

立山カルデラ内の温泉および湯川の主要溶存成分組成

— 湯川のイオン組成に対する温泉と支流の役割 —

朴木 英治¹⁾、赤羽 久忠¹⁾、山本 茂²⁾、金山 昌一²⁾

はじめに

立山カルデラの巨大な窪地は弥陀ヶ原台地の南側に大きく口を開け、富山平野からも眺めることができる。カルデラ内には安政5年の大地震の際に崩れた大鳶山などの崩壊土が残存しており、集中豪雨などの出水と共に泥流となって流れ下り、過去に幾多の土石流災害を引き起こしている。立山カルデラの成因は、従来、立山火山の火砕流噴出による陥没によるもの(山崎1966)とされてきたが、最近では、強い硫黄変質によって拡大した崩壊地形であるとする(中野ほか1998)説が有力となっている。

立山カルデラ内には現在も立山火山の名残が新湯や旧立山温泉などの温泉の湧出として残っており、湯川に流入するこれらの温泉は常願寺川の基本水質、特に硫酸イオン濃度の高さに影響を及ぼしているものと考えられた(朴木 1996)。しかし、立山カルデラ内の河川や湖沼の水質に関する報告として、湖沼関係(高倉ほか 1975、朴木 a 1995)、新湯(赤羽 1993)、立山温泉(朴木 a 1995)に関するものがあげられるが、湯川の本流・支流、さらに、新湯や立山温泉以外の温泉の水質に関する報告は少ない。また、湯川の集水域内における様々な起源の水の水質を理解することは、常願寺川の水質の理解にも役立つものと思われた。

そこで、本研究では、立山カルデラ内に湧出する温泉の泉質を調査すると共に、温泉の流入に伴って変化していると考えられた湯川の水質変化を調査した。その結果、5カ所調査した温泉はそれぞれ特徴的な水質組成であることがわかり、さらに、支流の滝谷、うさぎ谷、金山谷、泥谷など鳶崩れ付近を集水域とする支流には硫酸カルシウム型の組成で温泉水と匹敵する程度にイオン濃度が高い水が流れていることがわかった。

これらのデータの検討の結果、湯川の水の硫酸イオン濃度の増加には、温泉よりもむしろ流量が大きいこれらの支流が寄与しているのではないかと考えられた。

調査方法および分析方法

調査は1998年10月29日に行った。行程は、湯川を源流に向けて登り、最上流の調査地点である新湯の採水を手始めに、湯川を下りながら各調査地点の採水を行った。河川水の採水は川岸から行い、温泉水の採水は湧出点で行った。ただ、泥谷の温泉水は通行上の制限から湧出点で採水できず、ここから引き湯されている天涯の湯で採水した。また湖沼では、温泉湖である新湯では流出口付近で採水を行い、泥鱒池では流出口近くの湖岸から採水を行った(図1)。採水時には、水温、電気電導度、pHを測定し、500mlのポリ瓶に試料水を入れ、実験室に持ち帰った。なお、水温と電気電導度は朴木が測定し、pHは山本、金山が分担して測定した。

主要溶存イオン成分に関する分析は、陰イオン、および、陽イオン成分ともすべてイオンクロマトグラフで分析を行った。また、総アルカリ度はpHメーターを使って0.1規定の塩酸で滴定した(pH4.8)。鉍酸酸度(pH4.8)、総酸度(pH9.0)も同様にpHメーターを使って0.1規定の水酸化ナトリウムで所定のpHまで滴定した。比色ケイ酸はモリブデン黄法で分析を行った。

調査結果

調査地点は合計15カ所で、その内訳は、湯川3カ所、湯川流入支流5カ所、温泉5カ所(うち温泉湖1カ所)、掘り抜き井戸1カ所、湖沼1カ所であった。これらの分析結果を表1に示す。また、化学組成解析用のトリリニアダイアグラム、および、ヘキサダイアグラムを

