

火山麓に見られる強酸性河川の 水質変換過程の解析： 御嶽山南麓の濁川水系における現地観測から

ANALYSIS OF PROCESSES OF WATER QUALITY CHANGES IN A STRONGLY ACIDIC RIVER ON THE FOOT OF A VOLCANIC MOUNTAIN: ON-SITE OBSERVATION IN THE NIGORI RIVER SYSTEM ON THE SOUTHERN FOOT OF MOUNT ONTAKE

宇佐見亜希子¹・田代喬²・松本嘉孝³・谷口智雅⁴・八木明彦⁵・岩月栄治⁶
Akiko USAMI, Takashi TASHIRO, Yoshitaka MATSUMOTO, Tomomasa TANIGUCHI, Akihiko
YAGI and Eiji IWATSUKI

¹博士(工学) 名古屋大学非常勤研究員 減災連携研究センター (〒464-8601 名古屋市千種区不老町1)

²正会員 博士(工学) 名古屋大学特任教授 減災連携研究センター (〒464-8601 名古屋市千種区不老町1)

³博士(工学) 豊田工業高等専門学校准教授 環境都市工学科 (〒471-8525 豊田市栄生町2-1)

⁴博士(地理学) 三重大学特任教授 人文学部文化学科 (〒514-8507 三重県津市栗真町屋町1577)

⁵博士(理学) 愛知工業大学客員教授 工学部土木工学科 (〒470-0392 豊田市八草町八千草1247)

⁶博士(工学) 愛知工業大学教授 工学部土木工学科 (〒470-0392 豊田市八草町八千草1247)

The Nigori River is strongly acidic because it has influenced by volcanic activities of Mount Ontake in Japan. In order to understand processes of water quality changes through the mixing of slightly alkaline river, the Denjo River, pH, element concentrations and flow of these rivers were observed. By joining of the Denjo River, pH was raised to near neutrality and Al, Mn, S and Fe concentrations were decreased. In contrast, the contents of these Al, Mn, S and Fe were increased. It is confirmed that at the confluence of the rivers, two effects play roles in changing the element contents. The element contents are changed due to two effects such as the precipitation of elements and the adding of elements from springs and sediments around the rivers. We found that the adding affects contents of Al, Mn, S and Fe more significantly than the precipitation does.

Key Words: *strongly acidic river, changing water quality, element content, Mount Ontake*

1. はじめに

御嶽山は、有史以降では1979年10月28日に初めて噴火した(水蒸気爆発)¹⁾。最近では2014年9月27日に水蒸気噴火を起こし、現在も小規模ながら噴気をあげる火山活動の活発な山である。火山周辺を源流とする濁川は、下流で王滝川に合流し牧尾ダムを経て木曾川に注ぐ。牧尾ダムは愛知用水の水瓶であり木曾川は多くの自治体の上水原水として利用されている。

我が国の火山地域では酸性で重金属元素に富む河川が存在し、利水水質の問題や生物現存量の減少などを引き起こす。例えば、草津白根火山吾妻川上流域や玉川・田

沢湖地域の酸性河川では、酸害対策として人工的な中和処理が実施されている²⁾。

本研究対象の濁川は強い酸性、高ECの特性をもち、下流で合流する王滝川の水環境を一変させる(pH低下、EC上昇、生物数・種類の減少)³⁻⁵⁾。その後、他河川の合流により徐々に回復過程がみられており^{6,7)}、現在まで人工的中和処理はされていない。しかし、今後の火山活動の活発化(例えば、火山ガス量の増加によるSO₂などの酸性化物質の溶解量増加⁸⁾や他河川流量の減少などによる濁川のさらなる強酸性化に備えて、流程に沿った水質挙動を把握しておくことは非常に重要である。

