

秋田県における積雪による大気降水物の蓄積量分布について

井島 辰也 大畑 博正 成田 理

1 はじめに

酸性雨による生態系への影響については、pHの低い降水が直接原因となる場合と、積雪地帯にあっては、積雪中に蓄えられた降水成分が、融雪初期に一気に溶出してくることによる場合等がある。このうち後者は、いわゆるアシドショックとして知られ、pH緩衝能力の低い小規模な湖沼や河川での、水生生物等への影響が大きいとされる。

秋田県は特に冬期間の内陸山間部において、降雪として観測される降水量も多く、さらに内水面水産資源も豊富であり、アシドショックに対する関心は高い。そこで、県内全域の積雪中の酸性成分等を測定することにより、その蓄積量分布の実態を把握するため調査を実施した。

2 調査方法

2.1 調査期間

平成3年2月20日～3月6日

2.2 調査地点

秋田県は、図-1に示したように日本海に突き出た男鹿半島部分を除くと、東西80km、南北170kmのほぼ長方形の形をしている。これを10km四方の123メッシュに分割し、原則としてこのメッシュ内中央地点で、積雪試料の採取可能な117地点を選定して調査を実施した。調査地点の決定に際しては、車両通行可能な道路から200m以上離れた平坦地であること、周囲は一樣な積雪状態にあること、近隣に調査に影響を与えるような汚染源がな

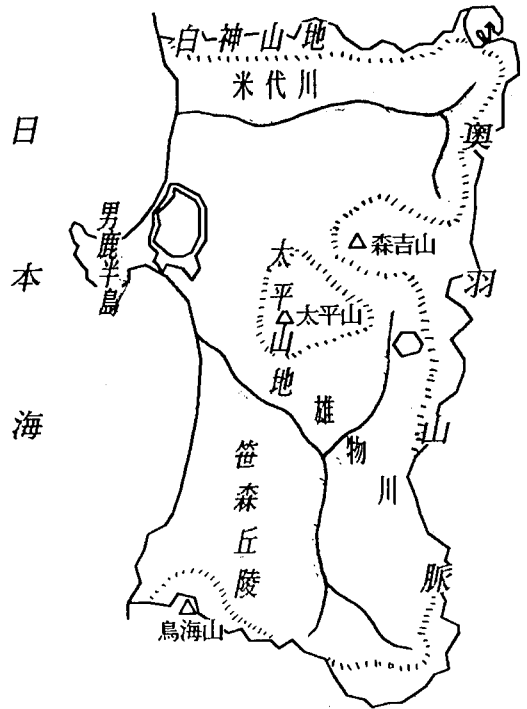


図-1 秋田県の地形図

いこと等に配慮した。調査地点を図-2に示した。

2.3 積雪試料の採取方法

調査地点で、コアサンプラー（内径20cm、長さ200cm、硬質塩化ビニル製）を垂直に打ち込み、地表面から5cmを除く積雪柱の全層を採取した。積雪柱中の層に異常があった場合は、採取地点を変えて採取し直した。採取した積雪柱は全量をポリエチレン製の袋に入れ、室温で融解した後、ポアサイズ0.8 μ m

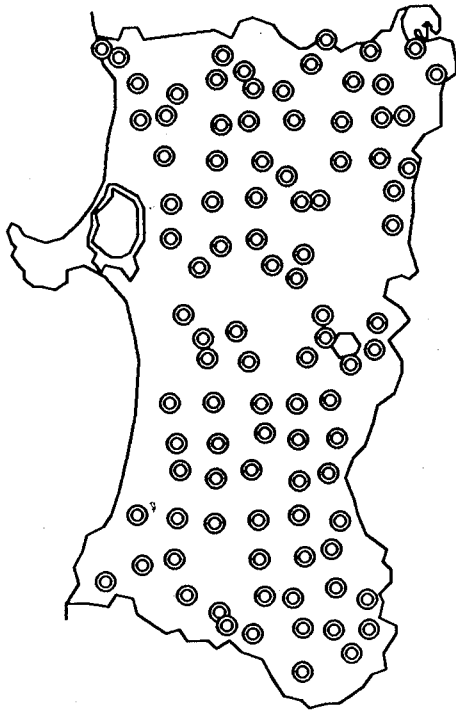


図-2 積雪柱採取地点

のメンブランフィルターでろ過し、成分濃度等測定用試料とした。

2. 4 調査項目

2. 3で得られた試料について、次の10項目を酸性雨等調査マニュアル¹⁾に準じて分析を行った。pH、EC、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+

3 調査結果及び考察

全調査地点117箇所のうち、95箇所調査に有効と思われる積雪柱を採取した。残りの地点は積雪が無いか、あるいは既に融雪後期状態にあり、本調査のための有効な積雪柱の採取ができなかった。

3. 1 成分濃度

全試料の基本統計量を表-1に、成分間の単相関を表-2に示した。

融雪水量は、概ね採取地点の標高に比例していた。pHの単純平均は5.05で、県内8カ所で採取された、平成2年度冬期間(12~3月)の1週間単位で採取した大気降水物の平均(以下、降水平均值という。)pH5.00と、ほぼ同程度であった。ECを始め、その他の成分濃度は降水平均值よりも低く、ばらつきも小さかった。

各成分間の相関をみると、降水の場合と同様に、海塩由来成分起源が大部分の Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 相互間で相関が高いほか、全般に各項目間相互の相関は良い。

3. 2 成分濃度の分布

測定地点の相対座標と濃度から、スプライン法により濃度コンターを描き、補完地点の積雪量データ等を考慮して調整し、地形図と重ね合わせるにより、成分濃度の分布を求めた。

3. 2. 1 融雪水量

融雪水量の分布を図-3に示した。

概ね採取地点の標高が高いほど融雪水量が多く、太平山及び森吉山周辺部、鳥海山麓、県南部の奥羽山脈沿いの地点で特に多くなっている。沿岸部は既に融雪が終了しており、米代川及び雄物川中流域の内陸部も融雪水量は少なかった。

3. 2. 2 pH

pHの分布を図-4に示した。

鳥海山東麓に連なる地域や、県南部の奥羽山脈沿いの地点で低く、内陸部の人口集中地域周辺で高くなっている。これは人口集中地域での住民の様々な活動により、pHを高める成分が周辺へ排出された結果と思われる。

表-1 融雪水中成分濃度の基本統計量

	融雪水量 ml	pH	EC μS/cm	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
最大	21,970	5.96	55.8	3.14	0.78	10.52	5.28	0.21	0.55	0.66	0.31
最小	1,600	4.72	12.3	0.69	0.13	1.90	0.87	0.01	0.08	0.11	0.01
単純平均	9,200	5.05	29.7	1.59	0.42	4.84	2.44	0.08	0.23	0.32	0.11
標準偏差	4,780	0.22	10.5	0.56	0.13	1.95	0.98	0.04	0.09	0.13	0.06
降水平均		5.00	70.1	4.24	1.04	12.9	7.19	0.35	1.33	0.99	0.48

表-2 積雪融水成分間の単相関

成分	融雪水量	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
融雪水量											
pH	** -0.464										
EC	** 0.338	** -0.609									
SO ₄ ²⁻	** 0.362	** -0.612	** 0.962								
NO ₃ ⁻	** 0.302	** -0.429	** 0.741	** 0.813							
Cl ⁻	* 0.211	** -0.460	** 0.963	** 0.936	** 0.714						
Na ⁺	* 0.247	** -0.478	** 0.972	** 0.943	** 0.714	** 0.996					
K ⁺	0.149	* -0.233	** 0.825	** 0.814	** 0.683	** 0.877	** 0.879				
Ca ²⁺	0.027	0.191	** 0.499	** 0.520	** 0.610	** 0.570	** 0.569	** 0.667			
Mg ²⁺	** 0.272	** -0.498	** 0.971	** 0.951	** 0.726	** 0.985	** 0.990	** 0.866	** 0.577		
NH ₄ ⁺	0.014	-0.067	** 0.529	** 0.548	** 0.514	** 0.590	** 0.582	** 0.575	** 0.396	** 0.550	

注) * 危険率5%で有意、** 危険率1%で有意

また、住民の活動地域から離れた地域でも、pH の高い地域が散見されている。

3. 2. 3 陰イオン成分

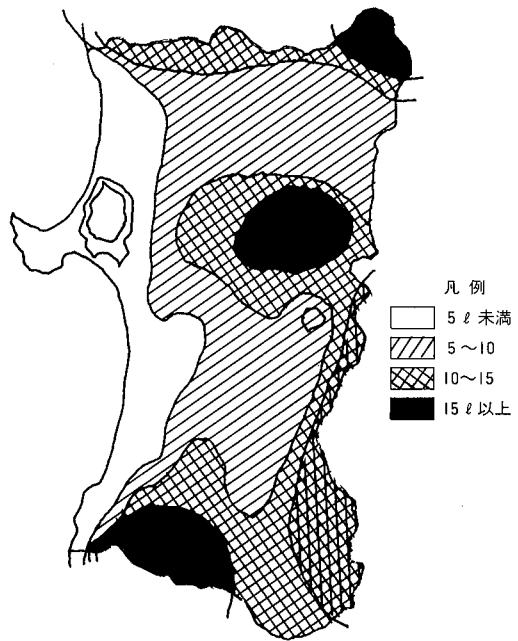
SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、及び Cl^- の濃度分布を図 5～7 に示した。

何れの成分も県南東部の山間地域が低く、中央の奥羽山脈沿いや森吉山周辺地域で高い。また、雄物川中流域平野部西側で高く、田沢湖南部の玉川流域の平地で低い地域があるなど、全体的に良く似た分布を示している。 Cl^- では、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- が白神山地に連なる山域でもやや高い地域があるのに比べ、これが現れていないのが特徴的である。これは、季節風がこれらの山で遮られるほか、河川に沿った内陸風の影響も少なく、風送による海塩粒子の影響が少ないためと考えられる。

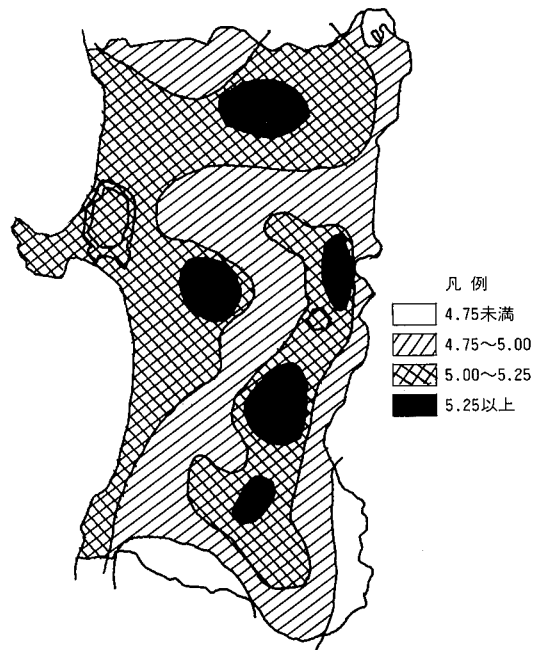
3. 2. 4 陽イオン成分

Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及び NH_4^+ の濃度分布を図 8～12 に示した。

NH_4^+ をのぞき、陰イオン成分と同様に何れの成分も県南東部の山間地域が低く、中央の奥羽山脈沿いや森吉山周辺地域で高い。また、雄物川中流域平野部西側で高く、田沢湖南部の玉川流域の平地で低い地域があるなど、全体的に良く似た分布を示している。 Na^+ については、 Cl^- と極めて良く似た分布を示している。 NH_4^+ の高い地域は、内陸の比較的人口が集中している地域の周辺に限られている。



