

秋田市内における雨水成分の調査結果について（第2報）

齊藤 学 ※信太 稜
小玉 幹生 藤島 直司

1 はじめに

酸性雨による環境破壊、および人体被害問題については、欧米諸国をはじめ、我国においてもその原因究明のための調査が行われてきている。本県においても、昭和58年度から現況把握を目的として、秋田市内で雨水の成分調査を実施し、その結果、かなり高い頻度で酸性雨が観測されること、また、市街地よりも郊外で酸性化の度合いが高い等の知見を得ている。

そこで、59年度は、秋田市内についてはこれまでの調査を継続させるとともに、秋田市以外の5市にも調査地点を設けて県内の雨水成分の現況を把握してみた。

2 調査方法

(1) 調査年月日

A. 降雨別調査 昭和59年4月～12月

B. 一週間単位の降雨調査

イ、秋田市内 昭和59年4月～60年3月

ロ、他5市 昭和59年7月

(2) 調査地点および採水器設置状況

降雨別調査における地点は、昨年度と同様に市街地は中通、郊外は藤倉を選定し、一週間単位の降雨調査の秋田市内は藤倉、中通、茨島、八橋の4地点で、秋田市以外の5市は、大館、能代、男鹿、本荘、横手である。

調査地点および設置状況は図-1、2および表-1に示す。

(3) 採水方法

イ、降雨別調査

採水器は、小笠原式雨水採水器のR-150型を使用した。これは、降りはじめから5mm目までを1mm毎に分取するものであり、乾性降下物の影響を軽減するため、捕集面を移動させる仕組みになっている。図-3参照

ロ、一週間単位の降雨調査

環境庁大気保全局大気規制課の「昭和58年度酸性雨成分分析調査実施細則」により指示のあった雪採取器（以下、簡易式雨水採水器と言う）を改良したものであり、図-4に示す。

※現在能代保健所

(4) 分析項目および分析方法

降雨別調査については、PH、EC、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ の6項目。一週間単位の採水調査については、この6項目に Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、の4項目を加えた10項目について分析した。分析方法は表-2に示すとおりである。

表-1 調査地点および採水器設置状況

地 点	採水器名	設置場所	
秋 田 市	藤 倉	小笠原式雨水採水器 地上	
		簡易式雨水採水器 地上 2.2 m	
中 通		小笠原式雨水採水器 地上 8.3 m	
		簡易式雨水採水器 地上 8.4 m	
次 島	〃	地上 4.0 m	
八 橋	〃	地上 4.0 m	
他 市	大 館	〃	地上 4.0 m
	能 代	〃	地上 7.0 m
男 鹿	〃	地上 4.0 m	
	本 荘	〃	地上 7.0 m
横 手	〃	地上 7.0 m	

表-2 分 析 方 法

測 定 項 目	分 析 方 法	単 位
水素イオン濃度 (pH)	ガラス電極法	—
導 電 率 (EC)	電気電導度計	$\mu\text{S}/\text{cm}$
硫酸イオン (SO_4^{2-})	塩化バリウム比濁法	$\mu\text{g}/\text{ml}$
硝酸イオン (NO_3^-)	サリチル酸ナトリウム法	
塩素イオン (Cl^-)	チオンアン酸第二水銀法	
アンモニウムイオン (NH_4^+)	インドフェノール法	
カルシウムイオン (Ca^{2+})	原子吸光法	
マグネシウムイオン (Mg^{2+})		
カリウムイオン (K^+)		
ナトリウムイオン (Na^+)		

