

## 酸性降下物質の降雨による除去過程について

### The Process of Acidic Depositions considering the Local Rainfall Characteristics

桑川高德\*

齋藤哲也\*\* 石村貴広\*\*

藤野 誠\*\* 市川隆夫\*\*

T.KUMEKAWA, T.SAITO, T.ISHIMURA, M.FUJINO and T.ICHIKAWA

#### 1.はじめに

酸性雨は、大気中の硫酸や硝酸のエアロゾルが降雨に取り込まれることにより、降雨が酸性化したものである。大気中における Sox や Nox は主に自動車や工場等から排出され、大気中において、気相変化及び水蒸気や水蒸気や水滴の中で液層変化する<sup>1)</sup>。この過程で、大気中の酸性化物質は雲の中で水滴を酸性化し、酸性雨となって地上に降雨する。酸性雨の降雨のパターンには、レインインとウオッシュアウトの2つのパターンがあり、前者は主に雲中で水滴が酸性化されるが後者は雲低下で酸性化される。

これまで、著者らは、栃木県内の降雨について、降雨量とその溶存イオンから、酸性雨の地理的特性を検討し、その特性を明らかにしてきた<sup>2) 3)</sup>。その結果、栃木県内では、県南地域で酸性度が低く、県北で高く、さらに夏季で低く冬季で高くなる傾向があることがわかった。また、酸性化物質の起源を溶存イオンから推定し、栃木県内では主に内陸にその起源が多いことを明らかにしてきた。こうした原因として、大気中の酸性化物質が気流等の影響により移動し、雨滴との反応により地域により異なった酸性雨となることが考えられる。

そこで、この研究では、大気中に含まれる酸性化物質が降雨にどのように取り込まれるについて、栃木

県内の地域特性から明らかにすることとする。こうした過程が解明されれば、大気中の物質の循環が降雨との関係から明らかとなり、酸性雨のメカニズムの解明及び酸性化物質の移動も解明され、将来の影響評価にも役立つものと思われる。

#### 2. 酸性化物質の降雨への取込について

硫酸イオン降水量(D)は降水量に比例するとすると次式で表される<sup>4), 5)</sup>。

$$D = C \cdot R \quad (1)$$

ここに、C:降水イオン濃度、R:降水量である。

また、大気中の汚染物質濃度をKとして、イオン降下物量は以下のように表される。

$$D = K \cdot H \cdot R \quad (2)$$

ここで、Hは洗浄比で、Kは定数である。この洗浄比が降水量の指数に比例すると仮定すると<sup>(2)</sup>、

$$H = A \cdot R^{-a} \quad (3)$$

となる。ここにAは定数とする。(3)式を(2)式に代入すると(4)式が得られる。

$$D = D_1 \cdot R^b \quad (4)$$

ここで、 $b = 1 - a$ 、 $D_1 = K \cdot A$ である。

したがって、降下物量は降水量のべき乗に比例する

キーワード: 地球環境問題 水資源計画

\* 正会員 工修 栃木県立宇都宮工業高等学校 宇都宮市京町9-25 Tel:028-633-0451

Fax: 028-637-4527 E-mail:kumekawat@ns.utsunomiya-th.ed.jp

\*\* 学生員 (高校生) 栃木県立宇都宮工業高等学校 宇都宮市京町9-25 Tel:028-633-0451 Fax:028-637-4527

こととなる。このことは、降水中の濃度は降雨量が増加することにより減少し、降下物量は降水量のべき乗で増加するものと考えられる。また、 $b$ は降雨に取り込まれ、叩き落される過程すなわち除去過程を表していると推定される。ここで、(4)式の両辺の対数をとると(5)式となる。

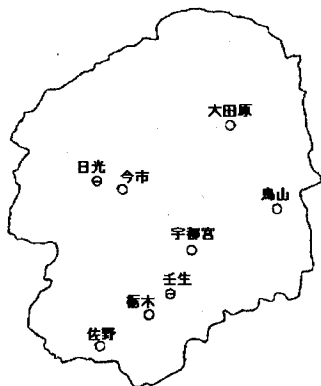
$$\log(D) = \log(D_1) + b \log(R) \quad (5)$$

上の式から、 $b$ が1に近いと大気汚染濃度の取込、洗浄比は一定となり、降下物量は降水依存性が小さく、1に近いと降水依存性が高いとこととを表して

いる。つまり、 $b$ が1に近いと(2)式から洗浄比は一定となり、湿性降下物は降水量に比例して多くなることとなる。また、 $b$ が0に近いと(3)式から、洗浄比は降水量に反比例して減少することとなり、降下物量は減少する。したがって、この係数 $b$ が求められれば、大気中での汚染物質の移動を大気-降雨過程から推定できることとなる。さらに、降雨は局地的地形・地物の影響を受けていることが多いので、土地利用形態などの影響も推察できることが考えられる。

