

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、融雪初期に一挙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

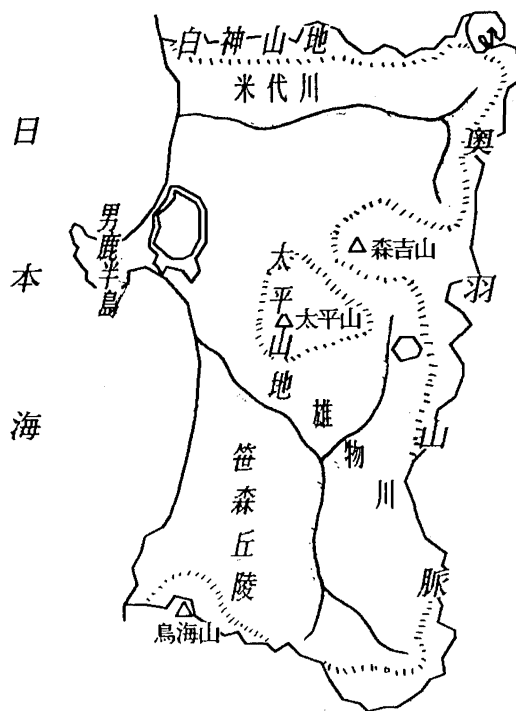
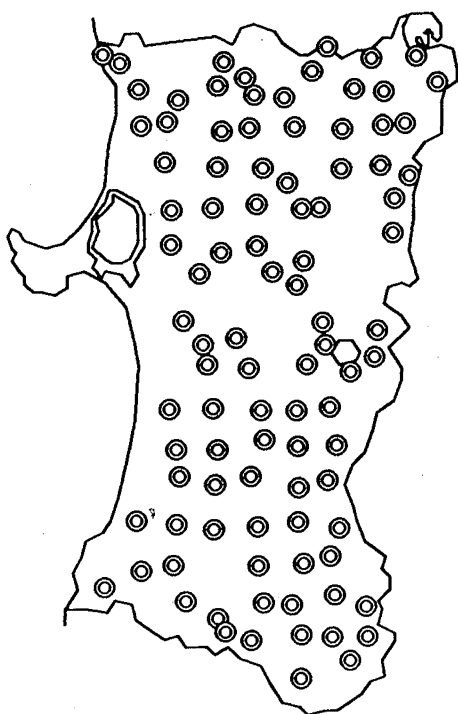


図-1 秋田県の地形図

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



図一 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箇所で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、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一1に、成分間の単相関を表一2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中の平均(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一3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の分布を図一4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

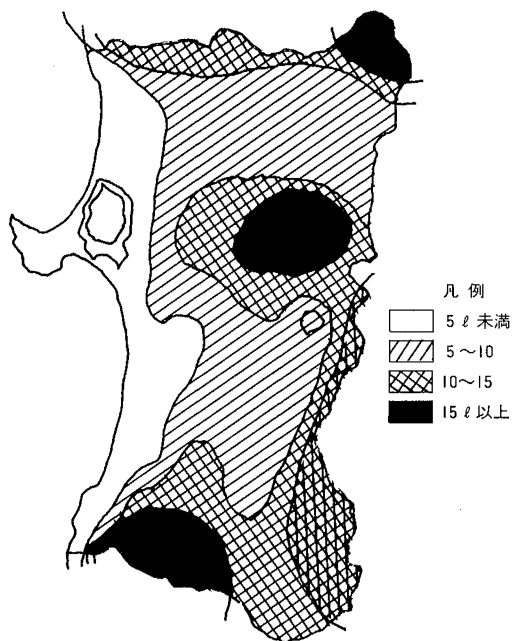
SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、及び Cl^- の濃度分布を図5～7に示した。

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地で遮られるほか、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。

