

論文

ダム排砂時のアユのエラに認められた粘土鉱物

田崎和江*・白木康一**・松島唯志***・今西弘樹*

野村正純*・森井一誠*・脇元理恵*

*金沢大学大学院自然科学研究科

〒920-1192 石川県金沢市角間町

**金沢大学理学部地球学科

〒920-1192 石川県金沢市角間町

***黒部川内水面漁業協同組合

〒939-0666 富山県下新川郡入善町高島3806の7

Clay Minerals in the Gill of a Sweet Fish (*Plecoglossus Altivelis Altivelis*) Derived from the Flushing Dam Sediments

Kazue TAZAKI*, Koichi SHIRAKI**, Tadashi MATSUSHIMA***, Hiroki IMANISHI*

Masazumi NOMURA*, Issei MORII* and Rie WAKIMOTO*

*Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan

**Department of Earth Sciences, Kanazawa University

Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan

***Kurobe River within surface water fishermen's cooperative association

3806-7 Takahatake, Nyuzen, Toyama 939-0666, Japan

Abstract

Both Dashidaira and Unazuki Dams on the Kurobe River in Toyama, Japan, equipped with a flushing gate, were flushed out in July 1st, 2006. Experimental 100 sweet fishes (*Plecoglossus altivelis altivelis*) were extinct during one hour of flushing dam sediments. To establish the cause of the death of the sweet fishes, the samples were collected from Kurobe River in order to examine their gills and stomach, which showed tissue damage and choke-up with clay particles, derived from the flushed dam sediments. For comparison between dam sediments and choke-up with clay particles, were analyzed using X-ray powder diffraction and scanning electron microscopy equipped with energy dispersive analyzer. Abundant smectite, chlorite, mica clay minerals and kaolin minerals were found in the gill and stomach of the death body of sweet fishes, suggesting effects of the sediments on downstream ecosystems.

Key words: flushing dam sediments, clay minerals, sweet fish, gill, stomach, Kurobe River

1. はじめに

黒部川は、北アルプスの中央に位置する鷲羽岳を源に発し、日本海に注ぐ日本有数の急流河川である。地質は手取層群以降に貫入した閃緑岩および花崗岩類からなり、風化が進み脆弱化している。流域内の崩壊地は約7,000カ所、崩壊地面積率は約5%にも及び、我が国でも有数の荒廃河川である¹⁾。渓谷に生息している魚類は

イワナだけでなく、愛本から下流には、アユ、ウグイ、ヤマメ、ニジマス、カジカ、ウナギ、コイ、フナなどが生息している。

富山県黒部川に設置されている出し平ダムにおいて、湖底堆積物の排砂および通砂が1991年(平成3年)から毎年行われている。平成13年度から17年度には出し平ダムと宇奈月ダムの連携排砂により、毎年、約59,692.8万m³の堆積物が排出されてきた。昨年2005年(平成17

年)にも6月27日から7月4日にかけて約51万 m^3 の大量の排砂が行われ、河口に砂浜が形成されたほどである。なお、平成18年度の排砂量は昨年の10分の1の5万 m^3 であった。第23回黒部川ダム排砂評価委員会は平成17年6、7月連携排砂及び連携通砂に伴う環境調査結果、データ集を公表している²⁾。そのデータによれば、5、6月時は遡上、放流等により採捕尾数が多かったが、6月下旬－7月中旬にかけて発生した大きな出水直後には減少している。また、大きな出水直後は石の表面の珪藻類が剥離され、アユの胃充満度が低下した。

また、海水と淡水とでは含まれるストロンチウムの濃度が大きく異なるために、回遊魚の耳石のSrの濃度、あるいはSr:Ca比がその個体の回遊行動によく合致し、これを利用して回遊履歴を再構築することができる³⁾。黒部川ダム排砂評価委員会(2005)²⁾は、天然遡上アユを用いて海水飼育実験を行い、耳石のSr:Ca比の変化やSS濃度に対するアユへの影響について報告している。濁水による魚類への影響評価モデルから、イワナへの生理的影響は少なかったと考えている。しかし、出し平ダムの堆積土砂を使った試験は行っていない上、SS濃度に対するアユへの直接的影響については不明である。

