

降水中の SO_4^{2-} について*

竹 内 丑 雄**

要 旨

1967年から1970年5月までの降水について SO_4^{2-} を測定した。

- (1) SO_4^{2-} の年変化は不規則である。
- (2) SO_4^{2-} 年ごと増加している。
- (3) SO_4^{2-} と地上の風向、風向 SE, SW の時に多く、E の場合すくない。
- (4) SO_4^{2-} の変化は、850mb, 700mb の流跡線によって影響があるようである。

1. ま え が き

いずれの降水中にも、 SO_4^{2-} はふくまれている。この SO_4^{2-} は一般に海塩からのものと、石炭・石油などの燃焼に伴って生ずる SO_2 が酸化されてできるものなどである。前者による SO_4^{2-} は、およそ 0.5ppm 前後であるとされているが、最近の降水中の SO_4^{2-} は、これの10倍以上の値を示している。このことは、降水中の SO_4^{2-} の大部分が石炭・石油などの燃焼に関連してできたものであることを示している。いま降水中の SO_4^{2-} について、それぞれの場合の濃度を測定し、年変化・累年変化や連続した降水中的の変化などを調べ、考察を加えてみたい。

2. 降水の採集と分析

- (1) 採集場所 東京都武蔵野市 成蹊小学校露場
- (2) 採水方法
およそ 1m^2 のビニールを木の枠（高さ40cm）にとりつけ、その中央の穴より貯水瓶に採水。
- (3) 分析方法 重量分析法による。

試水 500ml を HCl で弱酸性とし、これを煮沸しながら BaCl_2 の溶液を加える。濃縮してから数時間温浸する。沈殿したものを濾過し乾燥させ、焼いて秤量、 SO_4^{2-} を算出する。

(4) 測定期間

1967年1月～1970年5月11日

3. SO_4^{2-} の年変化

測定した159の資料を各月別に分類し、平均したものがつぎの第1表である。

SO_4^{2-} の最も多いのは1月、最も少ないのは10月である。三宅によると、5月～11月にかけて少なく、11月～4月に多くなっている。この測定は1939年であり、当時は冬季の暖房に用いる石炭の燃焼が、このような変化をもたらしたものと推定される。しかしながら昨今は、暖房もさることながら、自動車の排気ガス、工場から排出されるガスなどが、 SO_4^{2-} の主な原因をなしている。このように SO_4^{2-} の量は、産業の発展に関係した人為的な原因によって大きく左右されるものなので、従来の測

第1表 SO_4^{2-} の変化

Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
SO_4^{2-} ppm	9.7	6.0	5.2	6.9	4.7	3.8	8.7	4.2	6.9	3.3	6.0	4.0

* On the Sulfate Ion Content in the Precipitation

** U. Takeuchi 成蹊小学校

—1971年2月19日受理—

第2表

Year	1967	1968	1969	1970
SO_4^{2-} ppm	4.7	5.3	6.5	8.0

示す。

SO_4^{2-} の変化は年毎にその濃度を増し、1967年から1970年までの4年間に約2倍にも増加している。

5. SO_4^{2-} と地上の風向との関係

地上天気図を用いてシノプティックな気圧場からみた

第3表

Wind direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
SO_4^{2-} ppm	4.9	5.9	3.6	7.8	4.4	6.8	5.1	6.1

第4表

Type mb	SO_4^{2-} ppm	Type				
		1	2	3	4	5
850		5.2	4.9	4.1	11.4	5.2
700		3.4	5.8	5.5	11.5	4.8
Mean		4.3	5.4	4.8	11.5	5.0

風を調べて、この風向と SO_4^{2-} との関係を見たものがつぎの第3表である。

この表から風向が SE の場合に SO_4^{2-} が最も多くなっており、つぎに多いのが SW 風の場合で、風向が E のときが最も少なくなっている。

6. SO_4^{2-} とこれを含んだ気塊の流跡線 (Trajectory) との関係

SO_4^{2-} の測定時刻に最も近い観測時刻の 850mb, 700mb 等圧面天気図を選び、この天気図上で測定地点付近の上空の風を等高線からそれぞれ推定し、空気塊がこの等高線に沿って移動すると考えて流跡線を求め、採水した降水に対応した空気塊の流跡線を経路別につぎの5つに分類した。

