

# 土砂崩落に起因した濁水発生による 生物影響把握について

荒井 真治<sup>1</sup>・宮本 憲治<sup>1</sup>・丸山 悟江<sup>1</sup>

<sup>1</sup>高田河川国道事務所 調査第一課 (〒943-0847 新潟県上越市南新町3番56号) .

令和元年6月に姫川支川小滝川において山腹斜面が崩壊し、これを起因とする白濁水が発生した。これを受けて河道内に生息する水生生物（魚類・底生動物）に係る影響調査を緊急的に実施するとともに、定量的な変化についての整理を行った。本調査は、今後類似の現象が発生した際に水生生物の変化回復検討に資するものである。

キーワード 河川環境、水生生物、白濁水、水辺の国勢調査

## 1. はじめに

姫川は、その源を長野県北安曇郡白馬村の佐野坂丘陵（標高約800m）に発し、白馬盆地で平川、松川等を合わせた後、山間部を北流しながら、中谷川、浦川等を合わせ新潟県に入る。その後、大所川や小滝川、根知川等を合わせ平野部に入り、糸魚川市において日本海に注ぐ、幹川流路延長60km、流域面積722km<sup>2</sup>の一級河川であり、河川勾配は、上流部で約1/130、中流部は約1/60、下流部は約1/110と、我が国屈指の急流河川である。図-1に姫川流域図を示す。1969年には、流域内でも人口が集中する区間である河口から11.0kmが一級河川に指定され、国による直轄改修事業が着手された。2008年に姫川水系河川整備基本方針、2015年には姫川水系河川整備計画を決定し、河川改修事業等、鋭意進めている。



図-1 姫川流域図

## 2. 濁水発生から収束まで状況の整理

### (1) 濁りの発生源について

令和元年6月12日頃から、姫川水系において河川水の強い白濁が確認された。原因究明に向けて、国土交通省北陸地方整備局、同省松本砂防事務所、糸魚川市、上流の国有林を管理している林野庁関東森林管理局によって調査が行われた。関東森林管理局がヘリコプターで上空から調査したところ、発生源は小滝川の源流域において確認された山腹崩壊場所であった。崩壊地の状況を図-2に示す。ここから小滝川に濁水が流入し、姫川にも流入していることが分かった。濁りの発生源は、姫川河口から約27.5km上流の地域であった。



図-2 崩壊地の状況

### (2) 山腹の崩壊発生要因

崩壊発生要因は明らかではないが、項目ごとを次のように整理した。

#### a) 降水量

年平均降水量は約2,800mm（平岩観測所）の多雨地帯。令和元年6月13日崩壊発生時は、1mm程度の降雨で特別多くはなかった。降雨に起因する崩壊ではないと考えられる。

#### b) 積雪量

崩壊箇所は特別積雪地帯に指定されている。崩壊前年H30の最大積雪深は過去6年で最も深く、例年に比べて積雪が多かった。5月下旬ころから糸魚川観測所では30度を超える最高気温を記録しており、このころから融雪が進んだと推測される。

#### c) 空中写真からの分析

過去の空中写真からは、当該地の崩壊の発生は見当たらず、侵食の拡大も見当たらなかった。過去の文献からも、数十年間は崩壊の履歴がないことも明らかとなった。

#### d) 地形条件

当該箇所は、断層作用等により割れ目が発達した脆弱な岩盤から構成されている。崩壊箇所の傾斜についても約25°と急勾配である。

当該箇所は気象的には多雨、豪雪地帯であり、地質的にも割れ目が発達した脆弱な岩盤であるため、斜面の不安定化が促進されやすい地域であり、5月下旬からの気温上昇に伴い融雪水が浸透し、急激に地下水位が上昇、斜面内が飽和状態となり、崩壊が発生したと推察される。

