

令和元年6月21日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05615

研究課題名(和文) 地下氷コア解析によるアラスカ永久凍土域の環境動態解明 - 氷床コア研究法を応用して -

研究課題名(英文) Paleoenvironmental reconstruction using Alaskan permafrost ground ice

研究代表者

大野 浩 (Ohno, Hiroshi)

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号：80634625

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、アラスカの永久凍土地帯で採取した、約14000年前から約12300年前の期間に形成された地下水を分析して、当時の気候・環境の復元を試みた。地下氷コアに含まれるメタンの濃度や安定炭素同位体組成が気温の変化と同期して変動していることが明らかになり、この事実は永久凍土表層部におけるメタンの生成量や生成経路と気候との関係性を示唆している。海洋生物活動の指標であるメタンサルホン酸の濃度が、寒冷期においても高濃度であったことから、寒冷期でもアラスカ沖の海は海氷によって完全に閉ざされたわけではなく、開水域における何らかの海洋生物活動があったと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アラスカ北部を含む北極域は、気候変動の影響が最も顕著に表れる地域であることが近年の研究で明らかになっている。北極圏で過去にどのような気候変動が生じたか理解することは、近年問題となっている地球温暖化の未来予測に役立つ。

自然界の氷はその内部に環境指標物質が冷凍保存されているため優れた環境情報記録媒体であり、氷河氷床のアイスコアはその代表例である。しかしながら、北極圏の大部分を占める永久凍土地帯には大規模な氷河氷床が存在しない。そこで本研究では、氷河氷床氷の代わりに永久凍土の地下に埋まっている氷体に着目し、永久凍土地域周辺の気候変動を地下氷から復元する新たな手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：This study has attempted paleoenvironmental reconstruction using Alaskan ancient permafrost ground ice (14000 to 12300 B.P.).

It has become evident that methane concentration and stable carbon isotope ratio of methane in the ground ice co-vary with temperature (stable oxygen isotope ratio of ice), indicating relation between methane productivity (formation pathway) and climate changes.

Also, significantly high methanesulfonic acid concentrations were found even in the cold period (Younger Dryas) ice, indicating that near-shore region in the Alaskan Beaufort Sea may not have been completely filled by permanent sea ice at that time.

研究分野：雪氷学

キーワード：気候変動 永久凍土 アイスコア

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 永久凍土域における環境動態研究の重要性

永久凍土は北半球陸地の約 1/4 という広範な面積を占め、その融解による温室効果ガスおよび有機炭素の放出や、大気-地表(植生)間の複雑な熱・物質交換に伴うフィードバックを通じて、北極環境の変動を左右する主要な因子と考えられる。

(2) 永久凍土地下氷体(アイスウェッジ)を用いた古環境復元の課題

氷河・氷床に乏しくこれらの氷コアによる古環境復元が行えない北極圏アラスカおよびシベリアにおいて、永久凍土地下氷体は貴重な古環境情報源として注目を集めていた。しかしながら、永久凍土地下氷を用いた古環境復元の先行研究は二例のみであり、分析内容も極めて限定的(主に氷の酸素同位体比と有機炭素の ^{14}C 年代の測定)であった。

2. 研究の目的

本研究は、環境情報記録媒体としての有用性が近年指摘されている永久凍土地下氷(アイスウェッジ)に対して、従来型の分析に加えて、含有エアロゾル起源物質の化学形態分析や凍結保存花粉の遺伝子解析、氷中の宇宙線生成核種を用いた年代測定といった氷床コア研究の分野で高度に発達した測定法を積極的に応用することで、当該地域古環境の詳細な復元を行い、永久凍土および周辺環境の成立と変遷過程の基本的理解を目指すものである。