### 3. 観測地点及び土地利用形態について

観測地点及び土地利用形態の一覧を図1に示す。



観測地点一覧



土地利用概略図

図1 観測地点及び土地利用概略図

栃木県は南北方向に約栃木県の概況は南北に約100km,東西に約80kmの地域で、北に日光連山,那須山地,東に八溝山地がつらなり,中央部に鬼怒川が流れている。したがって,東西方向には山谷山の地形であり,南から北向きには逆扇形によって狭まり,60mから300mと標高も高くなっている。

観測地点は宇都宮を始めとした各都市で,これに壬生を加えた計8地点である。雷雨降雨のについては壬生で観測した。降水の分析は、降雨を採取し、フィルターでろ過し、その後イオンクロマトグラフによって分析した。

### 3. 観測結果及び考察

図2に、栃木県内の降雨量の過去5年間の観測地点でのpH及び降雨量の経年変化を示す<sup>6)</sup>。観測地点の降雨のpHは1994年から98年の間では概ね少し高くなる傾向がみられる。しかし、多くの観測地点ではpHからみると酸性雨となっていること

が示される。降水量は、栃木・佐野・足利の県南地域で少なく、今市・日光の県西では多い傾向が見られる。降水量は地形的な影響によるものと思われる。図3に、栃木県内を東西方向、南北方向の2つにわけた場合の硫酸イオンの月濃度の平均を示す。東西

方向では、日光・烏山が同程度の濃度で、中央部の宇都宮がその2倍の濃度となっている。日光はこの近隣がほとんど森林地帯であるが、烏山は日光より農地が多くなっている。また、中央部の宇都宮は、市街地が多く、交通量・工場の日光や烏山に比べて多く、生産活動が活発である。こうした土地利用の影響が濃度変化に見られる。また、代表月による変化では季節変化が見られる。南北方向では、県北から県南に濃度は高くなっている。月別変化でも同じ傾向を示している。降雨は地形の影響を受ける。県南から、県北にかけて濃度が低下する理由としては、多くの硫酸イオンが県北に行くにしたがって途中で

降下していることが考えられる。

図4に壬生で観測した雷雨降雨について降雨量とpH及びECについて観測結果を示す。図3に1997年に壬生で観測した雷雨の降雨開始時から終了までの10分毎の降雨量とpH, ECについて示す<sup>4)</sup>。この降雨は、日光の山間部で発生した雷雨が平野部まで移動してきたものである。降雨パターンは初期の40分程度に高強度の雨量が降り、それ以降は収束に向かい少なくなっている。また、pH値は各10分間での観測地であるが、どれも5.6以下で、中には4.0とかなりきつい酸性雨である事が示されている。

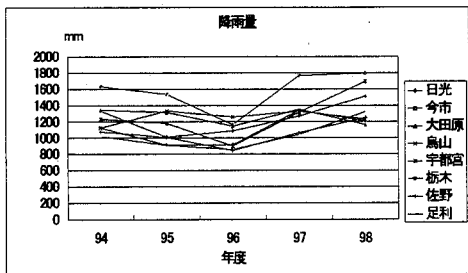
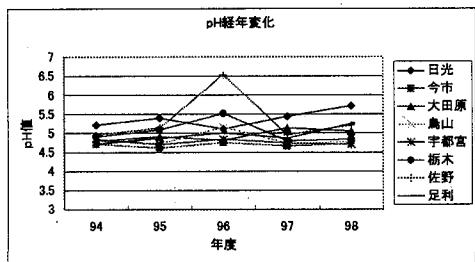


図 - 2 観測地点での降雨の pH 及び雨量

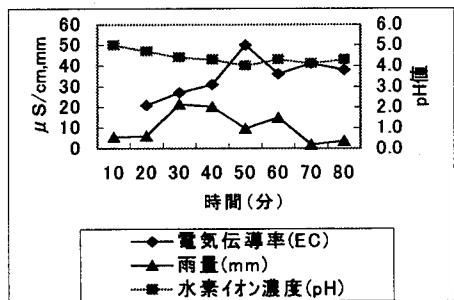


図 - 4 壬生での雷雨開始時からの降雨量、pH 及び EC

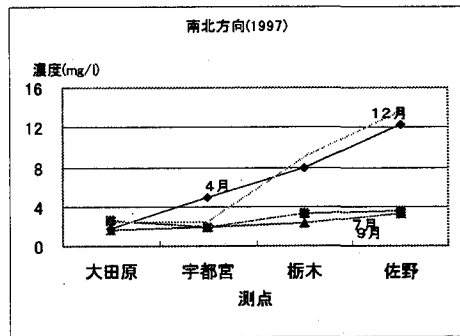
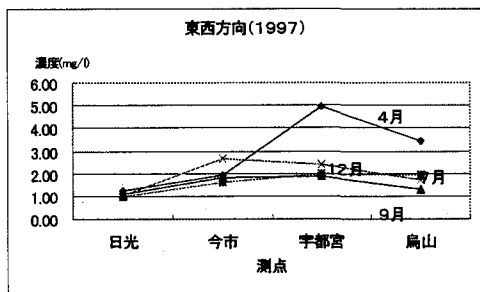


