

報告 (Report)

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

松本嘉孝¹⁾・野崎健太郎²⁾・宇佐見亜希子³⁾

Spatial and short-term water quality variation in Otaki watershed located
at the southern side of Mt. Ontake

Yoshitaka MATSUMOTO¹⁾, Kentaro NOZAKI²⁾ and Akiko USAMI³⁾

摘 要

海洋性プレートの沈み込み帯の陸側に存在する日本列島上には火山フロントが形成され、その火山地域に無機酸性化した湖沼や温泉などの存在が水環境の特徴として報告されている。長野県御嶽山の南麓を流下する王滝川流域は1979年の有史以来初の噴火以前から酸性化した河川が存在することが確認されている。本研究では、2014年の噴火後から、その流域の水質形成プロセスを明らかにするために、時・空間的な水質特徴把握のための調査を行っている。今回は王滝川本川3箇所および4つの支川を16回観測した結果について報告する。また、濁川流域については、2017年11月にその5つの支川についても詳細な観測を行った。王滝川の pH は、低 pH である濁川が合流後に急激に pH が低下する傾向があった。その濁川の SO_4^{2-} は高濃度であることから、濁川源流の噴火口から供給された火山ガスが低 pH をもたらしていると考えられた。その濁川の上流に位置する赤川の pH は2.9であったが、同様に上流に位置する伝上川の pH は8.1であり、濁川流域内に様々な地質のおよび地球化学的な要素が点在していると考えられた。加えて、年間の濁川の pH は、4月から11月までは低く、12月から3月の間は高くなっていることが確認された。この季節的な変動は、濁川の源流部からの酸の供給過程に違いがあるためであると推測された。

キーワード：無機酸性河川, pH, イオン, 火山地域

Abstract

Inorganic acidic waterbody, rivers lakes and hot springs, is one of the characteristics of Japanese inland water body. Because Japanese islands, locates on the junction points between several continental plates where volcanic mountains exist on a line and show high activity, eruption and earthquake. Otaki River, locates at the southern side of Mt. Ontake, is represented as the acidic river by the researchers having surveyed before and after the first eruption. We started the water quality collection from December of 2014 in Otaki Watershed to clarify the water quality process of that river by a spatial and temporal survey and water quality analysis. We have conducted total of 16 times investigations at 3 points in the Otaki River and 4 tributaries. In addition to that survey, we collected samples at 5 branches and 3 main stream in the Nigorigawa Watershed at November 2017. pH of the Otaki River decreased at the junction point with the Nigorigawa River that has low average pH values and high variables. SO_4^{2-} that is the primary anion in the Nigorigawa River would mean that H^+ of the Nigorigawa River is provided by the sulfate composition from the Jigokudani Valley where vents are exploding the volcanic gas. pH value of the Akagawa River discharges from the Jigokudani Valley was 2.9, but one of the tributaries of the Nigorigawa

¹⁾ 豊田工業高等専門学校 環境都市工学科 愛知県豊田市栄生町2-1 National Institute of Technology, Toyota College, Department of Civil Engineering, 2-1 Eisei, Toyota, Aichi, Japan

²⁾ 椋山女学園大学 教育学部 愛知県名古屋市千種区星ヶ丘元町17-3 Sugiyama Jogakuen University, School of Education, 17-3 Motomachi, Hoshigaoka, Chikusa, Nagoya, Aichi, Japan

³⁾ 愛知工業大学大学院 生産・建設工学専攻 愛知県豊田市八草町八千草1247 Aichi Institute of Technology, Faculty of Engineering, 1247 Yachikusa, Yakusa, Toyota, Aichi, Japan

Watershed, the Denjo River, showed 8.1. Each tributary in the Nigorigawa Watershed has each characteristic water quality would be provided by the geological and geochemical conditions. The short-term pH variation of the Nigorigawa River appeared the low from April to November and high from December to March. This variation brought by the difference of acid transportation from the acid source would locate at the headwater of the Nigorigawa River.

Key words: Inorganic acidic river, pH, Ions, volcanic area

(2018年6月5日受付；2018年11月1日受理)

はじめに

日本は大陸プレートが接合する場所に形成された弧状列島である(上田・杉村, 1970; 藤岡, 2012)。そのため、その列島上にはプレートの沈み込みに起因する火山フロントが生じ(藤岡, 2012; 堤, 2014)、噴火などの活発な活動が起こり、環境変化が頻繁に発生する特徴がある。その活動が陸水環境に与える影響としては、マグマ熱を供給することで高い水温を示す温泉や、火山ガスの酸化により供給される塩酸や硫酸によって強度に無機酸性化した湖沼や河川がみられる(佐竹, 1980; 佐竹, 1996; 村松, 2011; 田瀬・杉原, 2011)。この火山活動に伴う強酸化した湖沼や河川の研究は、日本の陸水環境の特徴として、1910年代から調査が開始されてきた(田中, 1927; 上野, 1932)。その代表的な河川として、草津、吾妻川、玉川などが挙げられ、特に玉川においては酸性泉として有名な玉川温泉に着目し、長期にわたる研究が行われており(例えば、岩崎, 1979)、その長期観測データを活用した水質形成過程(吉池, 1993; Yoshiike, 2003; 佐藤ら, 2010)や安定同位体を用いての水質形成解析(若狭ら, 2015)が行われている。加えて、上記で挙げた陸水学的な視点からの研究の他にも、その地域の経済的な資源とも言える温泉の水質変化や、火山活動状況の観測(秋田ら, 2000)、噴火予知(横田, 2016)などを目的とした、地下水や温泉水質観測が行われている。

上記のように、地形的に安定した温泉などを源流とした無機酸性河川の研究は古くから行われてきた。しかし、火山の噴火のような、急激な自然変化に着目した地表水質および無機酸性水の研究は、定期的に調査が行われている火山地域が少ないため、噴火前後での調査は有珠山での温泉水質の変化を捉えた研究(柴田ら, 2001)など限られている。また小寺らの研究グループは、箱根山麓、浅間山、伊豆大島、御嶽山など近年噴火した火山周辺の地表水の水質分布を高頻度で調査しており(例えば、猪狩ら, 2017; 堀内ら, 2017; 浅見ら, 2017)、それぞれの水環境の関連性を検討している(小寺ら, 2017)ことは貴重である。

本研究で対象としている御嶽山は有史以来2回の噴火が発生しており、1回目は1979年、2回目は2014年である。また、その2回ほどの規模ではないが、1991年と2007年には小規模な水蒸気爆発を起こしている(田代, 2016)。そして、1984

年には、長野県西部地震に伴う岩屑なだれが発生していることも、王滝川流域においては大きな環境変化であった。このような災害が発生した後、地質学や防災学に関する研究が集中的に行われている(例えば、青木, 1980, 科学技術庁 国立防災科学技術センター, 1985)。その自然災害と河川 pH や水質形成過程に着目した研究としては、1979年の噴火後には吉岡ら(1980)、1984年の地震後には吉岡ら(1986)や戸松ら(1994)、2014年の噴火後には、利水の観点から今本ら(2017)が牧尾ダムおよびダム湖に流入する王滝川の水質について調査を行っている。そしてこの王滝川水系では、村上(2018)が紹介しているように、水道事業者などが1979年の噴火前から水質調査を行っており、1979年以前の水質調査記録を提示している点では大変興味深い。

