

(15) 大気汚染データに現れる降雨の影響の評価に関する研究

STUDY OF EVALUATION FOR INFLUENCE OF RAINFALL ON AIR POLLUTION DATA

一ノ瀬 俊明*・石倉 雅裕**・松尾 友矩***

Toshiaki ICHINOSE*, Masahiro ISHIKURA**, Tomonori MATSUO***

ABSTRACT; Nowadays many types of damage by acid rain all over the world are reported. Concerned with the mechanism of the acid rain generation, the attempt to clarify the influence of the rainfall on the concentration of air pollution materials quantitatively was practiced. By Mann - Whitney's U test, it was practiced the significant test whether there was a significant difference of the concentration between rainy weather and non - rainy weather. The results are as follows;

- 1) In rainy weather the SO_2 concentration decreases 30 - 50 %, but in the case of NO_x or CH_4 there is no significant difference between both weathers.
- 2) It is estimated that the decrease of the SO_2 concentration is caused by the ascending current of the crowd generation.
- 3) The rainfall in the night - time influences on the concentration more than in the day - time.

KEYWORD; acid rain, rainfall, air pollution, Mann - Whitney's U test, significant difference.

1. はじめに

今日、世界各地で酸性雨の被害が報告されている。酸性雨は土壌や陸水を酸性化させ、生態系に対して少なからぬ影響を与える。またヨーロッパを中心に、森林が壊滅的な被害を受けたり、大理石の歴史的建造物が溶蝕されたりする被害も顕著なものとなっている。

酸性雨の生成メカニズムについては、大気中に浮遊する SO_2 や NO_x 等の酸性物質が雲粒に取り込まれること（レイン・アウト）によるものがほとんどであり、これらの物質が地上付近で雨水と衝突して吸収されること（ウォッシュ・アウト）の影響は少ないこと（例えば鶴田ら、1988）が報告されている。しかし、一般に雨上がりの晴天は澄んだ色をしていることが知られており、降雨による大気の洗浄効果がある程度存在しているものと考えられる。

本研究においては、何種類かの大気汚染物質について、地上濃度データを降雨時と非降雨時との間で比較し、降雨による大気の洗浄効果を定量的に明らかにすることを試みた。

2. 資料及び解析方法

2.1 対象地域及び期間

大気汚染物質の地上濃度については、各都道府県の大気環境時間値データを用いた。このうち千葉県・東京都・神奈川県データのデータファイルから、Fig. 1に示す19地点を解析の対象として選択した。また降水量

* 農林水産省前橋営林局 (Maebashi Regional Forestry Office, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan), ** 三井信託銀行 (Mitsui Trust Bank), *** 東京大学工学部都市工学科 (Department of Urban Engineering, Univ. of Tokyo)

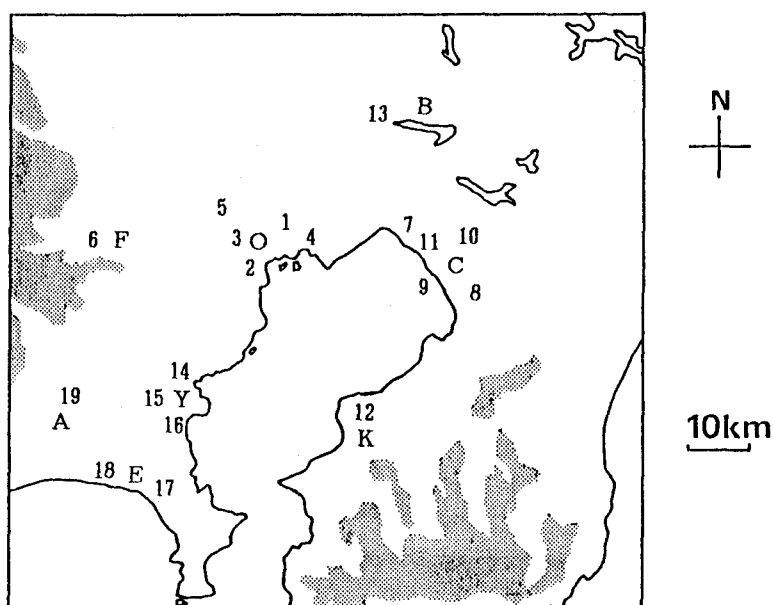


Fig. 1 Observed area (South Kanto)

AMeDAS observatory ... O: Ohte - machi, F: Fucyu, B: Abiko, C: Chiba, K: Kisarazu,

A: Atsugi, Y: Yokohama, E: Enoshima

air pollution observatory ... number (ref. Tab. 1)

Shaded areas are more than 100m in height.

