

ている。

pH6.5区とpH5.5区の比較では、pH5.5区がpH6.5区よりもそれぞれ約2～3倍の濃度となっている。

ウ．跡地土壤中のニッケル浸出量

コマツナ及びシュンギクともニッケル添加量の増加に伴い、跡地土壤中のニッケル浸出量は高くなっており、土壌間の比較では、火山灰土より沖積土の方がニッケル浸出量の濃度は高くなっている。

また、沖積土、火山灰土ともpH6.5区よりpH5.5区のニッケル濃度が高くなっている。

VII 報 文

鳥海山および白神山地における降水特性について

高 嶋 司 大 畑 博 正

要 旨

森林地帯の酸性降下物の特性を把握するため、鳥海山について降水、霧の調査を実施するとともに、白神山地についても平成6年度から8年度に実施した調査に引き続き降水の調査を実施した。

降水の pH は鳥海山が白神山地や都市部の秋田よりやや低い値を示し、季節的にみると、降水の pH は各地点とも冬季に低く、秋にやや高くなる傾向が見られた。また、降水の pA_i および $NO_3^-/nss-SO_4^{2-}$ においても各地点とも冬季に低下する傾向が見られた。

イオン沈着量では、降水中のイオン成分濃度が低い鳥海山が、降水量が多いことから、汚染度の高い都市部の秋田より高い値となることがわかった。

鳥海山の標高 1100 m 付近で霧の調査を実施したが、調査期間の pH の平均値は 4.73、最低値が 4.07 で、酸性度の高い霧は観測されなかった。霧水のイオン成分濃度について経時変化を調べたが、霧が大量に発生している時よりも霧が消え始める時に pH が低下し、イオン成分濃度が大幅に高くなる傾向が見られた。

1. はじめに

環境庁が実施した第2次酸性雨対策調査結果によると、欧米並みの酸性雨が広く観測されるが、酸性雨による陸水、土壌、植生などの生態系への影響については明確な兆候は見られていない。しかし、このような酸性雨が継続した場合、将来的には生態系への影響が顕在化することが懸念されるとしている¹⁾。

こうした中で、秋田県内の森林地帯について、平成6年度から8年度にかけ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、田沢湖駒ヶ岳など県中北部の9地点で降水の調査を、また、白神山地で霧の調査を実施したところである。²⁾

その結果、森林地帯の降水の pH の平均値は都市部よりやや高く、標高が高くなるにつれてイオン成分の濃度が低くなる傾向にあること、イオン沈着量は、標高が高い地点で市街地と同等またはそれ以上の値を示すこと、また、白神山地での霧の調査では、降水に比較すると pH はほぼ同様な値であったが、成分濃度は高い値を示すことが観測された。

このようなことから、先に実施した調査結果を踏まえて、本県の森林地帯への酸性降下物の特性をさ

らに把握するため、県南部の日本海側に位置する鳥海山について降水、霧の調査を実施するとともに、白神山地については前調査に引き続き降水の調査を実施したので報告する。

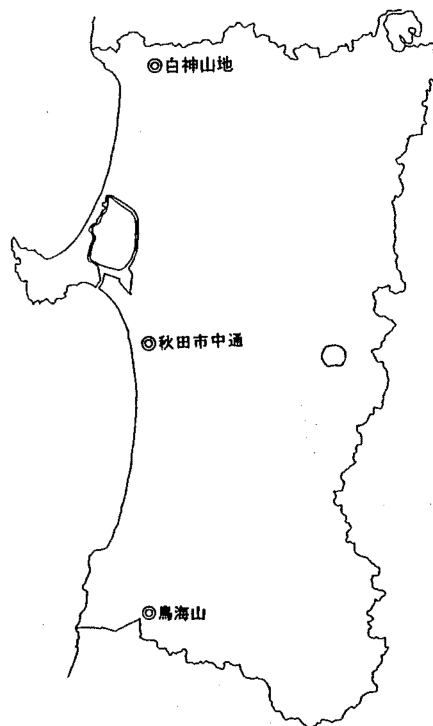


図1 調査地点

2. 調査方法

2.1 調査地点

調査地点を図1および表1に示した。

表1 調査地点および概要

種別	調査地点名称	概要
降水	鳥海NO.1	象潟町霊峰公園付近 標高 600m
	鳥海NO.2	象潟町鉾立 登山道沿い貯水槽付近 標高 1150m (降雪時は鳥海ブルーラインの大半が閉鎖されるため、No.1を標高約450m付近に変更)
	白神NO.1	八森町三十釜 ぶなっこだ敷地内 標高 50m
	白神NO.2	同 白神山地青秋林道終点付近 標高 1000m (降雪時は青秋林道通行不能のため、白神NO.1のみ設置)
霧	秋田	秋田市中通 秋田市保健所屋上
	鳥海山	平成9年6月 鉾立山荘周辺 平成9年10月以降 TDK東雲荘周辺

2.2 調査期間

(1)降水調査

平成9年度および10年度の6月、8月、10月および2月の各1か月間とした。

なお、白神NO.2については、平成10年度のみ調査を実施した。

(2)霧水調査

平成9年7月および10月

平成10年6月、7月および10月

2.3 採取方法

降水は、ろ過式降水採取器(0.8 μ mメンブランフィルターでろ過)を現地に設置し、おおむね10

日後に採取し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(臼井工業研究所製)を設置し、霧が発生した時に採取した。採取した試料は上記フィルターでろ過し、1検体とした。各装置の略図を図2に示す。

