報告(Note)

西丹沢における酸性雨及び大気汚染物質の汚染状況(1995～2000)

阿相敏明，武田麻由子，相原敬次
（大気環境部）

Observational study of Acid Rain and Air Pollutants in the western part of Mt.Tanzawa (1995 ～ 2000)

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

キーワード：西丹沢，酸性雨，大気汚染物質，経年変化

1．はじめに

大山の南東斜面におけるモミ林の枯損が社会問題化したことから，1990 ～ 1992 年度に大山における雨，霧，大気汚染物質，気象等の調査を実施した。同時に県下における酸性雨，森林衰退に関する総合的な検討を行った。その結果，1960 年から 1970 年における高濃度の SO_2，O_3，酸性霧によって衰退したモミにハラアカマイマイが大発生して枯損が進んだのではないかと推察した [1)]。この調査過程でモミの年輪調査等から 1980 年以降モミは回復状況にあるが，丹沢のブナについては衰退が進行しているとの結果が得られた。

一方，環境省は全国酸性雨調査の一環として西丹沢地域等の森林衰退が見られる地域を対象として酸性雨等のモニタリングを計画した。そこで，調査対象を大山のモミから丹沢のブナに変更することとし，西丹沢の犬越路に酸性雨，大気汚染物質等を測定する国設丹沢酸性雨測定所を 1995 年度に開設した。開設後６年間のデータが得られ，これを基に西丹沢における大気汚染物質等の汚染状況の把握を行い，樹木衰退との関連，神奈川県における汚染物質排出量との関係等について検討し，若干の知見が得られたので報告する。

2．調査方法

国設丹沢酸性雨測定所（以下，「丹沢測定所」という。）は西丹沢における森林衰退の原因調査を目的として 1995 年に設置され，大気中の NO_x，SO_2，O_3，１日毎の降水成分の測定，風向風速等の観測を行った。また，一時期霧水の採取，分析を行った。

解析にあたっては 1990 ～ 1992 年度に大山下社，札掛，平塚で実施した降雨調査の結果 [1)] を参照した。

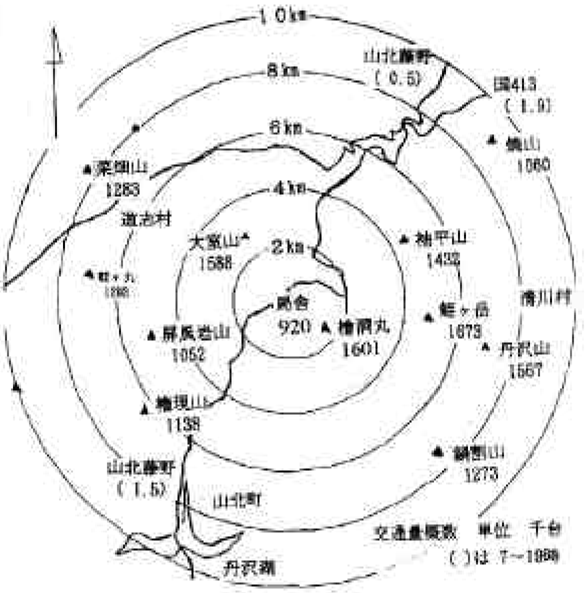

図１　測定地点

2．１　測定期間

2．2．1　降雨調査

1995 年５月 25 日から 2001 年３月 31 日まで

2．2．2　大気汚染物質調査

1995 年７月６日から 2001 年３月 31 日まで

2．2．3　霧水調査

1995 年７月から 1998 年３月までのうちの 24 ヶ月

2．2　測定地点

測定地点を図１に示す。測定地点は，西丹沢山地の檜洞丸（1601m）と大室山（1588m）の中間に位置する犬越路（1060m）の南斜面の犬越路隧道脇（神奈川県足柄上郡山北町中川９２７－２，北緯

35 ° 29'16"，東経 139 ° 05'06"，標高 920m）にある。測定地点から上層の地域にはモミ，ブナの衰退が多く見られる。

東側約 100m の地点に南北に走る７ m 舗装道路があるが，1999 年６月からは麓に道路ゲートが設置され，関係車両以外は通行できなくなった。

２．３　測定方法

大気汚染物質測定機は堀場製作所製の NOx 計(APNA365)，SO_2 計(APSA365)，O_3 計(APOA360)である。

降水採取は小笠原計器製作所製の自動雨水採取装置(US-420)を用いた。採取単位は０時から 24 時までの１日毎に行った。

風向風速，降水量は小笠原計器製作所製（WS-B56、RS-222）で観測した。

霧水は臼井工業研究所製（FWG-800）で採取した。

２．４　分析項目及び分析方法

採取した降水は，pH, EC, SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+，Mg^{2+}，Ca^{2+}，K^+及び降水量を測定した。測定方法はそれぞれ流通型ガラス電極法，電気電導度法，イオンクロマトグラフ法，転倒マス雨量計により行った。

