

論文

ダム堆積物の連携排砂が黒部川の下流に与える影響, その2

— 連携排砂時の水質変動と懸濁物質の特性 —

田崎和江・国峯由貴江・森川俊和

金沢大学理学部地球学科

〒920-1192 石川県金沢市角間町

Dam Sediments Impacts on Downstream of Kurobe River, Part 2

— The evaluation of water quality and suspension chemistry
during discharge of dam sediments —

Kazue TAZAKI, Yukie KUNIMINE and Toshikazu MORIKAWA

Faculty of Science, Department of Earth Sciences, Kanazawa University
Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan

Abstract

In 1985, Dashidaira dam with discharge gate had been built for the first time in Japan, at Kurobe River in Toyama Prefecture. Six years later, in 1991, the dam sediments were flushed out for the first time and impacted on the downstream of Kurobe River. The dam sediments and the suspension contained a large amount of organic matter (with high C, N and S contents) with sludge-smell. The annual catch of benthic fishes (exp. flatfish) and the annual haul of wakame seaweed have been decreased year by year since the first discharge of the dam sediments in 1991. Until now, it has been reported that the sludge has deposited in the Toyama Bay which is apprehensive of influence of discharged dam sediments, because suspended particles affect the fish's gill respiration.

In this study, suspension of river water were collected at three bridges during discharge from Dashidaira and Unazuki Dam in June 19th - 22nd and in June 30th - July 2nd, 2001. River water quality and suspended solid were analyzed chemically, physically and mineralogically. Extremely low DO and Eh values were observed at the periods during first discharge in June 19th - 22nd at two bridges. Moreover, during second discharge in June 30th - July 2nd, DO and Eh values were constant. Therefore it was shown that drastic decreased of DO and Eh values were a peculiar phenomenon during first discharge in June 19th - 22th, 2001. The results of NCS elemental analyses were suggested that high organic contents were related with drastic decreased of DO and Eh values. Clay mineralogy of both Unazuki Dam sediments and suspended solid on the seabed at the offing of Kurobe River mouth, show abundant smectite with chlorite, mica clay minerals and kaolin minerals, suggesting those are the almost same origin. The dam sediments associated with organic matter impacted on downstream and the seabed, and was the cause of affecting benthic fishes and wakame seaweed.

Key words: Dam Sediments, Water quality, Organic matters, Discharge, Suspension, Sludge.

1. はじめに

第二次世界大戦後、日本において、利水、治水を目的としたダムが多数建設され、現在もその数は年々増加し続けている。一方、近年、ダム建設が原因で日本における海魚の漁獲量は急減している。1984年の漁獲量は1159

万tと世界一を誇っていたが、1998年には531万tと半分以上に落ち込み、現在、日本は世界一の海産物輸入国となっている¹⁾。また、ダムの建設は下流域における河床の低下、海岸の浸食、さらに、生態系にも大きな影響を与えている。長野県の脱ダム宣言やアメリカにおけるダム破壊運動にみられるように、ダム建設は、地球環境

問題に発展している。すでに建設されたダムにおいて、貯水池内の堆砂が進行することで、ダムの貯水機能が低下し、ダム本来の機能が果たせないダムが多数発生している¹⁾。これらの問題の解決策として、欧州諸国では、生態系を維持するための魚道の設置、ダム貯水池に流入する土砂量を軽減するための排砂バイパストンネルの設置、ダム貯水池に堆積した土砂を下流へ排出する排砂ゲートの設置を行っている²⁻⁶⁾。日本でも、1985年に富山県黒部川水系約26 km 上流に、排砂ゲートを設置した出し平ダムが建設された⁷⁾。6年後の1991年12月には、わが国で初めて、ダムの排砂ゲートからの直接排砂が行われた。その際、ダムからは土砂だけではなく多量の汚泥が排出され、下流域には悪臭が満ち、生態系にも大きな影響を与えた⁸⁾。その後も1999年までに計8回の排砂が行われてきた。なお、1991年の排砂以降、黒部川河口沖から北東の泊沖にかけて行われている刺し網漁業や飯野沖のワカメ養殖場に大きな被害が出た。ワカメ養殖は、1992年～1994年の3年間で品質が低下し、水揚げ量も激減、現在は全滅に等しい状態に陥っている (Fig.1)。さらに、刺し網漁業については、横山、泊漁協とも1995年から急激に水揚げ量が減少し続けている。すなわち、出し平ダムの排砂量と漁獲量の減少はよく一致している (Fig.1)。出し平ダムの排砂の影響が懸念される富山湾への汚泥の堆積や懸濁微粒子の魚介類に与える影響については別報で報告している⁹⁾。

さらに、2000年には出し平ダムの約6 km 下流に同じく排砂ゲートを設置した宇奈月ダムが建設された。2001年6月19日には、出し平ダムと宇奈月ダムの両方の排砂ゲートを開放し、ダム貯水池に堆積した土砂を下流に排出する連携排砂が初めて行われた。

本研究では、2001年6月19日から22日にかけて行われた出し平ダムと宇奈月ダムの連携排砂 (First discharge) 時における黒部川の河川水の水質、懸濁物質の鉱物・化学組成、さらに含有有機物の特性について研究し、排砂が下流に与える影響を検討した。また、連携排砂後の2001年6月30日から7月2日にかけて行われた連携通砂 (Second discharge) 時の黒部川の河川水についても分析し、連携排砂時と連携通砂時との河川水の比較を行った。その結果、連携排砂時には、下流の河川水の溶存酸素量が極端に低下し還元状態になる時期があったこと、また、その還元的な河川水の中に懸濁する物質は相対的に有機物を多く含有しており、下流域の生態系に大きな影響を及ぼすことが明らかになったので報告する。

2. 試料

本研究で用いた連携排砂 (First discharge) 時の黒部川の河川水試料は、2001年6月19日から6月22日にかけて下黒部橋、黒部大橋および愛本橋付近において採取した (Fig.2)。それぞれの橋は、出し平ダムから約25 km, 21 km, 12 km の地点にある。試料は河岸より30～60分

毎に表層水を採取し、500 ml のペットボトルに口元まで水を入れ、空気が入らない状態で密閉した。試料数は下黒部橋で63試料、黒部大橋で53試料そして愛本橋で23試料である。また、連携通砂 (Second discharge) 時の

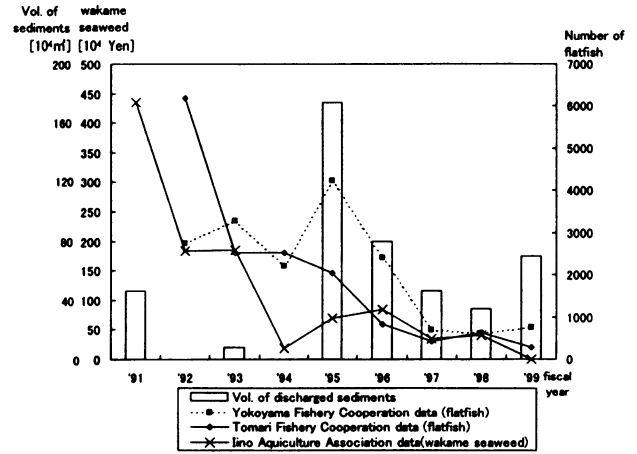


Fig.1 Annual catch of flatfish at Yokoyama and Tomari Fishery Cooperation and annual haul of wakame seaweed at Iino Aquiculture Association within nine years. The decrease of annual catch and haul are related with volume of discharged sediments from Dashidaira Dam.