そこで本研究では、濁川流域における流程に沿ったpH変化について支川合流ごとに調べ、大きく水質変換

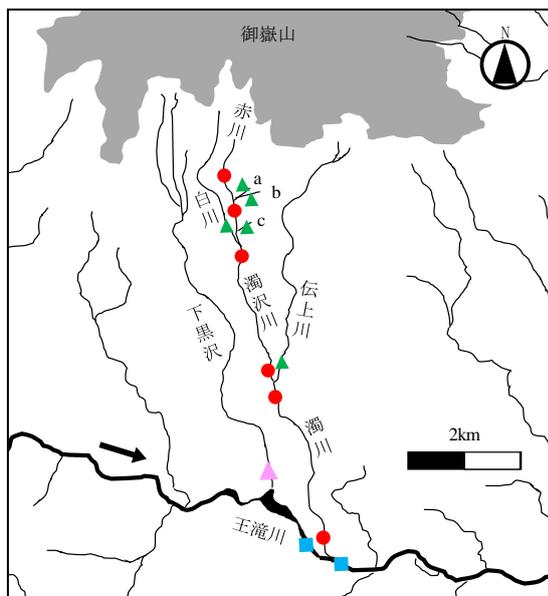


図-1 調査地点
 (●)：濁川水系本川(赤川, 濁沢川, 濁川),
 ▲：濁川水系支川(赤川支川(a, b, c), 白川, 伝上川),
 ■：王滝川, ▲：下黒沢

する支川との合流地点に着目して、物質の変換の定量化やその過程を明確にすることを目的とする。そのために、各河川水中の元素濃度や流量、元素の負荷量(元素濃度×流量)を求め、データ解析した。さらに、現地で観測された酸性河川水と弱アルカリ河川水の混合実験(室内沈殿実験)や、周辺の湧水や堆積物の成分分析をおこなひ、これらによる影響についても検討した。

2. 方法

濁川水系の流下方向のpH変化、濁川水系内の濁川・伝上川合流での水質変換を調べるため、以下のように調査した。

(1) 調査日と調査地点

濁川水系では、図-1に示すように上流から「赤川」、白川の合流後に「濁沢川」、伝上川の合流後に「濁川」へ川の名称が変わる。その後、濁川は王滝川に合流する。

赤川から濁川合流後の王滝川までの流下方向に沿ったpH変動を調べるため、2019年9月11日に赤川から濁沢川(白川合流直後)の7地点、4日後の9月15日に濁沢川(伝上川合流直前)から王滝川(濁川合流直後：合流点から100m下流)の6地点でpHを測定した(図-1)。

また、伝上川合流による水質変換過程を解析するために、2018年11月～2020年2月に濁沢川と伝上川の合流点を基準に、濁沢川：15m上流、伝上川：70m上流、濁川：170m下流の合計3地点で、pH測定、流量観測、採水を行い、実験室で試料の元素濃度を測定した(表-1)。

表-1 調査日と調査回数(○：測定、河川水採取、*：データを元素負荷量(L)の計算に使用(3.3節参照))

調査日	合流点(濁沢川, 伝上川, 濁川)			下黒沢	
	pH	元素濃度	流量	pH	元素濃度
2018年11月9日	-	-	-	○	-
2018年11月10日	○	○	○	*	-
2018年12月29日	-	-	-	○	-
2019年2月1日	○	○	○	*	○
2019年2月26日	○	○	○	*	○
2019年3月26日	○	○	○	*	○
2019年5月30日	○	○	○	*	○
2019年8月6日	-	○	-	-	○
2019年9月14日	-	-	-	-	○
2019年9月15日	○	○	-	-	-
2019年10月30日	○	○	○	*	-
2019年11月21日	○	○	○	*	-
2019年12月7日	-	-	-	-	○
2019年12月14日	○	○	-	-	-
2020年2月7日	-	-	○	-	-
測定回数	9	10	8	7	9

「-」：未測定

この際、比較対象として濁川水系の西隣を並走する下黒沢のpHと元素濃度も測定した。

さらに、2018年11月10日に濁沢川右岸の湧水と2019年2月1日と11月23日に伝上川右岸の湧水を採水し、pH測定と元素濃度測定をおこなった。

2019年9月15日に濁沢川と伝上川の合流地点から半径50m内にある河岸堆積物を採取し成分分析をした。また、2019年9月9日に御嶽山8.5合目に残存する火山灰を採取し成分分析をした。

