

酸性雨の地域特性把握のための調査研究

児玉 仁 大畑 博正 成田 理 井島 辰也

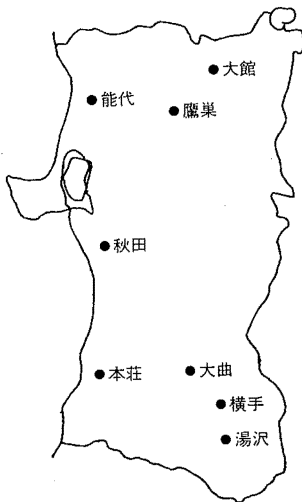
1 はじめに

秋田県における酸性雨については、環境技術センターを中心に昭和58年より各種調査を実施してきた。これまでは梅雨期あるいは降雪期等の、特定期間についての調査であった。そこで、平成2年7月よりモニタリング調査を実施し、県内8地点の1週間毎の降雨（および降雪）を採取し、通年の調査データを得た。各地点の調査結果をもとに、県内における降雨の経月変化及び地域特性についてまとめたので報告する。

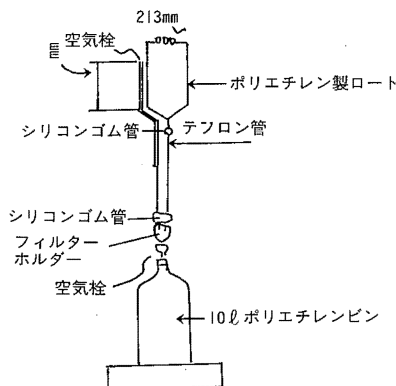
2 調査方法

2.1 調査地点

県内8保健所（大館、鷹巣、能代、秋田、本荘、大曲、横手、湯沢）図一1に調査地点



図一1 調査地点



図一2 ろ過式採取器

を示した。

2.2 採取期間

原則として月曜日14時から次週月曜日14時までの7日間を1検体とし、平成2年7月2日～平成3年7月1日までの52週を対象とした。

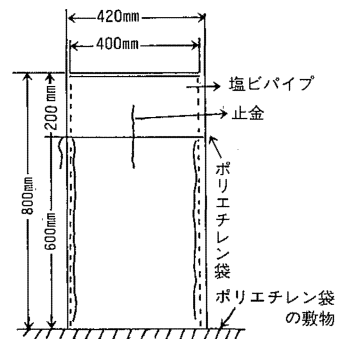
2.3 採取方法

降雨期は図一2に示すろ過式採取機を用いた。降雪期（平成2年12月～平成3年3月）は図一3に示す採雪器を用いた。

2.4 調査項目

pH、EC、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、降水量（pH、降水量については、各保健所環境担当が計測した）。

pH 及び各イオンの月平均値は、次式によ



図一3 採雪器

り降水量で重み付けを行った値とした。

$$\text{月平均pH} = \log \frac{1}{\frac{\sum [(1\text{週間の貯水量}) \times (\text{H}^+ \text{濃度})]}{\sum (1\text{ヵ月間の貯水量})}} \quad (\text{式1})$$

$$\text{月平均イオン濃度} = \frac{\sum [(1\text{週間の貯水量}) \times (\text{イオン濃度})]}{\sum (1\text{ヵ月間の貯水量})} \quad (\text{式2})$$

3 調査結果及び考察

3.1 基本統計量

表—1に基本統計量（平均値は単純平均）を示した。各イオンともバラツキが大きい、変動係数（標準偏差/平均値）>1を基準としてみるとCl⁻、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺はバラツキが特に大きく、SO₄²⁻、NO₃⁻、K⁺、NH₄⁺は比較的バラツキが小さい分布を示し

ている。また[歪み]の値から平均値より低い方に偏った分布を示しているといえる。表—2にこれらの相関行列を示した。EC及びSO₄²⁻、Cl⁻、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺の各イオン間の相関が高い。また、NO₃⁻、NH₄⁺の相関も比較的高かった。

3.2 降水量

表—3及び図—4に月別降水量を示した。降水量の月別増減は表からもわかるように、地点別には降水量の多少はあるが類似した経月変化を示した。すなわち梅雨期（6月、7月）、冬期（11月～2月）及び9月に降水量が多くなる。9月に降水量の増加がみられなかった地点は、大曲、湯沢の県南内陸部で、また、特に降水量が多かったのは能代、秋田、本荘などの海岸部であった。10月には再び降

表—1 基本統計量

n=96 イオン濃度単位：(mg/ℓ)								
	平均値	標準偏差	最大値	最小値	総和	歪み	尖り	
降水量	151.635	64.653	336.416	34.595	14556.9	0.348	2.543	
pH	5.143	0.392	6.620	4.595	493.69	1.381	4.761	
EC	42.644	35.4475	156.646	6.436	4093.82	1.061	3.368	
SO ₄ ²⁻	3.128	1.8741	8.835	0.600	300.28	0.939	3.164	
NO ₃ ⁻	1.034	0.4763	2.753	0.315	99.31	1.528	5.180	
Cl ⁻	7.065	8.2209	34.242	0.178	678.25	1.155	3.397	
Na ⁺	3.907	4.4320	19.033	0.071	375.05	1.189	3.608	
K ⁺	0.237	0.1791	0.839	0.024	22.70	1.163	3.961	
Ca ²⁺	0.855	0.9294	4.267	0.052	82.06	2.124	7.121	
Mg ²⁺	0.541	0.6100	2.476	0.014	51.97	1.136	3.355	
NH ₄ ⁺	0.476	0.2176	1.019	0.114	45.67	0.734	3.088	

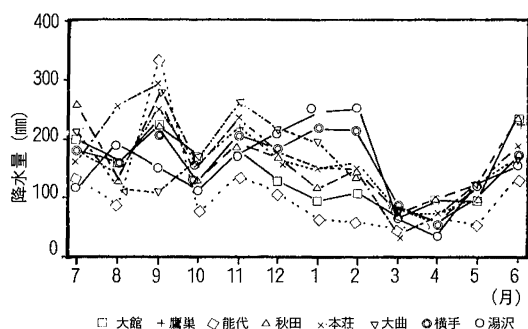
表—2 相 関 行 列

n=96 * 危険率5%で有意 (r=0.2010) * * 危険率1%で有意 (r=0.2615)											
降水量	降水量	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
降水量	1										
pH	-0.479**	1									
EC	-0.185	0.177	1								
SO ₄ ²⁻	-0.339**	0.234*	0.923**	1							
NO ₃ ⁻	-0.566**	0.340**	0.403**	0.661**	1						
Cl ⁻	-0.102	0.129	0.974**	0.852**	0.260*	1					
Na ⁺	-0.104	0.126	0.977**	0.849**	0.256*	0.998**	1				
K ⁺	-0.183	0.173	0.942**	0.841**	0.390**	0.938**	0.944**	1			
Ca ²⁺	-0.463**	0.566**	0.670**	0.791**	0.694**	0.554**	0.545**	0.553**	1		
Mg ²⁺	-0.144	0.170	0.986**	0.880**	0.309**	0.994**	0.966**	0.945**	0.600**	1	
NH ₄ ⁺	-0.456**	0.362**	0.359**	0.620**	0.761**	0.247*	0.241*	0.336**	0.556**	0.287**	1

