

秋田県の酸性河川に関する調査について

－白雪川水系と朱の又川・子吉川水系－

渡辺 寿 泰良幸男 山田雅春* 武藤公二 斎藤 弥 加藤 潤 片野 登**
大畑博正 藤田 将充*** 高橋佐紀子****

要 旨

白雪川水系の酸性化の原因となっている湧水については、pHに大きな変化はみられないが、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度は減少する傾向にある。また、朱の又川・子吉川水系の酸性化の原因となっている朱の又川の支流にある湧水についてもpHに変化はみられないが、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度に変化がみられる。また、これら湧水の下流域でも同様の傾向がみられ、各イオン濃度の変化は湧水そのものの生成・湧出機構に変化があらわれてきたことによるものではないかと推察される。

白雪川水系及び朱の又川・子吉川水系の酸性化流域の水質は、酸性化の原因である各湧水の水質等により多少の違いはみられるが、硫酸イオン濃度とpH、アルミニウムイオン濃度、塩化物イオン濃度との間にいずれも相関関係が成立することから、両水系とも河川の酸性化に硫酸イオン濃度が大きく影響していることがわかる。

白雪川水系末端の白雪橋ではpHは回復してきているが、依然として酸性河川の影響がみられる。一方、朱の又川・子吉川水系の長泥橋では、上流域で水量が豊富ないくつかの河川水が流入するため、その希釈効果により酸性河川の影響はみられない。

1. はじめに

白雪川と子吉川水系朱の又川は、秋田・山形両県の県境に位置する標高2,236mの鳥海山から流れてくる河川である(図1参照)。昭和49年3月の鳥海山噴火後、昭和51年6月に子吉川水系の中流部において、また同年9月には白雪川水系において、それぞれ養殖鯉がへい死する事故が発生し、子吉川の下流域ではアユ漁ができなくなるなどの問題が発生した。

このため、これらの原因を究明するため、県が源泉調査及び水質調査を実施したところ、子吉川においては、支流の朱の又川上流に位置する本沢湧水群が、白雪川においては支流の岩股川上流の獅子ヶ鼻地区及び赤川中流からの湧水が、それぞれ影響を及ぼしていることが判明した。その後、県では、昭和53年から昭和56年にかけて、酸性水湧出機構の解明調査、酸性水中和試験、農業、漁業に及ぼす影響調査を実施した¹⁻³⁾。

当センターでは、昭和53年から河川の酸性化原因となっている湧水と、河川水等の水質調査を継続的に行ってきた。昭和63年までの調査結果につい

ては菅ら⁴⁾が、平成4年までの白雪川水系の調査結果については、山田ら⁵⁾がそれぞれ報告しているので、本報では平成5年から平成10年までの間の経年水質変化について報告する。

2. 河川の概略

2. 1 白雪川水系

白雪川は、流路延長20.1Km⁶⁾の河川である。白雪川水系の河川水は、発電のほか、農業用水や水道水源として利用されているが、特に発電利用のため、河川水は複雑な経路で流下している。白雪川自体は、酸性河川ではないが、支流である赤川、岩股川及び鳥越川の影響を受け、酸性を呈している。赤川の酸性化の原因は、赤川上流部から湧出している赤川湧水と湊沢湧水によるものである。これらの湧水が赤川に合流した後、一部は赤川導水路を経てヘナソ川、白雪川と合流し、さらに堰堤を経て大濁ため池に導水され、発電、農業用水として利用された後、再び白雪川に流入している。

*現秋田県中央流域下水道事務所

**現秋田県立大学

***現秋田県本荘保健所

****現秋田県環境保全課

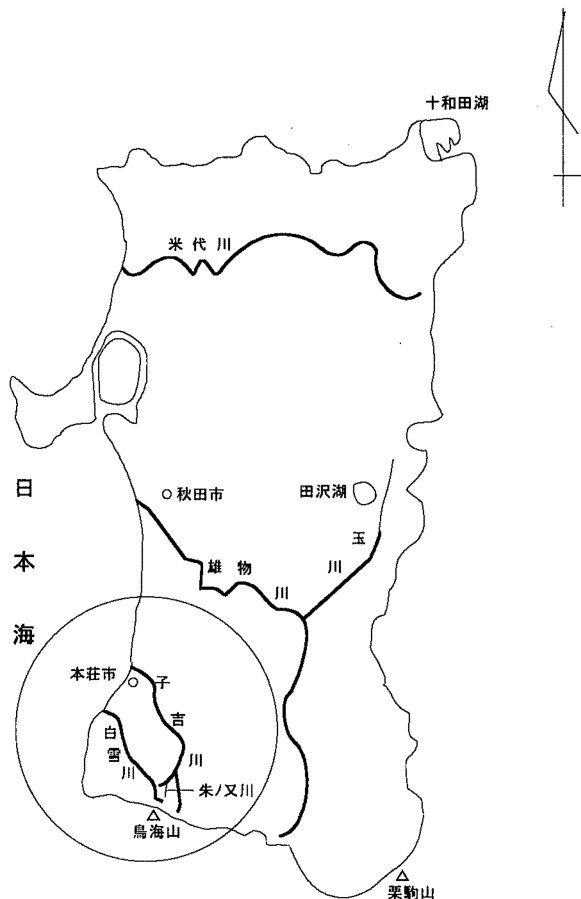


図1 白雪川と朱の又川・子吉川の位置図

岩股川は、酸性の獅子ヶ鼻湿原の獅子ヶ鼻湧水と岩股湧水を源流としているが、これらの湧水のほとんどは、岩股川上流端の堰堤から岩股導水路を経て、鳥越湧水の影響により酸性化している鳥越川と合流する。

さらに、ここで集められた河川水は、鳥越導水路を経て、横岡第2発電所及び横岡第1発電所の発電に利用され後、鳥越川下流に放流され、白雪川に合流する。また一部は温水路と称する農業用水路に導水され、農業用水として利用された後、白雪川や赤石川に流入している(図2参照)。

2.2 朱の又川・子吉川水系

朱の又川は、流路延長2.0km⁷の河川で、河川水は下玉田川に合流し一級河川である子吉川に流入する。朱の又川支流の本沢には多数の湧水が点在し、これらが酸性化の主原因になっているが、本沢合流前の朱の又川もその上流支流の湧水により、酸性化しており、本沢が流入することで、より一層酸性化が強まっている。さらに赤沢流入後、河川水は、発電用

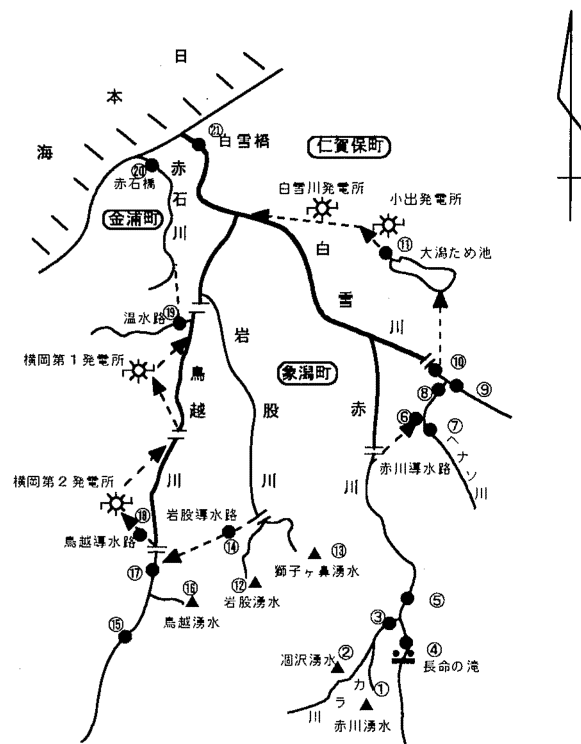


図2 白雪川水系の調査地点

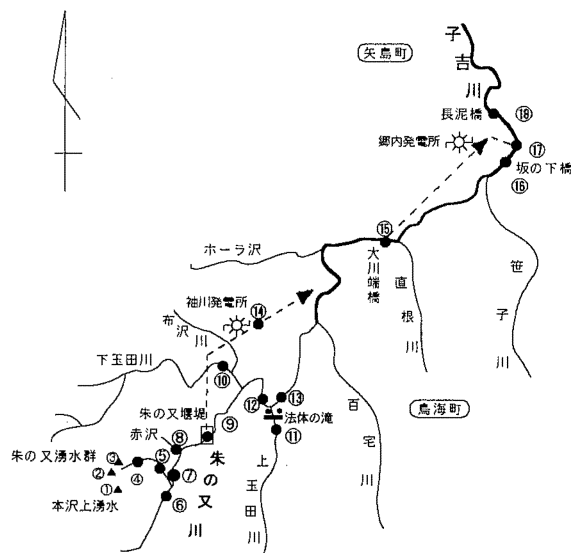


図3 朱の又川・子吉川水系の調査地点

取水堰堤の朱の又堰堤で取水され、他の河川水と共に袖川発電所で利用された後、子吉川に放流される。一方、朱の又堰堤で取水されなかった河川水は下玉田川に合流し、子吉川へ流入する。子吉川には多くの中小河川が流入しているが、直根川が合流する前

