

大台ヶ原山における夏～秋7ヶ月間の酸性霧測定

河野 仁, 井上 亮, 江口加奈子

兵庫県立大学 環境人間学部 社会環境部門

Collection of acid fog at Mt. Odaigahara for seven months in summer and autumn

Hitoshi KONO, Ryo INOUE and Kanako EGUCHI

School of Human Sciences and Environment

University of Hyogo

Abstract

Samples of fog water were collected from Mt. Odaigahara (altitude: 1600m) for five months in summer and autumn in 2002 and two months in summer and autumn in 2001.

The concentration of NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} in the fog water were measured. The maximum NO_3^- concentration was 160mg/l and the maximum nss- SO_4^{2-} concentration was 140mg/l and the minimum pH was 3.1. The concentration of NO_3^- and SO_4^{2-} were compared with the same data collected at Mt. Akagi, Mt. Haruna and Mt. Rokko. The result of comparison was that the concentrations of NO_3^- and SO_4^{2-} in the fog water collected at Mt. Odaigahara were similar to those collected at Mt. Akagi, Mt. Haruna and Mt. Rokko where high concentrations of NO_3^- and SO_4^{2-} were observed. However, the concentrations of NO_3^- and SO_4^{2-} in the rain collected at Mt. Odaigahara were smaller than the average rain data in Japan.

Key word: acid fog, mountain, Odaigahara

1. はじめに

近年日本の山岳地域では樹木の立ち枯れが問題となっており、高濃度の硝酸イオンや硫酸イオンを含む酸性霧による影響が考えられている(例えば中川・小林, 2001¹⁾, 野内, 1990²⁾). 奈良県の大台ヶ原山系, 大峰山系も樹木の立ち枯れが進行しており(玉置, 1997³⁾, 前, 2004⁴⁾), 日本有数の自然林の破壊が懸念されている。霧は樹林に衝突し, その結果, 霧水が樹林に捕捉される。その量は年間で降雨を上回る水分補給があることが, 標高 900m の六甲山において観測されている(小林ら, 1999)⁵⁾。標高の高い大台ヶ原山(標高 1600m)では低山よりも雨雲に入る時間が長く, 霧水の負荷が大きいことが予想される。大台ヶ原山における酸性霧, 雨の調査は奈良県衛生研究所の松本ら(1997)⁶⁾によって, 酸性雨総合モニタリング調査が行われているが, バッチ式のサンプリングであり, 7日間の積算値が観測されている。本調査は, 奈良県衛生研究所による霧中の陽及び陰イオン濃度調査項目とほぼ同じ内容であるが, この調査よりはやや細かな時間変化で濃度を観測している。山岳における霧の継続的観測は, しばし

ば落雷による停電がある中で, 電源の確保や定期的なメンテナンスに多大な労力と時間が掛かることから容易ではなく, 本観測結果も貴重なデータであると考えられるので, ここに報告するものである。

さらに, 本研究では霧に含まれる硝酸イオン, 非海塩性硫酸イオン濃度について, 大台ヶ原山と他の山岳地域における観測値と比較を行った。

2. 調査方法

2.1 捕集方法

霧, 雨の捕集場所は奈良県大台ヶ原山頂上に近い大台山の家の敷地内(標高約 1600m, 図 1)で行った。霧の採取期間は 2001 年 7 月 7 日, 8 日, 7 月 17 日～8 月 31 日, 9 月 1 日, 11 月 9 日と 2002 年 6 月 11 日～11 月 12 日のほぼ 7 ヶ月間である。霧の採取には霧水センサー付き自動霧水捕集機(臼井工業研究所製 細線式 FWG-21)を使用した。霧水センサーは霧が発生すると自動的に吸引ポンプを作動させて霧水を捕集する。集めた霧水は 50ml ポリ容器に採取し, ポリ容器が一杯になると, 自動的に次のポリ容器に採取する。自動霧捕集

機にはサンプル保管用の冷蔵庫が据え付けられてあり、一定数のポリ容器、霧水のサンプルを保管できる。2002年の観測では、約1ヶ月に1回サンプル回収を行い、1回で55~75本のサンプルを回収した。5ヶ月間の観測により延べ389サンプルを採取した。なお、今回は吸引ポンプのスイッチの開閉時刻を記録する時計が壊れていたために、霧水の採取日時は不明である。採取日時に関するデータは、サンプルの回収日から次の回収日までの期間に測定したという情報のみである。

雨の採取については、霧のサンプルの交換を行った際に雨が降っていれば採取を行った。2001年については7月7日、8日、9月1日、16日に採取を行い、7サンプルを採取した。2002年については、6月11日と9月6日に採取を行い、2サンプルを採取した。雨の採取については、直径18センチのロートで雨を受け、ポリ容器に採取した。

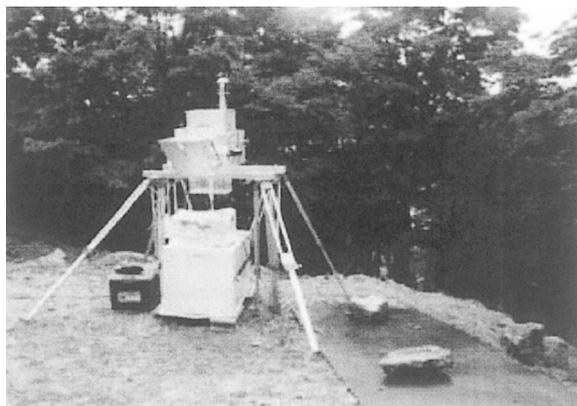


図1 大台ヶ原山、霧のサンプラー設置地点

2.2 分析方法

分析法は環境庁の酸性雨調査法(環境庁, 1993)⁷⁾に基づき、サンプルを孔径 0.20 μm のろ紙(PTFE, Tokyo Roshi Kaisha)で濾過し、霧水中に含まれる陽イオン5項目(Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), 陰イオン3項目(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻)と pH について分析を行った。分析機器はイオンクロマトグラフ法(DIONEX 社製, DX-120)を用いた。標準液には陽イオン混合標準液IV及び陰イオン混合標準液II(関東化学株式会社製)を用いた。pH測定にはガラス電極法(堀場製作所製, D-21)を用いた。校正にはpH7に中性リン酸 pH 標準液を、pH4にはフタル酸 pH 標準液(関東化学株式会社製)を用いた。

