

融雪水の含有成分の挙動と融雪水の湖沼の水質に与える影響調査（第1報）

斎藤 学 石郷岡 晋
真壁江田男

1 はじめに

酸性成分を多く含んだ降雪は、融雪初期の融雪水の酸性化により、湖沼の水質のpHを低下させるなど、環境に大きな影響を及ぼすことが欧米で報告されている。^{1,2,3)} 降雪量の多い当県においても、酸性雪の環境への影響が懸念されるところであり、その成分量の把握および融雪時の成分の挙動について、調査の必要が迫られていた。

今年度は、これまで調査した降雪成分に関する基礎的調査結果⁴⁾を踏まえて、融雪時における含有成分の挙動と、融雪水の湖沼の水質に与える影響について調査した。

2 調査方法

2. 1 調査期間

(1) 融雪水の含有成分の挙動調査

平成元年1月～2月

(2) 水質影響調査

昭和63年7月～平成元年2月

2. 2 調査地点

(1) 融雪水の含有成分の挙動調査

秋田市八橋 秋田県環境技術センター
森吉町 森吉山荘

(2) 水質影響調査

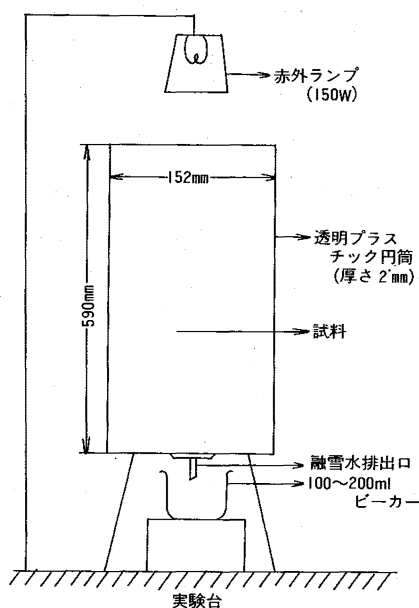
秋田市広面 推子沢ため池

2. 3 調査内容

(1) 融雪水の含有成分の挙動調査

積雪を図一1の融雪装置に入れ、実験室内において融雪した。融雪水は一定量ずつ分取した。分取した一定量を、融雪水全量に対する融雪率として表現し、各融雪率における各

イオンの含有成分の濃度を分析し、各融雪率における全含有イオン量に対する溶出率として表現した。



図一1 融雪装置

(2) 水質影響調査

推子沢ため池における7月、12月、1月、2月の岸から2mの表層部から採取、分析し、融雪水の水質に与える影響について調査した。

また、融雪水以外の影響をみるため、7月の梅雨時と、冬季において降水を採取し分析した。

2. 4 分析項目および分析方法

分析項目はpH、EC、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ とし、池水水質調査については、さらに酸消費量について調査した。

分析方法はpHがガラス電極法、ECは導電率計、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- はイオンクロマト法、 NH_4^+ はインドフェノール法、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ は原子吸光光度法、酸消費量はpH計を用い、0.1N塩酸で滴定して求めた。

3 調査結果

3. 1 融雪水の含有成分の挙動

3. 1. 1 八橋地点の積雪の調査結果

(1) 融雪実験の概要

1月4日の夕方から夜半にかけて降った八橋地点の降雪を、1月6日の9時に採取した。積雪深さは7cmで、表層の約0.5cmはザラメ状の雪の層になっており、表層以下は密度の高いしまり雪の層となっていた。積雪の採取は、表層から約5cm程度までをガラスピーカーですくい取り、プラスチック製の容器に入れ、かき廻した後、融雪装置にパックした。したがって、パック時においてはザラメ状の層と、しまり雪の層の分離はなく、ほぼ均一な状態にパックされた。

融雪実験は室温約12～15℃程度の実験室内で実施し、融雪はパックされた積雪が入っている円筒の上部から赤外ランプを照射して行った。融雪水は100mlのガラスピーカーで順次採取し、未ろ過のままpH、ECを測定した。その他の項目については、残液をポリビンに入れ、冷蔵庫で保管後、約1週間以内で分析した。

