

VII 報 文
VIII 調 查 報 告

VII 報 文

秋田県の森林地帯における酸性雨・酸性霧について

湯川幸郎・高嶋 司・児玉 仁*

現在、県内全域に酸性の雨や雪が降っている状態であり、森林地帯における影響が懸念されるところである。そこで、森林地帯において、同一地域における高度差、同一標高における地域別の差等の降水特性を把握するために、白神山地、田沢湖駒ヶ岳等9地点で酸性雨の調査を、また、白神山地1000mで酸性霧の調査を実施した。

その結果、森林地帯の各地点における降水のpHの平均値は4.5～5.0で、市街部よりやや高く、ECの平均値は15～44 μ S/cmで、標高が高くなるほど低くなる傾向が見られた。イオン種濃度は、標高が高くなるにつれてほぼすべての成分の濃度が低くなる傾向にあり、特に nss-SO_4^{2-} は、白神山地標高1000mで24 μ eq/l、田沢湖駒ヶ岳標高1000mで30 μ eq/lで、市街地の約半分の値であった。

イオン種沈着量は、標高が高い地点では、低い地点に比較してイオン種濃度が低いものの降水量が多いため、白神山地および田沢湖駒ヶ岳の標高1000mにおけるイオン種沈着量は、市街地と同等またはそれ以上の値を示したが、同一地域における高度差による違いは特に認められなかった。

標高650m地点のイオン種沈着量は、沿岸の白神山地、男鹿本山に比べ、内陸の田沢湖駒ヶ岳で多い値を示し、男鹿本山と比較した場合、約1.5倍のイオン種沈着量を示しており、同一標高であっても地域によって差が認められた。

白神山地1000mでの霧水は、降水に比較して高い成分濃度を含んでいるものの、pHは4.8～5.8、ECは9～51 μ S/cmで、特異な値は示さなかった。

1. はじめに

森林破壊や湖沼の酸性化あるいは建造物の腐食等酸性雨による環境破壊は、その現象が確認されてからでは手遅れといわれている中で、近年、森林に対する酸性雨の影響について各地から報告されている。^{1)～3)}

現在、県内全域にpH4.8前後の雨や雪が降っている状態であり⁴⁾、これは通常酸性雨といわれているpH5.6以下であり、米国のNAPAPが酸性雨と定義しているpH5.0未満⁵⁾よりもまだ低い値である。本県は、秋田県・青森県にまたがる、世界遺産条約の自然遺産に登録された広大な面積のブナ天然林が分布している白神山地⁶⁾をはじめとして数多くの森林地帯を保有しており、酸性雨が継続的に降った場合、これらの森林生態系への影響が懸念される。

これまでのところ、目に見える被害は認められていないものの、冬季に日本海側で nss-SO_4^{2-} の沈着量が非常に多くなるという特徴が明らかにされており⁷⁾、また、本県は冬期間の卓越風は西風であり、大陸気団の影響を受けやすい地理的位置にある。

これまで、昭和58年度の環境庁第1次酸性雨対策調査と時期を同じくし、降水の成分調査を継続的に実施してきたが、これまでの調査は市街地やその周辺地域での降水を中心に調査研究を進めてきている状況である⁸⁾。

そこで、本県の森林地帯の降水の特性を把握しその影響について検討するために、平成6年度から森林地帯において、降水の同一地域における高度差による成分濃度の違いについて、また、同一標高における地域別における濃度差等について、森林地帯の白神山地3地点(標高50m, 650m, 1000m)、田沢湖駒ヶ岳3地点(標高230m, 650m, 1000m)、大陸からの季節風を直接受ける男鹿本山(標高650m)、秋田市中心部の中通とその後背地の仁別の計9地点において、1994年から2年間調査検討したので、その結果について報告する。また、白神山地1000mにおいて生態系、特に植物の葉、幹に直接影響するのではないかと指摘のある⁸⁾酸性霧の調査を実施したので、その結果についても併せて報告する。

*秋田県北部流域下水道事務所

2.2 調査方法

2.1 調査地点

調査地点を図1に、調査地点の特徴および調査項目を表1に示した。

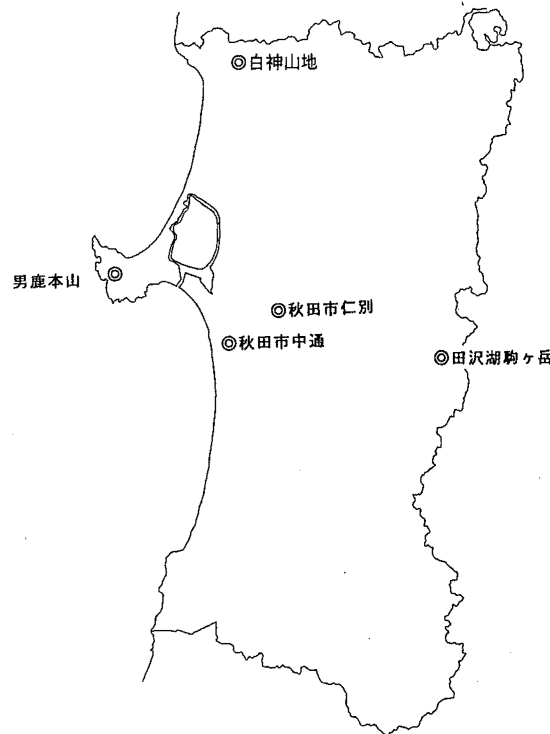


図1 測定地点

表 1 調査地点および調査項目

調査地点	設置場所	標高 (m)	海岸からの距離 (m)	調査項目		調査地点の特徴
				降水	霧	
白神山地(I)	八森ぶなっこランド敷地内	50	3	○		沿岸部
白神山地(II)	青秋林道奥の台橋側	650	10	○		同上
白神山地(III)	青秋林道終点付近	1000	13	○	○	同上
田沢湖駒ヶ岳(I)	田沢湖町役場屋上	230	70	○		内陸部
田沢湖駒ヶ岳(II)	田沢湖駒ヶ岳登山道途中	650	75	○		同上
田沢湖駒ヶ岳(III)	田沢湖駒ヶ岳登山道途中	1000	80	○		同上
男鹿本山	N T T無線中継所地内	650	3	○		大陸からの季節風を直接受けるバックグラウンド地
秋田中通	秋田市秋田保健所屋上	50	5	○		市街地
秋田仁別	秋田市旭川タム管理事務所屋上	115	20	○		市街地の後背地