### (3) 白濁の原因物質について

糸魚川市の調査では、白濁物質は蛇紋岩由来の鉱物であることが明らかとなった。分析した結果では、粘土鉱物サイズの緑泥石、滑石、クリソタイル、トレモライト等の鉱物と同定されている。平成29年6月にも同地点小滝川において同様の白濁が確認されており、その時も成分の分析結果は同じ鉱物が確認されている。このクリソタイル、トレモライトの一部に針状結晶のものがあがり、天然のアスベストであることが分かった。

### (4) 濁り発生から収束まで

濁水発生直後、令和元年6月13日の姫川各地の濁りの状況を図-3、同日の海域の拡散状況を図-4に示す。小滝川から流出した白濁水は各地点で確認され、海域においては河川水のため海水よりも比重が軽く、濁りの原因である泥の粒径が非常に細かったため、沈殿しにくく広範囲に広がりやすかったと考えられる。

濁り発生直後、水際部の底質の状況を図-5に示す（今井橋下流、令和元年6月18日撮影）。河川内の水際部には、粒子の細かい灰色の泥が堆積している様子が確認された。

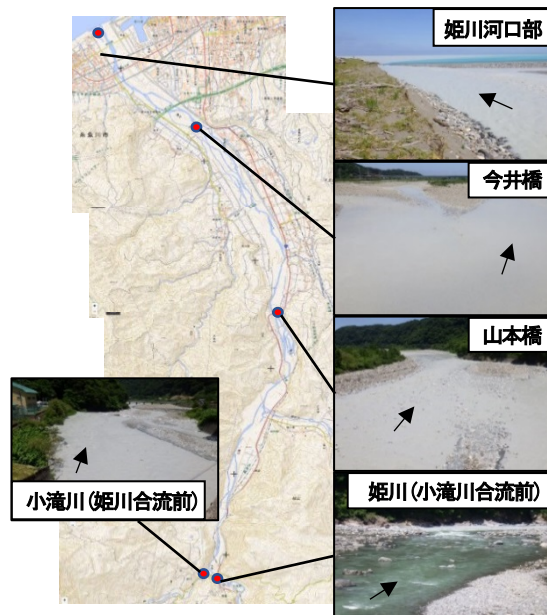


図-3 濁り発生直後の状況



図-4 濁り発生直後の海域への拡散状況



図-5 濁り発生直後の水際部の底質の状況

### (5) 白濁の状況

白濁水が発生してからの推移について、当事務所が管理しているCCTV画像（山本橋）を時系列で並べて図-6に示した。6月18日にはまだ白濁が目立つものの、7月8日頃からは白濁が収まりつつあるのが確認できた。

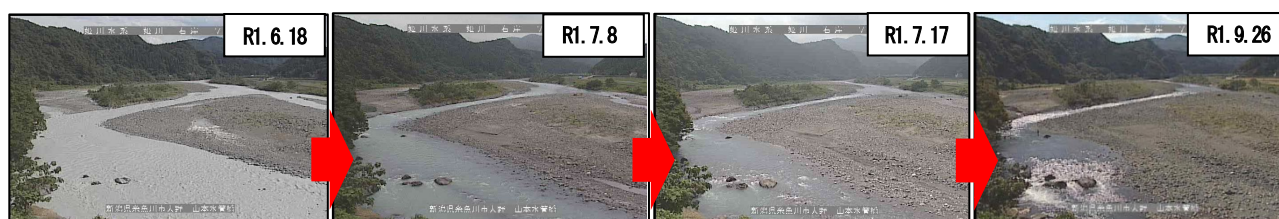


図-6 濁り発生後の推移（山本橋上流）

### 3. 水質 (SS・ヒ素) 調査結果

#### (1) 濁り (SS) の状況

濁りが強くなった6日後の令和元年6月18日に今井橋下流部で採水し、SS (浮遊物質量) は7,100mg/Lと非常に高い値であった。

図-7は、今井橋で令和元年6月18日に採水した状況写真である。河川水は一樣に透明感のない灰白色の濁りであり、採水地点は浅くそこに溜まった細粒分がやや巻き上がっていた。このSSの分析結果の値は、後述する公共用水域水質測定ピーク時の値と概ね近い値であった。



