

秋田市内における雨水成分の調査結果について（第4報）

齊藤 学 小玉 幹生
高橋 浩 藤島 直司

1 はじめに

前報までの調査では、主として初期降雨を対象として、秋田市の市街地と後背地の雨水成分について比較してきた。その結果、降りはじめの雨水は市街地の方が成分濃度が高いが、PHは郊外の後背地で低い値を示すこと、また、降水量が増加するにつれて市街地および後背地のPH、成分濃度は、ほぼ一定の値に収束するような傾向を示すことなどがわかった。

今年度は、一週間単位のBulkによる雨水を対象に、さらに広範囲の後背地に調査地点を設置し、雨水の酸性化の実態を把握するとともに、イオン成分の降下量についても検討してみた。

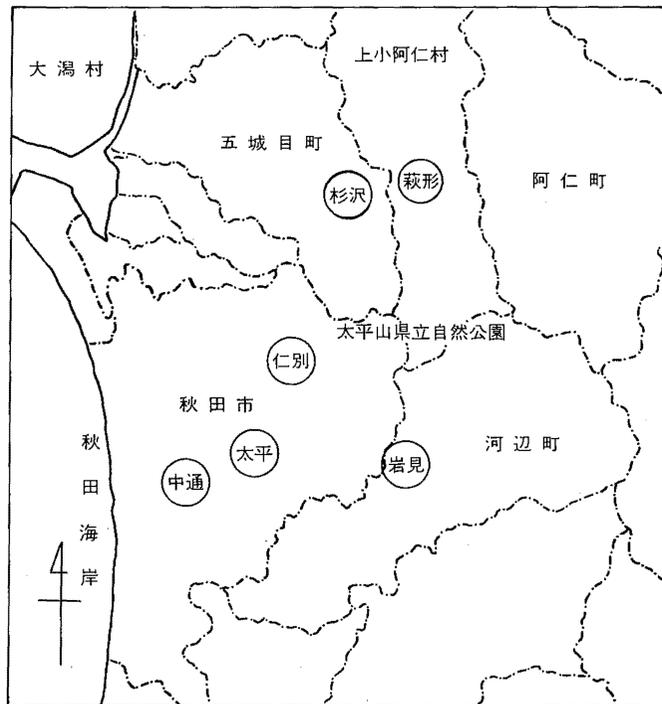
2 調査方法

2. 1 調査期間

昭和61年6月30日～7月28日

2. 2 調査地点と採水器設置状況

調査地点は、図一1に示すとおりで、秋田市3地点、河辺町、五城目町、上小阿仁村各1地点で計6地点を選定した。調査地点の特性と採水器設置場所は、表一1に示した。



図一1 調査地点

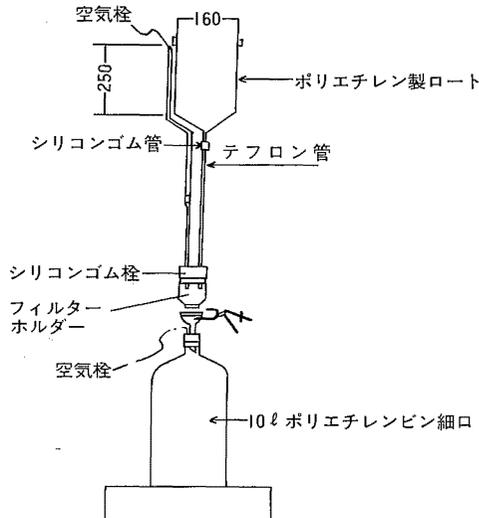
表一 調査地点の特性と採水器設置場所

地点名	設置場所	地点の特性
中通	秋田市 秋田保健所屋上	海岸から約5kmの市街地
太平	秋田市 太平地域センター地上	中通より東北東へ約6kmの郊外
仁別	秋田市 旭川ダム管理事務所屋上	中通より北東へ約12kmの近山間部
岩見	河辺町 岩見ダム管理事務所地上	中通より東へ約16kmの近山間部
杉沢	五城目町 杉沢発電所地上	中通より北北東へ約25kmの遠山間部
萩形	上小阿仁村 萩形ダム管理事務所地上	中通より北東へ約29kmの遠山間部

2. 3 雨水の採取方法

雨水は、全地点で一週間単位の雨水を採取した。

また、雨水採取装置は図一に示したろ過式の採取装置を使用した。



図一 酸性雨ろ過式採取装置

2. 4 調査項目および分析方法

調査項目は、PH、EC、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 H^+ 、降水量で、 H^+ はPHより計算で求めた。

また、降水量も貯水量から計算で求めた。

3 調査結果と考察

3. 1 雨水の採取状況と気象概況

調査期間中、各地点とも一週間単位の雨水を4回採取できた。採取に関し、特に成分濃度に大

きく影響を与えるような状況はなかった。

気象の概況は、市街地の中通に近い秋田地方気象台の観測結果から、7月の平均気温は26.6℃ではほぼ平年並みであった。平均風速は3.0m/sec、最多風向の月平均はSE方向であった。調査期間中の降水日数は17日で、7月11～12日と7月22～24日は大雨となった。また、7月の降水量は平年よりやや多いという状況であった。なお、梅雨入りは6月13日、梅雨明けは8月9日であった。