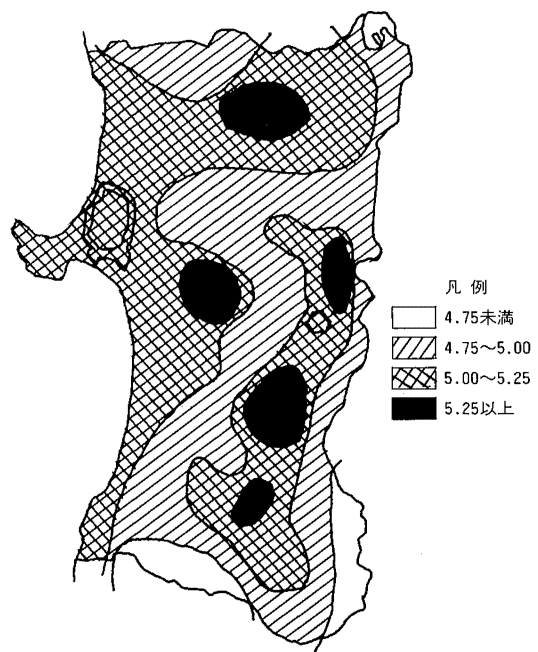
3. 2. 4 陽イオン成分

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

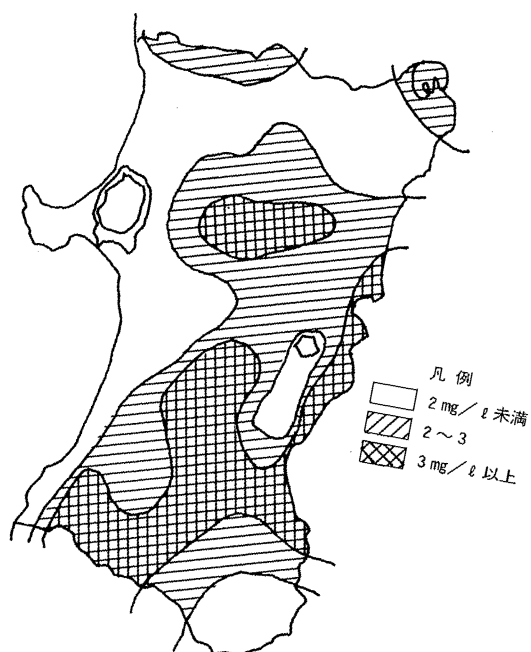


図-5 SO_4^{2-} 濃度の分布

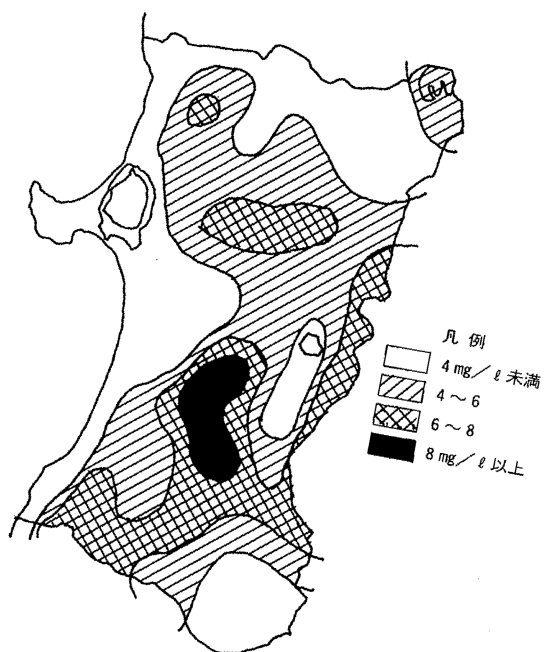


