

# 鹿児島市の降下ばいじんおよび二酸化窒素汚染の調査

—— 1987年～1996年の10年間のまとめ ——

大木 章\*・中村 透\*\*・中島 常憲\*・前田 滋\*\*\*

## Investigation of Falling Dust and Nitrogen Dioxide Pollution in Kagoshima City

—— Summary for 10 Years during 1987~1996 ——

Akira OHKI, Tohru NAKAMURA, Tsunenori NAKAJIMA and Shigeru MAEDA

The authors investigated the amount of falling dust, the composition of co-existing rain water, and the concentration of  $\text{NO}_2$  in the air at 8 locations in Kagoshima City from 1987 to 1996. The highest average amount of falling dust was  $248 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{month}^{-1}$  which was observed at No.3 Kagoshima City Hall; while the lowest one was  $19.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{month}^{-1}$  at Fukuhira Elementary School. In the northern section of Kagoshima City, high amounts of falling dust had been observed until 1992, and since then a trend of relatively low dust fall has continued. In the section where high amounts of falling dust were observed, the amount of  $\text{SO}_4^{2-}$  which fell showed a trend of change with the lapse of time similar to that which was seen for falling dust. For the concentration of  $\text{NO}_2$ , the highest value was always observed at No.3 Kagoshima City Hall during the 10 years. In places recently developed as residential areas, a considerable increase in the  $\text{NO}_2$  concentration was observed during the 10 years.

### 1. 緒 論

著者らは、1987年より1996年まで鹿児島市内8ヶ所の測定地点において、降下ばいじん量、共存雨水の成分、大気中の $\text{NO}_2$ 濃度などを測定してきた<sup>1-10)</sup>。本論文では、この10年間のデータのまとめを行った。

### 2. 実験方法

#### 2. 1 調査方法の概要

図1に示す鹿児島市内8ヶ所の測定地点を設定し、英国規格のデポジットゲージ<sup>11, 12)</sup>に準ずる降下ばいじん捕集器（ロートの直径約30cm、容器の容量20ℓ、ガラス製）を設置して、毎月末に降下ばいじん・雨水混合試料を採取した。採取試料をろ過し、ろ液について降水量（ℓおよびmm）・pH・ $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度・ $\text{Cl}^-$ 濃度を測定し、ろ液の蒸発残渣分から降下ばいじんの可溶性成分を求め

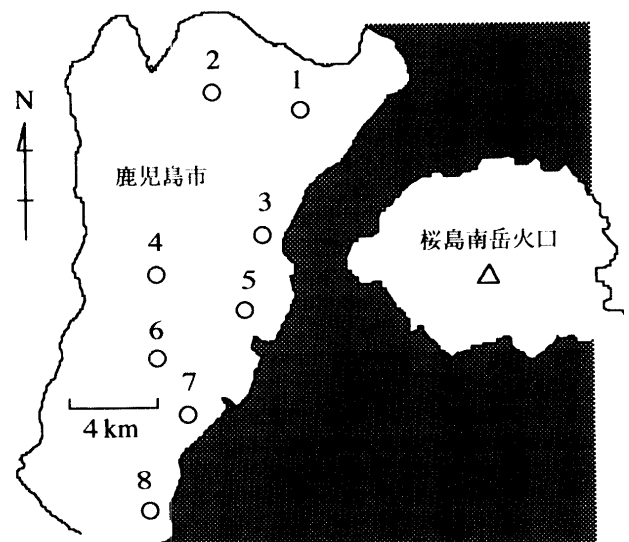


図1 測定地点

- |           |             |
|-----------|-------------|
| 1. 吉野中学校  | 5. 鹿児島大学工学部 |
| 2. 花野小学校  | 6. 中山小学校    |
| 3. 鹿児島市役所 | 7. 市役所谷山支所  |
| 4. 西陵中学校  | 8. 福平小学校    |

平成9年5月31日受理

\*応用化学工学科

\*\*博士後期課程物質生産工学専攻

\*\*\*生体工学科

た。これにデポジットゲージへの総捕集量（湿性および乾性の総降下量）を乗じて各成分の降下量を算出した。ろ過残さを不溶性成分とし，可溶性成分との合計を降下ばいじん量とした<sup>13)</sup>。

一方，上記8ヶ所の測定地点において，アルカリろ紙法（フィルターバッジ法）<sup>14)</sup>によるNO<sub>2</sub>濃度の測定を2ヶ月毎に行なった。

2. 2 降下ばいじん量測定方法

前報<sup>13)</sup>に記した方法によった。

2. 3 降下ばいじん共存雨水中のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>定量法

前報<sup>13)</sup>に記した方法によった。

2. 4 大気中のNO<sub>2</sub>定量法

東洋ろ紙（株）製フィルターバッジNO<sub>2</sub>を各測定地点に3個ずつ，地上より1.5～2 mの位置に設置した。24h暴露後，NO<sub>2</sub>を吸収したアルカリろ紙をバッジケースより取り出して，文献記載<sup>14)</sup>の方法でNO<sub>2</sub>の1日平均濃度を算出し，3個の平均を測定値とした。

3. 結果と考察

3. 1 降下ばいじん量

図2～5に，1987年～1996年の10年間における鹿児島市内8測定地点の降下ばいじん量を示す。また，図6に8測定地点平均の降下ばいじん量を示し，図7に測定地点別平均降下ばいじん量を示す。ここに示した1ヶ月当たりの降下ばいじん量（g・m<sup>-2</sup>・month<sup>-1</sup>）は，春期（3～5月；Sp），夏期（6～8月；Su），秋期（9～11月；Au），冬季（12～2月（翌年）；Wi）における3ヶ月間の平均値である（この表記は以下の図においても同様である）。大都市における降下ばいじん量は，5g・