2.2 調査期間

2.2.1 降水調査

平成6年度から平成7年度にかけて春季、夏季、秋季および冬季の各1か月（なお、白神山地は冬期間通行不能となるために、調査は標高50m地点だけとした。）

2.2.2 霧水調査

平成6年6月、平成7年6月、7月および10月

2.2.3 採取方法

降水は、ろ過式降水採取器（0.8μmメンブランフィルターでろ過）を現地に設置し、1週間後に採取し1検体とした。

霧水は、現地にテフロン細線を用いたアクティブ型細線式霧水採取装置（臼井工業研究所製）を設置し、霧が発生時に採取した。

2.2.4 分析項目および分析方法

pHはガラス電極法、電気伝導率（EC）は電気伝導率

計, SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ はイオンクロマトグラフ法で分析した。

3. 調査結果および考察

3.1 降水のpHおよびECについて

調査地点における降水のpHおよびECの平均値および範囲は表2のとおりである。各地点におけるpHの平均値は、白神山地で平成6年度4.7~4.9, 平成7年度4.9~5.0, 田沢湖駒ヶ岳で平成6年度4.5~4.8, 平成7年度4.7~4.8, 秋田中通および仁別4.6~4.7で、標高が高くなるにつれて市街地の中通やその後背地の仁別よりやや高くなる傾向が見られた。

ECの平均値は、白神山地で平成6年度22~39 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 平成7年度17~30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 田沢湖駒ヶ岳で平成6年度15~24 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 平成7年度21~25 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 秋田中通で37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度, 仁別で32~33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であり、標高が高くなるにつれて低くなる傾向が見られた。

標高1000m地点では、白神山地、田沢湖駒ヶ岳共に約20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であり、都市部の中通に比べ15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度の低い値を示していた。日本の清浄地域での降水の年平均値はpH<5.0, EC10~15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度とされているが¹⁰⁾, 標高1000m地点では、ほぼ同様な値を示していた。また、平成6年度と7年度を比較した場合、pH, EC共に特に大きな違いは認められなかった。

表2 pH およびECの平均値および範囲

年 度 地 点	H.6		H.7	
	pH	EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)
白 神 山 地 (50m)	4.7(4.4~6.2)	39(8~165)	4.9(4.4~6.4)	30(5~123)
白 神 山 地 (650m)	4.7(4.2~5.6)	26(7~109)	5.0(4.6~6.4)	17(4~ 50)
白 神 山 地 (1000m)	4.9(4.6~5.7)	22(9~115)	4.9(4.6~6.0)	20(4~ 36)
田沢湖駒ヶ岳(230m)	4.5(4.4~6.0)	24(9~ 68)	4.7(4.4~6.2)	25(9~ 68)
田沢湖駒ヶ岳(650m)	4.8(4.5~5.9)	17(4~ 46)	4.7(4.4~6.3)	21(8~ 39)
田沢湖駒ヶ岳(1000m)	4.8(4.5~5.6)	15(4~ 51)	4.8(4.4~5.9)	21(7~ 48)
男 鹿 本 山 (650m)	4.7(4.4~6.2)	44(9~190)	4.8(4.3~5.9)	31(8~114)
秋 田 中 通 (50m)	4.6(3.8~5.3)	37(6~ 88)	4.7(4.4~5.5)	37(11~185)
秋 田 仁 別 (115m)	4.7(4.1~5.5)	32(4~ 75)	4.6(4.1~5.4)	33(10~ 99)

3.2 降水中のイオン種濃度および降水成分への海塩粒子の寄与について

各地点の降水中の平均イオン種濃度を表3に示す。 SO_4^{2-} の平均値は、白神山地30~58 $\mu\text{eq}/\text{l}$, 田沢湖駒ヶ岳30~44 $\mu\text{eq}/\text{l}$ で市街地より低いものの、標高が高くなるほど値が低くなり標高差により違いが見られた。

また、本山は平成6年度が70 $\mu\text{eq}/\text{l}$, 平成7年度が46 $\mu\text{eq}/\text{l}$ で大きな違いが見られた。 NO_3^- の平均値は、白神山地10~18 $\mu\text{eq}/\text{l}$, 田沢湖駒ヶ岳12~19 $\mu\text{eq}/\text{l}$, 中通, 仁別は共に20 $\mu\text{eq}/\text{l}$ で、地点別の差はあまり見られなかった。これは、 NO_x の発生源からの反応を含む移流変質によるものと考えられる¹¹⁾。陰イオンでは Cl^- , 陽イオンでは Na^+ , Mg^{2+} が地点間での濃度差があり海塩粒子の影響を強く受けていた。 K^+ は、全般的に他の成分に比べて濃度は低かった。 Ca^{2+} は、土壌やコンクリートに多くふくまれているため道路粉じんが大きな発生源になっており¹¹⁾, やはり発生源の多い市街地中通で高い値を示した。 NH_4^+ は市街地の中通がやや高いものの、地点別の差はあまり見られなかった。

各地点における降水成分への海塩粒子の寄与をみる

ために、海塩由来の硫酸イオンと全硫酸イオンの比($\text{sea-SO}_4^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$)を算出した結果を表4に示した。沿岸の白神山地は、春季はほぼ全てnss- SO_4^{2-} であり夏季は標高50mでやや影響を受け、秋季および冬季は3地点共に影響を受けていた。内陸の田沢湖駒ヶ岳は、秋季, 夏季共ほぼ全てnss- SO_4^{2-} であるが、秋季, 冬季はsea- SO_4^{2-} も見られた。海塩粒子の影響は、春季, 夏季に小さく、秋季, 冬季に大きくなり、海からの距離が遠くなるほど、また、標高が高くなるほど比の値が小さくなる傾向にあり、沿岸にある白神山地の秋季で0.5を越えるときもあるため、以降は非海塩粒子について検討した。

