

VII 総 説

秋田県内における降水成分について

斎藤 学

1 はじめに

酸性雨は北欧および北米などにおいて、湖沼や森林の生態系に深刻な影響を与え、国際問題となっている。我国においても従前から雨水の酸性化現象が観測され、昭和48年から51年にかけては、関東や中部地方の一部で酸性化された霧雨により眼や皮膚の痛みを訴える人体被害も発生している。このような状況下、環境庁では「第1次酸性雨対策調査」を昭和58年から開始し、平成元年からは「第2次酸性雨対策調査」が5ヶ年計画でスタートしたところである。

当県における調査は、古くは昭和41年に秋田大学の近藤忠三教授による「秋田市手形における雨と雪」についての調査報告¹⁾がある。また、昭和51年、当センターが山岳などにおける大気汚染のバックグラウンド調査を南由利原で行った時の一項目として、雨水成分調査を実施した経緯²⁾があるが、いずれも酸性雨問題が注目される以前の調査のため、採取方法、測定方法などについて、現在と相違がある。したがって、当県が酸性雨問題を前提として調査を開始したのは、環境庁の「第1次酸性雨対策調査」開始と同じ年の昭和58年で、調査方法も環境庁の実施細則にはほぼ則って、当センターが実施した「秋田市内における雨水成分調査³⁾」が最初となる。

ここでは、この6年間当センターが行って得られた調査研究結果の概要について述べる。

2 雨水成分に関する調査

(1) 各地における雨水のpH平均値

県内の雨水成分を広域的に同時期に調査したのは、昭和59年7月の梅雨期の調査⁴⁾である。測定地点は県内主要6市9地点で、雨水の採取は一週間単位、採取器は図-1に示す環境庁方式に準じた雪採取器を代用している。採取地点は、図-2に示すとおりで、秋田市の藤倉地点以外はすべて市街地になっており、藤倉は秋田市の後背地にあたる近山間に位置している。

pHの平均値は図-2に示すとおりで、pH5.6以下を酸性雨と規定すれば、本荘、茅島、能代地点を除きすべての地点の平均値が酸性雨となっている。また、秋田市の藤倉地点が4.61と最もpHが低く、他地点の5.20~5.79と比較し、差異が大きい結果となっている。

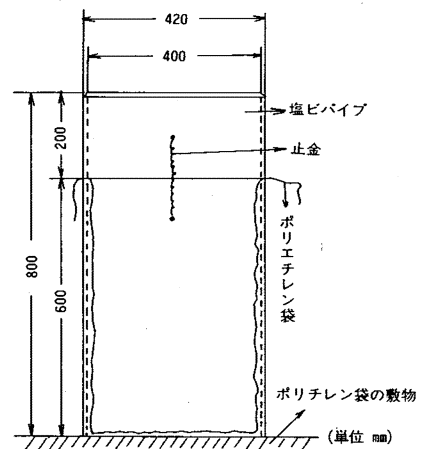


図-1 雪採取器

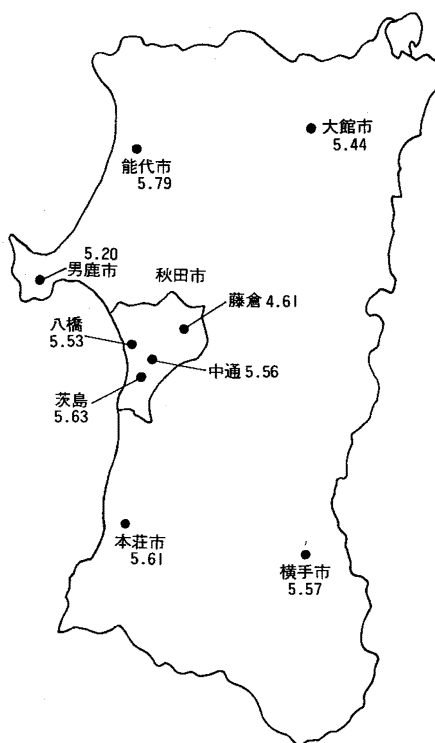
この調査結果から、県南、県北、中央の主要市の7月における雨水の酸性化は、ほぼ同程度であることが示されたが、秋田市の後背地の藤倉地点は、これら地点より酸性化が進んでいると考えられる。

(2) 各地における雨水成分濃度

表—1は、(1)の調査における各地の雨水成分濃度の平均値を示したものである。

溶存イオンの量を示す指標となるECの値が小さい地点は、秋田市内では藤倉、他市では大館、横手地点で、ともに内陸部となっている。これは海塩由来の 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+} が内陸部の3地点で低い値を示すことによるものと考えられる。

このことから、県内主要市における雨水成分の特性は、県南、県北、中央地域として分類するよりも、日本海沿岸部か、内陸部かによって分類の方が地域特性が得られるものとする。