現在、調査開始から3年が経過し、我々の現地で採取した水質データが集積してきたため、水質の空間分布の把握が可能になった。そこで、王滝川流域においてその支川が本川の水質に及ぼす影響について考察を行う。また、3年にわたる水質、とくに pH 変遷についても短期的な視点から明らかになった王滝川流域における水質形成過程について考察を行う。

研究方法

王滝川流域の調査地点

図1は御岳湖上流の王滝川流域での調査地点を示している。王滝川本川の調査は3カ所で、支川の調査は4カ所で行った。王滝川本川の最下流部は松原であり、御岳湖にかかる大岩橋から上流2.2 km の地点である。その大岩橋から7.2 km の地点に柳ヶ瀬があり、その間にうぐい川が右岸から合流している。大岩橋から12.0 km の地点には滝越があり、柳ヶ瀬との間に左岸下流から濁川、下黒沢が、右岸から白川が合流している。

濁川流域の調査地点

図2は王滝川左岸から合流する濁川での調査地点を示している。王滝川本川と濁川との合流地点から上流3.9 km 付近では、左岸から伝上川が流入する。伝上川の水は、その合流点から0.8 km 上流地点で採水した。また、その地点のすぐ下流部で伝上川左岸から流入する河川を伝上川左岸支川とし、そ

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



図1. 王滝川流域調査地点図.

黒丸は王滝川本川の調査地点を示し、白抜き丸は支川の調査地点を示す。
(出典：地理院地図，電子国土 Web)

の地点でも採水を行った。

伝上川との合流地点より上流の濁川は濁沢と呼ばれる。伝上川との合流点から上流1.0 km で左岸から支川が合流しており、濁沢左岸支川として採水を行った。さらに、濁沢の上流2.7 km で、2つの河川が合流しており、右岸からの河川が白川、左岸からの河川が赤川と呼ばれる。その白川と赤川でも採水を行った。そして、赤川上流0.4 km では、左岸から河川が合流しており、その河川を赤川支川、合流前の赤川の採水地点を赤川上流とする。赤川の源頭部は地獄谷と呼ばれる場所であり、1回目および2回目の噴火口が存在する（中野ら、2014）。

調査日

表1は、王滝川流域で調査を行った場所を調査日毎に示している。各調査地点により採水回数は異なり、濁川ではほとんどの調査日で採水を行った。濁川流域での調査は、2017年11月25日と26日に行った。

分析方法

調査地において pH の測定を行ったが、機器の測定精度が不安定であったため、今回の解析においては実験室に持ち帰った試料で再度測定した値を用いた。その際用いた pH 計は Portable pH Meter Pro2Go (Mettler Toledo) である。EC についても、実験室で測定した値を用いた。ただし、濁川流域の調査で採取した試料については、pH、EC 共に現地にて測定した値を用いた。用いた EC 計は Portable EC Meter SevenGo (Mettler Toledo) である。

陽イオンの測定は Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} について、IC-300 (TOA) を用いて測定を行った。この機器の測定範囲は Na^+ 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ が 0.025 から 2.50 mg L^{-1} 、 K^+ 、 Ca^{2+} が 0.05



図2. 濁川流域調査地点図.

(出典：地理院地図，電子国土 Web)

表1. 王滝川本川および支川の調査日および調査回数.

大岩橋からの距離 (km)	王滝川本川			王滝川支川			
	滝越	柳ヶ瀬	松原	白川	下黒沢川	濁川	うぐい川
	12.1	7.2	2.2	11.9	9.7	8.0	5.3
2014/12/20						○	
2015/10/08					○	○	
2015/10/09	○	○		○		○	
2015/10/10		○				○	
2015/11/29	○	○	○		○	○	
2015/11/30	○	○			○	○	
2016/02/27					○	○	
2016/10/19					○	○	
2016/10/28					○	○	
2016/12/05		○	○				○
2016/12/15					○	○	
2017/03/06	○	○	○	○	○	○	○
2017/07/27	○	○	○	○	○	○	○
2017/11/25-26				○		○	
2018/02/28	○	○	○	○	○	○	○
2018/04/01	○	○	○		○	○	
調査回数	7	9	6	5	11	15	4

から5.00 mg L⁻¹である。陰イオンの測定は Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ について、TOA IC-300 (TOA) を用いて測定を行った。こちらの測定器の測定範囲は Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻ が0.05から5.00 mg L⁻¹, SO₄²⁻ が0.100から10.0 mg L⁻¹である。イオン濃度が測定範囲を超える試料については、イオン交換水を用いて希釈を適宜行った。ここで、王滝川水系および濁川水系の水質特性については、2014年12月20日から2017年3月6日までの結果を用い、王滝川水系の短期 pH 変化については2014年12月20日から2018年4月1日までの結果を用いた。

結果および考察

王滝川本川水質

王滝川本川の pH 変化を図3に示す。滝越の平均 pH は7.3でありその変動も小さいが、濁川と合流した地点の柳ヶ瀬では、平均 pH は4.8に低下すると共に、変動係数も上流に比べて3.7倍となった。そして、調査地点の最も下流になる松原での平均 pH は6.6であり、その変動は滝越の値よりも小さくなった。

次に、本川のイオン成分の構成を明らかにするためにまず、

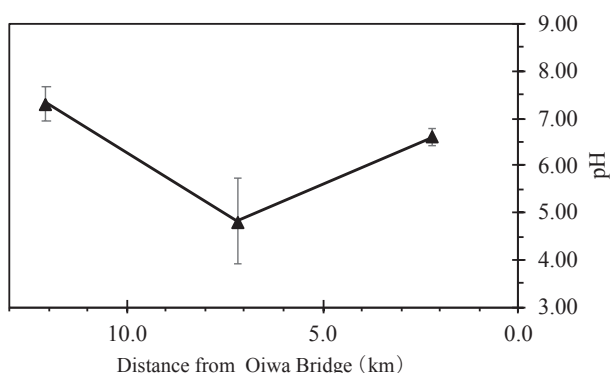


図3. 王滝川本川で採取した試料の pH
横軸左側が王滝川の上流を示しており、上流から、滝越、柳ヶ瀬、松原である。黒三角は平均値を示し、三角から伸びる線は標準偏差を示す。

