

## 共同研究報告書

研究区分	萌芽研究(6)
研究課題	アイスコア中の有機物トレーサー分析による過去の大気環境の復元
新規・継続の別	萌芽(1年目/全3年)
研究代表者/所属	北大低温研
研究代表者/職名	准教授
研究代表者/氏名	関 宰

研究分担者/氏名/所属/職名			
	氏 名	所 属	職 名
1	河村公隆	北海道大学低温科学研究所	教授
2	的場澄人	北海道大学低温科学研究所	助教
3	白岩孝行	北海道大学低温科学研究所	准教授
4	本山秀明	国立極地研究所	教授
5	東久美子	国立極地研究所	准教授
6	阿部彩子	東京大学大気海洋研究所	准教授

研究目的	<p>山岳氷河や氷床のアイスコアは過去の地球環境情報を保存した記録媒体である。アイスコアは高い時間分解能をもつなど、過去の大気環境情報を詳細に保存している点において優れている。本研究では、これまで当グループが実施してきた有機エアロゾル研究とバイオマーカーを用いた古気候復元の手法をアイスコア研究に応用することで、アイスコアによる古環境研究をさらに発展させることを目的とする。</p> <p>脂質化合物や糖類には起源特異性を持つ有機化合物が数多く存在し、起</p>
------	---

源トレーサーとして、地球化学の分野で利用されている。またそれらの分子組成や安定同位体比は気温/湿度、植生や水循環など反映することが知られており、古気候トレーサーとして主に堆積物に適用されてきた。これらの有機分子トレーサーをアイスコアに適用することで、有機エアロゾルの起源、循環と輸送経路に関わる情報を抽出でき、気候変動にともなう大気循環のシフトの時空間的な議論が期待できる。

また、これまで当研究室で開発してきた二次有機エアロゾル(SOA)の測定法をアイスコアに応用することで、雲凝結核として地球の放射収支に関与する水溶性の生物起源有機エアロゾルの放出量の変動を復元できる可能性が高い。特にイソプレン・モノテルペンなど生物起源揮発性有機化合物(BVOC)の光化学酸化生成物などのSOAトレーサーを測定することにより、BVOCの放出量の歴史的変遷が復元できる可能性がある。イソプレンの放出量は気温に強く依存すると考えられているが、長期的な気候の変化とこれらの放出量の関係はわかっていない。アイスコアの解析によりその関連の検証が期待できる。

これらの新規有機物トレーサーを用いたアイスコアの研究はこれまで行われておらず、世界初の試みである。本研究は新しい研究分野の開拓と位置づけられ、これまで無機化学中心であったアイスコア研究に新しい流れを導入し、新たな展開を図るものである。

#### 研究内容・成果

前年度はグリーンランドアイスコア(Site-J)の有機分子トレーサー記録の解析を行いつつ、一方でアラスカアイスコア(オーロラピーク)中の有機物の分析に従事した。このうちグリーンランドアイスコアのデータについては詳細な解析を行った。以下にそれぞれの成果を記す。

#### 1. グリーンランドアイスコア(Site-J)中の土壌有機ダストトレーサー分析によるアジア起源ダストの長距離輸送メカニズムの解明

アジア起源のダストは遠隔地まで長距離輸送されるため、地球の放射バランスに作用し、全球的な気候に影響を与えている可能性が指摘されている。本研究ではアイスコア中に土壌ダストの有機分子トレーサー(長鎖ジカルボン酸)を検索し、過去450年間のアジアダストの変遷を復元した。その結果、アイスコア中の長鎖ジカルボン酸濃度の変動は夏の北極振動と同調していることが明らかになった。これにより、アジアダストの極域への輸送は(数十年規模の変動においては)夏の北極振動によって支配されている可能性が示唆された。さらにアジアダストの輸送と夏の北極振動は太陽活動の変動と同調していることも見いだした。これらの結果から、太陽活動とアジアダストの発生と長距離輸送を結びつける物理的なメカニズムが北極振動である可能性が示された。またグリーンランドアイスコア中の有機物と鉱物ダストトレーサー(カルシウムイオン)を比較したところ、両者の相関はそれほど高くな

いことが明らかになった。これは両者の輸送メカニズムの違いを反映していると考えられた。このように、アイスコアの有機物の分析によってアジアダストの極域への長距離輸送に関する新たな知見が得られ、アイスコアの有機物分析は有効な手法であることが示された。この成果は現在論文としてまとめており、近日中に投稿予定である。