表3 降水中のイオン種濃度

		SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	H ⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Total
平成6年度	白神山地(50m)	58.0	18.1	173	18.9	152	5.6	28.4	7.6	27.0	488
	白神山地(650m)	43.2	16.3	93.5	18.5	82.7	4.0	23.8	5.5	15.6	303
	白神山地(1000m)	34.2	12.5	92.9	13.5	80.4	11.6	14.6	6.6	15.0	281
	田沢湖駒ヶ岳(230m)	43.6	18.9	55.3	29.5	51.9	2.6	27.5	6.2	7.8	243
	田沢湖駒ヶ岳(650m)	33.6	13.5	31.4	15.8	28.1	2.3	21.5	4.4	3.6	154
	田沢湖駒ヶ岳(1000m)	30.2	12.3	26.8	15.6	25.3	2.8	17.0	2.3	3.4	136
	男鹿本山(650m)	70.0	22.1	176	20.1	156	11.2	31.2	20.3	28.7	535
	秋田中通(50m)	73.1	21.8	119	23.8	110	3.4	40.7	22.7	20.8	435
	秋田仁別(115m)	52.4	16.4	103	21.8	120	2.7	27.3	7.2	18.1	370
平成7年度	白神山地(50m)	47.3	15.1	144	12.7	125	5.6	23.9	10.4	30.5	414
	白神山地(650m)	29.4	10.2	66.2	10.1	60.1	2.4	14.4	6.1	13.2	212
	白神山地(1000m)	29.9	10.5	72.3	11.4	64.3	4.4	10.8	6.6	14.7	225
	田沢湖駒ヶ岳(230m)	41.2	17.2	62.1	20.4	54.5	2.3	19.1	7.5	10.9	235
	田沢湖駒ヶ岳(650m)	37.7	14.9	36.2	18.7	31.0	2.0	18.6	6.3	7.4	212
	田沢湖駒ヶ岳(1000m)	35.4	14.1	30.5	17.7	25.4	2.0	15.7	5.0	7.6	153
	男鹿本山(650m)	46.0	15.1	120	16.0	107	4.8	18.5	10.1	23.0	360
	秋田中通(50m)	61.7	17.9	147	18.4	129	3.9	26.2	18.7	28.2	451
	秋田仁別(115m)	53.8	19.6	93.7	26.3	79.7	2.6	20.3	8.3	17.6	322

(単位: $\mu\text{eq/l}$)

表4 降水中の海塩由来硫酸イオンと全硫酸イオンの比

地 点(標 高)	H.6					H.7				
	春	夏	秋	冬	平均	春	夏	秋	冬	平均
白 神 山 地 (50m)	0.05	0.51	0.57	0.41	0.31	0.17	0.14	0.38	0.41	0.32
白 神 山 地 (650m)	0.02	0.08	0.51	-	0.22	0.19	0.12	0.38	-	0.24
白 神 山 地 (1000m)	0.02	0.11	0.57	-	0.28	0.13	0.12	0.37	-	0.20
田沢湖駒ヶ岳(230m)	0.02	0.05	0.36	0.18	0.14	0.05	0.04	0.35	0.29	0.16
田沢湖駒ヶ岳(650m)	0.01	0.04	0.26	0.18	0.10	0.05	0.04	0.21	0.19	0.10
田沢湖駒ヶ岳(1000m)	0.01	0.03	0.27	0.15	0.10	0.04	0.04	0.21	0.15	0.09
男 鹿 本 山 (650m)	0.05	0.42	0.39	0.38	0.27	0.13	0.12	0.37	0.47	0.28
秋 田 中 通 (50m)	0.02	0.14	0.33	0.34	0.18	0.05	0.08	0.43	0.33	0.25
秋 田 仁 別 (115m)	0.03	0.22	0.35	0.36	0.21	0.10	0.07	0.12	0.39	0.18

3.3 降水中の非海塩性イオン種濃度および成分構成比

各地点の降水中の非海塩性平均イオン種濃度を表5、図2、3に示す。

標高が高くなるにつれて、ほぼすべての成分の濃度が低くなる傾向にあり、特に nss-SO_4^{2-} の2年間の平均値は、白神山地標高1000mで $24\mu\text{eq/l}$ 、田沢湖駒ヶ岳標高1000mで $30\mu\text{eq/l}$ で、市街部中通の約半分の値であった。

陰イオン濃度については、全地点で $\text{nss-SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ であった。陽イオン濃度については、 NH_4^+ が多い地点と H^+ が多い地点があった。非海塩性の全イオン種量は、

中通>本山>仁別>駒ヶ岳標高230m>白神山地標高50m>駒ヶ岳標高650m>白神山地標高650m>駒ヶ岳標高1000m>白神山地標高1000mの順であった。田沢湖駒ヶ岳の標高230mと標高1000mにおける四季別の非海塩性平均イオン種濃度および成分構成比を、図4、5に示した。冬季において、 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- の濃度が高くなっており、春季と比較して標高1000mでは、2倍以上の濃度であった。成分構成比は、四季を通じて nss-SO_4^{2-} が NO_3^- の2倍以上あり、夏と秋は顕著であった。陰イオンは H^+ が NH_4^+ よりやや多く含まれていた。また、高度差による成分濃度の違いについては特に認められなかった。

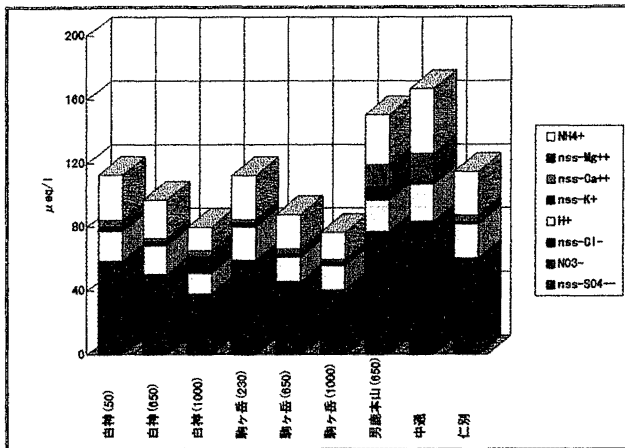


図2 森林地帯におけるイオン種濃度(平成6年度)

