

温帯林・冷温帯林・熱帯林における PM_{2.5} 硝酸塩ならびに硫酸塩の乾性沈着メカニズム

17536011 中原 聡仁

(指導教員：松田 和秀)

【はじめに】

一般的に粒子状物質の乾性沈着プロセスはその粒径に大きく依存し、PM_{2.5}の質量のほとんどが存在するサブミクロン領域 (0.1~1.0 μm) の粒子状物質は重量沈降およびブラウン拡散の影響を受けにくく、乾性沈着しづらい (沈着速度が小さい) と考えられてきた。しかしながら、欧米や日本の森林における粒子状物質の乾性沈着の観測では、PM_{2.5}の主要構成粒子の一つである硫酸塩粒子の沈着速度について、従来の理論に基づく計算値よりも観測値の方が大きく、不一致が生じていることが報告されている。一方、山崎ら (2015) が示した PM_{2.5} 硫酸塩の森林における鉛直プロファイル観測では、林上から林床にかけての濃度減衰が明確に確認されておらず、その乾性沈着が森林のどこで生じ、除去されているのか未解明であった。さらに、同じ PM_{2.5} の粒径範囲にある PM_{2.5} 硫酸塩および PM_{2.5} 硝酸塩の濃度減衰率には差があり、PM_{2.5} 硝酸塩の方が顕著に減衰し、森林に乾性沈着しやすいことが示された。この成分間差をもたらす要因として、両成分粒子の化学的な性質の違いが指摘されているが、十分な検証は行われていない。

本研究では、森林における PM_{2.5} の硫酸塩と硝酸塩の上記したそれぞれの成分の乾性沈着メカニズムの課題に取り組むために、アジアの異なる3つのタイプの森林 (北海道北部の冷温帯林、東京都西部の温帯林、タイ国東北部の熱帯林) において観測を行なった。すべての地点において、PM_{2.5} 成分および関連ガス成分の鉛直プロファイル観測を実施するとともに、森林下層植生内外の水平プロファイル観測を実施し、乾性沈着メカニズムを明らかにするための森林内の濃度分布情報を得た。

【方法】

上記した場所に位置する北海道大学北方生物圏フィールド科学センター天塩研究林 (天塩)、東京農工大学フィールドミュージアム多摩丘陵 (FM 多摩丘陵)、サケラート環境研究ステーション (サケラート) の森林で観測を行なった。各森林に設置された観測鉄塔を用いてフィルターパック法による鉛直プロファイル観測および森林下層植生内外の水平プロファイル観測を実施した。天塩では、硝酸成分を精度よく測定可能なデニューダ・フィルターパック法による鉛直プロファイル観測もあわせて行なった。さらに、天塩および FM 多摩丘陵において、熱力学平衡モデルを用いて、PM_{2.5} 成分と関連ガスのガス-粒子平衡計算を実施し、硝酸アンモニウム粒子の温度上昇に伴う揮発が及ぼす乾性沈着への影響を評価した。

【結果と考察】

3 地点における PM_{2.5} の無機イオン成分の測定結果から、いずれの地点でも主要成分は、NO₃⁻、SO₄²⁻、NH₄⁺であり、これら3成分が分析した全無機イオン成分中のそれぞれ 84.8% (天塩)、90.1% (FM 多摩丘陵)、85.5% (サケラート) を占めていた。さらに、これら3成分の当量イオン濃度の比率から NH₄NO₃ 粒子と (NH₄)₂SO₄ 粒子を構成していたと考えられた。図 1 に天塩観測により得られた PM_{2.5} の NO₃⁻ (Fine NO₃⁻) および SO₄²⁻ (Fine SO₄²⁻) 成分、粗大粒子の NO₃⁻ (Coarse NO₃⁻) 成分の濃度の鉛直プロファイルを示す。縦軸に観測高度、横軸に

樹冠上部の観測鉄塔最上部における濃度を 1 としたときの各高度の相対濃度を示した。Fine NO₃⁻の濃度減衰率は Fine SO₄²⁻および Coarse NO₃⁻よりも大きかった。粒径による沈着速度の違いのみを考慮すると、濃度減衰率は粒径の順 (Coarse NO₃⁻ > Fine NO₃⁻ = Fine SO₄²⁻) になると予想される。しかしながら、本研究で観測された Fine NO₃⁻の濃度減衰率は、同程度の粒径である Fine SO₄²⁻よりも顕著に大きく、粒径の大きい Coarse NO₃⁻よりも大きかった。この特徴は本研究における 3 つの森林において確認され、FM 多摩丘陵での既往研究 (山崎ら, 2015 ; 本庄ら, 2016 ; 坂本ら, 2018) が示した半揮発性の NH₄NO₃ 粒子の揮発に伴う乾性沈着の促進効果が異なるタイプのアジアの森林で起こる一般的な現象であることが示唆された。特に、天塩観測期間中は、樹冠下部で気温が高い環境にあり、PM_{2.5} 中の NO₃⁻の樹冠上部から樹冠内部への濃度減衰率と樹冠上部と樹冠内部の日中の気温差の間に正の相関がみられ (p = 0.013 < 0.05)、樹冠付近の気温上昇と上記の揮発の関係性を有意に見出すことができた。

