

酸性雨に関する調査研究

- Washout に関する考察 -

児玉 仁 井島 辰也* 久米 均

1 はじめに

降雨のpHは、主に非海塩成分（以下、非海塩成分は、『nss-』を前置して表す。）であるnss-SO₄²⁻、NO₃⁻、nss-Ca²⁺、NH₄⁺などの影響が大きいとされている¹⁾²⁾。これら成分の取り込まれ方は、局地的な影響が大きいウォッシュアウトと、移流などの広域的な影響によるレインアウトに区別される。ゆえに、酸性雨問題では、測定されたpHに影響を及ぼしているものが、局地的な影響か、あるいは広域的な影響かを把握しておくことが重要である。

前報³⁾では、秋田市中心部に位置し、市街地である中通では、nss-SO₄²⁻、nss-Ca²⁺、nss-Mg²⁺、NH₄⁺がバックグラウンド地である本山（標高約650m）、さらに後背地である仁別に比べて降水中の成分濃度が高く、比較的多くの量が、ウォッシュアウトによる局地的な取り込みがされていると考えられること、また、中通では解析の結果、ウォッシュアウトにより取り込まれる成分の寄与が高いものとして、nss-SO₄²⁻、nss-Ca²⁺および夏期のNH₄⁺であるということを報告した。

本年度は、これらの結果を踏まえ、新たにアンダーセンエアサンプラーを用いて大気中の粉じんを粒径別に採取し、これと降水中成分の関係について解析を行ったので報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点

調査地点を図1に、調査地点の特徴及び調査項目を表1に示した。

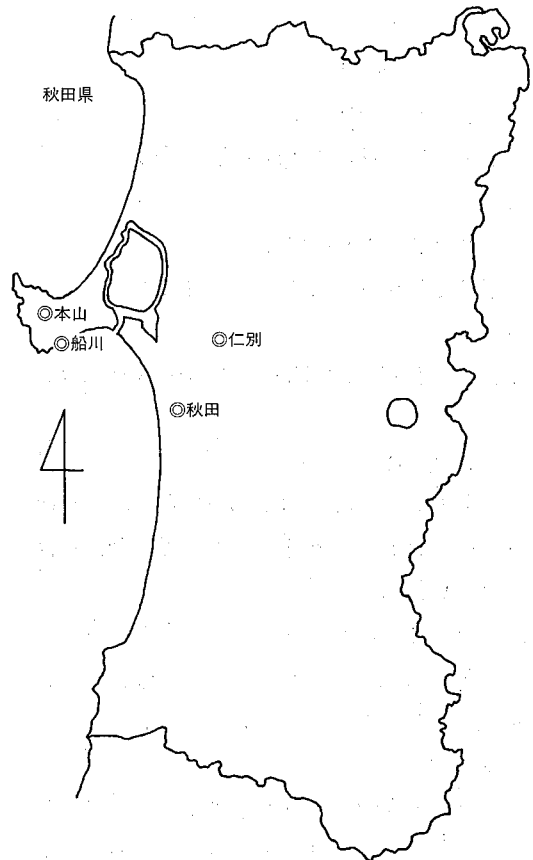


図1 調査地点

*現本荘保健所

表1 調査地点及び調査項目

地点	設置場所	調査地点の特徴	調査項目	
			降水	アンダーセン
中通	秋田市 秋田保健所屋上	海岸から約5 kmの市街地、標高46 m。	○	○
仁別	秋田市 旭川ダム管理事務所屋上	中通から北東へ約12 kmの近山間部、海岸から約20 km、標高約115 m。	○	○
船川	男鹿市 船川局舎屋上	中通から北西へ約28 km海岸から0.3 km。	○	○
本山	男鹿市 NTT 本山無線中継所地内	中通から北西へ約40 kmの山頂。海岸からの距離約3 km、標高約650 m。	○	

2.2 調査期間

2.2.1 降雨調査

平成4年5月から平成4年10月の26週を対象とした。

2.2.2 粒子状粉じん調査

平成4年10月から平成4年11月の8週を対象とした。

これと合わせ、この期間中の降雨も採取した。

2.3 採取方法

原則として月曜日14時から次週月曜日14時までの7日間を1検体とした。採取装置を図2に示した。

2.3.1 降雨調査

ろ過式採取器を用い、得られた試料は0.8 μm のメンブランフィルターでろ過したものを検体とした。

2.3.2 粒子状粉じん調査

アンダーセンエアースンプラーを用い、11 μm 以上(ステージ0)、2.1 μm 以上~11 μm 未満(ステージ4)、2.1 μm 未満(ステージB F)の3ステージとし、28.3 l/minで大気を

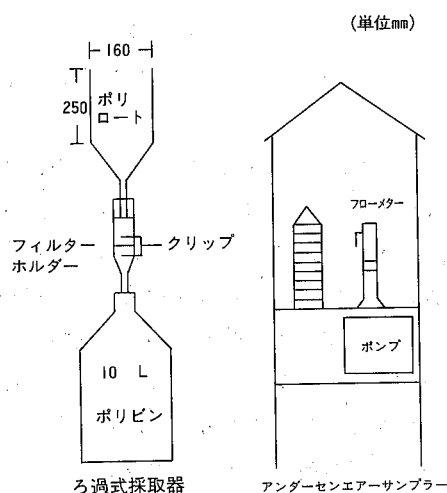


図2 採取装置

吸引した。

捕集ろ紙にはFluoropore-80mm ϕ (住友電工製、4フッ化エチレン樹脂製フィルターAF07P)を用いた。試料採取前後のろ紙は、50%-CaCl₂で調湿済みのデシケータに48時間放置し恒量とした後、粉じん量を測定した。粉じん採取後のろ紙は、5 mm幅程度に裁断し、各ステージ毎に50mlの目盛り付き比色試験管に入れた。これにアセトン2 mlを加え、

超音波抽出 (10min) した。これに、水 2 ml、4 ml、10ml と段階的に加えながら、更に 3 回抽出を行ったものを試料とした。

2. 4 調査項目

2. 4. 1 降雨調査

降水量、pH、電気伝導度 (EC)、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+

2. 4. 2 粒子状粉じん調査

粉じん量、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+

2. 5 分析方法

分析方法を表 2 に示す。

表 2 分析方法

分析項目	分析 方 法
pH	JIS K0102.12.1
EC	JIS K0102.13
SO_4^{2-}	イオンクロマト法
NO_3^-	〃
Cl^-	〃
Na^+	〃
K^+	〃
Ca^{2+}	〃
Mg^{2+}	〃
NH_4^+	〃

3 調査結果及び考察

3.1 降雨調査結果

月別の降水量は、図 3 に示したとおりである。地点別には降水量に多少の差はあるが、月別推移は概ね似通ったパターンを示した。検体毎でも、地点間に多少の差はあるが、週毎の変動は概ね似通った傾向を示した。

月別の平均 pH は、図 4 に示したとおりである。各地点とも、概ね pH 4.5~5.0 の範囲で推移していた。期間平均では、仁別が pH 4.63 と最も低い値を示し、最高は中通の pH 4.85 であ

った。月別の最高は、本山 pH 5.78 (10月) で、最低は、仁別 pH 4.39 (7月) であった。

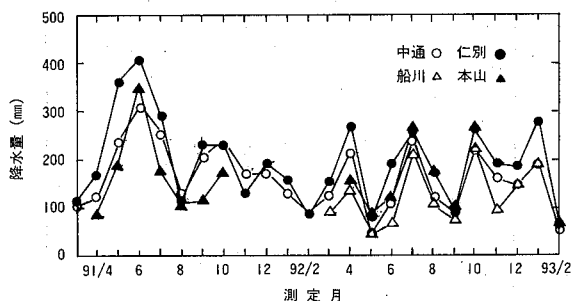


図 3 降水量の推移

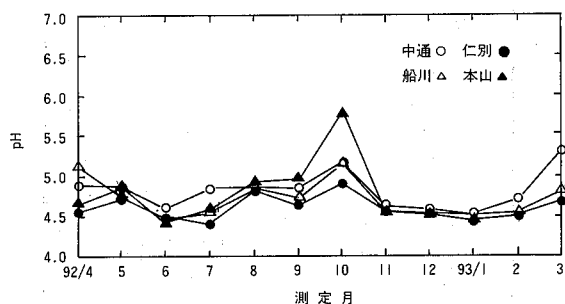


図 4 pHの推移

降水の平均成分濃度は、表 3 に示したとおりである。海塩成分量の指標とされる Na^+ は、海岸に最も近い船川が高く、 $80.8 \mu\text{eq}/\text{l}$ ($1.86 \text{mg}/\text{l}$) と中通 ($40.5 \mu\text{eq}/\text{l}$) の 2 倍の濃度であった。 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} も海塩の影響を考えると、船川が最も高くなると考えられるが、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} は中通が最も高い平均値を示した。また、海塩由来の影響が全くない NH_4^+ も、中通が最も高かった。 NO_3^- は船川が高かったが、地点間の差

表3 降水中の平均成分濃度

期間	項目	pH	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cℓ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Total
		μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ
平成3年度	中通S (5月~10月)	5.08	8.3	50.7	12.0	36.3	33.2	1.6	12.8	9.1	34.9	198.7
	仁別S (")	4.85	14.1	42.9	12.8	30.8	28.1	1.5	8.2	7.7	22.5	168.6
	本山S (")	4.97	10.6	42.6	11.6	43.1	38.6	3.4	9.2	9.3	19.1	187.5
平成4年度	中通W (11月~12月)	4.88	13.1	113.2	18.6	357.1	317.9	7.8	59.1	74.4	34.7	996.1
	仁別W (")	4.52	30.3	91.6	15.8	252.7	221.9	6.1	17.6	49.9	20.8	706.8
	本山W (")	4.63	23.7	82.4	15.4	242.4	209.7	6.4	17.7	47.6	21.0	666.3
平成4年度	中通S (5月~10月)	4.85	14.0	52.6	16.2	45.8	40.5	2.2	15.6	11.0	34.8	232.7
	仁別S (")	4.63	23.6	49.3	17.4	54.8	45.6	2.1	7.8	11.8	29.3	241.7
	船川S (")	4.74	18.4	51.0	18.9	92.2	80.8	3.3	13.7	20.0	28.1	326.4
	本山S (")	4.81	15.5	43.9	15.7	56.0	47.6	4.2	8.4	12.4	24.5	228.3

表4 非海塩粒子の平均濃度

期間	項目	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	nss-K ⁺	nss-Ca ²⁺	nss-Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Total
		μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ	μeq/ℓ
平成3年度	中通S (5月~10月)	46.7	12.0	0.9	11.3	1.5	34.9	107.3
	仁別S (")	39.5	12.8	0.9	7.0	1.3	22.5	83.9
	本山S (")	38.0	11.6	2.5	7.5	0.5	19.1	79.1
平成4年度	中通W (11月~12月)	75.0	18.6	1.1	45.3	1.9	34.7	176.6
	仁別W (")	65.0	15.8	1.4	7.9	-	20.8	111.0
	本山W (")	57.2	15.4	1.9	8.6	-	21.0	104.1
平成4年度	中通S (5月~10月)	47.7	16.2	1.4	13.9	1.7	34.8	115.7
	仁別S (")	43.8	17.4	1.1	5.9	1.4	29.3	98.9
	船川S (")	41.3	18.9	1.6	10.2	1.6	28.1	101.7
本山S (")	38.2	15.7	3.2	6.4	1.5	24.5	89.5	

*-は負の値を示す

は少なかった。全試料による Na^+ (mg/ℓ) に対する Cl^- (mg/ℓ) の比は、1.790と海塩の組成比1.798に近いことから、 Na^+ を指標として各成分における非海塩成分量を計算し、表4に示した。中通では、 nss-SO_4^{2-} ($47.7\mu\text{eq}/\ell$)、 nss-Ca^{2+} ($13.9\mu\text{eq}/\ell$)、 NH_4^+ ($34.8\mu\text{eq}/\ell$) が、他の地点と比べ最も高濃度であった。これら非海塩成分の総量は、中通 ($116\mu\text{eq}/\ell$) が最も高く、本山 ($90\mu\text{eq}/\ell$) が最も少なかった。

本調査での、降水中の平均成分濃度を、平成3年度の同時期と比較すると、 nss-SO_4^{2-} では、中通、本山中、ほぼ同じであったが、仁別では10%ほど高い濃度となっており、 NO_3^- は、中通、仁別、船川とも30%ほど高い濃度であった。 nss-Ca^{2+} は、中通で20%ほど高い濃度であったが、逆に仁別、本山では15%ほど低い濃度であった。 NH_4^+ は、中通で同じであったが、仁別、本山で30%ほど高い濃度であった。

3.2 ウオッシュアウトに関する考察

非海塩成分の主たる発生源と考えられる『中通』と、中通のバックグラウンド地としての『本山』の平均的非海塩成分濃度を比較すると、表5のようになる。表からわかるように、平成4年度結果も平成3年度と同様、中通の nss-SO_4^{2-} 、 nss-Ca^{2+} 、 nss-Mg^{2+} 、 NH_4^+ の濃度が、高所である本山よりも高かった。このことから、平成3年度に引き続き中通では、これらの成分の比較的多くの量が、ウオッシュアウトにより取り込まれていることが示唆された。平成3年度と4年度を比較すると、両地点における濃度、中通/本山の比率にそれほど大きな変化はなかった。

前述のように、各地点における降水量には多少の差はあるものの、週毎の変動は似た傾向があり、中通、仁別、船川、本山の測定地点では、同一の雨雲によりもたらされる降雨が多いと考えることができる。ここで、高所である本山では、ウオッシュアウトによる取

表5 中通と本山の比較

イオン項目	時期		夏 期				冬 期		
	項目		平成3年度		平成4年度		平成3年度		
	地点		平均濃度 $\mu\text{eq}/\ell$	濃度比	平均濃度 $\mu\text{eq}/\ell$	濃度比	平均濃度 $\mu\text{eq}/\ell$	濃度比	
	中通	本山	中通 / 本山	中通 / 本山	中通 / 本山	中通 / 本山	中通	本山	中通 / 本山
nss-SO_4^{2-}	46.7	38.0	1.23	47.7	38.2	1.25	75.0	57.2	1.31
NO_3^-	12.0	11.6	1.03	16.2	15.7	1.03	18.6	15.4	1.21
nss-K^+	0.9	2.5	0.36	1.4	3.2	0.44	1.1	1.9	0.58
nss-Ca^{2+}	11.3	7.2	1.57	13.9	6.4	2.17	45.3	8.6	5.27
nss-Mg^{2+}	1.5	0.5	3.00	1.7	1.5	1.13	1.9	-	-
NH_4^+	34.9	19.1	1.83	34.8	24.5	1.42	34.7	21.0	1.65

り込みが無く、且つ低地である中通（或いは仁別、船川）の降水のレインアウトによる濃度が等しいと仮定すると、中通（或いは仁別、船川）でのウオッシュアウトによる取り込みがない場合には、両地点の降水は全く同じ成分組成をもつことから、各成分濃度における地点間の関係は、傾き； $K=1$ 、相関係数； $r=1$ となる。

そこで、高所である本山をバックグラウンド

として、中通、仁別および船川における降雨中の非海塩成分濃度を検体毎にプロットし、相関散布図を作成した（解析の精度を高めるために、平成3年度のデータと4年度のデータを合わせ、先の解析の再現性を検討した。なお、標準偏差士3σから外れたデータは、異常値として棄却した）。この結果を、表6および図5.1～図5.4に示した。

表6 地点間相関（その1）

季節	イオン項目	年度	平成3年・4年度							
		地点	中通-本山		中通-本山		仁別-本山		船川-本山	
		係数	傾き (K)	相関係数 (r)	傾き (K)	相関係数 (r)	傾き (K)	相関係数 (r)	傾き (K)	相関係数 (r)
夏	nss-SO ₄ ²⁻		0.43	0.60**	0.42	0.73**	0.66	0.88**	0.59	0.90**
	NO ₃		0.94	0.87**	0.92	0.80**	0.98	0.83**	0.80	0.91**
	nss-Ca ²⁺		0.24	0.63**	0.39	0.64**	0.82	0.73**	0.75	0.87**
	NH ₄ ⁺		0.27	0.35	0.35	0.48**	0.62	0.65**	0.61	0.75**
冬	nss-SO ₄ ²⁻		0.35	0.36	-	-	-	-	-	-
	NO ₃		1.21	0.83**	-	-	-	-	-	-
	nss-Ca ²⁺		0.02	0.66	-	-	-	-	-	-
	NH ₄ ⁺		0.82	0.85**	-	-	-	-	-	-

