

グリーンランド深層氷床コアから見た過去15万年の 温暖化とその影響評価

Warming events and their impacts during the past
150,000 years viewed from Greenland ice

東 久美子 (AZUMA KUMIKO)

国立極地研究所・研究教育系・准教授



研究の概要

グリーンランドの氷床コアを分析し、現在から最終間氷期まで遡る気候・環境変動と氷床変動を復元する。特に、最終氷期に生じた急激な温暖化イベント、及び現在よりも温暖であった最終間氷期や完新世の温暖期に着目し、過去の温暖化で生じた氷床変動と環境変動から、気候モデル・氷床モデルによる将来予測に不可欠なデータを提供する。

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境解析学・環境動態解析

キーワード：地球温暖化

1. 研究開始当初の背景

近年の地球温暖化に伴う北極域の変化は著しい。特にグリーンランド氷床の縮小は、海面上昇や海洋循環の変化を通じて全球的にも大きな影響を及ぼすため、その動向は注目されている。地球温暖化に対する北極域の気候・環境やグリーンランドの氷床の応答を正確に予測するためには、過去に生じた温暖化とその影響に関する長期のデータを取得し、それを元に気候モデルや氷床モデルの改良を進める必要がある。そのために、北グリーンランドの NEEM 地点で、現在よりも温暖だったと考えられている最終間氷期全体を含む氷床コアを掘削する国際共同掘削プロジェクト (NEEM 計画) が開始された。

2. 研究の目的

本研究では、NEEM 計画の下で、グリーンランドの氷床コアを分析し、過去15万年間の気候・環境変動を復元する。コアの絶対年代を誤差千年以下の高精度で決定し、コアから復元される北大西洋域の気候変動のタイミングを、地球軌道要素、温室効果ガス、海水準、海水温、南極の気温等の変動のタイミングと比較することにより、気候変動と氷床変動のメカニズムに迫る。特に、最終氷期に生じた急激な温暖化イベント (DO イベント)、及び現在よりも温暖であった最終間氷期や完新世の温暖期などに着目し、過去の温暖化で生じた氷床変動と環境変動から、気候モデルによる将来予測に不可欠なデータを提供する。

3. 研究の方法

NEEM 計画に参加し、掘削された氷床コア (NEEM コア) を分析することにより、最終氷期の急激な温暖化イベント、最終間氷期や完新世温暖期の気候・環境変動を、従来にない高時間分解能で復元する。NEEM コアの高精度年代決定を行うために、コアから空気を抽出して O_2/N_2 を分析する。また、全球平均の海水温を復元するために、空気に含まれる希ガス (Kr, Xe) を分析する。更に、氷床変動及び植生、海氷、鉱物ダスト、大気循環の変動を推定するために、コアに含まれる微生物の顕微鏡分析と DNA 分析、空気含有量の分析を行うとともに、連続フロー分析装置 (CFA) とイオンクロマトグラフによってイオン分析を行う。これらの分析結果を、国内外の共同研究者が取得する気温と温室効果気体のデータと併せて解析し、温暖化と気候・環境変動、氷床変動の関わりを考察する。

4. これまでの成果

(1) NEEM コアの最深部は氷の層が褶曲して乱れており、氷が不連続であることが分かったが、最終間氷期の氷はほぼ完全な形で保存されていた。同コアの氷の酸素同位体比と、同コアから抽出した空気の含有量と成分の分析結果を用いて、最終間氷期の気候と氷床の変動を復元した。北グリーンランドでは、最終間氷期初期の12万6千年前頃が最も温暖で、気温が現在よりも約 $8^{\circ}C \pm 4^{\circ}C$ 高かった。

12万8千年前～12万2千年前の6千年間に北グリーンランドの氷床の厚さは400±250m減少し、12万2千年前には氷床表面高度が現在よりも130±300m低下していた。

NEEM コアの解析結果に基づくと、最終間氷期におけるグリーンランド氷床の氷の量は、最低でも現在の90%はあったと推定され、従来の推定値よりもはるかに大きかった。最終間氷期には海水準が現在よりも4～8m高かったと推定されているが、グリーンランド氷床の縮小だけではこれだけの海面上昇は説明できないため、本研究の結果は、最終間氷期に南極氷床が縮小し、海面上昇に大きく寄与していたことを示唆する。

