

北海道ニセコ地域山麓における河川源流の水温とアニオン 濃度分布の地域的特徴について

川村政和*

Masayori KAWAMURA (1998) Distributions of temperature and anion concentrations in stream-sources in Niseko geothermal field, Hokkaido, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 49 (8), p. 413-424, 6 figs., 3 tables.

Abstract: Niseko is a geothermal-field located in south-west Hokkaido. Around this field, two large rivers, the Horikabu and Shiribetsu Rivers, flow toward Japan Sea. To these rivers, about 60 small rivers flow down from the mountain area. In 1965, at the source of these small rivers, water temperature and flow rate were measured. And, the concentrations of major anions were also analyzed. On the basis of distributions of these parameters, Niseko area is divided into three sections. In the sections A and C, waters have low in concentration of major anions and relatively high temperature, influenced by difference of the source area elevation. The water in the section B has relatively high concentration of the anions, caused by mixing of hot-spring water. The latter shows high temperature in north-eastern side but low temperature in south-western side. Such phenomena are considered to be caused by difference of mixing, either by hot-spring water or cold mineral water.

要 旨

北海道西部の、ニセコ地域および周辺の山麓から流出している 60 箇所の小河川と湧泉について、水温・流出量や主要アニオン濃度等の測定を行った。その結果、ニセコ地域内山麓の小河川源流の水質分布は、A・B・C の 3 地区に分けられた。A 地区と C 地区の水質は、アニオン濃度の低い水が単純に温度上昇した性質を示し、水温には流出地点の標高の違いが大きく影響している。これに対して、B 地区ではアニオン濃度が高く、温泉等の混入が想定されるものの、水温の低い区域もあって、一様ではない。B 地区については、各アニオン濃度や水温との関係からみて、更に 2 分することができた。それら水質の差異は、主要な混入水が温泉であるか、あるいは SO_4^{--} 濃度が比較的高い冷鉱泉であるかの違いによって生じている現象と考えられた。

1. はじめに

北海道西部の積丹半島の南に位置するニセコ地域は、スキー場として有名な多雪地域である。当地域には数多くの温泉地が分布しているので、古くから多くの温泉調査(例えば太秦ほか, 1959; 藤木ほか, 1961)が行われて

いる。最近では、新エネルギー産業技術総合開発機構(以下 NEDO)が第 2 次全国地熱資源総合調査において、昭和 59 年度から 3 年間にわたり河川調査を含む総合的な地熱調査(放熱量調査・流体地化学調査等)を実施している(堀ほか, 1986; NEDO, 1987)。その一環として、川村(1991)は河川中の化学成分を利用して同地域における地熱資源量を見積もっているが、本報文は、それとは異なった観点からニセコ地域全体にわたる地熱環境の把握を行う目的で、同地域山麓部の湧泉や河川源流部の水温およびアニオン濃度等の測定を実施し、浅層地下水と地熱活動との係わりについて広域的な考察を行ったものである。

なお、ニセコ地域における地下水および河川に関する水文学的調査としては、北海道開発局農業水産部(1971)が北西部山麓の一部で調査を行っている他、北海道立地下資源調査所(1985)は、ニセコ・羊蹄山地域とその周辺地域にわたる広域調査を実施するとともに関連資料の編集を行っている。また五十嵐・横田(1970)は、鉱床探査目的の一部として 2, 3 の河川の水質調査を実施し、ニセコ火山東部地域の第四紀鉱化作用について報告している。一方、当地域の南西に隣接している羊蹄山一帯は地下水の優勢な地域として有名であり、数多くの調査

Keywords: Niseko, geothermal field, spring, river, ground temperature, water temperature, elevation, anion concentration, SO_4^{--}

* 地殻物理部 (Geophysics Department, GSJ)

(例えば山口, 1972; 鶴巻, 1989) がなされている。

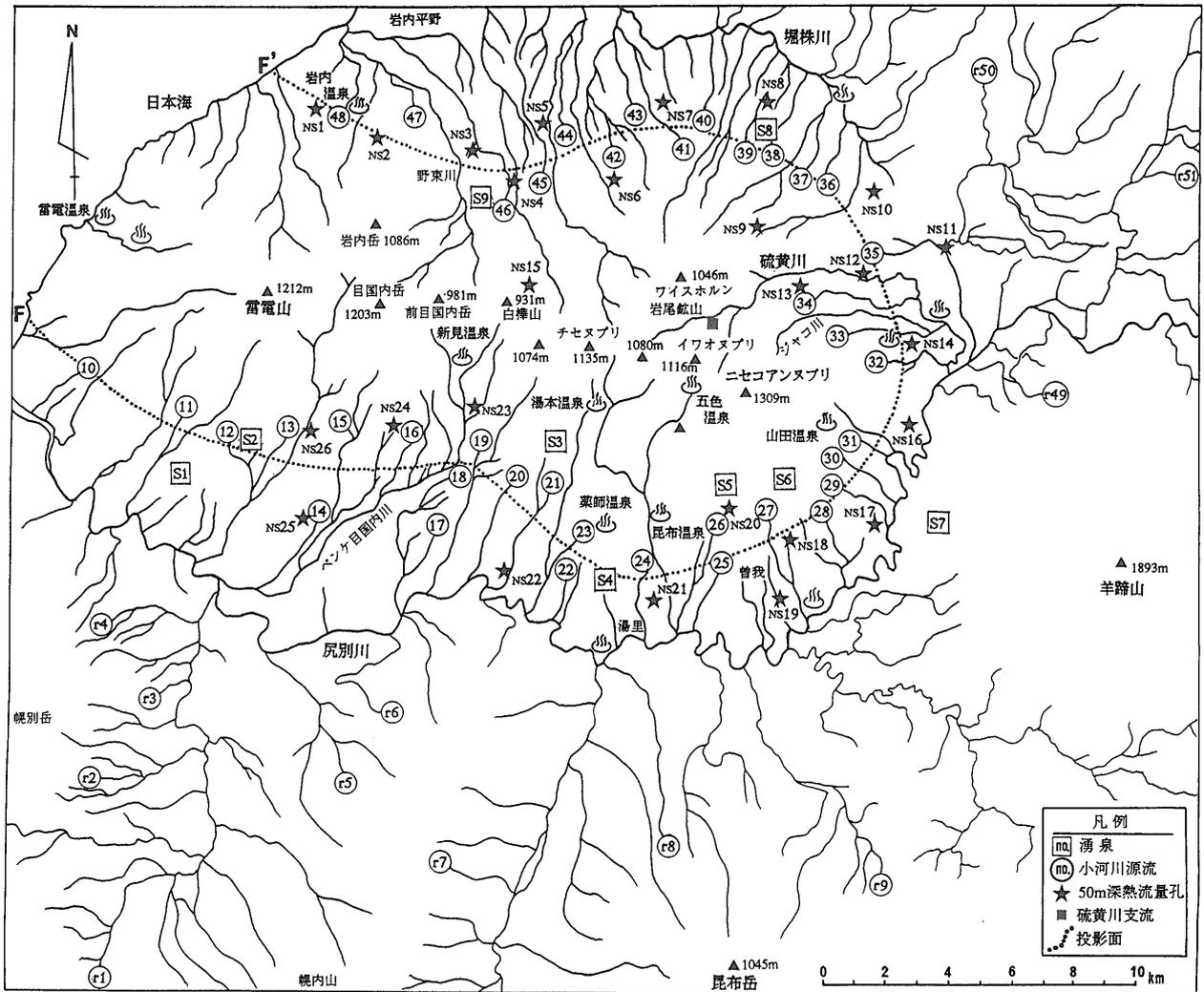
2. 調査地域について

調査対象地域(第1図)の主要部は、同地域の東部から北側を流れて北西部の日本海に注ぐ堀株川と、東部からその南側を流れて日本海に注いでいる尻別川に囲まれている山岳地域(以下「ニセコ地域」と称する)である。その内部にはニセコアンヌプリ(標高1309m)・イワオヌプリ(硫黄山:標高1116m)およびワイスホルン(標高1046m)・チセヌプリ(標高1135m)・シャクナゲ岳(標高1074m)・白樺山(標高931m)・前目国内岳(標高981m)・目国内岳(標高1203m)・岩内岳(標高1086m)・雷電山(標高1212m)等の1000m級の火山がほぼ東西に連なっていて、本地域の脊梁山脈を形成している。ニセコ地域の北部には岩内平野、東に羊蹄山(標高1893m)が位置しており、南側には、西から東へ幌別岳(標高892m)・幌内山(標高842m)・昆布岳(標高1045

