

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：92671

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19962

研究課題名（和文）アイスコア中の鉱物ダスト粒子から探る氷床縮小に伴う陸域環境変動

研究課題名（英文）Analysis of mineral dust particles in ice cores to investigate terrestrial environmental changes associated with ice sheet shrinkage

研究代表者

小室 悠紀 (Komuro, Yuki)

特定非営利活動法人富士山測候所を活用する会（富士山環境研究センター）・第一研究部・特任研究員

研究者番号：60867331

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：国立極地研究所の連続融解分析装置やコールターカウンターを用いて、グリーンランド内陸部で掘削されたアイスコアの化学成分や鉱物ダストを分析した。グリーンランド沿岸部由来である粒径が大きい鉱物ダストと北大西洋振動指数の時間変動を比較した結果、両者の変動が整合的であることがわかった。そのため、グリーンランド周辺の大気循環の変動や、それに伴う沿岸部の気温や地表面環境の変動が、同地域を起源とする鉱物ダストの供給量へ影響を与えていた可能性が示された。大きい鉱物ダストは1600年ごろから増加するため、この時期を境に、グリーンランド周辺の大気及び地表面環境が変化した可能性があることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的な特色は、アイスコアに含まれる大きい鉱物ダストを調べることで、その起源地域であるグリーンランド周辺の古環境情報を復元できる可能性を示したことである。特に内陸部のアイスコアでは大きい鉱物ダストの研究例がほとんど無いため、それが持つ古環境プロキシとしての利用可能性を示した意義は大きい。また、鉱物ダスト供給量の変動原因の一つを示したことは、将来の環境変化に伴う鉱物ダストによるグリーンランド氷床表面のアルベドの変化量や、それによる氷床表面の融解量及び海水準の変化量をより正確に予測することへ貢献するため、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：Chemical components and mineral dust in ice cores drilled in the inland region of Greenland were analyzed using the continuous flow analysis system and a Coulter counter in the National Institute of Polar Research. The temporal variation of coarse mineral dust, which came from coastal soil regions in Greenland, was consistent with that of the North Atlantic Oscillation index. This suggests that changes in atmospheric circulation around Greenland and associated changes in air temperature and land surface conditions in the coastal regions affected the supply of mineral dust from the coastal regions. The increase in coarse mineral dust since around 1600 also suggests that the atmospheric and land surface conditions around Greenland have changed after that year.

研究分野：雪氷学

キーワード：グリーンランド アイスコア 鉱物ダスト 陸域環境変動

1 研究開始当初の背景

氷床上に沈着した鉱物ダストは、氷床表面のアルベド（日射の反射率）を低下させ、日射による氷床融解を促進する効果がある。そのため、氷床上の鉱物ダストの濃度や、その変動原因を明らかにすることは、氷床融解メカニズムを解明するための重要な課題である。これまでの研究では、グリーンランド氷床に供給される鉱物ダストは、タクラマカン砂漠に代表される遠方の乾燥地域が主な起源だと考えられてきた。しかし、近年急速に進むグリーンランド氷床の縮小は、氷床下から現れた陸面を起源とする鉱物ダストを発生させる可能性がある。また、温暖化に伴う秋季の降雪開始時期の遅れは、陸面の露出時間を増やすため、鉱物ダストの発生量を増加させる可能性がある。しかし、グリーンランド周辺を起源とする鉱物ダストに関する研究例は少なく、この地域の環境変動と、氷床上の鉱物ダスト変動の関係は十分に解明されていない。

そこで申請者は、グリーンランド氷床で掘削されたアイスコアを用いて過去の鉱物ダストの時間変動を復元し、過去数十年間における氷床周辺の環境指標のそれと比較することを考えた。従来から行われてきた鉱物ダストの組成解析に加えて、大気中の滞留時間が短い粒径の大きい鉱物ダストの解析を行うことで、グリーンランド周辺を起源とする鉱物ダストの寄与をより正確に抽出することができると考えた。グリーンランド周辺の環境変動に対応する成分が明らかになれば、アイスコア中のその成分を用いて、同地域のより古い時代の環境情報を復元可能になることも期待された。

2 研究の目的

- (1) グリーンランド氷床上で掘削されたアイスコアを用いて、同氷床上の鉱物ダストの時間変動を復元すること。
- (2) 粒径分布や金属組成の解析からグリーンランド沿岸部を起源とする鉱物ダストの時間変動を抽出し、それとグリーンランド周辺の環境変動の関係を明らかにすること。

3 研究の方法

グリーンランド氷床内陸部の北東部（EGRIP）と北西部（NEEM）で掘削されたアイスコアの分析を行なった。分析は国立極地研究所の連続融解分析（CFA）システムを用いて行った。CFAシステムに接続されたICP質量分析計や水安定同位体比分析器を用いて、化学成分（Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Fe）や水安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ）の連続測定を行った。鉱物ダストの濃度や粒径分布を取得するために、融解水の一部をコールターカウンターで測定した。大きい鉱物ダストの起源となり得る地域を推定するために、後方流跡線による空気塊の輸送経路の解析を行なった。

