

日本海における重油流出事故とダム堆積物問題 —日本海の環境保全と展望—

田崎 和江*

Heavy oil spill accident and dam sediment problem in the Japan seashore —Conservation and perspective of environment in Japan seashore—

Kazue Tazaki*

Abstract

The Russian Tanker *Nakhodka* spilled C-type heavy oil in the sea of Japan in 1997. Heavy oil came ashore in the Hokuriku district, Ishikawa Prefecture, Japan. Many scientists cooperated to quickly assess the environmental impacts. We carried out immediate site investigations, measured the level of air pollution, studied C-type heavy oil ingredients and their toxicity, and developed methods of removing heavy oil. Soluble substances in seawater, sediment movements, effects on intertidal organisms and bacterial bioremediations were also investigated. In this paper, we report the polluted field situation, and discuss what we have done for future action. The effectiveness of the intensive beach cleanup was ensured by the huge amount of work by volunteers.

The Dashidaira Dam was built on the Kurobe River in Toyama Prefecture, Japan in 1985. This dam is equipped with a flushing gate. Since the dam sediments were first flushed in December 1991, benthic fishes have decreased in quantity year by year due to repeated flushing events.

In June 2001, the flushed dam water contained a low oxygen concentration (1 to 2 mg/l) and high concentrations of organic particles. To establish the cause of the death of the benthic fishes, living flatfish were collected from Toyama Bay to examine their gills. These showed tissue damage and chemical changes caused by adhering expandable clays and organic matters, derived from the flushed dam sediments. For comparison, exposure experiments on rainbow trout were carried out using smectite suspensions. Observation by optical microscopy revealed that the gills had shrunk because of the smectite concentrations. Low oxygen concentrations in water and large volumes of expanding clays and organic matters have a significant effect on downstream benthic life.

Key words: heavy oil spill accident, bioremediation, dam sediments, low oxygen, clays, benthic life.

1. はじめに

白砂青松，風光明媚，新鮮な魚がおいしい日本海の自然を脅かす重油流出事故とダム堆積物をもたらす環境保全と展望について述べる。前者は1997年1月に発生したロシア船籍タンカー〈ナホトカ号〉の重油流出事故であり，後者は黒部川に作られた二つのダムが排砂ゲートより堆積物を下流に流し，富山湾にヘドロをためる問題である。最新の技術を駆使した排砂ゲートをもつ出し平ダムと宇奈月ダムは，富山湾の漁獲高を激減させている。

2. ロシア船籍タンカー〈ナホトカ号〉の重油流出事故

ハイテクノロジー日本が泣いた。全国からあつまったボランティアは油だらけになり，バケツリレーで重油を取り除いた(写真1)。重油の臭気は目を充血させ，頭痛をおこし，

コンタクトレンズを曇らせた。それは，1997年1月2日，約19,000klのC重油を積んだロシア船籍タンカー〈ナホトカ号〉が隠岐島沖で分断して沈没したことから始まった。船首部は北西の強風を受け漂流した後，1月7日，福井県三国沖で座礁し深刻な海洋汚染を北陸沿岸にもたらした。寒風吹きすさぶ中で，海水や砂を含む約30,000klの重油が回収された。重油の回収と海岸の浄化作業は地域住民，行政，自衛隊のほか多くのボランティアの手で行われた。北陸の冬は“波の花”がたつくらいすさまじい。寒さと疲労で犠牲者が出た。黄色のオイルフェンスは簡単に強風で吹き飛ばされ，真っ黒になって海岸に打ち上げられ，何の役にも立たなかった(写真2)(Tazaki, 2003 a, b)。3月下旬にクリーン宣言が出された後も，私たち地元の科学者や院生は日本海の環境保全のため地道な追跡調査を続けてきた。そして，事故後7年たった現在，今後の教訓のために，もう一度当時を振り返ってみよう。

2.1. 汚染の状況と浄化作業

能登半島の海岸は岩石海岸，砂海岸，玉砂利海岸と変化に飛び，汚染の状況と浄化作業は複雑であった。三国のような

*金沢大学理学部 地球学科
Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Kanazawa University
Kanazawa, Ishikawa 920-1192 Japan



写真1 福井県三国町安東における重油回収作業 (1997.1.10. 撮影).



写真2 強風に打ち上げられた真っ黒なオイルフェンス (福井県三国町安東 1997.1.25. 撮影).

