

平成 22 年度猪苗代湖調査研究事業等報告書

平成 23 年 5 月

福島県環境センター

目 次

1	猪苗代湖及び主要流入河川のイオンバランスの季節変動と経年変化調査	1
2	猪苗代湖の水温及び電気伝導率の連続測定調査	13
3	水生植物による水質への影響確認調査	17
4	猪苗代湖大腸菌群超過対策調査	21
5	調査研究発表 猪苗代湖における源流域の水質変化と湖内の水質との関連について	33
	平成 22 年度福島県環境技術連絡会調査研究発表会（平成 23 年 2 月、福島県福島市）	

1 猪苗代湖及び主要流入河川のイオンバランスの季節変動と経年変化調査

1 目的

猪苗代湖は長年酸性湖として知られていたが、平成7年に5.1であったpHが平成21年には6.8まで上昇するなど、水質に変化が生じている。pHが上昇しているのは、猪苗代湖や猪苗代湖に流入する河川中のイオンの量及び組成が変化していることが原因であると考えられる。

このため本調査では、猪苗代湖及び猪苗代湖に流入する河川のイオン成分等を調査し、水質等を把握するとともに、猪苗代湖のpH上昇との関連を調べる。

2 調査方法

湖水及び流入河川について各溶存イオン等の濃度及び負荷量の傾向を解析し、近年の湖水のpH上昇との関連について考察した。

3 調査地点

調査地点は図1のとおり。

なお、長瀬川(小金橋)は発電放流水の影響を受けない時間に調査を行った。

- (1) 猪苗代湖(湖心) 1地点
(4層 表層、10m、50m及び90m)
- (2) 酸川(酸川野) 1地点
- (3) 長瀬川(上長瀬橋) 1地点
- (4) 長瀬川(小金橋) 1地点
- (5) 高森川(酸川合流前) 1地点
- (6) 酸川(高森川合流前) 1地点
- (7) 硫黄川(高森川合流前) 1地点



図1 調査地点

4 調査時期

3-(1)については年4回(4月、6月、8月、10月)

3-(2)~(7)については年6回

(4月、6月、8月、10月、12月、2月)

5 調査項目

Fe、Mn、Al、Zn、T-P、TOCは総量だけでなく、溶存態としてGF/C(ろ紙)でろ過したろ液を測定しイオンバランスを検討した。

- (1) 気温、水温、透明度(湖)、色相(湖)、流量(河川)、透視度(河川)
- (2) 重金属(Fe、Mn、Al、Zn)
- (3) 陽イオン(Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+)
- (4) 陰イオン(F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NO_2^-)

- (5) その他(pH、EC、T-P、T-N、酸度、アルカリ度、TOC)

6 測定方法

- (1) pH：イオン電極法
- (2) EC(電気伝導度)：電気伝導度計
- (3) DO, 酸度, アルカリ度：滴定法
- (4) T-P, PO₄-P：吸光光度法
- (5) Fe, Mn, Al, Zn：ICP/AES 法又は ICP/MS 法
- (6) Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, F⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻：イオンクロマトグラフ法
- (7) TOC：燃焼酸化-赤外線式 TOC 自動計測法

7 結果及び考察

現地調査票については、別紙 1 のとおり。

分析結果の一覧は別紙 2 のとおり。

- (1) 猪苗代湖湖心の水質について

ア 水質の経年変化

環境センターで行っている「猪苗代湖等水環境保全対策調査事業」では、平成 14 年度から 18 年度までは水深 0m、10m、20m、50m(計 4 層)で調査を行ったが、平成 19 年度以降は水深 0m、10m、50m、90m(計 4 層)で調査を行っている。また、平成 14 年以降は年 4 回(4 月、6 月、8 月、10 月)調査を行っているが、平成 19 年から 21 年は冬期調査として 1 月又は 2 月の調査を行い調査回数が年 5 回となっている。このため、経年変化の検討には水深 3 層(0m、10m、50m)、年 4 回(4 月、6 月、8 月、10 月)のデータを用いた。

- (ア) pH

pH の経年変化を図 2 に示す。

pH は平成元年から 7 年までは 5.0 ~5.1 の範囲にあったが、平成 8 年以降、年々上昇していることが分かる。本調査による今年度の平均値は 6.76 で、平成 19 年から平成 21 年の過去 3 年の範囲(6.56~6.74)と比べ上昇していた。

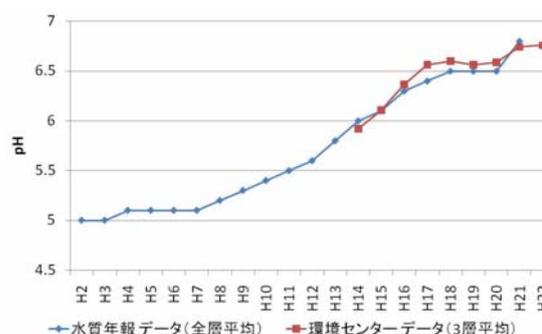


図 2 pH 経年変化

- (イ) 溶存イオン

昭和 54 年~56 年(1978~1981)に福島大学が、平成 14 年~22 年(2001~2010)に当所が行った調査結果のうちイオン当量濃度の推移を図 3 に示す。湖心のイオン当量濃度の総和は平成 18 年までは減少、平成 19 年からは横ばい若しくは増加傾向となっている。

湖心の陽イオンの成分割合は、多い順に Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺、K⁺の順で経年的に成分割合の変化を確認することはできなかった。陰イオンは多い順に SO₄²⁻、Cl⁻で

この2物質で全体の90%以上を占め、次いで HCO_3^- 、 NO_3^- の順であった。陰イオンは長期的に HCO_3^- (アルカリ度)の増加傾向が確認されている(図4)。

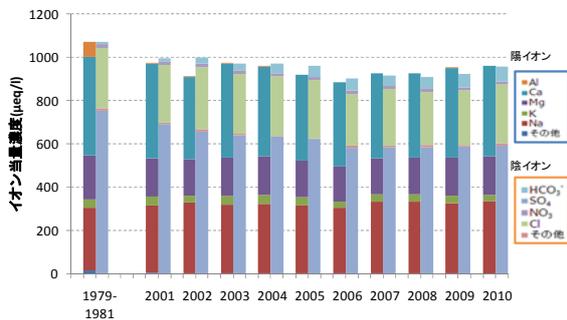


図3 イオンの経年変化

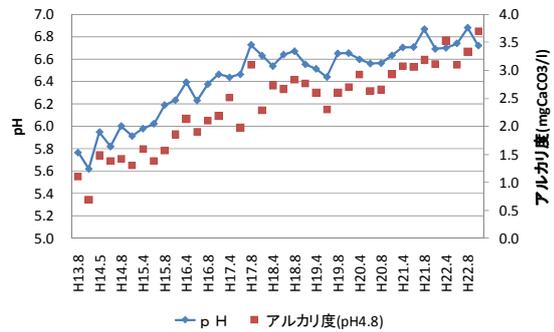


図4 pH及びアルカリ度経年変化

イ 水深ごとの水質調査結果

湖心では水深0m、10m、50m、90mの4層で調査を行っている。水深による水質の差について検討を行ったところ、調査を行った4層の水質は全てのイオン成分でほぼ同じ濃度であった(図5)。

また、DOは全ての時期及び水深で濃度が8mg/L以上あり、成層期の深水部でも高濃度で存在していた。平成19年度以降の90m層のDO値を図6に示す。このことから、現時点で湖底にリンなどと共沈している水酸化鉄(III)が嫌気的条件下で溶出し、リンなどを溶出させる恐れはないと史料した。しかし、成層期末期である10月のDOは平成19年以降最低であることから、今後もモニタリングを継続する必要があると史料した。

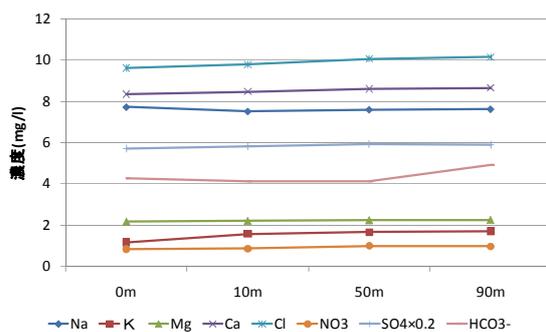


図5 水深別溶存イオン

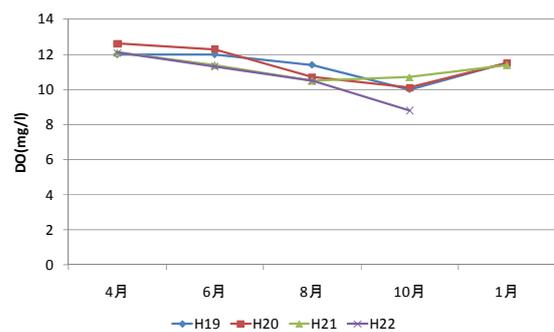


図6 90mにおける溶存酸素濃度

ウ 月ごとの水質調査結果

鉛直水温の調査結果を図7に示す。なお、図7の作成にあたっては「平成22年度猪苗代湖大腸菌群超過対策調査事業」で測定したデータも使用している。

春は全層均一、夏に水温躍層が形成、秋に水温躍層の崩壊と例年と同じ挙動であった。また、月による水質の差について検討を行ったところ、調査を行った4回の水質は全ての成分で概ね同じであった(図8, 9)。

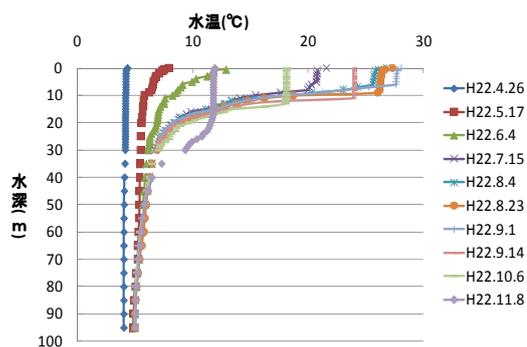


図7 鉛直水温

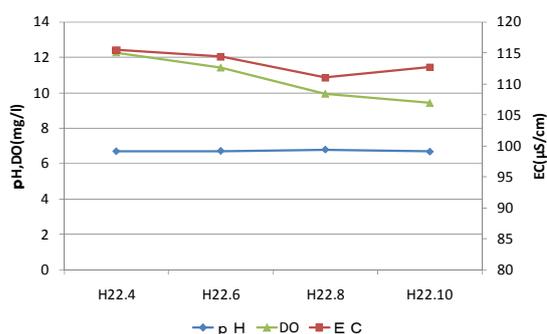


図8 月別 pH, EC, DO(4層平均)

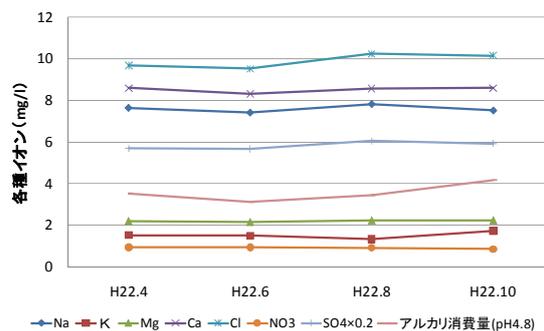


図9 月別 溶存イオン濃度(4層平均)

(2) 流入河川について

ア 調査地点ごとの傾向について

調査地点ごとの水質の概要としてpH、流量、鉍酸酸度負荷量(アルカリ度負荷量)について平成22年度の調査結果を図10に示す。また、参考として鉍酸酸度の測定を始めた平成18年以降の調査結果についても示した。

なお、調査地点のうち上流域にある硫黄川(高森川合流前)、高森川(酸川合流前)、酸川(高森川合流前)の3地点は春先の雪解け水による水位上昇や冬期の積雪のため欠測があり、調査回数が年5~6回と異なっている。過去の報告で春先は1年で最も流量や負荷量が多く、冬期は少ない傾向があり、この期間の調査の有無で年平均値にも影響が生じる。また、調査回数が最大で年6回であり微少な変化を把握するのに十分ではないこと、河川の水質及び流量は前日天候などの影響を大きく受けることなどから、水質変化を定量的に示すことは困難であると考え、本報告書では全体的・経年的な傾向を明かにすることを目的とした。

調査地点ごとの傾向は昨年までと同様であり、旧硫黄鉍山坑内排水の影響を受ける強酸性の硫黄川はこれより下流で高森川と合流し、沼尻・中ノ沢温泉の影響を受けている酸川へ合流し、さらに下流で裏磐梯湖沼群から流れ出ている長瀬川本川と合流する。猪苗代湖流入直前の長瀬川(小金橋)における、鉍酸酸度負荷量は125gCaCO₃/lと平成18年以降最も少なく、pHは3.92であった。

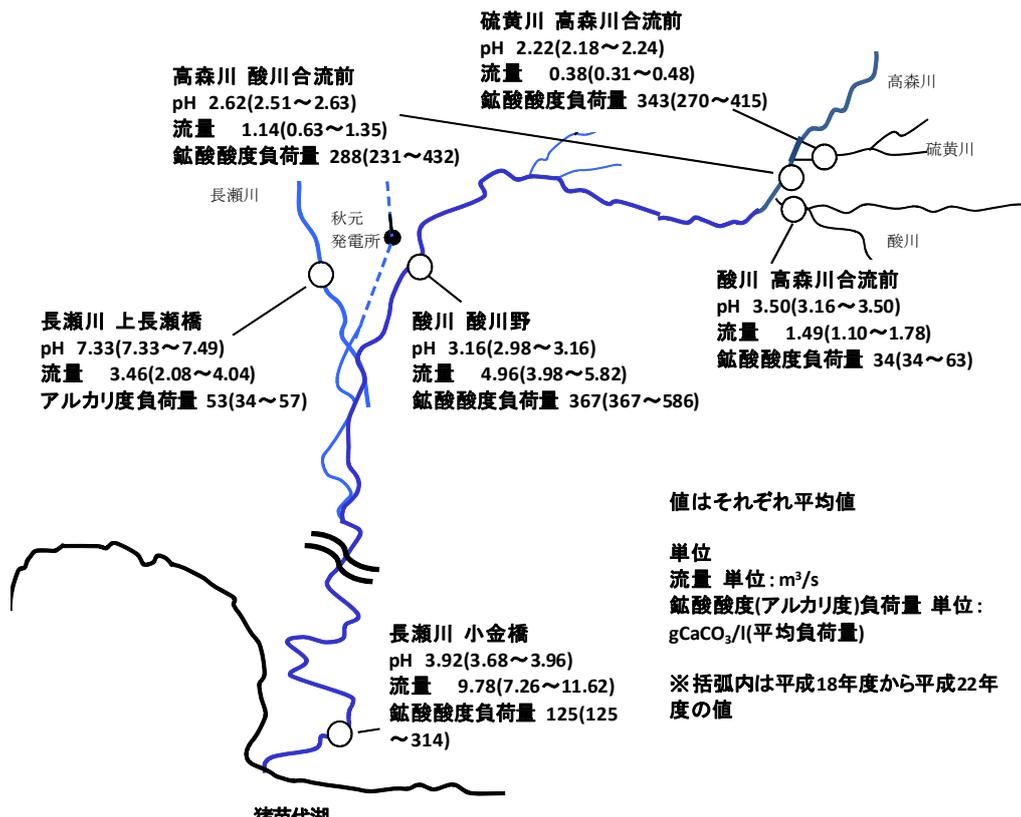


図 10 調査地点ごとの水質概要

イ 経年変化

(ア) 下流域河川の調査結果

酸川(酸川野)、長瀬川(上長瀬橋)、長瀬川(小金橋)の3地点は平成16年以降年6回の頻度で調査を行っており、(イ)で述べる発生源付近の調査地点よりもデータが蓄積されている。これら3地点のうち酸性河川の酸川(酸川野)、長瀬川(小金橋)については鉍酸酸度、Fe、Al、SO₄²⁻負荷量及び流量についての経年変化を図11及び図12に、微アルカリ性河川である長瀬川(上長瀬橋)についてはアルカリ度負荷量及び流量についての経年変化を図13に示す。

酸川(酸川野)は酸性物質の発生源である旧硫黄鉍山坑内排水及び沼尻・中ノ沢温泉水の影響を受けた河川が合流した地点であり、酸性物質の総量を検討するのに適している。近年の調査結果からは、流量が多く結果として負荷量が増加している平成18年度を除くと鉍酸酸度、金属成分等とも横ばい若しくは若干の減少傾向と考えた。