**は危険率1%で有意

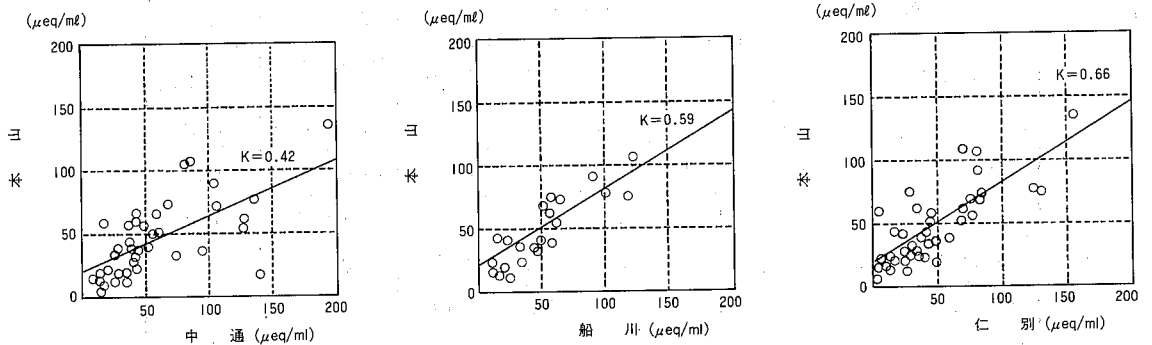


図5.1 nss-SO₄²⁻の相関散布図

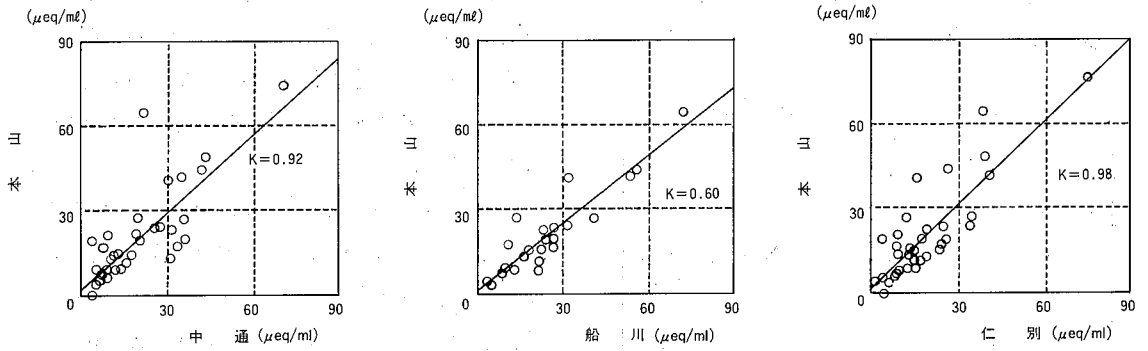


図 5.2 NO_3^- の相関散布図

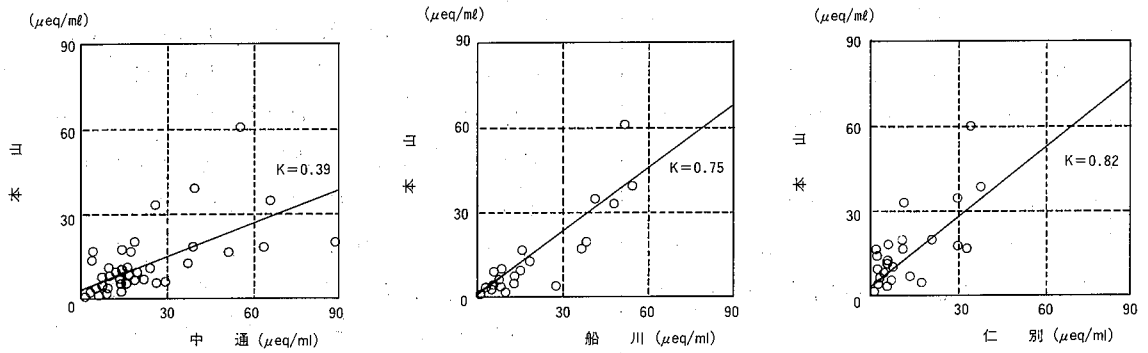


図 5.3 nss-Ca^{2+} の相関散布図

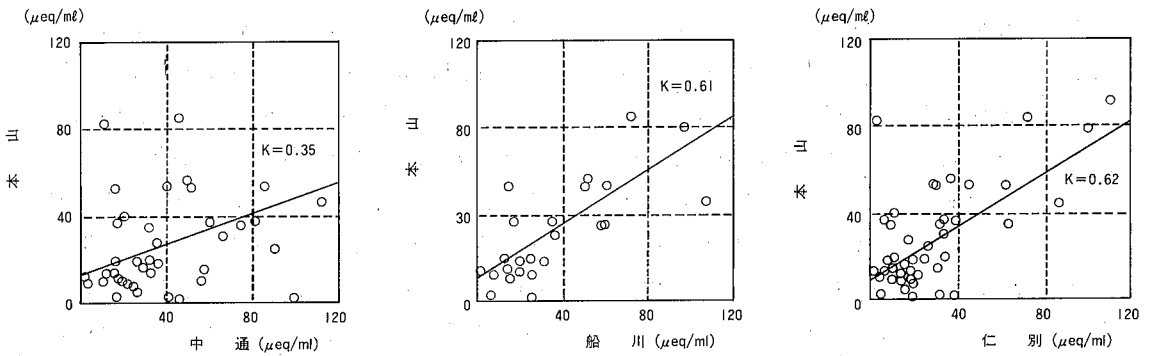


図 5.4 NH_4^+ の相関散布図

相関係数および最小二乗法による傾きKについては、つぎのように考えることができる³⁾。

◎ 相関がある場合

傾きKが1に近いとき

レインアウトにより大部分が取り込まれている

傾きKが1より小さいとき

レインアウトとウオッシュアウトの両方の取り込み方が寄与している。Kが小さいほどウオッシュアウトの寄与が大きい

相関係数rが小さいほどウオッシュアウトによる取り込みの寄与が大きい

◎ 相関がない場合

ウオッシュアウトによる取り込みが大きな寄与をし、局地的な取り込みが起きている

-SO₄²⁻およびNH₄⁺は、傾き(K=0.59および0.61)が小さく、船川では、上空650m以降に降水中に取り込まれるこれらの量が多く、ウオッシュアウトによる影響が比較的大きいものと考えられる。

仁別一本山間における、nss-SO₄²⁻は相関は高かったが(r=0.88)、傾き(K=0.66)が小さく、ウオッシュアウトによる影響が比較的大きいと考えられた。NO₃⁻は、相関(r=0.83)が良く、傾き(K=0.98)が1に近いことから、レインアウトによる取り込みと考えられた。nss-Ca²⁺は、比較的相関がよく(r=0.73)、傾き(K=0.82)が1に近かった。表4の年平均値から平成3年度、4年度の仁別/本山の値はそれぞれ1.07、1.08であり、さらに、散布図では30μeq/ml以下と中通、船川に比べ低濃度の分布が多いことから、ウオッシュアウトによる取り込みは小さいと考えられる。NH₄⁺では、ばらつきが大きく相関が低いことから、ウオッシュアウトによる影響が大きいと考えられる。

3.2.1 地点間相関(その1)

中通一本山間における、NO₃⁻は相関がよく(r=0.80)、傾き(K=0.92)が1に近いことからレインアウトの寄与が高いと考えられる。nss-SO₄²⁻は、相関(r=0.73)は比較的良いが、傾き(K=0.42)は小さく、ウオッシュアウトによる取り込みの影響が大きいと考えられる。nss-Ca²⁺(r=0.64、K=0.39)、NH₄⁺(r=0.48、K=0.35)は相関係数r、傾きKが共に小さいことから、ウオッシュアウトによる影響が大きいと考えられる。

船川一本山間における、nss-SO₄²⁻、NO₃⁻、nss-Ca²⁺、NH₄⁺は、図からもわかるように良い相関が認められた。しかし、nss

3.2.2 地点間相関(その2)

中通と仁別および船川の降水中の非海塩成分の相関散布図の結果を、図6および表7に示した。両地点ともnss-SO₄²⁻は、相関が高く(r=0.9)、傾き(K=0.7)が小さかったことから、中通ではウオッシュアウトにより取り込まれる成分量が、近隣地域である仁別、船川よりも多いと考えられる。NO₃⁻は、相関が高く(r=約0.9)、傾き(K)も1に近いことから、降水成分濃度に地点間の差がないことがわかる。さらに、3.2.1の結果と合わせて考えると、やはりレインアウトによる取り込みと考えることができる。nss-Ca²⁺、NH₄⁺は、傾きが小さく相関も低いことから、中通

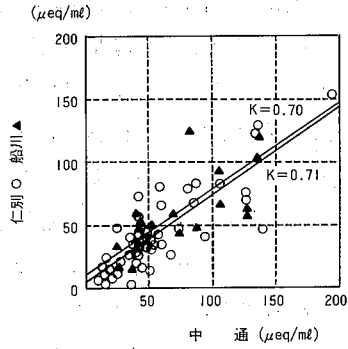


図 6.1 nss-SO₄²⁻の相関散布図

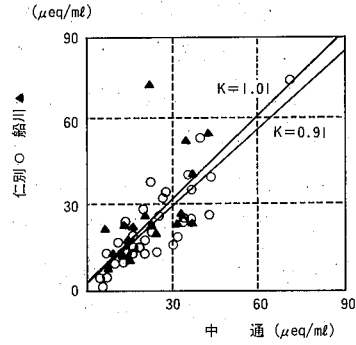


図 6.2 NO₃⁻の相関散布図

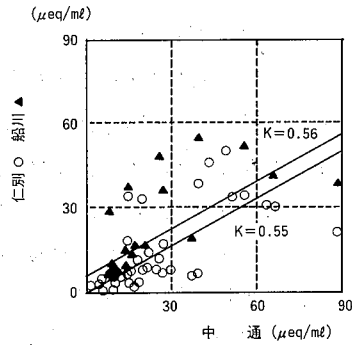


図 6.3 nss-Ca²⁺の相関散布図

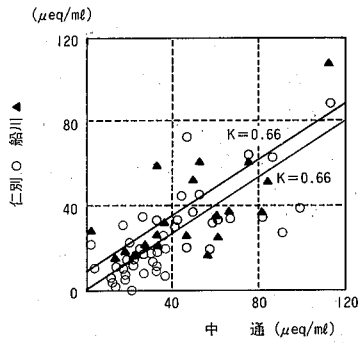


図 6.4 NH₄⁺の相関散布図

表 7 地点間相関 (その 2)

季節	イオン項目	年度	平成 3 年度		平成 3 年・4 年度			
		地点	中通-仁別		中通-仁別		中通-船川	
		係数	傾き (K)	相関係数 (R)	傾き (K)	相関係数 (R)	傾き (K)	相関係数 (R)
夏 期	nss-SO ₄ ²⁻		0.62	0.83**	0.70	0.90**	0.71	0.90**
	NO ₃ ⁻		1.04	0.95**	0.91	0.88**	1.01	0.86**
	nss-Ca ²⁺		0.59	0.82**	0.55	0.82**	0.56	0.68**
	NH ₄ ⁺		0.58	0.83**	0.66	0.84**	0.66	0.80**
冬 季	nss-SO ₄ ²⁻		0.74	0.72	-	-	-	-
	NO ₃ ⁻		0.90	0.94**	-	-	-	-
	nss-Ca ²⁺		0.06	0.37	-	-	-	-
	NH ₄ ⁺		0.73	0.85**	-	-	-	-

**は危険率 1% で有意

でのウォッシュアウトにより取り込まれた量は、局地的な影響が大きいと考えられた。ウォッシュアウトによる影響が大きいと思われるこれらの成分のうち、 $nss-SO_4^{2-}$ は、図からもわかるように相関がよいことから、仁別、船川でウォッシュアウトにより取り込まれた $nss-SO_4^{2-}$ は、中通と同じような挙動を示しているものと考えることができ、中通で発生した $nss-SO_4^{2-}$ が、広範囲に拡散している可能性が考えられる。

以上をまとめると、各地点での降水成分の取り込み方については、表8のようになる。

市街地である中通では、 $nss-SO_4^{2-}$ 、 $nss-Ca^{2+}$ 、 NH_4^+ は、ウォッシュアウトによる取り込みの寄与の大きく、 NO_3^- はレインアウトによるものと考えられる。一方、仁別、船川では、各成分ともレインアウトによる取り込みの寄与が方が大きいと考えられたが、その中でも $nss-SO_4^{2-}$ および NH_4^+ は、ウォッシュアウトによる影響が比較的大きいものと考えられた。

3.3 粒子状粉じんの調査結果の概要

粒子状粉じんの調査結果は、表9～表12に示したとおりである。期間中の平均粉じん量は中通 $22\mu g/m^3$ 、仁別が $14\mu g/m^3$ 、船川 $19\mu g/m^3$ と中通が最も多く、このうち可溶性成分は、中通 $6.8\mu g/m^3$ (31%)、仁別 $5.6\mu g/m^3$ (40%)、船川 $8.0\mu g/m^3$ (42%)であった。これら可溶性成分のステージ別の平均値はステージ0に5～10%、ステージ4に30～40%、ステージBFに50～55%と微小粒子側に多かった。アンダーセンエアースンプラーで採取される粉じんは $2\mu m$ を境にして、 $2\mu m$ 以上の粗大粒子は、機械的粉砕や自然発生源から生じた粒子、 $2\mu m$ 以下の微小粒子は、燃焼過程や大気化学反応により生じる二次生成粒子といわれており⁴⁾、可溶性成分のうち半分以上は微小粒子側に存在していた。

$Cl^- (\mu eq/l) / Na^+ (\mu eq/l)$ の平均は、中通のステージ4で0.86、仁別のステージ0で0.79と海塩の組成比1よりは幾分低かった。ステージ4およびステージBFの Na^+

表8 各地点における降水成分の取り込まれ方

地点 項目	中 通	仁 別	船 川	中通の近隣地域への影響
$nss-SO_4^{2-}$	レインアウト ∧ ウォッシュアウト	レインアウト ∨ ウォッシュアウト	レインアウト ∨ ウォッシュアウト	中通で発生する $nss-SO_4^{2-}$ が、広域的に拡散している可能性がある。
NO_3^-	レインアウト	レインアウト	レインアウト	—
$nss-Ca^{2+}$	レインアウト ∧ ウォッシュアウト	レインアウト	レインアウト ∨ ウォッシュアウト	局地的な影響と考えられる。
NH_4^+	レインアウト ∧ ウォッシュアウト	レインアウト ∨ ウォッシュアウト	レインアウト ∨ ウォッシュアウト	—

は、二次生成粒子に起因するものも含まれるという報告があるが⁴⁾⁵⁾、仮にNa⁺を指標とした海塩量から、各ステージ毎に海塩粒子量の含有率を計算すると、ステージ0およびステージ4では、中通ステージ0が70%であった。他は、80%をしめていた。ステージBFでは、中通18%、船川16%、仁別14%、ステージBFにおける量は大部分が海塩以外に起因する粒子といえる。

SO₄²⁻は、ステージBFに最も多く、80%以上が微小粒子であった。NO₃⁻はステージ4に最も多く仁別、船川では90%前後がこのステージにあったが、中通では、ステージ4

に65%、ステージBFに33%で微小粒子側の比率が高かった。門脇ら⁶⁾の報告に寄れば、粒子状粉じんのNO₃⁻は、微小粒子ではHNO₃とNH₃(g)の反応により生じたNH₄NO₃が、粗大粒子では、HNO₃と海塩粒子との反応によるNaNO₃が存在すると報告されている。このことから、中通ではNH₄NO₃が比較的多く存在していると考えられる。Cl⁻、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺はステージ0とステージ4の粗大粒子側に多く、80%がこのステージに分布していた。K⁺は、ステージBFに多かった。NH₄⁺は95%以上がステージBFに含まれていた。

表9 粉じん調査結果

ステージ	地点名	採取開始	採取終了	粉じん量 μg/m ³	SO ₄ ²⁻ ng/m ³	NO ₃ ⁻ ng/m ³	Cl ⁻ ng/m ³	Na ⁺ ng/m ³	K ⁺ ng/m ³	Ca ²⁺ ng/m ³	Mg ²⁺ ng/m ³	NH ₄ ⁺ ng/m ³
0	中通	92/09/28	92/10/05	1.2	35.1	35.1	119.9	71.5	6.3	58.9	9.1	4.2
		92/10/05	92/10/12	2.8	18.9	10.5	35.7	30.1	1.4	22.4	3.5	3.5
		92/10/12	92/10/19	2.4	31.5	16.4	24.0	17.8	6.2	54.1	4.1	6.8
		92/10/19	92/10/26	1.5	48.1	12.2	148.0	87.7	7.9	44.6	12.2	1.4
		92/10/26	92/11/02	2.1	89.5	10.5	261.4	170.2	10.5	57.9	19.3	12.3
		92/11/02	92/11/09	2.0	63.6	18.9	216.6	142.7	10.3	60.2	17.2	5.2
		92/11/09	92/11/16	2.6	99.0	23.4	214.2	194.4	12.6	48.6	19.8	3.6
		92/11/16	92/11/24	2.4	123.6	16.8	300.6	195.3	13.7	50.4	19.8	3.1
		平均		2.1	64.6	18.0	167.1	114.8	8.7	49.7	13.2	5.0
	仁別	92/09/28	92/10/05	1.0	16.8	12.6	72.7	56.6	3.5	10.5	6.3	3.5
		92/10/05	92/10/12	0.9	13.4	12.0	42.9	38.0	2.8	9.1	3.5	3.5
		92/10/12	92/10/19	0.4	9.6	8.3	14.5	14.5	4.8	15.2	4.1	2.1
		92/10/19	92/10/26	0.5	23.0	9.3	69.0	43.1	4.3	13.7	7.2	1.4
		92/10/26	92/11/02	0.8	38.6	7.0	151.1	110.7	8.8	15.8	12.3	3.5
		92/11/02	92/11/09	0.8	29.2	10.3	125.4	84.2	5.2	15.5	10.3	3.4
		92/11/09	92/11/16	0.9	30.4	19.7	98.3	123.3	25.0	19.7	8.9	3.6
		92/11/16	92/11/24	0.5	51.9	15.3	143.4	119.0	7.6	12.2	12.2	3.1
		平均		0.7	27.1	11.8	90.6	74.4	7.7	13.9	8.2	3.0
	船川	92/09/28	92/10/05	2.7	39.3	18.2	136.0	95.4	7.7	49.1	11.9	5.6
		92/10/05	92/10/12	3.5	40.6	25.2	160.5	116.3	9.8	38.5	12.6	4.9
		92/10/12	92/10/19	0.6	23.2	15.4	42.1	30.2	4.9	19.7	4.9	4.2
		92/10/19	92/10/26	1.8	43.1	17.4	98.7	81.3	7.0	30.6	11.1	3.5
		92/10/26	92/11/02	0.1	53.2	15.9	239.2	163.0	10.6	26.6	17.7	3.5
		92/11/02	92/11/09	1.8	43.5	13.9	191.3	128.7	8.7	26.1	8.7	3.5
		92/11/09	92/11/16	1.5	59.0	33.0	227.4	164.9	13.9	27.8	15.6	3.5
		92/11/16	92/11/24	2.3	86.4	34.0	365.8	197.6	18.5	32.4	20.1	3.1
		平均		1.8	49.2	21.9	185.6	123.4	10.3	31.4	12.9	4.0