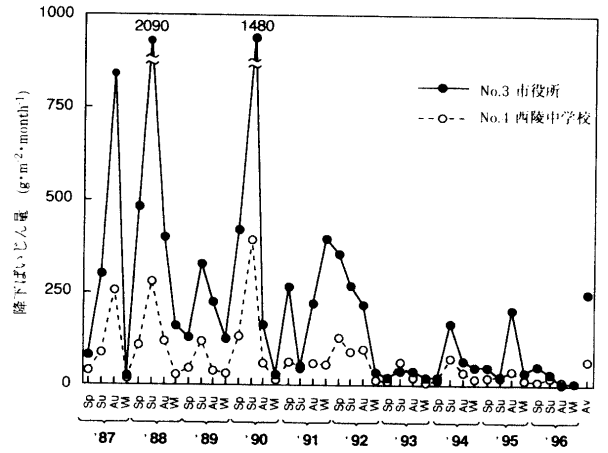


図3 No. 3 市役所，No. 4 西陵中学校における降下ばいじん量

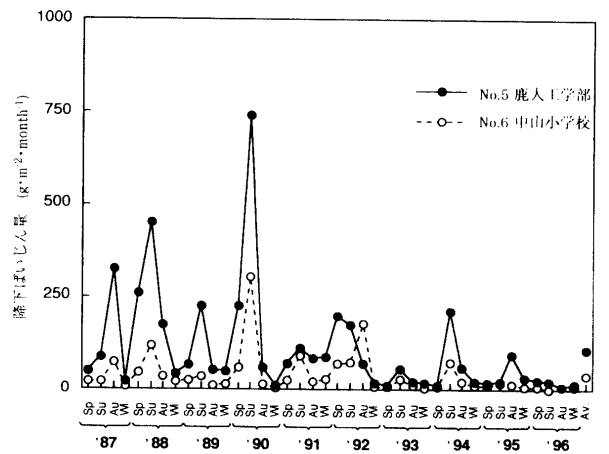


図4 No. 5 鹿大工学部，No. 6 中山小学校における降下ばいじん量

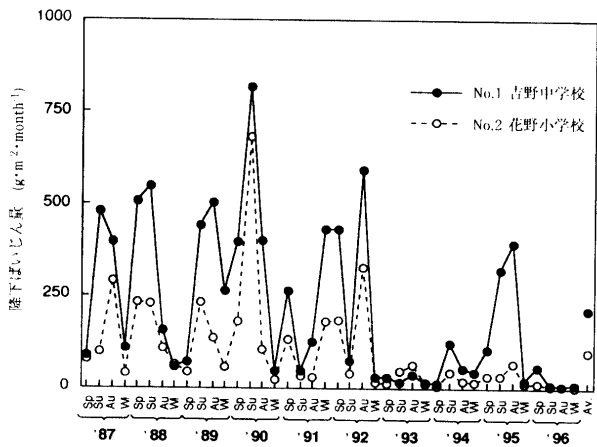


図2 No. 1 吉野中学校，No. 2 花野小学校における降下ばいじん量

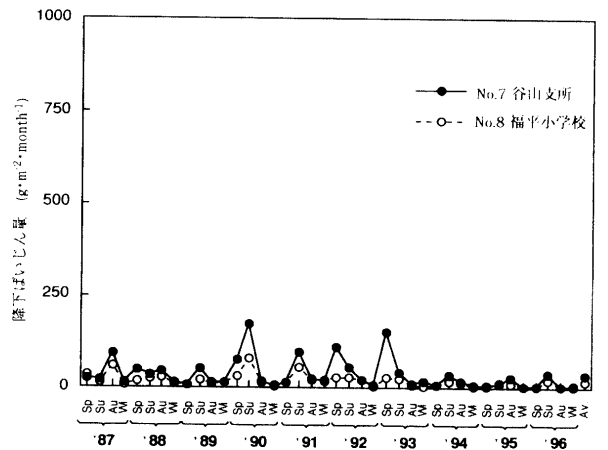


図5 No. 7 谷山支所，No. 8 福平小学校における降下ばいじん量

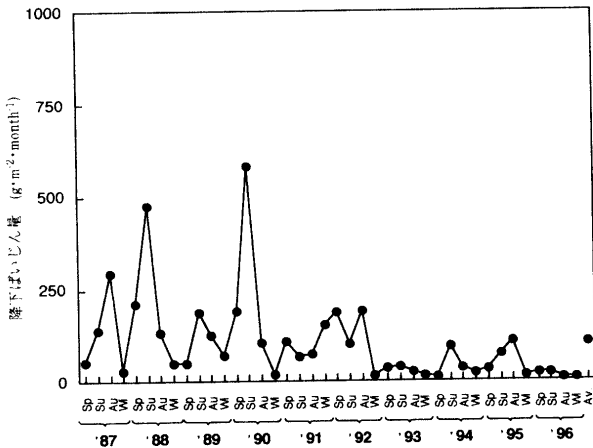


図6 8測定地点平均の降下ばいじん量

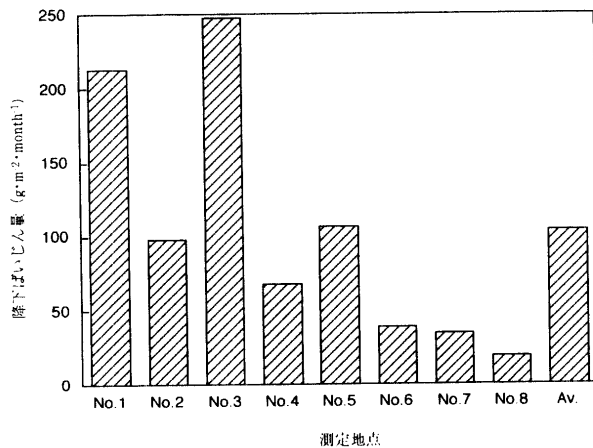


図7 測定地点別平均降下ばいじん量

$m^{-2} \cdot month^{-1}$  前後であるといわれている<sup>15)</sup>。鹿児島市(特に北部地域)における降下ばいじん量は少ない時期でも  $10g \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}$  以上であり、そのほとんどが桜島起源の火山灰であると考えられる。

図7に示すように、鹿児島市内8測定地点において平均降下ばいじん量は大きく異なり、最も多いのはNo.3鹿児島市役所の  $248g \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}$  であり、最も少ないのはNo.8福平小学校の  $19.1g \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}$  であった。No.3鹿児島市役所とNo.5鹿大工学部では、桜島南岳火口からの距離がそれぞれ9.9kmおよび10.9kmと大きな違いがないが、鹿大工学部の平均降下ばいじん量は  $107g \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}$  であり、鹿児島市役所のその半分以下であった。これは、桜島南岳火口に対して鹿児島市役所と鹿大工学部は方向で約15°の差しかないが、桜島の噴煙は約1kmのかなり狭い幅で流れるとい

