

牧尾ダムによる王滝川の水質変化と用水への影響

Water quality of the Ohtakigawa River influenced by the Makio Dam and its effects on the water resource management

横浜 良祐[†], 宇佐見 亜希子^{††}, 八木明彦^{††}, 城戸由能^{††}
Ryosuke Yokohama[†], Akiko Usami^{††}, Akihiko Yagi^{††}, Yoshinobu Kido^{††}

Abstract The water quality of the Ohtakigawa River has been influenced by volcanic activities of Mount Ontake in Japan. In this study, in order to analyze Ohtakigawa water quality affected by artificial infrastructures such as the Makio Dam, we mainly observed suspended solids (SS), Aluminum (Al) and Chlorophyll-a (Chl.a) in the Ohtakigawa river, where SS and Al prevent algae from growing, and Chl.a is contained in algae. In usual discharge cases from the Makio Dam through water pipes, the concentrations of Al and SS were decreased 0.1 times and 0.2 times, respectively, and the concentration of Chl.a was increased 3.3 times. In heavy rain cases, where overflow discharge through flood sluice gates were carried out, their concentrations showed the tendency similar to the above usual cases. And, laboratory experiments showed 80% of SS was deposited. Thereby, it is implied that both sedimentation and dilution effects caused algae inhibitors such as SS and Al to decrease and hence algae grew in the Makio Dam. In conclusion, the Makio Dam is capable of rehabilitation of the Ohtakigawa river water quality.

1. 研究背景と目的

1・1 はじめに

御嶽山周辺河川の王滝川では豊富な流量と急峻な地形を利用して、戦前から水力発電の開発が進められ、1961年には愛知用水への導水を目的とした牧尾ダムが建設された。これらの事業は御嶽山が死火山と認識された中で進められたために、群馬県の品木ダムや秋田県の玉川ダムのような酸性河川を中和する施設は設置されていない。ところが、1979年に御嶽山が有史以来初の噴火を起こしたため活火山と認定され、2014年の水蒸気噴火のときには利水への悪影響を緩和するための検討会¹⁾が設立されるほどの火山活動の影響があった。現在でも御嶽山火山活動は続いており、王滝川酸性化という環境変化により特定の水質成分の濃度上昇や生物の種組成と現存量の抑

制といった河川環境の悪化が問題となっている。

谷口の研究²⁾では、支川の濁川はpHと電気伝導度が他の支川に比べ大きく異なり、濁川合流前と後では王滝川の水質に差ができることを報告している。また、王滝川における自然災害と水資源開発の影響、2014年の御嶽山噴火から1年後の王滝川水系における秋と冬の付着藻現存量、2014年御嶽山噴火後の王滝川水系の魚類相の変化を田代³⁾、野崎⁴⁾、小野田ら⁵⁾が解明している。

以上の研究は王滝川上流から牧尾ダム湛水域上流までの王滝川本川、支川を対象としたものである。

1・2 御嶽山と王滝川流域の周辺概要

御嶽山(標高3,076m)は、長野県木曾郡木曾町、王滝村、三岳村、開田村と岐阜県下呂市、高山市にまたがって位置する。王滝川は、御嶽山西方の三浦山(標高2,393m)付近に源を發し、大小多数の支川を合わせながら御嶽山南麓に沿って東流し、南流する西野川と合流した後、木曾川に流入する⁶⁾。流域面積は木曾川全体の5,275km²のうち582.7km²を占め、飛騨川に次ぐ流域面積を有する支川

[†] 愛知工業大学大学院 工学研究科 (豊田)

^{††} 愛知工業大学 工学部 土木工学科 (豊田)

である⁷⁾。王滝川には上流から白川, 濁川, 下黒沢, うぐい川などが流入している。御嶽山の位置と王滝川流域の周辺について図-1, 図-2 に示す。

1・3 御嶽山火山活動

御嶽山は大きく分けて 2 つの火山活動によって形成された。約 75 万年前から約 42 万年前までの古期御嶽火山、約 30 万年の休止期を挟み、約 9 万年前からの新期御嶽火山の活動である⁸⁾。1 万年前以降に 4 回のマグマ噴火と 11 回の水蒸気爆発があったことが最近の調査で確認されている⁹⁾。

有史以降では、1979 年 10 月 28 日の水蒸気噴火が初めての火山活動の記録となる¹⁰⁾。774 年と 1892 年に噴火活動があったとされているが、後の研究により噴火は発生していなかったことが明らかになっている¹¹⁾。1984 年 9 月 14 日には長野県西部地震(M6.8)が発生し、この影響で山体崩壊(濁川上流部)が起きた。その後、1991 年 5 月中旬と 2007 年 3 月後半にごく小規模な水蒸気噴火が発生した。2014 年 9 月 27 日に再び水蒸気噴火が起こった。山頂付近には多くの登山客がいる時間帯であったため、犠牲者 58 名、行方不明者 5 名、負傷者 69 名という戦後最大の火山災害となった。現在も、一部の噴気孔から噴気が出ており、小規模ながら火山活動は継続している。

1・4 牧尾ダム

王滝川水系の水力発電施設の諸元³⁾¹²⁾とその一つである牧尾ダムの諸元¹³⁾を表-1, 表-2 に示す。牧尾ダムは、1961 年に王滝川に建設された利水と発電を目的とした多目的ダムであり¹³⁾、愛知用水の水瓶として農業用水・水道用水・工業用水を供給している。愛知用水は岐阜県可児郡御嵩町から尾張東北部、西三河西部及び知多半島の先端の南知多町まで 27 の市町にある約 15,000ha の田や畑で、稲や野菜などの作物を育てるのに使用されており、浄水場で処理された飲み水は、愛知県春日井市の高蔵寺ニュータウンや瀬戸市・尾張旭市などの 11 市町の家計約 83 万人に使用されている。また、岐阜県可児市や名



図-1: 御嶽山の位置



図-2: 王滝川流域の周辺

古屋市南部及び埋立て造成した名古屋南部臨海工業地帯などの 9 市町にある鉄鋼業、繊維業、化学工業など約 80 社の工場で使用されている。

牧尾ダムには 3 つの水の出口がある。通常は取水塔(三尾発電取水口)から三尾発電所をへて木曽ダムの貯水池へ放流されている。停電や三尾発電所の工事などで取水

表-1: 王滝川水系の水力発電施設の諸元³⁾¹²⁾

発電所			ダム			
名所	最大使用水量 m^3s^{-1}	発電形式	名称	堰高 m	利用水深 m	有効貯水量 千 m^3
三浦発電所	17.5	ダム式	三浦ダム	82.3	47.0	61600
滝越発電所	17.5	水路式	-	-	-	-
三尾発電所	30.9	ダム水路式	牧尾ダム	104.5	48.0	68000
御岳発電所	34.4	ダム水路式	王滝川ダム	18.2	1.6	209
常盤発電所	48.8	ダム水路式	大島(常盤)ダム	24.0	3.0	664
木曽発電所 [※]	60.0	ダム水路式	木曽ダム	35.2	5.0	1844
大桑発電所 [※]	38.4	水路式	-	-	-	-

※木曽川本川に所在

牧尾ダムによる王滝川の水質変化と用水への影響

表-2：牧尾ダム諸元¹³⁾

ダム型式	中央土質遮水壁型 ロックフィルダム
堤高	105m
堤頂長	264m
堤体積	2,615×10 ³ m ³
流域面積	304km ²
湛水面積	2.47km ²
総貯水容量	75×10 ⁶ m ³
有効貯水容量	68×10 ⁶ m ³
利用目的	農業用水、水道用水 工業用水、水力発電

塔が使用できない場合は、利水放流施設放水口から牧尾ダム下流へ放流される。湛水期の雨による貯水池の水位上昇時は、洪水吐ゲートから放流される¹⁾。

1・5 研究目的

一般的に河川水系に建設された人工構造物は、貯水池の富栄養化や生物種の多様性の低下などの河川環境の悪化を導くとされる。なぜなら、水路式発電は、取水地点から放流地点までの間に減水区間を作り出し、ダムや堰堤は河川を物理的に分断し、それらの前後で、水質、河床材料、生物群集の大きな違い、すなわち流域の断絶を生み出しているからである。しかし、河川環境に対してこのデメリットと思われる施設が、火山活動の影響を受ける王滝川では希釈・一時貯留・沈殿などの各種過程を通じて、pHの調整や水質成分濃度低下、生物種組成や現存量の回復などの改善の働きを担っていると考える。