の大川端橋でも、発電用として取水され、郷内発電所で利用された後、再び子吉川に放流される(図3参照)。

3. 調査方法

3.1 調査期間

平成5年～平成10年(春・秋の年2回)

3.2 調査地点

白雪川及び朱の又川・子吉川の位置を、図1に、各河川における調査地点を図2(白雪川水系)と図3(朱の又川・子吉川水系)に示す。

3.3 調査項目及び分析方法

分析項目及び分析方法を表1に示す。

表1 分析項目と分析方法

分析項目	分析方法
水温	JIS K 0102 7.2
pH	JIS K 0102 12.1
EC	JIS K 0102 13.
T-Fe	JIS K 0102 57.2
Al ³⁺	JIS K 0102 58.2
SO ₄ ²⁻	イオンクロマトグラフ法
Cl ⁻	イオンクロマトグラフ法

4. 結果及び考察

4.1 白雪川水系

各調査地点の水質調査結果を表2に示す。

4.1.1 赤川湧水、湊沢湧水の水質

赤川湧水及び湊沢湧水は、白雪川の支流である赤川の酸性化の原因になっている。

赤川湧水及び湊沢湧水のpH、アルミニウムイオン濃度(Al³⁺)、硫酸イオン濃度(SO₄²⁻)、塩化物イオン濃度(Cl⁻)の経年変化を図4、5、6に示す。なお、結果は年2回の平均値を使用した(以下同じ)。また、平成5年～平成10年の平均値(平成2年～平成4年の平均値)を表3に示す。

平成8年～平成9年の赤川湧水については、湧出がなかったため調査は行っていない。

水温は、赤川湧水が平均7.5℃、湊沢湧水が平均6.7℃で非常に低い。pHは、赤川湧水が4.55～4.76の範囲で平均4.62、湊沢湧水が4.46～4.73の範囲で平均4.63であり、両湧水とも大きな経年変動はなく安定している。

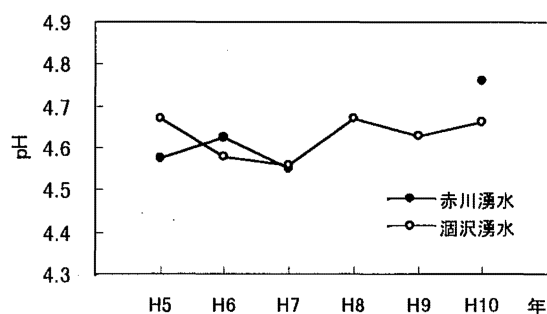


図4 赤川・湊沢湧水のpH経年変化

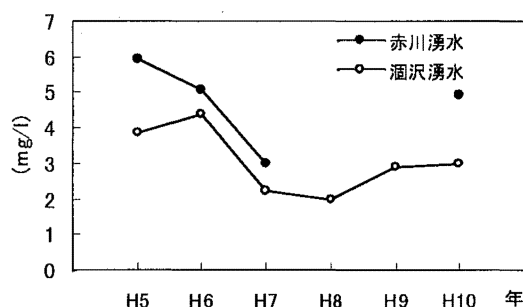


図5 赤川・湊沢湧水のアルミニウムイオン濃度経年変化

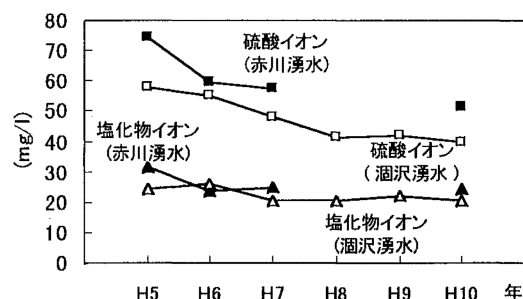


図6 赤川・湊沢湧水の硫酸イオン・塩化物イオン濃度の経年変化

表3 赤川水系湧水の平成5年～平成10年の平均値

	赤川湧水	湊沢湧水
pH	4.62(4.38)	4.63(4.51)
Al ³⁺ (mg/l)	4.9(9.3)	3.3(5.9)
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	62.8(88.0)	49.7(66.3)
Cl ⁻ (mg/l)	26.6(40.0)	23.0(30.7)

()内は、平成2年～平成4年の平均値

表2 白雪川水系水質調査結果(平成5年～平成10年)

調査地点	水温 (℃)	EC (μ S/cm)	pH	T-Fe (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
① 赤川湧水	6.1～10.5	166～240	4.55～4.76	< 0.1	3.0～6.8	51.2～88.0	18.7～35.0
② 酒沢湧水	6.5～7.1	161～220	4.46～4.73	< 0.1	2.0～4.5	40.0～67.1	20.2～29.3
③ カラ川末端	6.0～7.6	168～210	4.54～4.74	< 0.1	2.2～5.0	21.8～70.0	21.6～29.0
④ 赤川(長命の滝下)	6.8～11.3	66～110	5.18～6.53	< 0.1～0.1	0.4～1.2	13.0～28.0	8.0～15.0
⑤ 赤川(カラ川合流後)	6.9～11.2	100～160	4.77～5.12	< 0.1	1.2～3.1	22.1～52.0	13.7～23.0
⑥ 赤川導水路	7.4～11.4	79～143	4.58～6.93	< 0.1～0.2	< 0.1～2.3	6.3～36.0	4.2～21.0
⑦ ヘナソ川	8.4～11.5	42～65	6.92～7.39	< 0.1	< 0.1～0.1	5.0～7.9	6.1～11.9
⑧ 赤川(ヘナソ川合流後)	8.0～13.8	65～133	4.64～7.12	< 0.1～0.4	< 0.1～2.1	7.2～28.0	8.2～23.6
⑨ 白雪川(赤川・ヘナソ川合流前)	8.0～13.3	37～96	6.95～7.60	< 0.1～7.4	< 0.1～2.8	6.1～19.2	5.0～8.8
⑩ 白雪川(赤川・ヘナソ川合流後)	8.0～11.5	41～123	6.38～7.18	< 0.1～5.4	0.4～3.7	6.0～24.6	4.4～14.4
⑪ 大瀧ため池	10.5～20.0	61～105	6.72～7.32	< 0.1～0.6	< 0.1～1.0	11.0～21.9	7.0～12.6
⑫ 岩股湧水	6.5～8.1	177～240	4.39～4.70	< 0.1	2.4～6.5	47.8～85.0	14.8～29.0
⑬ 獅子ヶ鼻湧水	6.5～10.5	227～303	4.31～4.60	< 0.1	3.6～10	53.2～100	20.5～45.1
⑭ 岩股導水路(岩股川)	6.5～8.8	216～268	4.34～4.63	< 0.1	3.3～9.4	42.5～94.0	24.1～37.3
⑮ 鳥越川上流	8.0～12.3	51～125	6.26～7.20	< 0.1	< 0.1～0.2	15.0～39.3	4.0～7.0
⑯ 鳥越湧水	6.8～9.0	148～201	4.46～4.76	< 0.1～0.5	1.7～3.5	37.3～64.0	12.7～22.7
⑰ 鳥越川(岩股導水路合流前)	7.0～9.0	57～134	5.08～5.93	< 0.1～0.3	0.4～2.5	12.9～38.9	5.7～10.9
⑱ 鳥越導水路	7.1～9.0	93～210	4.39～5.59	< 0.1～0.1	0.6～7.4	24.7～84.0	6.5～31.9
⑲ 温水路	9.5～13.2	103～201	4.39～5.25	< 0.1～0.7	1.1～4.0	22.2～71.0	7.7～23.0
⑳ 赤石川(赤石橋)	2.4～22.8	168～442	6.04～7.26	0.2～1.4	< 0.1～0.9	21.0～50.0	20.3～94.8
㉑ 白雪川(白雪橋)	11.1～22.0	103～154	5.03～6.66	0.1～3.8	0.7～4.8	19.9～39.0	12.2～20.0

※ pH平均値が5.5以下の地点：①，②，③，⑤，⑫，⑬，⑭，⑯，⑰，⑱，⑲

アルミニウムイオン濃度は、赤川湧水が3.0～6.8 mg/lの範囲で平均4.9mg/l、涸沢湧水が2.0～4.5 mg/lの範囲で平均3.3mg/lであり、赤川湧水の方がやや高めに推移している。涸沢湧水は、変動があるもののここ2年間は安定している。

硫酸イオン濃度は、赤川湧水が51.2～88.0mg/lの範囲で平均62.8mg/l、涸沢湧水が40.0～67.1mg/lの範囲で平均49.7mg/lであり、赤川湧水が若干高めで推移し、経年的には両湧水ともわずかではあるが減少傾向にある。