融雪水が落下し始めたのは、融雪開始3時間後であった。融雪水が落下した時点では、円筒の下層から3cmまでが融雪水と雪の混合

層となって水分が多い状態となっており、色相からみても明らかに他の上層部とは様子が異っていた。

融雪が進むにつれて、上層部はほとんどザラメ状の層に変化し、しだいにしまり雪が円筒内から消失し、全層がザラメ状の雪に変化していった。また、融雪が進むにしたがって上層の表面だけが黒く汚れていき、泥状のものや植物の繊維状のものが表われだした。これは、融雪水が下層に移流していく際、雪がフィルターの役目を果たすため、融雪が進むほど積雪中の不純物が表面に残ることになるものと考えられた。したがって、春先の雪の表面が汚れているのは、春先の粉じんのみに起因するのではなく、融雪していく段階での積雪中の不純物を表面に残していくことが大きな要因と考えられた。また、融雪水は不純物の多い表層部の融雪の段階になるまで、濁りのほとんどない極めてきれいな水であることから、雪がフィルターの役割を担っているものと考えられた。なお、融雪水の後半の3つのフラクションについては、不純物が多くなったため0.8μmのミリポアろ紙でろ過後、分析した。

(2) 含有成分の挙動

図—2に、 H^+ の積算溶出率とpH・ECの推移を示した。 H^+ は融雪率22%で全含有量の50%が溶出していた。また、融雪率50%の時点では80%を超える溶出率を示した。

pHの推移をみると、融雪率4%で4.35と最も低い値を示し、融雪率22%で4.56、融雪率100%では5.42と順次高くなっていった。融雪初期と後期では、実に1.07というpHの差異があった。

ECの推移は、融雪率4%で180.8μs/cm、融雪率100%で4.53μs/cmという結果であった。

融雪の初期には多量のイオン成分を含んだ融雪水が排出される一方、融雪の後期には純水に近いような融雪水が排出されていることがわかった。

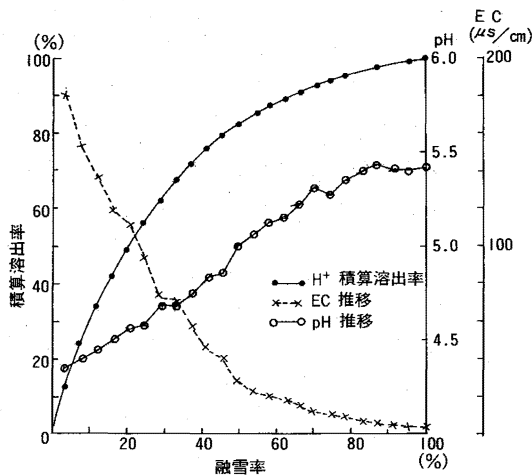


図-2 H^+ の積算溶出率とpH・ECの推移
(八橋地点)

図-3に、陰イオンの積算溶出率を示した。各イオンとも融雪率20%で、50%以上の溶出率を示した。また、融雪率50%では各イオンとも約90%の溶出率となっており、各イオンの溶出の速さに大きな差異がみられなかった。

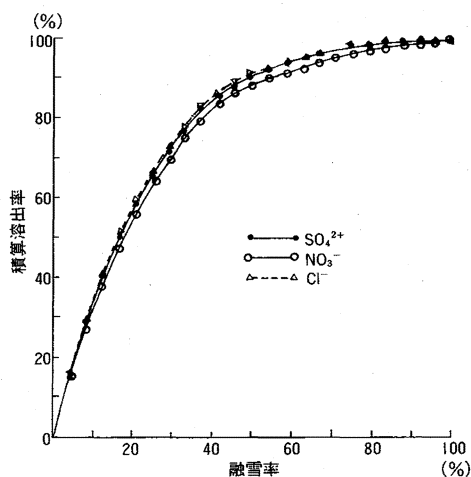


図-3 陰イオンの積算溶出率(八橋地点)

図-4(1)、(2)に、陽イオンの積算溶出率を示した。陰イオン同様、融雪の初期段階で溶出するイオンが多く、 NH_4^+ 以外はすべて融雪率20%で、50%以上の溶出率を示した。また、融雪率50%では約85~90%の溶出率であった。 NH_4^+ は他イオンと比べて若干溶出が遅れる傾向を示し、融雪率が20%の時点では45%、融雪率50%では79%の溶出率となっていた。また、陽イオンは陰イオンに比べて各項目の溶出の速さに差異がみられた。