そこで本研究では、王滝川水系の調査を広範囲に行い、明らかになっていない牧尾ダムより下流の栄養塩類・流下性藻類・微量元素の測定を行うことで、牧尾ダムなどの河川に設置された人工構造物による環境への影響及び環境改善への寄与を評価するための基礎資料を得ることを目的とする。

2. 研究対象流域と観測・分析手法の概要

2・1 調査地点、調査日

1) 牧尾ダム上流部調査

王滝川本川の上流、中流、牧尾ダム上流側、支川の白川、下黒沢、濁川、うぐい川の計7カ所で調査を行った。調査地点を図-3に示す。また、調査日当日までの雨量¹⁴⁾を表-3に示す。

2) 牧尾ダム下流部調査

王滝川本川の牧尾ダム上流側、下流側、大島ダム上流側、下流側、木曾ダム上流側、支川の濁川、西野川の計7カ所で調査を行った。調査地点と水路図を図-3、図-4に示す。また、調査日当日までの雨量¹⁴⁾を表-4に示す。



図-3：調査地点



図-4：人工構造物による水路系図

表-3：牧尾ダム上流側調査日の雨量¹⁴⁾

調査日	天候	当日	前日	前々日
2017年3月4日	晴	0	0	5
2017年5月6日	雨	1 (1)	0	0
2017年6月24日	晴	0	0	0
2017年8月5日	晴	0	0	15
2017年11月4日	雨	0	0	0
2017年12月2日	晴	0	0	1
2018年3月3日	晴	0	0	45
2018年4月14日	曇	23 (0)	0	1
2018年6月23日	曇	15 (0)	0	1

雨量 (mm 日⁻¹) () 0時～採水時までの総雨量

表-4: 牧尾ダム下流側調査日の雨量¹⁴⁾

調査日	天候	当日	前日	前々日
2018年8月25日	雨	21 (21)	67	10
2018年10月13日	曇	0	1	3
2018年12月1日	晴	0	0	0
2019年3月30日	曇	32 (1)	0	4
2019年5月18日	曇	0	0	0
2019年8月7日	晴	0	1	0
2019年9月14日	晴	0	0	0
2019年12月7日	晴	0	0	0

雨量 (mm 日⁻¹) () 0時～採水時までの総雨量

2・2 採水方法

採水は橋の上からロープのついたバケツで河川の表層水を採水するか、河川に入り直接表面水の採水を行う。

2・3 現地での測定項目

現地において溶存酸素(DO)、水素イオン濃度(pH)、電気伝導度(EC)、水温(WT)を測定をした。WT, DO は DOメータ(HACH: 投入電極式, 蛍光法)、pH, EC は pHメータ(HORIBA: ガラス電極法)、pHメータが不調の時はパックテスト(共立理化学研究所: BTB, BCG, TBL)にて測定した。

2・4 研究室での測定項目

1) 懸濁浮遊物質(SS)

SSは水中に浮遊又は懸濁している直径2mm以下の粒子状物質のことで、粘土鉱物による微粒子、動植物プランクトンやその死骸、下水、工場排水などに由来する有機物や金属の沈殿物等が含まれる。浮遊物質が多いと透明度などの外観が悪くなるほか、魚類のえらが詰まって死んだり、光の透過が妨げられて水中の植物の光合成に影響したりすることがある。元素単体で浮遊しているわけではなく、様々な成分が凝集した状態で存在する。

測定方法は、ろ過前の孔径1 μ mのろ紙重量をX₀mgとし、試水400mLをろ過後、電気乾燥器で乾燥させたろ紙重量をX₁mgとして、以下の式より算出した。

$$SS=(X_1-X_0)\times(1000/\text{試水 } 400\text{mL}) \quad (1)$$

4) 藻類

流下性藻類(クロロフィルa: Chl.a)、不活性な流下性藻類(フェオフィチンa: Phe.a)を測定した。

クロロフィルにはChl.a, Chl.b, Chl.cが存在する。Chl.aは酸素発生型のすべての光合成生物に、Chl.bは高等植物や緑藻類のほか原子緑藻類など、Chl.cはポルフィリン型構造をもち、主に珪藻や褐藻類などに含まれている。

フェオフィチンが多いということは、光合成生物の死骸、あるいは分解が進んでいることを示している。

測定方法は、試水300mLのろ過で使用したろ紙を10mLのアセトンに抽出し、再度ろ過したものをRbとし、

Rbに1mol塩酸を1滴加えたものをRaとして蛍光光度計(Turner Designs: 10-AU Fluorometer, 蛍光光度法)で測定し、以下の式より算出した。

$$\text{Chl.a}=0.54951\times(\text{Rb}-\text{Ra})\times(10/\text{試水 } 300\text{mL}) \quad (2)$$

$$\text{Phe.a}=0.54951\times(1.831\text{Ra}-\text{Rb})\times(10/\text{試水 } 300\text{mL}) \quad (3)$$

5) 微量元素

鉄(Fe)、アルミニウム(Al)、マンガン(Mn)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、ナトリウム(Na)、カリウム(K)、硫黄(S)、ケイ素(Si)、チタン(Ti)の各溶存・懸濁態を測定した。

微量元素とは、自然界に多く存在する元素に対し、ppm単位以下の微量にしか存在しない元素のことであり、厳密な定義があるわけではない¹⁵⁾。河川水中に含まれる微量元素成分を調べることで、河川の水質特徴を見ることができる。

測定方法は試水200mLをメンブレンフィルター(孔径0.5 μ m)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た。ろ液はPFA容器に20mL分取し王水を4mL添加した。ろ紙は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。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。

3. 王滝川上流部の水質観測と水質影響評価

牧尾ダム上下流の王滝川水質を研究する上で、王滝川上流部の環境を把握しておくことは重要であるため、以下に王滝川上流部と濁川の調査(2015年10月から2018年6月)結果について述べる。

3・1 火山性堆積物による水質影響

表-5に濁川と濁川流入後の王滝川中流で点在する堆積物と御嶽山の岩石の成分比較を示す。堆積物の分析の結果、岩石にはほとんど含まれていないSが堆積物には含

表-5: 河川堆積物及び岩石の成分¹⁶⁾¹⁷⁾

項目	王滝川 中流 堆積物	王滝川 中流 岩石	御嶽山 岩石 ¹⁶⁾	火成岩 ¹⁷⁾
SiO ₂	52.1	55.8	60.4	59.1
Al ₂ O ₃	14.8	16.0	17.5	15.3
Fe ₂ O ₃	7.3	9.4	6.1	6.9
SO ₃	7.3	—	—	0.1
K ₂ O	1.5	1.5	2.4	3.1
CaO	1.5	8.0	5.8	5.1
MgO	1.1	3.4	2.5	3.5
Na ₂ O	1.1	3.2	3.8	3.8
TiO ₂	0.8	1.4	10.0	1.1
P ₂ O ₅	0.2	0.2	0.3	0.3
MnO	—	0.2	—	—

リガク: ZSX PrimusIV, 蛍光X線分析

単位: %

牧尾ダムによる王滝川の水質変化と用水への影響

まれていることから、堆積物は火山活動由来の蒸発残留物であると考えられる。そこで、河川の S 濃度について調べた(図-5)。火山の影響があるとされる濁川では、一般河川の S 濃度が 3.54mgL^{-1} という値に対し 32.7mgL^{-1} と高い値を示した。次に、河川の Al 濃度に着目した(図-6)。Al は中性付近では溶解度が小さいため水中では比較的微量で、日本の河川水の平均濃度は 0.04mgL^{-1} 程度とされており、水道水質基準や飲料水基準では 0.2mgL^{-1} 以下とされている¹⁸⁾。しかし、濁川では pH が低いことで Al が溶出しやすく、平均濃度が 4.67mgL^{-1} と他の河川よりも高い値を示した。

