

称名滝と称名溪谷の水の化学成分濃度、化学組成の変化*

朴木 英治

富山市科学博物館

939-8084 富山市西中野町1-8-31

Changes of ion concentrations and chemical constituents of Syomyo fall and Syomyo river

Hideharu Honoki

Toyama Science Museum

1-8-31 Nishinakano-machi, Toyama-shi, Toyama 939-8084, Japan

Changes of water chemistry at the Shomyo waterfall with activations of emitting gas from fumarole in the Jigokudani on Mt. Tateyama were analysed. Values of pH of water at the Shomyo waterfall until 2012 were ranged from 3.6 to 4.0, however, these were fluctuated in the range from 3.4 to 4.1 in 2014. The low values of pH were observed with runoff of thaw and hard rain water though there was much flow rate. Concentrations of sulfate ions and chloride ions of water at Shomyo waterfall in 2014 were not more than that in past investigations. The pH values of water at the Shomyo waterfall were decreased in the decrease of values of calcium ion / sulfate ion ratios (in molar concentration ratios).

The acidic water at the Shomyo River was neutralized by waters of tributary rivers e.g. Zakkoku-dani river, Hitotsu-dani river and Araya-gawa river. Especially, water of the Araya-gawa river were having large buffering capacities. This was due to hard water from limestone area.

Key words : Jigoku-dani, fumarolic gas, hot spring, water chemistry

キーワード : 地獄谷, 噴気, 温泉, 水質

はじめに

立山地獄谷から湧き出した温泉水は、雷鳥沢とそうめん滝の2カ所から称名溪谷に合流する。地獄谷から湧き出す温泉水は強い酸性を示すため、この温泉水の影響を受けて称名溪谷の水も称名滝では中和が完了しておらず、酸性化している。しかし、称名溪谷の水質については高倉・藤森(1980)による報告があるが、それ以降には、詳細な報告はないようである。

最近の立山地獄谷の噴気の強まりに伴い、称名滝における水質が変化していることが予想されたため、過去に行ってきた調査データを整理し、2014年の新たな調査結果を加えて地獄谷の噴気活動の影響について検討した。さらに、称名溪谷の水の水質が下流に向かってどのように変化するのかについても合わせて調査を行ったので、これらの結果を報告する。

調査地点と採取・分析方法

称名滝での採水は、主に、称名川第二発電所の取水堰堤の上流にある橋の上から行った。しかし、通行制限などの関係で、堰堤の下流側の川原や八郎坂登山口の橋の上から採水した試料もある。過去の採水日は、1995年9月6日、2006年11月1日、2007年5月28日、2011年11月10日、2012年8月7日である。また、2014年は5月13日、6月27日、10月7日、29日、31日、11月17日、及び、11月27日に行った。

称名川の下流側の水質調査は、立山有料道路の桂大橋、と常願寺川との合流点に近い藤橋で行った。調査日は、1995年9月6日(称名滝と藤橋)、2006年11月1日、2014年10月29日11月17日、27日、12月26日(藤橋のみ)に行った。また、2014年11月17日に合流する支流の雑穀谷、人津谷、称名川発電所の東側にある荒谷川の水質調査も行った。

* 富山市科学博物館研究業績第478号

実験室に持ち帰った試料について、pH はガラス電極法で電気伝導度は導電率計で計測した。イオン成分は陽イオン、陰イオンともイオンクロマトグラフで分析した。

総アルカリ度、総酸度については、1995年分については中和滴定法で測定した。その他の調査については、イオン分析値の陽イオン成分の総濃度（当量濃度）と陰イオン成分の総濃度（当量濃度）との差から計算した。

