

## 2017年グリーンランド北西部 (SIGMA-A サイト) におけるアイスコアの 水安定同位体比

### Water stable isotope analysis of SIGMA-A ice core 2017 in northwestern part of Greenland Ice Sheet"

黒崎 豊 (北海道大学 大学院環境科学院・低温科学研究所)  
 的場 澄人, 飯塚 芳徳, 杉山 慎 (北海道大学 低温科学研究所)  
 安藤 卓人 (北海道大学 北極域研究センター)  
 青木 輝夫 (岡山大学大学院 自然科学研究科)

Yutaka Kurosaki, Sumito Matoba, Yoshinori Iizuka, Shin Sugiyama, Takuto Ando and Teruo Aoki

#### 1. はじめに

降雪をなす水分子の安定同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ) は, 降雪の起源となる水蒸気の輸送中の周囲の環境や起源が変化することによって値が変化する<sup>1)</sup>. また,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ から算出されるd-excessは, 海面から大気へ水蒸気が蒸発する時の, 相対湿度, 水温, 風速によって決定付けられ, 大気中での水蒸気輸送過程では保存される<sup>2)</sup>. そのため, d-excessは水蒸気の起源を推定するための有用なツールである<sup>3)</sup>.

過去に降り積もった降雪が連続的に保存されているグリーンランド氷床から得られたアイスコア中の水安定同位体比から, 過去の北極域における水循環を復元することが可能である. 北極域の海氷変動は大気中の水循環に影響を与える1つの要因である. 海氷変動が, 降雪をもたらす水蒸気起源とアイスコア中のd-excessに影響を与えていることが報告されている<sup>4)</sup>. したがって, アイスコア中のd-excessと現存する北極域の海氷変動のデータとの関係性が明らかになれば, d-excessが過去の海氷変動を復元するための1つのツールとして役立つことが考えられている<sup>5)</sup>.

グリーンランド氷床北西部SIGMA-A (N78°3'6", W67°37'42", 標高1490 m) において2017年5月25日から6月6日に気象・雪氷観測が行われた<sup>6)</sup>. その観測において過去100年程度の気候・環境復元を目的に, 60 m長のアイスコアの掘削が行われた (図1). 本研究では, SIGMA-Aのアイスコア中の水安定同位体比を用いて年層を決定し, 海氷データが存在する期間のd-excessの年平均値と北極域の海氷密接度との関係と, そのメカニズムについて考察した.

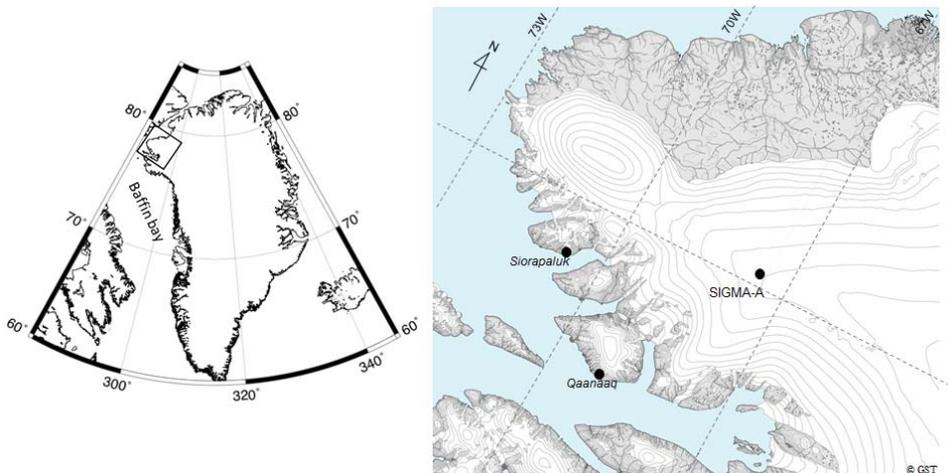


図1 アイスコア掘削地点 (SIGMA-A サイト).

