

## 秋田県の酸性河川に関する調査研究

### －白雪川水系－

山田雅春

高橋佐紀子

#### 1 はじめに

白雪川は、秋田・山形県境の日本海よりに位置する鳥海山(標高2,237m)に源を発する、流路延長約20kmの河川である<sup>1)</sup>。

昭和49年の鳥海山噴火後、白雪川水系において養殖鯉や虹ますがへい死する事故があり、更に象潟町の上水道水源のpHが低下し、また、今まで影響のなかった下流にまで酸性水の影響がみられたことから、県で調査した結果、白雪川支川の岩股川上流にある、鳥海山獅子ヶ鼻地区及び赤川上流からの湧水が原因であることが判明した。県では、昭和53年度から昭和56年度にかけて酸性水湧出機構の解明調査、酸性水除去中和試験、農業や水産に及ぼす影響調査等を実施した<sup>2)</sup>。

当センターでは、昭和53年度から湧出水や河川水の水質変化を把握することを目的に、これらの調査を継続している。昭和63年度までの調査結果については、菅ら<sup>3)</sup>が報告しているので、本報では、その後の調査結果について報告する。

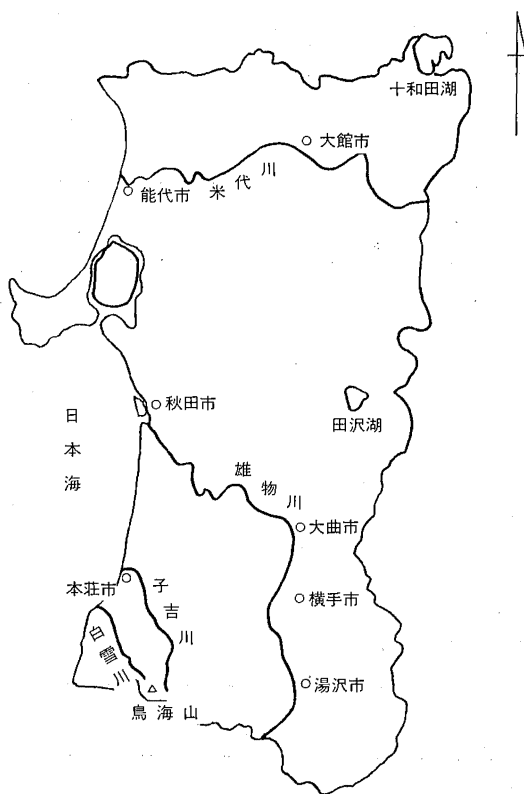


図1 白雪川の位置

#### 2 調査方法

##### 2.1 調査期間

平成元年度～平成4年度(春、秋の年2回)

##### 2.2 調査地点

白雪川の位置を図1に、調査地点を図2に示した。

白雪川は、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酸性河川が流入することにより、酸性河川となる。

白雪川水系の河川水は、発電用水、農業用水及び飲料水に使用されており、特に発電のため、河川水は複雑な経路で流下している。岩股川及び鳥越川上流の獅子ヶ鼻地区には、獅子ヶ鼻湧水と岩股湧水及び鳥越湧水の3湧水がある。獅子ヶ鼻湧水と岩股湧水は、岩股川の源流になっており、岩股堰堤から導水路を

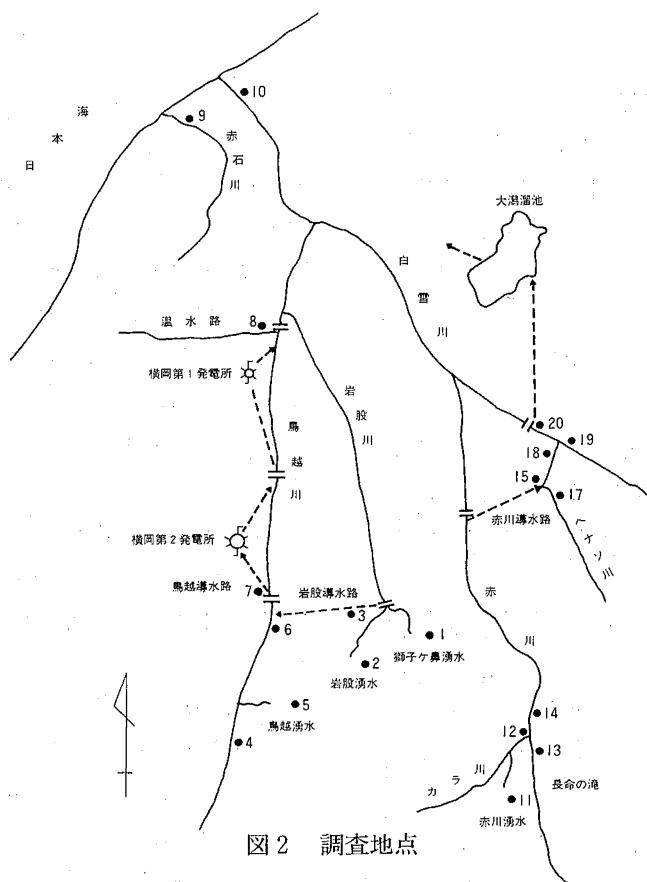


図2 調査地点

経て鳥越堰堤に導水される。また、鳥越湧水は、鳥越堰堤の約100m上流で鳥越川右岸に流入している。鳥越堰堤に集められたこれらの湧水および河川水は、横岡第2発電所および横岡第1発電所の発電用水として利用された後、鳥越川下流に放流され、白雪川に流入している。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、白雪川や赤石川等に流入し、日本海へ注いでいる。

赤川湧水は、赤川の上流部から湧出しており、カラ川末端から約50m上流でカラ川右岸に流入しており、赤川に合流後、赤川導水路を経てヘナソ川や白雪川と合流した後、白雪川堰堤から大湊溜池に導水され、発電用水及び農業用水として利用された後、白雪川に流入し、日本海に注いでいる。

### 2.3 調査項目及び水質の分析方法

調査項目及び水質の分析方法を表1に示した。

表1 水質の分析方法

| 項目                            | 分析方法                    |
|-------------------------------|-------------------------|
| pH                            | JIS K 0102.12.1         |
| T-Fe                          | 〃 0102.57.2 (原子力吸光光度法)  |
| A l <sup>3+</sup>             | 〃 0102.58.2 (原子力吸光光度法)  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | イオンクロマト法                |
| C l <sup>-</sup>              | イオンクロマト法                |
| Na <sup>+</sup>               | 環境測定法註解 43.2 (原子力吸光光度法) |
| K <sup>+</sup>                | 環境測定法註解 44.2 (原子力吸光光度法) |
| Ca <sup>2+</sup>              | 上水試験方法 45.2 (原子力吸光光度法)  |
| Mg <sup>2+</sup>              | 上水試験方法 42.2 (原子力吸光光度法)  |

