

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**

本県の森林地帯において、同一地域における高度差、同一標高における地域差や季節変化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、白神山地の標高1000m地点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4.7～4.9で、市街部よりやや高く、ECの平均値は19～37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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-SO₄²⁻は、白神山地標高1000mで25 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 、田沢湖駒ヶ岳標高1000mで34 $\mu\text{eq}/\text{l}$ と市街地の中通を大きく下回る値であった。

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。季節別にみると、特に冬季において上記に示す傾向が顕著であり、標高の高い地域においては積雪としてイオン種沈着量が多量に蓄積されることがわかった。

標高650m地点において、イオン種濃度は沿岸の男鹿本山で内陸の田沢湖駒ヶ岳より高い値を示したが、イオン種沈着量は、逆に田沢湖駒ヶ岳が男鹿本山の約2倍高い値を示しており、同一標高であっても地域によって差が認められた。

白神山地1000mでの霧水は、降水に比較するとpHはほぼ同様な値であったが、ECおよび成分濃度は高い値を示した。また、霧については、発生時初期に最も成分濃度が高く、時間が経過するにつれて、濃度が低くなる傾向を示した。

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ところである。

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-SO₄²⁻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北西風であり、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とした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特性を把握しその影響について検討するために、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)、そして秋田市中心部の中通とその後背地である仁別の計9地点において調査を実施した。平成6年度および7年度の結果については既に報告したが⁹⁾、平成9年度の調査を含む3年間について、取りまとめ検討したので、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¹⁰⁾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。

* 大曲保健所 ** 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。

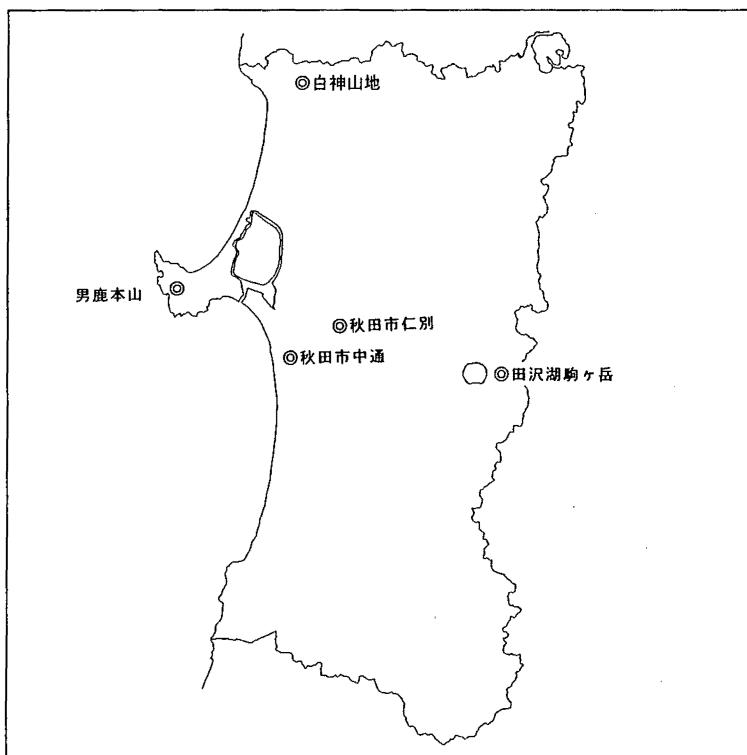


図1 測定地点

表1 調査地点および調査項目

調査地点 (名称)	設置場所	標高 (m)	海岸から の距離 (Km)	調査項目		調査地点の特徴
				降水	霧	
白神50m	白神山地 八森ぶなっこランド敷地内	50	3	○		沿岸部
白神650m	白神山地 青秋林道奥の台橋側	650	10	○		同上
白神1000m	白神山地 青秋林道終点付近	1000	13	○	○	同上
駒ヶ岳230m	田沢湖町生保内 田沢湖町役場屋上	230	70	○		内陸部
駒ヶ岳650m	秋田駒ヶ岳 駒ヶ岳登山道入口	650	75	○		同上
駒ヶ岳1000m	秋田駒ヶ岳 駒ヶ岳登山道途中	1000	80	○		同上
本山650m	男鹿本山 NTT無線中継所地内	650	3	○		大陸からの季節風を直接受ける地点
中通	秋田市中通 秋田保健所屋上	50	5	○		市街地
仁別	秋田市仁別 旭川ダム管理事務所屋上	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8年度の春季(6月), 夏季(8月), 秋季(10月)および冬季(2月)のおおむね1か月間とした。なお, 白神山地については積雪のため冬期間通行不能となるために, 冬季の調査は標高50m地点のみとした。

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

平成8年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 ($0.8\mu\text{m}$ 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。なお, 冬季は雪採取装置を設置し, 採取した試料を上記フィルターでろ過し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(日井工業研究所製)を設置し, 霧が発生時に採取した。採取した試料は上記フィルターでろ過し1検体とした。

2.2.4 分析項目および分析方法

pHは[JIS K0102.12.1], 電気伝導率(EC)は[JIS K0102.13], 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 降水量について

調査期間における各地点の平均月間降水量を表2に示す。

表2 調査地点の降水量 (単位: mm/month)

	H.6	H.7	H.8	平均
白神50m	153	243	196	197
白神650m	196	410	277	294
白神1000m	269	394	265	309
駒ヶ岳230m	166	317	145	209
駒ヶ岳650m	363	451	365	393
駒ヶ岳1000m	414	497	406	439
本山650m	111	239	165	172
中通	128	231	159	172
仁別	201	235	213	216

地点別でみると、駒ヶ岳1000mが最も多く、中通、本山650m、白神50mの2倍以上の降水量があった。

標高が高い地点では降水量が多くなっており、同一地域で比較すると、駒ヶ岳1000mと230mでは約200mの開きがあった。年度別にみると平成7年度が最も多く、白神650m、駒ヶ岳230m、本山650mおよび中通

は平成6年度の約2倍の降水量であった。

また、季節変化を図2に示すように、駒ヶ岳650mおよび1000mでは冬季の降水量が他の季節に比べ大きく上回っていたが、仁別など他の地点では、夏季が他の季節をやや上回っていた。