表一 3 月別降水量

(単位; mm)

月	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	合計
地点													
大館	200	159	227	173	182	128	96	110	68	97	97	238	1775
鷹巣	183	139	255	154	225	164	149	162	77	76	103	235	1922
能代	133	88	336	77	141	109	65	60	49	66	56	135	1315
秋田	259	128	273	129	194	170	117	149	76	101	122	239	1957
本荘	161	256	295	153	238	178	154	149	39	71	125	189	2008
大曲	213	115	111	166	264	218	195	127	85	56	125	168	1843
横手	180	160	221	127	207	184	219	215	88	56	99	161	1917
湯沢	115	190	150	111	174	211	246	252	64	35	119	154	1821
合計	1444	1235	1868	1090	1625	1362	1241	1224	546	558	846	1519	14558



図一 4 月別降水量

水量が減少し、11月に増加した後3月まで漸次減少した。3月～5月は、他の月と比べ降水量が少なかった。梅雨期である6月には降水量が増加し、前年7月と同レベルの降水量を示した。地域的にみると、能代は9月に最高降水量を示したが、他のいずれの月も8地点中最少の降水量であった。また、冬期(11月～2月)においては、県南内陸部の大曲、横手、湯沢で降水量が多かった。

3. 3 pH

表一 4 及び図一 5 に pH を示した。地域別の比較をするために地点別の年平均値(式1に準じて年間の水素イオン降下量を各地点の年間降水量で除した値:以下『年平均値』という)をみると、最低:本荘(4.84)、最高:能代(5.23)で、本荘<大曲<鷹巣<秋田<横手<湯沢<大館<能代の順に pH が高かった。また月ごとの8地点の平均値をみると最低:

4.78(8月)、最高5.55(3月)で、1月～6月はすべて5.0以上、7月～12月は6ヵ月の内5ヵ月が5.0以下と、冬期から春季にかけて pH が高くなる傾向を示した。各地域とも1月～5月の間で最高の pH 値を示した。各地点の最高 pH を示す月は、大館が1月、秋田、本荘、大曲、横手が3月、鷹巣が4月、能代、湯沢が5月だった。大館では1月～3月まで比較的高い pH で推移したが、その他の地域では pH が最高値を示した月以外は、pH 5前後の値で推移した。

さらに地域的な差を解析するにあたり、次の2点について検討してみた。(1) pH の高い地域と低い地域の分類、(2) pH の変化の仕方(以下、『変動パターン』という)が似かよった地域の分類。すなわち、pH が同じような範囲内にあるが月別推移が異なる場合と、pH の値には差があるが月別推移が似ている場合が考えられる。

(1)については、表一 4 の pH を水素イオン濃度 $[H^+]$ に直したものを、(2)については、各月の $[H^+]$ を12カ月の $[H^+]$ の総和で除した値を用い、ウォード法でクラスター分析を行った。結果を図一 6、図一 7 に示す。

(1)では第1群[大館、能代]、第2群[鷹巣、秋田]、第3群[横手、湯沢]、第4群[本荘、大曲]の4群に分類された。この結果を先の表一 4 の年平均と対比すると高 pH

表-4 地点別、月別 pH

月 地点	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	平均
大館	5.16	4.77	4.91	5.10	5.06	5.00	6.22	5.58	5.72	5.22	4.87	5.09	5.06
鷹巣	4.85	4.62	4.96	5.02	5.01	4.91	5.12	4.94	5.09	5.32	4.95	5.02	4.95
能代	5.78	4.97	5.19	5.13	5.32	4.94	5.42	5.36	5.03	5.50	5.82	5.39	5.23
秋田	5.01	4.62	5.06	4.91	4.79	4.87	5.44	4.84	5.86	5.13	5.46	4.94	4.96
本荘	4.66	4.91	4.81	5.05	4.68	4.60	4.92	5.23	6.05	5.01	5.07	4.94	4.84
大曲	4.68	4.80	4.80	5.09	4.86	4.78	4.92	4.84	6.09	5.01	5.18	4.82	4.87
横手	4.71	4.78	5.06	5.49	5.21	5.02	4.99	5.24	6.62	5.03	5.33	5.13	5.02
湯沢	4.90	4.83	5.07	5.69	5.54	4.92	4.81	5.00	5.88	5.94	6.08	5.36	5.05
平均	4.87	4.78	4.98	5.12	4.96	4.83	5.01	5.04	5.55	5.18	5.19	5.04	4.97

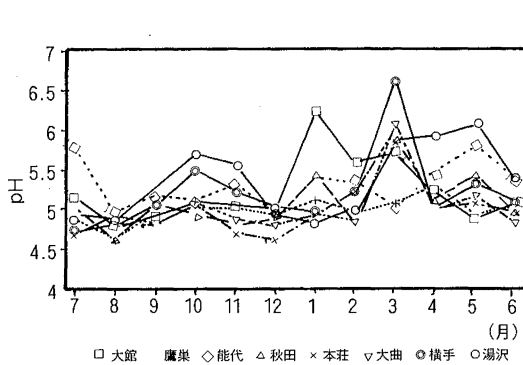


図-5 地点別、月別 pH の推移

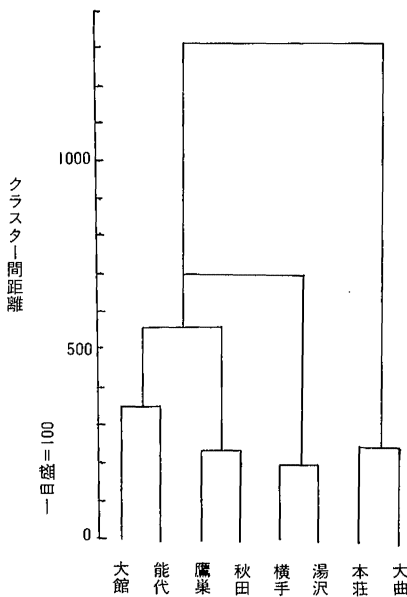


図-6 pH のクラスター分析結果(1)
水素イオン濃度による

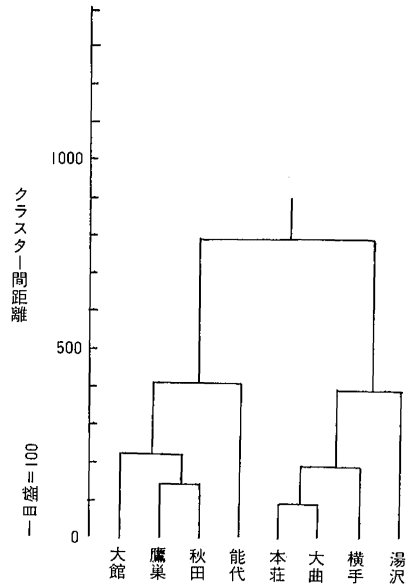


図-7 pH のクラスター分析結果(2)
水素イオン濃度比 (%) による

を示した能代、大館が第1群に、低 pH を示した本荘、大曲が第4群に分類された。また、鷹巣、秋田、横手、湯沢は月毎の pH にはそれほど大きな差はないように思われたが、明確に分類された。(2)では「大館、鷹巣、秋田、能代」「本荘、大曲、横手、湯沢」の県北、県南の2群に大きく分類されたことから、県北と県南で変動パターンが異なり、また(1)で分類されたように「大館、能代」「鷹巣、秋田」「横手、湯沢」「本荘、大曲」は変動パターンと取り得る pH 値で、似かよった pH 推移をする地域であると考えられる。

