# グリーンランド南東ドームコアの酸素安定同位体比を用いた 気温・涵養量変動の研究

## Temperature and accumulation rate reconstructions from the ice core in south-east dome, Greenland

## 古川崚仁(北海道大学大学院環境科学院), 飯塚芳徳,的場澄人(北海道大学低温科学研究所),植村立(琉球大学理学部) Ryoto Furukawa, Yoshinori Iizuka, Sumito Matoba, Ryu Uemura

## 1. はじめに

グリーンランド氷床は世界で2番目に大きい氷塊である.仮に,すべて融解した場合, 海面が7m超上昇すると予測されている<sup>1)</sup>.2012年には,表面に大規模な融解が観測され る<sup>2)</sup>など,気温上昇が氷床の融解を促進している可能性が高い.その一方で,衛星観測デ ータからグリーンランド氷床の質量が増加していることも指摘されている<sup>3)</sup>.したがって, 過去の気温と涵養量の変動は,将来の氷床の挙動を予測するためにも重要なデータとなる. これまでの研究で NEEM や GRIP 等の多くの地点で氷床コアを用いて進められてきた<sup>4)</sup>. しかし,氷床南東部については涵養量についての報告<sup>5)</sup>があるものの研究結果に乏しい. 氷床は通常緩やかな流動を起こすが,本研究のアイスコア掘削地である南東ドーム付近は 流動がほとんど起きない.そのため掘削された氷床コアは垂直方向に良質な時系列媒体で ある.加えてこの地域は涵養量が大きいため,高い時間分解能で過去の気候変動の復元が 可能である.そこで本研究では2015年5月に南東ドームで掘削されたアイスコアを用い, 気温と涵養量を復元し,各データとの比較・考察を行った.

## 2. 試料と分析

南東ドームは 67.18°N, 36.36°W, 標高 3,170 mに 位置し掘削期間 (2015/5/19-6/2)の平均気圧 667 hPa, 平均気温-21°C の特徴を有している(図1). また, グリーンランド全体の中でも特に高い涵養 量を示す地域である<sup>5)</sup>.本研究では南東ドームで 掘削した 90.815 m にわたる 189 本のコア (SE-001 から SE-189)を用い,式1で表される値である水 の酸素安定同位体比 (δ<sup>18</sup>O)の分析を行った.こ のδ<sup>18</sup>O 値は,気温と正の相関があり<sup>6)</sup>,気温の指 標として氷床コアの古環境復元に広く用いられて いる.安定同位体比分析にはキャビティーリング ダウン式分光計 (PICARRO 社製:L2120-i)を用い, 標準試料に超純水 (-12.11‰),南極海の氷山氷 (-19.17‰),南極の積雪 (-46.69‰)を使用し





## 式1 酸素安定同位体比

た.標準試料は1試料につき20回測定した.15-20回目の6回うち標準偏差が0.08‰以下 になる3回を選択し,その平均値を測定値とした.サンプルはSE-001からSE-028につい ては10 cm間隔,SE-029からSE-189については5 cm間隔に切断して得た1637サンプル のうち 728 サンプルを分析した.1 試料につき 10 回の測定を行い,5-10 回目の6回うち標 準試料と同様に標準偏差が0.08‰以下になる3回を選択し,その平均値を測定値とした.

## 3. 結果と考察

## 3.1.分析結果と年代決定

図2に酸素安定同位体比の深度プロファイルを示す.δ<sup>18</sup>O について-39‰から-17‰の間 で周期的に変動していた.<sup>18</sup>O を含む水分子は<sup>16</sup>O を含む水分子より質量数が大きく,蒸発 しにくく凝結しやすい.そのため海洋における水の蒸発から凝結(雲の形成),降水と幾多 の分別によりδ<sup>18</sup>O 値に変化が生じながら,グリーンランド氷床への降水・積雪に至ってい る.こうした現象のためδ<sup>18</sup>O は気温の指標になることが知られている<sup>6)</sup>.

本研究では8<sup>18</sup>O 値に短い間隔に複数の極大極小がみられ年層を確認することが困難であった. そのため季節変化が明瞭に確認でき、アイスランド低気圧が発達する冬に極大を示す Na<sup>+</sup>濃度を利用して年代を推定した. また電気伝導度の測定結果<sup>7)</sup>から 43.46 m の層を 1991 年のピナツボ火山の噴火によるものと決定しており,これをタイムマーカーとして利用した.以上の方法により年代を決定し,Na<sup>+</sup>が極大を示したサンプルの深度を冬と仮定し,極大間の深度を 12 等分することで各月を決定した(図3).