図一 3 融雪水量の分布



図一 4 pH の分布

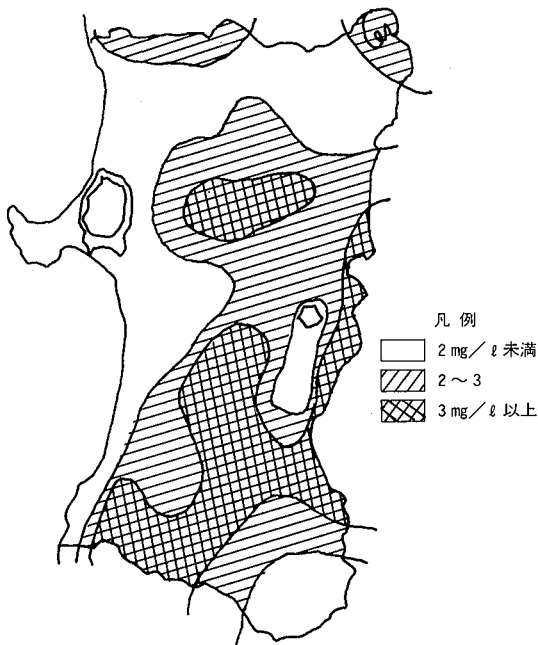


図-5 SO₄²⁻濃度の分布

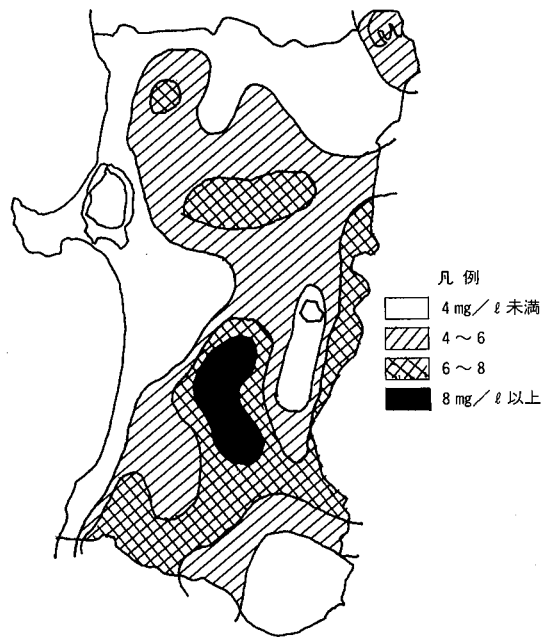


図-7 Cl⁻濃度の分布

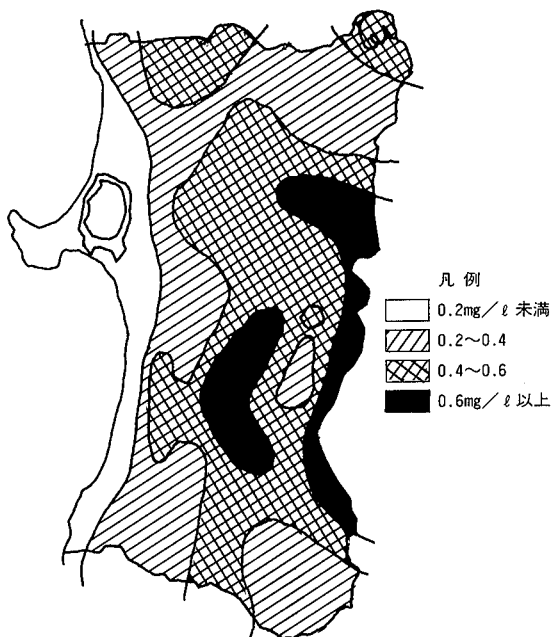


図-6 NO₃⁻濃度の分布

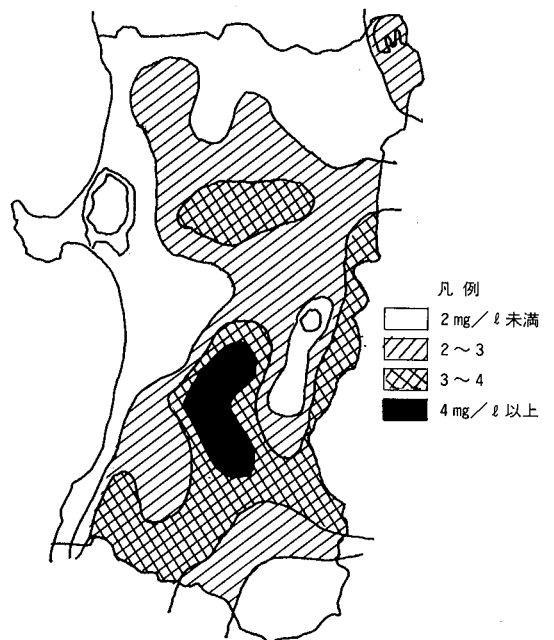


図-8 Na⁺濃度の分布

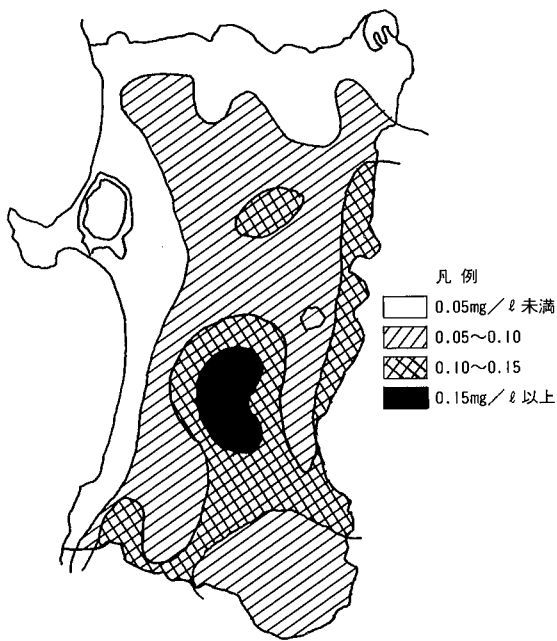


図-9 K⁺濃度の分布

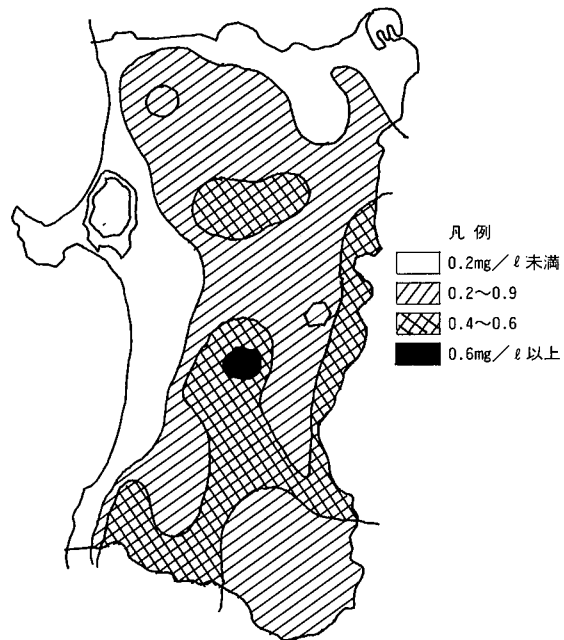


図-11 Mg²⁺濃度の分布

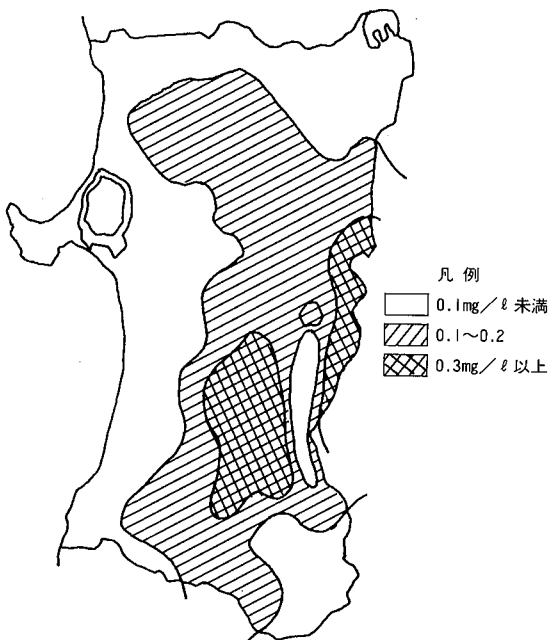


図-10 Ca²⁺濃度の分布

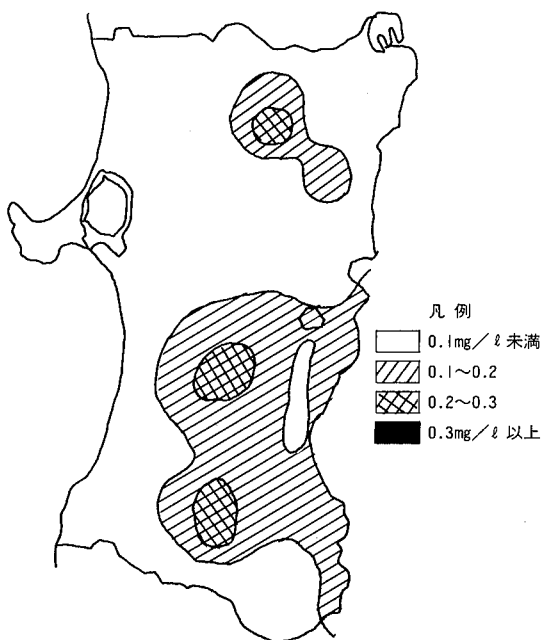


図-12 NH₄⁺濃度の分布

3. 2. 5 成分当量濃度による検討

試料中の各成分当量濃度を素データとし、ウォード法によるクラスター解析を行ったところ、図-13に示したデンドログラムのように、大まかにI~IVの4つの群に分けることができた。

これらの群に属する調査地点の、群平均当量濃度及び群平均当量濃度比を図-14、15に示した。群平均当量濃度は、各成分とも第I群から第IV群にシフトするのに従い順次増加しており、第IV群の総当量濃度は第I群の約3倍となっている。当量濃度比は各群間にほとんど変化はなく、僅かに Na^+ 及び Cl^- の構成比率が、第I群から第IV群にシフトするのに従い増えている程度である。

各調査地点毎の群属性を図-16に示した。各群共、各々複数の調査地点が集団を形成して散在しているが、特に第IV群は、雄物川中流域平野部西側に集中している。また、第III群も森吉山周辺及び鳥海山から北東側一帯に集まっている。

3. 3 成分蓄積量の分布

H^+ 、非海塩由来の SO_4^{2-} (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割合を求め、降水成分濃度から差し引いたもの。以下 nssSO_4^{2-} と記す。)、 NO_3^- 、非海塩由来の Ca^{2+} (Na^+ を全て海塩由来とみなし、海水中の Na^+ と Ca^{2+} との比から海塩由来の割合を求め、降水成分濃度から差し引いたもの。以下 nssCa^{2+} と記す。)及び NH_4^+ の蓄積量の分布を図-17~21に示した。

H^+ は、米代川及び雄物川流域平地部で降水量が少なく、鳥海山東麓、中央の奥羽山脈沿い及び森吉山周辺地域で多い。 nssSO_4^{2-} 及び NO_3^- についても、ほぼ H^+ と同様の分

布を示している。

nssCa^{2+} は、県南内陸部、森吉山及びその南東部周辺で多い。 NH_4^+ は、内陸山間地域でやや多く、県南部に降水量の多いスポットが見られる。

その他の成分蓄積量は、概ね融雪水量の分布に良く似ており、成分濃度の違いよりも、融雪水量の多少により支配されている傾向が強い。

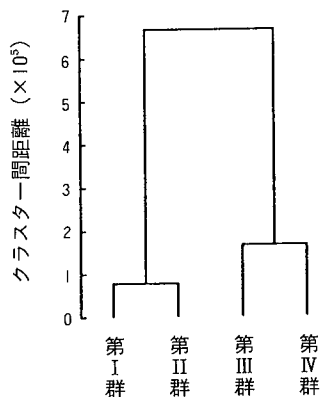


図-13 クラスターデンドログラム

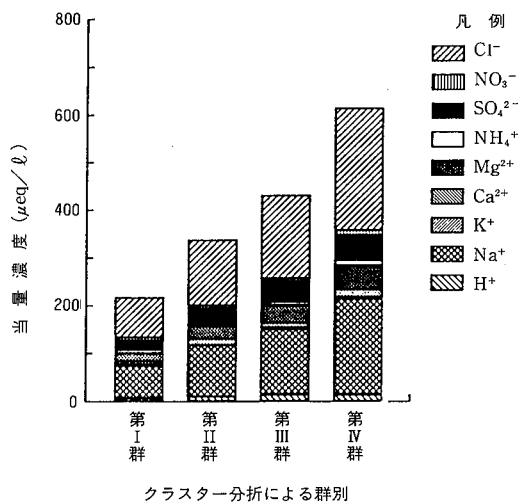
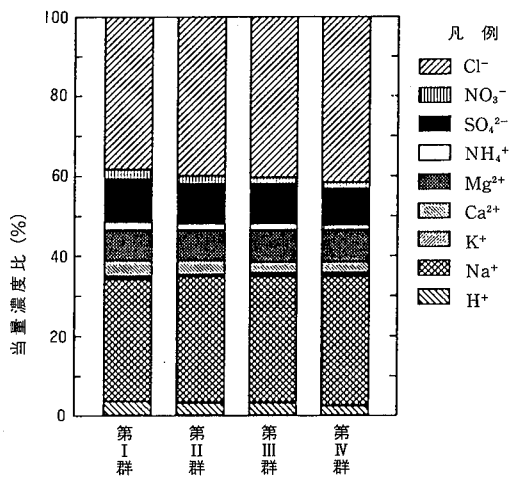


