

フラッシュ放流による付着藻類剥離効果確認 のために灰塚ダムで実施した調査手法の紹介

A REPORT ON THE METHOD TO INVESTIGATE THE FLAKING EFFECTS
OF ATTACHED ALGAE BY THE FLUSHING DISCHARGE OF HAIZUKA DAM

山内鋭司¹・岡野隆行²・小松俊晶³
Eiji YAMAUCHI, Takayuki OKANO, Toshiaki KOMATSU

¹ 国際航業株式会社 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東 3-6-3)

² 国際航業株式会社 (〒732-0824 広島県広島市南区の場町 1-2-19)

³ 国際航業株式会社 (〒660-0805 兵庫県尼崎市西長洲町 1-1-15)

We tried a new method to investigate the flaking effect of attached algae by the flash discharge, in Haizuka dam.

Though there is a method of examining the amount of the change of attached algae before and after discharge as a general search procedure of the flaking effect. However, we tried the method of clarifying the flaking effect of attached algae from the flux of the photosynthetic pigment that flowed in the river for the discharge period in Haizuka dam.

As a result, we were able to clarify the following facts that were not able to be understood by the current methods.

- The gross weight of attached algae that flaked off in the downstream river, (including the amount that originates in withered attached algae that piled up in riverbed) was clarified.
- The section where the flaking effect was large and the section where the subsidence was caused were clarified.
- The relation between the amount of the section flaking off and flowing quantity was able to be understood in the time series. And it was able to be confirmed that flaking off was advanced when flowing quantity was rapidly increased.

Key Words : *flushing discharge, attached algae, flaking effect*

1. はじめに

多目的ダムは、治水・利水等複数の機能を兼ね備えたダムであり、流量を自然の状態よりも平滑化させることにより、下流域の洪水調節と安定的な用水確保を図っている。

しかし、流量の平滑化は、河道内の攪乱をダム建設前よりも減少させ、河道の樹林化やアユ等の餌となる付着藻類の更新阻害などをもたらす要因にもなっている。

この問題に対して、人為的に一定規模の水を放流し、ダム建設前の自然洪水が有していた攪乱機能を再現しようという試みが、多くのダムで行われるようになってきており、この放流のことをフラッシュ放流という。

フラッシュ放流を効果的に実施するには、下流河川的环境特性や流量の平滑化によってもたらされている環境悪化の内容に応じて改善目標を設定するとともに、フラッシュ放流の効果を予測・評価し、放流規模、放流時期、放流頻度等の運用方法や運用基準を決めることが重要で

ある。

しかし、現状ではフラッシュ放流の効果を予測・評価する手法は確立されていないことから、試験的にフラッシュ放流を実施し、その効果を把握・評価することで、運用方法や運用基準を検討している段階にある。

ここでは、広島県にある灰塚ダムで試行されたフラッシュ放流において、付着藻類の剥離効果を確認するために実施した調査の手法と得られた成果を紹介する。

フラッシュ放流によるダム下流の付着藻類剥離効果の調査としては、放流前後に付着藻類そのものを定量採取してその変化を調べる方法が一般的であるが、今回灰塚ダムで実施した方法は、放流時の河川水中に含まれる植物色素の濃度変化を時系列的にとらえ、その結果から剥離効果を定量的に評価するという新たな方法である。

2. 灰塚ダムの概要

灰塚ダムは、広島県三次市、一級河川・江の川水系の上下川に建設された高さ 50.0m の重力式コンクリートダ

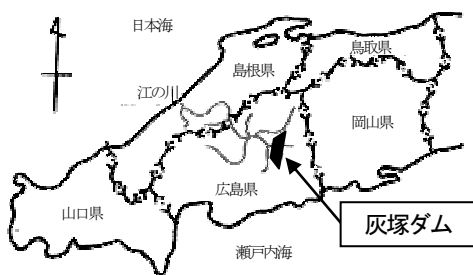


図-1 灰塚ダムの位置



図-2 灰塚ダムの常用洪水吐き（両脇）と環境用水放流設備（中央）

ムで（図-1 参照），上下川及び合流先の馬洗川（ばせんがわ）・江の川の治水と三次市への上水道供給を目的とした特定多目的ダムである。竣工は2006年11月で，管理は国土交通省中国地方整備局である。