3. 研究の方法

(1) 地下氷コアサンプリング

アラスカ北部バローで地下氷(アイスウェッジ)コアのサンプリングを行った。

(2) 氷構造解析

地下氷コアの目視観察、薄片偏光観察や結晶構造解析を行い、そのファブリック(結晶粒形、サイズ、方位分布)から、地下氷の起源や凍結様式を推定した。

(3) 水の安定同位体分析

質量分析計(IRMS)を用いて、地下氷の融解水の安定酸素および水素同位体組成($\delta^{18}\text{O}$, δD)を測定した。測定結果を先行研究のデータと比較することで、地下氷コアの年代軸を定めるとともに、相対的な気温変動プロファイルを復元した。

(4) メタンガス分析

ガスクロマトグラフを用いて、地下氷コアに含まれるメタンガスの濃度を測定した。また、メタンの起源を推定するために、質量分析器による、メタン及び二酸化炭素の安定炭素同位体組成($\delta^{13}\text{C}$)分析を実施した。

(5) 化学分析

イオンクロマトグラフによる、融解試料中の各種イオンの分析を行い、水溶性エアロゾルの動態解析を行った。

(6) 宇宙線生成核種分析

5 MV タンデム加速器を利用して、濾過した氷試料融解水の ^{10}Be 濃度を測定した。地下氷コアの ^{10}Be プロファイルから、 ^{10}Be を用いた年代決定の可能性を検討した。

(7) 花粉ゲノム解析

地下氷コア中の花粉を抽出し、化石花粉の DNA を解読することで、種の同定や種の多様性を明らかにできないか試みた。

4. 研究成果

(1) 地下氷コアサンプリング

当初はアラスカ・ノーススロープ郡 Iktillik で地下氷試料を採取する計画であったが、現地の永久凍土露頭が大きく後退したとの情報を受け、急遽予定を変更して、より安全・確実に作業が行えるアラスカ・バローの永久凍土トンネルでサンプリングを行った。水平方向に全長約 6メートルの連続地下氷コアを回収し、日本に持ち帰ることに成功した。

(2) 氷構造解析

採取した氷試料は、鉛直方向に発達した明瞭な縞状構造を有し、典型的なアイスウェッジに分類される地下氷であった。目視観察の結果、全ての試料が単独のアイスウェッジシステムに由来することが明らかになった。結晶粒および含有気泡は鉛直方向に伸長する傾向にあった。また、氷の年代に比例して、結晶粒径が大きくなり、氷結晶主軸(c軸)分布の異方性も強くなる傾向が見受けられた。これらの観測事実は、地下氷体が主として融雪水が鉛直方向に再凍結することで形成されたこと、氷形成後の再結晶によって結晶粒の粗大化や再配向が生じたこ

とを示唆している。

(3) 水の安定同位体分析

先行研究との比較分析によって得られた地下氷コアの年代軸および安定酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) の変動プロファイルは、図1に示したとおりである。地下水は急激に気温が変動した時代に形成されたものであり、 $\delta^{18}\text{O}$ の値が高い約14000年前から約12900年前までは最終退氷期のうち比較的温暖であったベーリングアデレード期、 $\delta^{18}\text{O}$ の値が低い約12900年前から約12300年前までは比較的寒冷であったヤングアドリアス期に相当する。

(4) メタンガス分析

地下氷コア中のメタン濃度は0.004~2.6%であった(図1b)。メタン濃度は寒冷な時期ほど高くなる傾向にあり、この観測事実は気候変動に伴う永久凍土表層部におけるメタンの生成量の変化を反映したものである可能性がある。二酸化炭素とメタンの安定炭素同位体組成比の差 ($\epsilon_c = \delta^{13}\text{C}_{\text{二酸化炭素}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{メタン}}$) も同様に、気温の変動と連動していた(図1c)。永久凍土地域におけるメタンは微生物起源と考えられ、生物起源のメタンは、二酸化炭素還元 ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) と有機酸発酵 ($\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$) の2つの経路に大別される。二酸化炭素還元が優勢になるにつれて ϵ_c の値が大きくなることが知られているので、本研究の観測結果は、寒冷化に伴いメタン形成経路が有機酸発酵から二酸化炭素還元へとシフトしていた可能性を示唆している。