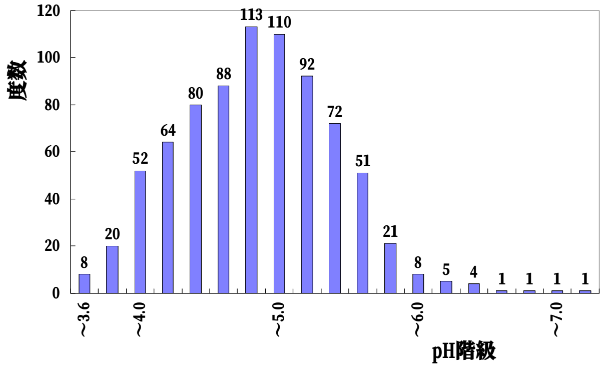

図２　降水中のpHの頻度分布('95～'00年度)

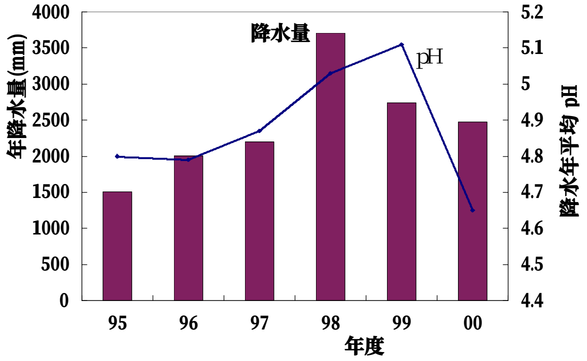

図３　丹沢測定所における降水量と降水pHの経年変化('95～'00年度)

３．結果および考察

３．１　降水 pHの頻度分布

降水 pH の６年間の頻度分布を図２に示す。4.6 ～ 4.8 の階級が 113 日と多く，次いで 4.8 ～ 5.0 が 110 日であり，4.6 ～ 5.0 が降雨日数 792 日中 223 日，28.2 %を占めていた。

また，pH3.4 ～ 4.0 の降雨は 80 日，10 %であった。

人工酸性雨の暴露による葉の可視被害の発現 pH（閾値）は，針葉樹の場合は pH　3.0 ～ 2.0 の間，広葉樹は pH 4.0 ～ 3.0 の間にあるとの報告[2,3]があり，丹沢測定所における雨水は pH4.0 以下の雨水の出現頻度が 10%と低く，また pH 4.0 ～ 3.0 では可視被害は軽いものであるとされていることから，現状，西丹沢の雨水により樹木の葉に重要な影響を及ぼすとは考えられない。

３．２　降雨の状況及び降水 pH等の経年変化

降雨の状況及び降水 pH 等の経年変化を表１に示す。また，降水量と年平均 pH の年推移を図３に示す。

年降水量は６年間で 1500 ～ 3700mm/y とかなり

表１　降水 pH等の経年変化

年　度		'95	'96	'97	'98	'99	'00	大山	札掛	平塚
降水量　(mm)		1508	2004	2196	3709	2743	2476	2712	3756	1740
降雨日数　(日)		122	130	147	161	130	138			
導電率　(μ S/cm)		10.5	11.3	9.6	6.8	6.2	13.1	13.1	11.5	27.4
pH	年平均	4.80	4.79	4.87	5.03	5.11	4.65	4.87	4.90	4.66
	最低	3.45	3.53	3.45	3.50	3.78	3.52			
	最高	5.81	6.30	7.00	6.55	7.04	6.6			
	＜ 4 の日数(日)	15	19	13	11	5	16			
	割合(%)	15	15	9	7	4	11			