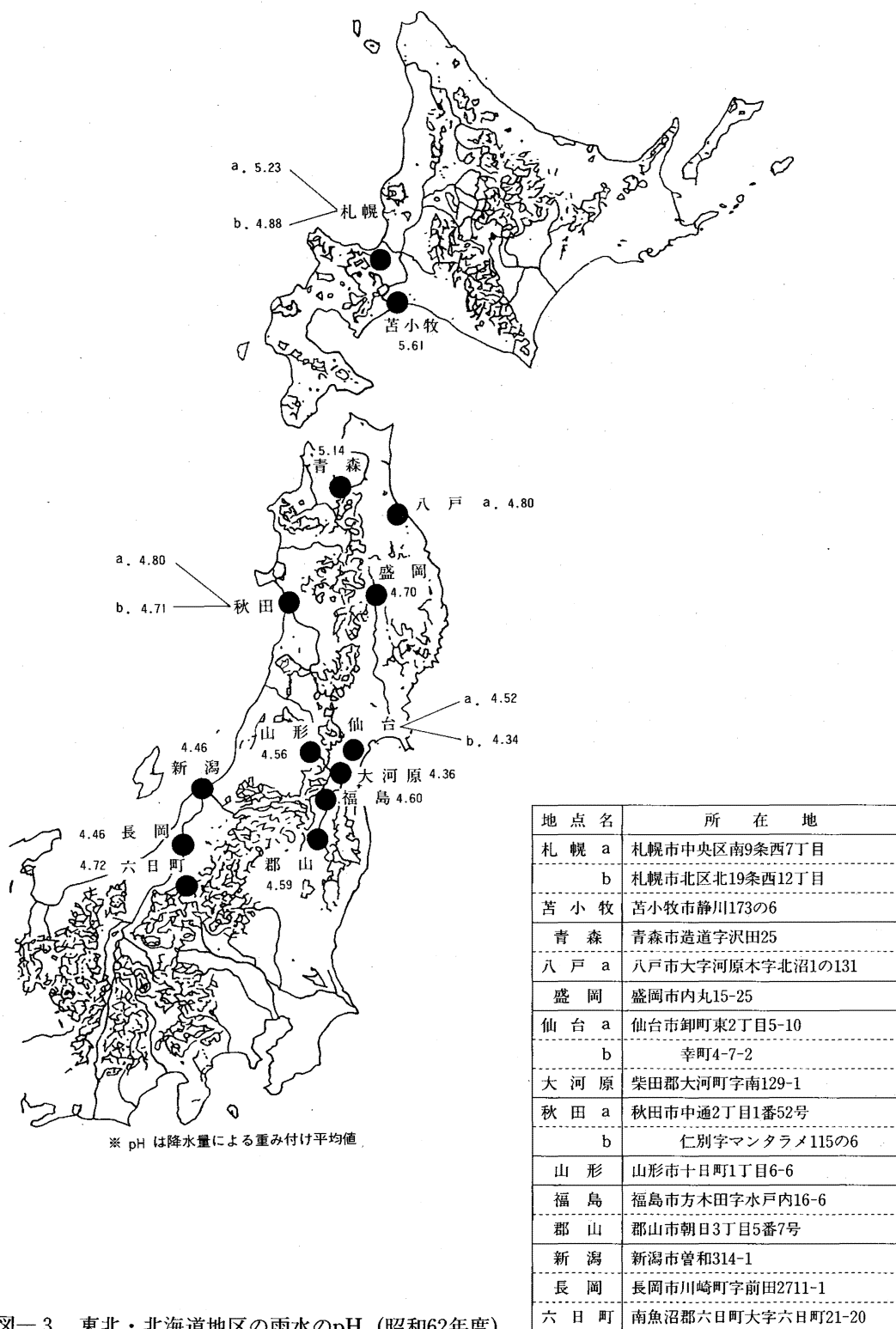
図—2 県内の雨水のpH (昭和59年7月)

表—1 一週間単位の降雨調査結果 (昭和59年7月)

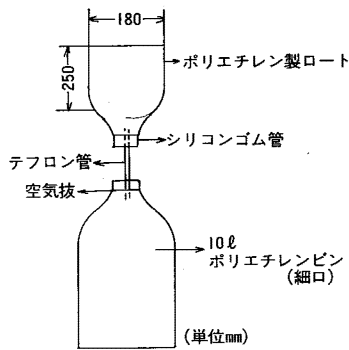
(n = 5)

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 $\mu\text{g}/\text{ml}$)



図一 3 東北・北海道地区の雨水のpH（昭和62年度）



図一 4 雨水採取器

(3) 他県の雨水pHとの比較

県内の雨水の酸性化がどの程度であるかをみるため、図一 3 に東北・北海道地区のpHの地点別平均値を示す。この図の値は、昭和62年度に全国公害研東北・北海道支部で合同調査した結果⁹⁾である。調査時期は7月の梅雨期で、採取は一降水ごと、採取器は各機関の実情に従うこととし、当県は図一 4 の装置を使用している。

当県の測定地点は秋田市の中通地点と、秋田市の後背地の仁別地点（藤倉地点と地理的に近い山間部）を選定している。

図一 3 より、pH4.34～5.61の範囲にあり、仙台b地点が最も低く、苫小牧が最も高くなっている。概して北海道、青森県で高く、宮城、福島、新潟の各県で低い傾向がみられる⁸⁾。

当県の雨水は、中通が4.80、仁別が4.71で、(1)で調査した結果と異なり中通のpHが低くなっているが、この年度においては両地点ともpHの高い県と低い県の中間程度の酸性化になっているといえる。

図一 5 は、昭和62年度と同様に実施した昭和63年度の調査結果⁹⁾である。

当県の仁別地点の平均値が最も低く4.08と

なっており、八橋地点も4.37と低い。昭和63年度の調査時は、試料数が少なかったことと、長期間降雨がなかった状態のあとの降水のため、酸性化につながったものと考えられる。いずれにしても、各年によってpHの変動が比較的大きい要因として、東北・北海道の梅雨期の合同調査は、期間が短かく試料数も少ないため、各年の気象条件に左右されやすいことがあげられる。今後も継続して、データを積みあげ、各地の特性をみていく必要があるものとする。