一方、著者らも独自の現地調査および採取した濁水と堆積物の研究を行い、排砂による濁水の特徴や下流の環境変化、漁業への影響を明らかにしてきた⁴⁻⁹⁾。昨年、2005年6月29日に真っ黒な濁水が流下し、左岸の湧水地帯にわずかに残った地アユ(*Plecoglossus altivelis altivelis*)を除いて、約1,500万円を投じた放流アユの99.9%のアユが死んだ。その排砂後には2度の通砂もあり、黒部川の濁りは1ヶ月も続き、やっと8月に入ってからアユの放流を再開した。しかし、川底の石に付着していた餌となる珪藻が排砂により削り取られて再生しないため、通常2週間くらいで再生する<石アカ(珪藻)>も濁りのため成長しなかった。下流の河川の石の表面には泥の付着とカワヒビミドロの大量の発生が認められアユの食跡の数が少なかった。そのため排砂後に放流したアユは体皮の艶も失って痩せ細った^{10,11)}。本研究では、本年2006年7月2日の排砂時に採取した濁水の懸濁物質と黒部川で行われたアユの耐性実験結果に焦点を絞り、死んだアユのエラおよび胃腸の内容物を観察・分析し、ダム堆積物と比較した。その結果、この3者はよく似た粘土鉱物組成と化学組成を示し、アユを始めとする下流の生態系と密接な関係を示したので報告する。

2. 調査および分析方法

2006年7月1－2日に黒部川にかかる湖面橋、山彦橋、下黒部橋において、30分ごとに水質測定(pH、酸化還元電位 Eh、溶存酸素 DO、電気伝導度 EC、水温)を行い、濁水の試料を採取した(Fig. 1)。また、濁水中から得た堆積物の窒素、炭素、硫黄成分を定量分析した。さらに、濁水の懸濁物質とアユのエラおよび胃腸の内容物に

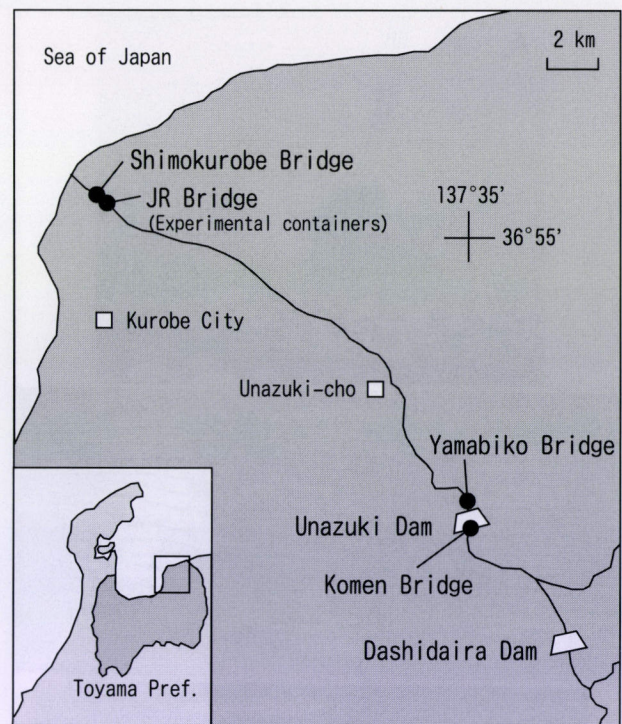


Fig. 1. Location map showing the Dashidaira and Unazuki Dams on the Kurobe River, Toyama, Japan. Experimental containers were set up near JR Bridge.