Tab. 1 Observatory

No	air pollution	AMeDAS	No	air pollution	AMeDAS
1	Metropolitan office	Ohte - machi	11	Kemigawa 2nd	Chiba
2	Met. Inst. Env.	Ohte - machi	12	Shiomi	Kisarazu
3	Hibiya	Ohte - machi	13	Kashiwa	Abiko
4	Harumi	Ohte - machi	14	Kanagawa pref. office	Yohohama
5	Hyakunin - cyo	Ohte - machi	15	Negishi	Yohohama
6	Fucyu	Fucyu	16	Honmoku	Yohohama
7	Kemigawa	Chiba	17	Kamakura city office	Enoshima
8	Matsugaoka	Chiba	18	Fujisawa city office	Enoshima
9	Chiba port	Chiba	19	Atsugi city office	Atsugi
10	Chiba cyuo	Chiba			

ref. Fig. 1

については、AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) の観測点のうち、Fig. 1に示す8地点を選出した。大気環境時間値データは地点毎に最寄りの AMeDAS 観測点の降水量データ (mm/h, 毎時) と比較した (Tab. 1)。解析対象物質としては SO_2 , NO_x , CH_4 , CO , SP の5種類を用いた。

また解析対象期間は1984年 4月 6日～ 8月30日の 147日間とした。

2. 2 Mann - WhitneyのU検定

一般に大気汚染物質の地上濃度データは、人間活動の影響による24時間周期、1週間周期の変動成分のほか、ノイズ成分、長周期変動成分等を含んでいると考えられるが、本研究で用いたデータにおいては24時間周期の変動が比較的顕著であった (Fig. 2)。よって多少恣意的ではあるが、各データは24時間周期のみの変動成分を持っていると仮定した。つまりある地点について、ある日の午前 8時の濃度は前の日の午前 8時の濃度と等しいものと考えた。

1984年 4月 6日～ 8月30日の 147日について、物質毎に同時刻のデータを降雨時のグループと非降雨時のグループに分け、2つのグループの間に有意な差が存在するかどうかについて検定を試みた。データのサンプル数が少ない場合には検定の有効性が問題となるため、降雨時のグループに属するサンプル数が5日以下のケースについては検定を行わないこととした。

また前述の方法は濃度の絶対値を比較するものであるが、降雨に伴う地上濃度の減少については言及できない。よって濃度の1時間変化値についても同様の検定を行った。時刻 t における降水量データは、時刻 $t-1 \sim t$ の間の積算降水量であるため、時刻 t における地上濃度 C の1時間変化値を式 (2.1) で与えた。降雨による大気の洗浄効果があるとすれば、降雨時における ΔC は非降雨時に比べ C がより大きく減少する傾向を示すものと思われる。

$$\Delta C(t) = C(t) - C(t-1) \quad [2.1]$$

2つの集団の分布に有意な差が存在するかどうかを議論する方法としては、集団の要素が正規分布することを仮定して行う検定が一般的である。しかし本研究におけるデータはサンプル数が少なく、正規分布や等分散を仮定することに現実味を欠く。よってここではノンパラメトリックな手法である Mann - Whitney のU検定 (例えば Siegel, 1956) を試みた。U検定は中央値及び分布の平均的な位置の相違を検出するものであり、分布の形の相違には鋭敏でない。一般に中央値検定法においては、各データが中央値より大きいか小さいかという関係だけで検定の結果にかかわっており、中央値より大きい値同士あるいは小さい値同士の関係はまったくかわりがない。それに反し、Mann - WhitneyのU検定においてはすべてのデータが検定の結果に関与してくる。したがって、2つの集団の分布の位置の差を検出することに対して、平均値のための検定と比べてもあまり劣らぬ検出効力を持っており、分布全体の傾向の相違を問題にする場合にはふさわしい方法といえる。検定の有意水準には5%を用いた。