図-7 今井橋下流右岸 (6/18採水状況)

#### (2) SSの変化

姫川では月に1回の頻度で姫川の2地点において公共用水域水質測定が行われている。その結果を整理して図-8に示した。調査結果によると、山本地点のSSは6/13に9,800mg/Lと高くなっているが、7/10には白濁発生前の値に戻っていた。pHは濁り発生前に比べてやや上昇しその後、9月にかけて増減しながら徐々に低下した。DOはSSの高い6/13に一時的に減少以降、殆ど濁りの変化がなかった。

SSの値は7/10頃には大幅に低下しているが、前述の写真の通り7月中旬でも河川水の濁りは確認されている。浮遊している粒子が細かいため、SSの値には現れにくかったと考えられる。

#### (3) 姫川の水質調査結果の整理 (自然由来のヒ素)

糸川市において、白濁が確認された直後の6月13日から、1週間ごとに「人の健康の保護に関する環境基準」で定められている項目について水質調査が実施されている。

水質中のヒ素の分析結果を図-9に示す。分析を行った殆どの項目において環境基準値以下であったが、ヒ素については白濁発生から1週間後まで環境基準値を上回っていた。ただし、濁水発生から2週間後には検出できないほどまで低下した。濁り発生直後の6/18に採水した濁水を用いてアブラハヤの試験飼育も行ったが、無給餌で21日間生存したことから、基準値は超えていたが毒性は

殆どなかったと考えられる。

このヒ素の回復状況と前述のSSの回復状況から、姫川は下流域でも勾配があるために流速が速く、発生元の土砂の流出が収まれば水質の回復が比較的早い河川であるといえる。勾配が緩く流速が遅い河川の場合は、濁りの回復にはもう少し時間がかかる可能性がある。

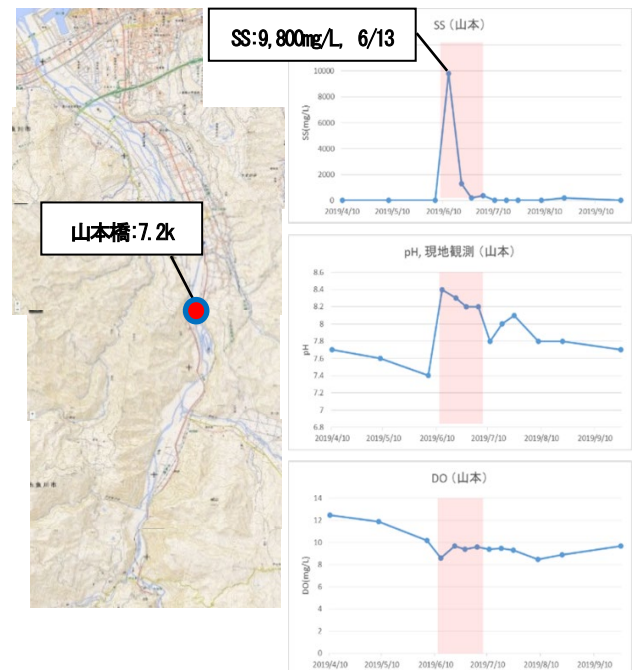


図-8 姫川定期水質調査 (公共用水域水質測定 地点: 山本)