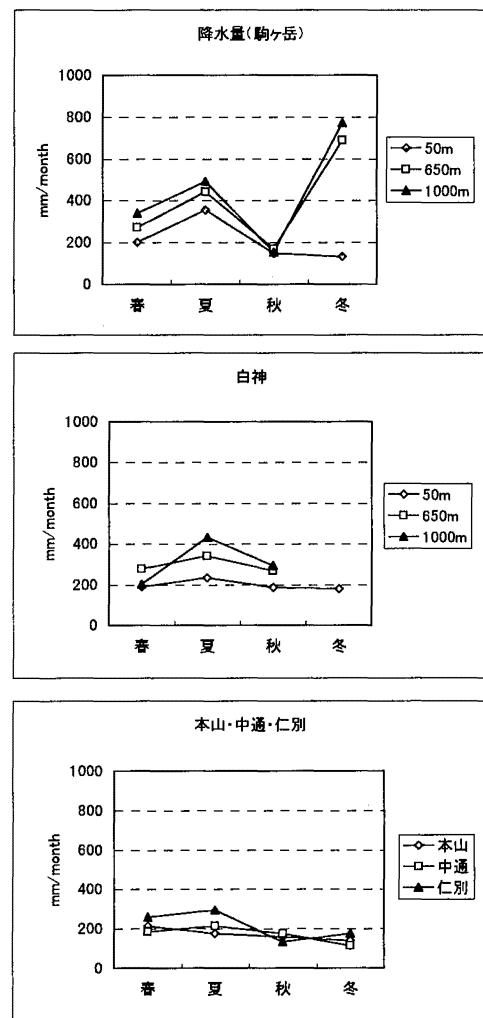


図2 各地点における降水量の季節変化

3.2 降水のpHおよびECについて

pHの平均値(降水量による加重平均)および範囲は表3および図3のとおりである。各地点におけるpHの平均値は、白神50m, 650mで4.8, 白神1000mで4.9, 駒ヶ岳の各地点で4.8, 本山, 中通で4.7, 仁別で4.6であった。白神山地では、標高が高くなるにつれてpHがやや高くなる傾向が見られた。また、季節変化を図4で示すように、ほとんどの地点でpHが秋季に高く冬季に低くなる傾向がみられた。

ECの平均値(降水量による加重平均)を表4に示す。各地点におけるECの平均値は、白神19~36 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 駒ヶ岳22~25 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 本山で37 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 中通39 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 仁別

別33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ となっており、標高が高くなるにつれてECが低くなる傾向が見られた。季節変化を図5に示すように、各地点とも冬季と秋季にECが高くなる傾向がみられた。これは、この期間に北西の風が卓越し、降水中の海塩粒子が増えるためと考えられる。¹¹⁾

標高1000m地点では、白神、駒ヶ岳については、20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 前後であり、都市部の中通に比べ約半分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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度と言われているが¹²⁾、標高1000m地点では、ほぼ同様な値を示していた。

表3 pHの平均値および範囲

	春	夏	秋	冬	平均 (最小~最大)
白神50m	4.7	4.9	5.2	4.5	4.8 (4.2~6.4)
白神650m	4.8	4.8	5.0	—	4.8 (3.9~6.4)
白神1000m	5.0	4.8	5.1	—	4.9 (4.6~6.0)
駒ヶ岳230m	4.8	4.7	4.9	4.5	4.7 (3.7~6.2)
駒ヶ岳650m	4.6	4.7	4.9	4.7	4.7 (3.7~6.3)
駒ヶ岳1000m	5.0	4.7	4.9	4.7	4.7 (3.8~5.9)
本山650m	4.9	4.8	4.8	4.4	4.7 (4.1~6.2)
中通	4.7	4.6	4.8	4.6	4.7 (3.8~5.9)
仁別	4.8	4.6	4.6	4.6	4.6 (4.1~5.6)

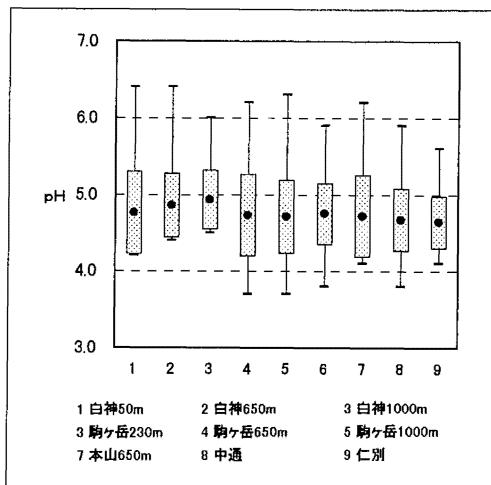


図3 pHの平均値および範囲

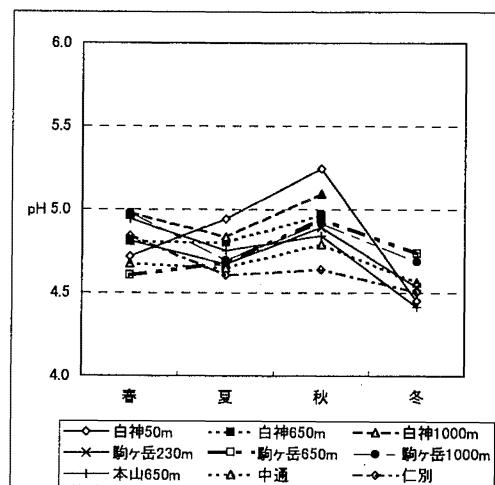


図4 pHの季節変化

表4 ECの平均値および範囲 (単位: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

	春	夏	秋	冬	平均
白神50m	17.9	22.7	35.6	72.2	36.1
白神650m	11.6	16.2	32.7	—	19.7
白神1000m	10.5	14.0	33.4	—	19.3
駒ヶ岳230m	16.8	18.5	35.2	45.1	25.3
駒ヶ岳650m	15.4	18.2	28.3	26.5	22.5
駒ヶ岳1000m	12.6	16.6	29.8	27.4	21.7
本山650m	12.4	22.6	37.5	93.4	37.1
中通	21.0	24.3	42.1	90.7	39.0
仁別	15.9	25.6	33.8	68.6	32.7

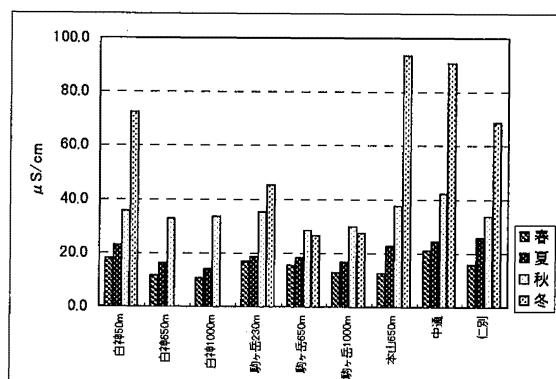


図5 ECの季節変化

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

イオン種濃度の年間平均値(降水量による加重平均)を表5に示す。 SO_4^{2-} は、白神山地32~54 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 、駒ヶ岳38~45 $\mu\text{eq}/\text{l}$ で市街地中通69 $\mu\text{eq}/\text{l}$ より低く、標高が高くなるほどイオン種濃度が低くなる傾向がみられた。

NO_3^- は、白神山地12~18 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 、駒ヶ岳16~19 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 、本山17 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 、中通21 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 、仁別17 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 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¹³⁾。

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る沿岸部で高い値を示していた。

K^+ は、他の成分に比べて濃度は低いが、森林に囲まれた白神1000m地点は若干高い値を示している。

Ca^{2+} は、土壤やコンクリートに多く含まれている

ため道路粉じんが大きな発生源になっており¹⁴⁾、やはり発生源の多い市街地の中通で高い値を示した。

NH_4^+ は市街地の中通が高く、次いで農用地に近い白神230mの地点がやや高かったが、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6に示した。沿岸の白神山地は、春季はほぼ全て nss-SO_4^{2-} であり夏季は白神50mでやや影響を受け、秋季および冬季は各地点ともに影響を受けていた。内陸の駒ヶ岳は、春季、夏季ともほぼ全て nss-SO_4^{2-} であるが、秋季、冬季は sea-SO_4^{2-} の割合も大きくなっている。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る。沿岸にある本山の秋季で0.5になることもあるため、以降は非海塩粒子について検討した。