3. 結果及び考察

3. 1 結果

物質毎、地点毎の検定結果を Tab. 2 に示した。検定により物質毎、地点毎に24例 (24時間分) の結果が得られる。 SO_2 の場合、地上濃度についてはほとんどの地点において、15例前後が有意差の存在を示していた。しかし濃度の1時間変化値については3～5例程度となっていた。その他の物質では、 SP の地上濃度において4～8例が有意差の存在を示したにとどまり、 NO_x , CH_4 , CO については明瞭な有意差は見出されなかった。

また有意差の存在を示していた SO_2 や SP について、地点毎に非降雨時の平均濃度及び降雨時における地上濃度の平均減少率を示した (Tab. 3)。時刻 t における地上濃度の平均減少率 $R(t)$ は、式 (3.1)

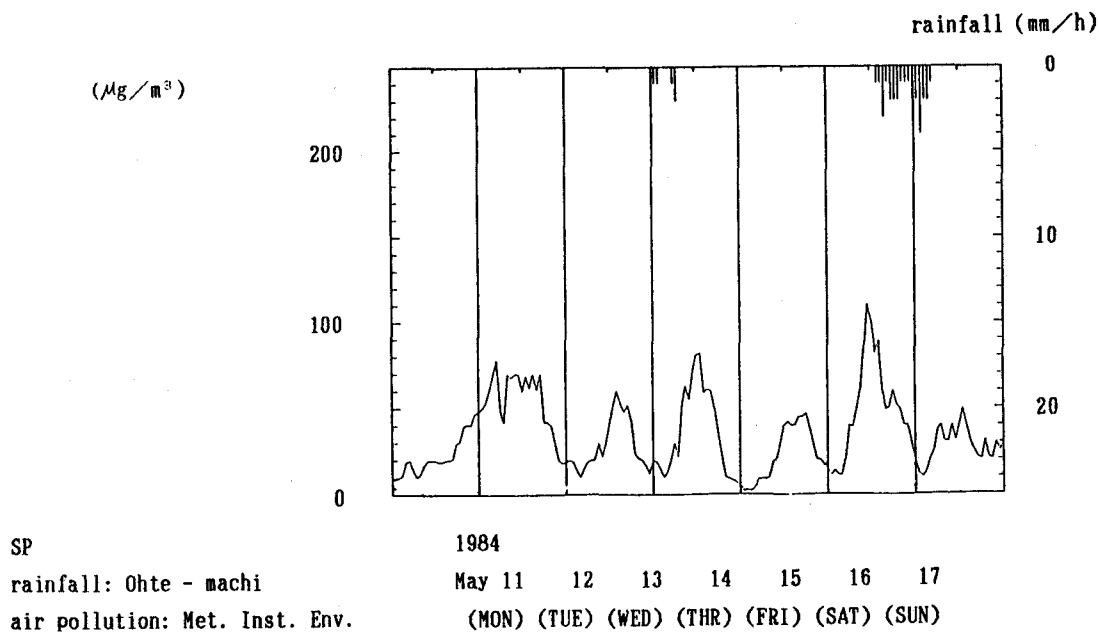
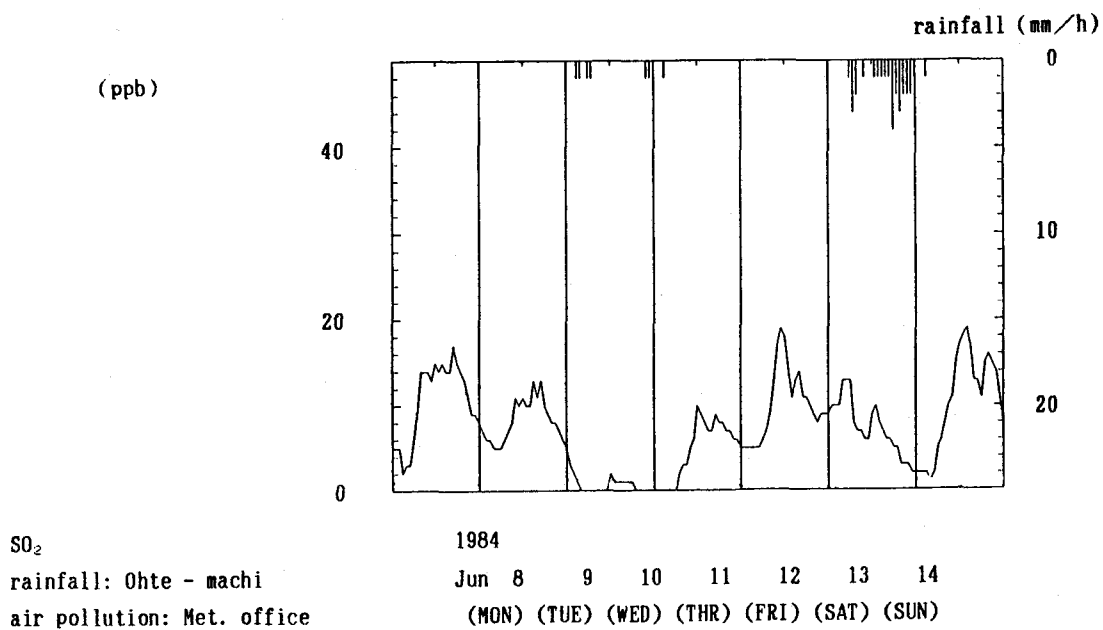