長瀬川(小金橋)では鉍酸酸度が減少傾向にあり、特に鉄イオンの顕著な減少が確認された。しかし、長瀬川(上長瀬橋)では平成22年度は流量が多く、それに伴いアルカリ度も増加している。このことから、長瀬川(小金橋)における酸性物質減少の原因として発生源からの供給量が減少したことと、長瀬川本川からのアルカリ分の流入により途中で中和が行われたことが考えられた。

このことから猪苗代湖へ流入する酸性物質の総量を検討するにはより発生源に近い上流域での調査が必要と思料した。

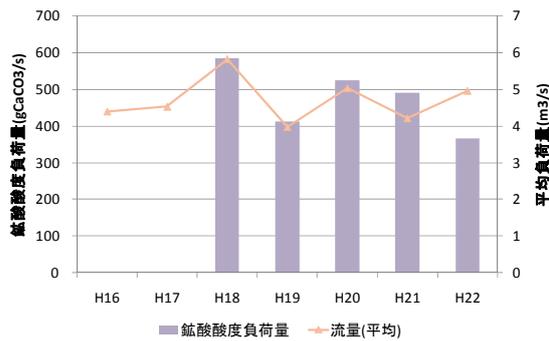


図 11-1 酸川(酸川野)の経年変化①

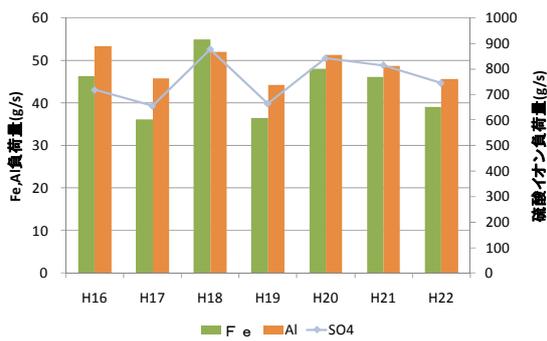


図 11-2 酸川(酸川野)の経年変化②

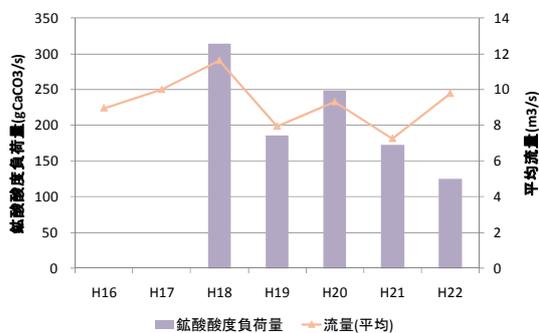


図 12-1 長瀬川(小金橋)の経年変化①

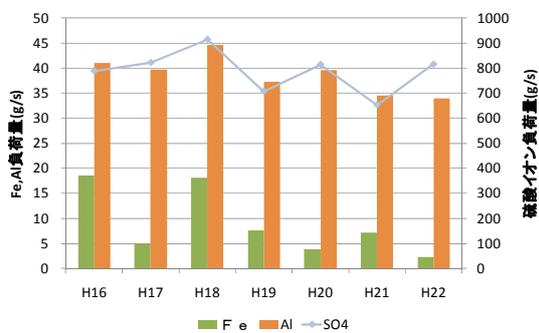


図 12-2 長瀬川(小金橋)の経年変化②

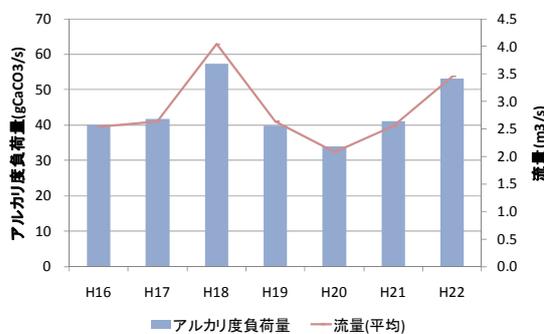


図 13 長瀬川(上長瀬橋)の経年変化

(イ) 酸性物質の発生源付近の調査結果

酸性物質発生源付近の水質変化を検討するため、旧硫黄鉱山坑内排水の影響を受けている硫黄川(高森川合流前)及び高森川(酸川合流前)、沼尻・中ノ沢温泉水の影響を受けている酸川(高森川合流前)における鉱酸酸度、Fe、Al、SO₄²⁻負荷量及び流量の経年変化を図 13 から図 15 に記した。

旧硫黄鉱山坑内排水の影響を受ける 2 地点では流量が多く結果として負荷量が増加している平成 18 年を除くと鉱酸酸度、金属成分等について硫黄川(高森川合流前)は横ばい、高森川(酸川合流前)は若干の減少傾向と見られた。しかし、

この2地点は近接しており、また新たに酸性水を含む河川が合流することもないことから旧硫黄鉱山坑内排水からの酸性物質供給量が横ばい若しくは減少と一概に評価することが困難であり、今後もデータの蓄積を図る必要があると考えた。

酸川(高森川合流前)では経年的に鉱酸酸度負荷量の減少傾向が見られ、酸性物質の減少傾向が確認された。しかし、先に述べたとおり本調査回数は年5~6回と十分とは言えないこと、河川水質は湖水よりも前日天候などの影響を受けやすいことなどから、本データから直ちに酸性物質供給量の減少と結論付けるのではなく、更なるモニタリングが必要であると思料した。

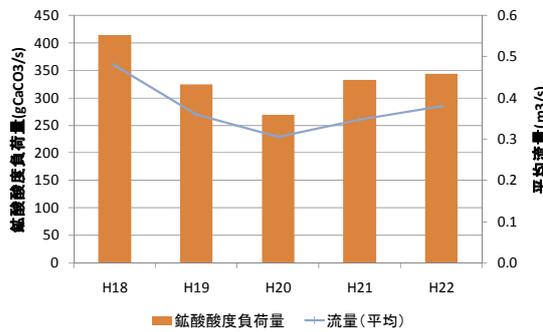


図 13-1 硫黄川(高森川合流前)の経年変化

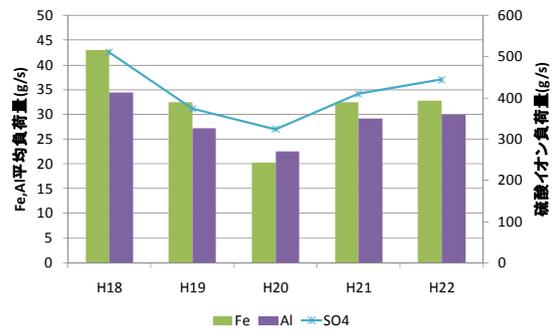


図 13-2 硫黄川(高森川合流前)の経年変化

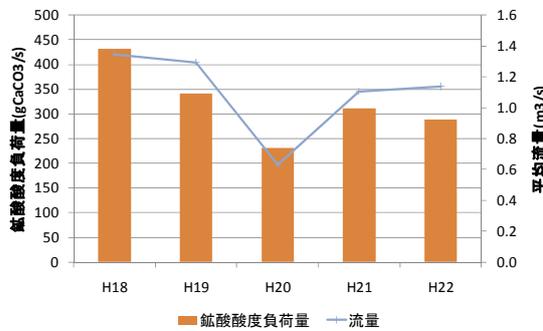


図 14-1 高森川(酸川合流前)の経年変化①

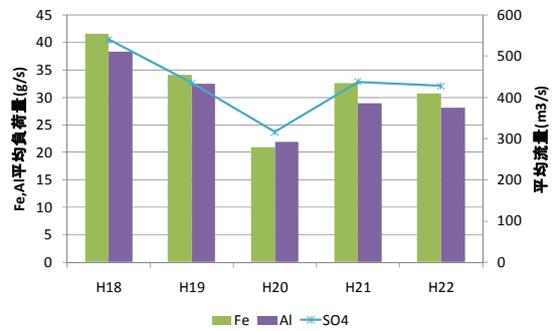


図 14-2 高森川(酸川合流前)の経年変化②

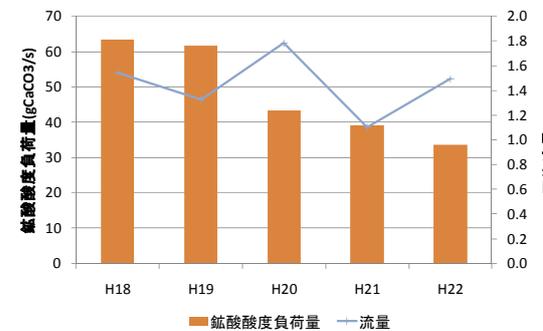


図 15-1 酸川(高森川合流前)の経年変化①

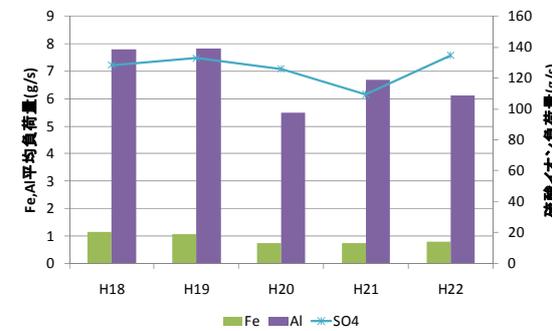


図 15-2 酸川(高森川合流前)の経年変化②

8 まとめ

- (1) 猪苗代湖湖心における pH 平均値は 6.76 であり平成 19 年から平成 21 年の過去 3 年の範囲 (6.56~6.74) と比べ上昇していた。また、イオン当量濃度の総和は平成 18 年までは減少、平成 19 年からは横ばい若しくは増加傾向となっていた。
- (2) 湖心では溶存イオンなど全ての項目で調査を行った 4 層 (0m、10m、50m、90m) の水質がほぼ一定であった。また、全ての項目で全期間の水質がほぼ一定であった。
- (3) 河川調査結果では沼尻・中ノ沢温泉水の影響を受ける酸川 (高森川合流前) で鉍酸酸度などの酸性成分が減少傾向であり、温泉源泉水の質又は量が変化している可能性が考えられた。旧硫黄鉍山坑内排水の影響を受ける硫黄川 (高森川合流前) と高森川 (酸川合流前) では前者が横ばい、後者は若干の減少傾向と見られ、更なるデータの蓄積が必要と考えた。

なお、河川水質は天候の影響を受けること、回数が年 5~6 回であり負荷量を検討するに当たって十分とは言えないことなどから今後もモニタリングを継続し知見の集積に努める必要があると考えた。

別紙1 猪苗代湖及び流入河川 現地調査票

調査地点	湖心(表層)			
	H22.4.26	H22.6.4	H22.8.4	H22.10.6
調査年月日				
採取水深(m)	0.5	0.5	0.5	0.5
採水時間	9:30 AM	9:25	9:25	9:21
天候(前日)	晴れ	晴れ	晴れ時々曇り	晴れ時々曇り
天候(当日)	晴れ	晴れ	晴れ	雨
気温(°C)	8.2	17.5	27.9	18.0
水温(°C)	4.8	12.8	26.8	18.1
透明度(m)	13.5	10.3	10.7	8.1
水色(フォーレル)	6	6	6	7
色相	無色	無色	無色	無色
臭気	無臭	無臭	無臭	無臭
濁り	透明	透明	透明	透明

調査地点	酸川(酸川野)					
	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24
調査年月日						
採水時間	8:30 AM	9:25 AM	11:00 AM	10:35 AM	10:46 AM	9:09 AM
天候(前日)	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り	晴れ
天候(当日)	曇り	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ時々雪	晴れ
気温(°C)	14.2	21.0	34.2	21.5	3.2	-3.0
水温(°C)	8.0	11.5	23.0	13.0	4.8	3.3
透視度	>100	>100	>100	>100	>100	>100
流況	通常	通常	通常	通常	通常	通常
色相	無色	無色	無色	無色	無色	無色
臭気	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭
濁り	透明	透明	透明	透明	透明	透明

調査地点	長瀬川(上長瀬橋)					
	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24
調査年月日						
採水時間	7:50 AM	9:05 AM	10:30 AM	9:50 AM	10:10 AM	9:30 AM
天候(前日)	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り	晴れ
天候(当日)	曇り	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ
気温(°C)	10.8	18.0	34.8	17.0	5.8	-3.0
水温(°C)	7.7	12.4	26.8	15.0	4.5	2.5
透視度	>100	>100	>100	>100	>100	>100
流況	通常	通常	通常	通常	通常	通常
色相	無色	無色	無色	無色	無色	無色
臭気	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭
濁り	透明	透明	透明	透明	透明	透明

調査地点	長瀬川(小金橋)					
	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24
調査年月日						
採水時間	6:55 AM	8:10 AM	8:00 AM	9:15 AM	9:30 AM	7:00 AM
天候(前日)	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り	晴れ
天候(当日)	曇り	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ
気温(°C)	8.0	13.5	29.0	20.5	1.0	-8.0
水温(°C)	6.0	10.5	22.2	13.1	3.6	2.5
透視度	>100	>100	>100	>100	>100	>100
流況	通常	通常	通常	通常	通常	通常
色相	無色	無色	無色	無色	無色	無色
臭気	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭
濁り	透明	透明	透明	透明	透明	透明

調査地点	高森川(酸川合流前)					
	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24
調査年月日						
採水時間	9:12 AM	10:00 AM	11:25 AM	11:00 AM	11:20 AM	7:45 AM
天候(前日)	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り	晴れ
天候(当日)	曇り	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ
気温(°C)	11.8	17.0	33.7	17.5	3.2	-8.0
水温(°C)	8.1	10.5	19.9	11.5	4.5	4.0
透視度	>100	>100	>100	>100	>100	>100
流況	通常	通常	通常	通常	通常	通常
色相	無色	無色	無色	無色	無色	無色
臭気	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭
濁り	透明	透明	透明	透明	透明	透明

調査地点	酸川(高森川前)					
調査年月日	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24
採水時間	9:35 AM	10:20 AM	11:55 AM	11:25 AM	11:40 AM	8:15 AM
天候(前日)	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り	晴れ
天候(当日)	曇り	晴れ	晴れのち曇り	晴れ	晴れ	晴れ
気温(°C)	13.7	16.0	26.4	13.0	3.2	-5.5
水温(°C)	8.3	10.8	18.7	12.6	6.2	4.9
透視度	>100	>100	>100	>100	>100	>100
流況	通常	通常	通常	通常	通常	通常
色相	無色	無色	無色	無色	無色	無色
臭気	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭
濁り	透明	透明	透明	透明	透明	透明

調査地点	硫黄川(高森川前)					
調査年月日	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24
採水時間	10:10 AM	10:55 AM	12:40 PM	12:00 PM	12:45 PM	
天候(前日)	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り	
天候(当日)	曇り	晴れ	曇り	晴れ	晴れ	
気温(°C)	15.5	16.2	27.2	13.8	2.0	
水温(°C)	10.7	13.8	20.0	13.2	5.8	
透視度	>100	>100	>100	>100	>100	
流況	通常	通常	通常	通常	通常	
色相	無色	無色	無色	無色	無色	
臭気	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	
濁り	透明	透明	透明	透明	透明	