図 2 に、水平プロファイル観測における Fine SO₄²⁻の下層植生の無い箇所 (植生外) から植生内への濃度減衰率を示す。バーは中央値を示す。各観測における中央値は、0.75% (天塩 : 1 m)、1.94% (FM 多摩丘陵長期 - 奥行 : 1 m)、2.67% (FM 多摩丘陵 - 奥行 : 5 m)、3.00% (FM 多摩丘陵集中 - 奥行 : 2 m)、1.70% (サケラート : 1 m) であった。いずれの観測においても植生外から植生内への濃度減衰率の中央値は、正の値を示し、森林下層植生によって Fine SO₄²⁻が除去されていることが示された。

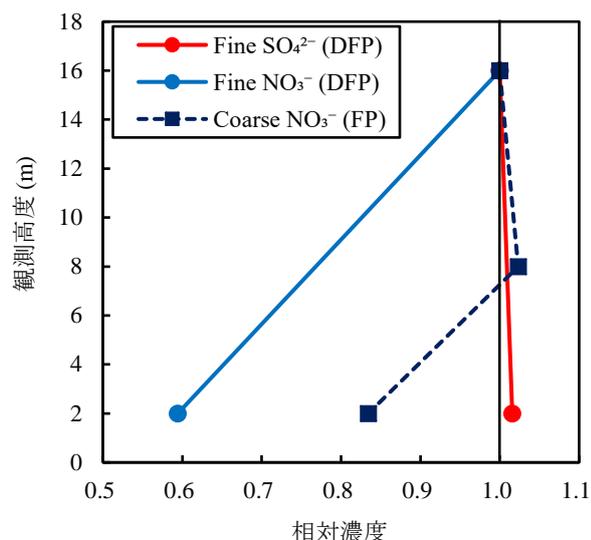


図 1 天塩観測期間中のデニューダ・フィルターパック法 (DFP) における PM_{2.5} 硫酸塩 (Fine SO₄²⁻) と PM_{2.5} 硝酸塩 (Fine NO₃⁻)、およびフィルターパック法 (FP) における粗大粒子硝酸塩 (Coarse NO₃⁻) の平均鉛直プロファイル

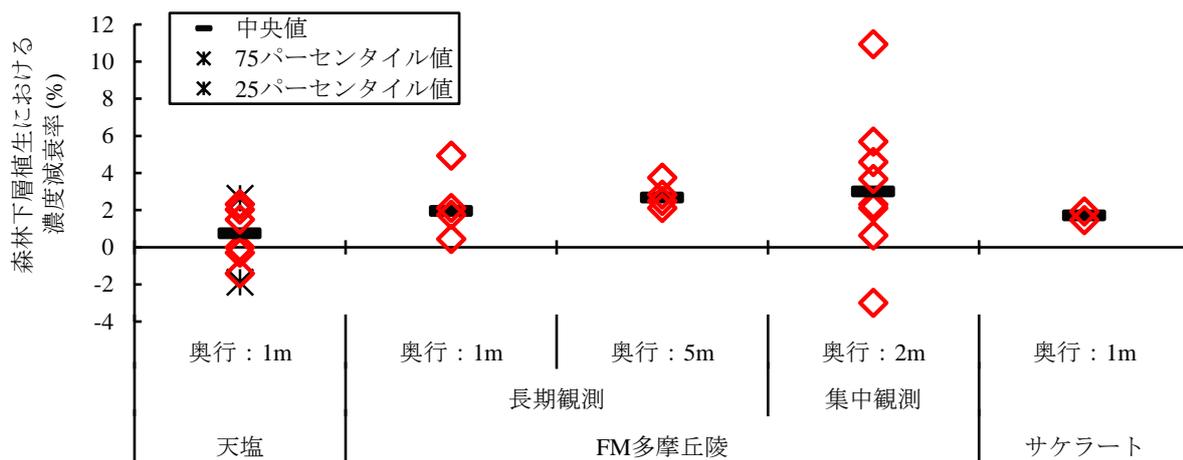


図 2 森林下層植生における植生外から植生内への濃度減衰率

【引用文献】

- ・山崎龍哉、高橋章、松田和秀 大気環境学会誌 50-4 (2015)
- ・本庄孝明、高橋章、松田和秀 大気環境学会誌 51-6 (2016)
- ・坂本泰一、中原聡仁、高橋章、反町篤行、堅田元喜、松田和秀 大気環境学会誌 53-4 (2018)