3. 4 EC

表一5及び図一8にECについて示した。各地点とも月平均値は11月に急激に高くなり、40~150 μ S/cmと他の月の2倍から6倍の値を示し、その後3月まで同じような値で推移した。この期間においては、本荘、能代、秋田の海岸部で高く、湯沢、大館、横手等の内陸部で比較的低い値を示す。これは、この時期に日本海側から強い季節風が吹くことから、海塩の影響が大きいものと思われる。また、

秋田を含めた県北の地域が5月と8月に県南地域に比べ僅かではあるが高くなる傾向を示した。

3. 5 成分当量濃度

各成分当量濃度の年平均を、表一6に示した。

3. 5. 1 陰イオン成分

各陰イオン成分当量濃度の、月平均値の経時変化（以下、単に『月変化』という。）を図一9—1~3に示した。

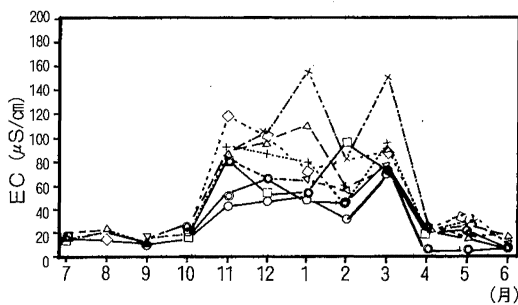
表一5 地点別、月別EC

(単位; μ S/cm)

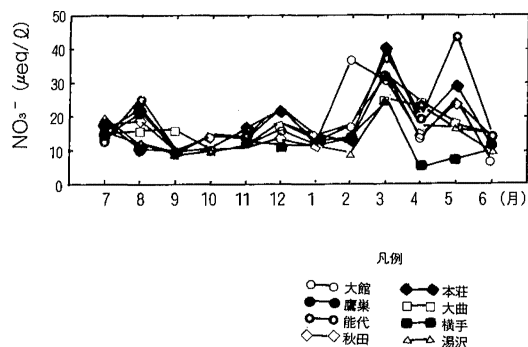
月 地点	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	平均
大館	11.9	21.3	10.2	14.7	81.6	54.1	54.4	96.4	75.3	19.2	23.5	7.6	29.4
鷹巣	14.4	20.7	10.0	15.0	92.9	87.0	80.7	46.1	96.9	21.4	31.8	11.4	41.7
能代	11.7	24.0	9.0	21.7	118.7	100.9	72.8	82.1	90.1	22.5	39.7	12.4	42.2
秋田	20.5	22.2	11.5	28.8	88.3	97.0	112.4	60.1	75.9	21.1	28.2	19.0	44.3
本荘	19.8	12.1	15.6	25.9	87.8	106.2	156.6	82.5	152.9	29.4	17.1	20.4	52.3
大曲	16.7	17.5	16.2	17.6	83.7	66.2	65.5	56.4	77.3	23.8	15.6	10.8	42.5
横手	15.8	13.5	9.9	14.0	54.2	65.8	48.0	45.7	80.0	6.4	7.1	8.8	33.6
湯沢	15.5	12.3	8.4	10.7	44.4	46.7	51.2	32.0	72.4	24.7	16.3	7.8	29.4
平均	16.1	16.9	11.2	18.4	81.0	76.4	76.6	50.8	86.0	22.9	22.2	12.8	39.6

表一6 年平均イオン当量濃度

項目 地点	H ⁺ μ eq/l	SO ₄ ²⁻ μ eq/l	NO ₃ ⁻ μ eq/l	Cl ⁻ μ eq/l	Na ⁺ μ eq/l	K ⁺ μ eq/l	Ca ²⁺ μ eq/l	Mg ²⁺ μ eq/l	NH ₄ ⁺ μ eq/l	T-anion μ eq/l	T-cation μ eq/l	T-ion μ eq/l	T-c/T-a n	ECcal S/cm	EC ₀ /EC _c
大館	8.7	52.4	13.8	125.1	105.7	3.9	38.5	28.4	21.9	191.3	207.1	398.4	1.1	28.8	1.0
鷹巣	11.3	62.9	15.4	205.3	173.5	6.2	34.6	45.9	23.8	283.6	295.4	579.0	1.0	41.2	1.0
能代	5.8	62.4	16.8	223.5	190.2	6.5	35.8	49.7	28.5	302.7	316.5	619.2	1.0	42.2	1.0
秋田	11.0	76.8	16.4	194.5	165.6	5.0	46.8	44.0	34.6	287.7	307.0	594.7	1.1	42.4	1.0
本荘	14.3	65.0	14.7	285.5	244.0	8.2	29.4	60.4	20.4	365.2	376.7	714.9	1.0	52.4	1.0
大曲	13.4	62.0	16.0	201.8	169.3	5.8	28.2	42.2	25.1	279.9	284.0	563.9	1.0	40.9	1.0
横手	9.6	46.6	13.3	132.3	114.9	4.9	32.7	29.0	19.1	192.3	210.2	402.5	1.1	29.2	1.2
湯沢	8.8	43.2	12.5	125.9	111.0	4.7	22.5	27.9	20.1	181.6	195.0	376.6	1.1	27.3	1.1



図一8 月別、地点別ECの推移



図一9—1 NO₃⁻の濃度推移

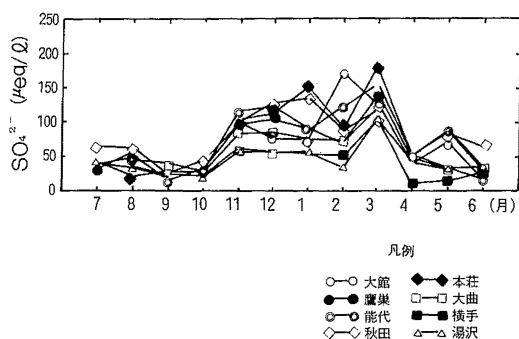


図9-2 SO_4^{2-} の濃度推移

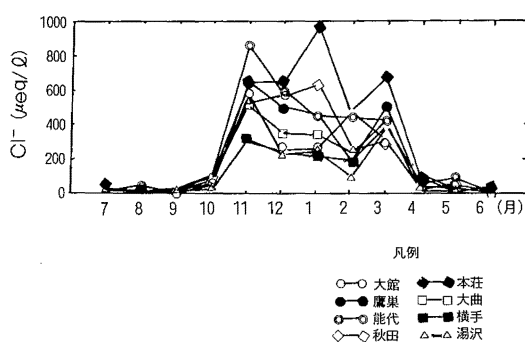


図9-3 Cl^- の濃度推移

NO_3^- については、年平均では能代(16.8 $\mu\text{eq}/\ell$)、秋田(16.4)が高く、湯沢(12.5)、横手(13.3)が低い。月変化では、2月に極大値を持つ大館を除き、概ね3月に極大値を持っている。また能代、鷹巣、秋田及び大館では5月にも比較的大きなピークを持つほか、8月にも小さなピークを持っている。