### 3 調査結果及び考察

各調査地点の水質調査結果は、表2に示したとおりである。なお、調査結果は、平成元年度から4年度までの平均値である。

#### 3.1 獅子ヶ鼻湧水、岩股湧水、鳥越湧水の水質

湧水の測定結果を表3に示した。

##### 3.1.1 pH

平成元年度から4年度までの、獅子ヶ鼻地区における3湧水のpH経年変化を、図3に示した。獅子ヶ鼻湧水はpH4.23~4.37(平均

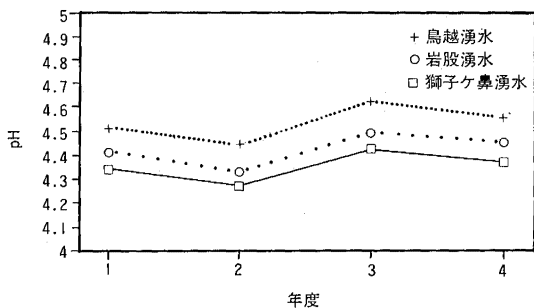


図3 獅子ヶ鼻地区湧水のpH経年変化

4.35)、岩股湧水はpH4.33~4.49(4.42)、鳥越湧水はpH4.41~4.62(4.53)である。3湧水とも若干ではあるが、元年度から4年度まで上昇と低下を交互にくり返している。これら3湧水の変化はきれいに一致しており、また、距離も近いことから、3湧水の生成・湧出機構は、ほぼ同じであると思われる。また、椎川<sup>4)</sup>も岩股川と鳥越川両流域に分布している鉱泉群は、距離的にも近接し、成因及び湧出機構も同一と推定され、さらに赤川の鉱泉群もこれらと同じ根源同じ機構による湧出泉と考えられると述べている。

春と秋のpHを比較すると、秋のpHが高い。湧出量は、春が明らかに多いので、湧水が希釈されるため、春のpHが高いと考えられるが、

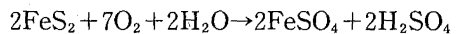
結果は逆であった。

pHの高さは、鳥越湧水>岩股湧水>獅子ヶ鼻湧水の順になっている。獅子ヶ鼻湧水と岩股湧水が合流した後の岩股導水路のpHを、過去の調査結果と比較すると<sup>5)</sup>、本調査期間のpHは、4.14~4.57(平均4.38)であり、昭和53年から63年までのpHは、4.09~4.88(平均4.51)であるので、岩股導水路のpHは昭和53年から大きな変化はみられず、ほぼ安定している。

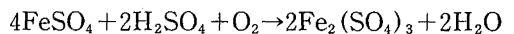
酸性水の発生する原因は、溶解性物質を含む岩石が湧水源一帯に分布しており、それに地下水が接触し酸性化し流出しているといわれている<sup>2)</sup>。

一方、椎川の報告<sup>4)</sup>によれば、硫黄変質帯の硫化鉄に地下水が接触することにより、次のプロセスによって地下水の酸性化が進行すると述べている。

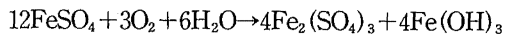
つまり、硫化鉄は酸化を受けると、硫酸第一鉄と硫酸とを生じる。



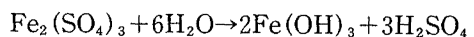
この硫酸第一鉄の酸化がさらに進行すると、硫酸第二鉄を生じる。



また、硫酸第一鉄は酸化を受けると硫酸第二鉄と水酸化第二鉄とを生成する。



この硫酸第二鉄はさらに、水酸化第二鉄と硫酸とになる。



硫酸第二鉄は強い酸化剤でもあり、硫化鉄に作用し、硫酸第一鉄を生成する。



すなわち硫化鉄鉱  $\xrightarrow{\text{酸化}}$  硫酸第一鉄 + 硫酸

硫化鉄鉱  $\xrightarrow{\text{酸化}}$  水酸化第二鉄 + 硫酸第二鉄

となり、硫酸や硫酸鉄により地下水の酸性化

が発生する。

表2 各調査地点の平均水準

| №  | 測定地点名          | pH   | T-Fe<br>mg/ℓ | Al <sup>3+</sup><br>mg/ℓ | SC <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>mg/ℓ | Cl <sup>-</sup><br>mg/ℓ | Na <sup>+</sup><br>mg/ℓ | K <sup>+</sup><br>mg/ℓ | Ca <sup>2+</sup><br>mg/ℓ | Mg <sup>2+</sup><br>mg/ℓ |
|----|----------------|------|--------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1  | 獅子ヶ鼻湧水         | 4.35 | <0.1         | 11.8                     | 107                                  | 51.6                    | 8.9                     | 2.9                    | 13.0                     | 5.6                      |
| 2  | 岩股湧水           | 4.42 | <0.1         | 7.8                      | 86.3                                 | 34.5                    | 7.7                     | 2.1                    | 9.7                      | 4.5                      |
| 3  | 岩股導水路          | 4.38 | <0.1         | 10.7                     | 102                                  | 46.3                    | 8.5                     | 2.6                    | 12.5                     | 5.4                      |
| 4  | 鳥越川上流          | 6.76 | <0.1         | <0.1                     | 31.3                                 | 5.5                     | 5.0                     | 1.4                    | 6.6                      | 2.3                      |
| 5  | 鳥越湧水           | 4.53 | <0.1         | 5.1                      | 67.8                                 | 26.0                    | 7.1                     | 1.8                    | 8.6                      | 3.7                      |
| 6  | 鳥越川(鳥越湧水合流後)   | 4.95 | <0.1         | 1.7                      | 43.8                                 | 12.5                    | 5.7                     | 1.3                    | 7.4                      | 2.8                      |
| 7  | 鳥越導水路          | 4.48 | <0.1         | 6.1                      | 75.6                                 | 30.7                    | 7.5                     | 2.1                    | 10.0                     | 4.4                      |
| 8  | 温水路            | 4.49 | <0.1         | 5.9                      | 69.2                                 | 27.4                    | 7.2                     | 1.8                    | 8.9                      | 3.9                      |
| 9  | 赤石川(赤石橋)       | 5.74 | 0.3          | 0.7                      | 52.0                                 | 26.8                    | 12.5                    | 3.7                    | 11.1                     | 5.7                      |
| 10 | 白雪川(白雪橋)       | 5.23 | 0.3          | 1.4                      | 39.3                                 | 17.8                    | 8.6                     | 2.4                    | 8.2                      | 3.9                      |
| 11 | 赤川湧水           | 4.38 | <0.1         | 10.1                     | 91.6                                 | 43.8                    | 7.5                     | 1.9                    | 9.4                      | 4.2                      |
| 12 | カラ川末端          | 4.50 | <0.1         | 6.6                      | 69.8                                 | 33.7                    | 7.4                     | 2.0                    | 9.9                      | 4.4                      |
| 13 | 赤川上流           | 5.17 | <0.1         | 1.4                      | 24.5                                 | 13.0                    | 5.4                     | 2.1                    | 5.6                      | 2.4                      |
| 14 | 赤川(カラ川合流後)     | 4.66 | <0.1         | 4.0                      | 47.0                                 | 24.3                    | 6.4                     | 1.6                    | 7.6                      | 3.4                      |
| 15 | 赤川導水路          | 4.66 | <0.1         | 3.0                      | 40.5                                 | 20.8                    | 6.3                     | 1.4                    | 7.2                      | 3.2                      |
| 16 | ヘナソ川           | 7.12 | <0.1         | <0.1                     | 5.5                                  | 8.2                     | 6.4                     | 1.0                    | 1.8                      | 0.9                      |
| 17 | 赤川(ヘナソ川合流後)    | 4.79 | <0.1         | 2.4                      | 32.8                                 | 17.9                    | 6.4                     | 1.4                    | 6.3                      | 2.8                      |
| 18 | 白雪川上流          | 7.25 | <0.1         | <0.1                     | 10.1                                 | 6.2                     | 5.8                     | 1.2                    | 3.6                      | 2.0                      |
| 19 | 白雪川(ヘナソ・赤川合流後) | 6.35 | <0.1         | 0.8                      | 17.9                                 | 11.1                    | 6.1                     | 1.7                    | 4.7                      | 2.4                      |
| 20 | 大湯溜池           | 6.64 | <0.1         | 0.2                      | 16.2                                 | 10.0                    | 6.1                     | 1.2                    | 4.5                      | 2.3                      |