岩石海岸はバケツや柄杓、吸引車で重油を取り除いた(写真1)。真っ黒になった海岸のコンクリート消波ブロックは高圧の熱水で洗浄した。また、ボランティアの手で雑巾やヘラで岩石の表面から油を拭きとり、かつ、上空からヘリコプター

で少量の界面活性剤を散布した。一方、砂海岸が一番浄化作業を難しくした。重機により汚染された砂は山積みされた後、処分場に運搬し焼却または埋蔵した。塩屋海岸では篩いで油と砂をふりわけたが、よけいに油の汚染範囲が広がり、結局その場に埋蔵してしまった。アタケ海岸などの玉砂利海岸は石を一個ずつ雑巾で拭いたが取りきれず、汚染された玉砂利を再度海に押し戻してから浮き上がった油をロープに付着させた。しかし、最終的には玉砂利の上に山土をかぶせてしまった。一時、美しい玉砂利海岸の面影もなくなったが、土壤細菌が重油を分解する効果を発揮し、現在は大分回復している。なお、回収した重量は流出したC重油の数十倍に達した。なぜならば、重油と海藻が塊をつくり、生物の遺骸やゴミもまざり、膨大な回収量となった(写真3)。

現地で回収した重油の塊を研究室にもちかえり、光学顕微鏡や電子顕微鏡で観察すると、海水を60~80%も含んでエマルジョン(乳化)になった油滴のまわりにたくさんの重油分解菌が生息し、かつ、増殖しているのが認められた(写真4)。この重油をDAPIで染色し、蛍光下で観察すると微生物は青白く光ることから、これらの微生物が生きていることが確認された。油と水は相容れないものに例えられるが、実際は、一晩で重油の中に海水が混ざり、色も黒色から茶色に変化し、粘性が増した。重油はまさに微生物の格好の栄養源となり、短期間で大量に増殖することができる。このように海水を多量に含んだ油は燃やすことができず、回収量も膨大なものになったもう一つの理由である。

事故後約1ヶ月目、2月8日にやっと北陸の空にも太陽が見えヘリコプターで飛ぶことができた。上空から油の塊や帯の様子が見え、それらが海岸に漂着する状況や回収作業の様子がつかめた。また、眼下にはボランティアの色とりどりの雨具やテントの列、海岸から立ち登る煙の列が手に取るように見えた。海岸に次々に押し寄せる油の帯を見ると、漂着



写真3 塩屋海岸に打ち上げられた海藻まじりの重油の塊 (1997.1.26. 撮影).

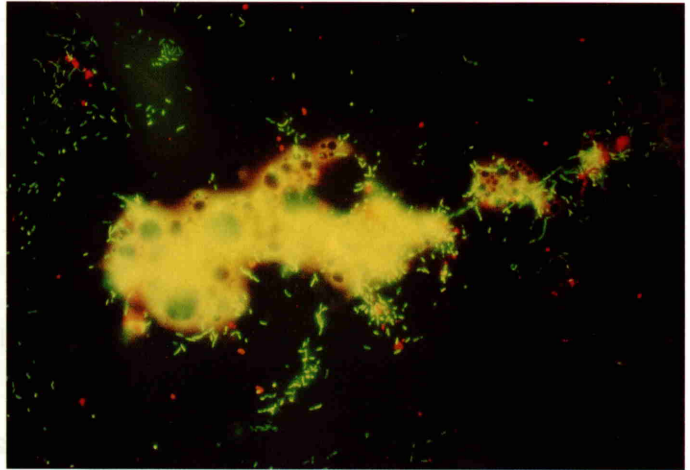


写真4 エマルジョン化した重油(黄色)の周りで増殖する重油分解細菌(グリーンの桿菌)(1997.1月撮影).



写真5 ヘリコプターから見たナホトカ号の船首部分(中央の小さい船体)からの重油の抜き取り作業とはしけの埋め立て工事(上部の細長い道路)(福井県三国町安東 1997.2.8. 撮影).

