

人工酸性霧暴露による樹木葉からの無機イオン成分の溶出

武田麻由子, 相原敬次, 阿相敏明
(大気環境部)

Note

Leakage of Cation Species from Leaves by Exposure of Simulated Acidic Fog

Mayuko TAKEDA, Keiji AIHARA, Toshiaki ASO
(Air Quality Division)

キーワード：人工酸性霧暴露，ブナ，葉内成分分析

1. はじめに

大山のモミ林や丹沢山地のブナ林の衰退が顕著となっており、森林衰退の原因究明が行われている。大山のモミに関しては、年輪調査から樹木の枯損時期が1960年～1970年頃と推定され、高濃度の二酸化硫黄、オゾン、酸性度の高い霧が発生し、大気汚染が深刻であった時期と一致することが示された。また、現地調査から、その時期にハラカマイマイという害虫が大量発生していたことが確認され、大山南東斜面のモミ林の衰退は、大気汚染と病害虫の複合影響によるものと推定された¹⁾。一方、丹沢のブナ林に関しては、現地調査や航空写真による調査から、南斜面で衰退が激しく、特に突出木や林縁木が立ち枯れている実態が明らかになっている²⁾。

一般に、森林衰退の原因として、乾燥による水ストレスなど気象要因や樹木自体の老齢化、病虫害や鹿の食害などと共に、大気汚染物質の影響が推定されている。丹沢大山地域には、首都圏から光化学オキシダントや硫酸化物、窒素酸化物などの大気汚染物質が移流していることが示されている^{3), 4)}。また、この地域では、pHの低い霧や汚染物質が高濃度に含まれた霧が高い頻度で観測されている^{5), 6)}。これら大気汚染は、窒素過剰、カリウム・マグネシウム欠乏などを引き起こし、直接的、又は間接的、複合的に森林衰退に作用しているものと考えられている。本研究では、まず酸性霧に着目した。

霧水は、雨水に比べて環境大気中における滞留時間が長いこと、都市域で発生し山間地へ移流した大気汚染物質を多く取り込むことになる。しかも水分の蒸発に伴い汚染成分が濃縮されるため、酸性度が高くなることがある。この高濃度に汚染

された霧水は植物など生態系への影響が無視できないものとする。また、pHが同じでも、酸性雨に比べて酸性霧の方が植物に対する影響が大きいことが報告されている⁷⁾。

人工酸性霧を植物に暴露した実験はいくつか行われ、酸性霧暴露により葉のクチクラワックスが破壊され、水分が過剰に蒸散されたり、茎の成長が抑制されたり⁸⁾⁹⁾、植物によっては葉のクロロフィルが破壊される¹⁰⁾ことなどが明らかになってきている。しかし、試験対象樹木として過去に被害のあったスギやマツ、とうひを対象にしている場合が多く、丹沢で現在衰退が問題となっているブナを扱った例は少ない。また、人工酸性霧として硝酸、硫酸あるいは塩酸のみで調整した溶液を用いている場合がほとんどである。

そこで、本研究では、丹沢で衰退が問題となっているブナ（落葉広葉樹）を対象とし、当地域で観測された霧水の化学成分をモデルにした人工酸性霧を調整し、これを樹木の葉に直接的に暴露することによって、葉からの溶出成分と葉内の無機イオン成分の変化から酸性霧のブナへの影響を検討した。一方、丹沢大山地域では、常緑広葉樹には衰退が確認されていないことから、常緑広葉樹のうちサザンカを用い、落葉広葉樹と常緑広葉樹に対する酸性霧の影響の差異を比較検討した。

2. 実験方法

2. 1 試験対象樹木

丹沢産一年生のブナの苗及び三年生のサザンカの苗を実験に用いた。それぞれ個体は黒ボク土を充填した1/5000 アール及び1/10000 アールのプラスチック製ワグネルポットに植え付けた。なお実験には植え付け後6ヶ月以上経過した、葉の形

表 1 人工酸性霧の成分濃度

	pH	EC (μ S/cm)	イオン成分濃度 (mmol/l)							
			Na+	NH ₄ +	K+	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
西丹沢の霧	2.72	1361	0.40	2.7	0.13	0.14	0.42	0.88	4.0	2.6
人工酸性霧	2.86	1360	0.87	4.5	0.54	0.18	0.53	1.1	2.4	3.9