表3 湧水の水質調査結果

| № | 測定地点名   | 採水<br>年月 | pH   | T-Fe<br>mg/ℓ | Al <sup>3+</sup><br>mg/ℓ | SC <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>mg/ℓ | Cl <sup>-</sup><br>mg/ℓ | Na <sup>+</sup><br>mg/ℓ | K <sup>+</sup><br>mg/ℓ | Ca <sup>2+</sup><br>mg/ℓ | Mg <sup>2+</sup><br>mg/ℓ |
|---|---------|----------|------|--------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 獅子ヶ鼻湧水  | 1.6      | 4.26 | <0.1         | 15                       | 120                                  | 61                      |                         |                        |                          |                          |
| 2 |         | 1.9      | 4.42 | <0.1         | 15                       | 130                                  | 64                      |                         |                        |                          |                          |
| 3 |         | 2.6      | 4.10 | <0.1         | 11                       | 110                                  | 51                      |                         |                        |                          |                          |
| 4 |         | 2.10     | 4.44 | <0.1         | 12                       | 110                                  | 52                      |                         |                        |                          |                          |
| 5 |         | 3.6      | 4.31 | 0.1          | 11                       | 97                                   | 43                      | 8.7                     | 2.5                    | 15                       | 5.2                      |
| 6 |         | 3.11     | 4.53 | <0.1         | 9.8                      | 99                                   | 44                      | 9.1                     | 3.8                    | 13.0                     | 6.2                      |
| 7 |         | 4.7      | 4.32 | <0.1         | 10                       | 93                                   | 49                      | 8.8                     | 2.6                    | 13                       | 5.5                      |
| 8 |         | 4.10     | 4.43 | <0.1         | 11                       | 97                                   | 49                      | 9.0                     | 2.8                    | 11                       | 5.7                      |
| 1 | 岩 股 湧 水 | 1.6      | 4.36 | <0.1         | 10                       | 96                                   | 43                      |                         |                        |                          |                          |
| 2 |         | 1.9      | 4.47 | <0.1         | 8.7                      | 98                                   | 40                      |                         |                        |                          |                          |
| 3 |         | 2.6      | 4.16 | <0.1         | 8                        | 94                                   | 36                      |                         |                        |                          |                          |
| 4 |         | 2.10     | 4.50 | <0.1         | 8.1                      | 90                                   | 33                      |                         |                        |                          |                          |
| 5 |         | 3.6      | 4.39 | <0.1         | 7.7                      | 79                                   | 30                      | 7.7                     | 2.0                    | 9.1                      | 4.2                      |
| 6 |         | 3.11     | 4.60 | <0.1         | 5.8                      | 77                                   | 27                      | 7.6                     | 2.3                    | 10                       | 4.5                      |
| 7 |         | 4.7      | 4.41 | <0.1         | 7.4                      | 75                                   | 33                      | 7.8                     | 2.1                    | 10                       | 4.7                      |
| 8 |         | 4.10     | 4.50 | <0.1         | 7.1                      | 82                                   | 34                      | 8.0                     | 2.2                    | 10                       | 4.6                      |
| 1 | 鳥 越 湧 水 | 1.6      | 4.45 | <0.1         | 5.9                      | 69                                   | 29                      |                         |                        |                          |                          |
| 2 |         | 1.9      | 4.57 | <0.1         | 7.5                      | 87                                   | 35                      |                         |                        |                          |                          |
| 3 |         | 2.6      | 4.27 | <0.1         | 5.4                      | 70                                   | 25                      |                         |                        |                          |                          |
| 4 |         | 2.10     | 4.61 | <0.1         | 5.1                      | 75                                   | 24                      |                         |                        |                          |                          |
| 5 |         | 3.6      | 4.54 | <0.1         | 4.1                      | 56                                   | 19                      | 6.9                     | 1.5                    | 7.3                      | 3.2                      |
| 6 |         | 3.11     | 4.71 | <0.1         | 3.8                      | 62                                   | 24                      | 7.2                     | 2.1                    | 9.5                      | 3.9                      |
| 7 |         | 4.7      | 4.52 | <0.1         | 4.2                      | 57                                   | 24                      | 7.1                     | 1.9                    | 8.4                      | 3.8                      |
| 8 |         | 4.10     | 4.58 | <0.1         | 5.1                      | 67                                   | 28                      | 7.5                     | 1.9                    | 9.2                      | 4.1                      |
| 1 | 赤 川 湧 水 | 1.6      | 4.35 | <0.1         | 93.9                     | 84                                   | 43                      |                         |                        |                          |                          |
| 2 |         | 1.9      | 4.43 | <0.1         | 13                       | 110                                  | 56                      |                         |                        |                          |                          |
| 3 |         | 2.6      | 4.23 | <0.1         | 7.3                      | 84                                   | 35                      |                         |                        |                          |                          |
| 4 |         | 2.10     | 4.45 | <0.1         | 12                       | 110                                  | 51                      |                         |                        |                          |                          |
| 5 |         | 3.6      | 4.44 | <0.1         | 8.6                      | 70                                   | 34                      | 7.5                     | 1.9                    | 9.1                      | 4.2                      |