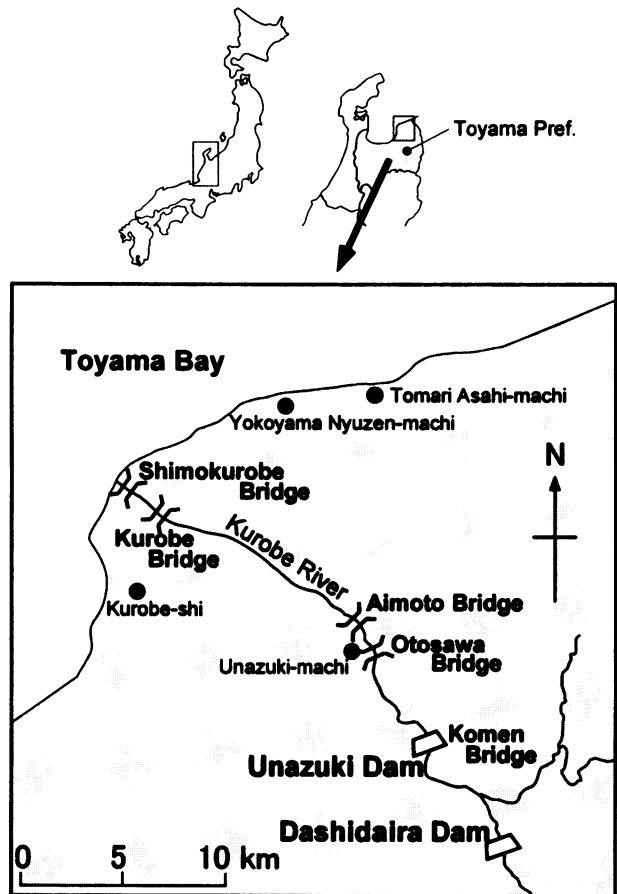


Fig.2 Location of two dams (Dashidaira and Unazuki) and suspension sampling points at three bridges (Aimoto, Kurobe and Shimokurobe) along Kurobe River.

黒部川の河川水試料は、2001年6月30日から7月2日にかけて下黒部橋および黒部大橋付近において、連携排砂時の試料と同様に採取した。試料数はそれぞれ下黒部橋で69試料、黒部大橋で48試料である。なお、連携排砂 (First discharge) と連携通砂 (Second discharge) における出し平ダムおよび宇奈月ダムの排砂ゲートの開放、閉鎖時刻を Table 1 に示した。

また、これら河川水試料の他に、連携排砂中の6月21日6:00ごろ、宇奈月ダム貯水池の水位が低下した際、湖面橋において宇奈月ダム貯水池の堆積物を、さらに、6月22日13:00に黒部川河口沖 (36° 55.5', 137° 25.9', 水深 50m) において海底付近の懸濁物質を採取した。

Table 1 Time schedule of discharge gate at Dashidaira Dam and Unazuki Dam.

		Discharged date and time		Dashidaira Dam	Unazuki Dam
First discharge	a	June 19, 2001	15:34	open the discharge gate	
	b	June 20, 2001	20:00		open the discharge gate
	c	June 21, 2001	22:42	close the discharge gate	
	d	June 22, 2001	2:10		close the discharge gate
Second discharge	e	June 30, 2001	20:24	open the discharge gate	
	f	July 1, 2001	11:20		open the discharge gate
	g	July 2, 2001	4:33	close the discharge gate	
	h	July 2, 2001	12:00		close the discharge gate

a~h; corresponds to Fig. 3~7, respectively.

3. 実験方法

3.1. 黒部川河川水の水質測定

出し平ダム、宇奈月ダムの連携排砂が行われた2001年6月19日から6月22日、および連携通砂が行われた同年6月30日から7月2日に採取した河川水試料の pH, 酸化還元電位 (Eh), 電気伝導度 (EC), 溶存酸素量 (DO) の測定を行った。それぞれの測定には HORIBA カスタニー-LABpH メーター-F-24, HORIBA カスタニー-ACTpH メーター-D-13, HORIBA カスタニー-ACT 導電率メーター-ES-12, HORIBA ハンディ溶存酸素メーター-OM-12 を用いた。水質測定は、現地において 500 ml ペットボトルに密閉した試料を実験室に持ち帰り、ピーカーに移した直後に測定を行った。連携排砂時の試料については6月22日夜から6月23日の朝にかけて、また、連携通砂時の試料については7月3日午後から7月4日の朝にかけて測定を行った。なお、連携排砂時には、宇奈月ダム貯水池にかかる湖面橋および愛本橋より約 3 km 上流の音沢橋においても河川水を採取し、現地で水質測定 (pH, Eh, EC, DO 測定) を行った。それぞれの試料数は湖面橋で21試料、音沢橋で6試料であり、DO は 7.6~10.6 mg/l であった。また、連携排砂、連携通砂時以外にもダムの下流域において現地で水質測定を行っており、DO は 5.0~9.4 mg/l であった (Table 2)。実験室で測定した連携排砂時と連携通砂時の値について、DO が極端に低くなった時を除くと 5.2~8.6 mg/l である。したがって、今回、実験室での DO 測定値と現地での測定値との差は 1~2 であると考えられる。

Table 2 Daily river water quality of Kurobe River measured on the site.

Date	River water quality				Measuring point	
	pH	Eh (mV)	EC (μ S/cm)	DO(mg/l)		
September 3, 2000	15:45	6.1	270	70.0	5.2	Aimoto Bridge
	16:15	6.9	270	67.0	7.0	Otosawa Bridge
	17:30	7.1	260	68.0	5.8	Otosawa Bridge
	20:00	6.9	270	69.0	7.6	Aimoto Bridge
September 4, 2000	7:30	6.9	260	65.0	5.7	Aimoto Bridge
	7:45	6.7	270	74.0	5.4	Otosawa Bridge
November 24, 2000	7.0	280	80.0	8.7	Shimokurobe Bridge	
January 25, 2001	6.3	340	71.0	9.2	Shimokurobe Bridge	
February 8, 2001	6.8	450	86.0	5.0	Shimokurobe Bridge	
May 28, 2001	6.4	282	53.3	6.0	Kurobe Bridge	
June 28, 2001	6.2	335	51.0	6.1	Shimokurobe Bridge	
July 16, 2001	7.2	250	69.5	9.4	Kurobe Bridge	

A: Refresh treatment
B: Before first discharge
C: After first discharge
D: After second discharge

3.2. 河川水の懸濁物質の X 線粉末回折分析 (XRD 分析)

連携排砂時および連携通砂時の下黒部橋で採取した河川水試料のうち、連携排砂時の DO が 5.0 mg/l 以下を示した 8 試料とその前後の 13 試料、および連携通砂時の 3 試料の計 24 試料について、鉱物組成を XRD 分析により同定した (Table 3)。分析には理学電機製 RINT2200 型 X 線回折装置を使用し、CuK α 線を用いて電圧 40 kV, 電流 30 mA で分析を行った。懸濁物質の測定は全岩試料をコクサン製卓上遠心機 H-26F を用いて濃縮したものをスライドガラスに塗布し、乾燥させた後分析を行った。14 Å の反射を示した粘土鉱物の同定のために、エチレングリコール処理を施し、分析を行った。エチレングリコール処理試料は、関東化学製 1 級エチレングリコールを使用し、噴霧法で作成し、湿潤状態で分析した。なお、加熱処理によるクロライトおよびパーミキュライトの区別は行っていない。

Table 3 The sampling time schedule and the river water quality at Shimokurobe Bridge. XRD, ED-XRF, NCS and SS analyses were carried out for the suspensions.