図-14 群平均当量濃度



クラスター分析による群別

図-15 群平均当量濃度組成比

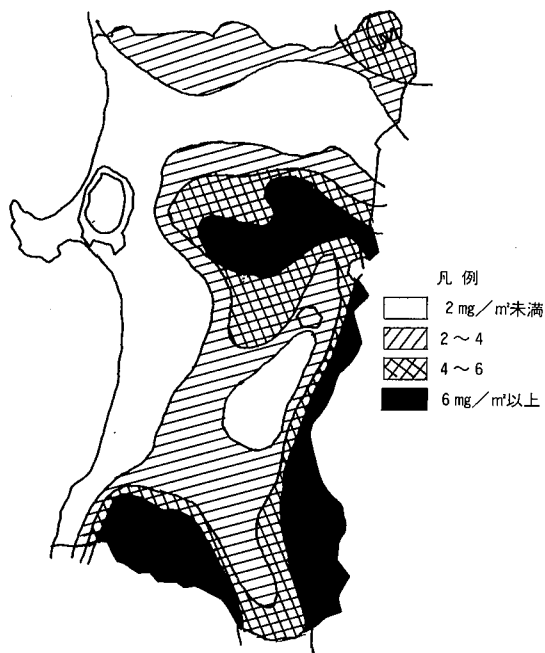


図-17 H⁺蓄積量の分布

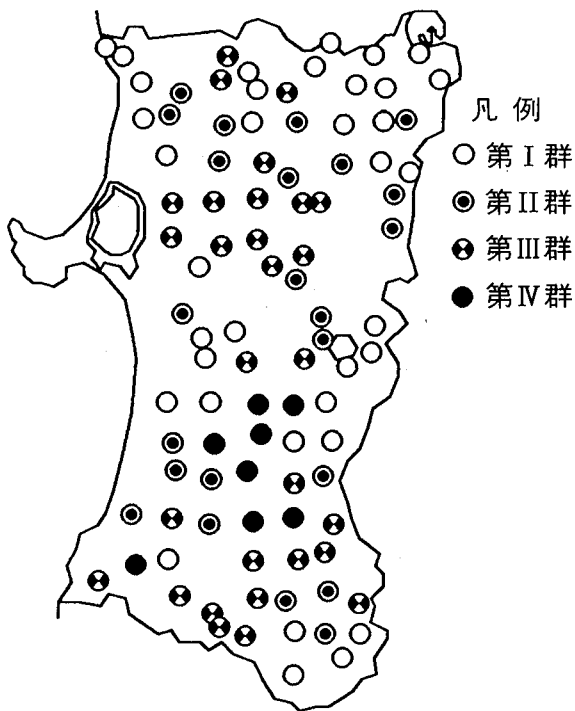


図-16 調査地点の属性

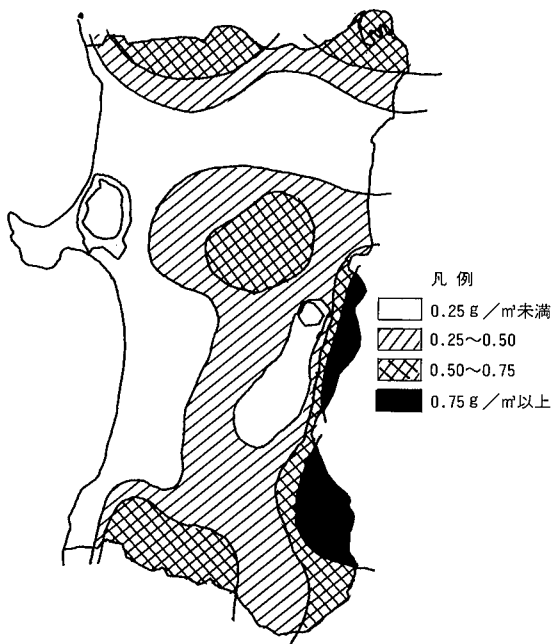


図-18 nssSO₄²⁻蓄積量の分布

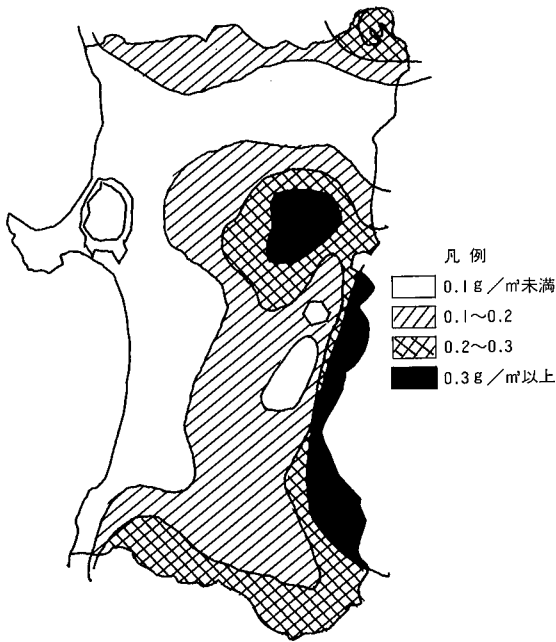


図-19 NO₃蓄積量の分布

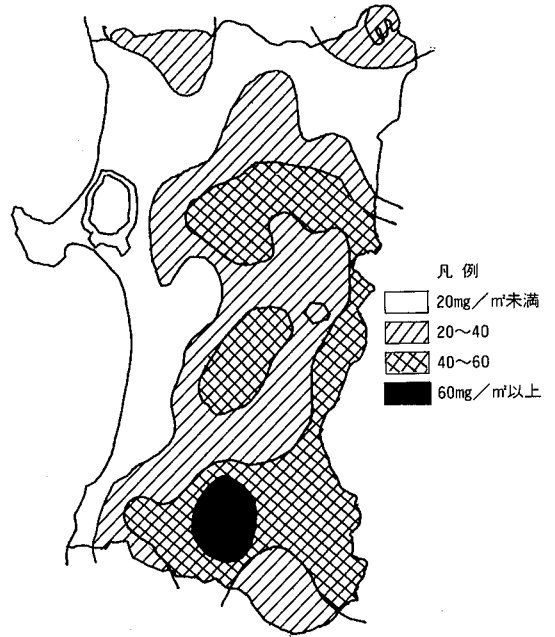


図-21 NH₄⁺降水量の分布

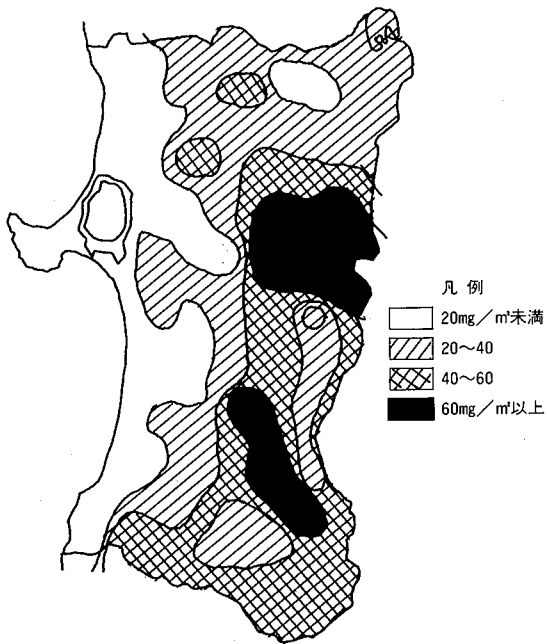


図-20 nssCa²⁺蓄積量の分布

3. 4 積雪中の蓄積量と降雪による降水量の関係

降雪は、気温や地温の熱的影響により融解し、その地点から流出することになる。降雪が繰り返され、気温と地温が十分低く、降雪量が熱による流出量よりも上回るようになると、積雪となって積み重ねられていく（いわゆる根雪）。図-22に、冬期間における日積雪量（深さ）²⁾の変化を示した。自身の凝縮による積雪量の変化を考慮しなければならないが、融解、蒸発等による減量と、降雪による増量とを繰り返しているのがわかる。

本県では、この時期県内8ヵ所で大気降下物を観測しており、このうち大曲及び鷹巣地点が根雪となった時期から、本調査実施時期までの総降水量と、観測地点に近接した地点

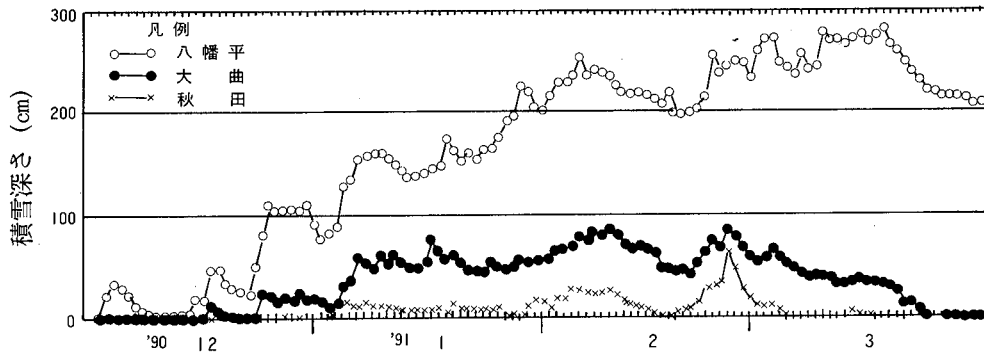


図-22 日積雪量の変化

表-3 大気降下物量と積雪柱中の蓄積量

地域 区分	降水量	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	総イオン量
	×10 ³ ml	mg/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³	mg/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³
降下物	40	4	1.2	0.32	3.5	2.0	95	0.26	0.26	0.19	7.8
大曲 積雪柱	5.7	1	0.38	0.11	1.3	0.66	28	0.10	0.09	0.03	2.7
残存率(%)	14	25	31	34	37	33	29	38	35	16	35
降下物	39	3	1.2	0.26	3.6	2.1	120	0.32	0.29	0.12	8.0
鷹巣 積雪柱	3.9	1	0.10	0.04	0.28	0.13	2	0.02	0.02	0.05	0.59
残存率(%)	10	33	8	15	8	6	2	6	7	42	7

における積雪柱の蓄積量を表-3に示した。

齋藤らの実験によると、積雪柱の成分は、融雪率（積雪柱全量を融解した場合の水量に対する、外部との熱交換により溶出する水量の割合。）が20~25%で、積雪柱に含まれる全成分のおよそ50%が溶出するとされている。表に示したとおり、採取された積雪柱中の成分蓄積量は、降雪全量中の成分量に比較して、2~42%程度の残存率でしかなく、自然界中においてもすでに融雪開始時期には、降雪等による降雪量の大部分が積雪中には存在しないことが確認された。

大気降水物観測地点は平野部で、山間部に比較して積雪量も少なく、気象的イベントの影響も山間部よりも受け易いことを考えると、この溶出割合を山間地域にそのまま適用はできないと考えられ、調査時点での蓄積量の分布から見ても、山間地域での総合的な酸性物質等の負荷は大きいものと考えられる。

4 まとめ

調査範囲が広域で、調査期間がおよそ2週間に及び、この間の降雪や融雪による蓄積量の変化には、十分対応できなかったが、秋田県内全域に渡り選定した調査地点95箇所積雪柱を採取し、積雪柱の酸性成分等の蓄積量を調査した範囲で、次のことが明らかになった。

- (1) 融雪水中の成分濃度の分布は、一部の成分をのぞき、陰イオン及び陽イオンの何れの成分も県南東部の山間地域が低く、中央の奥羽山脈沿いや森吉山周辺地域で高いなど、全体的に良く似た分布を示していた。
- (2) 積雪柱中の成分蓄積量の分布については、概ね融雪水量の分布に良く似ており、