濁川の特徴として、河川水の外観は乳濁した水色をしており、濁川周辺の礫は酸化した Fe の影響で河川に近いほど赤いという特徴が確認されている。例として秋田県玉川の上流部は、土中の Fe や Al などが溶解し、下流に行くに従って酸性度が下がると成分が懸濁化する。Fe は重いので早く川底に沈殿するが、Al は粒子が小さいためなかなか沈殿しない。水中に微粒子が多量に存在すると水中に入射した光の散乱が増大し、より浅い場所で光が反射されて光路長も短くなり、入射光の水による吸収が加われば乳濁した水色に見える。そのため波長の短い青い光が Al で散乱され青く見える¹⁹⁾。この現象が王滝川でも見られていると考えられる。ここで、堆積物に多く含まれる Si, Al と礫に影響を与えている Fe に着目した。図-7 に濁川の SS と懸濁態 Si, Al, Fe 濃度の関係を示す。相関係数 $R=0.92$ であることから、濁川の浮遊物質と懸濁態 Si, Al, Fe は関係性が強いことが分かる。これにより、濁川の濁りは懸濁態 Si, Al, Fe による無機的な濁りであると考えられる。

以上のことから、濁川では一般河川にほとんど含まれない S, Al が多く含まれ、懸濁態 Si, Al, Fe による無機的な濁りの影響がある。

王滝川上流部での濁川の王滝川への影響について、図-5、図-6 で示すように、酸性で S, Al などの成分濃度が高い濁川は王滝川の pH を低下させ、成分濃度を上昇させるほどの影響を与える。一方、清流のうぐい川が合流する地点で、王滝川水質は希釈され、pH が上昇し、成分濃度が低下する傾向がある。加藤ら²⁰⁾は、濁川及びうぐい川の王滝川への影響を流量の視点から評価し、王滝川に合流する濁川の流入割合は、夏季で 20~30%、冬季で 60~80% であり、また、うぐい川の流入割合は、夏季で 1~10%、冬季で 40~60% であることを明らかにした。

3・2 地形・地質による水質影響

調査地域である王滝村付近の基盤岩は、主に白亜紀後期の角閃石黒雲母流紋岩溶結凝灰岩であり、その上位に御嶽山の火山噴出物である安山岩、玄武岩の溶岩や火山砕屑物が被覆している。御嶽山が美濃古生層と白亜紀に噴出した濃飛流紋岩類の境界の破砕帯上に、数十万年前

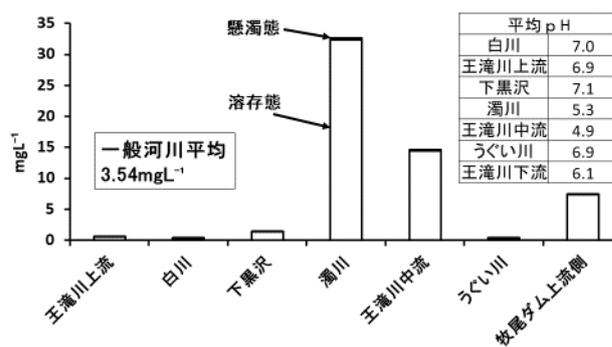


図-5：王滝川上流部の S 濃度

(2015年10月から2018年6月)

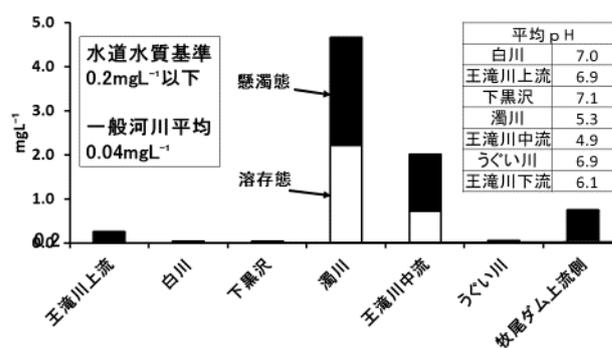


図-6：王滝川上流部の Al 濃度

(2015年10月から2018年6月)

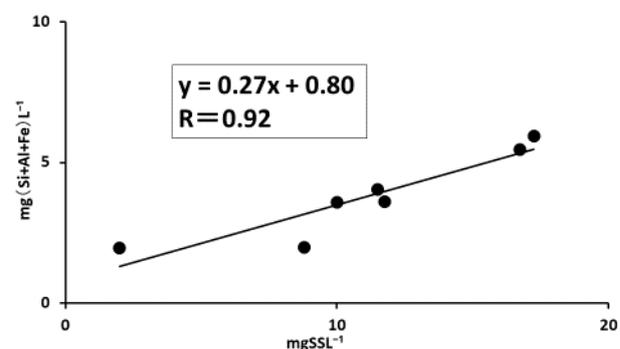


図-7：濁川の SS 濃度と懸濁態 Si, Al, Fe 濃度の関係

(2015年10月から2017年8月)

に噴火した成層火山であり、開析斜面は比較的急斜面を成している²¹⁾。図-8 に御嶽山とその周辺の地質分布図を示す。火山活動の影響があったとされる濁川は新期御岳火山に挟まれて流れていることが分かる。

御嶽山の火山噴出物に含まれている安山岩と玄武岩には、斜長石(Si, Al, Ca, Na)、輝石(Si, Ca, Fe, Mg)、普通角閃石(Si, Al, Ca, Fe, Mg)、苦土カンラン石(Si, Mg)が含まれる。これらの鉱物に含まれる成分の約5割を Si が占めているが、玄武岩は Si の割合が少なく Fe, Mg が多く含まれているという特徴がある²⁴⁾。ここで Mg に着目し、河

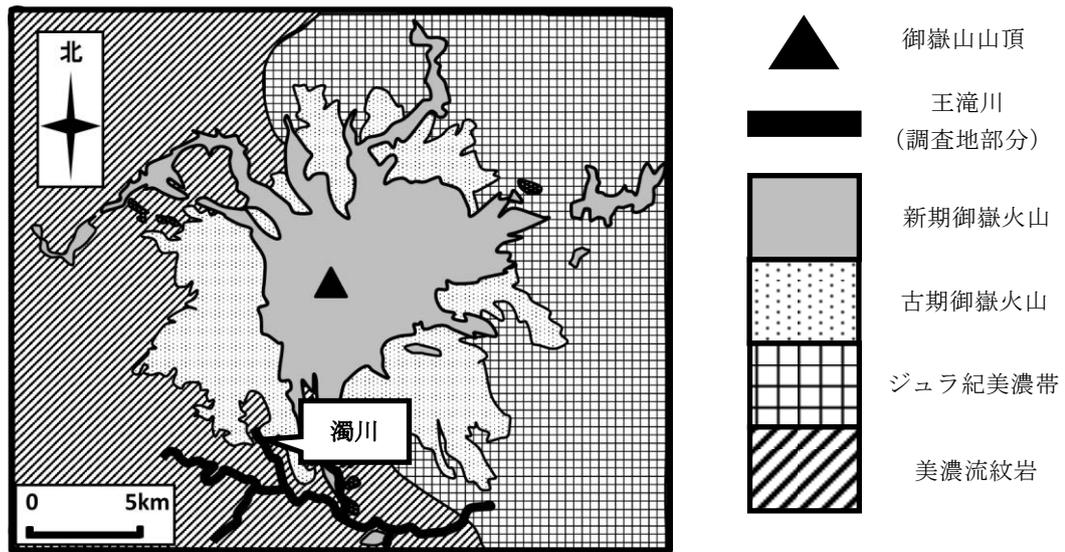


図-8：御嶽山とその周辺の地質分布図²¹⁾²²⁾²³⁾

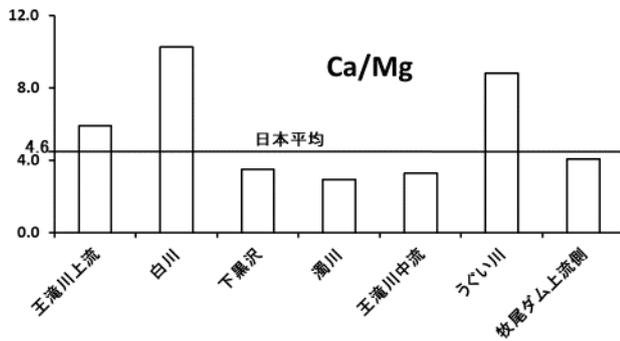


図-9：王滝川上流部の Ca, Mg 濃度比 (2015 年 10 月から 2018 年 6 月)