Date	River water quality				Suspension				
	pH	Eh (mV)	EC (μ S/cm)	DO(mg/l)	XRD	ED-XRF	NCS	SS	
June 20, 2001	12:00	6.4	330	52.5	7.0	○	○	○	○
	18:00	6.4	345	51.7	7.5	○	○	○	○
	19:10	6.1	349	53.7	4.8	○	○	○	○
	20:00	4.6	-75	69.4	1.8	○	○	○	○
	20:30	4.2	-184	74.1	1.5	○	○	○	○
	21:30	6.2	309	51.1	6.5	○	○	○	○
	22:00	4.2	-300	79.3	1.3	○	○	○	○
	23:00	6.0	275	52.2	7.1	○	○	○	○
June 21, 2001	0:00	5.8	293	49.5	3.5	○	○	○	○
	1:00	6.2	282	68.4	7.9	○	○	○	○
	3:00	6.4	306	55.0	7.7	○	○	○	○
	11:30	6.6	327	64.5	7.6	○	○	○	○
	12:00	5.2	141	85.7	1.1	○	○	○	○
	13:00	6.4	333	61.1	7.6	○	○	○	○
	13:30	6.2	327	70.7	4.2	○	○	○	○
	15:00	6.6	335	62.1	7.7	○	○	○	○
	16:00	5.6	194	68.2	1.1	○	○	○	○
	16:30	6.3	304	58.6	7.5	○	○	○	○
17:00	6.2	328	59.5	5.7	○	○	○	○	
17:30	6.5	335	57.1	8.0	○	○	○	○	
June 22, 2001	0:00	6.0	356	58.0	8.0	○	○	○	○
July 1, 2001	1:00	6.5	279	46.5	7.2	○	○	○	○
	3:00	5.9	289	44.5	7.8	-	-	○	○
	4:30	6.6	259	41.5	6.8	-	-	○	○
	7:00	6.6	258	42.8	8.6	-	-	○	○
	10:30	6.6	271	48.7	7.2	-	-	○	○
	13:00	6.9	274	50.6	7.9	○	○	○	○
	15:00	6.9	275	54.1	7.5	-	-	○	○
	15:30	6.8	281	57.7	7.0	-	-	○	○
July 2, 2001	18:30	7.0	286	63.1	7.0	-	-	○	○
	0:30	6.7	258	60.9	7.9	○	○	○	○
	2:00	6.4	264	59.7	6.8	-	-	○	○
	2:30	6.4	284	59.7	7.9	-	-	○	○
	5:30	6.6	291	58.1	7.3	-	-	○	○

○: analyzed
-: not analyzed

3.3. 河川水の懸濁物質のエネルギー分散型蛍光X線分析 (ED-XRF 分析)

連携排砂時および連携通砂時の下黒部橋で採取した河川水試料のうち, XRD 分析に用いた試料について, ED-XRF 分析により含有元素の半定量分析を行った (Table 3). 分析には日本電子製エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 JSM-3201, Rh-K α 線源を用い, 加速電圧 30 kV で FP (ファンダメンタルパラメーター) -バルク法により半定量分析を行った. それぞれの試料はコクサン製卓上遠心機 H-26F を用いて懸濁物質を濃縮し, マイラーフィルム上に塗布し乾燥させたものを使用した.

3.4. 河川水の懸濁物質の窒素, 炭素, 硫黄含有量の定量分析

連携排砂時および連携通砂時の下黒部橋で採取した河川水試料のうち, 連携排砂時の DO が 5.0 mg/l 以下を示した 8 試料とその前後の 13 試料, および連携通砂時の 13 試料の計 34 試料について懸濁物質の量を測定したものと同一計 34 試料について, NCS 元素分析装置 (株式会社アムコ製, NA2500) を使用し, 懸濁物質中の窒素, 炭素, 硫黄の定量分析を行った (Table 3). 分析にはコクサン製卓上遠心機 H-26F を用いて濃縮し, 乾燥させた懸濁物質を粉末にしたものをそれぞれ約 2 mg ずつ用い, 1 試料につき 2 回分析を行い, 平均を求めた. 検量線の作成は K-factor 法を採用し, 標準試料には Sulfanilamide Standard (C₆H₈N₂O₂S, C; 41.84 %, H; 4.68 %, N; 16.27 %, S; 18.62 %) を使用した.

3.5. 河川水の懸濁物質量の測定

連携排砂時および連携通砂時の下黒部橋で採取した河川水試料のうち, 懸濁物質の窒素, 炭素, 硫黄含有量の定量分析を行ったものと同一計 34 試料についてその懸濁物質量の測定を行った (Table 3). 河川水試料 50 ml からコクサン製卓上遠心機 H-26F を用いて懸濁物質を濃縮し, それを 24 時間 110°C で乾燥させた後, その重量を測定した.

3.6. 宇奈月ダムの堆積物と黒部川河口沖で採取した懸濁物質の粘土鉱物組成

連携排砂中の 6 月 21 日 6:00 ごろ, 宇奈月ダム貯水池の水位が低下した際, 湖面橋において採取された宇奈月ダム貯水池の堆積物および, 6 月 22 日 13:00 に黒部川河口沖 (36° 55.5', 137° 25.9', 水深 50m) において採取された海底付近の懸濁物質の粘土鉱物組成を XRD 分析により同定した. 分析には理学電機製 RINT1200 型 X 線回折装置を使用し, CuK α 線を用いて電圧 40 kV, 電流 30 mA で分析を行った. 定方位試料の測定はコクサン製卓上遠心機 H-26F を用いて 2 μ m 以下の粒子を分離, 濃縮したものをスライドガラスに塗布し, 乾燥させた後分析を行った. 14 Å の反射を示した粘土鉱物の同定のために, エチレングリコール処理を施したものにつ

いても分析を行った. エチレングリコール処理試料は, 関東化学製 1 級エチレングリコールを使用し, 噴霧法で作成し, 湿潤状態で分析した. また, 14 Å の反射がシフトしなかった試料については Gaast and Kuhnel (2001)¹⁰⁾ の湿度調整 X 線粉末回折分析法を用いて同定した. その詳細は別報にて報告している⁹⁾.

4. 結果

4.1. 水質測定結果

連携排砂の行われた 2001 年 6 月 19 日から 22 日にかけて測定した水質の結果を Fig.3~5 に示す. なお, 湖面橋および音沢橋の現地で測定した値は, ともに愛本橋から採取した河川水の試料の水質とよく似ている結果を得ているので, ここでは省略して図では示していない.

愛本橋における連携排砂中の pH, Eh, EC, DO はそれぞれ大きな変動はみられず一定している (Fig.3). 連携排砂中の pH は約 6.4, Eh は約 250 mV, EC は約 57 μ S/cm, そして DO は約 7 mg/l を示した.

黒部大橋では, pH が約 6.4, Eh が約 280 mV, そして EC が約 58 μ S/cm と上流の愛本橋とほぼ同様の値を示している (Fig.4). しかし, 6 月 20 日の 9:00 と 13:00 の DO がそれぞれ 2.4, 3.3 mg/l と急に減少し, 21 日の 1:30 と 3:30 にも DO はそれぞれ 2.3, 1.2 mg/l という低い値を示した. この 4 回の DO の低下は, 愛本橋では認められなかった.

また, 最も下流に位置する下黒部橋では, EC のみが他の観測地点と同様の約 58 μ S/cm を示したが, pH, Eh, DO に大きな変動がみられた (Fig.5). 特に DO 値は, 生活環境の保全に関する環境基準の類型 C の DO 値, 5 mg/l を下回る値を 8 回も示している. このうち, 6 月 20 日の 20:00, 20:30, そして 22:00 にそれぞれ 1.8, 1.5, 1.3 mg/l, そして 21 日の 12:00, 16:00 共に 1.1 mg/l と特に低い値を示し, この時の pH および Eh も同様に低下することが認められた. 6 月 20 日の 20:00, 20:30, 22:00, そして 21 日の 12:00, 16:00 に Eh がそれぞれ -75, -184, -300, 141, 194 mV を, そして, この時の pH がそれぞれ 4.5, 4.2, 4.2, 5.2, 5.6 であった. すなわち, DO, Eh, pH が極端に低下する時間帯が 5 回も認められた.

黒部大橋で 2001 年 6 月 20 日の 9:00 から 13:00, および 21 日の 1:30 から 3:30 にかけて観測された極低 DO 値の後, 約 10 時間後に, 下黒部橋でも 2001 年 6 月 20 日の 19:10 から 21 日 0:00, および 21 日の 12:00 から 21 日 17:00 にかけて, 2 度の極低 DO 値が観測された.

さらに, 連携排砂の 8 日後の 2001 年 6 月 30 日から 7 月 2 日にかけて行われた連携通砂時における水質測定結果を Fig.6, 7 に示す.

