

緩和渦集積法によるエアロゾルフラックス測定装置の開発

10MB-002 : 三宅 貴史

指導教員 : 松田 和秀

1.背景・目的

経済発展の著しい東アジア地域において硫黄酸化物などの大気汚染物質の排出量が増加傾向にある。それに伴い、酸性沈着による生態系への影響が懸念されている。これに関して近年、東アジア地域における乾性沈着のフィールド観測の結果が報告されるようになり、沈着速度に関する知見が蓄積されつつある(松田, 2007)。しかし、これらの研究において多く用いられている濃度勾配法は大気を定常状態と仮定して沈着フラックスを求める方法のため、長時間のサンプリングにおいては仮定の成立が難しい問題がある。一方、比較的高濃度の物質に関しては渦相関法等による直接測定が行われている。渦相関法は、フラックスを求める上で仮定が少なく最も直接的な観測方法とされている。しかし、10Hz程度の高時間分解能での大気中濃度測定が必要なため温室効果ガスなど、適用可能な成分が限られている。そのためエアロゾル成分等の高時間分解能での濃度測定が困難な微量成分において渦相関法に準じる直接測定法として緩和渦集積(REA)法が提唱されている。

そこで、本研究では東アジア地域におけるエアロゾルの乾性沈着観測の精度向上を目的とし、REA法によるエアロゾルフラックス観測装置の開発を行った。また、開発したエアロゾルフラックス測定装置の試作機を実際の環境中に設置し、サンプリング精度の評価を行った。

2.方法

REA法による沈着フラックスの測定方法は、超音波風速計により三次元の風速を測定し、鉛直方向(w)の風向きに合わせて捕集器を切換え、鉛直風向別に大気中濃度を測定し、式(1)よりフラックスを算出する。

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

ここで F は沈着フラックス、 σ_w は鉛直風速の標準偏差、 C^+ と C^- はそれぞれ鉛直風が上向き(w^+)と下向き(w^-)の時の目的成分濃度、 β_c は実験によって求められる係数である。係数 β_c は、一般的に渦相関法を用いて顕熱フラックスを求め、顕熱フラックスの β_h と目的成分の β_c が等しいと仮定し、式(2)より β を算出し代用する。

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

ここで、 $\overline{w'T'}$ は渦相関法によって求めた顕熱フラックス、 T^+ と T^- はそれぞれ鉛直風が上向きと下向

きの時の気温である。

以上のような REA 法測定理論に基づき、試作機の作製を行った。作製した試作機を用いてフィールド試験観測を行い、捕集精度の評価を行った。観測場所は、明星大学 20 号館屋上、長野県北佐久の電力中央研究所・森林試験サイト、東京農工大学実習林・FM 多摩丘陵の 3 地点で行った。また、捕集精度の検証のため、ローボリュウムエアサンプラー(LV)を用いて“Reference”濃度の測定を行い、試作機の各捕集ラインの合計による大気中濃度と比較を行った。全ての試験観測において、しきい値は $\pm 0.1 \text{ m s}^{-1}$ とした。なお、明星大学観測及び北佐久観測は、試作機の流量問題や低濃度により評価が出来なかったため、ここでは FM 多摩丘陵観測について示す。

FM 多摩丘陵観測の観測期間は 2011 年 10 月 24 日～11 月 30 日、サンプリングは日中のみの 6～8 時間捕集で行った。“Reference”の測定にはインパクト付き 2 段型フィルターホルダーを用い、試作機と同様に粒径 $2.5 \mu\text{m}$ を境に分級捕集を行った。

また、北佐久観測における測定結果を用いて、REA法による沈着速度の推計を行った。北佐久観測では観測鉄塔頭頂部に試作機を設置し、期間は 2011 年 9 月 1 日～9 月 7 日、サンプリングは 12 時間おきにフィルター交換を行い、日中と夜間の 1 日 2 サンプルを得た。

さらに、今後、より精度よくフラックスを得るためには、鉛直風向別の濃度差を明確にする必要である。その為、各捕集ラインの捕集割合を均等にすることを目的に、“deadband”のしきい値の検討を行った。検討には、タイ国サケラート(乾季, 雨季, 暑季)、長野県北佐久(夏季, 冬季)、明星大学、FM 多摩丘陵の超音波風速計データを用いた。

3.結果及び考察

【試作機的设计】

REA法による観測装置の開発にあたり、本研究においては目的成分を粒径 $2.5 \mu\text{m}$ 以下のエアロゾル成分とし、開発を行った。図 1 に開発装置の概要図を示す。3 次元超音波風速計のセンサー付近に大気の捕集口を設け、吸引したエアロゾルは PM2.5 サイクロン(VSCC, 16.39 L min^{-1})を用いて分級し、鉛直風向別に各捕集ラインに分配するように設計した。ここで捕集ラインには鉛直上向風