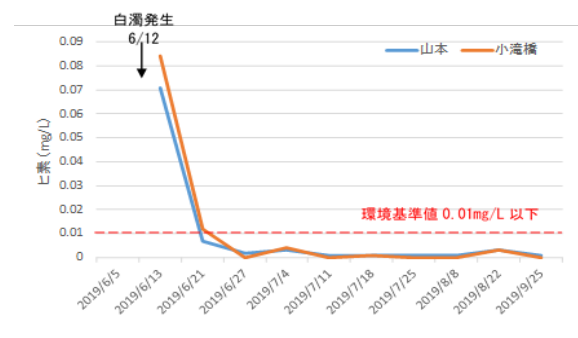


図-9 水質中のヒ素の分析結果

### 4. 濁りによる生物への影響確認 (魚類・底生動物)

#### (1) 調査方法

魚類および底生動物調査は、マニュアル (国土交通省水管理・国土保全局河川環境課(2016).河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル) に従い実施した。調査の概要を表-1、調査地点を図-10に示す。濁水発生中の影響を確認するため、濁りが残っていた7月中旬に実施した。また、濁水収束後の生物の回復状況を確認するため、収束から4か月後に当たる11月下旬にも同様の調査を実施した。確認種は、姫川と支川である虫川を分けて記録した。

表-1 魚類・底生動物調査の概要

項目	内容
調査対象	魚類、底生動物
調査位置	姫姫高2
調査回数及び時期	年2回 ・濁り発生時(夏季): 令和元年7月16-17日 ・濁り収束時(秋季): 令和元年11月21-22日
調査地区の 設定理由	姫川の「河川水辺の国勢調査」において、「姫姫高2」地区は総合調査地区に設定されており、過年度の調査結果もある。また、姫川の支川の「虫川」が流入しているため、濁水を受けている河川と受けていない河川での採集結果の比較が可能となるため。

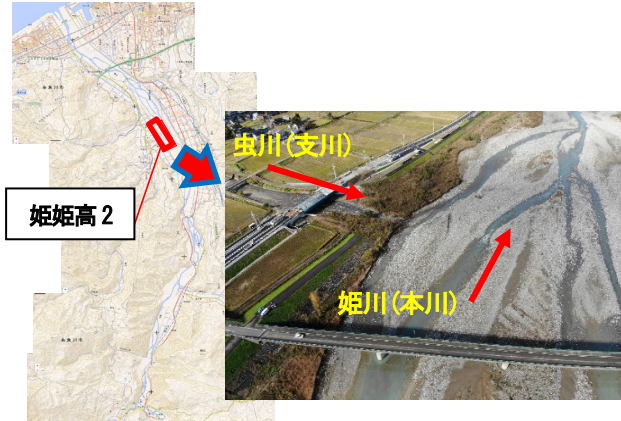


図-10 魚類・底生動物調査の対象地点

(2) 魚類調査結果 (濁水発生時及び収束時調査)

濁水発生時、収束時の魚類採集結果を、それぞれ表-2、表-3に示す。濁水発生時、収束時調査のいずれにおいても9種が確認され、ほとんどの種が共通して確認された。ただし、確認された場所が異なり、濁水発生時は本川で少なく、支川の虫川で多かった。とくに、濁りを嫌うアユやヤマメは本川では見られず、支川に多く確認された。

濁水収束時は、本川においてヤマメが確認され、多くのサケの遡上および産卵行動も確認された。そのほか、支川に比べて本川の方が種数も個体数も多く確認された。

表-2 魚類の採集結果 (濁水発生時 (夏季) 調査)

No	目	科	和名	学名	本川(姫姫高2)			本川(虫川)	合計	
					早瀬	早瀬	水たまり			
1	コイ	コイ	ウグイ	<i>Tribolodon hakonensis</i>	5	4	44	53	63	116
2	サケ	アユ	アユ	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	1			1	16	17
3	サケ	ヤマメ	ヤマメ	<i>Salvelinus leucomaenis</i>					2	2
4			サケマス(ヤマメ)	<i>Oncorhynchus masou masou</i>					10	10
5	スズキ	カジカ	カマキリ	<i>Cottus kacika</i>		1		1	1	2
6			カマキリ	<i>Cottus pollux</i>		3		3	8	11
7		ハゼ	シマシロノボリ	<i>Rhinogobius nagayae</i>					6	6
8			シマシロノボリ	<i>Rhinogobius mizunoi</i>		1		1	7	8
9			オオシロノボリ	<i>Rhinogobius flavidus</i>	4	6	2	12	29	41
総計					10	15	46	71	142	213
種数					3	5	2	6	9	9