表5 降水中のイオン種濃度(年間平均値) (単位: $\mu\text{eq}/\text{l}$)

	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	H^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+
白神50m	54.3	17.7	167	17.3	141	6.6	11.1	30.6	28.0
白神650m	34.8	13.5	66.1	14.2	58.5	3.0	6.2	12.4	19.5
白神1000m	32.3	11.9	71.2	11.7	62.0	8.9	7.1	13.1	13.4
駒ヶ岳230m	44.5	19.4	59.1	19.6	52.5	2.7	9.6	10.2	24.7
駒ヶ岳650m	37.7	15.6	45.5	19.3	39.0	2.4	7.4	7.9	21.7
駒ヶ岳1000m	37.7	16.1	40.7	19.9	34.6	2.6	6.4	7.7	19.4
本山650m	53.1	16.9	157	19.2	143	6.5	13.2	29.0	21.5
中 通	68.7	20.7	147	21.3	132	4.3	21.1	27.9	34.6
仁 別	53.1	16.9	157	19.2	143	6.5	13.2	29.0	21.5

表6 海塩由来硫酸イオンと全硫酸イオンの比

	春	夏	秋	冬	平均
白神50m	0.08	0.26	0.42	0.41	0.31
白神650m	0.05	0.10	0.41	-	0.20
白神1000m	0.04	0.11	0.40	-	0.23
駒ヶ岳230m	0.02	0.04	0.33	0.23	0.14
駒ヶ岳650m	0.02	0.04	0.21	0.20	0.12
駒ヶ岳1000m	0.02	0.04	0.22	0.15	0.11
本山650m	0.09	0.13	0.37	0.50	0.32
中 通	0.05	0.10	0.34	0.37	0.23
仁 別	0.06	0.10	0.25	0.38	0.21

3.3 降水中の非海塩性イオン種濃度

各地点における降水中の非海塩性イオン種濃度について、3年間を平均した値を表7に示す。非海塩性の

全イオン種濃度は、中通>仁別>駒ヶ岳230m>白神50m>本山650m>駒ヶ岳650m>駒ヶ岳1000m>白神650m>白神1000mの順であった。陰イオン濃度については、全地点で $\text{nss-SO}_4^{2-}>\text{NO}_3^-$ であり、陽イオン濃度については、駒ヶ岳1000mを除き $\text{NH}_4^+>\text{H}^+$ であった。

ここで、白神、駒ヶ岳の各地点および中通を比較すると、図6に示すとおり標高が高くなるにつれて非海塩性の全イオン種濃度が低くなる傾向がわかる。

また、各成分についても標高が高くなるにつれて低くなり、特に nss-SO_4^{2-} の値は、白神1000mで25 $\mu\text{eq}/\text{l}$ で、市街部中通の約半分に近い値であった。

駒ヶ岳の標高230mと標高1000mにおける季節別のイオン種濃度を図7に示した。 nss-SO_4^{2-} は、1000mでほぼ横這いであるが、230mにおいては春季と冬季に高い値を示した。 NO_3^- についても nss-SO_4^{2-} と同様な傾向を示した。 H^+ は秋季に両地点とも最も低く、他の

陽イオンと異なる傾向を示した。nss-K⁺は、1000mで秋季においてやや高い値を示し、NH₄⁺およびnss-Ca²⁺

は、両地点とも夏季に低くなる傾向を示した。

表7 降水中の非海塩性イオン種濃度

(単位: μeq/l)

季節	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	nss-Cl ⁻	H ⁺	nss-K ⁺	nss-NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺	Total
白神50m	春 43.2	20.4	0.2	18.9	2.7	33.4	5.4	0.4	124
	夏 24.6	14.1	1.2	11.4	3.5	16.0	1.1	0.1	72
	秋 29.9	14.3	3.6	5.7	6.7	31.8	7.7	6.7	106
	冬 54.6	22.7	3.1	35.6	1.6	33.8	9.4	1.2	162
<hr/>									
白神650m	春 30.9	15.4	0.3	15.6	1.9	24.7	4.3	0.7	94
	夏 26.4	12.6	1.2	15.8	1.6	15.1	1.2	1.1	75
	秋 26.3	12.5	2.4	10.9	1.7	19.5	6.5	0.6	80
	冬 -	-	-	-	-	-	-	-	-
<hr/>									
白神1000m	春 27.8	13.5	1.3	14.2	1.8	19.5	3.8	0.8	83
	夏 24.6	13.0	0.3	10.6	6.1	20.8	4.1	0.3	80
	秋 22.5	11.0	0.7	14.7	2.1	9.8	2.1	0.4	63
	冬 28.3	12.4	3.3	8.1	16.8	13.5	8.7	1.7	93
<hr/>									
駒ヶ岳230m	春 24.8	11.9	1.4	11.7	7.6	13.4	4.6	0.8	76
	夏 41.3	20.5	0.7	15.5	2.0	29.9	7.3	0.4	118
	秋 33.7	15.8	0.9	21.2	1.1	17.4	3.5	1.5	95
	冬 36.1	19.0	4.3	12.9	1.9	29.2	10.4	0.1	114
<hr/>									
駒ヶ岳650m	春 47.7	27.4	5.5	29.2	2.1	31.0	14.0	1.1	158
	夏 38.2	19.4	2.2	19.6	1.6	24.7	7.3	0.9	114
	秋 38.1	17.0	0.2	24.9	1.8	30.0	5.6	0.4	118
	冬 34.7	14.0	1.0	20.9	1.3	16.7	3.2	1.0	93
<hr/>									
駒ヶ岳1000m	春 39.2	18.3	4.6	11.6	3.3	34.5	9.6	1.1	122
	夏 28.3	15.3	2.8	17.9	1.3	18.6	6.6	0.4	91
	秋 33.0	15.6	2.0	19.3	1.6	21.7	5.8	0.6	100
	冬 33.5	16.1	1.9	19.9	1.9	19.4	5.1	1.0	99
<hr/>									
本山650m	春 31.8	13.9	0.4	20.9	2.1	22.9	4.3	0.9	97
	夏 30.9	12.3	0.9	20.2	1.0	13.4	1.8	1.0	81
	秋 35.7	17.6	4.0	13.7	6.3	23.6	6.4	1.9	109
	冬 35.5	19.1	2.7	20.6	1.5	20.8	7.2	0.8	108
<hr/>									
中通	春 33.5	16.1	1.9	19.9	1.9	19.4	5.1	1.0	99
	夏 27.8	13.6	0.1	11.4	2.3	15.3	4.3	0.2	75
	秋 34.8	17.0	1.1	17.7	2.5	18.7	4.4	0.7	97
	冬 33.4	16.9	4.6	14.4	8.0	22.0	11.9	0.8	112
<hr/>									
仁別	春 52.9	21.9	3.8	38.6	1.4	34.0	7.7	1.4	162
	夏 35.9	16.9	2.1	19.2	3.5	21.5	6.8	0.7	107
	秋 54.9	19.4	0.3	21.2	1.8	41.0	10.4	0.7	150
	冬 44.7	17.5	1.6	22.5	1.1	21.9	11.8	0.6	122
<hr/>									
中通	春 42.4	19.7	1.7	16.1	1.2	28.1	15.0	0.5	125
	夏 80.9	30.7	2.9	27.4	2.1	58.1	29.4	1.1	233
	冬 52.9	20.7	1.5	21.3	1.5	34.6	15.2	0.7	148
	春 39.0	16.2	0.6	14.5	1.4	28.4	3.7	0.1	104
<hr/>									
仁別	夏 39.5	16.3	1.6	24.9	0.8	17.4	2.2	0.9	104
	秋 38.3	19.9	5.1	22.9	1.3	24.0	7.4	1.8	121
	冬 54.9	24.5	7.1	31.3	1.7	34.5	11.7	1.0	166
	平均 42.3	18.5	2.9	22.8	1.2	25.2	5.4	0.8	119