1型…日本海→新潟県→本州中部→武蔵野市

2型…日本海→富山県→本州中部→同上

3型…中国地方→大阪→本州中部→同上

4型…九州南方太平洋→東海工業地域→武蔵野市
京浜工業地帯

5型…太平洋→東京→武蔵野市

このように分類した流跡線の型と、降水中の SO_4^{2-} 濃度との関係をみたものが、第4表である。

SO_4^{2-} は 850mb, 700mb のいずれの等圧線でみても 1・2・3・5型がすくなく、4型はこれ等の2倍以上になっている。4型は工業地帯上空を通過してくるものであるが、この経路上では SO_4^{2-} の原料である SO_2 が多量に排出されており、これが測定地上空に達する間に酸化され、さらに雨粒に溶入して降水として地上に落下してくるものと推定される。

また 500mb 等圧面天気図上においても、低層と同様に流跡線を調べてみたが、特定の型(4型)に片寄っているため、型別に SO_4^{2-} を比較して示すことはできない。

定結果と比較して、ここで調査した最近4年間の値との間には、大きな相違がみられ、また年間の変動の様子にも季節的な差が明瞭でなく、 SO_4^{2-} の年変化については、むしろ不規則な傾向にあるといえる。

4. SO_4^{2-} の累年変化

菅原は1946年～1947年の間、名古屋市で降水中の SO_4^{2-} を測定したところ、0.34ppmであった。この時期は第二次大戦直後であり、日本の工業はその大半が壊滅した状態にあったときである。したがって、石炭や石油などの燃料の消費がごくわずかであったから、降水中の SO_4^{2-} の値が小さかったと推定することは妥当であると考えられる。それ以来18年、菅原等は、日本の雨水中の SO_4^{2-} の平均値として 4.5ppm を出している。18年間とはいえ、著しい増加である。

三宅は水戸、宮古、銚子、前橋などにおいて SO_4^{2-} を測定し、それぞれ 2.16, 3.39, 1.31, 0.24ppm の平均値を得ている。さらにまた、高円寺(武蔵野市より東 6.2km 都心より)の雨水について 12ppm という値を出している。以上のことから SO_4^{2-} の値は、地域により差のあることがわかる。そしてまた、地域差をもたらす原因は、工業生産活動や都市発展に付随したことにあり、これ等の条件が総合された結果として地域差が生じたものと思われる。

さて筆者が測定した結果を、年別にまとめて第2表に

第5表

Sampling date		SO_4^{2-} ppm	Cl ⁻ ppm	Wind direction (surface)	Trajectory		Type	
					850mb	700mb		
1969 June	17th	h m 13.20~14.44	4.0	0.4	SW	3	3	C
		14.45~15.58	5.6	0.4	"	"	"	
	18th	15.58~ 8.15	3.1	0.4	"	"	"	
July	5 th	9.48~10.20	4.0	0.4	SW	3	3	B
		10.20~11.57	4.0	0.4	"	"	"	
		11.57~12.51	4.0	0.4	"	"	"	
6 th	17.20~ 6.50	6.4	6.4	"	"	"		
Oct.	25th	8.55~13.15	4.0	0.2	SE	2	2	A
		13.15~13.53	3.1	0.2	"	"	"	
		13.53~ 4.55	3.1	0.2	"	"	"	
		14.55~23.20	1.4	0.2	NW	1	"	
1970 Apr.	10th	20.10~ 7.58	36.8	15.0	NE	4	4	D
	11th	7.58~10.35	4.0	0.4	N	3	3	
		10.35~11.35	4.4	0.4	"	"	"	
		11.35~12.15	4.0	0.4	"	"	"	
		12.15~19.20	7.6	1.2	NW	4	4	
Apr.	18th	3.10~ 8.28	3.1	0.4	N	3	3	E
		8.28~ 9.15	1.6	0.4	"	"	"	
		9.15~12.57	4.4	0.4	"	"	"	
		12.57~14.56	6.4	0.6	NW	"	"	
June	15th	8.05~ 9.35	1.6	0.3	NE	3	3	F
		9.35~10.30	1.6	0.3	"	"	"	
		10.30~11.25	1.6	0.3	"	"	"	
		11.25~14.00	1.6	0.2	"	"	"	
		14.03~15.05	0.8	0.2	"	"	"	
	16th	15.50~ 8.10	2.8	1.4	"	4	3	
		17th	8.10~ 9.30	2.8	0.6	"	3	