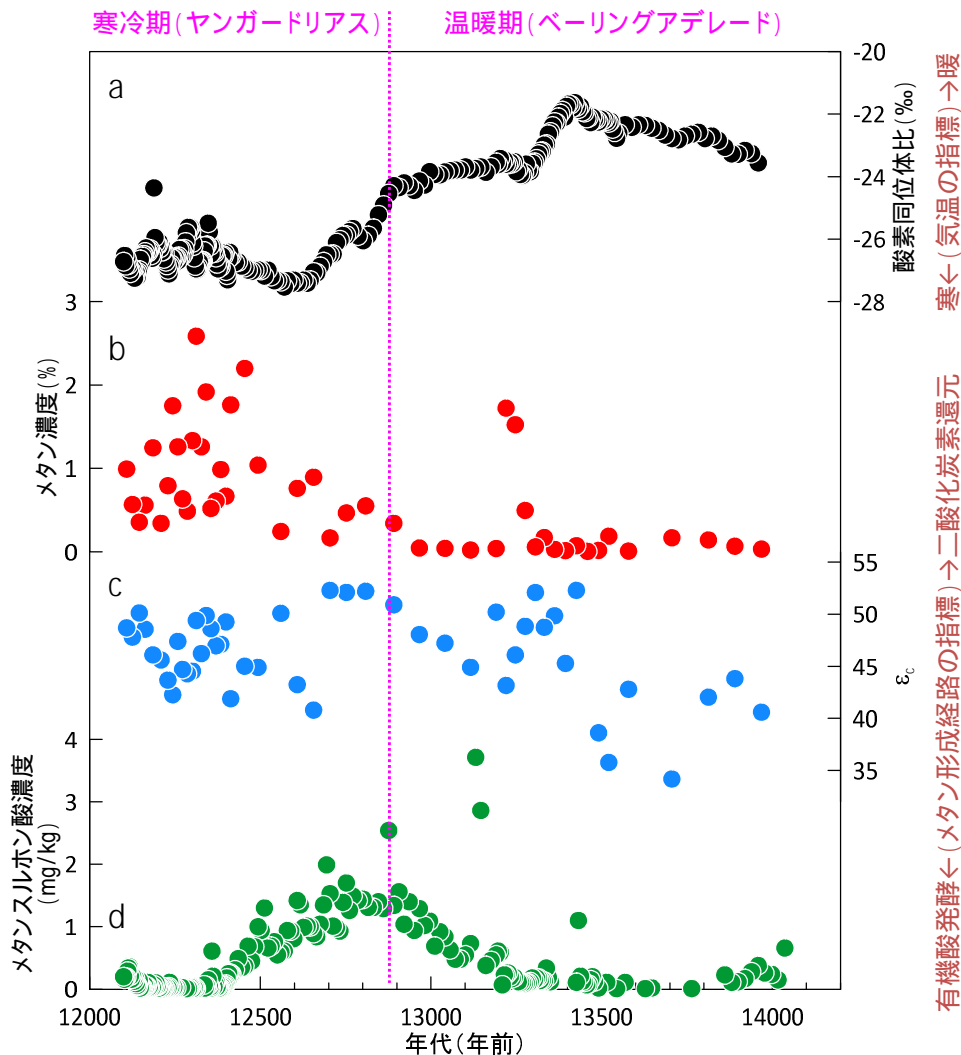


図1 地下氷コア解析から復元された気候プロキシの時間変化

(5) 化学分析

いくつかあるイオン種のうち、メタンスルホン酸イオンは、硫酸化水素イオンやクロロフィル濃度などの追加分析による検証を経て、地下氷周辺の土壌や湖からの寄与の可能性が否定されて、エアロゾルを起源とすることが明らかになった。エアロゾルに含まれるメタンスルホン酸は、海洋プランクトンに由来することから、海洋生物活動の指標となることが知られている。メタンスルホン酸の濃度ピークが寒冷なヤングアドリアス期に認められることから(図1d)、