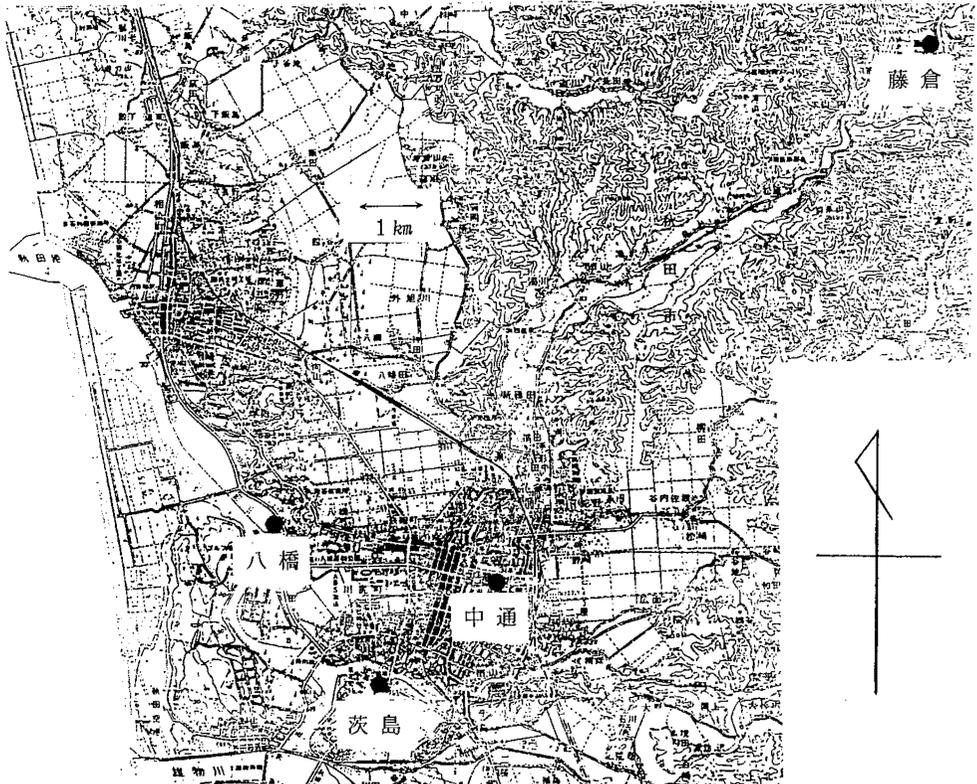


図-1 秋田市内地点略図

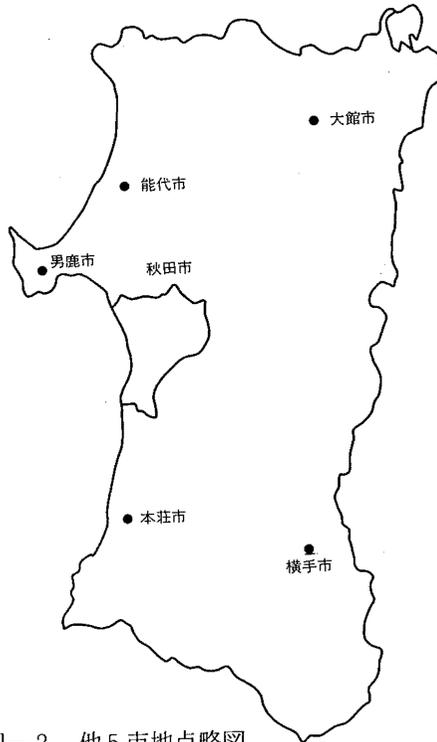


図-2 他5市地点略図

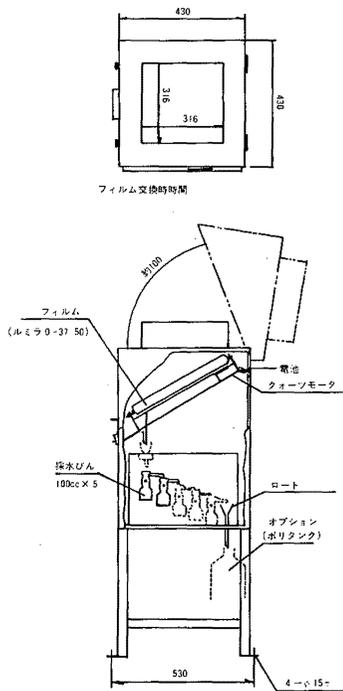


図-3 小笠原式雨水採水器

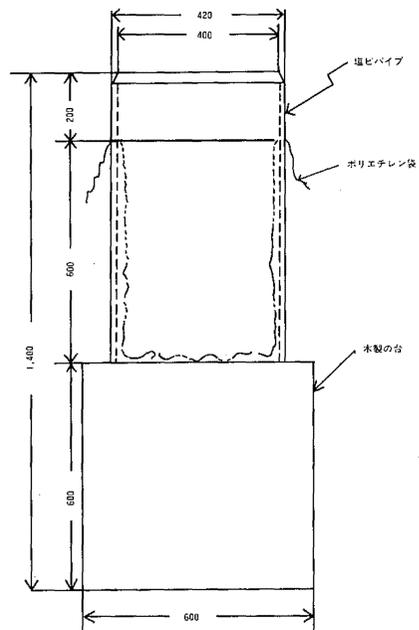


図-4 簡易式雨水採水器

3 調査結果と考察

(1) 降雨別調査結果

イ、前年度および他都市の調査結果との比較

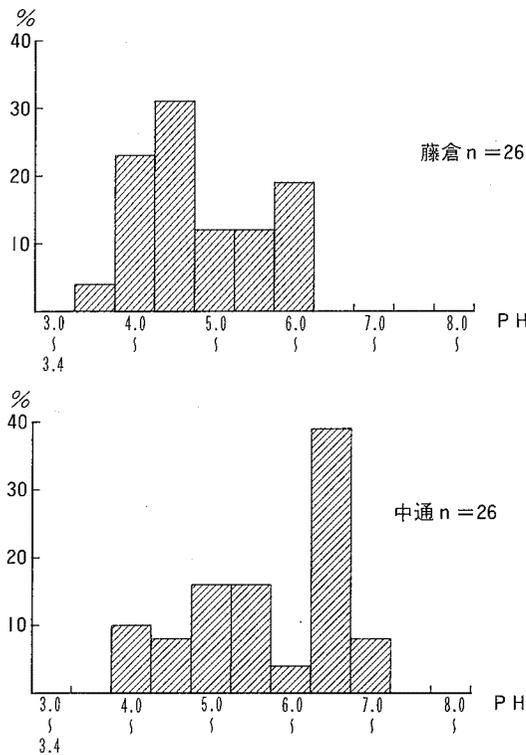
表一3に、初期降雨1mm目から5mm目までのPH、EC、およびイオン成分調査結果を示した。

58年度の1～5mmのPH、ECの平均値と比較してみると、藤倉、中通ともやや高い値を示した。また、58年度同様、PHについては郊外の藤倉が市街地の中通より酸性側の測定値を示し、ECについては市街地の中通が高い値を示した。しかし、58年度、藤倉では降雨の経過、即ち、ECの減少に伴ってPHが上昇し、中通では低下していく傾向を示したが、今年度は明瞭な傾向は見い出せなかった。

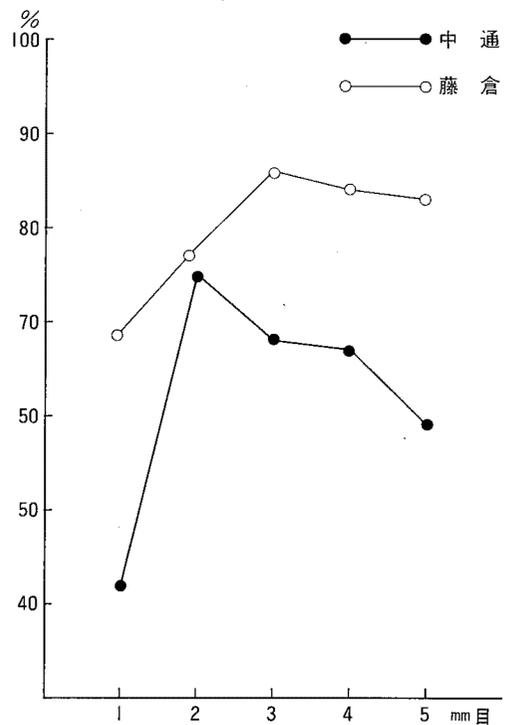
昭和57年度に八戸、横浜、奈良、神戸、および広島で行われた調査結果¹⁾によれば、初期降雨1mm目の平均値は、PHが4.5～5.4、 SO_4^{2-} が2.2～4.3、 NO_3^- が0.66～3.8、 Cl^- が1.2～2.9、 NH_4^+ が0.34～1.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$ であり、ECは21～57 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。この調査結果と比較すると、中通でPH、EC、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ が上限よりやや高い値となっているが、 Cl^- 、 NO_3^- は範囲内にあり、藤倉では NH_4^+ が上限より若干高いのみで、他は全て他都市並の値を示した。