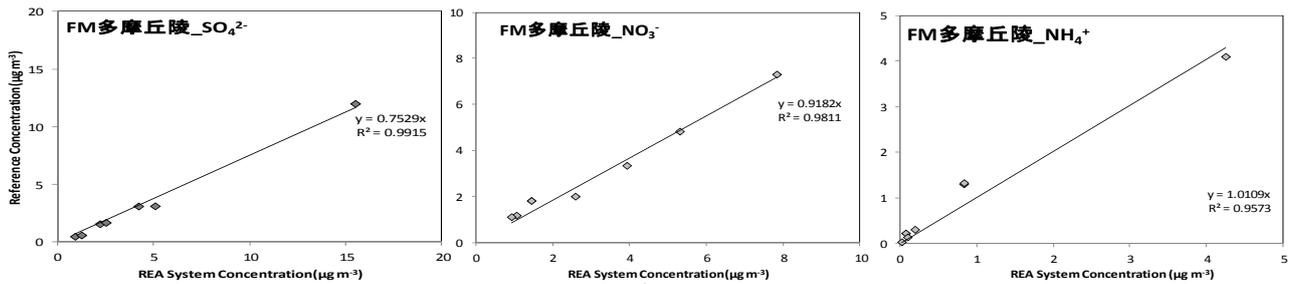


図2 FM 多摩丘陵観測における粒子中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ の試作機と”Reference”の相関図

(“Up”)、鉛直下向風(“Down”)の他に”Up”と”Down”の中間として、鉛直風速にしきい値を設け、風速が弱まった時に捕集するラインである”deadband”を設けた(L.Myles, 2007)。通常、”up”をプラス、”down”をマイナスとした時、鉛直風速の平均値はゼロになることが望ましく、”deadband”の範囲は、ゼロを中心にしきい値を設定する。しかし観測場所における緩傾斜等の土地条件によって平均値がゼロとならない場合があることから、鉛直風速の平均値を中心にしきい値を設定し、観測地点の状況に連動するよう設定した。上記の設定にて超音波風速計の演算部と連動させた電磁弁を用い、時間分解能 0.1 秒で捕集ラインの切り替えを行った。

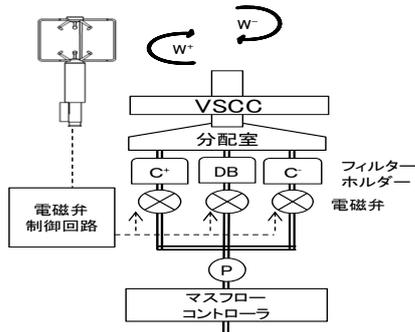


図1. REA 法フラックス測定装置の概要

【試作機の評価】

図2にFM 多摩丘陵観測における粒子状 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ の試作機と”Reference”の相関図を示す。図2より、上記3成分において0.98以上の高い相関を得ることが出来た。また、近似直線の傾きは1に近く、測定結果は概ね一致している結果が得られた。しかし、 SO_4^{2-} においては傾きが0.75と、測定結果に差が見られた。この要因として、REA法が鉛直風速別に大気を3つに分けて捕集していることから、分析誤差が影響したと考えられる。その他の無機イオン成分に関しては低濃度のため、測定精度を評価することが出来なかった。以上に結果から、比較的高濃度の成分に関しては、十分な測定精度が得られたと考えられる。

以上の結果を踏まえ、北佐久観測における測定

結果を用い、沈着速度の推計を行った。沈着速度は得られた沈着フラックスを大気中濃度で除することで算出した。大気中濃度には各捕集ラインの合計から求めた。解析した沈着速度の測定精度を担保するため、大気中濃度に検定基準を設けた。その結果、データの多くが棄却されたが、粒子状 SO_4^{2-} において 3.2cm s^{-1} の値が得られた。この値は2009年夏季に同地点で濃度勾配法を用いて推計した沈着速度の最大値 2.9cm s^{-1} とほぼ同等であることから、REA法による沈着速度を直接測定する事が出来た可能性が高い。

【改善のための検討】

検討した結果、 σ_w と”deadband”の捕集割合に相関がみられた。また、既存研究において”deadband”のしきい値設定に σ_w を用いた方法が提唱されていたことから、 σ_w によるしきい値の解析を行った。図3にタイ、北佐久、FM 多摩丘陵における各ラインの捕集割合を示す。図3より、しきい値を 0.1m s^{-1} に設定した場合、”deadband”の捕集割合が他のラインと比べ低く、バラつきも大きいものに対して、 σ_w の0.4倍では各ラインの捕集割合が均等になり、バラつきも小さくなった。地点による差も小さく、いずれの地点においても同様の傾向が見られた。以上の事から、東アジアの森林においては $0.4\sigma_w$ が最も適していると考えられる。

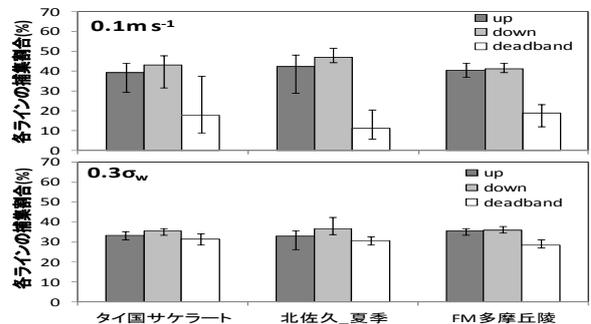


図3 タイ、北佐久、FM 多摩丘陵における各捕集ラインの捕集割合

【参考文献】

松田ら, 大気環境学会誌 42, 261-270 (2007)
L.Myles et al, Environmental Research Letters 2, 034004(8pp) (2007)