黒部大橋, 下黒部橋ともに連携排砂の時にみられたような DO の低下, そしてそれに伴う Eh, pH の低下はみられず, pH, Eh, EC, DO 共にほぼ一定した値を示

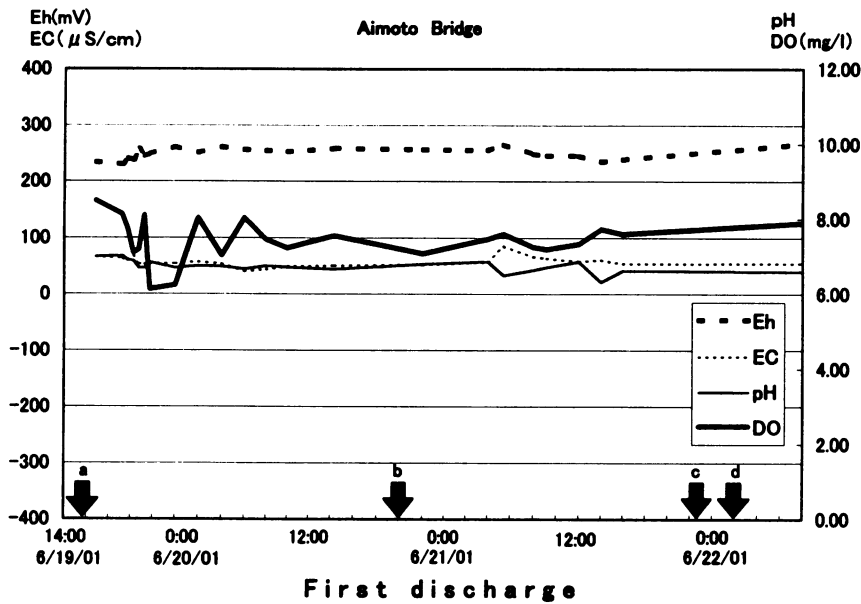


Fig.3

River water quality (pH, Eh, EC, DO) at Aimoto Bridge during first discharge between June 19th and 22nd, 2001, showing relatively constant values of each factor.
 period a : Discharge gate was opened at Dashidaira Dam.
 period b : Discharge gate was opened at Unazuki Dam.
 period c : Discharge gate was closed at Dashidaira Dam.
 period d : Discharge gate was closed at Unazuki Dam.
 (Symbols a~d are the same as those in Table 1)

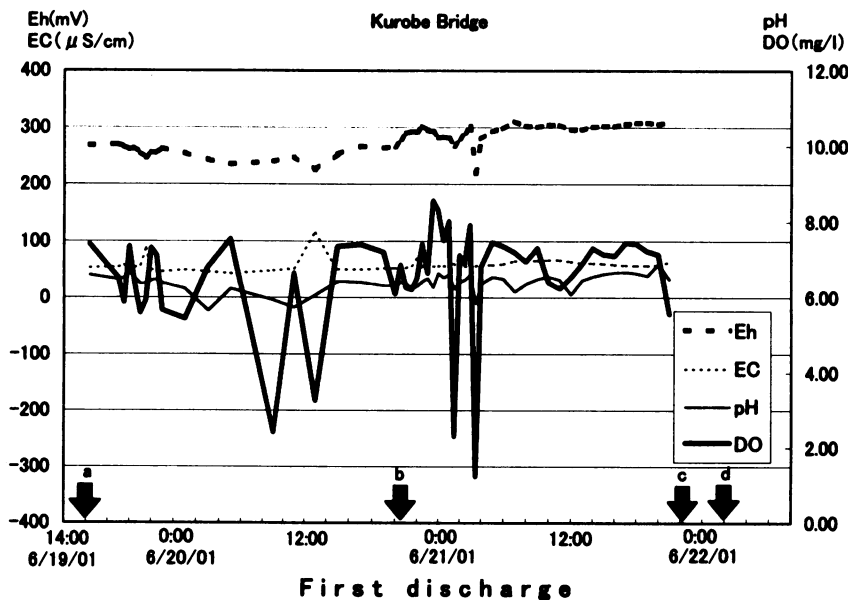


Fig.4

River water quality (pH, Eh, EC, DO) at Kurobe Bridge during first discharge between June 19th and 22nd, 2001, showing drastic DO change at the certain periods.
 (Symbols a~d are the same as those in Table 1)
 Note that drastic decreased DO occurred at the periods of noon 20th June and midnight 21st June.

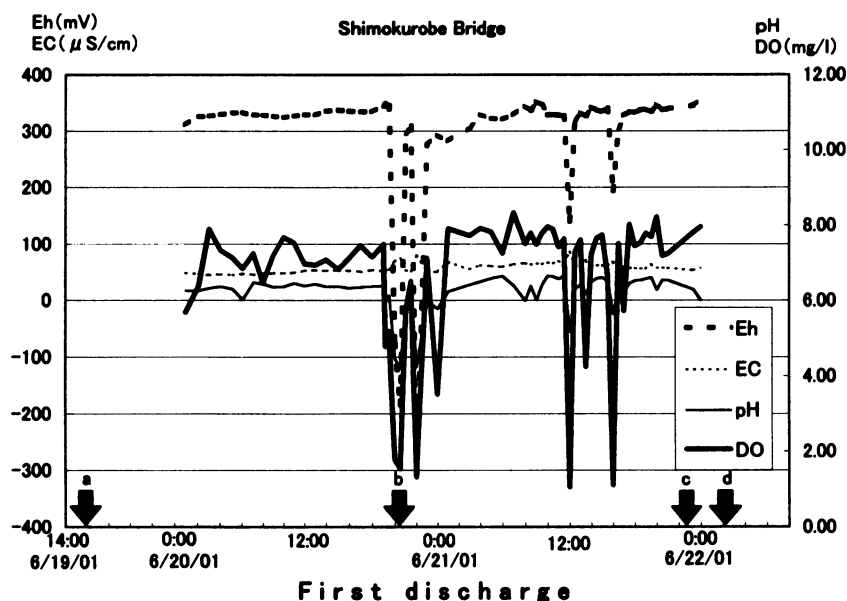


Fig.5

River water quality (pH, Eh, EC, DO) at Shimokurobe Bridge during first discharge between June 19th and 22nd, 2001, showing drastic DO and Eh changes at the certain periods.
 (Symbols a~d are the same as those in Table 1)
 Note that drastic decreased DO and Eh occurred at the periods b and at noon 21st June and pH also dropped down from 7 to 4 at the period b.

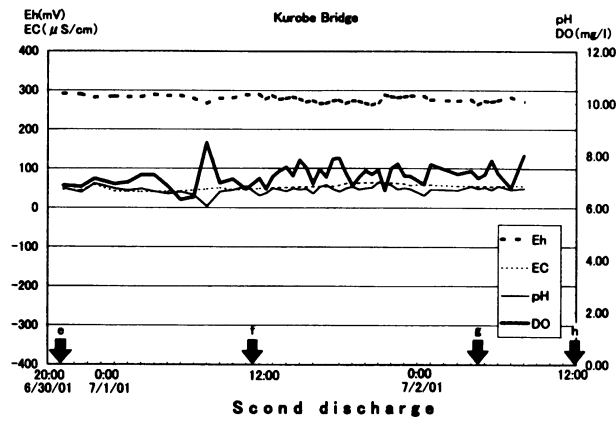


Fig.6 River water quality (pH, Eh, EC, DO) at Kurobe Bridge during second discharge between June 30th and July 2nd, 2001, showing relatively constant values.
 period e : Discharge gate was opened at Dashidaira Dam.
 period f : Discharge gate was opened at Unazuki Dam.
 period g : Discharge gate was closed at Dashidaira Dam.
 period h : Discharge gate was closed at Unazuki Dam.
 (Symbols e~h are the same as those in Table 1)

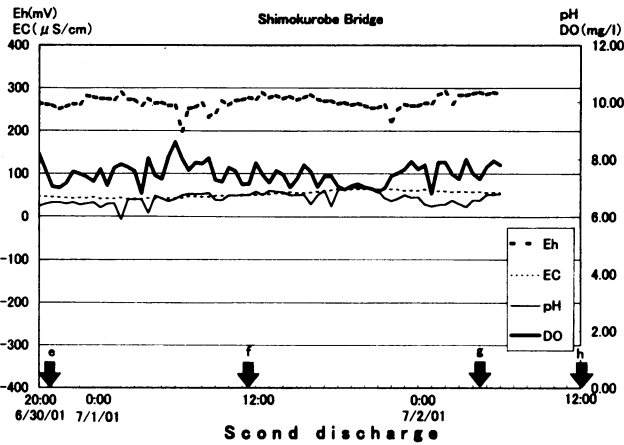


Fig.7 River water quality (pH, Eh, EC, DO) at Shimokurobe Bridge during second discharge between June 30th and July 2nd, 2001, showing relatively constant values.
 (Symbols e~h are the same as those in Table 1)
 The water quality at Shimokurobe Bridge was almost same as one in Kurobe Bridge.