ロ、PHの階級別出現率

図一5に降水1mm目のPHの階級別出現率を示した。雨水が大気中の CO_2 との平衡で成り立つPH≒5.6未満の雨水を酸性雨と定義した場合、藤倉でPH4未満の強い酸性雨が4%出現している一方、中通ではPH7以上のアルカリを示す雨水が7.7%出現した。また、最多出現率は藤倉で4.5～5.0



図一5 PHの階級別出現率(降水1mm目)



図一6 PH 5.6未満の酸性雨出現率

表一 3 初期降雨調査結果

区 分	藤 倉						中 通						
	1~5	1	2	3	4	5	1~5	1	2	3	4	5	
PH	最大値	6.88	6.42	6.61	6.52	6.59	6.88	7.34	7.34	7.31	7.12	6.85	6.58
	最小値	3.98	3.98	4.12	4.22	4.31	4.25	4.16	4.17	4.16	4.17	4.38	4.48
	平均値	5.07 (4.78)	5.09 (4.65)	5.11 (4.72)	4.99 (4.82)	5.05 (4.82)	5.07 (4.92)	5.51 (5.30)	5.97 (5.58)	5.37 (5.35)	5.40 (5.22)	5.35 (5.16)	5.33 (5.15)
EC	最大値	130.5	130.5	95.5	65.8	76.6	56.5	221	221	112.6	79.7	63.9	47.7
	最小値	6.3	13.4	6.3	6.5	7.4	8.3	5.4	15.8	10.1	7.3	5.7	5.4
	平均値	30.6 (24.6)	47.1 (39.3)	32.2 (24.4)	24.9 (19.6)	22.9 (18.5)	19.6 (18.7)	37.4 (28.7)	62.4 (38.9)	38.6 (29.5)	31.3 (24.8)	26.9 (21.5)	20.9 (25.7)
SO ₄ ²⁻	最大値	19.2	19.2	17.2	7.8	7.5	5.0	22.5	22.5	10.5	10.3	7.3	5.6
	最小値	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
	平均値	2.0	3.4	2.3	1.4	1.5	0.9	2.9	5.6	2.9	2.1	1.6	1.3
NO ₃ ⁻	最大値	11.72	11.72	10.02	5.92	4.62	3.56	13.77	13.77	4.64	3.78	4.26	2.86
	最小値	0.15	0.30	0.17	0.18	0.15	0.18	<0.01	0.61	0.22	<0.01	0.20	0.18
	平均値	1.76	2.66	1.96	1.35	1.45	1.03	1.85	3.32	1.88	1.36	1.26	0.95
Cl ⁻	最大値	5.63	3.69	4.13	4.62	5.63	3.58	7.50	7.50	5.13	4.48	5.08	2.94
	最小値	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.07	0.04	0.04	0.02	<0.01
	平均値	1.06	1.34	1.09	1.04	0.98	0.74	1.33	1.81	1.40	1.25	1.06	0.91
NH ₄ ⁺	最大値	3.59	3.59	1.32	1.66	0.92	2.55	4.57	4.57	1.40	2.13	1.23	0.82
	最小値	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.27	<0.01	0.51	0.26	0.24	0.18	<0.01
	平均値	0.66	1.29	0.60	0.53	0.44	0.57	0.70	1.14	0.67	0.62	0.48	0.41
試料数	107	26	23	21	19	18	110	26	24	22	21	17	

(単位はPHがなし、ECが $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、他は $\mu\text{g}/\text{ml}$ ()内数は58年度の値)

で、中通では6.5～7.0であった。いずれも二山型に近い形を示しているが、藤倉は酸性側に、中通はアルカリ側に高い山を持っており、両地点の雨水の性状に違いがあることを意味しているものと考えられた。

図一6に、PH5.6未満の、いわゆる酸性雨について降雨順毎の出現率を示した。藤倉、中通とも1mm目の出現率は低いが、藤倉では2mm目、3mm目と出現率が高くなっていき、3mm目以降は横ばい傾向になるのに対し、中通では2mm目にピークを持ち、3mm目以降は徐々に低くなっていく傾向を示した。また、1～5mmの全試料の酸性雨の出現割合は、藤倉で79%、中通で62%であり、初期降雨5mmまでの酸性雨は市街地より郊外で出現する割合が高いことがわかった。

