

(8) 乗鞍岳湖沼群の水質に対する降雨の影響

INFLUENCE OF RAIN ON WATER QUALITY OF LOW BUFFERED LAKES IN MT. NORIKURA ALPINE AREA

川上 智規*

Tomonori KAWAKAMI*

ABSTRACT; Investigation conducted in 1992 and 1993 showed that the pH values in the lakes around the top of Mt. Norikura decreased compared with those in 1985. The water in all these lakes had low alkalinity values, low ion content and low pH values. An analysis of the ion balance between rain and water in Lake Tsurugaike revealed that neither ion exchange of H^+ for Ca^{2+} in sediments nor biological reduction of SO_4^{2-} took place. During the snow melting periods, there was a decrease in the concentrations of major ions in Lake Tsurugaike and an increase in pH values. This indicates that Tsurugaike was strongly influenced by the initial fraction of meltwater containing highly concentrated ions released from snow pack.

KEYWORDS; LOW BUFFERED LAKES, MT. NORIKURA, LOW ALKALINITY VALUE, MELT WATER

1. はじめに

現在日本においては酸性雨の影響による湖沼の酸性化被害は顕在化していないとされている。しかしながら環境庁の第1次酸性雨調査によれば都市部では欧米と同程度のpHの酸性雨が観測されており、今後の湖沼に対する影響が懸念されている。日本で河川や湖沼の酸性化が顕在化していない主な理由は、集水域内の塩基性の厚い土壌層がアルカリ成分を供給するため、酸性化に対する緩衝能を大きくしているためと考えられている¹⁾。しかし、山岳地では、このような土壌が未発達な地域もあり、また、同一地域の湖沼では、標高が高いほどアルカリ度が小さくなる傾向も指摘されていることなどから²⁾、日本においても標高の高い山岳地に存在する湖沼や河川は酸性雨の影響を受ける可能性が最も高いと考えられる。実際に北アルプスの山岳中ではアルカリ度が極めて少なく、酸性物質に対する緩衝能に乏しい高山湖が存在していることも知られている^{1) 3)}。本研究では、このような高山湖に属する乗鞍岳山頂付近の湖沼群のうち、鶴ヶ池、不消池、五ノ池および権現池において、主に湖水中のイオン成分を分析し、湖水の酸性雨に対する緩衝能を調査した。このような高山地でも1990年には山頂付近においてpHが4以下の酸性霧が観測され、酸性雨とは無縁でないことが示されており⁴⁾、また今回の1992年10月の調査では、1985年7月および8月の環境庁の調査⁵⁾に比較して、不消池を除く他の湖沼でpHの低下が観測され、さらに1993年7月の調査では、全湖沼でpHの低下が観測された。また鶴ヶ池に関しては1992年の夏期に継続的に湖水の採水を行い、同時に降雨も採取することによって降雨が湖水の水質に与える影響を評価した。さらに鶴ヶ池では1993年5月から6月にかけて、融雪初期の水質特性を調査した。

* 富山県立大学短期大学部環境工学科

Department of Environmental Technology, Toyama Prefectural University

2. 調査地点の状況

乗鞍岳山頂付近の地図をFig. 1に示す。乗鞍岳は岐阜県と長野県の県境に位置し、標高3026mの剣ヶ峰を主峰とする南北約5kmに連なる火山体である。山頂付近には乗鞍岳の火山活動にともなって形成されたいくつかの湖沼が存在しており、いずれも標高2700m前後に位置する、貧栄養湖である。各湖沼の諸元^{5) 6)}をTable 1に示す。五ノ池に関しては五湖のうち最も東に位置する池を対象とした。いずれの湖沼にも流入河川および流出河川は無い。湖岸の植生は乏しく、わずかにハイマツが生育している程度である。湖底の腐植質は見あたらない。湖面は10月から5月にわたって凍結しており、魚類の生息は無い。利水状況は五ノ池および鶴ヶ池での利水はなく、権現池および不消池は飲用に用いられているが、ゴムホースによる引水であり湖水に与える影響は極めて小さいものと思われる。権現池および五ノ池付近は立入禁止となっており直接的な人為汚染は無い。不消池付近も通常は立入禁止となっているが、1992年の調査時には湖岸で土木工事が行われていた。しかし、湖水への濁度成分の流出などは認められなかった。鶴ヶ池付近の立ち入りは制限されていない。