塩化物イオン濃度は、赤川湧水が18.7～35.0mg/lの範囲で平均26.6mg/l、涸沢湧水が20.2～29.3mg/lの範囲で平均23.0mg/lであり、両湧水間に大きな濃度差はなく、経年的には両湧水ともほぼ横ばいで推移している。

両湧水とも、アルミニウムイオン濃度については経年変動があるものの、全般的には大きな変動はなく、また、平成2年～平成4年の平均値との比較では、

pHはわずかに上昇しているが、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度については、いずれも減少しており、特にアルミニウムイオン濃度は約1/2に減少している。

pHの変化が少ないわりにアルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度の減少が著しいのは、湧水の生成・湧出機構⁵⁾に何らかの変化があらわれてきているのではないかと考えられる。

4. 1. 2 赤川・白雪川水系の地点別水質変化

赤川湧水及び涸沢湧水流入後のカラ川末端から赤川を経て大潟ため池まで至る流路6地点(地点番号：③，⑤，⑥，⑧，⑩，⑪)について、pH、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度の各項目別の経年変化を平成2年～平成4年の平均値と比較した。

pH、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度の地点別変化を図7，8，9に示す。
pHについては、カラ川末端での4.6が、流入河川

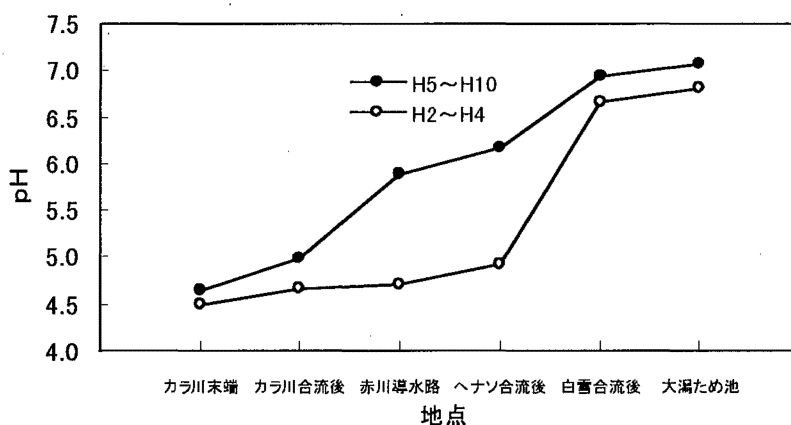


図7 赤川・白雪川水系地点別pH変化①

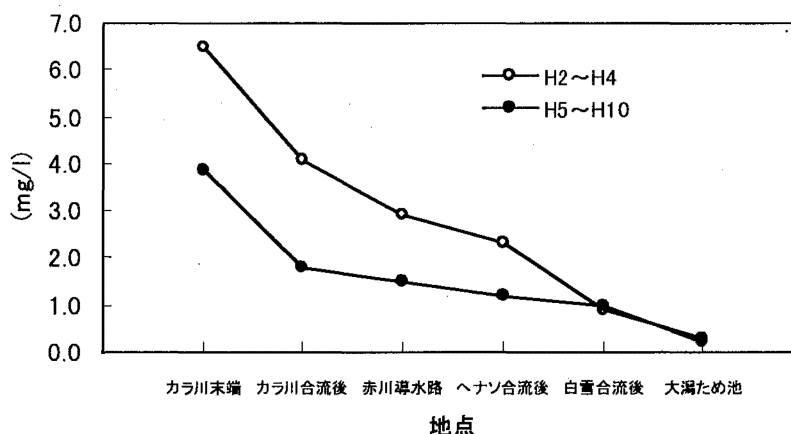


図8 赤川・白雪川水系地点別アルミニウム濃度変化

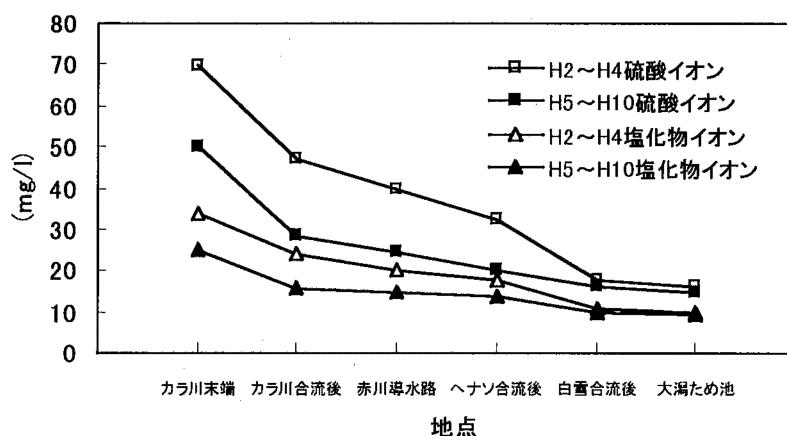


図9 赤川・白雪川水系地点別硫酸イオン・塩化物イオン濃度変化

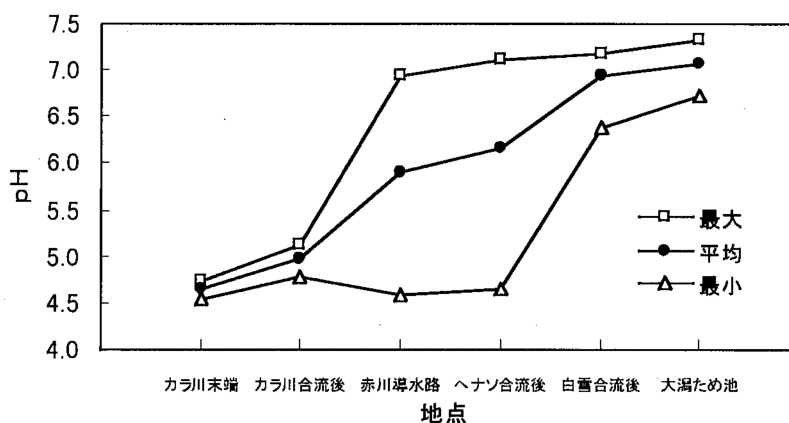


図10 赤川・白雪川水系地点別pH変化②

の希釈効果により段階的に上昇し、水量の多い白雪川の合流地点では7.0まで回復している。

図10は、平成5年～平成10年間の平均値、最大値及び最小値を示したものであるが、特に変動が著しいのは赤川導水路とヘナソ川合流後の赤川導水路で、他の地点では際だった変動はみられない。両地点での顕著な変動原因は、平成9年9月調査において、前日の雨で水量が増した赤川導水路のpHが7近くになったことによるものであり、希釈できる河川水が十分にあれば赤川導水路でも7前後に回復できる状況にあるといえる。なお、赤川導水路の平成5年～平成10年の平均値5.89に対し、平成9年9月調査分を除いた平成5年～平成10年の平均値は4.93であり、赤川導水路のpHが7近くになったことは特異なことである。

平成2年～平成4年の平均値と比較すると、カラ川末端では、両平均値ともほぼ同値を示しているが、その下流域の地点では、いずれも平成5年～平成10年の平均値は、平成2年～平成4年の平均値を上回っ

ている。

アルミニウムイオン濃度は、カラ川末端(3.8 mg/l)から減少し始め、白雪川との合流する地点では、約1.0mg/lになり、大潟ため池ではさらにその1/5程度まで減少し、pHと同様希釈される河川水の水量・水質に大きく影響されている。

平成2年～平成4年の平均値との比較では白雪川と合流する地点の下流域ではほぼ一致するが、その上流では平成2年～平成4年の平均値のほうが、約2倍高くなっている。

硫酸イオン濃度と塩化物イオン濃度は、アルミニウムイオン濃度と同様で、カラ川末端から減少し始めるが、白雪川と合流する地点より下流域では、ほぼ横ばいで推移している。

硫酸イオン濃度と塩化物イオン濃度を比較すると、硫酸イオン濃度が約2倍高くその傾向は大潟ため池まで続いている。

平成2年～平成4年の平均値との比較では、平成2年～平成4年の平均値が両イオン濃度とも高く推移

し、その差は上流部であるカラ川末端のほうが顕著であるが、白雪川との合流地点より下流域では、アルミニウムイオン濃度と同様、ほとんど差がみられない。

4. 1. 3 獅子ヶ鼻湧水、岩股湧水、鳥越湧水の水質

獅子ヶ鼻湧水、岩股湧水、鳥越湧水は、岩股川・鳥越川の酸性化の原因になっている。

3湧水のpH、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度の経年変化を図11, 12, 13, 14に示す。また、平成5年～平成10年の平均値(平成2年～平成4年の平均値)を表4に示す。