ハ、降雨順別のPH、EC、イオン成分濃度の推移

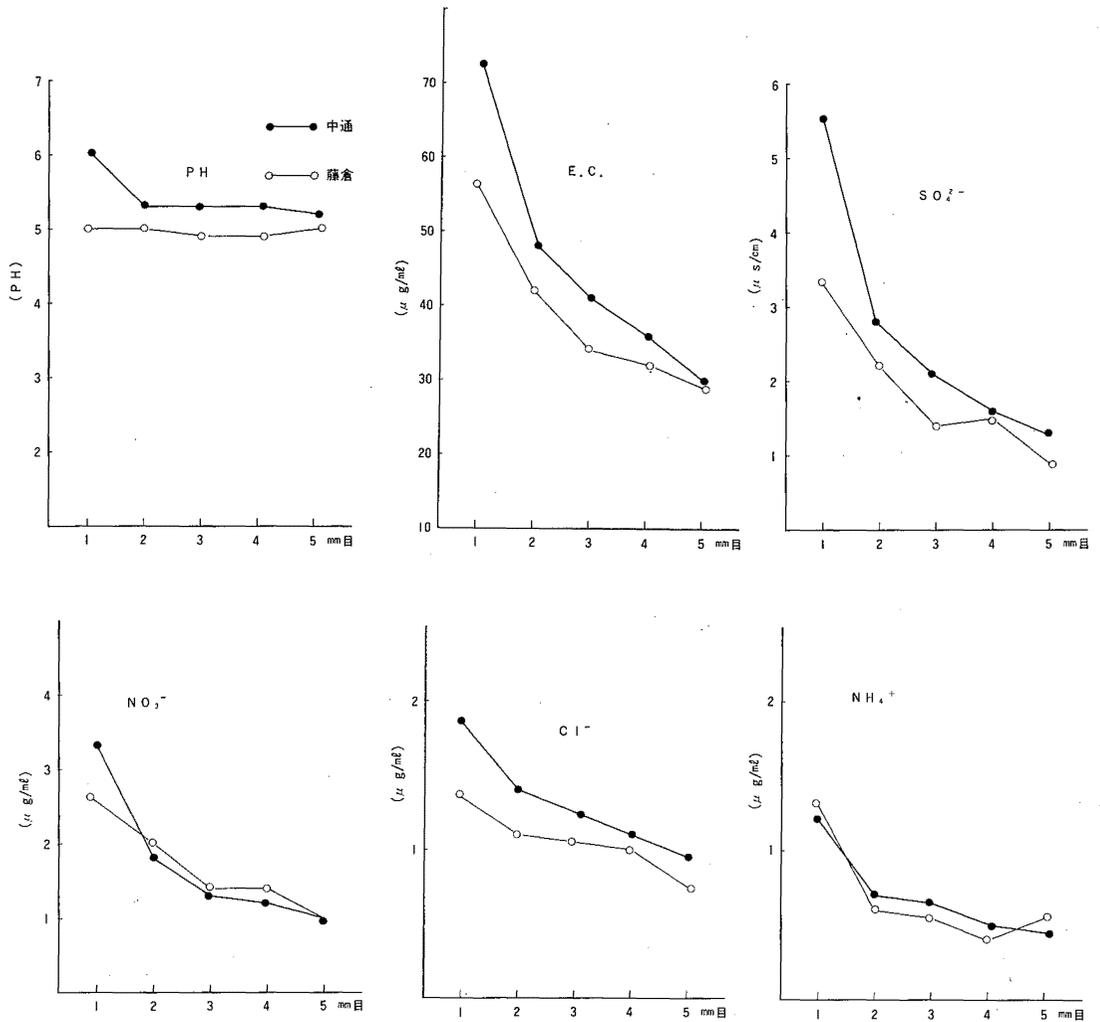
図一7に、各測定項目の降雨順別の推移を示した。PHについてみると、中通では1mm目に最も高い値を示し、2mm目以降は1mm目を100とすると、約10%の減少率でほぼ横ばいで推移する傾向を示した。また、藤倉では3mm目がわずかに低い値になっているが、降雨順による変化はみられず、1mm目を除いて、中通より約0.2～0.4低い値でほぼ平行に推移する傾向となっていた。一方、EC、およびイオン成分濃度においては、藤倉、中通とも1mm目が最も高く、2mm目の減少率が最大となっていた。また、2mm目以降は漸減し、 NH_4^+ を除いては、両地点で1mm目に濃度差の大きかったものも、5mm目ではほとんど差がなくなる傾向を示していた。これは、初期降雨が5mm目付近までの間に、ウォッシュアウト効果により市街地と郊外の大気汚染物質の取り込みを終えたためと考えられた。

NH_4^+ については、1mm目から5mm目まで両地点に濃度差がほとんどないことから、 NH_4^+ の発生源は人為的な起源より、自然的起源によるものが大であると推定された。

次に、1mm目のPHとEC、およびイオン成分濃度について検討してみると、カチオンである NH_4^+ が両地点でほぼ同じ値を示し、アニオン3項目のイオン成分濃度と、ECの値が中通の方が大きいにもかかわらず、PHは藤倉より中通が高いということは、市街地である中通で NH_4^+ 以外にPHを高めるのに大きく寄与しているカチオンが存在することを予想できた。

ニ、成分間の相関

表一4に、降水1mm目における成分間の単相関係数を示した。比較的高い正の相関を示したものは、藤倉、中通とも $\text{SO}_4^{2-}-\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^-$ 、 $\text{EC}-\text{Cl}^-$ で、 H^+ や NH_4^+-EC は、ほとんど相関を示さなかった。



図一七 降雨順別のPH・E.C.、イオン成分濃度の推移

表一四 降雨別雨水の成分間の相関係数(降水1mm目)

		H ⁺	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	
中	H ⁺	-	0.2377	0.0775	0.3149	0.2582	-0.3063	藤
	EC	-0.0662	-	0.5845	0.3930	0.6521	0.0030	
	SO ₄ ²⁻	-0.2558	0.5950	-	0.8714	0.6363	0.2341	
	NO ₃ ⁻	-0.0891	0.3410	0.8713	-	0.6212	0.0555	
通	Cl ⁻	-0.3143	0.6748	0.7209	0.4429	-	-0.1110	倉
	NH ₄ ⁺	-0.0722	0.1267	0.3587	0.4848	0.4177	-	

(2) 一週間単位の降雨調査結果

イ、秋田市内4ヶ所の調査結果

降雨別による初期降雨成分調査は、降りはじめの雨水に強酸性のものが出現し、目が痛くなる等、主として人体被害があることから、その性状を把握することを目的としている。これに対し、一週間単位の降雨調査は、一降雨のみならず、一週間のBulkによる雨水を調査することで、主として樹木等の生態系への影響を調査することを目的とするものであるが、59年度においては、イオン成分量の地域差について検討してみた。

表一5に、秋田市内4ヶ所の調査結果を示した。

PHについてみると、降雨別調査結果と同様、市街地より郊外の藤倉が低く、平均値で4.75を示した。これは、初期降雨1～5mmの平均値5.07よりも低い値であった。先に示した図一7のPHの降雨順別推移、図一6の降雨順別の酸性雨出現率からみてもわかるように、藤倉では初期降雨のみならず、全雨的にPHの低い雨が降っているものと考えられた。

各地点の溶存イオン量をみると、茨島>八橋>中通>藤倉の順となっており、近隣に肥料工場、石膏工場があり、また、交通量の多い道路を有する茨島がイオン量が多く、郊外の藤倉が少ない傾向が明確に現れていた。また、主に海塩粒子の飛散に由来する Cl^- 、 Na^+ のイオン量は、八橋>茨島>中通>藤倉の順で、これは海岸線からの距離順と一致していた。

地点間の濃度に差があるものは SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} であり、茨島が高く、藤倉が低い値を示した。また、2地点間における NO_3^- の濃度に差は少なかった。通常、 NO_3^- の値に変化は少ないとしても、 SO_4^{2-} の値が大きい茨島が、藤倉より低い値を示すものと考えられるが、結果は逆の傾向となっていた。これは、降雨別調査結果でも触れたように、市街地である茨島では、アニオンの存在量も多いが、PHを中和の方向に導くカチオンの存在量も多いこと、また、藤倉ではPHを低下させる SO_4^{2-} の存在量は少ないが、PHを高めるカチオン、特に Ca^{2+} の存在量が少ないためPHの上昇につながらず、2地点間に濃度差の少なかった NO_3^- のイオン量の存在が大きくなり、PH低下となっているものと考えられた。