3. 2 雨水成分濃度の調査結果

(1) 雨水のイオンバランス

表一2に、PH、EC、降水量ならびに雨水中成分濃度の調査結果を示した。

図一3には、分析結果の信頼性確認のため、全試料の成分のイオンバランスを示した。各試料とも低濃度であったため、測定誤差の積み重ね等により、若干バランスがとれていない試料もあったが、おおむね良好な結果であった。

表一2 雨水成分濃度調査結果

		PH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	降水量
中 通	MAX	4.96	26.2	3.79	1.58	1.85	0.67	0.49	0.168	0.14	1.00	0.039	56
	MIN	4.41	6.28	0.90	0.08	0.40	0.22	0.21	0.014	0.06	0.21	0.011	28
	AVE	4.60	17.9	2.39	0.69	0.86	0.38	0.35	0.087	0.10	0.43	0.025	43
太 平	MAX	4.93	20.3	2.76	1.58	1.66	0.72	0.43	0.122	0.21	0.90	0.026	60
	MIN	4.59	6.63	0.84	0.12	0.48	0.25	0.11	0.023	0.08	0.15	0.012	32
	AVE	4.73	14.7	1.90	0.69	0.88	0.41	0.24	0.065	0.14	0.50	0.019	44
仁 別	MAX	4.72	18.0	2.49	1.12	1.54	0.32	0.29	0.119	0.13	0.91	0.036	55
	MIN	4.44	8.19	0.94	0.11	0.47	0.07	0.08	0.033	0.09	0.28	0.019	46
	AVE	4.60	14.9	1.85	0.54	0.77	0.20	0.18	0.060	0.10	0.56	0.025	51
岩 見	MAX	4.86	19.7	2.69	0.81	1.17	0.27	0.27	0.090	0.12	0.71	0.039	54
	MIN	4.41	6.47	0.82	0.14	0.35	0.11	0.09	0.019	0.10	0.17	0.014	39
	AVE	4.61	14.2	1.69	0.48	0.70	0.22	0.15	0.051	0.11	0.38	0.025	47
杉 沢	MAX	5.62	13.9	1.29	0.58	1.89	0.29	0.30	0.157	0.15	1.13	0.017	42
	MIN	4.77	5.16	0.62	0.15	0.32	0.10	0.08	0.023	0.07	0.23	0.002	32
	AVE	5.05	8.67	1.08	0.33	0.76	0.20	0.16	0.060	0.11	0.49	0.009	38
萩 形	MAX	5.51	9.35	1.31	0.96	0.76	0.22	0.31	0.149	0.19	0.51	0.010	35
	MIN	5.02	6.92	0.54	0.03	0.23	0.19	0.20	0.032	0.09	0.23	0.003	26
	AVE	5.35	7.28	1.07	0.39	0.46	0.20	0.24	0.060	0.14	0.36	0.004	32