結果と考察

1 称名滝の水の硫酸イオンと塩化物イオン濃度の変化

図1は称名滝の水の硫酸イオン濃度と塩化物イオン濃度の変化をプロットしたものである。2012年までは調査回数が5回しかなく、断片的な情報しか得られていないため、高倉・藤森（1980）のデータも比較のためプロットした。2014年は5月から11月末までの間に7回の調査を行った。これらの調査結果では、称名滝の水の硫酸イオン濃度は27 mg/l～57 mg/lの範囲で変動していた。塩化物イオン濃度は硫酸イオンの濃度変化とほぼ同期しながら8 mg/l～32 mg/lの範囲で変動していた。どちらの成分も滝の流量が少なかった10月下旬から11月に濃度が高くなり、その他の月では11月の濃度と比べて低下していた。2014年は10月下旬頃が最も濃度が高かった。また、2014年の調査結果では、硫酸イオン濃度、塩化物イオン濃度とも過去の調査結果以上の濃度は観察されなかった。

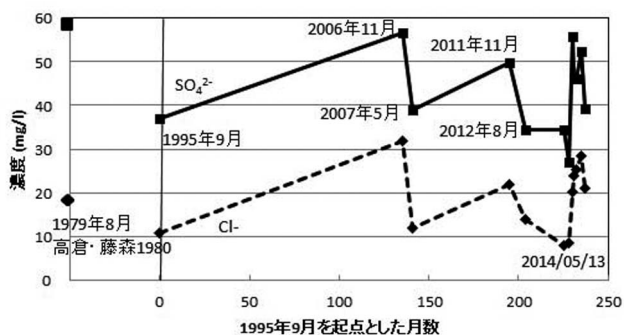


図1 称名滝の水の塩化物イオンと硫酸イオンの濃度変化

2 称名滝の水のカルシウムイオン濃度とナトリウムイオン濃度の変化

図2は称名滝の水の中和成分として作用するカルシウムイオン濃度とナトリウムイオン濃度の変化を示したもので、高倉・藤森（1980）のデータも比較のためプロットした。称名滝の水のカルシウムイオン、ナトリウムイオンの濃度変化は、硫酸イオンや塩化物イオンの濃度変化（図1）と同様な動きをしており、流量が少なかった10月から11月に濃度が高くなった。2014年は10月下旬の濃度が最も高かった。

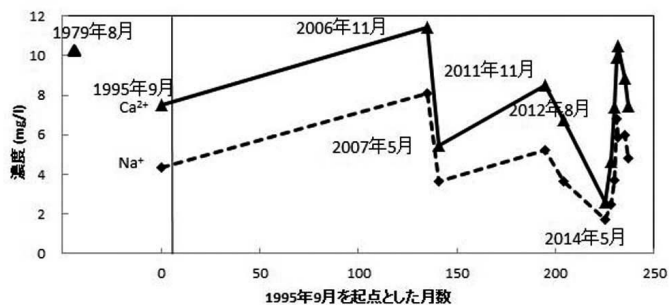


図2 称名滝の水のカルシウムイオンとナトリウムイオンの濃度変化

3 称名滝の水のpH変化

図3はこれまでの調査で得られた称名滝の水のpH変化を示したもので、2014年計測分については図4で拡大表示した。称名滝の水のpHの値は、2006年～2012年までの調査結果では、3.6から4.0の範囲で変動しており、11月の調査ではpHの値が3.6と小さくなり、酸性が強まったことを示している。11月は硫酸イオンや塩化物イオン濃度が高まっており（図1）、これとpHの低下が対応していた。これに対して、5月や8月は、それぞれ、3.70、3.66となり酸性がやや弱まっていた。11月は称名滝の水量が少なくなり、隣接するハンノキ滝の水も涸れており、5月は融雪水により、8月も降雨などにより滝の

