

酸性降下物による樹木への影響（第2報）

高野 利一 水上 和子

要 旨

屋敷林の酸性降下物に対する影響を調査するために屋敷林の内外で湿性及び乾性降下物を採取しその成分、濃度等について検討するとともに、降水が樹冠を通過することによる成分濃度、降水量等の変化についても検討した。

林内雨は林外雨に比べ降水pHが高く、 H^+ 降水量としては10分の1以下であった。逆に、 H^+ 以外の成分の降水量は増加しており、特に K^+ 、 Mg^{2+} および Ca^{2+} 等の増加が著しかった。

乾性降下物の降水量を屋敷林の内外で比較すると、 SO_4^{2-} および Ca^{2+} は林内の方が降水量が少なかった。これは樹冠により浮遊粉じん等が捕集されること及び林内での土壌の舞い上がりが少ないことによるものと考えられた。

正味林内雨の成分濃度は、降水量の少ない冬期もしくは春期に高い傾向がみられた。また、正味林内雨の成分降水量は Ca^{2+} を除き、降水量の多い夏期あるいは春期に多い傾向を示した。

ほとんどの成分について正味林内雨の降水量は、林内の降水量に比例し、増加するものと考えられる。しかし、 Ca^{2+} の降水量は降水量以外の変動要因、たとえば葉面に付着している粉じんなどの影響を強く受けるものと推察された。

1 はじめに

酸性雨を主とする酸性降下物によると思われる森林被害や湖沼の酸性化による魚の減少等がヨーロッパや北米において深刻な問題となっている。¹⁾また、日本各地における酸性雨の調査によると、年平均値でpH 4.5前後の降水が観測されており²⁾、生態系への長期的な影響が懸念されている。

酸性の降水は、葉の表面を侵し、葉から養分を溶脱するだけでなく、土壤中にある Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等の栄養分や Al^{3+} など有害な金属イオンを H^+ との交換により溶離させ、植物の成長を阻害することが知られている³⁾。

筆者らは樹木に対する酸性雨の影響に関する基礎的なデータを得ることを目的として、葉からの塩基成分の溶脱試験および屋敷林内外における降水成分の組成調査を1988年の梅雨期を中心に行い、その結果を前報

で報告した⁴⁾。今回、樹冠を通過したことによる湿性および乾性降下物の質的、量的な変化を把握する目的で、前報の調査地点と同じ屋敷林の内外に大気降下物自動採取器を設置し、湿性及び乾性降下物の分別採取を行い、湿性降下物及び乾性降下物の年間降水量、降下物の季節毎の特徴、降水量と降水量との関係等について検討したので報告する。

2 調査方法

調査地は大宮市高木に位置する大宮台地上（海拔約16m）のケヤキ、シラカシ型屋敷林である。この屋敷林は高木のケヤキ、シラカシに加えて少数のスギ、ムクノキおよび低木のヒノキ、スギ、竹等が混在している状況であった。

調査は昭和63年7月から1年間、屋敷林内と林外のそれぞれ一地点において行い、ほぼ2週間に1回の割

合で、湿性及び乾性降下物を採取した。試料の採取には大気降下物自動採取装置（光進電気製KRS.154W）を用いた。屋敷林内では、図1に示すようにシラカシの樹の下、採取部の高さが地上約1.5mとなるように採取装置を設置し、樹冠を通過して林床に達する樹冠通過雨（林内雨）および乾性降下物を採取した。また、林外においても湿性降下物（林外雨）および乾性降下物を採取した。

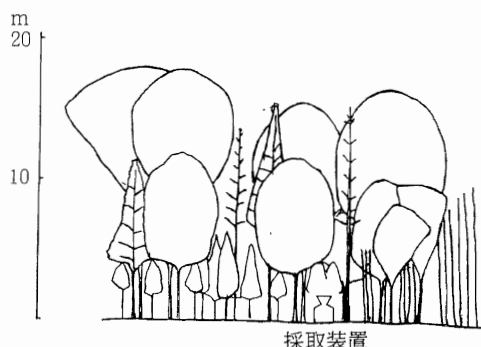


図1 屋敷林内における採取地点の状況

なお、採取した乾性降下物は200mlの蒸留水で抽出し、水溶性成分を分析用試料とした。

降水成分の分析は、pHはガラス電極法、ECは導電率計による方法、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- はイオンクロマトグラフ法、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 及び Mg^{2+} は原子吸光法、 NH_4^+ はインドフェノール法で行った。