(2) 測定方法

pHはパックテスト(共立理化学研究所, BTB, BCG, TBL)を使用し測定した。

試料水中元素濃度は以下の方法で測定した。河川水200mLをメンブレンフィルター(孔径0.5μm)でろ過し、ろ液中の成分を溶存態、ろ紙上のものを懸濁態として分離した。溶存態については、ろ液をPFA容器に20mL分取し王水を4mL添加した。懸濁態については、ろ紙をPFA容器に入れ王水を8mL添加、2週間経過後に再蒸留水12mLを入れ合計で20mLにした。溶存態および懸濁態のそれぞれの成分についてICP発光分光分析装置(島津製作所: ICPE-9000)を用いて定量した。測定項目は22元素(Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Sn, Ba)であったが、そのうち0.01mg/L以上を示した9元素(Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Mn, Fe)についてデータ解析した。

河川流量は調査地点を含む河道横断面において、1m間隔で水深を測定するとともに、水底から水深の8割の地点にて主流方向流速を計測し、これらを積算することによって算出した⁹⁾。流速は1次元電磁流速計(Tokyo

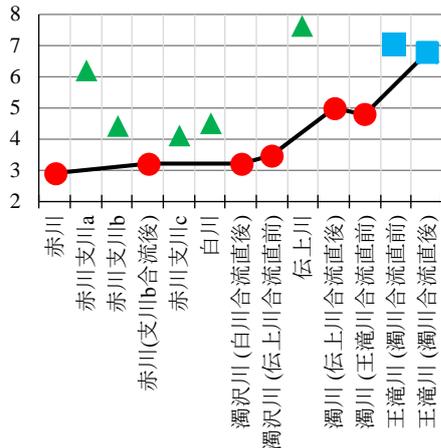


図-2 濁川水系と王滝川のpH
 (●:濁川水系本川, ▲:濁川水系支川, ■:王滝川)
 2019年9月11日:赤川~濁沢川(白川合流直後)
 2019年9月15日:濁沢川(伝上川合流直前)~王滝川(濁川合流直後)

Keisoku: SF-5511, 2019年10月30日のみJFEアドバンテック: AEM1-DA) を使用し測定した.

堆積物等の成分は、蛍光X線分析装置(島津製作所: EDX-700) を使用して定量した.

(3) 室内沈殿実験

強酸性河川濁沢川と弱アルカリ性河川伝上川の混合による沈殿生成反応の有無を確認するため、2019年12月7日に採水した濁沢川と伝上川の各河川水を用いて室内沈殿実験をおこなった。まず、3つの500mL トールビーカーにそれぞれ、「濁沢川400mL」, 「伝上川400mL」, 「濁沢川200mL+伝上川200mL」を入れた。そして、24時間静置後に、沈殿した堆積物を採取し、メンブレンフィルター(孔径0.5μm) でろ過した。前述の懸濁態分析と同様に前処理し、ICP発光分光分析装置(島津製作所: ICPE-9000)を用いて、それぞれの堆積物に含まれるNa, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Mn, Feを定量した。

3. 結果と考察

濁川水系の水質変換程を把握するため、pH, 各河川の元素濃度および流量を測定し、各元素の負荷量(元素濃度×流量)を算出し、それらの変化を解析した。

(1) 濁川水系の水素イオン濃度(pH)の推移

2019年9月に赤川から濁川合流前後の王滝川の本川と支川におけるpHを測定した。その結果を図-2に示す。赤川から伝上川合流直前までpH3.0~3.5の強酸性を示し、pH4台の支川も多く存在した。pH3.5の濁沢川とpH7.6の伝上川の合流後の濁川はpH5.0となり中性域へ近づいた。さらに下流では、pH7.0の王滝川とpH4.8の濁川が合流し、

表-2 調査地点の各元素濃度平均値と他地点の比較

木曾町三岳原水¹¹⁾: 調査地点の北西に位置する長野県木曾町三岳の浄水場原水
 金山取水口原水¹²⁾: 愛知用水取水口(牧尾ダムから木曾川を約120km下った岐阜県加茂郡八百津町)

	濁沢川	伝上川	濁川	下黒沢	
Al	8.2	0.19	4.7	0.11	
Fe	2.6	0.11	2.1	0.10	
Mn	0.69	0.01	0.39	0.01	
Na	16	40	27	5.2	
Ca	25	14	21	3.1	
Mg	6.7	5.8	6.4	0.9	
S	50	6.0	31	1.4	
Si	25	20	22	6.9	
K	3.8	5.8	4.8	1.0	

