



Title	アラスカ・ランゲル山アイスコアから復元した北部北太平洋域への陸域起源物質沈着に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	佐々木, 央岳
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第12667号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65284
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Hiroataka_Sasaki_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士 (環境科学)

氏 名 佐々木 央 岳

学 位 論 文 題 名

アラスカ・ランゲル山アイスコアから復元した北部北太平洋域への陸域起源物質の沈着に関する研究
(A study on depositions of crustal materials onto the northern North Pacific reconstructed
from an ice core drilled at Mount Wrangell, Alaska)

鉄は、地球上の生物特に海洋の一次生産である植物プランクトンにとって必須の元素である。植物プランクトンが利用する海洋表層の鉄の起源は、河川からの流入や海洋の鉛直混合および湧昇によるものと、陸域を起源とする大気ダストの沈着が考えられている。大気ダストはその主成分の一つに鉄を含んでおり、陸域から大気を経由して海洋に沈着するダストが、植物プランクトンの生命活動に重要な影響を与えると考えられている。衛星観測と現地観測によるデータを元にした数値モデルでは、全球の年平均の大気ダストフラックスが見積もられているが、計算値と観測値の間には数倍から数十倍の差が生じることが報告されている。観測からダストや鉄のフラックスを求めるためには、実際に大気から沈着するダストを捉えればよいが、長期観測の困難さなどから、長期間の時系列データを得られる観測例は非常に少ない。

氷河は大気から沈着したエアロゾルを冷凍保存しているため、そこから得られるアイスコアは大気エアロゾルの時間変化を復元する有力なアーカイブである。

アイスコア研究では、陸域起源物質の指標としてこれまで非海塩性カルシウム (nssCa) や不溶性ダストの測定がされてきた。これらの測定項目は、試料処理方法や測定方法から、ダストの沈着量を直接反映していないことは明らかであるが、先行研究ではダストの総沈着量の指標として扱われている。一方で、これまでアイスコアから直接鉄を測定した方法はほとんどない。その理由には、アイスコアに付着した汚染を除去することが難しかったことが挙げられる。

本研究では、北部北太平洋周辺域に大気を通じて沈着した鉄フラックス (以降単に鉄フラックスと記す) を明らかにするために、アラスカ湾近傍に位置するランゲル山脈のランゲル山 (4317m) 山頂の氷河でアイスコアを掘削し、(1) アイスコア中の鉄濃度を測定する手法を確立して分析を行い、(2) 北部北太平洋域において最も多く大気ダストを放出していると考えられる東アジア大陸で観測された砂嵐の発生数の年々変化、および同ダストの主な輸送経路となっている日本で観測された黄砂の観測のべ日数の年々変化との比較から、アイスコアから復元した鉄の年間フラックスの変動要因を明らかにし、(3) さらに、従来、陸域起源物質の指標として考えられているnssCaおよび不溶性固体微粒子と鉄フラックスを比較し、アイスコア中の陸域起源物質のプロファイルの形成プロセスを明らかにすることを目的とした。

アイスコアは、アラスカ南部のランゲル山 (標高4317 m) の山頂の氷河で2003年および2004年にそれぞれ50.29 mおよび216 m掘削された。掘削地点の年平均気温を示す10-m雪温は約-18℃だった。また、2005年から2006年にかけて行われた断面観測および積雪モニタリングから、年涵養量

は水当量で $2.75 \text{ m w.e. yr}^{-1}$ だった。これらの気象条件から、これらのアイスコアは融解の影響が少なく、高時間分解能のデータを得られると期待できる。アイスコアは冷凍保存をした状態で日本に輸送され、北海道大学低温科学研究所の低温室に保存された。

本研究では、2003年コアの0-50.3 mおよび2004年コアの52.6-100.1mをサンプルとして使用した。このうち鉄濃度の測定には、アイスコアを縦方向に四分割した内の一つを使用した。汚染を除去するために、サンプルの表面厚さ約20mmをセラミックナイフで徐々に削り、残った中心部分（直径20mm）のみを鉄濃度の測定に用いた。サンプルの深さ方向の間隔は約250mmとした。これらの処理は、低温室内のクリーンルーム内に設置したクリーンベンチ内で行った。サンプルはテフロン容器に入れて常温で解凍した後、ポリプロピレン容器に移し、60%超高純度硝酸をサンプル量の1%分添加した。その後、酸溶解する鉄濃度が一定になる一週間以上の期間を置いた。なお、同サンプルを1ヶ月間置いた場合でも、鉄濃度に変化がないことを確認した。測定には、日立偏光ゼーマン原子吸光光度計を用いた。測定条件は一般的なものに設定し、検出限界は $0.5 \mu\text{g L}^{-1}$ だった。また、鉄フラックスは測定された鉄濃度および各サンプルの長さおよび密度から算出した。

測定の結果、鉄濃度は春季に高く夏季に低い明瞭な季節変動を示すことがわかった。この特徴は、日本で観測された黄砂、アジア大陸で観測された砂嵐、および北太平洋における大気ダスト濃度の季節変化の特徴とよく一致する。また、コア深度3.8m w.e.および4.0m w.e.に $60 \mu\text{g L}^{-1}$ を越える鉄濃度のピークが見られ、これは日本および東アジアで大規模な砂塵嵐による大気中へのダストの巻き上げ（以下、ダストイベント）が観測された2001年および2002年に当たる。以上のことから、アイスコア中の鉄はアジアダスト由来のものであると考えられる。

最も鉄の年間フラックスが大きかったのは、2001年の $27.0 \text{ mg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ で、次いで2002年の $18.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ だった。2001年と2002年を除いた年の年間の鉄フラックスは $3.2\text{-}15.1 \text{ mg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ だった。これらの値は、先行研究によって報告されている北太平洋域の年間の鉄フラックスと整合的である。次にこれらの鉄フラックスの年々変動を、東アジア大陸におけるダストイベントの発生回数(1993-2003年)と比較した。その結果、Dust stormと呼ばれる比較的大規模のダストイベントとの相関($r=0.65$, $p<0.05$)が見られた。次に、アジアダストの主な輸送経路の一つである日本で観測された黄砂現象と比較した。日本においては、59地点の観測所で目視観測によって黄砂の飛来を観測している。黄砂観測年間のべ日数は、一日に10カ所で黄砂が観測された場合、10として算出される値を一年間積算した値で、黄砂の規模と頻度を半定量的に表す値である。黄砂観測年間のべ日数は、鉄の年間フラックスと相関が見られた($r=0.66$, $p<0.05$)。次に、大気ダストの湿性沈着に主に影響を与える降水量との比較を行った。ランゲル山の降水のタイミングと相関がある掘削地点から最も近いCordovaの気象観測所で観測された降水量との比較を行った結果、鉄フラックスと降水量の間には有意な相関はないことがわかった。以上のことから、ランゲル山における鉄の年間フラックスは、東アジア大陸で発生した大規模なダストイベントによって放出される鉱物ダストの量によってコントロールされ、アラスカでの沈着過程には依存しないことがわかった。

nssCaと鉄の年間フラックスの間に有意な相関はみられず、1985-1993年の期間、nssCaの年間フラックスが他の年に比べ総じて高い傾向を示すことがわかった。これは融解した試料に溶け出した量だけ測定しているnssCaの量は共存する酸性物質に量に影響を受け、ダストの総量を直接反映しないことが推測される。