### 3.1.2 アルミニウムイオン ( $Al^{3+}$ )

獅子ヶ鼻地区における3湧水の、 $Al^{3+}$ 濃度の経年変化を図4に示した。

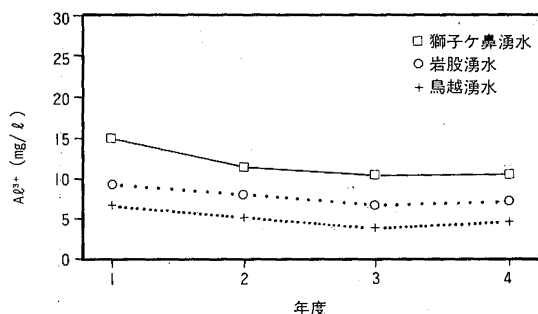


図4 獅子ヶ鼻地区湧水のアルミニウムイオン経年変化

獅子ヶ鼻湧水は10.4~15.0mg/L (平均11.8mg/L)、岩股湧水は6.7~9.3mg/L (7.8mg/L)、鳥越湧水は3.9~6.7mg/L (5.1mg/L)である。このことからわかるように、3湧水とも $Al^{3+}$ 濃度が高いことが特徴である。3湧水における元年度から3年度までの $Al^{3+}$ 濃度は年々低下しているが、4年度は若干上昇している。春と秋の濃度を比較すると、岩股湧水は、春の濃度が高い傾向にあるが、獅子ヶ鼻湧水と鳥越湧水は季節による変動は認められない。3湧水の $Al^{3+}$ 濃度を比較すると獅子ヶ鼻湧水>岩股湧水>鳥越湧水となっており、pHの高い湧水ほど $Al^{3+}$ の濃度が低くなっている。

獅子ヶ鼻湧水と岩股湧水が合流した後の岩股導水路における本調査期間の $Al^{3+}$ 濃度を過去(昭和53~55、58~63年)の測定結果と比較すると、本調査期間の $Al^{3+}$ 濃度は、9.9~13mg/L (平均10.7mg/L)であり、昭和53年から55年度までの $Al^{3+}$ 濃度は、9.6~14.0mg/L (平均11.6mg/L)、昭和58年から昭和63年度までの $Al^{3+}$ 濃度は11.0~19.3mg/L (平

均14.5mg/L)である。本調査期間の平均濃度は、過去の平均濃度と比較して、若干低くなっているが、大きな変化はみられない。

### 3.1.3 硫酸イオン ( $SO_4^{2-}$ )

獅子ヶ鼻地区における3湧水の $SO_4^{2-}$ 濃度の経年変化を、図5に示した。

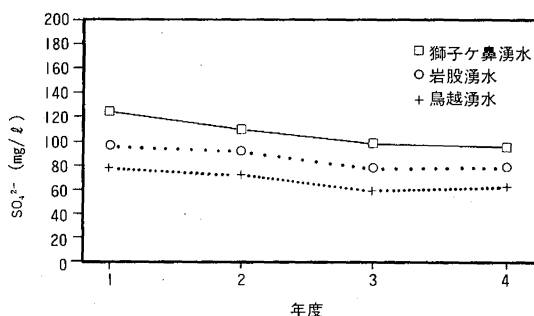


図5 獅子ヶ鼻地区湧水の硫酸イオン経年変化

獅子ヶ鼻湧水は95.0~125mg/L (平均107mg/L)、岩股湧水は78~97mg/L (86.3mg/L)、鳥越湧水は59~78mg/L (67.8mg/L)である。3湧水とも $SO_4^{2-}$ 濃度が高い。これは、前述したとおり、酸性水の発生する原因が、硫酸や硫酸鉄によることから理解することが出来る。

3湧水とも $SO_4^{2-}$ 濃度は、 $Al^{3+}$ 濃度と同じで元年度から3年度まで年々低下しており、4年度は上昇する傾向にある。

春と秋の濃度を比べると獅子ヶ鼻湧水と鳥越湧水は秋の濃度が高い傾向にあるが、岩股湧水は春と秋の差はほとんどない。3湧水の $SO_4^{2-}$ 濃度を比較すると、獅子ヶ鼻湧水>岩股湧水>鳥越湧水の順になっており、 $Al^{3+}$ 濃度と同じ結果になっている。

獅子ヶ鼻湧水と岩股湧水が合流した後の岩股導水路における本調査期間の $SO_4^{2-}$ 濃度

を、過去（昭和53～55、58～63）の測定結果と比較すると、本調査期間の $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は、87～120mg/l（平均102mg/l）であり、昭和53年から昭和55年度までの $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は、65～112mg/l（平均96.2mg/l）、昭和58年から昭和63年度までの $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は、104～147mg/l（平均128mg/l）である。昭和53年度が65mg/lと低い値であったが、それ以降濃度は高くなり、現在は100mg/l前後の濃度で推移している。

### 3.1.4 塩化物イオン（ $\text{Cl}^-$ ）

獅子ヶ鼻地区における3湧水の $\text{Cl}^-$ 濃度の経年変化を図6に示した。

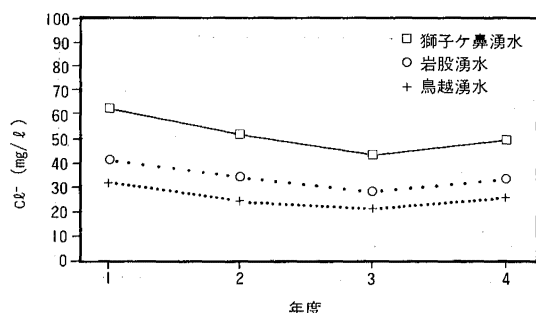


図6 獅子ヶ鼻地区湧水の塩化物イオン経年変化

獅子ヶ鼻湧水は43.5～62.5mg/l（平均51.6mg/l）、岩股湧水は28.5～41.5mg/l（34.5mg/l）、鳥越湧水は21.5～32.0mg/l（26.0mg/l）である。3湧水における $\text{Cl}^-$ 濃度は、元年度から3年度までは低下し、4年度に若干上昇しており、 $\text{Al}^{3+}$ 及び $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度と同じ変動を示している。春と秋の濃度を比較すると、獅子ヶ鼻湧水と鳥越湧水は、若干秋の濃度が高い傾向にあるが、岩股湧水は若干ではあるが逆に春の濃度が高い傾向にある。岩股湧水の $\text{Cl}^-$ 濃度は、 $\text{Al}^{3+}$ 及び $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度と同

様に、獅子ヶ鼻湧水及び鳥越湧水と異なる変動をしている。獅子ヶ鼻湧水と鳥越湧水は、直接地下から湧出している地点で採水しているが、岩股湧水は湧出地点の少し下流で採水しているため、湧水以外の沢水等も混入していることが原因と思われるので、今後は岩股湧水の湧出地点を調査し、直接湧出地点で採水することが必要であると思われる。