灰塚ダムで特筆すべきは，環境用水放流設備がダム中央部に設置されていることである（図-2 参照）。この施設は，定期的なフラッシュ放流によって流量変動を創出したり，洪水後の濁水の長期化の軽減や中小出水の再現放流を実施し，ダム下流の河川環境を自然の状態に維持する目的で設置されている。環境維持のための放流施設は，1997年の河川法改正で，「河川環境の維持」が治水・利水に並ぶ重要な法目的に掲げられたことを受け，全国のダムに設置されるようになったが，灰塚ダムのように主要放流設備として設置されたのは全国でもまだ珍しいとされている。

3. フラッシュ放流の概要

灰塚ダムにおけるフラッシュ放流は，下流河川の付着藻類の剥離・更新を主目的としている。

灰塚ダム完成前における当該水域の付着藻類相は，冬季には珪藻が優占するが，これらは春先の雪解け水による出水で剥離し，アユの解禁時期には新たに糸状性藍藻が伸び始めこれをアユが利用するという季節変動パターンを持っていたことが確認されている。そのため，フラッシュ放流は，これを再現すべく，地元漁業者との調整のうえ3月に実施することになっている。

このフラッシュ放流は，灰塚ダムが完成した2006年

表-1 フラッシュ放流効果確認調査の実施状況

調査名	調査方法	調査実施状況	
		2006年度	2007年度
河床材料調査（トラップ調査）	フラッシュ放流前にトラップ（1m×0.5m×深さ0.5m）を設置し、放流後に捕捉された石礫の粒径を確認し、石礫の移動限界粒径を把握する。	●	●
河床材料調査（石礫移動調査）	フラッシュ放流前に河岸の数種類の大きさの礫にペンキで印をつけ、放流後の移動状況を把握する。	●	●
付着藻類調査（定量採取）	瀬の石礫表面の付着物をコードラート採取（5cm×5cm）し、湿重量、乾燥重量、強熱減量、クロロフィルa量、フェオフィチン量を計測する。 調査は、フラッシュ放流前1回と放流後1～2週間の間に3回行い、付着藻類の剥離状況と剥離後の生長状況を確認する。	●	●
糸状性緑藻類調査	フラッシュ放流前後に、糸状性緑藻類の生育状況、分布範囲を目視確認し、剥離状況を把握する。	●	●
水質調査	フラッシュ放流中に、流量観測データの得られる地点において、流量変化に応じた時間間隔で採水（クロロフィルa、フェオフィチン濃度を分析）と水温・濁度測定を行う。この結果から、付着藻類の剥離状況を定量的に把握する。	—	●

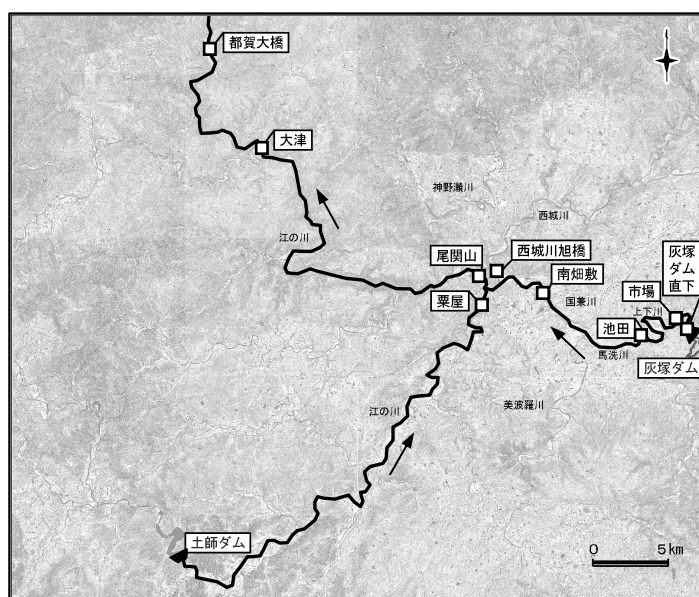


図-3 水質調査地点

度から試行されており，2回目にあたる2007年度は，2008年3月18日に実施された。また，2007年度には江の川本川にある土師ダムとの合同放流が試みられた。土師ダムは，灰塚ダムの下流河川である上下川・馬洗川と江の川本川との合流点より上流の江の川にあり，合流点で両ダムからのピーク流量が重なるように放流波形が設定された。