単位はPHがなし、ECが $\mu\text{s}/\text{cm}$ 、降水量が mm 、他は $\mu\text{g}/\text{ml}$

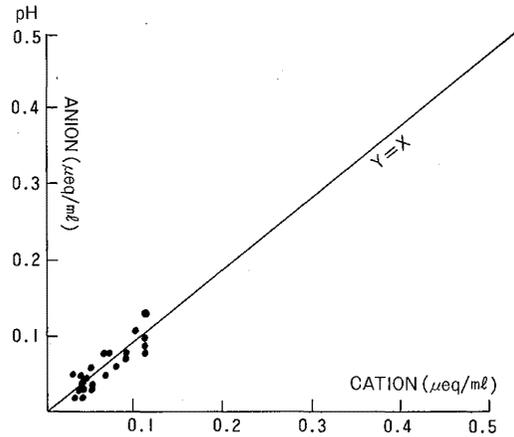


図-3 雨水のイオンバランス

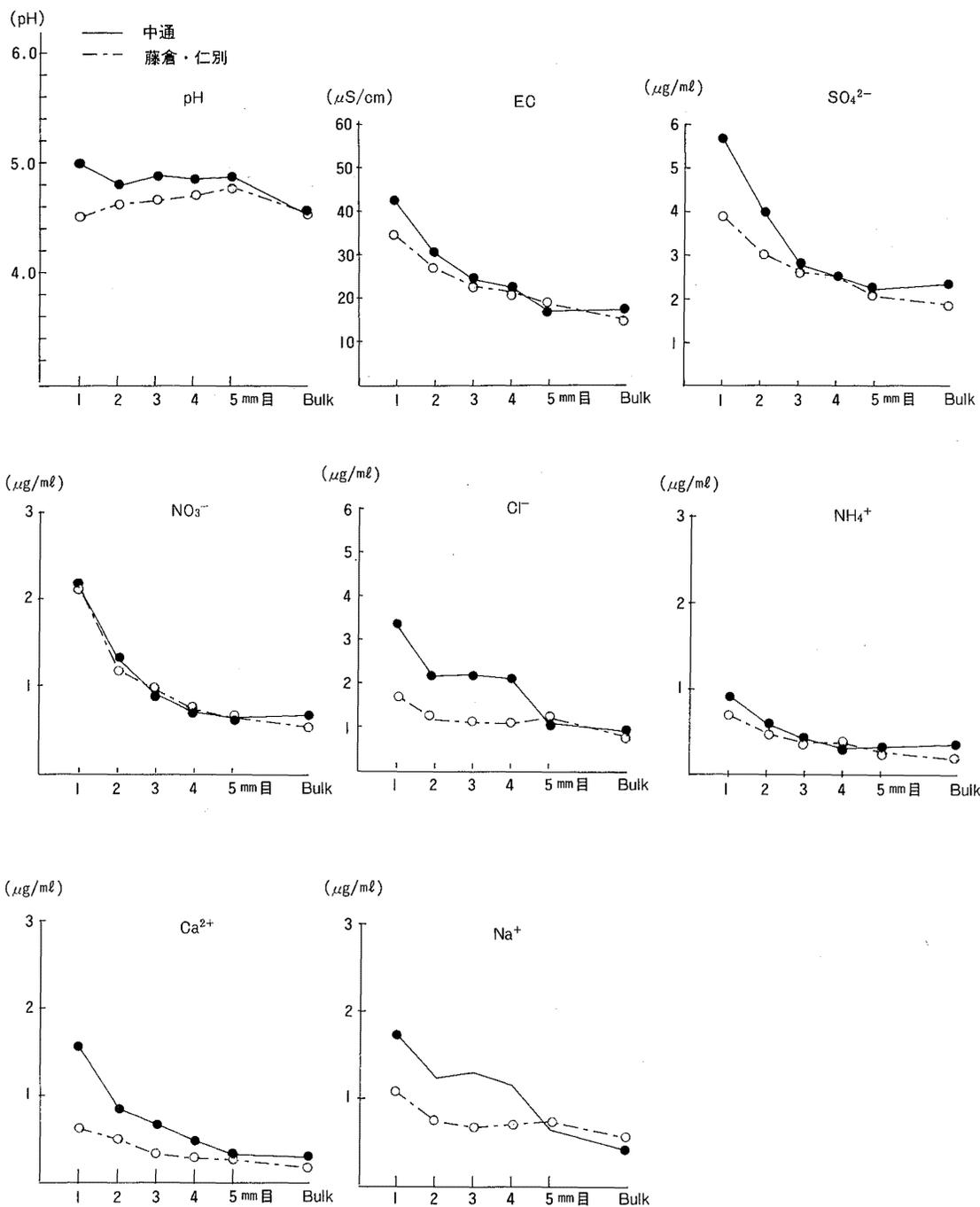
(2) 前年度および他県の調査結果との比較

図-4には、前年度調査した中通、藤倉地点における降雨順別のPH、ECおよび主要なイオン成分濃度の平均値の推移と、今年度のBulkによる雨水の平均値をプロットしてみた。中通地点は今年度と同一地点、藤倉地点は今年度の仁別地点から約1km市街地に近い、近山間部で、仁別地点とほぼ同一地点として位置づけられる地点である。

PHについてみると、中通の初期降雨は1mm目で高く、2mm目以降は4.8~5.0の値に横ばいする傾向を示したが、今年度のBulkによる雨水では4.60と低く、初期降雨の降雨順別の推移との関連はみられなかった。また、近山間部の藤倉、仁別を同一地点としてみれば、初期降雨では1mm目が最も低く、降雨が増すごとにPHが上昇して、中通のPHに近づく傾向を示したが、Bulkによる雨水では、中通と同様の低い値を示した。また、降雨順別の推移からみると、今年度のBulkによる雨水は、前年度の藤倉地点の1mm目と2mm目の間に位置する値となっていた。

ECについてみると、初期降雨1mm目において、中通と藤倉の値に差異がみられたが、降雨が増すごとに両地点ともほぼ初期降雨における収束値の範囲に入るような値を示した。

イオン成分濃度についてみると、初期降雨の降雨順別の推移は、一定の値に収束するような傾向を示したが、今年度のBulkによる雨水も、ECと同様前年度の初期降雨調査の収束値範囲となるような値を示した。



図一 初期降雨とBulkによる雨水の比較

表一 3 には、昭和59年に今回の調査と同様な採取方法で調査した石川県の報告から、7月の調査結果を平均し、地点的に類似した特性を示す太平、岩見の2地点の平均値と比較してみた。

PH、ECはほぼ同程度の値を示しているが、NO₃は秋田の太平、岩見地点が若干低く、その他の項目では高い値となっていた。特にNa⁺とCl⁻が高い値となっていたことから、海塩粒子の影響など、気象条件の相違が要因となったものと推定された。

表一 3 他県との比較

	県名	地点名	PH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
郊外	秋田	太平	4.73	14.7	1.90	0.69	0.88	0.41	0.24	0.065	0.14	0.50
	石川	三馬	4.70	17.5	1.75	1.12	0.25	0.31	0.18	0.028	0.06	0.16
山間部	秋田	岩見	4.61	14.2	1.69	0.48	0.70	0.22	0.15	0.051	0.11	0.38
	石川	鳥越	4.74	12.9	1.14	0.74	0.17	0.19	0.08	0.020	0.05	0.14

単位はPHがなし、ECが $\mu\text{s}/\text{cm}$ 、他は $\mu\text{g}/\text{ml}$

(3) 雨水の酸性化の状況とPHの地域区分

表一 2 より、雨水のPHの最低値は中通の4.40、最高値は杉沢の5.62であった。また、各地点のPHの平均値は、いずれも5.6以下の酸性雨となっており、前報（第3報）の初期降雨調査結果と同様、一週間単位の雨水も酸性化していることがわかった。