（注１）大山、札掛、平塚は '90 ～'92 年度の平均

（注２）'95 年度は５月 25 日からの調査であり、実測値から年間値を推算し示した。

表２　年度別の降水イオン成分降下物濃度

	年度	'95	'96	'97	'98	'99	'00	大山	札掛	平塚
陽イオン	H^+	16	16	14	9	8	22	14	12	22
	NH_4^+	8.9	11.1	7.8	8.3	6.1	6.1	15.6	13.3	38.9
	Ca^{2+}	2.8	2.8	1.5	1.0	1.8	2.3	4.3	2.8	7.0
	Na^{2+}	7.0	9.6	11.3	6.5	7.4	7.0	19.1	16.1	63.5
	K^+	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	0.8	1.3	1.8	2.6
	Mg^{2+}	1.3	1.3	1.3	0.8	1.3	0.8	2.6	2.1	7.1
陰イオン	SO_4^{2-}	7.9	8.3	6.6	4.6	4.5	11.9	10.7	8.0	22.3
	NO_3^-	14.5	14.8	11.9	9.0	8.7	9.5	14.2	11.9	22.1
	Cl^-	9.3	12.4	14.4	9.0	9.6	11.5	24.8	20.8	88.5

単位：(μmol/l)

変動していた。降雨日数は 122 ～ 161 日と２，３日に１日の割合で降雨があり，降水量，降雨頻度とも平野部に比べ多いことが分かった。降水量に大きな影響を与える要因として，豪雨日の頻度と降水量が挙げられる。すなわち，'00 年度では 100mm 以上の降雨日が５日あり，全降水量の約 30 %を占めていた。

導電率は 6.2 ～ 13.1 μs/cmの範囲にあった。導電率は降水中に含まれるイオン量の指標としてとらえられるものであり，年々低下傾向にあった。

降水の pH の年平均を見ると '95，'96 年度の 4.80，4.79 から '99 年度の 5.11 まで年々上昇しており酸性度は弱くなっていた。しかし，'00 年度は 4.65 と前年度に比べ 0.46 低下した。これは，'00 年 8 月以降活発化した三宅島火山ガスにおける SO_2，HCl の影響である [4),5)]。１日降水の最低 pH は '99 年度の 3.78 を除き，各年度 3.5 付近であった。また，pH が 4 以下の日数（出現割合）は 19 ～ 4 日（15 ～ 4 %）と年平均 pH と同様の経年変化を示した。

年平均 pH を他地点と比較すると調査年度が異なるが，大山下社，札掛とほぼ同程度であり，地方都市である平塚より高いことが推測された。

３．３　年度別の降水イオン成分濃度

年度別の降水イオン成分濃度を表２に示す。

H^+濃度は　'95，'96 年度の 16 μmol/lから'99 年度の 8 μmol/lまで年々低下していたが、'00 年度は三宅島火山の影響で 22 μmol/lと上昇した。

他のイオン成分濃度についても H^+とほぼ同様の年推移を示した。'98 年度は他の年より降水量が多いことから濃度は低くなることが予想され，Na^+，Ca^{2+}等自然起源のイオンについては前後年より低くなっていたが，NH_4^+，SO_4^{2-}，NO_3^-の人為起源と考えられるイオンについては '99 年度より高濃度となっていた。これは，例年より首都圏からの汚染気塊の流入が多かったことが伺われた。

他地点のイオン濃度と比べるといずれのイオンも丹沢測定所が一番低く，特に海塩に影響される Na^+，Cl^-，Mg^{2+}は平塚が一番高く，次いで大山下社，札掛，犬越路と海岸からの距離との関係が見られた。また，人為起源と考えられるイオンについても首都圏発生源からの距離との関連が考えられた。土壌起源と考えられる Ca^{2+}についても同様の傾向にあり，道路ダストの舞上げ等都市活動の影響が大きいものと考えられた。

３．４　年度別の降水イオン成分（非海塩起源）降下量

年度別の降水イオン成分（非海塩起源：nss-）降下量及びその構成比（H^+を除く）を表３，４に示す。

降雨による H^+降下量は 22 ～ 55meq/m^2/y であり，火山の影響を受けた '00 年度が一番多く，次いで降水量が多かった '98 年度の順であった。

H^+に対する寄与は nss-SO_4^{2-}，NO_3^-が大きく，火山の影響を受けた '00 年度を除くと，'98 年度以外は nss-SO_4^{2-}が NO_3^-より若干多く，nss-SO_4^{2-}が 48 ～ 50%，NO_3^-が 46 ～ 49%となっていた。'98 年度は NO_3^-が 48%，nss-SO_4^{2-}が 45%と NO_3^-の方が多くなっており，また，nss-Cl^-も他年よりも多く，前述したようにこの年は首都圏からの汚染気塊の流入が多かったことが考えられた。