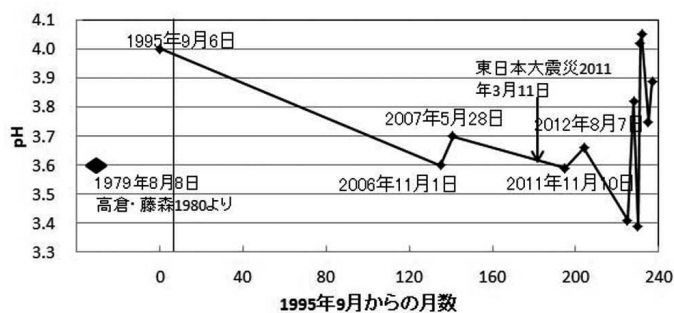


図3 称名滝の水のpH変化

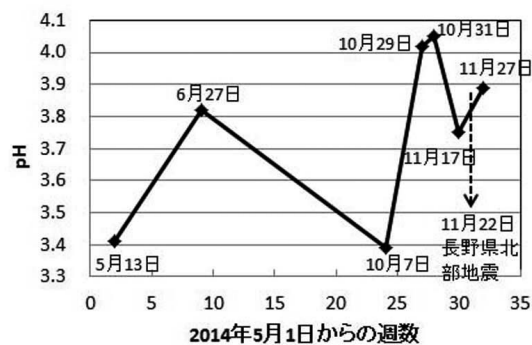


図4 称名滝の水のpH変化（2014年調査分）

水量が増加すると共に、隣接するハンノキ滝からも水が流入していた。これらのことから、称名滝の水量が少なくなると地獄谷の温泉水の希釈率が低下して水の酸性が強まり、水量が多いと希釈率が高まって酸性が弱まるものと考えられた。2011年3月の東日本大震災の前後でも、このパターンは変わらなかった（図3）。

これに対して、2014年は融雪水で非常に流量が多かった5月、および、まとまった降雨後で流量が多かった10月に酸性が強くなり、これらと比べて、流量が減少した6月や10月以降に酸性が弱まった（図4）。これは2012年までとは異なる状況のようにも見えた。

4 称名滝における硫酸イオン濃度に対するpHの値

図5は称名滝での硫酸イオン濃度に対するpHの値をプロットしたものである。1979年～2012年のデータでは硫酸イオン濃度が高まるとpHの値が低下する傾向が見られた。これに対して、2014年データでは、硫酸イオン濃度の増加に対してpHも高くなる傾向を示すグループ（図5中の2014A）と硫酸イオン濃度にかかわらず、pHが3.4前後の強い酸性を示すグループ（図5の2014B）の2つに分かれた。

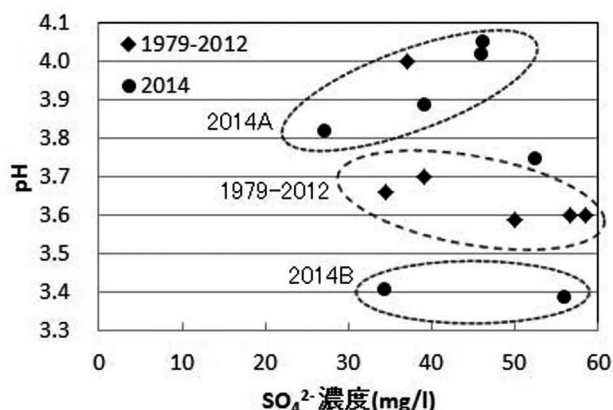


図5 称名滝の水の硫酸イオン濃度に対するpHの値

5 称名滝の水のカルシウムイオン／硫酸イオン濃度比に対するpHの値

図6は、称名滝の水のカルシウムイオン濃度／硫酸イオン濃度比（モル濃度比）の値に対するpHの値をプロットしたものである。なお、図5中の■は2012までの値、●は2014年の値を示している。

プロットは2つのグループに分かれるように見えるが、どちらも、カルシウムイオン／硫酸イオンの濃度比（モル濃度比）の値が小さくなるほどpHの値は低くなる（酸性が強まる）傾向が見られた。なお、下側のプロットに含まれたデータは、1例を除いて、硫酸イオン濃度が50 mg/l以上の場合のものであった。