3湧水の $\text{Cl}^-$ 濃度を比較すると、獅子ヶ鼻湧水>岩股湧水>鳥越湧水の順になっており、 $\text{Al}^{3+}$ 及び $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度と同じ結果になっている。

獅子ヶ鼻湧水と岩股湧水が合流した後の岩股導水路における本調査期間の $\text{Cl}^-$ 濃度を、過去（昭和53～55、58～63年）の測定結果と比較すると、本調査期間の $\text{Cl}^-$ 濃度は37～58mg/l（平均46.3mg/l）であり、昭和53年から昭和55年までの $\text{Cl}^-$ 濃度は、63.1～75.2mg/l（平均67.6mg/l）、昭和58年から昭和63年度までの $\text{Cl}^-$ 濃度は、55.8～72.4mg/l（平均64.5mg/l）である。本調査期間の平均濃度は、過去の平均濃度より低くなっている。

表3の分析結果より、獅子ヶ鼻湧水、岩股湧水及び鳥越湧水について $\text{Al}^{3+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ - $\text{Cl}^-$ 及び $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{Cl}^-$ のそれぞれの2成分間の相関係数を求めると獅子ヶ鼻湧水では順に0.913、0.922、0.912、岩股湧水は0.782、0.906、0.828、鳥越湧水は0.907、0.889、0.819である。獅子ヶ鼻湧水は、それぞれの2成分間の相関は非常に高く、すべて1%の有意差で相関が認められる。また、鳥越湧水は、1～2%の有意差で相関が認められる。しかし、岩股湧水では、それぞれの2成分間における相関は少し低く、 $\text{Al}^{3+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ の相関係数は0.782であり、5%の有意差でしか相関は認められない。このことは、

前述したように、岩股湧水を湧出地点で直接採水出来なかったことが、影響しているのかもしれない。

### 3.1.5 ナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ )、カリウムイオン ( $\text{K}^+$ )、カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ )、マグネシウムイオン ( $\text{Mg}^{2+}$ )

獅子ヶ鼻地区3湧水の平成3年度と4年度における $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 濃度の測定結果を表3に示した。獅子ヶ鼻湧水の $\text{Na}^+$ の濃度は $8.7\sim 9.1\text{mg/l}$  (平均 $8.9\text{mg/l}$ )、 $\text{K}^+$ の濃度は $2.5\sim 3.8\text{mg/l}$  (平均 $2.9\text{mg/l}$ )、 $\text{Ca}^{2+}$ の濃度は $11\sim 15\text{mg/l}$  ( $13\text{mg/l}$ )、 $\text{Mg}^{2+}$ の濃度は $5.2\sim 6.2\text{mg/l}$  ( $5.6\text{mg/l}$ )であり、岩股湧水の $\text{Na}^+$ の濃度は $7.6\sim 8.0\text{mg/l}$  ( $7.7\text{mg/l}$ )、 $\text{K}^+$ の濃度は $2.0\sim 2.3\text{mg/l}$  ( $2.1\text{mg/l}$ )、 $\text{Ca}^{2+}$ の濃度は $9.1\sim 10\text{mg/l}$  ( $9.7\text{mg/l}$ )、 $\text{Mg}^{2+}$ の濃度は $4.2\sim 4.7\text{mg/l}$  ( $4.5\text{mg/l}$ )であり、鳥越湧水の $\text{Na}^+$ の濃度は $6.9\sim 7.5\text{mg/l}$  ( $7.1\text{mg/l}$ )、 $\text{K}^+$ の濃度は $1.5\sim 2.1\text{mg/l}$  ( $1.8\text{mg/l}$ )、 $\text{Ca}^{2+}$ の濃度は $7.3\sim 9.5\text{mg/l}$  ( $8.6\text{mg/l}$ )、 $\text{Mg}^{2+}$ の濃度は $3.2\sim 4.1\text{mg/l}$  ( $3.7\text{mg/l}$ )である。獅子ヶ鼻湧水、岩股湧水及び鳥越湧水の3湧水の各項目とも、2年間の経過をみても大きな変動はみられない。

$\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ とも濃度は獅子ヶ鼻湧水>岩股湧水>鳥越湧水の順になっており、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 及び $\text{Cl}^-$ と同じ結果になっている。また春と秋の濃度を比較すると各項目とも獅子ヶ鼻湧水と鳥越湧水は秋の方の濃度が高い傾向にあるが、岩股湧水は季節による差はほとんど認められない。

### 3.2 温水路の水質

鳥越川の河川水は、農業用水として使用するには、水温が低いことから、温水路を設けて水温を高めている。

温水路のpHと $\text{Al}^{3+}$ の経年変化を図7に、また、 $\text{SO}_4^{2-}$ と $\text{Cl}^-$ の経年変化を図8に示した。

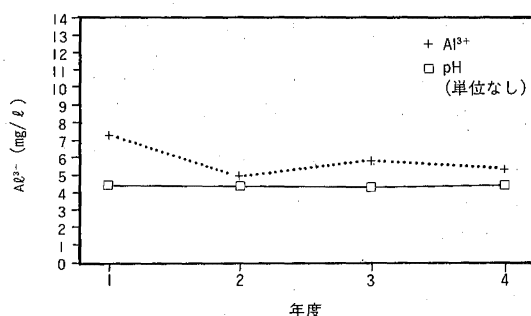


図7 温水路のpH、アルミニウムイオン経年変化

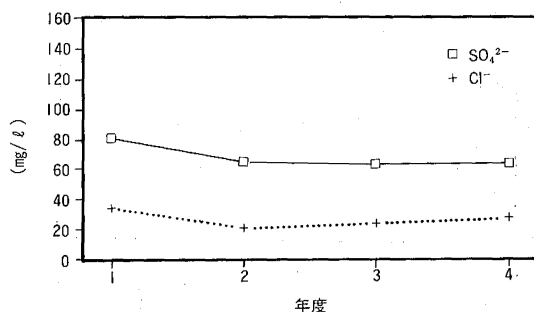


図8 温水路の硫酸イオン、塩化物イオン経年変化

pHは $4.43\sim 4.56$  (平均 $4.49$ )、 $\text{Al}^{3+}$ 濃度は $5.0\sim 7.3\text{mg/l}$  ( $5.9\text{mg/l}$ )、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は $64.0\sim 81.0\text{mg/l}$  ( $69.2\text{mg/l}$ )、 $\text{Cl}^-$ 濃度は $21.5\sim 34.0\text{mg/l}$  ( $27.4\text{mg/l}$ )である。pHは平成元年度から4年度までほぼ一定している。しかし、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 及び $\text{Cl}^-$ 濃度は平成元年度と比較して、平成2年度は濃度が少し低下しているが、2年度から4年度までは大きな変動はみられない。