当時の寒冷な気候にもかかわらず、周辺のアラスカ沖の海は海氷によって完全に閉ざされていたわけではなく、開水域が存在して何らかの海洋生物活動があったことを示唆している。

(6) 宇宙線生成核種分析

地下氷コアのプリズム試料を用いて、地下氷中のベリリウム同位体 (^{10}Be と ^9Be) を分析するための実験手順を開発・検討した。土壌壁に近い地下氷から比較的高濃度の ^{10}Be や ^9Be が検出され、土壌の影響を受けた結果と考えられるので、地下氷の位置 (土壌の混入度合い) に応じた分析スキームの開発が今後必要と思われる。研究成果は、AMS 国際会議のプロシーディングとして NIMB 誌に投稿され、現在査読中である。

(7) 花粉ゲノム解析

地下氷コアに含まれる花粉の濃度は想定外に低く、通常の分析法の適用が困難であったために、誘電泳動 (Dielectrophoresis: DEP) を応用した、凍土融解試料から高効率で花粉粒捕集するためのシステムの開発を進めた。その一方で、既存の DNA 分析法が、年代の古い花粉にも適用可能か検討するため、氷河氷に含まれる化石花粉を利用して実験をおこなった。その結果、4870 年前の化石花粉においても、実験条件の僅かな変更で遺伝情報を取得できることがわかった。今後これらの手法を地下氷コア解析に応用して、分析を進める予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

Yoshinori Iizuka, Chihiro Miyamoto, Sumito Matoba, Go Iwahana, Kazuho Horiuchi, Yoshio Takahashi, Naoya Kanna, Koji Suzuki, Hiroshi Ohno (2019), Ion concentrations in ice wedges: an innovative approach to reconstruct past climate variability, Earth and Planetary Science Letters, 515, 58-66, doi.org/10.1016/j.epsl.2019.03.013. (査読有)

[学会発表] (計 3 件)

大野浩, 岩花剛, 八久保晶弘, 原田鉦一郎, 斉藤和之, アラスカ永久凍土地帯のアイスウエッジに含まれるメタンの濃度および安定同位体組成, 雪氷研究大会, 2018 年.

飯塚芳徳, 宮本千尋, 的場澄人, 堀内一穂, 岩花剛, 高橋嘉夫, 大野浩, アラスカ北部バロ-地下氷の化学解析によるポーフォート海の海水・海氷変動, 雪氷研究大会, 2018 年.

Kazuho Horiuchi, Hiroshi Ohno, Go Iwahana, Yoshinori Iizuka, Hiroyuki Matsuzaki, Measurements of beryllium isotopes in Alaskan ground ices, The Fourteenth International AMS Conference, University of Ottawa campus, Ottawa, 2017.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 飯塚 芳徳

ローマ字氏名: (IIZUKA, yoshinori)

所属研究機関名: 北海道大学

部局名: 低温科学研究所

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 40370043

研究分担者氏名: 堀内 一穂

ローマ字氏名: (HORIUCHI, kazuho)

所属研究機関名: 弘前大学

部局名: 理工学研究科

職名: 助教

研究者番号 (8 桁): 00344614

研究分担者氏名: 中澤 文男

ローマ字氏名: (NAKAZAWA, fumio)

所属研究機関名: 国立極地研究所

部局名: 研究教育系

職名：助教

研究者番号（8桁）：80432178

研究分担者氏名：内田 昌男

ローマ字氏名：(UCHIDA , masao)

所属研究機関名：国立環境研究所

部局名：環境計測研究センター

職名：主任研究員

研究者番号（8桁）：50344289

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。