した。黒部大橋では、pH が約 6.7, Eh が約 280 mV, EC が約 54 μS/cm, そして DO が約 7 mg/l であった (Fig.6)。また、下黒部橋では pH が約 6.5, Eh が約 270 mV, EC が約 53 μS/cm, そして DO が約 7 mg/l であり (Fig.7), それぞれの橋における違いは認められなかった。なお、これらの連携通砂時の値は、連携排砂時の愛本橋の値 (Fig.3) とほぼ一致している。

4.2. X線粉末回折分析結果 (XRD 分析結果)

連携排砂時 (6月19日~22日) および連携通砂時 (6月30日~7月2日) において、下黒部橋で採取した懸濁物質の XRD 分析結果を Fig.8, 9 に示す。全ての試料において格子面間隔が 14, 10, 7 Å の粘土鉱物の存在が明らかとなった。また、角閃石類, 石英, 長石類も含有

している (Fig.8)。これらの試料にエチレングリコール処理を施した結果から、14 Å の反射の一部が 17 Å へとシフトしたスメクタイトの存在も認められた。また、エチレングリコール処理で、反射がシフトしないことから 14 Å クロライトおよびパーミキュライト, 10 Å 雲母類粘土鉱物, 7 Å カオリン鉱物も同定された。連携排砂および連携通砂のどの試料においても同様の XRD 回折パターンを得た。よって、DO 値の違いや、連携排砂, 連携通

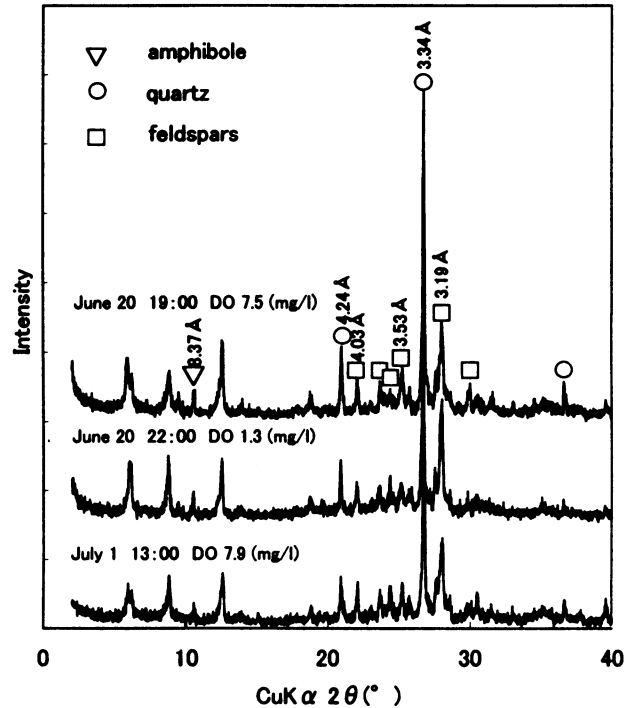


Fig.8 X-ray powder diffraction (XRD) patterns of the suspended solid (bulk samples) in Kurobe River water taken at Shimokurobe Bridge in June 20th and July 1st, respectively.

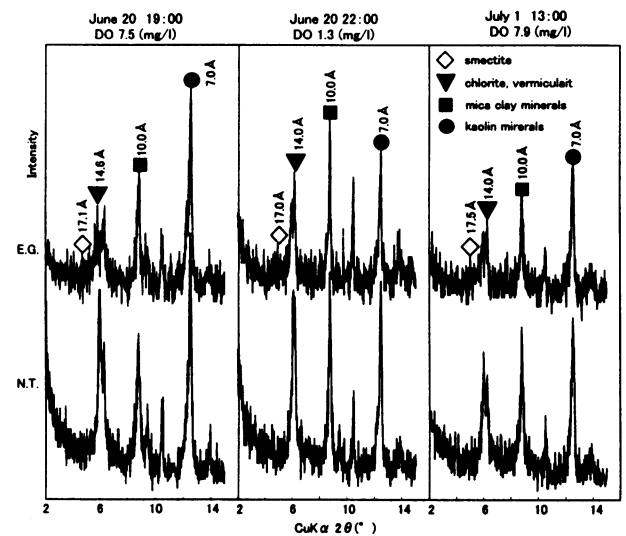


Fig.9 X-ray powder diffraction (XRD) patterns of the suspended solid (clays) in Kurobe River water taken at Shimokurobe Bridge in June 20th and July 1st, respectively.
 N.T.: non treatment, E.G.: ethylene glycol treatment.

砂による鉱物組み合わせの違いはほとんど認められないことが明らかになった (Fig.8, 9).

4.3. エネルギー分散型蛍光 X 線分析結果 (ED-XRF 分析結果)

連携排砂時および連携通砂時に下黒部橋において採取した河川水試料中の懸濁物質試料の ED-XRF 分析結果 (wt%) を Fig.10 に示す。連携排砂時, 連携通砂時のいずれの試料も Si, Al を主成分とし, 約 4~5 wt % の Na, Mg, K, Ca, 約 3wt% の Fe, そして微量の Ti, Mn から構成されている。DO 値の違い, 連携排砂, 連携通砂による化学組成の違いは認められなかった。

4.4. 懸濁物質の窒素, 炭素, 硫黄含有量の定量分析結果

連携排砂時に下黒部橋で採取した河川水試料中の懸濁物質試料について窒素, 炭素, 硫黄含有量の定量分析を行った結果を Fig.11 に, また, 連携通砂時の結果を Fig.12 に示す。また, 各試料における DO の値および懸濁物質の量もあわせて図に示した。

連携排砂時において, 低 DO 値を示した試料中には, 窒素, 炭素が他の試料に比べて多く含まれている。例えば, 6月20日の22:00の試料において窒素含有量, 炭素含有量とも最も高く, それぞれ 1.75 mg/l, 13.41 mg/l であった。また, DO が 5.0 mg/l 以上の試料について, 6月21日12:00の試料を除き窒素含有量は, 6月21日21:30において 0.13 mg/l, それ以外の試料はほぼ検出限界以下であった。硫黄含有量は, 窒素, 炭素含有量に比べ少量であるが, 21日13:30の試料において最高値の 0.31 mg/l を示した。窒素, 炭素含有量と同様に, 低

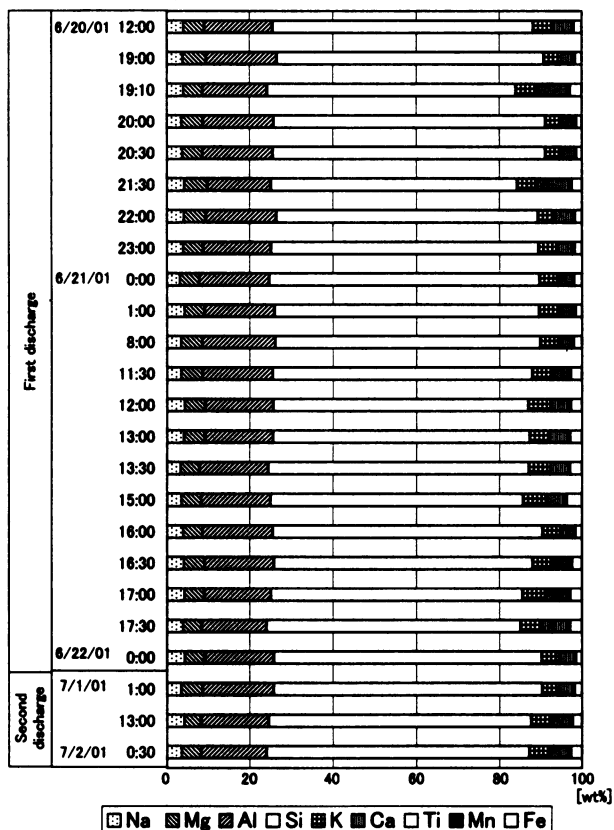


Fig.10 Energy dispersive X-ray fluorescence (ED-XRF) chemical analyses of the suspended solid in Kurobe River water taken at Shimokurobe Bridge between June 20th and July 2nd, 2001.