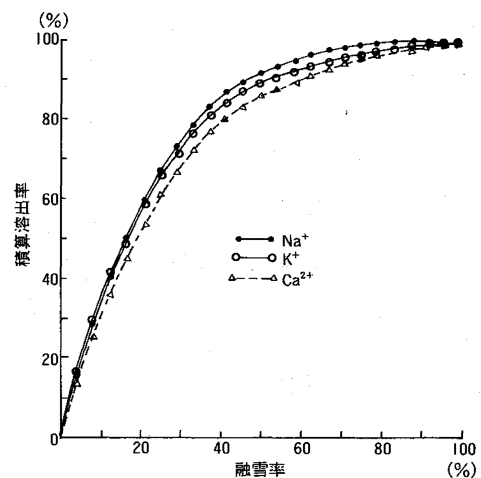


図-4(1) 陽イオンの積算溶出率
(八橋地点)

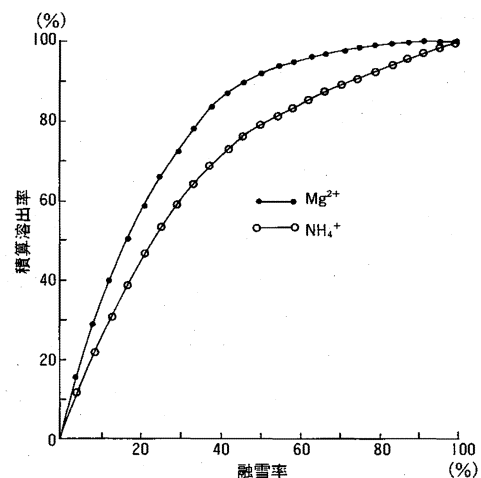
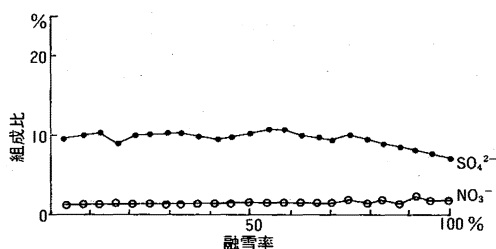


図-4(2) 陽イオンの積算溶出率
(八橋地点)

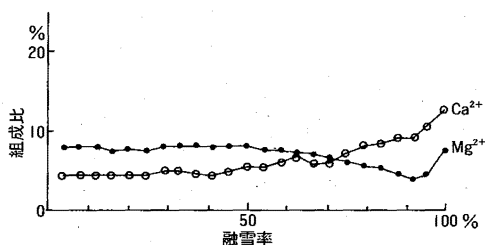
図一5(1)~(4)に、融雪率に対する各イオンの組成比を示した。融雪率50%までは Na^+ 、 Cl^- が30~40%程度の割合を占め、ついで SO_4^{2-} が10%、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} が5~8%、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 H^+ は5%以下であった。各イオンとも組成比に大きな変動がみられないが、 Cl^- が融雪が進むにつれて若干減少の傾向を示し、逆に NH_4^+ が微増の傾向を示した。融雪率が50%を超えると、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} の割合が増加し、 Na^+ 、 Cl^- の減少が大きくなった。また、

SO_4^{2-} も減少の傾向を示したが NO_3^- は融雪初期、後期を通じて、ほとんど変動がみられなかった。

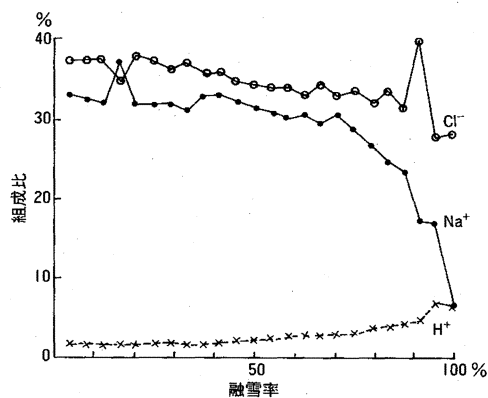
これらのことだけから融雪初期と後期の融雪水のpHにおいて差異が生ずる要因を推測することは困難であるが、降水の酸性化を抑制するといわれる NH_4^+ 、 Ca^{2+} が融雪の初期と後期で倍以上の組成比の差異を示すことから、両イオンの初期段階での溶出の遅れが一つの要因となるのではないかと考えられた。



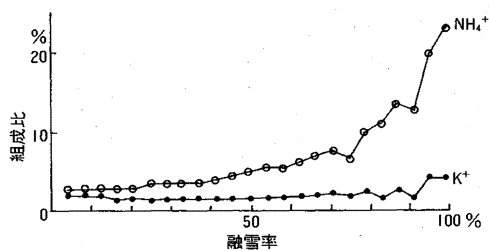
図一5(1)



