

南極内陸における過去 30 万年の硫酸塩エアロゾルと気温の関係

飯塚 芳徳

北海道大学低温科学研究所

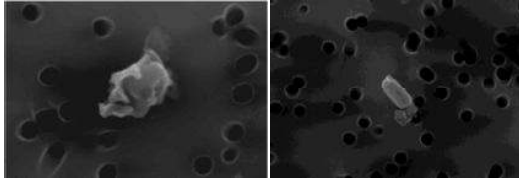
温故知新という言葉のとおり、過去から現在への環境変動のメカニズムを理解することで、地球環境の将来予測を高精度化することができる。地球環境の中でも「気温」は生物にとって最も重要な環境要素のひとつである。アイスコアは過去の気温変動だけではなく、大気成分や大気中に存在していたエアロゾルの復元を可能にする良質な古環境媒体である。1995年から国立極地研究所が主体となり、南極内陸のドームふじ基地で全長3000mにもなるアイスコアが掘削されている。本発表では、ドームふじアイスコアにおける、過去 30 万年間の気温の復元とその気温変動のメカニズムについて紹介する。特に、南大洋の生物活動を起源とする硫酸エアロゾルに着目し、過去の海洋生物活動と気温変動の関係について紹介する。南大洋は生物生産が盛んな海域であり、CLAW 仮説 (Charlson et al. Nature, 1987) と呼ばれる海洋生物起源物質による気候の調整作用が提唱されている。CLAW 仮説とはガイア理論の一つで、日射が強まると海洋生物生産が増え、それが大気中の硫酸エアロゾル濃度を高める。大気中に浮遊する硫酸エアロゾルは雲の生成を助ける作用があり、雲量を増すことで地表に到達する日射を弱める、という負のフィードバック効果により生物にとっての最適環境を生物自身が調整する、という説である。

アイスコアに含まれる酸素同位体比から掘削地点の過去の気温を復元できる。過去 30 万年間は約 10 万年を 1 周期として、約 1.5 万年間の間氷期と約 8.5 万年間の氷期を周期的に繰り返してきた。氷期-間氷期気温変動の要因として、IPCC は北半球の雪氷面積・温室効果ガスの変動を 2 大要因にあげている。温室効果ガスは気温変動を増幅させるのみの寄与をし、雪氷面積変動はミランコビッチ・サイクルと呼ばれる太陽と地球の軌道要素の変化によって、北半球高緯度の夏の日射量が周期的に変動したために生じたと考えられている。

エアロゾルは氷期-間氷期気温を変動させる第 3 の要素である。これまでの南極アイスコアの研究では、溶解した氷サンプルのイオン濃度を主なエアロゾルのプロキシとしており、氷期・間氷期サイクルに伴う硫酸イオンフラックスの変動は小さいことから、気温変動への影響は小さいと考えられていた (Wolff et al. Nature, 2006)。発表者は、低温下で氷を昇華させることで、アイスコアに保存されている硫酸塩 (Na_2SO_4 , CaSO_4) の微粒子を 1 粒ごとに走査型電子顕微鏡/エネルギー分散型 X 線分析装置を用いて観察する手法を開発した。この手法を用いて、ドームふじアイスコアに含まれる硫酸塩エアロゾルを測定した。その結果、過去 30 万年間の氷期・間氷期サイクルにおいて、硫酸塩フラックスと気温の指標 (酸素同位体比) の間に逆相関がみられた。この事実は、硫酸塩フラックスが大きい時代は、エアロゾルの間接効果が気温低下をもたらしていることを示唆する。また、この結果は、硫酸塩エアロゾルが気温変動を抑制させる方向には働いていないことを示しており、海洋生物起源物質による気候の調整作用 (CLAW 仮説) が氷期・間氷期スケールでは成立していなかったことを示唆する。