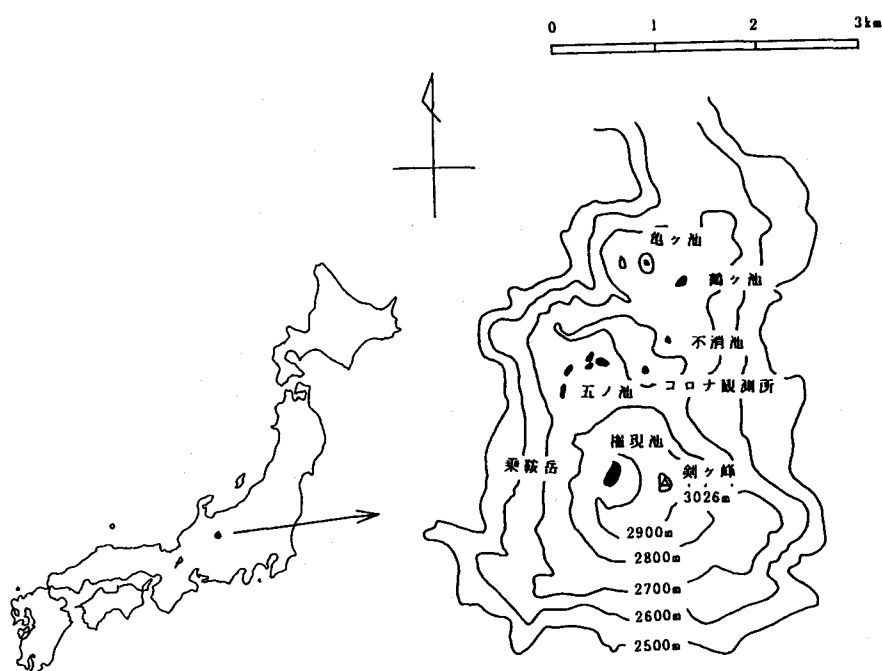


Fig.1 Map showing location of Mt.Norikura alpine area

Table 1. Characteristics of lakes studied

	Classification ⁶⁾	Type ⁵⁾	Altitude(m) ⁵⁾	Area(km ²) ⁵⁾	Max. Depth(m) ⁵⁾	Ave. Depth(m) ⁵⁾
Tsurugaike	Caldera	Oligotrophic	2700	0.01153	4.0	1.51
Kiezuike	Crater	Oligotrophic	2730	0.00529	2.8	1.82
Gonoike	Dammed	Oligotrophic	2690	0.00596	1.9	0.88
Gongenike	Crater	Oligotrophic	2810	0.04026	5.0	3.25

3. 調査方法

鶴ヶ池においては1992年7月17日より10月11日までの86日間にわたって、約1週間ごとに採水を行った。採水時刻は午前11時頃に統一した。不消池、権現池および五ノ池に関しては1992年10月2日および1993年7月28日に採水を行った。採水はすべて湖岸より行き表層水を採取した。降雨はポリプロピレン製の容器の上部に直径17.5cmのポリエチレン製のロートを接続した採取装置を鶴ヶ池付近に設置し、鶴ヶ池の採水時に回収した。降水の変質を避けるため、十分に洗浄したNo. 1のろ紙を用いて、ロート部でろ過を行う様にした。またポリプロピレン製の容器は光を通さないものを用いた。pHおよび電気伝導度は現地で測定し、その他の項目はサンプルを実験室に持帰り、直ちに0.45 μ mのメンブランフィルターによりろ過した後、分析に供した。分析方法はTable 2にまとめた。