3 降雪成分に関する調査

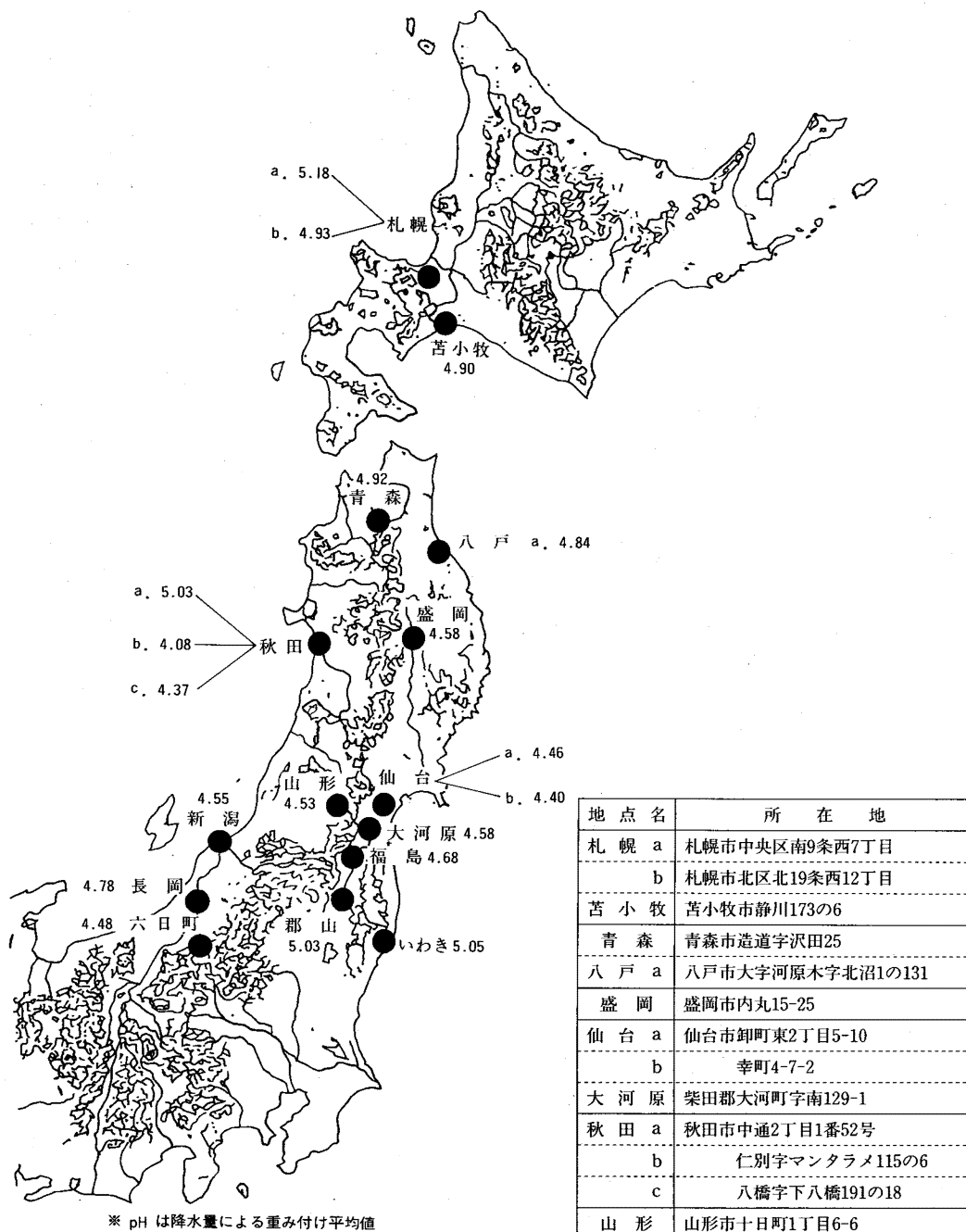
(1) 各地における降雪のpH平均値

県内の降雪成分を広域的に同時期に調査したのは、昭和62年の12月から3月の降雪期の調査⁷⁾である。測定地点は2の(1)で示した雨水成分調査とほぼ同様で、県内主要5市6地点で、降雪の採取は二週間単位とし、採取器は図一 1 の雪採取器を使用している。採取地点は図一 6 に示すとおり、秋田市の後背地の仁別地点以外はすべて市街地である。

pHの平均値は図一 6 に示すとおり、仁別地点が4.52と最も低く、その他の地点は5.41～6.24の範囲となっている。2の(1)の雨水成分調査と同様、県内主要市の降雪の酸性化はほぼ同程度であるといえるが、仁別地点はこれら地点より酸性化が進んでいると考えられる。また、図一 2 と図一 6 の各地点のpH平均値を比較すると、中通地点で降雪の方が高くなっている以外は、雨水と降雪のpHには大きな差異がないといえる。

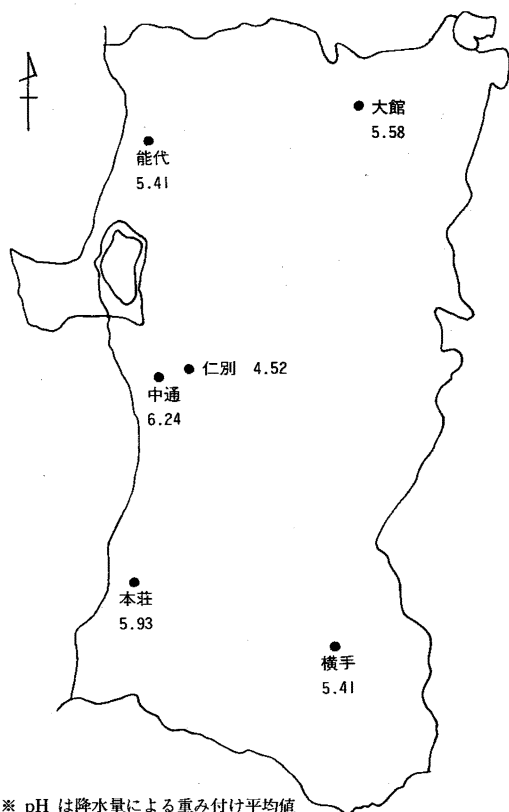
(2) 各地点における降雪成分濃度

表一 2 は、(1)の調査における各地点の降雪成分濃度の平均値を示したものである。雨水



地点名	所在地
札幌 a	札幌市中央区南9条西7丁目
b	札幌市北区北19条西12丁目
苫小牧	苫小牧市静川173の6
青森	青森市造道字沢田25
八戸 a	八戸市大字河原木字北沼1の131
盛岡	盛岡市内丸15-25
仙台 a	仙台市卸町東2丁目5-10
b	幸町4-7-2
大河原	柴田郡大河町字南129-1
秋田 a	秋田市中通2丁目1番52号
b	仁別字マントラメ115の6
c	八橋字下八橋191の18
山形	山形市十日町1丁目6-6
福島	福島市方木田字水戸内16-6
郡山	郡山市朝日3丁目5番7号
いわき	いわき市小名浜大原字六反田22
新潟	新潟市曾和314-1
長岡	長岡市川崎町字前田2711-1
六日町	南魚沼郡六日町大字六日町21-20

