

<特集：酸性雨／酸性雨及び光化学反応物質討論会>

<報 文>

中・四国地方の梅雨期の雨水性状について*1

—1987年6月の共同調査より—

大原 真由美*2・畦崎 俊 敬*3・山口 幸 祐*4・豊 沢 澄 治*5
 鈴木 英 治*6・今 瀬 亘*7・三 木 正 信*8・山 本 英 夫*9
 植 松 広 子*10・高 垣 昌 明*11

1. はじめに

酸性雨は、数十キロ、数百キロ、数千キロオーダーの短・中・長距離規模での汚染質の拡散が関与し広域的・蓄積性環境問題として重大視されている。このため、ここ10年の間に非常に多くの研究者が手がけるようになり¹⁾、今や日本の全自治体(県・市)の研究機関が取り組んでいる。中・四国地方では1980年頃から急速に取り組みが始まり多数の学会発表・論文がある²⁾。しかし、これらは目的、採取法、採取期間の違いからデータを横並びでみることができず、広域汚染といわれてはいるが、どの程度の広がりを持った汚染であるのかは未知であった。

広域的現象として捉えた調査・研究は、1975～1979年の関東地方を対象にした環境庁の湿性大気汚染調査、関東地方の自治体が1980年以来実施している湿性大気汚染調査、1983～1987年の環境庁の酸性雨対策調

査がある。1983～1987年の環境庁の調査の長期モニタリングとして、中・四国地方には2測定点があるが、山陰、瀬戸内、南日本といった特徴的な気候区を持つこの地方の実態は、これだけでは捉えきれない面がある。

今回これらの面を鑑み、1987年6月に中国・四国支部の酸性雨調査研究グループで酸性雨の共同調査を実施した。その結果、雨水の性状について、いくつかの特徴がわかったので、このことについて報告する。

2. 調査方法

調査は図1に示す山陰3、瀬戸内8、南日本2の合計13地点で、1987年6月1日～6月29日(30日)の1か月間実施した。

採取はろ過式採取器を用い、1週間を1単位として

*1 Acid rain during the rainy season in Chūgoku and Shikoku district. —The joint investigation in June 1987.

*2 Mayumi OOHARA (広島県環境センター) Hiroshima Prefectural Research Center for Environmental Science.

*3 Toshitaka UNEZAKI (鳥取県衛生研究所) Tottori Prefectural Public Health Laboratory.

*4 Kousuke YAMAGUCHI (島根県衛生公害研究所) Shimane Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science.

*5 Sumiharu TOYOZAWA (岡山県環境保健センター) Okayama Prefectural Research Center of Environment and Public Health.

*6 Hideharu SUZUKI (山口県衛生公害センター) Yamaguchi Prefectural Research Institute of Health.

*7 Wataru IMASE (徳島県保健環境センター) Tokushima Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences.

*8 Masanobu MIKI (香川県公害研究センター) Kagawa Prefectural Research Center for Environmental Pollution Control.

*9 Hideo YAMAMOTO (愛媛県公害技術センター) Ehime Prefectural Research Center for Environmental Protection.

*10 Hiroko UEMATSU (高知県公害防止センター) The Environmental Pollution Control & Research Center, Kōchi Prefecture.

*11 Masaaki TAKAGAKI (広島市衛生研究所) Hiroshima City Institute of Public Health.

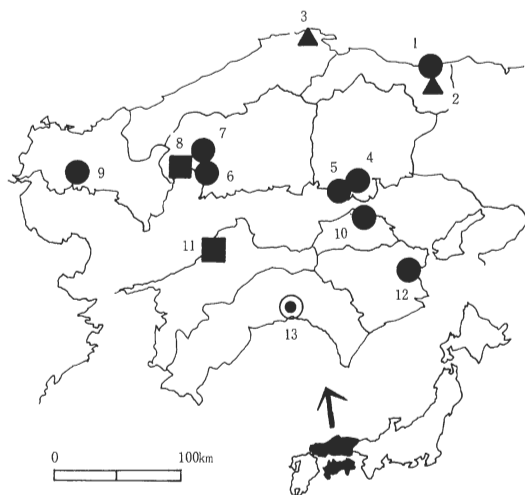


図1 調査地点
 ●：住居地域，▲：未指定地域，
 ■：近隣商業地域，◎：工業地域

計4回（6月1～8日，8～15日，15～22日，22～29日（30日））降下物を水溶性成分と不溶性成分に分けて行なった。

本報告では水溶性成分のデータを用い解析した。

分析項目は，pH，EC， SO_4^{2-} ， NO_3^- ， Cl^- ， NH_4^+ ， Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， K^+ ， Na^+ の10項目で，分析方法は環境庁の酸性雨成分分析調査実施細則に従った。