温水路の $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 及び $\text{Cl}^-$ の濃度

は、鳥越導水路の濃度に対し、それぞれ55.1%、61.6%、59.1%であり、5割弱しか希釈されていないことがわかる。この温水路の水は、象潟町の農業用水として約750haの水田に利用されているが<sup>6)</sup>、pHが農業用水の水質基準値6.0～7.5を大きく下回っている。また、農業用水としては、 $Al^{3+}$ 濃度が高いことから、土壌の劣化が懸念される<sup>7)</sup>。

また、象潟町では鳥海山噴火以前は、水道水の中島堰（温水路）から取水していたが、噴火後はpHが低下したため、中性河川の金山川から取水している。しかし、夏の渇水期には、温水路の酸性水を中和して水道水に使用している。中和剤の量は年によって変動があるものの、年間約500kg程度である<sup>8)</sup>。

### 3.3 白雪橋と赤石橋の水質

白雪橋と赤石橋のpHの経年変化を図9に、 $Al^{3+}$ 濃度の経年変化を図10に、 $SO_4^{2-}$ 濃度の経年変化を図11に、 $Cl^-$ 濃度の経年変化を図12に示した。

白雪橋の水質は、pH5.07～5.51(平均5.23)、 $Al^{3+}$ 濃度は1.3～1.5mg/ℓ (1.4mg/ℓ)、 $SO_4^{2-}$ 濃度は38.5～40.5mg/ℓ (39.3mg/ℓ)、 $Cl^-$ 濃度は15.5～19.0mg/ℓ (17.8mg/ℓ)である。また、赤石橋の水質はpH5.21～6.59(5.74)、 $Al^{3+}$ 濃度は0.1～1.1mg/ℓ (0.7mg/ℓ)、 $SO_4^{2-}$ 濃度は49.5～54.0mg/ℓ (52.0mg/ℓ)、 $Cl^-$ 濃度は23.0mg/ℓ～29.0mg/ℓ (26.8mg/ℓ)である。

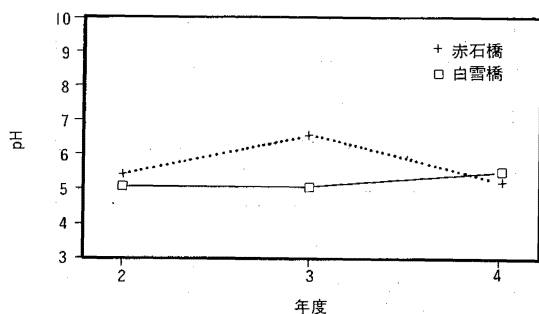


図9 白雪橋と赤石橋のpH経年変化

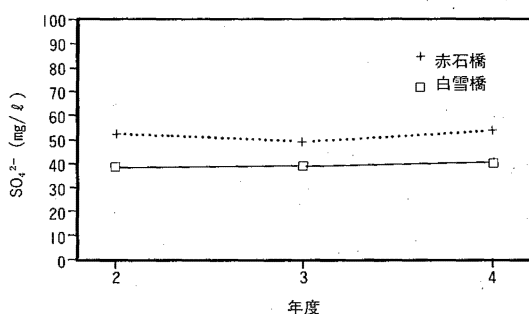


図11 白雪橋と赤石橋の硫酸イオン経年変化

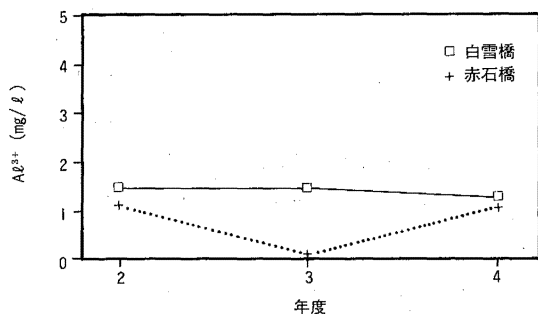


図10 白雪橋と赤石橋のアルミニウムイオン経年変化

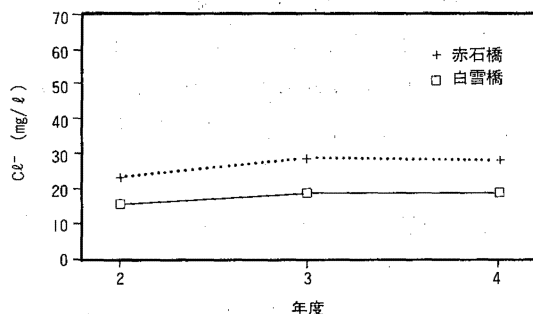


図12 白雪橋と赤石橋の塩化物イオン経年変化

白雪橋の水質は、pH、 $Al^{3+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 及び $Cl^-$ 濃度とも3年間大きな変化はみられない。また、 $Al^{3+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 及び $Cl^-$ 濃度は、鳥越導水路の濃度に対しそれぞれ13.0%、38.5%、38.4%であり、ほとんど希釈されず酸性のまま日本海に注いでいる。金浦町では、白雪川の水を大竹地区で取水して中和後、水道水として利用しており、使用している中和剤の量は、年間約11,000kgである<sup>9)</sup>。

白雪橋のpHは、昭和46年から51年までpH 6.9から7.2の間を推移していたが、昭和52年より低下し始めた。昭和52年から63年までpHは、5.3から6.2（平均5.56）であり、本調査期間の結果とほぼ同じである。

赤石橋では、平成3年度にpHが6.59と高く、 $Al^{3+}$ 濃度は0.1mg/lと低下している。しかし、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ 濃度は3年間大きな変化はなくほぼ一定している。金浦町では、4月下旬から9月下旬まで白雪川の水を大竹地区で赤石川に導水し、かんがい用水として金浦町の水田約200haに利用している<sup>10)</sup>。また、温水路の水は非かんがい期には水量が少ないものの、年間を通じ赤石川に流入している。このため、 $SO_4^{2-}$ と $Cl^-$ 濃度が3年間大きな変化がなく一定であることはわかるが、3年度にpHが高く、 $Al^{3+}$ 濃度が低かった原因はわからない。赤石橋のpHは、昭和48年から52年度まで、7.1から7.6の間を推移していたが、昭和53年度（pH6.4）から低下し始め、昭和54年から63年まではpHが4.7～6.0（平均5.35）で推移しており、平成3年度のように高い結果は昭和54年以降みられない。

### 3.4 赤川湧水の水質

赤川湧水の調査は、平成3年9月の台風19号の被害による倒木で道路が遮断されたの

で、平成3年度の秋以降の調査は出来なかった。平成元年度から平成3年度の春までの調査結果を表3に、pHと $Al^{3+}$ 濃度の経年変化を図13に、 $SO_4^{2-}$ と $Cl^-$ 濃度の経年変化を図14に示した。