なお，このときの計画ピーク流量は灰塚ダムが100m³/s，土師ダムが50 m³/sであった。

4. 効果確認調査の概要

灰塚ダムでは，より効果的なフラッシュ放流の運用を検討していくために，フラッシュ放流にあわせて表-1に示す調査が実施されている。

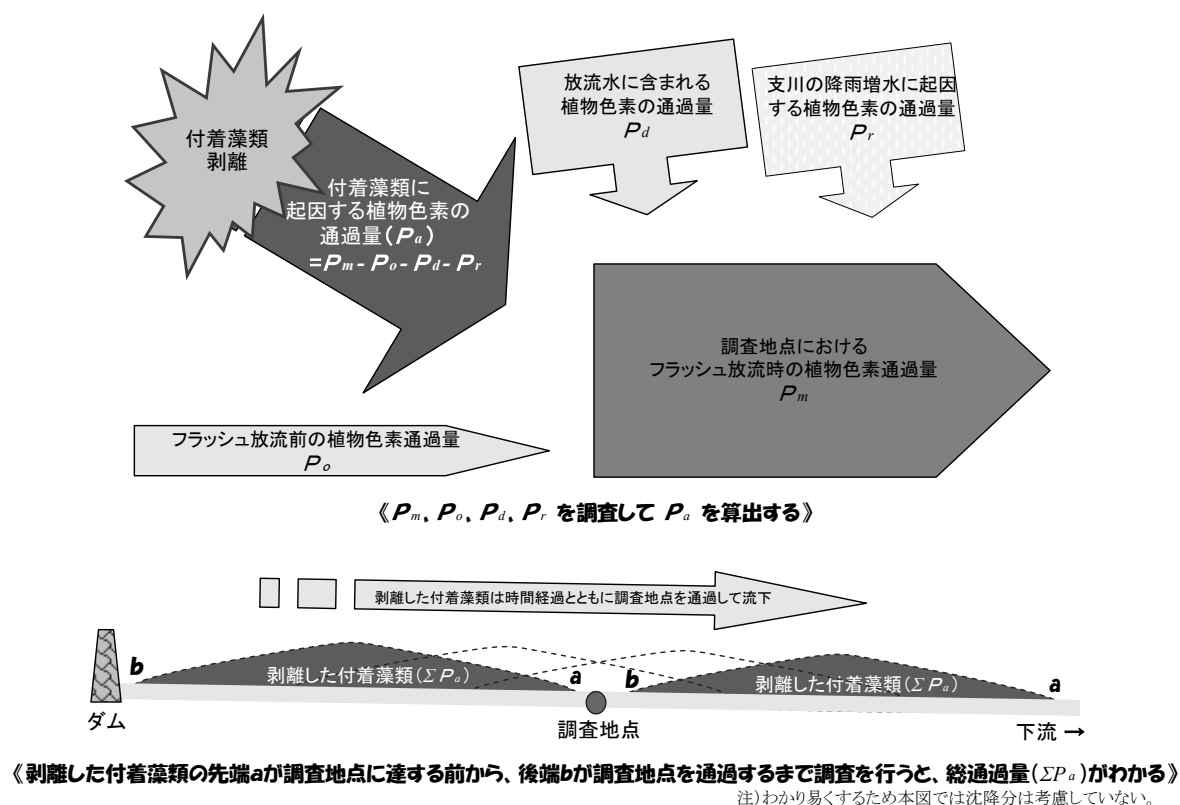


図-4 付着藻類剥離効果算定の考え方

本報告の対象は、このうちの 2007 年度に実施した水質調査であり、現地調査としては、図-3 に示す 9 地点においてフラッシュ放流時における河川水中の植物色素（クロロフィル a 及びフェオフィチン）の濃度変化を把握するための採水調査を実施した。

採水頻度は、フラッシュ放流による流量の増加前から減少後（2008 年 3 月 18 日～19 日）まで、各調査地点の流量の変化状況に応じて 1 時間間隔～最大 6 時間間隔とした。

なお、調査地点のうち栗屋地点は土師ダムからのフラッシュ放流の影響・効果を把握するため、西城川旭橋地点は、降雨時の増水に起因する主要支川からの植物色素負荷量を把握するために設定した地点である。

5. 付着藻類剥離効果の算定内容

水質調査結果及び水位観測所の流量データから、各調査地点における「上流で剥離した付着藻類に起因する植物色素の通過量」を求め、さらに区間毎の付着藻類剥離量の指標値となる「付着藻類に起因する植物色素増減量」を算定した。

ここで、「上流で剥離した付着藻類に起因する植物色素の通過量」とは、フラッシュ放流期間中に各調査地点を通過した全植物色素量（クロロフィル a 及びフェオフィチン濃度）のうちの、付着藻類に起因する植物色素量