¹⁾富山市科学文化センター、²⁾立山カルデラ砂防博物館

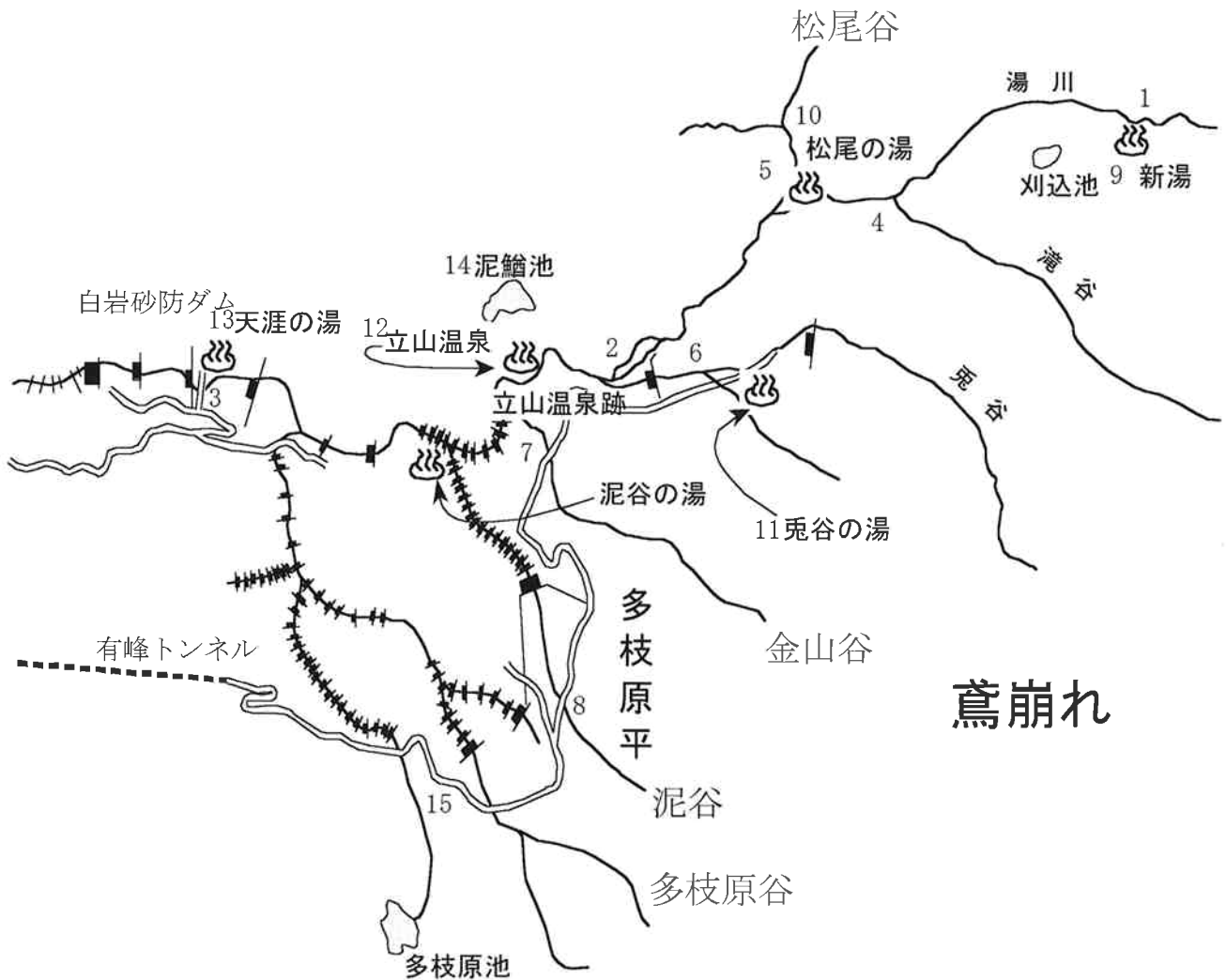


図1 調査地点 1. 新湯流出水合流前 2. うさぎ谷合流前 3. 白岩(有峰橋) 4. 滝谷 5. 松尾谷
6. うさぎ谷 7. 金山谷 8. 泥谷 9. 新湯 10. 松尾の湯 11. うさぎ谷の湯
12. 旧立山温泉 13. 天崖の湯 14. 泥鱒池 15. 水飲み場