図一 5 に、各地点のPHの平均値をもとに、PHの地域区分を示した。市街地の中通と、郊外の太平、近山間部の仁別および岩見は4.60~4.61と、ほぼ同一の値を示す地域と考えられた。前報（第3報）での初期降雨1mm目の調査結果では、市街地と郊外以降で明確なPHの差異がみられたが、今回の調査期間中のBulkによる雨水では、差異は認められなかった。

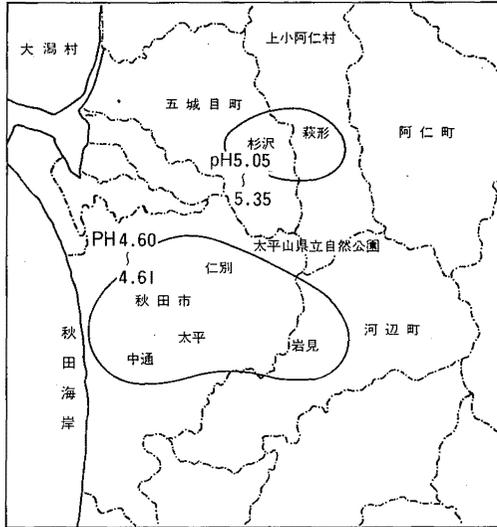
また、遠山間部の杉沢、萩形のPHは5.05~5.35で、雨水の酸性化の状況としては、ほぼ同一の区域と考えられた。

このことから、秋田市の市街地と後背地における雨水の酸性化の状況は、太平山に代表される比較的高い山間部を境として、日本海に面した市街地側で酸性化の度合いが高く、山間部を越えた裏側の地域では、あまり酸性化が進んでいないものと考えられた。

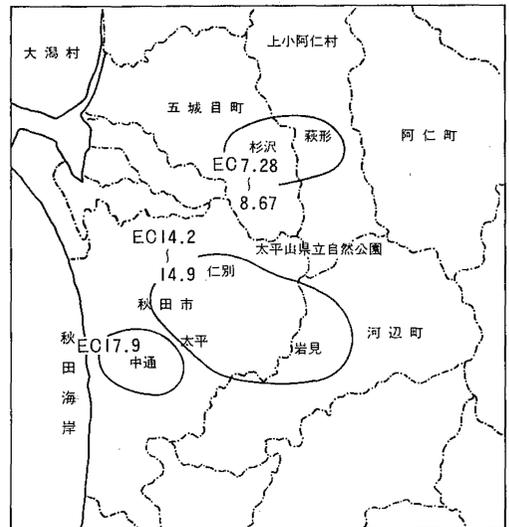
(4) ECの地域区分

表一 2 より、雨水の汚染の程度を示すECの最大値は、中通の26.2 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 、最小値は杉沢の5.16 $\mu\text{s}/\text{cm}$ であった。各地点の平均値は7.28~17.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ となっていた。

図一 6 には、各地点の平均値をもとに、ECの地域区分を示した。市街地の中通が17.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ で一区分され、郊外の太平、近山間部の仁別、岩見が14.2~14.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ で一区分、遠山間部の杉沢、萩形が7.28~8.67 $\mu\text{s}/\text{cm}$ で一区分の、計3区分に分類できた。



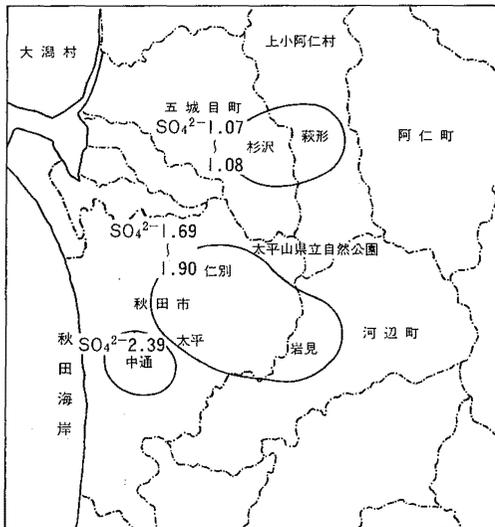
図一五 PHの地域区分



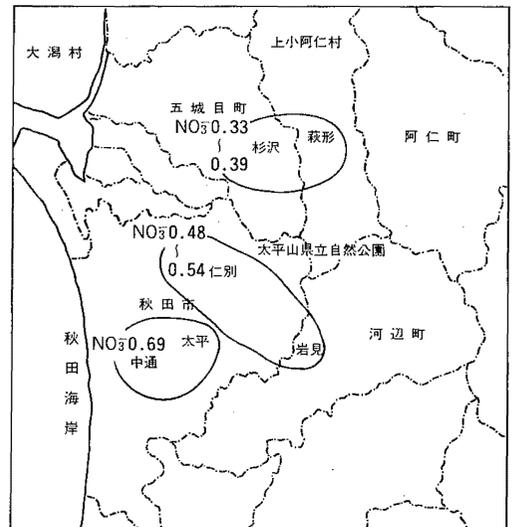
図一六 ECの地域区分

(5) イオン成分濃度の地域区分

図一七、八には、雨水の酸性化に寄与するといわれている SO_4^{2-} 、 NO_3^- の各地点の平均値から、その濃度分布状況を示した。両イオンともPH、ECと同様、太平山に代表される山間部の裏側の地域である杉沢、萩形地点が一区分とされ、市街地側の成分濃度より低い値を示した。また、市街地側では SO_4^{2-} は中通で一区分、太平、仁別、岩見で一区分されたのに対し、 NO_3^- は中通、太平で一区分、仁別、岩見で一区分と考えられ、両イオンの地域区分に相違がみられた。