ステージ	地点名	採取開始	採取終了	粉じん量 μg/m ³	SO ₄ ²⁻ ng/m ³	NO ₃ ⁻ ng/m ³	Cl ⁻ ng/m ³	Na ⁺ ng/m ³	K ⁺ ng/m ³	Ca ²⁺ ng/m ³	Mg ²⁺ ng/m ³	NH ₄ ⁺ ng/m ³
4	中通	92/09/28	92/10/05	2.3	265.7	347.1	883.5	758.7	48.4	110.8	87.6	17.5
		92/10/05	92/10/12	8.2	45.5	56.7	149.8	102.2	9.8	39.2	12.6	5.6
		92/10/12	92/10/19	7.2	214.9	329.3	141.0	182.8	35.6	136.2	30.1	22.6
		92/10/19	92/10/26	6.8	301.8	413.2	1,099.5	758.2	43.8	132.2	91.3	7.0
		92/10/26	92/11/02	7.1	570.3	408.8	1,733.6	1,244.1	64.9	193.0	156.2	31.6
		92/11/02	92/11/09	8.8	426.2	483.0	1,615.6	1,010.6	53.3	154.7	127.2	34.4
		92/11/09	92/11/16	10.8	561.6	716.4	1,573.1	1,200.5	64.8	243.0	149.4	36.0
		92/11/16	92/11/24	9.4	589.0	485.2	1,507.5	1,278.6	74.8	186.2	152.6	45.8
		平均		7.6	375.1	405.3	1,092.3	822.8	49.8	149.8	101.5	25.5
	仁別	92/09/28	92/10/05	6.7	177.6	248.2	724.9	590.0	39.1	37.0	65.0	3.5
		92/10/05	92/10/12	4.9	199.2	366.7	621.4	483.5	50.7	77.4	59.1	9.9
		92/10/12	92/10/19	4.9	113.0	261.1	172.9	150.8	39.3	42.7	24.1	7.6
		92/10/19	92/10/26	4.1	191.2	348.6	765.5	484.5	36.7	52.5	64.0	11.5
		92/10/26	92/11/02	6.3	349.5	402.2	1,431.5	918.6	50.9	89.6	112.4	15.8
		92/11/02	92/11/09	6.2	316.1	420.9	1,185.3	826.3	44.7	85.9	101.4	15.5
		92/11/09	92/11/16	7.7	398.4	709.3	805.8	793.3	53.6	159.0	100.1	23.2
		92/11/16	92/11/24	6.2	379.8	439.3	1,569.6	953.3	45.8	106.8	114.4	24.4
		平均		5.9	267.4	399.4	921.6	655.3	45.1	81.7	80.6	14.1
	船川	92/09/28	92/10/05	8.8	309.9	369.5	1,321.7	985.8	53.3	87.6	110.8	16.1
		92/10/05	92/10/12	7.2	356.0	550.1	1,321.0	988.2	59.6	132.5	113.5	7.7
		92/10/12	92/10/19	5.2	207.8	460.6	276.6	313.1	36.5	70.2	42.1	19.7
		92/10/19	92/10/26	6.4	677.9	1,035.9	1,901.5	858.6	55.6	121.7	111.2	24.3
		92/10/26	92/11/02	8.3	508.5	503.2	1,908.4	1,385.6	67.3	131.1	164.8	28.4
		92/11/02	92/11/09	7.8	454.0	600.1	2,014.1	1,210.6	62.6	125.2	149.6	38.3
		92/11/09	92/11/16	10.4	590.2	888.8	2,034.4	1,360.9	71.2	192.7	171.9	60.8
		92/11/16	92/11/24	9.4	583.5	531.0	2,553.1	1,546.7	80.3	176.0	185.2	43.2
		平均		8.0	463.4	617.0	1,682.0	1,088.8	61.1	130.5	132.0	30.1
BF	中通	92/09/28	92/10/05	2.9	1,181.5	108.0	39.3	147.9	68.7	54.0	15.4	398.3
		92/10/05	92/10/12	10.6	364.0	120.4	42.7	93.8	23.1	26.6	11.2	171.5
		92/10/12	92/10/19	21.7	2,189.1	249.9	37.0	68.5	167.7	78.7	10.3	586.0
		92/10/19	92/10/26	14.6	1,765.0	269.5	93.4	132.2	106.4	61.1	16.5	484.4
		92/10/26	92/11/02	10.6	2,274.1	140.4	38.6	187.8	98.3	66.7	22.8	824.7
		92/11/02	92/11/09	12.3	2,050.4	285.3	46.4	194.2	101.4	55.0	22.3	802.6
		92/11/09	92/11/16	16.7	3,842.8	349.2	54.0	237.6	174.6	73.8	30.6	1,276.1
		92/11/16	92/11/24	12.2	3,088.3	196.8	54.9	177.0	120.5	50.4	21.4	1,031.5
		平均		12.7	2,107.9	214.3	50.7	154.9	107.8	58.1	18.8	701.7
	仁別	92/09/28	92/10/05	7.4	924.8	27.3	14.0	103.5	28.0	11.9	9.8	342.5
		92/10/05	92/10/12	3.9	1,825.5	21.8	15.5	107.0	46.4	26.0	12.7	570.7
		92/10/12	92/10/19	10.4	1,648.0	31.0	12.0	40.6	102.6	22.0	5.5	460.8
		92/10/19	92/10/26	7.0	1,433.2	28.8	20.8	89.8	58.2	20.1	12.2	410.4
		92/10/26	92/11/02	6.2	1,803.8	28.1	26.3	142.3	65.0	21.1	15.8	667.4
		92/11/02	92/11/09	6.3	1,755.6	39.5	18.9	139.1	53.3	18.9	15.5	663.1
		92/11/09	92/11/16	10.2	3,242.7	42.9	23.2	142.9	114.3	37.5	19.7	1,088.0
		92/11/16	92/11/24	8.4	2,885.9	35.1	16.8	146.4	111.3	27.5	19.8	893.8
		平均		7.5	1,954.7	31.9	18.4	114.5	73.1	23.2	14.0	641.2
	船川	92/09/28	92/10/05	9.2	1,164.6	61.0	37.9	138.8	54.0	42.8	15.4	389.1
		92/10/05	92/10/12	8.1	1,796.9	60.3	21.0	179.4	70.1	44.2	22.4	541.0
		92/10/12	92/10/19	14.5	2,377.2	90.6	16.8	68.8	157.3	27.4	7.7	597.5
		92/10/19	92/10/26	8.4	1,669.3	100.8	20.9	102.9	72.3	32.0	12.5	464.4
		92/10/26	92/11/02	7.3	1,952.7	62.0	24.8	166.6	79.7	26.6	19.5	742.4
		92/11/02	92/11/09	7.2	1,758.4	113.1	43.5	175.7	69.6	26.1	19.1	702.7
		92/11/09	92/11/16	12.5	4,051.5	102.4	33.0	194.4	163.2	41.7	27.8	1,225.5
		92/11/16	92/11/24	9.2	3,013.1	72.5	21.6	185.2	115.8	32.4	21.6	970.9
		平均		9.5	2,237.8	82.8	27.4	152.0	98.1	34.1	18.3	709.0

表 10 降水調査結果

地点名	採取開始	採取終了	降水量 mm	pH	EC μs/cm	SO ₄ ²⁻ mg/ℓ	NO ₃ ⁻ mg/ℓ	Cl ⁻ mg/ℓ	Na ⁺ mg/ℓ	K ⁺ mg/ℓ	Ca ²⁺ mg/ℓ	Mg ²⁺ mg/ℓ	NH ₄ ⁺ mg/ℓ
中通	92/09/28	92/10/05	16.5	5.43	19.3	2.29	0.95	2.31	1.34	0.11	0.46	0.19	0.60
	92/10/05	92/10/12	23.7	5.46	8.4	1.00	0.42	0.76	0.39	0.03	0.21	0.05	0.25
	92/10/12	92/10/19	0.0										
	92/10/19	92/10/26	40.8	4.99	45.8	2.60	0.58	8.91	5.03	0.31	0.44	0.65	0.33
	92/10/26	92/11/02	52.6	4.53	58.9	3.72	1.24	8.66	5.02	0.27	0.48	0.66	0.66
	92/11/02	92/11/09	35.5	4.48	55.8	3.95	1.66	7.66	4.17	0.27	0.47	0.55	0.70
	92/11/09	92/11/16	47.7	4.71	56.6	3.93	1.03	9.87	5.38	0.29	0.53	0.70	0.59
	92/11/16	92/11/24	51.4	4.72	52.1	3.51	0.83	9.42	5.10	0.28	0.47	0.66	0.54
	平均		268.2	4.71	47.9	3.25	0.99	7.84	4.35	0.25	0.45	0.57	0.54
仁別	92/09/28	92/10/05	17.6	4.91	15.6	1.54	0.80	0.92	0.55	0.07	0.17	0.09	0.16
	92/10/05	92/10/12	28.3	5.24	16.1	0.74	0.25	3.03	1.69	0.07	0.09	0.21	0.03
	92/10/12	92/10/19	3.7	4.52	31.3	2.37	2.01	1.54	1.01	0.23	0.23	0.12	0.49
	92/10/19	92/10/26	40.5	4.79	42.1	2.12	0.54	7.80	4.31	0.21	0.26	0.53	0.12
	92/10/26	92/11/02	52.3	4.58	55.6	3.20	1.05	9.71	5.33	0.29	0.36	0.65	0.35
	92/11/02	92/11/09	46.8	4.42	41.4	2.67	1.36	4.18	2.47	0.18	0.24	0.31	0.35
	92/11/09	92/11/16	55.5	4.55	43.7	2.90	0.93	5.96	3.47	0.22	0.32	0.44	0.35
	92/11/16	92/11/24	70.5	4.60	44.9	2.67	0.79	7.00	3.48	0.21	0.33	0.43	0.34
	平均		315.2	4.62	41.2	2.49	0.88	6.19	3.39	0.20	0.28	0.42	0.28
船川	92/09/28	92/10/05	13.0	5.28	54.7	3.71	1.00	11.21	5.98	0.43	0.54	0.82	1.07
	92/10/05	92/10/12	28.6	5.53	7.6	0.63	0.39	0.95	0.53	0.07	0.22	0.08	0.05
	92/10/12	92/10/19	0.0										
	92/10/19	92/10/26	33.2	4.91	47.6	2.36	0.81	9.37	5.19	0.31	0.32	0.61	0.33
	92/10/26	92/11/02	50.6	4.39	57.7	3.51	1.63	8.24	4.47	0.21	0.35	0.55	0.58
	92/11/02	92/11/09	34.4	4.54	56.7	3.33	0.97	9.47	5.23	0.25	0.34	0.62	0.39
	92/11/09	92/11/16	37.3	4.67	51.0	2.91	1.10	8.92	4.92	0.24	0.41	0.60	0.38
	92/11/16	92/11/24	69.4	4.62	72.7	3.54	1.19	13.45	7.80	0.33	0.43	0.95	0.44
	平均		266.5	4.64	53.8	2.97	1.09	9.35	5.24	0.26	0.37	0.64	0.43
本山	92/09/28	92/10/05	21.1	5.34	30.0	2.14	0.84	4.33	2.43	0.38	0.27	0.32	0.63
	92/10/05	92/10/12	42.2	6.36	13.0	1.33	0.33	1.31	0.88	0.10	0.06	0.08	0.24
	92/10/12	92/10/19	0.0										
	92/10/19	92/10/26	40.5	5.84	36.7	2.90	1.31	6.71	3.72	0.68	0.31	0.52	0.66
	92/10/26	92/11/02	56.1	4.42	50.2	2.89	1.19	7.62	3.67	0.25	0.33	0.48	0.33
	92/11/02	92/11/09	30.6	4.48	56.5	3.55	1.13	9.39	5.11	0.35	0.39	0.65	0.35
	92/11/09	92/11/16	53.5	4.61	47.3	2.90	1.21	7.06	4.12	0.28	0.38	0.55	0.36
	92/11/16	92/11/24	88.2	4.61	51.0	2.59	0.92	9.08	4.87	0.26	0.29	0.63	0.25
	平均		332.1	4.69	42.9	2.63	1.00	6.96	3.77	0.31	0.29	0.49	0.36

表 11 粉じん中の平均成分濃度

地点	ステージ	粉じん量 ng/m ³	SO ₄ ²⁻ neq/m ³	NO ₃ ⁻ neq/m ³	Cl ⁻ neq/m ³	Na ⁺ neq/m ³	K ⁺ neq/m ³	Ca ²⁺ neq/m ³	Mg ²⁺ neq/m ³	NH ₄ ⁺ neq/m ³	Cl/Na
中通	0	2.1	1.35	0.29	4.71	4.99	0.22	2.49	1.09	0.28	0.94
	4	7.6	7.81	6.54	30.81	35.77	1.27	7.49	8.35	1.42	0.86
	BF	12.7	43.91	3.46	1.43	6.73	2.76	2.91	1.55	38.98	0.21
	TOTAL	22.4	53.08	10.28	36.96	47.50	4.25	12.88	10.99	40.68	0.78
仁別	0	0.7	0.56	0.19	2.56	3.23	0.20	0.70	0.67	0.17	0.79
	4	5.9	5.57	6.44	26.00	28.49	1.15	4.09	6.63	0.78	0.91
	BF	7.5	40.72	0.51	0.52	4.98	1.87	1.16	1.15	35.62	0.10
	TOTAL	14.1	46.86	7.15	29.07	36.70	3.22	5.94	8.46	36.57	0.79
船川	0	1.8	1.03	0.35	5.24	5.37	0.26	1.57	1.06	0.22	0.98
	4	8.0	9.65	9.95	47.45	47.34	1.56	6.53	10.86	1.67	1.00
	BF	9.5	46.62	1.34	0.77	6.61	2.51	1.71	1.51	39.39	0.12
	TOTAL	19.3	57.30	11.64	53.46	59.31	4.34	9.80	13.43	41.28	0.90

表 12 ステージ毎の成分含有率

地点	ステージ	粉じん量 %	SO ₄ ²⁻ %	NO ₃ ⁻ %	Cl ⁻ %	Na ⁺ %	K ⁺ %	Ca ²⁺ %	Mg ²⁺ %	NH ₄ ⁺ %
中通	0	9.4	2.5	2.8	12.8	10.5	5.2	19.3	9.9	0.7
	4	33.9	14.7	63.6	83.4	75.3	29.9	58.2	76.0	3.5
	BF	56.7	82.7	33.6	3.9	14.2	64.8	22.6	14.1	95.8
	TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
仁別	0	5.0	1.2	2.7	8.8	8.8	6.1	11.7	8.0	0.5
	4	41.8	11.9	90.1	89.4	77.6	35.8	68.8	78.4	2.1
	BF	53.2	86.9	7.2	1.8	13.6	58.1	19.5	13.6	97.4
	TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
船川	0	9.3	1.8	3.0	9.8	9.0	6.1	16.0	7.9	0.5
	4	41.5	16.8	85.5	88.8	79.8	36.0	66.6	80.9	4.1
	BF	49.2	81.4	11.5	1.4	11.1	57.9	17.4	11.2	95.4
	TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

3.4 大気中粉じんと降水成分の関係

3.2で述べたように、本調査地点では、同一の雨雲によりもたらされる降雨が多いと考えることができ、ここで本山でのウオッシュア

ウトによる取り込みがないと仮定すると、降雨により高度650m以降で取り込まれる粉じんの量は、(1)式のように考えることができる。

$$\begin{array}{c}
 \boxed{\text{ウォッシュアウトにより取り込まれた非海塩成分量}} \\
 (\mu\text{g}/\text{m}^2)
 \end{array}
 = \frac{\boxed{\text{各地点での降水中の非海塩成分濃度}} \text{ (mg/}\ell\text{)} - \boxed{\text{本山での降水中の非海塩成分濃度}} \text{ (mg/}\ell\text{)}}{\boxed{\text{成分のグラム当量}} \text{ (g/eq)}} \times \boxed{\text{各地点での降水量}} \text{ (mm)} \times 10^6 \quad (1\text{式})$$