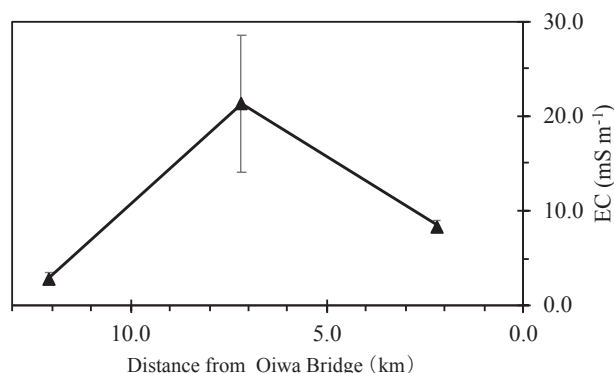


図4. 王滝川本川で採取した試料の EC
横軸左側が王滝川の上流を示しており、上流から、滝越、柳ヶ瀬、松原である。黒三角は平均値を示し、三角から伸びる線は標準偏差を示す。

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

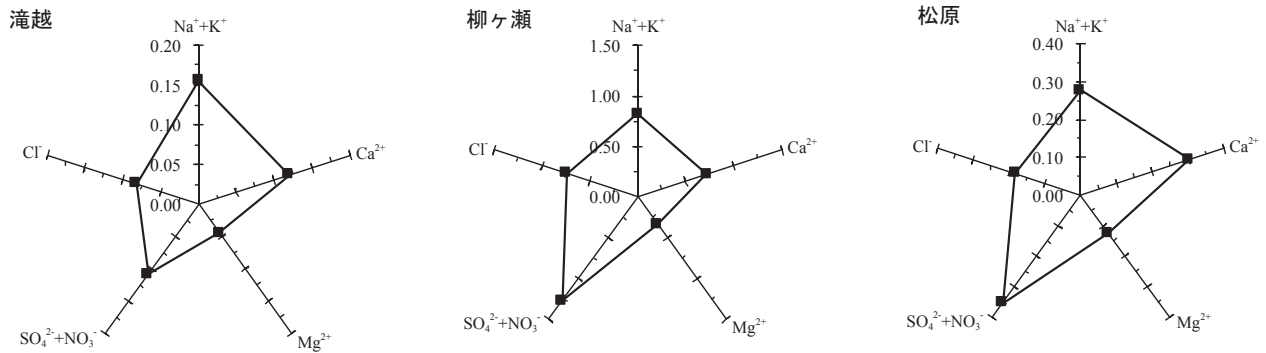


図5. 王滝川本川で採取した試料のイオン構成
各グラフの軸単位は meqL⁻¹を示す。

EC を図4に示す。濁川が合流する柳ヶ瀬の EC が、滝越の7.3倍となる結果がえられた。その後 EC は、下流の松原の地点では低下した。そして、pH と同様に、EC も滝越および松原ではその変動は小さく、柳ヶ瀬では大きくなること明らかとなった。このことは、滝越から柳ヶ瀬の間でイオン成分を多く含む水が流入し、その後、イオン成分の少ない水が流入することで希釈され、EC が低くなったと考えられる。

次に、各地点のイオン成分の詳細について図5に示す。この図の形から、滝越の主要な陽イオンは Na⁺+K⁺ と Ca²⁺ であることがわかり、陰イオンは SO₄²⁻+NO₃⁻ であることがわかる。一方、中流の柳ヶ瀬と下流の松原では、主要な陽イオンは Na⁺+K⁺ と Ca²⁺ で滝越と変わらないが、主要な陰イオンは SO₄²⁻+NO₃⁻ が突出して高く、イオン構成が上流とは大きく異なっていることがわかる。このことは、王滝川の水質が支川により途中で大きく変化し、その影響が御岳湖流入まで続いていることを示している。

王滝川流域の支川水質

支川の pH と本川の採水位置を点線で図6に示す。王滝川本川の右岸から流入する白川、うぐい川の平均 pH は、それぞれ7.6と7.0と中性の値を示した。一方、左岸から流入する下黒沢と濁川では、隣り合う支川であるにもかかわらず、pH の値は大きく異なり、下黒沢では7.7、濁川では4.4となった。各河川の pH 変動は、下黒沢、濁川、うぐい川で大きく、濁川の変動係数と王滝川本川柳ヶ瀬での変動係数は同程度であった。

次に、本川と同様に各支川のイオン構成を把握するため、まず平均 EC を図7に示す。白川、下黒沢、うぐい川の EC は、それぞれ2.2、3.3、1.5 (mS m⁻¹) となり、ほぼ同程度の値を示した。一方、濁川の EC は他の3支川に比べ10倍以上も大きくなると共に、標準偏差も5.6 (mS m⁻¹) であったことから、水質変動の大きな河川であるといえる。