	木曾町三岳原水 ¹¹⁾	兼山取水口原水 ¹²⁾	日本全国河川 ¹³⁾	日本全国溪流河川 ¹⁴⁾	水道水質基準 ¹⁵⁾
Al	0.03	0.38	-	-	0.2以下
Fe	0.02	2.0	0.24	-	0.3以下
Mn	0.002	0.078	-	-	0.05以下
Na	3.4	4.0	6.7	5.0	200以下
Ca	(Ca+Mg)	(Ca+Mg)	8.8	5.3	(Ca+Mg)
Mg	(8.4)	(19)	1.9	1.3	(300以下)
S	-	-	3.5	1.9	-
Si	-	-	8.9	-	-
K	-	-	1.2	0.6	-

(単位 mg/L)

下流の王滝川はpH6.8となった。

本論文では、上記流程の中で強酸性河川濁沢川が弱アルカリ性河川伝上川と合流し、中性領域へ近づく過程での水質変換に着目して議論する。なお、この合流点で濁沢川は強酸性、伝上川は弱アルカリ性であるという性質は年間を通して変わらないことが松本らによって報告されている¹⁰⁾。

(2) 濁沢川および伝上川の合流前後の元素濃度変化

まず、濁沢川と伝上川の合流前後の各河川水中の元素濃度に着目する。表-2は、上段に2018年11月~2019年12月に測定した濃度結果を示し、下段に他の地域の水質、日本の平均水質、水道基準値を示す。御嶽山火口周辺を源流に持つ濁沢川のAl, Fe, Mn, S濃度は伝上川、下黒沢、他の地域^{11)~15)}と比べ1~2桁高かった。一般に火山地域にある酸性河川では、岩石土壌に含まれるAlやFeなどが酸性下で河川水中に溶出したり、火山ガスまたは火山堆積物に含まれるSが河川水中に溶け込んだりすることで、河川水は元素濃度が高い水質となる⁸⁾。濁沢川も火山性の酸性河川であった。一方、伝上川ではNa濃度が40mg/Lと濁沢川(16 mg/L)より高く、Ca, Si濃度が濁沢川とほぼ同様の値であり、伝上川は火口を源流としないが一般の渓流水質¹⁴⁾とは異なる特異的な水質であった。この伝上川水質について、岩石風化や河床付着藻類の光合成などの影響が関与しており、火山性の起用は小さいと報告されている^{16),17)}。

次に、元素濃度比(R)を式(1)と定義し図-3に示す。

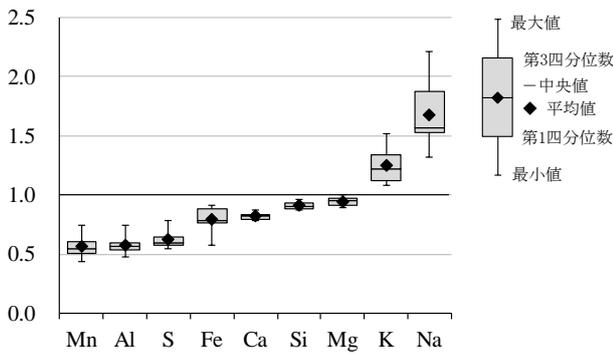


図-3 各元素濃度の濁沢川に対する濁川の比 (R)
(2018年11月～2019年12月：10調査，表2参照)

$$R = C_{NI} / C_{NS} \quad (1)$$

ここで、 C_{NS} ：濁沢川の元素濃度、 C_{NI} ：濁川の元素濃度とする。Mn, Al, S, Fe, Caの平均Rは0.6~0.8の範囲にあり、濁沢川濃度に対して濁川濃度がおおよそ20~40%低下することがわかった。一方、K, Naの平均Rはそれぞれ1.3と1.7であり、濁沢川濃度に対して濁川濃度がそれぞれ30%、70%上昇する傾向であった。

ここで、濁沢川ではAl, Mn, Fe濃度は水道水質基準を上回っており、伝上川合流後の濁川でもまだ上回っているが、合流後の各濃度が濁沢川に比べて20~40%低下することは水質改善において着目すべき点である。