霧サンプル分析においては、労力を省くために、採取順に3サンプルおき、又は4サンプルおきに分析を

行った。分析総数は112サンプルである。雨についてはすべてのサンプルを分析した。非海塩性硫酸イオン「nss-SO₄²⁻」濃度の推定は同文献(環境庁, 1993)⁷⁾に基づき、(nss-SO₄²⁻)=(SO₄²⁻)-0.251(Na⁺)とした。

分析結果の信頼性を確認するために同文献(環境庁, 1993)⁷⁾の精度管理で用いられているイオンバランス法で確認を行った。

霧水は電氣的に中性となることから、降水中の陽イオン(Cation, 以下Cとする)と陰イオン(Anion, 以下Aとする)で等量濃度の総和は等しくなる。このことを利用して、

$$C = [Na^+] + [NH_4^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$$

$$A = [Cl^-] + [NO_3^-] + [SO_4^{2-}]$$

とし、 $0.8 \leq C/A \leq 1.2$ であるかを確認した。これから外れた分析結果は再び分析を行った。ここで、[]内は当量濃度とする。本研究では濃度の時間変化を見るために、再分析後、 $C/A < 0.8$, $C/A > 1.2$ のデータも解析に使用した。なお、C/Aの値は付表のデータ一覧に記した。

3. 結果と考察

3.1 霧に含まれる硝酸イオン、非海塩性硫酸イオン濃度の他の山岳との比較

大台ヶ原山の霧に含まれる硝酸イオン、非海塩性硫酸イオン濃度の平均値について群馬県赤城山、榛名山、兵庫県六甲山の測定データと比較した結果を図2に示す。また、図2のデータの説明を表1に示す。群馬県赤城山、榛名山は、関東地方で発生した大気汚染物質を含んだ pH の低い霧が発生することで知られている(池田ら, 1995)⁸⁾。また、兵庫県六甲山の麓には大気汚染物質の排出量の多い神戸、尼崎、大阪などの大都市があり、酸性霧による樹木への影響が心配されている山である(小林ら, 2002)⁹⁾。

硝酸イオンに関して、今回の大台ヶ原山の測定値②は奈良県衛生研究所による異なる観測期間の測定値①と比べて1/2程度である。大台ヶ原山の①と②の観測値の平均値は榛名山の1/3程度であるが、赤城山や六甲山とは同程度である。非海塩性硫酸イオンに関して、大台ヶ原山①の濃度は、最も高く、大台ヶ原山の①と②の平均値は赤城山、榛名山、六甲山と同程度である。以上のことから、大台ヶ原山の霧は他地域と比べて、硝酸イオンよりも硫酸イオンによる汚染が進んでいると思われる。

表2は大台ヶ原山の霧の pH, NO₃⁻, SO₄²⁻濃度について

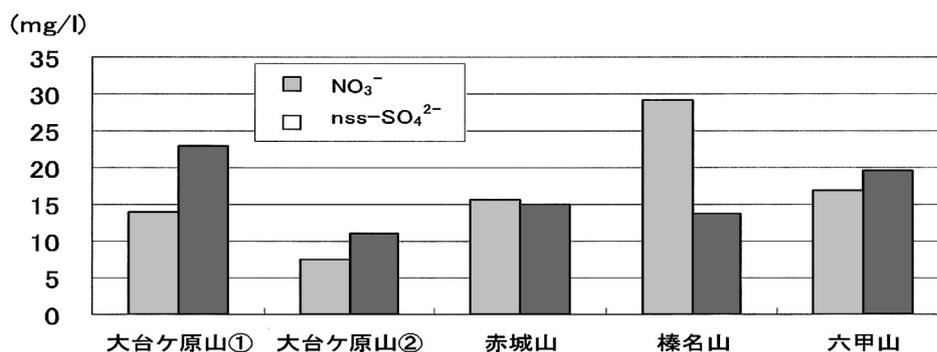


図2 霧に含まれる硝酸, 非海塩性硫酸イオン濃度の平均値

表1 データの場所, 測定期間

場所	県名	採取期間	観測者
大台ヶ原①	奈良県	1995年 5～10月	奈良県 ⁶⁾
大台ヶ原②	奈良県	2001, 2002年 6～11月	本研究
赤城山	群馬県	1998～2000年 5～12月	群馬県 ^{10, 11, 12)}
榛名山	群馬県	1998, 2000年 5～11月	群馬県 ^{10, 12)}
六甲山	兵庫県	1995年 6～11月	兵庫県 ¹³⁾

て本研究と奈良県調査データ⁶⁾の比較したものである。奈良県調査データは7日間の平均値であるが、本研究では1サンプルの採取時間が50mlのポリ容器が満タンになる時間であり、平均化時間が異なる。大台ヶ原山での観測ではタイマーの故障のために、時間記録が得られていない。しかし、六甲山では兵庫県¹³⁾が同機種の霧サンプラーで採取しており、六甲山の同期間の観測データでは、50mlのポリ容器が満タンになる時間は平均1.96時間であり、全データ309サンプルの91%は、30分～4時間で満タンになっている。なお、最短は4.2分で満タンであった。大台ヶ原山においても、50mlのポリ容器が満タンになる時間は六甲山と同じオーダーであると思われる。

本研究で得られた大台ヶ原山のNO₃⁻濃度の最大値は160mg/l, SO₄²⁻濃度の最大値は142mg/l, pHの最小値は2.90(2001年)である。本研究は奈良県の調査と比べて、1サンプルの採取時間が短いため、NO₃⁻, SO₄²⁻濃度の最大値は本研究が大きく、最小値は本研究が小さい。なお、奈良県の調査データにはnss-SO₄²⁻濃度が記載されていないので、ここではSO₄²⁻濃度で比較しているが、大台ヶ原山の観測データでnss-SO₄²⁻濃度とSO₄²⁻濃度の差は小さいので、両者はほぼ同じと見なせる。