本山—船川では、海岸からの距離はほぼ等しく、地理的な違いは高度差のみと考えることができるので、観測された粉じん中の成分量と雨水中の成分量の比較が可能であるが、中通、仁別では海塩の量がかつとも本山より少ないことから上述の(1式)の値は、海塩にも多く含まれている SO_4^{2-} や Ca^{2+} では、負を示す場合が多い。即ち、本山でもウォッシュアウトで取り込まれる量があるため、海塩粒子を含めた比較は困難と考えられる。ここでは、 Na^+ を指標として非海塩成分量を算出し、その主たる発生源と考えられる中通での降水成分と粉じんの量について解析を行った。

中通での、粉じん中の非海塩成分量と、降水中的ウォッシュアウトにより取り込まれた非海塩成分の量(以下、単に『粉じん成分量』および『降水成分量』という)を、図7に示した。 nss-SO_4^{2-} は、降水成分量とステージBFの粉じん成分量に比例関係が認められることから、ウォッシュアウトによる取り込みが、粉じん成分量と関係することがわかる。 NO_3^- では、 $0\mu\text{eq}/\text{m}^2$ 付近に集中し、もしくは負の値をとることからウォッシュアウトによる取り込みは少ないものと考えられた。 nss-Ca^{2+} は、降水成分量が $200\mu\text{eq}$ 付近に集中していることから、ウォッシュアウトにより取り込まれた量は、概ね $200\mu\text{eq}$ と考えられる。そして $200\mu\text{eq}$ 付近のデータについては、ステ

ージ4に含まれる粉じん成分量と降水成分量に比例関係の傾向が認められることから、粉じん成分量が降水成分量に影響を与えていると考えられる。 NH_4^+ については、他の成分にみられるような傾向はなかった。大気中に存在する NH_4^+ は、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の塩の形態で存在するといわれており⁴⁾、当然 nss-SO_4^{2-} と同じ挙動を取るものと考えられたが、その傾向はみられなかった。これは、 $\text{NH}_4^+(\mu\text{eq}/\text{m}^2)/\text{nss-SO}_4^{2-}(\mu\text{eq}/\text{m}^2)$ が平均約1.4と2にならないことから、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 以外の CaSO_4 や Na_2SO_4 など⁴⁾の粒子状物質の存在が推測できる。

粗大粒子は、降雨に取り込まれ易い⁷⁾ことから、 NaNO_3 や nss-Ca^{2+} は、初期降雨に効率的に補集されると考えられる。一方、微小粒子にその大部分が存在する nss-SO_4^{2-} 、 NH_4^+ は、比較的降雨に補集され難く、後続降雨によってもウォッシュアウトにより補集されるためと考えられる。このことは、 NO_3^- と nss-Ca^{2+} は降水量が少なくても、降水に大部分が捕集されるため、降水成分量が一定量に集束すると思われるが、 nss-SO_4^{2-} 、 NH_4^+ は降水量と粉じん量の影響が大きいいため、捕捉される量は比較的範囲の広いものと思われる。

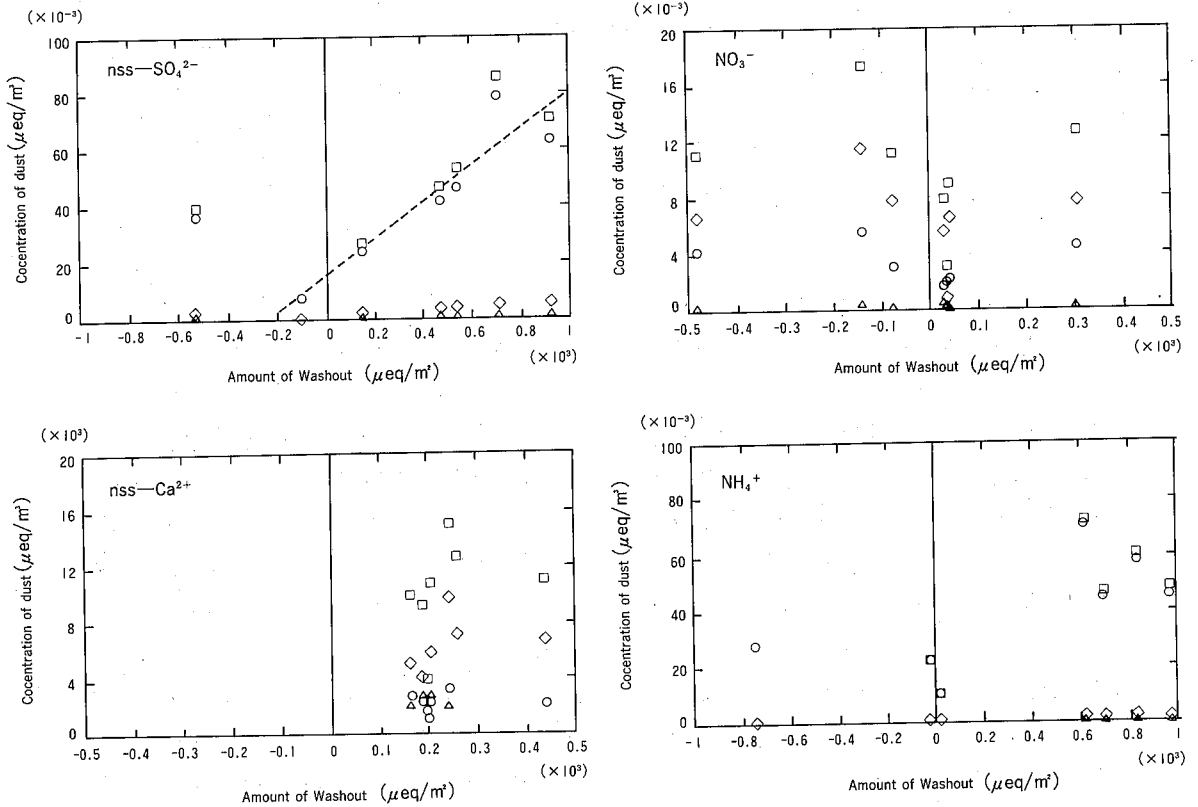


図7 非海塩成分の大気中濃度とウォッシュアウトによる取り込まれ量の関係

Δ ; Stage-0 \diamond ; Stage-4 \circ ; Stage-BF \square ; Total 調査地点: 中通

まとめ

酸性雨成分の取り込まれ方は、局地的な影響が大きいウォッシュアウトと、移流などの広域的影響によるレインアウトに区別される。ゆえに、酸性雨問題では、測定されたpHに影響を及ぼしているものが、局地的な影響か広域的影響かを把握しておくことが重要である。今回、秋田市周辺における降水中成分の取り込まれ方について解析を行った。

- (1) 標高約650mの山頂(本山)をバックグラウンド地とし、そこでの降水成分は全てレインアウトにより取り込まれたものと

仮定し、中通、船川、仁別の各地点での降水成分濃度を解析した結果つぎのような知見が得られた。

- 1) 降雨が同一の雨雲からもたらされることができると考えることができる比較的近隣の地域においては、降水中成分濃度の地点間の相関をみることによって、ウォッシュアウトによる影響の大きさを推察できる。これについては、平成3年度の単年度調査と平成3年及び平成4年度の2年間の調査で同様の結果が得られたことによ

て、解析の手法として有用であると
考えられた。

- 2) 中通での降水成分の取り込まれ方は、 NO_3^- はレインアウトにより取り込まれ、 nss-SO_4^{2-} 、 nss-Ca^{2+} 、 NH_4^+ は、ウオッシュアウトとレインアウトによる複合的な取り込まれ方をしており、ウオッシュアウトによる寄与が比較的大きいと考えられた。

船川、仁別の nss-SO_4^{2-} 、 NH_4^+ および船川の nss-Ca^{2+} は、ウオッシュアウトとレインアウトによる複合的な取り込まれ方を行っているが、その寄与はレインアウトによるところが大きい。そして、船川、仁別での nss-SO_4^{2-} は経済活動の活発な中通の影響を受けている可能性が考えられた。これに対し、各地点での nss-Ca^{2+} および NH_4^+ は、比較的小さい範囲の地域における局地的な影響によるものと考えられた。

- (2) 今回、新たにアンダーセンエアサンプラーを用い粒子状粉じん中と降水中の成分量の関係について解析を行った結果、つぎのような知見が得られた。

- 1) 中通では、 nss-SO_4^{2-} 、 nss-Ca^{2+} は、大気中の粒子状粉じん濃度とウオッシュアウトにより取り込まれた成分量に比例関係があった。このことから、地表付近の粒子状粉じん中の nss-SO_4^{2-} 、 nss-Ca^{2+} 濃度は、降水水中のその濃度に影響を及ぼしていることが確認された。
- 2) NH_4^+ は、ウオッシュアウトによる取り込まれ方をしておりと考えられ

たが、地表付近での粉じん中濃度との間に明確な傾向は認められなかった。 NH_4^+ は、大気中で $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 粒子として多く存在するといわれるが、これ以外の状態で存在する NH_4^+ の影響も大きいものと考えられ、粒径を更に細別し(ステージをもっと増やす)、 NH_4^+ の大気中での存在形態を解明する必要があると思われた。

- 3) 降水中の成分量と粒子状粉じん中の成分量の関係については、若干の傾向をみるにとどまったが、今回は、試料数が少ないことや季節的変動に付いては検討しなかったため、今後はこれらを含めより詳細な検討を行ってきたい。

参考文献

- 1) 酸性雨：土壌・植生への影響、環境庁水質保全局土壌農薬課監修 P151、(平成2年5月)
- 2) 酸性雨対策調査報告書、酸性雨対策検討会大気分科会 P49、(平成2年1月)
- 3) 秋田県環境技術センター年報、No.19、71 (1991)
- 4) 松本 光弘ら；田園都市地域におけるエアロゾルの無機イオン成分
大気汚染学会誌21 (6)、P501~P511、(1986)
- 5) 横浜市環境科学研究所環境研資料No.107：酸性雨に関する調査報告書、P85
- 6) Kadowaki, s.; Size distribution and chemical composition of atmospheric particulate nitrate in the Nagoya area, Atmos. environ., 11, P 671~675 (1977)
- 7) 鈴木武夫編；大気汚染の機構と解析、1版、産業図書、P136 (1980)

人工湖の水質汚濁機構解明に関する調査研究（第1報）

—萩形ダム、山瀬ダム—

加藤 潤 片野 登 高橋佐紀子

1 はじめに

秋田県では人工湖8箇所について、環境基準の類型（AA及びA）あてはめをしているが、萩形ダムを初めとして半数の4箇所において環境基準未達成の状態である。

現在、萩形ダムの水の一部は馬場目川に導水されており、八郎湖に流入している。八郎湖は窒素、リンの濃度も高く、富栄養化していることから、八郎湖の水質浄化を考えるうえからも、萩形ダムの水質汚濁機構の解明が急がれるところである。また、平成3年度には新たに山瀬ダムが誕生した。

そこで、人工湖がなぜ環境基準を達成できないか、その原因を解明するために、当センターでは、既存の萩形ダムと新規の山瀬ダムの水質等の変化について、継続的に調査研究を行うことにしている。本報では、調査初年度である、平成4年度の萩形ダム及び山瀬ダムの水質等の調査結果について報告する。

2 ダムの諸元等

萩形ダムは図1に示したとおり、米代川水系小阿仁川の北秋田郡上小阿仁村小阿仁に、重力式コンクリートダムの県営第1号として、昭和41年に建設された。

このダムの流域面積は86.7km²、総貯水量は1,495万m³、堤高61mであり、小阿仁川沿川の洪水被害を防除するとともに、杉沢発電所（馬場目川水系に位置し、最大出力15,500kwの発電所）に発電用水を送水しているダムである。平成4年の萩形ダムから小阿仁川への放流水

量は約3,700万m³、杉沢発電所への送水量は17,600万m³である¹⁾。

萩形ダム流域のほとんどは、適潤性褐色森林土で、残りは乾性褐色森林土で占められているが、土層が薄く²⁾、下が花崗岩類等³⁾の岩盤になっている所が大倉又沢流域で70%、赤沢流域で40%と多くみられ、小阿仁川及び萩形沢流域では20%となっている。樹木については、萩形ダム流域全体で、杉を主体とする

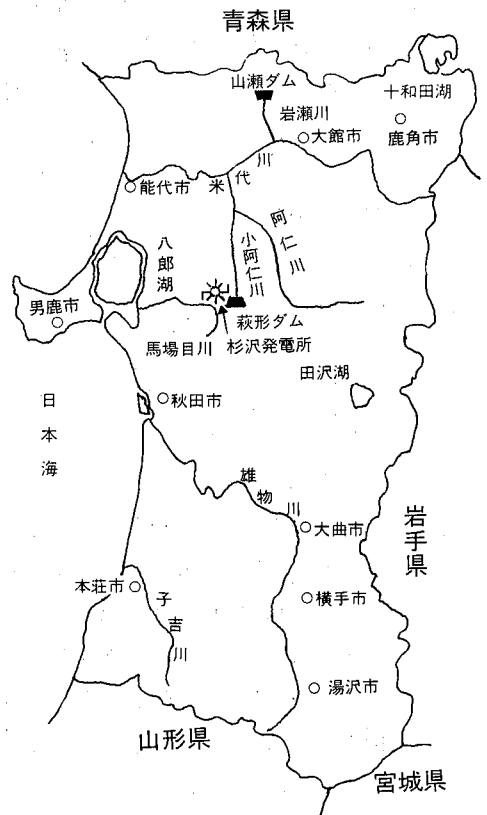


図1 位置図

針葉樹林が20%程度となっており、残りはナラ、イタヤカエデ等の広葉樹林で大部分を占めている²⁾。

一方、山瀬ダムは図1に示したとおり、米代川水系岩瀬川の北秋田郡田代町岩瀬に、中央コア型ロックフィルダムとして、平成3年に建設された。

このダムの流域面積は67.2km²、総貯水量は1,290万m³、堤高62mであり、岩瀬川沿川の洪水被害を防除し、下流既得用水の補給等流水の正常な機能の維持と増進を図り、さらに田代町、能代市に対し水道用水として、かつ工業用水として東北電力(株)能代火力発電所に対して取水を可能にした。また、山瀬発電所を建設し、最大出力2,100kwの発電を行うダムである。平成4年のダムからの放流量は約16,700万m³(発電13,100万m³、灌漑その他3,600万m³)である⁴⁾。

山瀬ダム流域は、85%が褐色森林土で、そのうち適潤性褐色森林土が71%、残りは主に乾性褐色森林土が占めている(適潤褐色森林土は、岩瀬川流域で68%、繋ノ沢流域で70%、内町沢流域で78%)⁵⁾。これら、森林褐色土の下は、流紋岩、凝灰岩、安山岩等になっている³⁾。樹木については、山瀬ダム流域全体で、杉を主体とする針葉樹林が45%となっており(針葉樹林は、岩瀬川流域で42%、繋ノ沢流域で77%、内町沢流域で21%)、残りはナラ、ブナ等の広葉樹林で占められている⁵⁾。

3 調査方法

3.1 調査期間

平成4年の5月、7月、9月、10月(年4回)

3.2 調査地点(図2、3に示す。)

萩形ダム 湖内3地点 各3層(表層、中層、

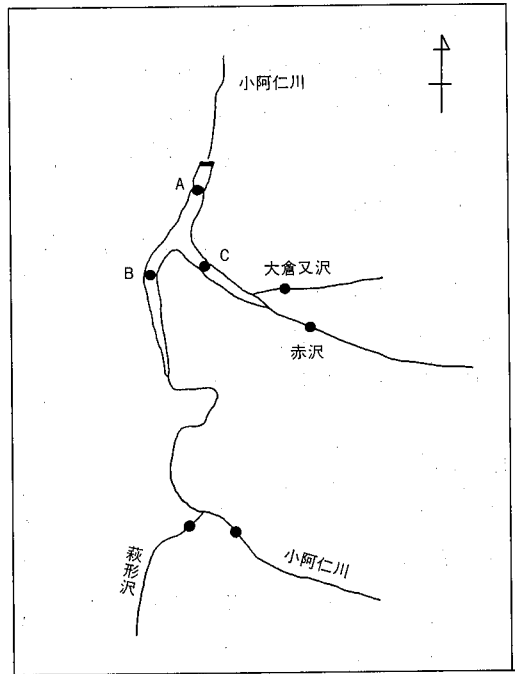


図2 萩形ダム調査地点

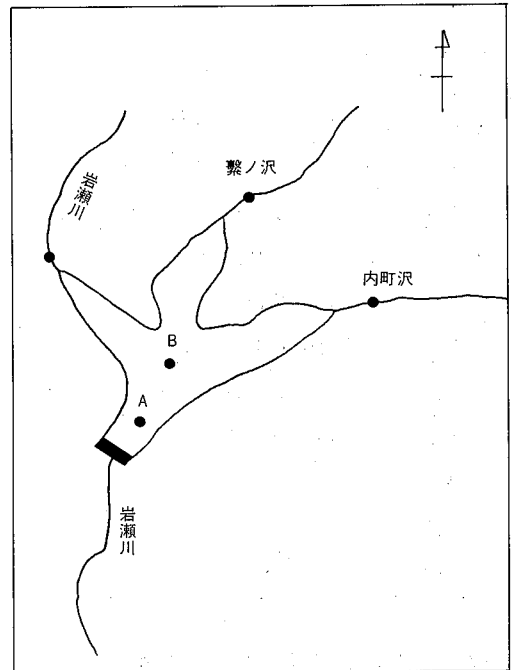


図3 山瀬ダム調査地点

下層)