Table 2. Analysis method

PH	: glass electrode method
EC	: electrical conductivity meter
SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , Cl ⁻	: ion chromatography
Na ⁺ , K ⁺	: flame photometer
NH ₄ ⁺	: indophenol method
Ca ²⁺ , Mg ²⁺	: flame atomic absorption
Alkalinity	: titration by 0.005N H ₂ SO ₄ to an end point of pH=4.8

4. 結果と考察

4.1 鶴ヶ池、不消池、五ノ池および権現池のpHの変化

1985年、1992年および1993年における鶴ヶ池、不消池、五ノ池および権現池のpHをTable 3に示す。1992年の調査では、1985年の調査結果に比較し不消池を除く湖沼でのpHの低下が顕著であった。1993年には不消池でもpHの低下が観測された。1985年の調査では採水ポイントが湖心であるのに対し1992年および1993年の調査では湖岸であったが、これらはいずれも小湖沼であり、湖岸に植生も無いため、差異は無いものと思われる。また後で詳しく述べるが、鶴ヶ池での経時的調査では、1992年の7月から10月にかけての調査期間中、pHの変化はほとんど無かった。

Table 3. pH observed in 1985, 1992 and 1993

	JUL. 1985	AUG. 1985	OCT. 1992	JUL. 1993
Tsurugaike	6.3 (JUL. 24)	6.4 (AUG. 20)	5.5 (OCT. 2)	5.5 (JUL. 28)
Kiezuike	6.3 (JUL. 28)	6.8 (AUG. 21)	6.4 (OCT. 2)	5.9 (JUL. 28)
Gonoike	6.7 (JUL. 26)	6.9 (AUG. 21)	6.1 (OCT. 2)	5.6 (JUL. 28)
Gongenike	6.2 (JUL. 25)	6.1 (AUG. 20)	5.6 (OCT. 2)	5.4 (JUL. 28)

4.2 鶴ヶ池、不消池、五ノ池および権現池の溶存イオン

1992年10月2日における鶴ヶ池、不消池、五ノ池および権現池の溶存イオンをTable 4に示す。いずれの湖沼もイオン濃度が極めて低く、酸性降下物質に対する緩衝能力の指標の一つであるアルカリ度(pH=4.8)も極めて小さい。緩衝能力の無い蒸留水であっても、pH=7.0からpH=4.8にするためには、15.8 μ eq/Lの水素イオンが必要であることを考えると、これらの湖沼の緩衝能力としてのアルカリ度はほとんど存在しないこととなる。

Table 4. Physicochemical analyses of the lakes sampled on Oct. 2 1992

	pH	EC (μ S/cm)	Na ⁺ (μ eq/l)	K ⁺ (μ eq/l)	NH ₄ ⁺ (μ eq/l)	Ca ²⁺ (μ eq/l)	Mg ²⁺ (μ eq/l)	Cl ⁻ (μ eq/l)	NO ₃ ⁻ (μ eq/l)	SO ₄ ²⁻ (μ eq/l)	Alkalinity (μ eq/l)
Tsurugaike	5.5	5.6	8.4	3.3	0.4	22.3	6.4	3.3	7.7	21.4	22
Kiezuike	6.4	5.9	14.6	3.7	0.6	25.0	14.0	4.0	1.6	16.3	45
Gonoike	6.1	3.5	8.7	1.8	0.4	11.6	4.4	4.9	0.4	12.3	24
Gongenike	5.6	3.8	8.4	2.0	0.6	10.9	1.7	5.0	0.3	10.4	22

4.3 鶴ヶ池のイオン濃度の経時変化

鶴ヶ池においては1992年7月17日から10月11日まで経時的に採水を行った。湖水のpHおよびカチオン濃度の変化をFig. 2に、アニオン濃度の変化をFig. 3に示す。期間中、カルシウムイオンと硫酸イオンが漸増した以外はpHも含めて各イオンとも際だった変化はなかった。