'00 年度は前述したように三宅島火山ガスの SO_2，HCl の影響により nss-SO_4^{2-}，nss-Cl^-の寄与が大きくなっており [5)]，それに伴い NO_3^-の寄与が小さくなっていた。

陰イオンを中和する陽イオンとしては NH_4^+の寄与が一番多く，51 ～ 77%，次いで nss-Ca^{2+}が 18 ～ 35%と，年度によって変動があるが，この２成分で 80 ～ 96%と大部分を占めていた。

他地点と比べると H^+降下量は '00 年度を除くと，降水量が大きく反映しており，札掛で一番多くなっていた。次いで平塚，大山下社が同程度で，

表３　年度別の降水イオン成分（非海塩起源）降下量

年　度		'95	'96	'97	'98	'99	'00	大山	札掛	平塚
陽イオン	H^+	24	32	30	35	22	55	37	47	38
	NH_4^+	13.2	22.8	16.8	31.2	16.8	15.6	42.0	50.4	68.4
	Ca^{2+}	8.4	10.8	6.0	7.2	9.6	9.6	20.4	18.0	19.2
	K^+	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4	1.2	2.4	4.8	2.4
	Mg^{2+}	1.2	1.2	0.0	0.0	4.8	1.2	1.2	3.6	0.0
陰イオン	SO_4^{2-}	22.8	31.2	26.4	31.2	26.4	56.4	49.2	52.8	63.6
	NO_3^-	21.6	30.0	26.4	33.6	24.0	24.0	38.4	44.4	38.4
	Cl^-	1.2	2.4	2.4	4.8	2.4	8.4	7.2	8.4	25.2

単位：降下量（$meq/m^2/y$）

表４　年度別の降水イオン成分（非海塩起源：除くH^+）降下物の構成比

年　度		'95	'96	'97	'98	'99	'00	大山	札掛	平塚
陽イオン	NH_4^+	54.8	63.4	70.9	77.4	51.4	56.2	63.6	65.6	76.0
	Ca^{2+}	32.7	30.1	22.6	18.4	29.0	35.4	30.9	23.4	21.3
	K^+	6.1	4.5	6.5	4.2	6.9	6.2	3.6	6.3	2.7
	Mg^{2+}	6.3	2.1	0.0	0.0	12.7	2.2	1.8	4.7	0.0
陰イオン	SO_4^{2-}	50.0	48.8	48.0	45.2	49.9	63.7	52.2	50.0	50.1
	NO_3^-	47.4	46.5	48.5	48.0	45.7	26.3	40.8	42.4	29.9
	Cl^-	2.6	4.7	3.5	6.8	4.4	10.0	7.0	7.6	20.0

単位：%

丹沢測定所はこれよりも若干少なくなっていた。

その他の特徴として，いずれの地点も nss-SO_4^{2-}の寄与率は 50%前後であり，NO_3^-と nss-Cl^-の合計が残り 50%となっていた。NO_3^-と nss-Cl^-の割合は都市域で nss-Cl^-の割合が多く，平塚でそれぞれ 30%，20%であり，山間部に入るに従って nss-Cl^-の割合が低くなり，その分 NO_3^-の割合が大きくなっていた。この nss-Cl^-の発生源としては焼却炉から排出される HCl が主なものであり，反応性が高いため山間部に移流するまでに沈着してしまうことが推測された。

H^+の沈着の増加は土壌を酸性化し，有害金属の溶出を招き養分の根からの吸収を阻害することが知られている。しかし，日本における土壌はこの汚染機構に対し十分な緩衝力を有し [2),3)]，丹沢における土壌においても土壌 pH の低下は見られず，十分な緩衝力を有しており [1),6)]土壌が急激に酸性化することは考えられない。

３．５　霧水の汚染状況

丹沢測定所及び大山下社における霧の発生と霧水の汚染状況について表５に示す [1)]。

霧水採取装置は故障のため，稼働率が低かったこと，また，両地点の調査年度が異なるため単純に比較できないが，概要を次に示す。（霧は，計測されない時間が６時間継続した場合，その前後の霧は異なる霧とした。また霧水が 60ml 捕集された場合には１試料として次期試料に移行した。）