図一五 東北・北海道地区の雨水のpH（昭和63年度）



※ pH は降水量による重み付け平均値

図一六 県内の降雪のpH（昭和62年度）

成分調査と同様、日本海沿岸部と内陸部によって特性が分かれ、仁別、大館、横手地点の内陸部では海塩由来成分の濃度が低いため、沿岸部よりECの値が小さい。また、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} についても、雨水成分調査ほど明確では

ないが、内陸部が低い傾向となっている。

(3) 他県の降雪のpHとの比較

図一七に、東北・北海道地区のpHの地点別平均値を示す。この図は昭和62年度に2の(3)に記した東北・北海道支部で合同調査した結果¹⁰⁾である。調査時期は昭和62年12月末から昭和63年2月上旬の降雪期で、採取は二週間単位、採取は各県の実情に従うこととし、当県は図一1の雪採取器を使用している。当県の測定地点は、秋田市の中通と仁別地点を選定している。

図一七より、pHは秋田の仁別地点が4.49と最も低く、ついで六ヶ所a地点の4.74で、pH5.0以下はこの2地域のみとなっている。一方、pHの最も高かった地域は郡山、ついで仙台aで、それぞれ7.21、7.16であり、pH7.0以上はこの2地域のみとなっている¹⁰⁾。

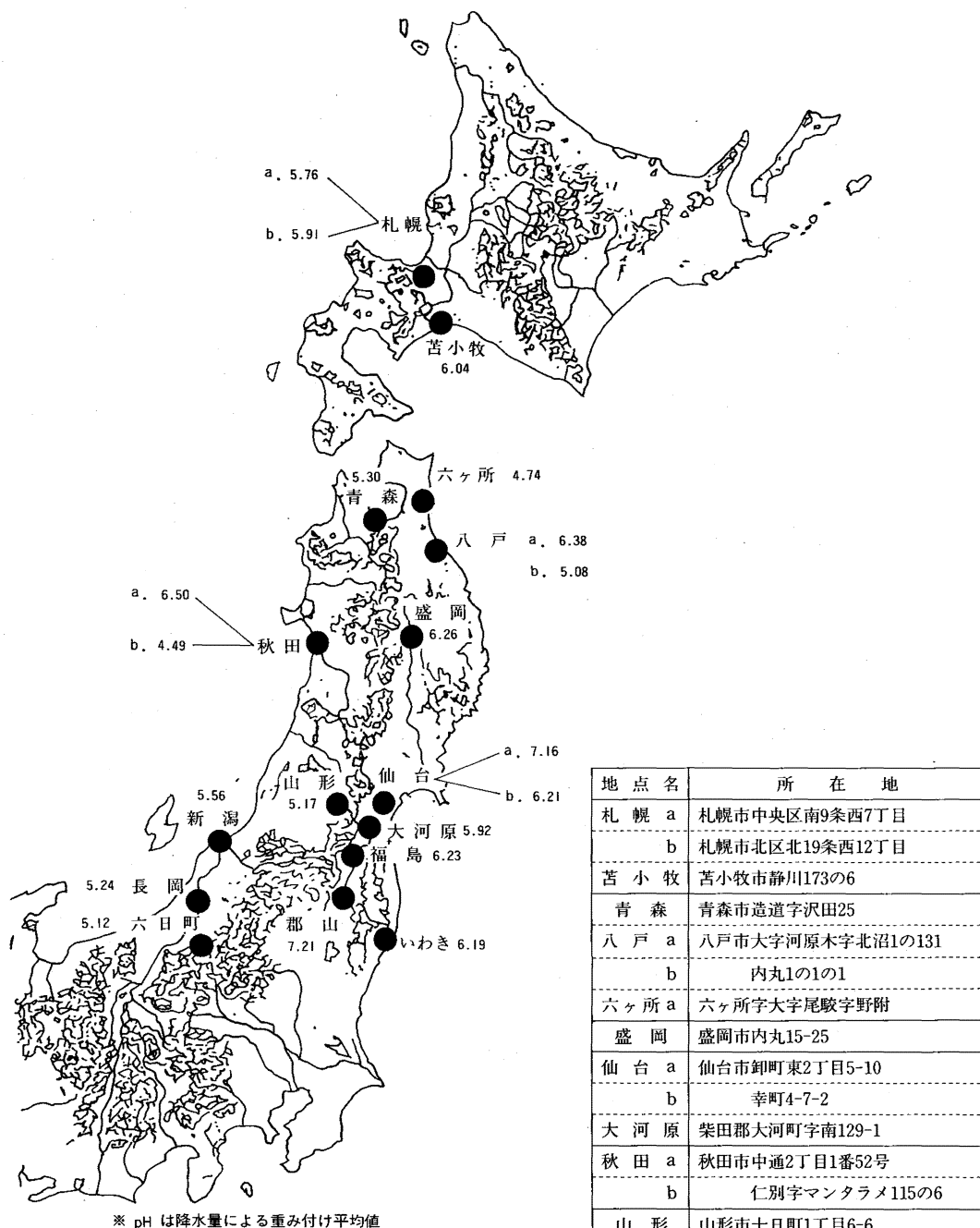
本県の仁別と六ヶ所a地点の降雪が低いpHを示しているが、これは他の地点では市街地の Ca^{2+} を含む道路粉じん等を受け入れやすいのに反し、両地点はバックランド的な地理条件にあるため、降雪の酸性化を抑制する成分が少なく、このことがpHの低下要因になっているものと考えられる。

表一 二 降雪成分濃度の地点別平均値（昭和62年度）

(n = 5)

項目 地点	pH	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	SO_4^{2-} $\mu\text{g}/\text{ml}$	NO_3^- $\mu\text{g}/\text{ml}$	Cl^- $\mu\text{g}/\text{ml}$	NH_4^+ $\mu\text{g}/\text{ml}$	Ca^{2+} $\mu\text{g}/\text{ml}$	Mg^{2+} $\mu\text{g}/\text{ml}$	K^+ $\mu\text{g}/\text{ml}$	Na^+ $\mu\text{g}/\text{ml}$	Ex. SO_4^{2-} $\mu\text{g}/\text{ml}$
中 通	6.24	104.7	7.34	1.53	20.64	0.73	4.00	1.34	1.04	11.66	4.42
仁 別	4.52	70.7	5.14	1.34	12.70	0.45	1.14	1.10	0.84	7.41	3.28
大 館	5.58	65.1	6.37	1.39	12.00	0.85	2.15	0.92	0.75	6.83	4.65
能 代	5.41	120.6	8.56	1.59	25.39	1.36	2.75	1.87	1.39	14.56	4.91
本 荘	5.93	106.8	6.96	1.47	22.86	0.63	2.91	1.66	1.32	13.02	3.69
横 手	5.41	55.0	3.68	0.87	11.01	0.51	1.19	0.77	0.44	6.11	2.15