4 研究成果

4.1 CFA 分析と年代決定

CFA 分析の結果を用いてアイスコアの年代決定を行なった。EGRIP コアの分析から、 $\delta^{18}\text{O}$ の季節変動が多くの深度で不明瞭であることと、Na や Ca の季節変動が全ての深度で明瞭であることがわかった。そのため、Na や Ca のピークを目視でカウントすることで、このコアの年層カウンティングを行った。また、火山起源だと考えられる S の鋭いピークや、過去の氷床表面の広域融解に対応する氷板を用いて、それらが見られた深度の絶対年代を決定した。これらを総合的に解釈した結果、EGRIP コアの深度 1.5–133m が約 1000 年間をカバーしていることがわかった。

NEEM コアでは、EGRIP コアと同様の解析に加えて、申請者が新たに作成したプログラムによる自動年層カウンティングを実施した。その結果、このプログラムを使用することで解析時間を大幅に短縮できることがわかった。解析の結果、NEEM コアの最深部である深度 100m が約 350 年前に相当することがわかった。

4.2 鉍物ダスト変動

EGRIP コアから過去 1000 年間の鉍物ダストの質量濃度や粒径分布の変動を復元した。その結果、鉍物ダストの濃度は時代ごとに大きく変動することがわかった。また、鉍物ダストの粒径分布は、2 μm 付近にモード径を持つ単峰性の形状であることがわかった。鉍物ダストの質量の大部分が粒径の小さい鉍物ダスト (< 5 μm) に占められていることから、鉍物ダストの多くが遠方起源である可能性があることがわかった。

大きい鉍物ダスト ($\geq 5 \mu\text{m}$) の濃度は、小さい鉍物ダストのそれとは異なる時間変動を示すことがわかった。後方流跡線解析の結果から、大きい鉍物ダストの起源が主にグリーンランド沿岸部であることがわかった。そのため、大きい鉍物ダストの濃度変動は、グリーンランド沿岸部を起源とする鉍物ダストの供給量変動に対応することがわかった。過去数十年間における大きい鉍物ダストの濃度の変動は、北大西洋振動指数のそれと整合的であった。そのため、グリーンランド沿岸部を起源とする鉍物ダストの供給量の変動に、グリーンランド周辺の大気循環の変動や、それに伴う沿岸部の気温や地表面環境の変動が関係している可能性があることがわかった。大きい鉍物ダストの濃度は 1600 年ごろから増加したため、この時期を境にグリーンランド周辺の大気環境や、沿岸部の地表面環境が変化した可能性があることがわかった。

今後、NEEM コアの CFA 分析やコールターカウンター分析の結果も用いて、鉍物ダスト変動の地域差について解析するとともに、得られた成果を学術誌へ投稿する予定である。

4.3 CFA 分析から得られた金属成分濃度

鉍物ダストの金属組成は、その起源地域を推定するための有力な情報の一つとなる。CFA 分析から得られた金属成分の濃度値 (CFA 濃度) を評価するために、浅部の試料から得られている金属成分の全濃度 (溶存態+粒子態) と比較を行った。CFA 濃度と全濃度の平均値を比較した結果、Na や Mg、Ca については両者が近い値であったが、Al や K、Fe については CFA 濃度が低い値となった。特に Al の CFA 濃度は低く、全濃度の 1/3 程度の値であった。これらのことから、CFA 分析における金属成分の抽出率は、元素によって大きく異なることがわかった。

鉍物ダストの金属組成解析の際に基準として使われる Al について、抽出率の変動範囲を推定するために、CFA 濃度と全濃度の月毎の平均を比較した。その結果、全濃度に対する CFA 濃度の割合は、2-8 割の範囲で変動することが示された。このことから、同じ元素であっても、他の要因によって抽出率が大きく変動する可能性があることがわかった。CFA 濃度を用いて鉍物ダストの金属組成や起源地域の推定を行うためには、この抽出率を大きく変動させる要因を明らかにする必要があることがわかった。