ついて光学顕微鏡観察(Nikon NTF2A)、X線粉末回折分析(XRD:理学電機製RINT1200型)、X線蛍光分析(XRF:JEOL JSX-3600)、走査型電子顕微鏡観察(SEM-EDX:JSM-5200LV, EDAX PV9800STD)により観察と分析を行った。

2.1 黒部川におけるアユの耐性実験

黒部川にかかるJR鉄橋上流の右岸と左岸において、それぞれ50匹のアユ(*Plecoglossus altivelis altivelis*)を塩ビの網を内側に張った三重構造の鉄格子コンテナに入れた(Fig. 1)。コンテナは長さ1m20cm、高さ80cm、幅80cmであり、岸から約1m、水深50cmの所に設置した(Fig. 2A)。なお生態の異なる魚種と比較するために、それぞれのコンテナの中にヤマメ15尾、イワナ25尾も入れた。なお、実験に用いたアユは黒部川で捕獲したものであり、放流アユは大きく10-15cm、地アユは小さく10cm前後である(Fig. 2B)。魚を入れたコンテナは7月1日18:00に黒部川に設置した。7月2日0:30からアユが死に始め、死んだアユは直ちに網ですくい、クーラーボックスに入れた。翌日、実験室で解剖し、エラの部分と胃腸の部分を取り出し、光学顕微鏡で観察した(Fig. 2C)。そのエラの部分は、順次低濃度から高濃度のエタノールで脱水置換し、t-ブチルに入れた後、試料台にのせ、炭素蒸着を施し走査型電子顕微鏡観察を行った。一方、エラと胃腸を分離したものについてX線粉末回折分析を行い、粘土鉱物組成を調べた。

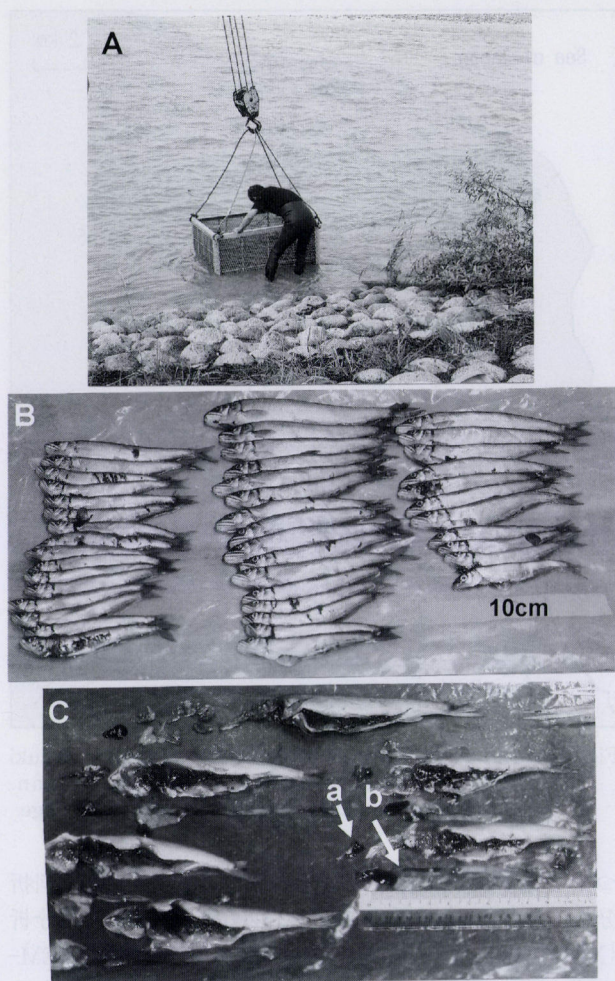


Fig. 2. Field experiment of tolerance of sweet fish at JR Bridge on Kurobe River, Toyama, during flushing dam sediments in July 1st and 2nd 2006. A; experimental container, B; death sweet fishes during flushing dam sediments, C; anatomy of sweet fishes showing gill and internal organ.