※平均値は降水量による重み付けした値



地名	所在地
札幌 a	札幌市中央区南9条西7丁目
b	札幌市北区北19条西12丁目
苫小牧	苫小牧市静川173の6
青森	青森市道字沢田25
八戸 a	八戸市大字河原木字北沼1の131
b	内丸1の1の1
六ヶ所 a	六ヶ所字大字尾駁字野附
盛岡	盛岡市内丸15-25
仙台 a	仙台市卸町東2丁目5-10
b	幸町4-7-2
大河原	柴田郡大河町字南129-1
秋田 a	秋田市中通2丁目1番52号
b	仁別字マンタラメ115の6
山形	山形市十日町1丁目6-6
福島	福島市方木田字水戸内16-6
郡山	郡山市朝日3丁目5番7号
いわき d	いわき市好間町上好間洞34
新潟	新潟市曾和314-1
長岡	長岡市川崎町字前田2711-1
六日町	南魚沼郡六日町大字六日町21-20

図一 7 東北・北海道地区の降雪のpH (昭和62年度)

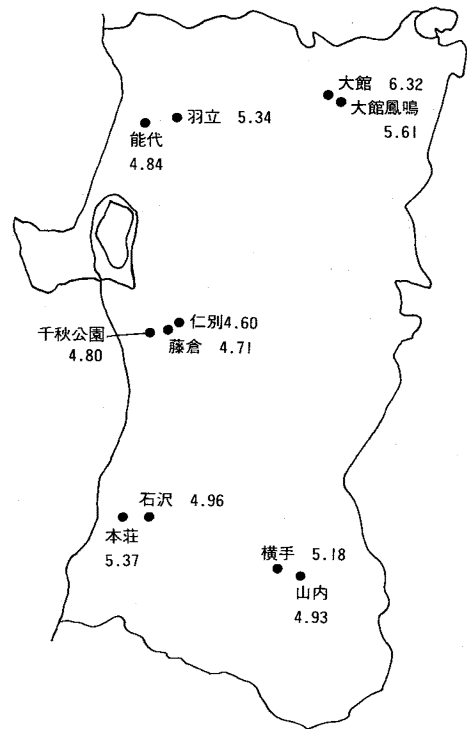
(4) 各地点における積雪のpH

図一 8 に、昭和63年 2 月の積雪最大期における各地点の積雪のpH値を示す⁷⁾。積雪は内径250mm、長さ1,500mmの塩ビ筒を積雪に垂直に打ち込んで全層を採取し、室温で融雪したのち分析している。

最も低いpHを示す地点は、秋田市の仁別地点で4.60、ついで藤倉、千秋公園地点となっている。pHが5.0以下を示したのは能代地点を除いて主として後背地もしくは公園内の地点であり、市街地のpHが高い傾向を示している。

4 雨水のpHの経年変化

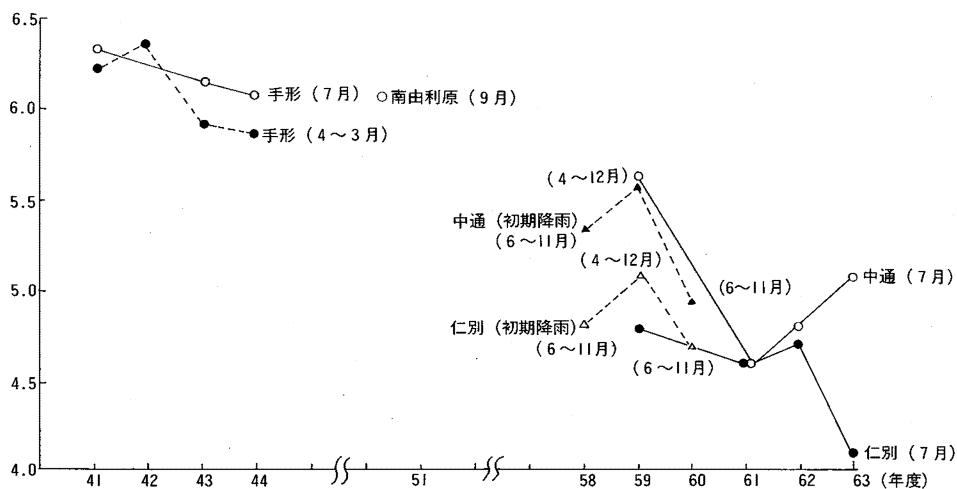
雨水成分に関する調査は前述のように秋田大学の近藤忠三教授が昭和41年から昭和44年まで調査した結果の報文^{11,12)}があり、その後、当センターが昭和58年に調査を開始している。しかし、いずれも調査の目的が異なり、調査地点、調査時期、調査方法などを一貫して実施した調査がないので、経年変化をみるには無理があるが、各年の7月に限ってデータを拾うと、ある程度つながりがあるのでそ



図一 8 県内の積雪のpH (昭和62年度)

の結果を図一 9 に示す。

手形地点は1降水ごとの採取であり、pHは単純平均値である。中通、仁別地点の59、61年は一週間単位、62、63年は一降水ごとの平



図一 9 秋田市における雨水pHの経年変化 (7月)

均値（降水量による重み付け平均値）である。
また、参考として58～60年に実施した初期降雨（1～5mm目）調査の平均値と、昭和51年に実施した南由利原の調査結果もプロットした。