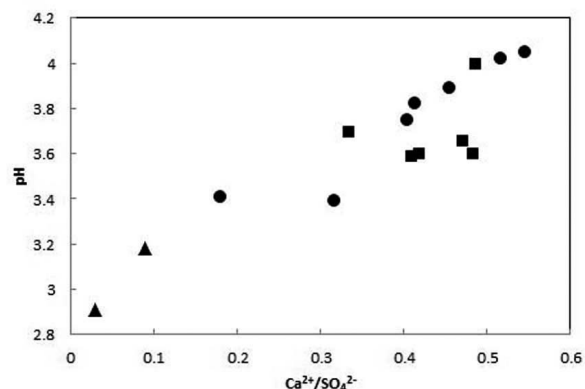


図6 称名滝の水のカルシウムイオン濃度／硫酸イオン濃度比（モル濃度比）の値に対するpHの変化
■2012年までのデータ ●2014年のデータ
▲リンドウ池（朴木・川上，2015）

図1，図2からわかるように、中和成分の一つであるナトリウムイオン濃度はカルシウムイオン濃度の変化とほぼ同期しており、酸性成分の塩化物イオン濃度は硫酸イオン濃度の変化とほぼ同期しているため、カルシウムイオン濃度／硫酸イオン濃度の比の値が小さくなる事は、遊離する酸の濃度が高くなってpHの値が小さくなり、逆に、この比の値が大きくなれば遊離する酸の量が少なくなってpHの値が大きくなる（酸性が弱まる）ことを示したプロットと考えることができる。

図6では2012年までのプロットと2014年のプロットとの間に大きな差は認められないため、どちらの場合も、pHの決定の仕組みには違いがないと考えられた。

しかし、2014年は、2012年までとは異なり、水量が多かった5月や10月にpHの値が低く、図6上で見るとカルシウムイオン濃度／硫酸イオン濃度（モル濃度比）の値が最も小さな位置にあった。その理由は以下のように考えられた。

最近の地獄谷では噴気の温度が上昇し、噴気中の亜硫酸ガスや塩化水素ガスの濃度も上昇していると言われている。その影響の例として、活発に噴気活動している噴気口のすぐ近くにあるリンドウ池の水のpHの値は2014年の2回の調査では2.91と3.18で、カルシウムイオン濃度／硫酸イオン濃度の比（モル濃度比）の値は0.03～0.09と非常に小さな値を示した（図6）。これは、リンドウ池の水に地獄谷から噴出した噴気中の塩酸と亜硫酸ガスから生成した硫酸が遊離の酸として多く存在しているためと考えることができる（朴木・川上，2015）。2014年の称名滝の場合、5月は地獄谷周辺の積雪中に捕捉されていた噴気成分の溶出、10月は降雨によって噴気口周辺に付着した酸性物質の溶出により、カルシウムイオン／硫酸イオンの濃度比（モル濃度比）の値が小さくなり、pHが低下したものと考えられた。

6 称名滝の水の塩化物イオン濃度／硫酸イオン濃度比（モル濃度比）の変化

立山室堂平で降る雨のイオン成分濃度はたいへん低く、硫酸イオン濃度は2014年7月から9月の降水では0.4 mg/l～1.1 mg/l程度、塩化物イオン濃度は0.03 mg/l～0.2 mg/l程度であった（朴木・渡辺, 2015）。称名滝の上流側に合流する沢水のイオン成分濃度も比較的lowく、2009年の調査例では、硫酸イオン濃度で0.8 mg/l～4.5 mg/l、塩化物イオン濃度で0.1 mg/l～1.8 mg/l程度であった（朴木・渡辺, 2010）。このため、称名滝におけるイオン成分間の濃度比は地獄谷から湧き出す温泉水のイオン成分間の濃度比をある程度反映している可能性が高い。

図7は塩化物イオン/硫酸イオンのモル濃度比の値の変化を示したものである。データは断片的であるが、その値は0.6から1.5の間を変動していた。2006年11月と翌年の2007年5月の比較では11月に値が高く5月に低かった。また、2011年11月と翌年の2012年8月のプロットでも、同様に、11月の方が値は高かった。2014年の調査でも5月の値は低く、10月と11月の値は高くなった。図8に2014年の調査結果のみをプロットした。図8を見ると、5月13日の値が0.62で最も小さく、10月31日に最も大きい1.48を示した。11月は若干低下したが、10月31日と同程度の値を維持していた。