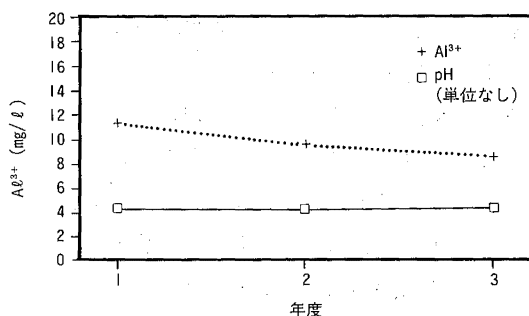


図13 赤川湧水のpH、アルミニウムイオン経年変化

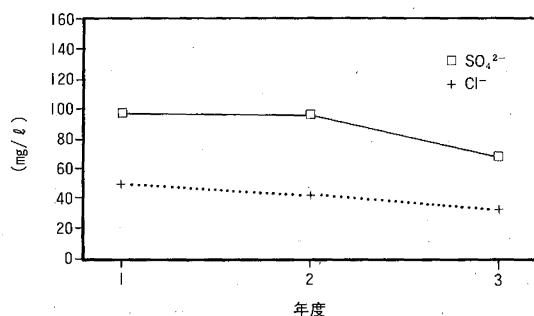


図14 赤川湧水の硫酸イオン、塩化物イオン経年変化

pHは4.34～4.44（平均4.38）、 $Al^{3+}$ 濃度は8.6～11.4（10.1mg/l）、 $SO_4^{2-}$ の濃度は70～79mg/l（91.6）、 $Cl^-$ の濃度は34～49.5mg/l（43.8mg/l）である。pHは3年間の経過をみても、大きな変動はみられない。また、春と秋を比較すると、獅子ヶ鼻地区の湧水と同じように秋が若干高い。

$Al^{3+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ 濃度は平成3年度に低下しているが、これは春だけの結果なので、元年度および2年度と比較することは出来な

い。元年度と2年度の2年間の経過を見れば、大きな変動はみられない。また春と秋の $Al^{3+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ 濃度を比較すると獅子ヶ鼻地区の湧水は若干秋の濃度が高い傾向にあったが、赤川湧水は明らかに秋の濃度が高くなっている。

過去（昭和58、60、62年）に調査した赤川湧水の平均水質は、pHが4.53、 $Al^{3+}$ 濃度は14.3mg/l、 $SO_4^{2-}$ 濃度は105mg/l、 $Cl^-$ 濃度は62.3mg/lであった。本調査期間における平均水質は、過去の平均水質と比較すると、pHが低く、 $Al^{3+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、及び $Cl^-$ 濃度も低くなっている。

また、表3の分析結果より、 $Al^{3+}$ — $SO_4^{2-}$ 、 $Al^{3+}$ — $Cl^-$ 及び $SO_4^{2-}$ — $Cl^-$ のそれぞれの2成分間の相関係数を求めると、順に0.859、0.972、0.933であり、それぞれの2成分間の相関は非常に高く、すべて1%の有意差で相関が認められる。これは、獅子ヶ鼻地区の3湧水と比べると、獅子ヶ鼻湧水と最も水質が類似していることになる。赤川湧水と獅子ヶ鼻湧水に共通することは、湧出量が膨大で勢いよく湧出しているため、沢水等の混入が考えられないことである。しかし、獅子ヶ鼻地区の3湧水と赤川湧水は、岩股湧水における $Al^{3+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 間の相関を除くとすべて1~2%の有意差で相関が認められるので、これら4湧水の生成・湧出機構は同じと思われる<sup>11)</sup>。このことは、前述したように、椎川も報告している<sup>4)</sup>。

### 3.5 赤川湧水の流下に伴う地点別水質変化

赤川湧水がカラ川に流入した後の、カラ川末端から、赤川を経て大潟溜池まで導水される経路での6地点（表2のN○12、14、15、

17、19、20）における各項目の濃度変化を検討した。

#### 3.5.1 pH

pHの年度別地点別変化を、図15に示した。

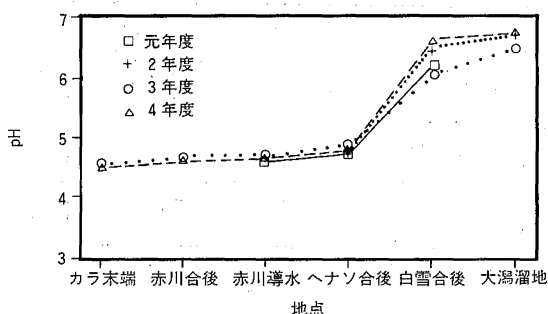


図15 地点別のpH変化

赤川上流は、pH6.18~6.74（元年度調査）の河川であるが、長命の滝付近で水量がすくないものの、pH4.62~4.84（元年度調査）の湧出水が流入し酸性になり、カラ川合流直前ではpH5.01~5.35（平均5.17）となっている。赤川湧水が流入するカラ川合流後のpHは、4.63~4.69(4.66)となり、赤川の酸性化が強まる。この赤川の水は、赤川導水路に導水され、pH4.60~4.70(4.66)でヘナソ川(pH7.12)と合流した後、白雪川(pH7.25)と合流して希釈され、pH6.06~6.48(6.35)となり、酸性水の影響はほとんどみられず、農業用水水質基準(pH6.0~7.5)を満足している。

この河川水は、大潟溜池に導水されてさらに希釈され、pH6.49~6.75(6.64)となり、小出発電所や白雪発電所に利用された後、岱山用水路に導水され仁賀保町の水田約790haに利用された後<sup>12)</sup>、白雪川に流入する。

年度別に比較すると、4年度が一番高く、3年度が最も低くなっている。

### 3.5.2 アルミニウムイオン、硫酸イオン、塩化物イオン

$Al^{3+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ 濃度の年度別地点別濃度変化を、図16～18に示した。カラ川末端