流入河川 4 地点 (小阿仁川、萩形
 沢、大倉又沢、赤沢)

山瀬ダム 湖内 2 地点 各 3 層 (表層、中層、
 下層)

流入河川 3 地点 (岩瀬川、繫ノ沢、
 内町沢)

3.3 調査項目及び分析方法

調査項目及び分析方法は表 1 に示す。

表 1 水質の分析方法

項 目	分 析 方 法
導 電 率	JIS K0102 13
透 明 度	海洋観測指針 4.1 セッキー板
pH	JIS K0102 12.1
DO	JIS K0102 32.1
COD	JIS K0102 17
NH ₄ ⁺ -N	オートアナライザー法
NO ₂ ⁻ -N	"
NO ₃ ⁻ -N	"
T-N	環境庁告示 59 付表 7.1
PO ₄ ³⁻ -P	オートアナライザー法
T-P	環境庁告示 59 付表 8
クロロフィル a	海洋観測指針 9.6
SS	環境庁告示付表 6
TOC	JIS K0102 22.1
Cl ⁻	イオンクロマト法
Na ⁺	原子吸光法
K ⁺	"
Ca ²⁺	"
Mg ²⁺	"

4 調査結果の概要および考察

各調査地点の水質調査結果は、表 2～8 と
 して、本報告の後に示す。

4.1 透明度

萩形ダムの透明度をみてみると、図 4 に示
 したとおり 5 月が 3.20～3.75m (平均 3.40m)
 と最も高く、7 月は 2.10～2.50m (平均 2.27
 m) となっており、9 月になると 0.50～2.70
 m (平均 1.47m) と最も低くなり、10 月には
 2.50～3.00m (平均 2.83m) と回復している。

また、地点別の透明度の平均値をみると、
 A 地点が 2.43m、B 地点が 2.78m、C 地点が
 2.26m となっている。

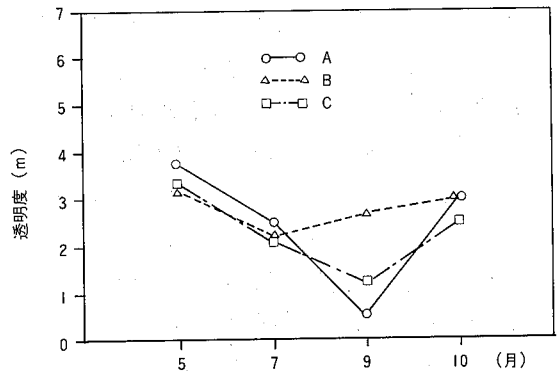


図 4 萩形ダムの地点別透明度の経月変化

一方、山瀬ダムの透明度は、図 5 に示した
 とおり 5 月が 4.50～5.00m (平均 4.75m)、7
 月が 2.00～2.25m (平均 2.13m)、9 月が
 1.00～1.30m (平均 1.15m) と徐々に低下し
 ているが 10 月には 6.50m (平均 6.50m) と最
 も高くなり、透明度の回復がみられる。

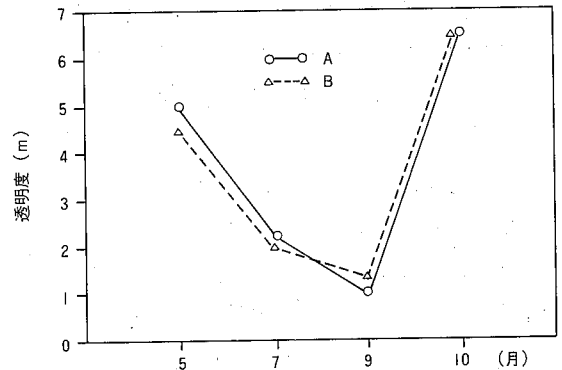


図 5 山瀬ダムの地点別透明度の経月変化

また、地点別の透明度の平均値をみると、A地点が3.69m、B地点が3.57mと地点間の差はみられない。

図4、5からもあきらかなように、両ダムとも7月及び9月に透明度が低下している。これは、7月は長雨、9月は2～3日にかけ台風16号から変わった低気圧に伴う寒冷前線の通過による降雨の影響（流入河川の濁りは1～2日で回復するが、ダムの濁りの回復には、降雨量にもよるが、数日を要する¹⁴⁾）で浮遊物質量（SS）が増加したことによるものと考えられる。

4.2 水温

萩形ダムのダムサイトA地点の表層と下層の水温差をみると、5月は7.0℃（表層14.5℃、下層7.5℃）、7月は13.4℃（表層21.7℃、下層8.3℃）、9月は9.9℃（表層20.2℃、下層10.3℃）、10月は1.1℃（表層13.3℃、下層12.2℃）となっており、夏季に表層と下層の水温差が大きくなる傾向がみられる。この傾向はB、C地点においても同様である。

また、水温の調査結果からB地点に流入する河川である小阿仁川及び萩形沢は5月には表層から中層にかけ、7、9月は中層に、10月には下層にまで流入していると思われる。

C地点に流入する河川の大倉又沢及び赤沢については、5、7月には中層に、9、10月には下層にまで流入していると思われる。

一方、山瀬ダムのダムサイトA地点の表層と下層の水温差をみると、5月は7.5℃（表層14.0℃、下層6.5℃）、7月は13.1℃（表層21.3℃、下層8.2℃）、9月は12.8℃（表層21.2℃、下層8.4℃）、10月は4.1℃（表層12.6℃、下層8.5℃）となっており、夏季に表層と下層の水温差が大きくなる傾向がみられる。この傾向はB地点においても同様である。

また、水温の調査結果からB地点に流入する河川の岩瀬川、繋ノ沢及び内町沢は各月とも表層から中層にかけて流入しているものと思われる。

4.3 pH

平成4年度に実施した秋田県の公共用水域水質測定データ（以下環境白書⁶⁾）によれば、萩形ダムの湖心（表層及び-5m）におけるpHは6.9～7.8で環境基準を満足している。

我々が調査した、萩形ダムのダムサイトA地点のpHは6.3～7.3（表層平均7.1、中層平均6.7、下層平均6.6、全層平均6.8）の範囲で分布しており、中層及び下層で若干環境基準から外れる値を示すことがある。なお、地点間による相違はほとんどみられない。

一方、山瀬ダムのダムサイトA地点は酸性河川である岩瀬川（pH4.7～6.5、平均5.4）の流入により、pHが5.9～6.9（表層平均6.7、中層平均6.3、下層平均6.6、全層平均6.5）と、やや酸性側に片寄っている。B地点においても、同じような値になっている。

4.4 溶存酸素量（DO）

環境白書によれば、萩形ダムの湖心（表層及び-5m）におけるDOは8.4～11mg/lの値で環境基準を満足している。

我々が調査した、萩形ダムのA地点及び山瀬ダムのA地点のDOの経月変化を図6、7に示す。

これによると、萩形ダムのダムサイトA地点のDOは、0.5～10mg/l（表層平均9.3mg/l、中層平均7.3mg/l、下層平均4.5mg/l、全層平均7.0mg/l）の範囲で分布しており、7月の全地点の下層（A地点0.5mg/l、B地点1.3mg/l、C地点1.2mg/l）及び9月のA地点の下層（0.7mg/l）でDOの著しい減少がみられた。

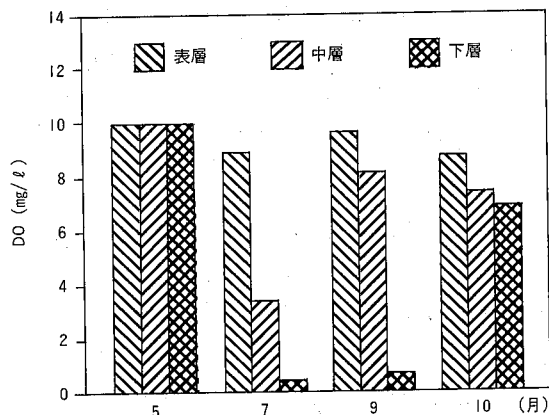


図6 萩形ダムのA地点のDOの経月変化

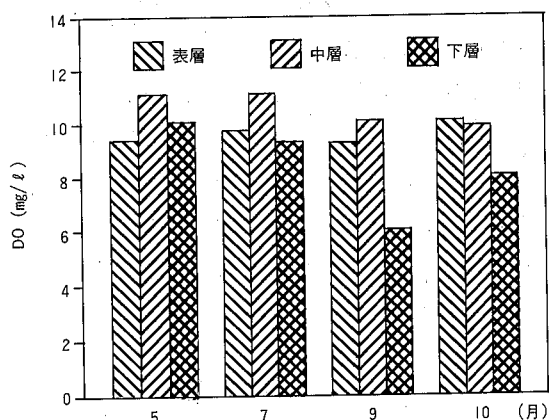


図7 山瀬ダムのA地点のDOの経月変化

一方、山瀬ダムのダムサイトA地点のDOは6.0~11mg/l（表層平均9.6mg/l、中層平均10mg/l、下層平均8.3mg/l、全層平均9.5mg/l）の範囲で分布している。

このように萩形ダムにおいて、夏季の下層でDOが著しく減少したことは、この時期に水温躍層が形成され、上層と下層における水の循環が行われず、また、下層においては微生物が堆積した有機物の分解を行った結果と推測される。山瀬ダムにおいては、水温躍層は形成されるものの、ダムが稼働して日も浅いことから、堆積している有機物が少なく、

夏季の下層において、DOの著しい減少がみられないものと考えられる。

4.5 化学的酸素要求量 (COD)

環境白書によれば、萩形ダムの湖心（表層及び-5 m）の全層における日間平均値のCODの75%値は3.1mg/lであり、環境基準の1 mg/l以下を大きく上回っている。

我々が調査した萩形ダムの各地点の全層におけるCODの平均値をみても、A地点で3.3mg/l、B地点で2.9mg/l、C地点で3.7mg/lと高い濃度となっている。

また、季節別にみると、ダムサイトA地点の全層平均で5月が3.1mg/l、7月が3.8mg/l、9月が4.1mg/lと徐々に濃度の上昇がみられたが、10月になると2.4mg/lと最も低い値になっている。

流入河川についてみると、B地点に流入する小阿仁川及び萩形沢のCODの平均値はそれぞれ1.3mg/l、1.2mg/lであり、C地点に流入する大倉又沢及び赤沢のCODの平均値はそれぞれ4.8mg/l、2.3mg/lであり、大倉又沢のCODが高い値を示している。

一方、山瀬ダムの各地点の全層におけるCODの平均値は、A、B地点とも1.4mg/lである。

季節別にみると、ダムサイトA地点の全層平均で5月が1.0mg/l、7月が1.8mg/l、9月が2.0mg/lと徐々に濃度の上昇がみられたが、10月になると0.9mg/lと最も低い値となっている。B地点においても同じ傾向がみられる。

流入河川についてみると、B地点に流入する岩瀬川、繫ノ沢及び内町沢のCODの平均値はそれぞれ1.7mg/l、1.2mg/l、2.1mg/lである。

4.6 窒素、りん

萩形ダムのダムサイトA地点における表層の全窒素 (T-N)、全りん (T-P) 濃度はそれぞれ0.13~0.48mg/ℓ (平均0.31mg/ℓ)、0.005~0.026mg/ℓ (平均0.016mg/ℓ) の範囲で分布している。

また、B地点の表層のT-N、T-Pの平均濃度は0.28mg/ℓ、0.013mg/ℓ、C地点の表層のT-N、T-Pの平均濃度は0.27mg/ℓ、0.013mg/ℓとなっており、地点間の相違はほとんど認められない。

これら表層におけるT-N、T-Pの平均値を環境基準 (本県では湖沼への窒素、りんの種類あてはめをしていないが) に基づいて区分すると、萩形ダムは窒素、りんともⅢ類型に区分され、多変数富栄養化指数(MTSI: Multiparameter trophic state indices) ⁷⁾により分類するとダムサイトでのMTSI値が3.3で貧~中栄養湖に分類される。

また、図8~10に示したとおり、萩形ダムにおいては、夏季の下層で、T-N、T-P濃度に著しい上昇がみられる。そのなかでも、7月及び9月の萩形ダムのA地点の下層で、NH₄⁺-NのT-Nに占める割合が38~43%と高くなっており、NO₃⁻-Nについては、5月及び10月には0.12~0.13mg/ℓの濃度であったが、7月及び9月には検出されていない。これは、前に記述したように、7月の全地点の下層及び9月のA地点の下層でDOの著しい減少がみられ、それにもなって底質からの栄養塩の溶出を誘発し、その結果下層におけるT-N (特にNH₄⁺-N)、T-Pの濃度を大幅に上昇させたものと考えられる。

流入河川についてしてみると、B地点に流入する小阿仁川及び萩形沢のT-Nの平均値

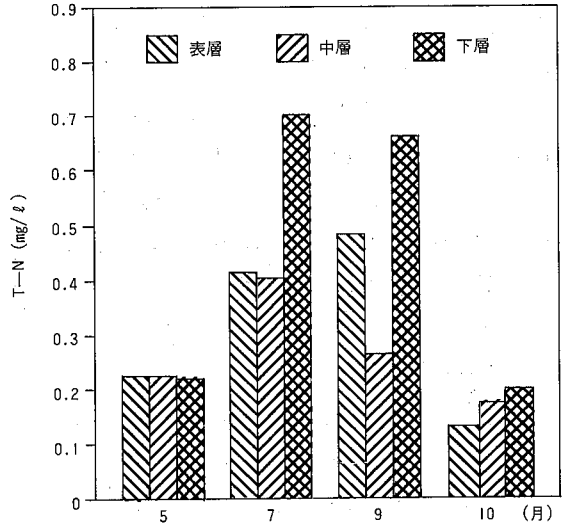


図8 萩形ダムのA地点のT-Nの経月変化

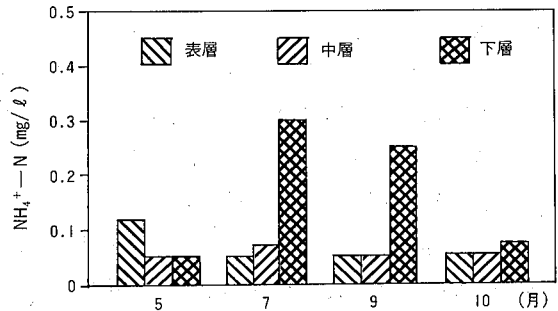


図9 萩形ダムのA地点のNH₄⁺-Nの経月変化

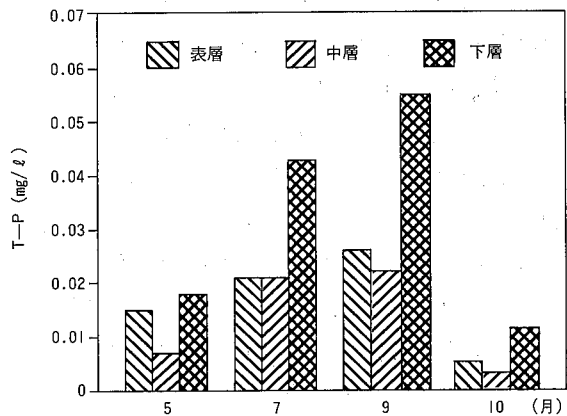


図10 萩形ダムのA地点のT-Pの経月変化

は0.12mg/l、0.13mg/l、T-Pの平均値は0.007mg/l、0.016mg/lであり、C地点に流入する大倉又沢及び赤沢のT-Nの平均値は0.29mg/l、0.25mg/l、T-Pの平均値は0.018mg/l、0.007mg/lとなっている。これら流入河川のT-N、T-P濃度をダムの濃度と比較すると、大倉又沢のT-N、T-P、赤沢のT-N、萩形沢のT-Pがダムと同レベルである。

一方、山瀬ダムのダムサイトA地点の表層のT-N、T-Pの濃度はそれぞれ0.10~0.36mg/l(平均0.23mg/l)、<0.003~0.024mg/l(平均0.009mg/l)の範囲で分布している。

また、B地点の表層のT-N、T-Pの平均濃度は、0.21mg/l、0.005mg/lとなっており、地点間の相違はほとんど認められない。

これら表層におけるT-N、T-Pの平均値を環境基準(本県では湖沼への窒素、リンの類型あてはめをしていないが)に基づいて区分すると、山瀬ダムは窒素でIII類型、リンはI~II類型に区分され、ダムサイトでのMTSI値は2.2で貧~中栄養湖に分類される。