SO_4^{2-} については、年平均では秋田(76.8 $\mu\text{eq}/\ell$)が高く、湯沢(43.2)、横手(46.6)が低い。月変化パターンでは、概ね11月以降高くなり3月にピークを持つパターンであるが、横手及び湯沢では3月を除くと、濃度の上昇は比較的低い。11月以降高くなるのは、この頃から日本海側から吹く季節風が卓越し海塩の影響が大きくなるためである。そこで、非海塩由来の SO_4^{2-} (降水中的 Na^+ を全て海

塩由来とみなし、海水中の Na^+ と SO_4^{2-} との比から、海塩由来の SO_4^{2-} の割合を求め、降水成分濃度から差し引いたもの。以下、非海塩由来のイオンについては“nss”を前置して示す。)は、極値を除くとほぼ一定の値で推移し、2月に極大値を持つ大館を除き、3月に極大値を持っている。

nss SO_4^{2-} と SO_4^{2-} の当量濃度比の月変化を図-10に示した。

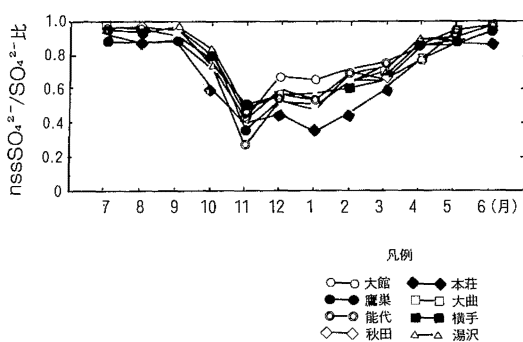


図-10 nss $\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$ 比

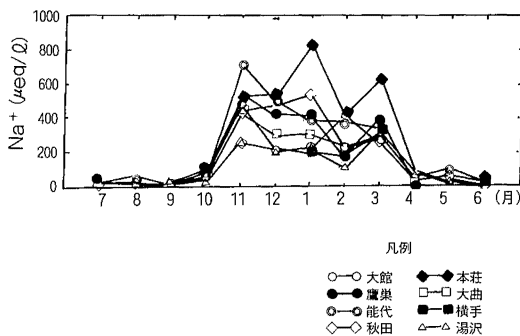
調査を開始した7月～9月までの間、0.88～0.98であったこの比が10月以降急激に低下し、何れの地点(本荘を除く)でも11月に0.27～0.50と最低値を示し、4月までの間に漸増して5及び6月には調査開始時の値に戻っている。地点間の差のほとんどない、良く似た変化パターンであるが、この比の年平均をみると海岸部に近い本荘(0.55)や能代(0.63)で低く、内陸部の大館(0.76)や横手(0.70)で高い値を示している。また、海岸部に近接しながらも、住居や商店及び工場等が集中している秋田では、この比の年平均値が0.74と高くなっているが、これは人的生産活動による非海塩の SO_4^{2-} の排出量が多く、この影響を受けているためと考えられる。

Cl^- については、年平均では本荘(286 $\mu\text{eq}/\ell$)

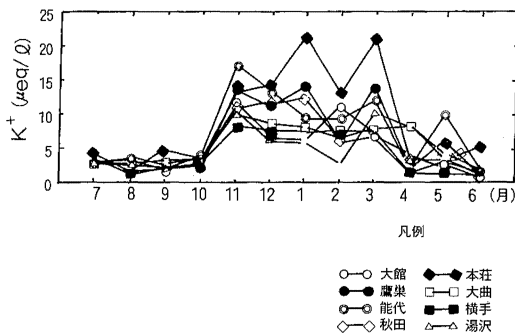
及び能代（224）の海岸部に近い地点で高く、大館（125）や湯沢（126）等の内陸最深部地点の2倍程度の値であった。月変化では、4月～10月までの間は、各地点とも概ね $100\mu\text{eq}/\ell$ 以下であったものが、11月以降急激に濃度が高くなる傾向を示す。これも、 SO_4^{2-} と同様に11月以降、海塩の影響が大きくなるためである。すなわち、表－2の相関係数で Na^+-Cl^- の相関が0.998と高く、また降水中の Na^+/Cl^- 比が海水中の値と比と良く一致すること等から、これらの Cl^- は海塩由来が大部分であると思われる。

3. 5. 2 陽イオン成分

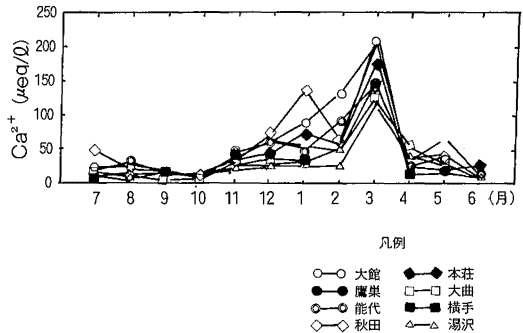
各陽イオン成分の月変化を図－11－1～5に示した。



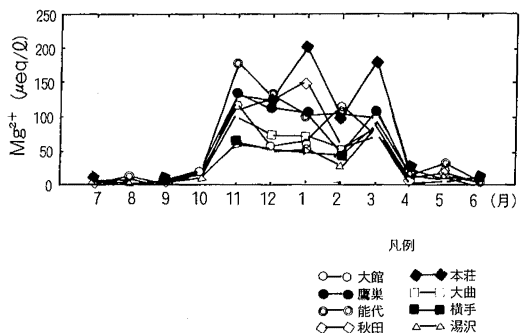
図－11－1 Na^+ の濃度推移



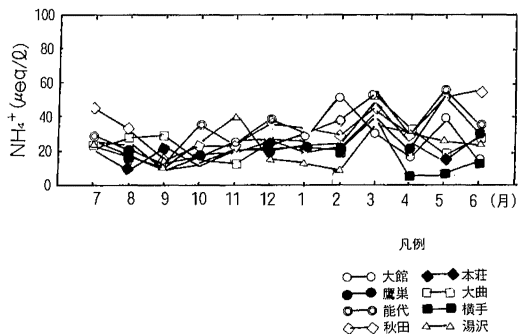
図－11－2 K^+ の濃度推移



図－11－3 Ca^{2+} の濃度推移



図－11－4 Mg^{2+} の濃度推移



図－11－5 NH_4^+ の濃度推移

Na⁺については、年平均では本荘(244 $\mu\text{eq}/\ell$)及び能代(190)が高く、大館(106)、湯沢(111)及び横手(115)が低い。月変化パターンは、Cl⁻とほとんど同様であった。

K⁺については、年平均では本荘(8.2 $\mu\text{eq}/\ell$)が高く大館(3.9)が低い。月変化は、Na⁺と同様、10月～3月の間に高くなっている。