成分濃度の違いよりも、融雪水量の多少により支配されている傾向が強かった。

- (3) 積雪中の蓄積量と降雪による降雪量との関係では、採取された積雪柱中の成分蓄積量は、降雪全量中の成分量に比較して、4~37%程度の残存率であった。

参 考 文 献

- 1) 酸性雨等調査マニュアル（改訂版）：平成2年3月，環境庁大気保全局
- 2) 秋田県気象月報：平成2年12月～平成3年3月，秋田地方気象台
- 3) 齋藤 学ほか：本報，No.17，65（1989）

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

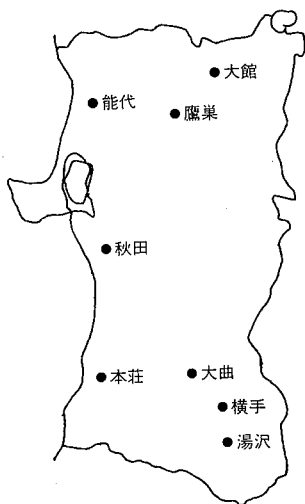
1 はじめに

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

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。

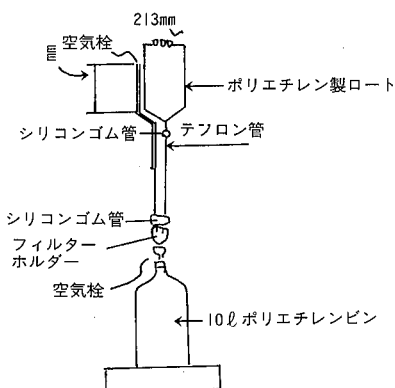
2.3 採取方法

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。

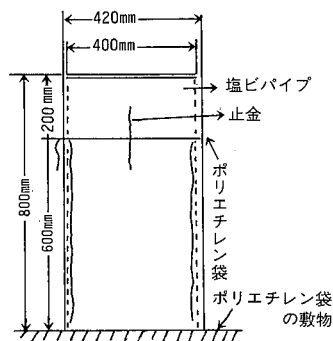
2.4 調査項目

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



図一2 ろ過式採取器



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

表一1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。表一2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

表一3及び図一4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

表一1 基本統計量

	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

n=96
イオン濃度単位:(mg/l)

表一2 相関行列

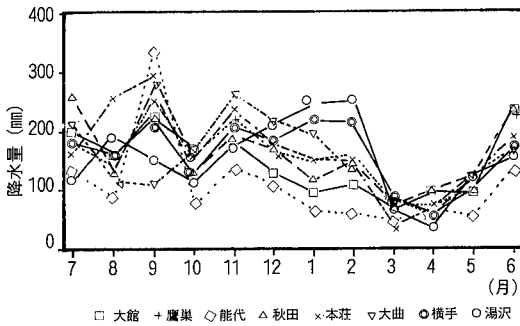
降水量	降水量	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
降水量	1										
pH	-0.479**	1									
EC	-0.185	0.177	1								
SO ₄ ²⁻	-0.339**	0.234*	0.923**	1							
NO ₃ ⁻	-0.566**	0.340**	0.403**	0.661**	1						
Cl ⁻	-0.102	0.129	0.974**	0.852**	0.260*	1					
Na ⁺	-0.104	0.126	0.977**	0.849**	0.256*	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

n=96 * 危険率5%で有意 (r=0.2010)
** 危険率1%で有意 (r=0.2615)

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
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カテゴリ、(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カテゴリ。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、ワ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

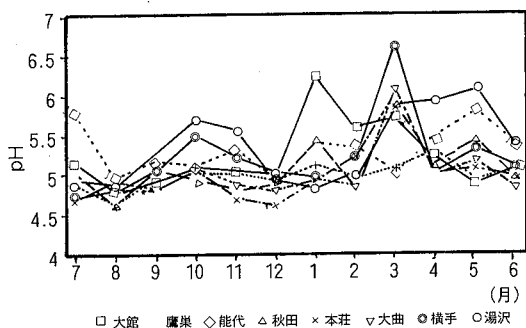


図-5 地点別、月別pHの推移

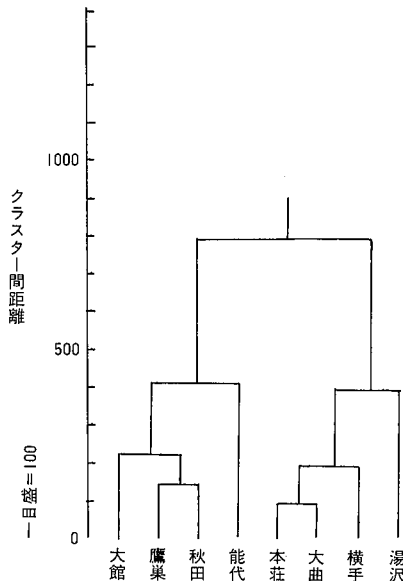


図-7 pHのクラスター分析結果(2)

水素イオン濃度比 (%) による

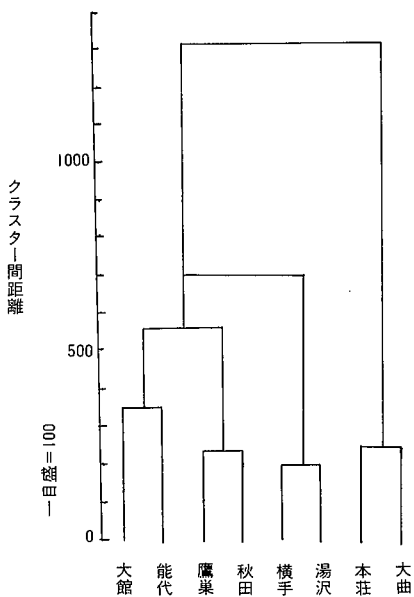


図-6 pHのクラスター分析結果(1)

水素イオン濃度による

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。

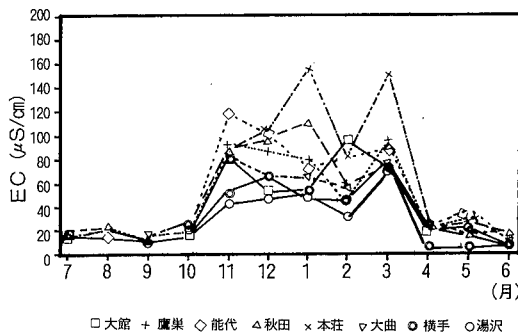
表一5 地点別、月別EC

(単位; μ S/cm)

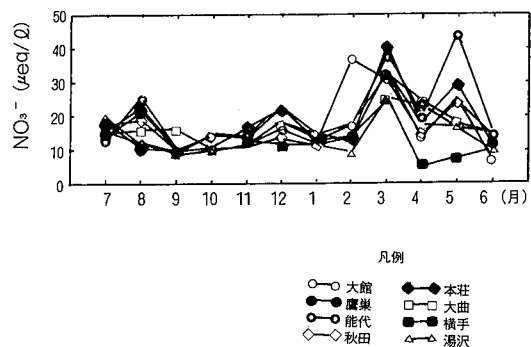
月 地点	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	平均
大館	11.9	21.3	10.2	14.7	81.6	54.1	54.4	96.4	75.3	19.2	23.5	7.6	29.4
鷹巣	14.4	20.7	10.0	15.0	92.9	87.0	80.7	46.1	96.9	21.4	31.8	11.4	41.7
能代	11.7	24.0	9.0	21.7	118.7	100.9	72.8	82.1	90.1	22.5	39.7	12.4	42.2
秋田	20.5	22.2	11.5	28.8	88.3	97.0	112.4	60.1	75.9	21.1	28.2	19.0	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 S/cm	ECcal n S/cm	EC _o /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

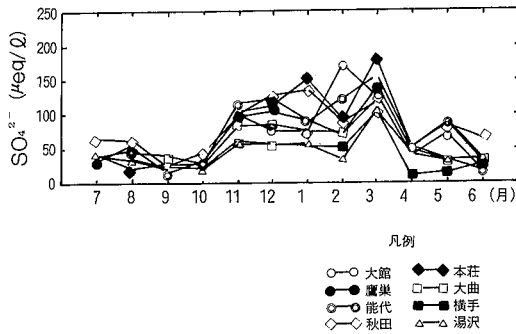


図9-2 SO₄²⁻の濃度推移

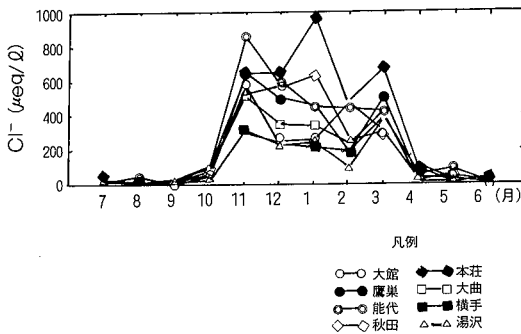


図9-3 Cl⁻の濃度推移

塩由来とみなし、海水中のNa⁺とSO₄²⁻との比から、海塩由来のSO₄²⁻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。

nssSO₄²⁻とSO₄²⁻の当量濃度比の月変化を図-10に示した。

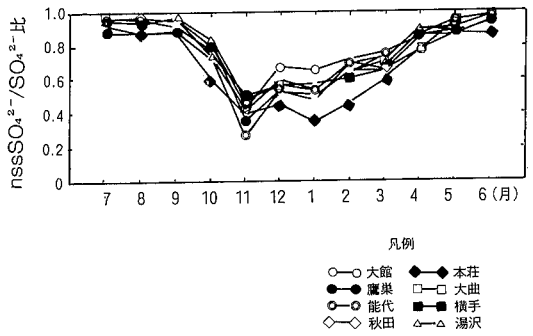


図-10 nssSO₄²⁻/SO₄²⁻比

NO₃⁻については、年平均では能代(16.8 μeq/l)、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。

SO₄²⁻については、年平均では秋田(76.8 μeq/l)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SO₄²⁻ (降水中のNa⁺を全て海

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SO₄²⁻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(286μeq/l)

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 $100\mu\text{eq/l}$ 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^- 比が海水中のものとよ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。