川に遡上する感潮域を見分ける際に用いられる Mg(海水に多く含まれる)と Ca(河川水に多く含まれる)²⁵⁾の濃度比を求めた(図-9)。新期御嶽火山, 古期御嶽火山から流れる下黒沢, 濁川や濁川流入後の王滝川中流, 牧尾ダム上流側では日本平均 4.6 よりも Mg の割合が高いことが分かる。山中の急斜面を海水が遡上するのは困難であるため、Mg の割合が高い原因は海水ではなく、Mg を多く含む玄武岩の成分が影響していると考えられる。

以上のことから、新期御嶽火山, 古期御嶽火山から流れる下黒沢, 濁川から御嶽山の地質成分が流入している。

4. 牧尾ダム上下流部の観測と水質影響評価

4・1 牧尾ダムによる河川遮断の影響

4・1・1 水素イオン濃度 (pH)

王滝川水系の pH の変化を把握するため、調査地点ごとの平均 pH を図-10 に示す。平均値に関しては中性を示しているが、牧尾ダム上流側, 下流側で変動幅に大きく

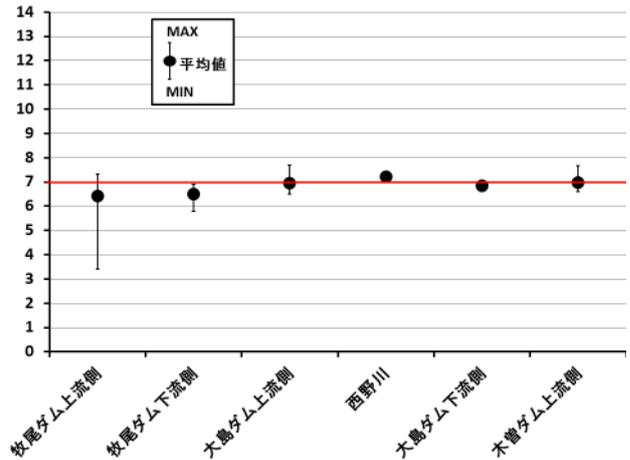


図-10：各調査地点の平均 pH (2018 年 8 月から 2019 年 12 月)

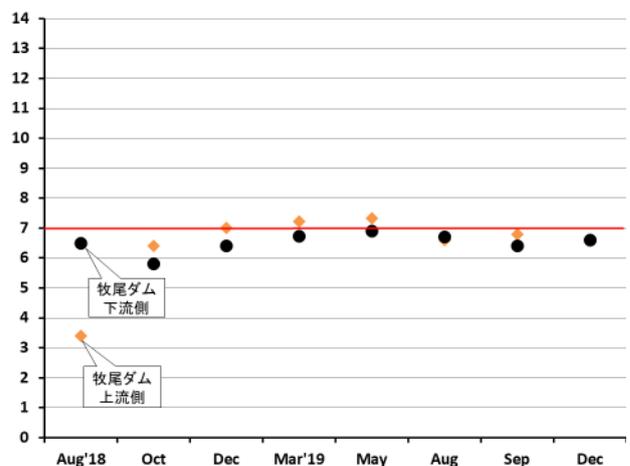


図-11：牧尾ダム上流側, 下流側の pH

差があることが分かる。ここで、牧尾ダム上流側, 下流

牧尾ダムによる王滝川の水質変化と用水への影響

側の調査日ごとの pH を図-11 に示す。2018 年 10 月, 12 月, 2019 年 3 月, 5 月, 8 月, 9 月, 12 月の牧尾ダムの放流がない時(洪水吐ゲート及び利水放流設備放水口からの放流なし)¹⁴⁾の pH は、牧尾ダム下流側で 0.5 程度低下する傾向があった。これは他の流入河川や湧水の流入が考えられる。

2018 年 8 月の牧尾ダムの放流がある時(洪水吐ゲート放流)¹⁴⁾では、牧尾ダム上流側の pH が 3.4 と低いにもかかわらず、牧尾ダム下流側の pH は 6.5 と中性を示した。これは、pH の低い水が流入してもそれまでにダム貯水池に貯留されたことで中性領域となった上澄液が押し出し効果によって下流へ放流されたと考えられる。

4・1・2 Al, SS 及び Chl.a 濃度

1) 牧尾ダム上流側の Al 濃度と水道水質基準の比較

図-12 は牧尾ダム上流側において、測定した元素の中で平均濃度が水道水質基準を超過している微量元素を示す。その中でも、水道水質基準が 0.2mgL^{-1} 以下であり、日本の河川水の平均濃度が 0.04mgL^{-1} 程度とされている Al の平均濃度は 0.71mgL^{-1} と濃度が高いことが分かる。ラットを用いた動物実験では、Al を多量に投与した時に腎臓や膀胱への影響や握力の低下などが認められている。また、植物に対する成長阻害作用を有することが報告さ

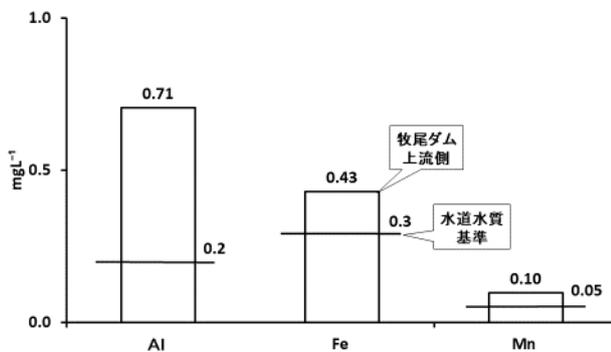


図-12：牧尾ダム上流側の Al, Fe, Mn 平均濃度と水道水質基準(2018 年 8 月から 2019 年 12 月)

れている²⁶⁾ことから、王滝川の生態系への影響を把握するため、水中の一次生産者として存在する藻類に必ず含まれる Chl.a に着目する必要がある。さらに、濁川の濁りに関係しており、物理的に水中の植物の光合成に影響する SS にも着目する。そのため以下では Al, SS, Chl.a について検討する。

2) 調査地点ごとの Al, SS 及び Chl.a 濃度

図-13, 図-14, 図-15 は、調査地点ごとの Al, SS 及び Chl.a の濃度を示す。Al に関しては牧尾ダム上流側 (0.71mgL^{-1}) に対し、牧尾ダム下流側 (0.07mgL^{-1}) は低く、変動幅に大きく差があった。SS も同様に、牧尾ダム上流側 (5.61mgL^{-1}) に対し、牧尾ダム下流側 (0.89mgL^{-1}) は低く、変動幅も差が大きかった。これらに対し Chl.a は、牧尾ダム上流側 ($0.13\mu\text{gL}^{-1}$) に対し、牧尾ダム下流側 ($0.46\mu\text{gL}^{-1}$) は高く、大島ダム下流側と木曾ダム上流側で変動幅に大きく差があった。以下に、Al, SS の上昇に対し Chl.a が低下している牧尾ダム上流側、下流側の 2 地点に着目して検討する。

3) 牧尾ダム上流側、下流側の Al, SS 及び Chl.a 濃度比較

牧尾ダム上流側、下流側の Al, SS 濃度をそれぞれ図-16, 図-17 に示す。2018 年 10 月, 12 月, 2019 年 3 月, 5 月, 8 月, 9 月, 12 月の牧尾ダムの放流がない時の Al 濃度は牧

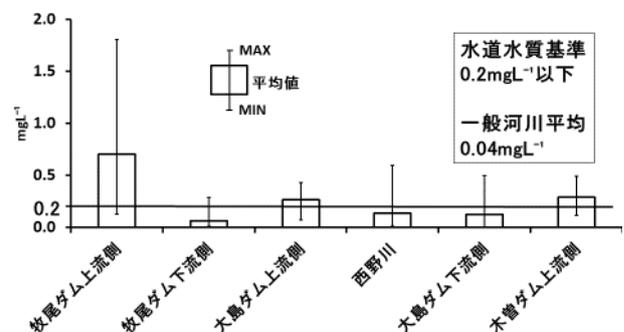


図-13：各調査地点の Al 平均濃度 (2018 年 8 月から 2019 年 12 月)

