

論文審査の結果の要旨

氏名 吉田 淳

気候変化の大きな不確実要因である大気エアロゾルの中で、酸化鉄エアロゾルは従来注目されることは少なかったものの、黒色炭素と同様に太陽光を吸収することで大気を加熱するとともに、海洋中の植物プランクトンに対する栄養塩としても働く。そのため、人為起源の酸化鉄エアロゾルは大気から海洋に係する幅広い時間スケールで気候に影響を与えると考えられている。しかしながら、その観測情報は著しく限定されており、人為起源酸化鉄エアロゾルの気候影響に関する定量的理解が遅れている主要因となっている。この背景には、従来のほとんどの測定が頼っていたフィルター採取では、測定の時間分解能が数日から10日程度と粗く、排出量の推定には不十分であったことが挙げられる。このような状況の下、本研究はレーザー誘起白熱法に基づいて、酸化鉄エアロゾルを従来に比べて格段に高い時間分解能で測定する新しい手法を開発し、それを複数の地域における実大気観測に適用することで手法の有効性を実証した。また、その観測データの解析から、これまで研究例の少ない人為起源酸化鉄の排出・輸送に関する新しい知見を提供した。

本論文は6章からなる。問題点を整理した上で研究の動機づけが述べられた第1章に続き、第2章ではレーザー誘起白熱法に基づいて酸化鉄エアロゾルを単一粒子レベルで高速に測定する手法に関して記述されている。特に、粒子の沸点の違いや白熱光のピーク時刻の違いから、酸化鉄と黒色炭素の区別、磁鉄鉱と赤鉄鉱の区別、これらのエアロゾル粒子のサイズの推定が可能となることが実験装置の概要とともに述べられている。

第3章では、この新しい測定手法を沖縄県辺戸岬で実施された実大気観測に実際に適用した結果が述べられている。その解析から、測定された酸化鉄エアロゾルはその多くが他のエアロゾル種と混合した人為起源のものであること、酸化鉄エアロゾルの質量濃度が黒色炭素および一酸化炭素の質量濃度と顕著な正の相関を持つことが明らかになった。また、後者の観測情報から、気塊が輸送されてきた中国大陸における人為起源酸化鉄の排出量を推定した。

第4章では、このような測定をさらに東アジア域の複数の地点および北極域の地点での実大気観測に適用した結果が述べられている。これらの地点でも測定された大部分の酸化鉄エアロゾルが人為起源であること、その粒径分布や黒

色炭素に対する質量比の地点間のばらつきが小さいことなどが明らかになった。これは、排出源における酸化鉄・黒色炭素・一酸化炭素の関係性に観測的な示唆を与えるものである。

第5章では、これらの観測データのさらに詳細な解析によって、人為起源酸化鉄に関する具体的な知見が議論されている。まず、東京および千葉における酸化鉄と黒色炭素の濃度比の日変化が、特に夏季においては東京の自動車交通量におけるディーゼル車の割合の日変化とよく対応することを示し、大都市における人為起源酸化鉄エアロゾルの排出源に具体的な示唆を与えた。また、第4章で述べられた複数地域での観測情報を共同研究者に提供し、数値気候モデルにおける人為起源酸化鉄の排出量に拘束条件を与えることで放射強制力と海洋への栄養塩供給を評価した結果が述べられている。

最後に第6章では、本研究全体のまとめと今後の展望が述べられている。

本研究はレーザー誘起白熱法にもとづいて、酸化鉄エアロゾルを数分から1時間という従来にない高時間分解能で測定する新しい手法を開発し、複数の地域における実大気観測に適用して、酸化鉄エアロゾルの粒子サイズ・粒径分布関数・混合状態に関する独自の観測データを取得した。また、その詳細な解析から、従来とは異なる方法で人為起源酸化鉄エアロゾルの排出量を推定した。さらに、これらの観測情報を共同研究者と密に共有することを通じて、数値気候モデルにおける人為起源酸化鉄エアロゾルの排出量を拘束し、放射強制力と栄養塩供給の定量的評価に直接貢献した。

なお、本研究の第2章・第3章と第4章・第5章の一部は、茂木信宏・大畑祥・森樹大・多田隆治・Pavla Dagsson-Waldhauserova・足立光司・針ヶ谷智生・小池真・松井仁志・Natalie Mahowald・Douglas Hamilton・Rachel Scanza・Mark Flanner・高橋嘉夫・栗栖美菜子・高見昭憲・近藤豊の各氏との複数の共著論文として既に出版済みであるが、第2章・第3章については論文提出者が主体となって問題の設定、測定手法の確立、データ解析を行ったものであり、第4章・第5章についてはこのような観測情報を共同研究者に提供することで直接的に貢献したものである。これらのことから、本研究全体について論文提出者の寄与が十分であると判断し、審査員一同は論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。