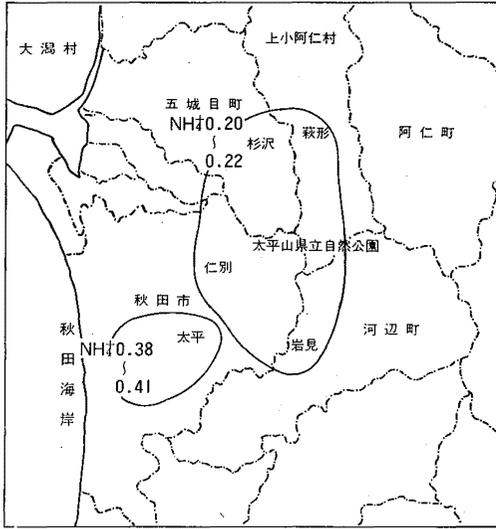


図一七 SO_4^{2-} の地域区分

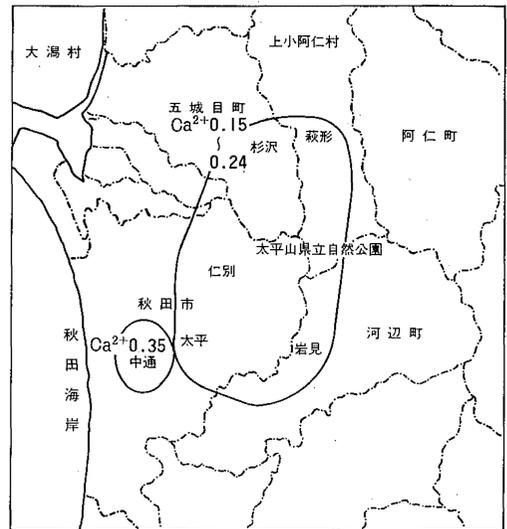


図一八 NO_3^- の地域区分

図一9、10には、雨水の酸性化を抑制する役割を果たすといわれている NH_4^+ 、 Ca^{2+} の地域区分を示した。両イオンともPH、EC、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- の区分と異なり、杉沢、萩形地点と、中通を除く市街地側の地点とに明確な区分ができなかった。また、市街地側では、 NH_4^+ は中通、太平で一区分、 Ca^{2+} では中通が一区分されるものと考えられた。



図一9 NH_4^+ の地域区分



図一10 Ca^{2+} の地域区分

(6) イオンの当量濃度比とPHについて

図一11には、各地点でのイオン成分濃度の平均値をもとに、主要なイオンのTotal Anion、Total Cationに対する当量濃度比をダイヤグラムで示した。ダイヤグラムの形状と、イオン総量から比較して、当量濃度比の特性はPH、EC等の地域区分と同様、市街地側と裏側の地域に区分されるものと考えられた。

PHが4.60~4.61と低い値を示した市街地側では、 SO_4^{2-} の比率が60%前後で突出しており、 NO_3^- は13~14%とほぼ一定の比率を示していた。PHが5.05~5.35と高くなった裏側の地域では、 SO_4^{2-} が40~50%に比率が減少し、 NO_3^- は逆に20~25%に上昇した。

NH_4^+ と Ca^{2+} についてみると、市街地の中通で Ca^{2+} 、 NH_4^+ が20%、太平で NH_4^+ が25%の比率を示したが、裏側の地域では2地点とも20~25%と総体的に高い比率を示した。