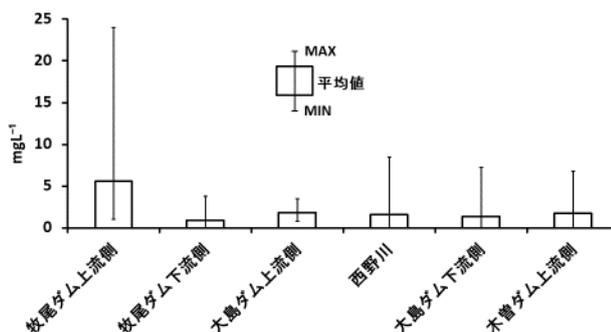


図-14：各調査地点の SS 平均濃度 (2018 年 8 月から 2019 年 12 月)

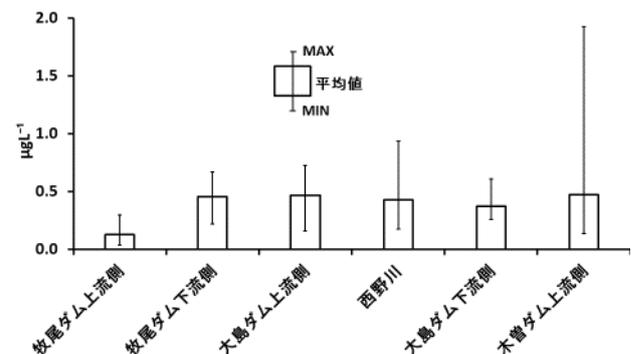


図-15：各調査地点の Chl.a 平均濃度 (2018 年 8 月から 2019 年 12 月)

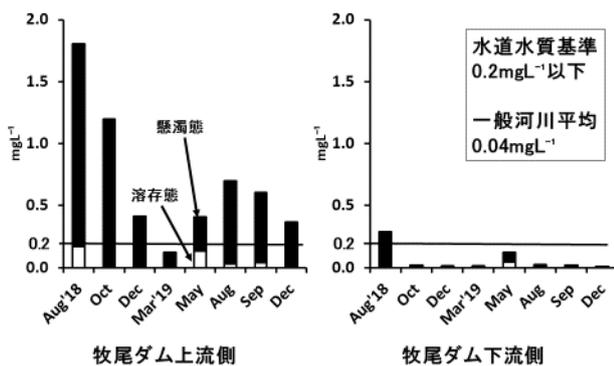


図-16：牧尾ダム上流側，下流側の Al 濃度

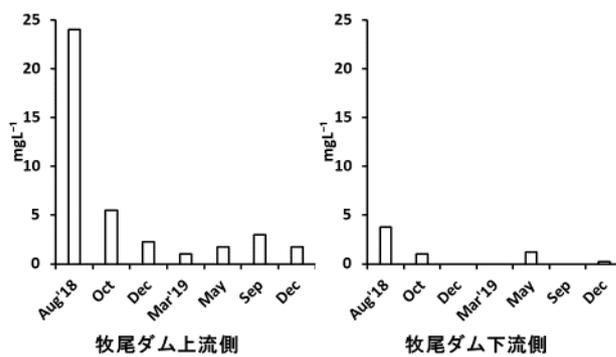


図-17：牧尾ダム上流側，下流側の SS 濃度

尾ダム上流側で $0.13 \sim 1.20 \text{mgL}^{-1}$ という値に対し、牧尾ダム下流側で $0.01 \sim 0.12 \text{mgL}^{-1}$ と低かった。これは牧尾ダム洪水吐ゲートから放流していないことで、王滝川下流への影響が低減され、Al 濃度が低下したと考えられる。また、SS も同様に牧尾ダム上流側で $1.00 \sim 5.50 \text{mgL}^{-1}$ という値に対し、牧尾ダム下流側で $0.00 \sim 1.25 \text{mgL}^{-1}$ と濃度が低下しており、低減効果を発揮していると考えられる。つまり、火山活動の影響を受け、Al 濃度と SS 濃度が上昇した王滝川は、牧尾ダムによって堰き止められ、ダム下流への影響を低減していることが確かめられた。

牧尾ダム上流側，下流側の Chl.a 濃度を図-18 に示す。Al や SS とは違い、牧尾ダム上流側で $0.036 \sim 0.296 \mu\text{gL}^{-1}$ という値に対し、牧尾ダム下流側で $0.220 \sim 0.590 \mu\text{gL}^{-1}$ と濃度が上昇する傾向がある。Al や SS には、付着藻類を被覆及び遮光するといった物理的な影響や Al は付着藻類の増殖を制限するといった生物化学的な性質があり²⁷⁾、牧尾ダム流入後の Al, SS 濃度が低下したことによって、Chl.a 濃度が高くなったと考えられる。

これらの結果から、牧尾ダムが洪水吐ゲートから放流していない時、ダム貯留による低減効果により牧尾ダム下流側の Al, SS 濃度が低下するため、牧尾ダム上流側に比べて藻類が生息しやすい環境になったと考えられる。

次に牧尾ダムが洪水吐ゲートから放流している時の影響を考える。2018 年 8 月の牧尾ダムが洪水吐ゲートから放流している時の Al 濃度は牧尾ダム上流側で 1.81mgL^{-1} という値に対し、牧尾ダム下流側で 0.29mgL^{-1} と低かった。また、SS も同様に牧尾ダム上流側で 24.0mgL^{-1} という値に対して牧尾ダム下流側で 3.75mgL^{-1} と濃度が低下した。そして、Chl.a 濃度は牧尾ダム上流側で $0.130 \mu\text{gL}^{-1}$ という値に対して牧尾ダム下流側で $0.672 \mu\text{gL}^{-1}$ と濃度が上昇した。化学的に Al は、pH が酸性から中性へと上昇すると溶存態から懸濁態へと形態を変化させ、沈殿する²⁷⁾。実際に、杉浦ら²⁸⁾は実験室で、濁川の上流に位置する酸性河川で溶存態 Al を豊富に含む濁沢川の河川水を支川の弱アルカリ性の伝上川の河川水と同量混合させ、pH 中性への上昇による Al の沈殿生成反応を確認した。この実験では、Al の懸濁物が混合前より 200 倍増加し、

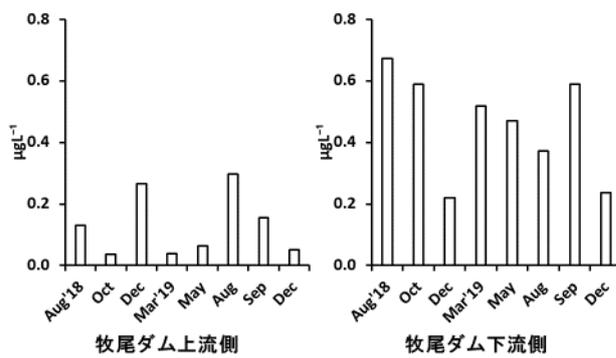


図-18：牧尾ダム上流側，下流側の Chl.a 濃度

他に Fe や Si も沈殿量が増えたことを報告した。さらに、Al が溶存態から懸濁態への形態変化に伴い他の懸濁物を引付け沈殿させる凝集剤のような役割を果たしていることを示唆した。牧尾ダム貯水池においても、同等の機構が発生している可能性が考えられ、ダム貯水池での沈殿効果によって、Al, SS が減少して、貯水池などで藻類が増殖し、Chl.a が上昇したと考えられる。

また、牧尾ダムの洪水吐ゲートから放流している時、Al 濃度は牧尾ダム上流側から下流側にかけて大幅に低下しているが、わずかであるが水質基準を上回っている。それに対し、洪水吐ゲートから放流していない時の牧尾ダム下流側は水道水質基準を下回っている。このことから、発電が主目的であり用水利用のための水質改善効果を目的としていない牧尾ダムによる有害物質 Al 濃度の低減効果が発揮されていることが分かる。