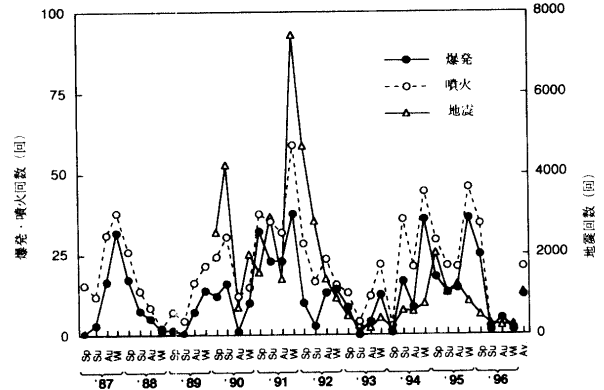


図8 桜島火山の爆発、噴火回数および火山性地震の回数

われており、降灰の多寡は風向きによるところが大きいためである。また、No.1吉野中学校は桜島南岳火口からの距離が11.3kmと鹿大工学部より遠いが平均降下ばいじん量は  $213g \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}$  と鹿大工学部の2倍程度であった。すなわち、桜島南岳火口より北西～西北西に位置する地域が降下ばいじん量が特に多かった。

図1に示すように、鹿児島市内8測定地点はすべて桜島南岳火口の西側に位置している。ほとんどの年において、降下ばいじん量は東風がよく吹く夏期に多く、冬季に減少する傾向を示した。この傾向は降下ばいじん量が多い北部地域ほど大きかった。しかしながら、1991年のみは降下ばいじん量が夏期に少なく冬季に多いという例外的挙動を示した。

図2～5の中で最高の降下ばいじん量を示したのは、No.3鹿児島市役所において1988年夏期の  $2090g \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}$  であった。No.1吉野中学校、No.2花野小学校、No.3鹿児島市役所の鹿児島市内北部地域においては、特に1987年～1990年の夏期～秋期および1992年の夏期～秋期に高い降下ばいじん量を示した。1993年以降は、比較的低い降下ばいじん量の傾向が続いており、1994年と1995年は夏期にある程度の降下ばいじん量を記録したが、1993年と1996年は夏期においても降下ばいじん量は低かった。鹿児島市内南部地域のNo.6中山小学校、No.7谷山支所においては、北部地域に特に高い降下ばいじん量を記録した1987年～1989年には降下ばいじん量はそれほど多くはないが、1990年～1993年の夏期に比較的高い降下ばいじん量を記録した。しかしながら、鹿児島市内南部地域は北部地域に比べてすべての時期で降下ばいじん量が少なかった。

図8には、鹿児島地方气象台提供の資料よりまとめた1987年～1996年の10年間の桜島火山の爆発・噴火回数および1990年～1996年の7年間の火山性地震回数を示す。(爆発・噴火は、鹿児島地方气象台の定義で以下のとおりである。爆発：音，体感空振，噴石，爆発地震のいず