霧の発生頻度は月当たり丹沢測定所で 4.5 回，大山下社で 3.4 回であり，1 回の発生で両地点とも平均８試料が得られた。

丹沢測定所では，得られた試料の pH の平均及び最低値は 5.11，2.72 であった。また pH3 以下の日数及び試料数は３日，６試料(0.7%))，pH4 以下の試料数は 243 試料(29.3%)であった。大山下社では，それぞれ 4.52，2.55，５日，20 試料(2.7%)，237 試料(32.3%)であった。この結果から，丹沢測定所では大山下社に比べやや酸性度が低いことが伺われた。

樹木の葉の可視被害に対する雨水 pH の閾値は３．２で記述したが，霧水 pH は雨水 pH より１程度低いことから，広葉樹の感受性の高い樹種の葉に対して影響を及ぼす可能性が示唆された。

霧水のイオン成分濃度は NO_3^-及び NH_4^+が 382，306 μmol/lと高くなっており，降水濃度より 10 倍以上高くなっていた。H^+に対する寄与率は NO_3^-が 61%，nss-SO_4^{2-}が 37%と降水に比べ NO_3^-の寄与率が高いのが特徴的であった。

霧水の各イオン成分濃度は大山下社と比較すると Ca^{2+}を除きいずれも低くなっていた。

３．６　丹沢測定所と他の国設酸性雨測定所との比較

国設酸性雨測定所は全国で '96 年度に 47 局稼働している。設置目的別に都市地域 15 局，田園地域 8 局，遠隔地域 14 局，生態系地域 10 局と

表５　丹沢測定所と大山下社の霧水の汚染状況

	丹沢測定所	大山下社
調査期間	'95.7 ～'98.3(24 ヶ月)	'90.6 ～'93.3(27 ヶ月)
発生回数 試料数	109 回(4.5 回／月) 843 試料(35 試料／月)	91 回(3.4 回／月) 734 試料(27 試料／月)
最低 pH 平均 pH	2.72 5.11	2.55 4.52
pH3 以下の日数 pH3 以下の試料数 pH4 以下の試料数	3 日 6 試料(0.7%) 243 試料(29.3%)	5 日 20 試料(2.7%) 237 試料(32.3%)
SO_4^{2-}平均濃度（μmol/l) NO_3^-平均濃度(μmol/l) Cl^- 平均濃度（μmol/l) NH_4^+ 平均濃度(μmol/l) Ca^{2+} 平均濃度(μmol/l)	126 382 217 306 78	146 447 262 567 50
nss-SO_4^{2-}の酸性化寄与(%) NO_3^-の酸性化寄与(%) nss-Cl^- の酸性化寄与(%)	37 61 2	31 51 17
NH_4^+ の中和寄与(%) nss-Ca^{2+} の中和寄与(%)	62 30	88 8

分類されている。丹沢測定所はこのうち生態系地域に分類されている。

'96 年度における丹沢測定所と他の国設酸性雨測定所の降雨調査結果を表６に示す [8)]。(赤城測定所は生態系地域に分類されるが，冬季は稼働していないため降下量評価では欠測扱いとした。また，順位については pH は値が小さい方から数えた順位であり、その他の項目は値が大きい方から数えた順位である。)

pH は 4.8 と全国平均値と同じであったが，全国順位からすると 30 位であり，比較的低位であった。降水量は山間部であることから５位と多くなっていた。イオン成分濃度は NO_3^-が 29 位である他は全て 40 位以下と低位となっており，NO_3^-/nss-SO_4^{2-}が 2 位であるのが特徴的であった。また，生態系測定所の中でも NO_3^-を除けば下位から１，２番と低い汚染状況であった。降下量は降水量が５位であるため濃度よりも上位となっているが，それでも H^+降下量が 13 位と全国平均値を上回った他はほとんど平均値を下回っていた。

３．７　大気汚染物質の汚染状況

年度別の各大気汚染物質濃度を表７に示す。

NOx 濃度の年平均値は '95，'96 年度は 6.2ppb から '00 年度 4.8ppb まで年々低下していた。NOx の内訳はほとんど NO_2 であり，遠方からの移流が考えられた。

また，大山下社と比べるとやや低くなっているがあまり変わらない汚染と考えられた。

SO_2 についても NOx 同様 '95, '96 年度の 0.9ppb, 1.0ppb から年々減少傾向にあり，'99 年度は 0.5ppb であった。しかし，'00 年度は先に述べたが三宅島火山ガスの影響により 年平均で 2.3ppb と例年の４倍と高く，一時間値が 100ppb を超えたのが 29 時間，その内 200ppb を超えたのが 20 時間あり，日平均最高値も 103ppb と高濃度を示した。