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。

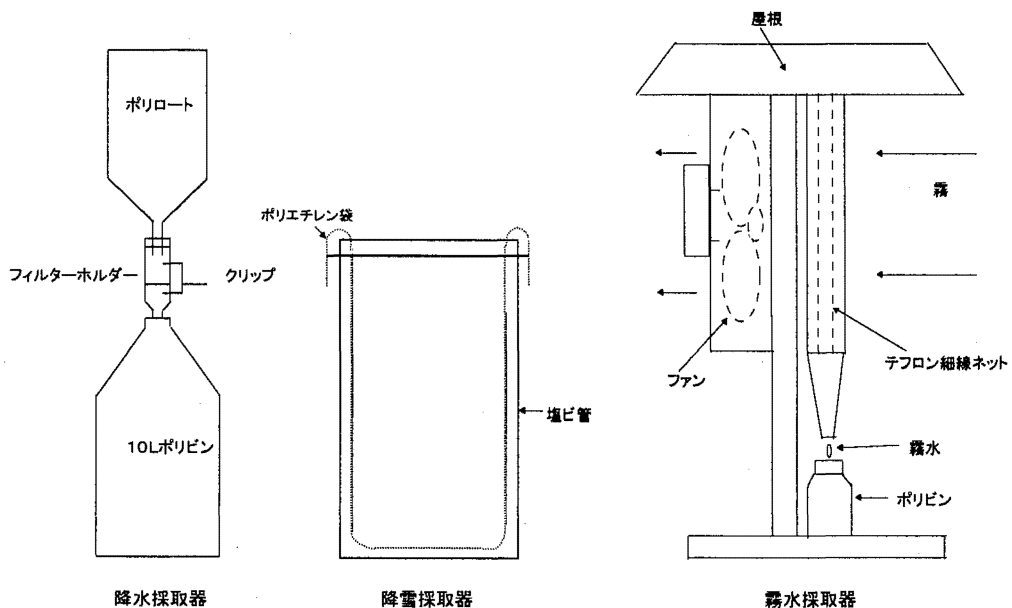


図2 採取装置

3. 調査結果および考察

3.1 鳥海山及び白神山地の降水について

調査期間における各地点の pH, EC およびイオン成分濃度は表 2 のとおりである。

重平均して算出した値であり、イオン成分濃度は当量濃度で表している。

なお、これらの数値は降水量で重み付けして加

表 2 各地点の降水の成分濃度

H9												
		降水量	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
鳥海NO.1	Jun.	285.1	4.84	12.1	26.3	9.7	24.4	21.7	1.6	2.9	6.0	19.2
	Aug.	212.2	4.94	14.0	26.9	15.4	33.2	29.9	2.6	4.5	7.7	20.5
	Oct.	282.9	4.85	31.6	53.4	20.8	128.1	104.7	5.5	17.7	26.5	38.6
鳥海NO.2	Feb.	143.5	4.43	62.2	80.6	24.5	281.3	248.7	8.0	20.9	56.9	33.0
	Jun.	396.4	5.06	6.0	11.7	5.5	6.6	5.5	1.1	1.7	2.2	7.1
	Aug.	250.4	4.84	14.7	24.0	12.9	37.3	31.1	1.4	3.5	8.3	13.0
白神NO.1	Oct.	437.1	4.87	27.4	45.0	16.7	120.6	96.6	4.3	11.7	23.7	23.8
	Feb.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jun.	139.6	4.87	17.3	32.6	19.6	28.4	25.5	2.9	4.7	6.1	19.3
秋田	Aug.	146.8	5.07	14.7	41.2	18.8	115.8	97.9	4.9	8.5	24.2	29.1
	Oct.	242.4	5.34	22.2	45.2	21.4	90.4	79.8	7.3	9.5	21.7	51.6
	Feb.	101.6	4.56	70.4	88.8	19.6	321.7	288.9	8.3	19.7	65.8	30.9
秋田	Jun.	145.4	4.92	13.4	37.6	15.8	13.9	9.5	2.7	8.6	3.3	32.3
	Aug.	85.5	5.26	21.2	48.1	22.4	73.1	74.4	4.7	17.6	16.7	40.0
	Oct.	282.8	4.72	42.5	68.3	20.0	192.2	161.9	6.1	18.7	37.2	35.9
Feb.	72.5	4.62	71.6	107.4	21.1	363.1	319.9	14.6	46.9	74.8	49.8	

注)平成9年度の白神NO.2は調査未実施

H10												
		降水量	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
鳥海NO.1	Jun.	479.2	5.04	8.0	11.1	6.9	19.0	17.9	1.0	2.8	4.2	4.0
	Aug.	533.4	4.81	10.8	17.8	10.0	19.9	18.0	0.7	2.4	4.1	7.7
	Oct.	330.8	5.03	14.4	23.2	7.9	59.7	54.1	3.3	6.0	13.7	15.3
鳥海NO.2	Feb.	274.0	4.68	124.5	144.3	26.1	781.1	727.1	20.7	55.0	155.6	52.4
	Jun.	783.5	5.30	5.9	8.5	4.8	14.1	12.6	1.6	2.3	3.2	4.1
	Aug.	730.6	4.78	11.0	18.9	8.7	16.0	14.1	0.6	1.6	3.2	8.4
白神NO.1	Oct.	428.5	4.98	14.8	23.8	9.0	57.2	50.4	2.4	7.4	12.0	11.7
	Feb.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jun.	316.7	5.12	13.8	17.8	10.3	47.9	43.9	2.1	3.6	9.8	7.0
白神NO.2	Aug.	306.6	5.12	9.2	23.1	11.6	17.7	17.4	4.1	3.3	4.2	18.5
	Oct.	248.3	5.20	13.3	17.2	6.3	61.9	53.0	2.0	4.2	11.6	10.5
	Feb.	145.8	4.56	77.4	95.0	21.5	409.9	372.8	10.0	31.0	86.3	36.1
秋田	Jun.	584.2	5.27	6.1	7.9	4.4	19.1	19.5	1.7	2.3	5.1	2.1
	Aug.	499.4	5.02	8.4	18.8	7.7	11.5	11.0	2.2	3.5	3.2	10.1
	Oct.	326.1	5.27	28.1	35.0	10.0	133.3	114.0	23.7	9.2	25.4	6.7
Feb.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
秋田	Jun.	279.5	5.24	10.8	29.7	8.6	20.3	18.1	6.2	5.2	4.2	15.9
	Aug.	403.9	5.20	8.3	16.2	7.9	17.4	15.5	1.6	5.3	3.9	10.7
	Oct.	311.5	5.01	14.3	24.1	8.0	49.5	45.6	1.6	6.6	10.7	10.0
Feb.	125.2	4.72	91.0	105.7	28.3	410.7	362.6	10.7	35.9	85.9	47.0	