図2、図3に示す。全般的な傾向として、湯川とその支流など温泉以外の水試料では、塩化物イオン濃度が非常に低く、硫酸イオン濃度が非常に高い点が特徴であった。さらに、支流によっては、炭酸水素イオンや炭酸イオンに起因する総アルカリ度が非常に低く、弱酸性の水が流れる支流も見られた。温泉に関しては、調査した温泉の組成はかなり異なり、それぞれが全く異なる泉質を持っていた。

温泉の水質

温泉では、温泉湖となっている新湯のほか、松尾の湯、うさぎ谷の湯、湯川の川原に湧出する旧立山温泉源泉、泥谷の温泉群から導入されている天崖の湯を調べた。調査した温泉は、ヘキサダイアグラムの形がそれぞれ異なり(図3)、トリリニアダイアグラムの中央

のキーダイアグラム上でもそれぞれが全く独立した位置にあり(図2)、それぞれ全く異なった泉質であることがわかった。

新湯は湯川の左岸側の崖の上にある爆裂火口湖で、安政5年の大地震後、温泉化したと言われている。新湯の湖底からは温泉と共に絶えずガスが噴出していた。新湯の温泉水は水温66℃、pH3.04の強酸性で、ナトリウムイオン、塩化物イオン、硫酸イオン、比色ケイ酸の濃度がそれぞれ171.9mg/l、156.3mg/l、321.6mg/l、386.7mg/lと高かった。ヘキサダイアグラム(図3)の形は、炭酸水素イオンを全く含まず、アルカリ土類金属イオン濃度も低かったため他の試料とは全く異なったものとなり、キーダイアグラム(図2)上では4区のアルカリ非炭酸水素塩型の領域に入った。その位置は海水組成に近かった。

表1 立山カルデラ内の温泉、湯川、および、支流の水質

場所	時間 h/m	水温 [°C]	導電率 [μs/cm]	pH	DO [mg/l]	総アルカリ度 [meq/l]	鉍酸度 [meq/l]	総酸度 [meq/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	D-SO ₄ ²⁻ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	
(湯川流域の温泉)																			
新湯	11:42	66.0	1433.0	3.04	—	—	1.24	2.19	171.9	28.1	9.9	2.3	156.3	321.6	386.7	—	—	—	—
松尾の湯	13:55	34.5	1057.0	6.19	0.6	9.58	—	—	94.3	10.6	93.3	26.3	21.2	48.9	82.09	0.00	0.00	0.00	0.00
うさぎ谷の湯	15:08	28.4	604.0	7.89	5.4	0.51	—	—	23.4	3.2	75.4	11.7	0.6	258.9	44.21	0.00	0.00	0.00	0.00
旧立山温泉	15:50	53.4	503.0	7.60	—	2.88	—	—	65.9	4.9	25.6	2.2	16.7	56.8	64.16	0.00	0.00	0.00	0.00
天崖の湯	17:00	45.6	631.0	7.56	—	2.45	—	—	73.1	15.7	27.5	5.6	29.2	113.5	141.40	0.00	0.00	0.00	0.00
(湯川本流)																			
新湯流出水合流前	10:52	6.5	103.4	7.03	9.8	0.24	—	—	1.5	0.3	13.5	1.6	0.4	28.2	10.34	0.11	0.00	0.00	0.47
うさぎ谷合流前	14:55	9.1	154.6	7.40	9.6	0.33	—	—	4.6	0.8	17.9	2.7	1.4	45.1	20.37	0.00	0.00	0.00	0.15
白岩(有峰橋)	16:49	11.4	228.0	7.70	—	0.39	—	—	8.5	1.5	22.8	3.9	2.3	66.9	25.43	0.00	0.00	0.00	0.13
(湯川支流)																			
滝谷	13:10	7.8	310.0	5.60	9.4	0.02	—	—	5.2	1.0	39.1	6.2	0.7	127.2	30.28	0.00	0.00	0.00	0.00
松尾谷	14:10	8.5	119.7	7.72	9.5	0.25	—	—	3.1	0.6	13.4	2.4	0.6	34.7	20.89	0.00	0.00	0.00	0.22
うさぎ谷	14:46	9.9	452.0	4.50	9.0	—	0.25	0.67	6.2	1.2	56.6	6.2	0.7	203.0	37.25	0.00	0.00	0.00	0.00
金山谷	16:10	8.9	275.0	5.90	9.3	0.01	—	—	10.8	1.8	67.6	8.8	1.2	219.8	25.75	0.00	0.00	0.00	0.00
泥谷	16:20	8.7	957.0	8.27	9.4	2.18	—	—	33.9	4.1	120.0	33.7	0.8	387.6	14.88	0.00	0.00	0.00	0.00
(湖沼・井戸)																			
泥鱒池	15:36	10.8	66.4	7.50	7.1	0.39	—	—	3.0	1.2	5.5	1.4	0.9	6.0	23.21	0.00	0.00	0.00	0.53
水飲み場	16:30	7.1	—	7.55	—	0.42	—	—	2.2	1.8	9.1	1.8	0.7	13.8	19.73	0.00	0.00	0.00	0.00