図一5(3)



図一5(2)



図一5(4)

図一5 融雪率に対する各イオンの組成比

3. 1. 2 森吉地点の積雪調査結果

(1) 融雪実験概要

森吉地点の対象積雪は、2月13日に採取した。積雪深さは約70cmであったが、表層から60cm下層までの全層を対象とした。採取は内径200mmφ、長さ650mmの塩ビ管を積雪中に打ち抜き、直近から2検体を採取した。採取した積雪のコアはポリエチレン袋に入れて持ち帰り、冷蔵庫に入れ保管した。2検体のうち、一つは翌日表層側から融雪し、もう一つは翌々日層を逆転し、下層側から融雪して融雪水の含有成分の挙動を比較調査した。

融雪実験が3-1-1と異なるのは、3-1-1では積雪を混合した後、融雪したが、3-1-2では全層をそのままの形で融雪装置に入れて融雪させたことと、融雪水は初期段階の1ℓまでを100mlのビーカー、それ以降を200mlのビーカーで順次採取したことで、その他の条件は同様とした。その結果、融雪状況はほぼ3-1-1の実験と同様の变化を示して融雪していったが、3-1-1の実験と比べて実験までの時間が長かったため、融雪前に若干の溶出があった。特に下層側から融雪したコアについて、その傾向が強かった。

(2) 含有成分の挙動

図-6~10に、各イオンの積算溶出率を示した。

図-6の H^+ についてみると、表層から融雪したコアは融雪率20%で、50%の溶出率を示したが、下層から融雪したコアは、やや溶出速度が遅く、融雪率30%で50%の溶出率となっていた。また、融雪率50%における両コアの溶出率は、表層側が83%、下層側が65%で約18%の差異があった。

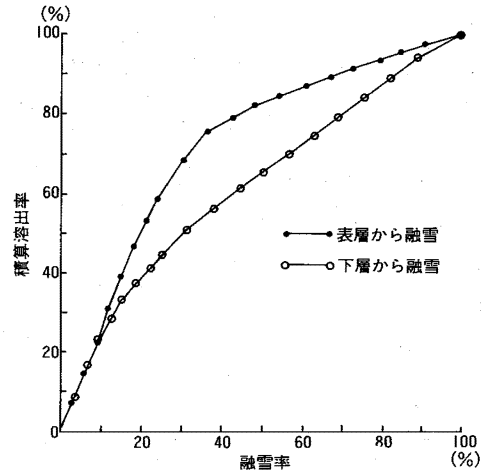


図-6 H^+ の積算溶出率(森吉地点)

図-7の SO_4^{2-} 、 NO_3^- についてみると、 H^+ 同様 SO_4^{2-} 、 NO_3^- とも表層から融雪したコアの溶出が速い傾向を示した。また、両コアとも SO_4^{2-} が NO_3^- よりも若干速く溶出する傾向であった。

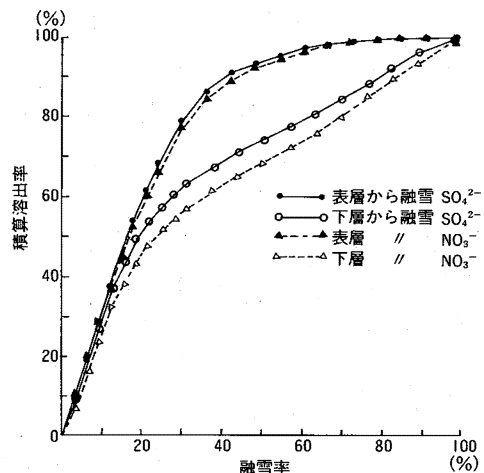


図-7 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 積算溶出率(森吉地点)

図-8の Cl^- と Na^+ は、図-6、7のイオンと異なり表層側、下層側の溶出の速さに大きな差異がなかった。いずれの項目も表層側、下層側とも融雪率20%で50%以上の溶出率で