3.2 大台ヶ原山と六甲山の霧に含まれるNO₃⁻, nss-SO₄²⁻濃度変動の比較

大台ヶ原山と兵庫県六甲山の霧(兵庫県, 1996)¹³⁾

表2 大台ヶ原山の霧のpH, NO₃⁻, SO₄²⁻濃度について本研究と奈良県調査データ⁵⁾の比較

観測者	観測期間	n	pH			NO ₃ ⁻ (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)		
			平均	最小	最大	平均	最大	最小	平均	最大	最小
本研究	02/6～11	112	4.84	3.11	7.21	7.4	160	0.07	10.4	142	0.17
奈良県	95/5～10	12	4.69	3.38	6.60	13.9	34.6	1.58	24.2	82.1	5.02

に含まれる NO_3^- , nss-SO_4^{2-} 濃度変化の比較を行った。結果は図 3, 図 4 に示す。また、大台ヶ原山の詳細な分析結果は巻末の資料集に載せる。採取期間、サンプル数 n , 平均値, 最大値, 最小値, 変動係数 CV は表 3 に示す。大台ヶ原山の採取期間は採取月のみを表した。本研究の大台ヶ原山の霧の観測方法は、50ml を 1 サンプルとして採取する方法をとっているため、六甲山の霧のデータもこれにあわせて 50ml を 1 サンプルとして表示した。ここで、図 3 と図 4 の横軸の時間スケールは一致していないことに注意が必要である。

大台ヶ原山の NO_3^- の最大値は 160mg/l, nss-SO_4^{2-} の最大値は 140mg/l である。それに対して、六甲山の NO_3^- 最大値は 235mg/l, nss-SO_4^{2-} 最大値は 198mg/l である。変動係数 (=標準偏差/平均値) は、 NO_3^- が nss-SO_4^{2-} の 1.3 倍 (大台ヶ原山), 1.2 倍 (六甲山) と NO_3^- が大きい。これは、 NO_3^- が nss-SO_4^{2-} と比べて、汚染のスケールが小さく、空間的な変動が大きいことに対応していると考えられる^{15) 16)}。

3.3 雨に含まれる硝酸イオン, 非海塩性硫酸イオン濃度

奈良県の調査による大台ヶ原山の雨に含まれる硝酸イオン, 非海塩性硫酸イオン濃度の年平均値を図 5 に示す。また図 5 のデータの説明を表 4 に示す。また、大台ヶ原山の本研究での雨の分析結果はデータ数が少ないので参考までに付表 4 に載せた。対比のために、全国の硝酸イオン, 非海塩性硫酸イオン年平均値データ (地点平均値と標準偏差, 最大値, 最小値) と大阪のデータ (年平均値) を記載した。なお、大阪は冬季大台ヶ原山の風上(北西)に位置する。(夏季については 3.4 節参照)

大台ヶ原山の硝酸イオン年平均値は全国の最小値を示す観測地点とほぼ等しく、大阪の年平均値の約半分である。全国と大阪の硝酸イオン平均値はほとんど変わらない。大台ヶ原山の非海塩性硫酸イオン年平均値は全国の平均値の約 2/3 である。大阪の非海塩性硫酸

表 3 霧の NO_3^- , nss-SO_4^{2-} 濃度変動の変動係数 CV と平均値

場所	採取期間	n	NO_3^-				nss-SO_4^{2-}			
			平均	最大	最小	CV	平均	最大	最小	CV
			(mg/l)				(mg/l)			
大台ヶ原山	2002. 6/11~ 11/12	112	7.4	160	0.07	2.42	10.1	140	0.16	1.89
六甲山	1995. 6/3~ 10/30	309	16.8	235	0.19	1.77	19.6	198	0.66	1.42