(3) 濁沢川および伝上川の合流前後の元素負荷量の変化

各元素負荷量： L （各元素濃度×流量）に着目して、さらに水質変換過程の解明を試みる。

実際に観測した濁川の負荷量を L_m とし、濁沢川負荷量と伝上川負荷量の足した量（濁川の予測負荷量） L_p とする。 L_p は2河川の合流による効果が単純な希釈だけで他の影響が全くないとした場合の濁川の負荷量を表す。ここで、 L_m と L_p とのずれ（差）を示す指標として式(2)で表されるDL（観測負荷量と予測負荷量の差の割合）を導入する。

$$DL = (L_m - L_p) / L_p \quad (2)$$

ここで、 L_m ：観測負荷量＝濁川濃度×濁川流量、 L_p ：予測負荷量＝濁沢川濃度×濁沢川流量＋伝上川濃度×伝上川流量とした。この式で使用する流量として、濁沢川と伝上川については流量観測値を使用し、濁川については濁沢川と伝上川の合計値を使用した。実際に、2020年2月7日に濁沢川、伝上川、濁川の各流量を観測し、濁沢川と伝上川の合計流量（1.58m³/s）と濁川流量（1.57m³/s）の差は約1%未満であることを確認し問題ないことを確かめている。

(2)式より求めたDLを図-4に示す。Fe, Al, Mn, SのDLはそれぞれ66%、24%、22%、20%のプラスであった。一方、NaのDLは-7.7%のマイナスを示した。

ここで、流量（測定誤差±0.02m³/s）と各元素濃度（定量下限Mn：0.001mg/L, S：0.02mg/L, その他：

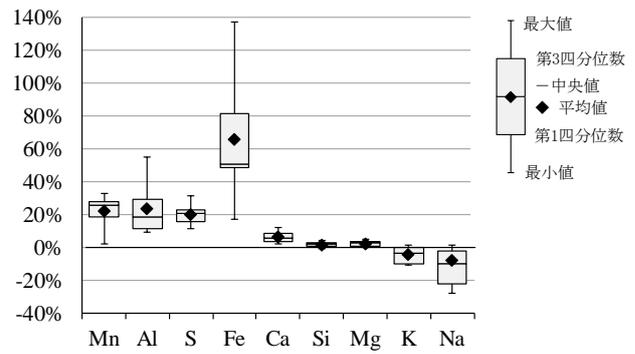


図-4 各元素のDL（観測負荷量と予測負荷量の差の割合）
(2018年11月～2019年11月：7調査，表2参照)

0.01mg/L）の測定誤差に起因するDLの絶対誤差は2~4%であった（ただし、流量については、流速・水深の計測値から得られる範囲をそれらの平均値に対する測定誤差として記述した）。

DLを変動させる作用として、以下の2つの作用が大きく働いたと考えられた。

作用①「濁沢川と伝上川の河川混合に伴う沈殿生成反応によって物質が沈殿し河川水中から物質が除去される」作用：DLを代数的に減らす方向に働く

作用②「濁沢川と伝上川以外からの成分混入による物質追加」作用：DLを代数的に増やす方向に働く

これらの作用は同時に働いていると考えられ、DLの符号により作用①②の大きさを判断できる。つまり、DLがマイナスの場合①>②、DLがプラスの場合①<②ということができる。

(4) 元素負荷量変化の原因（2つの作用）

DLを変動させる原因として①沈殿生成反応の作用と②河川以外からの物質混入の作用が考えられたため、これらについて検証した。

a) 沈殿生成反応の作用（作用①）

一般的に、AlとFeは、pH酸性下では溶解度が大きく溶存態で存在しやすい。pHが中性へ上昇すると溶解度が小さくなり懸濁態へ状態が変わる。このとき、他の懸濁物を引付け共沈する凝集沈殿の作用をもつ¹⁸⁾。また、CaやMgは、硫酸イオンや炭酸イオンとの反応生成物の溶解度が小さく、析出し沈殿しやすい性質を持つ。これらの沈殿反応は、DLを減らす方向に作用する。

そこで、濁沢川と伝上川の河川水を採水して沈殿反応の室内実験をした。ただし、この実験は、強酸性濁沢川河川水と弱アルカリ性伝上川河川水の混合によって、実際に沈殿生成反応が起こることを確認するのを主目的とした予備的なものである。実験結果を基にした、DL減少効果の定量的な議論は行わないことに注意する。試料水の各元素の沈殿量を図-5に示す。濁沢川と伝上川のそれぞれの沈殿量に対し、混合水の沈殿量（以降、混合沈殿量： S_{mix} と称す）は多くなった。よって、2河川の混合