する前に、洋上で回収できないものかと菌がゆい思いをした。さらに、眼下ではナホトカ号の船首部分から油の抜き取り作業が行われていた(写真5中央の横転した小さい船腹がナホトカ号)。その横には国土交通省が作りつつある砂利と消波ブロックで埋め立てられた臨時のはしけが長々と横たわっていた。この油の抜き取り作業の後、埋め立てた土砂は再度とりのぞかれたが、建設および撤去費用に総額20億円を費やしたはしけである(写真5)。

事故後11ヶ月が経過した福井県大飯海岸の様子を写真6に示した。大飯海岸は、京都府舞鶴市の東方20kmにあり、若狭湾に面している。この近くには関西電力大飯原子力発電所がある。岩陰にはまだ黒々とした重油が付着していた(写真6上の写真)が、日光の当たる岩石表面の重油は茶色に変色し、ぼろぼろになっていた(写真6下)。また、4年後の2001年11月にアタケ海岸で、重油の入った砂袋10kgを回収したが、粘着性の高い、黒茶色の油塊であった。ナホトカ号の本体はまだ隠岐島沖に沈んでおり、劣化した船体から糸のように重油がもれつづけている。そして、北北西の風が吹くと、その重油は能登半島にうち寄せられた。

さらに、事故後7年たった現在でも、珠洲市シャク崎や長橋、輪島市大沢アタケ海岸、千枚田海岸では重油が目視できる。岩石や消波ブロックの隙間にはまだ油塊が見られ、大きな岩石の表面の油は古くなったゴムのようにへばりついている。海水に頻繁に洗われる環境では物理的な洗浄による油の

除去が行われると共に微生物によるバイオレメディエーションも促進することが明らかになった。

また、海岸の汚染された砂礫の浄化法についても検討した。一般に消波ブロックやコンクリートの部分は高圧ノズルで熱湯をかけ洗浄するが、その洗浄液に界面活性剤が入っており、



写真6 大飯海岸における重油の残存状況。波打ち際(上)と波のかからない大きな岩石(下)とは重油の分解速度が異なることを示している(1997.11.6.撮影)。

その後、周辺の植物が枯死するなどの影響がでた。そこで、ドラム缶を改良した温海水洗浄法を見いだした。この方法は安全で、安価で容易な方法であり、科学者、院生はボランティアとともに現地で環境修復作業を行った。一方、岩海岸は人間の手でバケツと柄杓で重油を回収したり、岩の表面を雑巾で拭いたりして浄化したが、加賀の塩屋海岸、片野海岸、浜地海岸などの砂海岸の浄化は困難を極めた。処理場やその場に埋蔵した海浜の砂はくきなごはん)状に重油をまぶした状態になり、30 cm-60 cmの厚さになった。その場に埋められた重油の層はその後4-5年まで目視できた。

さらに、人間の手の届かない場所や取り除けなかった重油も徐々に分解の方向に向かっていることを電子顕微鏡で確認した。一方、電子顕微鏡を用いた研究は、微生物が重油を分解する事実を明らかにした。ナホトカ号から流出した重油の周辺には重油をエネルギーとする土着の重油分解細菌がレメディエーションを行っており、その分解速度は太陽光線、有機物の存在量と供給量、水質に左右される。

2.2. 生物への影響

石川県加賀市では、1997年に羽や腹が重油まみれになったウミネコやアカエリカイツブリなど汚染された水鳥が615羽回収された。生体は264羽であり、羽を洗浄し手当てを施し、リハビリテーションした後、56羽を自然界に放つことができた。そのうち北海道に空輸されて16羽が空に放たれ

たが何羽かはそこでも死亡した。解剖した結果、内臓中に重油の蓄積が認められ腎臓や肝臓にも障害があった。また、北陸の海岸には、さまざまな魚介類が打ちあがり、しじみやムール貝も、かなり長く重油の臭いを残していた。海棲の生物や魚介類は一世代では影響が認められなくとも、次世代で奇形や変性などの影響がでることも考えられる。

重油による海浜植物の枯死もあちこちで観察できたが、しばしば、重油そのものより、浄化作用に用いた界面活性剤による枯死もあった。揮発性の重油による蒸気の影響により三国海岸の野生のスイセンが枯死し、気孔の目詰まりなどが電子顕微鏡により明らかにされた。