2.2 X線粉末回折による鉱物同定

7月2日3:00に湖面橋で採水した濁水中の懸濁物質、解剖して取り出したアユのエラまたその胃の内容物についてX線粉末回折分析を行った。懸濁物質に関してはバルク試料と5 μ m以下のフラクションを分析し、アユの試料についてはバルク試料のみ分析した。理学電機(株)製RINT1200を使用し、対陰極:Cu(K α), 走査速度:1°/min., スリット系DS-RS-SS:1/2°-1/2°-0.3°, グラファイトモノクロメーターによるK β 線除去の条件下で行った。5 μ m以下フラクションを用いた粘土鉱物の分析では、エチレングリコール処理(EG処理)、塩酸処理、加熱処理を行った。EG処理はスライドガラスの定方位試料に直接EGを滴下し、塩酸処理は6規定塩酸溶液で1時間の湯煎加熱の後蒸留水で3回洗浄する手順で行った。加熱処理では、石英ガラス上の定方位試料を700°Cで1時間加熱し冷却直後に測定を行った。

3. 実験結果

3.1 現地における水質測定結果

下黒部橋における現地での水質測定および翌日の再測定の結果をFig. 3に示す。7月2日3:00~7:00の自然流下時には懸濁物質(SS:棒グラフ)が急速に増加した。また、それに対応してEhおよびDOの顕著な減少とECの増加が認められた。なお、pHは約7で大きな変化は認められなかった。また、試料採取1日後のEh, DO, ECの再測定の結果は排砂当日よりさらに変化が顕著に認められた。なお、比較のためにダムのない片貝川の落合橋で水質測定を行ったが、いずれの水質項目にも変化は認められなかった。

Simokurobe Bridge

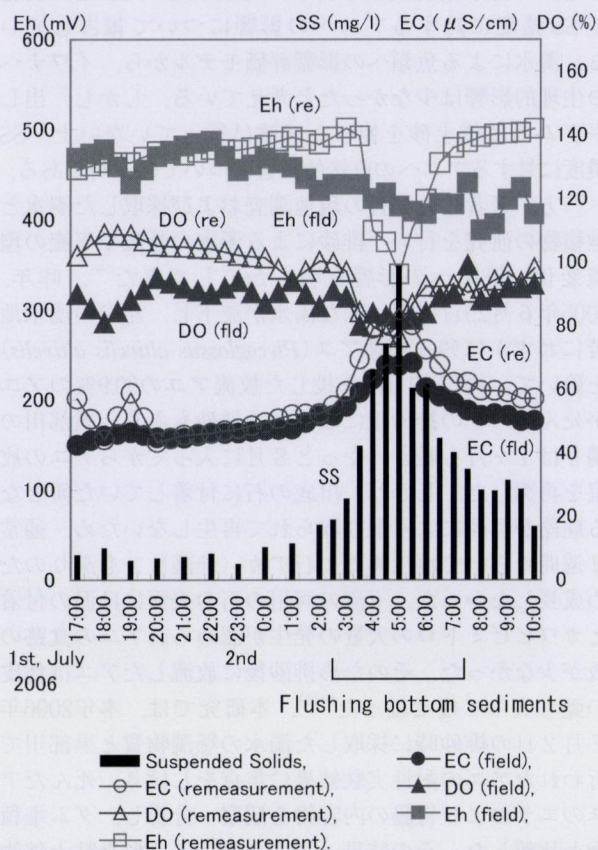


Fig. 3. The Eh, EC, SS, and DO values of river water at Shimo-Kurobe Bridges during flushing of Dashidaira- and Unazuki- dams from July 1st and 2nd 2006. The DO and Eh data indicate much less oxygen are associated with high EC and high suspension substances (SS) during flushing bottom sediments at 3:00-7:00. re: re-measurement, fld: field measurement.

3.2 アユ耐性実験結果と光学顕微鏡観察結果

7月2日の自然流下時にJR鉄橋上流で行った、アユの耐性実験結果は下記の通りである。右岸と左岸のコンテナ内で死んだアユの総数は、7月2日 0:30(3尾), 1:00(60尾), 1:30(30尾), 2:00(4尾), 5:00(3

尾)であり、約5時間内で100尾全部が死んだ。なお、比較のために入れたヤマメ30尾のうち1尾が2:30に死に、イワナ50尾はまったく死ななかった。また、一部の小さいアユは内蔵が飛び出したり、エラが溶けており、しばしば口の先端が赤くなったり、皮膚がざらざらし白く変色していた。一般に小さいアユが早く死に、大きなアユは遅くまで残するという傾向が認められた。採取した濁水の水面、水中、堆積物を光学顕微鏡で観察したところ、DAPI染色で青色を呈する生きた球菌や桿菌などの微生物も多数観察された。