や色など正常な個体を選定した。また、人工酸性霧の暴露前約 1 週間は、昼間 (AM6:00 ~ PM6:00) の気温 25℃、湿度 70%、夜間 (PM6:00 ~ AM6:00) の気温 15℃に設定した人工光型植物実験用人工環境装置 (コイトトロン KG-50MLA : 高さ 1.8m、幅 1.2m、奥行き 0.8m) 内で個体を馴化した (写真 1 参照)。



写真 1

2. 2 人工酸性霧の調製

人工酸性霧は、平成 7 ~ 9 年に西丹沢で採取した霧のうち、もっとも酸性度が高かった霧水のイオン成分濃度に近似させて調製した。なお、調整に用いた硫酸アンモニウム、水酸化ナトリウム、硝酸カリウム、塩化ナトリウム、塩化カルシウム、塩化マグネシウム六水和物、硝酸、硝酸アンモニウムの各試薬は特級のものを使用した。人工酸性霧の成分濃度を表 1 に示す。比較対照用として蒸留水を用いた。

2. 3 実験方法

2. 3. 1 人工酸性霧の暴露

人工酸性霧の暴露は霧吹きを使用し手で噴霧する方法とした。ポットに植えた樹木の葉に対しては、連続 4 日間、1 日 1 回 50ml の人工酸性霧を暴露した。また、葉が 3 枚ついた枝を枝ごと切り取り、切り口をパラフィンで封じたサザンカに対し、人工酸性霧を 5ml 暴露した (写真 2 参照)。酸性霧暴露時に、葉などから滴り落ちた水滴を回収し、0.8 μ m のメンブレンフィルター (Millipore 製) でろ過後、溶出成分の分析用試料とした。

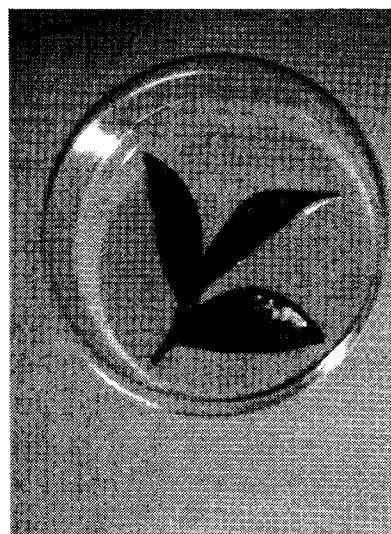


写真 2

2. 3. 2 葉からの溶出成分分析

溶出成分の分析はイオンクロマトグラフィー (Dionex 社製 SERIES 4500i) を用い、無機イオン成分 (ナトリウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオン) について分析した。

葉からの溶出は、人工酸性霧が葉面に接触した瞬間に行われると考え、葉に残った水滴と葉から滴り落ちた水滴は等濃度であると仮定し、溶出量は次式より計算した (図 1 参照)。

$$X = (a - b) \times C_b - a \times C_a + b \times C_b$$

$$= a \times (C_b - C_a)$$

a : 暴露液量 (ml)、b : 滴下液量 (ml)、Ca : 暴露液濃度 (μ g/ml)、Cb : 葉面との接触後の水滴の濃度 (μ g/ml)

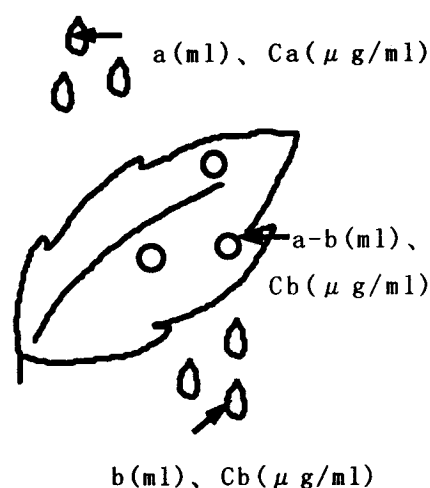


図 1 溶出機構の模式図

2. 3. 3 葉内無機イオン成分分析

樹木から採取した3枚の葉は、70℃、24時間乾燥後の乾重量を測定後、マイクロウェーブ法による酸分解を行った。マイクロウェーブ法による酸分解は、硝酸5ml、過酸化水素1mlを添加して実施した。分解終了後の酸分解物をビーカーに入れ、120℃のサンドバスを用いて蒸発乾固を行い、硝酸(2+98)で25mlに定容後、フレイム原子吸光法で無機イオン成分(ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム)について分析し、葉内の無機イオン成分含有量を求めた。