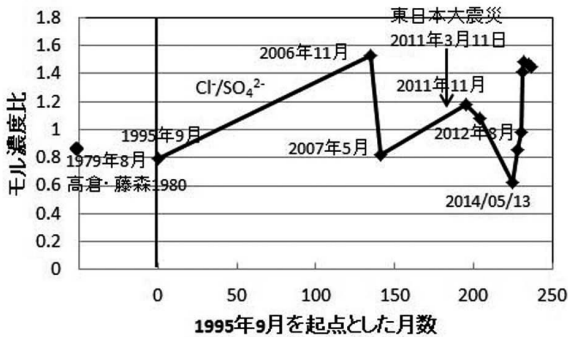


図7 称名滝の水の塩化物イオン濃度／硫酸イオン濃度（モル濃度比）の値の変化

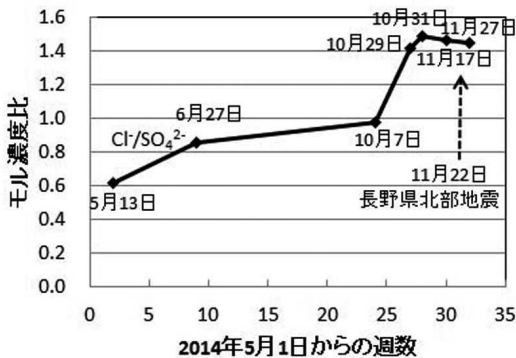


図8 2014年の称名滝の水の塩化物イオン濃度／硫酸イオン濃度比（モル濃度）の値の変化

地獄谷の噴気の影響を受けたリンドウ池の塩化物イオン/硫酸イオンのモル濃度比の値の変化を調べると、8月5日と10月15日の値が、それぞれ、0.48, 0.78で、10月の調査の方がこの値は高くなっており（朴木・川上, 2015）、傾向としては称名滝と同様であった。

ここで、再度、図7に立ち返ると、データは少ないが、2006年、2011年、2014年の11月の塩化物イオン/硫酸イオンの濃度比（モル濃度）の値は他の月の値と比べて高い。この点と図7から考えると、称名滝の水の塩化物イオン/硫酸イオンのモル濃度比の値には、春に低く、晩秋に高くなる季節変化が存在する可能性が考えられる。この現象が本当に存在するかどうかの確認には数年間の継続した調査が必要である。

称名溪谷の水の水質変化

称名川は称名滝を通過後、支流の雑穀谷や人津谷、荒谷川など、いくつかの谷が称名川の右岸側で合流している。左岸側は急な崖で小さな谷から水が合流している場所も見られるが、それらの谷の採水は難しそうである。これらの支流と合流した後、称名川は藤橋の下流で常願寺川と合流する。常願寺川水系の水は富山市の重要な水道水源であることから、称名滝での弱酸性の水が常願寺川と合流するまでにどの程度中和されるのかについても調査した。

図9は2014年11月17日の称名川のpHの変化を示したもので、称名滝の下流にある称名川第二発電所の取水堰堤からの距離に対する称名川の水のpH変化と流入河川のpHの値をプロットしたものである。図9では、称名滝の水のpHの値は3.75であったが、桂大橋では5.94に上昇し、藤橋では6.60のほぼ中性になっていた。流入する支流の水のpHは7.5～8.0の間を示し、特に、藤橋に近い荒谷川はpH 8.0の弱アルカリ性であった。これ以外の調査でも、藤橋での水のpHの値は6.5～7.7のほぼ中性の値を示した（表2, 表3）。