3.3 X線粉末回折による鉱物同定結果と蛍光分析による化学組成

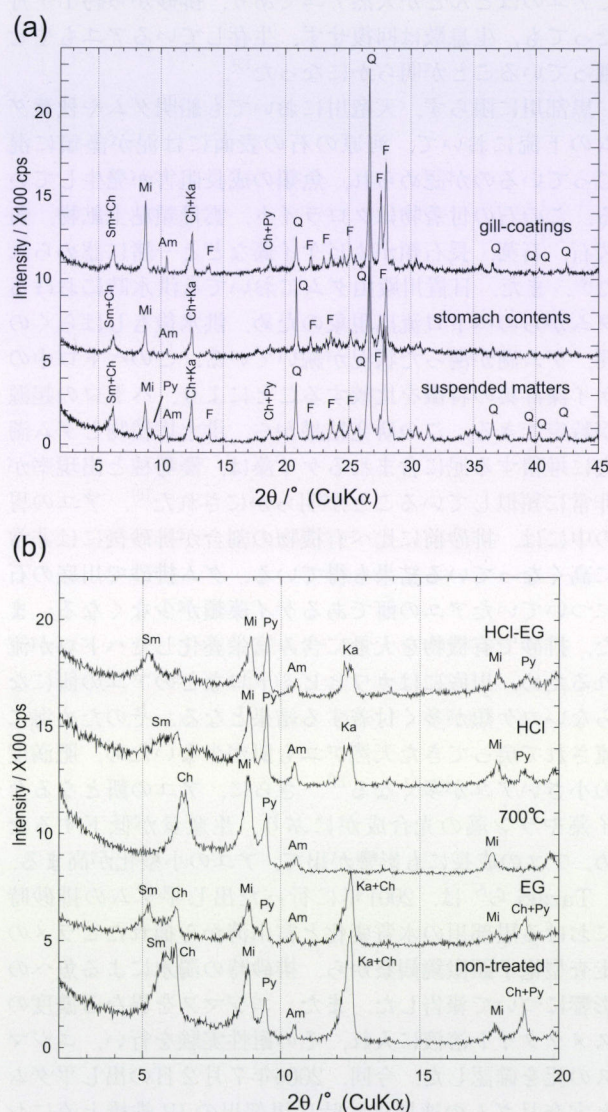


Fig. 4. X-ray powder diffraction analyses of gill and stomach contents in sweet fishes, indicating that their XRD patterns are very similar to suspended matters from dam sediments (a). Clay mineralogy of dam sediments (b). Abbreviations: Q, quartz; F, feldspars; Am, amphibole; Mi, mica and mica clay minerals; Sm, smectite; Py, pyrophyllite; Ch, chlorite; Ka, kaolin minerals.

7月2日の自然流下時に湖面橋で採取した懸濁物質のX線粉末回折分析結果は、石英、長石類、角せん石のほか、クロライト、スメクタイト、雲母類粘土鉱物、パイロフィライト、カオリン鉱物が認められた (Fig. 4). 蛍光分析による化学組成はAl, Si, Feが多く、Mg, S, P, K, Ca, Ti, Mnも検出され、粘土鉱物組成と相関している。また、PおよびSが自然流下時の試料のみに認められたことは濁水中の有機物や微生物の存在を反映している。さらに、Al/Siの比率も鉱物組成と合致している。すなわち、自然流下時はAl/Si比は高く0.25を、それ以降は0.15-0.21を示している。