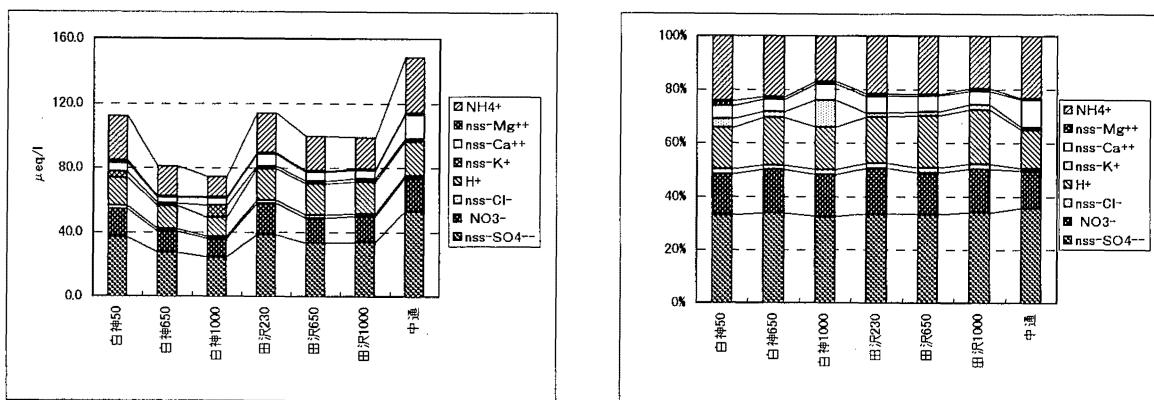


図6 白神・駒ヶ岳・中通におけるイオン種濃度および成分構成比

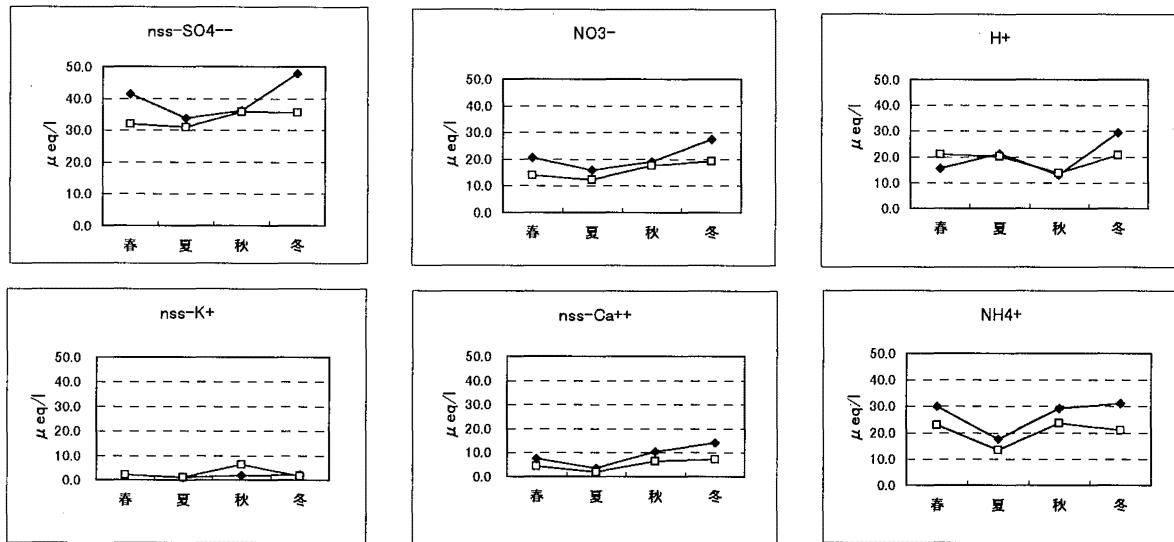


図7 駒ヶ岳におけるイオン種濃度の季節変化

3.4 降水成分の人為的影響について

化石燃料の燃焼により生じたNOxやSO₂から、NO₃⁻やSO₄²⁻が生成されるために、NO₃⁻やSO₄²⁻は人間活動に基づく汚染物質になる¹³⁾。そこで、調査地点における降水成分の人為的影響を見るために、陰イオン(NO₃⁻ + nss-SO₄²⁻)中のNO₃⁻の割合を表8に示した。安念らの調査では¹⁴⁾、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、人為的影響を受ける度合いについてはあまり差がないと考えられる。

表8 NO₃⁻/(nss-SO₄²⁻+NO₃⁻)比

	春	夏	秋	冬	平均
白神50m	0.32	0.36	0.32	0.29	0.31
白神650m	0.33	0.32	0.32	-	0.33
白神1000m	0.35	0.33	0.31	-	0.32
駒ヶ岳230m	0.33	0.32	0.34	0.37	0.34
駒ヶ岳650m	0.31	0.29	0.32	0.35	0.32
駒ヶ岳1000m	0.30	0.28	0.33	0.35	0.32
本山650m	0.33	0.33	0.34	0.29	0.32
中通	0.26	0.28	0.32	0.28	0.28
仁別	0.29	0.29	0.34	0.31	0.30

3.5 各地点のイオン種沈着量

各地点のイオン種沈着量(3年間の平均値)を表9に示す。また、白神、駒ヶ岳および中通についての比較を図8に示す。

全イオン種沈着量をみると、白神1000mおよび駒ヶ岳1000mについては、それぞれ23.6meq/m²/month, 41.2 meq/m²/monthで都市部の中通25.4meq/m²/monthと同等または約2倍の値を示した。このことは、イオン種沈着量が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を示している。次に成分別にみると、陰イオンについては、全地点でnss-SO₄²⁻>NO₃⁻>nss-Cl⁻であり、nss-SO₄²⁻はNO₃⁻の約2倍の沈着量であった。nss-SO₄²⁻についてみると、駒ヶ岳1000mが13.8meq/m²/monthで最も高い値を示し、市街地の中通より高い値を示した。陽イオンでは、駒ヶ岳1000mを除く全地点でNH₄⁺がH⁺より高い値を示した。