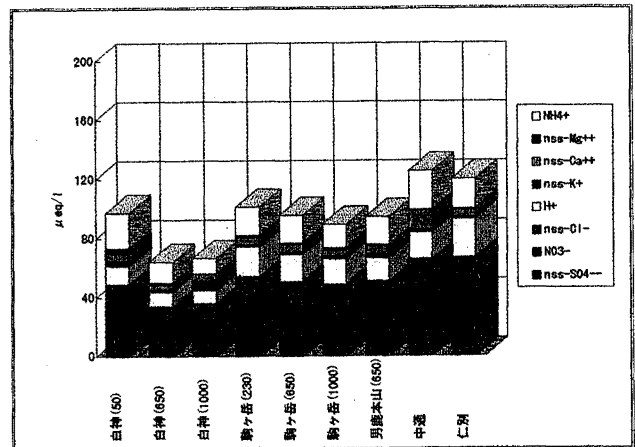


図3 森林地帯におけるイオン種濃度(平成7年度)

表5 降水中の非海塩性イオン種濃度

		nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	nss-Cl ⁻	H ⁺	nss-K ⁺	NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺	nss-Mg ²⁺	Total
平成6年度	白神山地(50m)	39.8	18.1	0.6	18.9	2.4	28.4	4.2	<0.1	112
	白神山地(650m)	33.3	16.3	0.4	18.5	2.2	23.8	2.2	<0.1	97
	白神山地(1000m)	24.5	12.5	0.7	13.5	9.9	14.6	3.6	0.4	80
	田沢湖駒ヶ岳(230m)	37.4	18.9	2.5	21.3	1.5	27.5	4.1	<0.1	113
	田沢湖駒ヶ岳(650m)	30.2	13.5	1.7	15.8	1.7	21.5	3.3	<0.1	88
	田沢湖駒ヶ岳(1000m)	27.2	12.3	0.6	15.6	2.3	17.0	1.4	<0.1	76
	男鹿本山(650m)	51.2	22.1	3.5	20.1	7.9	31.2	13.9	0.3	150
	秋田中通(50m)	60.0	21.8	1.2	23.8	1.1	40.7	18.0	<0.1	167
	秋田仁別(115m)	41.5	16.4	2.1	21.8	0.8	27.3	4.0	0.6	115
平成7年度	白神山地(50m)	32.3	15.1	1.6	12.7	3.0	23.9	5.0	3.7	97
	白神山地(650m)	22.2	10.2	1.4	10.1	1.2	14.4	3.6	1.2	64
	白神山地(1000m)	24.3	10.5	1.1	9.1	6.2	10.6	4.5	0.4	67
	田沢湖駒ヶ岳(230m)	34.6	17.2	2.1	20.4	1.1	19.1	5.3	1.4	101
	田沢湖駒ヶ岳(650m)	34.0	14.9	1.6	18.7	1.3	18.6	5.0	1.2	95
	田沢湖駒ヶ岳(1000m)	32.3	14.1	2.0	17.7	1.5	15.7	3.9	1.9	89
	男鹿本山(650m)	33.1	15.1	2.3	16.0	2.6	18.5	5.4	1.0	94
	秋田中通(50m)	46.2	17.9	1.4	18.4	1.2	26.2	13.1	0.8	125
	秋田仁別(115m)	44.2	19.6	2.8	26.3	1.0	20.3	4.8	1.0	120

(単位: μeq/l)

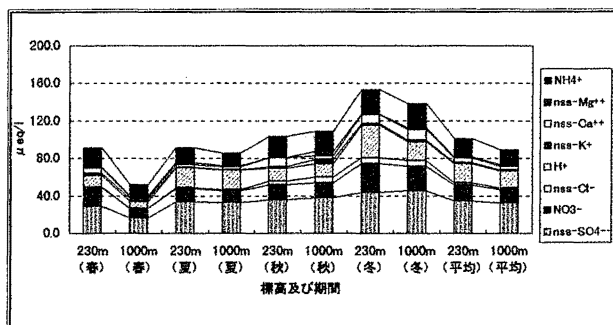


図4 駒ヶ岳におけるイオン種濃度(平成7年度)

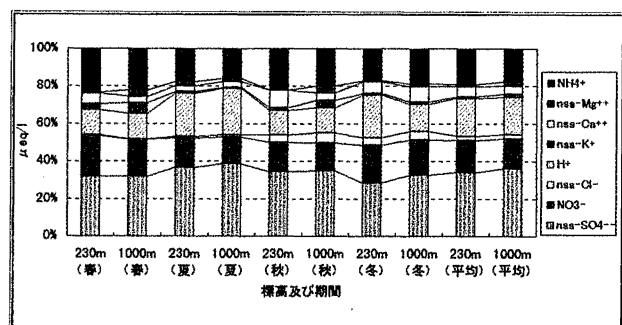


図5 駒ヶ岳における成分構成比(平成7年度)

3.4 降水成分の人的影響について

化石燃料の燃焼により生じた NO_x や SO_2 から、 NO_3^- や SO_4^{2-} が生成されるために、 NO_3^- や SO_4^{2-} は人間活動に基づく汚染物質になる¹²⁾。そこで、調査地点における降水成分の人的影響を見るために、陰イオン($\text{NO}_3^- + \text{nss-SO}_4^{2-}$)中の NO_3^- の割合を表6に示した。安念らの調査では¹³⁾、標高1500mより高い地点では0.1～0.2、低い地点では0.3以上であり、標高が高くなるほ

ど小さくなる傾向を示していたとなっているが、我々の調査では各地点、各季でばらつくもののほぼ全地点で0.3前後の数値を示しており、標高1000m程度の高さまでは、降水中の成分は、ウオッシュアウトよりレインアウトが主で、人的影響を受ける度合いについてはあまり差がないと思われる。

表6 $\text{NO}_3^- / (\text{nss-SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ 比

地 点(標 高)	H.6					H.7				
	春	夏	秋	冬	平均	春	夏	秋	冬	平均
白 神 山 地 (50m)	0.26	0.43	0.40	0.28	0.31	0.41	0.30	0.28	0.32	0.32
白 神 山 地 (650m)	0.30	0.36	0.35	-	0.33	0.42	0.30	0.29	-	0.31
白 神 山 地 (1000m)	0.31	0.35	0.36	-	0.34	0.39	0.31	0.27	-	0.30
田沢湖駒ヶ岳(230m)	0.32	0.32	0.37	0.36	0.34	0.40	0.30	0.31	0.41	0.33
田沢湖駒ヶ岳(650m)	0.31	0.29	0.34	0.34	0.31	0.42	0.27	0.29	0.40	0.30
田沢湖駒ヶ岳(1000m)	0.32	0.28	0.32	0.35	0.31	0.39	0.27	0.30	0.36	0.30
男 鹿 本 山 (650m)	0.28	0.39	0.36	0.24	0.30	0.34	0.29	0.32	0.33	0.31
秋 田 中 通 (50m)	0.23	0.30	0.31	0.26	0.27	0.32	0.26	0.28	0.29	0.28
秋 田 仁 別 (115m)	0.25	0.30	0.35	0.28	0.28	0.39	0.28	0.24	0.35	0.31