図-7 Cl^- 濃度の分布

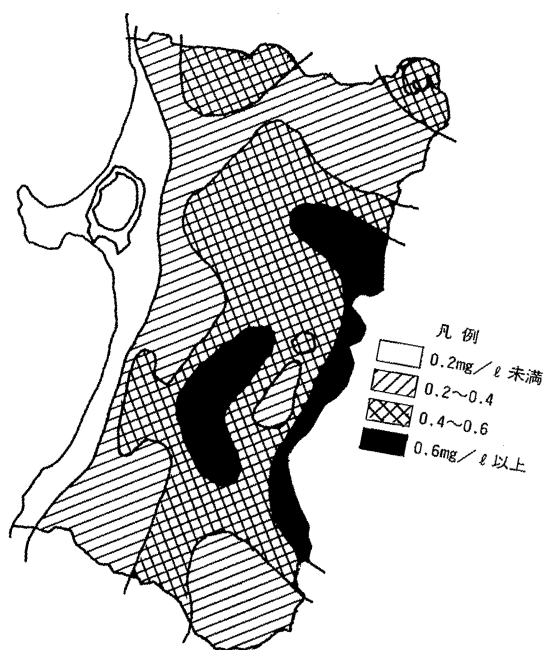


図-6 NO_3^- 濃度の分布

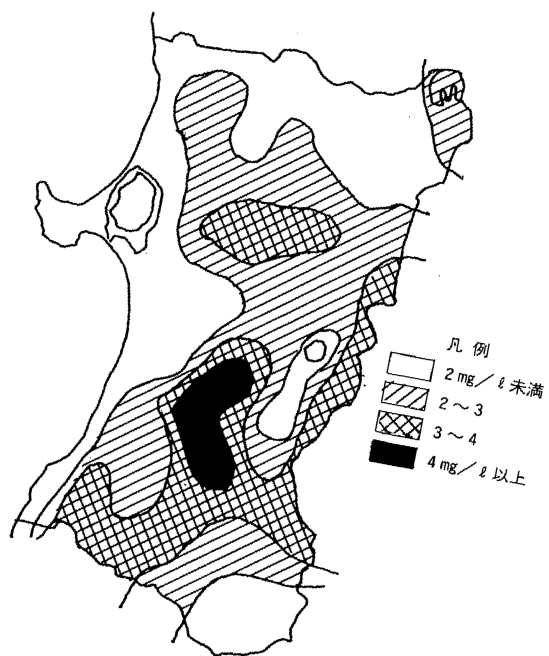
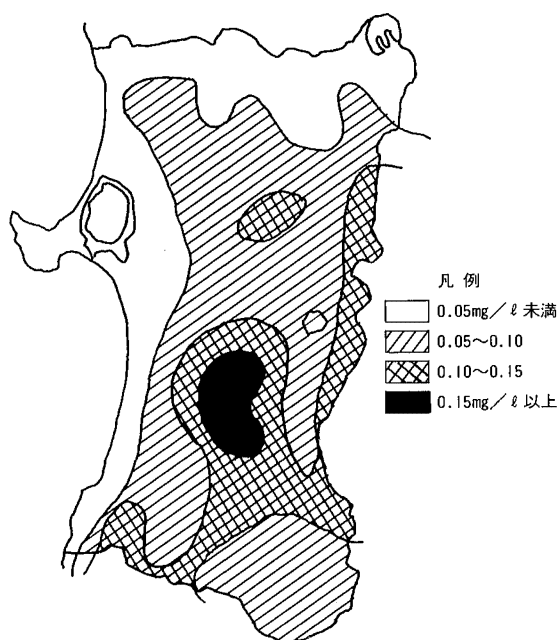
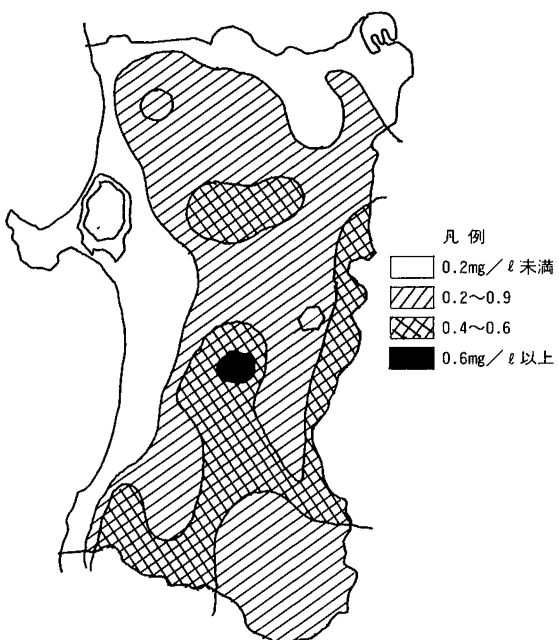