また、全イオン種沈着量について季節変化をみると、図9のとおり、降水量に比例して、駒ヶ岳1000mでは冬季が夏季の約2倍、秋季の4倍高い値を示し、積雪として多量に蓄積されることがわかった。積雪量の少ない中通は、逆に夏季が冬季よりやや高い値を示している。

ここで、同一地域である駒ヶ岳1000mと230mについてイオン種沈着量の成分を比較すると図10のとおりであるが、各成分とも春季から秋季まではほぼ同様に推移するが、冬季において、nss-K⁺を除いて各成分とも、230m地点でほぼ横這いであるのに対し、1000m地点では高い値を示している。

表9 降水中の非海塩性イオン種沈着量

(単位:meq/m²/month)

季節	nss-SO ₄ ²⁻	nss-NO ₃ ⁻	nss-Cl ⁻	H ⁺	nss-K ⁺	nss-NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺	Total
白神50m	春 8.3	3.9	0.0	3.6	0.5	6.3	1.0	0.1	23.8
	夏 5.7	3.3	0.3	2.6	0.8	3.7	0.3	0.0	16.7
	秋 5.6	2.7	0.7	1.1	1.2	5.9	1.4	1.2	19.8
	冬 10.0	4.0	0.4	6.2	0.3	6.1	1.6	0.2	28.8
平均									
白神650m	春 8.6	4.3	0.1	4.3	0.5	6.9	1.2	0.2	26.0
	夏 9.0	4.3	0.4	5.4	0.6	5.1	0.4	0.4	25.5
	秋 7.0	3.3	0.6	2.9	0.5	5.2	1.7	0.2	21.4
	冬 -	-	-	-	-	-	-	-	-
平均									
白神1000m	春 5.0	2.6	0.1	2.2	1.2	4.2	0.8	0.1	16.2
	夏 9.7	4.7	0.3	6.4	0.9	4.2	0.9	0.2	27.4
	秋 8.3	3.6	1.0	2.4	4.9	3.9	2.5	0.5	27.1
	冬 -	-	-	-	-	-	-	-	-
平均									
駒ヶ岳230m	春 8.3	4.1	0.1	3.1	0.4	6.0	1.5	0.1	23.6
	夏 12.0	5.6	0.3	7.5	0.4	6.2	1.2	0.5	33.7
	秋 5.4	2.8	0.6	1.9	0.3	4.3	1.5	0.0	16.9
	冬 6.0	3.5	0.6	3.8	0.3	3.9	2.2	0.1	20.4
平均									
駒ヶ岳650m	春 10.3	4.6	0.0	6.7	0.5	8.1	1.5	0.1	31.9
	夏 15.4	6.2	0.4	9.2	0.6	7.4	1.4	0.4	41.0
	秋 6.7	3.1	0.8	2.0	0.6	5.9	1.6	0.2	20.9
	冬 19.5	10.5	1.9	12.4	0.9	12.8	4.5	0.3	62.9
平均									
駒ヶ岳1000m	春 10.8	4.7	0.1	7.1	0.7	7.8	1.5	0.3	33.1
	夏 15.2	6.0	0.4	9.9	0.5	6.6	0.9	0.5	39.9
	秋 5.5	2.7	0.6	2.1	1.0	3.6	1.0	0.3	16.8
	冬 23.8	13.9	1.3	15.5	1.1	13.5	5.5	0.5	75.1
平均									
本山650m	春 6.0	2.9	0.0	2.5	0.5	3.3	0.9	0.0	16.1
	夏 6.1	3.0	0.2	3.1	0.4	3.3	0.8	0.1	17.1
	秋 5.3	2.7	0.7	2.3	1.3	3.5	1.9	0.1	17.8
	冬 7.4	3.1	0.3	5.1	0.2	4.8	1.2	0.2	22.2
平均									
中通	春 10.1	3.6	0.1	3.9	0.3	7.6	1.9	0.1	27.6
	夏 9.5	3.7	0.3	4.8	0.2	4.7	2.5	0.1	25.9
	秋 7.4	3.4	0.3	2.8	0.2	4.9	2.6	0.1	21.9
	冬 9.0	3.4	0.3	3.1	0.2	6.4	3.5	0.1	26.1
平均									
仁別	春 10.1	4.2	0.2	3.7	0.4	7.4	1.0	0.0	26.9
	夏 11.7	4.8	0.5	7.4	0.2	5.1	0.6	0.3	30.6
	秋 5.1	2.7	0.7	3.1	0.2	3.2	1.0	0.2	16.1
	冬 9.1	4.0	1.2	5.5	0.3	5.6	2.0	0.2	27.9
平均									