4.4 降雨と鶴ヶ池の水質の関係

これまで述べてきたように乗鞍岳の湖沼群はいずれもアルカリ度や溶存イオン濃度が極めて小さく酸性雨の影響を受けやすい水質を形成している。一方、アルカリ度生産プロセスは集水域の土壌や底泥におけるカチオンと水素イオンとのイオン交換や、硫酸イオンや硝酸イオンの生物による消費などが報告されている^{7) 8)}。乗鞍岳湖沼群においてこのようにアルカリ度が小さいのはその様なプロセスが欠乏していることによると考えられる。そこで鶴ヶ池の採水と同時に降雨を採取し、降雨が鶴ヶ池の水質に与える影響を検討し、鶴ヶ池のアルカリ度生産を評価した。

降雨の採取は鶴ヶ池近辺に設置した前述のろ過式採取装置を用いたが、この降雨採取装置で採取した降雨量と乗鞍岳に設置されている気象庁のロボット観測器による降雨量⁹⁾は一致し、採取効率や、蒸発損失における問題はなかった。各観測期間における降雨量をTable 5に示す。

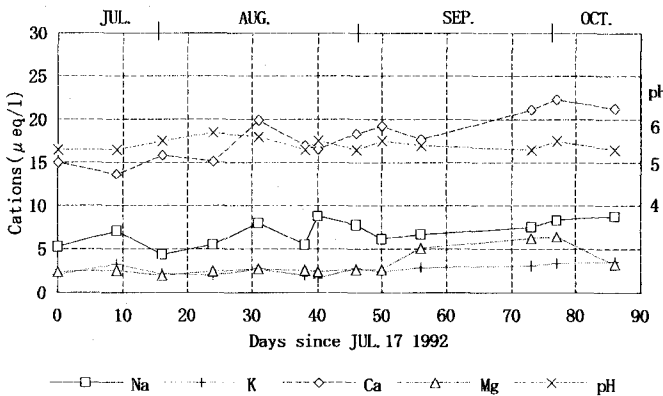


Fig. 2 Changes of pH and cations in Lake Tsurugaike

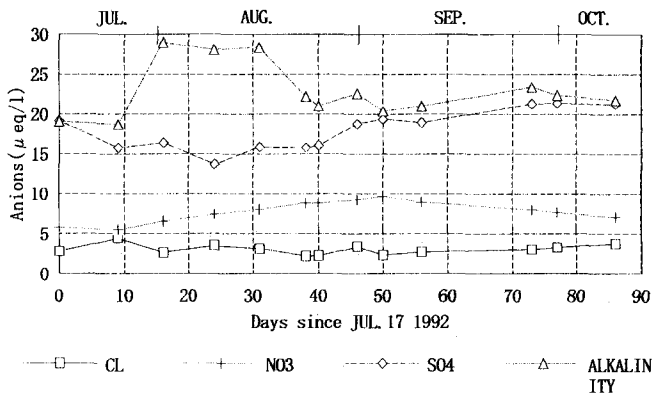


Fig. 3 Changes of pH and anions in Lake Tsurugaike

Table 5. Rainfall amount

Date(1992)	JUL. 17	JUL. 26	AUG. 2	AUG. 10	AUG. 17	AUG. 24	AUG. 26	SEP. 1	SEP. 5	SEP. 11	SEP. 28	OCT. 2	OCT. 11
Days since JUL. 17	0	9	16	24	31	38	40	46	50	56	73	77	86
Rainfall(mm)		111	20	136	167	15	47	17	32	0	87	44	

まず、鶴ヶ池の水位と降雨量を用いて、降雨による鶴ヶ池への流入水量を求める。各観測期間における、水位、湖水面積、体積の変化をFig. 4に示す。水位は定点に水深棒を立てて測定し、その水位から、文献5)に示された湖盆形態を用いて湖水面積と体積を求めている。鶴ヶ池は1992年7月には豊富な融雪水にささえられ水量も豊富であったが、その後次第に水位を減じ、3カ月の間にほぼ2m低下した。