Al の抽出率を変動させる要因を調べるために、全濃度に対する CFA 濃度の割合と鉍物ダストの粒径分布を比較した。粒径分布の指標として、小さい鉍物ダストにおける 1 粒子あたりの平均質量を使用した。その結果、全濃度に対する CFA 濃度の割合と 1 粒子あたりの平均質量に有意な相関関係が見られた。このことから、小さい鉍物ダストの粒径分布が、CFA 分析における Al の抽出率に影響を与える主な要因の一つであることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Komuro Yuki, Nakazawa Fumio, Hirabayashi Motohiro, Goto-Azuma Kumiko, Nagatsuka Naoko, Shigeyama Wataru, Matoba Sumito, Homma Tomoyuki, Steffensen J?rgen Peder, Dahl-Jensen Dorthe	4. 巻 27
2. 論文標題 Temporal and spatial variabilities in surface mass balance at the EGRIP site, Greenland from 2009 to 2017	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.polar.2020.100568	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Goto-Azuma, K., Homma, T., Saruya, S., Nakazawa, F., Komuro, Y., Nagatsuka, N., Hirabayashi, M., Kondo, Y., Koike, M., Aoki, T., Greve, R., Okuno, J.	4. 巻 27
2. 論文標題 Studies on the variability of the Greenland Ice Sheet and climate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.polar.2020.100557	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件／うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Yuki Komuro, Fumio Nakazawa, Kumiko Goto-Azuma, Naoko Nagatsuka, Motohiro Hirabayashi, Jun Ogata, Kaori Fukuda, Naoyuki Kurita, Kyotaro Kitamura, Ayaka Yonekura, Trevor J. Popp, Dorthe Dahl-Jensen
2. 発表標題 Dating and solid particle analysis of a shallow ice core obtained from EGRIP, Greenland
3. 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小室悠紀, 中澤文男, 東久美子, 平林幹啓, 尾形純, 福田かおり, 栗田直幸, 北村享太郎, 米倉綾香, Trevor J. Popp, Dorthe Dahl-Jensen
2. 発表標題 グリーンランドEGRIP浅層コアの年代決定及び固体粒子解析
3. 学会等名 雪氷研究大会（2021・千葉-オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Komuro, Fumio Nakazawa, Kumiko Goto-Azuma, Motohiro Hirabayashi, Wataru Shigeyama, Naoko Nagatsuka
2. 発表標題 Seasonal changes in concentration, metal composition and size distribution of mineral particles in recent snow at EGRIP, Greenland
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Komuro, Fumio Nakazawa, Kumiko Goto-Azuma, Motohiro Hirabayashi, Wataru Shigeyama, Naoko Nagatsuka
2. 発表標題 Recent seasonal changes of metal composition and size distribution of mineral particles in snow at EGRIP, Greenland
3. 学会等名 EGU General Assembly 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Komuro, Y., Nakazawa, F., Nagatsuka, N., Hirabayashi, M., Shigeyama, W., Matoba, S., Homma, T., and Goto-Azuma, K.
2. 発表標題 Analysis of solid microparticles and metal components contained in snow at EGRIP, Greenland
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Komuro, Y., Nakazawa, F., Nagatsuka, N., Hirabayashi, M., Shigeyama, W., Matoba, S., Homma, T., and Goto-Azuma, K.
2. 発表標題 Temporal and spatial variabilities in recent surface mass balance at EGRIP, Greenland
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小室悠紀, 中澤文男, 永塚尚子, 平林幹啓, 繁山航, 的場澄人, 本間智之, 東久美子
2. 発表標題 グリーンランドEGRIPのピット試料に含まれる固体微粒子および金属成分の解析
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2020・オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Komuro, Fumio Nakazawa, Kumiko Goto-Azuma, Naoko Nagatsuka, Motohiro Hirabayashi, Jun Ogata, Kaori Fukuda, Naoyuki Kurita, Kyotaro Kitamura, Giulia Sinnl, Sune Olander Rasmussen, Trevor James Popp, Dorthe Dahl-Jensen
2. 発表標題 Dating and insoluble particle analysis of a shallow ice core drilled at EGRIP, Greenland
3. 学会等名 The Seventh International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoko Nagatsuka, Kumiko Goto-Azuma, Akane Tsushima, Koji Fujita, Sumito Matoba, Yukihiko Onuma, Yuki Komuro, Motohiro Hirabayashi, Jun Ogata, Yoshimi Ogawa-Tsukagawa, Kyotaro Kitamura, Trevor James Popp, Dorthe Dahl-Jensen
2. 発表標題 Variations in mineralogy of dust in ice cores obtained from Greenland over the past 100 years
3. 学会等名 The Seventh International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoko Nagatsuka, Kumiko Goto-Azuma, Akane Tsushima, Koji Fujita, Sumito Matoba, Yukihiko Onuma, Yuki Komuro, Motohiro Hirabayashi, Jun Ogata, Yoshimi Ogawa-Tsukagawa, Kyotaro Kitamura, Teruo Aoki, Trevor James Popp, Dorthe Dahl-Jensen
2. 発表標題 Variations in mineralogy of dust in ice cores obtained from northwestern and northeastern Greenland over the past 100 years
3. 学会等名 The 13th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永塚 尚子, 東 久美子, 對馬 あかね, 藤田 耕史, 的場 澄人, 大沼 友貴彦, 小室 悠紀, 平林 幹啓, 尾形 純, 塚川 佳美, 北村 享太郎, 青木 輝夫, Popp Trevor James, Dahl-Jensen Dorte
2. 発表標題 アイスコアを用いたグリーンランド氷床北部における過去 100 年間の鉱物組成変動の空間分布
3. 学会等名 雪氷研究大会(2022・札幌)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------