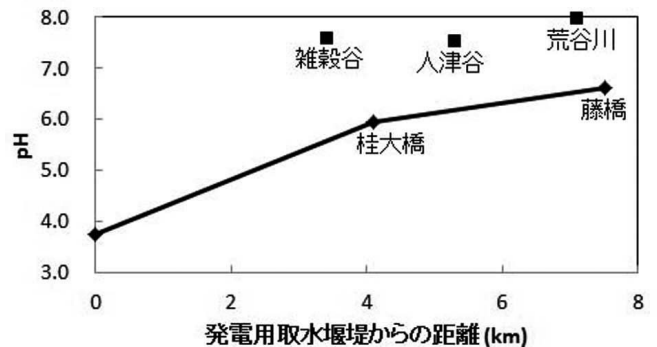


図9 称名川と流入河川の水のpH（2014年11月17日）

2014年5月の調査では、称名滝での流量が非常に多く、しかも、pHの値が低かったため、このような場合には藤橋でも水のpHが若干低下する可能性も考えられる。過去の調査例では、1979年6月10日に藤橋でpH 4.2を記録しており（高倉・藤森，1980），このような低い値が現在でも発生するのかどうかについては、監視する必要がある。

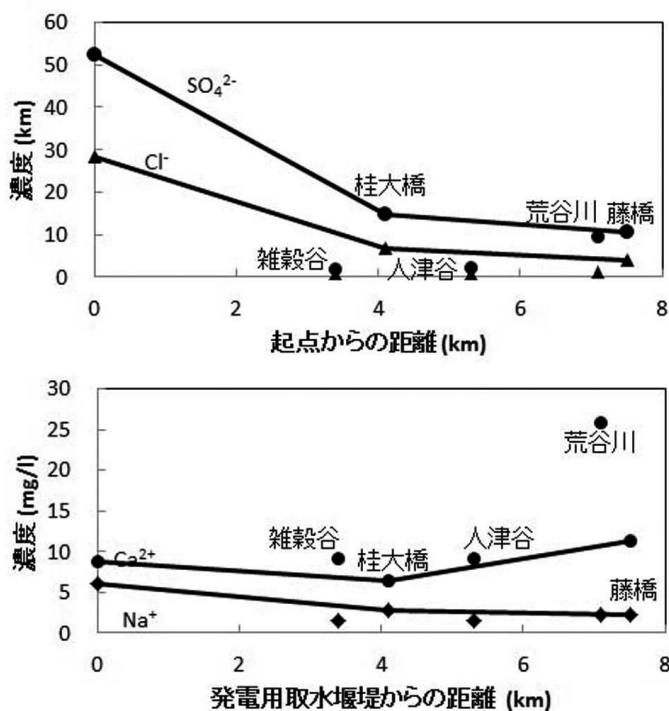


図10 称名川と流入河川のイオン成分濃度の変化
 上 硫酸イオン濃度と塩化物イオン濃度
 下 ナトリウムイオン濃度とカルシウムイオン濃度

図10は、同じく2014年11月17日の称名川と流入河川の主要イオン成分の濃度を示したものである。称名滝での硫酸イオン、塩化物イオン濃度は、それぞれ、52.4 mg/lと28.3 mg/lであった。これらの成分は称名滝と桂大橋との間で濃度が大きく低下し、桂大橋での硫酸イオンと塩化物イオンの濃度は称名滝での濃度の、それぞれ、28%と24%に低下していた。さらに、藤橋ではそれらのイオンの濃度が称名滝での濃度の、それぞれ、20%と14%に低下した。藤橋では、塩化物イオンよりも硫酸イオンの方が希釈されにくかったが、雑穀谷と人津谷の硫酸イオン濃度は塩化物イオン濃度よりもやや高く、さらに、荒谷川では硫酸イオン濃度が9.6 mg/lもあるため、希釈率が塩化物イオンほど大きくならなかったものと考えられた。これに対して、ナトリウムイオンとカルシウムイオンでは、称名滝での濃度が、それぞれ、5.97 mg/l、8.84 mg/lで、桂大橋では、称名滝での、それぞれ、47%、