1992年7月17日～10月11日の間の観測時における気温ならびに水温の単純平均は共に13℃と低く、また水位の低下が降雨の無かった9月5日～9月11日の間を例にとると、16mm/dayと大きいことから、水位の減少は地下浸透によるものと考え、単位湖水面積当たりの1日の地下への浸透率 D を式(1)の様に定義する。

$$D = \Delta V / s / t \tag{1}$$

ここに

ΔV : 観測期間中の湖水量の減少

s : 湖水面積

t : 観測期間

9月5日～9月11日の間には降雨がなく、 ΔV は362 m^3 であった。9月11日の湖水面積は3526 m^2 、観測期間 t は6日間であったのでそれらを式(1)に代入して

$$D = 0.017 m^3 / m^2 / day$$

が得られる。

また9月28日～10月2日の間には44mmの降雨があり、水位の変化がなかった。この期間中は9月5日～9月11日と比較して湖水面積に大きな差がないため、

地下への浸透率 D は同じと考え、9月28日～10月2日の4日間の地下浸透量を求めると式(1)より

$$\Delta V = D \cdot s \cdot t \tag{2}$$

であるから、 $D = 0.017 m^3 / m^2 / day$ 、10月2日の湖水面積 $s = 3328 m^2$ 、 $t = 4 days$ を代入し、

$$\Delta V = 226 m^3$$

が得られる。一方、 ΔV に相当する水量を降雨が供給したことにより湖水に水位変化が生じなかったとすると、単位量の降雨がもたらす鶴ヶ池の集水量 W は降雨量を P として式(3)で与えられる。

$$W = \Delta V / P \tag{3}$$

9月28日～10月2日の間の降雨量は $P = 44 mm$ であったため

$$W = 5.1 m^3 / mm$$

が得られる。鶴ヶ池の集水面積は、約 0.42 Km^2 であり、集水域内の降雨のうちわずかに1.2%が鶴ヶ池に流入したことになる。この集水量 $W = 5.1 m^3 / mm$ は一定と仮定すると、各観測期間中に鶴ヶ池に降雨がもたらした流入水量を推算することができる。

一方、各期間中の降雨の水質をTable 6に示す。

Table 6. Physicochemical analyses of the rain water

Sampling Date (1992)	pH	EC ($\mu S/cm$)	Na ⁺ ($\mu eq/l$)	K ⁺ ($\mu eq/l$)	NH ₄ ⁺ ($\mu eq/l$)	Ca ²⁺ ($\mu eq/l$)	Mg ²⁺ ($\mu eq/l$)	Cl ⁻ ($\mu eq/l$)	NO ₃ ⁻ ($\mu eq/l$)	SO ₄ ²⁻ ($\mu eq/l$)
AUG. 10	5.9	5.5	12.9	4.5	4.2	19.4	3.9	11.6	1.8	3.0
AUG. 26	6.2	3.5	6.4	1.2	1.7	18.9	1.8	1.8	4.1	6.0
SEP. 1	6.0	12	11.1	4.8	10.9	63.8	11.7	10.9	23.2	43.1
SEP. 5	6.8	17	13.7	5.1	3.4	91.6	33.2	13.6	16.4	34.0
SEP. 28	6.1	13	16.0	4.2	10.9	61.3	35.2	13.5	16.7	37.0
OCT. 2	5.9	8.2	8.1	2.6	1.8	34.5	25.8	7.0	8.1	11.7

7月から8月にかけては採取装置に金網を取り付けたにもかかわらず、多数の昆虫が侵入したため正確な値を得る事ができない場合が多く、そのようなデータは除外している。降雨の水質は、いずれもpHが5.6を上回り、酸性雨ではなかったが、比較的高濃度の硫酸イオンや硝酸イオンが観測された。湖水および降雨を採取した期間ごとに、この流入水量と降雨の水質を用いて、降雨がイオン濃度を変化させることなく鶴ヶ池に流入した場合の、鶴ヶ池のイオン濃度の変化の予測値を次の仮定のもとに計算することができる。

1. 鶴ヶ池では降雨と湖水は完全混合する。
2. 湖面からの蒸発水量は地下浸透量に対して無視できる。

各期間ごとに、各イオンについて、降雨によるイオン濃度の変化の予測値と実測値を求めTable 7に示す。また、予測値と実測値の相関係数をTable 8に示すが、カルシウムイオンと硫酸イオンについて高い相関が認められる。