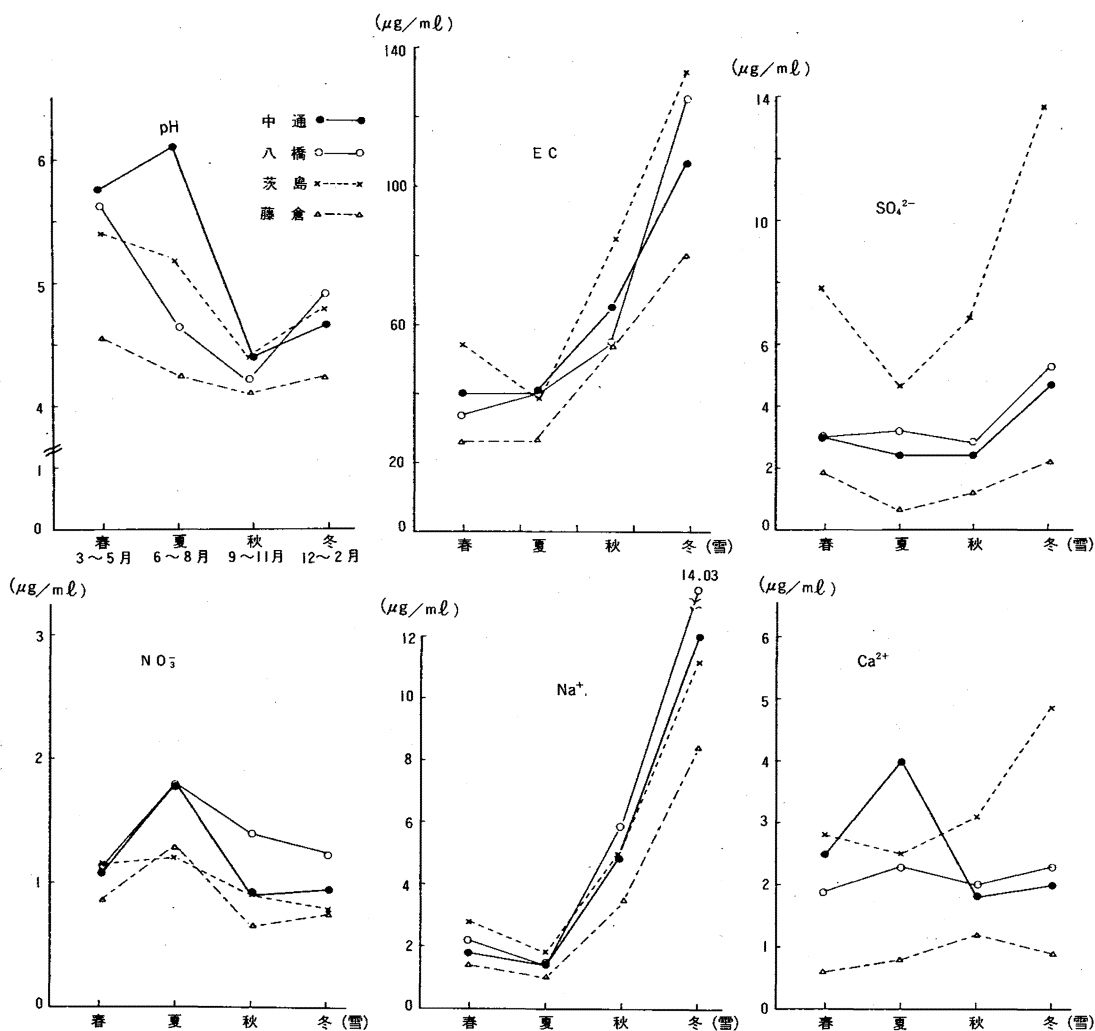
これをみると、昭和41～44年の秋田市手形地点の7月の雨水は6.0～6.3程度で、年平均値では5.82～6.30となっており、南由利原では、6.04という値を示している。初期の調査から14年後の昭和58年以降では手形地点より市街化の形態が強い中通地点もしくは後背地