72%の濃度となり、さらに、藤橋では、それぞれ、38%、127%となった。これらの成分は、称名滝での濃度が比較的低く、しかも、流入する支流の水の濃度が比較的高いため、塩化物イオンや硫酸イオンと比べて濃度の低下が少ないものと考えられた。特に、カルシウムイオンに関しては、荒谷川のカルシウムイオン濃度が25.9 mg/lとかなり高く、このあたりに分布する飛騨片麻岩中の石灰岩からの溶出によるものと考えられた。カルシウムイオン濃度が高い水は水の緩衝作用に関わる総アルカリ度が高い場合が多く、荒谷谷をはじめとする飛騨片麻岩が分布する流域からの水が、称名川の酸性化した水の中和に有利に働いている。

結論

立山地獄谷の噴気の活発化に伴う、称名川の水質変化を、称名滝での水質から検討した。2012年までの称名滝での水のpHの値は3.6~4.0程度であったが、2014年は3.4~4.1の範囲で変動した。特に、雪どけ水や降雨後に流量が多かったにもかかわらず、pHの低い値が観測された。これに対して、地獄谷の温泉起源の硫酸イオン濃度や塩化物イオン濃度は、過去の調査で観測された値を超えることはなかった。称名滝でのpH変化はカルシウムイオン/硫酸イオンのモル濃度比と相関を示し、この値が小さいほどpHの値は小さくなった。

称名川の水は下流に向かうにつれて中和が進み、藤橋ではほぼ中性であった。これは、称名川の下流域に分布する石灰岩の作用によるものと考えられた。

謝辞

調査にあたり富山県道路公社および富山県道路公社立山有料道路管理事務所の皆様にお世話になりました。ここに厚くお礼申し上げます。

文献

高倉盛安・藤森一郎，1980. 称名川の水質異変について，富山県立技術短期大学研究報告，13; 71-78.
 朴木英治・川上智規，2015. 立山室堂平周辺の湖沼の水質，富山市科学博物館研究報告，39; 99-100.
 朴木英治・渡辺幸一，2011. 立山に降る酸性雨と霧による渓流水の酸性化影響に関する研究，富山市科学博物館研究報告，34; 81-94.

表1 称名滝下流の発電取水堰堤上流での水質

水温 (°C)	電気伝導度 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH	総酸度 (meq/l)	Na ⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ (in mol)
1995/09/06	177	4.00	0.43	4.37	-	1.73	1.84	7.50	10.78	-	36.99	0.79
2006/11/01	327	3.60	-	8.12	-	2.45	3.29	11.41	31.93	0.45	56.62	1.53
2007/05/28	185	3.70	-	3.66	-	1.27	1.42	5.44	11.87	0.78	39.09	0.82
2011/11/10	302	3.59	-	5.20	-	1.69	2.45	8.51	21.82	0.54	49.96	1.18
2012/08/07	198	3.66	-	3.65	-	1.24	1.63	6.78	13.82	-	34.56	1.08
2014/05/13	225	3.41	-	1.69	0.11	0.79	0.79	2.58	7.87	1.12	34.35	0.62
2014/06/27	148	3.82	-	2.50	0.05	0.82	1.18	4.65	8.51	0.17	27.00	0.85
2014/10/07	334	3.39	-	3.71	0.12	1.54	2.03	7.37	20.17	0.00	55.81	0.98
2014/10/29	233	4.02	-	6.79	0.58	3.07	2.49	9.92	24.01	0.34	45.99	1.41
2014/10/31	221	4.05	-	5.89	0.13	1.73	2.36	10.47	25.23	0.23	46.04	1.48
2014/11/17	262	3.75	-	5.97	0.20	1.86	2.68	8.84	28.30	0.27	52.40	1.46
2014/11/27	223	3.89	-	4.79	0.20	1.65	2.21	7.43	20.90	0.44	39.14	1.45
1979/8/08	257	3.60	-	-	-	-	-	10.2	18.3	-	58.4	0.85

*滝壺下流50m (高倉・藤森, 1980より)