3.5 各地点の降水量およびイオン種沈着量

各地点の降水量を表7に示す。平成6年度と平成7年度を比較した場合、各地点とも平成7年度は降水量が非常に多くなっており、白神山地標高650m、田沢湖駒ヶ岳標高230m、男鹿本山、秋田中通は約2倍の降水量であった。地点別で見てみると、平成6年度では秋田中通、男鹿本山は白神山地標高1000m、田沢湖駒ヶ岳標高1000mの約半分の降水量であった。また、標高が高い地点では降水量が多くなっており、標高1000mは標高の低い場所に比較して約1.5倍の降水量であった。

イオン種沈着量を表8および図6、図7に示す。イオン種沈着量は降水量と密接な関係があり、標高が高い地点では低い地点に比較してイオン種濃度が低いものの、降水量が多いためイオン種沈着量としては多くなる傾向にあり、白神山地、田沢湖駒ヶ岳の標高1000mのイオン種沈着量は、都市部の中通と同等またはそれ以上の値を示した。 nss-SO_4^{2-} の月平均値は、平成6年度は男鹿本山が $4.3\text{meq/m}^2/\text{month}$ で一番低く、田沢湖駒ヶ岳1000m、秋田中通がともに $7.7\text{meq/m}^2/\text{month}$ で最も高い値を示していたが、平成7年度では田沢湖駒ヶ岳1000mでは $12.2\text{meq/m}^2/\text{month}$ と秋田中通より高い値を示していた。陰イオンについては、全地点で $\text{nss-SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ であり、 nss-SO_4^{2-} は NO_3^- の約2倍の降下量であった。陽イオンについては、平成6年度は全地点で NH_4^+ が H^+ より多かったが、平成7年度は NH_4^+ が多い地点と H^+ が多い地点があった。非海塩性の全イ

表7 調査地点の降水量

調査地点名(標 高)	H.6	H.7
白 神 山 地 (50 m)	153	243
白 神 山 地 (650 m)	196	410
白 神 山 地 (1000 m)	269	394
田沢湖駒ヶ岳(230m)	166	317
田沢湖駒ヶ岳(650m)	242	354
田沢湖駒ヶ岳(1000m)	284	376
男 鹿 本 山 (650 m)	111	239
秋 田 中 通 (50 m)	128	231
秋 田 仁 別 (20 m)	201	235

(単位: mm/month)

オン種沈着量は、駒ヶ岳標高1000m>駒ヶ岳標高650m>駒ヶ岳標高230m>中通>仁別>白神山地標高1000m>白神山地標高650m>白神山地標高50m>本山の順であった。

田沢湖駒ヶ岳の標高230mと標高1000mにおける夏季と冬季の平成7年度のイオン種沈着量を図8に示す。陰イオンでは nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- が陽イオンでは H^+ 、 NH_4^+ が、冬季に比べて夏季のほうが3～4倍の沈着量を示しており、全イオン種沈着量を見ても、夏季のほうが冬季より3～4倍の沈着量を示していた。標高230mと標高1000mの全イオン種沈着量を比較した場合、特に違いが認められなかった。

標高650mにおける各地点のイオン種濃度を表9に、イオン種沈着量を表10および図9、10に示す。標高650m地点における各地点の全イオン種濃度の2年間の平均は、

白神山地80 μ eq/l, 田沢湖駒ヶ岳92 μ eq/l, 男鹿本山122 μ eq/lで男鹿本山>田沢湖駒ヶ岳>白神山地の順であったが, 平成7年度だけみると男鹿本山94 μ eq/l, 田沢湖駒ヶ岳95 μ eq/lでほぼ同様であった。各地点ともに陰イオンでは nss-SO_4^{2-} , 陽イオンでは NH_4^+ が最も多く含まれていた。平成6年度では, nss-SO_4^{2-} が沿岸部の男鹿本山で51.2 μ eq/l, 内陸部の田沢湖駒ヶ岳で30.2 μ eq/lと男鹿本山が高い数値を示していた。これは冬季に男鹿本山が田沢湖駒ヶ岳の約4倍の数値を

示したためで, 我々の調査においても, 日本海側で冬季に nss-SO_4^{2-} が非常に高い数値を示していた。

平成7年度では, 男鹿本山と田沢湖駒ヶ岳の全イオン種濃度はほぼ同様であったが, 降水量の関係から全イオン種沈着量では, 田沢湖駒ヶ岳が男鹿本山に比べ陰イオンで nss-SO_4^{2-} , NO_3^- , 陽イオンで NH_4^+ が多く含まれており, 全イオン種沈着量では約1.5倍の値を示していた。