m) が連なっている。

ニセコ地域火山群はニセコアンヌプリと雷電山を中心とした東西の2つの山体に分けられ、その間をペンケ目国内川と野東川が分水界から南北に流下する鞍部状の地形を呈しているが、その基盤自体も東西両端で高く盛り上がり、中央部では低くなっていると考えられている(大場, 1960)。これらの火山活動は大部分が洪積世後半で、沖積世にはいつてからは東部のイワオヌプリ付近に集中し、溶岩円頂丘や爆裂火口が形成された(北海道立地下資源調査所, 1977)。ニセコ地域内には14箇所以上の温泉地があるなど、全域にわたって地熱活動がみられるが、特にニセコアンヌプリからチセヌプリにかけての南麓一帯において顕著であり、五色温泉付近に噴気活動、湯本温泉付近には大小二つの湯沼がある。

本地域は全体的に、標高400-500m付近以上は急傾斜で複雑な地形を呈しており、それ以下の高度では傾斜の緩い山麓が展開している(広川・村山, 1955)。山麓部には火山灰・軽石等の火山噴出物と共に崖錐堆積物や扇状



第1図 測点等位置図: ニセコ地域の地形と湧泉・河川。

Fig. 1 Location map of streams, springs and observation points in the Niseko field.

北海道ニセコの河川源流の水温とアニオン濃度分布 (川村)

地堆積物が広く覆っており、その下位の凝灰岩層等とともに良い地下水層を形成している(北海道立地下資源調査所, 1985)。ニセコ地域内部の山岳からは大小合わせて約60本程の河川が流下していて、上述した堀株川と尻別川に流入している。

3. 調査内容

ニセコ地域には全域にわたって化学的性状の異なる多種類の温泉活動が存在している(太秦ほか, 1959)ので、当地域における地熱活動と浅層地下水との係わりを広域的に把握するためには、地形等を考慮に入れた立体的観

点による調査が必要である。この目的から、前節で述べたニセコ山系の縁辺部において、その源流部の標高が100-400mに位置する同地域山麓部の小河川と湧泉を調査対象とし、それぞれ2万5千分の1地形図および北海道立地下資源調査所(1985)の水理地質資料によって測点を選定し、水温・流量等の測定と試水の採取を実施した。

当地域では比較的低標高部にその源流部をもつ小河川を調査対象としたのは、以下の理由による。すなわち、前述したようにニセコ地域は全体的に標高400-500m付近から下の高度では傾斜の緩い山麓が展開する地形を呈しており(広川・村山, 1955)、その付近に浅層地下水

第1表 測定結果一覧表. 1: ニセコ地域内小河川源流.
Table 1-1 Monitored parameter data for the streams in the Niseko field.

測点 番号	地区	標高 m	測定時刻 月日時分	気温 ℃	水温 ℃	流出量 *10 ⁻³ m ³ /s	pH	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l
R10	A	200	8.6.09:00	21.9	18.1	1.46	6.2	25.8	31.0	5.9
R11	A	240	8.6.14:26	24.4	15.0	12.0	6.8	12.5	2.3	16.9
R12	A	250	8.5.14:40	19.0	10.2	7.00	6.5	12.9	2.1	12.0
R13	A	270	8.5.14:26	18.9	14.4	1.67	6.6	13.6	2.0	10.9
R14	A	60	8.7.09:45	25.5	19.2	1.00	6.7	14.6	2.5	40.6
R15	A	300	8.6.14:10	22.5	10.9	30.0	6.8	12.5	1.4	16.5
R16	A	280	8.6.13:40	23.2	14.1	7.00	6.8	13.1	1.6	20.2
R17	A	160	8.6.15:15	24.2	16.9	1.63	7.1	11.4	2.2	27.0
R18	A	230	8.7.09:20	24.7	15.8	3.00	7.1	14.5	2.3	35.0
R19	A	280	8.7.10:10	23.7	13.7	0.59	6.8	10.7	2.2	22.2
R20	A	280	8.7.11:40	26.4	14.7	0.31	6.9	11.7	2.8	20.3
R21	A	300	8.7.13:30	23.6	16.3	0.15	6.8	26.2	4.7	20.5
R22	A	150	8.6.14:55	23.6	13.9	2.00	7.3	10.5	2.3	52.6
R23	A	180	8.6.15:17	23.7	16.0	80.0	6.7	125.0	17.0	58.4
R24	B a	200	8.6.15:05	23.2	10.2	25.0	6.7	13.3	5.5	19.9
R25	B a	180	8.6.15:45	22.2	12.1	6.00	6.7	15.7	6.9	24.7
R26	B a	270	8.6.15:25	24.1	11.7	11.0	6.5	13.3	17.0	8.6
R27	B a	270	8.6.16:10	23.6	12.5	29.0	6.8	10.7	2.4	11.7
R28	B a	220	8.5.15:03	20.6	10.2	8.00	6.7	13.9	7.1	18.6
R29	B c	240	8.5.14:20	20.4	13.7	13.0	6.9	17.6	9.4	30.4
R30	B c	260	8.6.15:25	23.5	14.0	38.0	6.7	22.4	33.0	34.5
R31	B c	270	8.6.14:52	26.3	16.8	29.0	6.9	23.2	77.0	32.0
R32	B c	270	8.8.09:50	25.4	12.4	3.97	7.2	13.2	7.3	30.2
R33	B c	290	8.7.16:10	23.6	14.3	21.0	7.0	23.9	18.0	41.8
R34	B c	350	8.7.09:00	23.5	13.6	18.0	7.1	16.3	5.3	24.0
R35	B c	260	8.8.12:15	28.9	20.2	16.0	7.1	16.6	4.3	28.2
R36	C	180	8.7.12:15	26.8	16.4	15.0	7.2	13.9	2.2	25.9
R37	C	220	8.7.09:55	26.5	12.6	27.0	7.2	12.0	2.3	28.4
R38	C	240	8.7.14:10	27.0	14.4	0.13	6.1	14.1	5.1	11.1
R39	C	280	8.7.14:55	24.0	16.8	0.37	6.5	12.5	1.3	12.0
R40	C	230	8.8.09:10	25.6	15.1	0.81	6.3	12.1	2.0	11.0
R41	C	310	8.8.10:15	26.0	14.0	7.00	6.8	12.9	1.7	11.2
R42	C	260	8.8.14:30	24.7	15.1	3.00	6.5	16.4	1.9	13.9
R43	C	170	8.8.12:30	25.6	17.1	0.16	6.7	13.6	2.2	16.1
R44	C	140	8.7.14:42	24.3	18.1	1.00	6.8	14.9	2.6	26.0
R45	C	200	8.7.13:55	27.6	14.5	226.0	7.0	9.4	3.7	17.1
R46	C	250	8.5.15:55	24.1	12.6	21.0	6.9	11.8	1.4	23.2
R47	C	50	8.7.11:15	25.7	15.4	7.00	6.9	10.9	2.3	24.8
R48	C	110	8.7.11:58	23.6	14.8	4.00	7.0	14.9	2.0	26.9
平均		230		24.2	14.5	12.2	6.8	14.9	6.0	22.9

第1表 測定結果一覧表. 2: ニセコ地域湧泉.