単位: 降水量: mm/月, EC: μ s/cm, イオン成分濃度: μ eq/l

3.1.1 降水量, pH および EC について

降水量の推移を図 3 に示す。年度別にみると、平成 9 年度より 10 年度が調査期間中において降水量が多く、特に鳥海 NO.2 において平成 10 年 6 月と 8 月が 700mm 以上と格段に多かった。鳥海 NO.1 と白神 NO.1 の降雪期である 2 月の降水量は他の季節と比べ意外に少ない結果であった。

調査期間中の降水の pH は鳥海山が 4.86 (4.43 ~ 5.30)、白神山地が 5.02 (4.56 ~ 5.34)、秋田が 4.90 (4.62 ~ 5.26) となっており、鳥海山が白神山地や都市部の秋田よりやや低い値を示した。

平成 5 年度から 9 年度に実施した第 3 次全国酸性雨対策調査³⁾における全国平均値は 4.79 となつて

おり、各地点の平均値はやや高い値となっている。これは全国酸性雨対策調査において捕集装置に降水時開放型を採用しており、本調査に使用しているろ過式採取装置を使用すると、降水時開放型より pH は 0.1 ~ 0.2 高くなるといわれている³⁾。

このことを勘案すれば、全国平均値とほぼ同じレベルであるといえる。

各地点における降水の pH の推移を図 5 に示す。降雪期の 2 月に pH が低く、秋季の 10 月にやや高くなる傾向がみられた。今回の調査では標高差による pH の差はほとんど現れなかった。

EC については冬季に高くなる傾向がみられ、特に

平成 10 年度の鳥海 NO.1 の冬季は他の季節の約 10 倍程度高い値となっている。これは冬季に北西風が

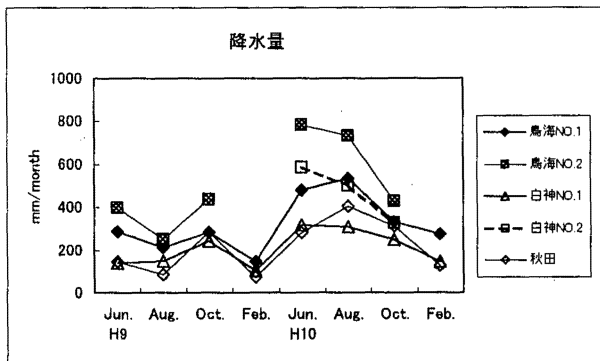


図3 各地点の降水量の推移

卓越し、海塩由来粒子量が増えるためと考えられる。

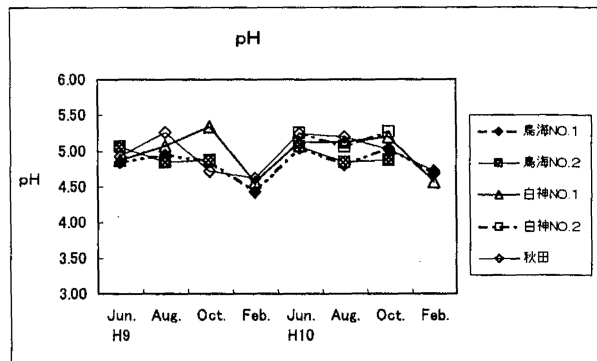


図4 各地点のpHの推移

3. 1. 2 イオン成分濃度について

白神 NO.1, 鳥海 NO.1 および秋田ともに、降雪期の 2 月に Na^+ , Cl^- の成分濃度が他の時期より大幅に高くなっている。EC で述べたように、季節風による海塩粒子量の増加が起因しているものと考えられる。鳥海 NO.1 において Cl^- について各年度の 2 月の成分濃度をみると、平成 9 年度が $281.3 \mu\text{eq/l}$ 、平成 10 年度が $761.1 \mu\text{eq/l}$ と大きな開きがある。

角皆らは、日本海側の雪には海塩と大陸起源の物質が濃縮されており、年間の沈着量は暴風に大きく依存することを示している⁴⁾。秋田県気象月報によると⁵⁾、平成 11 年 2 月 13 日に強い寒気団が日本に張り出して暴風雪となっていることから、この影響により平成 11 年 2 月分の成分濃度が大幅に高くなったものと考えられる。逆に、鳥海 NO.1, 鳥海 NO.2 および白神 NO.2 の 6 月と 8 月は全体的にイオン成分濃度が低いことから、北西の季節風の影響が少なく降水量の多い月はイオン成分濃度は低くなると考えられる。

各地点とも降水中に海塩の影響が強くていてるので、人為的影響をみるため、海塩の指標である Na^+ を用いて、 SO_4^{2-} , Ca^{2+} などについて非海塩成分 (non-seasalt - nss) 濃度を求め、種々の指標⁷⁾ を用いて各地点の降水の成分濃度を評価することにした。各地点の非海塩濃度および指標の推移を表 3 および図 5, 図 6 および図 7 に示す。

また、第 3 次酸性雨対策調査の調査結果と、全ての季節で調査を実施した鳥海 NO.1, 白神 NO.1 および秋田について比較検討した。

(1) pAi ($-\log(\text{nss-SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$)

この指標は nss-SO_4^{2-} と NO_3^- の当量濃度の総和から、降水中に中和成分が含まれていないと仮定し

た場合、降水の pH がどこまで低くなるかを示す指標である。各地点の pAi の推移を図 6 に示す。

地点別にみると、秋田に比べて pAi は鳥海、白神がやや高い傾向がみられ、このことから鳥海、白神では地域的汚染が少ないことがわかる。季節別にみると降雪期の 2 月に pAi は低下し、6 月にやや高くなる傾向がみられた。

pAi の調査期間の平均値は白神 NO.1, 鳥海 NO.1 がともに 4.4, 秋田が 4.3 で、第 3 次全国酸性雨調査結果の平均値の 4.3 とほぼ同じ値であった。