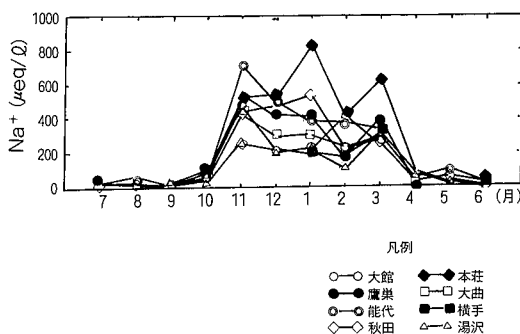


図-11-1 Na^+ の濃度推移

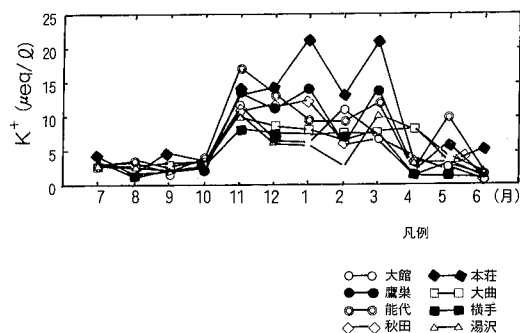


図-11-2 K^+ の濃度推移

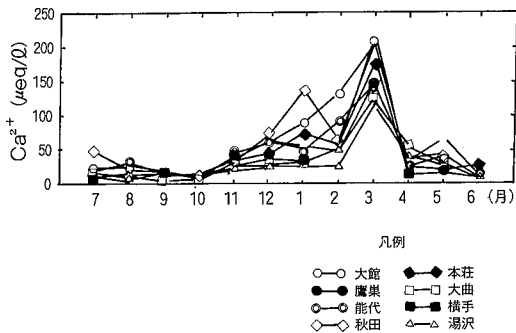


図-11-3 Ca^{2+} の濃度推移

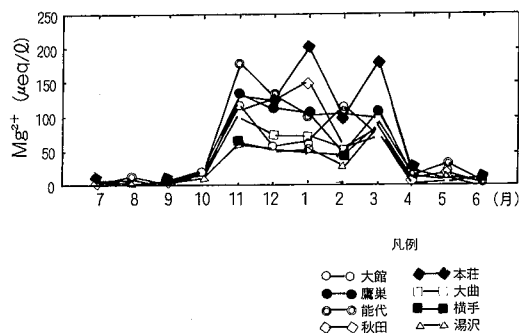


図-11-4 Mg^{2+} の濃度推移

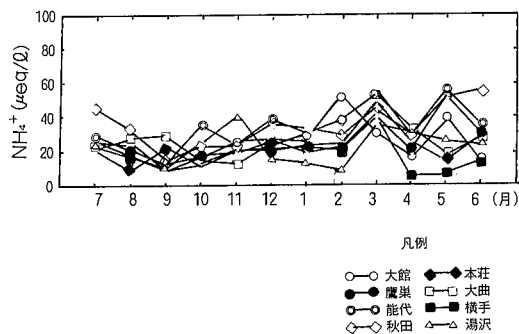


図-11-5 NH_4^+ の濃度推移

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。

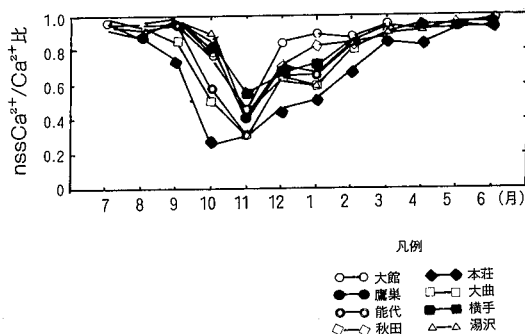


図-12 nssCa²⁺/Ca²⁺の比

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。

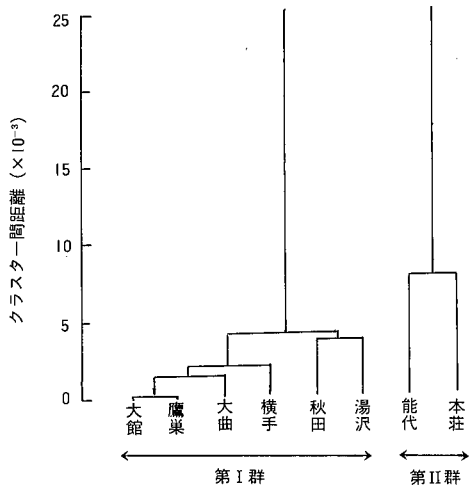


図13-1 デンドログラム (夏期)

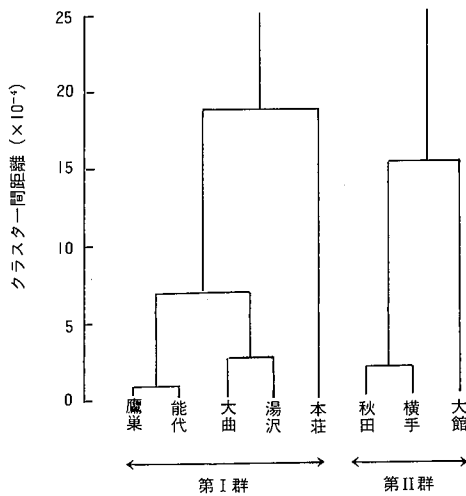


図13-2 デンドログラム (冬期)

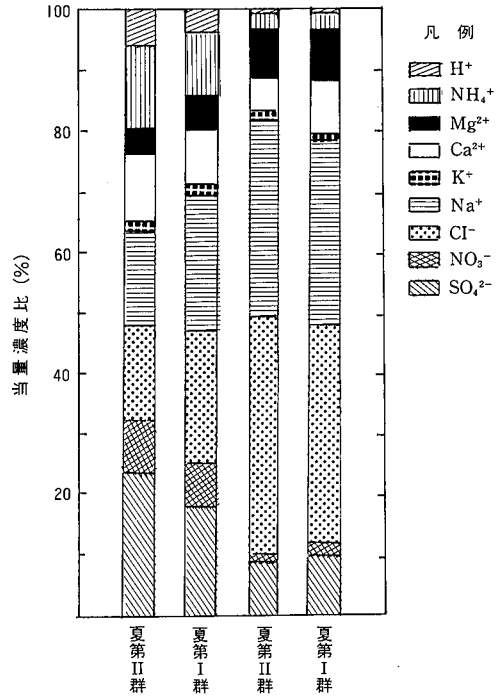


図-14 イオン当量濃度比 (地点平均)

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Ca²⁺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

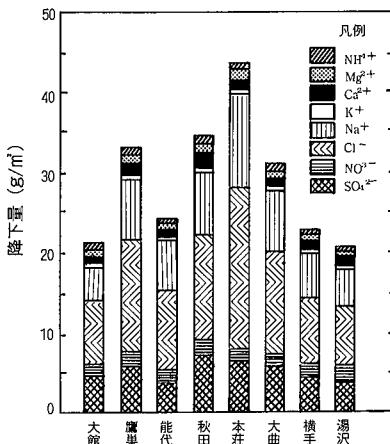


図-15-1 年間総イオン降下量

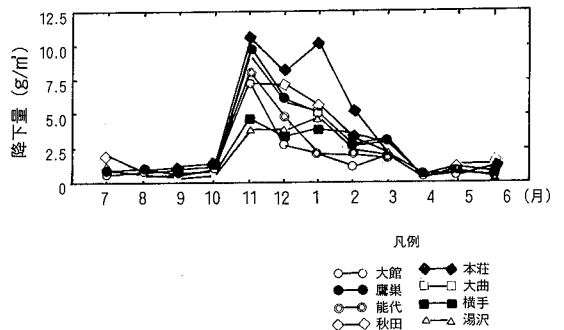


図-15-2 総イオン降下量の推移

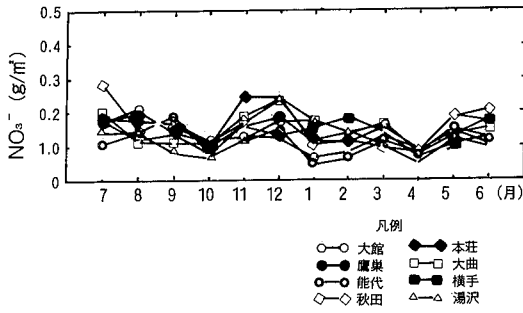


図-15-3 NO₃⁻の降下量推移

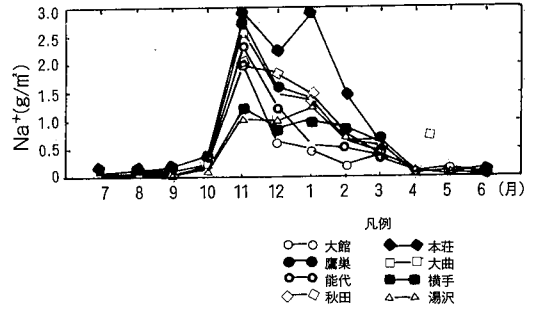


図-15-7 Na⁺の降下量推移

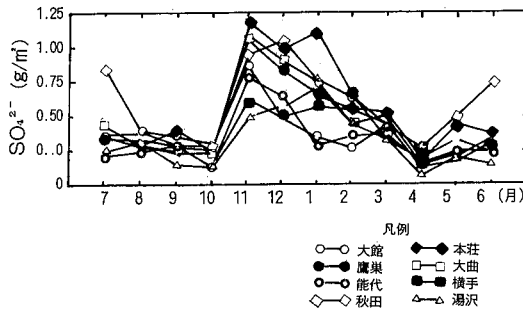


図-15-4 SO₄²⁻の降下量推移

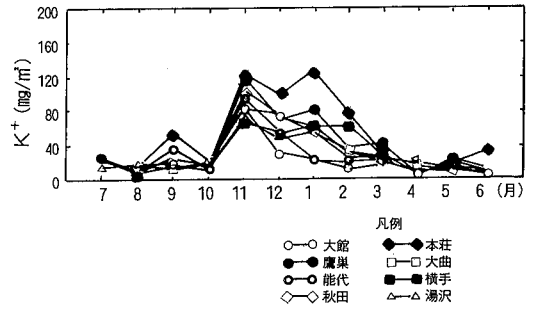


図-15-8 K⁺の降下量推移

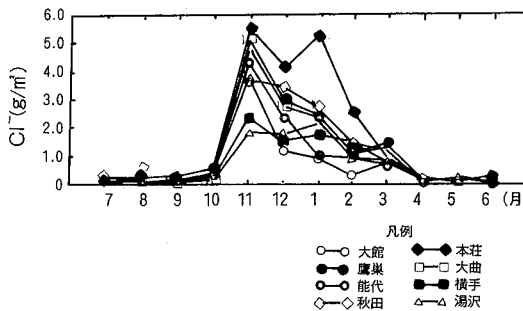


図-15-5 Cl⁻の降下量推移

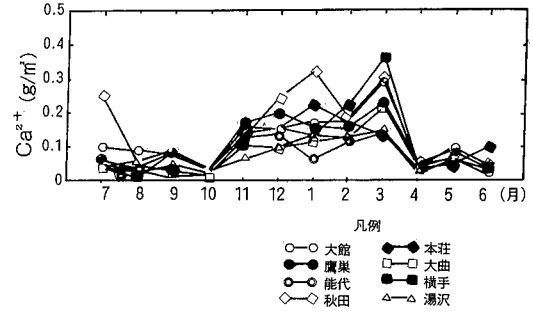


図-15-9 Ca²⁺の降下量推移

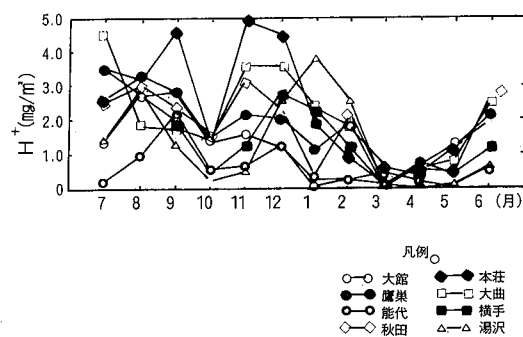


図-15-6 H⁺の降下量推移

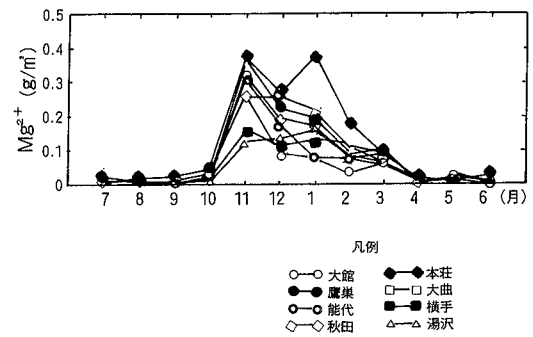
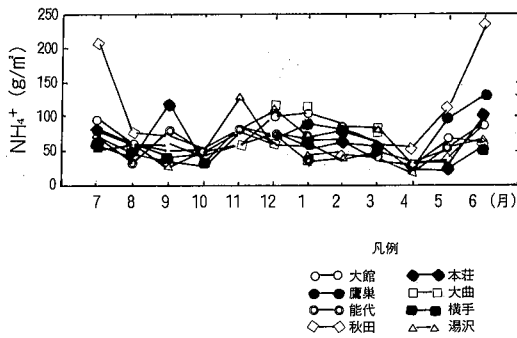


図-15-10 Mg²⁺の降下量推移



図一15—11 NH₄⁺の降下量推移

降下量は本荘が43.77 g/m²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/m²、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

NO₃⁻については、年間総降下量では最高が秋田(1.99 g/m²)、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。

SO₄²⁻については、年間総降下量では秋田(7.21 g/m²)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/m²)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/m²)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/m²)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/m²)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。

Ca²⁺については、年間総降下量では秋田(1.83 g/m²)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。

Mg²⁺については、年間総降下量では本荘(1.47 g/m²)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。

NH₄⁺については、年間総降水量では秋田(1.22 g/m²)が多く、他の地点は0.66~0.83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Z₁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Z₁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Z₂で符号が正を示すものはCl⁻、Na⁺、K⁺、Mg²⁺、符号が負のものはSO₄²⁻、NO₃⁻、Ca²⁺、NH₄⁺だった。H⁺は夏期と冬期で符号が異なる。

Cl⁻、Na⁺、K⁺、Mg²⁺は海塩性由来の成分、SO₄²⁻、NO₃⁻、Ca²⁺、NH₄⁺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。

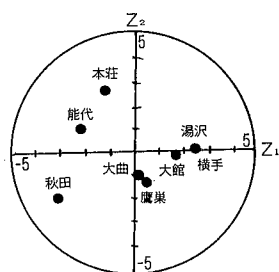
また、第2主成分までの累積寄与率は冬期が85.91%で夏期が77.59%と、全体の情報の約80%が第2主成分までで説明できる。