Fig. 2 Concentration of air pollution materials and rainfall

Tab. 2 Result of Mann - Whitney's U test

No	observatory	SO ₂	NOx	CH ₄	CO	SP	SO ₂ (dC)
1	Metropolitan office	18:0:6	2:16:6	-: -: -	5:13:6	7:11:6	5:13:6
2	Met. Inst. Env.	17:1:6	5:13:6	-: -: -	4:14:6	8:10:6	4:14:6
3	Hibiya	-: -: -	-: -: -	-: -: -	1:17:6	8:10:6	-: -: -
4	Harumi	18:0:6	3:15:6	-: -: -	1:17:6	-: -: -	3:15:6
5	Hyakunin - cyo	-: -: -	-: -: -	-: -: -	-: -: -	-: -: -	-: -: -
6	Fucyu	17:1:6	4:14:6	-: -: -	3:15:6	-: -: -	5:13:6
7	Kemigawa	16:1:7	1:16:7	-: -: -	-: -: -	9:8:7	0:17:7
8	Matsugaoka	16:1:7	1:16:7	-: -: -	-: -: -	-: -: -	1:16:7
9	Chiba port	14:3:7	1:16:7	-: -: -	1:16:7	-: -: -	1:16:7
10	Chiba cyuo	-: -: -	1:16:7	-: -: -	0:17:7	4:13:7	4:13:7
11	Kemigawa 2nd	-: -: -	5:12:7	-: -: -	3:14:7	-: -: -	-: -: -
12	Shiomi	11:8:5	0:19:5	0:19:5	-: -: -	-: -: -	2:17:5
13	Kashiwa	17:2:5	0:19:5	-: -: -	5:14:5	-: -: -	5:14:5
14	Kanagawa pref. office	8:7:9	-: -: -	-: -: -	0:15:9	1:14:9	5:10:9
15	Negishi	12:3:9	-: -: -	-: -: -	-: -: -	2:13:9	3:12:9
16	Honmoku	10:5:9	0:15:9	0:15:9	-: -: -	3:12:9	5:10:9
17	Kamakura city office	8:6:10	0:14:10	-: -: -	-: -: -	4:10:10	5:9:10
18	Fujisawa city office	8:6:10	0:14:10	0:14:10	0:14:10	4:10:10	4:10:10
19	Atsugi city office	-: -: -	1:19:4	-: -: -	1:19:4	7:13:4	5:15:4

Research hypothesis; There is a significant difference of the concentration between rainy weather and non - rainy weather.