Table 1-2 Monitored parameter data for the springs in the Niseko field.

測点 番号	地区	標高 m	測定時刻 月日時分	気温 ℃	水温 ℃	流出量 *10 ⁻³ m ³ /s	pH	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l
S 1	A	110	8.5.15:07	20.2	8.9	44.0	6.9	11.3	2.9	24.6
S 2	A	200	8.5.16:10	20.2	8.7	15.0	7.2	12.2	2.7	25.3
S 3	A	400	8.5.16:15	18.1	7.7	5.00	7.0	11.9	4.1	28.7
S 4	B a	210	8.5.15:06	21.3	22.6	0.04	7.0	13.3	3.7	28.1
S 5	B a	410	8.5.13:40	19.2	6.0	17.0	6.6	12.3	2.9	13.9
S 6	B a	360	8.5.15:40	19.6	5.6	4.09	6.8	9.9	2.9	16.1
S 7	ES	240	8.5.14:45	17.7	9.3	82.0	7.5	11.0	10.0	142.0
S 8	C	250	8.5.14:25	24.3	11.6	18.0	6.8	9.6	2.9	24.7
S 9	C	300	8.8.12:00	26.5	8.4	0.26	7.0	10.6	1.5	13.7
平均		287		20.8	8.6	9.89	6.9	11.4	3.0	22.1

第1表 測定結果一覧表. 3: ニセコ地域周辺小河川源流.

Table 1-3 Monitored parameter data for the streams around the Niseko field.

測点 番号	地域	標高 m	測定時刻 月日時分	気温 ℃	水温 ℃	流出量 *10 ⁻³ m ³ /s	pH	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l
r 1	SW	210	8.6.13:46	22.7	17.9	6.03	7.1	13.6	2.3	24.2
r 2	SW	200	8.6.10:45	20.2	6.9	52.0	7.4	14.5	2.6	44.6
r 3	SW	40	8.6.12:50	24.4	17.0	6.00	7.2	15.3	2.1	28.2
r 4	SW	120	8.6.11:40	23.5	16.0	0.39	6.8	14.0	2.4	23.8
r 5	SW	150	8.6.11:40	21.7	15.2	26.0	6.9	14.3	1.8	17.8
r 6	SW	120	8.6.09:50	22.7	16.8	12.0	6.8	9.0	13.0	16.1
r 7	SW	320	8.6.13:48	19.7	13.0	18.0	6.9	10.9	1.3	19.1
r 8	SW	340	8.7.14:42	25.8	14.7	7.00	6.8	10.5	1.4	17.4
r 9	SW	270	8.6.16:10	24.6	15.3	0.45	6.2	10.8	5.3	6.4
r 49	NE	200	8.7.15:20	22.2	6.5	186.0	7.1	14.2	5.0	25.9
r 50	NE	210	8.8.14:20	26.1	20.4	26.0	6.9	15.6	3.1	27.7
r 51	NE	250	8.7.14:05	26.1	18.2	26.0	7.1	9.9	1.9	20.5
平均		205		23.4	15.1	18.0	7.0	12.8	2.8	22.1

の露頭としての源流を有する小河川が全域にわたって数多く分布している。従って、同地域の浅層地下水に対する地下地熱活動の反映を把握するという本研究の目的上、それらの河川を利用することは効果的な方法である。さらに、上流地区において排出された温泉等の表面流入により汚染される可能性が無い源流部では、浅層地下水の本来的性状を反映している河川水質の把握が期待できる。

なお、調査は(財)気象協会北海道本部によって1985年8月9-11日にかけて実施したが、それ以前の2週間にわたって降雨はなく、直前の7日頃からは夏型気圧配置となって、気温はやや高めであった。第1図に示している測点中、□印の9点(S1-S9)が湧泉、51点の○印は小河川源流(以下、小河川)である。この内、ニセコ地域内にあるのは39河川(R10-R48)で、r1-r9およびr49-r51の12河川は、それぞれニセコ地域外の南部と北東部に位置しており、羊蹄山麓の湧泉S7と共に、ニセコ地域内外の比較のために加えた。各測点では川幅に応じて適当な間隔で測線を設定し、流速計による1点法測定(60%深度)から流量を求めた。また、河川中央部の流速測定点でサーミスタ温度計を用いて水温を測定

し、さらに気温の測定も行った。ただし流量が非常に少ない測点では、既知容量の器が満水になる時間を計る方法によった。また、同測点で採取した試水を持ち帰り、pH(ガラス電極法)およびCl⁻(硝酸銀滴定法)・SO₄²⁻(クロム酸バリウム吸光度法)・HCO₃⁻(0.1N塩酸による酸滴定法)の主要アニオン濃度を分析した。

4. 調査結果の概要

前節で述べたニセコ地域内外の小河川源流と湧泉について、それぞれの測点における水温・流量や各アニオン濃度等についての測定分析結果を第1表に示している。ここでR23(Cl⁻濃度:125mg/l)とR31(SO₄²⁻濃度:77mg/l)の値は他の測点と比較して異常に高く、それらには明らかに温泉水の混入等の影響があると考えられる。また湧泉S4は、水温が22.6℃と著しく高いにもかかわらず、アニオン濃度については平均的な値であり、単に水温のみが高いだけである。この原因としては、その湧出量が他と比較して極めて少ないために、気温の影響を大きく受けていることによっていると思われる。

第1表に示している測定結果について、ニセコ地域内

第2表 湧泉・小河川の項目別比較.

Table 2 Summary of the springs and streams inside and outside the Niseko field.

項目	単位	ニセコ地域湧泉		ニセコ地域内小河川		ニセコ地域周辺小河川	
		範囲	平均 (注)	範囲	平均	範囲	平均
測点数	ヶ所	8	6	39	37	12	10
標高	m	110 ~ 410	287	50 ~ 350	230	40 ~ 340	250
水温	℃	5.6~11.6	8.6	10.2~ 20.2	14.5	6.5~ 20.4	15.1
pH		6.6~ 7.2	6.9	6.1~ 7.3	6.8	6.2~ 7.4	7.0
Cl ⁻	mg/l	9.6~13.3	11.4	9.4~125.0	14.9	9.0~ 15.6	12.8
SO ₄ ²⁻	mg/l	1.5~ 4.1	3.0	1.3~ 77.0	6.0	1.3~ 13.0	2.8
HCO ₃ ⁻	mg/l	13.7~28.7	22.1	5.9~ 58.4	22.9	6.4~ 44.6	22.1
流出量	*10 ⁻³ m ³ /s	0.26~44.0	9.9	0.13~226.0	12.2	0.39~186.0	17.9
対象測点		S1 ~ S9		R10~ R48		r1 ~r9, r49 ~r5	

注) 羊蹄山山麓に位置する S7 は除く

外的小河川および湧泉を各測定項目別に比較するために、それぞれの測定値の分布範囲と共に、最大値と最小値を除いた平均値を第2表に示している。小河川の源流水温について、ニセコ地域内にある R10-R48 の39点と地域外にある r1-r9 および r49-r51 の12点とを比較すると、前者の平均水温が 14.5℃ であるのに対し後者は 15.1℃ で、後者の方がわずかに高いだけでほぼ同じ範囲にあり、ニセコ地域の内外で明確な差はみられない。すなわち、それぞれの地下における地熱活動による水温への影響は、さほど大きくないといえる。

一方、地域外の羊蹄山山麓に位置する S7 を除外したニセコ地域内湧泉の平均水温は 8.6℃ であるが、平均標高はニセコ地域内小河川源流と同程度であるにもかかわらず、その平均水温 (14.5℃) に比して約 6℃ も低く、大きな差がある。またアニオン濃度平均値については、いずれもニセコ地域内小河川の値が地域外の値に比して大きい、特に SO₄²⁻ 濃度は倍以上もあって、その差が顕著であり、この場合は地熱活動が影響しているためと推察される。しかし湧泉については、それがニセコ地域内にあるにもかかわらず、水温とは異なり、どのイオンも地域外小河川とほぼ同程度の濃度値を示す。以上より、ニセコ地域内においては水温と SO₄²⁻ 濃度に関して何らかの特性のあることがうかがわれ、注目される。