Ca²⁺については、年平均では秋田(46.8 $\mu\text{eq}/\ell$)が高く、湯沢(22.5)及び大曲(28.2)が低い。月変化では、地点によりパターンがやや異なるが、何れの地点でも3月に極大値を持っており、Na⁺やCl⁻のように、11月以降急激に高濃度を示すパターンとは明らかに異なっている。

nssCa²⁺とCa²⁺の当量濃度比の月変化を図-12に示した。

本荘を除き何れの地点も10月以降低下し、11月に極小値を持ち3月までに漸増するパターンを示している。このパターンはnssSO₄²⁻/SO₄²⁻比のそれと良く似ているが、nssCa²⁺/Ca²⁺比の場合道路粉塵の影響もあって、極小値を示してから漸増幅がnssSO₄²⁻/SO₄²⁻比よりも大きい。本荘はnssCa²⁺/Ca²⁺比の年平均が0.64であり、その他の地点の年平均の平均値(0.81)よりも20%程度低い。

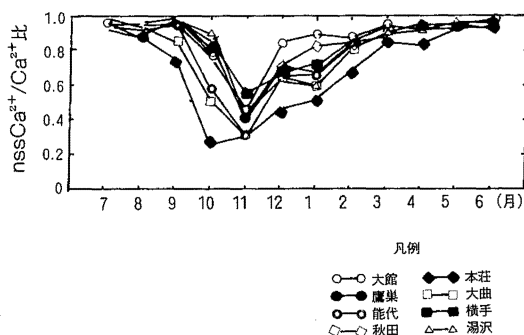


図-12 nssCa²⁺/Ca²⁺の比

Mg²⁺については、年平均では本荘(60.4 $\mu\text{eq}/\ell$)が高く、湯沢(27.9)、大館(28.4)及び横手(29.0)が低い。月変化では、Na⁺やCl⁻と同様であり、これらの各イオン間との相関が極めて高いことから、Mg²⁺も海塩由来が大部分であると思われる。

NH₄⁺については、年平均では秋田(34.6 $\mu\text{eq}/\ell$)が高く、横手(19.1)や湯沢(20.1)が低い。月変化では、地点を通じた一定の傾向が明確でないが、3月に極大をもつ地点が多いことが目立っている。また、他のイオンに比べて月変化の変動が少ないのも特徴的である。

3.5.3 当量濃度比による地域差

降水中の成分濃度は前節で述べたように、地点及び時期によりいくつかのグループに分けられるように見える。そこで、本調査で分析を実施した成分の多くが、時期的には11月～3月の間に高濃度を示していることから、調査期間を便宜的に4月～10月、11月～3月とに分け、前者を夏期、後者を冬期とする。これら両期について、各地点の月平均当量濃度比を素データに、ウォード法によりクラスター解析を実施した。図-13-1、2に解析結果のデンドログラムを示した。

夏期区分で、クラスター間距離 25×10^{-3} で群分けすると、大館、鷹巣、大曲、横手、秋田及び湯沢が属する第I群と、能代及び本荘が属する第II群とに分かれる。また、冬期区分では、夏期区分ほど各クラスター間の距離が大きくないが、クラスター間距離 25×10^{-4} で群分けすると、鷹巣、能代、大曲、湯沢及び本荘が属する第I群と、秋田、横手及び大館が属する第II群とに分けられる。

これらの群毎に、平均当量濃度比を求め図-14に示した。

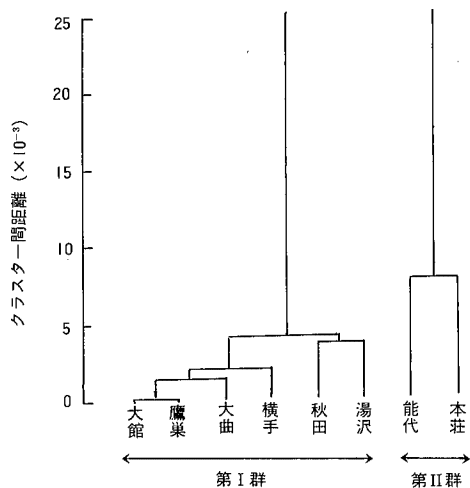


図13-1 デンドログラム (夏期)

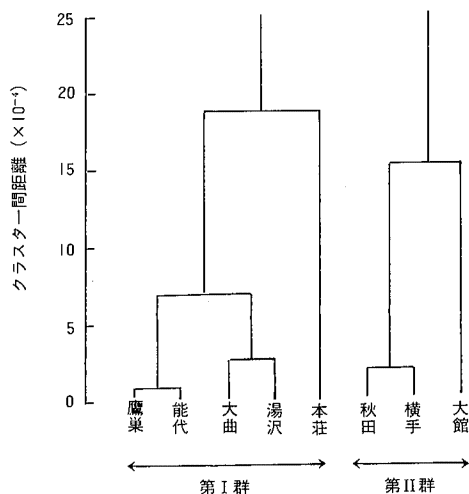


図13-2 デンドログラム (冬期)

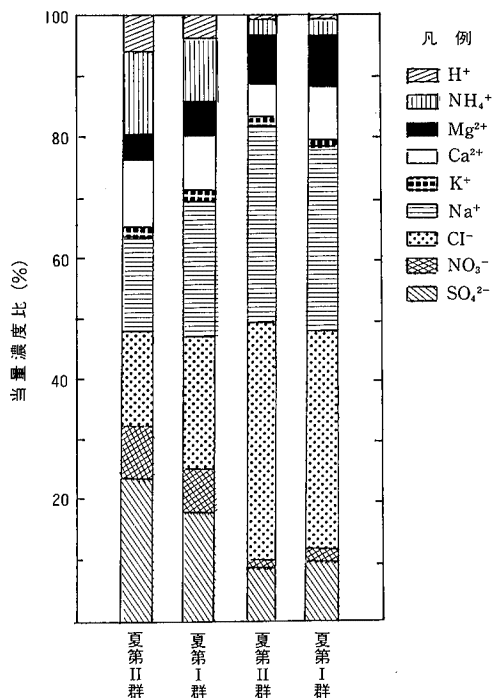


図-14 イオン当量濃度比 (地点平均)

夏期区分において、第I群に比較して第II群は Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- の海塩由来の成分の比率が高く、 SO_4^{2-} や NH_4^+ の比率が低くなっている。即ち夏期区分でも、海塩の影響を受けやすい地点 (能代、本荘) と影響の少ない地点とに分けることができる。秋田は、住居や商店及び工場等が集中している市街地の中心部でサンプリングしていることから、他地点よりも非海塩由来の成分濃度が高く、海岸部に近接しながらも、相対的に海塩の影響の少ない群に属したものと考えられる。冬期区分では何れの地点でも海塩由来成分濃度の急激な増加から、夏期区分に比べてクラスター間距離も近く、当量濃度比でも顕著な差は無いが、第II群で Ca^{2+} の比率が高くなっている。これは、この群の地点が県内でも人口の集中している地点であり、それぞれ市街地