3. 気象概況

中・四国地方には，北に1200～1700mの中国山地，南に2000m級の四国山地があり，それぞれ平行して東西に連っている。中・四国地方の気候は，これらの山地を境界線として，山陰，瀬戸内，南日本の3種類に区分される。山陰は年間降水量が1900mm程度あり，冬季の降水量も多い特徴がある。瀬戸内は年間降水量が1600mm程度あり気候区中では降水量が最も少なく，季節的には夏季に多く冬季に少ない。南日本は年間降水量が2700mm程度で4～9月の雨量が多い特徴がある。6月の雨量は年間の降水量に対して，山陰で10%，瀬戸内で16%，南日本で14%を占める。

1987年6月の日本全般の降水量は，梅雨前線の活動が弱かったために，山陰地方と関東南部の一部で平年を上まわった。他は全般に少なく，特に九州南部，本州中部，東北及び北海道では平年の20～60%であった。中・四国地方では，山陰，瀬戸内は「平年並」，南日本は「やや少ない」状況であった³⁾。

週ごとの降水は次のような原因によるものであった。

第1週は6/2～3に雨が降った。これは1日に華中に入った前線を伴う低気圧が東進し，3日に本州南部を通過したためである。

第2週は6/8～9と6/13～15に雨が降った。8

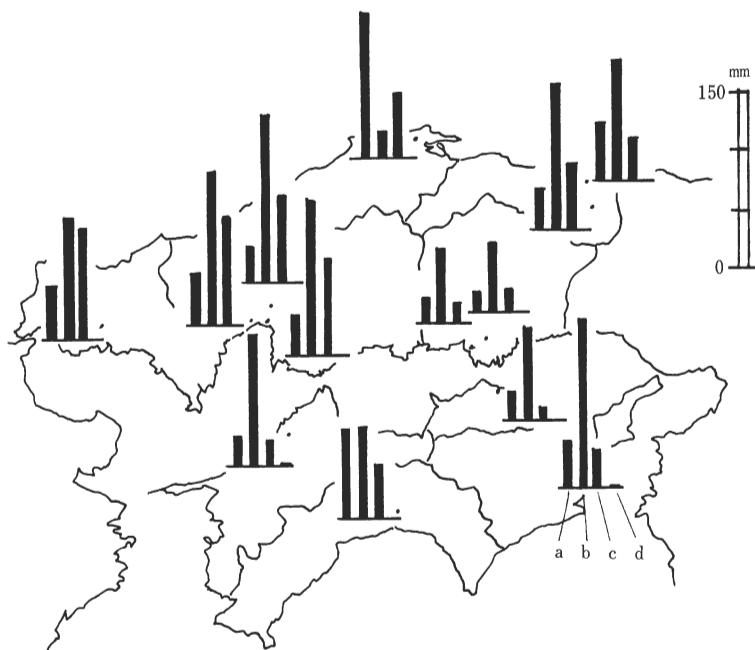


図2 週単位降水量（1987年6月）
 a：第1週，b：第2週，c：第3週，d：第4週

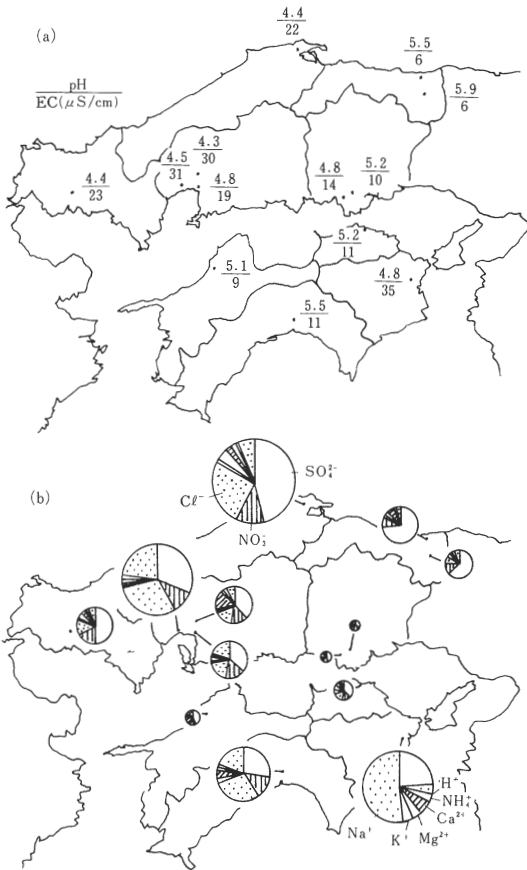


図3 1987年6月第1週の降水成分濃度
(a) pH及びEC (b) イオン降水量

日は中・四国地方の梅雨入りで、8～9日に前線を伴う低気圧が中・四国上にあったことによる。13～15日の雨は、前線が東シナ海にのび、九州に達し、その後、日本付近は気圧の谷となり、梅雨前線上に低気圧が発生したためである。

第3週は6/18～19と6/20～21に雨が降った。18～19日にかけての雨は梅雨前線上の東シナ海上の低気圧が発達しながら九州北部へ接近したためである。20～21日の雨は低気圧が発達しながら房総沖へめくれたためである。

第4週は雨がほとんどなく、29日に日本南部にきた前線により、四国の一部で1mm未満の少雨がかったのみであった。

4. 結果及び考察

4・1 週ごとの特徴

調査期間中の地点別週単位降水量を図2に示す。地点番号(以後no.と示す)3を除く地点では、梅雨の最