残雪のため調査危険と判断したため欠測

猪苗代湖 溶存態	湖心 0m				湖心 10m				湖心 50m				湖心 90m			
	H22.4.26	H22.6.4	H22.8.4	H22.10.6												
pH	6.69	6.71	7.06	6.73	6.70	6.76	6.85	6.85	6.70	6.74	6.74	6.59	6.70	6.64	6.51	6.52
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	115.3	114.0	108.9	109.6	115.3	113.9	109.8	110.9	115.6	114.9	112.6	113.3	115.7	114.8	112.8	117.1
T-P mg/l	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Na mg/l	7.77	7.62	8.12	7.34	7.70	7.33	7.54	7.43	7.55	7.39	7.79	7.61	7.56	7.35	7.84	7.70
NH4 mg/l	0.01	<0.01	0.01	0.02	0.01	<0.01	0.02	0.01	0.01	<0.01	0.02	0.01	0.01	<0.01	0.03	0.09
K mg/l	1.26	1.21	0.51	1.65	1.55	1.54	1.45	1.72	1.61	1.60	1.64	1.72	1.64	1.62	1.71	1.79
Mg mg/l	2.18	2.15	2.14	2.18	2.22	2.14	2.20	2.21	2.20	2.17	2.28	2.26	2.21	2.16	2.30	2.29
Ca mg/l	8.50	8.25	8.21	8.41	8.63	8.26	8.48	8.51	8.58	8.38	8.73	8.69	8.63	8.35	8.82	8.76
Fe(T) mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Fe(2) mg/l																
Mn mg/l	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	<0.01	0.53
Al mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Zn mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cd mg/l																
F mg/l	0.18	0.18	0.21	0.16	0.17	0.17	0.19	0.17	0.16	0.16	0.18	0.17	0.15	0.15	0.18	0.20
Cl mg/l	9.63	9.51	9.64	9.66	9.77	9.45	10.00	9.91	9.64	9.55	10.56	10.48	9.66	9.57	10.76	10.57
NO2 mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO3 mg/l	0.94	0.95	0.74	0.67	0.93	0.92	0.83	0.72	0.93	0.92	1.04	1.03	0.93	0.93	1.04	0.95
SO4 mg/l	28.44	28.30	28.70	28.59	28.47	28.21	30.21	29.37	28.36	28.38	31.02	30.60	28.56	28.35	30.95	29.92
アルカリ度(pH4.8) mgCaCO_3/l	3.5	3.0	3.6	3.9	3.5	3.1	3.1	3.8	3.6	3.2	3.3	3.4	3.5	3.2	3.8	5.6
クロロフィルa $\mu\text{g}/\text{l}$	0.6	1.5	0.7	0.8												
DO mg/l	12.6	11.0	8.6	8.7	12.5	11.7	9.3	9.0	11.9	11.7	11.4	11.2	12.1	11.3	10.5	8.8
酸度(pH4.8) mgCaCO_3/l																
酸度(pH8.3) mgCaCO_3/l																
TOC mg/l	0.41	0.47	0.56	0.69	0.43	0.43	0.52	0.62	0.42	0.40	0.37	0.39	0.40	0.41	0.41	0.60
流量 m^3/s																

猪苗代湖 全量	湖心 0m				湖心 10m				湖心 50m				湖心 90m			
	H22.4.26	H22.6.4	H22.8.4	H22.10.6												
T-N mg/l	0.14	0.31	0.16	0.18	0.15	0.16	0.17	0.16	0.15	0.17	0.17	0.27	0.13	0.17	0.22	0.41
T-P mg/l	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Fe(T) mg/l	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	0.08
Fe(2) mg/l																
Mn mg/l	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.17
Al mg/l	0.01	<0.01	0.01	0.02	<0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	0.02
Zn mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cd mg/l																
TOC mg/l	0.44	0.59	0.73	0.69	0.47	0.45	0.55	0.65	0.42	0.44	0.37	0.39	0.42	0.41	0.43	0.60

河川	滝存橋			酸川 酸川野			長瀬川 上長瀬橋			長瀬川 小金橋			高瀬川 酸川合流前			酸川 高瀬川合流前			硫黄川 高瀬川合流前							
	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24		
pH	3.21	3.15	2.89	3.04	3.86	3.07	7.44	7.30	7.24	7.40	7.24	7.40	7.24	7.40	7.24	7.40	7.24	7.40	7.24	7.40	7.24	7.40	7.24	7.40		
EC	495	539	799	709	387	632	381	1782	153.5	274	282	241	292	263	293	325	256	267	1107	1116	1859	1472	1017	2580	290	
T-P	0.020	0.019	0.035	0.031	0.021	0.032	0.004	0.006	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003								
Na	648	629	931	959	779	1092	2656	1222	1206	1962	1894	2292	1094	828	1046	1355	1188	1411								
NH4	0.10	0.11	0.18	0.21	0.16	0.24	0.03	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.06	0.07	0.08	0.09	0.07	0.10								
K	1.98	1.94	3.37	3.18	2.33	3.02	4.40	2.19	2.38	3.64	3.32	3.18	2.51	2.22	2.71	3.38	2.67	3.17								
Mg	3.37	3.22	5.81	5.45	4.07	5.44	7.25	3.38	3.06	5.53	5.39	4.91	3.90	3.17	3.88	4.93	4.24	4.62								
Ca	12.26	11.84	18.96	17.83	14.11	18.30	28.42	13.75	12.32	22.05	24.72	18.52	15.24	12.33	14.35	18.46	18.27	16.85								
Fe(T)	7.39	6.78	12.11	9.71	5.98	8.44	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.09	0.11	0.59	0.28	0.08	0.44	2397	2355	4245	2962	2018	52.83	0.42	
Fe(2)																										
Mn	0.17	0.10	0.31	0.18	0.16	0.28	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.02	0.10	0.09	0.11	0.11	0.09	0.14	0.25	0.26	0.42	0.29	0.82	0.16	0.11	
Al	8.03	7.49	13.93	11.62	7.27	11.04	0.01	<0.01	0.12	0.02	0.01	0.02	3.78	3.28	3.79	3.88	2.89	3.36	2150	2057	3698	2872	18.8	52.35	3.45	
Zn	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.03	0.05	0.04	0.05	0.07	0.01	
Cd																										
F	0.66	0.61	1.07	1.01	0.82	1.07	0.11	0.09	0.07	0.12	0.11	0.13	0.38	0.36	0.48	0.53	0.45	0.55								
Cl	15.04	13.91	27.50	27.47	21.24	28.29	31.78	14.08	16.32	22.50	17.74	23.97	16.29	13.06	17.57	20.63	20.27	20.93	1820	1751	4246	41.04	22.37	83.86	22.82	
NO2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01								
NO3	1.54	1.58	1.37	1.19	1.76	1.75	0.35	0.51	0.18	0.07	0.42	0.40	1.53	1.26	1.06	1.16	1.40	1.34								
SO4	124.42	114.04	234.84	205.35	138.51	161.25	89.53	43.29	42.28	72.89	61.55	56.90	77.57	70.21	92.08	100.93	87.80	78.22	278.34	328.11	624.60	435.56	308.09	812.11	64.49	
アルカリ度(pH4.8) meqCaCO ₃ /l							17.1	12.9	14.8	15.4	15.2	16.2														
硝酸窒素 ug/l																										
DO																										
硫酸(pH4.8) meqCaCO ₃ /l	8.11	76.6	1400	1062	21.3	846						13.4	15.7	23.9	15.5	4.4	7.2	196.0	218.1	448.8	290.8	183.5	561.6	13.9	18.3	
硫酸(pH8.3) meqCaCO ₃ /l	97.9	112.3	1773	1500	65.7	125.0						37.3	39.3	42.0	37.0	26.4	30.6	243.2	283.2	540.5	373.5	245.7	713.5	35.7	42.5	
TOC																										
流量 m ³ /s	7.62	6.43	2.39	4.29	4.95	4.09	3.62	2.81	3.08	3.58	4.06	3.59	12.86	11.06	6.79	8.38	10.96	8.61	2.01	1.52	0.56	1.00	1.37	0.88	1.05	

河川	酸川 酸川野			長瀬川 上長瀬橋			長瀬川 小金橋			高瀬川 酸川合流前			酸川 高瀬川合流前			硫黄川 高瀬川合流前									
	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24	H22.4.20	H22.6.1	H22.8.6	H22.10.18	H22.12.17	H23.2.24	
T-N	0.51	0.69	0.73	0.52	0.54	0.58	0.06	0.12	0.08	<0.05	0.08	0.05	0.35	0.40	0.30	0.31	0.33	0.32							
T-P	0.022	0.026	0.041	0.034	0.024	0.036	0.005	0.015	0.009	0.009	0.006	0.009	0.013	0.01	0.009	0.015	0.012	0.017							
Fe(T)	7.51	6.78	12.11	9.71	6.11	8.44	0.05	0.19	0.14	0.06	0.05	0.05	2.61	2.40	1.11	2.33	1.88	2.01	2397	2372	4462	2962	20.5	53.49	0.45
Fe(2)																									
Mn	0.17	0.10	0.31	0.24	0.18	0.28	0.05	0.05	0.06	0.03	0.04	0.04	0.11	0.09	0.12	0.11	0.10	0.14	0.31	0.26	0.50	0.52	0.29	0.82	0.16
Al	8.14	7.49	13.93	11.62	7.36	11.04	0.06	0.24	0.14	0.07	0.06	0.08	3.90	3.55	4.08	4.00	3.15	3.37	2150	2057	4036	2872	19.1	53.07	3.46
Zn	0.01	0.02	0.05	0.01	0.04	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.03	0.05	0.04	0.05	0.07	0.01
Cd																									
TOC																									

2 猪苗代湖の水温及び電気伝導率の連続測定調査

1 目的

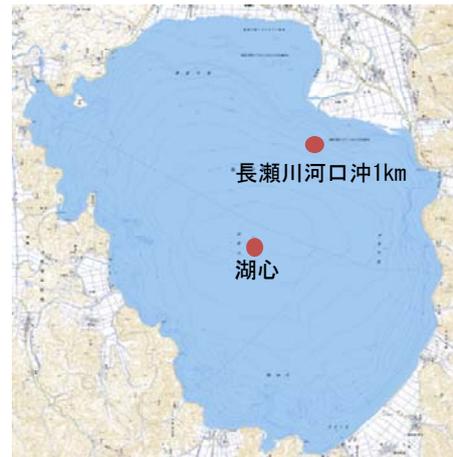
猪苗代湖の年間を通じた物質循環を検討するための基礎資料を得ることを目的とする。

2 調査方法

小型メモリー計測器を調査地点に設置し、連続的に水温及び電気伝導率を測定する。

3 調査地点

- (1) 猪苗代湖湖心
表層、水深 5m、水深 15m 及び水深 30m
- (2) 猪苗代湖長瀬川河口沖 1km
水深 5m、水深 15m 及び水深 30m



4 調査時期

- (1) 猪苗代湖湖心
2008年4月22日から継続調査中
- (2) 猪苗代湖長瀬川河口沖 1km
2008年7月31日から2010年11月3日まで

5 調査項目

水温及び電気伝導率

ただし、電気伝導率については、猪苗代湖長瀬川河口沖 1km 水深 5m でのみ測定。

6 測定方法等

- (1) 猪苗代湖湖心
JFEアレックのMDS-MkV/Tを用いて、データ採取間隔1分間又は10分間で水温を常時測定した。
- (2) 猪苗代湖長瀬川河口沖 1km
JFEアレックのMDS-MkV/Tを用いて、データ採取間隔1分間又は2分間で水温を常時測定した。水深5mの電気伝導率については、COMPACT-CTを用いて、データ採取間隔10分間で常時測定した。

7 結果及び考察

(1) 猪苗代湖湖心における水温連続測定結果

図2に2008年4月22日から2010年11月3日(データ回収の最終日)までの猪苗代湖湖心における層別の日平均水温及び気象庁猪苗代観測所における日平均気温の推移を示す。猪苗代湖湖心の層別水温からは、次に示す事象が確認された。

- ① 5月中旬から、上層(表層、水深5m)と下層(水深15m、水深30m)の水温に乖離が生じ、水温躍層の形成が見られた。また、2010年については、気温も平年より高く、乖離幅も大きくなっていた。
- ② 9月下旬から10月上旬には、水深15mの水温が急激に上昇し、水温躍層が下層へ移動していることがわかった。
- ③ 10月上旬から11月上旬には、水深30mの水温の急激な上昇及び水温躍層の崩壊による全層水温の均一化が見られた。
- ④ 層別水温と気温の関係においては、7月下旬から水温躍層が崩壊する11月上旬までは、上層の水温と気温に連動性があることが分かった。

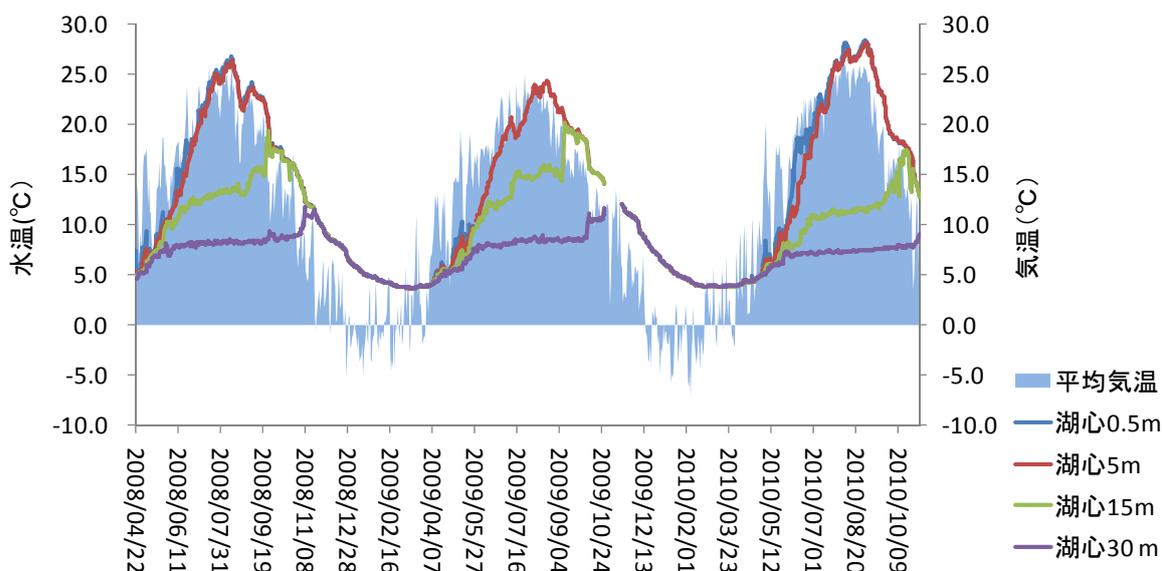


図2 猪苗代湖湖心における層別水温及び気温の関係

(2) 猪苗代湖長瀬川河口沖 1km における水温連続測定結果

図 3 に 2008 年 7 月 31 日から 2010 年 11 月 3 日(データ回収の最終日)までの猪苗代湖長瀬川河口沖 1km における層別の日平均水温及び気象庁猪苗代観測所における日平均気温の推移を示す。猪苗代湖長瀬川河口沖 1km での水温推移は、(1)に示す結果と同様の傾向が見られた。

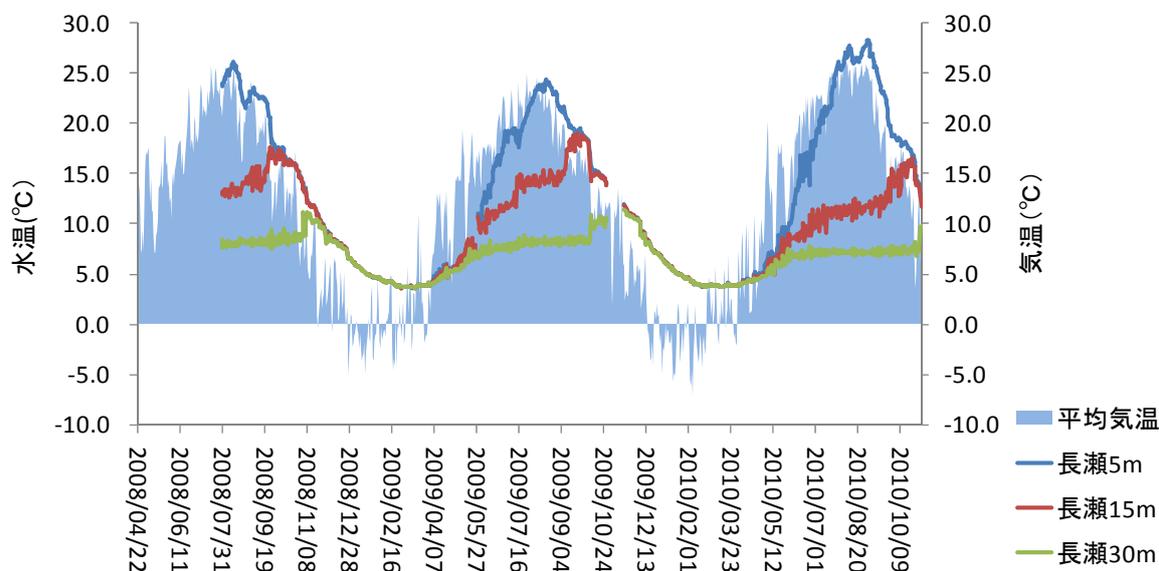


図 3 猪苗代湖長瀬川河口沖 1km における層別水温及び気温の関係

(3) 猪苗代湖長瀬川河口沖 1km における電気伝導率連続測定結果

図 4 に猪苗代湖長瀬川河口沖 1km 水深 5m における電気伝導率及び水温の測定結果と猪苗代湖湖心水深 10m の電気伝導率の測定結果(別調査で測定)を示す。電気伝導率は温度依存性が強いいため、同じ温度でデータを比較する必要があり、湖心水深 10m の電気伝導率については、JIS に基づき 25°C に加温して測定していることから、長瀬川河口沖 1km 水深 5m の水温が 25°C 近くになった時期を比較検討した。