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、Z₁、Z₂のスコアを求

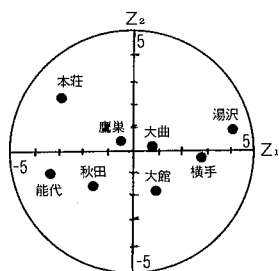
表-9 主成分分析結果

	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		
夏期	変数	固有ベクトル		因子負荷量	
		Z 1	Z 2	Z 1	Z 2
	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

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

八郎潟干拓地における高濃度リンの発生源に関する研究

片野 登 小林 裕 加藤 潤
組谷 均 久米 均

1 はじめに

近年、湖沼の水質汚濁が社会的にも大きな問題となっている。平成2年度の公共用水域水質調査結果によれば、河川と海域の環境基準の達成率は、それぞれ約74%、約78%であるのに対して、湖沼の環境基準の達成率は44.2%と低い水準にとどまっている。

八郎潟はかつて琵琶湖に次ぐ日本第2の水面積を有していたが、昭和32年からの干拓事業によりその約8割の17,239haが干拓され、4,564haの水面が東・西承水路及び調整池として残った¹⁾。これらを現在八郎湖と称している。

八郎湖の汚濁が叫ばれて久しい。八郎湖のCODは、平成2年度は湖心で3.4~5.4mg/l、平均が4.6mg/lで環境基準値3.0mg/lの約1.5倍になっている。その浄化に向けては、周辺2市11町村が県とタイアップしてクリーンアップ作戦を展開するなどしているが、効果は目に見える程には上がっていない。

県は昭和55年から『八郎湖汚濁機構解明調査』をスタートさせ、この浄化問題に取り組んできた。更に平成2年度からは、専門家による『八郎湖技術検討委員会』を設置し、抜本的な対応策を探るために技術的な検討を始めている。

八郎潟干拓地において使用される農業用水は、干拓地周辺に設置されている19カ所の用水取水ポンプによって八郎湖から取水され、田面で使用された後は小排水路、中排水路を

経て干拓地中央に位置する幹線排水路に集水され、幹線排水路の両端に設置されている南・北両排水機場から再び八郎湖へと排出される(図-1)。灌漑期には、八郎湖の水は干拓地で循環的に使用される。

この南・北両排水機場の水質を比較した時、全リン(T-P)の濃度に著しい差があることについては既に指摘がある¹⁾。CODは、昭和57年度から61年度までの平均値で、南部排水機場8.7mg/lに対して北部排水機場8.5mg/l、全窒素はそれぞれ1.73mg/lと1.49mg/lでほぼ同程度の濃度であるが、T-Pでは南部0.45mg/lに対して北部0.14mg/lとほぼ3倍、リン酸態リン($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)にいたって

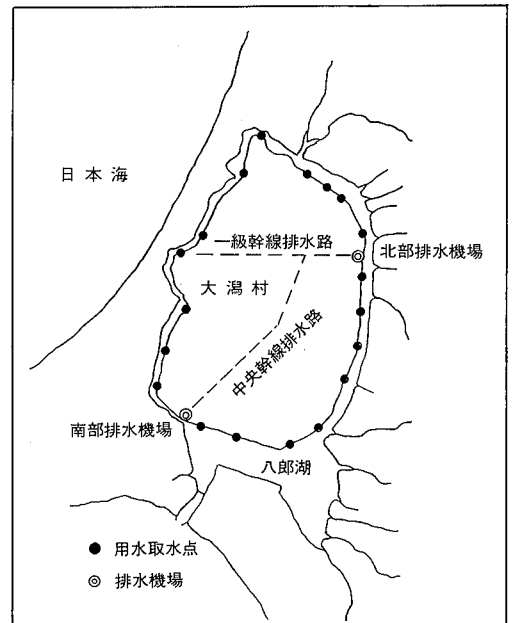


図-1 八郎潟干拓地

表-1 水質の分析方法

項 目	分 析 方 法
導 電 率	JIS K 0102 42.2
pH	JIS K 0102 12.1 (ガラス電極法)
SS	環境庁告示 付表 6
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	オートアナライザー法 (JIS K 0102 42.2 に準拠)
$\text{NO}_2^-\text{-N}$	オートアナライザー法 (上水試験方法 19.2 に準拠)
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	オートアナライザー法 (JIS K 0102 43.2.3 に準拠)
T-N	オートアナライザ法 (JIS K 0102 45.2 に準拠)
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	オートアナライザー法 (JIS K 0102 46.1.1 に準拠)
T-P	オートアナライザー法 (JIS K 0102 43.3.1 に準拠)
Cl^-	イオンクロマト法
Na^+	環境測定法註解 44.2 (原子吸光法)
Ca^{2+}	環境測定法註解 45.2 (原子吸光法)
Mg^{2+}	環境測定法註解 46.2 (原子吸光法)
SO_4^{2-}	イオンクロマト法

は、南部0.33mg/ℓに対して北部0.05mg/ℓと、6倍以上南部排水機場の濃度が高くなっている。

中央幹線排水路において、南の橋地点から南部排水機場にかけてリン濃度が高くなること、この原因として南の橋地点から南部排水機場の間で幹線排水路に流入する支線排水路LD-G 1(右3中排水路)、LD-H 3(左1中排水路)、特にLD-G 1のリン濃度が高い事については、既に報告した²⁾。

このリン濃度が高くなる原因を明らかにするために、LD-G 1とLD-H 3の2つの排水路を中心に水質調査を行った。なお、対照として、LD-F 1排水路の水質を調査した。

更に、LD-G 1に流入する水路LD-G1-1の水質の調査を行ったので、併せて報告する。

2 支線排水路の水質調査

2.1 調査地点及び分析方法

調査地点を図-2に示す。試料は2ℓ容量の瓶に採取し、実験室に持ち帰って分析した。分析の方法は、表-1に示す。

2.2 結果及び考察

調査は、平成2年4、5、7、8月に行った。T-PについてはLD-G 1(11)で0.70~1.7mg/ℓ、平均濃度が1.15mg/ℓ、LD-H 3(7)では0.44~1.5mg/ℓ、平均濃度が

0.78mg/ℓで、対照であるLD-F 1(14)の0.07~0.70mg/ℓ、平均濃度0.27mg/ℓと比較して著しく高い濃度を示した。また、LD-G 1に流入する水路LD-G1-1(17)の平均濃度1.67mg/ℓであり、その中流部(23)では2回の平均値であるが2.05mg/ℓという高い濃度を示した(図-3)。

このことから水路LD-G 1のリン濃度が高い原因の1つとして、LD-G 1-1の流入が考えられるが、LD-G1-1との合流部より上流の(18)、(20)地点でもそれぞれ1.07mg/ℓ、0.97mg/ℓと幹線排水路に比べて高い濃度を示していることから、LD-G 1については、LD-G1-1以外にも高濃度リンの発生源が考えられる。LD-H 3でも幹線排水路の2倍以上の濃度を示した。

月毎のT-P濃度を見ると(図-4)、LD-

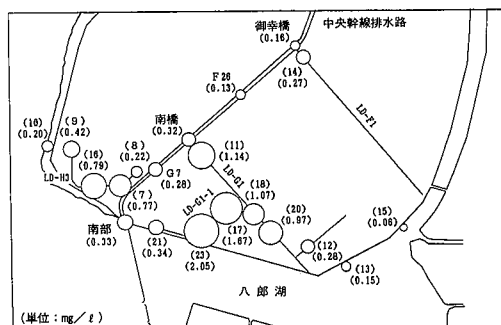


図-3 支線排水路の全リン(T-P)濃度(平成2年平均)

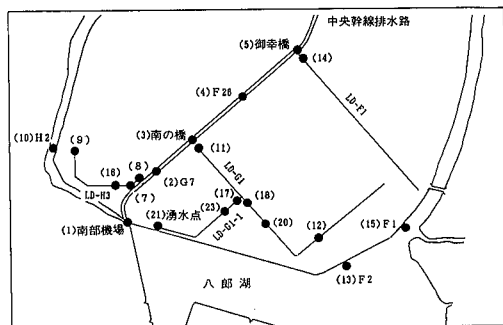


図-2 排水路の水質調査地点

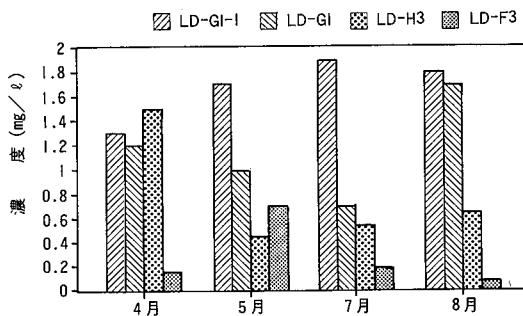


図-4 支線排水路のT-P濃度

G1-1は各月高い濃度を示している。LD-G 1とLD-H 3は、5月、7月に濃度が低下する。これは、灌漑期に八郎湖から用水が汲み上げられ、これが水路に流入することによって濃度が希釈されることによるものと思われる。LD-F1は5月を除いて低い濃度で推移している。

SS濃度を見ると(図-5)、LD-G1-1以外の水路は5月に濃度が高くなる。これは、田面の代かき作業により土粒子が混入するためと思われるが、LD-G1-1ではこの影響が見られない。LD-G1-1水路は、八郎湖正面堤防直下にある湧水地帯を水源として、途中いくつかの小水路の排水を併せながらLD-G 1水路

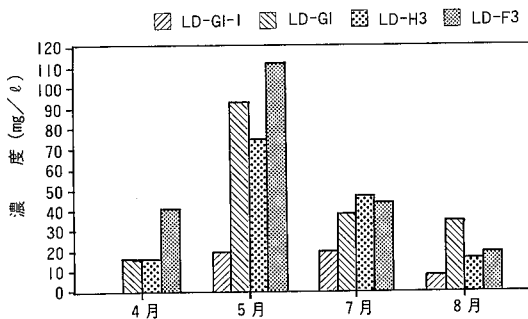


図-5 支線排水路のSS濃度

に注いでいる。湧水の占める割合が大きいののでSS濃度が高くないものと思われる。

3 支線排水路LD-G1-1周辺の水質調査

平成2年10、11月、T-Pの平均濃度が最も高かった支線排水路LD-G1-1周辺の水質を調査した。

3.1 調査地点及び分析方法

調査地点を図-6に示す。試料は2リットル容の採り瓶に採取し、実験室に持ち帰って分析した。分析の方法は、表-2に示す。

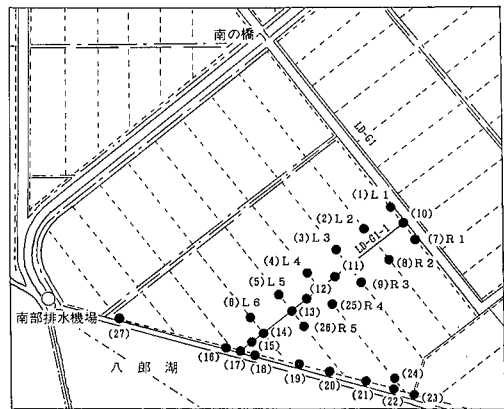


図-6 LD-G1-1 周辺の水質調査地点

表-2 測定項目間の相関

(n=23)

	導電率	pH	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
導電率	1.000												
pH	-0.710	1.000											
NH ₄ ⁺ -N	0.185	-0.700	1.000										
NO ₂ ⁻ -N	-0.215	0.366	-0.301	1.000									
NO ₃ ⁻ -N	0.498	-0.403	0.118	0.084	1.000								
T-N	0.508	-0.579	0.401	-0.209	0.809	1.000							
PO ₄ ³⁻ -P	-0.770	0.666	-0.089	0.190	-0.490	-0.409	1.000						
T-P	-0.745	0.656	-0.095	0.178	-0.485	-0.382	0.996	1.000					
Cl ⁻	0.750	-0.183	-0.252	0.037	0.392	-0.257	-0.441	-0.411	1.000				
Na ⁺	0.751	-0.199	-0.183	0.026	0.366	0.272	-0.335	-0.302	0.973	1.000			
Ca ²⁺	0.769	-0.847	0.434	-0.362	0.396	0.505	-0.819	-0.812	0.176	0.158	1.000		
Mg ²⁺	0.888	-0.898	0.441	-0.325	0.428	0.518	-0.843	-0.830	0.384	0.379	0.955	1.000	
SO ₄ ²⁻	0.764	-0.931	0.570	0.350	0.394	0.507	-0.795	-0.792	0.172	0.165	0.974	0.969	1.000