盛期である第2週に降水量が最も多く、100～140mmあった。第4週はno.11及び12で1mm未満の降水があったのみで、他の地点ではなかった。地域的特徴としては、瀬戸内西部で降水が多く、瀬戸内東部で少ない傾向がみられた。

週ごとの降水成分濃度を図3～5に示す。各週の特徴は以下のとおりであった。

(1) 第1週(6/1～6/8)の特徴

降水量は図2で示したようにno.3のみ124mmととくに多かった。その他の地点では、山陰(no.3を除く)及び瀬戸内中国西部で50mm弱、瀬戸内中国東部及び瀬戸内四国で25mm弱、南日本はno.12で39、no.13で75mmであった。

降水量とpH及びECには以下のような特徴があった。山陰(no.3を除く)では、降水量が多く、pHが高く、ECが小さい。瀬戸内西部では、降水量が多く、pHが低く、ECが大きい。瀬戸内東部では、降水量が少なく、pHが高く、ECが小さい。南日本の2測定点は降水量に差があったように、pH、ECの差が大きかった。no.3は瀬戸内西部と類似の傾向を示した。一方、山陰、瀬戸内、南日本と、大きなスケールでpH及びECの値をみると、山陰と瀬戸内に関しては、pHは西部ほど低く東部ほど高く、ECは西部ほど大きく東部ほど小さいといった広域的特徴もみられた。

各地点のイオン降水量は56～457mg/m²で、少ない地点と多い地点で8倍の差があった。組成はSO₄²⁻が山陰(no.3を除く)で62～72%と大きく、南日本で22～27%と小さく、瀬戸内は中間値であった。NO₃⁻の割合はno.12で0%であったが、他地点では10～20%を占めた。

(2) 第2週(6/8～6/15)の特徴

3節で述べたように、初日(6/8)に中・四国地方の梅雨入りがあった。この週は、中・四国では梅雨の最盛期にあたる時期で、no.3を除いて全地点で降水量が多く、瀬戸内東部で60mm程度、その他の地点で100～140mmの降水があり、大半の地点の降水量は第1週の2～3倍あった。

降水量とpH及びECには次のような特徴があった。ECの地点間差は第1週に比べ小さかった。山陰(no.3を除く)では、降水量が多くpHは高くECは小さい。瀬戸内西部では、降水量が多くpHは低くECは大きい。瀬戸内東部では、降水量が少なくpHは高いがECは瀬戸内西部並である。南日本では、2地点間の降水量に2倍の差があるものの、pHは高くECはやや小さかった。no.3は降水量が少なく、pHは低くECは高かった。第1週でみられたpHの西低東高