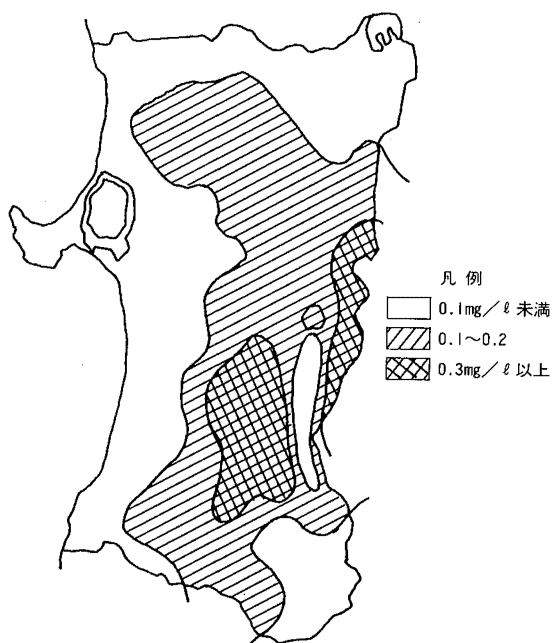
図-8 Na^+ 濃度の分布



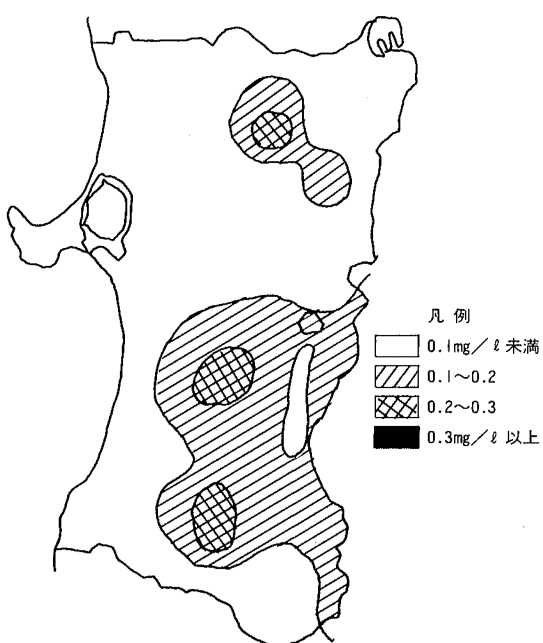
図一9 K⁺濃度の分布



図一11 Mg²⁺濃度の分布



図一10 Ca²⁺濃度の分布



図一12 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。

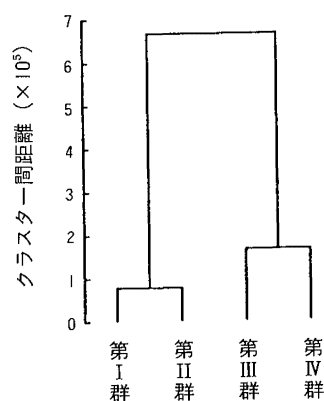


図-13 クラスターデンドログラム

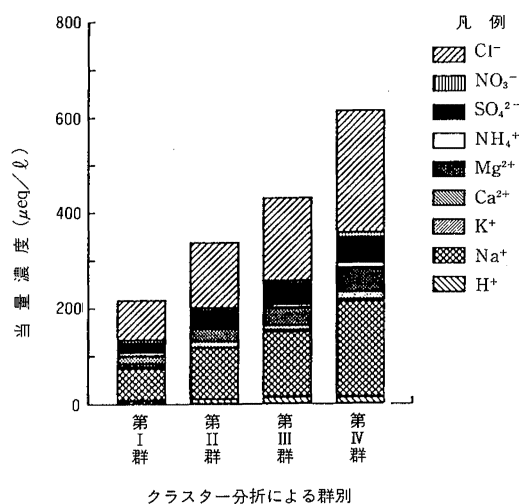
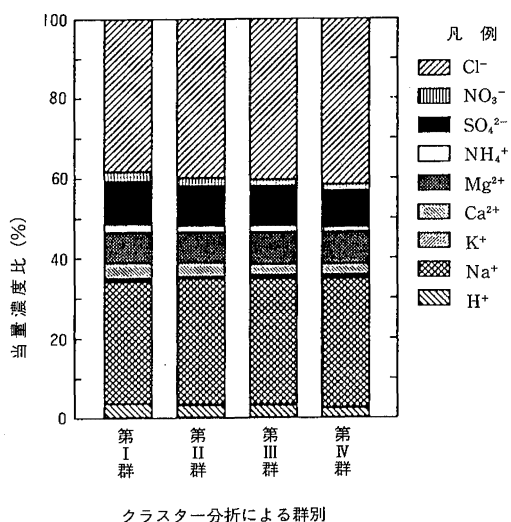
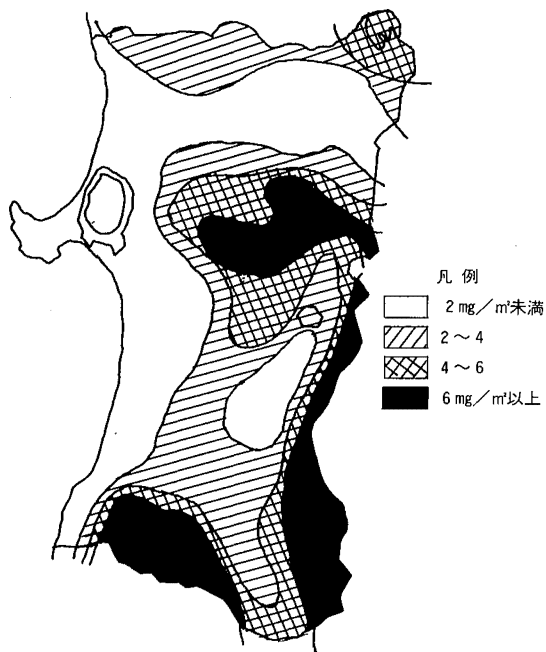