2.3. 環境保全と展望のために

油の流出事故が起こった場合、いち早く洋上で油の回収を行うことが鉄則である。ひとたび海岸に漂着すると油の回収が困難になり、かつ、環境への影響が長期化する。また、空からの監視と船と陸の連携プレーが必須である。冬の日本海ではオイルフェンスや吸着マットは無効であり、かつ、化学薬品や界面活性剤を用いることは、生態系をくずし、二次汚染も危惧される。油に汚染された周辺の水辺や土壌中には土着の重油分解細菌がおり、重油をエネルギーとして増殖するので、時間はかかるが自然に任せることも一つの方法である。さらに、太陽の紫外線が当たる場所の重油は比較的早く分解するが、日光の当たらない岩陰には7年たった現在でも粘性の高い黒色の重油が残存することが明らかになった。重油回収船は太平洋側に一隻あるのみであったが、今回の事故の後、重油回収船が日本海側にも新たに配備されるようになったことはよろこばしいことである。

3. 黒部川に作られた二つのダムが下流や富山湾に影響を与える排砂イベント

黒部川の出し平ダムと宇奈月ダムの排砂ゲートから毎年排出されるヘドロが、富山湾のヒラメやワカメ漁に大きな影響を及ぼしている。そのダム堆積物の影響を科学的に明らかにするために、排砂時の現地調査や富山湾の海底調査、堆積物の採集と室内実験を続けている。

3.1. ダムの功罪

ダムは流路をせき止めて水を溜め、豪雨、洪水時に水量調節をし、かつ、豊富な水を発電や水道水に活かすために作られてきた。しかし、ダムをつくることは、流入する土砂をもため込み、貯水容量が減少する必然性がある。その対策法の一つとして、出し平ダムと宇奈月ダムの排砂ゲートの設置であった(図1)。ダム貯水地の水は、せき止められるため、当然流れのある河川水の水質とは異なる(貯水池土砂管理国際シンポジウム実行委員会、2000)。出し平ダムと宇奈月ダムの連携排砂が行われるたびに、下流にヘドロが流される。2002年7月14日、黒部川の尾の沼公園前では、ヘドロが泡立ち、渦を巻いた真っ黒などぶ川をつくり臭気を放って流れていた(写真7)。このヘドロを光学顕微鏡で観察したところ、主に、

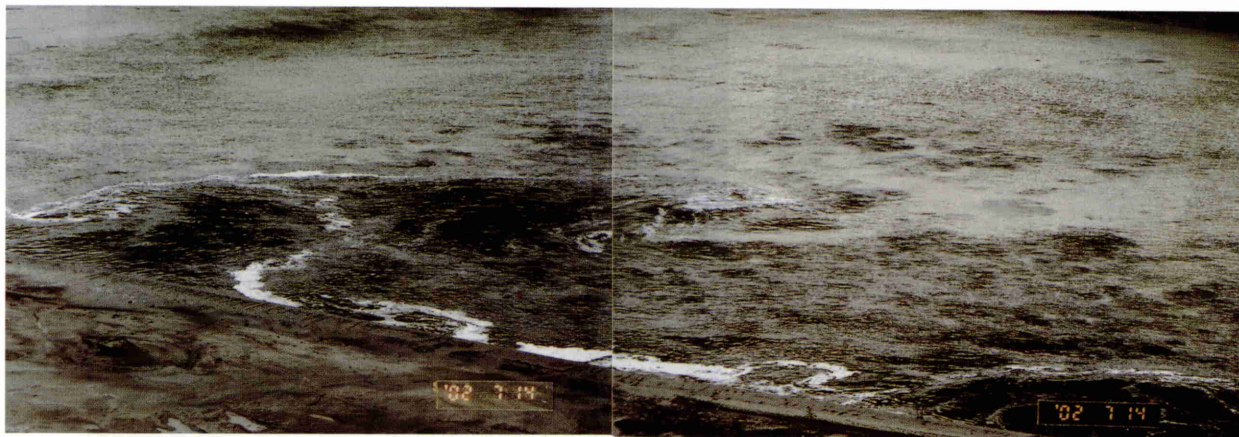


写真7 出し平ダムの自然流下状況。真っ黒なヘドロが泡立ち、渦を巻いている様子(尾の沼公園前の黒部川, 2002.7.14.撮影)