また、懸濁物質のバルク試料とアユの胃の内容物、アユのエラに付着した粒子を比較したが、三者とも良く似

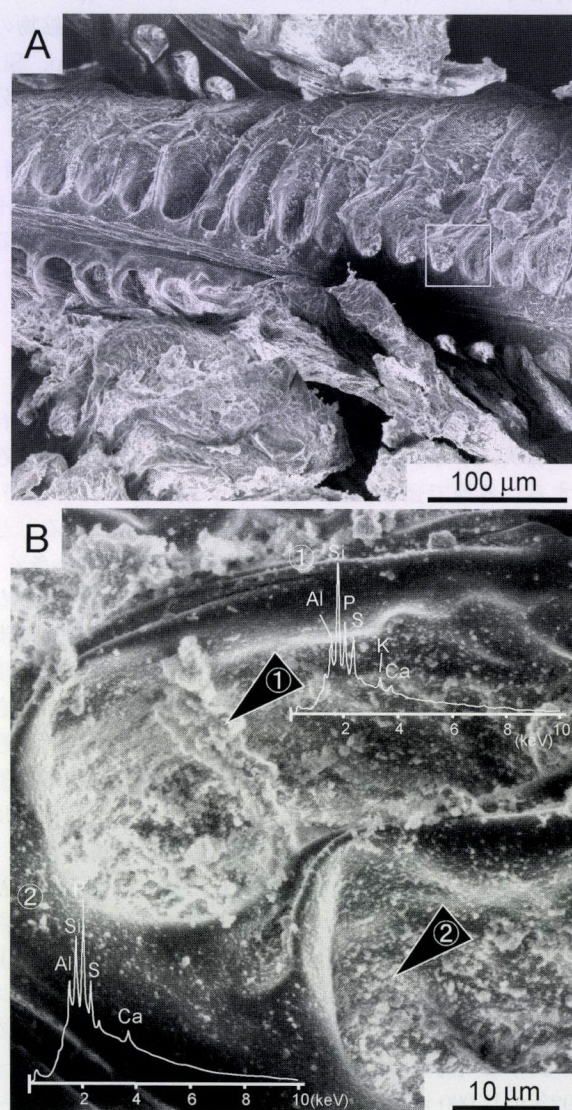


Fig. 5. Scanning electron microscopic observations of gill of sweet fishes (A). Energy dispersive analyses showed presence of fine mineral and clay mineral particles in the tissue, due to high contents of suspension substances came from bottom of dam sediments (B). Closed-up micrograph and analytical points (1 and 2 arrows) (B).

たプロフィールを示した (Fig. 4a). 懸濁物質に含まれる粘土鉱物同定のため5 μ m以下のフラクションを用いて各種処理を行った (Fig. 4b). その結果スメクタイト、クロライト、パイロフィライト、雲母類粘土鉱物、カオリン鉱物が認められた。スメクタイトは塩酸処理で反射が消失しないことからAl質である。これらの結果は2005年の排砂時と同様の鉱物組成を持つことが明らかになった (未公表)。

3.4 アユのエラの走査型電子顕微鏡観察結果

7月2日の自然流下時に、黒部川にかかるJR鉄橋上流において死んだアユのエラの走査型電子顕微鏡とエネルギー分散分析結果は、多量の微粒子が組織内に入り込み付着している様子が顕著に認められた (Fig. 5)。ひだ状のエラの表面や組織内には、鉱物および粘土鉱物の μ mサイズの微粒子が顕著に認められ、Mg, Al, Si, K, Caを多く含んでいる。一方、エラの有機物の部分にはPとSが多く認められ、バックグラウンドも高い。また、球状の微生物と思われるものも表面に認められる。さらに、表面が平滑でかつ自形をした100 μ mサイズの石英や長石類の大きな粒子もエラに入り込んでいるのが観察された。