羊蹄山の山麓湧水についても同様に、SO₄²⁻ 濃度が高い現象が見られ、それについて鶴巻 (1989) は上流部において使用された農業用肥料が原因であると考えている。しかし、それらの湧水地点が山麓の低標高部に位置するのに対して、ニセコの場合は標高が高く、その上流部には農業用地が見られないことから、羊蹄山の場合とは原因が異なっていると考えられる。

5. 水質分布について

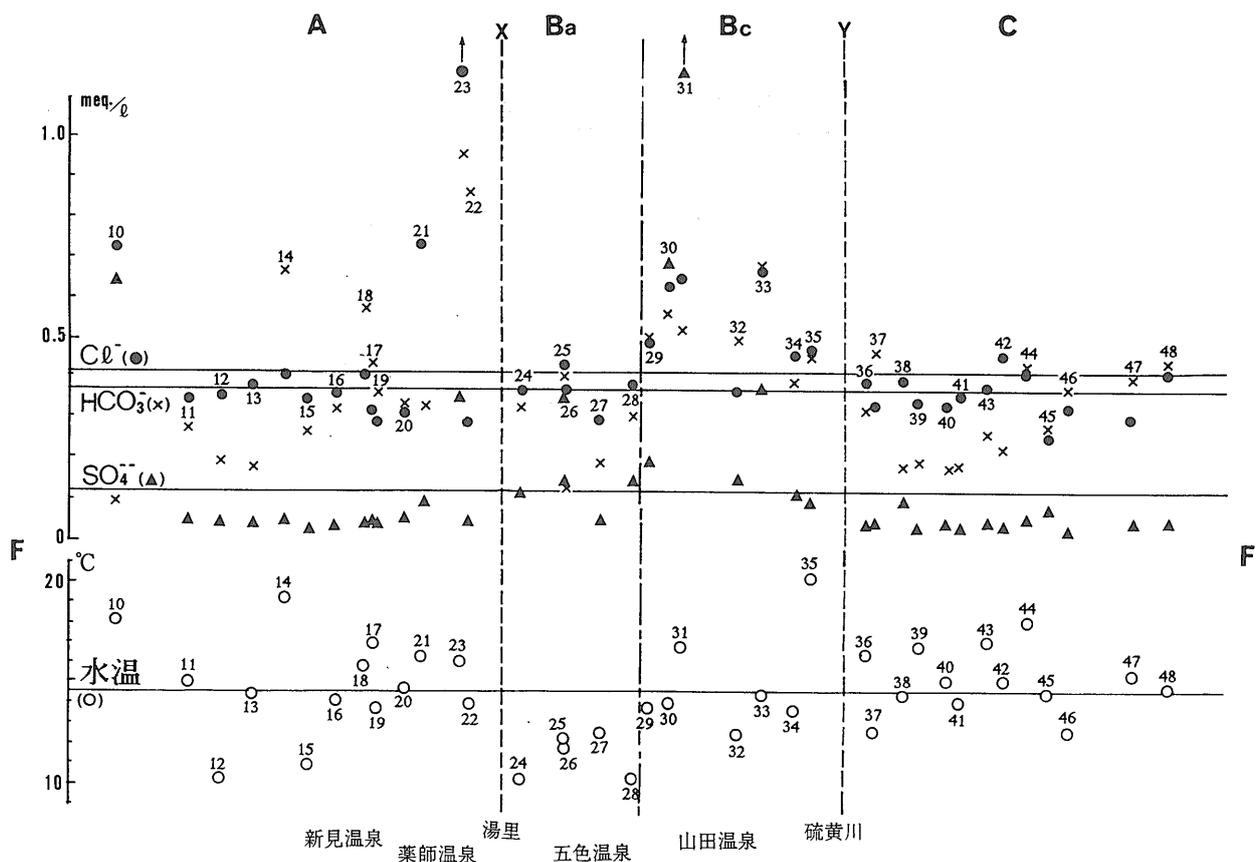
ニセコ地域内小河川の水温およびアニオン濃度について地区特性を調べるため、ニセコ山系をとりまく、地形や測点分布を考慮した瓢箪状の面 (第1図中の F-F') に

各測点位置を投影し、それを展開したグラフに各測定値 (第1-1表) を表示したのが第2図である。各項目の横軸の位置は、上述したそれぞれの平均値を意味している。全体として、中央部でアニオン濃度が高く両側では低いものに対して、水温についてはその両側に比して中央部で低く、ちょうど反対の傾向にあることが明らかである。それらの状況については、そうした傾向が特に明確な SO₄²⁻ 濃度分布に基づいて、第2図上に示す湯里付近 (X)・硫黄川付近 (Y) を境界として全体を3ブロックに分けることができるので、それぞれを A・B・C とする。既述したように、R24-R35 の B 地区には他地区と異なる特徴的な傾向がみられるが、A・C 地区の間には水温および各アニオン濃度について明確な差は見られないことから、それが南北間等の地形に起因する差ではなく、B 地区特有の現象であるといえる。

なお五十嵐・横田 (1970) は、鉱床研究の一環として硫黄川本・支流の流水および周辺の湧水について主要化学成分の分布を求めている。その結果として、全体的にはかなりバラツキが大きいものの、SO₄・Fe 等の含有量が北岸側で低いのに対し、南岸側では高い傾向があることを報告している。上述した C-B 地区間の境界と類似した知見であるため興味深い、それらの試水採取地点が岩雄鉱山周辺の標高 650-900 m と、筆者の場合に比べてかなり高く、その採取方式も異なっているため、単純に同じ現象と結論づけることはできないであろう。

さて、第2図の検討により、特徴として以下の3点を指摘することができる。

- 1) A・C 両地区は水温およびアニオン濃度共にほぼ同様な性質を有している。
- 2) B 地区は、他の両地区とは明らかに異なった傾向を示している。各アニオン濃度、特に SO₄²⁻ 濃度が高く、また水温については、R31 や R35 を例外として、むしろ低目である。
- 3) B 地区の内部では、南西側と北東側とで異なった分布傾向を有している。すなわち、曾我地区を中心とした A 地区側では水温は低い、SO₄²⁻ を除いたアニオ



第2図 ニセコ地域内における小河川源流の水溫・アニオン濃度展開図。

Fig. 2 Unfolded graph of temperature and anion concentrations for the streams surrounding mountains in the Niseko field.

ン濃度はA・C両地区とほぼ同じであるのに対して、C地区側の山田地区周辺では反対に、水溫は他2地区に似ているが、アニオン濃度が全体的に高い。

このため次節以降では、B地区についてR 28・R 29間を境界として2分し、Ba地区およびBc地区としてさらに詳細な検討を行う。

6. 水溫形成の考察

まわりの地区に比べて、B地区で河川水溫が低くなる原因として、以下の5ケースが考えられる。

- ① B地区測定時の氣溫が、他地区の測定時に比して特に低温であった場合
- ② 地形的に日射の陰になっているなど、B地区の地形的特徴が低温環境にある場合
- ③ B地区の地下地熱活動が、周囲の地区に比べて低いなどの違いがある場合
- ④ 一般的傾向として標高が高くなるほど低温となるが、B地区の測定点が他地区の測定点に比べて標高が高い場合
- ⑤ 他地区には無い低温水の混入がB地区だけにあるなど、流入水の温度に地区差がある場合

