

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 福島 聡

黄砂粒子は海域や陸域へと沈着することで、植物プランクトンの増殖などの一次生産に影響を与え、生態系維持に寄与し、二酸化炭素循環系を通じて気候へと影響を与えている。黄砂粒子の沈着による生態系・気候への影響を評価するためには沈着量を知る必要がある。沈着量推定には浮遊粒子の濃度と沈着速度から間接的に計算する方法が広く用いられている。これは沈着する粒子は浮遊粒子と同じ（似た）大きさ・組成であることを前提に推定される。しかしながら、浮遊粒子と実際に沈着した粒子の相違についての検証はこれまでにほとんど見られない。黄砂粒子が海洋へ沈着することによる影響を正しく評価するためには、沈着粒子と浮遊粒子の類似点・相似点についての知見は不可欠である。

また、黄砂粒子は、エアロゾルとして太陽放射を散乱することで、または雲核や氷雲の氷結核として機能することで気候へと影響を与えている。しかしその効果は定量的な不確かさが大きいと見積もられている。その主な原因はエアロゾルの時空間的な分布が複雑であることに加え、エアロゾルの組成や混合状態の大気放射へどのような影響を与えるかについての知見が不足していることである。そのため、モデル計算ではしばしば均質な混合状態を仮定し計算される。しかし、そのシミュレーションによる結果と、実測による結果には大きな隔たりがあるのが現状である。したがって、様々な地域、気象条件、エアロゾルの起源・組成を考慮した実測による結果を積み重ね、これらの関係性を明らかにしていく必要がある。さらに、大陸を離れた黄砂粒子は海洋大気や汚染大気の影響を受け、その性質を変化させる。より正確な生態系や気候への影響を議論するために黄砂粒子と海塩粒子や汚染物質との内部混合状態が粒子の沈着や放射に対し、どのように影響するのかを把握する必要がある。

本研究では、春季の黄砂時に九州西岸において採取された浮遊粒子について電子顕微鏡を用いて個別粒子の形状特徴と元素組成を分析した。分析結果を用いて、実際に乾性沈着した粒子と、大気の後方散乱係数、エアロゾル濃度を比較し、粒子の物理・化学的な特性が乾性沈着過程に及ぼす影響と大気散乱に及ぼす影響を考察した。

2010年から2012年の春季の計3回の黄砂イベント時に九州西岸域天草において浮遊粒子と沈着粒子を採取し個別粒子分析を行った。海塩や硫酸塩と混合した浮遊粒子は粒子の割合は47-67%であったが、沈着粒子では15-26%であった。沈着粒子の硫黄成分やナトリウム成分は浮遊粒子に比べ、明らかに少なかった。また、個々の粒子中の鉱物成分、海塩成分および硫酸塩成分の重量比の比較の結果、沈着粒子では浮遊粒子に比べて鉱物成分の重量比が高かった。浮遊粒子のモードサイズはおよそ2-3 μm であり、沈着粒子の3-5 μm に比べてやや小さかった。しかし、浮遊粒子の粒径分布に対し、粒径に応じた重力沈着速度によって重み付けを行ったモードサイズを比較すると、実際に沈着した粒子のモードサイズと近い値になった。これらのことから、本研究の結果によって粒子サイズは沈着を決定する上で重要なパラメーターであることを裏付け、また、海洋大気中における浮遊粒子と沈着粒子の組成の違いから、正確

な沈着フラックスの推定には海塩との混合による沈着の変化を考慮する必要があること示唆された。

地表付近におけるエアロゾルの後方散乱係数とエアロゾルの濃度や組成との関係性について2011年から2015年の春季に九州西岸で調査を行った。後方散乱係数はシーロメーターを用いて観測波長905 nmの条件で計測した。0.3 μm以上の粒径別の粒子数濃度は光学式粒子計測装置を用いて計測した。観測期間中に8回浮遊粒子試料を採取し、電子顕微鏡の分析によって鉱物、海塩、硫酸塩、すすといったエアロゾルの組成を得た。相対湿度が70%未満の条件下では、エアロゾルの組成の違いに関わらず、後方散乱係数とエアロゾルの体積濃度との間に強い相関が見られた ($R^2=0.76$)。湿度が70%を超えると、単位体積濃度あたりの後方散乱係数には大きなばらつきが見られるようになった。相対湿度およそ90%の条件において、海洋起源の海塩粒子が卓越するような大気の後方散乱係数は、陸域起源の鉱物粒子やすすなどの粒子の占める割合が高い大気に比べて数倍高かった。また、この陸域起源の粒子の占める割合が高い大気の後方散乱係数は湿度が低い場合に比べてわずかに高い程度であった。一方で、湿度が高い条件においては体積-粒径分布の違いによって後方散乱係数に違いが見られた。これらの結果は、乾燥条件においては大気中のエアロゾル粒子濃度が後方散乱係数、すなわち大気の散乱の強さを決定する重要な要素であること、他方、湿潤条件ではエアロゾルの組成やサイズ分布が後方散乱係数に影響すること示している。

以上の研究より、同一黄砂時の沈着粒子の粒径分布と浮遊粒子から推定される粒径分布は似ていたが、元素組成や混合状態に違いがあること見出された。また、乾燥大気中におけるエアロゾルの散乱の強さは、エアロゾル濃度によって大まかに決定されることに対して、湿潤大気ではエアロゾルの光散乱は粒子の組成と粒径分布に大きく左右されていることが明らかにされた。

これらの結果は、アジア黄砂が乾性沈着を通して島や海の生態系に栄養塩物質を供給する実態の解明と、空気中に浮遊している間の光の散乱を通して大気中エネルギー収支に及ぼす影響の正確的な評価につながる情報であり、地球環境の変遷及び温暖化において広域に拡散している黄砂現象の挙動及びその環境的なインパクトの解明に大きく貢献するものと考えられる。以上のように、福島聡君の研究は、博士(環境共生学)の学位に相応しいものと判定する。

主 査 熊本県立大学・教授 張代洲