の中心であることから、道路粉塵中の Ca^{2+} の影響を受けているためと考えられる。

3. 6 成分降下量

各成分の年間総降下量及び各地点の月別降下量を、それぞれ表－7、8及び図－15－1～11に示した。

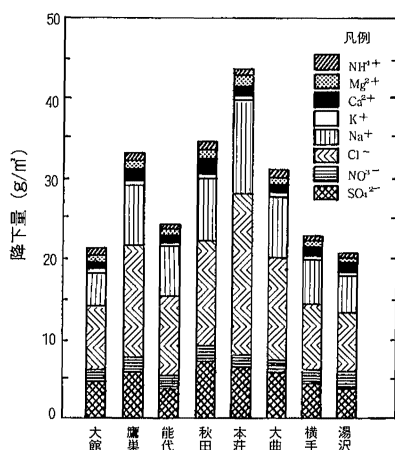
表－7 年間総イオン降下量

項目 地点	SO_4^{2-} g/m ²	NO_3^- g/m ²	Cl^- g/m ²	H^+ g/m ²	Na^+ g/m ²	K^+ g/m ²	Ca^{2+} g/m ²	Mg^{2+} g/m ²	NH_4^+ g/m ²	T-ion g/m ²
大 館	4.47	4.1.51	7.88	0.02	4.32	0.27	1.37	0.61	0.70	21.15
鷹 巣	5.80	1.84	13.99	0.02	7.67	0.47	1.33	1.07	0.82	33.02
能 代	3.94	1.37	10.42	0.01	5.75	0.34	0.94	0.79	0.67	24.23
秋 田	7.21	1.99	13.49	0.02	7.45	0.39	1.83	1.05	1.22	34.65
本 荘	6.27	1.83	20.33	0.03	11.27	0.64	1.18	1.47	0.74	43.77
大 曲	5.48	1.83	13.17	0.02	7.17	0.42	1.04	0.94	0.83	30.90
横 手	4.29	1.59	8.98	0.02	5.05	0.37	1.25	0.67	0.66	22.90
湯 沢	3.78	1.41	8.13	0.02	4.65	0.33	0.82	0.62	0.66	20.41

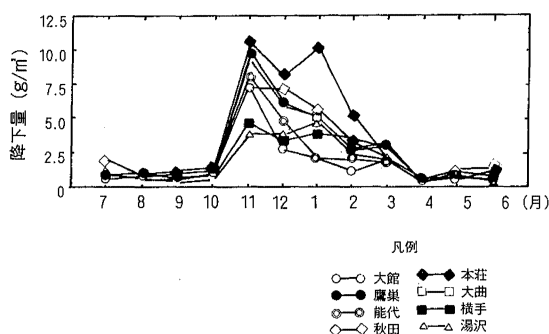
表－8 総イオン降下量の推移

単位 (g/m²)

月 地点	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	年降下量
大 館	0.95	1.01	0.64	1.05	7.32	2.76	2.15	1.19	2.11	0.66	0.80	0.51	21.15
鷹 巣	0.88	0.86	0.69	0.91	9.83	6.12	5.09	2.86	3.22	0.57	1.13	0.85	33.02
能 代	0.67	0.77	0.99	0.66	8.08	4.79	2.15	2.13	1.87	0.57	0.91	0.65	24.23
秋 田	2.06	0.88	1.00	1.26	7.32	7.22	5.67	3.31	2.32	0.72	1.38	1.49	34.65
本 荘	1.00	0.94	1.29	1.44	10.56	8.14	10.21	5.27	2.23	0.74	0.71	1.24	43.77
大 曲	0.94	0.60	0.52	1.10	9.29	5.84	5.12	2.69	2.91	0.53	0.71	0.65	30.90
横 手	0.78	0.54	0.61	0.64	4.73	3.37	3.89	3.58	2.96	0.50	0.59	0.71	22.90
湯 沢	0.58	0.64	0.38	0.50	3.91	3.82	4.66	2.47	2.06	0.35	0.66	0.40	20.41