なお、平成7年～平成8年の鳥越湧水については、湧出量が少なかったため調査は行っていない。

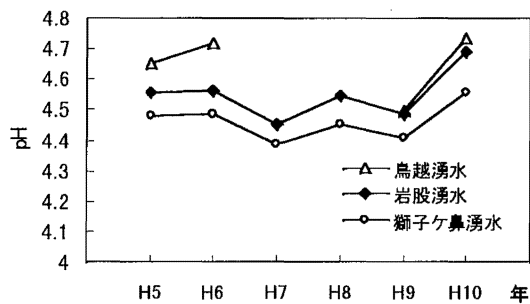


図11 鳥越川水系湧水のpH経年変化

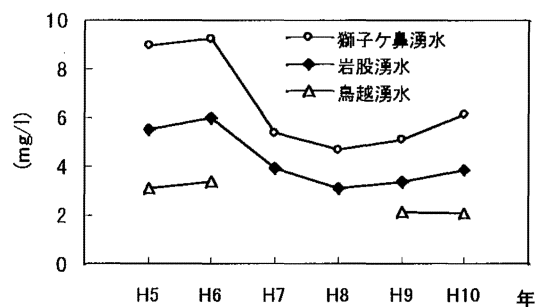


図12 鳥越川水系湧水のアルミニウムイオン濃度の経年変化

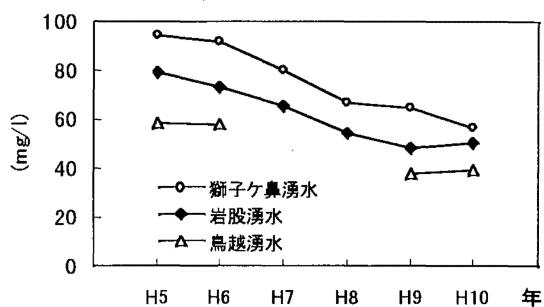


図13 鳥越川水系湧水の硫酸イオン濃度の経年変化

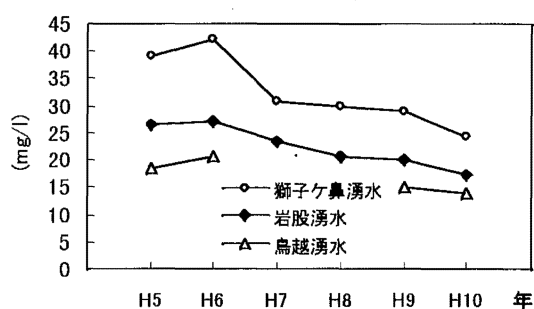


図14 鳥越川水系湧水の塩化物イオンの経年変化

水温は、平均で獅子ヶ鼻湧水7.2℃、岩股湧水7.4℃、鳥越湧水7.5℃で10.0℃以上になることは少ない。

pHは、獅子ヶ鼻湧水が4.31～4.60の範囲で平均4.47、岩股湧水が4.39～4.70の範囲で平均4.56、鳥越湧水が4.46～4.76の範囲で平均4.66であり、各湧水とも4.3～4.7の範囲で小幅な変動はあるものの、その経年変化はほぼ一致している。また、3湧水の比較では、獅子ヶ鼻湧水<岩股湧水<鳥越湧水の順で、水温と同じ結果となっている。

アルミニウムイオン濃度は、獅子ヶ鼻湧水が3.6～10mg/lの範囲で平均6.5mg/l、岩股湧水が2.4～6.5mg/lの範囲で平均4.3mg/l、鳥越湧水が1.7～3.5mg/lの範囲で平均2.6mg/lであり、変動はあるもののpH同様、その経年変化は一致している。

表4 岩股川・鳥越川3湧水の平成5年～平成10年の平均値

	獅子ヶ鼻湧水	岩股湧水	鳥越湧水
pH	4.47(4.37)	4.56(4.45)	4.66(4.56)
Al ³⁺ (mg/l)	6.5(10)	4.3(7.3)	2.6(4.6)
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	75.8(101)	62.0(82.8)	48.5(64.5)
Cl ⁻ (mg/l)	32.5(48.0)	22.5(32.2)	17.0(24.0)

()内は、平成2年～平成4年の平均値

また、3湧水の比較では、鳥越湧水<岩股湧水<獅子ヶ鼻湧水の順となっており、pHの高い湧水ほどアルミニウムイオン濃度は低い値を示している。

硫酸イオン濃度は、獅子ヶ鼻湧水が53.2~100 mg/lの範囲で平均75.8mg/l、岩股湧水が47.8~85.0 mg/lの範囲で平均62.0mg/l、鳥越湧水が37.3~64.0 mg/lの範囲で平均48.5mg/lで、経年的には年々減少する傾向にあり、その変化は3湧水とも一致している。また、3湧水の比較ではアルミニウムイオン濃度と同様、鳥越湧水<岩股湧水<獅子ヶ鼻湧水の順となっている。

塩化物イオン濃度は、獅子ヶ鼻湧水が20.5~45.1 mg/lの範囲で平均32.5mg/l、岩股湧水が14.8~29.0 mg/lの範囲で平均22.5mg/l、鳥越湧水が12.7~22.7 mg/lの範囲で平均17.0mg/lであり、平成6年以降は硫酸イオン濃度と同様、年々減少する傾向にあり、その経年変化は3湧水とも一致している。また、3湧水間の比較ではアルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度と同様、鳥越湧水<岩股湧水<獅子ヶ鼻湧水の順となっている。

以上のように3湧水のpH、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度及び塩化物イオン濃度は、いずれも経年的な増減変化が一致していることから、これらの湧水は、生成・湧出機構がほぼ同じであると考えられる³⁾。

平成2年~平成4年の平均値との比較ではpHは、3湧水とも0.1上昇とほとんど変化がみられないが、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度は、約30%~50%減少している。pHがわずかな変化にとどまっているにも関わらず、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度が大幅に減少しているのは、赤川湧水・涸沢湧水と同様、湧水の生成・湧出機構に何らかの変化があったことによるものと考えられる。

4. 1. 4 温水路の水質

獅子ヶ鼻湧水、岩股湧水、鳥越湧水の3湧水が合流した鳥越川は、発電に利用された後、農業用水として利用されるが、河川水温が低いいため、温水路により水温を上昇させている。

pH、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度の経年変化を図15、16に示す。

温水路の水温は、9.5~13.2℃の範囲で平均11.2℃であり、上流部の鳥越導水路での平均水温8.0℃と比較すると約3℃高くなっており、温水路の効果

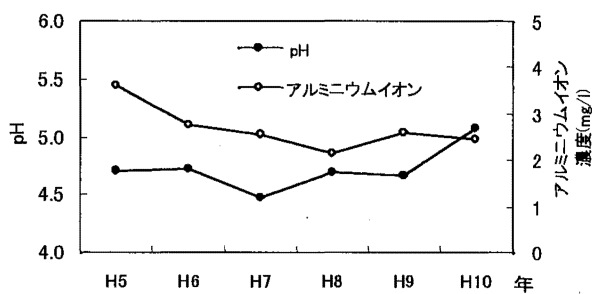


図15 温水路のpH・アルミニウムイオン濃度の経年変化

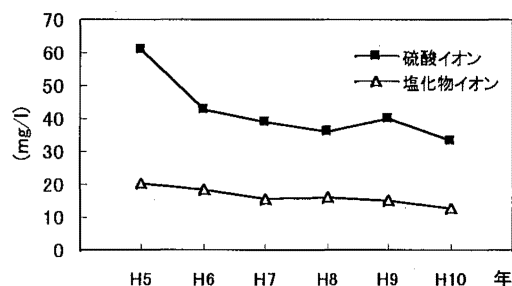


図16 温水路の硫酸イオン・塩化物イオン濃度の経年変化

があるといえる。pHは、4.39~5.25の範囲で平均4.76であり、平成9年まではほぼ横ばいで推移していたが、平成10年にはやや上昇する傾向がみられた。

アルミニウムイオン濃度は、1.1~4.0mg/lの範囲で平均2.6mg/lであり、おおむね減少する傾向にある。

硫酸イオン濃度は、22.2~71.0mg/lの範囲で平均42.1mg/l、塩化物イオン濃度は、7.7~23.0mg/lの範囲で平均16.5mg/lで、両イオン濃度とも減少傾向にあり、硫酸イオン濃度が塩化物イオン濃度より高い分だけその傾向が強い。また、硫酸イオン濃度については経年変化が、アルミニウムイオン濃度のそれと類似している。

平成2年~平成4年の平均値は、pH 5.96、アルミニウムイオン濃度 4.5mg/l、硫酸イオン濃度 57.8 mg/l、塩化物イオン濃度 23.0mg/lで、pHはほぼ1低下し、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度は、約30%~40%減少している。

pHの低下は、平成3年11月調査時に6.72と高い値を示したことによるものであり、同値を除くとほぼ同等であり、他のイオン濃度を含め、獅子ヶ鼻湧水、岩股湧水、鳥越湧水の3湧水の傾向と一致している。

温水路の水質は、経年的にはpHを除き、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度は減少する傾向にあるが、農業用水として利用されていることから、今後も調査を継続し、水質変化