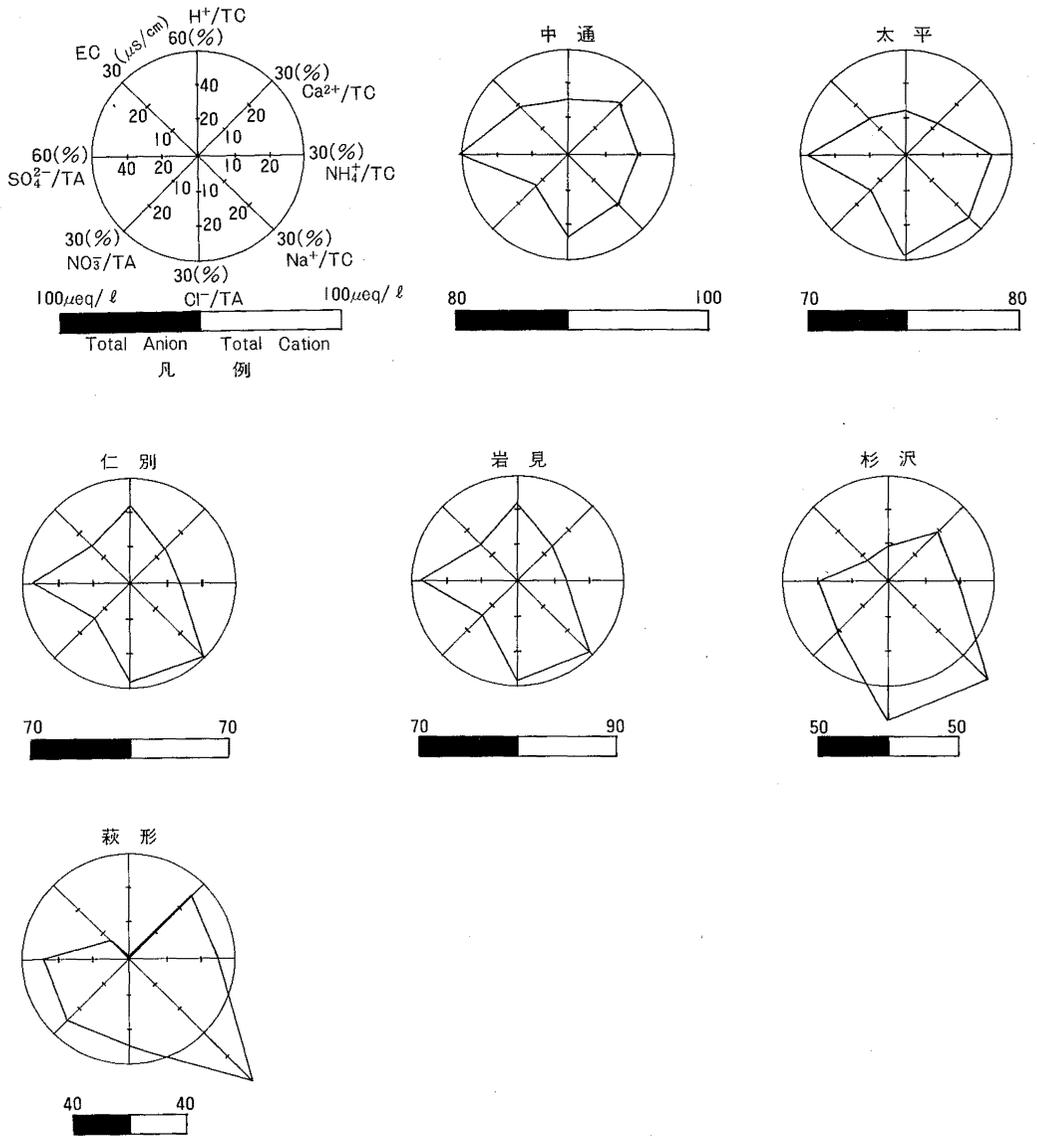


図-11 各地点のイオン当量濃度比

図-12には、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- の当量濃度とPHの関係をみるため、全試料についてTA (Total Anion) に対する比をプロットしてみた。

SO_4^{2-} についてみると、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{TA}$ とPHには明確な相関が認められなかったが、 NO_3^- は5.0付近以下の低PH値の試料で、 NO_3^- が増加するとPHが下がる傾向がみられた。この傾向は、本県と類似的な調査を実施した横浜市の昭和60年度調査の報告と同様であった。また、比較的高いPHを示した杉沢、萩形地点の試料は、 NO_3^-/TA 、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{TA}$ ともに、PHに対してほとんど傾向がみだせなかった。

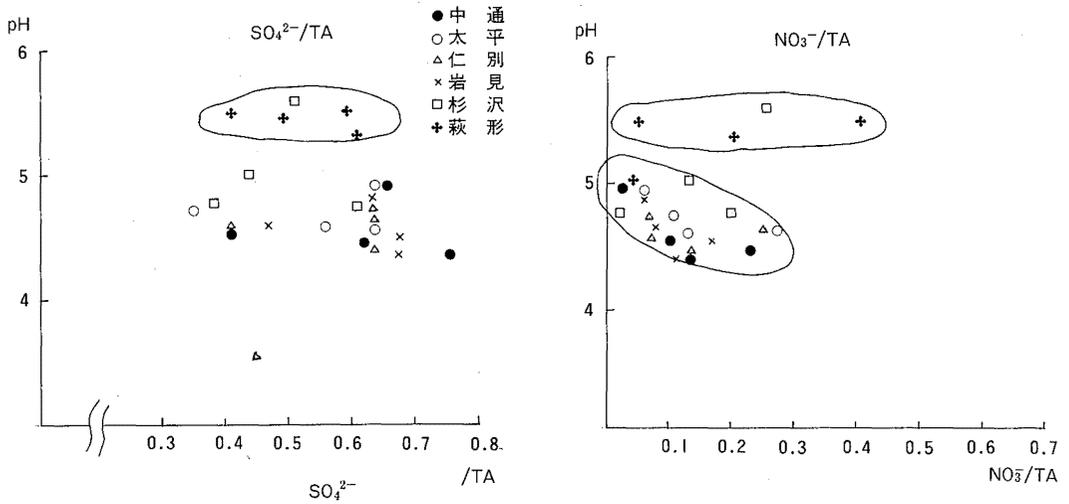


図-12 PHと SO_4^{2-} ・ NO_3^- /TAの関係

図-13、14には、 NH_4^+ と Ca^{2+} のPH低下の抑制効果を見るため、各イオンの当量濃度について、Total Anionに対する比とPHの関係を示した。 NH_4^+ については、PH5.0付近以外で弱い相関がみられる程度であるが、 Ca^{2+} では3試料を除くと、かなり明確な相関がみられた。