3. 実験結果

3. 1 葉からの無機イオン成分の溶出

人工酸性霧暴露による、無機イオン成分の葉からの溶出量を求めた。結果を図2に示す。ブナ及びサザンカのいずれにおいても、人工酸性霧を暴露することにより、カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオンが葉内から溶出してくることが示された。

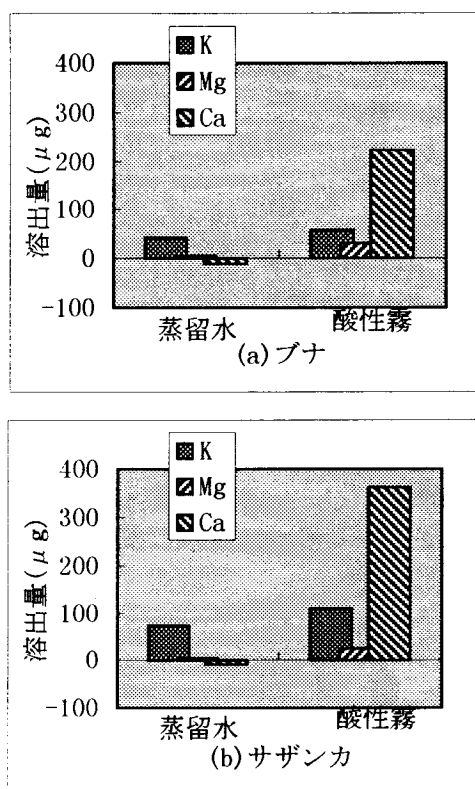


図2 人工酸性霧曝露による無機イオン成分の溶出

3. 2 葉内含有量の変化

原子吸光により、酸性霧暴露前後の葉内のカリウム等陽イオンの含有量を測定した。葉の乾燥重量1gあたりの陽イオン含有量の結果を図3に示す。ブナの場合、人工酸性霧の暴露回数が増えるに従い、葉の乾燥重量1gあたりの陽イオン含有

量は減少する傾向が見られた。一方、サザンカでは、人工酸性霧の暴露回数と葉の乾燥重量1gあたりの陽イオン含有量に相関関係は見られなかった。このことから、落葉樹(ブナ)と常緑樹(サザンカ)では酸性霧による影響が異なることが示唆された。また、ブナ及びサザンカのいずれにおいても、本実験の期間中には可視被害は観察されなかった。

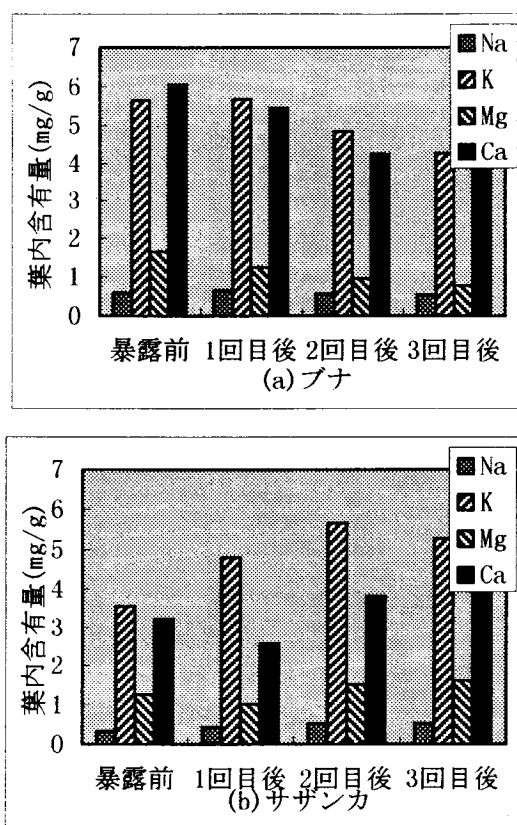


図3 葉内含有量変化

3. 3 サザンカにおける無機イオン成分の溶出率

切り口を封じ、葉内からカリウム等が溶出した場合に根から補填されないときのサザンカの無機イオン成分の溶出量と人工酸性霧暴露後の葉内含有量から、溶出率を次式のように求めた。