3. 2 結果及び考察

各地点のT-Pの濃度を図-7に示す。LD-G1-1水路のT-P濃度は、1.1~1.7mg/ℓで、水路途中の〔11〕地点で一時的に濃度が高くなるが、ほぼ1.1~1.3mg/ℓの濃度で流下している。

LD-G1-1水路に流入している小水路では、八郎湖正面堤防に向かって次第に濃度を増す傾向が見られた。左(L)岸では、L1地点で0.01mg/ℓだった濃度がL5地点では0.06mg/ℓ、L6地点では0.44mg/ℓとなり、右(R)岸では、R1の濃度は0.03mg/ℓであるが、R4では2.8mg/ℓ、R5では3.5mg/ℓとなって、徐々に濃度が高くなっている。左右の小水路を比較すると、左(L)岸に比べ右(R)岸の方で濃度が高くなる傾向が見られ、とりわけ小水路R4、R5の濃度が異常に高い。LD-G1-1水路の〔11〕地点で濃度が高くなるのは、小水路R4の流入の影響によるものと思われる。

小水路R4は、その上流の〔24〕地点に比べて濃度が増していることから、水が水路を流下する過程で湧出等の原因により、P濃度を上昇させているものと思われる。

八郎湖正面堤防直下の水路は、〔27〕湧水点

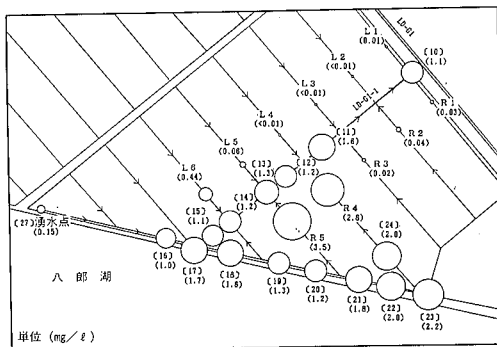


図-7 LD-G1-1周辺の全リン濃度
(平成2年10~11月)

を除いていずれもT-P濃度が1.0~2.2mg/ℓと高い。また、この水路には他に流入してくる水路が無い事から、付近一帯で水の湧出が起きているものと考えられ、高濃度リンの原因はこの湧水によるものと考えられる。

次に、各地点のCa²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻の濃度を図-8~10に示す。これらの項目については、T-Pの場合とは逆にT-P濃度の高い所では濃度が低く、T-P濃度の低い所では濃度が高くなっている。堤防直下の地点の濃度は他の地点に比較して低く、また、LD-G1-1水路の右岸に比べ左岸の方が濃度が高くなっている。

T-Pとこれらの項目間の相関を表-2に示す。T-PとCa²⁺の場合、相関係数r=-

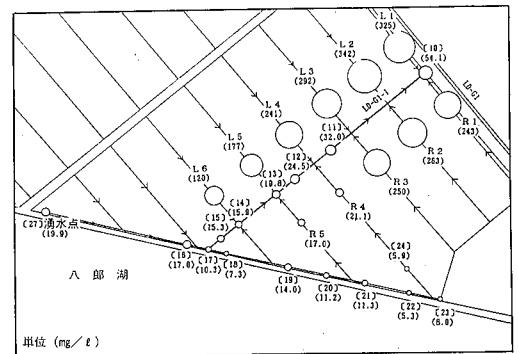


図-8 LD-G1-1周辺のCa²⁺濃度
(平成2年10~11月)

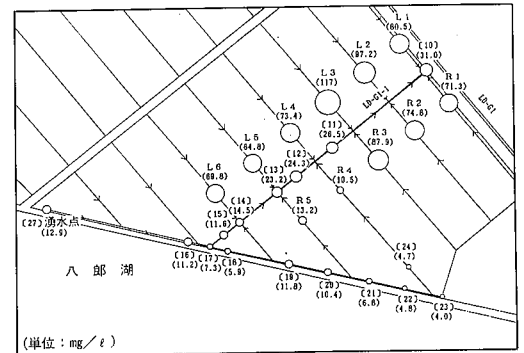
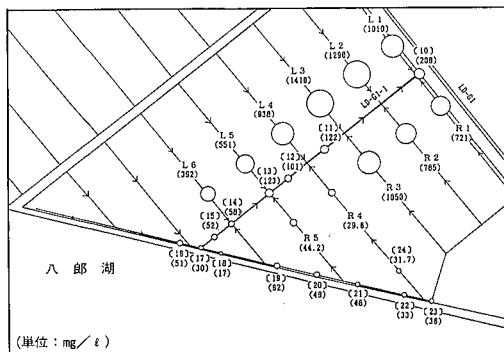


図-9 LD-G1-1周辺のMg²⁺濃度
(平成2年10~11月)



図一〇 LD-G1-1 周辺の SO_4^{2-} 濃度
(平成2年10~11月)

0.812、Mgでは $r = -0.830$ また SO_4^{2-} では $r = -0.792$ とそれぞれに極めて高い負の相関が見られる。また、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 3者の間ではいずれも $r = 0.95$ 以上の高い正の相関関係が成立する。

また、T-Pと Cl^- 、 Na^+ の間ではそれぞれ $r = -0.411$ 、 $r = -0.302$ の負の相関が成り立ち、 Cl^- と Na^+ の間では $r = 0.973$ という極めて高い正の相関が成立した。

以上のことから、リンが湧出する機構には、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 及び Cl^- 、 Na^+ 等のイオン類が何らかの関わりをもっているものと考えられる。

今回は1回の調査の結果であることから、必ずしも断定的には言い難い所もあるが、今後、ボーリング調査等による地下部分の調査も含めて、更に高濃度リンの湧出機構を解明していく予定である。

4 まとめ

- (1)中央幹線排水路に流入する支線排水路LD-G1のリン濃度が高い原因の1つとして、LD-G1水路へのLD-G1-1の流入が挙げられる。
- (2)LD-G1-1水路は八郎湖正面堤防直下の湧

水帯を水源とする水路で、湧水及び小水路の排水を集めて流下している。LD-G1-1水路に注ぐ小水路もまた、湧水を水源としているものと考えられる。

LD-G1-1水路ではSS濃度が低く、リン濃度が極めて高い。

- (3)高濃度リンの原因は、主として湧水にあると考えられ、更にその発生の機構において Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} あるいは Na^+ 、 Cl^- 等のイオン類と何らかの関与があるものと思われる。
- (4)LD-H3及びLD-G1水路の上流部でもリン濃度が高い原因として、湧水が流入している可能性が考えられ、今後更に調査を行う予定である。

参考文献

- 1)昭和57年度 環境庁委託業務結果報告書 (非特定汚染源による汚染防止対策調査結果)：昭和53年3月，秋田県
- 2)片野 登：干拓農用地の排水路における化学的酸素要求量 (COD)、全窒素 (T-N)、全リン (T-P) の動向について，秋田県環境技術センター年報，16，p. 101~114 (1988)

秋田県内における湖沼の富栄養化について
 一窒素及び磷の排水基準がかかる湖沼の水質一

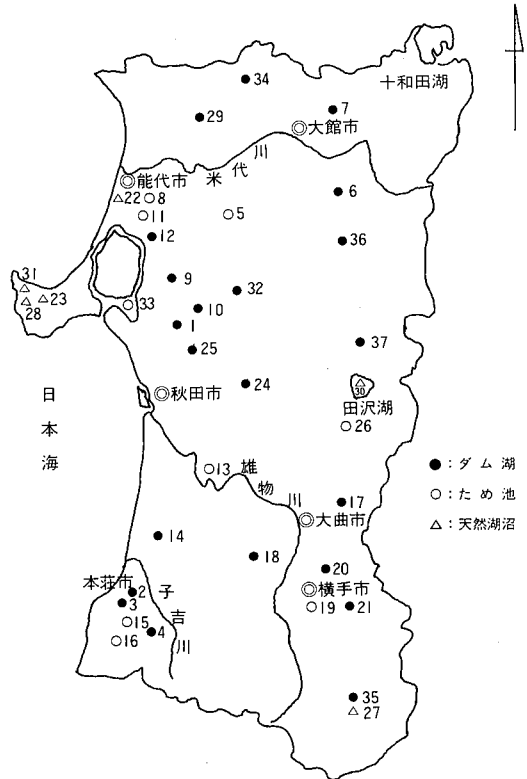
加藤 潤 片野 登 組谷 均 久米 均

1 はじめに

近年、我国において富栄養化の進行が著しく、すでに相当数の湖沼において被害が発生している。

環境庁は1985年5月に富栄養化しやすい湖沼（窒素及び磷が流入した場合に藻類等が増殖しやすい湖沼）として全国で1,022湖沼を告示した。本県では38湖沼が告示を受け、ため池の八郎湖のみが窒素含有量及び磷含有量についての排水基準がかかる湖沼に、残り22箇所（ダム湖、8箇所のため池、7箇所の天然湖沼）は磷含有量についての排水基準がかかる湖沼として指定された。環境基準の類型指定されている八郎湖、田沢湖等13湖沼では水質監視が行われているが、その他の湖沼では今までほとんど水質調査が行われていない。そこで今後の富栄養化防止の基礎資料とするために青森県で報告している十和田湖を除く37湖沼の調査結果について考察を加え、若干の知見が得られたので報告する。

とおりでである。



図一 調査地点

2 調査方法

調査期間は1985年から1991年までの7年間で、調査対象湖沼はダム湖22、ため池9、天然湖沼6の計37湖沼である（図一）。

今回の解析に用いた項目は、化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、全磷(T-P)、透明度、クロロフィルa(Chl.a)の5項目で、湖心での表層の水質分析結果の平均値を用いた。水質の分析方法は表一に示した

表-1 水質の分析方法

項目	分析方法
COD	JIS K 0102.17
T-N	環境庁告示59付表 7.1
T-P	環境庁告示59付表 8
透明度	海洋観測指針 4.1 セッキ板
Chl.a	海洋観測指針 9.6

3 調査結果及び考察

調査対象湖沼の湖面積及び水質調査結果等は表-2 に示したとおりである。

3.1 COD

湖沼の代表的な有機汚濁指標であるCODについて、表-2 に示したとおり環境基準が設定されている13湖沼についてみると、AA類型(COD: 1mg/l以下)は6湖沼で、基準値を達成しているのは酸性湖沼の田沢湖と鎧畑ダムの2箇所である。また、A類型(COD: 3mg/l以下)は7湖沼あり、基準値を達成しているのは岩見ダムのみである。

残りの24湖沼については環境基準が設定されていないが、この基準をもとに分類すると、図-2 に示したとおりA類型が37.5%と最も

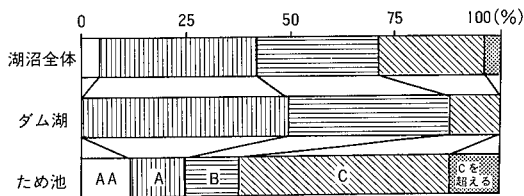


図-2 CODの類型指定されていない湖沼の分類

多く、ついでB類型(COD: 5mg/l以下)の29.2%、C類型(COD: 8mg/l以下)の25.0%となっている。

また、湖沼の種類別で分類するとダム湖はA類型の50.0%とB類型の37.5%を合わせると87.5%を占めている反面、ため池ではC類型が50.0%を占め、それを超えるものを合わせると62.5%になっており、ため池の有機物汚濁の進行が著しい。

3.2 T-N、T-P

窒素、磷は湖沼の生物生産にとって必要な栄養物質であり、また富栄養化の指標でもある。そこで環境庁は湖沼の水質汚濁を防止する目的で、1982年12月に湖沼にかかる窒素、磷の環境基準を告示した。本県では湖沼への窒素、磷の類型あてはめをしていないが、各湖沼を環境基準に基づいて区分すると、図-3に示したとおりII類型(T-N: 0.2mg/l以下、T-P: 0.01mg/l以下)には岩見ダム、大瀧ため池、田沢湖をはじめとする9湖沼(ダム湖5、ため池1、天然湖沼3)、III類型(T-N: 0.4mg/l以下、T-P: 0.03mg/l以下)には黒森川第一ダム、角助堤、一目瀧をはじめとする最も多くの15湖沼(ダム湖11、ため池2、天然湖沼2)が区分され、II類型とIII類型を合わせると全体の64.9%になっている。また、天然湖沼及びダム湖はII及びIII類型合わせてそれぞれ83.3%、72.7%を占めているが、ため池はIV類型(T-N: 0.6mg/l以下、T-P: 0.05mg/l以下)以上で66.7%を占めており、ため池のT-N、T-Pの濃度が高いことがわかる。