図8は各支川のイオン構成を示している。白川とうぐい川はグラフの形が似ており、主要な陽イオンは Na⁺+K⁺ と Ca²⁺,

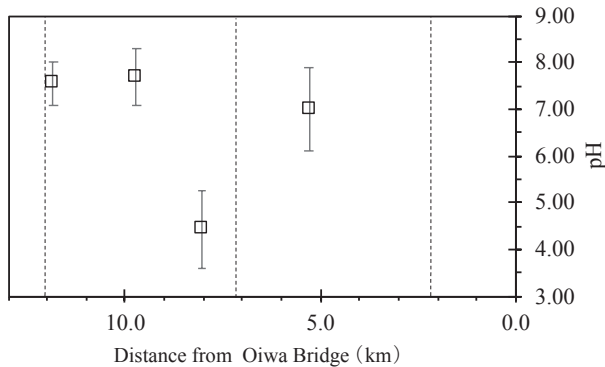


図6. 王滝川支川で採取した試料の pH

横軸左側が王滝川の上流を示しており、上流から、白川、下黒沢、濁川、うぐい川である。四角は平均値を示し、四角から伸びる線は標準偏差を示す。

図中の点線は本川を採取した位置を示し、上流川から滝越、柳ヶ瀬、松原である。

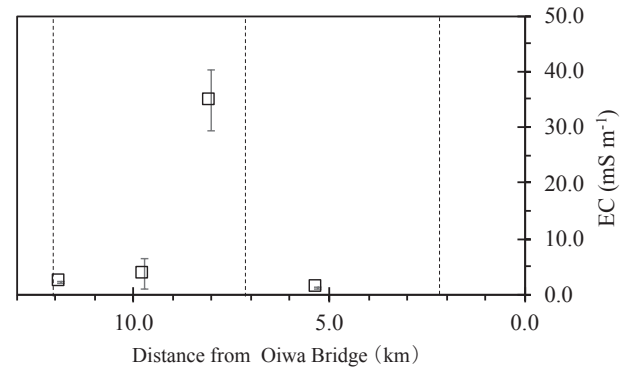


図7. 王滝川支川で採取した試料の EC

横軸左側が王滝川の上流を示しており、上流から、白川、下黒沢、濁川、うぐい川である。四角は平均値を示し、四角から伸びる線は標準偏差を示す。

図中の点線は本川を採取した位置を示し、上流川から滝越、柳ヶ瀬、松原である。

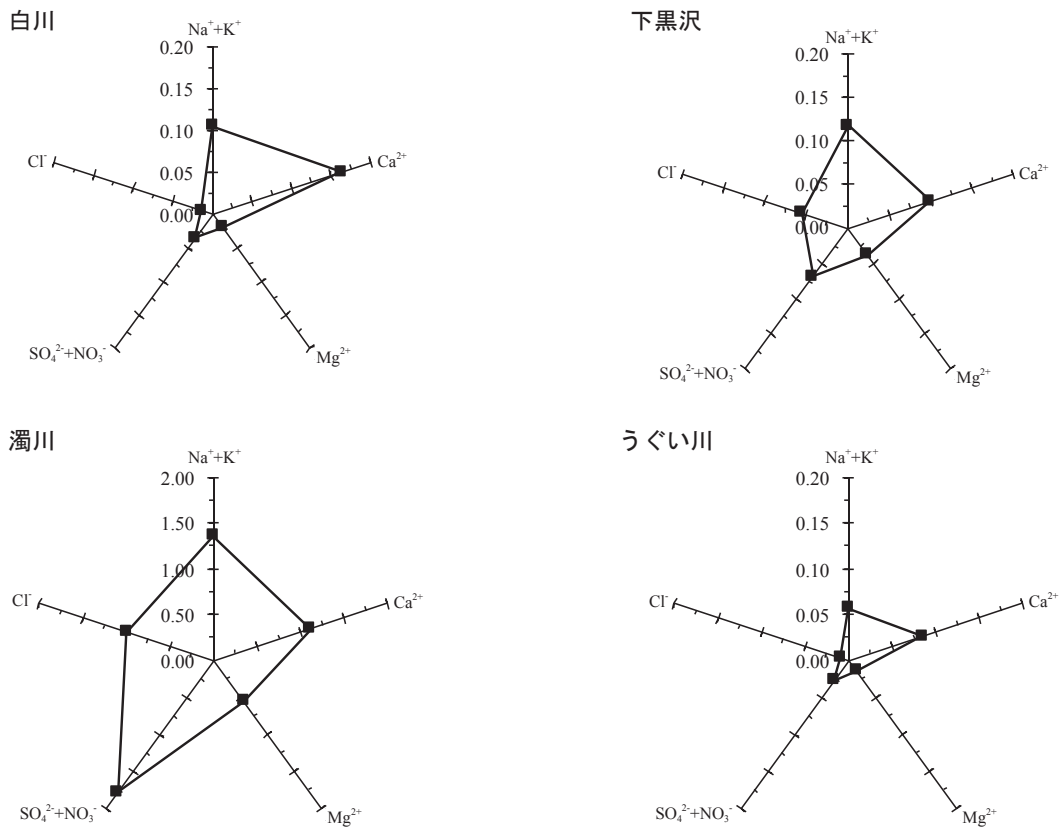


図8. 王滝川支川で採取した試料のイオン構成
各グラフの軸単位は meqL⁻¹を示す。

それに対する陰イオンは今回測定した Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ 以外であり、HCO₃⁻ の関与が考えられる。戸松ら (1994) によると、白川は Na-HCO₃型に分類されておりうぐい川もこの水質分類に属するといえる。戸松らの調査から23年が経過しているが、両支川はイオン構成の変化はほとんど無いと思われる。EC が白川、うぐい川と同程度の下黒沢については、イオン構成が異なり、主要陽イオンは同じく Na⁺+K⁺ と Ca²⁺ であるが、陰イオンは Cl⁻ と SO₄²⁻+NO₃⁻ の濃度が高くなっていることがわかった。この形は王滝川本川の滝越と形が類似しており、両者のイオン構成が類似する理由としては、両河川共に三浦山を水源としている事から、その地質を反映しているためだと推測される。

そして、濁川のイオン構成は、下黒沢の形に比べ、SO₄²⁻+NO₃⁻ が大きくなっていることが特徴である。このうち、SO₄²⁻ の平均濃度は84.9 (mg L⁻¹)、NO₃⁻ の平均濃度は0.5 (mg L⁻¹) であり、高濃度の SO₄²⁻ が含まれていることがわかった。この形は王滝川本川の柳ヶ瀬および松原の形 (図5) と類似しており、濁川が本川水質に大きく影響していることがわかる。この pH であれば、HCO₃⁻ の含有量はほとんど無いと考えられ、それに対して SO₄²⁻ が多く含まれている。

濁川の酸性化については、1回目の噴火後に調査を行った

小坂ら (1980) も言及しており、火口からの新噴出物には塩化物が多いことから、この SO₄²⁻ が高濃度である水は、地獄谷下流噴気孔やその他の旧火山作用の影響が加わっていると考察している。ここで、火山地帯における温泉や河川を酸性化させる機構については、火山ガスもしくは堆積した硫黄化合物が考えられる。まず、火山ガスについては、酸性化した温泉水などで詳細な研究が行われており、その機構としては、火山マグマから継続的にマグマ発散物が地下水へ供給され、供給された SO₂ が自己酸化還元反応により、湧出水が酸性化すると考えられている (岩崎, 1979; 平山, 1992; 吉池, 1993)。その酸化した水が母岩と接触することで、岩成分が流出しイオン類や重金属類の水質が形成される (真田ら, 2013)。もう一方の硫黄化合物については、火山地帯や硫化鉄鉱床に存在する二硫化鉄から硫酸が生成され、濁川上流の濁沢の河床で見られるような、赤褐色の原因である酸化水酸化鉄 (III) が最終的に生成する (田瀬・杉原, 2011)。宇佐見ら (2017)、Usami *et al.* (2018) はその濁川で Fe イオンが多く含まれることを示しており、1回目の噴火後に河床堆積物を調査した北野と金森 (1980) も、濁川の酸性化は鉄の硫化物が原因であるとしている。さらに、杉浦ら (1980) は御嶽の噴火口付近の火山灰などを分析し、そこには硫黄塩や二硫

化鉄である黄鉄鉱などが含まれていることを確認している。このことから、濁川の源頭部にある地獄谷には、硫黄起源の酸性物質が堆積していると考えられる。ただ、現状においては、このどちらが原因で濁川の酸性化がもたらされているかは判断することができない。また、この硫黄の由来については硫黄同位体比を測定することで明確化されることが考えられる(鈴木と田瀬, 2010; 宮島, 2009) ことから、今後の研究課題の一つとして提示する。

濁川流域の支川水質

今回の調査を通して低い pH が観測された濁川について、その上流部の詳細な調査を2017年11月25日から26日にかけて行った(図9)。その日の濁川の pH は5.9であり、最初の合流点の伝上川と濁沢では、それぞれ8.1と3.7であり、濁沢の低 pH が濁川の pH を下げていることがわかる。