まず①については、第1-1表に示している測定時氣溫と水溫の間に特別な関連はみられず、無関係である。また②については、B地区に地形的特異性はみられず、南側斜面に位置しているなどの点で、地形的な影響についても無関係であるとして良い。一方、NEDO (1985) は地熱調査の一環として、昭和59年度に全域にわたり26孔 (NS1-26) の50m深熱流量調査孔 (第1図中★印) を掘削している。それらの孔口標高・水位および孔底温度を第3表に示しているが、このうちNS11・NS23・NS26の3孔では地下水が自噴した。最も高温を呈したのはペンケ目国内川上流の、付近に新見温泉があるNS23における17.6°Cである。これに対して、最低温度を呈したのは白樺山頂北東のNS15 (孔口標高650m) における4.9°Cである。残りの計12孔の孔底温度はいずれも10°C前後の値を示しており、③の地熱活動に関しては、A・C地区とB地区との間に格別な差異は無いといえる。

次いで、④の流出地点の標高との関係について検討をすすめる。第3図は、ニセコ地域における湧泉 (×印) および小河川源流の水溫と標高との関係である。同図中には50m孔 (第3表) の孔底の標高 (H) と孔底温度 (T) との関係 (★印) も併せて示している。図中の実線

北海道ニセコの河川源流の水温とアニオン濃度分布 (川村)

第3表 50m 深熱流量孔測定結果 (NEDO: 1985).
Table 3 Observed data in 50 m deep heat-holes.

坑井 番号	地区	坑口 標高	坑口 水位	50m 地温	40m 地温	30m 地温	20m 地温	10m 地温	5m 地温	4m 地温	3m 地温	2m 地温
		m	m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
NS 1	C	110	36.0	10.0	9.5	13.4	14.4	15.7	17.4	18.0	18.8	18.9
NS 2	C	210	38.0	7.2	6.9	10.2	11.3	14.2	14.1	14.0	13.9	13.7
NS 3	C	120	1.0	14.6	13.5	12.1	10.8	9.2	9.6	10.1	10.7	12.3
NS 4	C	220	20.0	9.5	9.1	8.8	8.5	12.5	14.1	14.4	15.0	15.3
NS 5	C	120	1.5	8.7	8.5	8.5	8.1	7.9	9.0	9.9	11.5	12.8
NS 6	*C	340	36.0	6.3	6.2	7.6	8.1	9.4	11.6	12.1	12.4	12.5
NS 7	C	170	1.0	7.9	7.7	7.6	7.5	7.5	7.1	7.8	9.2	10.9
NS 8	*C	150	6.5	11.8	10.3	9.0	8.5	8.6	11.0	11.4	11.8	12.3
NS 9	*C	500	7.0	5.3	5.4	5.5	5.7	5.7	13.9	14.2	14.3	14.5
NS10	C	150	1.0	13.0	11.8	10.7	9.3	8.3	8.8	9.2	9.5	9.6
NS11	*B c	200	自噴	(10.8)	(10.8)	(10.8)	(10.7)	(10.7)	(10.7)	(10.7)	(10.7)	(10.7)
NS12	B c	290	2.5	10.4	9.9	8.9	8.3	7.6	7.4	9.8	9.9	10.7
NS13	*B c	400	8.5	6.7	6.5	6.4	6.5	6.7	11.0	11.2	11.3	11.3
NS14	B c	250	13.0	8.9	8.0	7.6	7.6	9.1	9.4	9.5	9.5	9.3
NS15	C	650	14.5	4.9	4.9	4.9	5.4	13.1	14.0	14.3	14.5	14.6
NS16	B c	220	1.0	10.2	9.7	9.1	8.8	8.5	8.6	9.6	11.1	12.6
NS17	*B c	200	4.0	9.9	9.5	9.4	9.0	8.7	9.1	9.2	11.5	11.5
NS18	B a	230	5.0	10.3	9.4	8.5	7.9	7.5	8.5	6.5	6.4	6.1
NS19	*B a	170	3.0	10.1	8.8	7.9	7.8	7.9	8.2	9.1	10.1	12.0
NS20	*B a	340	3.0	7.5	6.9	6.3	6.0	6.1	7.5	8.0	9.0	7.5
NS21	B a	160	15.0	12.1	9.4	9.3	8.9	7.0	7.2	7.1	7.0	6.5
NS22	*A	70	9.0	13.3	12.5	11.4	9.9	8.8	9.0	9.0	8.9	8.8
NS23	*A	360	自噴	(17.6)	(17.2)	(17.2)	(17.2)	(17.1)	(17.1)	(17.1)	(17.1)	(17.1)
NS24	A	330	8.0	6.1	6.1	6.0	6.0	5.6	9.5	9.9	9.9	9.8
NS25	*A	70	1.5	13.0	12.2	11.4	10.5	9.3	10.5	11.3	12.1	12.4
NS26	*A	220	自噴	(7.8)	(7.8)	(7.8)	(7.8)	(7.8)	(7.8)	(7.8)	(7.8)	(7.8)

(注1) ゴチック体;湧泉平均水温(8.6°C)以下

(注2) *印;展開面から1km以上離れている坑

(GL)は、それらの内、地下水が自噴した3孔を除いた23孔について求めた1次回帰線であり、次式で表わされる。

$$T(°C) = 12.37 - 0.0155H(m)$$

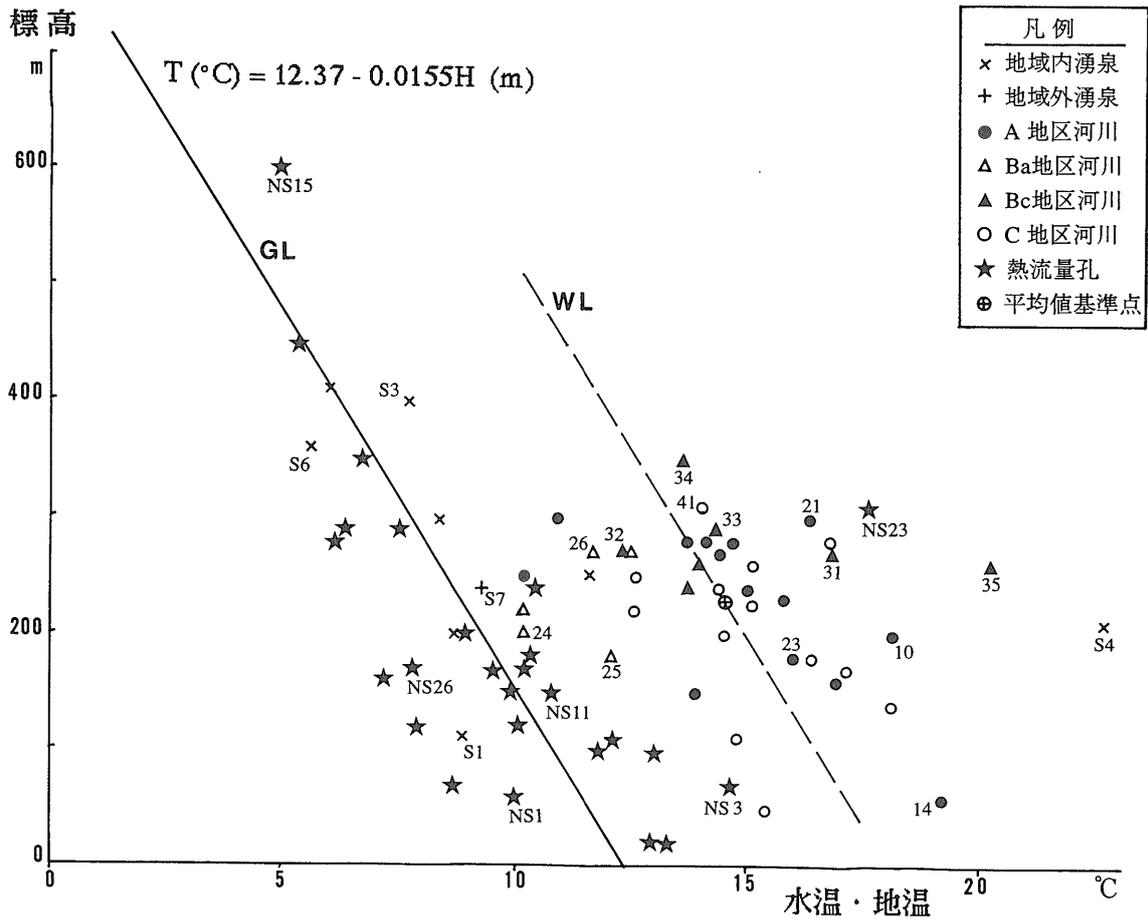
第3図でまず注目される点は、湧泉(×印)の標高-水温の関係がこの50m孔に関する回帰線(GL)に沿った分布をしていることである。これは湧泉水温の形成について、地下の比較的深部との係わりがあることを示唆している。また破線(WL)は、源流水温の平均値(14.5°C)を測定点全体のほぼ中央の標高(250m)に対応するとした点(⊕印)を通り、GLに平行する直線であるが、A・C地区小河水(以下A・C水)の標高-水温の関係がほぼこのWL線に沿った分布をしている。これに対してB地区小河水(以下B水)はやや異なった分布を示している。A・C水は標高の低下につれて、水温が上昇する傾向を有しているのに対し、B水(△・▲印)は、ほぼ同じ標高レベル(200-300m)にあるにもかかわらず、水温は10-20°Cという広い範囲にわたっていることである。