2008 年から 2010 年にかけて、長瀬川河口沖 1km 水深 5m の水温が 25°C 近くまで上昇した時の電気伝導率は、湖心水深 10m の電気伝導率と大きな差が見られなかった。

図 5 に長瀬川(小金橋)における電気伝導率の経年変化を示す。長瀬川(小金橋)の電気伝導率はここ数年、若干の減少傾向にあり、2010 年度の平均値は 0.29mS/cm となっている。2008 年から 2010 年にかけて測定した長瀬川河口沖 1km 水深 5m の電気伝導率は 0.13mS/cm 以下であり、長瀬川(小金橋)の平均値の半分以下であることが確認された。これは、電気伝導率に影響を与える鉄やアルミニウムが猪苗代湖に流入後、水酸化物を形成し沈殿したことや湖水により希釈拡散していることなどが考えられた。

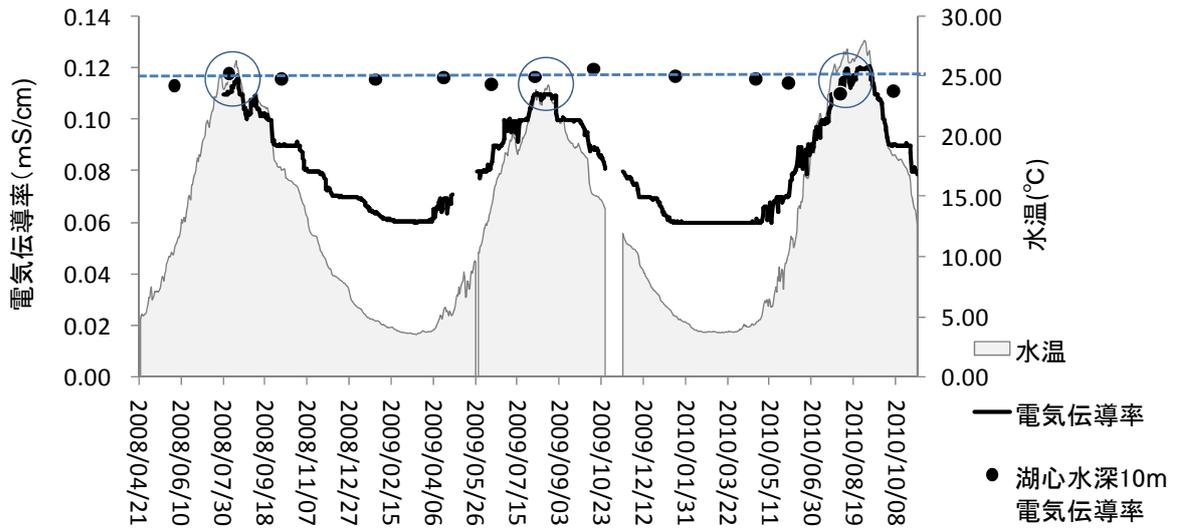


図4 猪苗代湖長瀬川河口沖 1km 水深 5m における電気伝導率及び水温

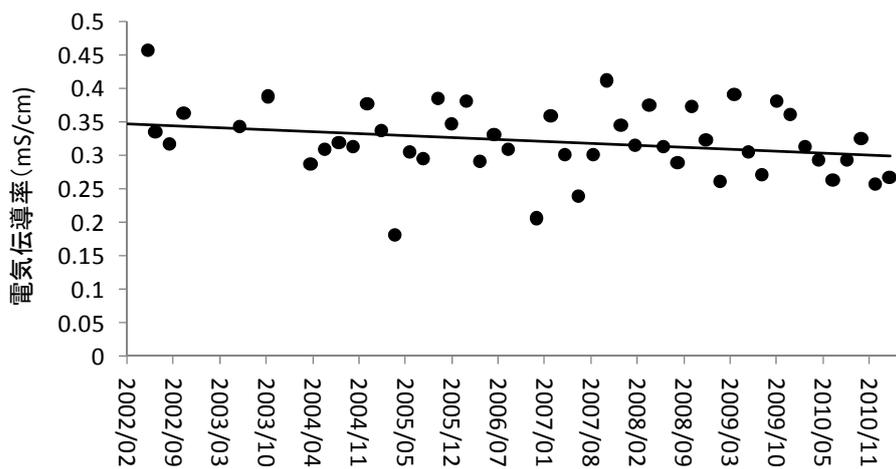


図5 長瀬川(小金橋)における電気伝導率の経年変化

8 まとめ

- (1) 猪苗代湖内においては、5月中旬から水温躍層が形成され、9月下旬から10月上旬にかけて水温躍層が下降し、11月上旬には崩壊することが確認された。
- (2) 猪苗代湖長瀬川河口沖 1km 水深 5m の電気伝導率と猪苗代湖湖心水深 10m の電気伝導率に大きな差が見られなかったことから、長瀬川からの酸性水の流入状況を確認するには至らなかった。次年度の調査では、流入の影響を確認するため、より河口に近い位置へ地点を変更する必要があると考える。

3 水生植物による水質への影響確認調査

1 目的

猪苗代湖湖岸に生育するヨシやヒシなどの水生植物が猪苗代湖の水質に与える影響を確認する。

2 調査方法

水生植物が繁茂する時期と枯死、腐敗する時期に、水生植物群を通過する流水と水路に水生植物群がない流水の水質を測定し、水生植物による水質浄化作用と負荷作用を調査する。

3 調査地点

(1) 水生植物が生育する流水路—入江浜（5地点）

- ① 流入水：水生植物が生育する流水路に流入する水
- ② 植物入口：水生植物群に流入する直前の水
- ③ 植物出口：水生植物群を通過した直後の水
- ④ 沖 10 m：猪苗代湖に流入した地点から沖～10mの湖水

(2) 水生植物がない流水路—赤沼川沖（3地点）

- ① 流入水：流水路に流入する水
- ② 出口：流水路を通過した水
- ③ 沖 10 m：猪苗代湖に流入した地点から沖～10mの湖水

4 調査時期

8月（水生植物が繁茂する時期）、1月（水生植物が枯死、腐敗する時期）

5 調査項目

pH、SS、TOC、COD、T-N、T-P、 PO_4 -P、大腸菌群数、大腸菌数、DO

6 測定方法

- (1) pH：イオン電極法
- (2) SS：重量法
- (3) TOC：燃焼酸化—赤外吸収式 TOC 自動計測法
- (4) COD：滴定法（CODMn）
- (5) T-N、T-P、 PO_4 -P：分光光度法
- (6) 大腸菌群数、大腸菌数：QT トレイ法
- (7) DO：よう素滴定法



図1 調査地点

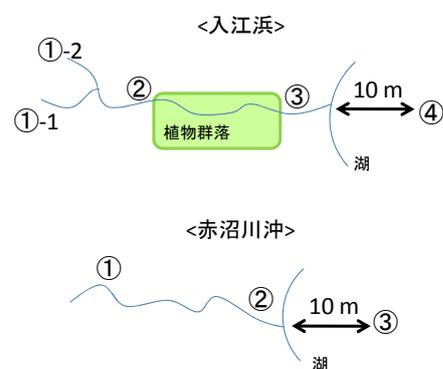


図2 採水地点概略図

7 結果及び考察

(1) 水生植物の繁茂期（調査日：平成 22 年 8 月 18 日）

水生植物が繁茂している時期における調査結果は、表 1 のとおりである。

水生植物が生育する流水路である入江浜においては、水生植物群に流入する直前の水（植物入口）とこれを通過した直後の水（植物出口）の水質を比較すると、pH、SS、TOC、COD、T-P、PO₄-P 及び DO は減少し、T-N、大腸菌群数及び大腸菌数は増加していることが確認された。

一方、水生植物がない流水路である赤沼川沖においては、流水路に流入する水（流入水）と流水路を通過した水（出口）の水質を比較すると、pH、TOC 及び DO は減少し、SS、COD、T-N、T-P、PO₄-P、大腸菌群数及び大腸菌数は増加していることが確認された。

水質汚濁物質として SS、TOC、COD、T-N、T-P 及び PO₄-P の 6 項目についてみると、水生植物が生育していない流水路では、流路を進むにつれて SS、COD、T-N、T-P 及び PO₄-P が増加したのに対し、水生植物群が生育する流水路では、水生植物群を通過した後に SS、TOC、COD、T-P 及び PO₄-P の 5 項目について濃度が減少したことから、水生植物が成長する過程で汚濁物質を吸収するなど水質を浄化している可能性が示唆された。しかし、水生植物が生長する時期の調査は、繁茂期である 8 月に行っただけであることから、今後更なるデータの蓄積が必要と考えられる。

表1 繁茂期における調査結果

調査地点	入江浜 (水生植物が生育する流水路)					赤沼川沖 (水生植物がない流水路)		
	①-1流入水	①-2流入水	②植物入口	③植物出口	④沖10m	①流入水	②出口	③沖10m
調査時刻	9:45	10:15	13:00	12:05	11:50	10:40	11:10	10:20
天候	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ
気温 (°C)	29.8	31.3	28.0	28.0	28.0	28.2	30.3	30.3
水温 (°C)	24.7	22.0	27.0	26.0	26.0	25.7	22.0	29.0
透視度 (cm)	53	>100	77	50	50	>100	85	37
流量 (m ³ /s)	0.10	0.15	0.29	0.25	—	0.10	0.08	—
pH	6.59	6.73	6.64	6.62	6.66	6.58	6.56	8.15
SS [mg/l]	11	12	18	11	18	8	11	31
TOC [mg/l]	2.87	2.50	2.68	2.61	2.68	2.39	2.27	2.15
COD [mg/l]	6.1	5.4	6.0	5.6	5.9	4.9	5.1	5.1
T-N [mg/l]	0.50	0.42	0.47	0.51	0.51	0.42	0.47	0.55
T-P [mg/l]	0.083	0.075	0.086	0.081	0.081	0.085	0.086	0.042
PO ₄ -P [mg/l]	0.046	0.071	0.063	0.059	0.058	0.085	0.086	0.042
大腸菌群数 [MPN/100ml]	23,590	444,800	29,500	30,760	41,060	30,760	30,900	15,290
大腸菌 [MPN/100ml]	55	387	60	104	290	214	248	115
DO [mg/l]	5.8	7.1	7.4	6.2	8.2	7.3	6.1	11.4

(2) 水生植物の枯死、腐敗期（調査日：平成 23 年 1 月 11 日）

水生植物が枯死、腐敗している時期における調査結果は、表 2 のとおりである。

水生植物が生育する流水路である入江浜においては、水生植物群に流入する直前の水（植物入口）とこれを通過した直後の水（植物出口）の水質を比較すると、大腸菌群数、大腸菌数及び DO は減少し、pH、SS、TOC、COD、T-N、T-P 及び PO₄-P は増加していることが確認された。

一方、水生植物がない流水路である赤沼川沖においては、流水路に流入する水（流入水）と流水路を通過した水（出口）の水質を比較すると、pH、COD、T-N、T-P、PO₄-P、大腸菌群数及び大腸菌数は減少し、TOC は増加、SS は変化していないことが確認された。

水質汚濁物質として SS、TOC、COD、T-N、T-P 及び PO₄-P の 6 項目についてみると、水生植物が生育していない流水路では、流路を進むにつれて COD、T-N、T-P 及び PO₄-P が減少したのに対し、水生植物群が生育する流水路では、水生植物群を通過した後に SS、TOC、COD、T-N、T-P 及び PO₄-P の 6 項目全てについて濃度が増加したことから、水生植物が枯死、腐敗する課程で汚濁物質を溶出するなど水質に負荷を与えている可能性が示唆された。しかし、水生植物の生長が止まる時期の調査は、枯死、腐敗期である 1 月に行っただけであることから、今後更なるデータの蓄積が必要と考えられる。

表2 枯死、腐敗期における調査結果

調査地点	入江浜 (水生植物が生育する流水路)					赤沼川沖 (水生植物がない流水路)		
	①-1流入水	①-2流入水	②植物入口	③植物出口	④沖10m	①流入水	②出口	③沖10m
調査時刻	12:05	12:20	12:40	11:20	11:40	10:45	10:30	10:15
天候	くもり	くもり	くもり	くもり	くもり	くもり	雪	雪
気温 (°C)	0	0	0	-1.5	-1.2	-2.0	-2.5	-2.5
水温 (°C)	0.5	0.7	0.1	0.8	0.7	0.1	0.5	0.0
透視度 (cm)	—	—	—	—	—	59	89	21
流量 (m ³ /s)	—	0.03	—	0.13	—	0.11	0.13	—
pH	6.65	6.68	6.63	6.66	6.66	6.76	6.72	7.36
SS [mg/l]	3	5	5	7	11	3	3	31
TOC [mg/l]	2.62	1.84	2.30	2.50	2.45	1.44	1.52	1.84
COD [mg/l]	4.4	4.3	4.7	5.1	5.4	4.3	3.4	6.3
T-N [mg/l]	0.84	0.64	0.80	0.94	1.0	0.74	0.69	1.4
T-P [mg/l]	0.073	0.115	0.084	0.097	0.105	0.117	0.061	0.285
PO ₄ -P [mg/l]	0.069	0.102	0.073	0.085	0.074	0.080	0.058	0.111
大腸菌群数 [MPN/100ml]	2,755	6,131	5,560	3,180	2,481	7,170	3,130	2,950
大腸菌 [MPN/100ml]	127	280	178	95	69	1730	1112	201
DO [mg/l]	9.2	10.1	9.6	8.1	9.8	11.0		14.0

※入江浜における透視度及び流量は、積雪やそれによる歩行困難のため欠測

8 まとめ

- (1) 水生植物が繁茂する時期については、水生植物が生育していない流水路では、流路を進むにつれて SS、COD、T-N、T-P 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ が増加したのに対し、水生植物群が生育する流水路では、水生植物群の通過の前後で SS、TOC、COD、T-P 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ が減少したことから、水生植物が成長する過程で汚濁物質を吸収するなど水質を浄化している可能性が示唆された。
- (2) 水生植物が枯死、腐敗する時期については、水生植物が生育していない流水路では、流路を進むにつれて COD、T-N、T-P 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ が減少したのに対し、水生植物群が生育する流水路では、水生植物群の通過の前後で SS、TOC、COD、T-N、T-P 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ が増加したことから、水生植物が枯死、腐敗する課程で汚濁物質を溶出するなど水質に負荷を与えている可能性が示唆された。
- (3) 水生植物が水質に与える影響については、調査を水生植物の繁茂期と枯死、腐敗期にそれぞれ 1 回行っただけであり、今後更にデータを蓄積し、知見の収集に努める必要があると考える。

4 猪苗代湖大腸菌群超過対策調査

1 目的

平成 18 年度から猪苗代湖湖心表層において大腸菌群数が環境基準を超過する事例が見受けられることから（図 1）、猪苗代湖及び大腸菌群の流入が大きい河川の水質調査を実施することにより、大腸菌群が出現する傾向を把握し、その対策に資する。