南極内陸における過去30万年の硫酸塩エアロゾルと気温の関係

北海道大学低温科学研究所
飯塚芳徳

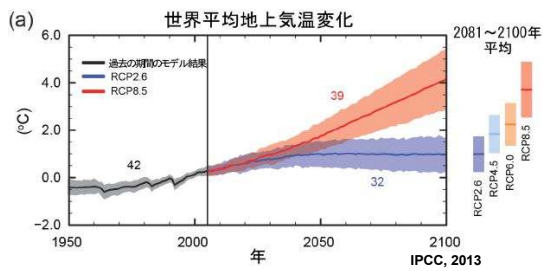


(写真)南極アイスコアに含まれる塩微粒子

発表の流れ

- ・気温変動と硫酸エアロゾル
- ・南極におけるアイスコア掘削
- ・過去30万年間の気温変化のメカニズム
- ・過去30万年間の硫酸塩エアロゾルと気温変化

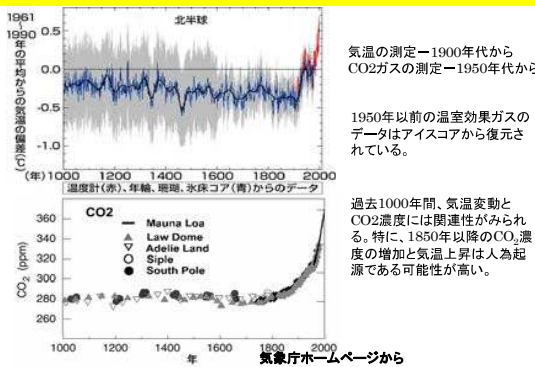
IPCC AR5による将来の気温変化予測



IPCC AR5による気温変動の要因

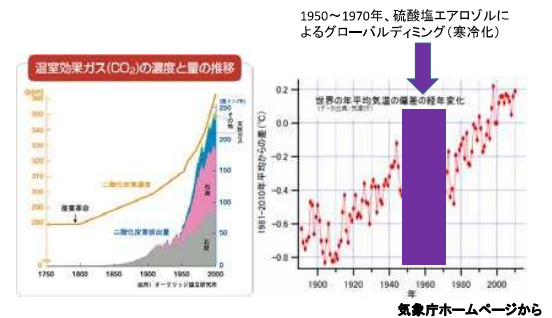


過去の温室効果ガスの復元例



硫酸塩エアロゾルによる寒冷化


雲を作る効果が高いため効率的な寒冷化をもたらす微粒子



大気中の微粒子(エアロゾル)と寒冷化

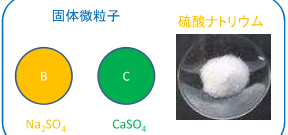
液滴の硫酸エアロゾルと固体微粒子の硫酸塩エアロゾル

液滴 **硫酸**

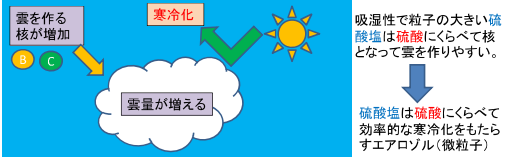


H_2SO_4

固体微粒子 **硫酸ナトリウム**



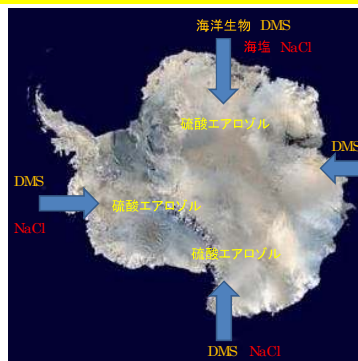
Na_2SO_4 $CaSO_4$



吸湿性で粒子の大きい硫酸塩は硫酸にくらべて核となつて雲を作りやすい。

硫酸塩は硫酸にくらべて効率的な寒冷化をもたらすエアロゾル(微粒子)