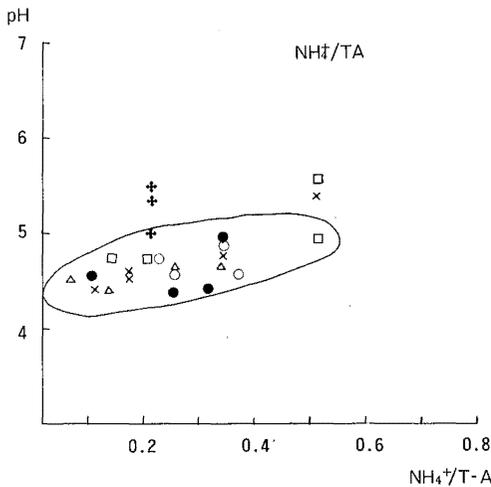


図-13 PHと NH_4^+ /TAの関係

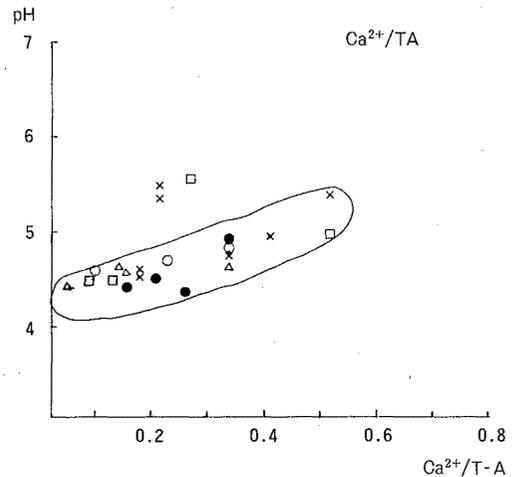


図-14 PHと Ca^{2+} /TAの関係

以上の雨水成分濃度の調査結果から、秋田市の市街地と後背地の雨水の酸性化の状況をまとめると前述のように、市街地側で雨水の酸性化の度合いが高く、山間部を越えた裏側の地域では、酸性化はあまり進んでいない状況であった。裏側の地域で酸性化があまり進んでいなかった要因

としては、PHの酸性化を抑制する Ca^{2+} 、 NH_4^+ の当量濃度が、市街地側より総体的に高くなっていることと、雨水の酸性化に寄与するといわれる SO_4^{2-} 、 NO_3^- の成分濃度が低くなっていることが考えられた。

また、市街地側での雨水の酸性化は、アニオンの濃度が高いことによるものと考えられるが、低いPH値の試料で NO_3^-/TA とPHに負の相関がみられることより、市街地側の雨水の酸性化には、 NO_3^- の寄与が大きいのではないかと推定された。

3. 3 雨水によるイオン成分降下量

(1) 地点ごとの降水量の比較

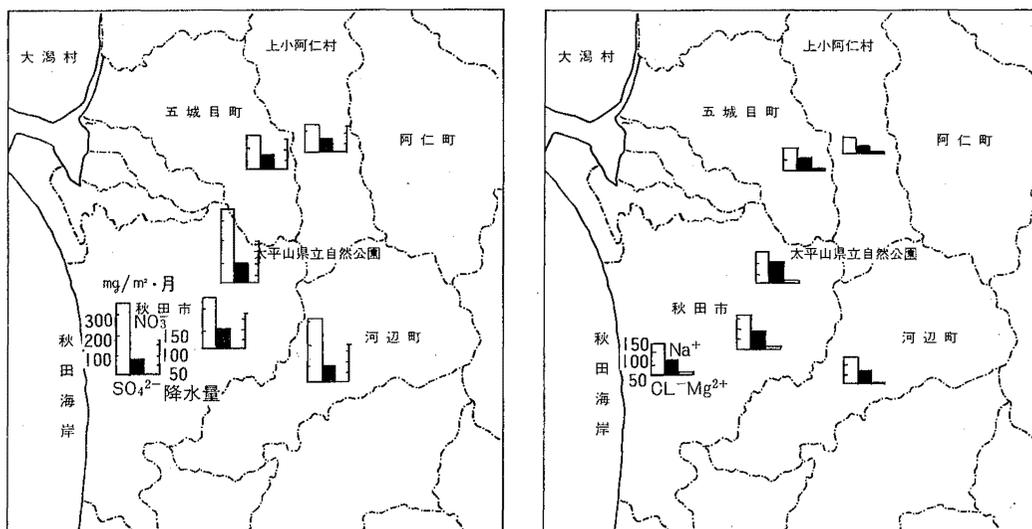
3. 2では、雨水中のイオン成分濃度と、雨水の酸性化の状況について検討してみた。ここでは、後背地の山間部が、県内において主要な森林資源地域となっていることから、杉などの生態系への影響が懸念されたため、雨水によってもたらされる湿性降下物中のイオン成分の量的把握を試みた。

図一15には、今回の調査期間中におけるイオン成分の降下量を示した。

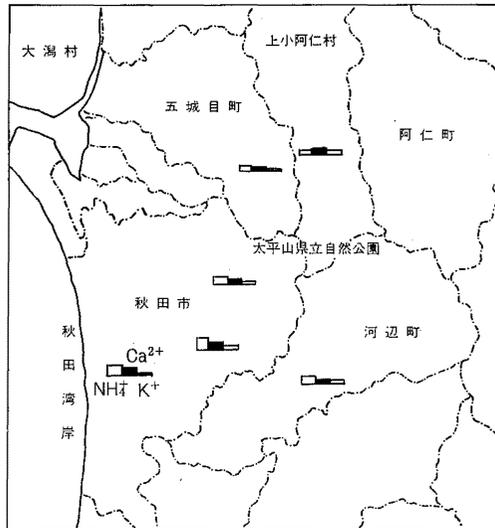
降水量は、最大が仁別の203mm、最小が萩形の129mmで、太平山の市街地側の山麓部と位置づけられる仁別、岩見が多く、裏側の地域となる杉沢、萩形地点で少なかった。