また、図11~13に示したとおり、山瀬ダムでは中層及び下層において、T-N、T-Pの著しい濃度変化は認められない。

流入河川についてみると、B地点に流入する岩瀬川、繫ノ沢及び内町沢のT-Nの平均値は0.20mg/l、0.15mg/l、0.17mg/l、T-Pの平均値は0.006mg/l、<0.003mg/l、0.006mg/lとなっている。これら流入河川のT-N、T-P濃度をダムの濃度と比較すると、岩瀬川のT-N、T-P、内町沢のT-Pがダムと同レベルである。

4.7 クロロフィルa (Chl.a)

萩形ダムの表層のChl.aの濃度は1.0

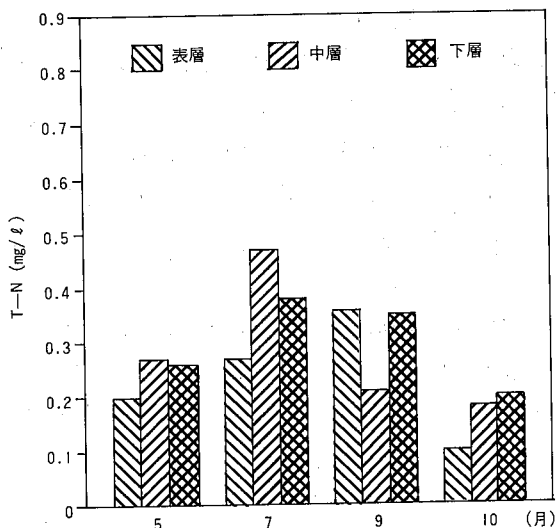


図11 山瀬ダムのA地点のT-Nの経月変化

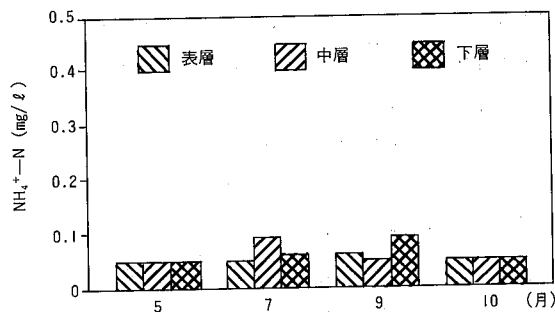


図12 山瀬ダムのA地点のNH₄⁺-Nの経月変化

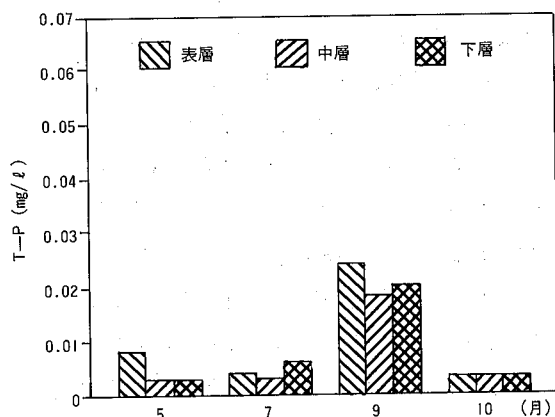


図13 山瀬ダムのA地点のT-Pの経月変化

～5.2 μ g/lの範囲で分布している。各地点における表層の平均値は、A地点で3.2 μ g/l、B地点で2.3 μ g/l、C地点で2.4 μ g/lとなっている。中層及び下層のChl.a濃度はほとんど<0.5 μ g/lである。

一方、山瀬ダムの表層のChl.aの濃度は<0.5～1.0 μ g/lの範囲で分布している。各地点における表層の平均値は、A地点で0.7 μ g/l、B地点で0.6 μ g/lである。中層及び下層のChl.a濃度はほとんど<0.5 μ g/lである。

5 まとめ

人工湖（萩形ダム、山瀬ダム）の水質汚濁機構解明調査を行った結果以下の知見が得られた。

- (1) 萩形ダムの透明度は、5月（3地点平均3.4m）が最も高く、夏にかけ低下するが、10月には回復している。

一方、山瀬ダムの透明度は、春から夏にかけ徐々に低下するが、10月には6.5mと最も高くなっている。

- (2) 萩形ダム、山瀬ダムとも、夏季に表層と下層の水温差が大きくなる傾向がみられる。
- (3) 萩形ダムのダムサイトA地点のpHは6.3～7.3の範囲で分布しており、山瀬ダムのダムサイトA地点は酸性河川である岩瀬川（平均5.4）の流入により、pHが5.9～6.9とやや酸性側に片寄っている。
- (4) 萩形ダムのダムサイトA地点のDOは0.5～10mg/lの範囲で分布しており、7月の全地点の下層及び9月のA地点の下層でDO（0.5～1.3mg/l）の著しい減少がみられた。

一方、山瀬ダムのダムサイトA地点のDOは6.0～11mg/lの範囲で分布している。

このように萩形ダムの下層では、夏季にDOの著しい減少がみられるが、山瀬ダムにおいては、下層のDOの減少はそれほどでもない。

- (5) 萩形ダムの各地点の全層におけるCODの平均値は、A地点で3.3mg/l、B地点で2.9mg/l、C地点で3.7mg/lと高い濃度となっている。

一方、山瀬ダムの各地点の全層におけるCODの平均値は、A、B地点とも1.4mg/lである。

季節別にみると、萩形ダム、山瀬ダムとも春から夏にかけ濃度の上昇がみられるが、10月には最も低い値となっている。

- (6) 萩形ダム及び山瀬ダムのダムサイトA地点における表層のT-N、T-P平均濃度は、それぞれ0.31mg/l、0.016mg/lと0.23mg/l、0.009mg/lであり、それぞれのダムにおいて地点間の相違はほとんど認められない。

これら表層におけるT-N、T-Pの平均値を環境基準（本県では湖沼への窒素、りんの種類あてはめをしていないが）に基づいて区分すると、萩形ダムは窒素、りんともIII類型に区分され、山瀬ダムは窒素でIII類型、りんはI～II類型に区分される。

一方、MTSIにより分類すると両ダムとも貧～中栄養湖に分類される。

また、萩形ダムにおいて、夏季に下層のDOが著しく減少し、それにとまって底質からの栄養塩の溶出を誘発し、その結果下層におけるT-N（特にNH₄⁺-N）、T-Pの濃度を大幅に上昇させ、しいてはCODの上昇の要因になっていると考えられる。

- (7) 萩形ダム及び山瀬ダムの表層のChl.a

の濃度は、それぞれ $1.0 \sim 5.2 \mu\text{g}/\ell$ 、 $< 0.5 \sim 1.0 \mu\text{g}/\ell$ の範囲で分布しており、中層及び下層のChl.aの濃度はほとんど $< 0.5 \mu\text{g}/\ell$ である。

参 考 文 献

- 1) 萩形・森吉ダム管理事務所聞き取り
- 2) 上小阿仁営林署聞き取り
- 3) 東北土地地質図 建設省東北地方建設局
- 4) 山瀬ダム管理事務所聞き取り
- 5) 秋田営林局、早口営林署聞き取り
- 6) 秋田県環境白書 平成5年版
- 7) Hiroshi Yoshimi(1987) : Simultaneous construction of single parameter and multiparameter trophic state indices. Wat. Res, Vol.21, No.12, 1505-1511

表2 萩形ダム (A地点) 水質調査結果

水城名	測定地点名	年度	月日	水温 ℃	導電率 µS/cm	透明度 度m	pH	DO mg/ℓ	COD mg/ℓ	SS mg/ℓ	T-N mg/ℓ	NH ₄ -N mg/ℓ	NO ₂ -N mg/ℓ	NO ₃ -N mg/ℓ	T-P mg/ℓ	PO ₄ ³⁻ -P mg/ℓ	Chla µg/ℓ	TOC mg/ℓ	Cl ⁻ mg/ℓ	Na ⁺ mg/ℓ	K ⁺ mg/ℓ	Ca ²⁺ mg/ℓ	Mg ²⁺ mg/ℓ
萩形ダム	A表層	4	05/25	14.5	56.2	3.75	7.2	10	3.7	1	0.23	0.12	<0.01	<0.05	0.015	<0.01	4.8	1.9	7	5.4	0.3	4.0	1.0
萩形ダム	A表層	4	07/29	21.7	63.8	2.50	7.3	8.9	4.1	1	0.41	<0.05	<0.01	<0.05	0.021	<0.01	3.0	2.5	7	5.0	0.5	4.1	1.2
萩形ダム	A表層	4	09/08	20.2	47.6	0.50	7.0	9.6	4.7	32	0.48	<0.05	<0.01	0.08	0.026	<0.01	2.8	2.8	4	3.9	0.4	2.6	0.8
萩形ダム	A表層	4	10/08	13.3	62.0	3.00	6.9	8.7	2.6	<1	0.13	<0.05	<0.01	0.08	0.005	<0.01	2.4	2.2	6	4.8	0.4	3.6	1.1
萩形ダム	A中層	4	05/25	9.5	55.2		7.0	10	3.1	<1	0.23	0.05	<0.01	0.09	0.007	<0.01	0.6	1.7	7	5.0	0.2	3.7	0.9
萩形ダム	A中層	4	07/29	12.0	50.2		6.4	3.7	3.0	5	0.40	0.07	<0.01	0.08	0.021	<0.01	2.4	2.0	6	4.0	0.4	2.8	0.9
萩形ダム	A中層	4	09/08	16.1	49.9		6.7	8.1	3.2	5	0.26	<0.05	<0.01	0.11	0.022	<0.01	0.5	3.2	4	4.0	0.3	2.8	0.8
萩形ダム	A中層	4	10/08	12.7	59.2		6.8	7.4	2.4	1	0.17	<0.05	<0.01	0.11	<0.003	<0.01	<0.5	2.0	5	4.4	0.4	3.6	1.0
萩形ダム	A下層	4	05/25	7.5	45.9		7.0	10	2.6	4	0.22	<0.05	<0.01	0.13	0.018	<0.01	<0.5	1.0	6	4.1	0.3	3.1	0.8
萩形ダム	A下層	4	07/29	8.3	53.6		6.3	0.5	4.3	9	0.70	0.30	<0.01	<0.05	0.043	<0.01	<0.5	1.9	5	3.5	0.5	3.0	0.9
萩形ダム	A下層	4	09/08	10.3	60.4		6.3	0.7	4.4	13	0.66	0.25	<0.01	<0.05	0.055	<0.01	1.0	3.0	5	3.8	0.5	3.3	1.0
萩形ダム	A下層	4	10/08	12.2	63.2		6.8	6.9	2.3	1	0.20	0.07	<0.01	0.12	0.011	<0.01	<0.5	1.9	5	4.6	0.4	4.4	1.1

表3 萩形ダム (B地点) 水質調査結果

水城名	測定地点名	年度	月日	水温 ℃	導電率 µS/cm	透明度 度m	pH	DO mg/ℓ	COD mg/ℓ	SS mg/ℓ	T-N mg/ℓ	NH ₄ -N mg/ℓ	NO ₂ -N mg/ℓ	NO ₃ -N mg/ℓ	T-P mg/ℓ	PO ₄ ³⁻ -P mg/ℓ	Chla µg/ℓ	TOC mg/ℓ	Cl ⁻ mg/ℓ	Na ⁺ mg/ℓ	K ⁺ mg/ℓ	Ca ²⁺ mg/ℓ	Mg ²⁺ mg/ℓ
萩形ダム	B表層	4	05/25	14.5	56.5	3.20	7.1	10	3.6	1	0.22	0.10	<0.01	<0.05	0.014	<0.01	5.2	1.9	7	5.1	0.3	3.8	1.0
萩形ダム	B表層	4	07/29	21.0	62.7	2.20	7.2	8.7	4.3	2	0.25	<0.05	<0.01	0.05	0.012	<0.01	1.9	2.5	6	4.8	0.5	3.9	1.1
萩形ダム	B表層	4	09/08	16.8	54.3	2.70	7.0	9.4	3.4	6	0.50	0.07	<0.01	0.09	0.024	<0.01	1.0	2.0	5	4.2	0.4	2.9	0.9
萩形ダム	B表層	4	10/08	13.7	64.9	3.00	6.9	8.8	2.7	<1	0.16	<0.05	<0.01	0.08	<0.003	<0.01	1.0	1.8	6	4.9	0.5	3.9	1.1
萩形ダム	B中層	4	05/25	8.3	55.7		7.0	10	2.7	<1	0.21	<0.05	<0.01	0.11	0.008	<0.01	<0.5	1.1	7	5.0	0.4	3.8	0.9
萩形ダム	B中層	4	07/29	17.5	53.6		6.8	7.5	3.2	4	0.34	0.05	<0.01	0.08	0.015	<0.01	<0.5	1.7	5	4.0	0.5	3.7	0.9
萩形ダム	B中層	4	09/08	16.2	57.3		7.1	11	1.8	2	0.22	0.05	<0.01	0.08	0.010	<0.01	<0.5	1.2	6	4.5	0.3	3.3	0.9
萩形ダム	B中層	4	10/08	12.9	61.0		6.9	8.6	2.2	<1	0.18	0.05	<0.01	0.12	0.006	<0.01	<0.5	1.6	5	4.5	0.4	3.8	1.0
萩形ダム	B下層	4	05/25	7.3	38.3		6.9	10	3.3	15	0.31	0.09	<0.01	0.10	0.045	0.03	0.8	1.1	5	3.5	0.4	2.6	0.7
萩形ダム	B下層	4	07/29	9.9	52.0		6.4	1.3	4.1	9	0.55	0.15	<0.01	0.08	0.045	<0.01	<0.5	1.7	5	3.7	0.5	3.0	0.9
萩形ダム	B下層	4	09/08	15.8	57.0		7.1	8.7	2.0	2	0.24	0.05	<0.01	0.08	0.013	<0.01	0.5	1.0	5	4.5	0.3	3.4	0.9
萩形ダム	B下層	4	10/08	12.7	67.1		6.8	8.6	2.1	4	0.22	0.06	<0.01	0.08	0.007	<0.01	<0.5	1.7	5	4.8	0.5	4.5	1.2

表4 萩形ダム (C地点) 水質調査結果

水城名	測定地点名	年度	月日	水温 ℃	導電率 µS/cm	透明度 度m	pH	DO mg/ℓ	COD mg/ℓ	SS mg/ℓ	T-N mg/ℓ	NH ₄ -N mg/ℓ	NO ₂ -N mg/ℓ	NO ₃ -N mg/ℓ	T-P mg/ℓ	PO ₄ ³⁻ -P mg/ℓ	Chla µg/ℓ	TOC mg/ℓ	Cl ⁻ mg/ℓ	Na ⁺ mg/ℓ	K ⁺ mg/ℓ	Ca ²⁺ mg/ℓ	Mg ²⁺ mg/ℓ
萩形ダム	C表層	4	05/25	14.6	56.0	3.25	7.2	10	3.8	<1	0.23	0.09	<0.01	<0.05	0.013	<0.01	1.6	1.8	7	5.0	0.3	4.0	1.0
萩形ダム	C表層	4	07/29	20.2	63.2	2.10	7.3	8.9	5.0	2	0.33	<0.05	<0.01	<0.05	0.019	<0.01	3.0	2.8	6	4.9	0.5	4.4	1.1
萩形ダム	C表層	4	09/08	20.2	52.2	1.20	7.0	9.0	4.9	3	0.38	0.08	<0.01	0.10	0.019	<0.01	4.0	2.5	5	4.6	0.4	2.9	0.9
萩形ダム	C表層	4	10/08	18.3	67.6	2.50	6.9	8.5	2.7	<1	0.17	<0.05	<0.01	0.11	<0.003	<0.01	1.0	2.1	6	5.1	0.4	3.9	1.1
萩形ダム	C中層	4	05/25	10.4	54.9		7.1	10	2.8	1	0.20	0.07	<0.01	0.05	0.012	<0.01	0.6	1.6	6	4.6	0.3	4.0	1.0
萩形ダム	C中層	4	07/29	17.5	51.5		6.8	7.1	3.9	8	0.44	0.05	<0.01	0.08	0.027	<0.01	<0.5	2.5	5	3.9	0.6	3.9	0.9
萩形ダム	C中層	4	09/08	17.2	53.4		6.7	7.8	4.0	8	0.32	0.05	<0.01	0.11	0.024	<0.01	<0.5	2.2	5	4.3	0.4	2.8	0.9
萩形ダム	C中層	4	10/08	13.0	64.2		6.9	9.4	2.6	1	0.23	0.05	<0.01	0.10	<0.003	<0.01	<0.5	1.8	6	5.0	0.8	5.9	1.6
萩形ダム	C下層	4	05/25	8.5	56.6		6.9	9.4	3.8	4	0.30	<0.05	<0.01	0.11	0.019	<0.01	0.6	1.3	7	4.8	0.3	4.4	1.0
萩形ダム	C下層	4	07/29	12.8	60.0		6.4	1.2	4.8	10	0.88	0.21	<0.01	<0.05	0.058	0.01	1.4	2.1	5	4.2	0.6	3.8	1.1
萩形ダム	C下層	4	09/08	16.5	50.4		6.8	8.0	4.7	7	0.31	0.05	<0.01	0.11	0.031	<0.01	<0.5	2.1	5	4.2	0.4	2.9	0.9
萩形ダム	C下層	4	10/08	12.7	64.3		6.9	8.2	2.3	<1	0.26	<0.05	<0.01	0.12	0.016	<0.01	0.6	1.8	5	4.7	0.4	3.9	1.1