表8 降水中のイオン種沈着量

地 点		成分	nss-SO_4^{2-}	NO_3^-	nss-Cl^-	H^+	nss-K^+	NH_4^+	nss-Ca^{2+}	nss-Mg^{2+}	Total
平成6年度	白神山地(50m)		6.1	2.8	0.1	2.9	0.4	4.4	0.7	<0.1	17.4
	白神山地(650m)		6.5	3.2	0.1	3.6	0.4	4.7	0.4	<0.1	18.9
	白神山地(1000m)		6.6	3.3	0.2	3.6	2.7	3.9	1.0	0.1	21.4
	田沢湖駒ヶ岳(230m)		6.2	3.1	0.4	3.5	0.2	4.5	0.8	<0.1	18.7
	田沢湖駒ヶ岳(650m)		7.3	3.3	0.4	3.8	0.4	5.2	0.8	<0.1	21.2
	田沢湖駒ヶ岳(1000m)		7.7	3.5	0.2	4.4	0.7	4.8	0.4	<0.1	21.7
	男鹿本山(650m)		4.3	1.9	0.3	1.7	0.7	2.6	1.2	<0.1	12.7
	秋田中通(50m)		7.7	2.8	0.2	3.0	0.1	5.2	2.3	<0.1	21.3
	秋田仁別(115m)		8.3	3.3	0.4	4.4	0.2	5.5	0.7	0.1	22.9
平成7年度	白神山地(50m)		7.9	3.7	0.4	3.1	0.7	5.8	1.2	0.9	23.7
	白神山地(650m)		9.1	4.2	0.6	4.2	0.5	5.9	1.5	0.5	26.5
	白神山地(1000m)		9.6	4.1	0.4	3.6	2.4	4.2	1.8	0.2	26.3
	田沢湖駒ヶ岳(230m)		11.0	5.5	0.7	6.5	0.4	6.1	1.8	0.4	32.4
	田沢湖駒ヶ岳(650m)		12.1	5.3	0.6	6.6	0.5	6.7	1.8	0.4	34.0
	田沢湖駒ヶ岳(1000m)		12.2	5.3	0.8	6.7	0.6	5.9	1.5	0.7	33.7
	男鹿本山(650m)		7.9	3.6	0.6	3.8	0.6	4.4	1.3	0.3	22.7
	秋田中通(50m)		10.7	4.1	0.3	4.3	0.3	6.0	3.0	0.2	28.9
	秋田仁別(115m)		10.4	4.6	0.7	6.2	0.2	4.8	1.1	0.2	28.2

(単位: meq/m²/month)

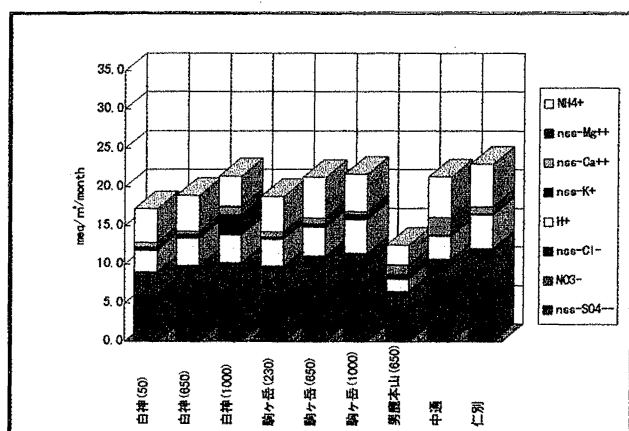


図6 森林地帯におけるイオン種沈着量(平成6年度)

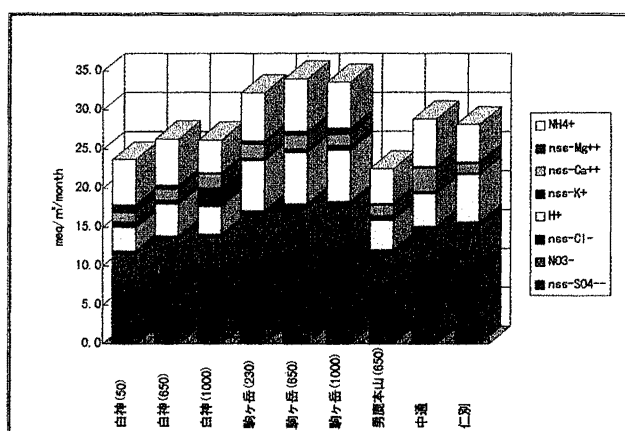


図7 森林地帯におけるイオン種沈着量(平成7年度)

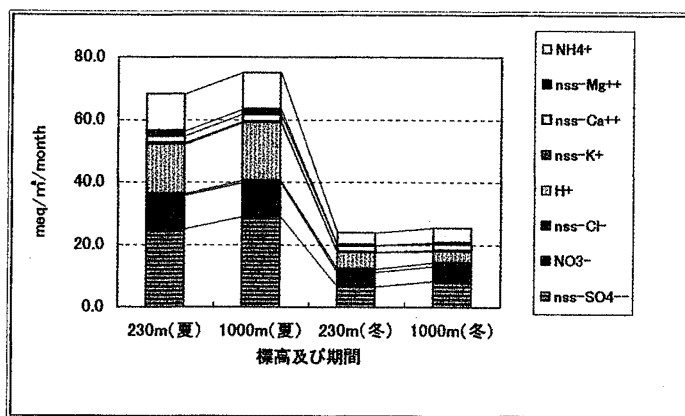


図8 夏季および冬季における駒ヶ岳のイオン種沈着量(平成7年度)

表9 標高650m地点におけるイオン種濃度

地 点		成分	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	nss-Cl ⁻	H ⁺	nss-K ⁺	NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺	nss-Mg ²⁺	Total
H 6	白 神 山 地		33.3	16.3	0.4	18.5	2.2	23.8	2.2	<0.1	97
	田沢湖駒ヶ岳		30.2	13.5	1.7	15.8	1.7	21.5	3.3	<0.1	88
	男 鹿 本 山		51.2	22.1	3.5	20.1	7.9	31.2	13.9	0.3	150
H 7	白 神 山 地		22.2	10.2	1.4	10.1	1.2	14.4	3.6	1.2	64
	田沢湖駒ヶ岳		34.0	14.9	1.6	18.7	1.3	18.6	5.0	1.2	95
	男 鹿 本 山		33.1	15.1	2.3	16.0	2.6	18.5	5.4	1.0	94

(単位: $\mu\text{eq/l}$)

表10 標高650m地点におけるイオン種沈着量

地 点		成分	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	nss-Cl ⁻	H ⁺	nss-K ⁺	NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺	nss-Mg ²⁺	Total
H 6	白 神 山 地		6.5	3.2	0.1	3.6	0.4	4.7	0.4	<0.1	18.9
	田沢湖駒ヶ岳		7.3	3.3	0.4	3.8	0.4	5.2	0.8	<0.1	21.2
	男 鹿 本 山		4.3	1.9	0.3	1.7	0.7	2.6	1.2	<0.1	12.7
H 7	白 神 山 地		9.1	4.2	0.6	4.2	0.5	5.9	1.5	0.5	26.5
	田沢湖駒ヶ岳		12.1	5.3	0.6	6.6	0.5	6.7	1.8	0.4	34.0
	男 鹿 本 山		7.9	3.6	0.6	3.8	0.6	4.4	1.3	0.3	22.7