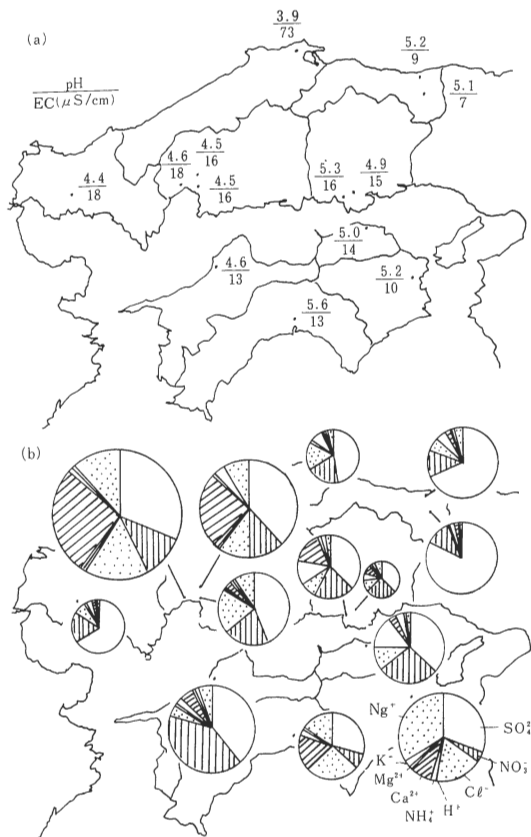


図4 1987年6月第2週の降水成分濃度
(a) pH及びEC (b) イオン降下量

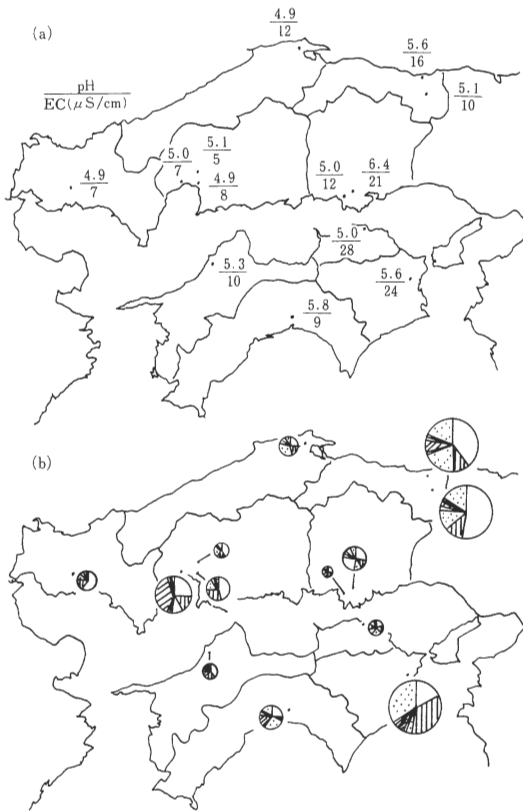


図5 1987年6月第3週の降水成分濃度
(a) pH及びEC (b) イオン降下量

現象（西部ほど低く，東部ほど高い）は，この週でも同様にみられる。

イオン降下量は第1週と比較すると304～827 mg/m²と全般に多かった。組成は第1週と同様に，山陰（no.3を除く）でSO₄²⁻多含型（68～82%），南日本でSO₄²⁻少含型（29～31%）であった。NO₃⁻は南日本で4～7%と少なく，瀬戸内で11～41%と多かった。

(3) 第3週（6/15～6/22）の特徴

梅雨前線は第2週に比べ，かなり南下した状態の週であり，降水量は第2週に比べ少なかった。山陰で50 mm 前後，中国瀬戸内西部で80 mm 前後，中国瀬戸内東部及び四国瀬戸内で20 mm 前後，南日本で40 mm 前後であった。

各地点のpHは第1，2週に比べ高かったが，pHの西低東高現象は，この週でもみられる。

降水量，pH及びECには次のような特徴があった。瀬戸内東部では，降水量が少なくpHは高くECは大きい。瀬戸内西部は降水量が多くpHは低くECは小さい。山陰及び南日本では両者の中間的な特徴があ

る。

各地点のイオン降下量はno.1，2を除き，第1，2週に比べて少なく，57～155 mg/m²であった。

第1，2週でみられたSO₄²⁻組成の違いによる地域的特徴は，この週にも現われており，山陰38～53%，南日本17～24%で，山陰でSO₄²⁻多含型，南日本でSO₄²⁻少含型を示した。