南極域の硫酸エアロゾル

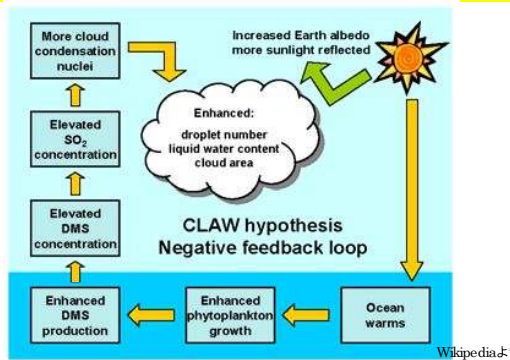


硫酸エアロゾルの起源は海洋生物活動(ジメチルサルファイド: DMS)。DMSが大気中で酸化されて硫酸(H_2SO_4)になる。

硫酸(H_2SO_4)は大気中で海塩(NaCl)と反応して硫酸塩(Na_2SO_4)になる。

硫酸エアロゾルは海洋から南極氷床に輸送される。

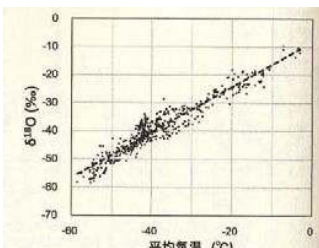
CLAW仮説 —海洋生物による気温の制御機構—



Wikipediaより



同位体温度計

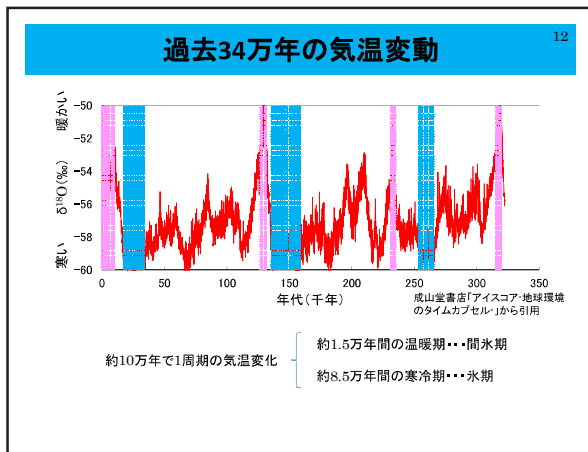