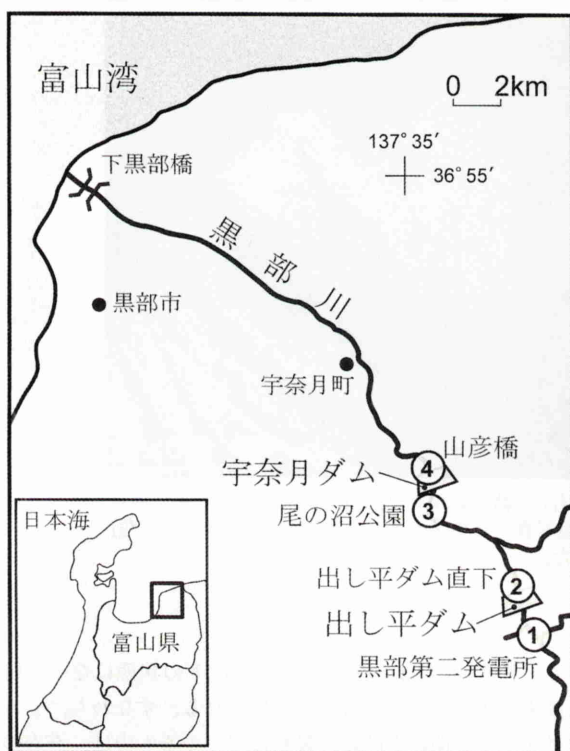


図1 黒部川にかかる宇奈月ダムと出し平ダムの位置。
①-④は水質測定地点を示す。

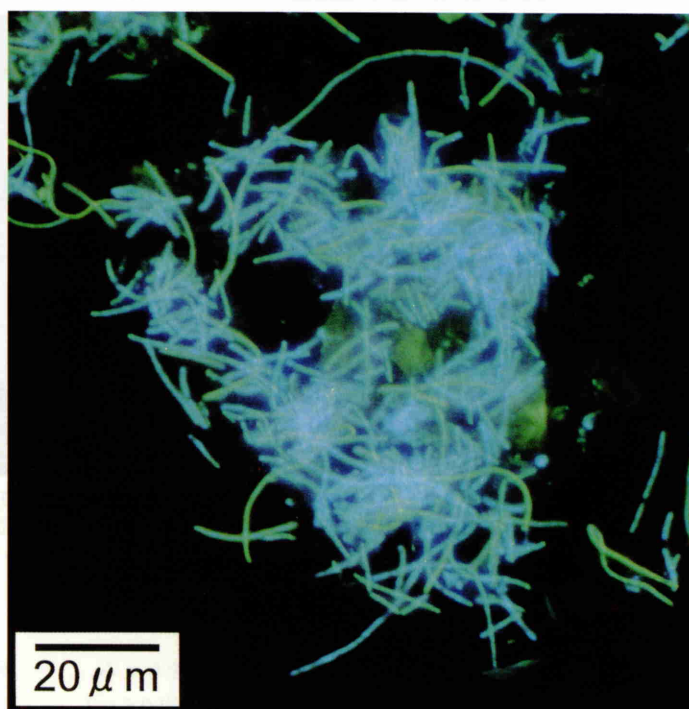


写真8 出し平ダムの自然流下時のヘドロの光学顕微鏡写真。糸状に桿菌が連結した偏性嫌気性細菌が多数認められた。

桿菌が2-6ミクロンの鎖をつくり、1 ml中に 10^6-10^7 の偏性嫌気性細菌が認められた(写真8)。この細菌の存在からもダムの底は酸素が欠乏した還元状態であることを示している。

3.2. 排砂中の水の流れと懸濁物質

毎年、排砂時に、ダム直下や下流の橋で水質(水温、水素イオン濃度、酸化還元電位、電気伝導度、溶存酸素量)測定を行い、臭いや濁水の状況を観察している。水質測定のパラメーターは基本的には、動物相にとって不愉快になりえるものが対象になる。溶存酸素量が2 mg/lを下回るか、あるいは浮遊物質濃度が10-30 g/lを越えると魚の生命にとって重大な影響を及ぼすといわれている。ダムの排砂中の溶存酸素濃

度レベルは魚の致死率を決めるきわめて重要なパラメーターである。いわなの生息条件から設定した排砂中止基準値は、溶存酸素濃度が4 mg/lである。ここで、溶存酸素濃度レベルを測定する時に注意する重要な点がある。現地において、表層を流れてきた河川水は放流時に含まれた酸素により溶存酸素量はあまり低下せず、問題がないと思われがちである。しかし、その水はダム底由来の重たいヘドロを含んだ酸欠水であることが明らかになった。すなわち、1日後に、再度、溶存酸素量を測定すると、自然流下時(ダム底にたまっていた最表層の堆積物が流れる時のこと)には極端に値が下がることが明らかになった(図2)。水中の微細粒子の窒素、炭素、イオウの含有量を分析すると、ともに溶存酸素とは逆の相関がある。排砂中の微細粒子は河口の魚の産卵場所である海藻