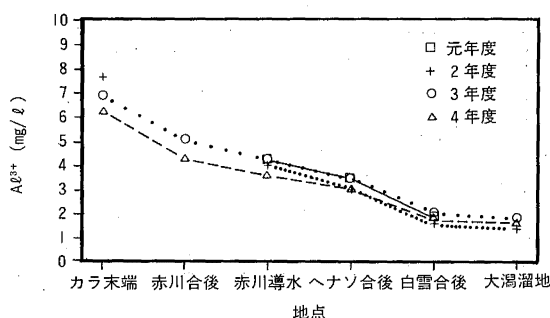


図16 地点別のアルミニウムイオン濃度変化

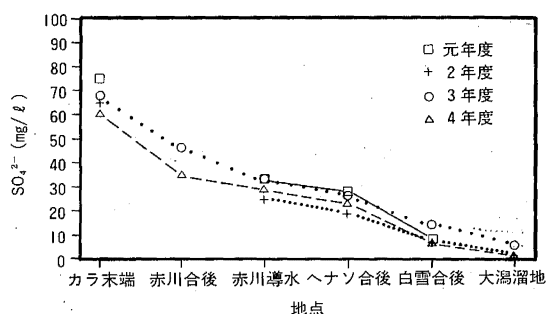


図17 地点別の硫酸イオン濃度変化

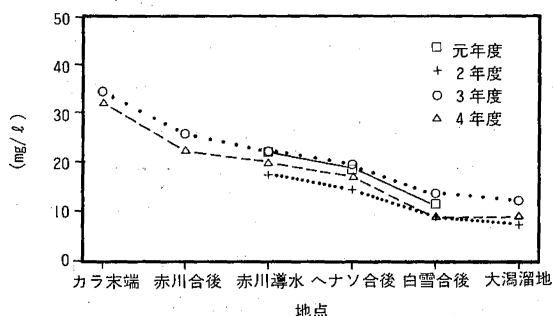


図18 地点別の塩化物イオン濃度変化

の  $Al^{3+}$ 濃度は6.1～7.5mg/L (平均6.6mg/L)、 $SO_4^{2-}$ 濃度は63.0～77.0mg/L (69.8mg/L)、 $Cl^-$ 濃度は32.5～34.0mg/L (33.7mg/L)

である。カラ川末端の酸性水は、赤川、ヘナソ川および白雪川と合流して希釈されるが、赤川には酸性水が流入しているため、赤川の水量は多いものの、カラ川が赤川と合流した後の濃度は、カラ川末端の濃度に対して  $Al^{3+}$ で60.6%、 $SO_4^{2-}$ で67.3%、 $Cl^-$ で72.1%であり、これらの濃度は約30～40%しか低下していない。また、ヘナソ川は中性河川であるが、水量が少ないため十分な希釈は行われない。しかし、白雪川は中性河川で水量も多く、白雪川に合流した後の  $Al^{3+}$ 濃度は、0.6～1.4mg/L (0.8mg/L)、 $SO_4^{2-}$ 濃度は、15.5～20.5mg/L (17.9mg/L)、 $Cl^-$ 濃度は、9.5～11.5mg/L (11.1mg/L) であり、カラ川末端の濃度に対し、それぞれ12.1%、25.6%、32.9%に低下している。 $Al^{3+}$ 濃度が  $SO_4^{2-}$ 及び  $Cl^-$ 濃度と比較して濃度が低下する割合が大きいのは、中性河川であるヘナソ川と白雪川には、アルミニウムイオンはほとんど含まれておらず、0.1mg/L未満であるが、 $SO_4^{2-}$ は5.5～10.1mg/L、 $Cl^-$ は6.2～8.2mg/L 含まれているからである。

大濁溜地に導水された後の  $Al^{3+}$ 濃度は、0.1～0.5mg/L (0.2mg/L)、 $SO_4^{2-}$ 濃度は、13.5～18.0mg/L (16.2mg/L)、 $Cl^-$ 濃度は、8.0～12.5mg/L (10.0mg/L) となっており、中性河川の白雪川やヘナソ川の水質と比較すると各濃度とも若干高い程度である。

年度別に比較すると3年度が高く、2年度は低かった。

### 3.5.3 ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン

$Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ の濃度については平成3年度と4年度の地点別平均水質を図19

に示した。カラ川末端における $\text{Na}^+$ 濃度は7.2

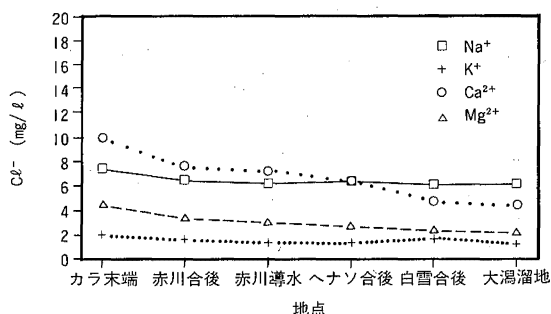


図19 地点別のナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン濃度変化（平均値）

～7.7mg/l（平均7.4mg/l）、 $\text{K}^+$ 濃度は1.9～2.2mg/l（2.0mg/l）、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度は9.8～9.9mg/l（9.9mg/l）、 $\text{Mg}^{2+}$ 濃度は4.3～4.6mg/l（4.4mg/l）である。また、大潟溜池の $\text{Na}^+$ 濃度は6.1mg/l、 $\text{K}^+$ 濃度は1.2～1.3mg/l（1.2mg/l）、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度は4.4～4.6mg/l（4.5mg/l）、 $\text{Mg}^{2+}$ 濃度は2.3～2.4mg/l（2.3mg/l）である。大潟溜池の $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の各濃度は、カラ川末端の各濃度に対して、それぞれ順に82.4%、60.0%、45.4%、52.5%であり、 $\text{Na}^+$ 濃度はほとんど低下していない。また、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の濃度も50%前後の低下しかみられない。これは、カラ川末端の $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の各濃度は低く、合流する中性河川の白雪川やヘナソ川の $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の濃度と大きな差がないからである。

#### 4 まとめ

白雪川水系における、湧出水及び河川水を調査した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 白雪川は、末端の白雪橋でもpHが5.0前後の月が多く、酸性水の影響を下流ま

で受けている。

- 2) 獅子ヶ鼻地区3湧水のpHは、各年度により多少の変動はあるものの、以前の調査と比べて大きな変動はみられない。
- 3) 赤川湧水のpHは、我々の調査では変動はないものの、以前の調査に比べると、若干低下する傾向にある。
- 4) 獅子ヶ鼻地区の3湧水及び赤川湧水の酸性水の原因は、生成する硫酸によるものであり、酸性水の生成は、同じ機構によるものと考えられる。
- 5) 湧出水及び河川水の特徴は、pHが低く、 $\text{Al}^{3+}$ 及び $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度が高い。したがって、農業用水として、長期にわたって使用した場合には、土壌の酸性化や劣化が懸念される。
- 6) 白雪川水系の水を飲料水として使用している金浦町等では、中和処理のため予算を毎年計上している。

## 参考文献

- 1) 秋田県：河川・海岸調書、平成3年4月12日
- 2) 秋田県・環境白書、昭和51年～昭和55年版
- 3) 菅雅春ほか：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（1987）
- 4) 子吉川および白雪川酸害調査報告書、昭和54年2月 秋田大学教授 椎川 誠
- 5) 秋田県環境技術センター年報、No.6～No.16（1987～1988）
- 6) 象潟町役場から聞き取り
- 7) 玉川毒水対策について（答申）、昭和53年1月9日 玉川毒水対策技術検討委員会
- 8) 象潟町ガス水道事業所から聞き取り
- 9) 金浦町ガス水道事業所から聞き取り
- 10) 金浦町役場から聞き取り
- 11) 後藤達夫：日本温泉科学会誌、Vol.132, No.3, 105（1982）
- 12) 仁賀保町役場から聞き取り