4・2 月 間 値

1987年6月1か月間の降水量を図6に示す。山陰で200 mm 前後，中国瀬戸内西部で250 mm 前後，瀬戸内東部で100 mm 前後，南日本で200 mm 前後であった。no.11の降水量は瀬戸内西部と東部の中間であった。山陰と南日本については地点間で顕著な差異はなかったが，瀬戸内では西部と東部で2倍以上の差が認められ，調査期間中の降水量は大きく分けて，山陰，瀬戸内西部，瀬戸内東部，南日本の4グループに分類できた。なお，山陰（松江），瀬戸内（広島），南日本（高知）の降水量を平年値と比較すると，山陰92%，瀬戸内100%，南日本52%であり，山陰と瀬戸内は平年

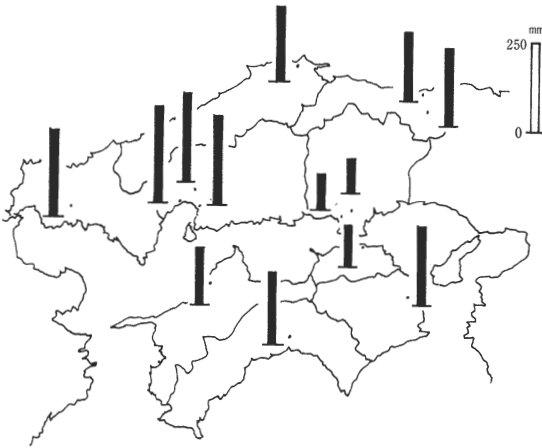


図6 1987年6月の降水量

並であったが、南日本はやや少なかった。

図7に6月1か月間の降水成分濃度を示す。pH及びECは降水量の加重平均値である。pHは山陰(no.3を除く)で5.2前後、瀬戸内西部で4.6前後、瀬戸内東部で5.0前後、南日本で5.3前後であった。ECは各グループで9、14、16、14 μ S/cmであった。

降水量、pH及びECを総合的にみると次のようになる。山陰(no.3を除く)は降水量が比較的多くpHは高くECは小さい。瀬戸内西部は降水量が多くpHは低くECは大きい。瀬戸内東部は降水量が少なくpHは高くECは大きい。南日本は降水量が多くpHは高くECは大きい。no.3は山陰に位置するが、pHやECからは瀬戸内西部と類似の傾向があった。

イオン組成については、山陰(no.3を除く)は SO_4^{2-} の割合が多く、南日本は SO_4^{2-} が少ない反面 Cl^- が多く、瀬戸内西部と瀬戸内東部は SO_4^{2-} が前二者の間であるのに対し NO_3^- が多い、などグループ間で差異がみられた。なお、no.3は瀬戸内西部と類似の傾向があった。

4・3 酸性降下物と降水量

週単位の降水量と SO_4^{2-} 及び NO_3^- 降下量の関係を図8に示す。中国瀬戸内西部とno.3を除き、降水量と SO_4^{2-} 降下量との間に直線関係が認められる。すなわち、山陰、瀬戸内東部、南日本では、 SO_4^{2-} の降水中濃度が3週ともに同一であったことを示している。そして雨水中の SO_4^{2-} 濃度を示す直線の傾きは、山陰(no.3を除く)で降水量に対する SO_4^{2-} 降下量の直線の傾きが大きいのにに対し、瀬戸内東部及び四国での傾きは1/2程度であり、山陰は SO_4^{2-} 多含の雨で、四国は SO_4^{2-} 少含型であることがわかる。中国瀬戸内西部

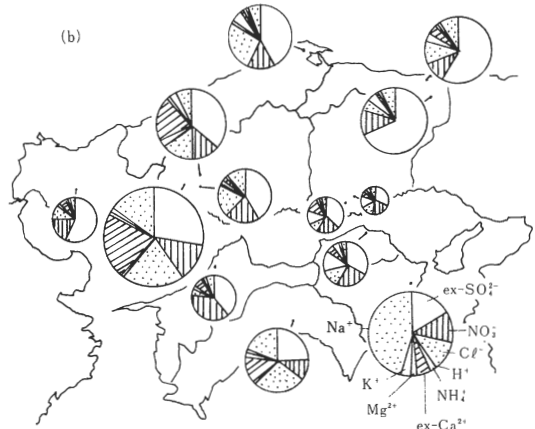
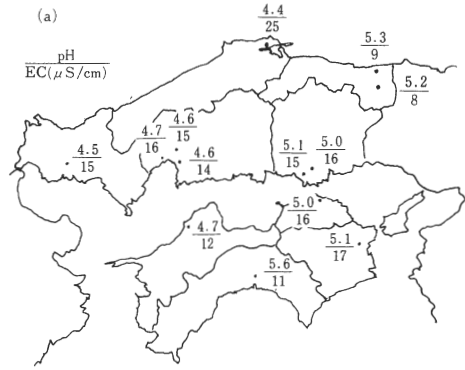