3 結果及び考察

3・1 屋敷林内外における降水量

屋敷林内及び林外における降水量の関係を図2に示す。樹冠上に降った雨のうち、一部は葉の表面等に捕集されるが、大部分は樹木の枝、幹をつたわり林床に流達するもの（樹幹流）と、幹をつたわずに樹冠から直接林床に降りそそぐもの（林内雨）とに区分される。

1988年7月5日から1989年7月2日まで、1年間の降下量は林外1682mmに対し、林内では1006mmとかなり少なく、林外雨に対する林内雨の降水量の比は約60%であった。降水試料毎に比較すると、林内における降水量は林外の28%~88%であり、その変動は大きかった。林外の降水量が4.3mmと少ない場合は、林外雨に対する林内雨の降水量の比は28%と非常に小さく、樹冠上

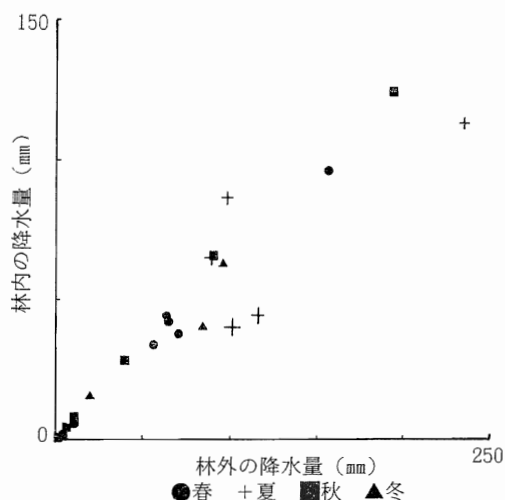


図2 屋敷林内及び林外における降水量

に降り注いだ降水の大部分は枝葉に捕集されたものと思われる。また、林外雨に対する林内雨の降水量の比では、はっきりとした季節変化がみられなかった。この理由として、調査地点が主に常緑樹のシラカシの木の下であり、葉の密度が年間を通してあまり変化しないこと、また、林内雨の降水量は雨量強度や風向、風速、等、気象条件にも影響されることなどが考えられる。

3・2 屋敷林内外における降水成分の濃度及び降下量

降水が樹冠を通過することにより受ける質的、量的な変化について検討した。屋敷林内外における降水成分濃度の年平均値を表1に示す。また、各試料毎の降水pHの変化を図3に示す。林外雨のpHは4.0から6.5にかけて出現し、平均値は4.46であった。これに対し林内雨は5.0から7.1といずれの降水試料も林外雨に比べpHが高く、平均値は5.47であった。

また、pH以外の成分濃度を比較すると、どの成分についても林内雨のほうが林外雨よりも高濃度であった。特に内外の濃度差が大きい成分は K^+ であり、ついで Mg^{2+} 、 Ca^{2+} の順であった。 SO_4^{2-} 、 NO_3^- など陰イオン成分の濃度も林内のほうが高かったが、それ以上に K^+ をはじめとする陽イオン濃度が増加したことにより、林内雨のpHが高くなったものと考えられる。

降水が樹冠を通過することにより、 H^+ 濃度が低下することから、樹木は降水による土壌の酸性化を緩和しているとも言える。しかし、久米らがスギ、ヒノキ等

表1 屋敷林内外における降水成分濃度

	H ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
林内雨	3.4	1.90	2.33	0.57	1.37	0.49	5.75	3.91	2.86
林外雨	34.4	0.46	0.05	0.28	0.19	0.05	1.94	1.46	0.82

1988年7月5日～1989年7月2日

単位 各成分mg/l 但し H⁺ はμeq/l

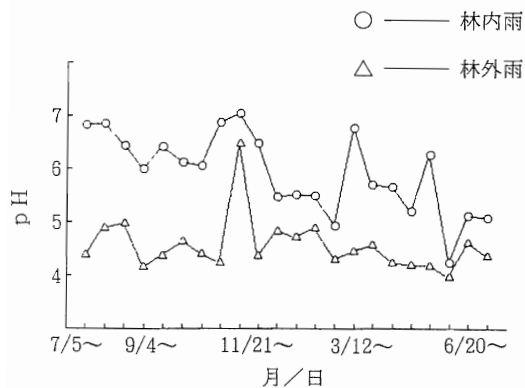


図3 屋敷林内外における各試料毎の降水pH

の針葉樹の樹冠流について行った調査⁵⁾によると、樹冠流のpHは林外雨よりも低くなることが報告されており、樹木の種類によっては森林土壌の酸性化が促進されることも考えられる。