図 - 3 東西方向、南北方向に沿った硫酸イオンの季節の代表月による濃度変化

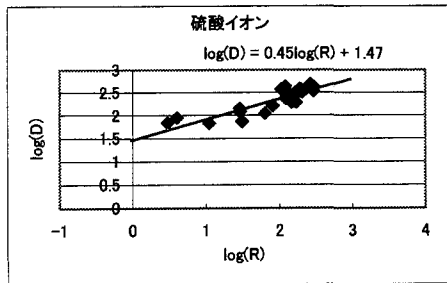


図 - 5 降下物量と降水量の関係 (1998、硫酸イオン)

表1 硫酸イオン・硝酸イオンの  
各観測地点における傾きと切片

	硫酸イオン		硝酸イオン	
	傾き	切片	傾き	切片
日光	0.5788	0.9089	0.5059	0.9327
今市	0.5182	1.3117	0.6516	1.0757
大田原	0.4971	1.3711	0.6346	1.0903
河内(宇都宮)	0.4653	1.4191	0.548	1.2815
鳥山	0.5231	1.2608	0.6174	1.1336
栃木	0.2612	2.0663	0.6112	1.3261
佐野	0.3407	1.9484	0.5861	1.3986
足利	0.5361	1.3749	0.7171	1.0815

EC は降雨量パターンと反対のパターンを示しているが、最大でも  $50 \mu S/cm$  と溶存成分が比較的少ないと思われる。図5に降下物量と降水量の関係を示す。1997、8年度の月ごとの関係が示してある。このグラフから、硫酸イオンの取り込みは、グラフの傾きで示され、0.45である。いろいろな降雨パターンによる除去過程が含まれるが、おしなべてややウオッシュアウトの現象を示しているのではないかと推測される。表1に過去5年間の各観測地点での傾きと切片の一覧を示す。硫酸イオンは傾きが栃木市や佐野の県南で小さく、県西の日光・今市で大きくなっている。このことは、栃木市・佐野では、大気中の酸性化物質は雲低下によって取り込まれるウオッシュアウト現象によって取り除かれることが高いと推測される。一方、その他の地域では係数がそれほど変化しておらず、0.5前後であり、レイニンとウオッシュアウトの混在した除去過程であると推測される。また、硝酸イオンでは、傾きがどれも0.5以上で、ややレイニンが強い傾向であると考えられる。特に、足利では0.7とレイニンが強いと判断できる。切片は降雨が1mmのときの降下物量であると考えられる。硫酸イオンに関しては、栃木・佐野で約  $2 mg/m^2/1mm$  降雨と他の観測地点より多い。このことは、傾きがウオッシュアウト現象を呈していることから、切片でも同じ傾向を示しているのではないかとおもわれる。また、硝酸イオンでは概ね  $1 mg/m^2/1mm$  前後と大きな差は見られないが、栃木・佐野では硫酸イオンと同様に高くなっている。足利では、傾きが約0.7と栃木・佐

野より高いが、切片は約  $1 mg/m^2/1mm$  降雨と少なくなっている。このような差が、地域特性を表しているかと推測される。

#### 4. まとめ

栃木県内の酸性雨降雨の現状について、過去5年間の観測結果から、地域によって特性あることが、pH、降雨量の関係から明らかになった。大気中の汚染物質が降雨に取り込まれる過程は、降雨による除去過程とも考えられる。したがって、降雨に含まれる酸性化物質イオン濃度を測定することにより、取込過程を推測でき、この関係から求められる関係式の傾きと切片が地域特性を表していることを示すことができた。硫酸イオンでは、県南の地域にウオッシュアウト現象が強く、このときの1mm降雨でも降下物量は多い。また、硝酸イオンでも同様な傾向が見られるが、地域により、少しづつ異なった傾向を示している。したがって、イオンによってことなつた除去過程があることが推測された。

湿性沈着は、降水量・地物・風速・気温等の影響によることが多いので、こうした観点からもイオン濃度との関係から検討する必要があると、汚染物質の大気中での濃度の測定や推定及び化学的変化についてさらに検討してゆく必要があると思われる。

最後に、本研究に対して、ご指導・助言及び貴重な資料を提供していただいた栃木県生活環境部環境保全係の皆様へ感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 原 宏:酸性雨とは? :定義とその生成機構, 天気 VOL.42 pp34-111, 1995
- 2) 糸川高德・長谷部正彦・栗山哲也: 栃木県内における酸性降下物の分布特性, 水工論文集, Vol44, pp1137-1142
- 3) T.KUMEKAWA et al : The relationship between rainfall intensity and the distribution of acid rain in a districted area, Proc., of Inter., Congress of Acid Snow and Rain, pp80-85, 1997.10
- 4) 大喜多敏一: 酸性雨, 気象研究ノート 182号, 1994.3
- 5) 福崎紀夫・大泉毅: 湿性沈着の降水依存性からみた除去過程, 環境科学会誌, pp425-430, 1995
- 6) 栃木県大気汚染常時監視測定結果報告書, 1995, 96, 97, 98, 99, 12