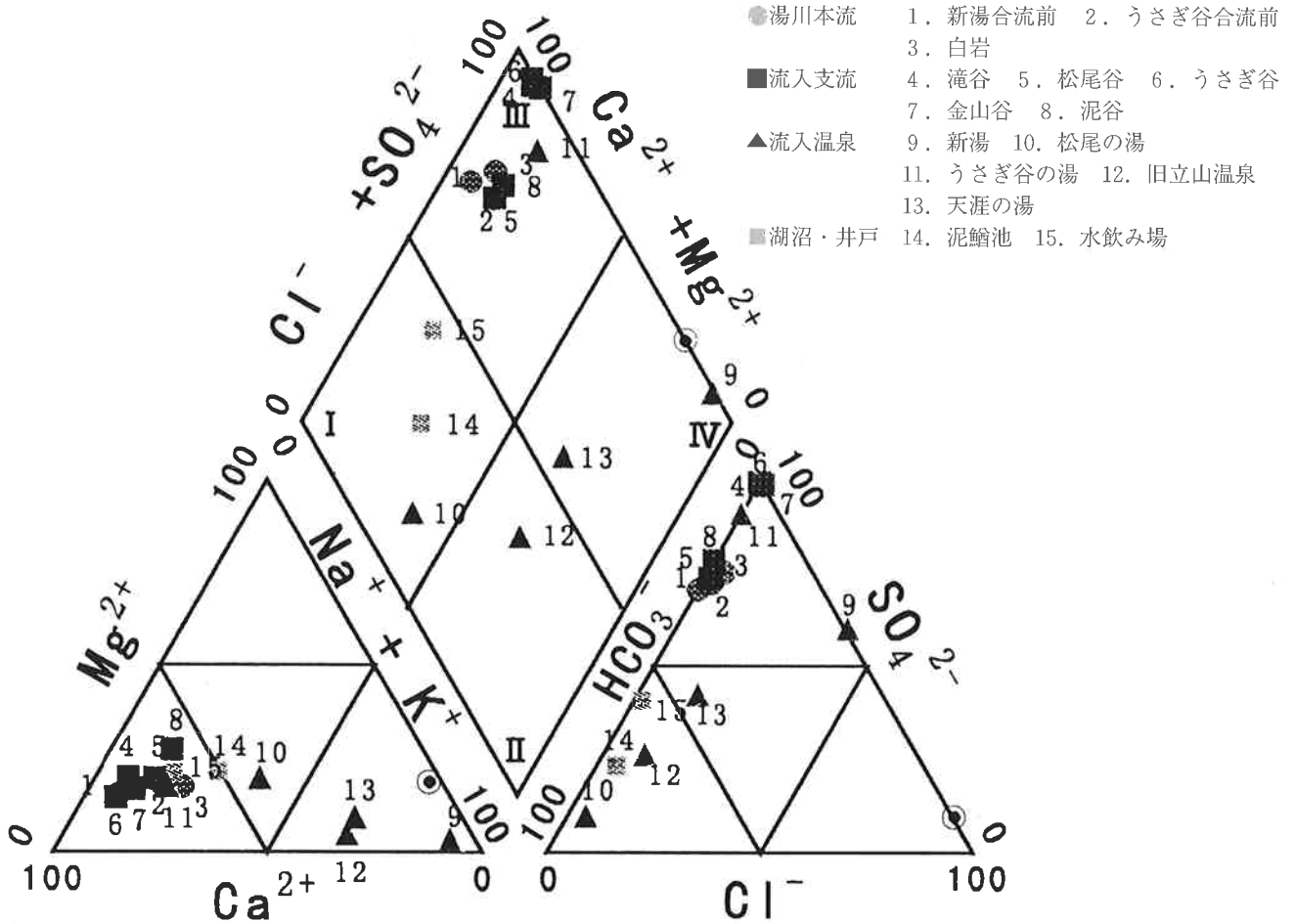


図2 湯川、および、その支流、温泉のトリリニアダイアグラム

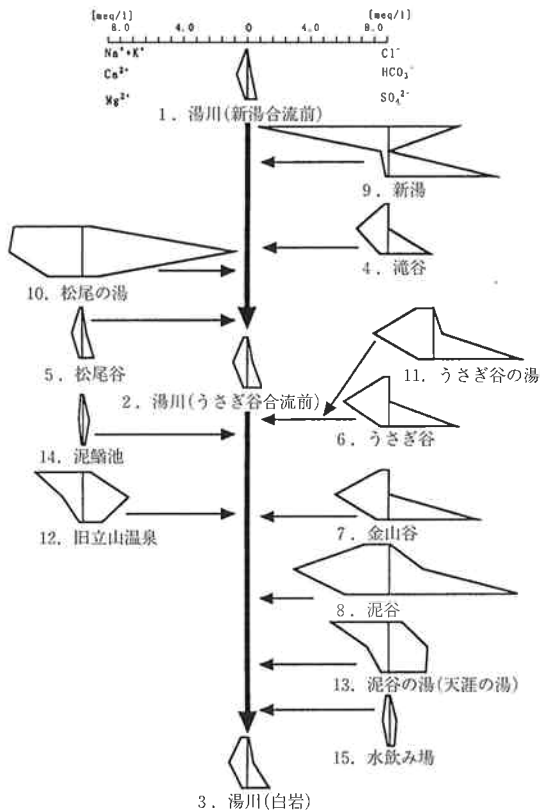


図3 湯川、および、その支流、温泉のヘキサダイアグラム

松尾の湯は松尾谷合流点の少し上流側の湯川右岸の崖の途中から湧出する温泉で、水温34.5℃、キヤダイアグラム上では1区のアルカリ土類炭酸水素塩型の領域に入り(図2)、ヘキサダイアグラムでは、やはり、他の試料とは全く異なる独特の形となった(図3)。この温泉のカルシウムイオン濃度は93.3mg/lとかなり高く、温泉が流下する斜面には、析出した炭酸カルシウムによるものと思われる小さな棚状の堆積物(石灰華と思われる)が見られた。この堆積物は温泉中に組まれる鉄分などを含むためか黒褐色を呈していた。

うさぎ谷の湯はうさぎ谷合流点近くの左岸側の崖の下部から湧出する温泉で、水温は28.4℃、水質はうさぎ谷や泥谷などの河川水の組成に非常に近かった。ヘキサダイアグラムでは泥谷の水と似た形となり、キヤダイアグラム上では3区のアルカリ土類非炭酸水素塩型の組成の領域に入り、うさぎ谷などの酸性の支流と泥谷などの中性の支流との中間的な位置に点がプロットされた。さらに、この温泉水をカルデラ内の他の温泉水と比較した場合、塩化物イオンが0.6mg/lしかなく、他の温泉で塩化物イオン濃度が最も低い旧立山温