4. 考 察

アユは川底の付着藻類という限られた食べ物で生育し、晩秋に川で生まれた幼魚は海へ降り、春には川を遡上する。各地で琵琶湖産の稚アユが放流されているが、川と海を行き来して暮らし、全長10–30cmになる。しかし、在来のアユの環境の変化で最近では体長も小さく、かつ、その数も激減している^{12,14)}。川にダムや堰がなかった近代以前は、日本の川にひしめいていたアユは海産アユであった。その遡上力は強く、どのように長い川であっても、ダムがなければ最上流まで上ることができた。しかし、近年河川環境が悪化し、海産アユの天然遡上が見られる川が急速に減少し、大きな川における生態系への影響が危惧されている^{15,16)}。アユの成魚は秋に川の中流域に産卵し、ふ化した幼魚は流されて海に行く。海中でプランクトンを食べて成長した稚アユは春から初夏にかけて川を上る。このような天然アユに対して、琵琶湖などからの放流アユもあり、農水省の調べでは2005年のアユの漁獲量は7,141トンで、天然アユと放流アユの比率はほぼ2:1である。6月1日前後に解禁となるアユ釣りは川釣りの代表とされるが、その漁獲量は1990–1992年の17,000トン、1993–1997年の12,000トン、1998–2002年の10,000トンと比べ、年々激減している (農水省の調べ)。高橋¹³⁾は直接の原因は山の崩壊であり、ダムが污水対策をとっていないため濁りが長期化していると述べている。河川と海を移動するアユにとって、排砂による影響を直接、かつ、長期的に受けることになる。また、ダムはその中間点である河口の砂州を大きく浸食

し、重要な地形の変化と地域的な環境の変化を引き起こすことが報告されている¹⁷⁾。

黒部川においても、6月のアユ漁解禁が、排砂後ではアユがいなくなるので、採捕期間を少しでも延ばしたいと、平成17年は他の河川よりも解禁日を2日前倒しにした。北陸の農政局がまとめた富山農林水産統計年報によれば、黒部川のアユの漁獲量は1993年度までは8–11トンであったが、1994年度から0–4トンに激減した。黒部川内水面漁業協同組合はダムの排砂の影響で放流したアユが激減し、かつ、大きくならないため独自の調査を始めた^{10,11)}。2005年6月27日の排砂前には657尾いたアユが、排砂後の7月6日には75尾、24日には81尾と排砂を機に減少していることが明らかになった。その生き残ったアユのほとんどが天然アユであり、排砂から約1ヶ月たっても、生息数は回復せず、生存しているアユもやせ細っていることが明らかになった¹³⁾。

黒部川に限らず、天竜川においても船明ダムや秋葉ダムの下流において、河原の石の表面には泥が藻類に混じっているのが認められ、魚類の成長障害が発生している。この石の付着物はクロライト、雲母類粘土鉱物、角閃石、石英、長石類がオビケイ藻などと一緒に認められた¹⁸⁾。また、日置川殿山ダムにおいても洪水時におけるダムからのヘドロ流出現象のため、洪水後もしばらくの間、ダム湖が濁った状況が続いている。このヘドロ中のケイ藻群集の特徴を比較することにより、ヘドロの起源が特定できる。この研究結果から、洪水堆積物とダム湖底に堆積する泥に含まれるケイ藻は、優勢種と出現率が非常に類似していることが明らかにされた¹⁹⁾。アユの胃の中には、排砂前に比べ有機物の割合が排砂後には非常に高くなっている結果も得ている。ダム排砂で川底の石についていたアユの餌であるケイ藻類が少なくなる。また、排砂で有機物を大量に含み富栄養化したヘドロが流れるため、川底にはカワヒビミドロなどのアユの餌にならないコケ類が多く付着する結果となる。そのため海に流されて戻ってきた天然アユも餌が少ないため、肥満度の小さいアユが多くなる¹³⁾。さらに、アユの餌となるケイ藻やラン藻の光合成がにぶり、生産量が低下するため、アユの成長にも影響が出て、アユの小型化が高まる。

Tazaki ら⁸⁾は、2001年に行った出し平ダムの排砂時における黒部川の水質変化と富山湾から捕れたヒラメの走査型電子顕微鏡観察から、排砂時の濁水による魚への影響について報告した。また、ニジマス異なる濃度のスメクタイト溶液に入れ、その耐性実験を行い、ニジマスの死を確認した。今回、2006年7月2日の出し平ダムと宇奈月ダムの連携排砂時に黒部川のJR鉄橋上流において、アユの耐性実験を行ったところ、2時間で98尾が、5時間後には残る2尾も死に全滅した。電子顕微鏡観察により、アユのエラに微細な粘土粒子や石英や長石類の鉱物粒子が詰まっていることを明らかにした。これらの原因は排砂時、特に、排砂ゲート開操作後や自然流下時の酸化還元電位 (Eh) と溶存酸素 (DO) の低下、