また、気体分析により、現在では殆ど融雪が生じない北グリーンランド内陸部でも、最終間氷期の温暖期には、2012年の7月と同様、夏に氷床表面で融解が生じていたことが明らかになった。

(2) 過去に掘削したグリーンランドGISP2 コアから抽出した空気のアルゴンと窒素の同位体の分析データを解析し、過去4千年間の気温変動を復元した。その結果、最近十年間の平均気温は、過去4千年間の中で出現した温暖期と同等で、過去千年の中では2回しか起こらなかった温暖期に匹敵することが判明した。

(3) NEEM で掘ったピットから採取した積雪試料の分析を実施した。酸素と水素の安定同位体比は気温変動を反映して明瞭な季節変化を示していた。海塩起源及び鉱物ダスト起源のイオンは冬から春に極大となり、 SO_4^{2-} や NO_3^- など人為起源と自然起源が混在するイオンは冬～春と夏の年2回極大となった。これらの結果から、NEEM では積雪が規則正しく堆積しており、各種成分の季節変動を利用した年層カウンティングにより高時間分解能の年代決定が可能であることが示唆された。

(4) NEEM コアのイオン分析を行なった結果、グリーンランドで過去に掘削されたコアと同様、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} の濃度は、最終氷期においてDO イベントに伴って大きく変動していた。本研究では、極微量成分であるリン酸、ギ酸、シュウ酸、酢酸の詳細な変動を氷期のグリーンランド氷床コアで初めて復元し、ギ酸イオン以外はDO イベントに伴って大きく変動していたことを明らかにした。完新世と最終間氷期には、 NH_4^+ 、ギ酸、酢酸の濃度の相関が高く、シュウ酸や K^+ もこれらのイオンと相関が高い時期があった。これらのイオンの濃度変動から、生物活動の変動や森林火災などについての情報が得られると期待される。

(5) 共焦点レーザー顕微鏡を用いて微生物濃度測定のための分析法を改良した。この方法でNEEM コアの深度1488～1819m、及

び2181～2528mで微生物濃度を計測した結果、微生物濃度は多い所で2000cells/mlを超え、現在のグリーンランド氷床よりも高濃度の層が多数確認された。これらの微生物高濃度層と鉱物ダストの指標となる Ca^{2+} の関連性を調べたところ、表面積雪と同様、微生物ピークと鉱物ダストのピークの間に明瞭な相関は見られなかった。このことから、氷床コア中に含まれる微生物は鉱物ダストの輸送・堆積過程とは異なるプロセスで氷床上に輸送され、堆積したことが示唆された。

5. 今後の計画

・NEEM において最終間氷期に表面融解が頻発していたことが明らかになったので、今後、希ガスの存在比の分析を継続し、融解の頻度や程度を明らかにする。

・クリプトンやキセノンの同位体、窒素、酸素、アルゴンの同位体比や O_2/N_2 の分析を継続し、気温と海水温の復元を行うとともに高精度年代決定を行う。

・イオン分析はほぼ終了したので、データの国際共同比較により、最終データセットを作成し、論文化を進める。

・NEEM コアのブリットルゾーン以外の全深度について微生物濃度の測定を行う。また、ゲノム解析も実施する。

・フィルムの圧密過程、氷の流動特性解明のため、物理解析研究を継続する。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)
NEEM community members (著者132名はアルファベット順 N. Azuma, K. Goto-Azuma, M. Hirabayashi, Y. Iizuka, K. Kawamura, T. Kuramoto, J. Uetake (は著者), Eemian interglacial reconstructed from a Greenland folded ice core. *Nature*, 493, 489–494, 2013.

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.

植竹淳, 東久美子, 本山秀明, アイスコアサンプルを対象とした蛍光顕微鏡による微生物定量方法の検討、*南極資料*, 56(1), 57–67, 2012.

Kuramoto, T., K. Goto-Azuma, M. Hirabayashi, T. Miyake, H. Motoyama, D. Dahl-Jensen, and J. P. Steffensen, Seasonal variations of snow chemistry at NEEM, Greenland, *Annals of Glaciology*, 52, 58, p.193–200, 2011.

ホームページ等

<http://polaris.nipr.ac.jp/~NEEM>