

緩和渦集積法による森林における PM2.5 成分の沈着速度直接測定

12MB-007: 水上 功

指導教員: 松田 和秀

【はじめに】

東アジアにおいて乾性沈着のフィールド研究の知見が蓄積されつつあるが、そのほとんどはガス状物質を対象としておりエアロゾルについては極めて少ない（例えば、高橋ら、2004, Matsuda et al., 2010）。これらの事例で測定法に用いられている濃度勾配法は大気を定常状態と仮定するため、特に長期間のサンプリングにおいて測定精度上の不確実性がある。乾性沈着の直接測定法において最も直接的な方法として渦相関法が挙げられるが、10Hz の高時間分解能で鉛直風速に合わせて成分濃度の測定が必要なためエアロゾル等の微量成分濃度の測定には技術的に困難を伴う。このような場合、渦相関法の原理を応用した測定法として緩和渦集積法（Relaxed Eddy Accumulation Method (REA 法)）が有効である。REA 法は鉛直風速の上下の変動に対応するようにサンプリングラインを切り替えて一定流量にてサンプルを吸引しサンプラーに捕集および集積し、鉛直風が上向き時のサンプルと下向き時のサンプルの濃度差からフラックスを測定する方法である。

本研究では、丘陵地における傾斜等の影響を考慮して、当該装置の鉛直風速によるサンプリング法を改良した（水上ら、2013）。なお、主な対象成分は PM2.5 中の硫酸イオンとし、森林における PM2.5 成分の沈着速度の直接測定を行った。

【方法】

REA 測定器は、三次元超音波風速計とエアロゾルの捕集ラインおよびその切り替え器より構成されている。エアロゾルは、サイクロン（2.5 μm 以上の粒子をカット）を通過し分級された後に鉛直風向別に捕集ラインを切り替えフィルターホルダを用いて捕集した。また、流量を 5L/min に設定した。REA 法のフラックス(F)は、以下の式を用いて求めた。

$$F = \beta \sigma_w (C^+ - C^-) \quad (1)$$

ここで、 β は実験的に求める係数、 σ_w は鉛直風の標準偏差、 C^+ と C^- はそれぞれ鉛直風が上下のときの成分濃度である。実験係数 β は、渦相関法を用いて測定した顕熱フラックスより以下の式を用いて算出した。

$$\beta = \frac{\overline{w'T'}}{\sigma_w(T^+ - T^-)} \quad (2)$$

ここで、 WT は顕熱フラックス (F_H)、 T^+ と T^- はそれぞれ鉛直風上下のときの温度である。

REA 測定器を東京都八王子市にある東京農工大学 FM 多摩丘陵の森林内にある 30m 観測タワー（キャノピー高度は約 20m）の頂上に設置した。観測サイトは、鉄塔を中心として南北に約 8° の傾斜があり（北が高い）、鉛直風の平均は 0 とならない。この傾斜に対応するように、鉛直風の前 10 分平均値を基準とし、鉛直風の変化に伴って基準値を追随させた。鉛直風が基準値を上回る（下回る）ときにサンプリングラインを切り替えた。本研究では、PM2.5 中の硫酸イオン成分を対象とした。サンプリングは 2013 年 5 月から定期的実施し、サンプリング時間は、数日～1 週間とした。また、夏季と秋季における任意の期間中についてそれぞれ、昼夜 12 時間および昼 8 時間、夜 16 時間の集中観測を行った。得られたフラックスを大気中濃度で割って沈着速度を算出した。

【結果および考察】

FM 多摩丘陵における主風向は南北であった。図 1 に夏季集中観測における SO₂ の沈着速度について、

それぞれ風向ごとに抽出した結果を平均値および中央値で示す（全サンプル、北方のサンプルおよび南方のサンプル）。沈着速度の平均値において北方のサンプルが $1.29 \pm 2.75 \text{ cm/s}$ と最大値を示した。また、全体のサンプルは $1.06 \pm 2.13 \text{ cm/s}$ となり、北方のサンプルと近い値を示した。一方、南方のサンプルは $0.69 \pm 0.24 \text{ cm/s}$ を示し、全体のサンプルの中央値と近い値を示した。ここで、沈着速度の平均値において全サンプルと北方のサンプルの誤差が大きく、南方のサンプルの誤差が小さいことから、沈着速度の誤差は北方のサンプルによる影響が大きいことが示唆された。FM 多摩丘陵において鉄塔の北方は丘陵地の頂上部であり複雑な地形を形成している。一方、南方は 300m にわたり一様な傾斜があり、斜面であってもこの傾斜面を上る風の割合が多ければ平坦な地形と同様に沈着速度を得る事が可能と考えられた。