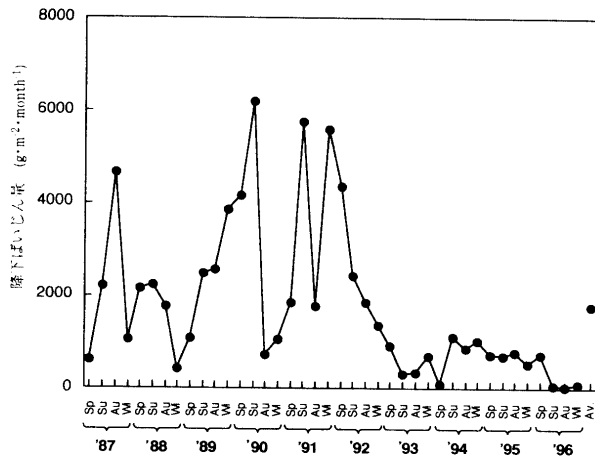


図9 桜島14地点平均の降下ばいじん量

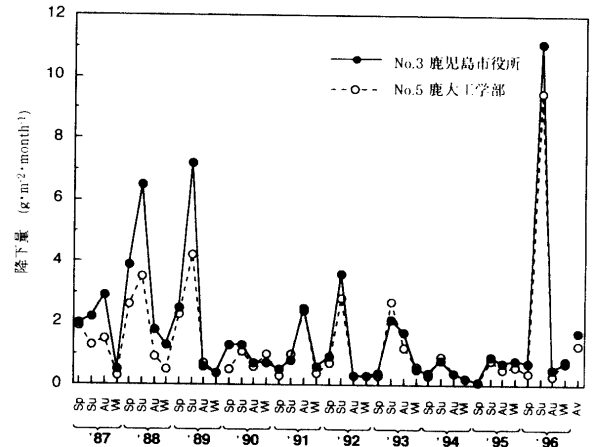


図12 No.3鹿児島市役所, No.5鹿児島工学部におけるCl<sup>-</sup>降下量

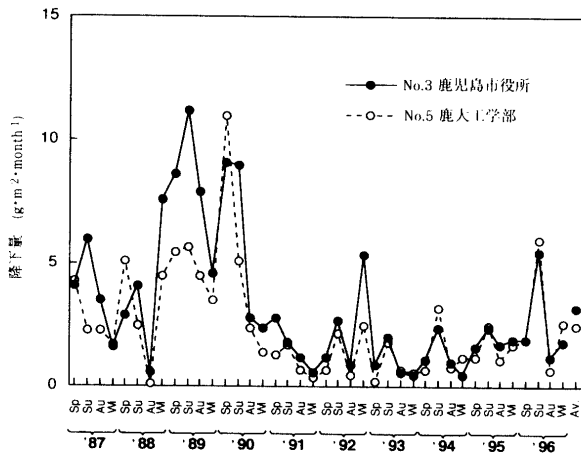


図10 No.3鹿児島市役所, No.5鹿児島工学部におけるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>降下量

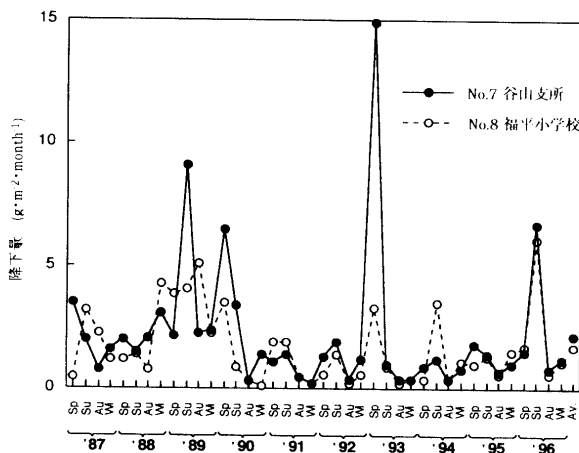


図11 No.7谷山支所, No.8福平小学校におけるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>降下量

れかがあり、微気圧計に感じるもの；噴火：鹿児島地方気象台分類の噴煙量3以上のもの。）爆発、噴火、火山性地震の回数の増減は互いによく対応している。

図9に鹿児島県消防防災課提供のデータよりまとめた桜島全島平均（高免、園山、黒神、有村、湯之、持木、桜島口、小池、湯の平、武、藤野、二俣、二俣上、赤水の14測定地点の平均）の降下ばいじん量を示す。これらの測定地点は桜島のほぼすべての方向に平均して配置されており、図9に示す降下ばいじん量の変化は、季節的な変動というよりも桜島の活動そのものを反映していると考えられる。事実、1987年秋期、1990年夏期、1991年夏期および冬季に見られる降下ばいじん量のピークは、図8に示した桜島の爆発、噴火、火山性地震のピークと良い一致を見せている。前述したように、1991年は鹿児島市における降下ばいじん量が夏期に少なく冬季に多いという例外的挙動を示したが、これは、1991年冬季における桜島火山の活発な活動と対応していると考えられる。

### 3.2 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>およびCl<sup>-</sup>降下量

降下ばいじん共存雨水に含まれるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>およびCl<sup>-</sup>の量を調べた。図10および11に、それぞれNo.3鹿児島市役所、No.5鹿児島工学部およびNo.7谷山支所、No.8福平小学校における1987年～1996年の10年間のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の降下量を示す。図12および13に、同じ測定地点の10年間のCl<sup>-</sup>降下量を示す。また、図14に測定地点別のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>およびCl<sup>-</sup>平均降下量を示す。

10年間の平均SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>降下量が最も高かったのは、No.4西陵中学校であり、最も低かったのはNo.6中山小学校であった。これは、図7に示した降下ばいじん量の結果と異なっているが、降下ばいじん量の多いNo.1, No.3, No.4の市内北部地域が、少ないNo.6, No.7, No.8の南部地域に比べて高いSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>降下量を示した。すなわち、