図7 1987年6月の降水成分濃度
(a) pH及びEC(降水量加重平均)
(b) イオン降下量

とno.3は降水中の SO_4^{2-} 濃度が一定でなく、風向、風速等の気象要因や大気汚染物の濃度等、他要因の影響も考えられる。

NO_3^- 降下量と降水量との関係では、中国瀬戸内西部、no.3及びno.12を除いた地点で直線関係が認められる。直線の傾きは、山陰(no.3を除く)で小さいのにに対し、瀬戸内東部及びno.12で大きい。すなわち、山陰は NO_3^- 少含型の雨で、瀬戸内の降水量の少ない地域で NO_3^- 多含型の雨が降っていることがわかった。中国瀬戸内西部とno.3では SO_4^{2-} の場合と同様に直線関係はみられず、降水中の NO_3^- 濃度は降雨ごとに異なっていた。

SO_4^{2-} と NO_3^- の比は酸性雨の質的相異という観点から非常に重要なものとして解析が試みられている^{4),5)}。ここでは1か月間の降下量から SO_4^{2-} と NO_3^- の比を計算した。これを図9に示す。 $(\text{SO}_4^{2-} \text{降下量}) / (\text{NO}_3^- \text{降下量})$ の値は、山陰(no.3を除く)で5.0以上と大きい値をとり、中国瀬戸内西部では2.0~3.3、瀬戸内東部で1.4~1.8、南日本では2.2~2.9と

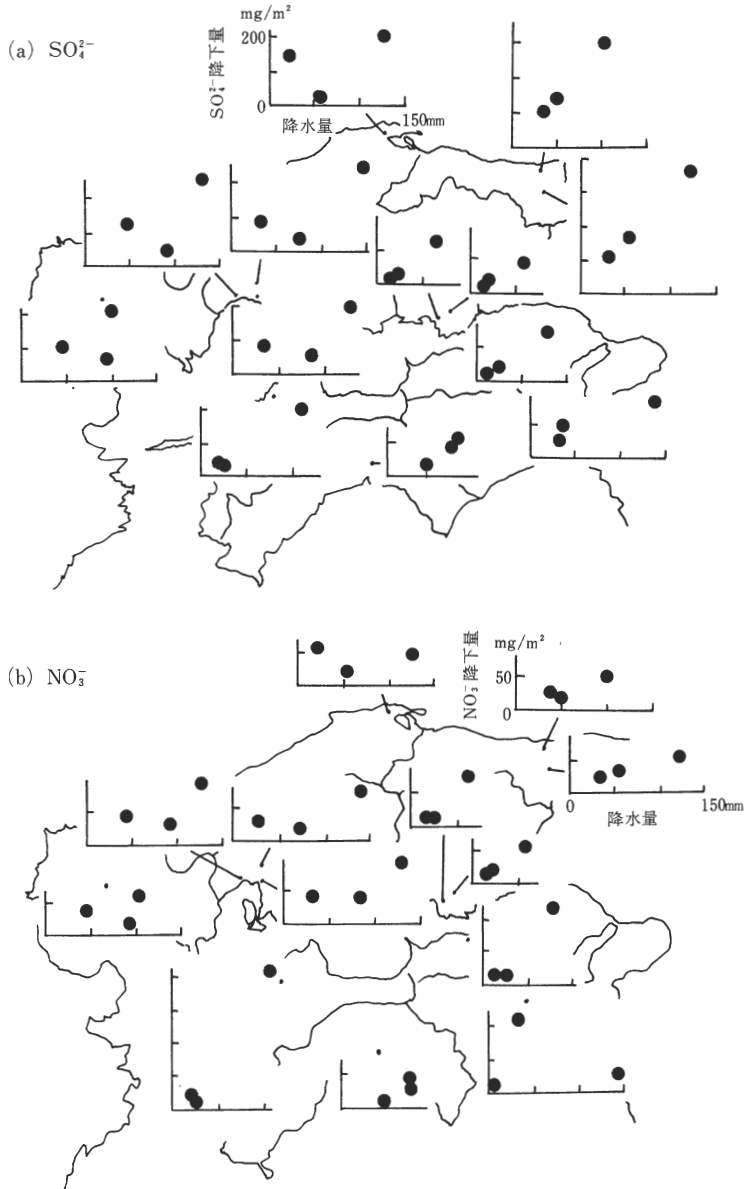


図8 酸性降水物量と降水量の関係
(a) SO_4^{2-} (b) NO_3^-

なった。no. 3は瀬戸内西部と類似の値を示し、no. 11では1.1と小さい値をとった。これらの値を文献^{(4),(5)}と比較すると、山陰 (no. 3を除く) の値は非常に大きく瀬戸内東部とno. 11の値は小さかった。ただし、われわれが得たこれらの値は1987年6月の梅雨期のみの調査結果であり、1年を通じた調査をすれば、かなり平均化された値になるものと予想される。