表-3 魚類の採集結果 (濁水収束時 (秋季) 調査)

No	目	科	和名	学名	本川(姫姫高2)			本川(虫川)	合計	
					早瀬	早瀬	水たまり			
1	コイ	コイ	ウグイ	<i>Tribolodon hakonensis</i>	11	1	124	136	30	166
2	サケ	サケ	ニッコウイwana	<i>Salvelinus leucomaenis pluvius</i>	1			1	1	2
3	サケ	サケ	ヤマメ	<i>Oncorhynchus keta</i>	13			13	13	26
4			サケマス(ヤマメ)	<i>Oncorhynchus masou masou</i>	1			1	8	9
5	スズキ	カジカ	カマキリ	<i>Cottus kacika</i>	1	1		2	2	4
6			カマキリ	<i>Cottus pollux</i>		1		1	1	2
7		ハゼ	シマシロノボリ	<i>Rhinogobius nagayae</i>					1	1
8			シマシロノボリ	<i>Rhinogobius mizunoi</i>	1	1		2	2	4
9			オオシロノボリ	<i>Rhinogobius flavidus</i>					6	6
総計					27	4	124	156	49	205
種数					5	4	2	7	6	9

(3) 魚類への濁りの影響 (まとめ)

濁水発生時調査の姫川本川の濁りは、発生直後の6月中旬ごろの状況と比べると収まっていたものの、出現する魚種とその個体数を支川と比較すると、姫川本川には魚が少なかったといえる。また、過年度調査の結果と比較しても濁水発生時の魚類の個体数は低水準であることが確認された。加えて、魚種別にみると、濁水発生時のアユやヤマメの出現状況などから、本川での濁水発生によって、魚類が支川への回避したことや濁りに弱い種類が死滅もしくは弱って海に流されたことが想定された。

一方で、濁水収束時調査においては姫川本川の濁りは解消されており、出現する魚類についても支川と同等となっていた。また、過年度の調査結果と比較しても本川の種数・個体数ともに同等から高い水準にあることが確認された。

これらから、濁水が収束してから4か月程度の期間を経れば、姫川本川の魚類相は過年度と同程度まで回復するものと考えられた。ただし、姫川は河口近くまで早瀬が形成されるなど全体的に流速が早く、水質や底質が速やかに回復したため魚類の回復も早かった可能性がある。

(4) 底生動物調査結果 (濁水発生及び収束時調査)

濁水発生時の底生動物定量採集の結果を本川と支川で比較して図-11に示す。出現種数、個体数ともに支川の虫川の方が本川よりも多く、種数については2倍、個体数に関しては10倍程度の差が生じていた。

濁水収束時の底生動物の定量採集の結果を本川と支川で比較して図-12に示す。出現種数に支川と本川で大きな差はなく、本川の方が多く、もしくは支川と同等程度であった。また、個体数についてはいずれの分類群においても本川で多い傾向があった。夏季調査と秋季調査の間には、10月に台風19号の出水および虫川の本川合流部のすぐ上流では橋梁工事が行われていたが、種数、個体数ともに増加した。

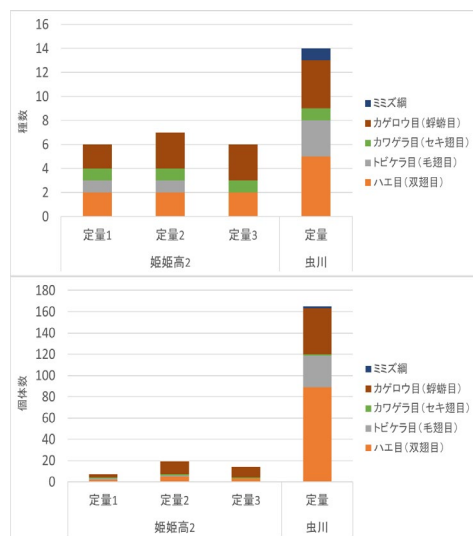


図-11 濁水発生時定量採集結果の比較 (種数および個体数)