これらの事実は、B水の水温の違いが、標高差の様な

一般的な影響ではなく、なんらかの特別な過程によって生じていること、例えば、B水が温泉や湧泉型の冷地下水との混合によって形成されていることを意味していると結論される。Ba水(△印)はA・C水に比べて3°C程度も低く、WL線より低温側で、GL線との中間部に位置しているため、Ba水には湧泉型地下水との関わりが大きいことを思わせる。これはつまり、上述した⑤にも関連することである。これに対して、Bc水(▲印)には温泉混入による影響が考えられる。しかし詳細にみると、水温が異常に高いR35以外は、ほぼWL線に沿った分布をしていると見ることもでき、いちがいに温泉混入を断定できない。

7. 水質特性の検討

本節では、アニオン濃度に関する地区的な分布特性と、前節で言及した温泉混入の可能性について検討を加える。第4図は湧泉・小河水のアニオン三角ダイアグラムであり、B地区周辺の温泉の中で、異常の見られた河川の周辺に位置している温泉地の中の代表的な泉源



第3図 湧泉・小河川源流水温および50m孔底地温と標高との相関関係。

Fig.3 Relationship between elevation and temperature at observation points in the streams, springs and 50 m deep heat-holes.

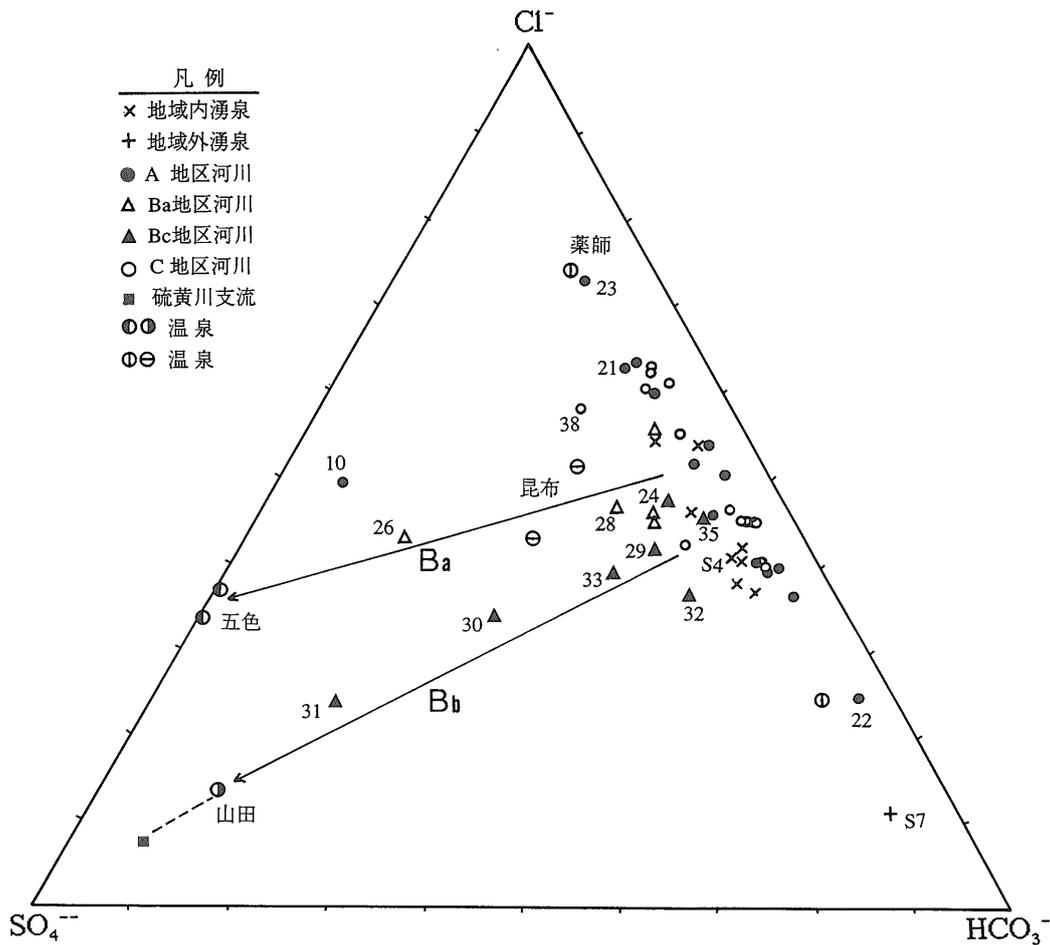
や、前節で述べた五十嵐・横田 (1970) の硫黄川南岸流水の平均値 (■印) も、併せて示している。

本図によると、A・C水および湧泉水とB水の2つの異なる水質タイプに大別することができる。前者についてはいずれも SO_4^{2-} 濃度が低いグループを形成しているが、A・C水の $HCO_3^- - Cl^-$ 濃度比にバラツキがあり、広い範囲に分布しているのに対し、湧泉 (×印) はその中央部にまとまっている。

一方、第4節で温泉混入の可能性を指摘したR23 (A水) やR31 (Bc水) は、やはり、それぞれ薬師温泉 (37.8°C; 第4図中○印) や山田温泉 (41.4°C; 第4図中●印) に最も近接した位置にあって、相互の関係の深さを示していると考えられる。またR26 (Ba水) も、五色温泉 (82.0°C; 第4図中●印) との関わりを考慮できる位置にある。従って、Ba水 (△印) とBc水 (▲印) については、それぞれ五色温泉や山田温泉の温泉水と湧泉型の水との混合を想定できる。ただしBa水については、R26を除くと温泉の混入は必ずしも明確ではなく、残りは湧泉水に近い水質である。他方、第3図で異常な位置を占めていたR35 (Bc水) には、格別な異常が見られな

い。

以上の点を踏まえて、 $Cl^- \cdot SO_4^{2-}$ 各濃度の相関関係 (第5図) について量的な検討を加える。本図において最も注目される点は、第4図では混在していたA・C水と湧泉 (×印) とが分離し、前者が SO_4^{2-} 濃度の最も低いグループを形成していることである。これに対してB水は、湧泉型の水に温泉水が混入している様相を呈しているが、第2-4図ほどにはBa (△) とBc (▲) の間に明確な違いがない。それらの延長には地理的にも近い山田温泉が位置しているけれど、五色温泉はやや外れた方向に位置している。従ってBc水については、R31を筆頭として温泉混入の可能性が高いと判断される。しかしR35にはその様な兆候が全くみられない。またBa水についてはやはり、R26だけが特異な位置にあるようにもみえる。一方、A水のR23やR21には薬師温泉との関連性がより明確に現れているものの、それら2測点に限定されていて、A水中では特別な性質を示している。



第4図 湧泉・小河川源流水のアニオン三角ダイアグラム。
Fig. 4 Triangular diagram of major anions for waters of streams and springs.