Table 7. Comparison between predicted changes and observed changes of ion concentration during each period

		AUG. 2-10		AUG. 24-26		AUG. 26-SEP. 1		SEP. 1-5		SEP. 5-11		SEP. 11-28		SEP. 28-OCT. 2	
		Pred.	Obs.	Pred.	Obs.	Pred.	Obs.	Pred.	Obs.	Pred.	Obs.	Pred.	Obs.	Pred.	Obs.
Na ⁺	(μeq/l)	0.67	1.09	0.03	3.31	0.03	-1.05	0.16	-1.56	0.00	0.52	0.76	0.83	0.04	0.82
K ⁺	(μeq/l)	0.18	-0.13	-0.03	-0.28	0.04	1.08	0.06	-0.34	0.00	0.44	0.11	0.25	-0.04	0.24
NH ₄ ⁺	(μeq/l)	0.12	-1.83	0.04	0.00	0.14	0.00	0.07	0.56	0.00	-0.56	0.85	-0.05	0.10	-0.06
Ca ²⁺	(μeq/l)	0.28	-0.70	0.07	-0.40	0.64	1.79	1.94	0.90	0.00	-1.55	3.58	3.45	1.04	1.15
Mg ²⁺	(μeq/l)	0.44	0.50	-0.03	-0.16	0.13	0.24	0.81	0.00	0.00	2.47	2.47	1.15	1.53	0.17
Cl ⁻	(μeq/l)	0.70	0.90	-0.01	0.06	0.12	1.13	0.27	-1.05	0.00	0.37	0.88	0.31	0.31	0.31
NO ₃ ⁻	(μeq/l)	-0.37	0.85	-0.17	-0.03	0.19	0.47	0.19	0.39	0.00	-0.68	0.63	-0.99	0.01	-0.30
SO ₄ ²⁻	(μeq/l)	-1.05	-2.69	-0.34	0.27	0.37	2.71	0.40	0.62	0.00	-0.45	1.48	2.39	-0.75	0.08

カルシウムイオンおよび硫酸イオンについて、計算値に対する実測値の関係をFig.5およびFig. 6に示す。図中に回帰直線を記したが、カルシウムイオンは傾きがほぼ1.0に近く、硫酸イオンは1.7である。このことは鶴ヶ池の水質のうちの主

な中和成分であるカルシウムイオンはそのほとんどが降雨によってもたらされている事を示している。硫酸イオン濃度の変化も降雨と密接な関係があることは明かであるが、降雨により供給される硫酸イオンの負荷量以上に湖水の濃度が変化しており原因は不明である。カルシウムイオンおよび硫酸イオン以外では降雨と湖水の水質との明瞭な関係は見いだせなかった。

アンモニウムイオンや硝酸イオンは生物による酸化や還元が考えられ、その他のイオンは降雨以外に土壌や底泥の影響を受けているためと思われる。鶴ヶ池ではカルシウムイオン濃度が極めて低く、しかもそれが降雨から供給を受けていると考えられることから、集水域の土壌や底泥によるアルカリ度の生産がほとんどないと考えられる。硫酸イオンに関しても降雨によりもたらされた硫酸イオンが減少する傾向は見られず、硫酸の還元によるアルカリ度の生産もほとんどないと考えられる。

Table 8. Correlation coefficient between predicted changes and observed changes for each ion

Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
0.08	-0.14	0.11	0.85	0.00	0.13	-0.61	0.81