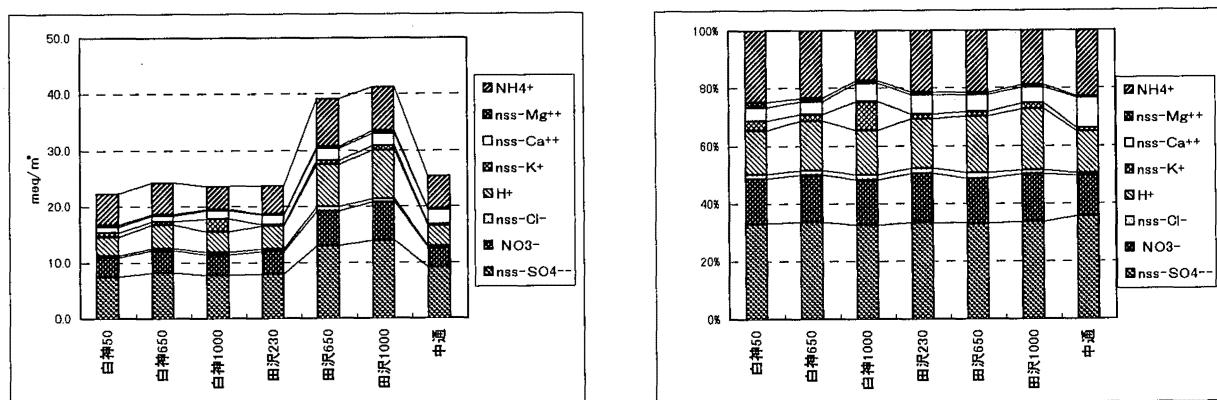


図8 白神、駒ヶ岳および中通におけるイオン沈着量および構成比

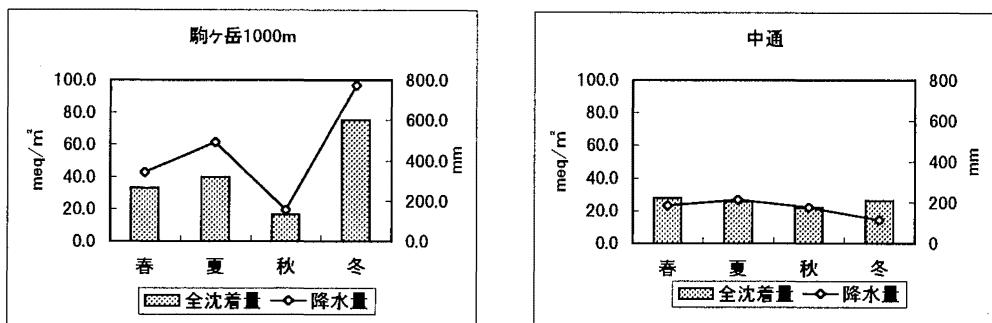


図9 駒ヶ岳1000mおよび中通における全イオン沈着量の比較

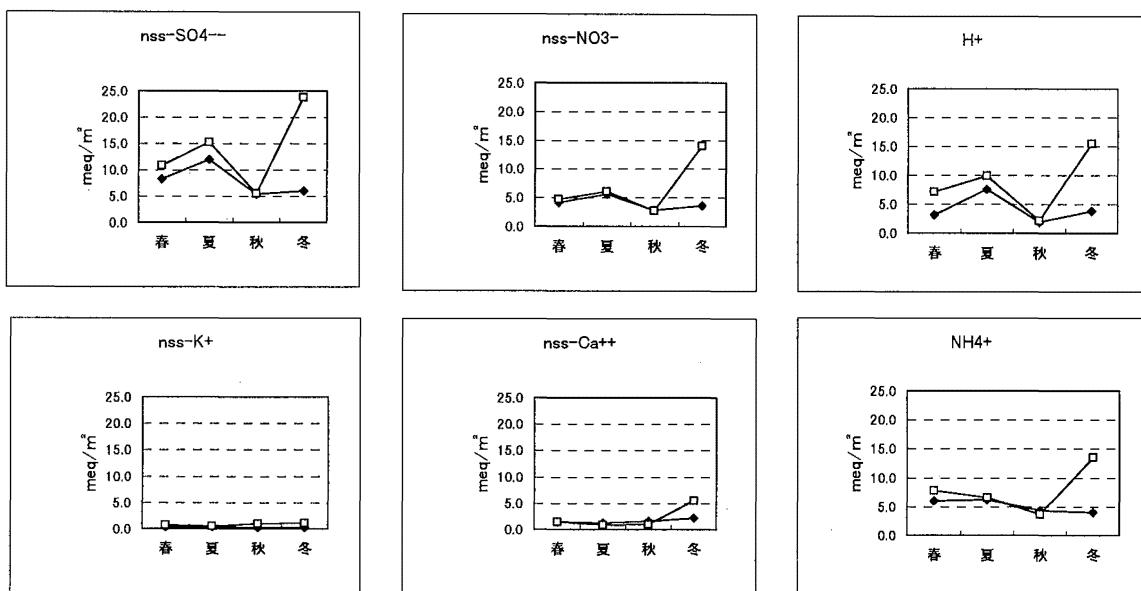


図10 駒ヶ岳におけるイオン沈着量の季節変化

3.6 標高650m地点における成分の比較

標高650mにおける各地点のイオン種濃度を表10および図11左に、イオン種沈着量を表11および図11右に示す。また、図12に、同地点におけるnss-SO₄²⁻, NO₃⁻, H⁺, NH₄⁺のイオン種濃度およびイオン沈着量の季節変化を示す。

標高650m地点における各地点の全イオン種濃度は、白神83 μeq/l, 駒ヶ岳100 μeq/l, 本山107 μeq/lで、駒ヶ岳と本山との全イオン種濃度はほぼ近い値であるが、全イオン種沈着量では降水量の多い駒ヶ岳が本山の約1.5倍の高い値を示していた。

成分別にみると、各地点とも、陰イオンではnss-SO₄²⁻、陽イオンではNH₄⁺が最も多く含まれていた。nss-SO₄²⁻についてイオン種濃度を季節別でみると、冬季においてnss-SO₄²⁻が本山で52.9 μeq/l、駒ヶ岳で28.3 μeq/lで、沿岸部にある本山が約2倍高い数値であり、我々の調査においても、日本海側で冬季にnss-SO₄²⁻が非常に高い数値になることを示している。また、他の成分についても、冬季において本山が駒ヶ岳より同様に高い値を示しているが、イオン種沈着量を比較すると、各成分とも本山が降水量の関係で駒ヶ岳の約半分以下となっている。

表10 標高650m地点におけるイオン種濃度 (単位: μeq/l)

	nss-SO ₄ ²⁻	nss-NO ₃ ⁻	nss-Cl ⁻	H ⁺	nss-K ⁺	NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺	nss-Mg ²⁺	Total
白 駒 本 神 ヶ 山	27.8 33.0 35.9	13.5 15.6 16.9	1.3 2.0 2.1	14.2 19.3 19.2	1.8 1.6 3.5	19.5 21.7 21.5	3.8 5.8 6.8	0.8 0.6 0.7	83 100 107

表11 標高650m地点におけるイオン種沈着量 (単位:meq/m²/month)

	nss-SO ₄ ²⁻	nss-NO ₃ ⁻	nss-Cl ⁻	H ⁺	nss-K ⁺	NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺	nss-Mg ²⁺	Total
白神	7.7	3.7	0.4	3.6	2.4	4.1	1.4	0.2	23.6
駒ヶ岳	13.0	6.1	0.8	7.6	0.6	8.5	2.3	0.3	39.2
本山	6.3	3.0	0.3	3.2	0.6	3.8	1.2	0.1	18.6