表2 称名川の水質(1995年および2006年)

調査地点	採取日 (年/月/日)	採水時間 (時/分)	水温 (°C)	電気伝導度 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH	総酸度* (meq/l)	総アルカリ 度*				NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)			
							Na ⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)					
称名滝	1995/09/06	12:20	11.9	177.2	4.00	0.43*	-	4.37	0.00	1.73	1.84	7.50	10.78	-	36.99
称名川 藤橋	1995/09/06	14:20	15.5	88.5	7.10	-	0.42*	2.34	0.00	0.89	1.03	11.88	0.81	-	13.27
称名滝	2006/11/01	14:24	6.7	327	3.60	0.83**	-	8.12	0.00	2.45	3.29	11.41	31.93	0.45	56.62
称名川 堰堤下流	2006/11/01	7.7	7.7	158	4.41	0.21**	-	5.55	0.00	1.63	2.17	9.76	17.56	0.52	31.48
称名川 柱大橋	2006/11/01	15:55	9.8	67	6.85	-	0.30**	2.73	0.00	0.69	0.99	8.18	3.74	1.17	9.59
称名川 藤橋	2006/11/01	16:10	12.1	137.7	6.70	-	1.05**	2.91	0.00	1.07	1.52	22.51	3.52	1.77	10.91

*中和滴定による分析値 **イオンバランスから計算

表 3 称名川および流入支流の水質(2014年)

調査地点	採取日	採水時間	水温 (°C)	電気伝 導度 μs/cm	pH	総酸度		総アルカリ度**							
						meq/l	meq/l	Na ⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
称名滝	2014/10/29		3.8	233.00	4.02	0.53	—	6.79	0.58	3.07	2.49	9.92	24.01	0.34	45.99
称名溪谷 湧水1	2014/10/29		6.6	44.20	7.28	—	0.37	2.14	0.04	0.48	0.80	4.80	0.50	0.40	1.29
称名溪谷 湧水2	2014/10/29		7.5	48.40	7.41	—	0.37	2.02	0.04	0.43	0.80	5.49	0.62	0.55	2.18
桂大橋	2014/10/29		7.9	69.20	7.14	—	0.23	2.45	0.05	0.75	1.33	6.89	4.12	0.57	11.06
藤橋	2014/10/29		11.5	101.50	7.50	—	0.60	2.26	0.04	0.66	1.37	13.44	3.17	0.68	9.56
称名滝 取水堰堤上 流	2014/11/17			262.00	3.75	0.91	—	5.97	0.20	1.86	2.68	8.84	28.30	0.27	52.40
雑穀谷	2014/11/17			65.60	7.60	—	0.53	1.52	0.04	0.47	0.76	9.09	0.82	0.53	1.86
桂大橋	2014/11/17			74.90	5.94	—	0.06	2.78	0.02	0.75	1.33	6.34	6.82	0.51	14.81
人津谷	2014/11/17			64.90	7.53	—	0.50	1.51	0.04	0.36	0.67	9.06	0.91	0.79	2.20
荒谷川	2014/11/17			167.40	7.99	—	1.30	2.21	0.03	0.52	1.66	25.89	1.10	0.72	9.60
藤橋	2014/11/17			92.50	6.60	—	0.43	2.29	0.03	0.59	1.07	11.27	3.96	0.65	10.57
称名滝 取水堰堤下 流	2014/11/27		3.1	223.00	3.89	0.60	—	4.79	0.20	1.65	2.21	7.43	20.90	0.44	39.14
桂大橋	2014/11/27		5.6	90.60	5.01	—	—	2.93	0.04	1.00	1.32	6.21	9.57	0.52	17.82
藤橋	2014/11/27		7.7	85.70	6.54	—	0.19	2.59	0.04	0.85	1.35	8.93	7.00	0.64	14.25
藤橋	2014/12/26			111.40	7.73	—	0.59	2.54	0.06	0.76	1.39	14.78	5.10	0.94	11.19

**イオンバランスから計算