表5 秋形ダム（流入河川）水質調査結果

水 域 名	測 定 年 度	月 日	水 温 ℃	導 電 率 μS/cm	pH	DO mg/ℓ	COD mg/ℓ	SS mg/ℓ	T-N mg/ℓ	NH ₄ ⁺ -N mg/ℓ	NO ₂ ⁻ -N mg/ℓ	NO ₃ ⁻ -N mg/ℓ	T-P mg/ℓ	PO ₄ ³⁻ -P mg/ℓ	ChLa μg/ℓ	TOC mg/ℓ	Cl ⁻ mg/ℓ	Na ⁺ mg/ℓ	K ⁺ mg/ℓ	Ca ²⁺ mg/ℓ	Mg ²⁺ mg/ℓ	
流入河川	小阿仁川	4	05/25	9.8	49.5	7.1	10	1.4	1	0.11	<0.05	<0.01	0.05	0.009	<0.01	<0.5	0.5	5	3.9	0.3	4.0	0.8
流 入 川	小阿仁川	4	07/29	16.3	48.3	7.3	9.8	1.8	<1	0.14	<0.05	<0.01	0.06	0.009	<0.01	<0.5	1.1	5	3.7	0.3	3.1	0.8
流入河川	小阿仁川	4	09/08	15.0	58.6	7.4	10	1.0	1	0.16	<0.05	<0.01	0.06	0.008	<0.01	1.2	0.6	5	4.4	0.3	3.6	0.9
流 入 川	小阿仁川	4	10/08	11.2	66.8	7.6	11	0.9	<1	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05	<0.003	<0.01	0.9	1.0	6	4.6	0.2	4.6	1.1
流 入 川	森形沢	4	05/25	9.6	49.2	7.2	11	1.7	1	0.15	<0.05	<0.01	0.09	0.015	0.01	<0.5	<0.5	6	4.3	0.2	3.6	0.8
流 入 川	森形沢	4	07/29	14.9	45.4	7.2	10	1.8	1	0.18	<0.05	<0.01	0.11	0.020	0.02	<0.5	1.0	5	3.8	0.4	2.5	0.7
流 入 川	森形沢	4	09/08	16.6	56.7	7.3	10	<0.5	<1	0.14	<0.05	<0.01	0.10	0.022	0.01	<0.5	0.6	6	4.6	0.3	3.2	1.5
流 入 川	森形沢	4	10/08	11.6	64.3	7.5	10	0.9	<1	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05	0.005	<0.01	<0.5	1.0	5	4.6	0.4	3.9	1.0
流入河川	大倉又沢	4	05/25	14.5	56.3	7.2	10	4.1	1	0.30	0.11	<0.01	<0.05	0.020	<0.01	1.7	1.9	7	5.1	0.3	4.0	1.0
流入河川	大倉又沢	4	07/29	18.5	68.0	7.2	8.6	6.3	<1	0.29	<0.05	<0.01	0.12	0.004	<0.01	<0.5	1.9	8	6.0	0.8	3.4	1.3
流入河川	大倉又沢	4	09/08	15.1	75.7	7.1	8.6	3.9	<1	0.27	<0.05	<0.01	0.16	0.030	<0.01	0.9	2.5	8	6.6	0.6	3.8	1.3
流入河川	赤沢	4	05/25	9.5	66.4	7.2	10	2.6	<1	0.19	0.05	<0.01	0.12	0.004	<0.01	<0.5	1.2	7	5.5	0.3	5.5	1.1
流入河川	赤沢	4	07/29	17.0	71.7	7.5	9.4	3.3	<1	0.22	<0.05	<0.01	0.11	0.006	<0.01	<0.5	<0.5	6	5.6	0.4	5.2	1.2
流入河川	赤沢	4	09/08	16.2	77.1	7.5	9.6	1.8	1	0.18	<0.05	<0.01	0.12	0.013	<0.01	1.2	0.7	7	6.0	0.3	5.3	1.2
流入河川	赤沢	4	10/08	11.6	87.3	7.6	10	1.6	<1	0.40	<0.05	<0.01	0.09	<0.003	<0.01	<0.5	1.7	7	6.3	0.4	5.7	1.4

表6 山瀬ダム (A地点) 水質調査結果

水域名	測定地点名	年度	月日	水温 ℃	導電率 μS/cm	透明度 度 m	pH	DO mg/ℓ	COD mg/ℓ	SS mg/ℓ	T-N mg/ℓ	NH ₄ ⁺ -N mg/ℓ	NO ₂ ⁻ -N mg/ℓ	NO ₃ ⁻ -N mg/ℓ	T-P mg/ℓ	PO ₄ ³⁻ -P mg/ℓ	Chl.a μg/ℓ	TOC mg/ℓ	Cl ⁻ mg/ℓ	Na ⁺ mg/ℓ	K ⁺ mg/ℓ	Ca ²⁺ mg/ℓ	Mg ²⁺ mg/ℓ
山瀬ダム	A表層	4	05/26	14.0	47.7	5.00	6.5	9.4	1.1	<1	0.20	<0.05	<0.01	0.08	0.008	<0.01	<0.5	<0.5	4	3.6	0.4	3.1	0.9
山瀬ダム	A表層	4	07/28	21.3	56.6	2.25	6.7	9.7	1.9	3	0.27	<0.05	<0.01	0.08	0.004	<0.01	<0.5	1.5	3	3.9	0.5	2.7	1.0
山瀬ダム	A表層	4	09/07	21.2	54.0	1.00	6.8	9.2	3.2	4	0.36	0.06	<0.01	0.12	0.024	<0.01	1.1	1.8	3	4.0	0.5	2.7	0.9
山瀬ダム	A表層	4	10/20	12.6	63.1	6.50	6.8	10	0.8	1	0.10	<0.05	<0.01	0.05	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	4	3.4	0.4	3.4	1.0
山瀬ダム	A中層	4	05/26	7.5	49.2		6.3	11	1.0	<1	0.27	<0.05	<0.01	0.13	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	4	3.7	0.6	3.2	1.0
山瀬ダム	A中層	4	07/28	9.1	57.3		6.5	11	1.7	1	0.47	0.09	<0.01	0.08	<0.003	<0.01	<0.5	0.9	4	3.9	0.4	3.2	1.0
山瀬ダム	A中層	4	09/07	11.0	55.6		6.4	10	1.3	1	0.21	<0.05	<0.01	0.11	0.018	<0.01	<0.5	1.0	4	3.9	0.4	3.2	1.0
山瀬ダム	A中層	4	10/20	11.6	67.8		5.9	9.8	0.9	6	0.18	<0.05	<0.01	<0.05	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	4	4.3	0.6	3.4	1.3
山瀬ダム	A下層	4	05/26	6.5	61.0		6.4	10	0.9	<1	0.26	<0.05	<0.01	0.14	0.003	<0.01	<0.5	<0.5	5	4.2	0.4	5.0	1.1
山瀬ダム	A下層	4	07/28	8.2	81.8		6.9	9.3	1.9	1	0.38	0.06	<0.01	0.08	0.006	<0.01	1.5	0.9	5	4.7	0.4	5.8	1.1
山瀬ダム	A下層	4	09/07	8.4	97.8		6.6	6.0	1.5	2	0.35	0.09	<0.01	0.13	0.020	<0.01	<0.5	1.1	6	5.6	0.4	6.7	1.4
山瀬ダム	A下層	4	10/20	8.5	70.4		6.4	8.0	1.0	1	0.20	<0.05	<0.01	0.09	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	5	4.5	0.5	4.6	1.2

表7 山瀬ダム (B地点) 水質調査結果

水域名	測定地点名	年度	月日	水温 ℃	導電率 μS/cm	透明度 度 m	pH	DO mg/ℓ	COD mg/ℓ	SS mg/ℓ	T-N mg/ℓ	NH ₄ ⁺ -N mg/ℓ	NO ₂ ⁻ -N mg/ℓ	NO ₃ ⁻ -N mg/ℓ	T-P mg/ℓ	PO ₄ ³⁻ -P mg/ℓ	Chl.a μg/ℓ	TOC mg/ℓ	Cl ⁻ mg/ℓ	Na ⁺ mg/ℓ	K ⁺ mg/ℓ	Ca ²⁺ mg/ℓ	Mg ²⁺ mg/ℓ
山瀬ダム	B表層	4	05/26	14.2	47.9	4.50	6.6	10	1.3	<1	0.20	<0.05	<0.01	0.08	<0.003	<0.01	0.6	<0.5	4	3.4	0.3	3.2	0.9
山瀬ダム	B表層	4	07/28	20.2	55.3	2.00	6.6	9.2	1.9	3	0.26	0.05	<0.01	0.08	0.006	<0.01	<0.5	0.9	3	3.9	0.5	2.7	1.0
山瀬ダム	B表層	4	09/07	19.2	50.7	1.30	6.7	9.4	3.0	3	0.31	0.05	<0.01	0.12	0.010	<0.01	0.6	1.6	3	3.8	0.5	2.5	0.9
山瀬ダム	B表層	4	10/20	12.6	62.8	6.50	6.6	10	0.9	1	0.09	<0.05	<0.01	0.05	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	4	4.5	0.5	3.5	1.2
山瀬ダム	B中層	4	05/26	9.0	47.2		6.4	11	0.9	1	0.20	<0.05	<0.01	0.12	0.003	<0.01	<0.5	<0.5	4	3.4	0.4	3.0	1.0
山瀬ダム	B中層	4	07/28	12.6	54.2		6.5	11	1.2	1	0.21	<0.05	<0.01	0.08	<0.003	<0.01	<0.5	0.9	4	3.5	0.4	3.1	1.0
山瀬ダム	B中層	4	09/07	15.5	55.6		6.4	9.4	2.2	3	0.29	0.05	<0.01	0.09	0.007	<0.01	0.5	1.8	4	3.8	0.5	2.8	1.1
山瀬ダム	B中層	4	10/20	11.6	67.6		5.8	9.8	0.7	4	0.10	<0.05	<0.01	<0.05	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	4	4.3	0.5	3.4	1.3
山瀬ダム	B下層	4	05/26	7.1	53.0		6.3	10	0.7	1	0.22	0.05	<0.01	0.13	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	4	3.6	0.3	3.8	1.0
山瀬ダム	B下層	4	07/28	8.7	73.1		6.5	9.9	1.7	1	0.35	0.06	<0.01	0.07	<0.003	<0.01	<0.5	0.9	5	4.4	0.5	4.7	1.2
山瀬ダム	B下層	4	09/07	9.2	85.5		6.4	6.7	1.7	1	0.36	0.09	<0.01	0.10	0.006	<0.01	0.6	1.4	6	5.0	0.5	5.7	1.4
山瀬ダム	B下層	4	10/20	8.6	77.9		6.3	6.7	1.1	1	0.20	<0.05	<0.01	0.09	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	5	4.7	0.5	5.1	1.4

表8 山瀬ダム (流入河川) 水質調査結果

水域名	測定地点名	年度	月日	水温 ℃	導電率 μS/cm	pH	DO mg/ℓ	COD mg/ℓ	SS mg/ℓ	T-N mg/ℓ	NH ₄ ⁺ -N mg/ℓ	NO ₂ ⁻ -N mg/ℓ	NO ₃ ⁻ -N mg/ℓ	T-P mg/ℓ	PO ₄ ³⁻ -P mg/ℓ	Chl.a μg/ℓ	TOC mg/ℓ	Cl ⁻ mg/ℓ	Na ⁺ mg/ℓ	K ⁺ mg/ℓ	Ca ²⁺ mg/ℓ	Mg ²⁺ mg/ℓ
流入河川	岩瀬川	4	05/26	11.0	58.2	5.2	10	1.5	4	0.19	0.05	<0.01	0.05	0.009	<0.01	<0.5	<0.5	3	3.7	0.4	3.4	1.2
流入河川	岩瀬川	4	07/28	18.5	44.5	6.5	9.3	2.8	5	0.26	<0.05	<0.01	0.06	0.008	<0.01	<0.5	0.9	3	3.2	0.4	1.8	0.8
流入河川	岩瀬川	4	09/07	16.8	62.1	5.2	9.9	1.3	4	0.26	<0.05	<0.01	0.05	0.003	<0.01	<0.5	<0.5	4	4.5	0.5	3.6	1.5
流入河川	岩瀬川	4	10/20	10.6	96.6	4.7	10	1.0	4	0.07	<0.05	<0.01	0.06	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	4	4.6	0.4	4.5	1.1
流入河川	繋ノ沢	4	05/26	11.3	42.0	6.7	10	1.0	<1	0.13	0.05	<0.01	0.06	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	4	4.3	0.4	2.8	1.0
流入河川	繋ノ沢	4	07/28	17.2	38.7	6.9	9.6	2.3	<1	0.25	<0.05	<0.01	0.09	<0.003	<0.01	<0.5	1.4	3	4.3	0.4	1.8	0.6
流入河川	繋ノ沢	4	09/07	17.0	44.6	6.8	9.8	1.0	<1	0.17	<0.05	<0.01	0.08	<0.003	<0.01	<0.5	6.5	4	4.3	0.4	1.8	0.6
流入河川	繋ノ沢	4	10/20	12.5	51.4	6.8	10	0.6	1	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	5	5.1	0.4	2.2	0.6
流入河川	内町沢	4	05/26	11.5	55.3	7.2	10	2.0	1	0.14	<0.05	<0.01	0.10	0.008	<0.01	<0.5	1.2	4	4.1	0.4	3.9	1.1
流入河川	内町沢	4	07/28	17.0	51.0	7.0	9.4	3.9	<1	0.29	<0.05	<0.01	0.12	0.007	<0.01	<0.5	2.5	4	3.6	0.5	1.6	0.5
流入河川	内町沢	4	09/07	18.0	63.4	7.0	9.7	1.5	<1	0.20	<0.05	<0.01	0.14	0.007	<0.01	<0.5	0.9	4	5.3	0.4	3.3	1.2
流入河川	内町沢	4	10/20	12.8	66.8	7.4	11	0.8	1	0.05	<0.05	<0.01	0.05	<0.003	<0.01	<0.5	<0.5	5	5.8	0.4	3.7	1.3

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¹⁾。

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²⁾。

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³⁾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。

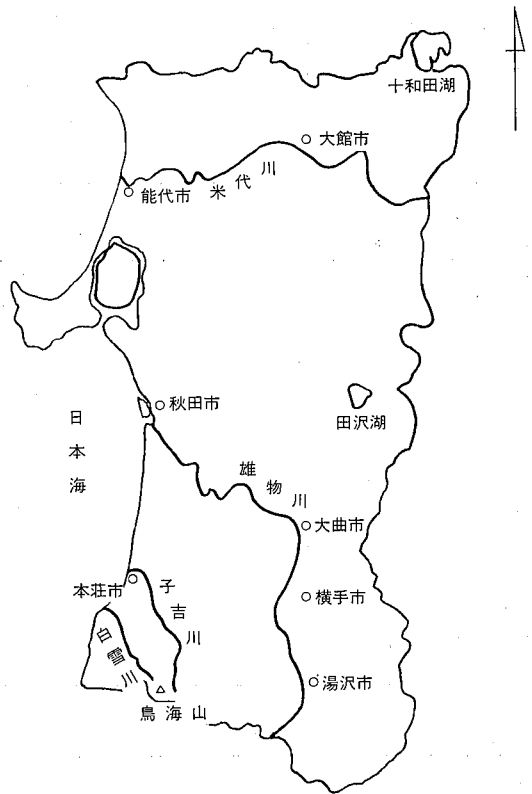


図1 白雪川の位置

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

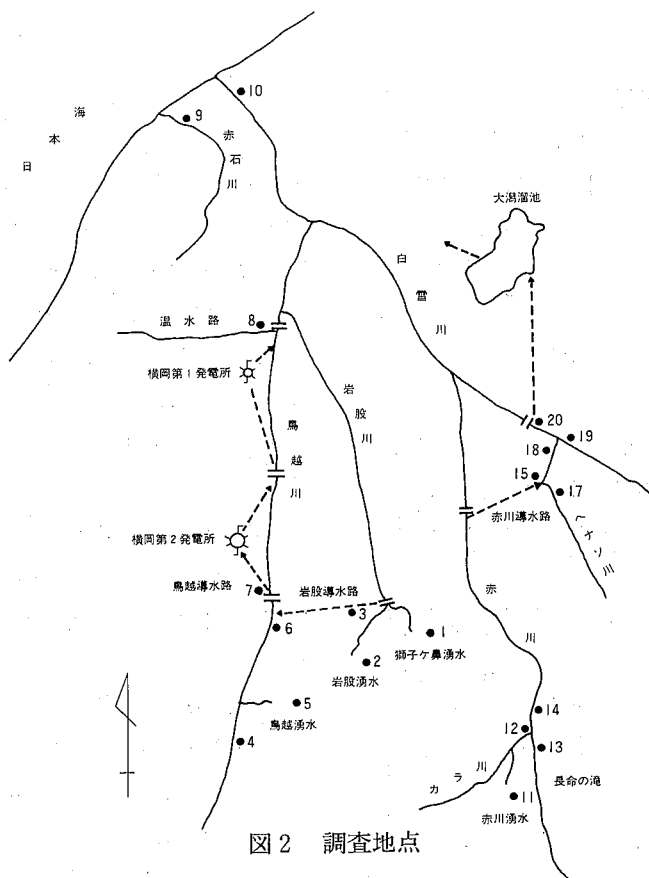


図2 調査地点

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、白雪川堰堤から大渦溜池に導水され、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)
Al ³⁺	〃 0102.58.2 (原子力吸光光度法)
SO ₄ ²⁻	イオンクロマト法
Cl ⁻	イオンクロマト法
Na ⁺	環境測定法註解 43.2 (原子力吸光光度法)
K ⁺	環境測定法註解 44.2 (原子力吸光光度法)
Ca ²⁺	上水試験方法 45.2 (原子力吸光光度法)
Mg ²⁺	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