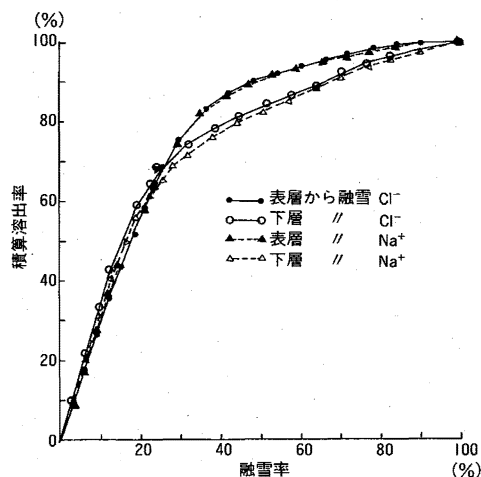


図-8 Cl^- 、 Na^+ の積算溶出率(森吉地点)

あった。

図-9の K^+ と Ca^{2+} についてみると、溶出の速い項目が下層側の K^+ 、遅い項目が下層側の Ca^{2+} であった。表層側の K^+ と Ca^{2+} は、ほぼ同様の溶出速度を示していた。

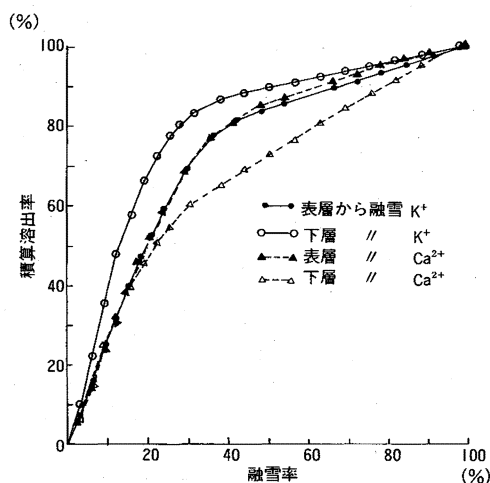


図-9 K^+ 、 Ca^{2+} の積算溶出率(森吉地点)

図-10には、 Mg^{2+} と NH_4^+ について示した。両項目とも表層側と下層側で溶出の速さに差異がみられたが、下層側の NH_4^+ を除く

といずれも融雪率20~25%の初期段階で、50%以上の成分量が溶出していた。

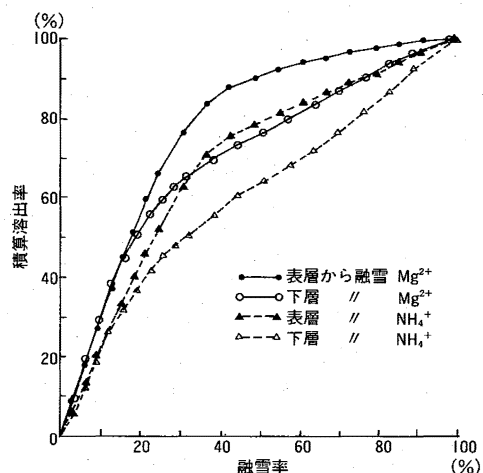


図-10 Mg^{2+} 、 NH_4^+ の積算溶出率

(森吉地点)

これらの結果より、3-1-1のように積雪を混合して融雪した場合も、3-1-2のように積雪を層状のまま表層側および下層側から融雪した場合も各イオンによって溶出の仕方に差異は生ずるが、ほとんどの場合融雪率20~25%の初期段階で、各イオンごとにおける全含有量の50%以上が溶出することがわかった。これらの結果は概報^{2,5)}の結果とほぼ一致しており、当県の積雪においても融雪初期段階での融雪水の強い酸性化、含有成分の高濃度化の懸念があることが確認できた。

3. 2 水質影響調査

3. 1では、積雪の融雪時における含有成分の挙動について述べたが、3. 2では融雪水が実際に湖沼の水質に影響を与えているか、調査した結果を述べる。

(1) 推子沢ため池地点の降水成分

表-1に、調査対象ため池地点において、融雪水以外に大きな影響を与える要因と考え

られる降水について調査した結果を示した。夏季の雨水は、一降水ごとに環境庁ろ過方式に準じた採取器で採取した。冬季の降雪は、環境庁方式の雪採取器で二週間単位で採取した。

pHについてみると、単純平均で夏季が4.39、冬季が5.60と大きな差異を示す地点であった。

った。その要因としては、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- の成分濃度に季節の差異が小さい割に、降水の酸性化を抑制する効果のある Ca^{2+} の濃度が冬季に高くなっていることが考えられた。