図－15－1 年間総イオン降下量



図－15－2 総イオン降下量の推移

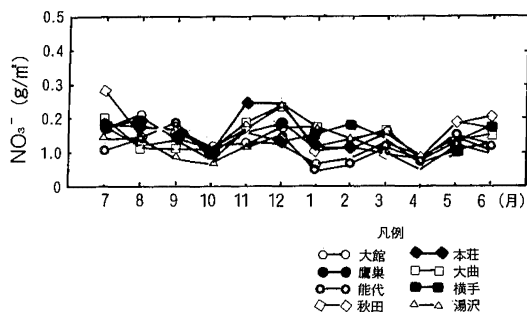


図-15-3 NO₃⁻の降下量推移

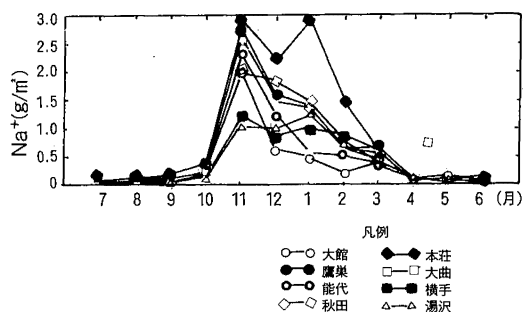


図-15-7 Na⁺の降下量推移

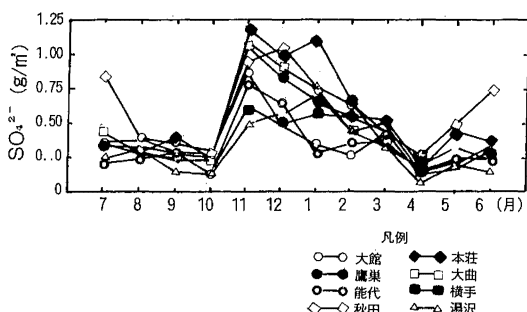


図-15-4 SO₄²⁻の降下量推移

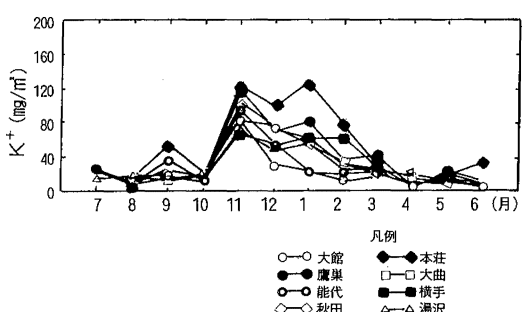


図-15-8 K⁺の降下量推移

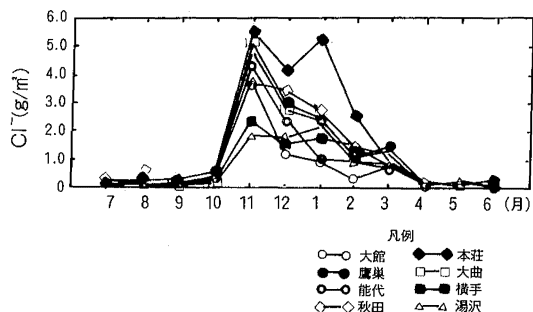


図-15-5 Cl⁻の降下量推移

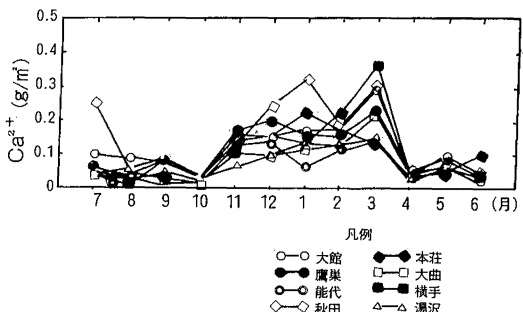


図-15-9 Ca²⁺の降下量推移

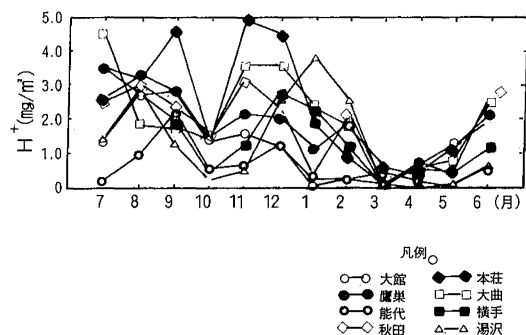


図-15-6 H⁺の降下量推移

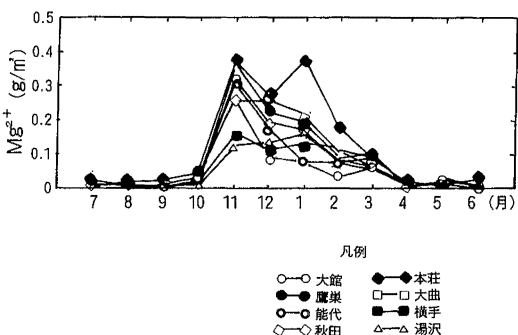
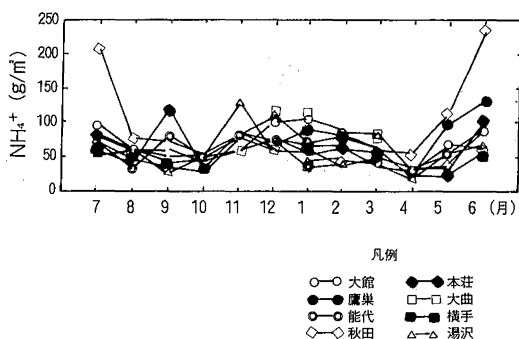


図-15-10 Mg²⁺の降下量推移



図一15—11 NH_4^+ の降下量推移

降下量は本荘が 43.77 g/m^2 と最も多く、次いで秋田、鷹巣の順になっている。また、湯沢は最も少なく 20.41 g/m^2 、次いで大館、横手の順に少ない。年間降下量のうち、非海塩由来の成分降下量の占める割合は、各地点とも3～4%でしかなく、ほとんどが海塩由来の成分降下量で占められている。また、年間降下量のおよそ75～85%は、11月～3月までの5カ月間に降下している結果となった。

3. 6. 1 陰イオン成分降下量

NO_3^- については、年間総降下量では最高が秋田(1.99 g/m^2)、最低が能代(1.37)と、地点間の差が他のイオンに比べて少ない。月降下量の経時変化(以下、『月変化』という。)でも、月による上下が他のイオンに比べて小さい。

SO_4^{2-} については、年間総降下量では秋田(7.21 g/m^2)及び本荘(6.27)が高く、湯沢(3.78)及び能代(3.94)が少ない。月変化では、秋田が6月～7月及び11月～1月の2期に極大を持つパターンであるのに対し、他の地点は11月～1月に極大を持つパターンであった。

Cl^- については、年間総降下量では本荘(20.33 g/m^2)が多く、大館(7.88)及び湯沢(8.13)が少ない。海岸部に近い能代及び

秋田が、内陸の鷹巣及び大曲とほとんど差が無いのは降水量の多少によるものである。月変化では各地点とも11月に、それ以前の月平均値に比べて、一挙に20～30倍程度に増加し、これ以降4月までの間に漸減し、10月以前の値に戻っている。本荘では、1月に濃度の高いピークがあるため、降下量でもピークを持つパターンとなっている。

3. 6. 2 陽イオン成分

H^+ については、年間降下量では本荘(0.03 g/m^2)が多く、能代(0.01)が少ない。月変化では、3月～5月の間及び10月は各地点とも少ないことが共通しているが、他の月は地点により差が大きく、総じて一定の傾向を見いだすのは難しい。

Na^+ については、年間総降下量では本荘(11.27 g/m^2)が多く、大館(4.32)及び湯沢(4.65)が少ない。月変化は、 Cl^- とほとんど同じパターンである。

K^+ については、年間総降下量では本荘(0.64 g/m^2)が多く、大館(0.27)が少ない。月変化は Na^+ 及び Cl^- とほとんど同じパターンであるが、11月の降下量の立ち上がりはこれらほど大きくなく、4～5倍程度である。

Ca^{2+} については、年間総降下量では秋田(1.83 g/m^2)が多く、湯沢(0.82)及び能代(0.94)が少ない。月変化では、大館、鷹巣、大曲及び横手地点で11月以降3月までの間、降下量が増え、特に3月に高いピークを持つ共通したパターンを示している。能代、本荘及び湯沢では同様に11月～3月の間、降下量が増えるものの3月にはピークを持たないパターンである。秋田は7月、1月及び3月にピークを持っている。

Mg^{2+} については、年間総降下量では本荘(1.47 g/m^2)が多く、大館(0.61)、湯沢(0.62)

及び横手(0.67)が少なくなっている。月変化は、 Na^+ 、 Cl^- と同じパターンである。

NH_4^+ については、年間総降水量では秋田(1.22 g/m^2)が多く、他の地点は $0.66 \sim 0.83$ 程度の間にある。月変化では秋田で6月及び7月に極めて多いのが特徴的で、他の地点は多少の上下があるものの、総じて経時変化の幅が小さい。

3. 5. 7 主成分分析

前節と同様に月平均当量濃度を冬期(11～3月)、夏期(4～10月)の各期間に分け、主成分分析を行った。その結果を表－9に示す。

第1主成分 Z_1 では H^+ を除く他の成分がすべて負の符号を示し、 H^+ を除くどの成分が大きくなっても Z_1 が負の方向に大きくなる

ことから、総合的汚染の程度を示す主成分と考えられる。第2主成分 Z_2 で符号が正を示すものは Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、符号が負のものは SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ だった。 H^+ は夏期と冬期で符号が異なる。

Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} は海塩性由来の成分、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ は道路粉じんや自動車排ガス等の非海塩性の成分であることから、発生源の寄与に関する主成分であると考えられる。

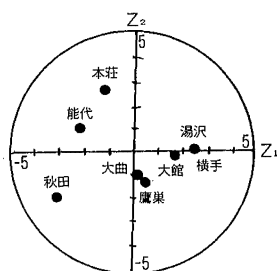
また、第2主成分までの累積寄与率は冬期が85.91%で夏期が77.59%と、全体の情報の約80%が第2主成分までで説明できる。