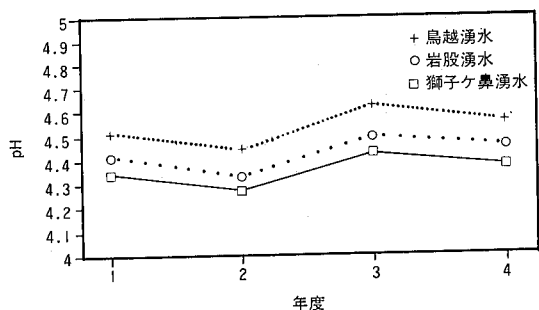


図3 獅子ヶ鼻地区湧水のpH経年変化

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⁴⁾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、

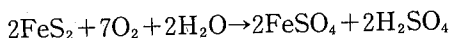
結果は逆であった。

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⁵⁾、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。

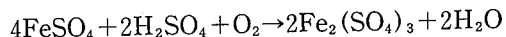
酸性水の発生する原因は、溶解性物質を含む岩石が湧水源一帯に分布しており、それに地下水が接触し酸性化し流出しているといわれている²⁾。

一方、椎川の報告⁴⁾によれば、硫気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。

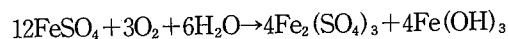
つまり、硫化鉄は酸化を受けると、硫酸第一鉄と硫酸とを生じる。



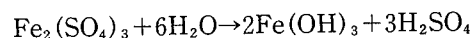
この硫酸第一鉄の酸化がさらに進行すると、硫酸第二鉄を生じる。



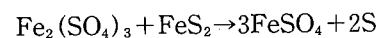
また、硫酸第一鉄は酸化を受けると硫酸第二鉄と水酸化第二鉄とを生成する。



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

No	測定地点名	pH	T-Fe mg/ℓ	Aℓ ³⁺ mg/ℓ	SC ₄ ²⁻ mg/ℓ	Cℓ ⁻ mg/ℓ	Na ⁺ mg/ℓ	K ⁺ mg/ℓ	Ca ²⁺ mg/ℓ	Mg ²⁺ 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

No	測定地点名	採水 年月	pH	T-Fe mg/ℓ	Aℓ ³⁺ mg/ℓ	SC ₄ ²⁻ mg/ℓ	Cℓ ⁻ mg/ℓ	Na ⁺ mg/ℓ	K ⁺ mg/ℓ	Ca ²⁺ mg/ℓ	Mg ²⁺ 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。

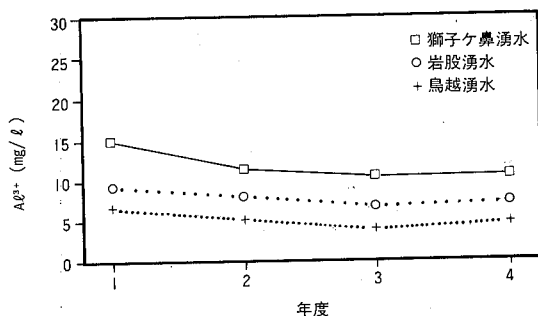


図4 獅子ヶ鼻地区湧水のアルミニウムイオン経年変化

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。

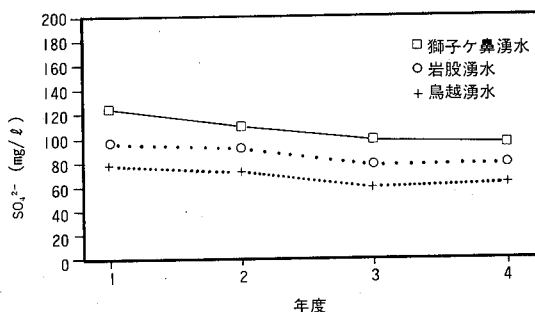


図5 獅子ヶ鼻地区湧水の硫酸イオン経年変化

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 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 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 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 (Cl^-)

獅子ヶ鼻地区における3湧水の Cl^- 濃度の経年変化を図6に示した。

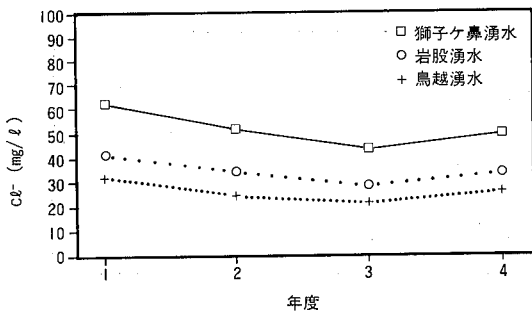


図6 獅子ヶ鼻地区湧水の塩化物イオン経年変化

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 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、 Al^{3+} 及び 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 Cl^- 濃度は、 Al^{3+} 及び 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 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、 Al^{3+} 及び 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 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 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 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 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 (Na^+)、カリウムイオン (K^+)、カルシウムイオン (Ca^{2+})、マグネシウムイオン (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 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度の測定結果を表3に示した。獅子ヶ鼻湧水の Na^+ の濃度は $8.7\sim 9.1\text{mg/l}$ (平均 8.9mg/l)、 K^+ の濃度は $2.5\sim 3.8\text{mg/l}$ (平均 2.9mg/l)、 Ca^{2+} の濃度は $11\sim 15\text{mg/l}$ (13mg/l)、 Mg^{2+} の濃度は $5.2\sim 6.2\text{mg/l}$ (5.6mg/l)であり、岩股湧水の Na^+ の濃度は $7.6\sim 8.0\text{mg/l}$ (7.7mg/l)、 K^+ の濃度は $2.0\sim 2.3\text{mg/l}$ (2.1mg/l)、 Ca^{2+} の濃度は $9.1\sim 10\text{mg/l}$ (9.7mg/l)、 Mg^{2+} の濃度は $4.2\sim 4.7\text{mg/l}$ (4.5mg/l)であり、鳥越湧水の Na^+ の濃度は $6.9\sim 7.5\text{mg/l}$ (7.1mg/l)、 K^+ の濃度は $1.5\sim 2.1\text{mg/l}$ (1.8mg/l)、 Ca^{2+} の濃度は $7.3\sim 9.5\text{mg/l}$ (8.6mg/l)、 Mg^{2+} の濃度は $3.2\sim 4.1\text{mg/l}$ (3.7mg/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。

Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 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、 Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 及び 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 Al^{3+} の経年変化を図7に、また、 SO_4^{2-} と Cl^- の経年変化を図8に示した。

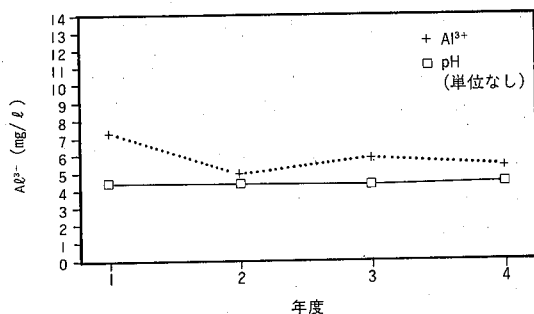


図7 温水路のpH、アルミニウムイオン経年変化

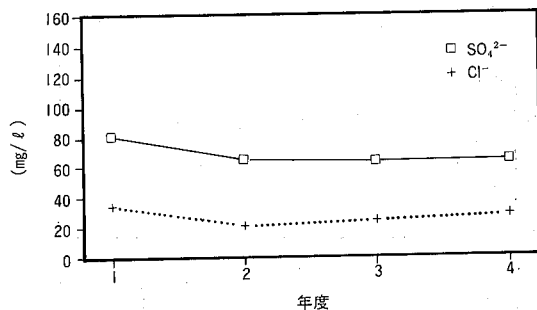


図8 温水路の硫酸イオン、塩化物イオン経年変化

pHは $4.43\sim 4.56$ (平均 4.49)、 Al^{3+} 濃度は $5.0\sim 7.3\text{mg/l}$ (5.9mg/l)、 SO_4^{2-} 濃度は $64.0\sim 81.0\text{mg/l}$ (69.2mg/l)、 Cl^- 濃度は $21.5\sim 34.0\text{mg/l}$ (27.4mg/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、 Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 及び 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 Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 及び 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⁶⁾、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⁷⁾。

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⁸⁾。

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。

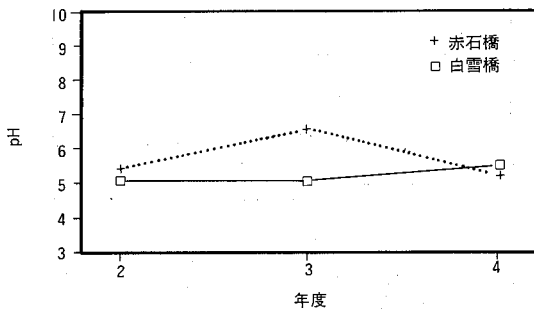


図9 白雪橋と赤石橋のpH経年変化

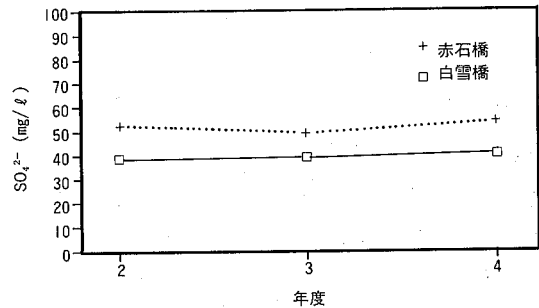


図11 白雪橋と赤石橋の硫酸イオン経年変化

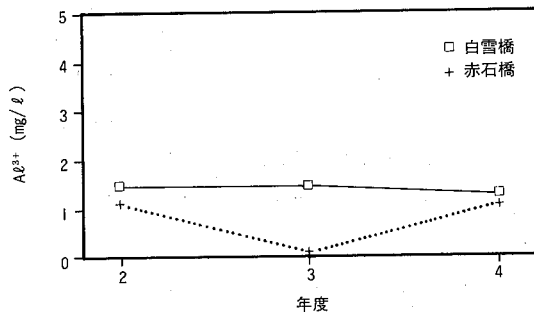


図10 白雪橋と赤石橋のアルミニウムイオン経年変化

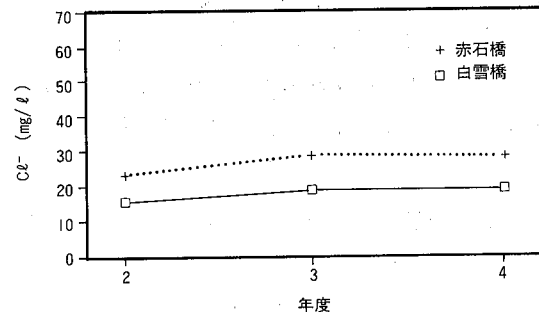


図12 白雪橋と赤石橋の塩化物イオン経年変化

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⁹⁾。

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¹⁰⁾。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。

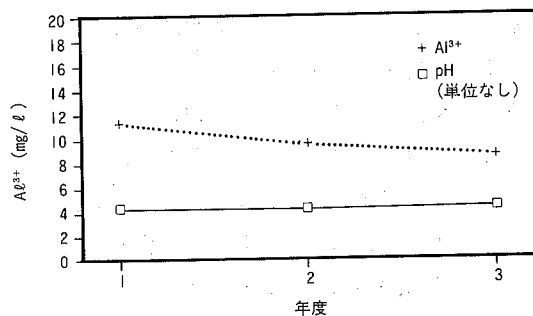


図13 赤川湧水のpH、アルミニウムイオン経年変化

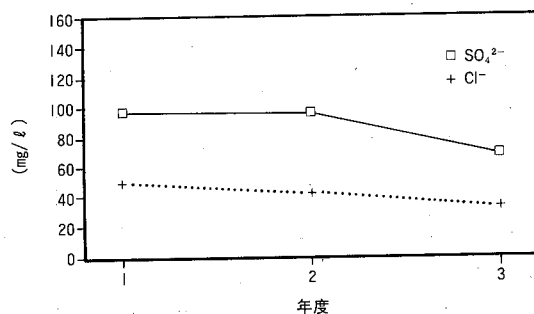


図14 赤川湧水の硫酸イオン、塩化物イオン経年変化

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34~49.5 mg/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¹¹⁾。このことは、前述したように、椎川も報告している⁴⁾。

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、赤川を経て大濁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。

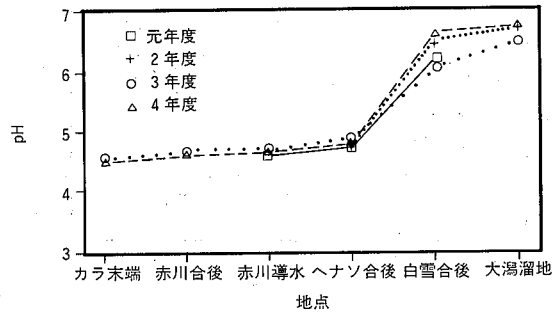


図15 地点別のpH変化

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、大濁溜池に導水されてさらに希釈され、pH6.49~6.75(6.64)となり、小出發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¹²⁾、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

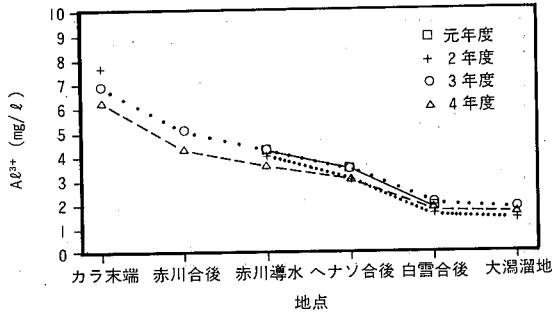


図16 地点別のアルミニウムイオン濃度変化

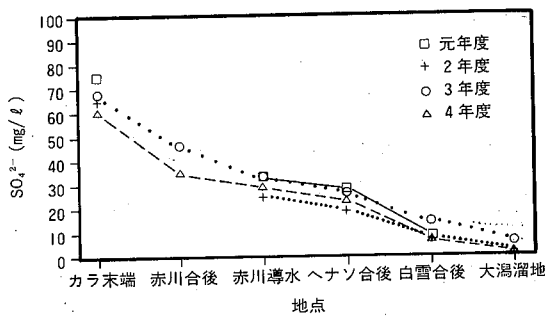


図17 地点別の硫酸イオン濃度変化

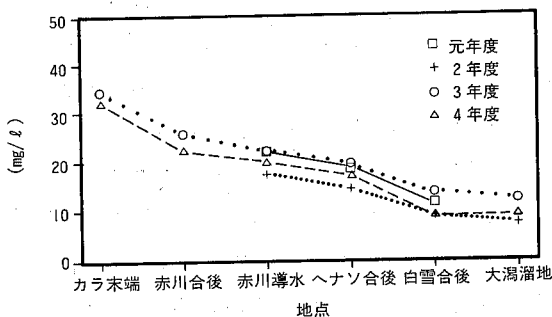


図18 地点別の塩化物イオン濃度変化

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。

大渦溜池に導水された後の 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

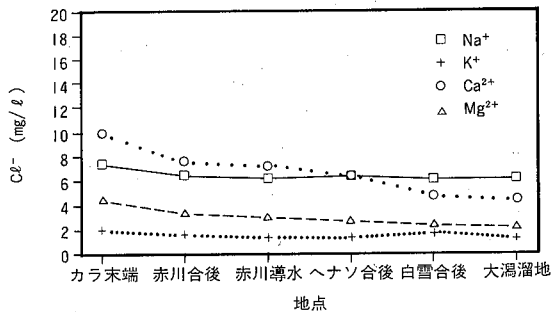


図19 地点別のナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン濃度変化(平均値)

~7.7mg/l (平均7.4mg/l)、K⁺濃度は1.9~2.2mg/l (2.0mg/l)、Ca²⁺濃度は9.8~9.9mg/l (9.9mg/l)、Mg²⁺濃度は4.3~4.6mg/l (4.4mg/l)である。また、大濁溜池のNa⁺濃度は6.1mg/l、K⁺濃度は1.2~1.3mg/l (1.2mg/l)、Ca²⁺濃度は4.4~4.6mg/l (4.5mg/l)、Mg²⁺濃度は2.3~2.4mg/l (2.3mg/l)である。大濁溜池のNa⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺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、Na⁺濃度はほとんど低下していない。また、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺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Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺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Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺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、Al³⁺及びSO₄²⁻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、土壤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