伝上川の pH および伝上川左岸支川の pH は中性付近であるが、伝上川の EC は濁沢川と同程度である。一方、伝上川左岸支川の EC は伝上川の10分の1程度であるため、伝上川の水質形成はその本川と支川によって異なることが考えられる。吉岡ら(1980)は岩屑流れ後の伝上川源頭部を調査しており、その水の火山性の水の寄与は認められないとしている。さらに吉岡ら(1986)は、この伝上川の高 HCO_3^- 濃度の原因は風化岩石による影響であることを、他の崩落地の水質特性(Yoshioka, 1976)などから結論づけている。戸松ら(1994)も伝上川の水質は Ca-HCO_3 型に分類され、濁沢とは異なることを示しているが、その水質は火山性ガスからの CO_2 供給によるものであるとしており、吉岡の見解とは相違がある。

濁沢左岸支川および白川は pH が濁沢に比べて高く、赤川の pH が3.1と強酸性であることがわかった。さらにその上流の赤川上流は2.9であり、その源流の地獄谷から湧出する水が濁川の pH を低下させ、王滝川の pH の低下および変動に影響を及ぼしていると考えられる。ただ、濁沢および赤川の河床に存在する赤褐色の堆積物については、赤川上流では見られず、赤川左岸支川には河床全体に堆積している様子が見られた。さらに、pH のみならず、濁沢の各支川の EC についても、pH との関連性はみられないことから、各支川における水質形成過程は異なる可能性が示唆される。戸松ら(1994)も濁川水系の伝上川と濁沢で水質形成過程の違いにより水質型が異なることを示しているが、それ以上に、濁川流域における各河川の水質はモザイク模様のように分布しており、その形成過程も複雑かつ特異的であることが考えられる。

王滝川水系の短期 pH 変化

噴火が河川 pH 変動に及ぼす影響

1979年の1回目の噴火について、松浦(1964)、広(1964)、本村ら(1975)と、村上(2018)の中の付表にある名古屋市

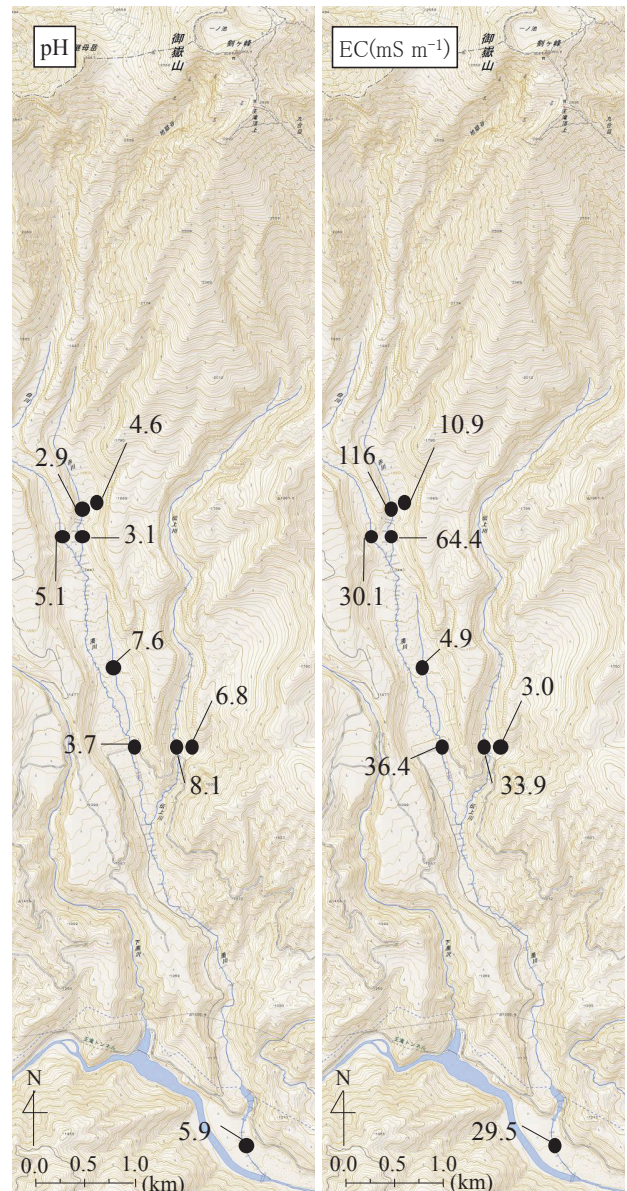


図9. 濁川流域における pH および EC 分布

2017年11月25日から26日の調査結果。(出典：地理院地図，電子国土 Web)

水道局のデータによると、1回目の噴火前の松原橋の王滝川の pH は6.6から7.0の中性付近であることがわかるが、噴火の2ヶ月後に観測した pH が4.9近くまで低下したことが田中ら(1984)からも明らかになっている(表2)。その後は、村上(2018)の中の付表にある愛知県水質試験所のデータによると、1994年から2004年までの29回の pH 平均値は6.9であり、噴火前の値であるといえる。次に、2回目の噴火後における王滝川の水質については、浅見(2015)や村上(2018)の付表のデータからも pH が3.6であることが読み取れる。その後は、pH が上昇しており(村上, 2018)、今本ら(2017)も、噴火直後の10月から12月までは、流量の大小にかかわらず

表2. 過去の文献から引用した王滝川本川および支川の pH 測定結果および著者らが実施した2014年12月から2017年11月までの各地点における平均, 最大, 最小 pH.

pH 測定年月および 王滝川流域での事象年月日	王滝川本川			王滝川支川				備考	参考文献	
	滝越	柳ヶ瀬もしくは 氷ヶ瀬	松原	白川	下黒沢川	濁川	うぐい川			
1934年8月	6.6			6.4	6.8	5.8		三浦平の王滝川 pH6.6	丹羽 (1954)	
1936年から38年								本谷出口 pH6.9	可児 (1952)	
1949年			三浦ダム完成							
1961年			牧尾ダム完成							
1963年8月			6.6						松浦 (1964)	
1973年8月			6.6~7.0					値は牧尾ダム湖で観測したものと まとめて提示	広 (1964)	
1974年11月			6.6				6.7	三浦ダム放流点 pH6.6 ウグイ川との合流前 pH6.8	本村ら (1975)	
1974年11月から1976年5月								牧尾ダムの堤体付近で鉛直分布を測 定。表層は pH6.3から pH7.5。	田中 (1977)	
1979年10月28日			御嶽山噴火							
1979年11月					7.6	3.1			田中ら (1984)	
1979年11月							3.1	濁川は大量の泥水の混入で著しく 灰黒色	小坂ら (1980)	
1979年12月			4.9						田中ら (1984)	
1979年12月			5.4						吉岡龍馬ら (1980)	
1979年12月		5.42	5.65				5.19		北野と金森 (1980)	
1980年3月					7.3		3.1		田中ら (1984)	
1980年3月	7.0							4.5	噴火の2ヶ月後ぐらいは御岳湖の pH が低かった。	川又ら (1982)
1984年9月14日			長野県西部地震に伴う岩屑なだれ							
1991年5月中旬			小規模な水蒸気噴火							
1992年7月		4.5					4.4	6.4	戸松ら (1994)	
1992年9月		6.4					6.4	6.9	戸松ら (1994)	
1992年10月		6.8					6.8	7.2	戸松ら (1994)	
2007年3月下旬			小規模な水蒸気噴火							
2014年9月27日			御嶽山噴火							
2014年10月	6.6	3.4	3.6		7.0		3.2		浅見 (2015)	
2015年1月	6.8	7.0	6.9		6.8		7.0		浅見 (2015)	
2014年12月から2017年11月										
平均 pH	7.1	4.8	5.9	7.2	7.6	4.2	6.8			
最大 pH	7.8	6.0	6.8	7.9	8.6	6.6	7.6			
最小 pH	6.3	4.0	3.6	6.6	7.0	3.2	6.4			

pH4から6.5の間で推移し、12月以降は pH6から7まで上昇したとしている。このような、噴火直後の pH 変化については、新燃岳でも噴火による一時的な pH の低下が確認されている(立山ら, 2012)。ただし、出水時に pH が低下することや(今本, 2017)、その後も pH4.8といった値が観測されている(村上, 2018)ため、次項において月別 pH 変化について詳細に記す。