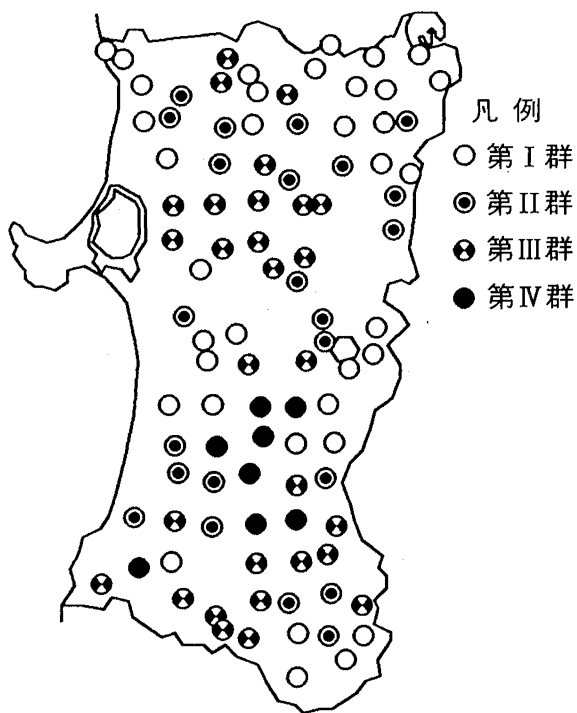
図-14 群平均当量濃度



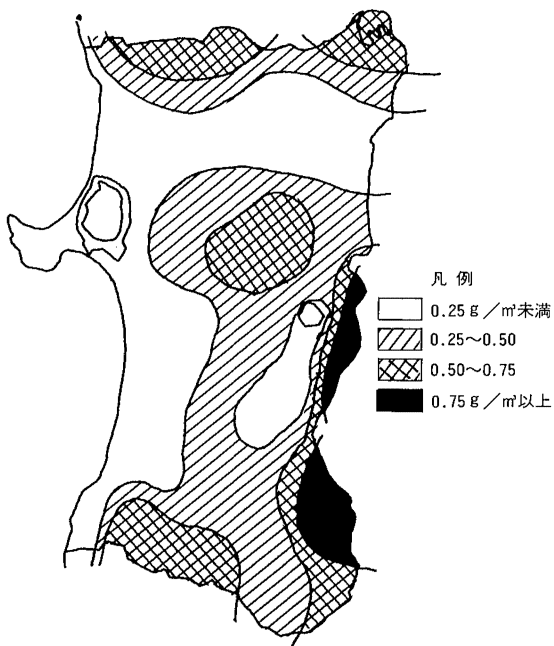
図一15 群平均当量濃度組成比



図一17 H⁺蓄積量の分布



図一16 調査地点の属性



図一18 nssSO₄²⁻蓄積量の分布

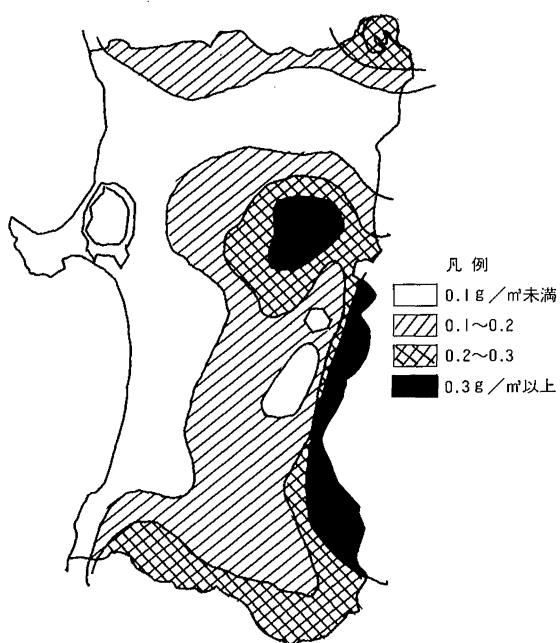


図-19 NO₃蓄積量の分布

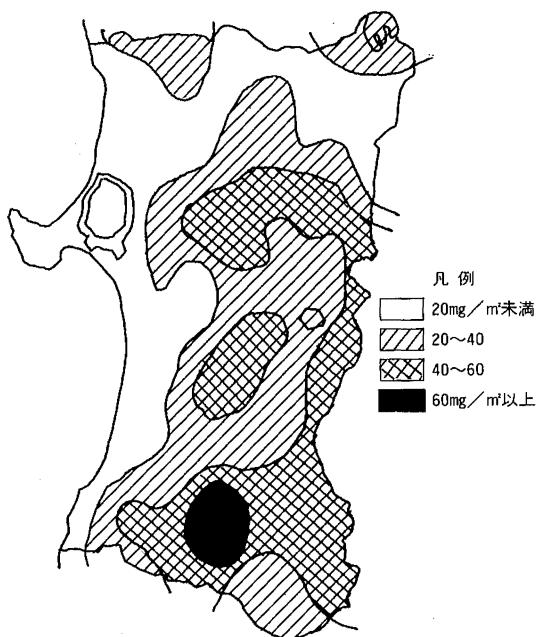


図-21 NH₄降水量の分布

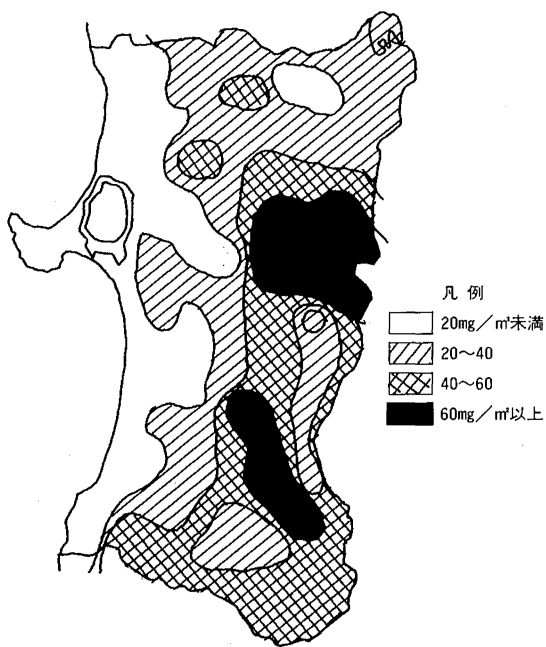


図-20 nssCa²⁺蓄積量の分布

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

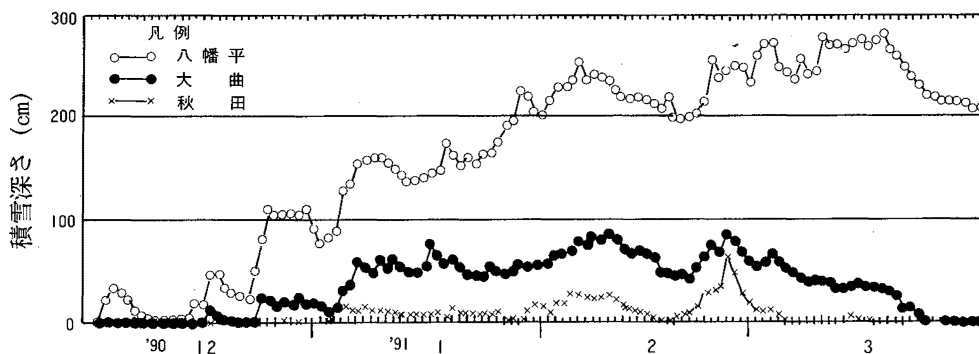


図-22 日積雪量の変化

表-3 大気降下物量と積雪柱中の蓄積量

地域	区分	降水量 $\times 10^3 \text{ ml}$	H^+ mg/m^3	SO_4^{2-} g/m^3	NO_3^- g/m^3	Cl^- g/m^3	Na^+ g/m^3	K^+ mg/m^3	Ca^{2+} g/m^3	Mg^{2+} g/m^3	NH_4^+ g/m^3	総イオン量 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。

³⁾ 斎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、降雪等による降下量の大部分が積雪中には存在しないことが確認された。

大気降下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箇所では積雪柱を採取し、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下量の関係では、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) 斎藤 学ほか：本報，No.17，65（1989）