Level of significance is 5 %.

(Significant: Non - significant: Few data) (-: -: -): dataless

dC: U test of ΔC

Hatched: " Significant " is dominant.

で与えられる。但し降雨時のサンプル数が5日以下のケースでは計算を行わなかった。ある地点における地上濃度の平均減少率 (Tab. 3) は、24時間分の $R(t)$ を平均することで与えられる。

$$R(t) = \{ \overline{C_{wet}(t)} - \overline{C_{dry}(t)} \} / \overline{C_{dry}(t)}$$

$C_{wet}(t)$: 時刻 t における降雨時の地上濃度
 $C_{dry}(t)$: 時刻 t における非降雨時の地上濃度

【3.1】

SO₂ の地上濃度は降雨時に 30~50% , SPの地上濃度は 5~20%の減少を示した。ちなみに降雨時の平均降水量は、いずれの地点においても 2~4 mm/h前後であった。

Tab. 3 Mean concentration in non - rainy weather and ratio of decrease in rainy weather
(a part)

No	MC(SO ₂)	RD(SO ₂)	MC(SP)	RD(SP)	No	MC(SO ₂)	RD(SO ₂)	MC(SP)	RD(SP)
1	10.0	-54.8	47.0	-13.8	12	3.3	-39.3	-	-
2	22.3	-26.8	39.7	-11.6	13	12.0	-37.6	-	-
3	-	-	41.8	-5.8	14	9.6	-37.0	41.8	-10.0
4	11.9	-47.2	-	-	15	10.2	-42.5	37.6	5.8
6	6.5	-49.6	-	-	16	10.8	-31.3	31.4	-6.3
7	7.2	-48.5	32.2	-23.8	17	5.4	-30.2	32.5	-18.5
8	5.1	-32.2	-	-	18	6.5	-27.7	37.5	-6.7
9	12.5	-45.7	-	-	19	-	-	49.2	-1.9
10	-	-	35.1	-10.7					

ref. Fig. 1

MC: mean concentration in non - rainy weather (unit; SO₂: ppb, SP: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

RD: ratio of decrease in rainy weather (unit; %)

Tab. 4 Result of U test in every hour

h	SO ₂	NOx	CO	SP	h	SO ₂	NOx	CO	SP
1	8: 3: 3	4:10: 1	1:10: 1	4: 4: 3	13	5: 3: 6	0: 6: 9	0: 6: 6	0: 6: 5
2	12: 2: 0	5:10: 0	4: 8: 0	6: 5: 0	14	0: 1:13	0: 2:13	0: 2:10	0: 1:10
3	13: 1: 0	3:12: 0	3: 9: 0	6: 5: 0	15	4: 1: 9	0: 6: 9	0: 6: 6	0: 4: 7
4	14: 0: 0	4:11: 0	3: 9: 0	6: 5: 0	16	2: 0:12	0: 3:12	0: 2:10	0: 1:10
5	12: 2: 0	3:12: 0	5: 7: 0	8: 3: 0	17	5: 2: 7	0:10: 5	0: 6: 6	0: 5: 6
6	12: 2: 0	2:13: 0	3: 9: 0	7: 4: 0	18	8: 0: 6	1:10: 4	0:10: 2	0: 6: 5
7	14: 0: 0	0:15: 0	2:10: 0	6: 5: 0	19	3: 1:10	1: 3:11	0: 4: 8	0: 3: 8
8	14: 0: 0	0:15: 0	0:12: 0	4: 7: 0	20	8: 6: 0	2:12: 1	1:10: 1	0:10: 1
9	13: 1: 0	0:15: 0	0:12: 0	7: 4: 0	21	5: 3: 6	0: 7: 8	0: 7: 5	0: 7: 4
10	3: 5: 6	0: 9: 6	0: 6: 6	0: 6: 5	22	6: 4: 4	1: 8: 6	0: 9: 3	0: 9: 2
11	3: 1:10	0: 7: 8	0: 5: 7	0: 3: 8	23	13: 1: 0	0:15: 0	0:12: 0	0:11: 0
12	3: 2: 9	0: 7: 8	0: 4: 8	0: 2: 9	24	10: 3: 1	3:11: 1	2:10: 0	3: 8: 0

Research hypothesis; There is a significant difference of the concentration between rainy weather and non - rainy weather.