を把握していく必要がある。

4. 1. 5 白雪橋と赤石橋

白雪橋と赤石橋は、白雪川及び赤石川の末端にそれぞれ位置している。赤石川は酸性河川ではないが、温水路が流入する。

白雪橋、赤石橋のpH(平成2年～平成10年)、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度の経年変化を図17, 18, 19に示す。

また、平成5年～平成10年の平均値(平成2年～平成4年の平均値)を表5に示す。

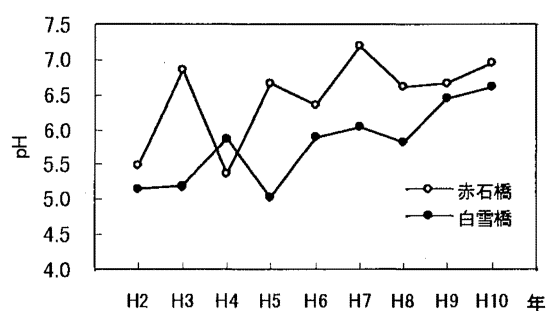


図17 白雪橋・赤石橋のpH経年変化

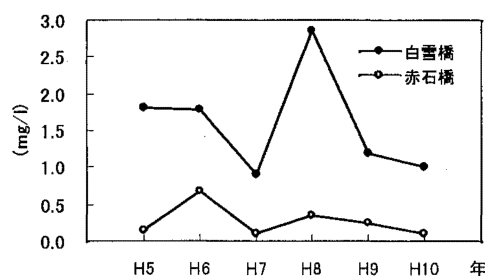


図18 白雪橋・赤石橋のアルミニウムイオン濃度の経年変化

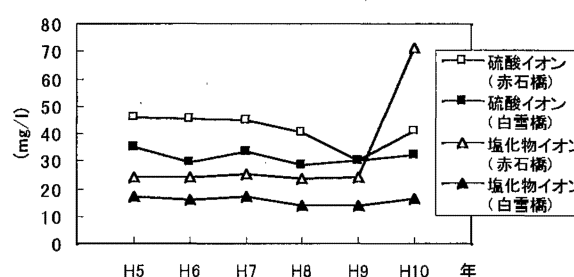


図19 白雪橋・赤石橋の硫酸イオン・塩化物イオン濃度の経年変化

表5 白雪橋、赤石橋の平成5年～平成10年の平均値

	白雪橋	赤石橋
pH	6.21(5.55)	6.82(6.42)
Al ³⁺ (mg/l)	1.5(1.4)	0.2(0.7)
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	31.6(39.3)	41.4(52.0)
Cl ⁻ (mg/l)	15.6(17.8)	32.0(26.8)

()内は、平成2年～平成4年の平均値

pHは、白雪橋が5.03～6.66の範囲で平均6.21、赤石橋が6.04～7.26の範囲で平均6.82であり、平成4年を除き赤石橋が高い値を示している。白雪橋でのpH値は平成5年に5.5以下の酸性を呈していたが、平成6年以降は、6.0前後まで上昇し、平成10年には6.5までに回復している。また、赤石橋では、平成2年と平成4年に5.48、5.35と低く、平成5年以降は、6.5前後で上昇推移している。

アルミニウムイオン濃度は、白雪橋が0.7～4.8 mg/lの範囲で平均1.5mg/l、赤石橋が0.1以下～0.9 mg/lの範囲で平均0.2mg/lであり、白雪橋のほうが高く、変動も大きい。

硫酸イオン濃度は、白雪橋が19.9～39.0mg/lの範囲で平均31.6mg/l、赤石橋が21.0～50.0mg/lの範囲

で平均41.4mg/lであり、多少の増減はあるもののほぼ一定の濃度で推移している。

塩化物イオン濃度は、白雪橋が12.2～20.0mg/lの範囲で平均15.6mg/lで、赤石橋が20.3～94.8mg/lの範囲で平均32.0mg/lであり、平成10年の赤石橋での急激な濃度上昇(原因は不明)を除くとほぼ横ばいで推移している。

平成2年～平成4年の平均値との比較では、pHが白雪橋、赤石橋とも上昇している。

アルミニウムイオン濃度は、白雪橋ではほとんど変化がないといえるが、赤石橋では、減少している。

硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度については、赤石橋の塩化物イオン濃度を除き減少しているが、大きな濃度変化はないといえる。赤石橋のアルミニ

ウムイオン濃度の減少については、温水路の水質の変化、すなわち獅子ヶ鼻湧水、岩股湧水、鳥越湧水の3湧水の変化によるものか、温水路から農業用水に使用される量の変化によるものか、赤石川の水量変化によるものかはそれとも他の要因によるものかははっきりしない。

白雪橋、赤石橋とも、pHは酸性から中性に回復してきている。白雪川に流入する酸性水は、赤石川と比較しその水量が異なるため、白雪川のpHが6までになった要因としては、上流部の湧水のpHに大きな変化がないことから、湧水の水量減少あるいは、酸性でない水の水量増加による白雪川の量的変化が考えられる。ただし、白雪橋では、アルミニウムイオン濃度が高いことから、依然湧水の影響を受けているといえる。

4. 2 朱の又川・子吉川水系

各調査地点の水質調査結果を表6に示す

4. 2. 1 本沢上湧水、上流滝右湧水、上流滝左湧水の水質

朱の又川の支流である本沢の上流には、pHの低い湧水があり、これらが酸性化の原因になっている。

各湧水のpH、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度の経年変化を図20、21、22、23に示す。なお、白雪川水系と同様、結果は年2回の平均値を使用した（以下同じ）。

また、平成5年～平成10年の平均値（平成3年～平成4年の平均値：平成2年は調査未実施）を表7に示す。

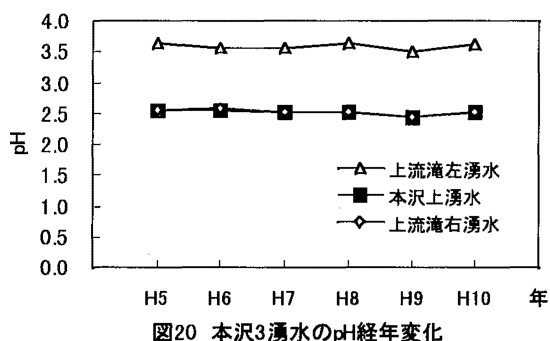


図20 本沢3湧水のpH経年変化

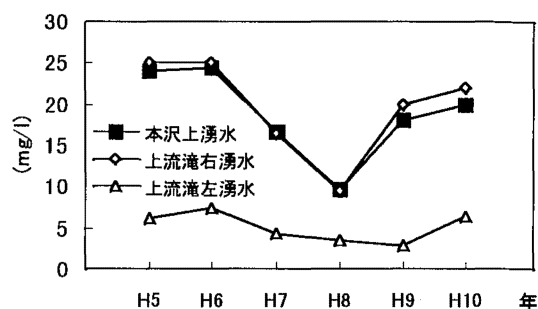


図21 本沢3湧水のアルミニウムイオン濃度の経年変化

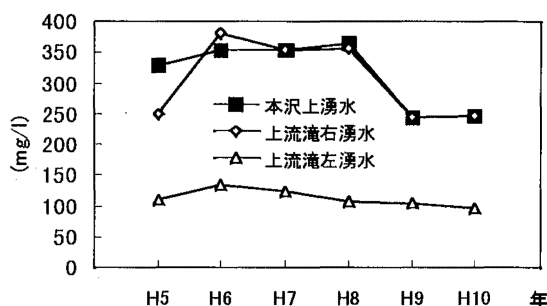


図22 本沢3湧水の硫酸イオン濃度の経年変化

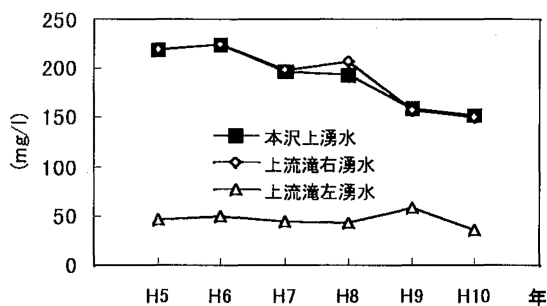


図23 本沢3湧水の塩化物イオン濃度の経年変化

水温は、本沢上湧水が平均21.3℃、上流滝右湧水が平均20.3℃、上流滝左湧水が平均12.1℃で、本沢上湧水と上流滝右湧水は、温度の高い湧水である。

pHは、本沢上湧水が2.45～2.56の範囲で平均2.52、上流滝右湧水が2.43～2.57の範囲で平均2.52、上流滝左湧水が3.52～3.65の範囲で平均3.60である。本沢上湧水と上流滝右湧水のpHは、ほぼ同等であり、経年的にも変動がなく一定である。上流滝左湧水は、2湧水と比較してpH値は高いものの、経年的には変化がなく一定である。

電気伝導率(EC)は、平均で本沢上湧水1880 μ S/cm、上流滝右湧水1911 μ S/cm、上流滝左湧水417 μ S/cmで、本沢上湧水と上流滝右湧水が、非常に高いのが