O_3 濃度の年平均値は 42 ～ 46ppb と年度による変動は少ない。しかし，１時間最高値は 136 ～ 176ppb，120ppb を超える時間数も 11 ～ 36 時間と年度によってかなり異なり，気象条件の年度間の差の影響が考えられた。大山下社と年平均値及び 120ppb を超える時間数を比べると，丹沢測定所の方が汚染度が高くなっていた。この原因は，大山下社における O_3 計は高度未補正であることやメンテナンス主体が異なること等 O_3 計の精度に関すること，また NOx 濃度が大山下社の方が高いため，O_3 が分解されることや丹沢測定所の方が山に囲まれており汚染気塊が滞留する等機構的な影響によるものが推測されるが，この原因究明には両地点において同時測定が必要であると思われる。

SO_2 は通常的であれば現在濃度では樹木に影響を及ぼすとは考えられないが，三宅島火山ガスにより高濃度が継続した場合には影響が危惧される [2),3)]。

O_3 は 120ppb を超える高濃度が多く出現し，また，４～９月の日中の AOT40(Accumulated exposure Over a Threshold of 40ppb：40ppb を超えた O_3 の積算ドース)も '96 ～ '98 年度の３年間平均で 30ppm･h と樹木の生長に阻害を及ぼす汚染状況で

表６　国設酸性雨測定所測定結果（'96年度）における丹沢測定局の汚染状況

項目	単位	丹沢測定所 値	丹沢測定所 順位	全国値 平均	全国値 最高	全国値 最低
降水量	mm	2004.4	5	1376.6	2623.5	713.8
pH		4.8	30	4.8	5.8	4.5
H^+	μeq/l	16.4	30	18.0	34.9	1.6
導電率	μs/cm	12.0	43	27.0	88.0	10.0
SO_4^{2-}	μeq/l	17.0	47	41.4	86.3	17.0
nss-SO_4^{2-}	μeq/l	15.9	45	31.8	65.2	12.9
NO_3^-	μeq/l	15.1	29	17.6	48.1	5.4
Cl^-	μeq/l	12.6	45	99.2	566.0	8.1
NH_4^+	μeq/l	11.2	41	20.2	61.9	1.7
Ca^{2+}	μeq/l	5.7	45	15.1	68.5	5.4
nss-Ca^{2+}	μeq/l	5.3	42	11.7	67.1	2.4
Mg^{2+}	μeq/l	2.6	44	19.3	101.0	1.8
K^+	μeq/l	1.0	41	10.5	276.0	0.6
Na^+	μeq/l	9.5	44	80.1	464.0	6.3
NO_3^-/nss-SO_4^{2-}		0.95	2	0.6	1.1	0.3
H^+	$meq/m^2/y$	32.9	13	25.0	66.1	1.9
SO_4^{2-}	$meq/m^2/y$	34.1	37	56.7	129.3	24.0
nss-SO_4^{2-}	$meq/m^2/y$	31.9	32	42.2	80.3	18.6
NO_3^-	$meq/m^2/y$	30.3	10	22.6	43.8	8.5
Cl^-	$meq/m^2/y$	25.3	39	148.7	848.2	16.1
NH_4^+	$meq/m^2/y$	22.4	22	26.1	56.1	2.3
Ca^{2+}	$meq/m^2/y$	11.5	33	19.9	54.1	5.9
nss-Ca^{2+}	$meq/m^2/y$	10.6	24	14.6	53.0	5.1
Mg^{2+}	$meq/m^2/y$	5.2	38	28.9	164.6	2.7
K^+	$meq/m^2/y$	2.0	33	12.8	322.0	0.8
Na^+	$meq/m^2/y$	19.0	37	122.2	726.3	9.6