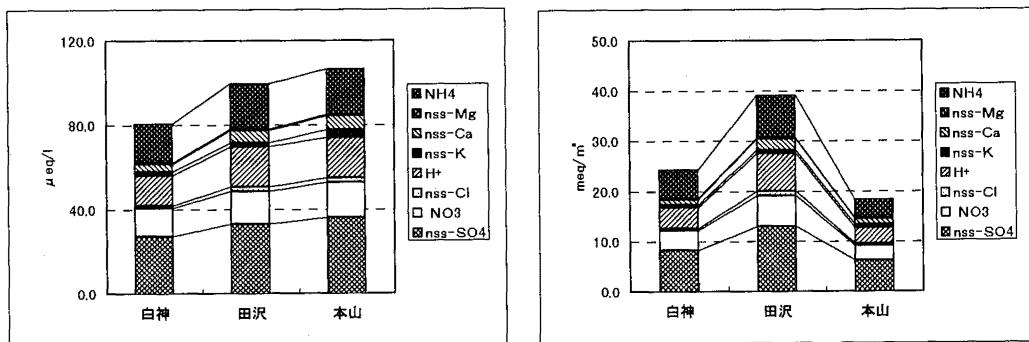


図11 標高650m地点におけるイオン種濃度およびイオン沈着量

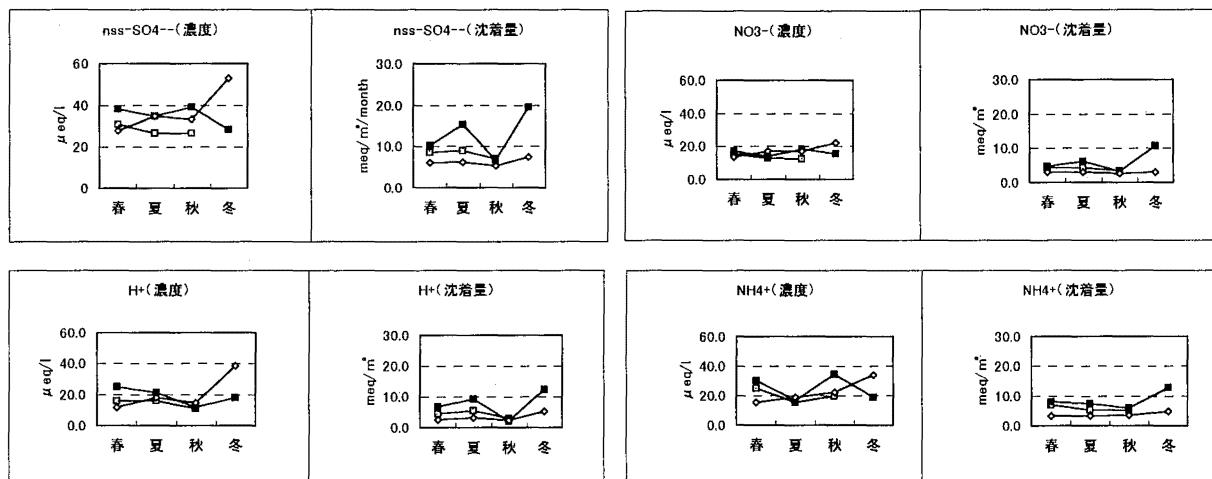


図12 標高650m地点における成分の比較

3.7 白神山地における酸性霧について

3.7.1 霧発生時の天候¹⁶⁾ および発生状況

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。霧は21日夜に発生し、22日未明に一時消えたが、再度発生し、午前7時頃に消失した。

平成7年6月21日の調査では、天候が曇り一時晴れで、午後1時頃から霧が漂いはじめ、午後6時頃には消失した。7月20日の調査では、天候が雨後時々曇りで、調査開始時に雨が降っていたが、霧雨に変わり午後1時頃に霧となつた。

10月17日～18日の調査では、17日は雨後曇り、18日は曇りの天候であった。17日午後1時頃、雨が止むと霧が発生し、18日の早朝になって晴れ間が出て霧は消失した。

平成8年7月3～4日の調査では、梅雨前線上の低気圧が3日未明に東北北部を東に通過し、初めは雨であったが、その後曇りの天候であった。調査開始時、霧雨であったが、午後1時頃から霧が発生し、夜になると濃霧となり、4日の昼頃まで霧が漂っていた。

10月18日の調査では、弱い気圧の谷となって曇りの天候であった。調査時、雨が降っていたが、午後2時頃から霧が発生し、午後4時頃に再び雨となつた。

3.7.2 霧水および降水の成分濃度

白神1000mにおける霧水および降水の捕集状況(pH, EC含む)を表12, 成分濃度を表13に示す。pHについては4.8~5.8で, ほぼ同時期に採取した降水と比較した場合, 降水のpHは4.9~5.4の範囲であり, ほぼ同様な値を示している。

ECについては, 霧水は9~86 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 降水は12~20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ で, 降水に比較して霧水が高い値を示した。

平成7年度に調査した霧水および降水の成分濃度および構成比を図13に示した。

霧水は降水に比較して, かなり高い濃度を示しており, 季節別にみると春季に SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , 秋季において Na^+ , Cl^- が多く含まれいた。降水においても秋季に Na^+ , Cl^- が多く含まれており, 春季に比較して秋季に海塩の影響を強く受けていると考えられる。

霧は, pHが低いことや, 対流時間が長く, 降雨に比べると局所的現象であることから, $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比は降水より大きくなると考えられているが¹⁷⁾, 我々の調査では, $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比を算出すると, 平成6年度で霧

水が1.0, 降水が1.1, 平成7年度で霧水で0.9, 降水が0.6, 平成8年度では霧水および降水ともに0.4であり, 3年間を平均すると霧水は降水とほぼ同じ比率であった。このことから, 当地域においては, 局所的な汚染はほとんどないものと考えられる。

また, 平成8年7月3~4日の調査について, イオン種濃度およびECの経時変化を図14に示す。霧の発生時に成分濃度およびECが最も高く, 時間が経過するにつれて低くなる傾向を示している。全イオン種濃度をみると霧発生時に533 $\mu\text{eq}/\text{l}$ であったが, 発生して20時間後には193 $\mu\text{eq}/\text{l}$ となり, 約1/3の濃度に低下している。

このことは, 霧発生時に大気中の霧水量が少なく, 希釈効果が小さいためとされている¹⁸⁾。

白神山地の標高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12 白神1000mにおける霧水および降水の捕集状況

No.	種類	捕集月日	開始時	捕集月日	終了時	補集量(ml)	pH	EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)
H. 6	霧	6/21	15:00	6/22	3:00	140	5.70	8.6
	霧	6/22	5:20	6/22	7:20	45	4.86	17.1
	雨	6/20	11:00	6/27	11:00	598	5.13	11.6
H. 7	霧	6/21	13:00	6/21	18:00	56	4.87	68.8
	雨	6/19	11:00	6/26	11:00	140	4.94	19.7
	霧	7/20	11:00	7/20	14:00	62	5.79	23.7
	霧	7/20	14:00	7/20	17:00	82	5.41	12.7
	霧	10/17	13:20	10/17	17:20	40	5.40	42.8
	霧	10/17	17:30	10/18	6:30	80	4.81	51.3
	雨	10/16	11:00	10/23	11:00	460	5.39	18.6
	霧	7/3	13:00	7/3	15:00	100	5.18	44.6
H. 8	霧	7/3	15:00	7/3	17:00	120	5.41	35.3
	霧	7/3	17:00	7/3	19:00	85	5.00	30.2
	霧	7/3	19:00	7/4	5:00	1200	4.38	29.3
	霧	7/4	5:00	7/4	7:00	240	5.48	16.4
	霧	7/4	7:00	7/4	9:00	350	5.38	15.1
	霧	7/4	9:00	7/4	11:00	350	5.10	16.6
	雨	7/1	11:00	7/8	11:00	2445	4.91	19.2
	霧	10/18	14:00	10/18	16:00	60	5.25	85.6
	雨	10/14	11:00	10/21	11:00	2814	4.92	19.2

表13 白神山地1000mにおける霧水および降水のイオン種濃度

(単位: $\mu\text{eq/l}$)