Level of significance is 5 %.

(Significant: Non - significant: Few data) Total is number of observatory.

Hatched: " Significant " is dominant.

3. 2 考察

地上濃度に比べ、濃度の1時間変化値の検定では明瞭な有意差が示されていないが、降雨時にウォッシュ・アウトによって地上濃度が減少するならば、1時間変化値の検定結果においても明瞭な有意差の存在が見い出されるべきである。鶴田ら(1988)などによれば、雲底部において航空機で採集された雲粒中の SO_4^{2-} 濃度や NO_3^- 濃度は、地上付近における雨水中のそれらとほとんど差がないということであり、酸性雨生成のメカニズムにおいてウォッシュ・アウトの占めるウェイトは相対的に低いものと思われる。

しかし、降雨自身による洗浄効果は小さいながらも、降雨時には非降雨時に比べて相対的に SO_2 の地上濃度が低い値を示している。これは雲形成時の上昇気流によって、汚染気塊が上空へ移流することにより地上濃度が低下したものと考えられる。このことは酸性雨の生成が主にレイン・アウトによること(鶴田, 1988)とも整合的である。

また、 NO_x やCO等が SO_2 と同様の傾向を示さないことについては、 SO_2 が主に工場等の高煙突から排出されるのに対し、これらは自動車の排気ガス等を起源として地上付近で発生するものであるため、上昇気流に乗りにくいことによると考えられる。

Tab. 4に時刻毎の検定結果を集計した。夜間～早朝の降雨の方が昼間～夕方の降雨に比べ、地上濃度に与える影響が大きいことが伺える。これは大気汚染物質の排出状況や地上風系の日変化を反映した結果となっている。

4. 結論

- 1) SO_2 の地上濃度は降雨時に30～50%の減少を見る。
- 2) NO_x , CH_4 , COの地上濃度については、降雨時と非降雨時との間に有意な差は存在しない。
- 3) SPの地上濃度は降雨時に5～20%の減少を見る。
- 4) SO_2 の1時間変化値については、地上濃度の場合ほど明瞭な有意差は得られなかった。このことから、降雨時における SO_2 の地上濃度減少はウォッシュ・アウトによるものではなく、雲形成時の上昇気流によるものであると考えられる。
- 5) 夜間の降雨の方が昼間の降雨よりも地上濃度に与える影響が大きい。

謝 辞

本研究を行うに当たって適切な御助言を頂きました東京大学工学部都市工学科のスタッフの方々に感謝致します。環境庁国立公害研究所並びに関東1都6県の諸自治体(茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、横浜市、川崎市、横須賀市及び相模原市)には、大気環境時間値データを提供して頂きました。気象庁統計課には、AMeDASのデータ等を提供して頂きました。なお本研究における諸計算は、東京大学大型計算機センターのHITAC VOS3システムを利用し、米国国立大気研究センター(NC AR)によって開発され東京大学で改訂されたプログラムライブラリーNCARG、及びSAS Institute Inc.において開発されたSASを用いて行われた。

引 用 文 献

- 鶴田治雄, 1986: 酸性雨の調査研究の現状. 環境研究, 61, 70-85.
- 鶴田治雄, 1988: 降水の汚染機構に関する調査研究. 全国公害研究会誌, 13, 19-27.
- 鶴田治雄・草野 一・渡辺善徳・太田正雄・平野耕一郎, 1988: 大気汚染物質の雲粒・雨滴によるとりこみ機構と酸化反応(第1報). 横浜市公害研究報, 12, 37-56.
- Siegel, S., 1956: "NONPARAMETRIC STATISTICS".