

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 2 日現在

機関番号：62611
 研究種目：若手研究 B
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23710020
 研究課題名（和文）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変動復元
 研究課題名（英文） High precision Greenland temperature reconstruction over the past 2000 years using a new method of measuring gasses in trapped air in ice cores
 研究代表者
 小端 拓郎（KOBASHI TAKURO）
 国立極地研究所・研究教育系・特任研究員
 研究者番号：00527129

研究成果の概要（和文）：グリーンランドの気温変動はグリーンランドの氷床融解に大きく影響する因子の一つであり、氷床の変動は海水準を通じて世界中の沿岸地域に影響する。そのため、グリーンランドの過去の気温変動とそのメカニズムを理解することは極めて重要である。この科研費を通じて、空気抽出装置を国立極地研究所に製作するところから開始し、グリーンランド氷床の北側に位置する場所から得られた NGRIP コアの過去 2000 年の全期間のアルゴンと窒素の同位体比をよい精度で分析することができた。結果、過去 2000 年間 NGRIP はグリーンランドのサミットと似た気温変動を経験したことが分かった。

研究成果の概要（英文）：Greenland temperature change affects melting of Greenland ice-sheet, which in turn cause global sea-level change. Therefore, it is critical to understand Greenland temperature change and the mechanisms. With this KAKENHI, the extraction line and system to reconstruct temperature has been established, and the measurements for the past 2000 years of NGRIP ice core have been completed with good precision. Finally, it was found that NGRIP experienced a similar temperature history with GISP2 over the past 2000 years.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動

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問題となる。グリーンランド氷床コアの気泡中の窒素やアルゴンの同位体比を用いて急激な温度変化を定量化した結果を見ると、現在の地点間の酸素同位体と温度の関係を当てはめた場合、氷期-間氷期の気温変化を半分程度にまで過小評価してしまうことが分かった（Severinghaus et al., *Nature*, 1998, Huber et al., *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, Kobashi et al., *Quaternary Science*

Reviews, 2007)。まして、完新世（現在の間氷期）中の微妙な温度変動については、酸素同位体比による気温推定や誤差評価は難しい。グリーンランドでは、掘削孔の気温プロフィールを用いた温度復元も行われ、小氷期や中世温暖期のような最近の数百年スケールの変動も復元を試みられてきた (e.g., Dahl-Jensen et al., *Science*, 1998)。しかし、この手法は時間を遡るにつれて復元される気温変動の時間分解能が著しく低下するため、数十年周期の気温変動の復元は過去数百年を超えると不可能である。そのため、完新世における十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った。

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。

申請者は最近、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1000年の高時間分解能(10年)、高精度(0.6°C)の気温データが得られた (Kobashi et al., *Climatic Change*, 2010)。これによると、グリーンランドの気温変動は数百年から数十年周期で北半球の気温変動と同期し、その振幅が増幅されていることがわかった (Kobashi et al., *Climatic Change*, 2010)。この関係が1000年前以前にも存在していたかどうかは、さらに記録を遡ることにより確かめることができる。

本研究でターゲットとした過去2000年のグリーンランド気温変動復元は以下の2点において重要である。1つには、過去1000年から2000年の気温変動は、将来100年間の温暖化を評価する際、自然起源の気候変動を知る基礎となる期間である。それゆえ、IPCCの第4次評価報告書(2007)においては、過去2000年の気候変動は「第6章古気候」のサブセクションとして扱われている。本研究により、過去2000年のグリーンランド気温変動を数十年の時間分解能で復元できれば、自然起源の数十年周期の変動がどのように未来の地球温暖化へ影響するかを知る上でのヒントとなり、2014年の刊行に向けた第5次評価報告書にも科学的な証拠を提示することにより貢献できる。また、本研究では、グリーンランド氷床コア「NGRIP」を用いたが、このコアは過去数千年をカバーする2本のコアがあり、十分なサンプルを得ることができた。また、グリーンランドの2地点における過去1000年のデータを比較することにより、グリーンランドの温度変動の地域差が評価できる。

2. 研究の目的

将来の温暖化と、それに伴うグリーンランド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、グリーンランド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た氷床コアの気泡中の窒素とアルゴンを使った気温復元手法を用い、これまでで最も高精度の過去2000年のグリーンランド気温変動を復元することを目的としている。本研究によって、グリーンランド気温変動が、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。

3. 研究の方法

本研究では、グリーンランド氷床コア「NGRIP」を用いて高精度な過去2000年のグリーンランド気温変動復元を行った。そのため、氷床コアの気泡中の窒素とアルゴンの同位体比を高精度、高時間分解能(10年間隔)で分析した。氷からの空気の抽出には、申請者がスクリプス海洋研究所で開発した装置を国立極地研究所に本研究経費により作成し、分析には国立極地研究所の質量分析計を使用した。分析手法の開発と空気抽出装置の作成とテストを行うと共に、質量分析計の高精度分析のための調整を行った。その上で、氷床コアの分析をおこなった。

4. 研究成果

当初予定では、窒素・アルゴン同位体比のデータと、熱伝導・圧密モデルを用いて気温復元を行って論文を書く予定であったが、機器の精度調整に時間がかかりデータを出し終わるところで2年が過ぎた。ただし、GISP2のデータを使って、4000年の気温復元と、グリーンランド気温変動のメカニズムを解明し3本の重要な論文を執筆することができた。平成25年度中にモデルを使ってNGRIPの気温復元を行い論文執筆する予定である。