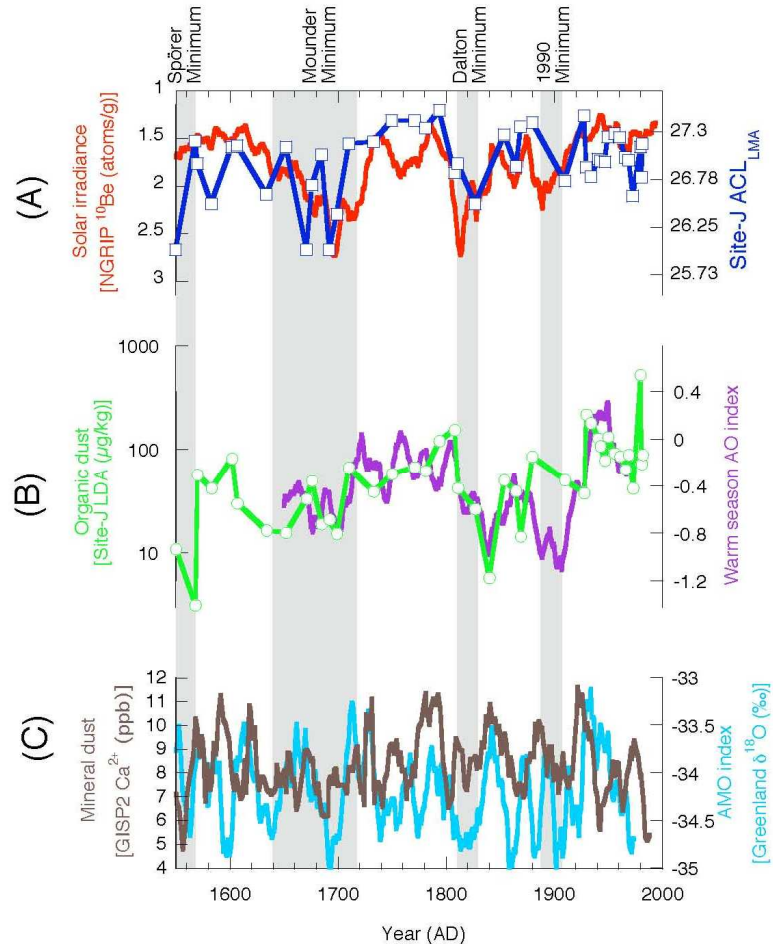


Figure 1 Comparison of Greenland ice core records with reconstructed multi-decadal solar cycle and climatic oscillations. A) Solar cycle and  $\text{ACL}_{\text{LMA}}$  in Site-J. B) Warm season AO index reconstructed from tree rings and concentration of LDA in Site-J. C) Central Greenland ice core oxygen isotope ratio ( $\delta^{18}\text{O}$ ), which is indicative of AMO index and concentrations of calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) in GISP2. The solar cycle, warm season AO, ice core  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\text{Ca}^{2+}$  records are smoothed by a 11 yr moving average.

2. アラスカ・オーロラピークアイスコアへの新規有機分子トレーサーの適用  
 2008年にアラスカ山脈のオーロラピークにて採取されたアイスコア中のイソプレンおよびモノテルペンのSOAトレーサーおよび、バイオマス燃焼トレーサーのレボグルコサンとデヒドロアビエチン酸の測定を行った。

これらのトレーサーの評価、検討を目的として、過去約 30 年間については季節変化を解析可能な解像度で分析を行った。また1990年以前については4年間隔で分析を実施した。その結果、ほとんどの層準においてこれらの化合物が検出可能なレベルで含まれており、これらの有機分子トレーサーがオーロラピークアイスコアに適用可能であることが示された。

#### 過去約30年の高解像度データ

2000年から2004年の期間を除き、イソプレンとモノテルペン SOA トレーサーの濃度は夏期に高い傾向を示した。一般的に、大気中におけるこれら生物起源の SOA 生成は植物の生産が活発で気温の高い夏期に増大することが知られている。従って、アイスコア中の夏期における高い SOA トレーサー濃度は、基本的に生物起源の SOA 生成量の季節変化を反映したものと考えられる。

一方でバイオマス燃焼トレーサーのレボグルコサンとデヒドロアビエチン酸についても基本的に夏期に濃度のピークが見られた。一般にアラスカやシベリアなどの北方林の森林火災は夏期に発生する。このことから、アイスコア中のレボグルコ酸も夏期におけるアラスカの森林火災を反映している可能性が高い。さらにアイスコアのバイオマス燃焼トレーサーの記録をアラスカの森林火災の焼失面積の経年変化と比較したところ、いくつかの大規模な森林火災イベントとアイスコアのバイオマス燃焼トレーサーのピークが良好に対応していることが見いだされた。この結果から、オーロラピークアイスコア中のバイオマス燃焼トレーサー分析により、過去のアラスカの森林火災の歴史を復元できる可能性が示唆された。

#### 過去約250年間の有機分子トレーサーの記録

過去250年間のイソプレンとモノテルペン SOA トレーサーの記録はほぼ同様の変動パターンを示し、1740-1830年で比較的高く、1840-1870年および1930-1970年で低い傾向を示した。アイスコア中の生物起源 SOA 濃度を支配する要因は複数考えられる。どの要素が最も卓越しているかを判断するには今後詳細な解析を行う必要があるが、オーロラピークアイスコアから生物起源の2次有機エアロゾルに関する過去の情報を抽出できる可能性が示唆される。今後、さらに追加分析を行い、解析を進めていく予定である。

一方、オーロラピークアイスコアのレボグルコサンとデヒドロアビエチン酸の記録は過去250年間において同様の変動傾向を示し、1740-1850年で比較的高く、1930-1970年で低い傾向を示した。この結果から、1830年以前には森林火災が活発に起こっていた可能性が示唆される。こちらについてもデータ数をさらに追加する予定である。気温や降水量などの復元記録との比較から、アラスカ森林火災の発生メカニズムについて新たな知見が得られることが期待できる。