7. 連続した降雨中の SO_4^{2-} の変化

雨について、降りはじめから降り終りにいたるまで、時間的に順次採水し、 SO_4^{2-} 、Cl⁻などをしらべたものが、つぎの第5表である。

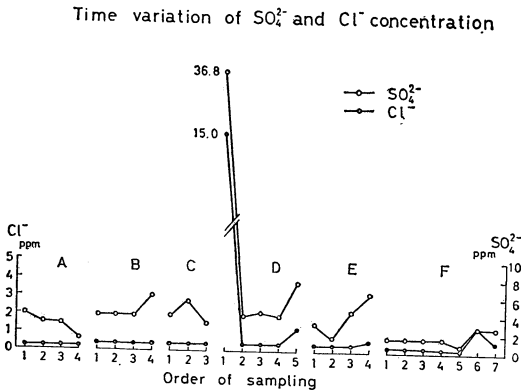
降水中の SO_4^{2-} が種々の変動をしていることは、岩崎等が指摘しているところである。

第5表によってみると、変動のしかたに二つの型があるようである。第1図は SO_4^{2-} と Cl⁻ の変わるありさまをしめしたものである。

(1) 流跡線が同じ経路であって、 SO_4^{2-} が変動するもの。

図のA-Cがこの種の変動のものである。A-Cは、その回においては、何れも流跡線の経路が大体同じである。(但しAの最終回は変わっている)にもかかわらず、 SO_4^{2-} は変動している。Aは降りはじめに SO_4^{2-} が多く、しだいに減少している。Bは降り終りに多くなり、Cはなかごろが多く、はじめと終りはすくない。

SO_4^{2-} の発生源は、工場などから排出されるガスが主たるものであるとすれば、発生のしかたに日変化があるわけである。さらにまた発生する量が同じであっても、途中での拡散の問題もあつたりして、詳細は明らかでない。



第1図 SO_4^{2-} と Cl^- の変動

(2) 輸送経路の変化によって SO_4^{2-} が変動するもの。

図のD-Fがこれである。流跡線のコースが4の場合には SO_4^{2-} が多くなり、3のコースをとるときには、少なくなっている。

流跡線の型が4の場合には、 SO_4^{2-} の原料である SO_2 を多量に排出している工業地帯の上空を空気塊が通過してくるために、そのほかの経路を通ってくる空気塊にくらべて、 SO_4^{2-} が非常に多く、これが雨水の中に入ってくるために、多量の SO_4^{2-} が検出されるものと推定される。

Cl^- は一般に流跡線が4のコースの時の降雨中に多く、3のコースのときにすくないことは、筆者がすでに

報告したところである。さらにまた最近、工場の排煙などにも Cl^- が排出されているようである。このように見ると、 SO_4^{2-} と Cl^- とが対応していることは当然のことといわなければならない。

本研究に助言をあたえられた三宅泰雄教授ならびに気象研究所地球化学研究部の方々、中沢全一氏に厚く感謝の意を表する。

この研究の費用の一部は、文部省科学研究補助金によるものである。

引用文献

- 1) I. Iwasaki, S. Utsumi, T. Tarutani, H. Fukutomi, T. Ohmori and M. Kawada, 1964: Variation of chemical composition in a rain-fall. RECENT RESEARCHES IN THE FIELDS OF HYDROSPHERE, ATMOSPHERE AND NUCLEAR GEOCHEMISTRY. 360-362.
- 2) 三宅泰雄, 1939: 雨水の化学. 気象集誌, II, 17, 20~37.
- 3) 三宅泰雄, 1950: 降水の化学成分について. 水道協会雑誌, 189, 20~24.
- 4) 三宅泰雄, 1969: 水質についてのいくつかの断面. 水道協会雑誌, 412, 17-18.
- 5) 菅原 健, 1948: 降水の化学. 科学, 18, 485-492.
- 6) 竹内丑雄, 1967: 降水中の塩素イオン濃度について. 天気, 1, 31-34.