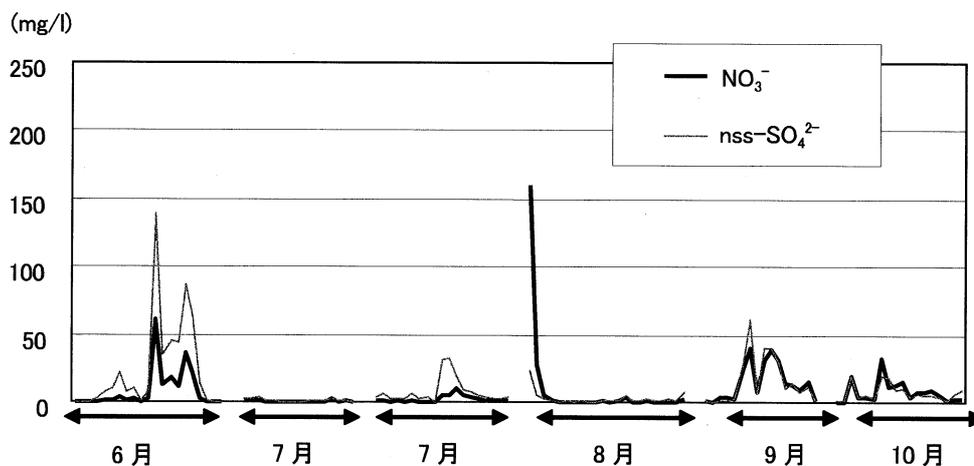


図 3 大台ヶ原山における霧の NO_3^- , nss-SO_4^{2-} 濃度変化

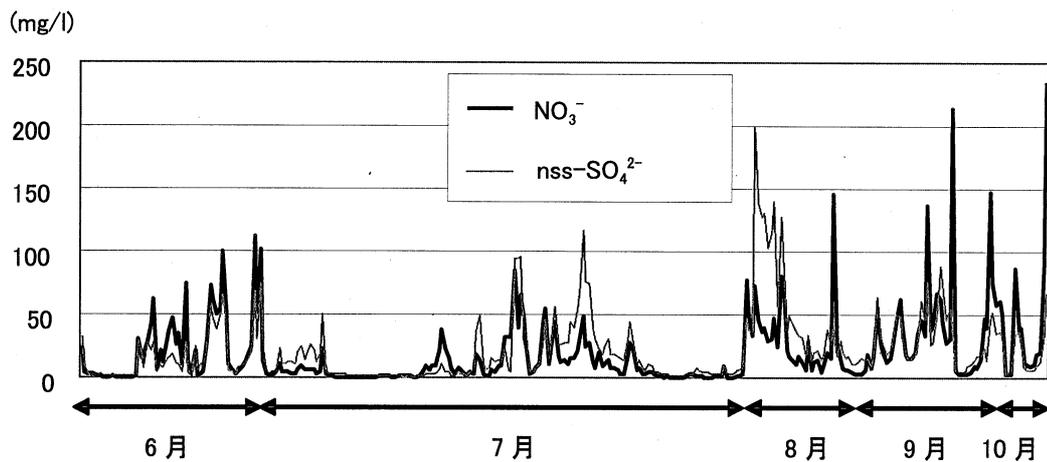


図4 六甲山における霧のNO₃⁻, nss-SO₄²⁻濃度変化

イオンは全国の平均値はほぼ変わらない。大台ヶ原山の非海塩性硫酸イオン年平均値は全国の観測値の中で

は低い方に位置する。結論として、大台ヶ原山では雨の硝酸イオン、硫酸イオンによる汚染は少ない。

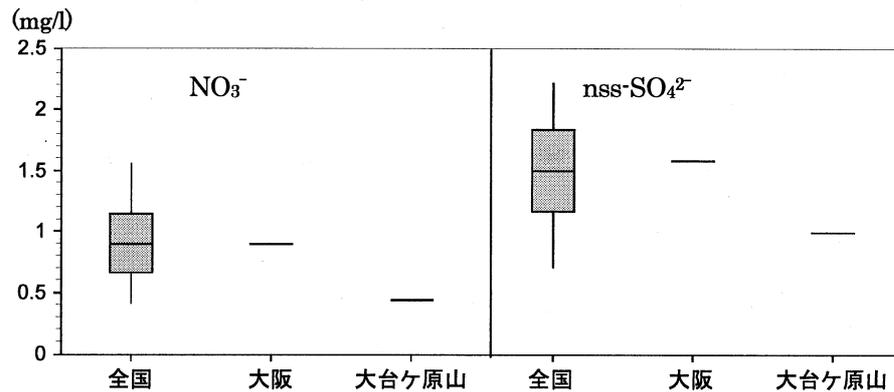


図5 雨に含まれる硝酸イオン、非海塩性硫酸イオン濃度 (平均, 標準偏差, 最大, 最小)

表4 雨の解析に用いたサンプル

場所	県名	期間	観測者
全国		1995年	環境庁 ¹⁴⁾
大阪	大阪府	1995年	環境庁 ¹⁴⁾
大台ヶ原	奈良県	1995年 6, 7, 10月	奈良県 ⁶⁾

3.4 大台ヶ原山の霧観測期間の風向と霧および雨中のNO₃⁻, nss-SO₄²⁻の由来について

大台ヶ原山の霧中のNO₃⁻, nss-SO₄²⁻の由来について調べるために、観測を行った2002年6月から10月の間で、大台ヶ原山で降雨のあった日の風向について調べた。大台ヶ原山の降雨の有無は、6月～9月は大台山荘の観測データ(付表2)を、大台山荘が閉鎖した10月

は尾鷲气象台の観測データを使った。風のデータは、大台ヶ原山に最も近い高層気象観測点潮岬のパイロットバルーンの高度1500m(850hPa)における9時の上層風観測データ¹⁷⁾を使った。その理由は、降雨日は海陸風などの熱的原因による局地風は発達しないので、地形の影響をほとんど受けない境界層上端の1500m高度の風が紀伊半島全体の風を代表しうると考えられるた

めである。その結果を図6に示す。ここでは8方位で表示した。

図6によると降雨時の風向はかなり広い範囲にまたがり、大阪からの風向(NW, W)は28%,名古屋や石油コンビナートのある四日市からの風向(N, NE)が15%,また上流に大きな発生源が無いE~SWが56%である。この結果から大台ヶ原山の霧中の NO_3^- , nss-SO_4^{2-} については、大阪と名古屋および四日市の両方の影響を受けていると思われる。また、南よりの風の場合は濃度が低くなると思われるが、今のところ濃度と風向の関係を議論するには霧の観測時刻に関するデータが足りない。これについては今後の研究課題である。

大台ヶ原山の雨中の NO_3^- , nss-SO_4^{2-} については大阪における値よりも小さいが、雨は霧よりも上空の雲から落下してくるために、より広範囲の発生源の影響を受けている¹⁸⁾ので、霧とは異なる結果が出ていると思われる。両者の差に関する解析は、今後の課題である。

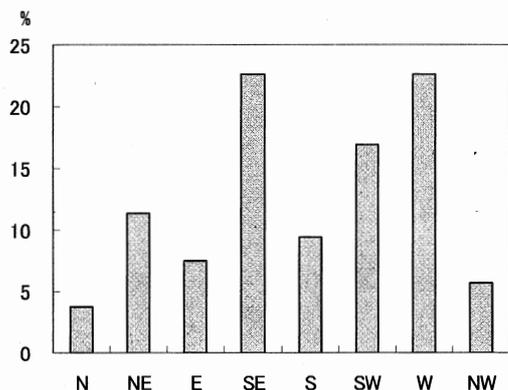


図6 大台ヶ原山降雨日の潮岬上空高度 1500m (850hPa)の風向分布 (2002年6-10月, 9時, 53日分)

4. 結論

大台ヶ原山で夏から秋にかけて、5ヶ月間酸性霧の観測を行い、観測データを他の地点の観測データと比較し、次の結果を得た。

大台ヶ原山の霧の NO_3^- , nss-SO_4^{2-} 濃度は汚染の進んでいる群馬県赤城山、榛名山、兵庫県六甲山と比較して同等の値を示し、酸性霧による汚染が問題であることがわかった。特に、今回の観測で得られた大台ヶ原山の NO_3^- 濃度の最大値は160mg/l, nss-SO_4^{2-} 濃度の最大値は140mg/l, pHの最小値は2.90であった。