屋敷林内外における湿性降水物の降下量を表2に示す。H⁺の降下量は林外57.8meq/m²・年に対し、林内では3.4meq/m²・年と林外の10分の1以下に減少していた。H⁺以外では、どの成分の降下量も林外よりも林内のほうが多く、K⁺では26倍、Mg²⁺やCa²⁺でも約5倍の降下量差がみられた。また、SO₄²⁻等陰イオン成分の降下量も2倍前後、林内の方が多かった。

表2 屋敷林内外における湿性降水物降下量

	H ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
林内雨	3.4	1.91	2.34	0.57	1.37	0.50	5.79	3.93	2.88
林外雨	57.8	0.77	0.09	0.47	0.33	0.08	3.27	2.46	1.37

1988年7月5日～1989年7月2日

単位 各成分g/m²・年 但し H⁺ はmeq/m²・年

屋敷林内外における湿性降水物のイオン当量構成比を図4に示す。陽イオンと陰イオンの当量比(陽イオン/陰イオン)は林外雨では1.00、林内雨では1.14とイオンバランスが比較的良好に取れていた。陽イオンの構成比をみると、林外雨に対し林内雨ではH⁺の比率がかなり低下し、Na⁺も相対的に低かった。逆に、K⁺、Ca²⁺およびMg²⁺の比率は林内の方が高かった。一方、陰イオン成分の構成比は林内外による差が小さかった。降水の樹冠透過により、林内での陰イオン降下量は増加するが、その成分組成は、もとの降水とほとんど変わらなかった。

3・3 屋敷林内外における乾性降水物の降下量

樹木は枝葉で粉じんを捕集、除去し、大気浄化機能を果たしていると考えられる。ここでは林内外における乾性降水物の違いについて検討した。

屋敷林内外における乾性降水物の降下量を表3に示す。SO₄²⁻及びCa²⁺の降下量は、林外よりも林内の方が少なかった。浮遊粉じん等が樹冠に捕集、除去されること、また、屋敷林の内側では外側に比べ土壌の舞い上がりが少ないこと等の理由により、林内の降下量が林外よりも少なくなったものと考えられる。

これに対しCl⁻、Na⁺、Mg²⁺等は林内と林外の降下量がほぼ等しく、逆にK⁺、NH₄⁺、NO₃⁻では林内の方

が降水量が多かった。樹木の枝葉等からはがれ落ちたものなどが乾性降下物として捕集されたことにより、林内におけるこれらの成分の降水量が多くなったものと考えられる。

乾性降下量のイオン当量構成比を図5に示す。陽イオンと陰イオンの当量比(陽イオン/陰イオン)は、林外1.29,林内1.68であり、陽イオンが多かった。これは分析した項目以外に陰イオンとして CO_3^{2-} 等が含まれていたためと思われる。陽イオンの構成比は、林外に比べ林内では K^+ の比率が高く、逆に Ca^{2+} の比率が低くなっていた。また、陰イオン成分に占める SO_4^{2-} の比率が林外よりも低下していた。

全降水量(湿性+乾性)に対する乾性降下量の比率を図6に示す。林外における全降水量に対する乾性降下量の比率は成分によってかなり異なり、 Ca^{2+} および K^+ では約50%と乾性降下物の比率が高かったが、 Na^+ では14%、 H^+ では1%にすぎなかった。また、陰イオン成分についても SO_4^{2-} では17%、 NO_3^- では12%と乾性降下物の比率は低かった。一方、林内では全降水量