泉の1/28しかない点が点が大きな特徴であった。この濃度は支流の濃度と全く変わらない値であった。

湯川右岸の川原から湧出する旧立山温泉は水温53.4℃、炭酸水素ナトリウム型の泉質であった。ヘキサダイアグラムは他の温泉とは異なる形となり、さらに、キーダイアグラムでは2区のアルカリ炭酸水素塩型の組成の領域に入り、他の温泉とは異なった位置にあった(図2、3)。

泥谷の温泉から湯を引いている天涯の湯では、引き湯パイプ出口の温度は45.6℃、泉質は炭酸水素・硫酸ナトリウム型で、立山温泉の温泉水に硫酸イオンとナトリウムイオンをさらに付加したような水質であった。キーダイアグラムでは新湯と同じく4区のアルカリ非炭酸水素塩型の組成の領域に入ったが、どちらかといえば、ヘキサダイアグラムの形がやや似ていた2区の旧立山温泉の水質組成に近い位置であった。

湯川支流の水質

調査した湯川の支流は滝谷、松尾谷、うさぎ谷、金山谷、泥谷である。これらの支流のうち湯川左岸側に合流する滝谷、うさぎ谷、金山谷、泥谷はいずれも安政5年の大地震の際に崩れた旧大鷲山付近の鷲崩れが源流域である(図1)。これらの谷水の水質の特徴は、陽イオンではカルシウムイオンが最も濃度が高く、陰イオンでは硫酸イオンが最も濃度が高い硫酸カルシウム型の組成で、一般の陸水ではほとんど見られない組成であった。しかも、硫酸イオン濃度は100mg/l以上もあり、さらに、泥谷を除いてpHはやや低く、このため、炭酸水素イオンに起因する総アルカリ度も非常に低かった。特に、うさぎ谷では鉍酸酸度もあり、硫酸イオンの一部は硫酸として存在しているようで、酸性河川と言えるものであった。また、塩化物イオン濃度が非常に低い点は支流すべてに共通した特徴であった。ちなみに塩化物イオン濃度と硫酸イオン濃度との比は、滝谷(1:185.4)、松尾谷(1:57.7)、うさぎ谷(1:306.7)、金山谷(1:182.5)、泥谷(1:504.0)となり、松尾谷では比較的低く、泥谷では非常に高かった。

滝谷、うさぎ谷、金山谷の水は、ヘキサダイアグラム(図3)では濃度の高低によって形(横幅の大小)は異なるが相似形をしており、図2のキーダイアグラム、および、下左の陽イオン組成三角ダイアグラム、下右の陰イオン組成三角ダイアグラム上ではほとんど同じ

位置にあり、全く同一の化学組成を持つ水であることがわかった。これに対して、松尾谷と泥谷の水は、pHは中性で総アルカリ度も十分あり、上記3つの谷水とは水質が異なっていた。松尾谷と泥谷の水とを比較すると、各成分濃度は泥谷の方がはるかに高く、ヘキサダイアグラム(図3)では異なった形のように見えるが、各成分の比を見るトリリニアダイアグラム(図2)上ではほぼ同一の位置となった。また、トリリニアダイアグラム上では松尾谷と泥谷の水は湯川本流の水とほとんど同じ位置であった。

なお、泥谷の水は温泉水と変わらないレベルのイオン濃度があり、旧立山温泉や天涯の湯と比較すると、塩化物イオン、ナトリウムイオンと炭酸水素イオン以外の成分では泥谷の水の方が濃度が高く、その電気伝導度は今回採取した15試料のうち新湯、松尾の湯に次いで3番目に高かった。