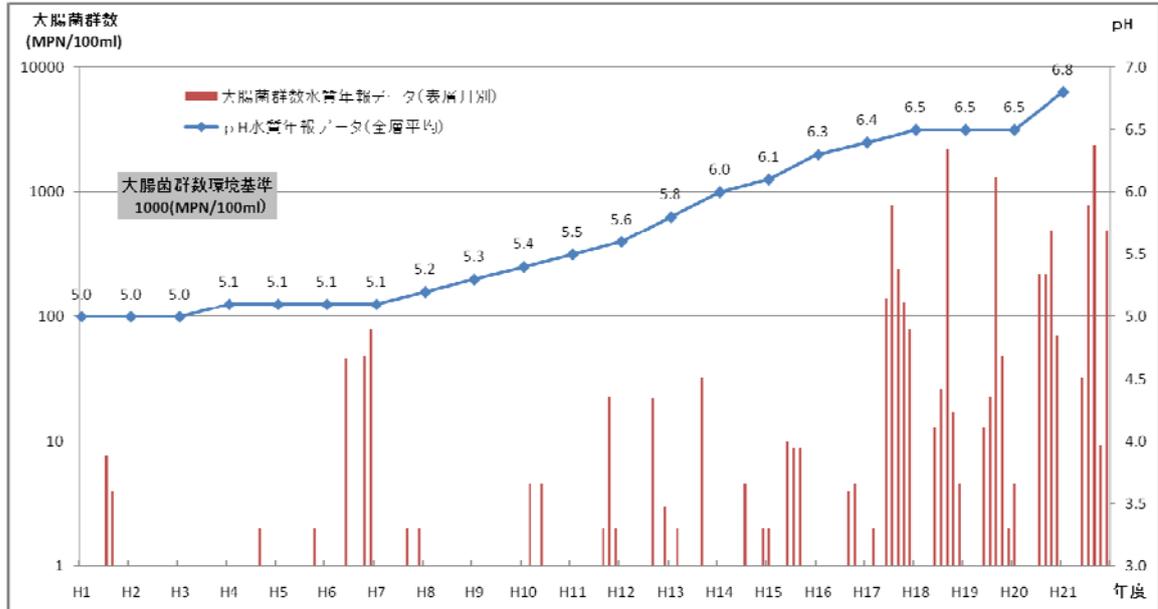


図 1 猪苗代湖湖心の pH 及び大腸菌群数の経年変化

2 調査方法

猪苗代湖及び猪苗代湖への大腸菌群の流入が最も大きい小黑川の大腸菌群等の水質調査を行い、猪苗代湖に流入した大腸菌群の存在状況や拡散状況を考察した。

3 調査地点

調査地点は図 2 のとおり

- (1) 猪苗代湖湖心：1地点4層
（表層、水深5m、水深15m、水深30m）
- (2) 猪苗代湖小黑川沖：4地点表層
（小黑川沖25m、小黑川沖75m、小黑川沖200m、
小黑川沖500m）
- (3) 小黑川：5地点
（梅の橋、第一小黑川下流、カジ堀下流、
第二小黑川下流、猪苗代市街地上流）

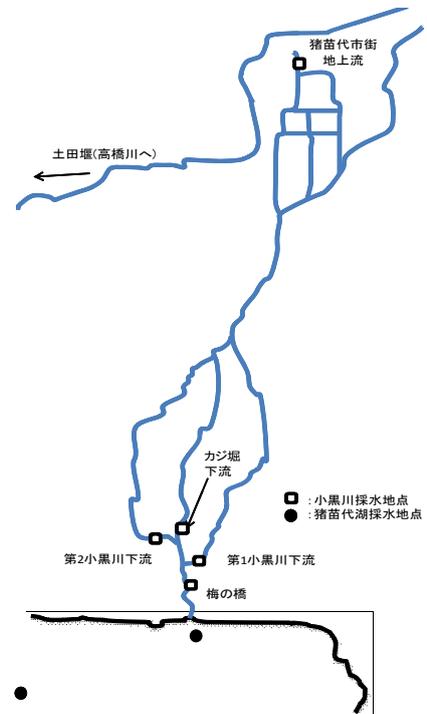


図 2 調査地点

4 調査時期

- (1) 3-(1)については年10回（4月、5月、6月、7月、8月×2回、9月×2回、10月、11月）
- (2) 3-(2)については年7回（4月、6月、8月×2回、9月×2回、10月）
- (3) 3-(3)については年5回（8月×2回、9月×2回、10月）

※ 猪苗代湖小黒川沖における4月及び6月の調査地点は、小黒川沖75mのみとする。

5 調査項目

- (1) 気温、水温、透視度、色相、臭気、濁り、流量(川)
- (2) 気温、水温（垂直水温）、透明度、色相（フォーレルウーレ比色）、臭気、濁り
沖合調査地点の水深（調査時湖全体水位は土木部から確認した。）
- (3) pH、EC、DO、大腸菌群数、大腸菌数、TOC、SS

6 測定方法

- (1) pH：イオン電極法
- (2) EC：電気伝導度計
- (3) DO：よう素適定法
- (4) SS：重量法
- (5) 大腸菌群数、大腸菌数：MMO-MUG 培地による QT トレイ法
*大腸菌群数については BGLB 培地による最確数法も一部の地点で行った。
- (6) TOC：燃烧酸化－赤外吸収式 TOC 自動計測法

7 結果及び考察

現地調査票については、別紙1のとおり。

分析結果の一覧については、別紙2のとおり。

(1) 猪苗代湖湖心の水質について

ア 鉛直水温と水温躍層について

猪苗代湖湖心における鉛直水温の調査結果を図3に示す。

4月26日の水温は、全層でほぼ一定であり、気温の上昇と共に表層の水温は上昇し、7月15日には水温躍層（8m～16m）の形成が確認された。

その後、9月1日までは表層の水温が上昇するのに合わせ、水温躍層の位置も上層へと移動したが、それ以降は気温の低下とともに下降し、11月8日には崩壊する様子が確認された。

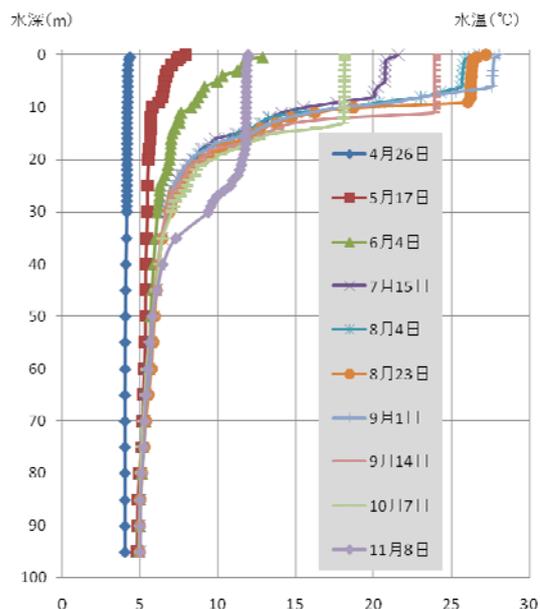


図3 湖心鉛直水温

イ 大腸菌群数及び大腸菌数について

猪苗代湖湖心の大腸菌群数及び水温の調査結果を図4に示す。

湖心の大腸菌群数は、水温が低い4月26日は4層で検出されず、5月17日は水深15mで初めて1MPN/100ml、6月4日は水深15mで4MPN/100ml、水温が上昇し水温躍層が形成された7月15日以降は4層で検出された。8月4日は水深0.5mで湖沼A類型の環境基準値である1,000MPN/100mlを超える10,000MPN/100mlが検出された。その後、水温の上昇は続いたが、8月23日は水深0.5mで3MPN/100ml、9月1日は水深0.5mで1MPN/100mlと激減し、水温の下降が始まる9月14日以降は水深0.5mで44~88MPN/100mlとなった。4月から8月にかけては、水温の上昇に伴い、大腸菌群数が増加したが、9月以降は減少し、8月4日より増えることはなかった。なお、平成18年度、19年度及び21年度は、9月に大腸菌群数(BGLB培地法)が2,200MPN/100ml、1,300MPN/100ml、2,400MPN/100ml(福島県水質年報より)となり、A類型の環境基準値を超過したが、今年度は、1ヶ月早い8月に10,000MPN/100mlという高い値を示した。

水深別でみると、初めて4層で大腸菌群数が検出された7月15日は、水深5mで一番高い値となり、唯一環境基準値を超過した8月4日においては、水深0.5mで10,000MPN/100ml、水深5m及び水深15mで4,600MPN/100ml、水深30mで860MPN/100mlと変水層の上層(水深5m)と変水層(水深15m)で同じ値を示し、水深が深くなるにつれて低い値を示した。その後、8月23日及び9月14日は、変水層の上層である水深0.5mと水深5mで数個MPN/100ml、変水層及び変水層の下層である水深15m及び水深30mで数百MPN/100mlとなり、上層よりも下層で高い大腸菌群数が検出された。さらに、水温躍層の位置が下がり始めた9月14日、10月7日及び11月8日は、4層の大腸菌群数が44~410MPN/100mlとなり、ほぼ同じ値となった。また、8月23日以降は、水深0.5mと5m、水深15mと30mで同程度の大腸菌群数が検出された。

大腸菌群数は、水温の上昇に伴い、増加が認められたが、水温が高いすべての時期において高い値を示していないことから、水温との相関は認められなかった。

なお、大腸菌数は全ての時期及び水深で1MPN/100ml未満であった。

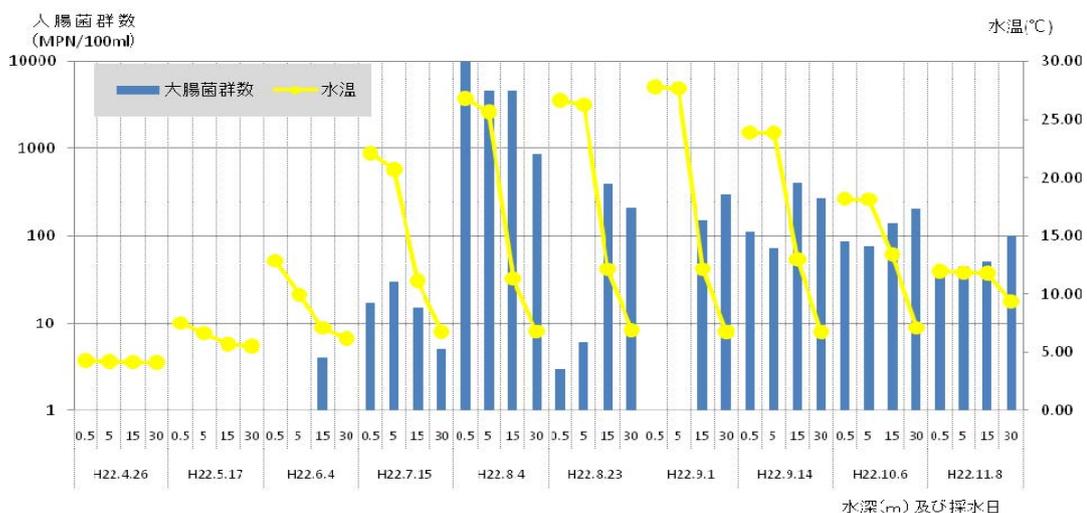


図4 湖心大腸菌群数と水温の推移

ウ 大腸菌群数と他の水質調査項目について

pH の調査結果を図 5～6 に示す。

pH は 6.50～7.09 であり、水深層別では水深 0.5m が他の水深と比較して月別変動が大きかった。また、大腸菌群数が最も高かった 8 月 4 日は、水深 0.5m で 7.09 と最も高い値を示した。大腸菌群数と pH には中程度の正の相関が認められた。

TOC は 0.40～0.78mg/l であり、水温躍層が形成された 7 月には水深層別に濃度の違いが確認された。大腸菌群数と TOC には相関が認められなかった。

なお、EC は 108.2 μ S/cm～116.7 μ S/cm、DO 飽和率は 90%以上、SS は 1 mg/l 未満～3mg/l であり、大腸菌群数とこれらの項目には相関が認められなかった。

一般的に、水中の大腸菌群等微生物の増殖に、最も影響を与える条件は水温であり、それ以外は pH、SS 等といわれている。また、大腸菌群は水中の有機物を利用して増殖が可能であるといわれている。今回、猪苗代湖心の大腸菌群数とその他の水質調査項目で正の相関が認められたのは pH のみであり、pH の上昇により湖内に流入してきた大腸菌群増殖に対する抑制が少なくなってきたことが考えられた。今回、猪苗代湖心の SS、TOC は、他の湖沼と比較するとかなり低い値であることから、大腸菌群数との明確な相関は認められなかった。水温に関しては明確な相関が認められなかったが、10℃以下ではほとんど検出されず、水温が高い時には検出されるが、その状態が続いても大腸菌群数のそれ以上の増殖が認められなかった。湖心の大腸菌群数増加要因としては、水温の上昇があり、水温が高い状態の時に pH が関連していると示唆された。

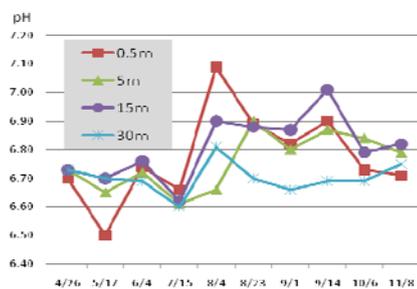


図 5 湖心 pH の推移

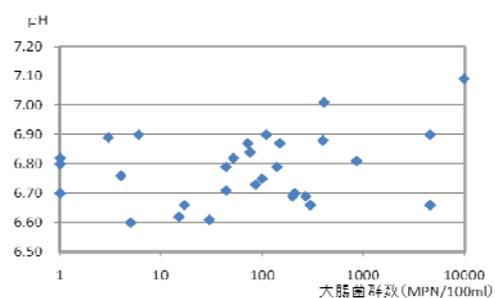


図 6 湖心の pH と大腸菌群数の関係

表 1 猪苗代湖湖心における大腸菌群数とその他の項目との相関係数

	水温	透明度	pH	EC	DO飽和率	SS	TOC
大腸菌群数	0.315	-0.102	0.441	-0.274	0.315	0.220	0.193

エ 降水量等との関係について

大腸菌群数と調査日前 7 日間の合計降水量のグラフを図 7 に示す。猪苗代湖湖心の大腸菌群数の増加に調査日前 7 日間に降った総降水量が関与しているか検討したが、今回の結果からは降雨の影響は認められなかった。

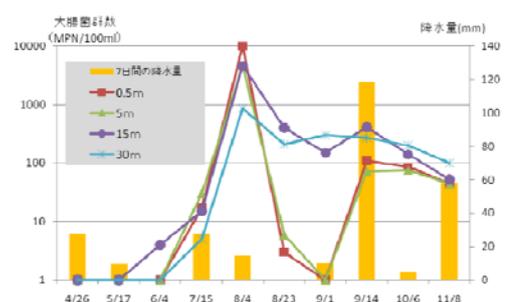


図 7 湖心大腸菌群数と降水量の関係

(2) 猪苗代湖小黒川沖の水質について

ア 大腸菌群数及び大腸菌数について

猪苗代湖小黒川沖の大腸菌群数と大腸菌数及び水温の調査結果を図 8 に示す。

大腸菌群数は、小黒川沖 75m の地点では、水温の低い 4 月 26 日 980MPN/100ml、6 月 4 日 6,630MPN/100ml と数千 MPN/100ml 程度の値であったが、水温が高くなる 8 月 4 日、23 日、9 月 1 日、10 月 6 日には数万 MPN/100ml、小雨（前日、前々日雨）の降っていた 9 月 14 日には数十万 (110,000)MPN/100ml であった。

地点別の結果は、小黒川沖 25m 地点で数万 MPN/100ml（小黒川梅の橋と、ほぼ同様な値）、小黒川沖 75m 地点で数万 MPN/100ml（小黒川沖 25m 地点の約半分）、小黒川沖 200m で数千 MPN/100ml、小黒川沖 500m では数百 MPN/100ml と小黒川から流入した大腸菌群数は湖水と接触して減少傾向がみられた。降雨があった 9 月 14 日は、それぞれの地点で 1 桁高い値となった。小黒川沖 500m 地点で環境基準値の 1,000MPN/100ml を超えたのは 9 月 14 日 (1,300MPN/100ml) のみであった。湖心表層の大腸菌群数と比較すると、8 月 4 日は湖心表層より低い値であったが、それ以外は湖心表層と同程度もしくは高い値を示した。

大腸菌数は、小黒川沖 75m 地点では、水温の低い 4 月 26 日 9MPN/100ml、6 月 4 日 98MPN/100ml と数十 MPN/100ml 程度の値であったが、水温の高くなる 8 月 4 日、23 日、9 月 1 日、10 月 6 日には数百 MPN/100ml、小雨（前日、前々日雨）の降っていた 9 月 14 日には数千万 (1,000)MPN/100ml であった。