一方、大台ヶ原の雨の NO_3^- , nss-SO_4^{2-} 濃度は全国の酸性雨観測点の値と比較すると小さい方に位置する。

謝辞

吉野熊野観光開発(株)大台荘・大台山の家には測定場所の提供について多大なご協力を得た。また、兵庫県公害研究所の玉置元則博士、中川吉弘博士、小林禧樹博士はじめ関係各位から酸性霧の観測、分析に関してご協力を得た。また、六甲山における霧観測データの提供を得た。兵庫県立大学環境人間学部准教授山口茂六博士から化学分析に関してご助言を得た。測定にご協力頂いた皆様方に厚くお礼を申し上げます。また、霧の観測に当たっては、当研究室の水田和真、楠貴美代の協力を得た。

参考文献

- 1) 中川吉弘・小林禧樹(2001) 樹葉中のN/MgおよびN/Ca比からみた針葉樹に対する酸性霧の影響, 環境科学会誌, 14(6), 577-585.
- 2) 野内 勇(1990) 酸性雨の農作物および森林木への影響, 大気環境学会誌, 25(5), 295-312.
- 3) 玉置元則(1997) 日本の森林地域での酸性雨調査の現状—酸性雨と森林枯損解明の研究を支えてきた人々—環境技術, 26(10), 623-632.
- 4) 前 圭一他(2004) 大峰山脈立ち枯れ調査報告書, 奈良県勤労者山岳連盟, pp. 103.
- 5) 小林禧樹・中川吉弘・玉置元則・平木隆年・藍川昌秀・正賀 充(1999) 霧水により森林樹冠にもたらされる酸性沈着の評価—六甲山のスギ樹冠における測定—, 環境科学会誌 12(4), 399-411.
- 6) 松本光弘・阿井敏通・植田直隆・小野夜秦美(1997) 5ヵ年調査における奈良県の酸性雨・酸性霧の現状, 奈良県衛生研究所年報, 31, 41-49.
- 7) 酸性雨調査法研究会編, 環境庁大気保全局大気規制課監修(1993) 酸性雨調査法, ぎょうせい, pp. 296.
- 8) 池田有光, 安田龍介, 東野晴之, 渡辺竜馬, 畠山史郎, 村野健太郎(1995) 赤城山で発生する酸性霧と大気汚染の解析—汚染大気の輸送を中心として—, 大気汚染学会誌, 30(2), 113-125.
- 9) 小林禧樹・中川吉弘・玉置元則・平木隆年・藍川昌秀(2002) 杉樹冠にもたらされる霧水沈着の時間変動—六甲山で観測された樹雨現象の解析—, 環境科学会誌, 15(3), 151-161.
- 10) 群馬県環境科学部大気課(1999) 平成10年度山岳部における酸性霧調査結果

URL:

<http://www.pref.gunma.jp/c/02/eikanken/work43.ht>

ml (2002/10/1).

11) 群馬県環境科学部大気課 (2000) 平成 11 年度山岳部における酸性霧調査結果 URL:

http://www.pref.gunma.jp/c/02/eikanken/2000_p140.htm (2002/10/1).

12) 群馬県環境科学部大気課 (2001) 山岳部の霧水に及ぼす三宅島火山の影響 URL:

http://www.pref.gunma.jp/c/02/eikanken/2001_p129.htm (2002/10/1).

13) 兵庫県環境局大気課 (1996) 酸性雨・酸性霧監視測定結果報告.

14) 環境庁酸性雨対策検討会 (1998) 第 3 次酸性雨対策調査.

15) 松本源生・宇都宮彬・大石興弘 (1999) 北九州における酸性沈着物分布, 大気環境学会誌 34(1), 1-16.

16) 池田有光, 東野晴行 (1997) 東アジア地域を対象とした酸性降下物の沈着量測定 (II), 大気環境学会誌, 32(3), 175-186.

17) 気象庁ホームページ (2010. 11. 12),

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/view/monthly.php?year=2002&month=09&day=&hour=9&elm=monthly&point=47778&atm=&elm=monthly>.

18) 河野 仁, 井上 亮, 江口加奈子 (2006) 近畿・中部・中国地方山岳における樹氷と雪の化学成分, 雪氷, 68, 481-488.