懸濁粒子と有機物の増加などが水質を変化させ、かつ、流速、水圧、粒子による物理的ダメージ、nm サイズの微粒子による生体への影響が考えられる。一般に、安定した水温で飼われた人工産アユは胸腺の発達が悪く、抗体を作る組織が発達しにくく、対抗力が弱いと言われている¹⁵⁾。最近、稚魚がダム湖に下り、春にダム湖から遡上してくるくダム湖産アユ>が人工的に生産され、放流されるようになった。ダム湖により分断化されたアユの生活サイクルが、ダム湖を海に見立てることにより再構築されたものである。琵琶湖産のアユに代わり、このダム湖産アユが主流を占めるようになったとしても、本研究結果により、地アユも放流アユもともにダムの排砂による泥水には非常に弱いことが明らかになった。ダムから排出された堆積物とアユのエラと胃腸につまっていた物質の X 線粉末回折分析および走査型電子顕微鏡観察から、この3者が同一のものであることを明らかにした。

謝 辞

黒部川内水面漁業協同組合の皆様には現地でのアユの耐性実験と試料提供の便宜をはかっていただき、厚くお礼申し上げます。排砂時の現地調査では、金沢大学大学院自然科学研究科、田崎ゼミの院生の皆様にはお世話になり、感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 西川 一・はしの木敏仁 (2006) 砂防学会誌59, 64-72.
- 2) 黒部川ダム排砂評価委員会 (2005) 平成17年6, 7月連携排砂及び連携通砂の実地経過について. 平成17年度調査内容と実施状況, 1-21.
- 3) 新井崇臣 (2002) 魚類学雑誌49, 1-23.
- 4) 田崎和江・国峯由貴江・森川俊和 (2001) 粘土科学41, 64-74.
- 5) 田崎和江・縄谷奈緒子・国峯由貴江・名倉利樹・脇元理恵・朝田隆二・渡辺弘明・永井香織・池田頼正・佐藤一博・瀬川宏美・宮田浩志郎 (2002) 地質学雑誌108, 435-452.
- 6) 田崎和江・国峯由貴江・森川俊和・Chaerun, S.K.・朝田隆二・宮田浩志郎・脇元理恵・池田頼正・佐藤一博・瀬川宏美・小路奈々絵・藤沢亜希子・盛一慎吾 (2003) 汽水域研究10, 1-17.
- 7) 田崎和江 (2003) 島根大学地球資源環境学研究報告22, 31-37.
- 8) Tazaki, K., Sato, M., Van der Gaast, S. and Morikawa, T. (2003) Clay Minerals, 38, 243-253.
- 9) 田崎和江・金沢大学理学部地球学科田崎ゼミ生調査団 (2004) 地球科学58, 357-359.
- 10) 黒部川内水面漁業協同組合 (2004) 平成16年度黒部川生息調査 I-VIII 98頁.
- 11) 黒部川内水面漁業協同組合 (2005) 平成17年度黒部川生息調査 I-VI 123頁.
- 12) 森 文俊・内山りゅう・山崎浩二 (2005) 淡水魚山と溪谷社 東京 281頁.
- 13) 角幡 唯 (2006) 川の吐息, 海のため息; ルポ黒部川ダム排砂 桂書房 富山 305頁.
- 14) 高橋勇夫 (2006) ここまでわかったアユの本 築地書館 東京 265頁.
- 15) 伊藤 稔 (2005) 鮎釣りをやってみよう つり人社 東京 191頁.
- 16) Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M. and Revenga, C. (2005) Science, 308, 405-408.
- 17) Yang, Z., Wang, H., Saito, Y., Milliman, J. D., Xu, K., Qiao, S. and Shi, G. (2006) Water Resources Research, 42, w04407-04417.
- 18) 中山 俊・田崎和江 (2005) 日本地質学会第112年学術大会, 講演要旨, 318.
- 19) 国土問題研究会 (2005) 特集 ダムヘドロ災害 国土問題研究会66 59頁.