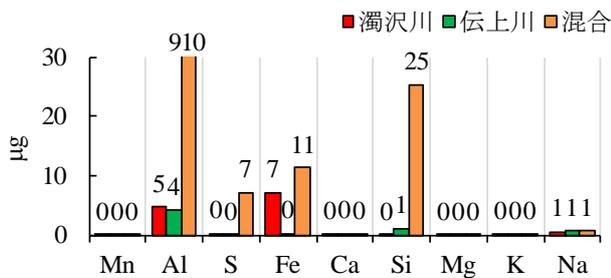


図-5 室内沈殿実験での各元素の沈殿量
試料水400mLの1日静置後の沈殿量(µg/400mL)

によって、沈殿生成反応が生じたことを確認できた。

この反応での沈殿生成量を明確にするため、以下の方法で検討した。まず、濁沢川と伝上川での沈殿量をそれぞれ200mL中の沈殿量に換算し合算する（以降、合算沈殿量： S_{sum} と称す）。この S_{sum} に対する S_{mix} の割合（ S_{mix}/S_{sum} ）を求めた。この割合は、沈殿生成反応がない場合には計算上 $S_{mix}/S_{sum}=1$ となり、沈殿生成物が多く生じるほど S_{mix}/S_{sum} が大きくなり沈殿作用が大きいことを表す。実験の結果、 S_{mix}/S_{sum} はAl：200、Si：45、S：40、Fe：3.0であり、Alの沈殿生成反応による沈殿作用が非常に高く、次いでSi、Sの順で高いことがわかった。一方、Na、K、Ca、Mg、Mnの S_{mix}/S_{sum} は0.75～1.2の範囲内にあり、ほぼ1に近いことから沈殿生成反応が小さい、または、反応がなかったことが示唆された。

以上の実際の河川水を使用した室内実験から、沈殿生成反応はAl、Si、S、FeのDLを減らす方向に作用していたことが確認できた。

b) 河川以外からの物質混入の作用（作用②）

次に作用②のDLを増やす方向に作用する根源として、河川以外からの物質混入について言及する。その混入物質を濁沢川と伝上川の合流点河岸の湧水や堆積物であると考え、それらの成分濃度を測定した。

伝上川付近の湧水は伝上川と類似した成分濃度であったが、濁沢川付近の湧水は全元素とも河川水と比べ高い成分濃度であった（図-6）。一方、3(3)節で述べたように濁沢川と伝上川の合計流量と濁川の流量がほぼ一致していることから、湧水の流量は現在の測定方法では検出できない程小さいと言える。以上から、濁沢川周辺には流量は極めて小さいが元素濃度が非常に高い湧水があり、その流入が元素負荷量増加に影響していると考えられる。

次に、濁沢川と伝上川の合流地点河岸における堆積物の成分組成（図-7）をみると、調査地点周辺の堆積物（No.1～5）には、Al、Fe、Sは、他の地点の御嶽山岩石¹⁹⁾や一般的な土砂岩石^{20,21)}と比べ多い傾向であった。この傾向は、堆積した火山灰のAl、Sについても当てはまる。3(2)節で前述したように、Al、Fe、Sを多く含む濁沢川が火山性の河川であることと同様に、堆積物も火山地域特有の成分組成を持つことが分かった。