表７　大気汚染物質濃度の経年変化

年　度		'95	'96	'97	'98	'99	'00	大山
NO	年平均値　ppb	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	1.0
	1時間最高値　ppb	15.7	26.7	10.2	14.6	10.9	11.8	32.3
	日平均最高値　ppb	1.6	1.8	1.7	2.5	1.9	1.4	6.3
NO_2	平均値　ppb	6.0	6.0	5.7	5.5	4.7	4.6	5.7
	1時間最高値　ppb	58.2	73.6	48.4	44.2	45.6	37.9	62.3
	日平均最高値　ppb	19.3	18.1	21.4	20.6	20.1	17.1	23.3
NO_x	平均値　ppb	6.2	6.2	5.9	5.8	4.9	4.8	6.7
	1時間最高値　ppb	73.9	89.4	48.4	44.4	56.5	38.1	87.3
	日平均最高値　ppb	20.9	19.5	22.8	21.5	21.9	17.9	29.3
SO_2	年平均値　ppb	0.9	1.0	0.6	0.6	0.5	2.3	
	1時間最高値　ppb	7.2	9.7	5.6	7.7	6.1	＞ 200	
	日平均最高値　ppb	3.4	3.9	2.6	2.5	1.8	103.2	
O_3	年平均値　ppb	45	46	43	43	42	44	31.7
	1時間最高値　ppb	160	158	139	176	139	136	159
	日平均最高値　ppb	95	109	93	118	97	96	87
	≧ 120ppb 時間　h	26	28	11	36	14	13	13

あった[3),7),9)]。

３．８　神奈川県における汚染物質の排出量と西丹沢における汚染状況

ここでは，神奈川県における汚染物質排出量を推計し，丹沢測定所における汚染物質濃度との関係について考察する。神奈川県における汚染物質の排出量は「工場における大気汚染物質排出量調査：大気水質課」を基に神奈川県における軽油販売実績と軽油中 S 分含有率等から推計した。

神奈川県における NOx 発生量は NO_2 換算で '95，'96 年度は工場，自動車由来とも約 30,000t/y であり，計 60,000t/y 程度であった。その後，工場では景気の後退から燃料油の削減，自動車ではディーゼル車の単体規制の強化と走行量の減少により '99，'00 年度にはそれぞれ 26,000t/y，計 52,000t/y まで減少してきている。

また，神奈川県における SO_2 発生量は '95 年度

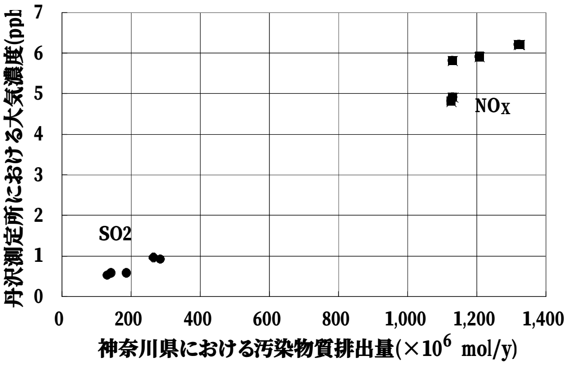

図４　神奈川県における汚染物質排出量と丹沢測定所における大気濃度との関係('95～'00年度)

では工場由来は 11,620t/y，自動車由来は 6,750t/y，計 18,370t/y 程度であった。その後，工場では景気の後退から燃料油の削減，自動車では軽油中の S 分が '97 年 7 月に 0.2%から 0.05%に規制強化されたこと，走行量の減少により '99 年度にはそれぞれ 7,030t/y，1,450t/y，計 8,480t/y まで減少してきている。軽油中の S 分はディーゼル車排ガス処理対策のため，数年後には 0.005%に削減されることとなっている。

また，神奈川県における HCl 発生量は '95 年度では 5,000t/y であったが，'99 年度では 4,000t/y と減少している。ほとんどが廃棄物焼却炉からの排出であり，ダイオキシン対策等から今後とも減少することが考えられる。

以上のように，神奈川県における酸性物質及び前駆物質の排出量が減少したことが，前記した降水中の酸性物質濃度の低下，pH の上昇に寄与していることが推測された。今後とも人為起源からの汚染物質排出量の減少が考えられ，更に pH は上昇することが示唆される。しかし，自然発生源である三宅島火山ガスの影響は大きく，その活動には注意が必要である。

神奈川県における年度別の NOx，SO_2 排出量と丹沢測定所における大気中年平均濃度の関係を図４に示す。('00 年度の SO_2 濃度は三宅島火山ガスの影響を受けているので除いた。)

丹沢測定所における NOx，SO_2 濃度の高低はそれぞれの排出量の大小にほぼ対応している。従って，３．７で記述した丹沢測定所における NOx, SO_2 の経年的な濃度低下は神奈川県における発生量の減少を反映しているものと考えられるが，'99 年６月頃に犬越路林道の麓に自動車ゲートが設置され，一般車の通行が禁止されたことも一因と考えられ，今後の推移を見ていく必要がある。