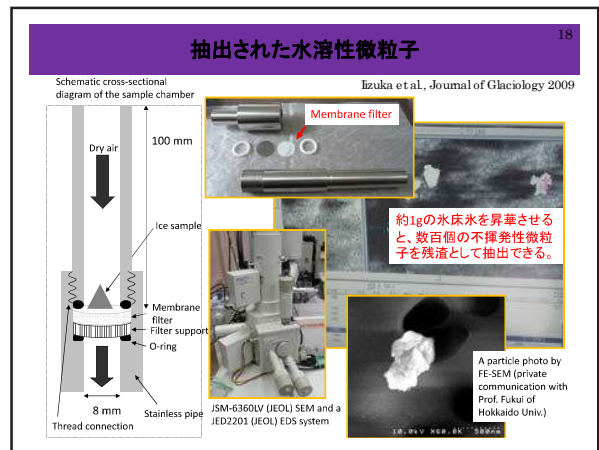
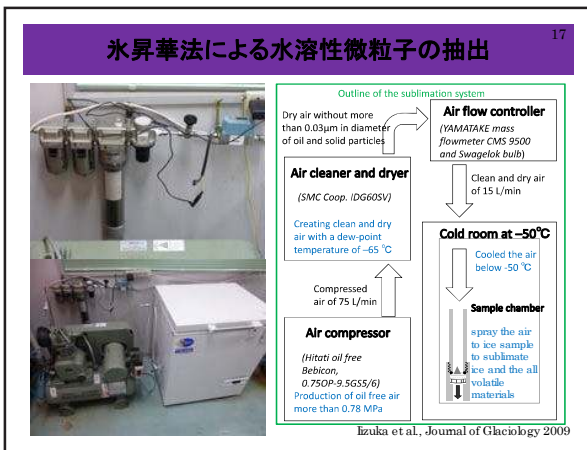
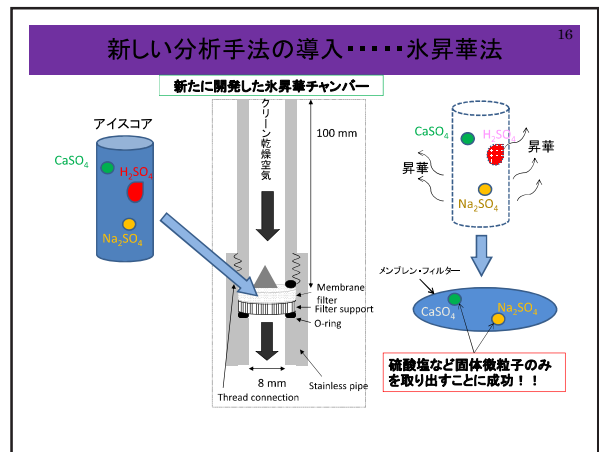
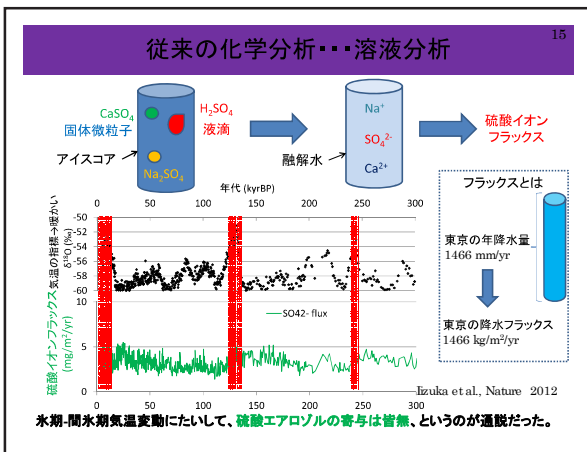
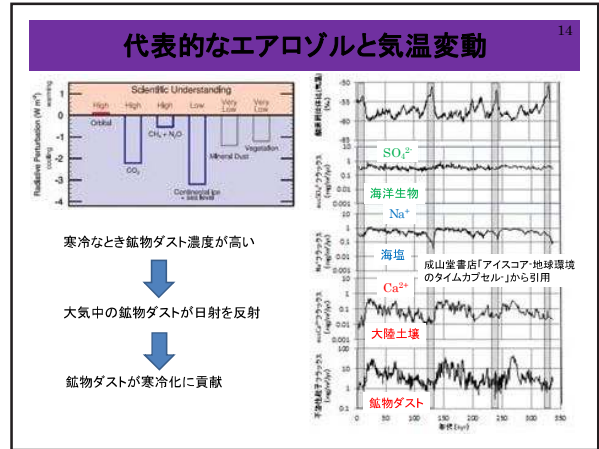
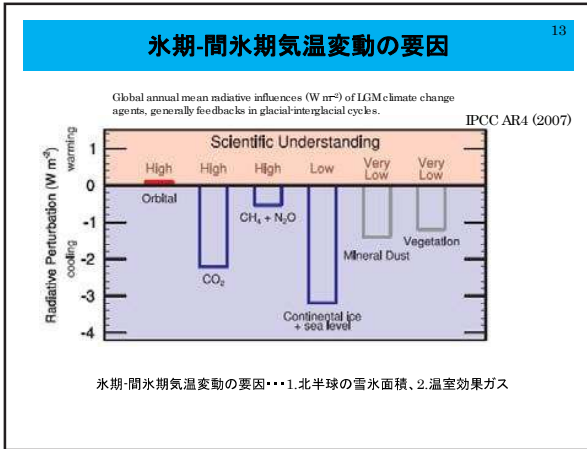
気温の復元には雪氷(H_2O)に含まれる $H_2^{18}O$ と $H_2^{16}O$ の存在割合を使う

