

日本の降水化学の PMF 解析

○原 宏¹⁾, 北山響¹⁾, 塩崎卓哉²⁾, 村尾直人³⁾¹⁾東京農工大学, ²⁾アジア大気汚染研究センター, ³⁾北海道大学

1. はじめに

降水中の SO_4^{2-} は基本的に SO_2 が酸化した H_2SO_4 に起因するとして海塩性の部分と非海塩性の部分を評価されている。しかし H_2SO_4 は NH_3 や CaCO_3 と反応して $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 CaSO_4 に変わる。つまり同じ SO_4^{2-} であっても元の化合物の種類により酸性化への寄与は異なる。ここでは SO_4^{2-} 、 NO_3^- がどのような化合物に由来するかを統計解析法、Positive Matrix Factorization (PMF) を応用して SO_4^{2-} 、 NO_3^- の降水化学を考察した。

2. 解析方法

2009 年までの測定値がある国内 EANET 局 12 地点の湿性沈着データを対象にした：利尻、落石岬、竜飛岬、佐渡関岬、八方尾根、隠岐、東京、伊自良湖、蟠竜湖、樽原、小笠原、辺戸岬。

3. 結果と考察

3. 1 PMF 因子

基本的に以下の 4 つの特徴的な因子が抽出された。

因子 1 [酸そのもの]： H^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- が大きな寄与を占め、硫酸や硝酸という酸そのものに対応する。この因子は降水の酸性化に直接寄与する。なお、東京と樽原ではこの因子が二つに分かれ、それぞれ H_2SO_4 と HNO_3 に対応した。

因子 2 [アンモニウム塩]： NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- が大きな寄与を占めたことから、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ あるいは NH_4NO_3 に対応する。酸がアンモニアによって中和されておりアンモニウム塩粒子に由来すると考えられる。

因子 3 [カルシウム塩]： Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- が大きな寄与を占め、 CaSO_4 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ のようなカルシウム塩に対応する。酸が塩基性カルシウム化合物と中和反応しており、黄砂などの粒子に由来する。

因子 4 [海塩]： Na^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- が大きく寄与し、海塩に由来する。

3. 2 硫酸イオン、硝酸イオンに対する各因子の寄与

図 1 および図 2 に、各地点における降水中の硫酸イオン、硝酸イオンの期間平均濃度に対してそれぞれの因子からの寄与量の積み上げグラフを示す。各因子からの寄与量の総和と実観測による SO_4^{2-} 、 NO_3^- の濃度がよく一致し、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- はこれらの因子に対応する化合物で説明できる。

SO_4^{2-} については、沿岸地点（利尻、落石岬、竜飛岬、佐渡関岬、隠岐、辺戸岬、小笠原）で海塩の因子の寄与が大きく、海塩性硫酸イオンの寄与が大きいたことが示された。また、酸因子の寄与は海塩因子以外のその半分を占め、 H_2SO_4 そのものが降水に取り込まれたと推察される。

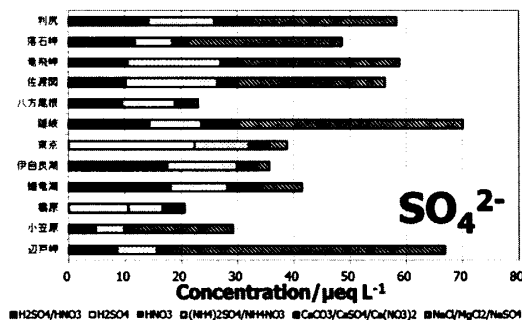
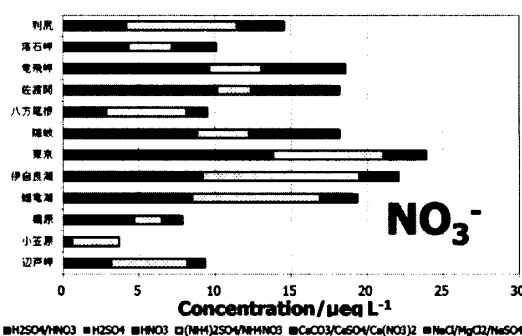
NO_3^- については、 HNO_3 そのものに由来する因子が、小笠原を除き、30-60%を占めた。竜飛岬、佐渡関、隠岐、蟠竜湖では、酸由来因子の寄与が全体の 50%と他の地点に比べ比較的高い。これらの地点は日本海側に位置し、大陸からの移流の影響等が考えられる。

4. まとめ

PMF 解析が観測される成分の起源について有効な情報を常に提供するとは限らない。しかし、EANET の湿性沈着データに対する解析では起源推定につながる顕著な結果が得られたと判断される。今後、変動解析、後方流跡線解析、輸送沈着モデル等による解析において、観測データとの相補的活用が期待される。

表 1 PMF 因子の化学組成 ($\mu\text{eq L}^{-1}$)

	Factor 1 $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$		Factor 2 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4/\text{NH}_4\text{NO}_3$		Factor 3 $\text{CaCO}_3/\text{CaSO}_4/\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$		Factor 4 $\text{NaCl}/\text{MgCl}_2/\text{Na}_2\text{SO}_4$	
	C	A	C	A	C	A	C	A
H^+	19.7		0.0		0.0		0.0	
NH_4^+	1.1		13.0		0.0		0.2	
Ca^{2+}	0.1		0.0		8.7		5.5	
K^+	0.1		0.6		0.2		3.5	
Mg^{2+}	0.6		0.2		1.4		36.2	
Na^+	1.2		0.6		0.3		163.5	
NO_3^-		6.7		5.0		2.9		0.1
SO_4^{2-}		12.8		10.0		3.8		19.1
Cl^-		2.1		0.6		0.3		183.7
	22.9	21.5	14.5	15.7	10.6	7.0	208.9	202.8

図 1 各地点における SO_4^{2-} に対する各因子の寄与図 2 各地点における NO_3^- に対する各因子の寄与