４．まとめ

国設丹沢酸性雨測定所において酸性雨，大気汚染物質等の測定を 1995 年度から６年間実施し以下の結果が得られた。

１）降水量及び降雨頻度とも平野部の平塚に比べかなり多くなっていた。

２）pH の低い（3.4 ～ 4.0）降雨は 10%程度であり，樹木の葉に影響を与えるとは考えられない。

３）降水 pH の年平均値は '95 から '99 年度で 4.80 から 5.11 と年々上昇傾向にあった。神奈川県における SO_2，NOx，HCl 排出量は年々減少しており，降水 pH に反映されているものと考えられた。しかし，'00 年度は三宅島火山ガスの影響により pH4.65 と大幅に低下した。

'96 年度の全国 47 局中 30 位で尾瀬，筑後小郡と同程度であり，生態系地域 10 局中 10 位であった。

４）H^+降下量は 22 ～ 35meq/m^2/y であり，'96 年度の全国 46 局中 13 位で松江，八幡平と同程度であり，生態系地域９局中５位であった。

'00 年度は三宅島火山ガスの影響を受け例年の倍の 55meq/m^2/y であり，'96 年度の全国最上位である越前岬の 66.1meq/m^2/y に近い値であった。

５）H^+に対する寄与は nss-SO_4^{2-}が 45 ～ 50%，NO_3^-が 46 ～ 49%となっていた。全国と比較すると nss-SO_4^{2-}に比べ NO_3^-の寄与が大きいのが特徴であった。

'00 年度は nss-SO_4^{2-}，nss-Cl^-の寄与が大きくなっており，三宅島火山ガスの影響が示唆された。

６）霧水の最低 pH は 2.72 で pH4.0 以下が 30%あり，感受性の強い落葉樹の葉に影響を及ぼす可能性が考えられた。降水に比べ NO_3^-の寄与が 61%と大きいのが特徴であった。

７）NOx の年平均値は '95 年度の 6.2ppb から '00 年度の 4.8ppb まで年々低下していた。 SO_2 も同様 '95，'96 年度の 0.9，1.0ppb から '99 年度の 0.5ppb まで年々低下していた。経年的な濃度低下は汚染物質排出量の減少を反映しているものと考えられた。'00 年度の SO_2 濃度は三宅島火山ガスの影響を受けて 2.3ppb と高く，一時間値も 200ppb を超えた時間が 20 時間あった。O_3 は 120ppb を超える高濃度が多く出現し，また，４～９月の日中の AOT40 も 30ppm･h と樹木の生長に阻害を及ぼす汚染状況であった。

以上，西丹沢においては比較的降雨が多く，乾燥化が樹木に影響を与えているとは考えづらく，また，降雨により樹木の葉及び土壌の酸性化に影響を与えているとは考えられない。しかし，酸性霧については樹木の葉に影響を及ぼしている可能性が示唆され，また，O_3 については樹木の生長に

阻害を及ぼす汚染状況であり，今後の推移に注意が必要である。

なお，本報に使用したデータは，環境省による酸性雨対策調査の一環として実施し得られたものであり，2000 年度のデータは確定されたものでなく変更される場合がある。

参考文献

1)神奈川県環境部大気保全課：酸性雨に係わる調査研究報告書（1994 年３月）

2)河野吉久：樹木に及ぼす酸性物質の長期慢性影響評価に関する研究，大気環境学会，36（2)，47-59 (2001)

3)電力中央研究所：酸性雨の総合評価(電中研レビュー No.43，2001.2)

4)大気環境学会：三宅島噴火と広域大気汚染(2001 年 2 月 28 日）

5)阿相敏明，武田麻由子，相原敬次：西丹沢山地における三宅島火山ガスの影響，神奈川県環境科学センター研究報告第 24 号（2001 年）投稿中

6)相原敬次，武田麻由子：丹沢大山山系における森林土壌の化学性の現状，神奈川県環境科学センター研究報告，23，14(2000)

7)伊豆田猛，松村秀幸，河野吉久，清水英幸：樹木に対するオゾンの影響に関する実験的研究，大気環境学会，36（2)，60-77(2001)

8)環境省：第３次酸性雨対策調査データ集（平成５年度～平成９年度）

9)阿相敏明，相原敬次，中澤誠，若松伸司：丹沢大山における森林保全のためのオゾン許容量推定手法の開発－丹沢におけるオゾン汚染状況－，第４１回大気環境学会講演要旨集，493(2000)