地点別の結果は、小黒川沖 25m 地点で数百～数千 MPN/100ml（小黒川梅の橋と、ほぼ同様な値）、小黒川沖 75m 地点で百 MPN/100ml（小黒川沖 25m 地点の約半分）、小黒川沖 200m で数十 MPN/100ml、小黒川沖 500m では数 MPN/100ml と小黒川から流入した大腸菌数も湖水と接触して減少傾向がみられた。降雨のあった、9 月 14 日は、それぞれの地点で 1 桁高い値となったが、小黒川沖 500m では 4MPN/100ml と他の月と同程度の値であった。

また、大腸菌群数と大腸菌数に強い正の相関が認められた。大腸菌数／大腸菌群数の比は、0～0.05 程度の値であり、通常の河川で見られる 0.1～0.2 よりも大幅に低かったため、糞便による汚染の割合は低いと思われた。

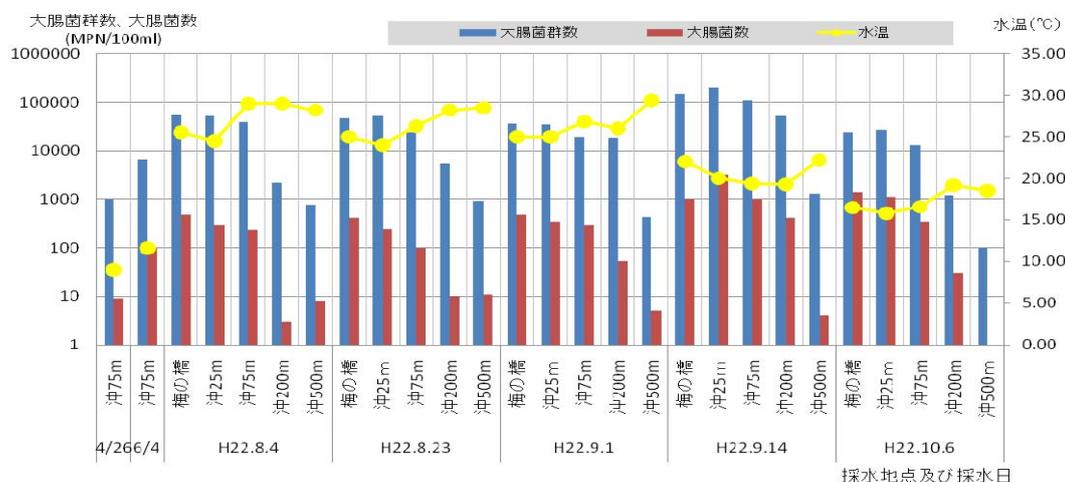


図 8 大腸菌群数と大腸菌数及び水温の推移

イ 大腸菌群数及び大腸菌数と他の水質調査項目について

pH、TOC 及び SS の調査結果を図 9～13 に示す。

pH は、7.07～8.77 であった。8 月 23 日は小黒川沖 200m 地点で、9 月 1 日には小黒川沖 500m 地点で炭酸同化作用のため pH が 8 以上になる現象がみられ、それと同時に DO 飽和率も 130% 程度の高い値を示した。大腸菌群数及び大腸菌数と pH に相関は認められなかった。

TOC は、小黒川沖 25m から小黒川沖 200m までは、1.60～3.09mg/l で、地点別にあまり大きな変化はみられなかった。小黒川沖 500m 地点では、9 月 1 日を除いて 0.73～1.01mg/l と低い値になり、湖心の値に近づいていた。水位の低かった 9 月 1 日は全地点で 2mg/l 程度の値であった。9 月 14 日は降雨の影響で、全体的に高い値であったが、小黒川沖 500m 地点では降雨の影響は認められず、湖心の値に近づいていた。大腸菌群数と TOC に正の強い正の相関、大腸菌と TOC に中程度の正の相関が認められた。

SS は、小黒川沖 25m 地点から沖 200m 地点までは 2～14mg/l で、小黒川梅の橋から小黒川沖 500m 地点まで徐々に、減少しており、小黒川沖 500m 地点では、1mg/l 未満～2mg/l と低い値で、湖心の SS の値に近づいていた。大腸菌群数及び大腸菌数と SS に中程度の正の相関が認められた。

なお、EC は 112.5～212 μ S/cm、DO 飽和率は 70% 以上であり、大腸菌群数及び大腸菌数とこれらの項目に相関が認められなかった。

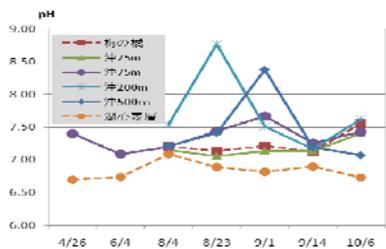


図 9 小黒川沖 pH の推移

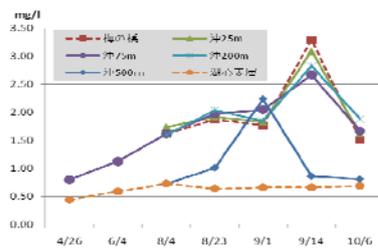


図 10 小黒川沖 TOC の推移

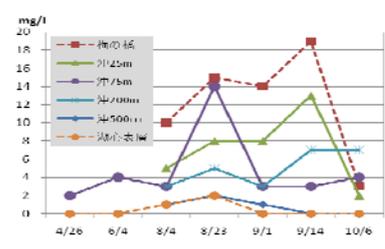


図 11 小黒川沖 SS の推移

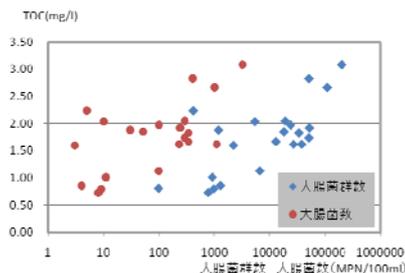


図 12 小黒川沖 TOC と大腸菌群数及び大腸菌数

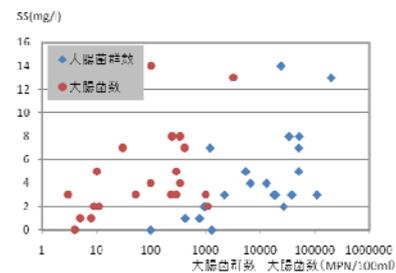


図 13 小黒川沖 SS と大腸菌群数及び大腸菌数の関係

表 2 猪苗代湖小黒川沖における大腸菌群数及び大腸菌数とその他の項目との相関係数

	水温	pH	EC	DO飽和率	SS	TOC	大腸菌数
大腸菌群数	-0.1032	-0.3070	0.2523	-0.3152	0.5592	0.7057	0.9185
大腸菌数	-0.2106	-0.2289	0.2502	-0.2975	0.4750	0.5953	

ウ 降水量等との関係について

大腸菌群数等と調査日前3日間の合計降水量を図14に示す。当日及び前日に降雨があった9月14日は大腸菌群数及び大腸菌数共にほとんどの地点で増加していたが、小黑川沖500m地点の大腸菌については影響を受けずに4MPN/100mlと通常どおりの値であった。

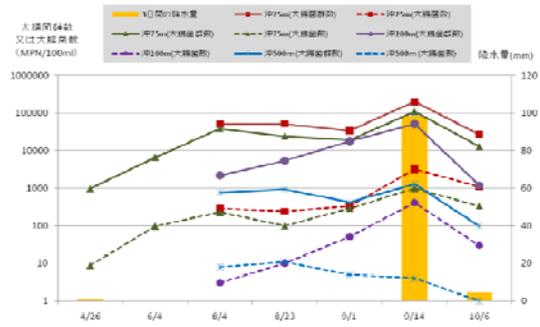


図14 小黑川沖大腸菌群数等と降水量の関係

(3) 小黑川の水質について

ア 大腸菌群数及び大腸菌数について

小黑川の大腸菌群数と大腸菌数及び水温の調査結果を図15に示す。

小黑川上流である猪苗代市街地上流の大腸菌群数は、水量の少なかった9月1日のカジ堀下流、降雨のあった9月14日を除いては、数千MPN/100ml程度、大腸菌数は数十MPN/100ml程度であった。その後、3河川に分岐しその合流前である第1小黑川下流、カジ堀下流、第2小黑川下流の3地点では、大腸菌群数は数万MPN/100ml、大腸菌数は数百～数千MPN/100ml程度の値を示した。その3河川の合流後である梅の橋では、3河川と同程度の値を示した。(大腸菌群数：24,000～60,000MPN/100ml、大腸菌数：410～1,400MPN/100ml) なお、水量の少なかった9月1日のカジ堀下流では、大腸菌群数は1,700,000MPN/100ml、大腸菌数は2,000MPN/100mlと高い値を示した。降雨のあった9月14日は、大腸菌群数は1桁高い値を示したが、大腸菌数上流の猪苗代市街地上流で1桁高い値を示したが、他の地点ではあまり変化がなかった。9月14日の梅の橋での大腸菌群数は150,000MPN/100ml、大腸菌数は980MPN/100mlであった。

また、大腸菌群数と大腸菌数に中程度の正の相関が認められ、大腸菌数/大腸菌群数の比は、0.001～0.08程度の値であり、通常の河川で見られる0.1～0.2よりも大幅に低かったため、糞便による汚染の割合は低いと思われた。

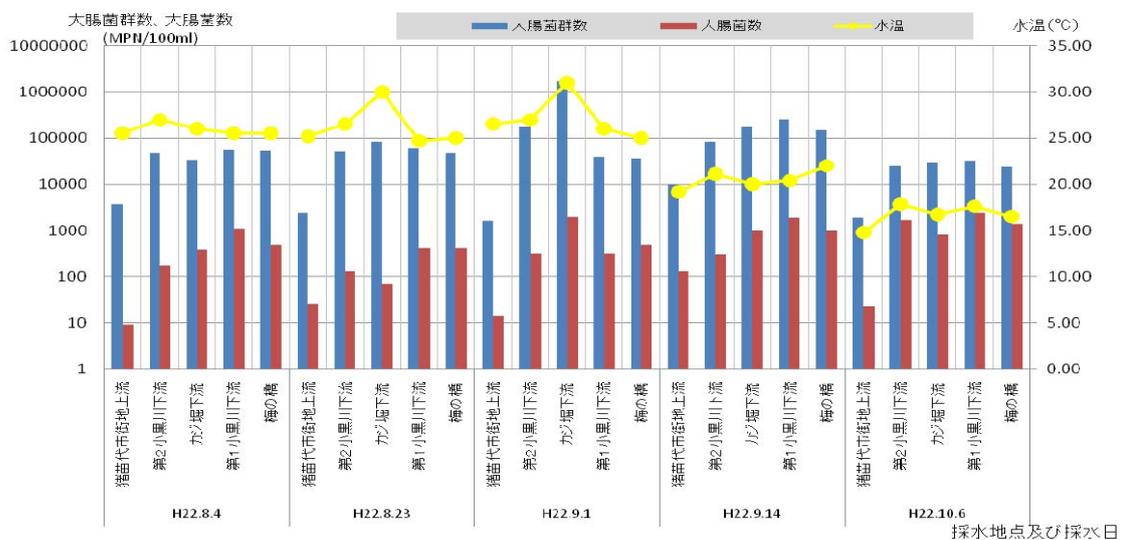


図15 大腸菌群数と大腸菌数及び水温の推移

イ 大腸菌群数及び大腸菌数と他の水質調査項目について

pH及びTOCの調査結果を図16～18に示す。

pHは、7.12～9.06の範囲であり、上流の猪苗代市街地上流、カジ堀下流では、7.6前後の値で、第1,2小黒川下流、梅の橋では7.2前後の値であった。流量の少なかった9月1日には、カジ堀下流で炭酸同化作用のためpHが9以上になる現象がみられ、それと同時にDO飽和率も160%の高い値を示した。大腸菌群数とpHに高い相関が認められたが、9月1日のカジ堀下流の地点を除外すると負の中程度の相関が認められた。大腸菌数とpHに相関は認められなかった。

DO飽和率は、全ての時期及び地点で90%以上の値であった。DO飽和率と大腸菌群数に高い相関が認められたが、9月1日のカジ堀下流の地点を除外すると相関は認められなかった。

TOCは、上流の猪苗代市街地上流で1mg/l付近の低い値であり、下流の4地点では2mg/l付近の値となっていた。降水のあった9月14日には、下流4地点とも3mg/l付近の高い値を示した。DOが過飽和になっていた、8月23日、9月1日のカジ堀下流でTOCは高い値を示した。大腸菌群数とTOCは高い相関を示したが、大腸菌数とTOCに相関は認められなかった。

なお、ECは143.7～233 μ S/cm、SSは、2～19mg/lであり、大腸菌群数及び大腸菌数とこれらの項目に相関が認められなかった。

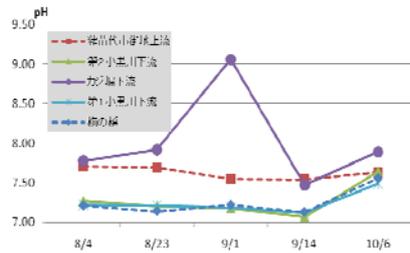


図16 小黒川 pH の推移

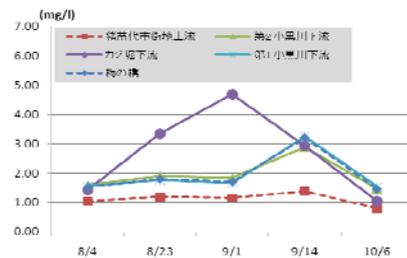


図17 小黒川 TOC の推移

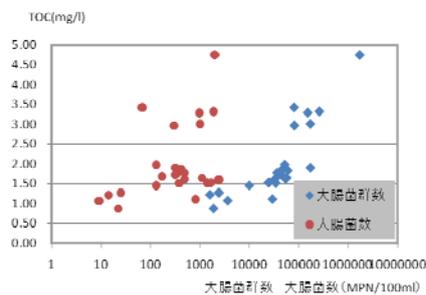


図18 小黒川 TOC と大腸菌群数及び大腸菌

表3 小黒川における大腸菌群数及び大腸菌数とその他の項目との相関係数

	水温	pH	EC	DO飽和率	SS	TOC	大腸菌数
大腸菌群数	0.3670	0.7148	0.0130	0.8110	-0.1194	0.7233	0.4465
大腸菌数	-0.3212	0.2532	0.3875	0.2326	-0.0381	0.3994	

ウ 降水量等との関係について

大腸菌群数等と調査日前3日間の合計降水量を図19に示す。当日及び前日に降水があった9月14日は大腸菌群数及び大腸菌数共にほとんどの地点で増加していたが、カジ堀下流及び第2小黒川下流は水量の少なかった、9月1日の方が、さらに高い値であった。

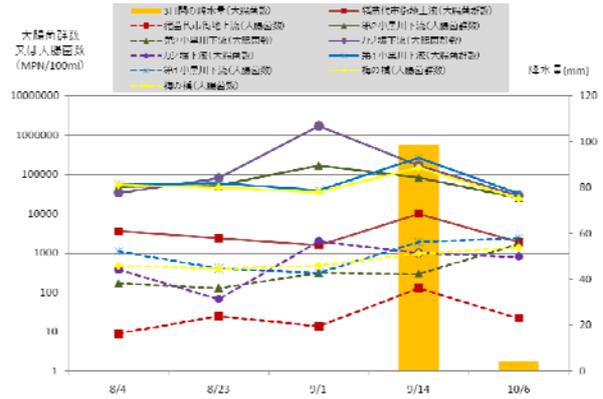


図19 小黒川大腸菌群数等と降水量の関係

(4) 大腸菌群数分析における培地による測定結果の違いについて

大腸菌群数の分析を、MMO-MUG 培地によるQTトレイ法（以下QTトレイ法）と、BGLB培地による最確数法（以下BGLB法）で分析した結果を図20及び表4に示す（湖心0.5m：8検体、小黒川沖75m：5検体）。