## 2. 試料採取と化学分析

アイスコアの掘削に用いた掘削機は低温科学研究所製作の「どこでもドリル2」である。掘削用のテントの中を1 m掘り下げ、掘削機を設置した。合計125回の掘削で60.19 m (雪面からは61.19 m)のアイスコアを採取した。採取後のアイスコアの融解を防ぐため、テント内は通気性を良くし低温環境を保った。掘削したアイスコアはグリーンランドから北海道大学低温科学研究所まで輸送され-50℃の低温室に保存された。その後、-20℃の低温室でアイスコアの側面10 mmの部分を深さ方向に2.5 cm長に分割し清浄なポリエチレン袋(Whirl-pak)内で融解させ清浄なポリプロピレン瓶に保存した。

試料中の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta\text{D}$ は、レーザーキャビティリングダウン分光法を用いた同位体比分析装置(Picarro CRDS L2130-i)に高速蒸気化装置(Picarro社A0212)にて蒸気化させた試料を導入して測定した。分析精度は $\delta^{18}\text{O}$ が $\pm 0.08\%$ 、 $\delta\text{D}$ が $\pm 0.8\%$ である。

## 3. 年層決定と表面質量収支

図2にSIGMA-Aで採取されたアイスコア中の $\delta\text{D}$ の深さプロファイルを示す。極域の降雪中の水安定同位体比は気温によって変動し、夏に高い値を示すことが知られている<sup>7)</sup>。SIGMA-Aにおいても、 $\delta\text{D}$ は明瞭な季節変動を示していることが考えられる。 $\delta\text{D}$ の負のピークを1年の始まりとしてアイスコアの深さ36.9 mまでの年層をカウントした。また、示準層によってもアイスコアの年代を推定した。氷のコンダクタンスは、高密度層と酸の濃度が高い層でピークが出ることが知られている。深さ12.8 mにコンダクタンスのピークがみられ、 $\delta\text{D}$ による年層カウントから1991年6月15日に起きたフィリピンのPinatubo火山噴火によると推定した。また、北極域では、部分的核開発禁止条約が締結される1963年に先立ち頻繁に行われた世界中における大気中での水爆実験によって1963~1964年にトリチウムのピークが現れる。本研究では、ピークが見られた層(28.2 m ~ 28.6 m)を1963年とした。 $\delta\text{D}$ による年層カウントをコンダクタンスとトリチウムの結果で補正した年層カウントを図2の▲の記号で示す。その結果、深さ36.9 mは1947年に相当し、その期間の年間表面質量収支の平均値は0.34 m w.eq. yr<sup>-1</sup>であった。

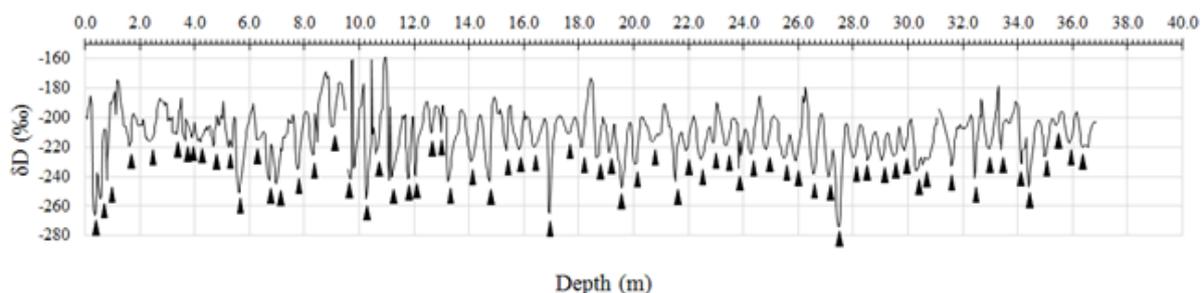
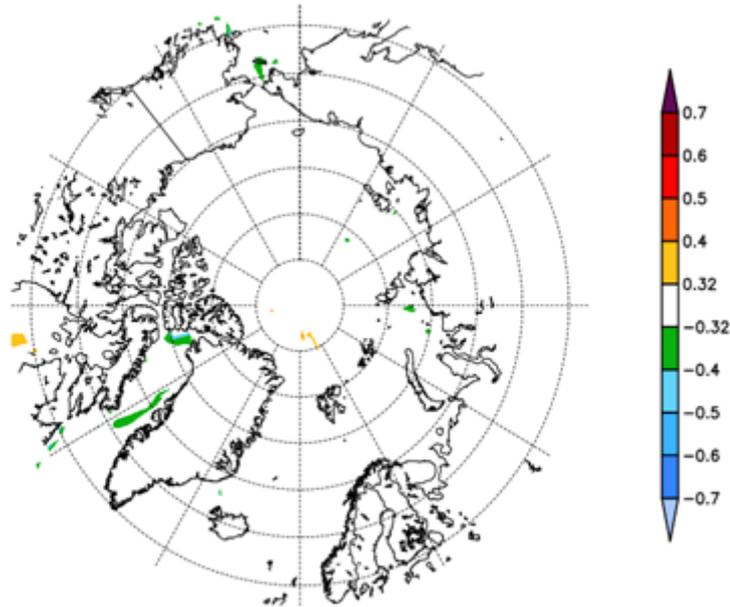