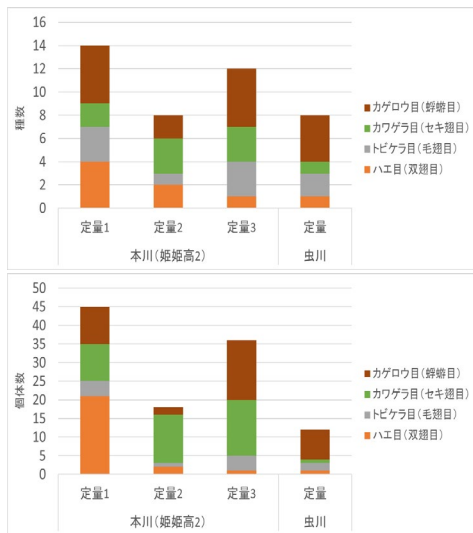


図-12 濁水収束時定量採集結果の比較（種数および個体数）

### (5) 過年度（H25年，H30年）調査結果との比較（濁水収束時調査）

過年度と、濁水収束時（秋季）調査の定性採集結果を比較したグラフを図-13に示す。本川における定性採集で確認された種数は平成25年度，平成30年度と比較して高い水準にあった。また，個体数については，平成30年と同程度であることが確認された。

支川については，種数・個体数ともに過年度と同程度の水準にあるものと考えられた。

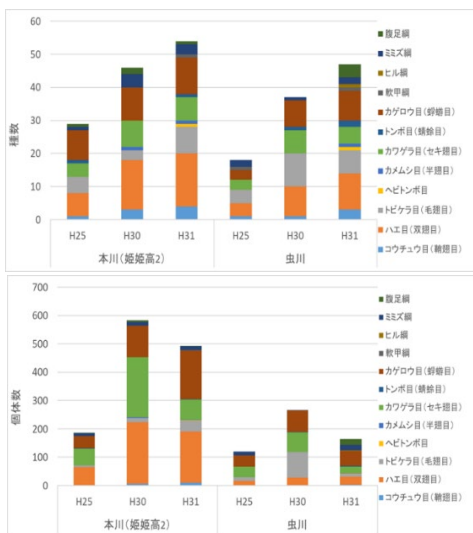


図-13 濁水発生時定量採集結果の比較（種数および個体数）

### (6) 底生動物への濁りの影響（まとめ）

底生動物は，定量，定性採集ともに，濁水発生時（夏季）調査の本川での個体数・種数の明らかな減少が確認された。過年度の本川における採集結果と比較しても，種数・個体数は低い水準にあることが確認された。

濁水発生時の底生動物相について，本川で確認された種の大部分はカゲロウ目で，巣を作らず，川底を遊泳もしくは匍匐して生活する移動性の高いの分類群である。

また，同じく比較的多く確認されたユスリカ科等のハエ目は，再生産速度が非常に速い分類群である。これらの種はその生態学的な特徴から，河床攪乱後にいち早く加入が可能な分類群とされており，出水と濁りによって底生動物の大部分が一度消失し，支川等からの流入によって加入して間もない底生動物が大部分である状況にあったと考えられた。

この現象を支持する結果の1つとして，本川で得られた底生動物のうち，石の間隙を主な住処とする造網型の生活史を持つトビケラ類（特にシマトビケラ類）で，今回の濁水によるシルト分の堆積で住処を失ったと想定される種については明らかに小型個体が多く，加入して間もないと考えられたことが挙げられる。一方で，同じく石の間隙を利用するカワゲラ目については本川と支川で個体数などに大きな差が生じていなかったが，今回の調査で確認されたミドリカワゲラ科やコナガカワゲラ属などは河床間隙に深く潜る種であるとされているため表層のシルト堆積の影響を受けにくく，生存が可能であったものと推測される。