No.	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	H^+	Na^+	K^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Total	$\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$
6F-1	14.6	16.9	16.9	2.0	14.3	5.6	15.0	19.0	<0.1	104	1.16
6F-2	39.2	30.6	15.5	13.8	16.1	2.8	33.9	<0.1	<0.1	152	0.78
6R-1	50.2	52.9	17.2	1.6	21.3	11.5	66.1	20.0	6.6	247	1.05
7F-1	148.8	148.7	83.2	13.5	32.6	8.7	287.2	30.5	12.3	766	1.00
7R-1	49.4	36.8	20.9	11.5	20.9	13.8	38.9	9.0	5.8	206	0.74
7F-2	50.2	52.9	17.2	1.6	21.3	11.5	66.1	20.0	6.6	247	1.05
7F-3	27.1	29.0	8.7	3.9	5.2	7.7	41.1	10.0	0.8	134	1.07
7F-4	45.2	53.4	182.5	4.0	132.6	14.1	75.6	21.0	30.5	559	1.18
7F-5	69.4	35.6	199.4	15.5	193.9	9.7	62.8	17.0	37.9	641	0.51
7R-2	26.5	13.2	94.5	4.1	83.5	5.6	13.9	7.0	17.3	266	0.50
8F-1	163.1	70.2	29.3	6.6	21.7	9.5	213.9	13.0	5.8	533	0.43
8F-2	121.0	50.2	18.9	3.9	11.3	5.9	173.9	7.5	3.3	396	0.41
8F-3	97.9	46.3	17.5	10.0	10.0	4.6	159.4	6.5	2.5	355	0.47
8F-4	91.3	46.1	13.0	41.7	7.4	6.1	125.0	5.5	2.5	339	0.51
8F-5	54.8	20.3	10.2	3.3	5.2	4.1	86.1	4.5	2.5	191	0.37
8F-6	53.3	18.7	9.0	4.2	4.8	2.8	76.1	3.5	1.6	174	0.35
8F-7	60.0	23.2	11.3	7.9	5.7	3.1	77.2	3.0	1.6	193	0.39
8R-1	66.0	29.7	13.0	12.3	10.4	3.6	77.8	10.5	3.3	227	0.45
8F-8	119.6	36.8	620.0	5.6	452.7	24.8	70.6	43.0	119.3	1490	0.31
8R-2	31.7	11.0	102.4	12.0	79.6	11.3	12.8	11.5	18.9	291	0.35

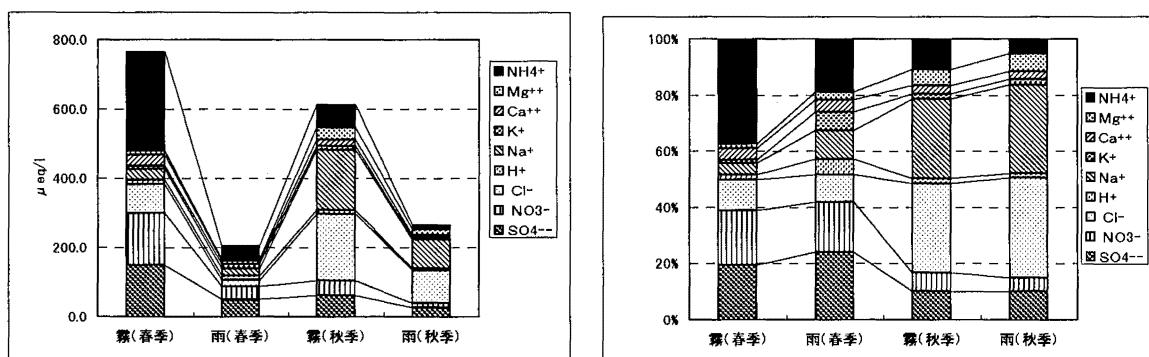


図13 白神1000mにおける霧水および降水の成分濃度および構成比

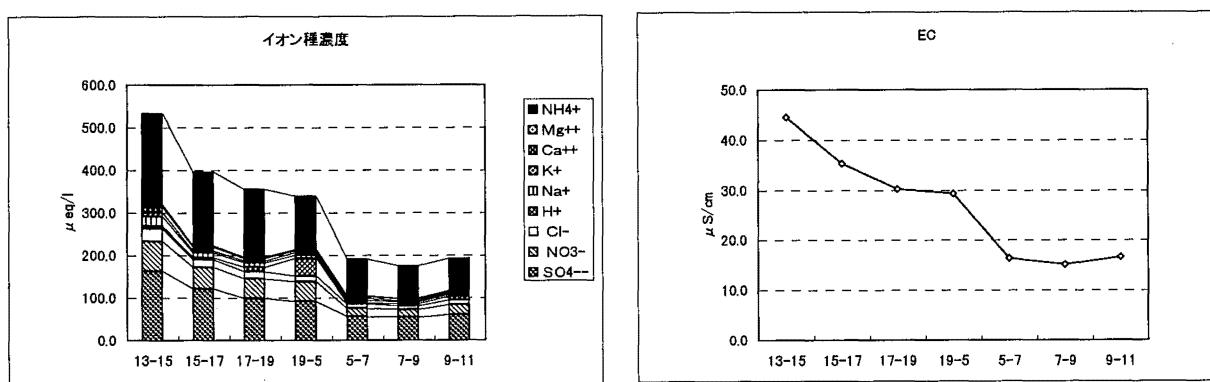


図14 白神1000mにおける霧水成分の経時変化

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、白神山地標高1000m地点において発生する霧の調査を実施し、降水との成分の比較や霧水成分の経時変化等を把握した。

- 1) 森林地帯の各地点における降水のpHの年平均値は4.7~4.9で、標高が高くなるにつれて、市街部よりやや高くなる傾向を示した。ECの年平均値は19~37 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) 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については、標高の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、市街地と同等またはそれ以上の値を示した。
- 4) 季節別にみると、標高の高い地点では、イオン種沈着量が冬季において他の季節より倍以上の高い値を示しており、積雪として多量に蓄積されることから、今後は積雪や雪解け水等の調査を実施する必要があると考える。
- 5) 秋田県の森林地帯において、標高1000m程度の高さまでは、人為的影響について、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。
- 6) 標高650m地点のイオン種濃度については、沿岸の男鹿本山が内陸の田沢湖駒ヶ岳に比べ高い値を示したが、イオン種沈着量については、逆に田沢湖駒ヶ岳が、男鹿本山に比べ約1.5倍の高い値を示しており、同一標高であっても地域によって差が認められた。
- 7) 白神山地1000mでの霧水は、降水に比較するとpHはほぼ同様な値を示したが、ECおよび成分濃度は高い値を示した。
- 8) 霧水に含まれる硝酸イオンと硫酸イオンの比が降水とほぼ同率となることから、局所的な汚染はほとんどないと考えられた。
- 9) 霧水のイオン種濃度は、霧の発生時に高い値を示し、時間が経過するにつれて濃度が低くなる傾向がみられた。
- 10) 霧は降水に比較して局所的現象であることから、今後も他の森林地帯についても霧の調査を実施し、成分の特性等をさらに比較検討する必要があると考える。
- 11) 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、今後は、他の地域についても同様な調査を実施するとともに、植生や土壤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 N0.99 149~154 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,N0.10 32~35 1991
- 4) 秋田県：平成8年版環境白書 47 平成8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 No.21 70~83 1995
- 9) 湯川幸郎・高嶋司・児玉仁：秋田県の森林地帯における酸性雨、酸性霧について 秋田県環境技術センター年報 No.23 36~46 1995
- 10) 村野健太郎：酸性霧汚染の実態 公害と対策 Vol.2 7 No.3 29 1991
- 11) 斎藤学ほか：秋田県環境技術センター年報, N0.12, 94 1984
- 12) 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
- 13) 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
- 14) 村野健太郎：酸性雨と酸性霧 43
- 15) 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下量日本化学会誌 No.11 916 1995
- 16) 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
- 17) 平賀充・平木隆年・玉置元則・中川吉弘・小林樟樹：都市近郊における酸性霧の化学 兵庫県立公害研究所報告第26号 29 1994
- 18) 井川学・補伽栄一・細野哲也・岩瀬光司・長嶋律：酸性霧の化学組成と洗浄効果 日本化学会誌 N0.5 698 1991