図2 SIGMA-A アイスコア中の $\delta\text{D}$ の深さプロファイル。▲の記号は1年の始まりの深さを表している。

## 4. d-excess と海氷密接度の関係

図2の年層カウントを基に、d-excessの年平均値を算出した。海氷密接度の年平均値は、NCEP/NCAR再解析データ<sup>8)</sup>から取得した。SIGMA-Aサイトのd-excessの年平均値と北極域の各グリッドの海氷密接度の1979年~2016年の相関係数を図3に示す。d-excessの年平均値は、バッフィン湾中部(N65°~N73°, W60°~W55°)とノースウォーター域(以下NOW, N75°~N78.5°, W68°~W80°)の海氷密接度の年平均値と有意な負の相関が見られた。Steen-Larsen *et al.*<sup>9)</sup>は、グリーンランド氷床北西部(NEEM)において水蒸気の



GrADS/COIA

図3 SIGMA-A アイスコアの d-excess の年平均値と北極域における海氷密接度の年平均値の相関係数 ( $|r| > 0.32$ ,  $P < 0.05$ ).

安定同位体比の時間変化を測定し、高い d-excess を示した水蒸気は開水面からの比較的激しい蒸発によってもたらされたものだと考察している。相関係数が負になった原因は海氷密接度が小さい場合、比較的激しい蒸発が生じる開水面の面積が多くなり、高い d-excess を持つ水蒸気が SIGMA-A に輸送され、降雪としてもたらされたことが考えられる。

バッフィン湾で有意な相関が見られた原因は、グリーンランド北西部とバッフィン湾周辺の大気循環場が影響を与えていると考えられる。バッフィン湾北東部に発達した低気圧によってグリーンランド西部沿岸では南風が卓越することが知られている<sup>10)</sup>。また、2017年春に SIGMA-A において採取した積雪表面雪の d-excess から、バッフィン湾に発達する低気圧性循環の風によって北極海上空からバッフィン湾に向かって空気塊が南下し、バッフィン湾南部を回り込み、開水面上を通過し南から SIGMA-A にもたらされる降雪は d-excess が高くなることが確認されている<sup>11)</sup>。したがって、バッフィン湾において低気圧または、低気圧性循環の風の発生によって空気塊がバッフィン湾中部の開水面上を通過することが比較的多かった年が多かったことが、バッフィン湾中部で d-excess と海氷密接度の年平均値に有意な相関が見られた原因であると考えられる。

海水域においては、局所的に開水面が露出するポリニヤが存在する。NOW では、強い北風によって海氷が生成され、バッフィン湾に輸送される<sup>12)</sup>。また、NOW ポリニヤは11月～3月の間に形成される<sup>13)</sup>ため、NOW の海氷密接度の変動は、夏季よりも冬季の変動が大きいことが考えられる。NOW で d-excess と海氷密接度の年平均値に有意な相関が見られたため、SIGMA-A において冬季の降雪をもたらす水蒸気は、NOW を起源とするものが比較的多いことが示唆された。