以上から，今回の規模で濁水が発生した際には，底生動物の多くが消滅することが明らかとなった。また，ある程度収束した段階においては，再生産の早い種や遊泳力のある種など限られた種だけが生息する状況になるものと考えられた。

濁水発生時には顕著な底生動物の減少が確認された一方で，4か月後に実施した濁水収束時（秋季）調査においては，定量，定性採集ともに，本川での個体数および種数の回復傾向が確認された。また，過年度の本川における調査結果と比較しても，種数・個体数ともに高い水準にあることが確認された。

特に，定量調査を実施するようなある程度流れのある瀬においては，石礫の間隙へのシルト分の堆積は解消されていた。その結果，濁水発生時に顕著な減少が見られた。生息環境として特に石の間隙が重要である造網性のトビケラ類などの確認種数が増加していた。また，カワゲラ目，カゲロウ目についても確認種数は支川に比べて多くなっていた。

以上から，今回発生した規模の濁水によってその消滅した底生動物群集は4か月程度の期間を経れば過年度と同じ程度の水準まで回復することが確認された。

## 5. 濁りが魚類へもたらす影響に関する文献調査

### (1) 濁水による魚類への影響の概要

濁水によって魚類が受ける影響としては，大きく分けて，成長速度の低下，えらや感覚器官などといった体組織の損傷，病気に対する抵抗力の低下といった直接的影響と河床環境の変化・餌資源の劣化を通じた間接的影響が考えられる。中でも特に影響が大きいのは直接的影響

のうち呼吸生理に関わる影響であり、えらに鉍物が付着してガス交換を妨げることによって窒息する、もしくは鰓に粒子が付着してこれを排除するために激しく換水運動を続けることによって衰弱するなどの影響が考えられる。

今回の濁水の原因となった粒子は、当日採集した河川水の状況から、非常に粒径が細かいシルト分であることが確認されている。このような非常に細かい粒径の粒子は、稚魚、成魚、卵などの呼吸生理に対して幅広く深刻な影響を与えるとされている。

## (2) 文献調査結果

濁水が河川の魚類へもたらす影響に関して、特に重要な水産対象種であるサケ、コイ科、漁協ヒアリングにおいて放流していることが確認されたアユ、ヤマメ、カジカに注目して情報を整理した結果、全ての文献において、アユは10,000mg/L程度の浮遊物が水中に存在することで、数時間程度で死亡する<sup>1)</sup>とされていた。また、ヤマメ（サクラマス）についても5,000mg/L程度の濁度では、2日程度で死亡する可能性があり、カジカは14,000mg/L程度の濁度で濁水が1日以上持続した場合に死亡する可能性がある<sup>2)</sup>ことが明らかとなった。

6月18日に今井橋周辺で採集した河川水の浮遊物量（SS）は7,100mg/Lであった。これは、平成元年から30年までの姫川の公共用水域調査において、「姫川大橋」で確認された浮遊物量の平均値である66.3mg/Lの110倍、30年間の観測値の最大値である2,400mg/Lの約3倍に相当する数値である。この測定値を元に、表-4に文献調査から推定された姫川に生じる濁水が魚類へ与える影響について整理した。

表-4 姫川に生じる濁水内SS濃度による魚類生存率の整理結果

姫川で今回発生した濁度の範囲 (7,100mg/L)

SS (mg/L)	0	~10	~100	~1,000	~5,000	~10,000	~20,000	~50,000	~100,000	~200,000
アユ	○	○	△	△	×	×	×	×	×	×
ヤマメ	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
カジカ	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×
コイ科	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×

