変動が太陽活動、火山活動、温室効果ガス、軌道変動の気候強制力の変動によって引き起こされていることを発見した(Kobashi et al., Climate of the Past, 2013a,b)。また、申請者は平成23年度から平成24年度まで科研費若手研究Bを取得し、国立極地研究所において、この温度復元の新手法を行う設備を整えた。現在これらの測定装置を用いてグリーンランドのNGRIP氷床コアの過去2000年間の分析を行っている。この分析によりグリーンランドの地域的な気温変動の違いが解明されるのみならず、北大西洋における過去2000年間の数十年から数百年規模の気候変動がより明らかになる。これまで過去4000年の南極の数10年から数100年規模の気温変動復元は酸素同位体比を使った手法以外には存在せず、この手法での復元は南極で初の試みとなる。すでに、復元が行われた過去4000年のグリーンランドの気温データと対比することにより、地球規模の気温変動とその原因を解明する。

### 2. 研究の目的

将来の地球温暖化と、それに伴う南極氷床融解や海面上昇を、気候モデルや氷床モデルを使って正確に予測するためには、南極の気温変動のメカニズムを理解することが重要である。本研究では、申請者が世界で初めて成功しこれまでグリーンランド氷床コアに使われた氷床コア中の気泡空気中の窒素とアルゴンを使った気温復元手法を、南極氷床ドームふじコアに適用する。そして、過去4000年の東南極の数百年規模の気温変動を復元する。本研究によって、東南極の気温変動が、軌道変動・温室効果ガス・太陽活動・火山活動や、全球から半球規模の気候変動とどのように関連しているかを解明することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、本研究代表者が2011-2013年度の科研費課題(新たな氷床コアガス分析手法による過去2000年の高精度グリーンランド気温復元:課題番号23710020)で国立極地研究所に構築したシステムを用いて氷床コアの分析を行った。過去4000年に亘って70年おきにサンプル氷を切り出し、分析を行った。実験室においてガラスフラスコ内で氷以外の空気を排気した後、氷を融解させ、サンプル空気を氷から取り出し、ヘリウム冷却器を用いてサンプル空気を凝結回収した。その際、サンプル空気中の水蒸気、不純物、酸素等をコールドトラップを用いて取り除いた。サンプル空気は、質量分析計を用いて窒素とアルゴンの同位体比、窒素・アルゴン比の分析を行った。その窒素・アルゴン

同位体比を用いて、過去のフィルン層の上部と下部の温度差を計算した。そして、フィルンの圧密・熱伝導モデルを用いて表面気温の復元を行った。

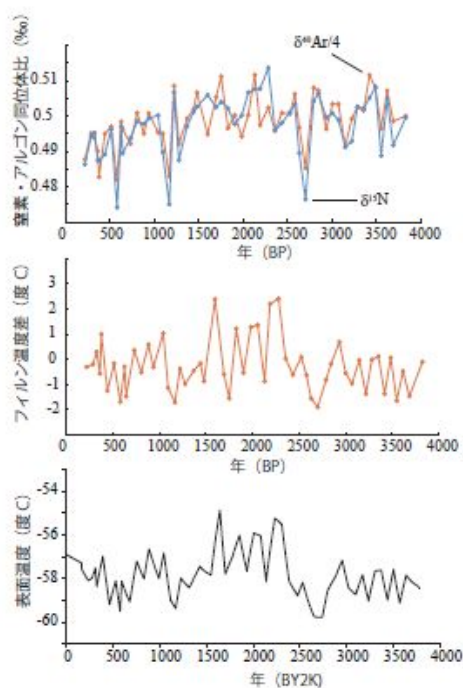


図1 ドームふじコアを使った過去4000年の気温復元と、窒素・アルゴン同位体比、フィルン温度差。アルゴン同位体比は、窒素同位体比と比較するため4で割った値で示している。また、アルゴン同位体比 ( $\delta^{40}\text{Ar}/4$ ) には0.008‰を加えて補正してある。

#### 4. 研究成果

科研費の期間である2年間において、予定していたドームふじコアのサンプルの分析を完了し、予備的な気温の復元まで行うことができた。これから、気温復元を完成させ不確実性の解析を行った後、気候モデル等を用いて気温変動の原因の解析をおこなう。2015年度中に論文を執筆し投稿する予定である。