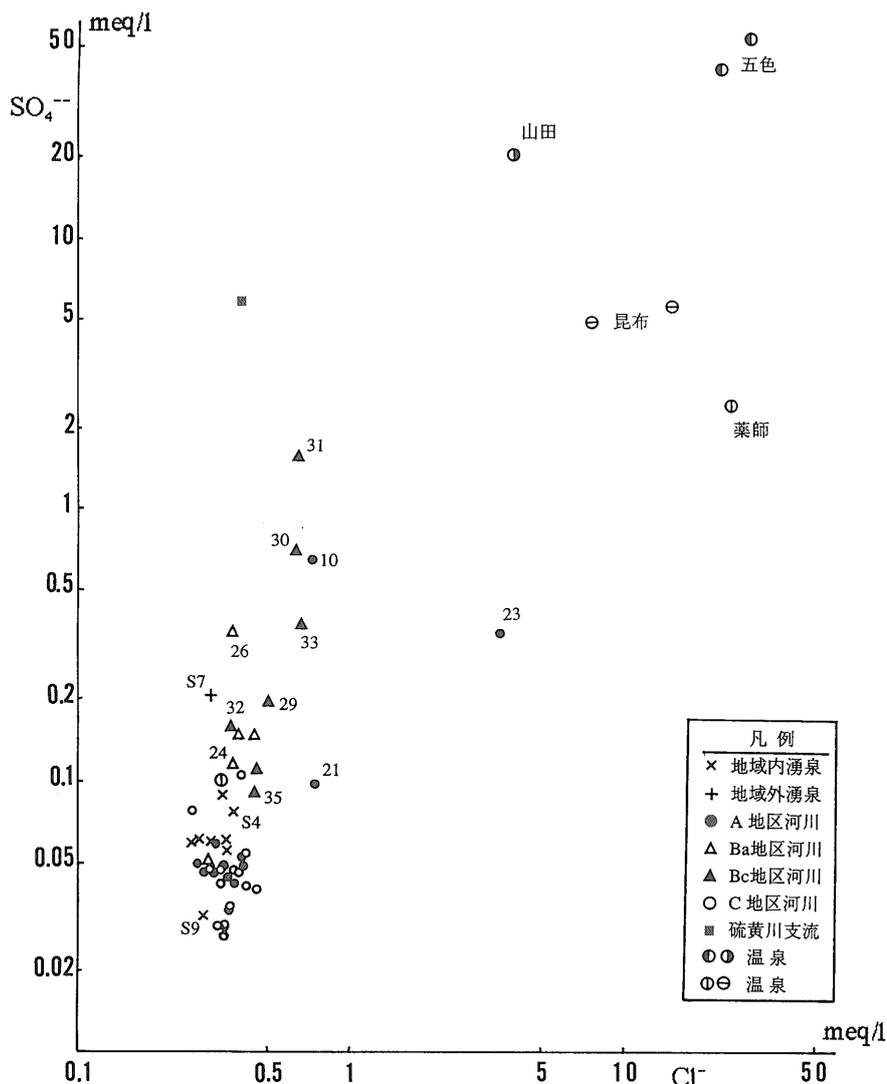
8. 水温とアニオン濃度の関係

第6図は湧泉・小河川水の水質とCl⁻濃度およびSO₄²⁻濃度との関係である。一部のA水(R10・R21・R23等)とB水の他は、湧泉・河川水あるいはニセコ域内・域外の違いにかかわらず、ほぼ直線状に分布している。Cl⁻濃度との関係に、わずかな正の相関傾向が見られるものの、いずれの場合も水温の違いだけなので、それらのイオン濃度と水温の間には特別な関係は無いということができ、第3図で明らかになった水温の標高依存性が明確に現れているものである。また、ニセコ地域外やA・C両地区の河川水と湧泉水は、ともに上述した直線状の範囲内に混在していて、それらの間にも格別な差違は認められない。ただし湧泉は最も低温であって、それらの関係において基本的な位置を占めている。しかし、第5図と第6図の結果を合わせると、湧泉とA・C水との違いは水温とSO₄²⁻濃度とがちょうど逆の関係であることから、A・C水は湧泉が温度上昇したものではないと考えられる。

A・C水について、Cl⁻やSO₄²⁻等の濃度が極めて低

いことは、地中における滞留時間が湧泉水より短いものであることを示しており、水温が高い点は、気温や日射の影響を受けやすい、地表下のごく浅い部分を流下しているからであろうと考えられる。例えば、地中に浸透した天水が短時間で地表に流出する場合(以下、天水型浅層地下水)である。これに対して湧泉の場合は、より深部の流下経路をとるため、一定以上の地中滞留時間を有し、それ故にアニオン濃度も増していると推測される。しかも夏期に至る季節には、地下表層部よりも、その下部(以下、中層部)で地温の低くなる現象が生ずる(第3表)。

しかしBc水の水質と水温の関係(第6図)については、他とは明らかに異なった様相を呈しており、例えば水温-SO₄²⁻の関係(▲印)では、SO₄²⁻濃度の最も高いR31が最も水温が高く、濃度が低くなるにつれて水温も低下している。すなわち、SO₄²⁻に富む高温水の混入が推定され、その割合の多い河川ほど水温も高くなっているのは明らかである。水温-Cl⁻濃度の関係についても、SO₄²⁻の場合と同様な傾向が現われている。A地区でもR10やR23に類似の傾向がみえるが、これら2点の位



第5図 湧泉・小河川源流水のCl⁻濃度-SO₄²⁻濃度相関関係。
 Fig. 5 Relationship between Cl⁻ and SO₄²⁻ concentrations for waters of streams and springs.

置は約17kmも離れており、地理的にある範囲内にまとまっているBc水の場合とは異なっている。またBa水(△印)については、水温-SO₄²⁻濃度の関係がBc水ほどには明確ではないけれど、SO₄²⁻濃度が比較的高いことは温泉の関わりがあることを示すものである。しかし、同地区の水温は他地区に比して最も低く、河川水と湧泉の境界付近の水温であることから、やはり湧泉型地下水の関与も濃厚であると考え。同地区の地下では、湧泉平均水温(8.6°C)以下の低温部が、他地区に比べて地下浅部に存在している(第3表)ことは、それらの推測とも符合している。

他方、前節で問題になったR35(Bc水)については、A・C水と類似した様相を呈している。同測点はB-C地区の境界付近に位置している(第1図)ため、境界設定の仕方に疑問が生ずる。しかしA・C水に分類しても、既述した標高差に伴う昇温機構では第3図の温度状況を説明できない。現時点では不明であるが、何らかの特別