の仁別のいずれの地点でも手形、南由利原地点より低くなっており、長期的には雨水の酸性化が進んでいるものと懸念される。

昭和58年以降の経年変化をみると、中通で62年、仁別で63年に大きくpHが低下したが、酸性化が進んでいると言えるには、まだ数年の継続調査結果をみる必要がある。

5 降水成分の季節別変化

図一10に、昭和59年度に実施した降水成分調査⁴⁾を季節別に分類した結果を示す。降水



図一10 雨水成分の季節別変化（昭和59年）

の採取は一週間単位とし、採取器は図—1の雪採取器を使用している。

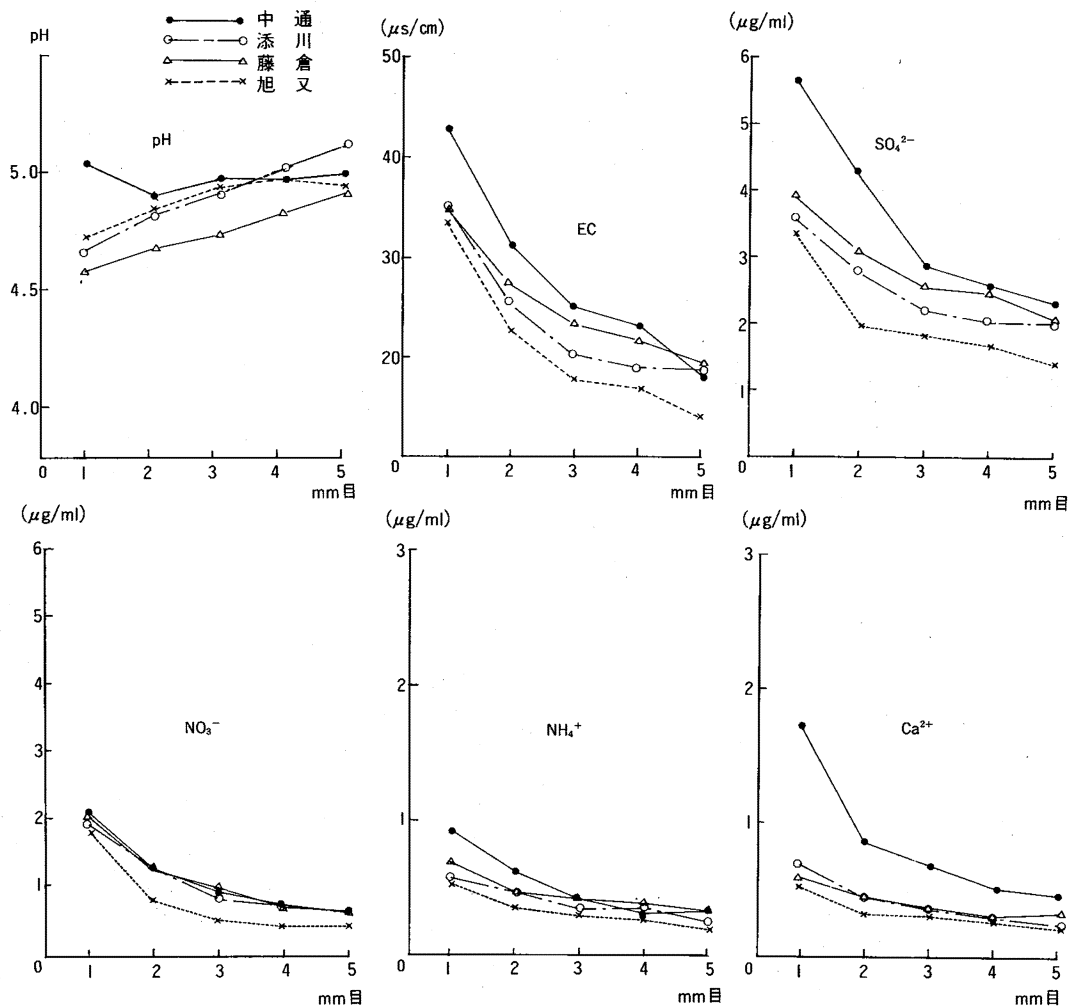
pHは各地点とも秋に低い値を示し、中通地点以外は春に高い傾向となっている。都市部の東京¹³⁾、千葉¹⁴⁾、神戸¹⁵⁾では夏に低pHの出現が多いこと、また、秋田では冬にpHが低くなるという既報¹²⁾の結果とは異なる傾向となっている。

ECは秋から冬にかけて高くなっており、これは海塩由来成分も同様に高くなっていることから、秋・冬にかけて日本海からの季節風

が海塩由来のイオン量を増加させているものといえる。 SO_4^{2-} も冬季に高くなるが、海塩由来の SO_4^{2-} が多くなることによるものと考えられる。また、 NO_3^- は夏季に高くなる傾向が見える。

6 降雨順別のイオン成分濃度の推移

図—11に、昭和60年度に実施した秋田市内4地点の初期降水の降雨順別のイオン成分濃度の推移⁹⁾を示す。雨水は一降水ごとに採取し、採取器は図—12に示す小笠原式雨水採取



図—11 降雨順別のイオン成分濃度の推移 (昭和60年 6～11月)

器のR-150型を使用している。

pHは市街地の中通地点では1mm目が最も高く、2mm目が最低となり、それ以降は横ばいとなっている。秋田市の後背地である他地点では1mm目が最も低く、順次上昇している。

ECは1mm目における中通と他地点での差異が大きく、2mm目では全地点で大きく減衰している。

イオン成分濃度についてもECとほぼ同様の傾向を示し、5mm目付近でいずれの地点も一定の値に収束するような傾向を示す。

これらのことから、4地点の初期の降水は各地点の大気中汚染物質量の差異を反映して、ウォッシュアウトによる汚染物質の取り込み量に違いがでてくるものの、いずれの地点も1mm目で最も多く取り込み、2mm目以降で漸減していく。また、5mm目付近では各地点とも取り込み物が減少するため、推移が横ばいになるものと考えられる⁵⁾。6mm以降の後続雨水は、松本らの報告¹⁶⁾にもあるように主としてレインアウトによる雨水生成時点でのイオン成分濃度を反映しているものと考えられる。したがって、後続雨水は4地点ともほぼ同様な成分濃度を示すものと考えられる。

7 市街地と後背地の降水成分濃度の比較

(1) 雨水成分濃度の比較

昭和58、59年度の雨水成分調査^{3,4)}で、pHが低い地点は初期降雨および一週間単位の降雨においても、秋田市の後背地であるという結果が得られ、昭和60年度は後背地でpHが低くなる要因を検討するための調査⁵⁾を行っている。調査の概要は、市街地から北東方向の後背地に向けた直線方向に、4ヶ所の調査地点

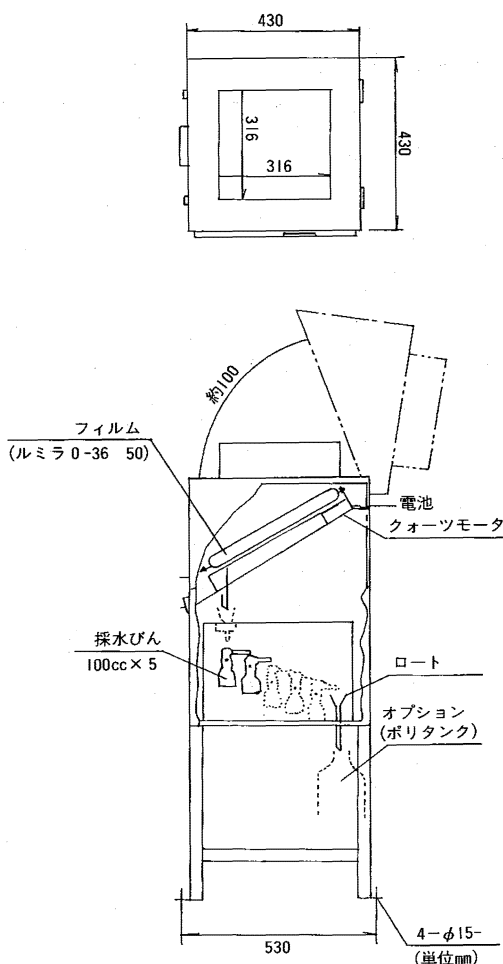


図-12 小笠原式雨水採水器(R-150)