以上の考察から、現状では牧尾ダム貯水池が下流の水質を緩和させるトラップ機能を果たしているといえる。

4) 牧尾ダム下流部の水質変化

牧尾ダム下流側，大島ダム上流側の Al, SS, Chl.a 濃度をそれぞれ図-19, 図-20, 図-21 に示す。前節で述べたように、牧尾ダムによる低減作用により、牧尾ダム下流側で一度低下したが、牧尾ダムが洪水吐ゲートから放流していない時の牧尾ダム下流側で $0.01 \sim 0.12 \text{mgL}^{-1}$ に対し、大島ダム上流側で $0.07 \sim 0.43 \text{mgL}^{-1}$ と上昇した。SS も同様に牧尾ダム下流側で $0.00 \sim 1.25 \text{mgL}^{-1}$ に対し、大島ダム

牧尾ダムによる王滝川の水質変化と用水への影響

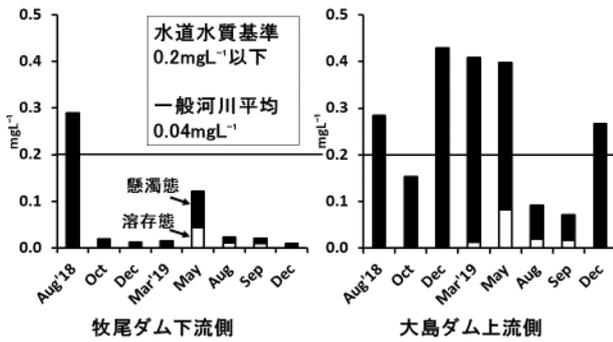


図-19：牧尾ダム下流側，大島ダム上流側の Al 濃度

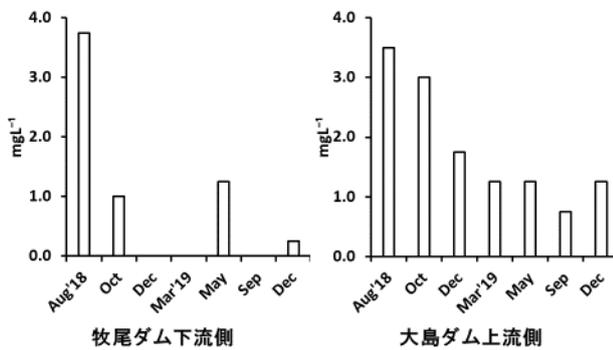


図-20：牧尾ダム下流側，大島ダム上流側の SS 濃度

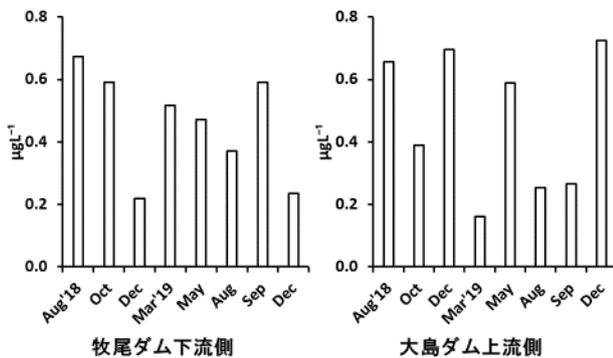


図-21：牧尾ダム下流側，大島ダム上流側の Chl.a 濃度

上流側で 0.75~3.00mgL⁻¹ と上昇する傾向が見られた。牧尾ダムが洪水吐ゲートから放流している時は Al, SS 濃度にほとんど変化がなかった。牧尾ダム下流側から大島ダム上流側の間にある御岳発電所の放流水は、様々な河川から取水したものであり(図-4)、それに含まれる濁川の影響で、大島ダム上流側で濃度が上昇したと考えられる。Al 濃度の増加によって Chl.a 濃度の低下が懸念されたが、その傾向はみられなかった。濁川と混合しても活性のある Chl.a が維持されていることから、御岳発電所の放流では藻類への悪影響はなく、活性 Chl.a が存続できることが示唆された。

牧尾ダム下流側で SS 及び Al の濃度が低減したが、御岳発電所の放流によって濃度上昇の傾向がみられた。こ

の下流には、発電目的の大島ダム、木曾ダムが設置されている。牧尾ダムのような大規模な貯水池ではないが、一時的な滞留、沈殿効果が期待され、発電システムの連続性が河川水質回復に活かされていると考えられる。

5. 火山性堆積物がもたらす多目的ダムの利水への水質影響評価

5・1 牧尾ダムの Al, SS, Chl.a の流入量及び放流量

牧尾ダム上流側の Al, SS, Chl.a 濃度と牧尾ダムへの河川流入量¹⁴⁾から、牧尾ダムにおける調査日ごとの1日の Al, SS, Chl.a の流入量を算出し、図-22, 図-23, 図-24 に示す。Al, SS, Chl.a すべてにおいて、2018年8月の値が高いことが分かる。この牧尾ダムが洪水吐ゲートから放流