のことであり（図-4 参照）、正確にはフラッシュ放流によって上流で剥離した付着藻類（枯死により河床へ堆積していた分も含む）の植物色素量から、上流で沈降した植物色素量が差し引かれた量をあらわす。また、「付着藻類に起因する植物色素増減量」とは、各調査地点間（各区間）において付着藻類が剥離・沈降した結果生じた植物色素の増減量のことであり、各調査地点間の植物色素総通過量の差として求めることができる。

6. 算定式

フラッシュ放流時のある時刻における各調査地点の植物色素濃度（クロロフィル a 及びフェオフィチンの分析値）は、植物プランクトンに起因するフラッシュ放流前の濃度と放流水中の濃度及びフラッシュ放流により上流で剥離した付着藻類に起因する濃度の合計（降雨時には支川の増水に伴う付着藻類剥離分も加わる）と考えることができる。（図-4 の上図参照）

ここで、フラッシュ放流時のある時刻における各調査地点の植物色素量（単位時間あたりの通過量）は、式(1)であらわすことができる。

$$P_m = P_o + P_d + P_r + P_a \quad (1)$$

ここに、 P ：植物色素通過量（mg/s）であり、添字の m はフラッシュ放流時のもの、 o はフラッシュ放流前のもの、 d

表-2 付着藻類剥離効果の算定結果

地点	地点名	灰塚ダムからの距離(km)	ΣPa: 剥離した付着藻類に起因する植物色素の総通過量(kg)			区間	区間距離(km)	付着藻類に起因する植物色素増減量					
								総量(kg)			100m当りの量(g/100m)		
			クロフィルa	フコフィチン	合計			クロフィルa	フコフィチン	合計	クロフィルa	フコフィチン	合計
No.1	灰塚ダム直下	0.1	0.3	0.4	0.7	灰塚ダム～直下	0.1	0.3	0.4	0.7	332	379	711
No.2	市場	2.5	17.8	9.7	27.5	ダム直下～市場	2.4	17.5	9.3	26.8	727	389	1,116
No.3	池田	10.3	51.0	29.9	80.9	市場～池田	7.8	33.2	20.2	53.4	425	259	685
No.4	南畑敷	18.0	52.0	30.5	82.4	池田～南畑敷	7.7	1.0	0.5	1.6	13	7	20
No.5	尾関山	23.6	97.5	56.4	153.9	南畑敷～尾関山	7.6	12.0	2.6	14.6	157	35	192
No.6	大津	50.9	37.8	25.0	62.8	尾関山～大津	27.3	-59.7	-31.4	-91.1	-219	-115	-334
No.7	都賀大橋	62.5	39.6	25.7	65.3	大津～都賀大橋	11.6	1.8	0.7	2.6	16	6	22
-	栗屋	37.9	33.6	23.3	56.8	土師ダム～栗屋	37.9	33.6	23.3	56.8	89	61	150

備考) 降雨の影響で流量増加に転じた後の計算値は集計から除外した。

南畑敷～尾関山の植物色素増減量には、栗屋～馬洗川合流点(区間距離2.0km)の増減量も含まれる。

栗屋の距離は土師ダムからの距離である。

剥離量よりも沈降量が多い場合はマイナスの値となる。

はフラッシュ放流水自体に起因するもの、 r は支川の降雨増水に起因するもの(増水時以外は0)、 a は上流で剥離した付着藻類に起因するものであることをあらわす。

式(1)から、フラッシュ放流により上流で剥離した付着藻類に起因する植物色素の通過量 P_a を求める式は、式(2)のようになる。

$$P_a = P_m - P_o - P_d - P_r \quad (2)$$

ここで、右辺の各変数は式(3)～(6)により、調査データを用いて算定できる。

$$P_m = D_m \cdot Q_m \quad (3)$$

$$P_o = D_o \cdot Q_o \quad (4)$$

$$P_d = D_d \cdot Q_d \quad (5)$$

$$P_r = D_r \cdot Q_r \quad (6)$$

ここに、 D :植物色素濃度($\mu\text{g/l}$)、 Q :流量(m^3/s)であり、添字の m はフラッシュ放流時のもの、 o はフラッシュ放流前のもの、 d は放流水に起因するもの、 r は支川の降雨増水に起因するものであることをあらわす。

以上から算定された P_a は、各水質測定時刻における単位時間当たりの通過量である。フラッシュ放流期間中の総通過量は、各測定時刻の P_a を1時間当たりの通過量に換算し、それらを地点毎に合計することで算定できる。