両者の結果はほぼ同一のオーダーを示し、有意な正の相関を示した（ $R=0.6694$ ）。

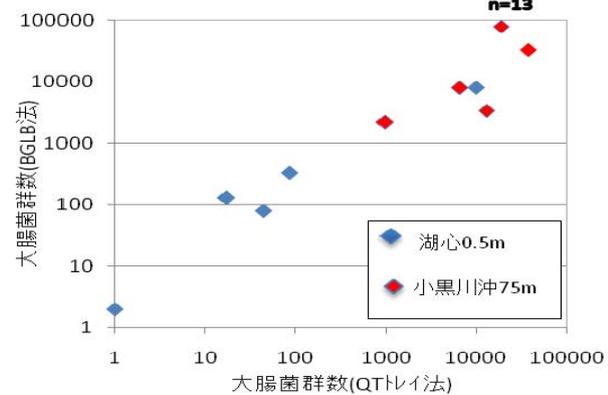


図20 QTトレイ法とBGLB法による大腸菌群数

表4 猪苗代湖湖心及び小黒川沖75mにおける大腸菌群数の調査結果

調査地点	単位	猪苗代湖								猪苗代湖小黒川沖				
		湖心								小黒川沖75m				
		0.5								0.5				
採取水深(m)														
調査年月日		H22.4.26	H22.5.17	H22.6.4	H22.7.15	H22.8.4	H22.9.1	H22.10.6	H22.11.8	H22.4.26	H22.6.4	H22.8.4	H22.9.1	H22.10.6
大腸菌群数(QTトレイ法)	MPN/100ml	0	0	0	17	10000	1	86	44	980	6630	38000	19000	13000
大腸菌群数(BGLB法)	MPN/100ml	0	0	0	130	7900	2	330	79	2200	7900	33000	79000	3300

8 まとめ

- (1) 猪苗代湖湖心の大腸菌群は、4月～6月まではほとんど検出されなかったが、7月～11月にかけては4層で検出された。特に、8月4日は、水深0.5mで大腸菌群数が最大となる10,000MPN/100mlとなり、過去の値と比較しても最も高い値を示した。また、7月～8月上旬にかけて水温が上昇する時期には、変水層の上部で大腸菌群数が高い傾向を示し、8月下旬以降は、変水層の下部で高い傾向を示した。なお、年間を通して大腸菌は検出されなかった。
- (2) 小黒川の大腸菌群数及び大腸菌数は、小黒川の下流部に位置する「梅の橋」では、上流部に位置する「猪苗代市街地上流」の20倍以上高い値となり、小黒川を流下するのに伴い増加することが確認された。小黒川沖の大腸菌群数及び大腸菌数は、「沖50m」では「梅の橋」とほぼ同じ値であり、「沖75m」、「沖200m」、「沖500m」と沖に向かうにつれて減少し、「沖500m」では湖心とほぼ同じ値となった。降雨による大腸菌群数及び大腸菌数の変化は、小黒川、「沖50m」、「沖75m」及び「沖200m」は通常より1桁高い値となったが、「沖500m」ではほぼ通常と同じ値となり、降雨が猪苗代湖湖心に与える影響は少ないと考えられた。また、小黒川及び小黒川沖の全ての地点は、糞便による汚染の割合は少ないことが確認された。
- (3) 猪苗代湖湖心において大腸菌群が増加する要因は、湖水温の上昇と湖水温が上昇した後はpH等が影響を与えることが示唆された。
- (4) 小黒川においては、大腸菌群数と大腸菌数、大腸菌群数とTOCに明確な相関が認められた。
- (5) 小黒川沖においては、大腸菌群数と大腸菌数、SSとTOCに相関が認められ、特に大腸菌群数と大腸菌数には高い相関が認められた。

別紙1 現地調査票

調査地点	猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)									
	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	
採取水深(m)	H22.8.4																								
調査年月日	H22.8.4																								
採水時間	9:25																								
天候(前日)	晴れ																								
天候(当日)	晴れ																								
気温(℃)	23.7																								
水温(℃)	23.7																								
透明度(m)	10.7																								
水色(フォーレル)	6																								
色相	無色																								
臭気	無臭																								
濁り	透明																								

調査地点	猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)									
	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	
採取水深(m)	H22.8.4																								
調査年月日	H22.8.4																								
採水時間	10:45																								
天候(前日)	晴れ																								
天候(当日)	晴れ																								
気温(℃)	21.8																								
水温(℃)	20.0																								
透明度(m)	1.3(全透)																								
水色(フォーレル)	14																								
色相	無色																								
臭気	無臭																								
濁り	透明																								

調査地点	猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)									
	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	
採取水深(m)	H22.8.4																								
調査年月日	H22.8.4																								
採水時間	10:45																								
天候(前日)	晴れ																								
天候(当日)	晴れ																								
気温(℃)	21.8																								
水温(℃)	20.0																								
透明度(m)	1.3(全透)																								
水色(フォーレル)	14																								
色相	無色																								
臭気	無臭																								
濁り	透明																								

調査地点	猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)					猪苗代湖(湖心)									
	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	0.5	1.5	3.0	5	15	30	
採取水深(m)	H22.8.4																								
調査年月日	H22.8.4																								
採水時間	10:45																								
天候(前日)	晴れ																								
天候(当日)	晴れ																								
気温(℃)	21.8																								
水温(℃)	20.0																								
透明度(m)	1.3(全透)																								
水色(フォーレル)	14																								
色相	無色																								
臭気	無臭																								
濁り	透明																								

別紙2 調査結果表

調査地点	猪苗代湖														
	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心
採取水深(m)	5	15	30	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
調査年月日	H22.8.26														
pH	6.70	6.73	6.73	6.50	6.73	6.70	6.70	6.74	6.72	6.76	6.69	6.66	6.62	6.60	6.66
EC	115.6	116.7	115.6	115.8	115.8	115.2	115.4	114.1	114.3	114.7	108.4	108.4	112.1	112.5	108.3
DO	12.6	12.2	12.6	12.0	11.4	11.4	12.1	11.8	10.6	10.9	11.6	8.3	10.3	11.2	8.0
DO飽和率	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
SS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
大腸菌群数(O157/株)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
大腸菌群数(BGLB法)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大腸菌数	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
TOC	0.44	0.50	0.43	0.42	0.46	0.42	0.40	0.41	0.59	0.45	0.43	0.41	0.78	0.55	0.47

調査地点	猪苗代湖														
	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心
採取水深(m)	5	15	30	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
調査年月日	H22.8.23														
pH	6.89	6.90	6.88	6.70	6.82	6.80	6.87	6.66	6.90	6.87	7.01	6.69	6.73	6.84	6.79
EC	109.9	110.1	111.1	112.2	110.2	111.7	111.8	109.2	109.3	108.4	109.6	110.2	110.2	111.8	110.5
DO	7.9	7.7	11.5	12.0	7.8	7.8	10.9	11.5	7.9	8.2	11.4	11.4	8.7	9.0	10.1
DO飽和率	100%	97%	111%	102%	99%	100%	103%	97%	96%	99%	112%	96%	105%	98%	97%
SS	2	1	3	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
大腸菌群数(O157/株)	3	6	400	210	1	1	150	300	110	72	410	270	86	76	140
大腸菌群数(BGLB法)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
大腸菌数	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
TOC	0.64	0.64	0.51	0.51	0.66	0.65	0.53	0.47	0.66	0.75	0.52	0.46	0.69	0.65	0.60

調査地点	猪苗代湖小黒川沖														
	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心
採取水深(m)	75m	200m	500m	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
調査年月日	H22.8.26														
pH	7.40	7.09	7.40	7.22	7.54	7.20	7.15	7.41	8.77	7.44	7.06	8.38	7.17	7.26	7.14
EC	153.7	161.2	163.6	114.6	155.7	170.1	163.6	117.6	157.0	166.3	166.6	154.8	168.0	161.1	166.9
DO	11.7	9.1	8.1	9.8	8.6	8.0	8.0	8.0	7.7	10.3	7.6	7.7	9.6	10.9	8.4
DO飽和率	105%	88%	105%	128%	113%	98%	104%	100%	100%	130%	92%	101%	120%	138%	104%
SS	2	4	1	3	3	3	5	2	5	14	8	1	3	3	3
大腸菌群数(O157/株)	980	6630	1600	770	2200	38000	51000	920	5400	24000	52000	420	18000	19000	34000
大腸菌群数(BGLB法)	2200	7900	33000	33000	33000	33000	33000	33000	33000	33000	33000	33000	33000	33000	33000
大腸菌数	9	98	44	8	3	230	290	11	10	100	240	5	52	290	340
TOC	0.80	1.13	0.73	1.60	1.62	1.74	1.01	2.04	1.97	1.92	2.24	1.85	2.05	1.83	0.86

調査地点	小黒川														
	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心	湖心
採取水深(m)	75m	200m	500m	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
調査年月日	H22.8.24														
pH	7.21	7.22	7.78	7.27	7.71	7.14	7.21	7.92	7.20	7.69	7.22	7.19	9.06	7.18	7.55
EC	170.0	169.3	169.0	170.6	154.8	165.2	163.8	177.7	167.4	143.7	166.4	163.6	182.6	168.7	147.1
DO	8.4	8.5	9.2	8.4	7.9	8.1	7.7	9.4	8.6	8.1	8.4	7.6	12.3	8.0	8.2
DO飽和率	104%	100%	115%	107%	98%	100%	100%	125%	109%	100%	104%	95%	166%	107%	101%
SS	10	11	12	7	3	15	19	5	9	4	14	17	3	8	4
大腸菌群数(O157/株)	54000	57000	34000	48000	3600	47000	60000	81000	52000	2400	36000	40000	1700000	170000	1600
大腸菌群数(BGLB法)	400	1100	380	170	9	410	410	66	130	25	480	320	2000	320	14
大腸菌数	1.62	1.64	1.51	1.68	1.07	1.87	1.83	3.42	1.98	1.27	1.77	1.72	4.75	1.90	1.22
TOC	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

猪苗代湖における源流域の水質変化と湖内の水質との関連について

○三浦俊二 渡邊恵美 菊地克彦 鈴木聡(現環境省)

平成 22 年度福島県環境技術連絡会調査研究発表会（平成 23 年 2 月、福島県福島市）

1 はじめに

福島県にとって、極めて重要な水資源・観光資源である猪苗代湖には、安達太良山の中腹にある旧硫黄鉱山廃坑から流れ出す強酸性の湧出水と沼尻・中ノ沢温泉の強酸性の温泉水が長瀬川を通じて流入している。これまで、猪苗代湖の水質は、これら酸性水に含まれる鉄やアルミニウムイオンが水酸化物として沈殿される過程において、湖内の汚濁物質が吸着、結合して湖底に沈殿するなど固有の自然浄化機能によって、極めて良好に保たれてきた。

しかし、近年、猪苗代湖は、pH の中性化に伴い、COD の上昇や大腸菌群数の増加など、水質の悪化が懸念されていることから、この原因を探るため、湖内に酸性成分等を供給している源流域の水質を調査し、過去の水質と比較することによって、源流域の水質変化と湖内の水質との関連について考察したので、その結果を報告する。

2 調査方法

(1) 調査地点

源流域の調査は、延べ 9 地点で実施したが、本稿では、猪苗代湖の水質に大きく影響を与えていると考えられる長瀬川の上流支川である酸川^{すかわ}及び硫黄川の酸性河川と酸性成分の供給源である沼尻・中ノ沢温泉の源泉（以下「温泉源泉」という。）及び旧硫黄鉱山廃坑の湧出水（以下「坑内排水」という。）の計 4 地点について考察した。

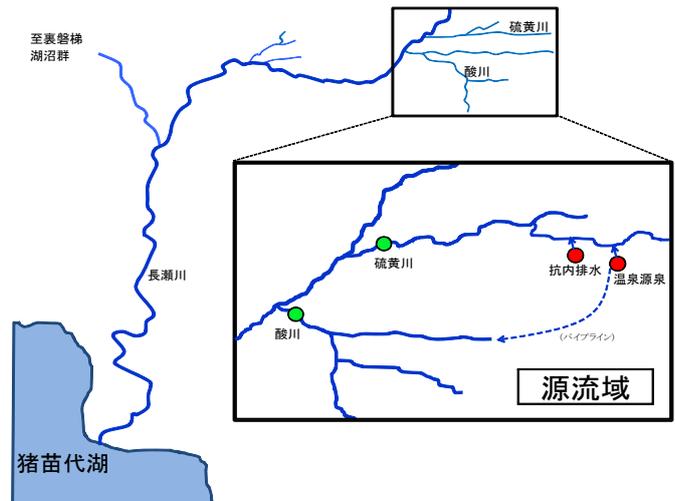


図 1 調査地点

(2) 調査時期

平成 18 年度～21 年度にかけて表 1 のとおり調査を実施した。

表1 調査時期

調査地点	調査年度	4月	6月	8月	10月	12月	2月
酸川	平成18年度		○	○	○	○	○
	平成19年度	○	○	○	○	○	○
	平成20年度	○	○	○	○	○	○
	平成21年度	○	○	○	○	○	○
硫黄川	平成18年度		○	○	○	○	○
	平成19年度	○	○	○	○	○	○
	平成21年度	○	○	○	○	○	○
温泉源泉	平成18年度						
	平成19年度		○	○	○		
	平成20年度		○	○	○		
	平成21年度				○		
坑内排水	平成18年度						
	平成19年度		○	○	○		
	平成20年度		○	○	○		
	平成21年度				○		

(3) 調査項目

調査項目は、現地調査として7項目、水質測定として13項目の計20項目の調査を実施したが、本稿では、猪苗代湖の水質との関連を見るため、pH（水素イオン濃度を含む。）並びに酸性成分の主な指標となる鉍酸酸度、T-Fe及びAl（溶存態）、SO₄²⁻（溶存態）の計5項目について考察した。

3 結果及び考察

(1) 源流域における平均的な水質の変化

本調査結果と昭和54年（福島大学調査）及び昭和55年～57年（福島県調査）にかけて調査した結果を比較したものは、表2のとおりである。

表2 源流域における平均的な水質の変化

調査地点	調査項目	調査時期		増減	増減割合	
		S54、55～S57	H18～H21			
酸川	pH		2.93	3.32	+ 0.39	—
	水素イオン濃度	μmol/L	1165.2	474.5	▲ 690.8	59 %減少
	鉍酸酸度	mgCaCO ₃ /L	113.8	35.8	▲ 78.1	69 %減少
	硫酸イオン	mg/L	168.9	86.4	▲ 82.4	49 %減少
	鉄イオン	mg/L	3.4	0.6	▲ 2.7	81 %減少
	アルミニウムイオン	mg/L	7.8	4.8	▲ 3.0	38 %減少
硫黄川	pH		2.15	2.21	+ 0.06	—
	水素イオン濃度	μmol/L	7080.8	6208.9	▲ 871.9	12 %減少
	鉍酸酸度	mgCaCO ₃ /L	1038.6	902.9	▲ 135.7	13 %減少
	硫酸イオン	mg/L	1322.0	1086.7	▲ 235.4	18 %減少
	鉄イオン	mg/L	100.8	86.5	▲ 14.3	14 %減少
	アルミニウムイオン	mg/L	83.9	76.2	▲ 7.7	9 %減少
温泉源泉	pH		1.72	1.95	+ 0.23	—
	水素イオン濃度	μmol/L	19221.7	11303.1	▲ 7918.6	41 %減少
	鉍酸酸度	mgCaCO ₃ /L	1901.4	1017.6	▲ 883.8	46 %減少
	硫酸イオン	mg/L	1631.0	1358.8	▲ 272.1	17 %減少
	鉄イオン	mg/L	39.5	7.3	▲ 32.2	82 %減少
	アルミニウムイオン	mg/L	89.8	74.5	▲ 15.4	17 %減少
坑内排水	pH		1.54	1.66	+ 0.12	—
	水素イオン濃度	μmol/L	28840.3	21981.3	▲ 6859.0	24 %減少
	鉍酸酸度	mgCaCO ₃ /L	—	2916.8	—	—
	硫酸イオン	mg/L	4500.0	3353.2	▲ 1146.8	25 %減少
	鉄イオン	mg/L	454.0	328.9	▲ 125.1	28 %減少
	アルミニウムイオン	mg/L	189.0	129.3	▲ 59.7	32 %減少

注：調査項目の測定値については、採水時における流量に影響を受けないようにするため、平均的な水質として算定し、水質測定値C_iにその時の流量Q_iを乗じたものの合計を流量の総量ΣQ_iで除す方法により求めた。

$$\text{平均的な水質} = \Sigma (C_i \times Q_i) / \Sigma Q_i$$

ア 酸性河川の水質変化

酸川は、pH が 0.39 上昇（水素イオン濃度として 59%減少）しているほか、酸性成分の主な指標となる全ての項目の濃度が 38%～81%の割合で減少していることが確認された。また、最も減少割合が大きかったのは鉄イオンであり、濃度が 1/5 程度にまで低下していることが確認された。