を設けて初期降雨を採取し、距離の減衰によるイオン成分濃度の変化からpHの変化の解析を行っている。

図-13は初期降雨1mm目のpH、ECの距離による変化を示しており、市街地の中通のpH、ECが高く、添川以降の後背地では低く、横ばいとなっている。

図-14は、各イオンの当量濃度比の距離による推移を示している。pHの値で変化の大きかった中通と添川地点の比率についてみると、pHが高い中通では NO_3^- の比率が小さく、

Ca^{2+} の比率が大きい。pHが低下した添川以降では逆に NO_3^- の比率が増加し、 Ca^{2+} の比率が減少している。このことから、秋田市の市街地と後背地の雨水のpHは、主として NO_3^- と Ca^{2+} の存在比率の変化により影響を受けているものと考えられ、したがって後背地の雨水のpHが低下する要因としては、 NO_3^- の比率が高いわりに Ca^{2+} の比率が低いことによるものと考えられる。

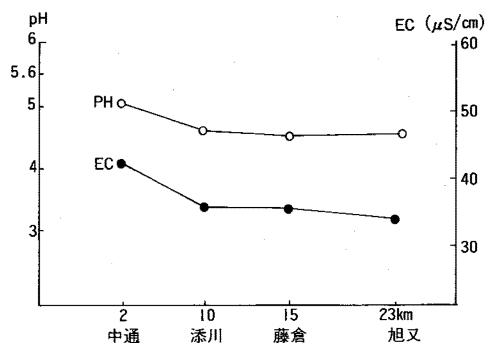


図-13 pH・ECの距離による変化
(昭和60年6～11月)

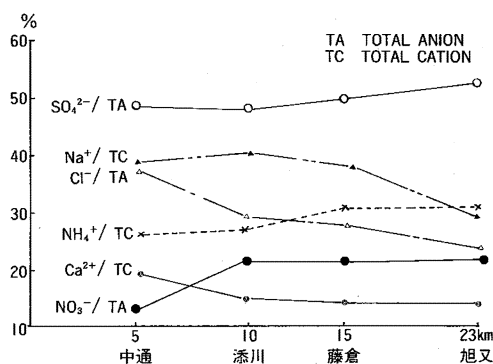


図-14 各イオンの当量濃度比の推移
(昭和60年6～11月)

(2) 降雪成分濃度の比較

昭和62年度の降雪成分調査⁷⁾で、雨水と同様降雪についても秋田市の後背地のpHが低い結果が得られ、昭和63年度にはその要因を検討するための調査を行っている。結果は本号の「降雪成分に関する調査研究」で詳しく

報告している。

結論としては、市街地の降雪は Ca^{2+} を含む道路粉じんなどを受け入れやすく、後背地より酸性化が抑制されるため、見かけ上、後背地の降雪のpHが低くなるものと考えている。また、秋田市の後背地の降雪のpHは、バックグラウンドと位置付けしている森吉町の降雪のpHと大きな差異がない結果を得ている。

8 融雪水の含有成分の挙動調査

融雪時の初期段階における融雪水に、積雪中のかなりの成分が溶出し、酸性化も強まることから、湖沼などの生態系にacid shockと呼ばれる影響を与えていることが、北欧で報告¹⁷⁾されている。昭和63年度には、当県における積雪の融雪期における成分の挙動を調査するため、積雪を採取して室内実験を行っている。その結果は本号の「融雪時における含有成分の挙動と湖沼の水質に与える影響」で詳しく報告している。

結果としては、融雪率20～25%の初期段階で、ほとんどの成分が50%以上溶出してしまうこと、初期の融雪水のpHと後期の融雪水のpHには約1程度の差異がみられ、初期融雪水の強い酸性化が確認されている。また、融雪水の湖沼の水質に与える影響については、野外実験の対象とした地点が記録的な暖冬に見舞われ、目的を達しないため、次年度再調査する予定となっている。

9 おわりに

以上、県内の降水成分に関する研究結果の概要について記述した。6年間の歳月で、様々な目的による研究がなされデータ数は豊富になったが、長期的な計画に則って行った研究というものがない。そのため測定地点、採取

装置、採取時期などが各年によって異なり、したがって降水の成分の経年的な変化がつかみにくい結果となっている。しかしながら、昭和40年代前半の秋田市内の雨水と比較した場合、現在は酸性化が進んでいるものと懸念される。幸い、当県においてはこれまで酸性雨による湖沼や森林などへの被害は報告されていないが、酸性雨が長期的に降り続き、土壌の緩衝能力が低下していけば、生態系は急激に影響を受けることになる。酸性雨による被害を未然に防止していくために、これまでの研究結果を踏まえ、長期的なモニタリング体制をとるとともに、林務関係者など他機関との十分な連絡をとりながら、巾広い監視体制の確立が必要と考える。

参 考 文 献

- 1) 近藤 忠三：秋田大学教育研究紀要，No19, 65 (1969)
- 2) 環境における大気汚染物質の分布量に関する研究 I (昭和51年度環境庁委託調査)：5 (1977)
- 3) 信太 稯ほか：秋田県環境技術センター年報，No11, 82 (1983)
- 4) 斎藤 学ほか：秋田県環境技術センター年報，No12, 94 (1984)
- 5) 斎藤 学ほか：秋田県環境技術センター年報，No13, 69 (1985)
- 6) 斎藤 学ほか：秋田県環境技術センター年報，No14, 66 (1986)
- 7) 斎藤 学ほか：秋田県環境技術センター年報，No15, 50 (1987)
- 8) 北海道・東北ブロック酸性雨合同調査結果報告書 (梅雨期)：昭和62年度
- 9) 北海道・東北ブロック酸性雨合同調査結果報告書 (梅雨期)：昭和63年度
- 10) 北海道・東北ブロック酸性雨合同調査結果報告書 (降雪期)：昭和62年度
- 11) 近藤 忠三：秋田大学教育研究紀要，No20, 9 (1970)
- 12) 近藤 忠三：秋田大学教育研究紀要，No21, 40 (1971)
- 13) 小山 功ほか：東京都公害研究所年報，90 (1981)
- 14) 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)
- 15) 玉木 元則ほか：日化，300 (1981, No. 2)
- 16) 松本 光弘ほか：大気汚染学会誌，18(6)，595 (1983)
- 17) M. Tranter：Atmos. Environ., Vol. 20, No. 3, 517 (1986)