(単位: $\text{meq/m}^2/\text{month}$)

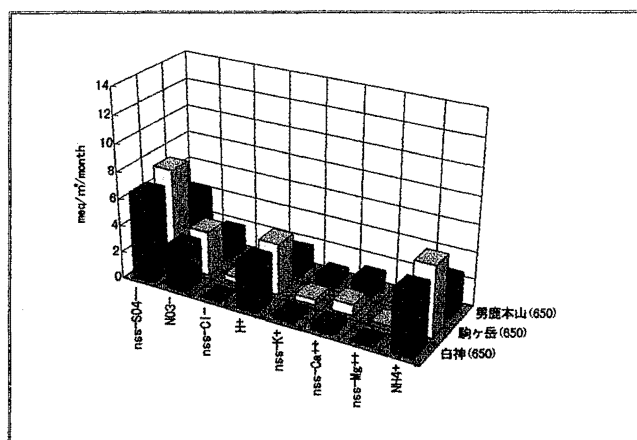


図9 標高650m地点のイオン種沈着量
(平成6年度)

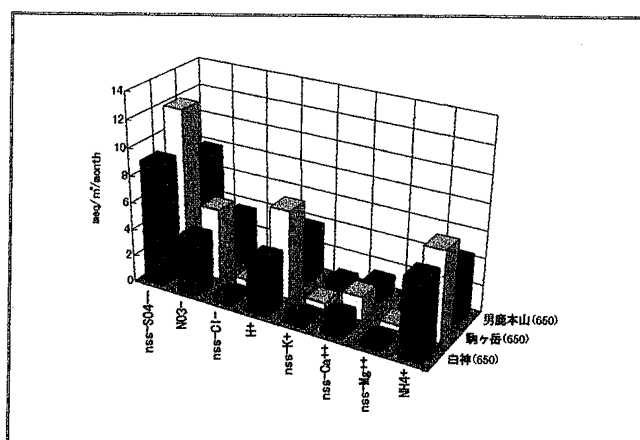


図10 標高650m地点のイオン種沈着量
(平成7年度)

3.6 白神山地における酸性霧について

3.6.1 霧発生時の天候について¹⁴⁾

平成6年6月の調査では、21日に日本海の小さな低気圧が日中通過したために、曇りから時々雨になったが、夜には高気圧が日本海を覆って、22日には晴れとなった。

平成7年6月の調査では曇り一時晴れ、7月は雨後時々曇りで、10月17日午後から18日の朝にかけて、雨後曇りの天候であった。

3.6.2 白神山地1000mにおける霧水および降水の成分濃度

白神山地1000mにおける霧水および降水の捕集状況を表10、成分濃度を表11に示す。pHについては4.8～5.8で、他地域^{15～17)}で観測されている低い値は当地点では観測されなかった。降水の成分濃度と比較した場合、降水のpHは4.9～5.4の範囲でありほぼ同様な値を示した。

ECについては、霧水は9～51 μ S/cm、降水は12～20 μ S/cmで、降水に比較して霧水がやや高い値を示しているものの、特に高い値は示さなかった。

霧水および降水の成分濃度を図11に示した。霧水は春季において SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ が、秋季において Na^+ 、 Cl^- が多く含まれており、春季、秋季共に降水に比較してかなり高い濃度を示していた。また、降水も秋季に Na^+ 、 Cl^- が多く含まれており、春季に比べ霧水および降水共に海塩の影響を強く受けているのではないと思われる。霧水および降水の成分構成比を図12に示した。霧水の成分構成比は、陰イオンは春季、秋季共に SO_4^{2-} と NO_3^- がほぼ同様な割合を示し、 SO_4^{2-} の割合の多い降水とは違う構成であった。春季の霧水中の陽イオンでは NH_4^+ が大部分を示し、秋季は霧水、降水共に Na^+ と Cl^- が全体の大部分を占めていた。

白神山地標高1000m程度の高さで、pHは特に低い値を示していないが、降水に比較して高い成分濃度を含んだ霧が発生している状況である。

表10 白神山地1000mにおける霧水および降水の捕集状況

	No.	種類	捕集開始時		捕集終了時		捕集量 (ml)
			月 日	時	月 日	時	
H 6	6F-1	霧	6/21	15:00	6/22	3:00	140
	6F-2	霧	6/22	5:20	6/22	7:20	45
	6R-1	雨	6/20	11:00	6/27	11:00	598
	7F-1	霧	6/21	13:00	6/21	18:00	56
H 7	7R-1	雨	6/19	11:00	6/26	11:00	140
	7F-2	霧	7/20	11:00	7/20	14:00	62
	7F-3	霧	7/20	14:00	7/20	17:00	82
	7F-4	霧	10/17	13:20	10/17	17:20	40
	7F-5	霧	10/17	17:30	10/18	6:30	80
	7R-2	雨	10/16	11:00	10/23	11:00	460

表11 白神山地1000mにおける霧水および降水のイオン種濃度

No.	pH	EC	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	H^+	Na^+	K^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Total
6F-1	5.70	8.6	14.6	16.9	16.9	2.0	14.3	5.6	15.0	19.0	<0.1	104
6F-2	4.86	17.1	39.2	30.6	15.5	13.8	16.1	2.8	33.9	<0.1	<0.1	152
6R-1	5.13	11.6	50.2	52.9	17.2	1.6	21.3	11.5	66.1	20.0	6.6	247
7F-1	4.87	68.8	148.8	148.7	83.2	13.5	32.6	8.7	287.2	30.5	12.3	766
7R-1	4.94	19.7	49.4	36.8	20.9	11.5	20.9	13.8	38.9	9.0	5.8	206
7F-2	5.79	23.7	50.2	52.9	17.2	1.6	21.3	11.5	66.1	20.0	6.6	247
7F-3	5.41	12.7	27.1	29.0	8.7	3.9	5.2	7.7	41.1	10.0	0.8	134
7F-4	5.40	42.8	45.2	53.4	182.5	4.0	132.6	14.1	75.6	21.0	30.5	559
7F-5	4.81	51.3	69.4	35.6	199.4	15.5	193.9	9.7	62.8	17.0	37.9	641
7R-2	5.39	18.6	26.5	13.2	94.5	4.1	83.5	5.6	13.9	7.0	17.3	266