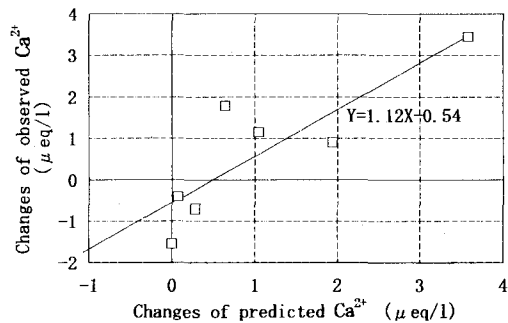


Fig 5 Relationship between changes in predicted Ca²⁺ and in observed Ca²⁺

4.5 融雪水と湖水の水質特性

鶴ヶ池は5月上旬までは積雪に埋もれて湖面は現れないが、それ以降は融雪により湖面が姿を現す。集水域での積雪が消失した後は1992年には8月と9月に554mmもの降雨があったにもかかわらず水位は低下する一方であった。すなわち融雪時には降雨に比べて格段に水量負荷が大きい。従って湖面が現れる時期の水質は融雪水の水質の影響を強く受けているものと考えられる。一方、融雪初期の融雪水中には積雪に含まれるイオン成分が濃縮した形で含まれ¹⁰⁾、河川や湖沼のpHを一時的に低下させることが指摘されている¹¹⁾。そこで1993年5月から6月にかけて鶴ヶ池における融雪水の

湖水の水質に対する影響を調査した。1993年5月31日には鶴ヶ池のある火口原にはまだ残雪が豊富で、雪溪の末端より鶴ヶ池に流下していた融雪水および表層より約20cmの深さの残雪を採取した。5月26日～5月31日の間には降雨が無く、融雪水および残雪のサンプルには降雨の混入は無かったものと思われる。それぞれのイオン濃度と5月31日における鶴ヶ池のイオン濃度の比較をTable 9に示す。

Table 9. Physicochemical analyses of Tsurugaike, melt water and snow sampled on MAY 31 1993

	pH	EC (μ S/cm)	Na ⁺ (μ eq/l)	K ⁺ (μ eq/l)	NH ₄ ⁺ (μ eq/l)	Ca ²⁺ (μ eq/l)	Mg ²⁺ (μ eq/l)	Cl ⁻ (μ eq/l)	NO ₃ ⁻ (μ eq/l)	SO ₄ ²⁻ (μ eq/l)
Tsurugaike	5.4	5.0	5.4	2.0	2.7	19.5	3.5	4.6	5.9	17.9
Melt water	5.5	2.7	2.1	2.1	2.7	8.2	1.6	3.0	2.9	5.6
Snow	5.8	1.1	0.7	0.3	1.1	4.7	0.6	0.8	0.4	0.7

鶴ヶ池の各イオン濃度は融雪水に比べてかなり高かったことがわかる。また、5月31日の融雪水と残雪の組成を比較しても融雪水の方が各イオン濃度が高くなっており、融雪が進行するとともに融雪水のイオン濃度は小さくなっていくことを示している。1993年5月17日より6月25日までの鶴ヶ池のカルシウムイオンおよび硫酸イオンの変化をFig. 7に示す。融雪の進行とともに湖水中のイオン濃度は減少し、pHも次第に上昇した。その他のイオンもアンモニウムイオン以外は同様の傾向であった。これらの点から、鶴ヶ池の融雪初期の水質は、冬季に降雪としてもたらされ積雪中に蓄積した酸性降下物質が融雪時に濃縮された形で湖に負荷され一時的に低pHを示し、その後希釈されるものと考えられる。