表6 朱の又・子吉川水系水質調査結果(平成5年～平成10年)

調査地点	水温 (°C)	EC (μ S/cm)	pH	T-Fe (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
① 本沢上湧水	19.0～23.0	1660～2040	2.45～2.56	1.5～2.2	9.7～24	243～364	152～225
② 上流滝右側湧水	15.0～22.5	1700～2040	2.43～2.57	1.5～2.3	9.5～25	245～381	151～225
③ 上流滝左側湧水	9.2～22.3	377～457	3.52～3.65	1.3～2.8	2.8～7.3	95.9～133	36.0～58.7
④ 本沢(鉾山堰堤跡)	15.2～18.3	1300～1640	2.57～2.71	1.3～2.0	8.0～17.0	175～326	111～176
⑤ 本沢末端	14.0～17.0	1230～1500	2.61～2.76	1.3～1.7	7.7～18.5	128～303	108～168
⑥ 朱の又川(本沢合流前)	9.0～11.5	280～419	3.66～3.92	0.2～1.1	4.2～6.9	73～118	31.1～48.3
⑦ 朱の又川(本沢合流後)	10.6～13.2	520～810	3.06～3.23	0.7～1.5	5.7～11.2	101～232	50.7～103
⑧ 赤沢末端	10.2～16.3	238～795	3.71～4.54	1.3～3.0	2.2～4.8	49.4～170	45.9～134
⑨ 朱の又川(朱の又堰堤)	4.5～14.1	220～761	3.16～3.98	0.2～1.8	1.7～9.8	25.9～171	13.2～86.3
⑩ 下玉田川(潜水橋)	4.0～10.5	37～170	4.60～7.01	< 0.1～0.5	< 0.1～2.0	5.0～33.8	5.0～24.0
⑪ 上玉田川末端	8.2～14.0	36～91	6.65～7.40	< 0.1～0.4	< 0.1～1.0	2.5～15.0	3.0～8.4
⑫ 下玉田川末端	7.0～13.5	66～228	4.04～5.05	< 0.1～0.1	0.5～4.5	11.5～47.3	8.0～30.7
⑬ 子吉川(上・下玉田川合流後)	8.5～14.4	48～162	4.72～7.03	< 0.1～0.2	0.1～1.5	8.0～36.8	7.0～21.4
⑭ 子吉川(袖川堰堤下)	9.1～14.0	45～140	4.99～6.63	< 0.1～0.2	0.2～1.1	7.9～27.1	6.0～18.2
⑮ 子吉川(大川端橋)	8.7～14.5	44～120	5.08～7.03	< 0.1～0.2	< 0.1～1.1	6.8～22.2	6.8～17.3
⑯ 子吉川(坂の下橋)	11.0～21.0	52～118	5.63～7.80	< 0.1～0.3	< 0.1～0.7	8.1～19.6	7.2～15.2
⑰ 郷内発電所排水	9.0～12.7	42～100	5.84～7.00	< 0.1～0.4	0.2～0.8	6.4～18.0	6.0～13.6
⑱ 子吉川(長泥橋)	10.7～17.3	49～120	6.67～7.66	< 0.1～0.4	0.1～0.5	7.5～20.2	7.0～15.6

※ pH平均値が5.5以下の地点：①～⑨，⑫

表7 本沢3湧水の平成5年～平成10年の平均値

	本沢上湧水	上流滝右湧水	上流滝左湧水
pH	2.52(2.53)	2.52(2.53)	3.60(3.59)
EC (μ S/cm)	1880(1600)	1911(1700)	417(380)
T-Fe (mg/l)	1.9(1.7)	1.8(1.7)	2.2(2.4)
Al ³⁺ (mg/l)	18(24)	19(24)	5.0(6.1)
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	315(270)	305(265)	112(110)
Cl ⁻ (mg/l)	191(215)	193(215)	46.5(49.5)

()内は、平成3年～平成4年の平均値

特徴である。

鉄濃度(T-Fe)は、平均で本沢上湧水1.9mg/l、上流滝右湧水1.8mg/l、上流滝左湧水2.2mg/lであり、3湧水ともほぼ同等の値を示している。本沢湧水の下流では、かつて「秋田鉄山」と呼ばれた褐鉄鉱山において鉄の採掘が行われ、含リン量が高い相当の未採掘鉱山を残したまま閉山した経緯があり⁴⁾、この一帯が鉄分の多い地層であることが本沢3湧水の鉄の濃度を高くしている要因であると考えられる。

アルミニウムイオン濃度は、本沢上湧水が9.7～24mg/lの範囲で平均18mg/l、上流滝右湧水が9.5～25mg/lの範囲で平均19mg/l、上流滝左湧水が2.8～7.3mg/lの範囲で平均5.0mg/lである。本沢上湧水と上流滝右湧水が、上流滝左湧水に比べ濃度が高く、経年的にもほとんど同じ増減傾向を示している。平成7年～平成8年には平成5年の1/2以下に減少したが、その後再び増加している。上流滝左湧水は、経年的に多少増減があるものの、ほぼ一定の濃度で推移している。

硫酸イオン濃度は、本沢上湧水が243～364mg/lの範囲で平均315mg/l、上流滝右湧水が245～381mg/lの範囲で平均305mg/l、上流滝左湧水が95.9～133mg/lの範囲で平均112mg/lで、本沢上湧水と上流滝右湧水については、平成7年以降同じ増減傾向を示し、平成9年からは減少し、その後はほぼ一定の濃度で推移している。上流滝左湧水は、他の2湧水と比較して約1/3と低くわずかながら減少する傾向にある。

塩化物イオン濃度は、本沢上湧水が152～225mg/lの範囲で平均191mg/l、上流滝右湧水が151～225mg/lの範囲で平均193mg/l、上流滝左湧水が36.0～58.7mg/lの範囲で平均46.5mg/lで、本沢上湧水と上流滝右湧水がアルミニウムイオン濃度や硫酸イオン濃度と同様、ほとんど同じ増減傾向を示し、経年的

には減少する傾向にある。上流滝左湧水は、他の2湧水と比較して約1/4と低いが濃度変化は、ほとんどみられない。

本沢上湧水と上流滝右湧水は、pH、アルミニウムイオン・硫酸イオン・塩化物イオンの各濃度とその経年変化がほぼ一致していることから、湧出場所が近いと考えられるが、上流滝左湧水は、これらの2湧水とは明らかに違うものと考えられる。

平成3年～平成4年の平均値との比較では3湧水ともpHに変化はみられないが、電気伝導率、硫酸イオン濃度は高く、アルミニウムイオン濃度、塩化物イオン濃度は低くなっている。pHに変化がみられず、他の濃度が変化していることは、これら湧水の湧出・生成機構¹⁾に変化があらわれてきているためと考えられる。

4. 2. 2 朱の又堰堤の水質

朱の又堰堤は、朱の又川及びその支流である本沢、赤沢がすべて合流した地点である。河川水は、発電に利用され、残りは、下玉田川に流れている。

pH、電気伝導率、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度の経年変化を図24、25、26に示す。

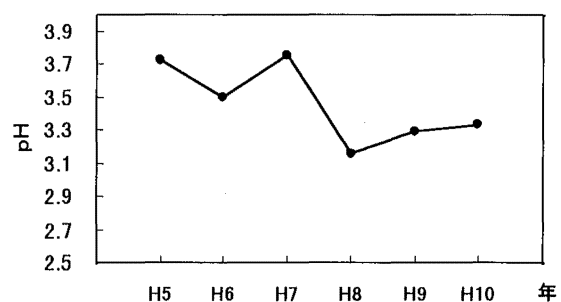


図24 朱の又堰堤のpH経年変化

水温は、4.5～14.1℃の範囲で平均10.7℃であり、

温度の高い湧水の影響はみられない。

pHは、3.16～3.98の範囲で平均3.54であり、経年的には多少、増減変動を繰り返すものの大きな変化はみられない。

アルミニウムイオン濃度は、1.7～9.8mg/lの範囲で平均6.4mg/lであり、平成6年には増加し、その後平成9年まではゆるやかに減少したが平成10年に再び増加した。

硫酸イオン濃度は、25.9～171mg/lの範囲で平均94.3mg/l、塩化物イオン濃度は、13.2～86.3mg/lの範囲で平均49.7mg/lである。両イオンとも平成8年までは増加しているが、その後減少し、平成10年には再び増加している。硫酸イオン濃度と塩化物イオン濃度の変化は類似しており、硫酸イオン濃度は塩化物イオン濃度の約1.5倍である。また、これらは、電気伝導率の変化とも類似している。

鉄濃度は、0.2～1.8mg/lの範囲で平均1.0mg/lで上流部の湧水の半分になっている。

上流の湧水と比較して、各項目とも変動が大きく、本沢3湧水以外の水の影響を受けていると思われる。

4. 2. 3 子吉川水系朱の又川の地点別水質変化

本沢上湧水が流下していく朱の又川から子吉川までに至る流路7地点(地点番号：①，⑤，⑦，⑨，⑫，⑬，⑮)における、pH，鉄濃度，アルミニウムイオン濃度，硫酸イオン濃度，塩化物イオン濃度の経年変化について、平成2年～平成4年(ただし、①，⑤，