次に濁川水系における噴火前後の pH 変化について、1979年に発生した1回目の噴火前においては、伝上川の合流前の濁沢で pH が3.4から5.2が観測されており(村上, 2018)、噴火後2年間は pH3台で推移している(表2)。伝上川合流後の濁川においては、1回目の噴火前は pH5.8(丹羽, 1954)、4.8から7.2(村上, 2018)であり、噴火後直後には3.1(田中ら, 1984)、2年間では pH4台となっており、伝上川合流前後の両者とも噴火前に比べ噴火後に pH が低くなった。ただ

し、噴火前でも pH6以下で酸性化していることがわかる。1回目、2回目の噴火ともに、濁川水系には降灰量が少ないため、火山灰による河川 pH の低下の影響は考えにくい(村上, 2018; 吉岡ら, 1980; 小坂ら, 1980)。ここで、濁川の源頭部は地獄谷であり、その谷には噴火口が存在しているため(中野ら, 2014)、水質形成でも述べた酸性化をもたらす硫黄化合物もしくは火山ガスの SO₂供給があると考えられる。そのため、噴火前であっても酸性物質の供給により pH が6以下となっていたと考えられる。そして噴火後においては、噴火に伴う噴火口付近の地質的な変化、もしくは、火山ガス供給量の増加もしくは組成の変化により、噴火前よりも多くの酸性物質が河川中に取り込まれたため、pH が低下したと考えられる。

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

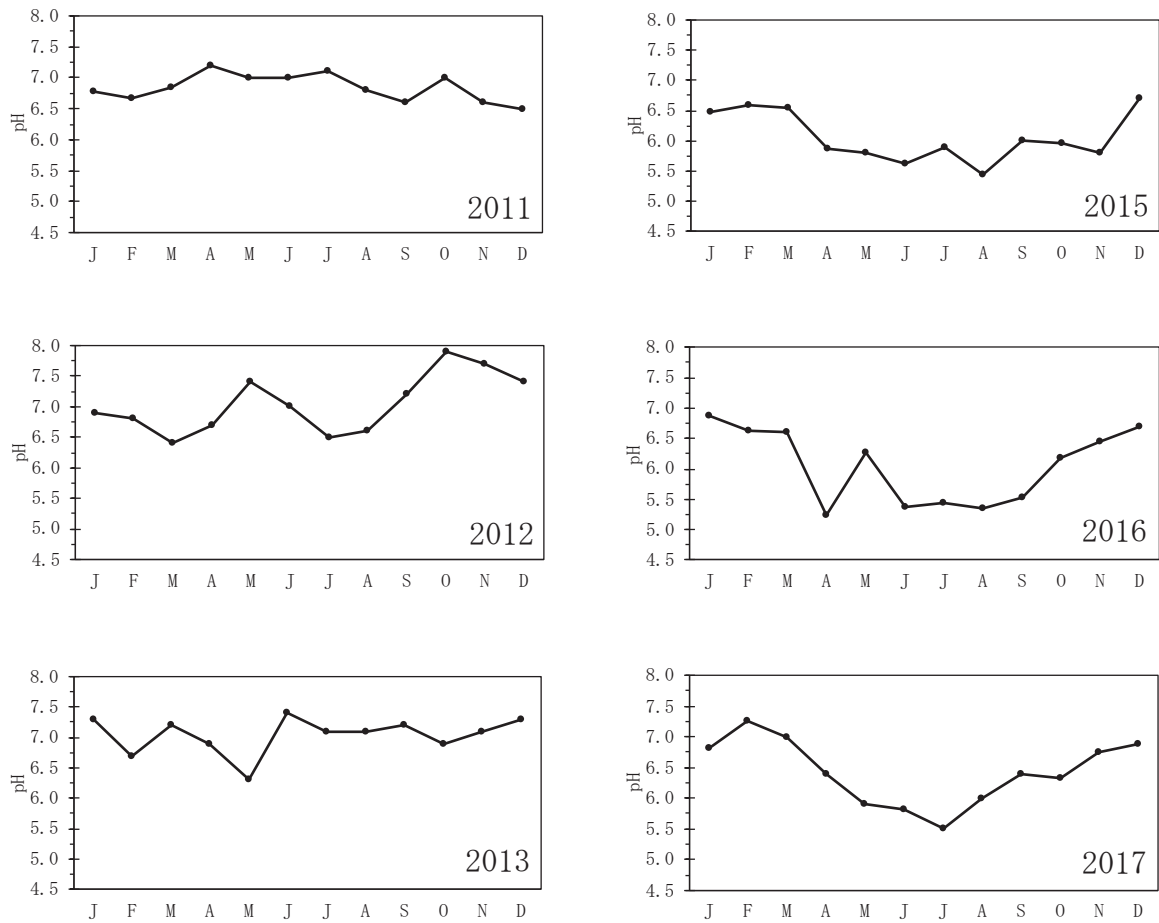


図10. 王滝川松原における pH 変化
水資源機構の HP からのデータにて作成.