SO_4^{2-} の降下量は、市街地の中通と仁別で $359\sim 368\text{mg}/\text{m}^2$ を示し、杉沢、萩形地点の $138\sim 168\text{mg}/\text{m}^2$ の約1.4倍の降下量があった。

NO_3^- の降下量は、市街地に近い太平、仁別地点で $103\sim 105\text{mg}/\text{m}^2$ となっていたが、中通、岩見



図一15 降水量とイオン成分降下量



図一15

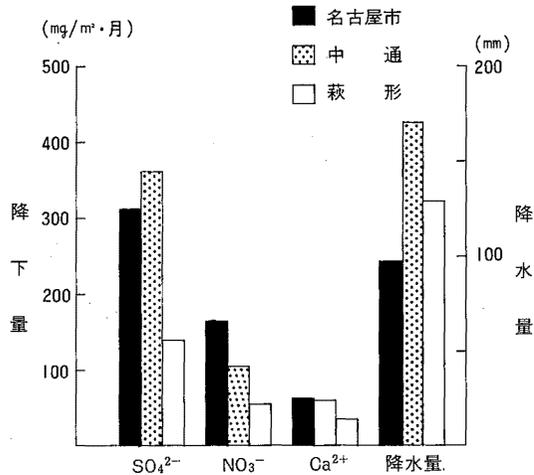
が85~92mg/m²、遠山間部の杉沢、萩形は53~54mg/m²と少なかった。

Cl⁻の降下量は、萩形が57mg/m²と最も少なく、他地点は杉沢の112mg/m²から、太平の170mg/m²の範囲であった。Cl⁻と同様、海塩由来といわれるNa⁺、Mg²⁺の降下量も地点ごとの傾向は類似しており、Na⁺は45~113mg/m²、Mg²⁺は7~14mg/m²であった。K⁺の降下量は16~23mg/m²で、地点間による差異が小さかった。

(2) 他県の降下量との比較

図一16には、昭和60年に名古屋市が今回の調査と同様な採取方法で実施した、イオン成分降下量の調査結果から、7月の結果を抜粋して中通、萩形地点と比較したものを示した。

降水量は、名古屋市の97mmに対し、中通が171mmで、中通が約1.5倍多かった。しかし、イオン成分降下量は、SO₄²⁻が中通で359mg/m²、名古屋市が310mg/m²で、中通が多くなっている他は、NO₃⁻、Ca²⁺とも名古屋市の方が多かった。また、遠山間部の萩形地点はSO₄²⁻、NO₃⁻、Ca²⁺とも、他地点より少なかったが、土壌の酸性化を抑制する効果を果たすCa²⁺量の差異が小さいことから、杉などの生態系への影響懸念が少なくなるものと考えられた。



図一16 他県の降下量との比較

まとめ

秋田市の後背地における雨水の酸性化の実態を把握するため、一週間単位の雨水を採取し、成分調査した結果、

1. 太平山に代表される山間部を境として、市街地側のPHの平均値が4.60~4.61と酸性化の度合いが高く、山間部を越えた裏側の地域ではPH5.05~5.35と、あまり酸性化が進んでいなかった。
2. ECと雨水成分濃度の平均値は、前年度の降雨順別の推移調査で、一定の値に収束する傾向を示したが、中通、仁別地点では、その収束値に近づくような値を示した。
3. イオン成分濃度では、アニオンの濃度は市街地側が高いが、カチオンは市街地中心部を除くと、市街地側と裏側の地域で差異が小さかった。
4. 各イオンの当量濃度とTotal Anion、Total Cationの当量濃度比から、市街地側でアニオン、裏側の地域でカチオンが総体的に高かった。また、PHとの相関からみて、アニオンではNO₃⁻がPH低下に寄与し、カチオンではCa²⁺がPH低下の抑制に主要に寄与しているものと推定された。
5. イオン成分の降下量は、市街地側が多く、裏側の遠山間部は総体的に少ない傾向を示した。また、市街地側と、裏側の地域では、裏側の地域でアニオンの降下量が小さいことと、カチオンの降下量の差異が小さいことから、今回の調査期間中に限って言えば、雨水による遠山間部の生態系への影響懸念は、市街地側より少ないものと考えられた。

参 考 文 献

- 1 信太穰 他、秋田市内における雨水成分の調査結果について（第1報） 昭和58年度秋田県環境技術センター年報
- 2 齊藤学、他、秋田市内における雨水成分の調査結果について（第2報） 昭和59年度秋田県環境技術センター年報
- 3 齊藤学 他、秋田市内における雨水成分の調査結果について（第3報） 昭和60年度秋田県環境技術センター年報
- 4 秋田地方气象台 秋田県気象月報 昭和60年7月号
- 5 北村守次 他 石川県における酸性雨調査（第2報） 1985年、石川県衛生公害研年報
- 6 渡辺善徳 他、降水成分に関する調査研究（Ⅶ）横浜市公害研究所 昭和62年大気汚染学会要旨集
- 7 大場和生 他、雨水採取法と降下量について 名古屋市公害研究所 昭和62年大気汚染学会要旨集