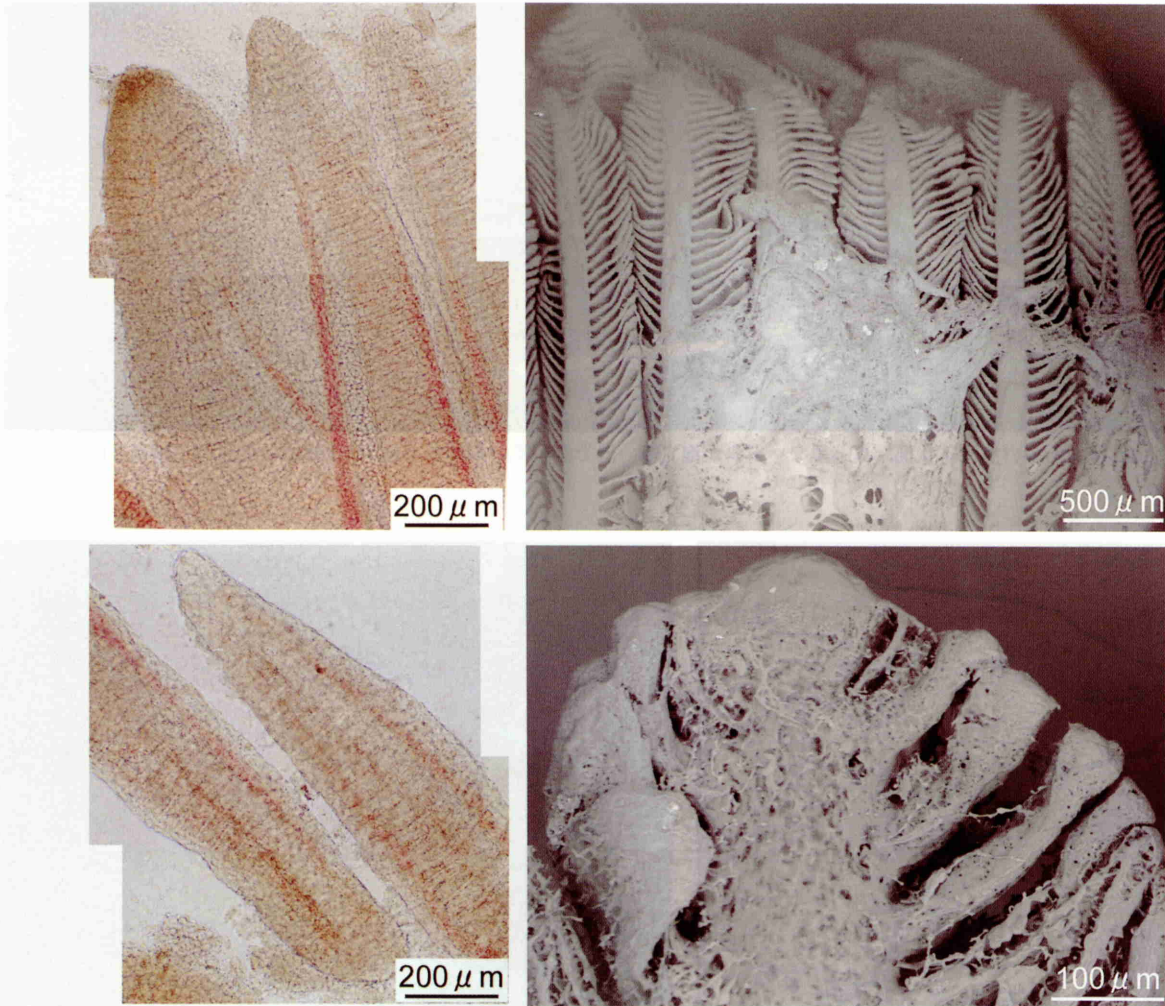


写真9 富山湾でとれたヒラメのえらの走査型電子顕微鏡写真(右)と粘土鉱物を黒部川河川水に混ぜた水で飼育したニジマスのエラ(左下)とコントロール(左上)の光学顕微鏡写真。ヒラメのエラを覆う粘土鉱物の皮膜(右)と粘土鉱物粒子により、エラの脱水と変形(左下)が認められた。