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

降水の pH 低下を促す主な陰イオンは硫酸イオン、硝酸イオンであり、人為的由来の nss-SO_4^{2-} に対する NO_3^- の当量濃度比は、降水の酸性化にどちらのイオンの寄与が大きいかを示す指標である。各地点の $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ の推移を図 7 に示す。

各地点とも 0.3 ~ 0.7 の範囲にあり、両イオンが同じ寄与を示す 1 よりも低く硫酸イオンの寄与が高くなっている。特徴的な点は降雪期に全地域で nss-SO_4^{2-} の寄与が高くなっていることである。

環境庁は、第 1 次および第 2 次酸性雨対策調査結果から、酸性雨原因物質等が季節風に乗って大陸から運ばれてきている可能性を示唆した¹⁾ が、本調査においても同様な結果が得られた。

また、平成 10 年の 6 月に秋田を除く全ての地点で NO_3^- の寄与が大幅に高くなっているが、これは、この月に NO_3^- の成分濃度が他の時期より高くなったわけではなく、 nss-SO_4^{2-} の成分濃度が低下したことによるものである。

$\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ の調査期間の平均値は、鳥海 NO.1 が 0.55, 白神 NO.1 が 0.58, 秋田が 0.43 で、

第3次全国酸性雨調査の平均値の0.48に比較すると、鳥海、白神がやや高めの結果となった。

(3) $nss-Ca^{2+}/NH_4^+$

降水中の中和を促す主な陽イオンは、アンモニウムイオンとカルシウムイオンであり、人為的由来の $nss-Ca^{2+}$ に対する NH_4^+ の当量濃度比は、降水の中和にどちらのイオンの寄与が大きいかを示す指標である。

平成10年6月の秋田を除き各地点とも0.1~0.7となっており、両イオンが同じ寄与を示す1よりも低くアンモニウムイオンの寄与が高くなっている。

$nss-Ca^{2+}/NH_4^+$ の平均値は、鳥海 NO.1 が 0.29、白神 NO.1 が 0.21、秋田が 0.44 で、第3次全国酸性雨調査³⁾の平均値の0.56に比較すると各地域とも低めの結果となった。

NH_4^+ の濃度を比較すると白神山地や鳥海山は都市部の秋田とほぼ同じか、やや高いレベルである。 NH_4^+ は植物や畜産業、化石燃料の燃焼、土壤微生物の活動などにより大気中の濃度が高くなるといわれている³⁾が、清浄地である鳥海山、白神山地において降水中の NH_4^+ の比率が高い原因については今後の検討課題としたい。

表3 各地点における主な非海塩濃度

		H9								
		H ⁺	nssSO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	pAi	NO ₃ ⁻ /nssSO ₄ ²⁻	nssCa ²⁺	NH ₄ ⁺	nssCa ²⁺ /NH ₄ ⁺	
鳥海NO.1	Jun.	14.4	23.6	9.7	4.48	0.41	1.9	19.2	0.10	
	Aug.	11.5	23.3	15.4	4.41	0.66	3.2	20.5	0.16	
	Oct.	14.2	40.8	20.8	4.21	0.51	13.2	38.6	0.34	
	Feb.	37.2	50.8	24.5	4.12	0.48	10.0	33.0	0.30	
鳥海NO.2	Jun.	8.7	11.0	5.5	4.78	0.50	1.5	7.1	0.21	
	Aug.	14.3	20.2	12.9	4.48	0.64	2.1	13.0	0.16	
	Oct.	13.4	33.4	16.7	4.30	0.50	7.5	23.8	0.31	
	Feb.	-	-	-	-	-	-	-	-	
白神NO.1	Jun.	13.5	29.5	19.6	4.31	0.66	3.8	19.3	0.19	
	Aug.	8.5	29.4	18.8	4.32	0.64	4.3	29.1	0.15	
	Oct.	4.6	35.6	21.4	4.24	0.60	6.0	51.6	0.12	
	Feb.	27.7	54.1	19.6	4.13	0.36	7.1	30.9	0.23	
秋田	Jun.	12.0	38.5	15.8	4.28	0.43	8.2	32.3	0.25	
	Aug.	5.5	39.2	22.4	4.21	0.57	14.3	40.0	0.36	
	Oct.	19.2	48.9	20.0	4.16	0.41	11.6	35.9	0.32	
	Feb.	24.2	68.9	21.1	4.05	0.31	33.0	49.8	0.66	

		H10								
		H ⁺	nssSO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	pAi	NO ₃ ⁻ /nssSO ₄ ²⁻	nssCa ²⁺	NH ₄ ⁺	nssCa ²⁺ /NH ₄ ⁺	
鳥海NO.1	Jun.	9.1	9.0	6.9	4.80	0.77	2.1	4.0	0.52	
	Aug.	15.6	15.6	10.0	4.59	0.64	1.6	7.7	0.21	
	Oct.	9.4	16.7	7.9	4.61	0.47	3.7	15.3	0.24	
	Feb.	20.8	56.9	26.1	4.08	0.46	23.3	52.4	0.44	
鳥海NO.2	Jun.	5.0	7.0	4.8	4.93	0.69	1.8	4.1	0.44	
	Aug.	16.5	17.2	8.7	4.59	0.51	1.0	8.4	0.12	
	Oct.	10.4	17.8	9.0	4.57	0.50	5.2	11.7	0.45	
	Feb.	-	-	-	-	-	-	-	-	
白神NO.1	Jun.	7.5	12.5	10.3	4.64	0.83	1.7	7.0	0.24	
	Aug.	7.6	21.0	11.6	4.49	0.56	2.6	18.5	0.14	
	Oct.	6.3	10.8	6.3	4.77	0.59	1.9	10.5	0.18	
	Feb.	27.3	50.2	21.5	4.14	0.43	14.8	36.1	0.41	
白神NO.2	Jun.	5.3	5.9	4.4	4.99	0.74	1.4	2.1	0.68	
	Aug.	9.5	17.5	7.7	4.60	0.44	3.0	10.1	0.30	
	Oct.	5.3	21.3	10.0	4.50	0.47	4.3	6.7	0.63	
	Feb.	-	-	-	-	-	-	-	-	
秋田	Jun.	5.8	27.6	8.6	4.44	0.31	5.8	4.4	1.31	
	Aug.	6.3	14.3	7.9	4.65	0.56	1.3	4.6	0.27	
	Oct.	9.7	18.6	8.0	4.57	0.43	0.6	4.6	0.13	
	Feb.	19.2	83.0	33.1	3.94	0.40	4.8	26.0	0.19	