また、同地点の降雪は本号の「降雪成分に関する調査研究」にも示したように、市街地と後背地の中間程度の成分濃度を含む降雪をもたらす地点であった。

表一 1 推子沢ため池の降水成分調査結果

		pH	EC $\mu\text{S/cm}$	SO_4^{2-} $\mu\text{g/ml}$	NO_3^- $\mu\text{g/ml}$	Cl^- $\mu\text{g/ml}$	Na^+ $\mu\text{g/ml}$	K^+ $\mu\text{g/ml}$	Ca^{2+} $\mu\text{g/ml}$	Mg^{2+} $\mu\text{g/ml}$	NH_4^+ $\mu\text{g/ml}$	降水量 mm
夏 季 雨	7 / 8	4.26	30.4	3.73	2.16	0.48	0.29	0.20	0.40	0.05	0.85	4
	7 / 9	4.16	44.0	6.14	2.06	0.65	0.30	0.13	0.52	0.05	1.44	15
	7 / 11	4.33	33.7	5.21	1.52	1.55	1.05	0.19	0.42	0.14	0.95	8
	7 / 16	4.80	7.9	0.57	0.84	0.40	0.28	0.18	0.25	0.02	nd	8
	平 均	4.39	29.0	3.91	1.65	0.77	0.48	0.18	0.40	0.07	0.81	9
冬 季 雪	1/9 ~ 1/23	6.10	22.6	1.75	0.69	3.45	1.55	0.14	1.60	0.26	0.19	47
	1/23 ~ 2/6	4.97	42.3	3.33	1.18	7.36	3.92	0.20	1.20	0.54	0.28	74
	2/6 ~ 2/20	5.85	47.5	5.96	2.49	5.65	2.49	0.19	3.37	0.48	0.78	11
	2/20 ~ 2/27	5.46	24.7	1.88	0.86	4.07	—	—	—	—	—	30
	平 均	5.60	34.3	3.23	1.31	5.13	2.65	0.18	2.06	0.43	0.42	41

(2) 推子沢ため池の水質変化

図一11(1)、(2)に、夏季と冬季の水質変化を示した。ただし、今年度は記録的な暖冬の影響により、ため池地点に降雪はあるものの積雪としてとらえられる状態ではなく、したがって融雪水のため池の水質に与える影響をみることはできなかった。ここでは、夏季と冬季の水質の変化についてのみ、結果を報告する。

pHは夏季において6.43~6.67であったが、冬季は5.86~6.23となり、今回の調査では冬季の水質に酸性化の傾向があることを確認できた。最も低いpHを示した1月30日には、ため池に厚さ1cm程の水が張った状態の時であ

った。

ECは夏季において102.6~103.6 $\mu\text{S/cm}$ であったが、冬季の前半において111.9~120 $\mu\text{S/cm}$ と若干高くなり、氷が張った期間は98.4~102.2と最も低くなり、その後、冬季前半の値にもどる傾向を示した。

酸消費量は夏季の測定ができなかったが、冬季において最もpHの高かった2月28日において5.37 mgCaCO_3/l と最も高い値を示した。

イオン成分濃度についてみると SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 K^+ は夏季よりも冬季において濃度が高いが、氷が張った時点で急激に濃度が減少していた。また、 Na^+ 、 Mg^{2+} は夏季と冬季