溶出率 = $\frac{\text{溶出量}}{(\text{溶出量} + \text{人工酸性霧暴露後の葉内含有量})} \times 100$

本実験においても、人工酸性霧を暴露することにより、葉内から無機イオン成分が溶出することが確認された。サザンカの場合、一回の酸性霧の噴霧に対して溶出してくる量は、最も溶出しやすいナトリウムで11.6%、最も溶出しにくいカリウムで0.3%であった(表2参照)。

4. まとめ

今回の実験から、酸性霧の暴露により、ブナ及びサザンカのいずれにおいても無機イオン成分が

表2 葉からの溶出量と葉内含有量の割合

項目	乾燥重量あたりの 陽イオン含有量(mg/g)	溶出率(%)	
		蒸留水曝露時	人工酸性霧曝露時
Na	2.4	1.8	11.6
K	6.5	0.0	0.3
Mg	2.4	0.0	2.5
Ca	4.1	0.0	1.6

溶出してくることが確認された。しかし、サザンカにおいては、他の部分からの転流や根からの吸収によって、葉内含有量はそれほど低下していない。また、ブナ及びサザンカのいずれにおいても可視被害は見られていないことから、人工酸性霧の暴露による無機イオン成分の溶出は、直接に樹木の枯死を誘導しているわけではないことが示唆された。しかしながら、無機イオン成分の溶出は、特定器官の機能低下につながる可能性もあり、特に他のストレスに対する抵抗性低下への関与も考えられる。これら複合影響への関与については、今後検討を要する課題である。

参考文献

- 1) 神奈川県環境部：酸性雨に係る調査研究報告書(1994)
- 2) 阿相敏明、相原敬次、青山尚巳、菊川城司、須山芳明、大道章一：高濃度大気汚染生成機構の解明に関する研究－神奈川県西部地域の光化学オキシダント生成機構解明調査－、神奈川県環境科学センター年報28、29(1996)
- 3) 阿相敏明：高濃度大気汚染生成機構の解明に関する研究－西丹沢における気流調査－、神奈川県環境科学センター年報29、33(1997)
- 4) 阿相敏明：高濃度大気汚染生成機構の解明に関する研究－西丹沢におけるエアロゾル調査－、神奈川県環境科学センター年報30、35(1998)
- 5) 阿相敏明：酸性霧の発生機構の解明－酸性霧と大気汚染物質及び気象要因との関係－、神奈川県環境科学センター年報29、33(1997)
- 6) 阿相敏明：酸性霧の発生機構の解明－酸性霧と大気汚染物質及び気象要因との関係－、神奈川県環境科学センター年報30、35(1998)
- 7) 小林卓也、松村秀幸、河野吉久：F0804C 電力中央研究所我孫子研究所報告 No. U94025、p46(1994)
- 8) Crosseley A., Sheppard L. J., Cape J. N., Smith R. I., Harvey F. J. : Stem growth reduction in mature sitka spruce trees exposed to acid mist, Environmental Pollution, 96(2), 185-193(1997)
- 9) Carreira J. A., Harrison A. F., Sheppard L. J., Woods C. : Reduced soil P availability in a Sitka spruce(Picea sitchensis (Bong.) Carr) plantation induced by applied acid-mist:Significance in forest decline. , Forest Ecology and Management, 92(1-3), 153-166(1997)
- 10) Kim G. T., Um T. W. : Effects of artificial acid mist on leaf injury and surface wettability of several broad-leaved species. , Journal of Korean Forestry Society, 85(4), 577-585(1996)