単位: $\mu eq/l$

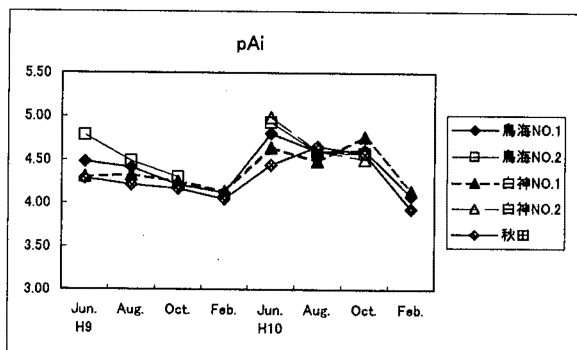


図5 pAi の推移

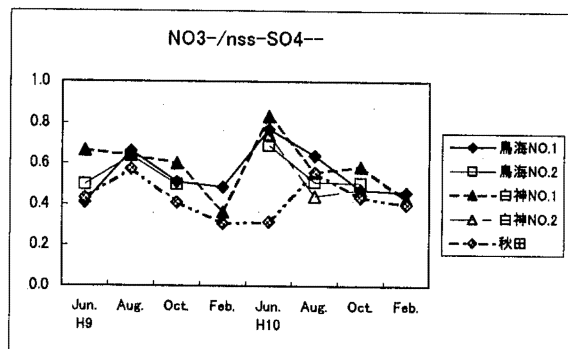


図6 NO₃⁻/nss-SO₄²⁻ の推移

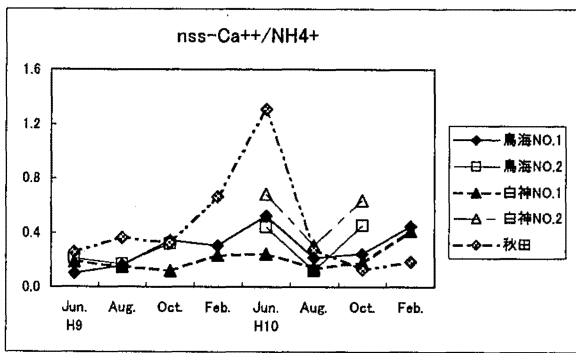


図7 nss-Ca²⁺/NH₄⁺の推移

3. 1. 3 イオン沈着量について

イオン沈着量は、土壌や湖沼への影響のように、継続的な蓄積性を見るために重要なデータとされている⁸⁾。ここで、2月を除く平成10年度の結果から各地点のイオン沈着量およびイオン成分濃度の月間平均値を求めた。月間平均イオン沈着量およびイオン成分濃度を表4および図8に示す。

イオン沈着量は鳥海 NO.2 が最も多く、次いで鳥海 NO.1, 白神 NO.2, 秋田, 白神 NO.1 の順となっており、イオン成分濃度は、都市部の秋田が最も多く、次いで白神 NO.1, 鳥海 NO.1, 鳥海 NO.2, 白神 NO.2 の順となっている。

イオン成分濃度は低いですが、標高が高く、降水量の多い鳥海 NO.2 が、イオン沈着量において、都市部の秋田市より約 1.5 倍多くなっている。また、イオン成分濃度があまり高くなく、降水量の少ない白神 NO.1 がイオン沈着量が最も少ない結果となっている。

この調査結果は前調査と同様の傾向を示したが²⁾、降水中のイオン成分濃度が低い清浄な地域であっても、降水量が多い場合はイオン沈着量が都市部と同じか、それ以上に多くなることから、森林地帯に対する負荷という面から今後も定期的な観測が必要であると考えられる。

表4 各地点の月間平均イオン沈着量およびイオン成分濃度

	イオン沈着量							
	H ⁺	nssSO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	nssCl ⁻	nssK ⁺	nssCa ²⁺	nssMg ²⁺	NH ₄ ⁺
鳥海NO.1	5.25	6.05	3.74	0.01	0.39	1.03	0.18	3.68
鳥海NO.2	6.81	8.54	4.66	0.03	0.60	1.46	0.18	4.78
白神NO.1	2.09	4.35	2.80	0.05	0.58	0.59	0.00	3.49
白神NO.2	3.20	6.30	3.22	0.01	1.18	1.33	0.17	2.82
秋田	2.40	6.42	2.71	0.00	0.77	1.51	0.09	3.96

単位: meq/m/month

	イオン成分濃度							
	H ⁺	nssSO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	nssCl ⁻	nssK ⁺	nssCa ²⁺	nssMg ²⁺	NH ₄ ⁺
鳥海NO.1	11.7	13.5	8.4	0.0	0.9	2.3	0.4	8.2
鳥海NO.2	10.5	13.2	7.2	0.0	0.9	2.3	0.3	7.4
白神NO.1	7.2	15.0	9.6	0.2	2.0	2.0	0.4	12.0
白神NO.2	6.8	13.4	6.9	0.9	2.5	2.8	0.8	6.0
秋田	7.2	19.4	8.2	0.0	2.3	4.6	0.3	11.9