(単位 EC: μ S/cm, ions: μ eq/l)

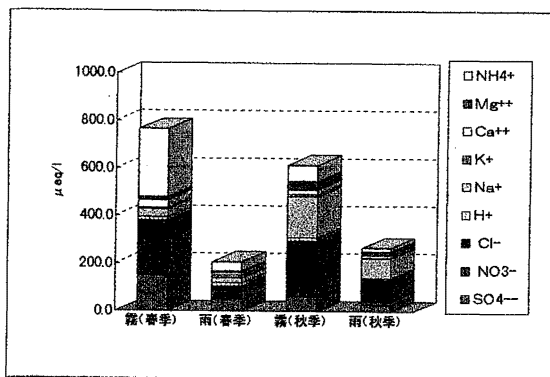


図11 白神山地1000mにおける霧水および降水の成分濃度(平成7年度)

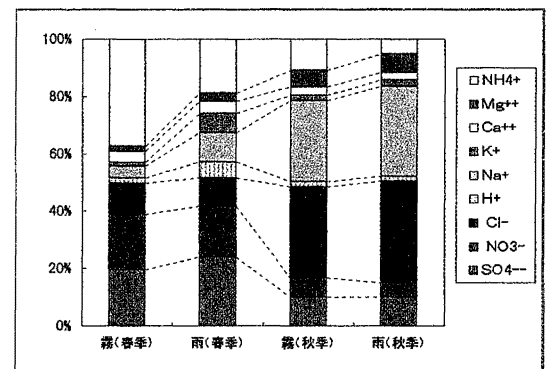


図12 白神山地1000mにおける霧水および降水の成分構成比(平成7年度)

4, まとめ

酸性雨による森林地帯における影響が懸念されるため、同一地域における高度差、同一標高における地域別の差等の調査を実施し、酸性雨の降水特性を把握した。また、白神山地1000m地点において酸性霧の調査も実施した。

- 1) 森林地帯の各地点におけるpHの平均値は4.5~5.0で、標高が高くなるにつれて、市街部よりやや高く、ECの平均値は15~44 μ S/cmで、標高が高くなるほど低くなる傾向が見られた。
- 2) イオン種濃度は、標高が高くなるにつれて、ほぼすべての成分の濃度が低くなる傾向にあり、特に非海塩性硫酸イオンは、白神山地標高1000mで24 μ eq/l、田沢湖駒ヶ岳標高1000mで30 μ eq/lで、市街地の約半分の値であった。
- 3) イオン種沈着量は、標高が高い地点では、低い地点に比較してイオン種濃度が低いものの降水量が多いため、白神山地および田沢湖駒ヶ岳の標高1000mにおけるイオン種沈着量は、市街地と同等またはそれ以上の値を示した。
- 4) 秋田県の森林地帯においては、標高1000m程度の高さではウォッシュアウトよりレインアウトが主で、同一地域における高度差による違いは特に認められなかった。
- 5) 標高650m地点のイオン種沈着量は、沿岸の白神山地、男鹿本山に比べ、内陸の田沢湖駒ヶ岳で多い値を示し、男鹿本山と比較した場合、約1.5倍のイオン種沈着量の値を示しており、同一標高であっても地域によって差が認められた。
- 6) 白神山地1000mでの霧水は、降水に比較して高い成分濃度を含んでいるものの、pHは4.8~5.8、ECは 9~

51 μ S/cmで、特異な値は示さなかった。

7) 現在、森林地帯における大気質は清浄な状態であるが、標高1000mにおいても地上と同様なイオン種沈着量があり、森林生態系への影響が懸念されたために、今後、植生や土壌調査等総合的な調査を実施し解析する必要があると思われる。

参考文献

- 1) 村野健太郎：酸性雨—広がる被害，影響，対策の行方を最近の動向から捉える資源環境対策 Vol.32.No. 12 22 1996
- 2) 木下喜博：酸性雨等による森林への影響に関する調査研究と林野庁の取組 環境研究 NO.99 149~154 1995
- 3) 鈴木和夫：酸性雨等汚染物質の森林生態に及ぼす影響 産業公害 Vol.27,NO.10 32~35 1991
- 4) 秋田県：平成7年版環境白書 50 平成7年12月
- 5) 原宏：酸性雨-第1講「酸性雨」とpH- 大気汚染学会誌 第26巻第1号 A2 1991
- 6) 林野庁・秋田営林局・藤里森林センター：白神山地森林生態系保護地域観察ガイド 白神 28~ 1994
- 7) 全国公害研会誌 Vol.19 19 1994
- 8) 湯川幸郎・児玉仁・久米均：酸性雨に関する研究-酸性雨成分とエアロゾルの関係について 秋田県環境技術センター年報 Vol.21 70~83 1995
- 9) 村野健太郎：酸性霧汚染の実態 公害と対策 Vol.27 NO.3 29 1991
- 10) 玉置元則・小山功：地上から見た日本の酸性雨-酸性雨調査・研究で得られた成果と今後の課題-大気汚染学会誌 第26巻第1号1991
- 11) 古明地哲人：乾性，湿性降下物中化学成分と降下量の地点特性 東京都環境科学研究所年報 79 1991

- 12)村野健太郎:酸性雨と酸性霧 43
- 13)安念清・大西勝典・藤谷亮一・早狩進・福崎紀夫・佐々木一敏・清水源治・小山功・久米一成・土器屋由紀子・丸田恵美子・畠山史郎・村野健太郎:日本の山岳地帯における酸性降下物中のイオン種濃度と降水量日本化学会誌 No.11 916 1995
- 14)秋田地方気象台:秋田県気象月報 平成6年6月, 平成7年6月, 平成7年10月
- 15)田子博・石村典元・中島穂泉・土屋哲・嶋田好孝・秋山重太郎:平成5年度群馬県における霧の実態調査 群馬県環衛研年報 第26号 142 1994
- 16)戸澤範行・都築崇之・羽田野良一:愛知県三河山間部における酸性霧調査について(第1報) 愛環セ所報 NO. 23 23 1995
- 17)佐藤慎二・口田圭吾・情野正道・玉川勝美・加藤丈夫:泉ヶ岳における酸性霧の実態調査 仙台市衛生研究所所報 第24号 197 平成6年度