4・4 海塩粒子の影響

Na^+ をすべて海塩起源と仮定した場合の SO_4^{2-} 及び Ca^{2+} 降水量の海塩起源の寄与を図10に示す。 SO_4^{2-} の海塩寄与率山陰及び瀬戸内で数%で、南日本は寄与率が大きく、no. 12で42%を占めている。 Ca^{2+} の海塩寄与率は山陰及び瀬戸内で数%で、南日本のno. 12は25%と大きい値となった。 SO_4^{2-} と Ca^{2+} 両者より南日本での海塩寄与率は大きい傾向がみられたが、中・四国の気流は夏季に太平洋から日本海へ、冬季に

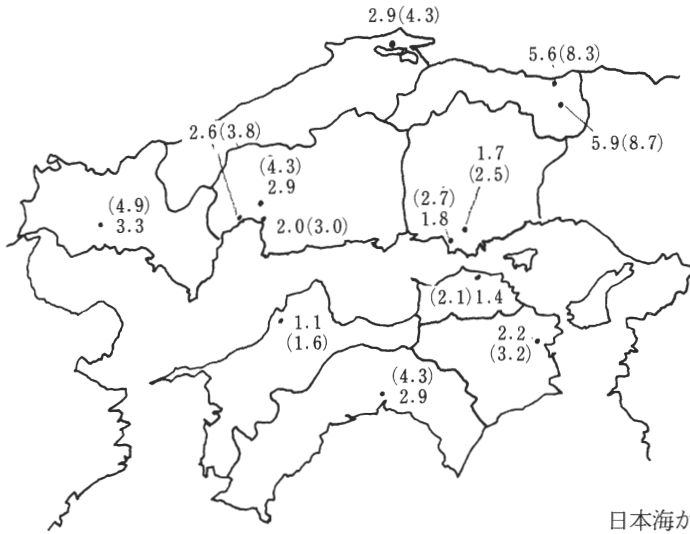


図9 (SO₄²⁻降下量)/(NO₃⁻降下量)(重量比)
()は (SO₄²⁻-S)/(NO₃⁻-N)

日本海から太平洋に向かって⁶⁾ことから、冬季には山陰で海塩寄与率が大きくなる等、異なったパターンを示すことが予想される。

5. まとめ

1987年6月1日～6月29日(30日)の1か月間、ろ過式採取器を用いて、中・四国支部の酸性雨調査研究グループが酸性雨の共同調査をした。その結果、次のことが明らかになった。

- ①山陰及び瀬戸内での pH は、西ほど低く、東ほど高い。
- ②降水成分濃度や組成に中規模スケール規模の類似性が存在し、④山陰、⑧瀬戸内西部、⑨瀬戸内東部、⑩南日本の4グループに分類できた。
- ④は雨量が多く、pH は高く EC は小さい。SO₄²⁻ 含量が多く NO₃⁻ 含量が少なく、SO₄²⁻ 及び NO₃⁻ の降下量は雨量と比例関係にある。(SO₄²⁻ 降下量) / (NO₃⁻ 降下量) の値が他グループに比較して非常に大きい。
- ⑧は雨量が多く pH は低く EC は大きい。NO₃⁻ 含量が多く、SO₄²⁻、NO₃⁻ 降下量は雨量と比例関係にない。
- ⑨は雨量が少なく、pH は高く EC は大きい。NO₃⁻ 含量が多く、SO₄²⁻、NO₃⁻ 降下量は雨量と比例関係にある。(SO₄²⁻ 降下量) / (NO₃⁻ 降下量) の値はグループ中で最も小さい。
- ⑩は雨量が多く pH は高く EC は大きい。SO₄²⁻ 含量が少なく Cl⁻ 含量が多い。SO₄²⁻ 及び Ca²⁺ 中の海塩寄与率が大きい。