⑦は、平成3年～平成4年)の平均値と平成5年～平成10年の平均値を比較した。

pH，鉄濃度，アルミニウムイオン濃度，硫酸イオン濃度，塩化物イオン濃度の地点別変化を図27，28，29，30に示す。

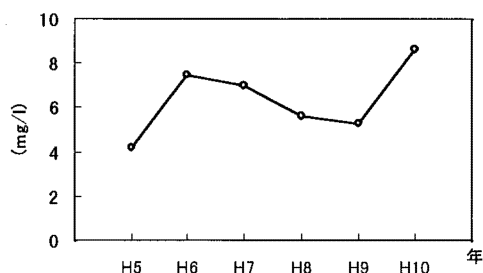


図25 朱の又堰堤のアルミニウムイオン濃度の経年変化

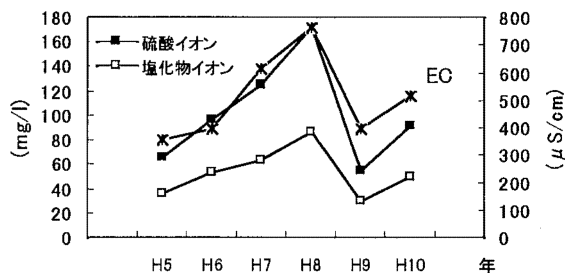


図26 朱の又堰堤の硫酸イオン・塩化物イオン濃度・ECの経年変化

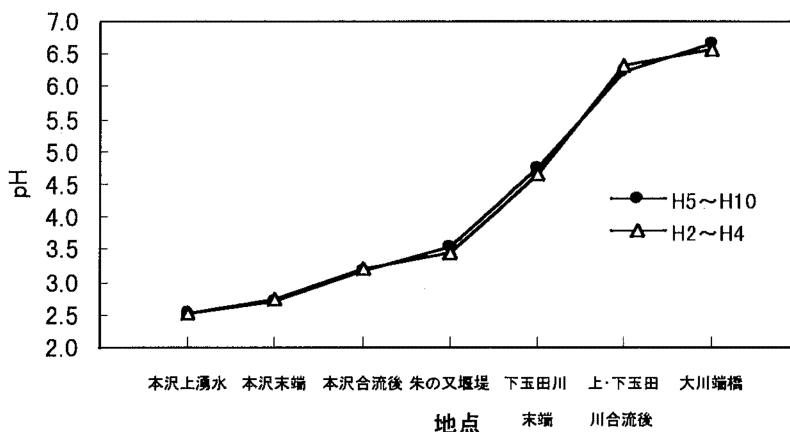


図27 朱の又・子吉川地点別pH変化

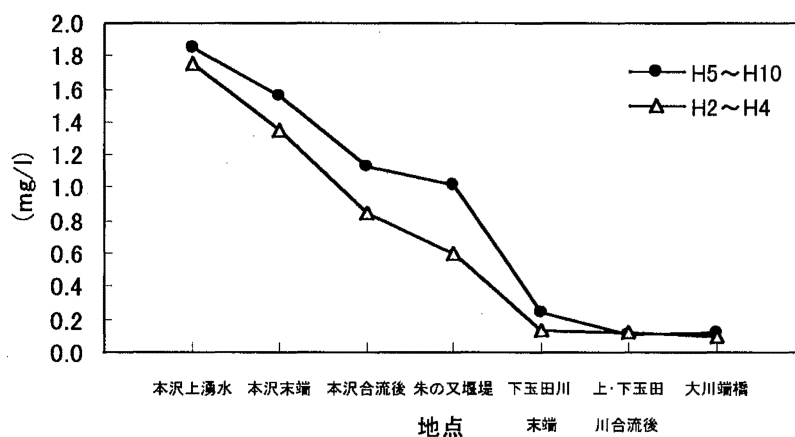


図28 朱の又・子吉川地点別鉄濃度の変化

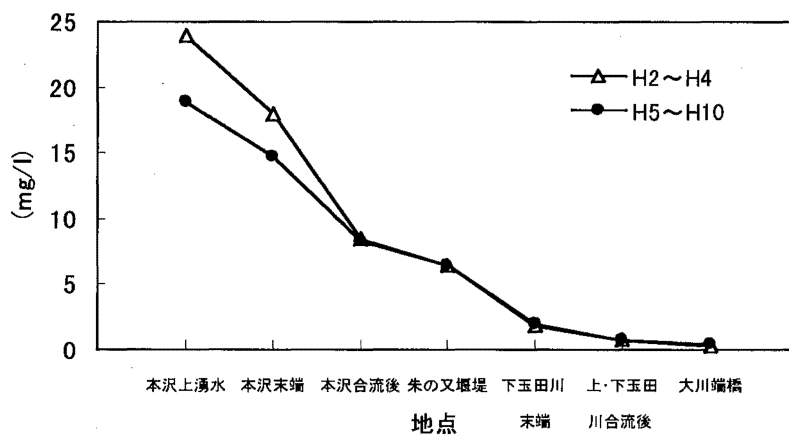


図29 朱の又・子吉川地点別アルミニウム濃度の変化

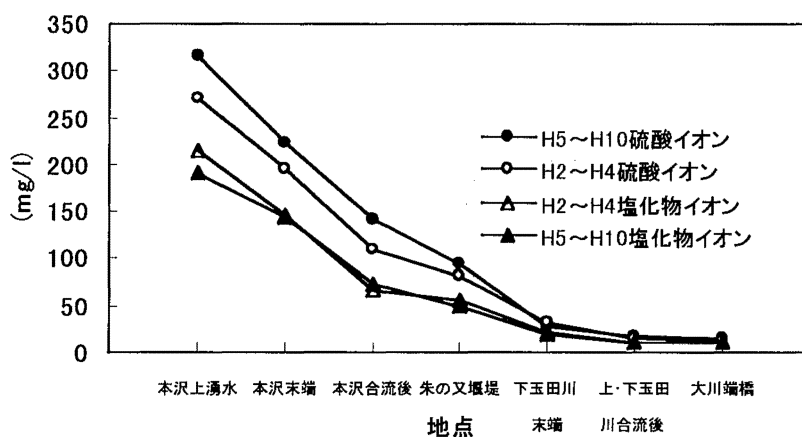


図30 朱の又・子吉川地点別硫酸イオン・塩化物イオン濃度の変化

pHは、上流部から朱の又堰堤までゆるやかに上昇し、朱の又堰堤より下流域ではその上昇度合いが増し、大川端橋では約6.5の値を示している。これは、酸性でない河川水の流入によるものであるが、平成2年～平成4年の平均値との比較では、各地点ともほ

とんど変化がみられない。

鉄濃度は、上流から下玉田川末端まで急激に減少し、上・下玉田川と合流した後は、ほぼ一定の値となっている。ただし、本沢合流後から朱の又堰堤まではその減少割合が鈍化しているが、これは、鉄濃

度が高い赤沢(平均2.2mg/l)が流入しているためである。なお、平成2年～平成4年の平均値についても、ほぼ同様の傾向を示している。

アルミニウムイオン濃度は、鉄濃度と同様、下流に向かうほど減少しており、特に下玉田川末端下流域では、1.0mg/l以下の値となっている。

平成2年～平成4年の平均値との比較では、本沢末端までは低いですが、本沢合流後より下流域では、濃度はほぼ一致している。

硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度も鉄濃度、アルミニウムイオン濃度と同様に下玉田川末端まで減少し、その下流域ではほぼ一定の濃度となっている。本沢上湧水から下玉田川末端までの間は、硫酸イオン濃度が塩化物イオン濃度より高い状況にあるが、下玉田川末端下流域では、ほぼ同じ値となっている。平成2年～平成4年の平均値との比較では、硫酸イオン濃度は高いが、塩化物イオン濃度は、ほぼ一致している。

平成2年～平成4年の平均値と比較して下玉田川末端より下流域では、いずれの項目も濃度に変化がみられないが、下玉田川末端より上流域では鉄濃度、硫酸イオン濃度の増加、本沢末端の上流域ではアルミニウムイオン濃度の減少がみられ、本沢の湧水を含む朱の又堰堤の上流の変化がこれらの変化の要因になっている。