これらの特質な堆積物が河川水へ影響をもたらす経路について考察する。田代²²⁾は、本論文と同じ調査地点で

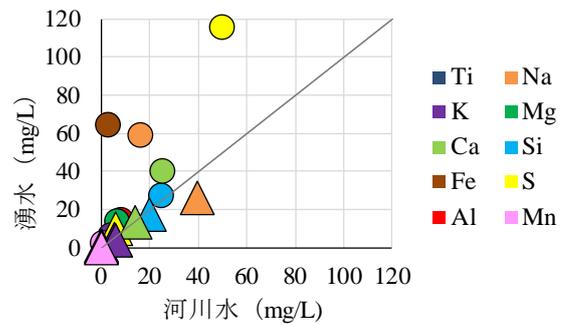


図-6 各元素濃度の河川水と湧水の比較
○：濁沢川河川水と濁沢川右岸湧水
△：伝上川河川水と伝上川右岸湧水
直線：河川水と湧水が同濃度の場合を表記

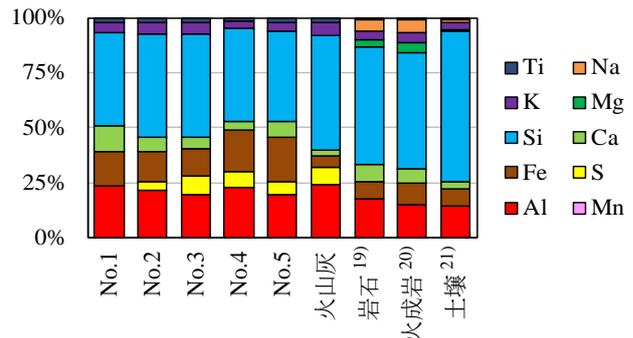


図-7 濁沢川と伝上川の合流点周辺の堆積物の成分割合と他の堆積物等との比較

- No.1 伝上川右岸の砂
- No.2 濁沢川と伝上川の間の赤色堆積物（土砂）
- No.3 No.2堆積物の下層の灰色堆積物（土砂）
- No.4 濁沢川左岸の黄土色堆積物（泥）
- No.5 No.4堆積物の下層の黄土色堆積物（砂）
- 火山灰 御嶽山8.5合目の火山灰(2019年9月9日採取)
- 文献19),20),21)データをグラフ化した

ある濁沢川と伝上川の合流地点を含めて、各河川流速を河道に沿って測定し、伏流水の存在と溪流特有の強い攪乱を報告している。このことから、伏流水によって堆積物中の元素が運ばれ表流水と交流することや、また、河川水流擾乱によって堆積物そのものが河川へ直接混入することが河川水質に影響を与えていると考えられる。

以上のことから、Si、Al、Fe、Sを多く含む火山地域特有の湧水や堆積物の混入がDLを増やす方向に作用すると考えられる。

4. おわりに

本研究では、御嶽山火山活動の影響を受ける強酸性河川濁沢川と弱アルカリ河川性伝上川の合流地点での水質変換過程を明確にすることを目的として、pH、元素濃度、流量を測定し、評価した。

濁沢川に伝上川が合流した後の濁川は、pHが中性領域へ上昇し、また、Al、Mn、S、Fe濃度は20～40%低下

した。一方、Na濃度は上昇した。

濁沢川、伝上川、濁川の元素負荷量（元素濃度×流量）を求めたところ、濁沢川と伝上川合流後の濁川でFe, Al, Mn, SのDL（観測負荷量と予測負荷量の差の割合）がそれぞれ66%, 24%, 22%, 20%とプラスに大きく傾いた。これは、Fe, Al, Mn, Sについて、河川以外からの混入作用が沈殿による水中からの除去作用よりも大きく働いていることを示す。一方、NaのDLはマイナスであり、沈殿作用が混入作用より大きく働いていることを表す。しかし、今回の室内沈殿実験ではNaの沈殿生成が立証できなかった。河川水中からの元素除去は水質改善に大きくつながることから、この原因追及は今後の重要な課題である。

結論として、本論では、強酸性河川濁沢川の伝上川流入による水質変換過程で、Al, Fe, Mnの濃度は低下したが、その反面、これらの元素負荷量は増加したことを定量的に明らかにした。この原因として、火山地域特有の性質を持つ湧水や堆積物の影響が考えられた。

謝辞：林野庁中部森林管理局木曾森林管理署には林道の通行許可、長野県木曾建設事務所には復旧道路の通行許可など調査の便宜を図っていただいた。野崎健太郎博士（椋山女学園大学）、小野田幸生博士（三重大学）、江端一徳博士（豊田高専）を始め、日本陸水学会東海支部会関係各位には、試料提供や調査補助など大変お世話になった。名古屋大学・椿涼太准教授、愛知工業大学・城戸由能研究室の方々には現地観測、水質分析を支援いただいた。調査の遂行にあたり、(独)日本学術振興会 科学研究費助成事業 基盤研究B (JSPS科研費19H04318：代表 田代喬：平成31-令和4年)、(財)水源地環境センター WEC応用生態研究助成(代表 松本嘉孝：平成29-30年度)、平成24年度文科省私大研究設備整備費等補助を受けることができた。以上の方々のご厚意とご協力に心からの謝意を表す。