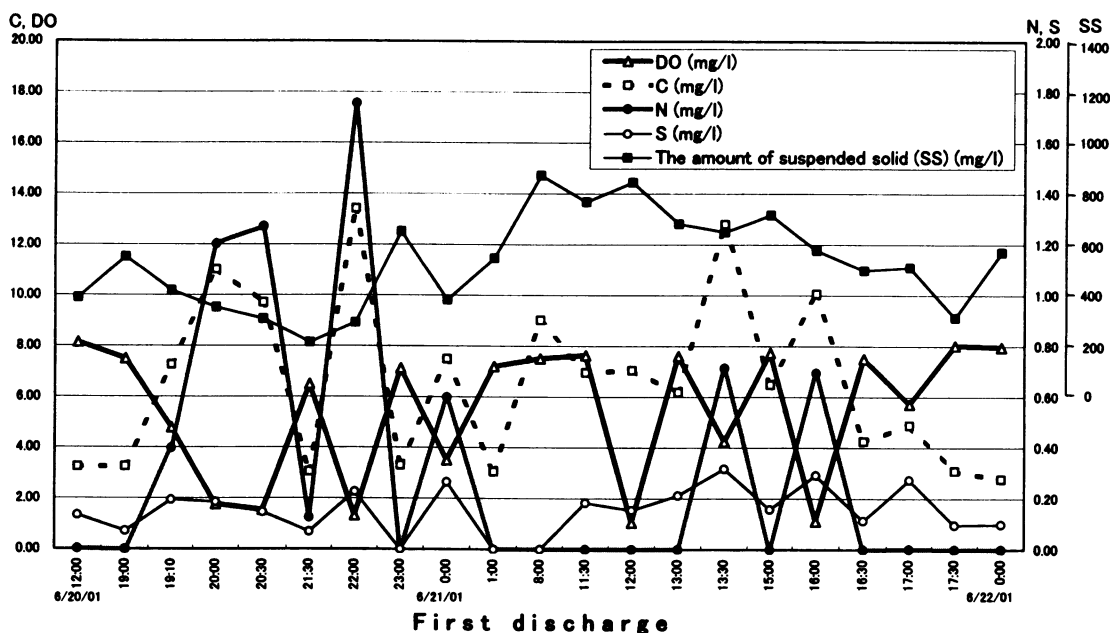


Fig.11 Relationship between DO value and N-C-S contents in SS of Kurobe River water taken at Shimokurobe Bridge, during first discharge between June 20th and 22nd, 2001. Note that extremely low DO value was associated with high N-C-S contents, suggesting discharged sludge.

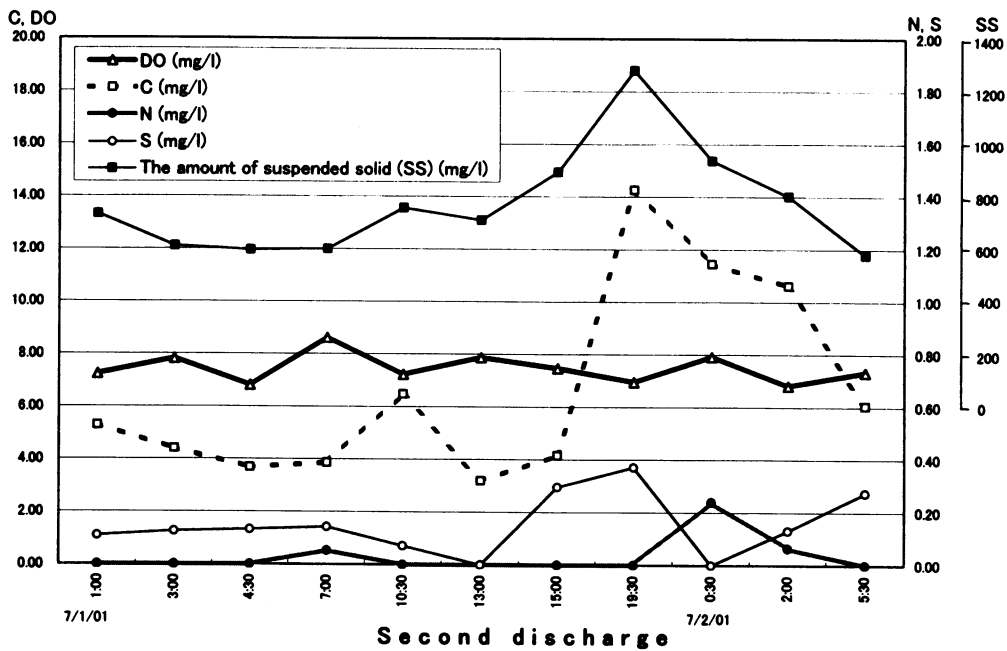


Fig.12 Relationship between DO value and N-C-S contents in SS of Kurobe River water taken at Shimokurobe Bridge during second discharge between July 1st and 2nd, 2001, indicating carbon content was associated with SS contents whereas DO value was constant.

DO 値を示す試料中には硫黄も多くなる傾向がみられる (Fig.11)。なお、懸濁物質の量と窒素、炭素、硫黄の含有量との相関は認められない。

連携通砂時において、窒素、炭素含有量と DO との関連は認められなかったが、懸濁物質の量 (SS) と炭素含有量とに相関が認められた。また窒素含有量は連携排砂時に比べ少なく、0.24 mg/l から検出限界以下であった (Fig.12)。なお、連携排砂と連携通砂における炭素、硫黄の含有量に差は認められなかった。

4.5. 宇奈月ダムの堆積物と黒部川河口沖で採取した懸濁物質の粘土鉱物組成

連携排砂時 (2001年 6 月 21 日) に宇奈月ダムの堆積物を採取し、また、連携排砂直後 (2001年 6 月 22 日) に黒部川河口沖の海底付近で採取した懸濁物質中の粘土鉱物組成を分析し、比較した結果を Fig.13 に示す。いずれの試料にも格子面間隔が 14.2, 10.1, 9.4, 7.1 Å の粘土鉱物の存在が認められた。これらの試料にエチレングリコール処理を施した結果、14 Å の反射の一部が約 17 Å へとシフトし、スメクタイトの存在が明らかになった。また、エチレングリコール処理で、シフトしなかった 14 Å の反射は、湿度調整 X 線粉末回折分析によりクロライトおよびパーミキュライトと同定された。さらに、10 Å 雲母類粘土鉱物、9.4 Å ローモンタイト、7 Å カオリン鉱物も同定された。この結果は、宇奈月ダム堆積物と黒部川河口沖の海底付近で採取した懸濁物質は類似した物質であることを示している。

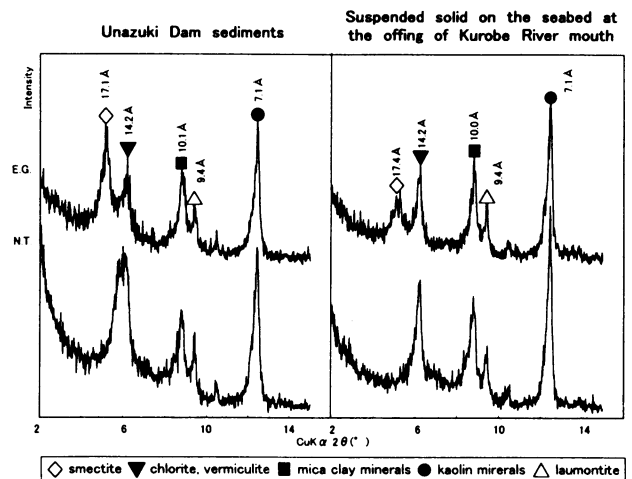


Fig.13 X-ray powder diffraction (XRD) patterns of the Unazuki Dam sediments (<2 μ m fraction) and of suspended solid (<2 μ m fraction) on the seabed at the offing of Kurobe River mouth. N.T.: non treatment, E.G.: ethylene glycol treatment.