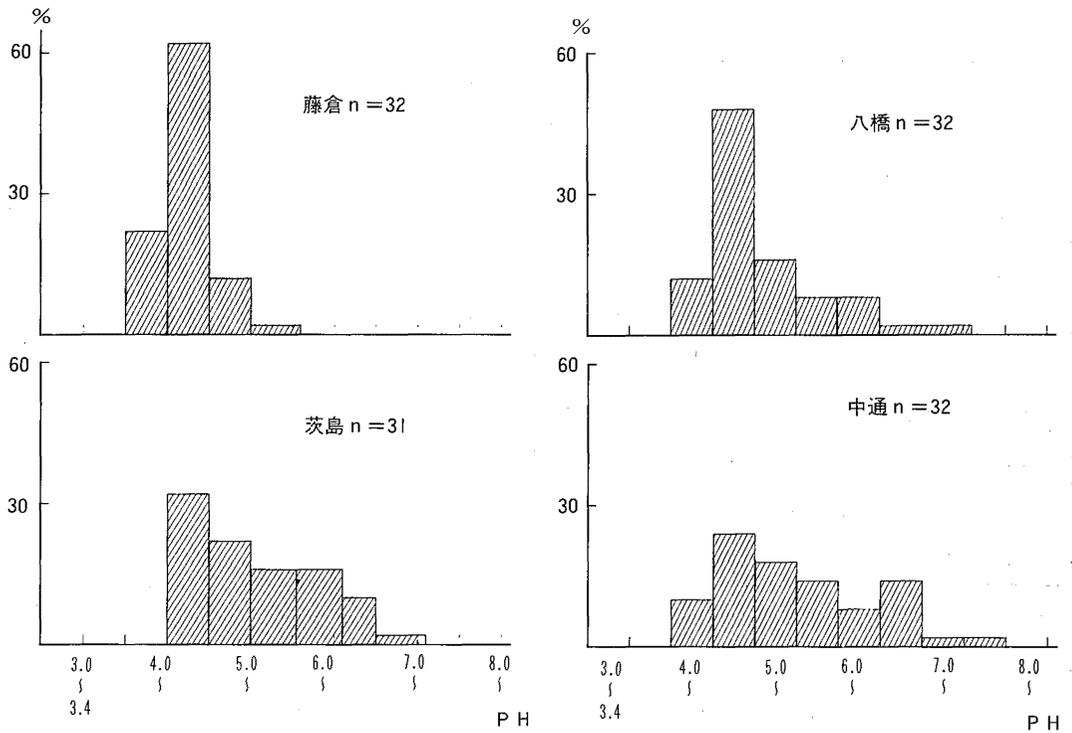
ロ、PHの階級別出現率

図一8に、各地点のPHの階級別出現率を示した。各地点とも4.5～5.0に最多出現率を示したが、藤倉を除いた3地点は、いずれもアルカリ側に長く裾を伸ばした形を示していた。また、図一5の初期降雨1mm目のPH階級別出現率と比較すると、藤倉ではPHの出現範囲が狭くなっており、中通ではPHの範囲に変化は少ないものの、ピーク間の差が減少していた。これは、藤倉では初期降雨によるウォッシュアウト効果後の大気汚染状況が比較的一定していくのに対し、中通では一定しにくい状況下にあるためと考えられた。

表一五 一週間単位の降雨調査結果（4月～12月）

項目 地点	PH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺
	平均 (最小～最大)	平均 (最小～最大)	平均 (最小～最大)	平均 (最小～最大)	平均 (最小～最大)	平均 (最小～最大)	平均 (最小～最大)	平均 (最小～最大)	平均 (最小～最大)	平均 (最小～最大)	平均 (最小～最大)
藤倉	4.75	37.06	1.2	1.00	1.12	0.43	0.90	0.31	0.24	2.18	0.024
n=32	(4.07～ 6.46)	(7.48～ 91.90)	(<1.0～ 3.90)	(0.07～ 4.78)	(0.01～ 6.62)	(0.01～ 0.99)	(0.03～ 5.16)	(0.02～ 1.29)	(0.08～ 0.56)	(0.20～ 8.20)	(0.00035 ～0.085)
中通	5.61	50.48	2.4	1.31	1.50	0.75	2.69	0.45	0.30	2.97	0.009
n=32	(4.34～ 7.78)	(10.65～ 161.00)	(<1.0～ 7.10)	(0.34～ 7.66)	(0.08～ 6.19)	(0.10～ 1.53)	(0.41～ 16.68)	(0.03～ 2.40)	(0.09～ 0.99)	(0.14～ 15.40)	(0.00002 ～0.046)
茨島	5.48	60.28	5.9	1.13	1.62	1.48	2.67	0.52	0.55	3.40	0.009
n=31	(4.52～ 7.16)	(14.40～ 181.30)	(<1.0～ 18.90)	(0.23～ 4.44)	(0.10～ 7.52)	(0.05～ 5.03)	(0.51～ 8.80)	(0.03～ 2.32)	0.08～ 2.75)	(0.14～ 13.65)	(0.00007 ～0.030)
八橋	5.19	54.68	3.0	1.53	1.63	0.92	2.05	0.53	0.39	3.47	0.014
n=32	(4.40～ 7.34)	(11.51～ 175.30)	(<1.0～ 11.70)	(0.15～ 7.33)	(0.07～ 8.24)	(0.07～ 4.99)	(0.20～ 9.94)	(0.03～ 2.60)	0.04～ 1.55)	(0.26～ 16.55)	(0.0005 ～0.040)

(単位はPHがなし、ECが $\mu\text{s}/\text{cm}$ 、他は $\mu\text{g}/\text{ml}$ 、H⁺はPHより換算)



図一八 PHの階級別出現率

ハ、成分間の相関

表一六に、各地点の成分間の相関係数を示した。比較的高い相関を示したのは、各地点ともECと Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ の海塩性起源のイオンであった。また、この3項目のイオンについては、お互いのイオン間においても相関がみられた。