に対する乾性降下物の比率は、林外よりもさらに小さく、 Ca^{2+} では16%、ほとんどの成分が6~10%程度であった。

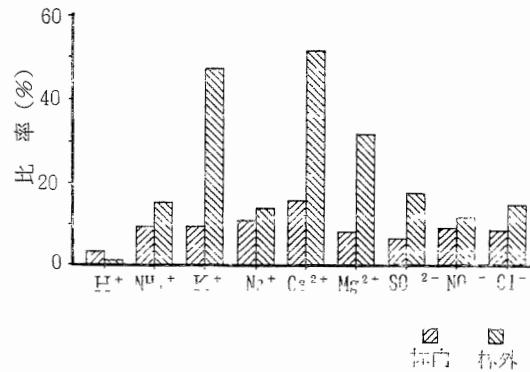


図6 全降水量に対する乾性降下量の比率

表3 屋敷林内外における乾性降下物降水量

	H^+	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-
林内雨	0.1	0.20	0.24	0.07	0.26	0.05	0.33	0.40	0.20
林外雨	0.6	0.14	0.08	0.07	0.34	0.04	0.69	0.32	0.23

1988年7月5日~1989年7月2日

単位 各成分 $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ 但し H^+ は $\text{meq}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$

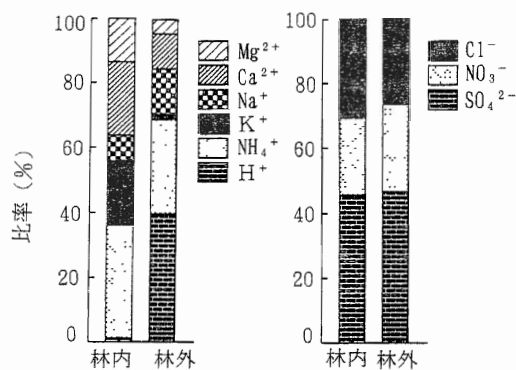


図4 屋敷林内外における湿性降下物のイオン当量構成比

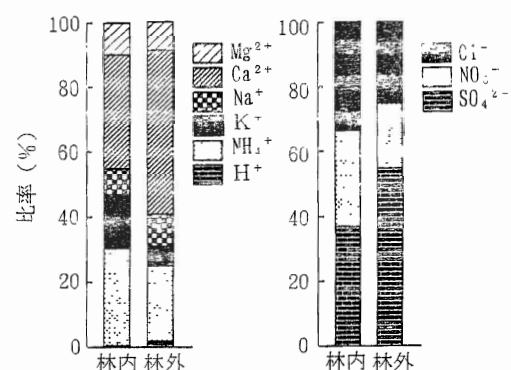


図5 乾性降下物のイオン当量構成比

3・4 降水成分濃度及び降下量の季節変化

浦和における調査⁹⁾によると降水成分のpHは冬期よりも夏期に低くなる傾向を示す。また、樹木の成長は季節により異なり、これらが林内雨にも成分にも影響をおよぼすものと考えられる。そこで屋敷林内外における湿性降下物の季節変化をみることにした。

また、林内の湿性降下物は、降水に由来する成分に、植物体から溶脱した成分及び樹冠に捕集された粉じん等の洗い落しによる成分が加わったものと考えられる。そこで林内雨の降水量から、降水に由来する成分の降下量を差し引き、降水が樹冠を通過したことによる降下量の増加分（以下、正味林内雨⁷⁾の降下量と表す）を求め、樹冠を通過したことによる降水成分の変化を、よりはっきりとさせた。

林外雨及び正味林内雨の季節別成分濃度を図7に示す。なお、季節の区分は春期を3月-5月、夏期を6月-8月、秋期を9月-11月、冬期を12月-2月とした。林外雨の成分濃度はH⁺が春期に高く、これ以外の各成分は春期または冬期に高い傾向を示すものが多かった。

一方、正味林内雨の濃度は、ほとんどの成分が降下量の少ない冬期あるいは春期に高い傾向を示した。冬期の濃度が高いのはSO₄²⁻、Ca²⁺等であり、K⁺は春期に高かった。