以上、梅雨期の、主として前線性降雨による降水成分は、200～300 km オーダーの中距離スケール場の

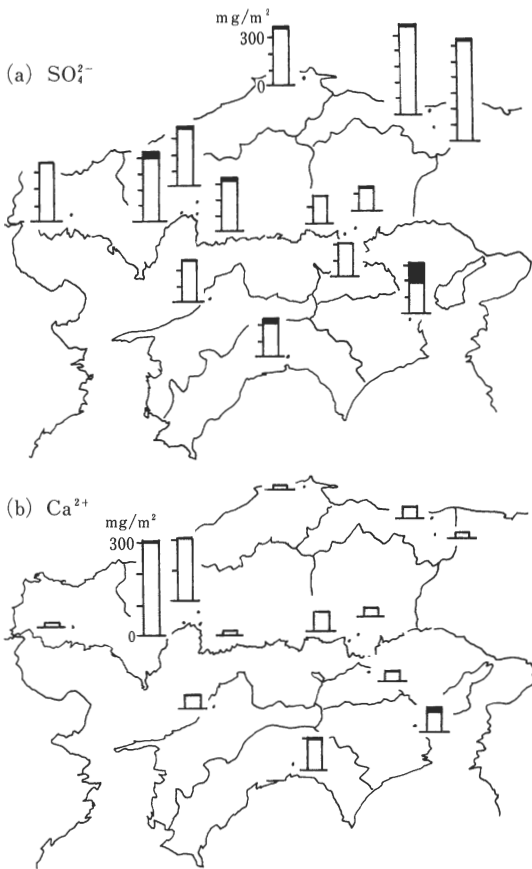


図10 SO₄²⁻ と Ca²⁺ の海塩粒子の寄与
(a) SO₄²⁻ □: Excess-SO₄²⁻ ■: 海塩寄与
(b) Ca²⁺ □: Excess-Ca²⁺ ■: 海塩寄与

中・四国地方において特徴的な地域差があることがわかった。

6. おわりに

今回初めて共同調査を実施し、雨水成分分析結果から、中・四国地方は、大まかに分けると4分類でいることがわかった。しかし、これは1987年6月1か月間のみの結果である。雨水成分濃度を左右する要素は、雲の履歴、降水時の気象状態、大気汚染濃度など数多くある。この地域差が不変のものか、今回のみの現象であるのか、また、何に起因するのかなど、不明な点は残されたままである。

今回の調査は酸性雨現象に近づくためのほんの第一歩である。今回明らかになった現象の原因解明のため、また生態系（陸水、土壌、森林等）及び物的影響など、全環境的見方がとくに必要とされている酸性雨の重要性に鑑み、関連分野との連携をとりながら息の長い調査・研究が望まれる。

謝 辞

この調査・研究を行うにあたって、各公害研の所長をはじめ多くの方々のご支援、ご援助をいただきました。ここに深謝いたします。

—引用文献—

- 1) 環境技術, 14 (2), pp. 1-46 (1985)
- 2) たとえば
山口幸祐, 中尾充, 田中文夫, 多田納力: 島根県における酸性雨の実態, 島根県衛公研所報, 第27号, pp. 77-84 (1985)
豊沢澄治, 市川省吾, 石井邦彦: 湿式大気汚染に関する調査研究, 岡山県環境保健センター年報, 第11号, pp. 55-59 (1987)
大原真由美: 気圧配置型による降水成分について, 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 第42号, pp. 27-28 (1987)
小西壽久, 永井良太, 今瀬巨: 徳島県における酸性雨調査(第2報), 徳保環セ年報, No. 4, 59-63 (1986)
三木正信: 雨水の化学的性状について(その2), 香川県公害研究センター所報, No. 10, 101-103 (1986)
楠憲一, 三谷美嶺雄, 渡辺和範: 雨水中のイオンとECの関係, 愛媛県公害技術センター所報, 第7号, 1-5 (1986)
川村速雄, 松尾憲親, 門田泰昌, 三宅敬資: 高知県における酸性雨調査(第1報), 高知公防所報, 第1号, 105-112 (1984)
- 3) 気象, no. 364, 26 (1987)
- 4) 新潟県湿式大気汚染調査報告書, p. 75 (1986)
- 5) 藤田真一: わが国の現状, 気象研究ノート, 第158号, 23-35 (1987)
- 6) 中村和郎, 木村竜治, 内嶋善兵衛: 「日本の気候」, 126-135 (1986)