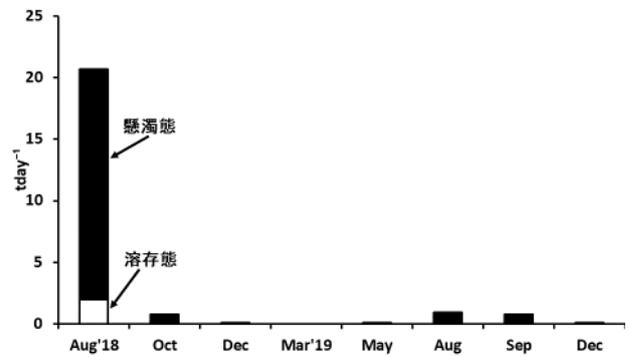


図-22：牧尾ダムの Al の流入量

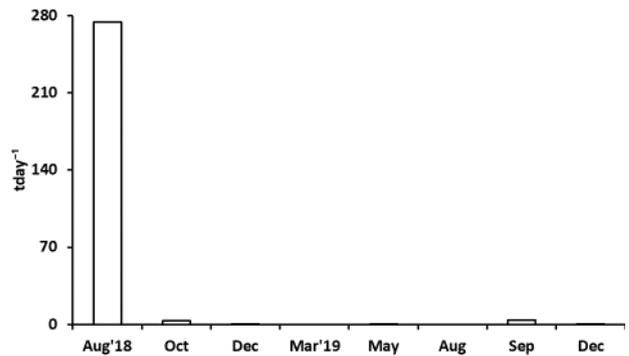


図-23：牧尾ダムの SS の流入量

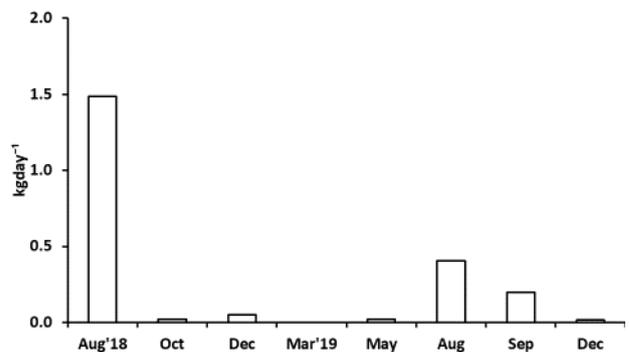


図-24：牧尾ダムの Chl.a の流入量

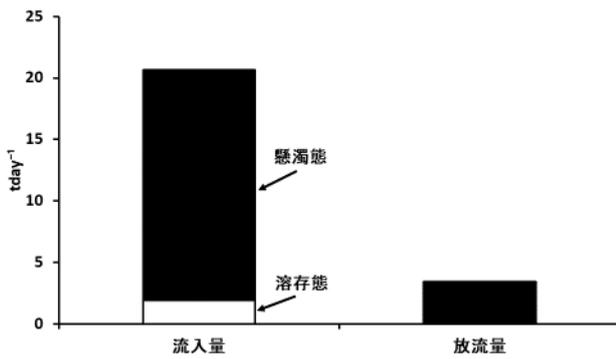


図-25: 牧尾ダムの 2018 年 8 月 25 日の Al の流入量と放流量

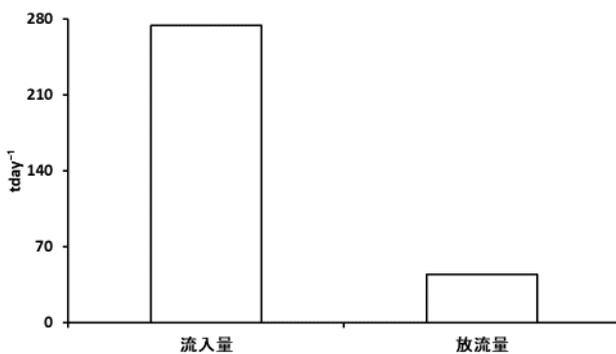


図-26: 牧尾ダムの 2018 年 8 月 25 日の SS の流入量と放流量

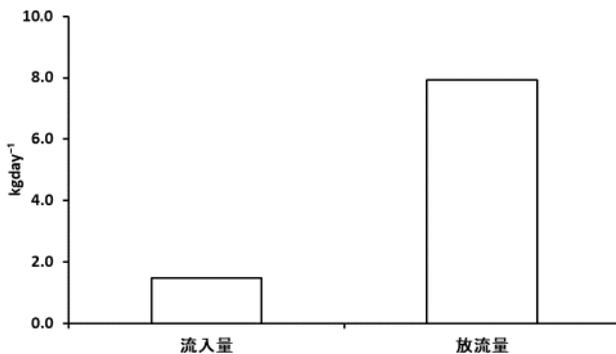


図-27: 牧尾ダムの 2018 年 8 月 25 日の Chl.a の流入量と放流量

している 2018 年 8 月の牧尾ダム上流側, 下流側の Al, SS, Chl.a 濃度と牧尾ダムの流入量及び牧尾ダム放流量¹⁴⁾に基づき、牧尾ダムにおける 1 日の Al, SS, Chl.a の流入量, 放流量を算出し、図-25, 図-26, 図-27 に示す。濃度と同様に Al, SS 量が減少し、Chl.a が増加した。

5・2 牧尾ダム貯水池における沈殿効果

牧尾ダムにおける沈殿による物質濃度低減効果を評価するため、採水試料を用いた沈殿実験を行った。沈殿実験での静置時間を検討するため、牧尾ダムの滞留時間を

参考にした。滞留時間の計算は、2018 年 4 月 1 日から 2019 年 9 月 30 日までの 1 日のダム流入量とその時の貯水量¹⁴⁾のデータを使用し、月平均滞留時間を求めた。滞留時間の平均は 66 日間(最小 11 日間～最大 203 日間)であった。一日単位での最小滞留時間は 2018 年 7 月 5 日の大雨(180mm/日)のときで 1 日間であった。最小の滞留時間での沈殿効果を把握したいため、静置時間を 1 日間及び 11 日間とした。室内で、2L の試水(牧尾ダム上流側)を 1 日間及び 11 日間静置し、それぞれ上から 500mL ずつろ過を行い、SS 量を測定した。その結果 1 日間放置した試水の最下層の SS 量は、16.5mg と全体の 80%であり、11 日間静置した試水の最下層の SS 量は、19.6mg と全体の 95%に及んだ。ここで、2018 年 8 月の牧尾ダムの SS の観測値放流量(牧尾ダムからの放流量¹⁴⁾と牧尾ダム下流側の SS 濃度から算出)と実験値放流量(牧尾ダムに流入した SS を 80%沈殿させた量)を比較した結果を図-28 に示す。SS の観測値放流量が 44.3tday⁻¹に対し、実験値放流量は 54.9tday⁻¹であった。同様に Al についても比較した結果を図-29 に示す。このことから、牧尾ダム貯水池で沈殿以外にも元々 SS が沈殿してできた上澄液が形成された貯水池の水が、流入による押し出し効果によって放流されたと考えられる。

沈殿作用による上澄液放流に対し、流入によりダム貯

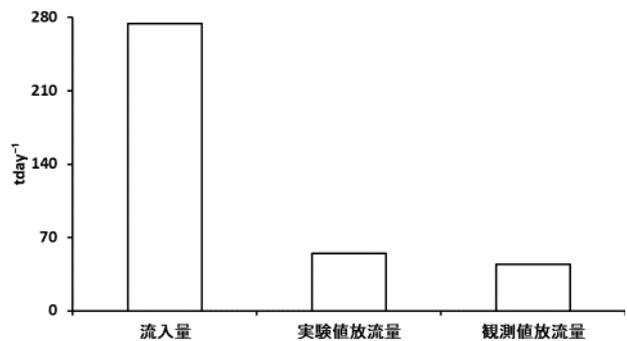


図-28: 牧尾ダムの 2018 年 8 月 25 日の SS の観測値放流量と実験値放流量

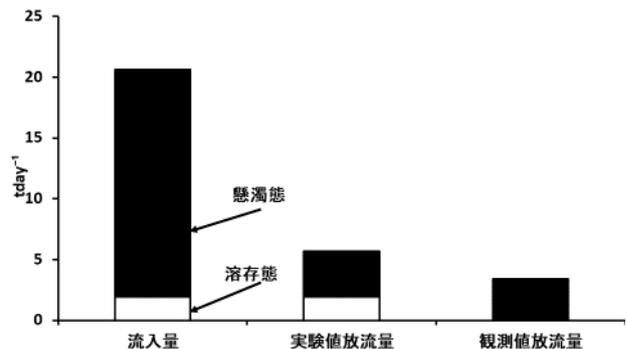


図-29: 牧尾ダムの 2018 年 8 月 25 日の Al の観測値放流量と実験値放流量

牧尾ダムによる王滝川の水質変化と用水への影響

水池で攪拌され混合してしまうことが懸念される。そこで、2018年8月23日からの降雨により牧尾ダムの貯水量が増加し始めた時から2018年8月25日の採水までの牧尾ダムへの流入量¹⁴⁾を調べたところ、貯水量の約4分の1であることが分かった。以上のことから、この降雨事象によるダム流入量ではダム貯留水の完全混合が発生するとは考えられず、ある程度混合している可能性はあるが、下流への放流水の大部分は、降雨前の晴天時に沈殿作用が作用した上層の上澄液であるため、ダム下流部の水質濃度値が低下したといえる。

以上のことから、牧尾ダムによって沈殿作用等によるトラップ機能が働いていることが示唆される。

7. 結論

本研究は、河川に設置されたダムなどの人工構造物による火山活動の影響を受ける河川への影響を調べ、河川環境改善の基礎資料蓄積や用水管理への寄与を目的とした。そのため、王滝川水系の調査を広範囲に行い、牧尾ダム上下流の流下性藻類と微量元素に着目し、水質影響を評価した。

濁川と濁川流入後の王滝川中流で散在して見られた堆積物には、岩石にはほとんど含まれていないSが含まれたことから、これらの堆積物は濁川と王滝川中流に存在する砂や泥ではなく、火山活動由来の蒸発残留物であると考えられる。濁川のS濃度は高く、また酸性河川によってAlが溶出し、他の河川よりもAl濃度が高い。濁川の特徴として、河川水の外観は乳濁した水色をしており、濁川周辺の礫は酸化したFeの影響で、河川に近いほど赤いという特徴が確認されている。濁川の浮遊物質と懸濁態Si, Al, Feの関係性が強いことから、濁川の濁りは懸濁態Si, Al, Feによる無機的な濁りである。

御嶽山の火山噴出物に含まれている玄武岩には、Mgが多いという特徴がある²⁴⁾ことから、Mg(海水に多く含まれる)とCa(河川水に多く含まれる)²⁵⁾の濃度比を求めた。新期御嶽火山、古期御嶽火山から流れる下黒沢、濁川では日本平均よりもMgの割合が高く、御嶽山の地質成分が流入しているといえる。