単位: μeq/l

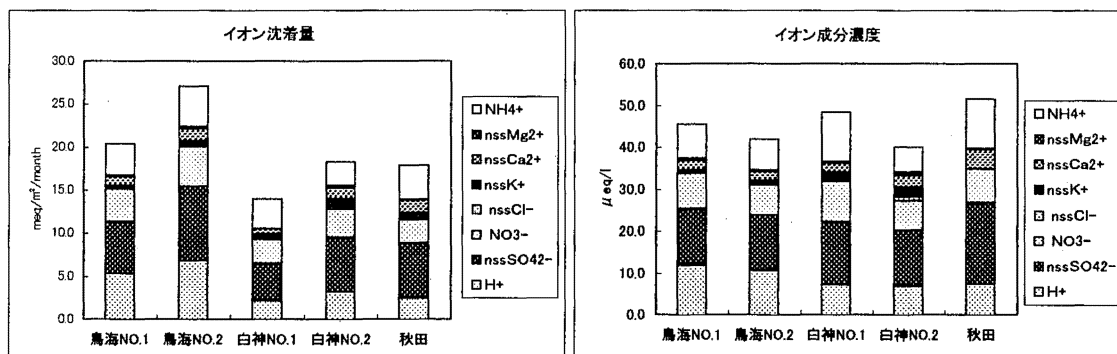


図8 各地点の月間平均イオン沈着量およびイオン成分濃度 (平成10年度)

3. 2 鳥海山における霧水調査について

3. 2. 1 霧発生時の気象^{7) 8) 9) 10) 11)} および霧水の採取状況

平成9年7月の調査では、9日に梅雨前線が東北の南部に停滞し、雨後時々曇りの天候であった。午前中から雨が降り続いていたが午後になって雨は止み、午後3時頃霧が発生した。20m先が見えない程の濃い霧であったが、次第に薄くなって、同日9時頃霧は消失し採取を終了した。

同年10月の調査では、21日にアムール河下流から延びる寒冷前線の南下に伴い昼過ぎから雨となり、降ったり止んだりの状態であった。午後4時頃に雨が止み、霧が発生したので採取を開始し、午後7時頃に霧が消え始めたので採取を終了した。

平成10年6月の調査では、25日に日本海から関東の東海上に延びている梅雨前線がゆっくり北上したことに伴い、昼過ぎから雨が降ったり止んだりの状態であった。午後8時頃に雨が止み、霧が発生し

たので採取を開始した。午後10時頃、雨が強く降り始めたので採取を終了した。

平成10年7月の調査では、9日に梅雨前線が日本海から東北地方へ延び、次第に南下し、標高の低いところでも霧又は霧雨の天候であった。現地に着いた時、既に濃霧で視界は十メートル程度であった。採取開始時の11時頃から濃霧が続いたが、午後9時頃になって霧が薄くなり、午後11時頃に霧が消え始めたので採取を終了した。

平成10年10月の調査では、8日に四国付近にあった低気圧が東北南部を通過し雨となった。現地は雨が混じった濃霧であったが、午後1時頃採取を開始した。その後も雨混じりの濃霧が続いたが、9日の午前0時頃霧が薄くなり始め、午前6時頃消失し採取を終了した。

表5 鳥海山における霧水のイオン成分濃度

年度	開始		終了		種類	採取量 ml	pH	EC μ S/cm	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	
	月日	時間	月日	時間														
H9	07/09	12:30	07/09	15:00	F	175	4.78	18.5	29.3	35.8	17.5	16.6	15.5	6.2	8.9	3.9	41.1	
	07/09	16:15	07/09	20:00	F	155	4.90	18.5	46.7	35.3	8.9	12.6	4.0	4.2	9.8	2.2	76.4	
	07/09	20:00	07/09	21:00	F	50	5.00	16.1	40.0	39.5	6.3	10.0	5.9	4.5	4.6	3.9	73.4	
	ave.					380	4.85	18.2	37.8	36.1	12.5	14.1	9.5	5.2	8.7	3.2	59.7	
	07/08	11:00	07/10	11:00	R	664	5.22	6.2	7.5	11.5	6.9	6.0	5.7	2.3	3.8	2.3	9.4	
	10/21	16:25	10/21	18:30	F	200	4.74	109.6	259.4	91.7	414.1	18.2	381.3	28.9	111.9	99.3	166.9	
	10/13	11:00	10/31	11:00	R	9228	4.83	29.7	52.0	20.4	128.1	14.8	98.0	4.7	14.0	24.5	28.2	
	H10	06/25	20:00	06/25	22:20	F	58	4.83	10.5	16.7	12.8	7.5	14.8	6.2	6.1	4.5	1.9	6.3
		06/25	14:00	06/26	10:00	R	2736	5.44	2.5	3.9	2.6	2.0	3.6	1.9	0.5	0.8	0.8	1.9
		07/09	11:50	07/09	13:15	F	250	4.83	21.8	49.6	17.4	38.1	14.8	32.8	5.3	3.2	5.8	59.2
07/09		13:15	07/09	15:15	F	380	4.63	22.8	59.0	17.2	17.9	23.4	14.1	1.7	0.9	2.8	62.7	
07/09		15:15	07/09	17:15	F	280	4.52	22.8	53.8	14.9	11.9	30.2	9.0	1.5	1.0	1.0	53.3	
07/09		17:15	07/09	19:15	F	290	4.42	25.3	56.1	17.0	12.8	38.0	10.2	2.6	2.2	2.2	42.4	
07/09		19:15	07/09	21:15	F	330	4.43	34.5	76.4	34.7	36.3	37.2	32.0	0.3	4.6	7.4	69.7	
07/09		21:15	07/09	23:15	F	50	4.07	107.1	328.9	166.4	138.2	85.1	127.0	16.8	39.8	42.0	300.2	
ave.					1580	4.51	28.2	68.2	25.1	26.7	30.8	22.7	2.6	3.5	5.0	65.7		
07/02		11:00	07/10	9:00	R	9646	4.65	13.2	26.4	13.7	13.3	22.4	11.3	0.8	1.1	1.6	17.1	
10/08		13:40	10/08	17:15	F	58	5.46	5.1	9.4	4.5	11.8	3.5	10.6	3.1	2.0	1.6	12.7	
10/08		17:15	10/08	20:00	F	45	5.90	6.1	7.4	3.2	23.5	1.3	20.2	1.5	1.1	4.4	11.1	
10/08		20:00	10/09	0:15	F	56	5.26	18.7	24.5	5.0	96.8	5.5	80.9	9.7	6.0	19.3	21.2	
10/09	0:15	10/09	6:50	F	82	4.36	53.9	86.7	36.4	176.3	43.7	146.1	6.6	11.1	35.3	56.9		
ave.					241	4.76	25.0	38.8	15.2	89.6	17.2	74.7	5.5	5.8	17.7	29.4		
10/08	13:20	10/09	7:00	R	40	5.24	7.1	5.6	2.6	27.7	5.8	24.4	0.8	1.0	5.4	0.6		