に明確な濃度差がみられなかったが、氷が張った時点で急激な濃度変化があり、 Na^+ は減少、 Mg^{2+} は増加する傾向を示した。 NO_3^- は夏

季において検出されず、冬季において低い濃度で推移していた。

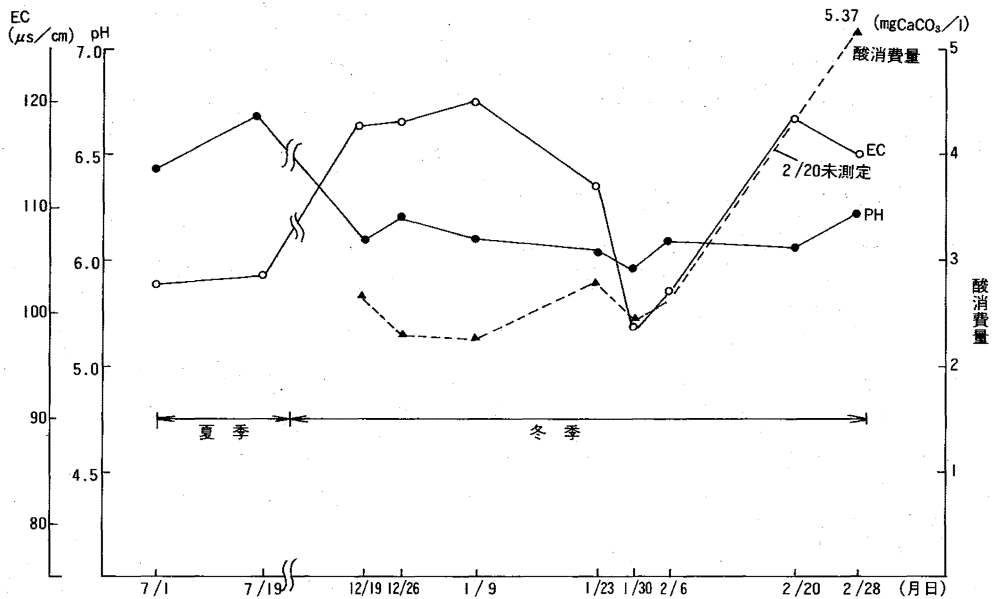


図-11(1) 推子沢ため池の水質変化

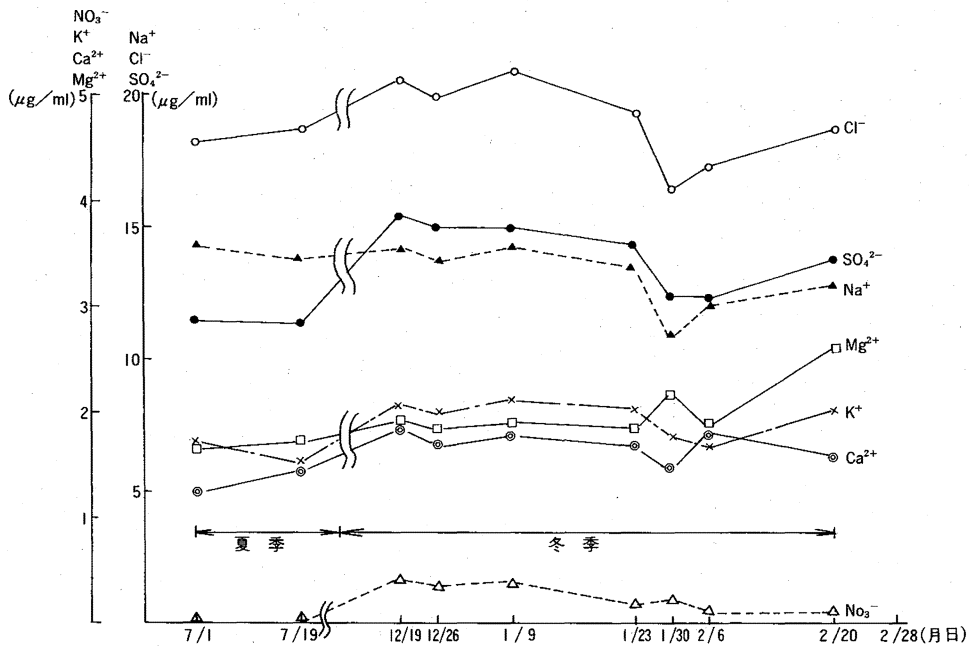


図-11(2) 推子沢ため池の水質変化

図-12に、八郎湖湖心における湖水のpHの経月変化を示した。冬季の1月、2月について調査した昭和60年度の推移をみると、推子沢ため池と同様、夏季のpHが高く、冬季が低くなっていた。他の年度についてもバラツキはあるが、概ね同様の傾向であった。八郎湖の夏季から秋季にかけて湖水のpHが上昇する要因としては、アオコの大量発生等、湖の植物の光合成量が多くなることに起因してい

るといわれているが^{6,7)}、今回の推子沢ため池のpHの推移についても、夏季における雨水のpHが低い時に池水のpHが高いこと、冬季における降雪のpHが高い時に池水のpHが低くなっていることからみて、池水のpHに与える影響は、少なくとも降水による要因よりは、池水内の植物の光合成によることが大きいのではないかと考えられた。