- (1) 国立極地研究所において氷床コア中のアルゴン・窒素の同位体比の測定をするシステムを構築した。その精度は、研究代表者がスクリプス海洋研究所に設置したものと比するか、それ以上のものである。
- (2) 過去2000年のNGRIPコアの分析を終了した。その結果、NGRIPとGISP2は過去2000年に亘って似た気温変動を経験したことが分かった。
- (3) 研究代表者がすでに分析を終わっていたGISP2氷床コアを使ったアルゴン・窒素同位体比を使って過去4000年のグリーンランドサミット気温を復元し出版した。復元気温は、観測データともよく一致し、興味深いことにNGRIPコアの酸素同位体比とよく一致することが分かった。

(4) グリーンランドの気温が、過去800年に亘って太陽活動の変動に伴って北半球傾向から負の方向にずれることを発見し出版した。これは、将来において太陽活動が弱くなるとグリーンランドは、温室効果ガスの上昇による温暖化と、太陽活動の弱体化に伴う温暖化の影響で、急速な温暖化をする可能性があることを示した。

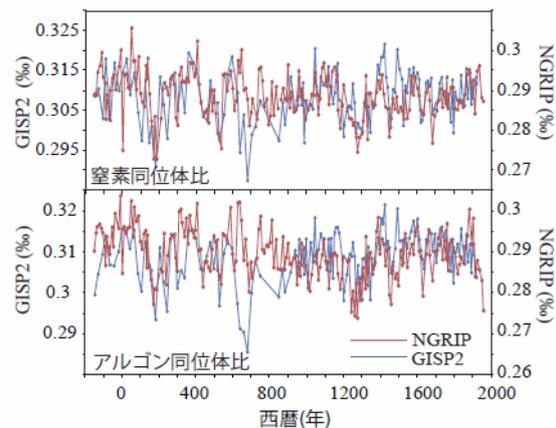


図1 過去2000年のNGRIPとGISP2の窒素・アルゴン同位体比。アルゴン同位体比は、窒素同位体比と比較するため4で割った値で示している。

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3件)

(1) Kobashi, T., D. T. Shindell, K. Kodera, J. E. Box, T. Nakaegawa, and K. Kawamura, On the origin of multi-decadal to centennial Greenland temperature anomalies over the past 800 years, *Climate of the Past*, 9, 583-596, 2013.

(2) Kobashi, T., K. Kawamura, 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 Discussion*, 8, 4817-4883, 2012.

(3) Kobashi, T., K. Kawamura, J. P. Severinghaus, J.-M. Barnola, T. Nakaegawa, B. M. Vinther, S. J. Johnsen., and J. E. Box, High variability of Greenland temperature over the past 4000 years estimated from trapped air in ice core, *Geophysical Research Letters*, v. 38, L21501, doi:10.1029/2011GL049444, 2011.

〔学会発表〕(計 16 件)

- (1) 小端拓郎、Causes of Greenland temperature variation over the past 4000 years、JPGU、平成25年5月、幕張。
- (2) 小端拓郎、Causes of Greenland temperature variation over the past 4000 years, Paleoclimate in Arctic environment、国立極地研究所、平成 25 年 3 月、立川。
- (3) 小端拓郎、Solar induced Greenland temperature variation over the past 4000 years、The 3rd Nagoya workshop on the relationship between solar activity and climate change、名古屋大学、平成 25 年 2 月、名古屋 (招待)。
- (4) Kobashi, T.、Causes of Greenland temperature variability over the past 4000 years: implications for north hemispheric temperature change、ISAR-3、平成 25 年 1 月、東京。
- (5) Kobashi, T.、Causes of multidecadal to centennial Greenland temperature variations over the past 4000 years、AGU、平成 24 年 12 月、米国サンフランシスコ。
- (6) Kobashi, T.、Causes of Greenland temperature variability over the past 4000 years: implications for north hemispheric temperature change、NIPR symposium、国立極地研究所、平成 24 年 11 月、立川。
- (7) Kobashi, T.、Climate change during the Holocene: A perspective from a new Greenland's temperature history from air trapped in ice cores, keynote talk at the International Partnership in Ice Core Sciences (IPICS)、平成 24 年 11 月、フランス、コートダジュール (招待)。
- (8) 小端拓郎、Greenland temperature variability over the past 4000 years: Implications for North Hemispheric temperature change、日本雪氷学会、平成 24 年 9 月、福山。
- (9) 小端拓郎、Greenland temperature variability over the past 4000 years: Implications for North Hemispheric temperature change、日本第四紀学会、平成 24 年 8 月、熊谷 (招待)。
- (10) 小端拓郎、Solar influence on Greenland temperature anomalies over the past 1000 years、JPGU、平成 24 年 5 月、幕張 (招待)。
- (11) 小端拓郎、Solar influence on Greenland temperature anomalies over the past 1000 years、日本気象学会、平成 24 年 5 月、東京。
- (12) Kobashi, T.、Solar influence on Greenland temperature anomalies over the past 1000 years、The 2nd Nagoya workshop on the relationship between solar activity and climate changes、名古屋大学、平成 24 年 1 月、名古屋。
- (13) 小端拓郎、High variability of Greenland temperature over the past 4000 years estimated from trapped air in ice core, NIPR symposium、国立極地研究所、平成 23 年 11 月、立川。
- (14) Kobashi, T.、High variability of Greenland temperature over the past 4000 years, Santa Fe Third Conference for Global and Regional Climate Change、平成 23 年 10 月、米国サンタフェ (招待)。
- (15) 小端拓郎、Solar influence on Greenland temperature anomalies over the past 4000

years、日本雪氷学会、平成 23 年 9 月、
高岡。

(16) 小端拓郎、Synchronous changes of
Greenland temperature and alpine glacier
over the past 4000 years、JPGU、平成 23
年 5 月、幕張。

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・特任研究員
研究者番号：00527129

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：