を死なせ、強いては、海底に生息するヒラメに影響を与える。浮遊物質の濃度は魚類の生命を守るためにも、平均 0.5 g/l 以下にすべきであるという提案もある。浮遊土砂の粒径と形状もえらの損傷に関係があり、75 ミクロンより小さい粒子はえらの膜を通過して組織の空間に入り込み、粘液の分泌が誘発され、酸素輸送速度を低下させる。写真9の右側の写真は、富山湾でとれたヒラメのえらの走査型電子顕微鏡写真である。えらの表面には粘土鉱物が付着し、えらをふさいでいる。また、粘土鉱物を混ぜた黒部川の河川水でニジマスの飼育実験をしたところ、ふっくらとした扇状のエラ(コントロール；写真9左上)が収縮し変形することが明らかになった(写真9左下)。

3.3. 排砂イベントの実状

排砂時における〈自然流下状態〉とは、ダム貯水池の水位が河床近くまで低下し、上流から流入する河川水によって、ダム底にたまった堆積物の最表層の部分が押し出される状態のことを指す。安定河床の上にはその年に堆積した有機物の

多く〈ヘドロ〉がたまっており、自然流下の状態になった時に、酸素の少ない水とともに押し出される。すなわち、ダムの排砂ゲートを開けた時に、最初に出てくるものは、ダムの堤体内の水面に浮かんでいる木切れや落ち葉などであり、次に、表層水が流下し、最後に水位が河床近くになると、ダムの底の〈ヘドロ〉が押し出される。その様子は風呂の浴槽の掃除のときにゴミが最後に流れ出る現象に似ている。ダムの排砂により流下した懸濁物は海岸に達し、海水により凝集沈殿し、海棲の生物に大きな影響を及ぼす。1991年からおこなわれた排砂量に対し、ヒラメとわかめの漁獲量の減少は歴然としている(図3)。

3.4. 河川の保全とダム堆積物の展望

ダムをつくることは水を溜めるのみならず土砂をも溜める。ダムの寿命を長くするために排砂ゲートがつくられた。しかし、そのダムの底で何が起きているのかの事前の研究が欠けていた。安全性や廃棄物処理の問題を後回しにしてつくられた原子力発電施設と似たようなところがある。ダムの