図2 酸素安定同位体比の深度プロファイル



#### 3.2.気候変動指数や再解析データとの比較

年代決定した $\delta^{18}O$ 値(図3)を気候変動指数と比較した. ヨーロッパ中期予報センター (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: ECMWF)より再解析データ ERAinterim から掘削地に最も近い格子点(67.125°N, 36.375°W)を抜き出し600 hPa 気温のデー タを示したものが図4である.  $\delta^{18}O$ 値との相関係数は0.46となった. コアは降雪が由来で あるため ERA-interim から降水があった日の600 hPa 気温を抜き出し,各月で平均を算出し た. そのうち冬季に極小を示した月を抜き出しプロットしたものと,Na<sup>+</sup>が極大を示したサ ンプルの $\delta^{18}O$ 値を比較したものが図5である.両者については相関係数0.49となった.特 に2005年以前に関しては0.74の正の相関がみられたが,2005年以降については0.31と弱 い相関となった.  $\delta^{18}$ O 値は、降雪地点の気温だけではなく、水蒸気起源から降雪地点までの水循環プロセスの影響も受けている<sup>8)</sup>. そこでコア掘削地の地理的条件を考慮しこの地域の気候と関係が深い北大西洋振動(North Atlantic Oscillation: NAO), 北極振動(Arctic Oscillation: AO), 大西洋数十年規模振動(Atlantic Multidecadal Oscillation: AMO)の各指数から月ごとのデータを使用した(図6). しかし、この3データとの相関係数はそれぞれ-0.22、-0.04、0.19 と良い相関は得られなかった.



**図4** ERA-interim による 67.125°N, 36.375°W の 600 hPa 気温変動



**図5** Na<sup>+</sup>が極大を示した月のδ<sup>18</sup>0 値と ERA-interim から降水日の気温を抜き出し各月で平 均した値のうち極小を示した気温値



図6 各指数 (NAO, AO, AMO) の変動

### 3.3.涵養量の復元

Na<sup>+</sup>の極大間(冬-冬)で決定した年層間でδ<sup>18</sup>O 値が最大を示すサンプルを各年の夏と し,夏-夏における涵養量を算出した(図7).本研究では気温の指標であるδ<sup>18</sup>O 値が示す 極大のうち各年の最大値を夏と仮定し求めた.結果,平均涵養量は1.03 m/yr w.e.であった. 2002 年夏から 2003 年夏に関して 2 m を超える涵養があった.この結果についてはモデル 研究から 2002 年 6 月において 2003 年 5 月に卓越した涵養があったという報告<sup>5)</sup> と良く合っていた.



図7 酸素安定同位体比の極大間より復元した涵養量

【引用文献】

- 1) Alley, Richard B, Clark, Peter U, Huybrechts, Phillippe, Joughin, Ian, 2005: Ice-Sheet and Sea-Level Changes, *Science*, **310**, 456-460
- 2) Nghiem, S.V., Hall, D.K., Mote, T.L., Tedesco, M., Albert, M. R., Keegan, K., Shuman, C. A., DiGirolamo, N. E., Neumann, G., 2012: The extreme melt across the Greenland ice sheet in 2012, *Geophysical Research Letters*, **39**, L20502, doi: 10.1029/2012GL053611
- 3) Johannessen, O. M., Khvorostovsky, K., Mile, M. W., Bobylev, L. P., 2005: Recent Ice-Sheet Growth in the Interior of Greenland, *Science*, **310**, 1013-1016
- 4) Buchardt, S. L., Clausen, H. B., Vinther, B. M., Dahl-Jensen, D., 2012: Investigating the past and recent  $\delta^{18}$ O-accumulation relationship seen in Greenland ice cores, *Climate of the Past*, **8**, 2053-2059
- 5) Hanna, E., McCOnnel, J., Das, S., Cappelen, J., Stephens, A., 2006: Observed and Modeled Greenland Ice Sheet Snow Accumulation, 1958-2003, and Links with Regional Climate Forcing, *Journal of Climate*, 19, 344-358
- 6) Dansgaard, W., 1964: Stable isotopes in precipitation, *Tellus*, 16, 436-468
- 7) Iizuka, Y., Miyamaoto, A., Hori, A., Matoba, S., Furukawa, R., Saito, T., Fujita, S., Hirabayashi,
  M., Yamaguchi, S., Fujita, K., Takeuchi, N., submitted: A unique firn densification process in
  highly accumulated dry-snow zonein southeastern Greenland
- 8) 植村 立, 2007: 水の安定同位体比による古気温推定の研究--極域氷床コアからの数 千年スケールの気候変動の復元--, 第四紀研究, **46(2)**, 147-164