F;霧水

R;雨

3. 2. 2 霧水のイオン成分濃度について

鳥海山で採取した霧水のイオン成分濃度を表5に示す。pHは霧水の平均が4.73、調査時の雨水の平

均が5.07で約0.3低い値を示した。また、イオン成分濃度においても、霧水が雨水に比べると高い値を

示した。これは霧が微小滴で滞留時間が長いため、大気中の物質との接触面積が広いうえ接触時間も長いので霧水中の多量に取り込まれイオン成分濃度が高くなるとされている¹²⁾。

pH の最低値は平成 10 年 7 月 9 日の 4.07 であるが、赤城山などで観測された pH2 から 3 前半の酸性度の高い霧¹³⁾ は鳥海山では観測されなかった。

EC は霧水が 38.3 μ S/cm, 雨水が 11.7 μ S/cm で 3 倍以上の高い値を示した。

平成 9 年 10 月 21 日の霧水が最も EC が高い値

(109.6 μ S/cm) となっているが、この時の気象状況をみると、寒冷前線の南下に伴って西寄りの風となり、霧水に海塩の影響が強くなったものと推測される。

ここで平成 9 年 7 月 9 日 (FogNO.1), 平成 10 年 7 月 9 日 (FogNO.2) および 10 月 7 日 (FogNO.3) に採取した霧水のイオン成分濃度の経時変化を図 10 左に示す。また、 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{NH}_4^+$ の当量濃度比および pH の経時変化を図 9 右に示す。

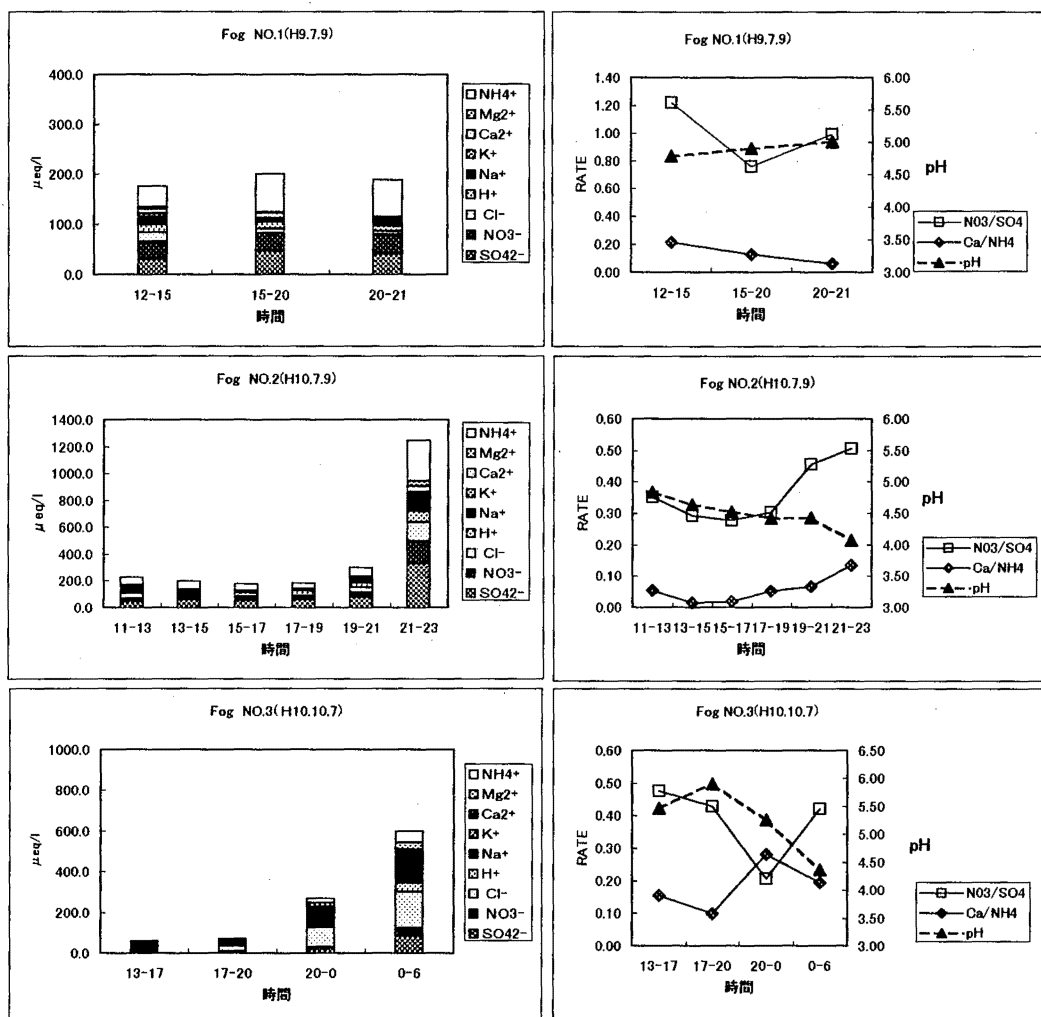


図 9 鳥海山における霧水のイオン成分濃度、 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{NH}_4$ および pH の経時変化