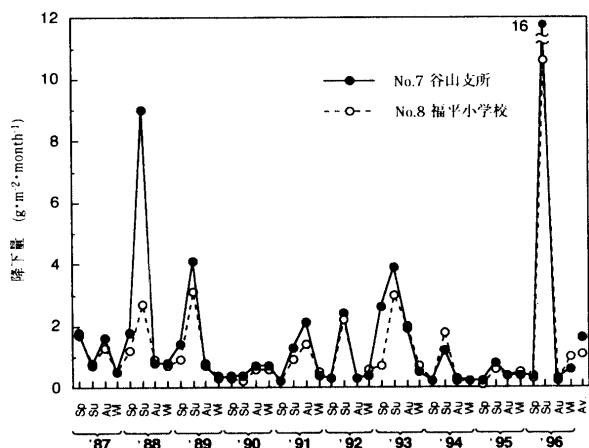


図13 No.7 谷山支所, No.8 福平小学校における Cl<sup>-</sup> 降下量

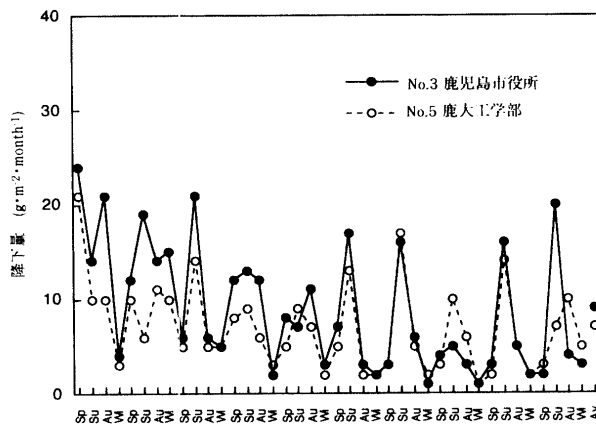


図15 No.3 鹿児島市役所, No.5 鹿大工学部における可溶性成分降下量

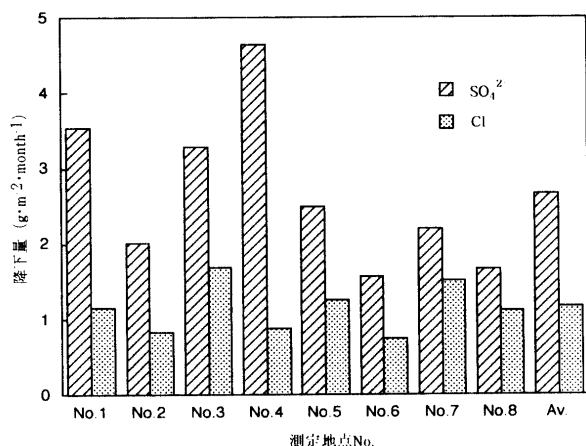


図14 測定地点別平均 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> および Cl<sup>-</sup> 降下量

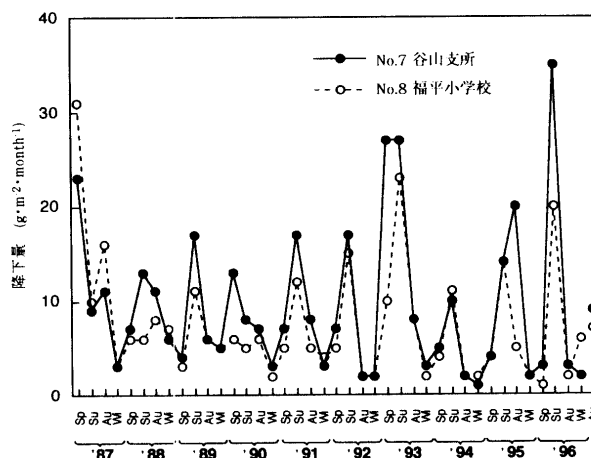


図16 No.7 谷山支所, No.8 福平小学校における可溶性成分降下量

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> の降下は、一部桜島降灰に関係するが、他の原因も存在するのであろう。図10に示すように、鹿児島市役所や鹿大工学部のような降下ばいじん量の多い地域では、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 降下量の経年的変化が降下ばいじん量のそれによく対応していた。すなわち、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 降下量は、降下ばいじん量の多かった1987年～1990年にかけては非常に多く、それ以降は比較的少なくなり、5g・m<sup>-2</sup>・month<sup>-1</sup> を越えることはまれであった。

図14に示すように、Cl<sup>-</sup> の降下量は、No.2 花野小学校、No.4 西陵中学校、No.6 中山小学校の比較的の海岸より遠いところの測定地点において低く、降下ばいじん量との対応性はなかった。また、経年的変化についても Cl<sup>-</sup> 降下量と降下ばいじん量の対応性はあまり見られなかった。すなわち、Cl<sup>-</sup> の降下については、海水飛沫が主要原因であろう。

### 3.3 可溶性成分

降下ばいじんと共存する雨水について、蒸発乾固した場合の残さ量を可溶性成分量とした。図15および16に、それぞれ No.3 鹿児島市役所、No.5 鹿大工学部および No.7 谷山支所、No.8 福平小学校における1987年～1996年の10年間の可溶性成分の降下量を示す。また、図17には、鹿児島市内8測定地点平均の可溶性成分、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup> 降下量をまとめた。すべての年において、可溶性成分の降下量は夏期に多く冬季に少なかったが、降下ばいじん量の経年的変化とはほとんど対応がなかった。また、鹿児島市役所における10年間の平均可溶性成分降下量が9.0g・m<sup>-2</sup>・month<sup>-1</sup>であり、福平小学校におけるそれは7.0g・m<sup>-2</sup>・month<sup>-1</sup>であって大きな差はなかった。すなわち、可溶性成分の降下は桜島降灰とはほとんど関係がないと結論される。可溶性成分の降下量が夏期に多