図 2 に夏季及び秋季の集中観測において南方のサンプルを抽出し、沈着速度と摩擦速度との関係を示す。両季節ともに空気力学的な要因に比例して沈着速度が増加する結果は共通していたが、沈着速度のレベルは秋季より夏季が大きかった。また、相関係数は夏季 $R = 0.887$ および秋季 $R = 0.750$ を示した ($\alpha = 0.1$ において有意ではない)。ここで、夏季および秋季を合わせたときの相関係数 R は 0.395 ($\alpha = 0.1$ で有意ではない) となり、相関がないことから両観測において空気力学的要因以外の要因があることが示唆された。季節的な要因として、相対湿度や要面積指数 (LAI) 等が挙げられる。対湿度において夏季が 77% であり秋季 39% を上回った。相対湿度が高いとキャノピー表面の粒子の捕集効率の上昇や高湿度である葉面付近において粒子の成長があるとされており、いずれについても粒子の沈着速度は増加に働く (Ruijgrok et al., 1997)。発表では、LAI や大気安定度を含めて夏季と秋季の沈着速度について説明する。

【謝辞】

本研究の REA 測定器の開発にご協力いただいた、日本環境衛生センターの渡辺一朗氏に感謝致します。

【参考文献】

- Fowler et al, (2009) Atmospheric composition change: Ecosystems-Atmosphere interactions.
 Matsuda et al, (2010) Deposition velocity of PM2.5 sulfate in the summer above a deciduous forest in central Japan.
 水上ら (2013) FM 多摩丘陵における緩和渦集積法によるエアロゾルの乾性沈着観測 第 54 回大気環境学会講演要旨集
 Ruijgrok et al, (1997) The dry deposition of particles to a forest canopy: a comparison of model and experimental results
 高橋ら (2004) 濃度勾配法による森林への粒子状物質の沈着速度の推定

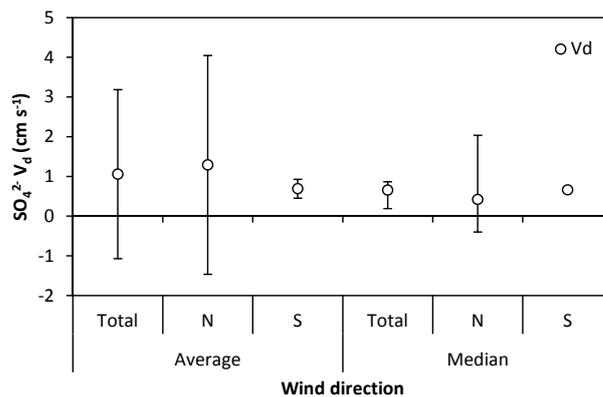


図 1. 風向別に抽出したサンプルにおける沈着速度の平均値および中央値（各エラーバーについて平均値は±標準偏差とし、中央値は 25 パーセンタイルおよび 75 パーセンタイルとした。）

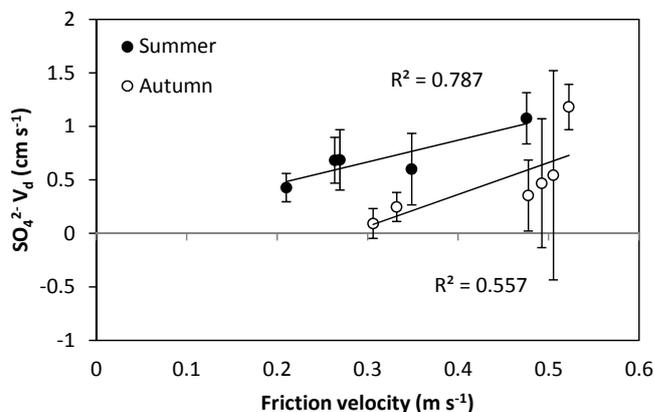


図 2. 夏季および秋季において南方のサンプルを抽出した沈着速度および摩擦速度の関係（エラーバーは blank 分析における最大値および最小値を示す。）