付表1 大台ヶ原山 霧 2002年6月～11月

期間 サンプル番号	C/A	pH	Na ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	nss-SO ₄ ²⁻ mg/l
6/11～7/3 9	1.24	5.70	0.06	0.04	0.15	0.02	0.09	0.11	0.21	0.32	0.30
15	1.91	6.15	0.04	0.08	0.15	0.01	0.06	0.06	0.09	0.21	0.20
18	1.35	5.99	0.03	0.11	0.14	0.01	0.06	0.07	0.18	0.34	0.33
21	1.07	5.15	0.11	0.63	0.21	0.03	0.11	0.17	0.49	2.07	2.04
24	0.85	4.28	0.51	1.22	0.65	0.06	0.20	0.79	1.77	7.39	7.27
27	0.87	4.02	0.51	1.90	0.40	0.08	0.15	1.21	1.41	11.0	10.9
30	0.94	3.77	1.30	5.22	0.79	0.19	0.29	2.13	4.33	22.6	22.3
33	0.95	4.22	0.30	1.83	0.40	0.06	0.09	0.59	1.48	7.86	7.79
36	0.95	3.88	0.48	1.77	0.49	0.07	0.09	0.82	2.12	11.0	10.9
39	1.56	4.78	0.15	0.71	0.29	0.01	0.03	0.14	0.41	1.70	1.66
42	1.16	4.03	0.60	2.28	0.51	0.08	0.11	0.66	2.38	8.47	8.32
45	0.73	3.12	10.3	19.6	6.19	2.52	13.0	20.2	60.6	142	140
51	0.82	3.55	0.88	6.80	1.47	0.29	1.04	2.05	12.7	35.0	34.8
54	0.86	3.36	1.18	9.26	1.70	0.32	1.40	2.56	18.5	45.6	45.4
57	0.84	3.46	0.35	9.79	1.71	0.12	0.41	1.73	12.2	44.1	44.0
60	0.67	3.13	1.21	13.4	4.26	0.47	1.10	6.12	36.9	87.6	87.3
63	0.87	3.11	0.72	10.9	2.36	0.20	0.67	3.78	21.0	62.9	62.7
66	0.86	4.04	0.18	3.03	0.97	0.04	0.14	0.33	2.49	14.4	14.4
69	1.08	5.01	0.07	0.41	0.25	0.01	0.04	0.10	0.48	1.53	1.51
72	1.43	6.05	0.05	0.30	0.15	0.01	0.04	0.10	0.21	0.59	0.57
75	1.23	5.80	0.05	0.20	0.16	0.02	0.03	0.06	0.31	0.52	0.51
7/3～7/15 5	0.95	5.34	1.27	1.01	0.29	0.21	0.20	2.23	1.22	3.11	2.79
9	0.80	4.75	2.26	0.52	0.18	0.29	0.15	4.06	0.90	3.55	2.99
13	0.82	4.45	3.77	0.61	0.23	0.46	0.19	6.66	1.19	4.93	3.99
17	0.86	4.77	1.14	0.34	0.13	0.13	0.07	2.00	0.40	2.23	1.94
21	1.05	5.82	0.37	0.32	0.15	0.05	0.03	0.54	0.23	1.00	0.91
25	1.30	6.20	0.03	0.17	0.12	0.02	0.03	0.09	0.11	0.40	0.39
29	1.83	6.28	0.10	0.14	0.13	0.01	0.02	0.11	0.08	0.26	0.24
33	1.77	6.10	0.05	0.21	0.12	0.01	0.02	0.07	0.09	0.37	0.35
37	1.16	5.74	0.11	0.17	0.11	0.02	0.02	0.19	0.12	0.52	0.49
42	0.87	5.20	0.40	0.42	0.15	0.07	0.06	0.73	0.46	1.72	1.62
45	0.88	5.07	0.79	0.30	0.12	0.10	0.07	1.40	0.47	1.50	1.31
49	0.87	5.26	0.52	0.32	0.12	0.06	0.04	0.93	0.40	1.31	1.18
53	0.88	5.01	1.25	0.83	0.43	0.20	0.14	2.15	2.03	2.78	2.46
57	1.02	5.78	0.99	0.65	0.23	0.14	0.06	1.75	0.51	1.55	1.30
61	0.90	5.24	1.58	0.65	0.33	0.21	0.11	2.87	0.80	2.34	1.94
65	2.97	6.30	0.25	1.14	0.37	0.04	0.02	0.43	0.28	0.59	0.53

期間 サンプル番号	C/A	pH	Na ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	nss-SO ₄ ²⁻ mg/l
7/15～8/5 1	1.28	6.04	1.78	1.17	0.37	0.29	1.22	3.39	1.29	4.46	4.01
4	0.84	4.75	2.46	1.27	0.49	0.34	0.38	4.96	1.67	6.63	6.01
7	0.95	5.13	1.01	0.73	0.21	0.15	0.13	1.87	0.62	2.81	2.55
10	0.93	4.95	1.08	0.81	0.27	0.17	0.16	2.04	0.87	3.41	3.13
13	0.95	5.11	1.05	0.58	0.17	0.14	0.14	1.90	0.62	2.39	2.12
16	0.76	4.59	1.61	1.18	0.26	0.25	0.20	3.53	1.67	6.44	6.04
19	0.94	5.08	1.05	0.68	0.17	0.11	0.09	2.05	0.56	2.35	2.08
22	0.86	5.18	1.25	0.90	0.23	0.17	0.13	2.42	0.63	3.81	3.50
25	2.04	6.28	0.14	0.39	0.12	0.02	0.03	0.26	0.07	0.40	0.36
28	0.72	4.10	0.57	6.42	1.47	0.31	0.57	1.13	5.34	31.8	31.6
31	0.78	3.69	0.71	6.00	1.08	0.16	0.41	1.15	5.57	33.3	33.1
34	0.81	3.87	2.40	2.58	1.04	0.44	0.98	2.31	9.93	19.6	19.0
37	0.94	3.88	0.66	1.48	0.40	0.09	0.17	1.15	4.56	8.74	8.58
40	0.93	3.90	0.39	1.47	0.27	0.06	0.09	1.02	3.76	8.23	8.13
43	0.93	4.26	0.46	1.02	0.37	0.04	0.08	0.66	2.29	5.07	4.95
46	0.92	4.48	0.22	0.76	0.22	0.03	0.06	0.47	1.42	3.32	3.27
49	0.96	4.65	0.12	0.75	0.19	0.03	0.05	0.22	1.15	2.76	2.72
52	1.03	4.57	0.15	0.57	0.14	0.02	0.05	0.31	1.00	2.22	2.18
55	0.94	4.32	0.28	0.79	0.16	0.05	0.08	0.65	1.51	3.90	3.83
8/5～9/6 1	0.82	6.46	31.6	2.88	5.86	6.25	13.2	8.68	160	31.4	23.5
2	1.09	6.62	6.45	1.86	1.41	1.33	3.62	2.15	27.5	7.19	5.6
4	1.15	6.53	1.18	1.12	0.41	0.27	0.98	1.08	4.91	2.88	2.6
7	1.26	6.44	0.30	0.67	0.18	0.06	0.20	0.63	0.73	1.24	1.2
10	1.99	6.58	0.12	0.39	0.14	0.03	0.11	0.22	0.30	0.40	0.4
13	1.02	5.90	0.54	0.43	0.20	0.11	0.20	1.20	0.36	1.48	1.3
16	1.44	6.25	0.25	0.28	0.19	0.03	0.10	0.44	0.19	0.56	0.5
19	1.23	6.94	0.22	0.32	0.15	0.02	0.10	0.43	0.18	0.75	0.7
22	1.90	7.21	0.09	0.32	0.12	0.02	0.05	0.24	0.09	0.33	0.3
25	1.67	7.04	0.19	0.32	0.24	0.04	0.06	0.36	0.16	0.49	0.4
28	0.99	6.13	0.46	0.47	0.22	0.14	0.16	0.93	0.78	1.60	1.5
31	1.29	6.41	0.15	0.42	0.16	0.04	0.06	0.29	0.49	0.72	0.7
34	0.81	5.64	0.74	0.46	0.22	0.15	0.16	1.63	1.18	1.94	1.8
37	0.71	5.01	4.38	1.11	0.65	0.72	0.29	10.8	3.82	6.34	5.2
40	1.00	6.63	0.59	0.51	0.17	0.08	0.04	1.26	0.43	1.20	1.0
43	0.79	5.97	1.07	0.50	0.19	0.18	0.09	2.56	0.60	2.17	1.9
46	0.73	5.55	2.10	0.61	0.26	0.36	0.15	5.19	0.91	3.51	3.0
49	0.80	5.74	1.11	0.47	0.17	0.20	0.08	2.62	0.40	2.12	1.8
52	0.92	6.01	0.63	0.35	0.13	0.10	0.09	1.41	0.23	1.24	1.1
55	0.75	5.34	0.93	0.38	0.15	0.19	0.09	2.18	0.41	2.47	2.2
58	0.82	5.40	0.70	0.45	0.19	0.10	0.07	1.59	0.40	1.97	1.8
60	0.67	4.34	3.03	0.71	0.26	0.61	0.23	7.68	2.45	8.06	7.3