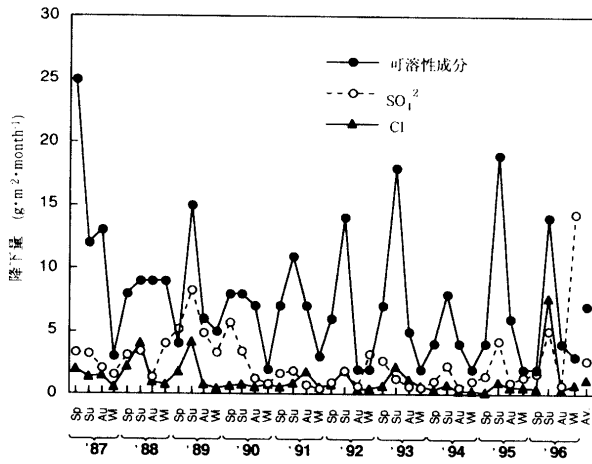


図17 8測定地点平均の可溶性成分,  $SO_4^{2-}$ , Cl 降水量

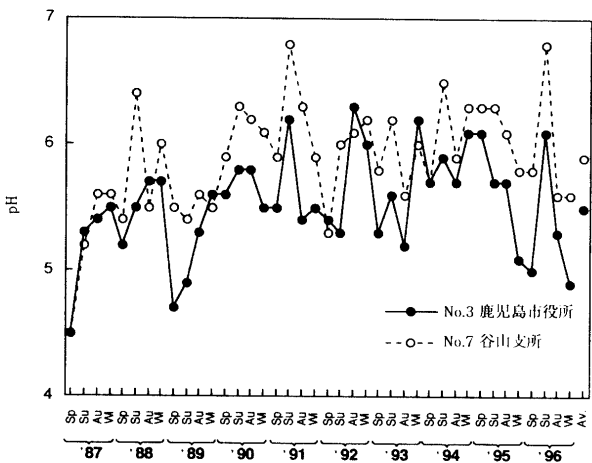


図18 No.3 鹿児島市役所, No.7 谷山支所における共存雨水の pH

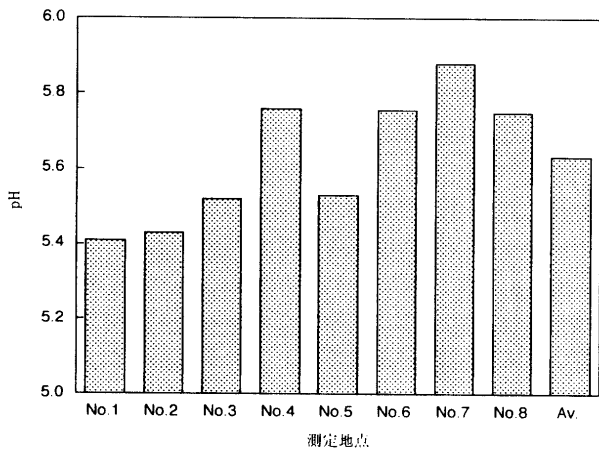


図19 測定地点別平均共存雨水 pH

く冬季に少ないのは、降水量が夏期に多く冬季に少ないためで、可溶性成分の量は降水量に依存している。可溶性成分には前述した  $SO_4^{2-}$ , Cl のような塩類も含まれるが、雨水が落下中に含有する塵埃等が主成分と考えられ、降水量に相関するのであろう。

### 3.4 pH

図18に、No.3 鹿児島市役所およびNo.7 谷山支所における1987年～1996年の10年間の降下ばいじん共存雨水の pH を示した。pH の経年変化は、降下ばいじん量のそれとはほとんど相関していなかった。図3に示すように、鹿児島市役所では、1988年夏期および1990年夏期に大量の降下ばいじんを記録しているが、この時期にことさら低い pH を示しているわけではない。また、降下ばいじん量は夏期に多く冬季に少ないが、特に夏期の pH が低いということはない。

興味深いことに、ほとんどすべての時期において鹿児島市役所の pH は、谷山支所のそれより低い値を示した。図19に、鹿児島市内 8 測定地点における10年間の平均 pH を示すが、明らかに市内北部地域の方が南部地域よりも低い pH を記録している。この理由については、現在のところ明確な説明は不明である。

### 3.5 大気中の $NO_2$ 濃度

図1に示す鹿児島市内 8 測定地点において、フィルターバジジ法により大気中の  $NO_2$  濃度を測定した。図20～22に、1987年～1996年の10年間の  $NO_2$  濃度の変化について、8 測定地点およびそれらの平均値を示す。大気中の  $NO_2$  濃度の測定は、約 2 ヶ月毎の任意の 1 日を選び 24h 測定を行った。図20～22のデータは、各々の年の 6 回の測定の平均値である。