表一六 一週間単位の降雨の成分間相関（4月～12月）

	H^+	EC	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+			
中	H^+		0.6138	0.0920	0.3835	-0.2220	0.3233	0.5956	0.1842	0.2847	0.1429	藤倉	
	EC	0.1927		0.4328	0.2892	0.1257	0.2698	0.4939	0.8483	0.8532	0.8283		
	SO_4^{2-}	-0.1081	0.7947		0.1947	0.7139	0.3415	0.1087	0.4550	0.4548	0.4314		
	NO_3^-	-0.2159	0.4361	0.6220		-0.0526	0.5369	0.5848	-0.1208	0.0597	-0.1546		
	Cl^-	-0.2716	0.3464	0.4322	0.0129		0.0241	-0.1122	0.2884	0.3259	0.3113		
通	NH_4^+	0.0140	0.4833	0.6718	0.6521	0.1263		0.3938	0.0504	0.2344	-0.0239		倉
	Ca^{2+}	-0.2250	0.4895	0.5797	0.9021	0.0310	0.5243		0.0431	0.3379	0.0408		
	Mg^{2+}	0.2053	0.8654	0.5881	0.0151	0.2892	0.2378	0.0439		0.8514	0.9894		
	K^+	-0.0470	0.7729	0.7110	0.3398	0.4796	0.5378	0.3369	0.6852		0.8586		
	Na^+	0.2404	0.8444	0.5404	-0.0413	0.3216	0.1942	-0.0077	0.9896	0.7103			

		H ⁺	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
八 橋	H ⁺		0.2334	-0.0134	-0.1476	-0.2598	-0.2568	-0.0461	0.2226	-0.1963	0.1872	茨
	EC	0.2069		0.8261	0.2337	0.2985	0.4895	0.5893	0.9659	0.5260	0.9494	
	SO ₄ ²⁻	-0.1583	0.7144		0.4199	0.4280	0.4645	0.6492	0.7260	0.7262	0.7341	
	NO ₃ ⁻	0.1319	0.4038	0.6363		-0.0351	0.6394	0.5861	0.1089	0.4892	0.0417	
	Cl ⁻	-0.2017	0.2897	0.2834	-0.0571		0.1056	-0.0188	0.2776	0.3605	0.3490	
	NH ₄ ⁺	-0.0467	0.3900	0.8231	0.7211	-0.0665		0.3896	0.3980	0.5009	0.3816	島
	Ca ²⁺	-0.1406	0.5575	0.7429	0.7778	0.0410	0.7102		0.4930	0.4696	0.4244	
	Mg ²⁺	0.1537	0.9229	0.4980	0.0882	0.3778	0.0995	0.2443		0.4350	0.9741	
	K ⁺	-0.1162	0.8151	0.8905	0.4968	0.1756	0.7331	0.6922	0.6610		0.5408	
	Na ⁺	0.1672	0.8899	0.4062	0.0162	0.3715	0.0010	0.1768	0.9913	0.5847		

EC—SO₄²⁻については、藤倉で低いものの、他地点では比較的高い相関を持っていた。

H⁺は、降雨別調査結果と同様、相関を示すイオンはなかった。

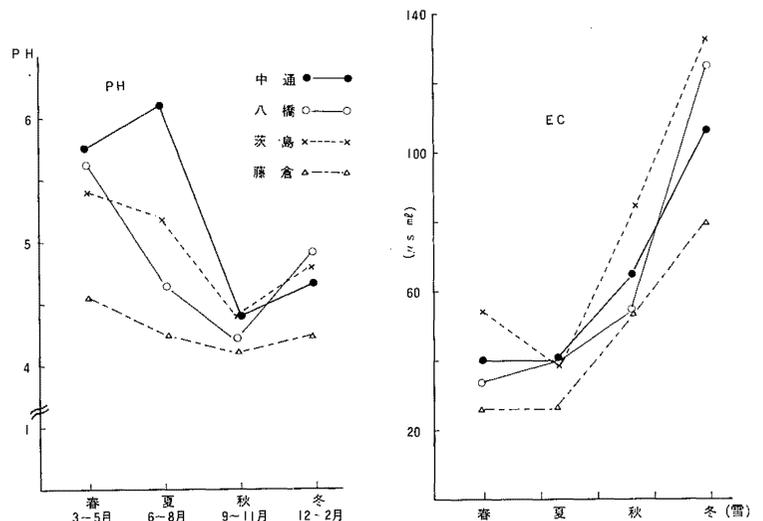
二、雨水成分の季節別変化

図一9に、各地点における雨水成分の季節別変化を示した。ただし、冬季は雪を室温で溶解した降水を測定したものである。これによると、PHは各地点とも秋に低い値を示し、中通を除いて春に高い傾向を示すことがわかった。都市部の東京²⁾、千葉³⁾、神戸⁴⁾では夏に低PHの出現が多いこと、また、秋田で1971年、1981年に測定した結果、冬にPHが低い既報の結果とは異なる傾向となったが、採水方法が異なるため、明確な比較はできなかった。