5. 考 察

本研究結果から、2001年 6 月 19 日から 7 月 2 日にかけて行われた、出し平ダムと宇奈月ダムの堆積物が連携排砂および連携通砂された時に生じた水質の変動および懸濁物質の特徴が明らかになった。すなわち、連携排砂時における黒部川の河川水の DO と Eh の急激な低下に懸濁物質中の N-C-S の有機物含有量が大きく関わっていることが明らかとなった。連携排砂時および連携通砂時の下流に与える影響、中でも特に、ダム堆積物を含む濁水の挙動、連携排砂時および連携通砂時の懸濁物質

の特性、および、富山湾に堆積する汚泥の起源とその影響について考察する。

5.1. ダム堆積物を含む濁水の挙動

黒部大橋および下黒部橋を流下する黒部川の河川水が低 DO、Eh 値を示した時間帯は 4～8 回認められた。黒部大橋でみられた 4 回にわたる低 DO を示した時間帯と、下黒部橋における低 DO を示した 8 回の時間帯とはそれぞれ対応しているように見える。すなわち、黒部川の河川水の DO が低下することは、出し平ダムおよび宇奈月ダムから排出されたそれぞれのダム堆積物の流下過程を示していると考えられる。出し平ダムの排砂ゲート開操作が行われてから（6月19日15:34）、黒部大橋における第1回目の DO の低下が観察されるまで（6月20日9:00）およそ17時間、また、宇奈月ダムの排砂ゲート開操作が行われてから（6月20日20:00）、黒部大橋における第3回目の DO の低下（6月21日1:30）が観察されるまでおよそ5時間となっている。宇奈月ダムの開操作直後からそのダム堆積物が放出されたとする、それが宇奈月ダムから黒部大橋に到達するのに要する時間は約5時間となる。よって、出し平ダムの堆積物は、出し平ダムの排砂ゲートが開けられ排出されてから、6 km 下流の宇奈月ダムへ到達するまでに約12時間を要したことになる。また、出し平ダムの堆積物の到達と考えられる黒部大橋での第1回目および第2回目の DO の低下時間は6月20日の9:00と13:00であり、宇奈月ダムの排砂ゲートの開操作時間（6月20日20:00）よりも早い。つまりこれは、出し平ダムから排出されたダム堆積物を含む濁水が、宇奈月ダム貯水池に流入することでその流速が低下し、さらにその濁水は、大きな粒子を沈降させ、細粒の粒子を懸濁させながら、貯水池上流からダム堤体まで徐々に流下し、宇奈月ダムの排砂ゲートではなく吐水口から下流へと排出されたことを示す。この結果は、上流の出し平ダムで排砂を行うと、宇奈月ダムの排砂ゲートを開放していない場合でも、下流にその影響が表れることを示している。

5.2. 連携排砂時および連携通砂時の懸濁物質の特性

黒部川の河川水の DO および Eh の低下は、2年間の堆積物を排出した連携排砂時のみに認められ、連携排砂の8日後に行われた連携通砂時には認められなかった。すなわち、黒部川河川水の DO および Eh の低下は連携排砂時に特有の現象であると言える。また、NCS 元素分析結果より、連携排砂時において DO の低い河川水中の懸濁物質には窒素、炭素が多く含まれていることが明らかとなった。これは DO の低下に窒素と炭素、すなわち有機物の関与があることを示しており、ダム貯水池の上流から供給されたダム堆積物中の有機物が原因と考えられる。一方、連携通砂時にも炭素、硫黄は含まれるが、窒素含有量は連携排砂時と比べ非常に少ない。連携排砂時と連携通砂時において、それぞれの懸濁物質中の有機

物が水質に与える影響は異なる。すなわち、連携排砂時に流下した有機物は、DO の低下とともに下流の生態系の変化を引き起こす危険性がある。一方、連携通砂時の水質は、上流にダムが存在しない状態での有機物の自然流下に近い環境を示唆している。

ダム貯水池は、水理・水文的には河川と湖沼の両者の性格を併せ持つが、ダム湖としばしば呼ばれるように湖沼的性格のほうが強い。ダム貯水池に流入した物質は、吸着、沈降、分解、生物への変換などの物理的、化学的ならびに生物学的な相互作用を比較的長時間にわたって受け、それらの変化は湖沼における環境や生態系への変化と非常に類似している¹¹⁾。ダム貯水池には、上流からの枯死木、落葉、表土などの流入、沈降、そして、ダム貯水池中に生息するプランクトンの死骸の沈降による有機物の堆積と汚泥化が考えられる。一般に貯水池に流入した有機物は、堆積する過程で様々な微生物により分解され、その底層は溶存酸素が少なく還元的な環境になっている¹²⁻¹⁴⁾。貯水池で新たに生産された植物体やプランクトンなどの有機物は水中で比較的分解されやすいのに対し、枯死木、落葉、表土などの外来性の有機物は比較的難分解性のものが多い¹⁵⁾。底泥中の有機物には、ヒューミンすなわち未分解性の植物残渣、無機物と強く結合した腐植酸、あるいはこれらと類似の有機物が多く含まれている¹⁶⁾。また、単量体や低重合体の有機物が酸化的な環境の河川に流入すると、河川水中の酸素と結合し高分子化することが報告されている¹⁷⁾。

したがって、ダム貯水池底の還元的な環境に堆積した有機物が連携排砂により河川に排出されると、河川水中の酸素と有機物が結合し酸素を消費するため、河川水の DO の低下を引き起こすと考えられる。一方、連携通砂時はダム貯水池での有機物の堆積期間が短いと単量体や低重合体への変化がほとんどなく、河川水の DO の低下は起こりにくいと考えられる。

5.3. 連携排砂による湾への影響

一般に河口域では、河川水と海水の混合が起こるために、河川水中の懸濁物質の多くは、海水中の陽イオンによって凝集し沈殿しやすくなる。そのため、内陸部由来の有機物は河川を通じて河口域に集められ、その多くは河口域で沈降し堆積すると考えられる¹⁸⁾。前報⁹⁾で述べた富山湾底質の粘土鉱物や窒素、炭素、硫黄の分布から、黒部川の河川水中の有機物や粘土鉱物を含む汚泥は、黒部川河口沖から北東の泊沖にかけて、海流や海底地形の影響を受け凝集、沈殿すると考えられる。また、溶存態の有機物や栄養塩なども河口域では河川中に比べ滞留時間が長いと、直接あるいは懸濁物質に吸着され微生物により代謝される¹⁹⁾。

Williams (1968) は、海底堆積物中の有機物量と逆相関的に海水の DO が低くなることを報告している²⁰⁾。本研究においても還元性の懸濁物質や有機物が2年間ダム貯水池に堆積した後一度に排出され、海水中の酸素と

結合することにより海底の貧酸素化を引き起こすことが考えられる。また、海底の堆積環境は一般に酸素が供給されにくい条件下にあり、陸上からの有機物の流入によって堆積物の表層ではそれを分解する好気性菌が卓越している。しかし、海水中の酸素濃度の低下に伴い、酸化還元電位が低下すると嫌気性菌が卓越し、硫酸塩還元菌による硫化水素の発生をはじめとして、アミン類やアルデヒド類など生物に有害な物質の生成が予想される²¹⁾。連携排砂によって排出されたダム堆積物中の有機物、すなわち前報で報告した富山湾海底への汚泥の堆積により、底層水の DO の低下および有害物質の生成が起り、黒部川河口沖から北東の泊沖において底生魚であるヒラメに影響を与え、結果的に漁獲量の減少を引き起こしたと考えられる。なお、懸濁物質によるヒラメのエラ呼吸への影響については名倉、田崎 (2001)²²⁾に報告されている。

5.4. 富山湾に堆積する汚泥の起源

黒部川の中・上流域の地質は、主に花崗岩質岩石であり、閃緑岩、流紋岩・石英斑岩火山砕屑岩、そして片麻岩が散在している²³⁾。そのうち特に、出し平ダム周辺の花崗岩は風化により真砂化して崩壊しやすく、黒部川に頻りに崩落している。したがって、出し平ダム貯水池には、これらの土砂が年々急速に堆積しており、その堆積速度は日本一となっている²⁴⁾。