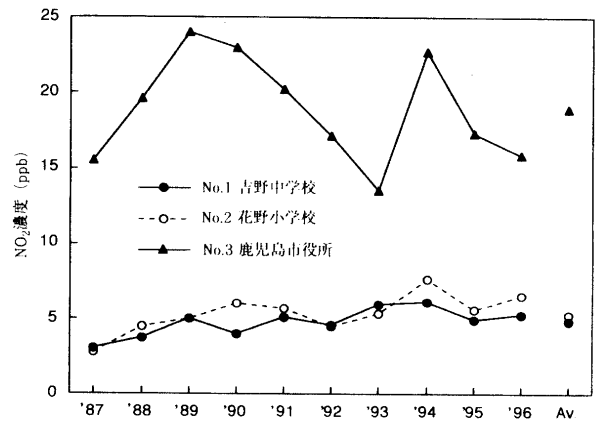


図20 No.1 吉野中学校, No.2 花野小学校, No.3 鹿児島市役所における  $NO_2$  濃度

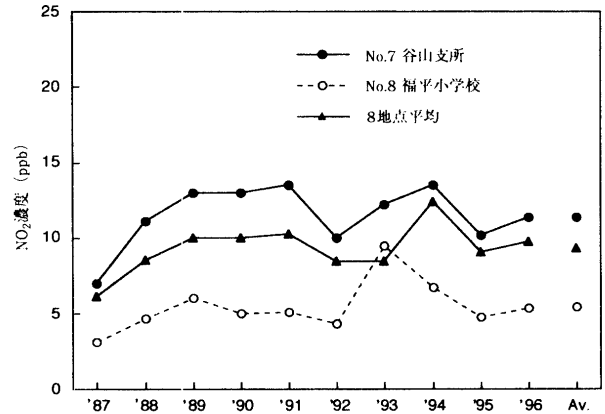
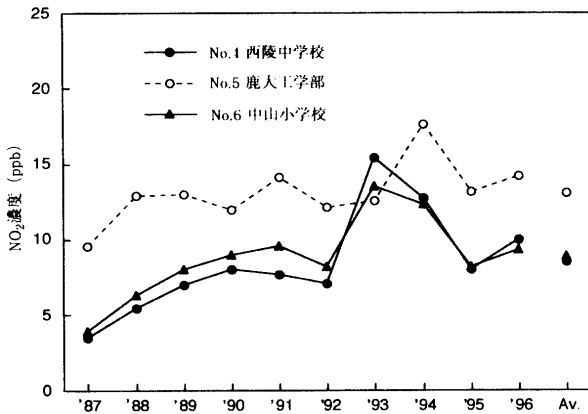


図21 No. 4 西陵中学校, No. 5 鹿大工学部, No. 6 中山小学校における NO<sub>2</sub> 濃度

図22 No. 7 谷山支所, No. 8 福平小学校および 8 地点平均の NO<sub>2</sub> 濃度

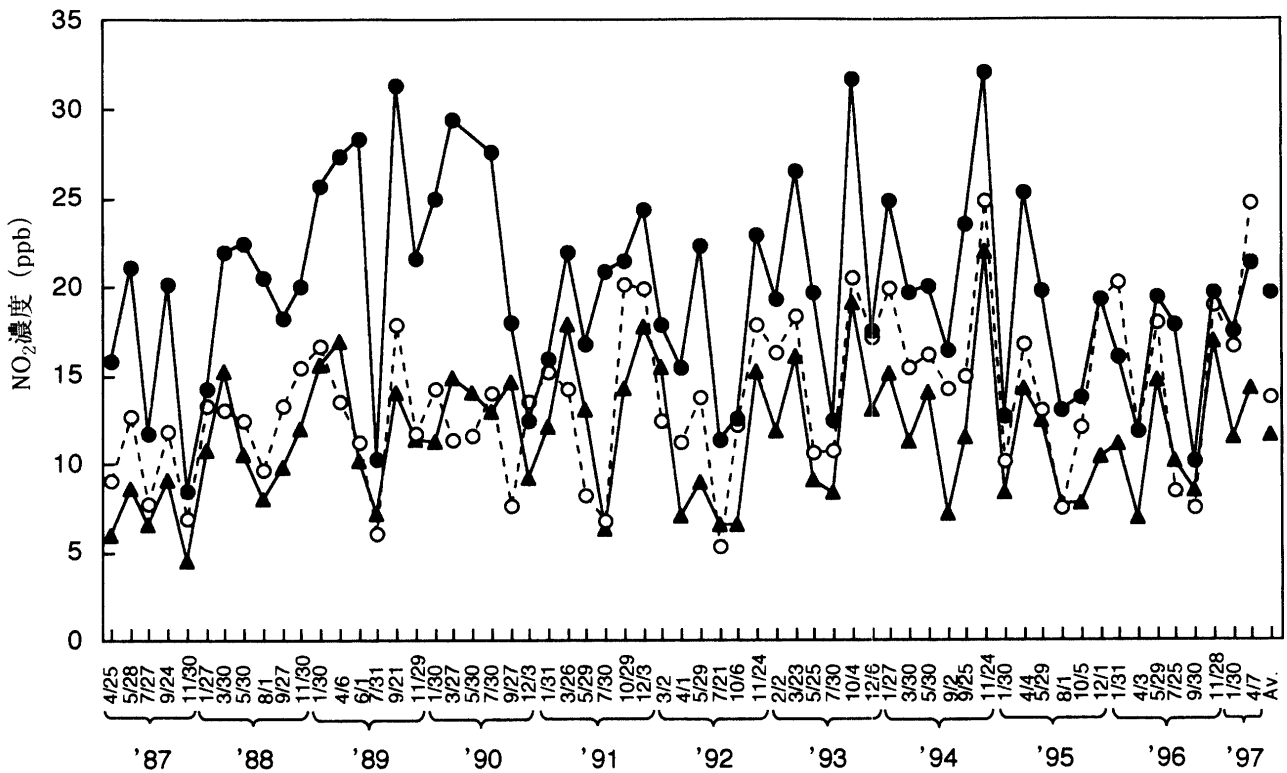
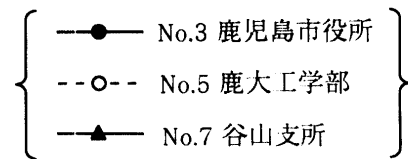


図23 No. 3 鹿児島市役所, No. 5 鹿大工学部, No. 7 谷山支所における NO<sub>2</sub> 濃度



10年間のすべての年において最も高い NO<sub>2</sub> 濃度を記録したのは、No.3 鹿児島市役所であった。この測定地点は交通量の激しい幹線道路に面しており、自動車排気