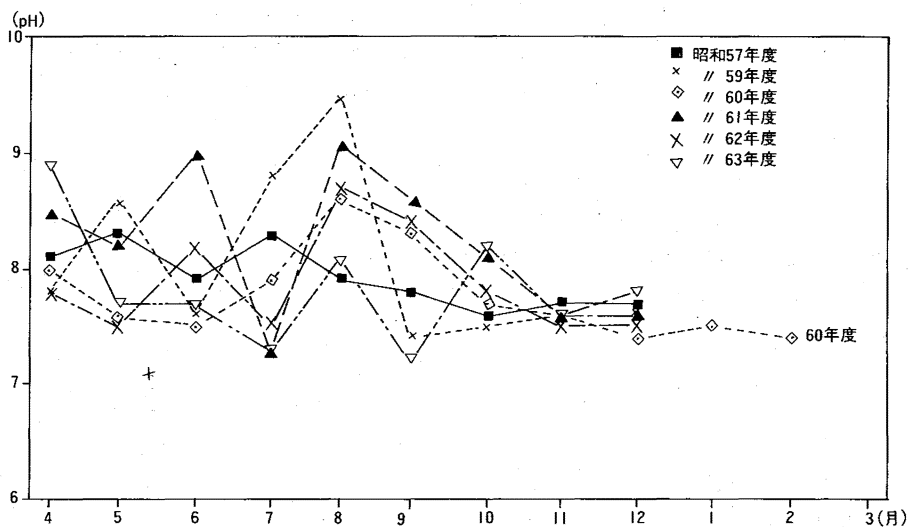


図-12 八郎湖湖心におけるpHの経月変化

4 ま と め

融雪水の含有成分の挙動について室内実験を行ったところ、次の結果を得た。

(1) 融雪が進むにしたがって、ザラメ状の雪質の層が多くなること、また、融雪水が下層に移流する際、雪がフィルターの役目を果たし、表層部に不純物が残留する現象がみられた。

(2) 八橋地点の積雪は、融雪率4%でpHが4.35、100%で5.5となり、初期と後期の融雪水にpH1.07の差異があった。また、ECでは融

雪率4%で $180.8\mu\text{S}/\text{cm}$ 、100%で $4.53\mu\text{S}/\text{cm}$ という値を示し、融雪の初期には高濃度のイオン成分を含んだ融雪水が流出する一方、融雪後期には純水に近いイオン成分量の融雪水が流出される現象がみられた。

(3) 融雪率に対する各イオンの組成比から、 NH_4^+ と Ca^{2+} の初期と後期に倍以上の組成比の差異がみられた。このことより、融雪水の初期と後期のpHの差異は、両イオンの初期段階での溶出の遅れが一つの要因となって

いるものと考えられた。

(4) 積雪を混合して融雪しても、層状のまま表層および下層側から融雪しても、各イオン成分はほとんどの場合融雪率20~25%で各イオンごとにおける全含有量の50%以上の溶出率を示した。

以上のことから、当県においても融雪の初期段階における環境への影響が懸念された。

次に、融雪水が実際に湖沼の水質に影響を与え得るかを確認するため、秋田市広面の推子沢ため池において野外調査を実施したが、記録的な暖冬で積雪が少なく、目的達成ができなかった。ただし、ため池の夏季と冬季の水質の変動を調査したところ、次の結果を得た。

(1) ため池地点の夏季における降水は、pHの単純平均で4.39、冬季の降水は5.60で差異がみられたが、その要因は Ca^{2+} が大きく寄与していると考えられた。

(2) ため池水のpHは、八郎湖湖水のpHの経月変化と同様、夏季に高く、冬季に低い傾向を示した。八郎湖の夏季のpHの上昇が、アオコ等の植物の光合成量が多くなることに起因しているのと同様、ため池の池水のpHの変動も、降水による要因より、池水中の光合成によることが大きいものと考えられた。

次年度においては、推子沢ため池地点において、再度融雪水による影響調査を継続するとともに、県内における河川の上流地点における融雪初期の水質について調査を予定している。

参 考 文 献

- 1) M. Tranter : Atmos, Environ,
Vol. 20, No. 3, 517 (1986)
- 2) M. Johannessen and A. Henriksen :

Water Resources Research,
Vol. 14, No. 4, 615 (1978)

- 3) H. Hultberg : Water, Air,
and Soil Pollution,
7, 279 (1977)
- 4) 斎藤 学ほか：秋田県環境技術センタ
一年報, No.15, 50 (1989)
- 5) 大泉 毅：東北・北海道公害研連絡協
議会、発表要旨集 (1987)
- 6) 秋田県環境技術センター年報,
No.12, 53 (1984)
- 7) 片野 登ほか：秋田県環境技術センタ
年報, No.11, 90 (1983)