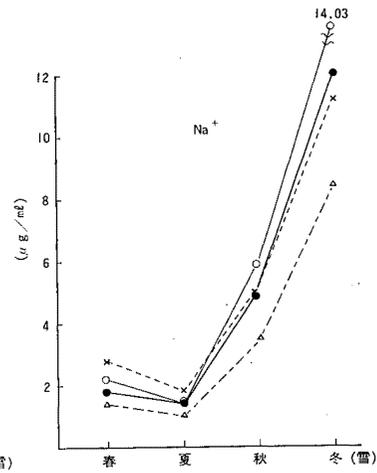
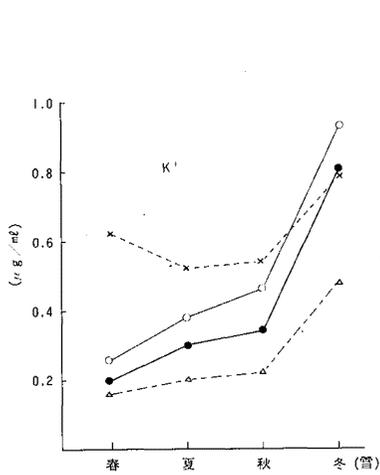
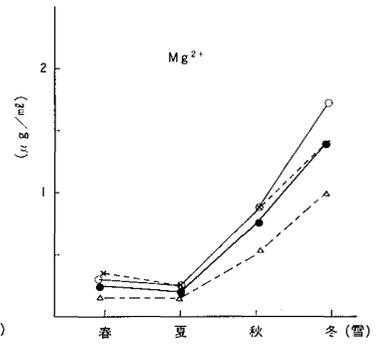
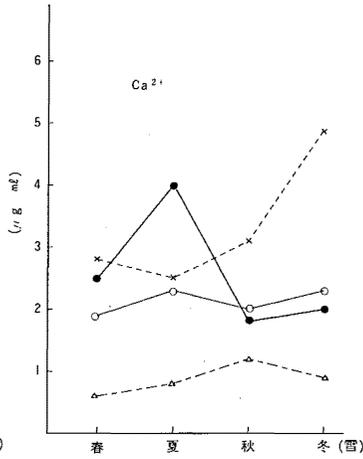
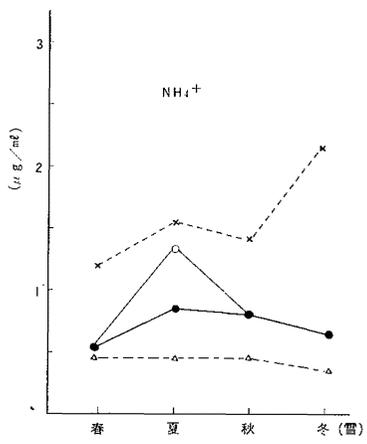
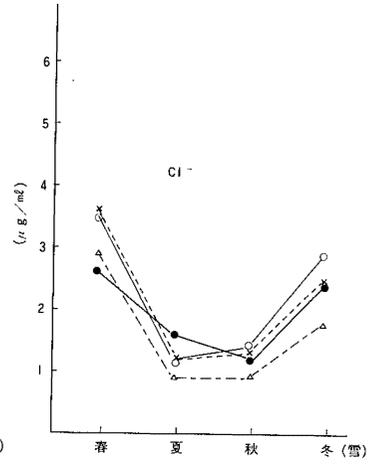
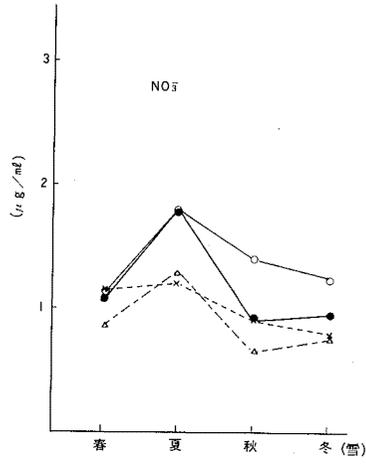
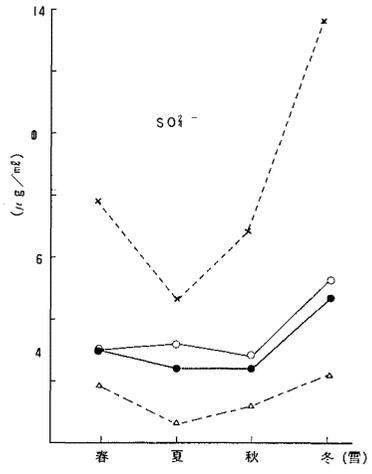
ECは秋から冬にかけて高くなっていくが、Na⁺、K⁺、Mg²⁺の海塩性起源も同傾向であることから、秋冬において海から吹きつける季節風が、イオン量を増加させているものと考えられた。

NO₃⁻については夏が高く、
Cl⁻は春が高い傾向であった。

NH₄⁺、Ca²⁺については、茨島が冬期に高くなる傾向を除いて変化は少ないが、中通で夏にCa²⁺が高く、これはPHで中通のみが夏に高い値を示していることと一致していた。



図一9 雨水成分の季節別変化



ホ、秋田市内と県内他5市との比較

表一七に、7月における秋田市内4地点と、県内他5市の降雨調査結果を示した。

溶存イオン量が少ない地点は、秋田市内では藤倉、他市では大館、横手で、ともに内陸部であった。これは、海塩性起源の Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- のイオン量が、内陸部に入るに従って減少していくためと、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} が3地点とも低い値を示したためと考えられた。

PHについてみると、藤倉が4.61と最も低く、他地点の5.2～5.79と比較して差が大きかった。溶存イオン量で同傾向を示した大館、横手と藤倉を比べて、PHに差が生じたのは、藤倉の NO_3^- が大館、横手より高い平均値を示したためと考えられた。

へ、降雨による各イオンの降下量

表一八には、表一七に示した各地点のイオン成分濃度をもとに、降雨による各イオンの1ヶ月間の降下量（濃度×雨量）を1 m^2 当りに換算して見積ってみた。降下量は雨量の違いによって値が変わるが、調査期間である7月に限定して考えてみると、 H^+ では藤倉が5に対し、他地点では1～2（ $\text{mg}/\text{m}^2/1$ ヶ月）で2.5～5倍の地域差があった。また、 SO_4^{2-} では中通、茨島、八橋が多く281～305で、藤倉は71（ $\text{mg}/\text{m}^2/1$ ヶ月）と最も低かった。しかし、 NO_3^- では他地点が100～155なのに対し、藤倉が496（ $\text{mg}/\text{m}^2/1$ ヶ月）と、ほぼ3.5～5倍のイオン量が降下していた。

昭和57年度の八戸、横浜、奈良、神戸、および広島で行われた調査結果¹⁾で、最もイオンの降下量が多かった横浜の結果をみると、10～11月の2ヶ月間で H^+ が5.4、 NH_4^+ が72、 SO_4^{2-} が190、 NO_3^- が340（ $\text{mg}/\text{m}^2/2$ ヶ月）であり、降雨量は246.5 mm であった。この結果と藤倉のイオン降下量を比較してみると、7月の梅雨期に調査した藤倉の降雨量が横浜の2ヶ月間の降雨量とほぼ同量となっていることもあり、単純に比較はできないが、降下イオンの絶対量で、藤倉の7月は横浜の10～11月に比べ SO_4^{2-} が約 $\frac{1}{2}$ 、 NH_4^+ が約 $\frac{1}{6}$ 、 H^+ がほぼ同量、 NO_3^- が約1.5倍となり、 NO_3^- の降下量が