一般に、岩石は水理、酸化還元、生物活動など様々な要因により変質作用を受けその化学組成が変化し、二次鉱物を生成する²⁵⁾。例えば、花崗岩の陸上風化は、表層から始まり、斜長石や黒雲母がまず粘土化し、イライト、加水黒雲母、パーミキュライト、カオリン鉱物、ギブサイトなどを生成する。さらに風化が進行すると K, Ca, Na などの陽イオンが溶脱し、最終的には、カオリン鉱物やギブサイトが安定となる²⁶⁾。風化の進行が急速である場合はカオリン鉱物が生成されやすいが、比較的ゆっくりと進行する場合はスメクタイトが生成される。特に、水の動きの少ないダム貯水池の底では、比較的ゆっくりと風化が進行しスメクタイトが生成されやすく、さらに、貯水池底に堆積している有機物と微生物の存在によりその生成が促進されると考えられる²⁵⁾。

また、出し平ダムの排砂により排出されたダム堆積物と懸濁物質は pH7 付近の河川水中では懸濁しているが、pH8 付近の海域に出ると、Na イオンと Ca イオンとの陽イオン交換反応のため、分散型から凝集型に変化する²⁷⁾。その結果、排砂時において一度に排出されたダム堆積物は富山湾内に凝集、沈殿する。さらに、湾内の汚泥の堆積には海水による粘土凝集作用が関与していると考えられる。駿河湾や大阪湾の底表層堆積物の粘土鉱物組成にみられるように、各々の湾における海底の粘土鉱物組成は、湾に注ぐ河川流域の地質や風化物により支配されている^{28,29)}。この場合、イライトは堆積岩を主な起源とし、スメクタイト、カオリン鉱物は火山岩類を、また、クロライトは堆積岩と変成岩を主な起源としている

と報告されている²⁸⁾。

本研究では、宇奈月ダムの堆積物中にカオリン鉱物とともにスメクタイトが認められた。これは花崗岩などの母岩の陸上風化を主として生成したカオリン鉱物に加え、出し平ダムや宇奈月ダム貯水池底で生成されたスメクタイトであると考えられる。Fig.13 に示したように、連携排砂後の黒部川河口沖では、海底近くにスメクタイトをはじめとする多量の懸濁物質が存在し、その粘土鉱物組成が連携排砂時における宇奈月ダムの堆積物中の粘土鉱物組成と類似していた。さらに別報⁹⁾で示した黒部川河口沖の海底堆積物中の粘土鉱物組成と分布とも一致する。したがって、連携排砂によって排出されたダム堆積物が、黒部川河口沖に流入し凝集、沈殿することで、富山湾内に堆積したことが明らかである。なお、河川水中の懸濁物質の XRD 分析結果 (Fig.9) からは少量のスメクタイトしか認められなかったが、これは、全岩分析であること、河川水の試料が表層水であることに起因しているものと考えられる。

6. まとめ

- 1) 出し平ダム、宇奈月ダムの連携排砂時に黒部大橋、下黒部橋において河川水の DO の低下がみられ、特に下黒部橋では DO の低下と共に pH, Eh の低下もみられた。しかし、連携通砂時には DO の低下は認められなかった。すなわち、河川水の DO の低下は、連携排砂時のみの現象であることが明らかとなった。
- 2) 河川水中の懸濁物質に含まれる鉱物は、スメクタイト、クロライト、パーミキュライト、雲母類粘土鉱物、カオリン鉱物、角閃石類、石英、そして長石類である。連携通砂、連携排砂そして DO 値の違いによる鉱物組成の違いは認められなかった。
- 3) 連携排砂時および連携通砂時における河川水中の懸濁物質の化学組成にも大きな差は認められなかった。
- 4) 長期間貯められたダム堆積物中の分解過程にある有機物は、連携排砂によって河川へ流入し、その水質、特に DO の低下を引き起こす。
- 5) 黒部川河口沖の海底の汚泥に含まれる粘土鉱物組成は、出し平ダムおよび宇奈月ダムから排出されたダム堆積物と類似している。
- 6) ダム堆積物の排砂による急激な水質の変動と有機物の多い懸濁物質は黒部川下流や富山湾内の生態系に影響を与えることが示唆される。

謝 辞

本研究を行うにあたり、試料採取において佐藤宗雄氏を始めとする入善刺し網組合の皆様、高倉正氏の協力を得た。現地および実験室における水質測定には金沢大学理学部田崎研究室の院生、学部生の協力を得た。以上の方々に、心より御礼申し上げる。さらに、匿名の査読者

の詳細で有益な指摘に感謝申し上げる。なお、本研究の一部に文部科学省の研究補助金基盤 A を使用させていただいた。

引用文献

- 1) 天野礼子 (2001) *ダムと日本* 岩波新書 224頁。
- 2) 角 哲也 (1996) *ダム技術*118, 20-34.
- 3) 角 哲也 (1998) *河川*628, 43-49.
- 4) Kareiva, P., Marvier, M. and McClure, M. (2000) *Science*, 290, 977-979.
- 5) Mann, C. C. and Plummer, M. L. (2000) *Science*, 289, 716-719.
- 6) Jeremy, B. C. Jackson, Michael, X. Kirby, Wolfgang, H. Berger, Karen, A. Bjorndal, Louis, W. Botsford, Bruce, J. Bourque, Roger, H. Bradbury, Richard Cooke, Jon Erlandson, James, A. Estes, Terence, P. Hughes, Susan Kidwell, Carina, B. Lange, Hunter, S. Lenihan, John, M. Pandolfi, Charles, H. Peterson, Robert, S. Steneck, Mia, J. Tegner, and Robert. R. Warner (2001) *Science*, 293, 629-638.
- 7) 角 哲也 (2000) 貯水池土砂管理国際シンポジウムワークショップ論文集, 117-126.
- 8) 小久保鉄也 (2000) 貯水池土砂管理国際シンポジウムワークショップ論文集, 99-115.
- 9) 田崎和江・縄谷奈緒子・国峯由貴江・森川俊和・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 (2001) *地質学雑誌* 投稿中。
- 10) Van der Gaast, S. J. and Kühnel, R. A. (2001) proceeding of international clay cong. (in press).
- 11) 宗宮 功編 (1990) *自然の浄化機構* pp.117-133. 技報堂。
- 12) 微生物生態研究会編 (1974) *微生物の生態* 1 学会出版センター 204頁。
- 13) 北村 博・森田茂廣・山下仁平編 (1984) *生態* pp.3-15. 学会出版センター。
- 14) 宗宮 功編著 (2000) *琵琶湖 その環境と水質形成* pp.125-148. 技報堂。
- 15) Matsunaga, K. (1982) *Jap. J. Limnol.*, 43, 113-120.
- 16) 喜多大三・辻 博和・久保 博・炭田光輝 (1979) *ヘドロ*15, 44-49.
- 17) Beck, K. C., Reuter, J. H. and Perdue, E. M. (1974) *Geochimica et cosmochimica acta*, 38, 341-364.
- 18) 左山幹雄・栗原 康 (1984) 微生物生態研究会編 *微生物の生態*12 pp.110-129. 学会出版センター。
- 19) 楠田哲也 (1995) *ヘドロ*63, 29-43.
- 20) Williams, P. M. (1968) *Nature*, 218, 937-938.
- 21) 清水 潮編著 (1991) *海洋微生物とバイオテクノロジー* pp.242-255. 技報堂
- 22) 名倉利樹・田崎和江 (2001) 地球惑星科学関連学会 2001年合同大会予稿集。
- 23) 富山県 (1992) *10万分の1 富山県地質図* pp.201.
- 24) 阪口 豊・高橋 裕・大森博雄 (1995) *日本の自然 3 日本の川* pp.228-232. 岩波書店。
- 25) 北川隆司 (1999) *粘土科学*39, 37-44.
- 26) 関 陽児 (1998) *地質調査所月報*49, 639-667.
- 27) 喜田大三 (2001) *スメクタイト研究会会報*11, 3-12.
- 28) 青木三郎・生沼 郁 (1981) *地質学雑誌*87, 429-438.
- 29) 生沼 郁・青木三郎 (1999) *東洋大学紀要教養課程篇 (自然科学)* 43, 81-96.