酸川よりも酸性が強い硫黄川については、pH が 0.06 上昇（水素イオン濃度として 12%減少）しているほか、同様に全ての項目の濃度が 9%～18%とほぼ同じ割合で減少していることが確認された。また、最も減少量が大きかったのは硫酸イオンであり、酸川の減少量の約 3 倍に当たる 235mg/L の減少が確認された。

イ 酸性成分の供給源の水質変化

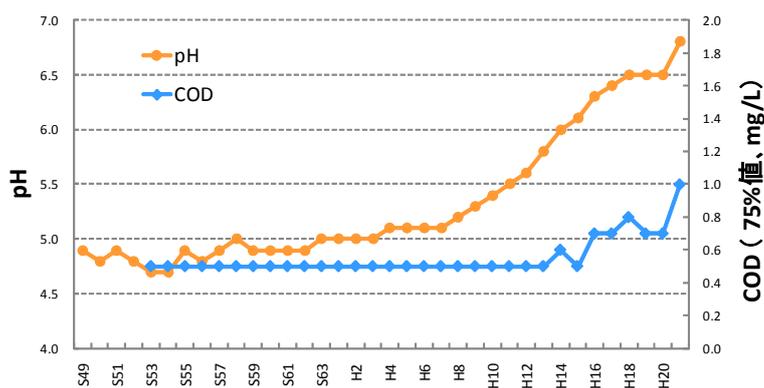
温泉源泉は、pH が 0.23 上昇（水素イオン濃度として 41%減少）しているほか、酸性成分の主な指標となる全ての項目の濃度が 17%～82%の割合で減少していることが確認された。また、最も減少割合が大きかったのは鉄イオンであり、濃度が 1/5 程度にまで低下するなど酸川と同様の傾向が確認された。これは、温泉源泉がパイプラインを通じ、酸川へ流れ込むことによって、酸川の水質に大きな影響を与えたためと考えられる。

温泉源泉よりも酸性が強い坑内排水については、pH が 0.12 上昇（水素イオン濃度として 24%減少）しているほか、同様に全ての項目の濃度が 25%～32%とほぼ同じ割合で減少していることが確認された。また、最も減少量が大きかったのは硫酸イオンであり、温泉源泉の減少量の約 4 倍に当たる 1,147mg/L の減少が確認されるなど硫黄川と同様の傾向が確認された。これは、坑内排水が硫黄川へ流れ込むことによって、硫黄川の水質に大きな影響を与えたためと考えられる。

(2) 猪苗代湖の水質との関連

ア pH と COD の上昇

猪苗代湖の pH と COD の経年変化を図 2 に示す。pH については、平成の初め頃から上昇が始まり、平成 21 年度では 6.8 まで上昇している。COD については、平成 14 年度から上昇が始まり、平成 21 年度では 1.0 まで上昇している。



イ 金属イオン濃度の変化

猪苗代湖の pH と金属イオン濃度の経年変化を図 3 に示す。pH の上昇に伴い、酸性成分の主な指標である鉄やアルミニウムイオンが大きく減少し、COD が上昇し始めた平成 14 年度以降においては、これらイオンが成分からほとんど見られなくなっている。

鉄やアルミニウムイオンが極端に減少した原因については、源流域からの供給量が大きく減少したことや、湖内の pH が上昇したことにより、鉄やアルミニウムがイオンとして溶存しづらくなったことなどが考えられる。

また、平成の初期においては、湖内に鉄やアルミニウムイオンが多く溶存していたことで、これらのイオンによる水質の自然浄化機能が湖内全域で働き、COD を低下させていたと考えられるが、現在では、これらのイオンによる浄化機能が低下したことで COD が上昇している可能性がある。

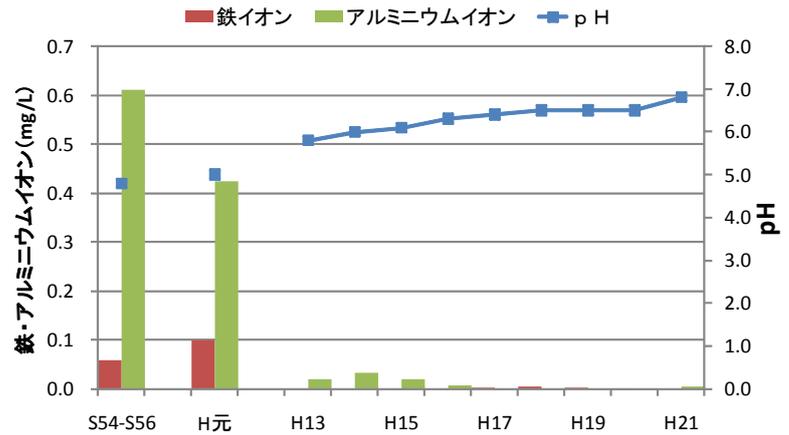


図3 pHと金属イオン濃度の経年変化（湖心）

4 まとめ

- (1) 源流域の水質は、昭和 54 年～57 年当時の状況と比較して、酸性が弱くなっているとともに、酸性成分の主な指標となる鉍酸酸度、鉄やアルミニウムなどの金属イオン及び硫酸イオンの大幅な減少が確認された。
- (2) 酸性成分の主な供給源である温泉源泉や坑内排水の水質は、^{すかわ}酸川や硫黄川などの酸性河川の水質に大きな影響を与えていることが示唆された。
- (3) 猪苗代湖の pH が中性化するなど水質が変化した原因は、温泉源泉や坑内排水に含まれる酸性成分の大幅な減少など源流域における水質が変化したためと考えられた。
- (4) 猪苗代湖の COD が上昇した原因は、源流域から流入する酸性成分の減少に伴い、湖内における鉄やアルミニウムイオンによる水質の自然浄化機能が低下したためと考えられた。

調査地点	調査項目	S54.8.7	S55.8.7	S55.10.17	S55.11.6	S56.5.15	S56.7.10	S56.9.24	S56.11.10	S57.5.25	S57.7.5	S57.9.9	S57.11.4	平均的な水質	
		m ³ /s	1.71	0.86	1.33	1.32	1.10	1.40	1.30	0.97	1.84	1.44			
酸川 (高森川合流前)	流量		3.00	3.00	3.00	2.80	2.80	2.80	2.90	3.00	2.90	3.20	2.80	2.93	
	pH※		1000.0	1000.0	1000.0	1584.9	1584.9	1584.9	1258.9	1000.0	1258.9	631.0	1584.9	1165.2	
	水素イオン濃度	μmol/L	90	100	100	185	130	130	135	90	120	100	100	113.8	
	硫酸イオン	mg/L	119.0	163.0	143.0	192.0	210.0	210.0	164.0	138.0	375.0	113.0	168.0	168.9	
	鉄イオン	mg/L	2.6	11.0	7.8	1.9	3.6	3.6	3.2	1.7	2.3	1.2	2.1	3.4	
	アルミニウムイオン	mg/L	10.0	18.0	18.0	3.1	4.3	4.3	6.1	6.7	4.7	2.8	8.0	7.8	
	流量	m ³ /s	0.08	0.29	0.41	0.27	0.43	0.41	0.42	0.34	0.42	0.34	0.23		
	pH※		2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.10	2.20	2.20	2.00	2.00	2.15
硫黄川 (高森川合流前)	水素イオン濃度	μmol/L	6309.6	6309.6	6309.6	6309.6	6309.6	6309.6	7943.3	7943.3	6309.6	6309.6	10000.0	7080.8	
	硫酸イオン	mg/L	1200	1150	1150	1050	1050	1050	950	920	1080	1040	930	1038.6	
	鉄イオン	mg/L	1386.0	1440.0	1440.0	850.0	850.0	850.0	1390.0	1439.0	1259.0	1246.0	1387.0	1322.0	
	アルミニウムイオン	mg/L	163.0	98.0	127.0	102.0	102.0	102.0	110.0	77.2	91.3	82.6	104.0	100.8	
	流量	m ³ /s	74.0	75.0	81.0	65.0	74.0	65.0	74.0	110.0	98.0	70.0	93.0	83.9	
	pH※		0.12	0.12	0.09	0.10	0.10	0.08	0.10	0.13	0.10	0.11	0.12	0.12	
	水素イオン濃度	μmol/L	1.90	1.80	1.80	1.80	1.70	1.80	1.70	1.60	1.70	1.70	1.60	1.60	1.72
	硫酸イオン	mg/L	12589.3	15848.9	15848.9	19952.6	19952.6	15848.9	19952.6	25118.9	19952.6	19952.6	25118.9	19221.7	
温泉源泉 (沼尻・中ノ沢温泉 の源泉)	水素イオン濃度	μmol/L	2000	2000	2050	2000	2000	2000	1950	1800	1740	1830	1830	1901.4	
	硫酸イオン	mg/L	1980.0	1771.0	1940.0	326.0	326.0	1190.0	1450.0	2144.0	1442.0	2012.0	2012.0	1631.0	
	鉄イオン	mg/L	43.0	63.0	40.0	55.9	55.9	33.0	38.0	41.0	21.3	26.9	29.0	39.5	
	アルミニウムイオン	mg/L	102.0	87.0	68.0	87.1	87.1	72.0	72.0	97.0	90.0	95.0	95.0	89.8	
	流量	m ³ /s													
	pH※		1.54											1.54	
	水素イオン濃度	μmol/L	28840.3											28840.3	
	硫酸イオン	mg/L	4500.0											4500.0	
坑内排水 (旧硫黄鉱山廃坑の 湧出水)	鉄イオン	mg/L	454.0											454.0	
	アルミニウムイオン	mg/L	189.0											189.0	

※pHの平均的な水質は、水素イオン濃度の平均的な水質をpHに換算したものである。

調査地点	調査項目	H18.6.5	H18.8.7	H18.10.12	H18.12.5	H19.2.6	H19.4.25	H19.6.1	H19.8.3	H19.10.29	H19.12.11	H20.2.6	H20.4.21
酸川 (高森川合流前)	流量	1.33	2.38	1.64	1.44	0.94	2.55	1.41	1.43	1.08	0.84	0.67	5.20
	pH※	3.24	3.44	3.34	3.18	3.20	3.36	3.18	3.33	3.13	3.01	2.95	4.12
	水素イオン濃度	575.44	363.08	457.09	660.69	630.96	436.52	660.69	467.74	741.31	977.24	1122.02	75.86
	硫酸酸度	53.10	37.60	31.10	46.00	42.70	28.10	48.60	38.30	55.40	71.38	83.70	5.52
	硫酸イオン	93.71	70.61	71.84	95.40	101.28	67.99	95.15	89.95	121.41	130.80	182.97	30.91
	鉄イオン	0.89	0.68	0.53	0.91	0.88	0.57	0.67	0.71	0.94	1.22	1.52	0.17
	アルミニウムイオン	5.29	3.46	5.09	6.39	6.61	3.29	4.72	4.50	8.93	10.04	11.23	0.87
硫黄川 (高森川合流前)	流量	0.37	0.60	0.61	0.47	0.35	0.55	0.25	0.41	0.33	0.34	0.28	
	pH※	2.29	2.33	2.20	2.22	2.17	2.18	2.14	2.26	2.23	2.22	2.22	
	水素イオン濃度	5128.61	4677.35	6309.57	6025.60	6760.83	6606.93	7244.36	5495.41	5888.44	6025.60	6025.60	
	硫酸酸度	917.20	841.50	989.60	689.80	861.60	980.40	875.20	906.90	895.70	842.35	876.00	
	硫酸イオン	1046.27	940.44	1197.43	1041.63	1088.72	1148.71	994.51	988.74	1052.17	998.33	983.69	
	鉄イオン	83.84	88.09	106.05	81.51	80.49	106.22	85.78	94.74	85.44	74.90	82.86	
	アルミニウムイオン	79.12	65.60	84.16	63.74	62.34	68.40	75.52	81.60	81.00	75.64	74.60	
温泉源泉 (沼尻・中ノ沢温泉 の源泉)	流量							0.08	0.21	0.13			
	pH※							1.86	1.99	1.96			
	水素イオン濃度							13803.84	10232.93	10964.78			
	硫酸酸度							1011.70	1013.80	1300.50			
	硫酸イオン							1301.30	1293.33	1348.81			
	鉄イオン							8.91	9.24	9.15			
	アルミニウムイオン							78.56	78.82	82.92			
坑内排水 (旧硫黄鉱山廃坑の 湧出水)	流量							0.06	0.07	0.04			
	pH※							1.60	1.72	1.70			
	水素イオン濃度							25118.86	19054.61	19952.62			
	硫酸酸度							2868.40	2802.60	2873.30			
	硫酸イオン							3200.88	3172.52	3279.73			
	鉄イオン							324.58	362.77	379.33			
	アルミニウムイオン							116.92	148.10	116.74			

調査地点	調査項目	H20.6.3	H20.8.4	H20.10.3	H20.12.9	H21.2.5	H21.4.24	H21.6.5	H21.8.4	H21.10.6	H21.10.14	H21.12.2	H22.2.16	平均的な水質	
		m ³ /s													
酸川 (高森川合流前)	流量	1.71	1.05	1.06	1.01	0.66	2.72	0.95	1.04	0.58		0.76	0.57		
	pH※	3.28	3.16	3.20	3.30	3.48	3.80	3.20	3.20	3.00		3.00	3.40	3.32	
	水素イオン濃度	524.81	691.83	630.96	501.19	331.13	158.49	630.96	630.96	630.96	1000.00	1000.00	398.11	474.4	
	硫酸イオン	38.40	60.83	42.66	37.89	27.08	6.13	48.09	57.18	81.15		65.87	26.60	35.8	
	鉄イオン	94.53	142.39	120.48	94.75	91.85	45.99	118.73	124.36	172.04		175.93	98.61	86.4	
	アルミニウムイオン	0.62	0.95	0.53	0.60	0.52	0.34	0.75	0.84	1.25		1.12	0.61	0.6	
	流量	5.31	5.80	4.03	5.43	5.26	3.18	6.12	7.81	12.12		8.37	7.11	4.8	
	pH※	0.35	0.35	0.27	0.26	0.30	0.65	0.42	0.30	0.23		0.26	0.22		
	水素イオン濃度	2.20	2.25	2.20	2.20	2.20	2.10	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.21
	硫酸イオン	6309.57	5623.41	6309.57	6309.57	6309.57	7943.28	6309.57	6309.57	6309.57	6309.57	6309.57	6309.57	6309.57	6208.9
硫黄川 (高森川合流前)	流量	927.59	890.62	832.33	867.42	874.94	1076.94	920.65	894.11	899.12		924.16	882.47	902.9	
	pH※	1045.66	997.96	1243.34	988.27	1041.59	1295.65	1059.29	1062.64	1198.54		1280.06	1103.68	1086.7	
	水素イオン濃度	81.03	75.72	53.49	64.46	51.73	110.00	86.69	86.92	96.74		85.39	74.37	86.5	
	硫酸イオン	72.82	71.04	89.29	69.61	66.91	90.90	79.69	81.20	83.80		79.75	82.66	76.2	
	鉄イオン	0.13	0.08	0.27							0.06				
	アルミニウムイオン	1.98	2.00	1.90							2.00				
	流量	10471.29	10000.00	12589.25							10000.00				
	pH※	837.34	982.75	1002.80							931.67				
	水素イオン濃度	1157.93	1228.85	1540.77							1471.32				
	硫酸イオン	6.69	5.48	5.65							5.38				
温泉源泉 (沼尻・中ノ沢温泉 の源泉)	流量	67.27	72.47	71.91						65.52					
	pH※	0.04	0.03	0.03						0.03					
	水素イオン濃度	1.59	1.71	1.60						1.70					
	硫酸イオン	25703.96	19498.45	25118.86						19952.62					
	鉄イオン	3431.59	2868.01	2847.96						2697.35					
	アルミニウムイオン	3688.57	3145.81	3747.80						3552.49					
	流量	352.09	277.89	232.73						291.63					
	pH※	155.41	130.69	112.82						94.44					
	水素イオン濃度														
	硫酸イオン														
鉄イオン															
アルミニウムイオン															

※pHの平均的な水質は、水素イオン濃度の平均的な水質をpHに換算したものである。