湯川の水質変化

湯川の水の化学組成は松尾谷と似ているが、調査した最上流側の新湯の流出水合流前では、ナトリウムイオン、塩化物イオン、マグネシウムイオンの濃度は非常に低く、しかも、途中で合流する松尾谷よりも各成分濃度は低かった。この水が流下して、滝谷、松尾谷を合流し、うさぎ谷合流点前までくると、各溶存成分濃度は上昇し、松尾谷よりも成分濃度は高まっていた。また、立山カルデラ出口近くの有峰橋ではさらに各成分濃度が高まり、最上流側に比べると溶存成分濃度は2倍ぐらいに上昇した。その内訳では、塩化物イオン濃度が5.6倍にも濃度が高まったが、有峰橋における濃度は2.4mg/lで絶対値としては大きな値ではなかった。これに対して、硫酸イオン濃度の上昇は2.4倍で、塩化物イオンの濃度上昇と比べて1/2程度の値であったが、上流部の硫酸イオン濃度はすでに、28.24mg/lあり、有峰橋では66.94mg/lにもなり、通常の河川水と比較して非常に高い値であった。

これらの成分の濃度変化は各地点のヘキサダイアグラムの幅の広がりの変化からも読みとることができた(図3)。しかし、成分の組成比を見るトリリニアダイアグラム上では点の位置は若干変化する程度で、松尾谷や泥谷の化学組成とよく似た位置であった(図2)。

考 察

立山カルデラ内を流れる水の特徴として全般に硫酸イオン濃度が他の河川水と比較して非常に高いという点であった。湯川の有峰橋における流量は不明であるが、仮に $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度あったとすると、硫酸イオンの流出量は 11.4 t/day にもものぼる量と計算された。

河川水中の硫酸イオンの起源には降水と土壌、そして、温泉が考えられるが、降水が起源となる硫酸イオンの予測される濃度は、立山カルデラ近くで集水域の標高も同程度の有峰湖流入河川の $1 \sim 1.5 \text{ mg/l}$ (朴木 1995) や大日平流出水の 2.01 mg/l (朴木 1996) 程度が妥当と考えられ、湯川の有峰橋を通過する水に含まれる硫酸イオンのほとんどは降水によるものではなく、カルデラ内で供給されたものと考えられた。

この湯川の硫酸イオンの高濃度の原因は、新湯をはじめとする温泉水からの硫酸イオンの供給によるものと考えられていた(朴木 1996)。しかし、湯川の水質形成に対する温泉の寄与が大きいとした場合、今回調査した温泉水はうさぎ谷の温泉を除いて塩化物イオン濃度もかなり高いため、湯川の塩化物イオン濃度もある程度上昇する必要がある。有峰橋における塩化物イオン濃度 2.4 mg/l は、有峰湖流入河川 (1 mg/l 程度) や、大日平直下水 (0.81 mg/l) と比べると高かった。しかし、温泉の影響を大きく受けていると考えられる称名川の水と比較した場合、称名滝下における水質は pH が 4.0、硫酸イオン濃度は 37 mg/l と湯川と同程度であったが、塩化物イオン濃度は 11 mg/l もあり(朴木 1996)、この称名川の水と比べると、湯川の塩化物イオン濃度はかなり低いものであった。

また、称名川の塩化物イオンと硫酸イオンとの濃度比は $1 : 3.4$ であったが、湯川の有峰橋における塩化物イオンと硫酸イオンとの濃度比は $1 : 28.9$ となり、これはうさぎ谷の温泉水を除いた 4 つの温泉水の濃度比の平均 $1 : 2.91$ と比べてもかなり異なった比であった。これに対して、塩化物イオン濃度が非常に低い滝谷、うさぎ谷、泥谷、および、うさぎ谷の温泉水の塩化物イオンと硫酸イオンとの比の平均は $1 : 294.6$ と非常に大きな値となった。一方、湯川の流量に対して比較的寄与が大きいと考えられる松尾谷におけるこれらの比は $1 : 57.7$ であった。ちなみに、湯川上流部では $1 : 68.2$ であった。