期間 サンプル番号	C/A	pH	Na ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	nss-SO ₄ ²⁻ mg/l
9/6~10/3 1	0.82	5.40	0.10	0.26	0.18	0.05	0.27	0.17	1.79	0.96	0.93
5	1.02	5.85	0.03	0.06	0.07	0.00	0.03	0.03	0.29	0.17	0.16
9	0.44	4.63	0.07	0.20	0.09	0.01	0.05	0.14	4.50	1.09	1.08
13	0.50	4.57	0.26	0.21	0.09	0.05	0.04	0.56	3.75	1.82	1.75
17	0.83	4.68	1.08	0.46	0.26	0.15	0.08	1.69	2.69	2.36	2.09
21	0.63	3.30	0.57	1.83	0.71	0.12	0.08	1.68	25.1	28.3	28.1
25	0.63	3.13	5.72	3.71	1.01	0.93	0.62	5.38	40.1	62.4	60.9
29	0.57	4.22	0.12	1.36	0.18	0.03	0.08	0.27	7.19	6.81	6.78
33	0.55	3.35	0.51	3.81	1.41	0.14	0.41	1.15	30.6	40.0	39.9
37	0.65	3.14	0.31	3.66	0.82	0.07	0.22	1.25	39.4	40.1	40.1
41	0.75	3.17	0.25	2.78	0.62	0.05	0.15	0.95	31.5	29.6	29.5
45	0.92	3.47	0.09	1.40	0.21	0.02	0.04	0.47	13.9	11.0	11.0
49	0.87	3.49	0.11	1.73	0.37	0.03	0.07	0.40	12.9	13.7	13.7
53	0.95	3.66	0.08	1.25	0.28	0.02	0.05	0.32	8.65	8.24	8.22
58	0.62	3.74	0.21	1.98	0.79	0.06	0.18	0.79	16.2	12.2	12.2
61	0.95	4.45	0.04	0.52	0.11	0.01	0.02	0.12	1.92	1.88	1.87
10/3~11/12 5	1.13	5.91	0.11	0.31	0.18	0.02	0.13	0.14	0.59	0.88	0.85
9	1.07	5.18	0.18	0.24	0.16	0.04	0.14	0.16	0.62	1.19	1.14
13	0.60	3.69	0.78	2.33	0.87	0.21	0.68	0.68	19.1	19.2	19.0
17	0.99	4.21	0.13	0.92	0.24	0.22	0.10	0.12	3.36	4.36	4.32
21	0.82	4.16	0.08	0.99	0.18	0.02	0.07	0.12	4.08	4.70	4.68
25	1.22	4.63	0.08	1.15	0.21	0.02	0.06	0.11	2.22	2.12	2.09
29	0.72	3.73	6.55	1.99	0.86	1.24	2.05	5.47	32.9	21.1	19.4
33	0.76	3.53	0.66	1.87	0.44	0.13	0.22	1.13	11.2	18.9	18.7
37	0.79	3.63	0.36	1.10	0.21	0.07	0.09	0.86	12.4	9.04	8.94
41	0.72	3.57	0.35	1.14	0.16	0.06	0.08	0.95	15.6	10.6	10.5
45	0.93	4.05	0.18	0.62	0.09	0.03	0.05	0.35	3.96	3.54	3.49
49	0.88	3.76	0.28	0.80	0.09	0.05	0.06	0.46	8.18	6.08	6.01
53	0.88	3.79	0.26	0.81	0.10	0.04	0.05	0.64	8.33	5.01	4.94
57	0.46	4.29	0.28	0.88	0.07	0.05	0.35	0.81	9.22	5.90	5.83
61	0.59	4.19	0.17	0.64	0.06	0.03	0.02	0.55	5.70	3.95	3.91
65	0.82	4.85	0.12	0.37	0.19	0.01	0.02	0.34	1.47	1.13	1.10
69	0.75	3.99	0.11	0.61	0.11	0.02	0.04	0.44	3.15	6.48	6.45
73	0.92	3.73	0.16	0.52	0.09	0.02	0.03	0.52	2.80	9.00	8.96
全期間平均	0.99	4.84	1.15	1.65	0.51	0.22	0.47	1.64	7.37	10.4	10.1
全期間最大	2.97	7.21	31.6	19.7	6.19	6.25	13.2	20.2	160	142	140
全期間最小	0.44	3.11	0.03	0.04	0.06	0.00	0.02	0.03	0.07	0.17	0.16

付表2 大台ヶ原山天気 2002年6月11日～10月3日 (大台山荘の観測による)