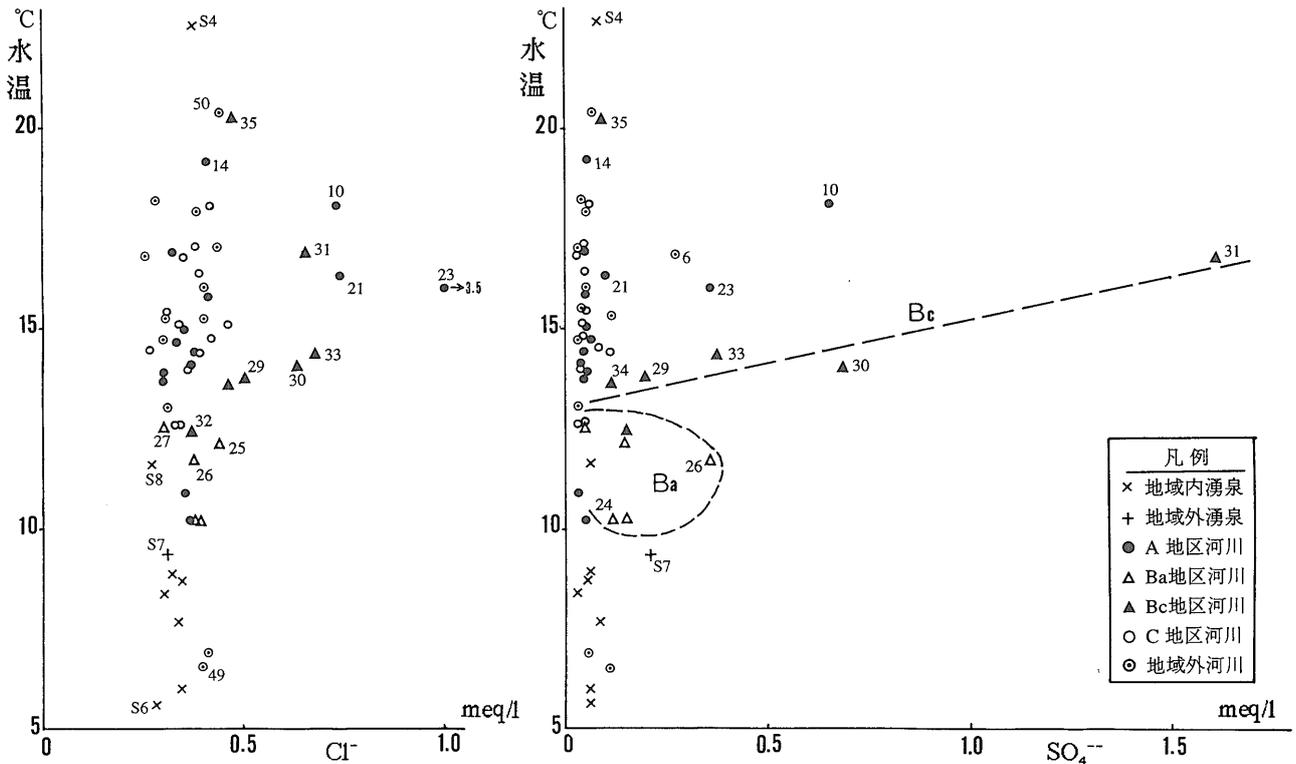
な温度上昇原因、例えば地熱活動等に伴う局地的な加熱の有無を考慮する方が適当であろうと思われる。

9. まとめ

以上の検討結果から、ニセコ地域の小河川源流水の水質の成因については、基本的に次の3項目の様に推定できる。

(1) A・C地区の小河川水は、湧泉よりは化学的成分の少ない天水や地表水が地中に浸透した後に、地表下の浅い部分を短時間流下し、その流出地点の標高に応じて温度上昇した、天水型浅層地下水である。

(2) B地区の小河川はA地区側(Ba)とC地区側(Bc)に2分され、Bc地区小河川水は、地下水(湧泉)の一部に山田温泉に代表される様な温泉水が混入しているため、A・C地区に比してアニオン濃度が高い水質となっている。



第6図 湧泉・小河川源流水の水温-Cl⁻・SO₄²⁻濃度相関関係.
Fig. 6 Relationship of temperatures with Cl⁻ and SO₄²⁻ concentrations for waters of streams and springs.

(3) Ba地区の小河川には、恐らく五色温泉水に由来し、地下中層部の低温層を流下した地下水か、そこを通過した湧泉型冷地下水が混入しているために、SO₄²⁻濃度が高いのに対して、湧水に近い水温を形成している。

ニセコ地域の浅層地下水系については、以上のような過程を含む複合的なモデルを想定することが最も妥当であると結論される。現時点で、B地区内にはそれらのモデルを直接証明する事実はないが、限られた範囲に複雑な水系が含まれているのは、火山活動等により、地下の割れ目が多いことが係わっていると思われる。北海道立地下資源調査所(1977)によると、B地区内の曾我地区の高地部で掘削された温泉井内では、上層水が地層下部に流下する現象のあることが報告されており、又、北海道立地下資源調査所(1985)では、表層部地層の粘土層の状態によって水質にかなり差異のあることに言及している。これらの点は、上述モデルの可能性について示唆を与えるものであると言えよう。

10. おわりに

北海道西部のニセコ地域山麓における湧泉および小河川源流について、水温やアニオン濃度等の分布を明らかにするとともに、それらの特徴について考察を行った。その結果、大半の地域では天水の性質を強く残したまま河川流出している一方、同地域南西部のB地区では温泉

や冷地下水の、比較的地化学成分の多い水系が混入している過程の存在が考えられた。このような現象が年間を通じた恒常的なものであるかどうかについては不明であり、同地区の浅層地下水の形成については未だ推測の域を出ていない部分も多い。しかし、現段階ではこれ以上の追求は困難であり、さらに厳密な検討を行うためにはカチオンや同位体等についての継続的な分析データが必要である。それらについては、今後の研究課題である。

なお、本調査を実施するにあたり貴重な御助言をいただいた、和気 徹所長をはじめとする北海道立地下資源調査所の諸氏に厚く御礼申し上げるとともに、第2次全国地熱資源総合調査データの一部を利用させていただいた新エネルギー産業技術総合開発機構に対し謝意を表す。また、査読氏からも有益な御意見をいただいたことを付記する。

文 献

- 藤木忠美・須川 明・梶原昌弘・大谷清隆 (1961) ニセコ温泉群の調査(地球物理班)。北海道温泉調査報告, 18号, 29-41.
- 広川 治・村山正郎(1955) 5万分の1地質図幅説明書「岩内」, 地質調査所, 1-26.
- 北海道開発局農業水産部 (1971) 昭和43・44・45年度営農用深層地下水調査ニセコ山麓地区, 1-

- 23.
- 北海道立地下資源調査所 (1977) 北海道の地熱・温泉 (B) 西南北海道北部. 地下資源調査所調査研究報告, 4号, 140-164.
- 北海道立地下資源調査所 (1985) 10万分の1北海道水理地質図幅説明書, NO7. 俱知安, 55p.
- 堀 昌雄・高木慎一郎・玉生志郎・村岡洋文・品田正一・清川 求 (1986) 全国地熱資源総合調査の地域レポート(1)ニセコ地域, 地熱エネルギー, 11-4, 34-62.
- 五十嵐昭明・横田節哉 (1970) 北海道ニセコ火山東部地域の第四紀鉍化作用. 地質調査所月報, 21, 361-385.
- 川村政和 (1991) 河川調査による地熱資源評価の試み—北海道ニセコ地域について—. 地質調査所報告, 275号『日本の地熱資源評価に関する研究』, 45-60.
- 大場与志男 (1960) ニセコ火山群の岩石について. 地質学雑誌, 66, 788-799.
- 新エネルギー産業技術総合開発機構 (1986) 昭和60年度全国地熱資源総合調査 (第2次) 火山性熱水対流系地域タイプ① (ニセコ地域) 流体地化学調査報告書要旨, 79p.
- 新エネルギー産業技術総合開発機構 (1987) 昭和61年度全国地熱資源総合調査 (第2次) 火山性熱水対流系地域タイプ① (ニセコ地域) 地熱調査成果図集, 92p.
- 鶴巻道二 (1989) 名水を訪ねて(7)羊蹄のふきだし湧水とその湧水群. 地下水学会誌, 31-3, 165-173.
- 太秦康光・那須義和・瀬尾淑子 (1959) 温泉の化学的研究 (第45報)—北海道西南部の諸温泉 (その4) ニセコ地方. 日本化学雑誌, 80, 992-995.
- 山口久之助 (1972) 羊蹄山の湧水とその水収支について. 地学雑誌, 81, 290-306.

(受付: 1997年12月18日; 受理: 1998年5月18日)