湯川の有峰橋における塩化物イオンと硫酸イオンとの比は、上流部に比べて小さくなったが、これは、硫

酸イオン濃度の上昇に比べて、塩化物イオンの濃度上昇の方が大きかったため、湯川の流下に伴う塩化物イオンの濃度上昇には、塩化物イオン濃度が支流などと比べてかなり高かった新湯や旧立山温泉などの温泉水が寄与しているものと考えられた。これに対して、湯川の流下に伴う硫酸イオンの濃度上昇には、温泉よりも、湯川に対して無視できない程度の流量があるうさぎ谷や泥谷などの湯川左岸側から合流する支流が大きく寄与しているものと考えられた。

そこで、新湯の温泉水が湯川のうさぎ谷合流前までの塩化物イオン濃度の上昇を引き起こしたと考えて、新湯の温泉流出量と湯川の流量との比を見積もると以下ようになった。まず、湯川の新湯合流前の水(塩化物イオン濃度 0.41 mg/l) と滝谷(塩化物イオン濃度 0.69 mg/l)、松尾谷(塩化物イオン濃度 0.60 mg/l) の水を混合した場合の平均の塩化物イオン濃度を 0.5 mg/l とし、これに新湯の流出水を混合することによって、うさぎ谷合流前の湯川の塩化物イオン濃度 1.4 mg/l になったとすると、新湯の流量と湯川および支流の合計の流量との比は $0.6 : 99.4$ と見積もられた。この比率による混合の場合の湯川の硫酸イオン濃度の上昇はわずか 1.9 mg/l と計算された。

おわりに、最近の説では、立山カルデラは強い硫気変質による崩壊地ということであり(中野ほか 1998)、このことと、湯川の硫酸イオンの高濃度とは何らかの関連性があるものと考えられた。特に、硫酸イオン濃度が高いうさぎ谷や泥谷など湯川の左岸側に合流する支流の源流域は安政 5 年の地震で崩壊したとんび崩れ付近であり、立山カルデラの中でもこのあたりが最も硫気変質の激しい場所である可能性も考えられた。

これらの解明に関しては土壌調査など、別の角度からのアプローチと水質調査を組み合わせることも一つの方法であろう。

謝 辞

調査に際し、工事道路の通行に便宜をはかっていただいた、建設省立山砂防工事事務所に感謝いたします。

参考文献

赤羽久忠, 1993, 富山県立山温泉新湯における蛋白石の生成, 岩鉱雑, 88, 469-477

高倉盛安・藤森一郎・中村彦治 1975, 立山室堂周辺湖沼群の湖盆形態と水質, 富山県立大学研究報告, 第8巻

中野 俊・宇都浩三・内海 茂, 北アルプス、立山火山のK-Ar年代, 日本地質学会第105年学術大会講演要旨, 351

朴木英治, 1996, 常願寺川水系の水質, 富山市科学文化センター研究報告:(19)33-37, 富山市科学文化センター

朴木英治 a, 1995 タテヤママリモ生育環境水の水質, タテヤママリモ生育状況報告書, 立山町

朴木英治 b, 1995. 有峰湖流入河川の水質, 常願寺川流域(有峰地域)自然環境調査報告, 富山市科学文化センター

[要 旨]

立山カルデラ内を流下する湯川と、湯川に流入する温泉、支流の水質を調査した。湯川の水質的特徴は、陰イオンでは塩化物イオン濃度が低く、硫酸イオン濃度が高いことで、陽イオンではカルシウムイオン濃度が高かった。湯川に流入する支流のうち、鳶崩れを源流とする支流は硫酸カルシウム型の組成でしかもその濃度は非常に高く、湯川の硫酸イオン濃度の上昇に大きく寄与しているものと考えられた。これに対し、湯川の塩化物イオン濃度の上昇には温泉の寄与が大きいものと考えられた。湯川の新湯合流前からうさぎ谷合流前までの区間の塩化物イオン濃度の上昇分をすべて新湯の温泉がまかなっていると仮定した場合、新湯と湯川の水の混合比は0.6:99.4となり、この場合の硫酸イオン濃度の上昇は1.9mg/lと見積もられた。