### Alaska Ice core

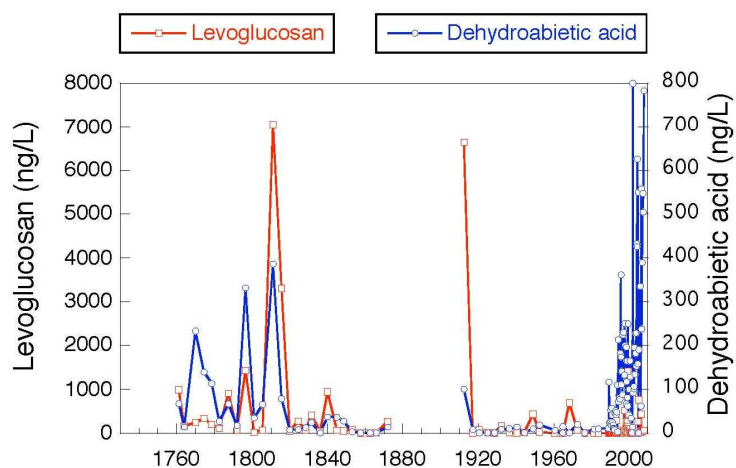
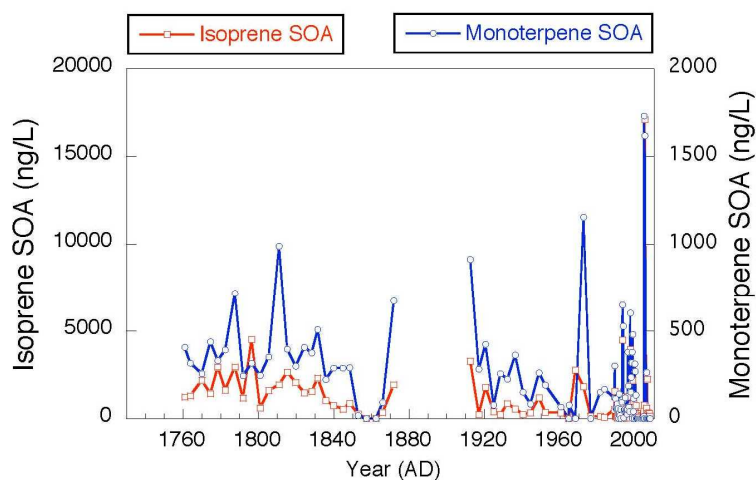


Figure 2. Upper figure shows changes in concentrations of isoprene and monoterpene SOAs in Aurora Peak ice core since AD 1760. Bottom figure represents concentrations of levoglucosan and dehydroabietic acid in Aurora Peak ice core since AD 1760.

成果となる論文・学会発表等

論文

[1] K. Kawamura, K. Matsumoto, E. Tachibana, and K. Aoki, Low molecular weight (C1–C10) monocarboxylic acids, dissolved organic carbon and major inorganic ions in alpine snow pit sequence from a high mountain site, central Japan, *Atmos. Environ.*, 62, 272–280, 2012.

[2] Kawamura K., Izawa Y., Mochida M. and Shiraiwa T., Ice core records of biomass burning tracers (levoglucosan and dehydroabietic, vanillic and p-hydroxybenzoic acids) and total organic carbon for past 300 years in the Kamchatka Peninsula, Northeast Asia (2012),

GeochimicaCosmochimicaActa, on-line publication 27 Nov. 2012, doi: 10.1016/j.gca.2012.08.006.

[3] S. Yamamoto, K. Kawamura, T. Kariya, O. Seki, M. Lee, Influence of aerosol source regions and transport pathway on  $\delta D$  of terrestrial higher plant biomarkers in atmospheric aerosols from the East China Sea, *Geochimica et CosmochimicaActa*, in press.

[4] P. Sankelo, K. Kawamura, O. Seki, H. Shibata, J. Bendle, n-Alkanes in fresh snow in Hokkaido, Japan: implications for ice core studies, *Arctic Antarctic and Alpine Research*, in press.

#### 論文(準備中)

[1] O. Seki, K. Kawamura, I. Suzuki, J. Bendle, Y. Fujii, Ice-core records reveal multi-decadal climate oscillation controls on the long-range transport of Asian dust to the Arctic.

#### 学会発表

[1] 関宰, James Bendle, 河村公隆, 藤井理行, グリーンランドアイスコアの過去 450 年間の土壌有機物ダストの記録, 日本地球化学会, 九州大学, 2012 年 9 月.

[2] 関宰, 河村公隆, 藤井理行, グリーンランドアイスコア中の有機化合物分析による過去450年間の気候変動, 大気雪氷物質交換の研究集会, 極地研, 2012 年 10 月.

[3] 関宰, 他, 北半球アイスコアの有機物分析による過去数百年の気候変動復元, 研究集会「北極域における過去の気候・環境変動」, 2013 年 3 月 25-26 日開催.