河川 pH の季節変化

まず始めに、2回目の噴火前後において、独立行政法人水資源機構が松原橋で月に1回観測していた pH データを図10に記し、pH の経年変化について検討する。噴火前の2011年から2013年においては、年間の平均 pH が、それぞれ6.8、7.0、7.0であり、最低値は2013年5月に記録した6.3であった。一方、噴火後の2015年から2017年の年間平均 pH は、それぞれ6.1、6.1、6.4となり、最低値は2016年4月に観測した5.2であった。この結果は、噴火後に王滝川の pH が平均で1.0程度低くなったことを示している。

その噴火後の pH の月別変化については、4月から11月頃にかけて pH が低下していることが見てとれる。噴火後において、12月から3月の期間と4月から11月の期間の pH 平均値を比較すると、それぞれ6.8、5.9となった。これに対して、噴火前においては、同じ期間での pH 平均値はそれぞれ6.9、7.0となり、両期間における pH の違いはほとんど認められなかった。そして、噴火前後では、12月から3月の期間の pH の違いはほとんどないものの、4月から11月の期間においては噴火後に pH が1.2低下していることが明らかになった。このこ

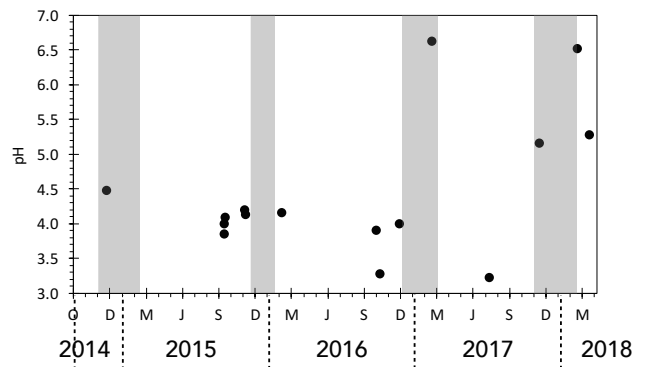


図11. 濁川における pH 変化

帯は開田高原の日最高気温より求めた標高2509m における、最高気温が0度以下となる期間。

ただし、帯の始めの日はそれ以降0度以上とならなかった最初の日。

とは、噴火後王滝川の年間平均 pH の低下については、4月から11月の期間の pH 低下が原因であるといえる。

次に、2回目の噴火直後から現地で観測した濁川の pH を図11に示す。平均 pH は4.5であったが、2017年2月と2018年2月には6.6と6.5と高い値を示し、2017年11月と2017年4月にも5.2, 5.3を示した。ここで、濁川源頭部における気温状況を把握するため、気象庁が開田高原（標高1130 m）で観測した日最高気温の値を用いて、地獄谷付近の標高（2509 m）の気温を、気温減率適応式（100 m 毎に0.649°C減少）を用いて算出した。このうち、算出した最高気温が0度以下となる期間を灰色の帯で示した。ただし、帯の始めの日は、その日以降0°C以上とならなかった最初の日とした。これによると、2014年12月以外は、pH の高い観測日が灰色の帯の中にほとんどが入っていることがわかる。このような融雪期に pH が上昇する現象は、噴火後に濁沢川で岡本・伊藤（2016）が観測した際にも確認されている。濁川の水質形成プロセスとしては、源頭部の地獄谷付近に存在する硫黄起源の酸性物質が低 pH をもたらすことがイオン分析などから考えられた。そのため、標高の高い地域での積雪が融けない期間では、地獄谷付近の酸性物質の流量が減少するため、濁川の pH が上昇することが予想される。このように冬期で pH が上昇する傾向について、田瀬ら（2011）は火山由来の酸性成分は降雨により流出するため、降雨量が少ない冬期は河川 pH が上昇すると示唆しており、同様な水質形成プロセスが御嶽山の源頭部でも考えられる。

まとめ

本研究では、御嶽山南麓を流れる王滝川について、2014年の噴火後から行ってきた水質結果を取りまとめると共に、王滝川支川が本川に及ぼす影響についても考察を行った。

王滝川本川水質は、濁川との合流を境にその pH が大きく低下していることが明らかになった。また、合流直後や下流でも濁川のイオン構成と王滝川本川のイオン構成が類似していることから、濁川が王滝川の水質に与える影響は大きな事がわかる。そのため、御岳湖へ流入する水は、濁川の水質を反映しているといえる。

その濁川が特徴的に示す低 pH については、非常に強い酸性を示す赤川によることも明らかになり、その酸起源として、地獄谷から供給される火山ガスもしくは硫黄堆積物が考えられた。また、濁川水系は、支川による水質の特徴が現れていることから、この局所的な水質環境が、魚類や水生昆虫、藻類などの河川生態系に影響を及ぼしていることも推測できる。

水資源機構が公表している松原橋での王滝川 pH は、冬期に高い値を示す傾向であることから、低 pH 発生源の濁川の水質変動が影響を及ぼしていることが考えられる。その濁川

の pH は積雪の時期に上昇する傾向があることから、地獄谷付近からの酸性物質の供給が積雪期に少なくなることが示唆された。

謝 辞

本研究で用いた水試料は、日本陸水学会東海支部の御嶽調査メンバーである、谷口智雅博士（三重大学）、田代喬博士（名古屋大学）、小野田幸生博士（土木研究所）の協力により採取することができた。この場をお借りしてお礼申し上げる。イオン分析については、田代博士に快く機器を使わせていただきここに謝意を示す。そして、過去の水質に関する文献については、小野田博士に協力いただけたことにお礼申し上げます。また、水資源機構が採取した水質データをもとに執筆した、豊田工業高等専門学校環境都市工学科5年伊藤祐美さんの卒業研究成果の一部を使わせていただいた。本研究は、一般財団法人水源地環境センターの「WEC 応用生態研究助成」(217-05, 代表: 松本嘉孝, 豊田工業高等専門学校) を受けて実施したものである。最後に、今回の2014年の噴火により58名もの尊い命が奪われたことに、心よりお悔やみ申し上げます。また、未だ行方のわからない方々が早期に発見されることを祈っております。

引用文献

- 秋田藤夫・柴田智郎・鈴木敦生・松島喜雄・佐藤努（2000）：2000年有珠山噴火に伴う温泉・地下水の変化（速報）. 温泉科学, **50** : 43-46.
- 青木治三（1980）：御岳山1979年火山活動および災害の調査研究報告. 特定研究「木曾御岳山噴火活動および災害の総合的調査研究」研究班.
- 浅見和希（2015）：第5回御嶽山周辺河川調査報告. 法政大学水文地理学研究室：<http://www.hosei89.com/media/document/no5.ontake.pdf>（2017年12月28日閲覧）
- 浅見和希・小寺浩二・猪狩彬寛・堀内雅生（2017）：御嶽山噴火（140927）後の周辺水環境に関する研究（5）. 2017年度日本地理学会春季学術大会講演要旨集：100107.
- 藤岡換太郎（2012）：山はどうしてできるのか, 講談社.
- 平山光衛（1992）：陸水の化学 [季刊 化学総説 No.14]. III わが国の陸水 10 河川水, 日本化学会（編著）：90-102. 学会出版センター, 東京.
- 広正義（1964）：岐阜県におけるダム湖とそれに連なる川の生物学的研究. 淡水生物, **9** : 19-21.
- 堀内雅生・猪狩彬寛・小寺浩二・浅見和希（2017）：箱根山噴火（150629）後の周辺水環境に関する研究（3）. 2017年度秋季学術大会講演要旨集：100029.