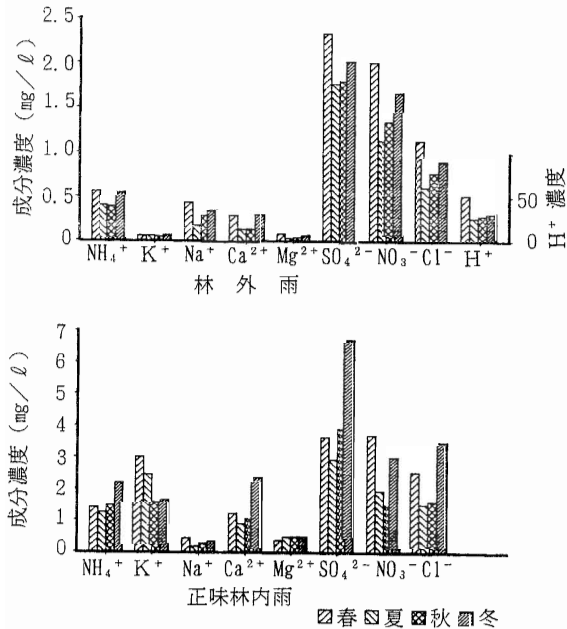


図7 林外雨及び正味林内雨の季節別成分濃度

林外雨及び正味林内雨の季節別成分降下量を図8に示す。林外雨の各成分降下量をみると、SO₄²⁻は降水量の多い夏期に多く、NO₃⁻、Cl⁻及びNH₄⁺は春期と夏期に多い傾向が見られた。

これに対し正味林内雨では、SO₄²⁻、NH₄⁺の降下量は夏期に多く、林外雨と同じような傾向を示したが、季節変化は林外雨に比べ小さかった。またNO₃⁻、Cl⁻も降水成分と同じように、春期と夏期に降下量が多かった。NH₄⁺以外の陽イオン成分では、K⁺は春期と夏期の降下量が多く、Ca²⁺は季節変化が小さいなどの特徴を示した。

全体的にみて、正味林内雨は降下量の少ない冬期もしくは春期に濃度が高く、降水量の多い夏期あるいは春期に降下量が多いなどの特徴を示した。

アディロンダック山脈における森林内での調査⁹⁾によると林内雨のK⁺は植物の成長期に高い濃度を示している。本調査においても、K⁺は濃度、降下量とも春期および夏期に大きいことから、降下量の影響以外に気温や成長期等、植物の生理的な状態の影響を受けることが推察される。

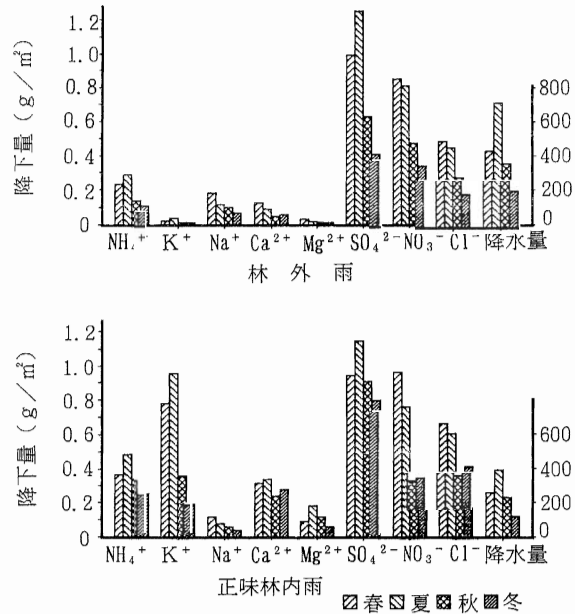


図8 林外雨及び正味林内雨の季節別降下量

3・5 正味林内雨の降水量と降下量との関係

正味林内雨の降下量は、降水量の多い夏期に多くなる傾向を示すことから、降水量と降下量との関係について検討した。

正味林内雨の降水量と降下量との相関関係を表4に示す。ほとんどの成分で降水量と降下量との間に正の相関が認められることから、降水量が増加するにつれイオン成分の降下量も増加するものと考えられる。降水量との相関が特に高いのは K^+ 、 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 等であり、反対に、 Ca^{2+} 、 Cl^- では相関が低かった。

ここで降下量との相関が最も高かった K^+ と相関が低かった Ca^{2+} について、正味林内雨の降水量と成分降下量との相関を図9に示す。 K^+ の降下量は降水量が多くなるにつれ増加する傾向がみられた。これに対し、 Ca^{2+} はある程度まで降水量の増加にともない、降下量も増加傾向を示すが、ばらつきが大きく、試料採取期間における降水量が80mm以上の場合、ほとんど降下量の増加が認められなかった。 K^+ と Ca^{2+} の植物体での存在形態の違いによる溶脱量の差、あるいは葉面