牧尾ダムの放流がない時(洪水吐ゲート及び利水放流設備放水口からの放流なし)の牧尾ダム下流側では、他の河川や湧水の流入の影響が考えられ、上流側と比べpHが0.5程度低下する傾向があった。また、牧尾ダム下流側でAl, SS濃度が低下し、Chl.a濃度が上昇する傾向が見られた。牧尾ダムのAl, SS濃度の低減効果により、付着藻類を被覆及び遮光するといった物理的な影響や付着藻類の増殖を制限するといった生物化学的な影響²⁷⁾が緩和され、牧尾ダム下流側が牧尾ダム上流側に比べて藻類が生息しやすい環境になったと考えられる。

牧尾ダムにより、牧尾ダム下流側で一度低下したAl,

SS濃度だが、牧尾ダムの放流がない時の大島ダム上流側で上昇する傾向が見られた。牧尾ダム下流側から大島ダム上流側の間にある御岳発電所の放流水には、濁川の水が含まれているため、大島ダム上流側で上昇したと考えられる。Al, SS濃度の増加によるChl.a濃度の低下が懸念されたが、ほとんど変化はなかったことから、御岳発電所の放流では藻類への悪影響はないことが明らかとなった。

牧尾ダムの放流がある時(洪水吐ゲート放流)では牧尾ダム上流側のpHは酸性であったが、中性の水を貯水していたことによって、牧尾ダム下流側のpHは中性を示したと考えられる。また、pH中性の水を貯水していることで、Alが懸濁化し、ダム貯水池での一時的滞留による沈殿効果によってAl, SSが沈殿し、貯水池で藻類などが繁殖し、牧尾ダムの放流がある時でも牧尾ダム下流側でChl.a濃度が上昇したと考えられる。

牧尾ダムの放流がある2018年8月25日のAl, SS, Chl.aの流入量、放流量は、濃度と同様にAl, SS量が減少し、Chl.a量が増加した。上流河川水を使ったSSの沈殿実験により、牧尾ダム貯水池における沈殿作用と、元々SS沈殿後の上澄液が形成された貯水池の水が流入による押出し効果によって放流されている。

本研究により、牧尾ダムによる河川環境への影響と王滝川の水質形成過程が確かめられ、牧尾ダム貯水池が下流への放流水質を緩和させるトラップ機能を果たしていることが把握できた。これらより、多目的なダムの利用のために、発電利用の水量監視だけでなく、水質監視をきめ細やかにする必要があると考える。

謝辞

日本陸水学会東海支部会の皆様には、試料提供や調査補助など大変お世話になった。愛知工業大学工学部土木工学科岩月栄治教授には、貴重な機器分析を快諾していただいた。また、土木工学科中村吉男教授には、岩石分析データを提供していただいた。土木工学科2018年度、2019年度の同研究室学生の方には調査分析に尽力いただいた。調査の遂行にあたり、(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)「御嶽山噴火により攪乱されたダム湖流入河川の水質変遷と河川生物の応答関係の把握」平成29-30年度、及び、(独)日本学術振興会 科学研究費助成事業 基盤研究B(代表：田代喬)「自然災害/資源開発を受容する火山山麓地域の自然共生に向けた水文水質・生態機構の解明」平成31年～令和4年の助成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) 国土交通省中部地方整備局：御嶽山噴火に伴う木曾川上流域水質保全対策検討会，2014，

- http://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/suishitsu_hozen/index.htm, 2020 年 1 月 28 日閲覧
- 2) 谷口智雅: 2014 年の御嶽山噴火が陸水に及ぼす影響, 陸の水, Vol.74, p1-3, 2016
 - 3) 田代喬: 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, Vol.74, p5-11, 2016
 - 4) 野崎健太郎: 2014 年の御嶽山噴火から 1 年後の王滝川水系における秋と冬の付着藻現存量, 陸の水, Vol.74, p13-21, 2016
 - 5) 小野田幸生, 萱場祐一: 2014 年の御嶽山の噴火で火砕流の流入のあった河川とその周辺の河川での魚類相の比較, 陸の水, Vol.74, p1-3, 2016
 - 6) 長野県環境部水大気環境課: 河川別の情報及び類型指定案・王滝川, 第 2 回専門委員会資料, 水生生物保全水質環境基準類型指定専門委員会, 2011, <https://www.pref.nagano.lg.jp/mizutaiki/kurashi/shizen/taiki/jokyo/index.html>, 2020 年 1 月 28 日閲覧
 - 7) 建設省中部地方建設局: 昭和 47 年度河川整備計画 - 中部地方編, p944, 1973
 - 8) 関口辰夫, 山岸登: 国土地理院時報: 火山土地条件図「御嶽山」について, No.123, P61-80, 2013
 - 9) 鈴木雄介, 千葉達朗, 岸本博志, 小川紀一郎, 今井一之, 山本幸泰: 御嶽山火山噴火緊急減災対策砂防計画のための噴火シナリオの作成, 平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集, 2010, <http://www.jsece.or.jp/event/conf/abstract/2010/2010.html>, 2020 年 3 月 5 日閲覧
 - 10) 気象庁編: 御嶽山, 活火山総便覧第 4 版, II. 関東・中部・伊豆・小笠原編, p799-825, 2013
 - 11) 及川輝樹: 御岳火山の歴史噴火記録の再検討と噴気活動の歴史記録—存在しなかった 774, 1892 年噴火—地質調査研究報告第 59 巻, 5/6 号, p203-210, 2008
 - 12) 一般社団法人電力土木技術協会: 水力発電所データベース, 2020, http://www.jepoc.or.jp/hydro/index.php?_w=Login&_x=home, 2020 年 2 月 5 日閲覧
 - 13) 独立行政法人水資源機構: 愛知用水総合管理所, 2019, <https://www.water.go.jp/chubu/aityosui/index.html>, 2020 年 1 月 28 日閲覧
 - 14) 国土交通省: 水文水質データベース, 2018-2019, <http://www1.river.go.jp>, 2020 年 1 月 28 日閲覧
 - 15) 糸川嘉則, 五島孜郎: 生体内金属元素, 初版, 光生館, p5, 1994
 - 16) 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, p136, 1988
 - 17) 半谷高久, 小倉紀雄: 水質調査法 第 3 版, 丸善株式会社 p32, 1998
 - 18) 近畿地方整備局近畿技術事務所: 水質調査の基礎知識, 1996, <http://www1.river.go.jp/100308.html>, 2020 年 1 月 28 日閲覧
 - 19) 一般社団法人秋田県森と水の協会: 森と水の郷あきた, 2013, <http://www.forest-akita.jp/data/mori-school/school-03/school-03.html>, 2020 年 1 月 28 日閲覧
 - 20) 加藤貴也, 宇佐見亜希子, 八木明彦, 城戸由能: 御嶽山周辺河川の王滝川への影響に関する流量比に基づく評価, 日本陸水学会東海支部会第 22 回研究発表会要旨集, p7, 2020
 - 21) 瀬尾克美, 吉松弘行, 水山高久, 仲野公章, 原義文: 長野県西部地震に伴う土砂災害 (速報), 砂防学会誌, 37 巻, 4 号, p19-24, 1984
 - 22) 竹内誠, 中野俊, 原山智, 大塚勉: 木曾福島地域の地質 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, p94, 1998
 - 23) 新版長野県地質図作成委員会(地質部会, 部長原山智)編: 新版長野県地質図 ver.1(5 万分の 1 地質図), 2010
 - 24) ブリタニカ国際大百科事典: 小項目事典, ブリタニカ・ジャパン株式会社, 2014
 - 25) 半谷高久, 小倉紀雄: 水質調査法, 第 3 版, 丸善株式会社, p60, p227-230, 1998
 - 26) 厚生労働省: アルミニウムに関する情報, 2018, <https://www.mhlw.go.jp/index.html>, 2020 年 1 月 28 日閲覧
 - 27) 佐々木貴史, 伊藤歩, 高橋真司, 相澤治郎, 海田輝之: 金属加水分解生成物が付着藻類の増殖に及ぼす影響, 環境工学研究論文集・第 41 巻, p367-376, 2004
 - 28) 杉浦舞斗, 宇佐見亜希子, 八木明彦, 城戸由能: 御嶽山火山活動の影響を受ける河川水質と流下性藻類の関係性, 日本陸水学会東海支部会第 22 回研究発表会要旨集, p12, 2020

(受理 令和 2 年 3 月 19 日)