ガスの影響と考えられる。鹿児島市役所では、NO<sub>2</sub> 濃度は1987年～1989年まで上昇した後漸減傾向にあり、1994年に上昇したがまた漸減傾向となった。No.4 西陵中学

校, No.5 鹿大工学部, No.6 中山小学校では, 10年間を通してほぼ漸増傾向であり, 1987年に比べて1996年では4~6 ppb 増加した。また, No.1 吉野中学校, No.2 花野小学校, No.8 福平小学校においても, これらの地点はNO<sub>2</sub>濃度は10年間の平均値が5 ppb 前後と他の地点に比べて低いが, 同様に漸増傾向にあり, 1987年に比べて1996年では2~4 ppb 増加した。

図23に, No.3 鹿児島市役所, No.5 鹿大工学部, No.7 谷山支所におけるNO<sub>2</sub>濃度の10年間における日変動を示す。各地点ともNO<sub>2</sub>濃度はかなり大きな日変動があるが, 鹿児島市内のNO<sub>2</sub>濃度はおおよそ連動して変化していることがわかる。また, 夏期においてときどきこれらの3つの地点が同時に低いNO<sub>2</sub>濃度を記録することがあり, これは台風の接近による強風などで市内の大気が入れ替わったためである。全般的に夏期の方が冬季よりも低いNO<sub>2</sub>濃度を示すことが多く, 鹿児島市役所において7月および1月の測定10年間平均値がそれぞれ16.2 ppb および19.0 ppb, 谷山支所におけるそれぞれ8.2 ppb および12.0 ppb であった。

#### 4. 結論

1987年~1996年まで鹿児島市内8カ所の測定地点において, 降下ばいじん量, 共存雨水の成分, 大気中のNO<sub>2</sub>濃度などを測定した。10年間の平均降下ばいじん量が最も多かったのは, No.3 鹿児島市役所の248g・m<sup>-2</sup>・month<sup>-1</sup>であり, 最も少ないのはNo.8 福平小学校の19.1g・m<sup>-2</sup>・month<sup>-1</sup>であった。鹿児島市内北部地域においては, 1992年ごろまでは高い降下ばいじん量であったが, それ以降は比較的低い降下ばいじん量の傾向が続いている。降下ばいじんの多い地域では, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 降下量の経年的変化が降下ばいじん量のそれによく対応していた。大気中のNO<sub>2</sub>濃度については, 10年間のすべての年において最も高いNO<sub>2</sub>濃度を記録したのは, No.3 鹿児島市役所であったが, これらの値も環境基準は満足していた。8ヶ所の測定地点すべてにおいてこの10年間でNO<sub>2</sub>濃度は増加しており, 特に最近発展した住宅地域の中にあるNo.4 西陵中学校やNo.6 中山小学校において増加が激しかった。

終わりに, 調査にご協力いただき, また貴重なデータを提供していただいた鹿児島市役所, 鹿児島県庁, 鹿児島地方気象台の関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。また, フィルターバジジ法によるNO<sub>2</sub>濃度測定に関して, ご指導, ご助言を賜った千葉大学名誉教授鈴木伸先生に感謝致します。

#### 文献

- 1) 前田, 大木, 竹下: 鹿児島市の大気汚染調査(第1報), 鹿児島大学工学部研究報告, 30, 141-151 (1988).
- 2) 前田, 大木, 竹下: 鹿児島市の大気汚染調査(第2報), 鹿児島大学工学部研究報告, 31, 53-62 (1989).
- 3) 大木, 前田: 鹿児島市の大気汚染調査(第3報), 鹿児島大学工学部研究報告, 32, 75-84 (1990).
- 4) 大木, 中, 前田: 鹿児島市の大気汚染調査(第4報), 鹿児島大学工学部研究報告, 33, 79-88 (1991).
- 5) 大木, 中, 前田: 鹿児島市の大気汚染調査(第5報), 鹿児島大学工学部研究報告, 34, 39-48 (1992).
- 6) 中, 大木, 前田: 鹿児島市の大気汚染調査(第6報), 鹿児島大学工学部研究報告, 35, 29-37 (1993).
- 7) 大木, 中, 前田: 鹿児島市の大気汚染調査(第7報), 鹿児島大学工学部研究報告, 36, 73-80 (1994).
- 8) 大木, 中, 前田: 鹿児島市の大気汚染調査(第8報), 鹿児島大学工学部研究報告, 37, 76-85 (1995).
- 9) 近藤, 大木, 中, 前田: 鹿児島市の大気汚染調査(第9報), 鹿児島大学工学部研究報告, 38, 87-95 (1996).
- 10) 中村, 大木, 中島, 前田: 鹿児島市の大気汚染調査(第10報), 鹿児島大学工学部研究報告, 39, 85-92 (1997).
- 11) W. Leithe, 新良宏一郎: 大気汚染の測定1版, 化学同人, pp. 110, 164 (1973).
- 12) 大気汚染研究全国協議会編: 大気汚染ハンドブック(1) 測定編5版, コロナ社, pp. 38, 145 (1971).
- 13) 竹下, 前田, 下原: 鹿児島市及び桜島の大気汚染調査(第1報), 鹿児島大学工学部研究報告, 21, 140-147 (1979).
- 14) 堀, 鈴木, 榎木, 樋口: 大気環境のサーベイランス測定・設計・解析, 東京大学出版会, p.59 (1984).
- 15) S. Maeda, M. Imayoshi, A. Ohki, the late T. Komaki, T. Takeshita, Proceedings of Kagoshima International Conference on Volcanoes, Kagoshima, pp. 686-689 (1988).