付着粉じんの洗い落しによる降下量の差などの影響が現れたものと思われる。

4 まとめ

屋敷林内外において湿性及び乾性降下物の調査を行い、林内雨と林外雨の性状の違い、降下量の季節変化、降水量と降下量との関係、林内外における乾性降下量の違いについて検討した結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 林内雨は林外雨に比べpHが高く、 H^+ の降下量としては林外雨の10分の1以下であった。 H^+ 以外の成分では林内雨の降下量のほうが多く、特に K^+ では20倍、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} でも数倍の降下量の差がみられた。
- (2) 乾性降下量を林内外で比較すると、林内の降下量が少ない成分は SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} であった。

また、全降下量に対する乾性降下量の比は、林外における Ca^{2+} 、 K^+ 及び Mg^{2+} を除いて、林内及び林

表4 正味林内雨の降水量と降下量との相関関係

	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-
降水量との相関関係	0.58 ◎	0.66 ◎	0.47 ○	0.40	0.56 ◎	0.51 ○	0.45 ○	0.41

◎有意水準1%で有意

○有意水準5%で有意

n=22

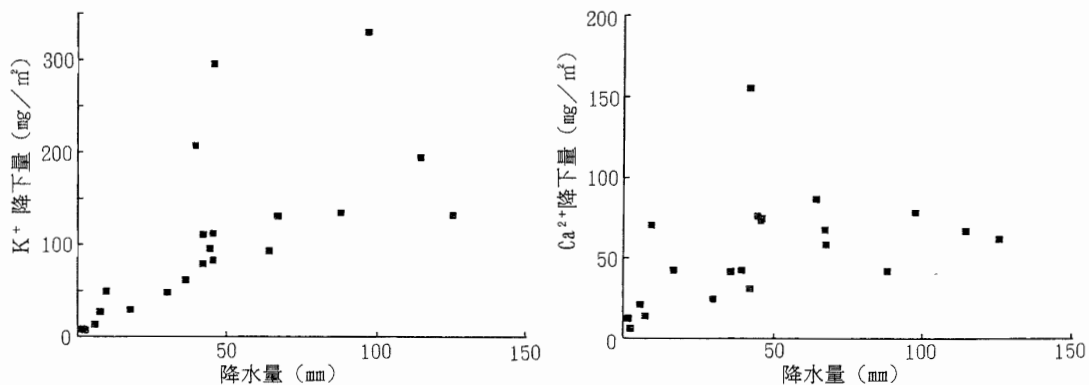


図9 正味林内雨の降水量と降下量との関係

- 外とも全降下量の10%~20%とかなり小さかった。
- (3) 季節別に正味林内雨の降下量をみると、ほとんどの成分が夏期及び春期に降下量が多く、同時にこれらの季節は林外雨の降下量も多かった。
- (4) Ca^{2+} と Cl^- を除いた、ほとんどの成分について正味林内雨の降下量は、林内の降水量との間に正の相関がみられることから、降水量に比例し、増加するものと考えられた。

文 献

- 1) 田村 明：酸性雨，新曜社(1986)
- 2) 環境庁酸性雨問題連絡会議：第一次酸性雨対策調査について，1989
- 3) 大喜多敏一：欧州における酸性雨問題の現状と動向，公害と対策，**23**，15~21，1987
- 4) 水上和子・高野利一：酸性降下物による樹木への影響(第一報)，埼玉県公害センター研究報告，[15]，49~56，1988
- 5) 久米一成ら：スギ，ヒノキの樹冠を流れる雨水成分の性質について，静岡県衛生環境センター報告，[31]，33~39，1988
- 6) 高野利一・水上和子：降水成分の汚染特性について，埼玉県公害センター研究報告，[14]，70~75，1978
- 7) C.T. Garten, Jr., E.A. Bondietti and R.D. Lomax: Contribution of foliar leaching and dry deposition to sulfate in net throughfall below deciduous trees, *Atmospheric Environment*, **22**, 1255-1516, 1988.
- 8) A.V. Molliter and D.J. Raynal: Atmospheric deposition and ionic input in Adirondack Forests. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, **33**, 1032-1036, 1983