参考文献

- 1) 気象庁：日本活火山総覧 53.御嶽山，（一財）気象業務支援センター，p.803, 2013
- 2) 後藤達夫：酸性温泉水の処理対応，温泉科学，第32巻，pp.105-123, 1982.
- 3) 谷口智雅：特集：2014年の御嶽山噴火が陸水に及ぼす影響，陸の水，74巻，pp.1-3, 2016
- 4) Nozaki K: Autumn and winter periphyton biomass in the Ohtakigawa River watershed 1 year after the 2014 eruption of Mount Ontake, central Japan, *Rikunomizu (Limnology in Tokai Rigion Of Japan)*, Volume74, pp.13-21, 2016
- 5) Onoda Y and Kayaba Y: Comparison of fish fauna in a river that received pyroclastic flow from the volcanic eruption of Mt. Ontake in 2014 with that in neighboring rivers, *Rikunomizu (Limnology in*

Tokai Rigion Of Japan), Volume74, pp.23-28, 2016

- 6) 松本嘉孝, 野崎健太郎, 宇佐見亜希子：御嶽山南麓の王滝川流域における河川水質分布とpHの短期的変化，陸の水（日本陸水学会東海支部会誌），受理，2020年発行予定
- 7) Usami A, Matsumoto Y, Yagi A and Iwatsuki E: Role Difference among rivers affected by volcanic activities of Mt. Ontake for water quality of the Nigorigawa river, *International Journal of GEOMATE*, Volume16(58), pp.76-81, 2019
- 8) 田瀬則雄, 杉原修子：「水文科学が解き明かす不思議な天然水」2. 赤い川ー長野県の石堂沢とブドウ沢，日本水文科学会誌，41巻2号，pp.39-46, 2011
- 9) 例えば，江草智弘：河川流量の手動観測について，砂防学会，12巻4号，PP.40-43, 2019
- 10) 松本嘉孝, 宇佐見亜希子, 江端一徳：濁川のpH変化をもたらす上流河川の水質・水文状況について，日本陸水学会東海支部会第22回研究発表会要旨集，p1, 2020
- 11) 長野県木曾町：令和元年度水質検査結果，URL. <https://www.town-kiso.com/kurashi/suido/100067/100679/>, (2020年4月時点)
- 12) 愛知県水質試験所：平成30年度水質年報（第51集），愛知県企業庁，p7, 2019
- 13) 小林純：日本の平均河川水質とその特徴に関する研究，農学研究，48巻，pp.63-106, 1961
- 14) 木平英一, 新藤純子, 吉岡崇仁, 戸田仁重：わが国の溪流水質の広域調査，日本水文科学会誌，36巻3号，pp.145-149, 2006
- 15) 厚生労働省：水道水質基準について，URL. <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html>, (2020年4月時点)
- 16) 吉岡龍馬, 小泉尚嗣, 日下部実, 千葉仁：長野県西部地震による斜面崩壊地周辺の天然水の化学成分および同位体組成について，京都大学防災研究所年報，第29号B-1，PP.379-390, 1986
- 17) 村上哲生：御嶽山による火山災害と王滝川水系(長野県)のpH変化との関連についての検証，及びそれが地域社会の変貌に与えた影響についての考察，陸水学雑誌，79巻，pp.19-39, 2018
- 18) 藤田賢二：水処理薬品ハンドブック，技報堂出版株式会社，pp.19-25, 2003
- 19) 山田直利, 小林武彦：御嶽山地域の地質 地域地質研究報告(5万分の1地質図略)，地質調査所，pp.136, 1988
- 20) 半谷高久, 小倉紀雄：水質調査法 第3版，丸善株式会社，p.32, 1998
- 21) 太田直一：土壌および生物の元素組成のバックグラウンド像，化学教育，20巻3号，pp.182-188, 1972
- 22) 田代喬：御嶽山麓の荒廃溪流にみられる流量変動特性：空撮画像と超音波流速計を用いた分析，日本陸水学会東海支部会第22回研究発表会要旨集，p.22, 2020

(2020. 4. 2受付)