また、期間中に気温復元に関する2編の論文を執筆した。一つは、NGRIPとGISP2の気温復元から20世紀後半のグリーンランドの低温が、太陽活動によるものであることを示した。また、フィルン層内でのガス分別の新たなメカニズムをモデルで示した。これらの論文は、現在査読中である。

(1) ドームふじコアを使い過去4000年のアルゴン・窒素の同位体比を高精度で計測した(図1)。

(2) このデータを使って、過去4000年のドームふじ気温の復元を行った(図1)。

(3) グリーンランド氷床コア NGRIP・GISP2 を用いて気温復元を行い、過去2000年に亘

ってNGRIPとGISP2の気温が同様に変動していることを示した。現在、この論文がGeophysical Research Lettersで査読中である。

(4) フィルン内で閉じた気泡から空気が氷結晶を通じて抜けるメカニズムを用いて、窒素・アルゴン比が、降雪量の変動によって変動するメカニズムを構築した。現在、この論文がAtmospheric Chemistry and Physicsに査読中である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2件)

(1) Kobashi, T., T. Ikeda-Fukazawa, M. Suwa, J. Schwander, T. Kameda, J. Lundin, A. Hori, M. Doring, and M. Luenberger, Post bubble-close-off fractionation of gasses in polar firn: Effects of accumulation rate on permeation through loading pressure, Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, 査読無、in press、2015.  
 (2) Kobashi, T., K. Goto-Azuma, J. E. Box, C.-C. Gao, and T. Nakaegawa, Causes of Greenland temperature variability over the past 4000 years: Implications for Northern Hemispheric temperature change, Climate of the Past, 査読有、9, 2299-2317, 2013.

〔学会発表〕(計 8件)

(1) Kobashi, T., J. E. Box, B. M. Vinther, K. Goto-Azuma, T. Blunier, J. W. C. White, T. Nakaegawa, C. A. Andresen, Volcanically active periods induced multidecadal to centennial Greenland cooling episodes during the past 2,100 years, International Conference on Volcanoes, Climate, and Society, Bicentenary of the great Tambora eruption, 平成27年4月、スイス、ベルン。

(2) Kobashi, T., Consistent Greenland temperature variability (GISP2 and NGRIP) over the past 2100 years using argon and nitrogen isotopes in trapped air in ice core, PIRE workshop: Ultra high-resolution ice core proxies and processes: data, interpretation, firn processes, and new directions, 平成26年8月、デンマーク、コペンハーゲン。

(3) Kobashi, T., K. Goto-Azuma, K. Kawamura, B. Vinther, T. Blunier, J. Box, C. Buizert., A. Muto, J. White, Greenland temperature variability over the past 2000 years inferred from NGRIP and GISP2 ice cores, Japan Geoscience Union meeting, 平成26年4月、横浜。

(4) Kobashi, T., Modulation of Greenland

temperature through changes in solar activity, Japan Geoscience Union meeting、平成 26 年 4 月、横浜。

(5) Kobashi, T., K. Goto-Azuma, K. Kawamura, B. Vinther, T. Blunier, J. Box, C. Buizert, Consistent Greenland temperature variability over the past 2000 years from NGRIP and GISP2: Preliminary NGRIP results, NIPR symposium、平成 25 年 11 月、立川。

(6) Kobashi, T., T. Ikeda-Fukazawa, M. Suwa, T. Kameda, J. Lundin, Investigation of Ar/N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> fractionation at bubble close off in GISP2 ice core, PIRE、平成 25 年 9 月、米国、ラホヤ。

(7) Kobashi, T., T. Ikeda-Fukazawa, M. Suwa, T. Kameda, J. Lundin, Investigation of Ar/N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> fractionation at bubble close off in GISP2 ice core, 日本雪氷学会、平成 25 年 9 月、北見。

(8) Kobashi, T., Interpreting oxygen isotopic signals of Greenland ice cores by comparing with the new temperature record over the past 4000 years, Conference on isotopes of carbon, water, and geotracers in paleoclimate research、平成 25 年 8 月、スイス、ベルン。

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/greenland-temperature/my-page>

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

小端 拓郎 (KOBASHI TAKURO)

国立極地研究所・研究教育系・外来研究員

研究者番号：00527129