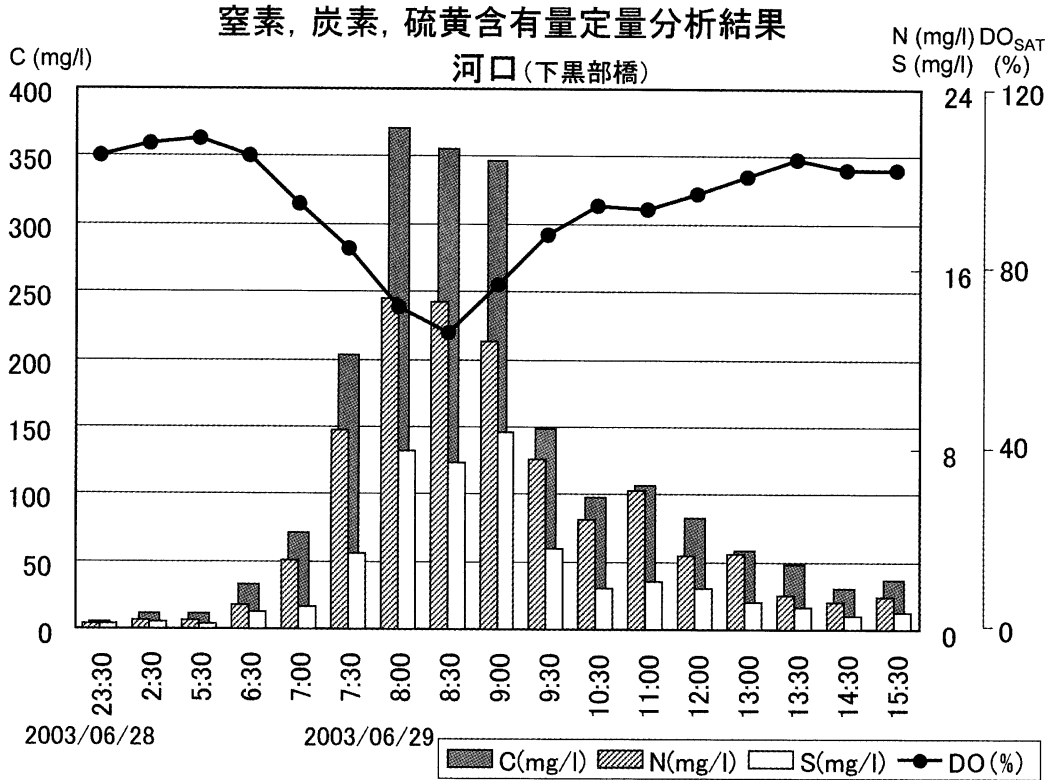


図2 出し平ダム・宇奈月ダム連携排砂時に、下黒部橋で採水した懸濁物質の窒素, 炭素, イオウ含有量の定量分析結果. 自然流下時(6月29日6:30-9:30の間)は溶存酸素(DO)が低下し, 濁水に含まれる炭素(C), 窒素(N), イオウ(S)の含有量が増加することを示している(2003.6.28-29.測定). すなわち分析結果はダム堆積物が酸素欠乏であり, かつ, 有機物含有量が非常に高い, いわゆるヘドロ状態であることを示している.

底には木々や落ち葉などの有機物がたまり, そこでは酸素を消費する微生物が繁殖し, 酸素欠乏の状況を作り出している(田崎他, 2002, 2003). その酸欠の水とヘドロ化した有機物の多い堆積物を一気に下流に流す(排砂イベント)は生命体にとってよいはずはない(田崎他, 2001). 足にぶつかるほどいた黒部川の魚は激減し, 富山湾の海底の魚は瀕死の状態である(Tazaki et al., 2003). ワカメなどの海藻がとれなくなっ

たということは, 魚の産卵場所がなくなったことを意味する. 流れのあるものは流れを止めてはならない. 水を流さない水洗トイレの状況と同じであるといっても過言でない.

引用論文

Tazaki, K. (Editor) (2003 a) Heavy oil spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997: Towards eco-responsibility, Earth Sense. Kanazawa University COE projects Scientific Reports 440 pp.

Tazaki, K. (Editor) (2003 b) Water and Soil Environments; Microorganisms play an important role. Kanazawa University COE projects Scientific Reports 254 pp.

貯水池土砂管理国際シンポジウム実行委員会 (2000) ワークショップ論文集, 202 p.

田崎他 12 名 (2002) 黒部川出し平ダムおよび富山湾における堆積物の特性: 懸濁粒子が魚類に与える影響の検討. 地質学雑誌, 108, 435-452.

田崎和江, 国峯由貴江, 森川俊和 (2001) 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. 粘土科学, 41, 64-74.

Tazaki, K., Sato, M., Van der Gaast, S. V. and Morikawa, T. (2003) Effects of clay-rich river-dam sediments on downstream fish and plant life. Clay Minerals, 38, 243-253.

田崎和江他 12 名 (2003) 富山県出し平ダムの排砂ゲートから排出された黒色濁水の特徴. LAGUNA 汽水域研究, 10, 1-17.

(受付: 2003 年 11 月 4 日, 受理: 2003 年 12 月 11 日)

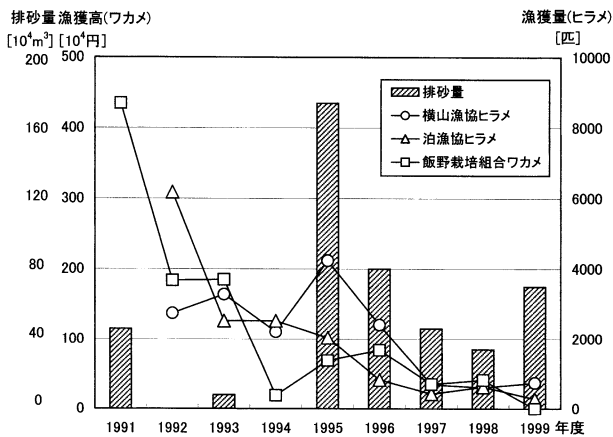


図3 富山湾の漁協が調査したヒラメとワカメの漁獲量(漁獲高)の推移. 出し平ダムの排砂が始まった1991年から漁獲量(高)の減少が著しいことを示している.