また、植物プランクトンが正常な増殖を示すためには、その体組織に近い比でNとPが体内にとりこまれる。この比は約10:1~25:1の範囲にある。したがってN/P比

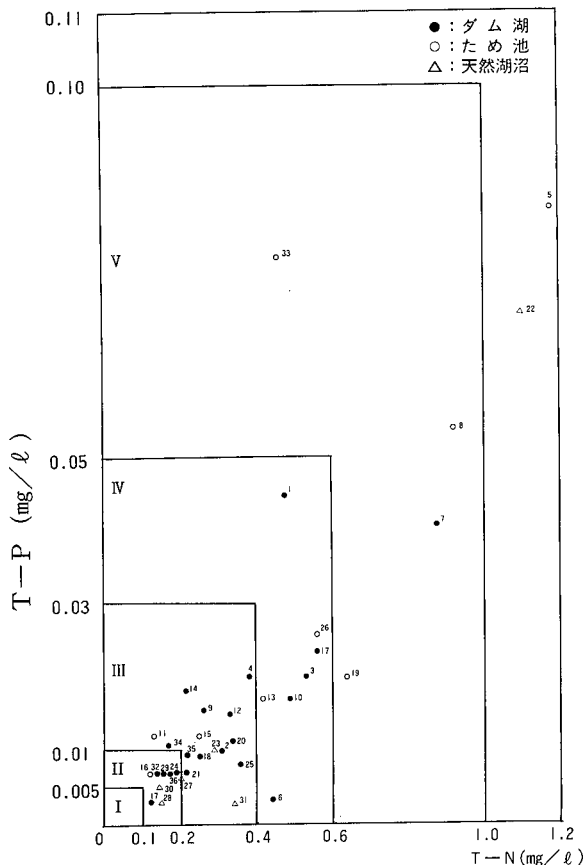
表一 2 調 査 結 果

No	湖 沼 名	市町村名	種 類	湖面積 (ha)	COD (mg/l)	T-N(mg/l)	T-P(mg/l)	N/P比	T-N-T-P の類型	透明度(m)	Chl.a	MTSI	備 考
1	井河ダム貯水池	井川町	ダム湖	0.05	4.7	0.47	0.045	10	IV	1.2	11.5	4.9	水道水源
2	黒森川第1ダム貯水池	由利町	ダム湖	0.18	2.4	0.31	0.010	31	III	1.6	3.7	3.3	水道水源
3	黒森川第2ダム貯水池	由利町	ダム湖	0.21	3.3	0.53	0.020	27	IV	1.5	4.7	3.9	水道水源
4	花立ダム貯水池	矢島町	ダム湖	0.01	3.7	0.39	0.020	20	III	0.8	3.6	4.3	水道水源
5	三木田ため池	合川町	ため池	0.12	9.5	1.17	0.082	14	V超える	1.9	44.3	5.5	
6	八面沢ダム貯水池	比内町	ダム湖	0.10	1.6	0.44	0.003	147	IV	4.1	1.5	1.8	
7	釈迦池ダム貯水池	大館市	ダム湖	0.29	6.1	0.87	0.041	21	V	3.4	21.6	4.4	
8	小友沼	能代市	ため池	0.47	7.9	0.93	0.053	18	V	0.8	16.3	5.5	
9	大由沢ダム貯水池	五城目町	ダム湖	0.14	3.0	0.26	0.016	16	III	3.5	1.1	2.7	
10	袖ヶ沢ダム貯水池	五城目町	ダム湖	0.12	3.0	0.49	0.017	29	IV	3.6	1.5	2.8	
11	角助堤	山本町	ため池	0.50	6.2	0.14	0.012	12	III	0.8	4.6	4.0	
12	鹿渡ダム貯水池	琴丘町	ダム湖	0.14	4.2	0.34	0.015	23	III	2.3	4.8	3.4	
13	泉沢ため池	協和町	ため池	0.60	4.3	0.41	0.017	24	IV	1.3	8.2	4.1	
14	六ヶ村ダム貯水池	本荘市	ダム湖	0.24	5.1	0.21	0.018	12	III	2.1	2.9	3.4	
15	大谷地池	由利町	ため池	0.65	3.0	0.25	0.012	21	III	1.5	2.2	3.3	
16	大瀧ため池	仁賀保町	ため池	0.10	0.6	0.13	0.007	19	II	3.3	0.5	2.0	
17	一丈木ダム貯水池	千畑町	ダム湖	0.11	2.8	0.56	0.023	24	IV	1.5	5.1	4.0	
18	葛ヶ沢ダム貯水池	大森町	ダム湖	0.10	3.3	0.25	0.009	28	III	2.5	1.8	2.7	
19	檜沢沼	横手市	ため池	0.24	5.1	0.64	0.020	32	V	2.0	5.1	3.7	
20	明永ダム貯水池	横手市	ダム湖	0.15	3.4	0.33	0.011	30	III	2.9	2.3	2.8	
21	相野々ダム貯水池	山内村	ダム湖	0.30	2.2	0.21	0.007	30	III	3.5	3.1	2.5	
△22	浅内沼	能代市	天然湖沼	1.0	13	1.10	0.069	16	V超える	0.5	44.4	6.3	A 類型
△23	一の目潟	男鹿市	天然湖沼	0.26	4.4	0.28	0.010	28	III	2.5	4.5	3.1	A 類型 水道水源
△24	岩見ダム貯水池	河辺町	ダム湖	0.95	1.2	0.18	0.007	26	II	3.0	4.7	2.8	A 類型
25	大滝沢ダム貯水池	秋田市	ダム湖	0.19	2.8	0.36	0.008	45	III	2.3	4.2	3.0	
26	大沼	田沢湖町	ため池	0.13	7.0	0.56	0.026	22	IV	1.0	8.6	4.6	
△27	柘倉沼	皆瀬村	天然湖沼	0.35	3.6	0.20	0.007	29	II	2.0	3.0	2.9	A 類型
△28	三の目潟	男鹿市	天然湖沼	0.11	3.6	0.15	0.003	50	II	7.5	0.6	1.1	A 類型 水道水
②9	素波里ダム貯水池	藤里町	ダム湖	1.9	1.5	0.15	0.007	21	II	2.9	4.7	2.8	A A 類型
③0	田沢湖	田沢湖町、西木村	天然湖沼	25	0.5	0.15	0.005	30	II	7.5	1.8	1.6	酸性湖沼 A A 類型
△31	二の目潟	男鹿市	天然湖沼	0.08	3.9	0.34	0.003	113	III	3.4	1.9	2.0	A 類型 水道水源
③2	萩形ダム貯水池	上小阿仁村	ダム湖	1.0	1.6	0.14	0.007	20	II	2.7	4.7	2.9	A A 類型
△33	八郎潟	大湯村他11市町	ため池	45	4.7	0.51	0.077	6.6	V	1.8	5.1	4.6	A 類型 水道水
34	早口ダム貯水池	田代町	ダム湖	0.33	2.2	0.17	0.011	15	III	3.2	2.5	2.8	
③5	皆瀬ダム貯水池	皆瀬村	ダム湖	1.5	1.7	0.22	0.009	24	III	2.3	3.4	3.0	A A 類型
③6	森吉ダム貯水池	森吉町	ダム湖	1.5	2.2	0.19	0.007	27	II	3.3	2.7	2.5	A A 類型
③7	鍾畑ダム貯水池	田沢湖町	ダム湖	2.5	0.6	0.13	0.003	43	II	3.3	1.4	1.9	酸性湖沼 A A 類型

Noを○、△印で囲んでいるものは、CODの類型あてはめをしている湖沼 ○：AA類型 △：A類型

T-N、T-Pの類型：秋田県では類型あてはめをしていないが、環境基準をもとに区分した結果

MTSI：多変数栄養化指数



図一 各湖沼のT-NとT-Pの関係

が10以下の、クロロフィルa量が多く、植物プランクトン生産の大きい水域では、その生産にNが不足ぎみであり、逆にN/P比が20~25以上のクロロフィルaの少ない貧栄養水域ではPが制限的になっている²⁾。このことから県内の37湖沼をみてみると、八郎湖はN/P比10未満でNが制限的な栄養塩であると考えられる。なお、片野ら³⁾は八郎湖は6~10月にNが制限因子になり、11~5月ではPが制限因子になると報告している。N/P比が10~25の範囲にありNとPの両方が制限的な栄養塩となっていると考えられる湖沼、又はNがPのどちらか一方が制限的な栄養塩

となっていると考えられる湖沼は井河ダム、三木田ため池、浅内沼等19湖沼であった。また、N/P比が25を超える黒森川第一ダム、檜沢沼、三の目潟等17湖沼はPが制限的な栄養塩であると考えられる。

一方、表一2に示したT-N/T-P比(N/P比)をみると、10~25の範囲にある湖沼が19で、17湖沼がN/P比25を超えている。N/P比が10~25の範囲にある湖沼では、T-Nとクロロフィルa、T-Pとクロロフィルaとの間に直線関係が成り立つことが坂本によって報告されていることから²⁾、N/P比が10~25の範囲にある19湖沼について両者の関係をみてみると、T-Nとクロロフィルaでは相関係数 $r=0.951$ ($n=19$)、T-Pとクロロフィルaでは $r=0.965$ ($n=19$)で高い相関が成立する。一方、N/P比が25を超える17湖沼のT-N及びT-Pとクロロフィルaとの相関は $r=0.638$ ($n=17$)、 $r=0.650$ ($n=17$)であった。

3. 3 多変数富栄養化指数

湖沼の富栄養化の現象を透明度、T-P、クロロフィルaを基準とした多変数富栄養化指数(MTSI: Multiparameter trophic state indices)⁴⁾で区分した結果を表一2に示した。

MTSIによる各湖沼の富栄養化をみてみると、MTSI値が1~3の貧栄養湖~中栄養湖に分類されるものは、鑑畑ダム、大潟ため池、田沢湖をはじめとして26湖沼(ダム湖18、ため池3、天然湖沼5)であり、全体の70.3%を占めている。MTSI値が4~5の中栄養湖~富栄養湖に分類されるものは、井河ダム、八郎湖等10湖沼(ダム湖4、ため池6)となっており、MTSI値が6以上の富栄養湖~過栄養湖になったのは天然湖沼の浅

内沼の1湖沼であった。

4 まとめ

秋田県内の富栄養化しやすい37湖沼を調査したところ以下の知見が得られた。

- (1) CODの類型指定湖沼13湖沼中、環境基準を達成したのは3湖沼で達成率は23.0%であった。

CODの類型指定されていない24湖沼についてみると、A類型に分類される湖沼が最も多く37.5%であり、湖沼の種類別で分類するとダム湖はA～B類型で87.5%であるが、ため池はC類型及びそれを超えるものを合わせると62.5%になっており、ため池の有機物汚濁の進行が著しい。

- (2) T-N、T-Pについて秋田県では類型あてはめをしてないが、環境基準をもとに各湖沼を区分すると、III類型の湖沼が最も多く、これにII類型の湖沼を含めると全体の64.9%になっている。

また、ダム湖及び天然湖沼に比べて、ため池のT-N、T-Pが高い値を示している。

- (3) 県内の湖沼は、Pが制限的な栄養塩となっているところが多い。
- (4) N/P比が10～25の16湖沼ではT-N、T-Pとクロロフィルaとの間に高い相関がある。
- (5) 多変数富栄養化指数(MTSI)から70.3%の湖沼が貧栄養湖～中栄養湖(MTSI値1～3)に属しており、中栄養湖～富栄養湖(MTSI値4～5)は27.0%であった。

参考文献

- 1) 三上 一：湖沼の富栄養化に関する研究(1) —AGP 試験及び多変数富栄養化指数からみた青森県の湖沼，全国公害研会誌，Vol. 15, No. 3 (1990)
- 2) 日本水質汚濁研究協会編『湖沼環境調査指針』，p.226—228，公害対策技術同友会，東京，1982
- 3) 片野 登ほか：八郎湖の富栄養化に関する一考察，秋田県環境技術センター年報No.17, 99(1989)
- 4) Hiroshi Yoshimi(1987)：Simultaneous construction of single parameter and multiparameter trophic state indices. Wat. Res., Vol.21.No.12, 1505—1511