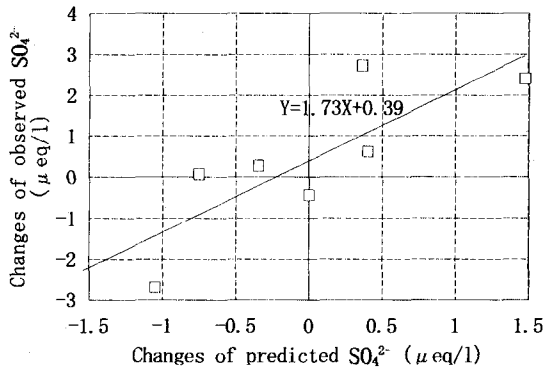


Fig. 6 Relationship between changes in predicted SO₄²⁻ and in observed SO₄²⁻

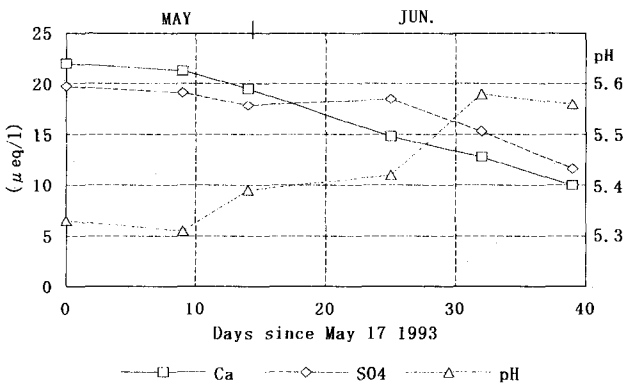


Fig. 7 Ca²⁺ and SO₄²⁻ from May. 17 to Jun. 25 1993

5. まとめ

乗鞍岳山頂付近の湖沼群の水質を調査し、次のことが明らかとなった。

- (1) 1992年および1993年度に乗鞍岳山頂付近の湖沼群の水質を調査した結果、1992年度には鶴ヶ池、五ノ池および権現池において、1993年度には不消池においても1985年の調査時に比べてpHの低下がみられた。
- (2) 乗鞍岳山頂付近の湖沼群の水質はいずれもアルカリ度やイオン濃度が著しく低く緩衝能力に極めて乏しいものであった。
- (3) 鶴ヶ池の水質を1992年の7月から10月にかけて、特に溶存イオンに注目して調べたがこの期間中にはpHの低下などの顕著な変化はみられなかった。一方、1993年5月から6月にかけては融雪の進行と共に溶存イオン濃度は次第に減少しpHも上昇した。
- (4) 鶴ヶ池において降雨と湖水の水質の変化を比較した結果、鶴ヶ池の主な中和成分であるカルシウムは直接降雨から供給されており、また降雨から供給された硫酸イオンが減少する傾向はみられず、集水域の土壌あるいは底泥からのアルカリ度の供給は小さい。
- (5) 鶴ヶ池では融雪初期に各イオン濃度が高く、pHが低かった。冬季の積雪中の酸性物質が融雪時に濃縮された形で湖に負荷され、その後希釈されているものと考えられる。

おわりに

本研究の実施に当たり岐阜県道路公社殿ならびに久々野高山営林署殿には多大な御協力を頂きました。深く感謝の意を表する次第です。

参考文献

- 1) 環境庁:平成2年度地球環境推進費研究成果報告 pp. 590-595, 1991
- 2) TURK, J. T. & ADAMS D. B. :Sensitivity to Acidification of Lakes in the Flat Tops Wilderness Area, Colorado. Water Resources Research, Vol. 19, No. 2, pp. 346-350, 1983
- 3) 林秀剛ら:北アルプス高山湖(鷲羽池、双六池)の水質におよぼす酸性雨の影響, 日本陸水学会第57回大会講演要旨集, pp. 116, 1992
- 4) 鶴田治雄ら:乗鞍岳における夏期の霧水、雲水および雨水中のイオンと過酸化水素の測定(第2報), 第32回大気汚染学会講演要旨集, pp. 382, 1991
- 5) 環境庁:第3回自然環境保全基礎調査, 湖沼調査報告書 東海・近畿版, pp. (21.1)-(21.46), 1987
- 6) 清水建美編著:乗鞍の自然, 信濃毎日新聞社
- 7) D. W. Schindler, M. A. Turner, M. P. Stainton, G. A. Linsey:Natural source of acid neutralizing capacity in low alkalinity lakes of the Precambrian shield., SCIENCE, Vol. 232, pp844-847, 1986
- 8) D. A. Bruns, T. P. O'Rourke and G. B. Wiersma:Acid neutralization in laboratory sediment-water microcosms from a Rocky mountain subalpine lake(USA)., Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 9, pp. 197-203, 1990
- 9) 岐阜県気象月報
- 10) 杉浦吉雄:融雪時における雪の化学組成の変化について, 雪氷, 第16巻 第6号, pp. 13, 1954
- 11) Johanessen, M. & A. Henriksen :Chemistry of Snow Meltwater:Changes in Concentration During Melting., Water Resources Research, Vol 14, No. 4, pp. 615-619, 1978