## 5. まとめ

2017年5月25日から6月6日の SIGMA-A 観測で掘削したアイスコアの年層を決定し、d-excess の年平均値と北極域の海氷密接度の年平均値との関係を調べた。アイスコアの年層

は、 $\delta D$ の深さプロファイルを基に、氷のコンダクタンスとトリチウム濃度のプロファイルから示準層を推定し、補正して決定した。深さ 36.9 m は 1947 年に相当し、年間の表面質量収支の平均値は  $0.34 \text{ m w.eq. yr}^{-1}$ であった。

図 2 の年層カウントを基に、 $d\text{-excess}$  の年平均値を算出し、北極域の海氷密接度の年平均値との相関係数を示した。その結果、バッフィン湾中部と NOW で有意な負の相関が見られた。その原因は、バッフィン湾中部や NOW において海氷密接度が小さくなると海水面が露出して比較的激しい蒸発が生じ、 $d\text{-excess}$  が高い水蒸気が SIGMA-A に運ばれ、降雪として降り積もったからであると考えられる。今後、SIGMA-A のアイスコアから過去の海氷変動を復元するためには、SIGMA-A に降雪をもたらす水蒸気の輸送経路、起源や大気循環場の年々の傾向を明らかにすることで、 $d\text{-excess}$  とバッフィン湾と NOW の海氷密接度に負の相関が示された原因を明らかにする必要がある。

## 6. 謝辞

本論文に関する観測に協力いただいた、一般社団法人アバンナット北極プロジェクトの山崎哲秀氏に心からお礼申し上げます。本研究は、ArCS 北極域研究推進プロジェクト及び SIGMA-II プロジェクトの一部として実施されました。また本研究は、JSPS 科研費 16H01772, 26257201, 15H01733 の助成を受けたものです。

### 【参考・引用文献】

- 1) Gat, J. R., 1996: Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **24(1)**, 225-262.
- 2) Merlivat, L. and J. Jouzel, 1979: Global climatic interpretation of the deuterium-oxygen-18 relationship for precipitation, *J. Geophys. Res.* **84**, 5029-5033.
- 3) Yamanaka, T. *et al.*, 2002: Footprint analysis using event – based isotope data for identifying source area of precipitated water, *J. Geophys. Res. Atmos.*, **107 (D22)**, 4624.
- 4) Jouzel, J. *et al.*, 2007: The GRIP deuterium-excess record, *Quat. Sci. Rev.*, **26(1)**, 1-17.
- 5) Osterberg, E. C. *et al.*, 2015: Coastal ice-core record of recent northwest Greenland temperature and sea-ice concentration, *J. Glaciol.* **61**, 230.
- 6) Matoba, S. *et al.*, 2018: Field activities at the SIGMA-A site, northwestern Greenland Ice Sheet, 2017, *Bull. Glaciol. Res.*, **36**, 15-22.
- 7) Igarashi, M. *et al.*, 2001: Stable oxygen isotope ratio observed in the precipitation at Ny-Ålesund, Svalbard, *Mem. Natl. Inst. Polar. Res., Spec. Issue*, **54**, 169-182.
- 8) Kalnay, E. *et al.*, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-470.
- 9) Steen-Larsen, H. C. *et al.*, 2013: Continuous monitoring of summer surface water vapor isotopic composition above the Greenland Ice Sheet, *Atmos. Chem. Phys.*, **13**, 4815-4828.
- 10) Ohmura, A. and N. Reeh, 1991: New precipitation and accumulation maps for Greenland, *J. Glaciol.*, **37(125)**, 140-148.
- 11) 黒崎豊, ら, 2018: グリーンランド北西部 SIGMA-A における積雪表面雪の  $d\text{-excess}$  と大気循環場の関係, 雪氷, 投稿中.
- 12) Smith, S. D. *et al.*, 1990: Polynyas and Leads: An Overview of Physical Processes and Environment, *J. Geophys. Res.*, **95**, 9461-9479
- 13) Barber, D. G. *et al.*, 1996: Sea-ice and meteorological conditions in Northern Baffin Bay and the North Water polynya between 1979 and 1996, *Atmosphere-Ocean*, **39:3**, 343-359.