表一七 一週間単位の降雨調査結果（7月）

地点	項目	pH	EC	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
秋 田 市	藤 倉	4.61	27.74	0.7	2.13	0.86	0.37	1.27	0.05	0.17	0.48
	中 通	5.56	37.85	2.8	2.26	1.87	0.83	4.34	0.12	0.36	1.07
	茨 島	5.63	35.28	4.3	1.53	1.21	1.78	2.32	0.22	0.62	1.47
	八 橋	5.53	35.10	3.7	1.98	1.06	1.69	2.35	0.15	0.50	0.62
他 市	大 館	5.44	14.94	0.9	1.14	0.59	0.64	0.85	0.04	0.11	0.29
	能 代	5.79	34.30	3.6	2.80	0.93	1.37	2.63	0.19	0.57	0.96
	男 鹿	5.20	29.35	3.1	2.22	1.61	0.49	1.90	0.21	0.43	1.41
	本 荘	5.61	24.60	4.0	1.81	1.02	0.94	1.42	0.11	0.40	1.03
	横 手	5.57	12.66	0.8	1.13	0.70	0.70	0.34	0.03	0.23	0.51

（単位は pHがなし、ECは $\mu\text{s}/\text{cm}$ 、その他は $\mu\text{g}/\text{ml}$ ）

表一 8 降雨によるイオンの降下量 (7月)

項目 地点	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	降雨量mm	Cl ⁻ /Na ⁺ (モル比)	
秋 田 市	藤倉	5 (5)	71 (0.7)	496 (8.0)	239 (6.7)	58 (3.2)	85 (2.1)	11 (0.5)	35 (0.9)	120 (5.2)	274	1.29
	中通	1 (1)	304 (3.2)	151 (2.4)	273 (7.7)	114 (6.3)	362 (9.0)	14 (0.6)	38 (1.0)	126 (5.5)	215	1.40
	茨島	1 (1)	305 (3.2)	100 (1.6)	227 (6.4)	113 (6.3)	121 (3.0)	10 (0.4)	33 (0.8)	155 (6.7)	227	0.96
	八橋	2 (2)	281 (2.9)	129 (2.1)	192 (5.4)	153 (8.5)	128 (3.2)	13 (0.5)	49 (1.3)	91 (4.0)	187	1.35
他 市	大館	2 (2)	132 (1.4)	155 (2.5)	139 (3.9)	64 (3.5)	111 (2.8)	7 (0.3)	20 (0.5)	63 (2.7)	230	1.44
	能代	1 (1)	144 (1.5)	106 (1.7)	144 (4.1)	63 (1.8)	97 (2.4)	7 (0.3)	23 (0.6)	71 (3.1)	196	1.32
	男鹿	2 (2)	156 (1.6)	100 (1.6)	312 (8.8)	22 (1.2)	81 (2.0)	22 (0.9)	29 (0.7)	190 (8.3)	158	1.06
	本荘	2 (2)	1114 (11.6)	148 (2.4)	169 (4.8)	91 (5.0)	94 (2.3)	10 (0.4)	20 (0.5)	101 (4.4)	194	1.09
	横手	1 (1)	99 (1.0)	108 (1.7)	132 (3.7)	77 (4.3)	42 (1.0)	4 (0.2)	30 (0.8)	74 (3.2)	191	1.16

(単位はmg/ml/1ヶ月 ()内数は、モル数/ml/1ヶ月 H⁺はpHから換算)

多いことが注目された。

次に、主に海塩粒子に由来するCl⁻、Na⁺のモル比についてみると、最大は大館で1.44、最低は茨島の0.96で、ほぼ海水組成(Cl⁻/Na⁺モル比1.17)のモル比でイオン量が降下していることがわかった。しかし、海岸部、内陸部のモル比について、明瞭な関係はみられなかった。

4 結語

降雨別調査、および一週間単位の降雨調査結果から、秋田市の郊外である藤倉が前年度同様、最も酸性雨の出現が多いことがわかった。その要因としては、市街地に比べてNO₃⁻の濃度に差が少ないこと、これに対し、PHを中和する働きを持つCa²⁺の存在量が少ないことが考えられた。また、藤倉と似た溶存イオン量を示す県内内陸部の大館市と横手市では、藤倉ほどPHは低くなかった。それは、藤倉よりもNO₃⁻が少ないからであろうと推定された。これらのことより、雨水のPHを主に規定しているイオンは、アニオンではNO₃⁻、カチオンではCa²⁺であろうと考えられた。また、酸性雨が出現しやすい地域は、藤倉のように、工場地帯や市街地の後背地にあり、かつ、Ca²⁺等のカチカチオンのイオン量が少ない地域と考えられた。次年度においては、この結果を更に明確にするため、市街地から後背地に向けた線上に、降雨別の調査地点を数地点設定し、測定項目も一週間単位の降雨調査と同様の10項目に増やして、イオン成分濃度の距離減衰と、PHの関係について調査してみる。

次に、雨水の季節別変化からは、秋季にPHが低くなること、また、ECは秋季が高い値を示すことがわかった。これは、海塩性粒子の濃度推移からみて、海から吹きつける季節風による影響であると考えられた。

また、降雨によるイオン降下量からは、7月に限ってみれば、藤倉でのH⁺、Na⁺の降下量が多く、これは、他都市と比べても少なくないことから、今後、更に調査をする必要があるものと考えられ

た。

最後に、一週間単位の採水方法は、降雨時以外の乾性降下物を受け入れること、また、夏季において、水分の蒸発により、イオン成分が、濃縮されること等の欠点があるため、装置自体を改善する必要があると思われた。

参 考 文 献

- 1 昭和57年度環境庁委託業務結果報告書;分析の自動化に対する研究(酸性雨測定方法), (1983)
- 2 小山功、他、東京都公害研究所年報(1981)
- 3 千葉県環境部;「酸性雨」調査報告書(昭和50~56年度調査結果), (1981)
- 4 玉置元則、平木隆年、日化、(1981)
- 5 近藤忠三、秋田大学教育研究記要、(1971)
- 6 寺田信一、藤田慎一、電力中央研究所報告、(1981)