

## 過去4000年のグリーンランド温度変動と同期して起こった広域の山岳氷河の進退 Synchrony between Greenland temperature change and wide-spread alpine glacial changes for the last four millennia

小端 拓郎<sup>1\*</sup>, 川村 賢二<sup>1</sup>, Jeffrey Severinghaus<sup>2</sup>, 仲江川 敏之<sup>3</sup>  
Takuro Kobashi<sup>1\*</sup>, Kenji Kawamura<sup>1</sup>, Jeffrey Severinghaus<sup>2</sup>, Toshiyuki Nakaegawa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> スクリップス海洋研究所, <sup>3</sup> 気象研究所

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Scripps Institution of Oceanography, <sup>3</sup>Meteorological Research Institute

### 1. はじめに

気温の直接観測データは150年程度に限られるため、数十年周期以上の気候変動のメカニズムを理解することは大変難しい。しかし、これから起こる温暖化とそれに関わる気候変動を理解するには、数十年レベルから、さらに長い時間スケールでの気候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、過去4000年のグリーンランドにおける温度変動を、GISP2氷床コア中の気泡の窒素とアルゴンの同位対比を計測することにより復元した。その結果、過去4000年の間グリーンランドの温度変動が、広域の山岳氷河の進退と同期していたことが分かった。

### 2. データの概要

グリーンランドのGISP2氷床コアを使い、サンプル中の気泡のアルゴン( $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ )と窒素( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ )の同位体比を計測(Kobashi et al., 2007; Kobashi et al., 2008a,b)した。これにより、氷床上部の雪層内での分子拡散によっておこる気体の重力分離および温度分離の程度を知ることができる。これらの分離はそれぞれ雪層の厚さと温度差に比例することから、2種類のガスの同位体比より、雪層の厚さと温度差を復元できる。さらに、温度差のデータと雪の圧密モデルとを組み合わせ、氷の酸素同位体比データを用いずに、氷床表面の温度変動を復元した。過去1000年の復元結果はすでに出版されている(Kobashi et al., 2010)。

### 3. 過去4000年のグリーンランド温度変動

過去4000年の温度変動を見ると、この期間を通した減少傾向などは見えないが、数百年から数千年周期の温度変動が明らかである。興味深いことに、これまで知られている気候区分(Holzhauser et al., 2005; Schaefer et al., 2009)とよく一致する。数千年周期の変動として、紀元前1800年くらいから温暖化し、紀元前1350年くらいにピークに達した後、紀元前480年近くまで寒冷化する。それから、紀元700年まで温暖化し、それ以降、過去4000年で一番寒い期間「小氷期」を迎える。スペクトル分析によると、2232年、352年、172年、140年、87年、73年、63年周期のピークが見つかった。

### 4. 山岳氷河の進退との関連

復元されたグリーンランドの温度変動とスイスの氷河の進退を復元した結果(Holzhauser et al., 2005)を比べてみると、数百年から千年スケールの気候変動との対応関係が見て取れる。特に、紀元前600年から紀元前500年を中心にした時期と、小氷期と呼ばれる紀元1300年から紀元1850年の時期は、地球規模で氷河が拡大した時期に相当し(Denton and Karlen, 1973; Mayewski et al., 2004; Grove, 2004; Wanner et al., 2008)、この二つに時期は復元された過去4000年のグリーンランド温度変動で最も寒かった時期でもある。

同時に、GISP2コアの $\text{Na}^+$ の濃度(Mayewski et al., 1997)も温度変動と負の相関( $r = -0.41$ )がある。氷床コア中の $\text{Na}^+$ は、海水を起源とし大気循環の変化による風の強度の変動と共に変化するとする説と、海水を起源とし海水の生成量とともに変化するとする説がある。つまり、グリーンランドの温度が低下した際、大気循環強度の増大あるいは北大西洋の海水拡大が起こったことになる。また、太陽活動の指標( $d\text{TSI}$ )と $\text{Na}^+$ は有意な相関( $r = -0.45$ )があり、 $\text{Na}^+$ の変動を引き起こす極地方の大気循環が、太陽活動と密接に関連していることを示している。また、太陽活動とグリーンランドの温度変動に強い相関は見られない( $r = -0.17$ )のは、太陽活動のシグナルが大気循環や海洋循環などに取り込まれたのち、グリーンランド温度変動に影響したためと考えられる。

これまで、過去数千年において氷河の進退ほど、広域で同時に起こることが知られている現象は少ない(Wanner et al., 2008)。グリーンランドの温度と広範囲にわたる氷河の進退が、特に調和的に起こっているのは、それらの変動の原因となる強制力が太陽活動や火山活動等、広範囲に共通するものであるのと、極地方や山岳地帯に共通する雪のアルベド効果によって、その強制力が増幅されていることによると考えられる。

キーワード: グリーンランド, 氷床コア, ガス分析, 温度拡散, フィルン

Keywords: Greenland, Ice core, Gas analysis, Thermal diffusion, Firn