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

- 今本博臣・安藤昌文・杵岐宏・小野島広大 (2017): 御嶽山噴火に伴う牧尾ダム貯水池の水質対応. *ダム工学*, **27**: 133-140.
- 猪狩彬寛・小寺浩二・浅見和希 (2017): 浅間山周辺地域の水環境に関する研究 (3). 2017年度日本地理学会秋季学術大会講演要旨集: 100019.
- 岩崎岩次 (1979): 玉川温泉の地球化学的研究. *温泉科学*, **30**: 104-117.
- 科学技術庁 国立防災科学技術センター (1985): 昭和59年(1984年)長野県西部地震災害調査報告. 主要災害調査第25号.
- 北野康・金森暢子 (1980): 木曾御岳山噴火と天然水および堆積物中の重金属元素. 御岳山1979年火山活動および災害の調査研究報告: 135-145.
- 小寺浩二・浅見和希・諸星幸子 (2017): 活火山地域の水環境に関する比較研究. 2017年度日本地理学会春季学術大会講演要旨集: 100108.
- 小坂丈予・平林順一・小沢竹二郎・君島克憲 (1980): 木曾御岳山1979年活動における地球化学的調査・研究. 御岳山1979年火山活動および災害の調査研究報告: 25-35.
- 松浦庚一 (1964): ダム湖の水質について (第1報) 西平・牧尾ダム湖の水質. *名古屋女学院短期大学紀要*, **10**: 43-49.
- 宮島利宏 (2009): 流域環境評価と安定同位体 第二版. 第5章 酸化還元プロセス 2 淡水性堆積物における嫌氣的微生物生態系の解析 4. 河川水中の硫酸イオンの硫黄・酸素安定同位体比. 永田俊と宮島利宏 (編著): 223-225. 京都大学出版会, 京都.
- 本村 努・山下和雄・加藤正治・村上哲生 (1975): 木曾川水源汚濁調査報告. 木曾川上流部生物調査報告, 名古屋市水道局水部浄水課編集: 181-329.
- 村上哲生 (2018): 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**: 37-57.
- 村松容一 (2011): 日本の温泉成分の特徴と起源. *化学と教育*, **59**: 398-401.
- 中野俊・及川輝樹・山崎誠子・川辺禎久 (2014): 御嶽山, 2014年9月の噴火 (速報) - 上空観察および報道映像から見る火口周辺の状況と火砕流の分布. *GSI地質ニュース*, **3**: 289-292.
- 丹羽彌 (1954): 木曾谷の生態諸要因. 木曾谷の魚 河川魚相生態学 上流篇. 木曾教育會: 9-54.
- 岡本透・伊藤優子 (2016): 御嶽山2014年噴火の渓流水と降水への影響. *日本森林学会大会発表データベース*, **127**: 642.
- 真田哲也・井上源喜・長島秀行 (2013): 福島県の岳温泉および高湯温泉の地球化学的特徴と化学成分の起源. *温泉科学*, **63**: 28-43.
- 佐竹研一 (1980): 日本の無機酸性湖研究. *陸水学雑誌*, **41**: 41-50.
- 佐竹研一・大八木昭・巖靖子 (1996): 日本の自然酸性湖沼と酸性河川. *生物科学*, **48**: 75-81.
- 佐藤比奈子・石山大三・水田敏夫・松葉谷治・村上史一 (2010): 秋田県玉川温泉の温泉水と温泉沈殿物の地球化学的特徴. *資源地質*, **60**: 15-24.
- 杉浦孜・杉崎隆一・水谷義彦・日下部実 (1980): 1979年御岳山噴火放出物および火山ガスの地球化学的研究. *火山*, **25**: 231-244.
- 鈴木秀和・田瀬則雄 (2010): 浅間火山の湧水の水質形成における火山ガスの影響と地下水流動特性—硫黄同位体比を用いた検討—. *日本水文科学会誌*, **40**: 149-162.
- 柴田智郎・秋田藤夫・鈴木隆広・高橋徹哉・藤本和徳・鈴木敦生・佐藤努・松島喜雄 (2001): 有珠山噴火に伴う温泉水・地下水・河川水の水質調査報告. *北海道立地質研究所報告*, **72**: 139-143.
- 田中阿歌麿 (1927): 大沼池の不思議な水. *自然科学*, **2**, 181-189.
- 田中康裕・澤田可洋・中禮正明 (1984): 御岳山の1979年噴火による降灰分布と山麓の川水の pH. *気象研究所技術報告*, **12**: 172-178.
- 田瀬則雄・杉原修子 (2011): 水文科学が解き明かす不思議な天然水 2. 赤い川—長野県の石堂沢とブドウ沢. *日本水文科学会誌*, **41**: 39-46.
- 田代喬 (2016): 御嶽山麓を流れる木曾川水系王滝川の水環境: 自然災害と水資源開発の影響. *陸の水*, **74**: 5-12.
- 立山 諒・中村公正・杉本恵・赤崎いずみ・岩佐美紀子・河野通宏・森下敏朗 (2011): 新燃岳噴火に伴う火山灰の化学的性状. *宮崎県衛生環境研究所年報*, **23**: 107-111.
- 戸松 修・竹中千里・若松純子 (1994): 長野県王滝村の天然水の水質について. *地すべり*, **31**: 43-46.
- 堤之恭 (2014): 絵でわかる日本列島の誕生. 講談社.
- 上野益三 (1932): [強] 酸性の湖水と湖沼標識の一問題. *地球*, **17**: 111-124.
- 上田誠也・杉村新 (1970): 弧状列島. 岩波書店.
- 宇佐見亜希子・登めぐみ・松本嘉孝・岩月栄治・八木明彦 (2017): 御嶽山周辺河川の微量元素の存在状態. *日本陸水学会第82回大会講演要旨集*: 2A02.
- Usami A., M. Nobori, A. Yagi and E. Iwatsuki (2018): Presence state of trace elements in the Ohtakigawa river watershed from the foot of Mt. Ontake. *GEOMATE*, **14**: 15-19.
- 若狭 幸・石山大三・松葉谷治・佐藤比奈子・申 基澈・中野孝教 (2015): 秋田県渋黒川—玉川水系における流入する酸性温泉水と河川水の混合過程についてのストロンチウムおよび硫黄同位体比ならびに溶存化学成分を用いた解明.

地球化学, **49** : 153-161.

横田恭平 (2016) : 大分県内の温泉の水質を用いた噴火予知のための化学的指標の提案. 環境技術, **45** : 536-544.

吉池雄蔵 (1993) : 秋田県玉川温泉の化学成分の経年変化, 温泉科学, **43** : 56-67.

Yoshiike Y. (2003): Variation in the chemical composition of Obuki Spring, Tamagawa Hot Springs (1951-2000), *Geochemical Journal*, **37** : 649-662.

Yoshioka R. (1976): Chemical composition of natural water in landslide area. *Engineering Geology*, **17** : 187-196.

吉岡龍馬・奥田節夫・諏訪 浩 (1980) : 御岳噴火後の周辺溪流における水質特性. 御岳山1979年火山活動および災害の調査研究報告 : 124-135.

吉岡龍馬・小泉尚嗣・日下部実・千葉 仁 (1986) : 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, **29** : 379-390.

(担当編集委員 : 大八木麻希, 四日市大学)