各地点について上述の各期間で平均したイオン当量濃度を用い、 Z_1 、 Z_2 のスコアを求

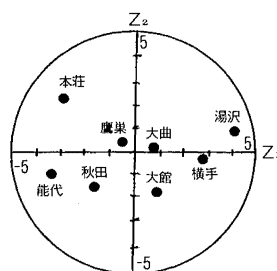
表－9 主成分分析結果

	変 数	固有ベクトル		因子負荷量	
		Z 1	Z 2	Z 1	Z 2
冬期	SO_4^{2-}	-0.424	-0.137	-0.939	-0.230
	NO_3^-	-0.267	-0.411	-0.591	-0.691
	Cl^-	-0.389	0.287	-0.861	0.483
	Na^+	-0.385	0.303	-0.853	0.510
	K^+	-0.389	0.239	-0.861	0.402
	Ca^{2+}	-0.237	-0.450	-0.525	-0.757
	Mg^{2+}	-0.412	0.228	-0.912	0.383
	NH_4^+	-0.251	-0.420	-0.556	-0.706
	H^+	0.091	0.388	0.202	0.653
	固有値	4.904	2.828		
	累積寄与率	54.48	85.91		
	変 数	固有ベクトル		因子負荷量	
		Z 1	Z 2	Z 1	Z 2
夏期	SO_4^{2-}	-0.343	0.407	-0.783	-0.541
	NO_3^-	-0.370	-0.322	-0.845	-0.428
	Cl^-	-0.351	0.396	-0.801	0.527
	Na^+	-0.360	0.374	-0.822	0.498
	K^+	-0.344	0.031	-0.785	0.041
	Ca^{2+}	-0.347	-0.193	-0.792	-0.257
	Mg^{2+}	-0.391	0.291	-0.893	0.387
	NH_4^+	-0.297	-0.397	-0.678	-0.528
	H^+	0.115	-0.393	0.263	-0.523
	固有値	5.213	1.770		
	累積寄与率	57.93	77.59		

めプロットした。その結果を図一16及び図一17に示した。



図一16 各地点のスコア散布図
(夏期)



図一17 各地点のスコア散布図
(冬期)

夏期では、秋田が他の地点と比べ相対的に左下方に位置するのは、非海塩性成分による汚染の度合いが大きい為である。先のクラスター分析の結果（図一13-1）を見ると、第I群に分類された大館、鷹巣、大曲、横手、秋田、湯沢がスコア散布図のほぼ下半分に、第II群に分類され比較的海塩粒子の割合が多いとされた能代、本荘が上半分に位置づけられクラスター解析の結果とよく一致した。また冬期のプロット（図一13-2）と比べ海岸部の3地点の距離関係はそれほど変わっていないが、内陸部での位置関係が比較的狭い範囲に位置づけられている。このことから、内陸部の降水は、夏期の海岸部での降水や冬期の内陸部での降水に比べ地点間の差が少なくな

っていることがわかる。

冬期では、総合的汚染度の大きい方に海岸部の地域が、小さい方に内陸部の地域が位置づけられる傾向があった。冬期には海塩粒子の量が急激に増加し海塩由来成分量の比率が高くなることから、海塩由来成分量の多少により降水中の汚染の程度が位置づけられると考えられる。また、海塩の寄与が大きい地点としては本荘が、非海塩の寄与が大きい地点として大館、秋田、能代が位置づけられた。同じ海岸部でも本荘、能代、秋田の3地点に差がみられるのは、先にも述べたように道路粉じんによる nssCa^{2+} や人為的生産活動による nssSO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ によるものと考えられる。また湯沢は、汚染の度合いも小さくその由来は海塩性の寄与が高かった。

以上の結果から本荘、能代、秋田は降水中に含まれる総イオン量が多く、その寄与は本荘では海塩由来成分、秋田では非海塩由来成分が、それぞれ大きい。能代では、季節によって異なる。また湯沢、横手では海塩粒子、非海塩粒子の寄与が同程度あり且つそれらの含有量も低い。

4 まとめ

秋田県内の酸性雨の経月変化及び地域特性を把握するために、平成2年7月～平成3月6月までの間、1週間ろ過方式による降水の採取を実施し検討した結果、次のような知見を得た。

- (1) 秋田県の降水のpHの年平均値は4.97であった。全調査地点において、3月以外の月は概ね5.6以下の降雨（もしくは降雪）が降っていると言える。季節的には、冬期から春期にかけて比較的pHが高くなる傾向がみられた。これは、道路粉じん等の影

響による Ca^{2+} の増加によるところが大きいと思われる。

- (2) 降水の pH は年平均値で本荘が最低(4.84)、最高が能代(5.24)であり、本荘<大曲<鷹巣<秋田<横手<湯沢<大館<能代の順に pH が高かった。また、比較的近接した〔大館、能代〕〔鷹巣、秋田〕〔横手、湯沢〕〔本荘、大曲〕の各地域で、pH の変化に類似した傾向がみられた。
- (3) 非海塩由来の寄与が比較的大きい SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} は秋田が高く、 NH_4^+ や NO_3^- でもやはり秋田が高い値を示した。 $\text{nssSO}_4^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$ は本荘、能代の海岸部で低値を示したが、同じ海岸部でも秋田は大館、湯沢などの海塩成分の影響をあまり受けない地域と同程度の値を示した。
- (4) 県内での降雨の汚染の傾向については、汚染の度合いが大きい地域は秋田、能代、本荘で、その発生源の寄与は、秋田では非海塩性の成分が、本荘では、海塩性の成分が大きい。また、冬期と夏期を比較したときに、冬期に非海塩性の成分の寄与が高くなる地点は能代、大館であり、逆に小さくなる地点は秋田、鷹巣、大曲、湯沢だった。
- (5) 全イオンの年間降下量のうち、非海塩由来の成分の占める割合は各地点とも 3~4% でしかなく、ほとんどが海塩性由来で占められている。また、年間降下量のおよそ 75~85% は、11月~3月までの 5 カ月間に降下している。
- (6) 当量濃度比による分類では、夏期でも海塩の影響を受け易い地点と影響の少ない地点に分けることができる。冬期ではいずれの地点も海塩性成分の割合が一様に大きく、夏期ほど顕著な差はないが秋田、横手、大館は Ca^{2+} の比率が他の地点より高くなっ

ている。

- (7) 今回の統一的な手法による全県的な通年モニタリングの結果、上記のような知見を得たが、今後、調査地点の地域代表性や気象因子等も加味した詳細な検討を加えた上で、モニタリングを継続していく必要がある。

謝 辞

この調査を進めるに当たり資料の採取や pH 測定を実施して頂いた各保健所の環境担当、試料の搬送に協力頂いた(財)秋田県分析化学センターを始め、関係各位に深謝いたします。

5 参考文献

- 1) 斎藤 学ほか：本報，No.12，94 (1984)
- 2) 斎藤 学ほか：本報，No.13，95 (1985)
- 3) 斎藤 学ほか：本報，No.16，55 (1988)
- 4) 酸性雨調査マニュアル（改訂版）：平成 2 年 3 月，環境庁大気保全局