○：文献情報から、曝露後、48時間以内にほとんどの個体が生存可能であると推定されるSS濃度  
 △：文献情報から、成長・摂食などに影響があるという知見がある、もしくは曝露後48時間以内に一部の個体（40%程度まで）が死亡すると推定されるSS濃度  
 ×：文献情報から、曝露後、48時間以内に半数以上の個体が死亡すると推定されるSS濃度

この結果、放流対象種であるアユ、ヤマメについて、半数以上が48時間以内に死亡する可能性の高い濁度であると考えられた。なお、この表は、急性影響試験で一般的な48時間までの曝露における結果を整理している。実際には、濁水は6月～7月にかけて1か月程度継続的に続いており、比較的濁水に強いカジカやコイ科を含むいずれの魚種についても、多くの個体の逃避・死亡を伴う多大な影響与えたことが予想された。

## 6. 濁水発生による被害状況と対応策のまとめ

今後、姫川やその周辺河川で同様の濁水が発生した場合に想定される被害とその対応策について表-5にまとめた。とくに水質や大気質はすぐに異常が現れるが、回復も早いと、迅速な調査が重要であると考えられる。

表-5 濁水発生時に想定される被害と対応策

項目	濁水発生時に確認された被害 <sup>1)</sup>	対応策 <sup>2)</sup>
水質	濁りのピーク時（数日間）に、水管中の「とろろ」が環境基準を超える場合がある。環境基準を超える濃度が確認された場合、農業用、上水道の取水停止になる。	・濁りを確認後、迅速に水質調査を行い、環境基準値との照会を行うことが重要である。 ・調査地点は、公共用水域水質測定点など、平常時の値が得られている場所を実施することが望ましい。
大気	発生場所の土壌成分によっては、濁水の粒子中に天然のアスベストが含まれる。これらが河川敷等で乾燥して風によって飛散する可能性がある。	・大気中のアスベスト調査を行う。風によって飛散することを踏まえ、人口が集中する場所を中心に、調査範囲は広く配置することが重要である。
生物	濁りに強い魚類（アユ、ヤマメなど）が死亡する。	・魚類調査を実施して実態を把握する。もしくは、水質調査のSS（浮遊物質量）の値が分かれば、今回作成した表 3-6に示すチャートに照らし合わせることで、どの魚が影響を受けるかを簡易に判定ができる。 ・地元漁協に状況について聞き取りを行うことも有効である。
	魚類以外の底生生物も減少する。魚類に比べると、移動性が劣るため魚類よりも回復に時間がかかる場合がある。	・底生動物調査を実施する。 ・河川水辺の国勢調査など過年度の調査結果がある地点で行うことで平常時の状況と比較ができる。 ・既往の調査結果が存在しない河川の場合、国勢調査マニュアルに則り「厚層」において定量採集を行うことで、周辺の河川の国勢調査結果と比較することで影響についてある程度把握ができる。

## 7. おわりに

ここまで述べたとおり、姫川では河川水において幾度と濁水が確認されており、本調査では濁水時および収束時に調査を行い、今後類似の現象が姫川含めその周辺河川で発生した際に河川管理者が活用できる資料として、濁水発生から収束までの状況を総合的にとりまとめた。

令和元年6月12日頃から確認された濁水による被害状況は、水質、大気、生物の各項目において被害が確認されている。

これからも同様の事象が発生した場合には、濁水発生時に予想される各被害について、発生原因や影響範囲の把握を目的に、迅速な調査の実施に努めていくことが河川管理者としての重要な役割と考える。

謝辞：本論文の執筆にあたり、資料提供、助言を与えてくださった関係各位に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 藤岡公一：濁水が琵琶湖やその周辺河川に生息する魚類へ及ぼす影響、1997
- 2) 村岡敦子、天野邦彦、三輪準二：濁水が魚類に与える影響、高濁度の濁りの場合(特集水質)、2012
- 3) 水産孵化場さけます資源部：河川での濁水と微細砂がサケ科魚類に与える影響