4. 2. 4 長泥橋の水質

朱の又川は、一級河川の子吉川と合流するが、合流後の環境基準点が長泥橋である。

長泥橋のpH(平成2年～平成10年)の経年変化を図31に示す。

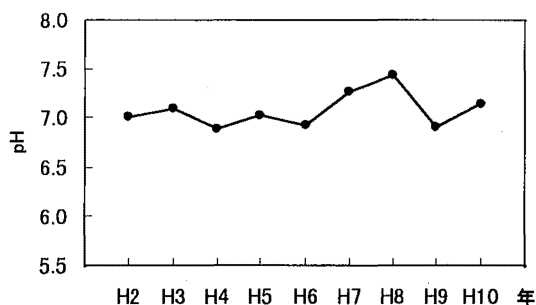


図31 長泥橋のpH経年変化

pHは、6.67～7.66の範囲で平均7.16であり、多少の変動はあるものの経年的には、ほぼ7前後で推移している。

アルミニウムイオン濃度は0.1～0.5mg/lの範囲で平均0.2mg/l、硫酸イオン濃度は、7.5～20.2mg/lの範囲で平均13.4mg/l、塩化物イオン濃度は、7.0～15.6mg/lの範囲で平均11.0mg/lである。

平成2年～平成4年の平均値は、pH 7.00、アルミニウムイオン濃度 0.3mg/l、硫酸イオン濃度 11.7mg/l、塩化物イオン濃度 10.5mg/lであり、平成5年～平成10年の平均値と比較し、各調査項目ともほとんど大きな変化はないといえる。

4. 3 白雪川水系と朱の又川・子吉川水系の特徴

平成5年～平成10年のpH平均値が5.5以下の白雪川水系11地点、朱の又川・子吉川水系10地点について、水系別の硫酸イオン濃度とpH、アルミニウムイオン濃度及び塩化物イオン濃度との各関係を図32、33、34に示した。

両水系とも各項目間に相関関係がみられ、特に硫酸イオン濃度がこの酸性水に影響を及ぼしていることがわかる。

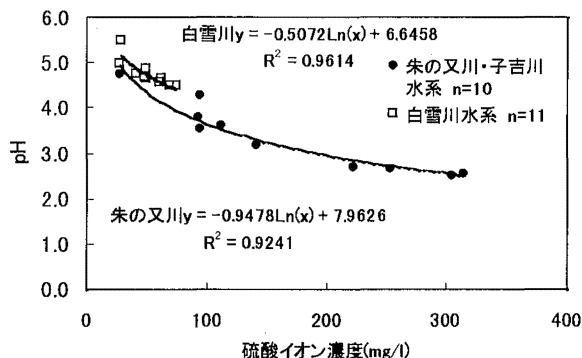


図32 白雪川と朱の又・子吉川の硫酸イオン濃度とpHとの関係

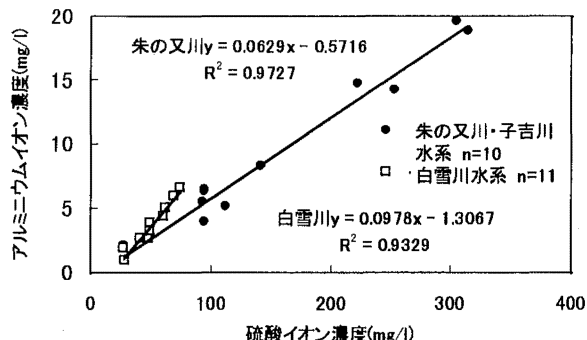


図33 白雪川と朱の又川・子吉川の硫酸イオン濃度とアルミニウムイオン濃度との関係

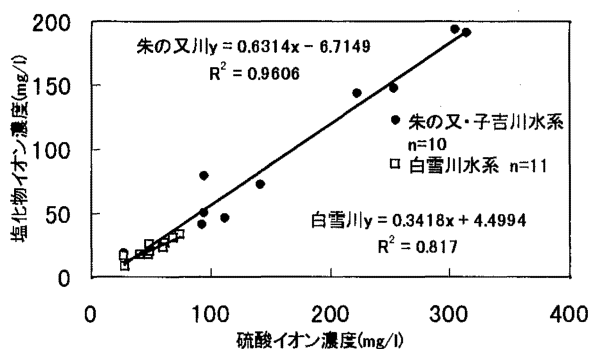


図34 白雪川と朱の又・子吉川の硫酸イオン濃度と塩化物イオン濃度との関係

硫酸イオン濃度とpHの関係については、負の対数関係が成立し、水系別では白雪川水系のほうが良い相関関係がみられた。

硫酸イオン濃度とアルミニウムイオン濃度及び塩化物イオン濃度との関係については、いずれも直線関係が成立し、朱の又川・子吉川水系のほうが良い相関関係がみられた。

5. まとめ

平成5年～平成10年までの白雪川水系と朱の又川子吉川水系の湧水及び河川水を調査した結果は、以下のとおりである。

1) 白雪川水系について

赤川の酸性化の原因になっている赤川湧水、涸沢湧水及び岩股川と鳥越川の酸性化の原因になっている獅子ヶ鼻湧水、岩股湧水、鳥越湧水は、pHについては、経年的に変動が多少あるものの大きな変化はみられなかった。アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度については、減少する傾向にある。

また、平成2年～平成4年の平均値との比較では各湧水ともpH値はわずかであるが上昇しており、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度については、すべての湧水において減少し、項目によっては約1/2になったものもある。pHが大幅に変化していないにも関わらず、これらのイオン濃度が減少した要因としては、湧水の生成・湧出機構の変化があげられる。

赤川・白雪川水系の地点別水質変化については、大量の降雨による希釈影響を受け赤川導水路及びヘナソ川合流地点ではpHに大きな変動がみられ、白雪川と合流する地点では7近くまでに上昇している。また、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、

塩化物イオン濃度については、いずれの項目とも下流域ほど低い値となっている。

平成2年～平成4年の平均値との比較では、pHは、わずかではあるが上昇しており、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度は、白雪川と合流する地点の上流で減少し、徐々に酸性化の度合いが弱まってきているといえる。

農業用水として利用されている温水路の水質は、pHを除き、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度とも、経年的に減少する傾向にあるが、農業利水の面から、今後とも調査を継続していく必要がある。

白雪橋、赤石橋とも、pHが酸性から中性に回復してきているが、白雪橋では、アルミニウムイオン濃度が高く、依然として湧水の影響がみられる。

2) 朱の又川・子吉川水系

朱の又川の支流である本沢の上流には、本沢上湧水、上流滝右湧水、上流滝左湧水などの湧水があり、3湧水のうち上流滝左湧水が他の2湧水と水質的に異なるが、これら湧水の経年変化については、pHがほとんど変化がなく一定であるのに対し、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度に変化がみられることから湧水の湧出・生成機構に変化があらわれてきているものと考えられる。

朱の又堰堤の水質は、湧水も含めその上流部と比較して各項目とも経年変動が大きく、朱の又川の水質変化を把握する上で重要な地点である。

朱の又川子吉川水系の地点別水質変化では、下流域になるにつれpHは上昇し、鉄濃度、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度は減少している。平成2年～平成4年の平均値との比較では、朱の又堰堤から上流域で鉄濃度、アルミニウムイオン濃度、硫酸イオン濃度に変化がみられるが、朱の又堰堤より下流域では、ほとんど変化がなく、特にpHは各地点間の差がほとんどみられない。このことから、朱の又川・子吉川水系の河川水は、大幅な変化はないといえる。

子吉川の環境基準点である長泥橋では、pHは7前後で推移し、他の項目からも朱の又川の影響はみられない。

3) 白雪川水系と朱の又川・子吉川水系の特徴

白雪川と朱の又川・子吉川両水系の酸性化影響流域における水質については、酸性化の原因である各湧水の水質等により多少の違いはあるが、湧水を含

め、各地点とも硫酸イオン濃度とpH、アルミニウムイオン濃度、塩化物イオン濃度間にそれぞれ相関関係が認められることから、両水系とも河川の酸性化に硫酸イオン濃度が大きく影響していることがわかる。

白雪川水系については赤川、岩股川、鳥越川といった酸性流入河川が多いこととあわせ、その流路が複雑で、希釈水量が十分でないことから、末端の白雪橋ではpHが回復してきているものの、依然酸性河川の影響がみられる。一方、朱の又川・子吉川水系については、pH2の強酸性湧水を抱えているものの、水量が豊富なくつかの河川流入の希釈効果により、下流の長泥橋では、酸性河川の影響はみられない。

参考文献

1)秋田県：秋田県環境白書 昭和53年版，105-110 (1978)

2)秋田県：秋田県環境白書 昭和54年版，107-111 (1979)

3)秋田県：秋田県環境白書 昭和55年版，143-147 (1980)

4)菅 雅春，鈴木雄二，組谷 均，武藤公二：酸性河川調査－白雪・子吉川水系－，秋田県環境技術センター年報，第15号，89-112 (1987)

5)山田雅春，高橋佐紀子：秋田県の酸性河川に関する調査－白雪川水系－，秋田県環境技術センター年報，第20号，110-122 (1992)

6)秋田県：秋田県河川調書，平成10年12月1日，p. 47 (1998)

7)秋田県：秋田県河川調書，平成10年12月1日，p. 39 (1998)

8)鳥海町：鳥海町史，昭和60年11月1日，p.1140, (1985)