FogNO.2, FogNO.3 では、霧が大量に発生している時にイオン成分濃度は低くなる状態が続く、霧が消え始める時に濃度が大幅に高くなる傾向が見られた。特に FogNO.2 は霧消失時に濃霧の時と比べて濃度が約 6 倍高い値となった。また、pH もイオン成分濃度と同様な変化が見られ霧の消失時に急激に低下した。これは霧の生成時と消失時に大気中の霧

水の量が少なくなり、希釈効果が少なくなるため霧水中のイオン成分濃度が高くなるとされている¹²⁾。

また、目視ではあるが、濃霧が発生している時と比べて霧が消失する間際になると、濃霧の時よりも霧の粒が細かくなることが観測された。霧の粒径とイオン成分濃度の関係については今後の研究課題としたい。

FogNO.1 は霧の発生時と消失時のイオン成分濃度はほとんど変化がなかったが、これは FogNO.1 の測定場所が FogNO.2, FogNO.3 と異なり、風の通りの良い場所であること、また、調査時に風が吹いており、霧が停滞する時間が少なかったことがその理由ではないかと思われる。

次に $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ の当量比をみると、FogNO.2, FogNO.3 は SO_4^{2-} の割合が高く、FogNO.1 は NO_3^- の割合がやや高くなっている。これは FogNO.1 の測定地点が駐車場の近くであったことが FogNO.1 の NO_3^- 濃度に局所的影響を与えたのではないかと推測される。

また、 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ の経時変化をみると、濃霧が発生している時に当量比がやや下降傾向となり、消失時に上昇する傾向がみられる。これは大気中の HNO_3 が液相に溶け込やすいことが霧消失時に NO_3^- 濃度を高くする原因のひとつではないかと思われる。

$\text{Ca}^{2+}/\text{NH}_4^+$ の当量比をみると、 NH_4^+ の割合が高く、ほとんどが 0.2 以下で推移しており、降水の NH_4^+ 濃度に比べて高い値を示している。これは植物や土壤微生物の活動など地域的な影響が大きいのではないかと考えられる。

本調査に使用した採取装置は霧発生時に手でスイッチを入れて作動させるタイプで、常時、人が張り付く必要があること、また、調査地点が当センターから遠距離にあることから、限られたサンプル数しか採取できず、霧生成から消失までの長時間にわたる経時変化を完全に追うことができなかった。霧の特性やメカニズムを把握するためには霧水のサンプルを数多く採取する必要がある、これに対処するためには霧感知センサー付き自動捕集装置の使用が最適であると考えられる。

しかしながら、自動採取装置は高価であることから、今後同様な調査を実施する場合は現有施設の改良を含め、サンプル数を増やす方法を種々検討する必要があると考える。

霧は雨よりも植物体への直接影響の度合いが大きいといわれている。前調査において実施した白神山地、今回実施した鳥海山の調査では酸性度の強い霧は観測されなかったが、霧水は雨よりもイオン成分濃度が高く、霧の消失時に pH が低下し、成分濃度が大幅に高くなることがわかった。本県の豊かな森林資源を保全するために、今後も定期的な霧の調査が必要であると考えられる。

4. まとめ

平成 6～8 年度に実施した調査結果を踏まえて、本県の森林地帯への酸性降水物の特性をさらに把握するため、鳥海山および白神山地について降水、霧の調査を実施し、次の知見が得られた。

(1) 降水の pH の平均値は、鳥海山が 4.86、白神山地が 5.02、都市部の秋田が 4.90 で、鳥海山が他の調査地点よりやや低い値を示したが、各地点とも全国平均値とほぼ同じかやや高いレベルであった。また、降水の pH を季節的にみると、各地点とも冬季に低く、秋にやや高くなる傾向がみられた。今回の調査では標高差による pH の差はほとんど見られなかった。

(2) 降水の pAi および $\text{NO}_3^-/\text{ms}-\text{SO}_4^{2-}$ は、各地点とも冬季に低下する傾向を示した。

(3) イオン成分濃度は低いですが、標高が高く降水量の多い鳥海 NO.2 が、イオン沈着量において、都市部の秋田市より高い値となった。

降水中のイオン成分濃度が低く清浄な地域であっても、降水量が多い場合はイオン沈着量が都市部と同じか、それ以上に高くなることから、今後も注意深く観測する必要がある。

(4) 鳥海山で採取した霧水の pH の平均値は 4.73 で、調査時期の雨水より 0.3 低い値を示した。調査期間中の pH の最低値は 4.07 で、pH2 から 3 前半の酸性度の高い霧は鳥海山では観測されなかった。

(5) 霧が大量に発生している時よりも霧が消え始める時に pH が低下し、イオン成分濃度が大幅に高くなる傾向が見られた。今後も霧の特性やメカニズムを把握するため、定期的な霧の調査が必要であると考える。

参考文献

- 1) 環境庁資料：「第 2 次酸性雨対策調査結果について」(1994)
- 2) 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 No.24 56～68(1996)
- 3) (株)数理計画：酸性雨実態把握調査報告書(環境庁委託業務結果報告書)、1～30、1998
- 4) 角皆静夫、品川高儀：冬季モンスーンによって輸送される化学成分、地球化学、11、1～8(1977)

5)秋田地方気象台：秋田県気象月報(平成 11 年 2 月)

6)村野健太郎：酸性雨と酸性霧，p4，裳華房(1993)

7)秋田地方気象台：秋田県気象月報(平成 9 年 6 月)

8)秋田地方気象台：秋田県気象月報(平成 9 年 10 月)

9)秋田地方気象台：秋田県気象月報(平成 10 年 6 月)

10)秋田地方気象台：秋田県気象月報(平成 10 年 7 月)

11)秋田地方気象台：秋田県気象月報(平成 10 年 10 月)

12)村野健太郎：酸性雨と酸性霧，p133，裳華房(1993)

13)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淨効果 日本化学会誌 ,No.5, 702(1991)