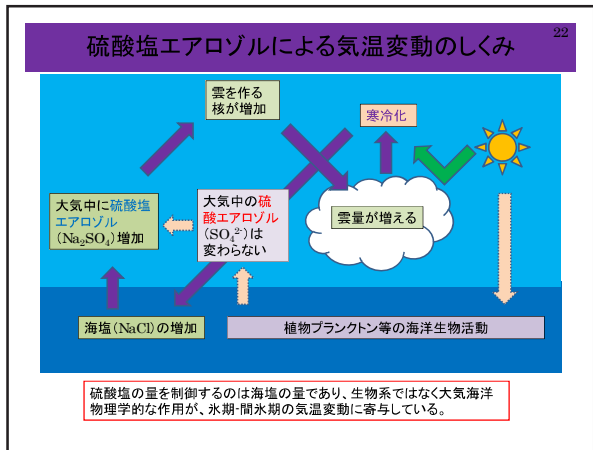
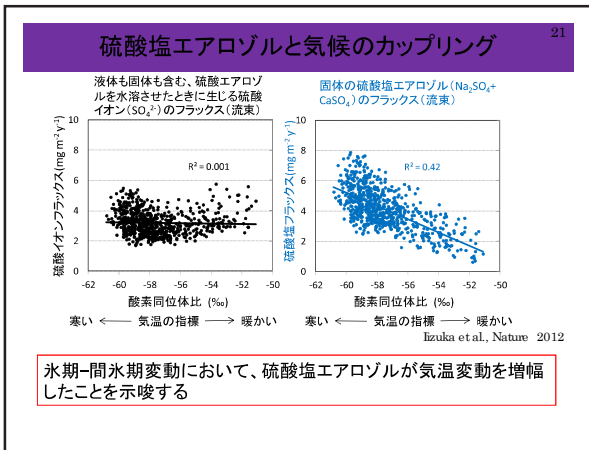
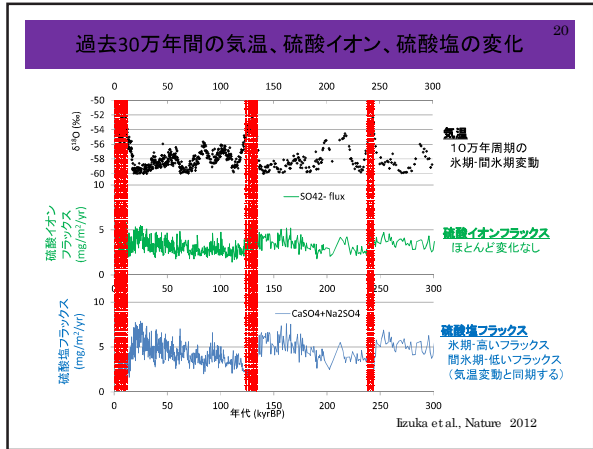
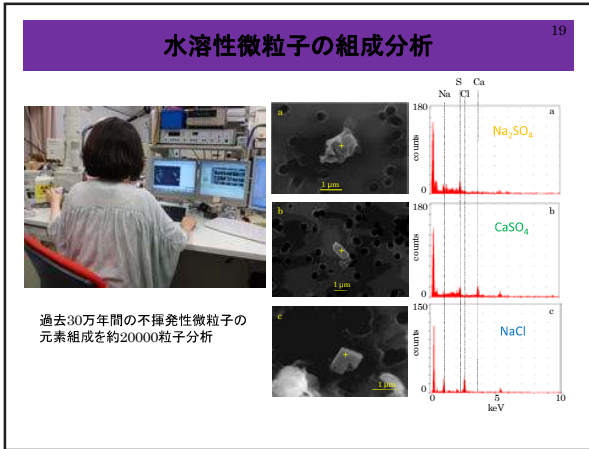
暖かい... $H_2^{18}O$ の割合が高い
寒い... $H_2^{16}O$ の割合が高い

図 1-16 南極降雪の同位体比($\delta^{18}O$)と年平均気温の関係
年平均気温が低い降雪地点では、雪の同位体比が小さい。(Masson-Delmotte, *et al.* を改題)

成山堂書店「アイスコア 地球環境のタイムカプセル」から引用







まとめ

23

- (1) アイスコアは過去数十万年間の温室効果ガスやエアロゾルを保存している優れた古環境媒体である。
- (2) 過去数十万年間の最大の気温変化は氷期-間氷期変動であり、北半球高緯度の雪氷面積や温室効果ガスの変動が気温変化に貢献している。
- (3) 硫酸塩エアロゾルは気温と負の相関をもつ。この相関は、大気中の硫酸塩エアロゾルが氷期-間氷期サイクルの気温変動を増幅していたことを示す。
- (4) 硫酸塩エアロゾルは気温変動を促進する(正のフィードバック)ため、海洋生物による気温の制御機構(CLAW仮説)は氷期-間氷期サイクルの気温変動にあまり貢献しなかったのではないかと考えられる。