6月11日	雨(梅雨入り)	7月20日	晴れ	8月28日	大雨
6月12日	晴れ	7月21日	晴れのち曇りのち雨	8月29日	大雨の快晴
6月13日	雨のち晴れ	7月22日	晴れのち曇り	8月30日	雨のち曇り
6月14日	晴れのち雨	7月23日	晴れ	8月31日	雨
6月15日	晴れのち曇り	7月24日	曇り	9月1日	曇り時々雨
6月16日	曇りのち晴れ	7月25日	大雨	9月2日	雲のち快晴(8時)
6月17日	曇り	7月26日	雨のち晴れ	9月3日	晴れ
6月18日	雨	7月27日	雨のち曇り	9月4日	晴れ
6月19日	晴れ	7月28日	晴れ時々曇り	9月5日	晴れのち曇り(11時)
6月20日	雨	7月29日	晴れ	9月6日	大雨
6月21日	曇りのち晴れ	7月30日	晴れ時々曇り	9月7日	小雨のち曇り
6月22日	晴れ	7月31日	晴れ	9月8日	晴れ時々曇り
6月23日	曇り	8月1日	晴れ	9月9日	快晴
6月24日	曇りのち雨	8月2日	晴れ	9月10日	晴れ
6月25日	雨	8月3日	晴れ	9月11日	晴れ
6月26日	雨	8月4日	晴れ	9月12日	晴れ
6月27日	曇り時々晴れ	8月5日	晴れ時々曇り	9月13日	晴れ
6月28日	晴れのち曇り	8月6日	晴れ	9月14日	曇り時々雨
6月29日	雨	8月7日	晴れ	9月15日	曇り時々晴後雨(13時)
6月30日	雨	8月8日	晴れ時々曇り	9月16日	曇り時々雨
7月1日	雨後曇り(15時)	8月9日	雨のち曇り	9月17日	雨
7月2日	晴れ	8月10日	曇りのち晴れ	9月18日	晴れ
7月3日	晴れ	8月11日	曇りのち晴れ	9月19日	曇りのち晴れ
7月4日	晴れ	8月12日	晴れ	9月20日	晴れ
7月5日	晴れ	8月13日	晴れ	9月21日	晴れ
7月6日	雨	8月14日	晴れのち曇り	9月22日	曇り
7月7日	雨	8月15日	晴れ	9月23日	曇りのち晴れ(11時)
7月8日	晴れのち雨	8月16日	晴れ	9月24日	快晴
7月9日	曇りのち雨	8月17日	晴れ	9月25日	晴れ
7月10日	雨	8月18日	曇りのち雨	9月26日	曇り
7月11日	晴れ	8月19日	曇りのち雨	9月27日	大雨
7月12日	晴れ	8月20日	快晴	9月28日	雨
7月13日	曇り時々雨	8月21日	快晴	9月29日	雨時々曇り
7月14日	曇時々晴(15時)	8月22日	快晴	9月30日	雨のち曇り
7月15日	雨	8月23日	曇りのち雨(16時)	10月1日	雨
7月16日	雨のち晴(12時)	8月24日	曇りのち雨	10月2日	晴れ
7月17日	雨のち晴れ	8月25日	晴れ時々曇り	10月3日	快晴
7月18日	晴れのち雨	8月26日	快晴		
7月19日	晴後曇り時々晴	8月27日	雨		

付表 3 大台ヶ原山 霧 2001年

採集日	C/A	pH	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss- SO ₄ ²⁻
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
7/7	1.03	3.86	0.92	5.11	5.68	1.13	0.42	1.24	19.6	14.6	14.4
7/8	1.54	2.90	0.45	2.65	0.67	0.38	3.98	11.6	5.14	26.1	26.0
7/8	1.26	4.37	1.15	2.25	0.44	0.20	0.69	2.02	0.25	6.71	6.42
7/8	1.56	5.14	1.33	1.44	0.60	0.23	0.72	2.10	0.35	2.67	2.33
7/8	1.51	—	1.12	2.00	0.62	0.28	0.59	1.73	0.40	3.88	3.60
7/17~8/31	0.73	3.78	2.32	2.99	1.58	1.37	1.36	3.97	11.0	23.9	23.3
7/17~8/31	0.77	3.98	1.64	2.35	0.74	0.67	1.05	3.08	7.38	13.9	13.5
9/1	0.69	3.34	0.81	2.12	0.66	0.77	0.45	1.31	8.41	38.8	38.6
9/1	0.65	3.08	1.25	3.11	1.09	1.29	0.80	2.32	21.6	67.1	66.8
11/9	0.97	3.50	1.37	2.54	0.69	0.99	1.27	3.71	5.44	20.6	20.3
平均	1.07	3.77	1.24	2.65	1.28	0.73	1.13	3.31	7.96	21.8	21.5
最大	1.56	5.14	2.32	5.11	5.68	1.37	3.98	11.6	21.6	67.1	66.8
最小	0.65	2.90	0.45	1.44	0.44	0.20	0.42	1.24	0.25	2.67	2.33

※ —は欠測

付表 4 2001, 2002年 大台ヶ原山 雨

採集日時	C/A	pH	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss- SO ₄ ²⁻
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2001/7/7	1.37	5.25	0.04	0.12	0.09	0.18	0.04	0.11	0.48	0.36	0.35
2001/7/8	0.98	3.84	0.70	0.66	0.26	0.18	0.57	1.68	1.75	7.98	7.80
2001/7/8	1.71	4.89	0.15	0.23	0.09	0.18	0.06	0.17	0.20	0.89	0.85
2001/7/8	1.37	5.53	0.10	0.12	0.07	0.06	0.07	0.21	0.15	0.29	0.27
2001/7/8	1.10	5.81	0.04	0.04	0.03	0.11	0.07	0.20	0.11	0.18	0.17
2001/9/1	1.00	4.12	0.61	0.40	0.52	0.76	0.32	0.94	2.02	5.95	5.80
2001/9/16	0.66	3.68	0.49	2.55	0.91	0.46	0.66	1.91	6.77	23.3	23.2
2002/6/11 8~11時	1.56	5.55	0.27	0.22	0.22	0.03	0.26	0.31	0.56	0.63	0.56
2002/9/6	1.72	6.07	0.07	0.07	0.06	0.01	0.08	0.13	0.08	0.15	0.13
平均	1.27	4.97	0.27	0.49	0.25	0.22	0.24	0.63	1.35	4.41	4.34
最大	1.72	6.07	0.70	2.55	0.91	0.76	0.66	1.91	6.77	23.3	23.2
最小	0.66	3.68	0.04	0.04	0.03	0.01	0.04	0.11	0.08	0.15	0.13

(平成 22 年 9 月 21 日受付)