このようにして算定した総通過量は、ダム～各調査地点間での付着藻類に起因する植物色素増減量をあらわす。また、各区間の付着藻類に起因する植物色素増減量は、地点間の総通過量の差として求めることができる。

なお、実際の計算では、クロフィルaとフコフィチンは別々に算定し、最終的に合算したものを植物色素量とした。

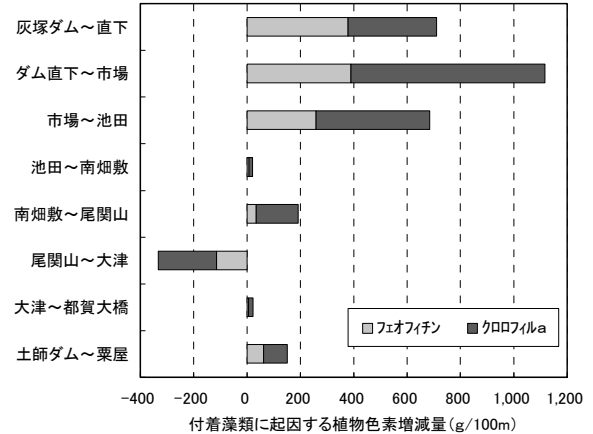


図-5 区間別の付着藻類に起因する植物色素増減量(河川距離100m当り)

7. 付着藻類剥離効果の算定結果

算定結果は、表-2のとおりになった。このうち、区間別の付着藻類に起因する100m当りの植物色素増減量を図-5に示した。

この算定結果は、今回のフラッシュ放流による付着藻類剥離効果として次のように解釈できた。

- 表-2に示した区間別の植物色素増減量をみると、尾関山～大津間でマイナスの値となっており、この区間では剥離量よりも沈降量が多かったことを示している。したがって、今回の両ダムからのフラッシュ放流による付着藻類の剥離は、主に尾関山よりも上流で生じていたと考えられる。このことから、表-2中の尾関山における総通過量(153.9 kg、湿重量換算では約603トン)が、今回の灰塚、土師の両ダムからのフラッシュ放流による総剥離量に最も近い値を示していると考えられた。
- 100m当りの植物色素増減量は、図-5に示すようにダム直下～市場間が最も多く、1kg程度(1,116 g/100 m、湿重量換算では約4.4トン)と試算された。また、その下流の市場～池田間でも植物色素増減量が多いが、池田～南畑敷間になるとゼロに近くなっている。

このことから、今回の灰塚ダムからのフラッシュ放流による剥離効果は、池田付近より上流で大きかったと考えられた。

次に、上流で剥離した付着藻類に起因する植物色素通過量の経時変化を図-6に示した。なお、調査の終了前からみられる流量の再増加は降雨によるものであり、流量再増加以降の植物色素通過量には、降雨に起因するものがより多く含まれてきていたと考えられるため、表-2の算定時には除外している。

- 剥離効果が大きかったと考えられる池田より上流地点における通過量の経時変化をみると、流量の増加速度に対応して通過量のピークが2回みられた。1回目のピークは流量が30~50 m³/sの時にみられ、2回目のピークまでの間は通過量が減少を続けていることから考えると、流量が30~50 m³/sに達した時点で一気に剥離が進んだものと考えられた。

また、2回目のピークは、流量の急激な増加時にみられた。これについては、流量の急激な増加に伴う水位の急上昇によって河岸部のよどみやワンド等の流速が急上昇し、それらの部分の付着藻類が一気に剥離したのではないかと推測された。

また、このことは、フラッシュ放流波形の調整によってより効果的な剥離効果が得られる可能性があることを示唆していると考えられた。

- 南畑敷より下流では、流量が滑らかに増加していることに対応して、通過量のピークは1回である。南畑敷では通過量のピークが流量ピークとほぼ同時（栗屋も同様）であるが、それより下流の尾関山では通過量のピークが流量ピークよりもやや遅れ、大津と都賀大橋ではさらに遅れている。図-5から尾関山~大津間では、上流で剥離した藻類の多くが沈降していたものと考えられたが、この区間で沈降が生じていなければその下流の大津と都賀大橋でも通過量と流量のピークが重なるはずである。したがって、南畑敷~尾関山間で流量ピーク前後に剥離した藻類は、尾関山~大津間で最大限まで沈降し、沈降しきれなかった余剰分が徐々に下流に達したと考ええると辻褄が合う。

このことは、通過量ピークの流量ピークからの遅れが、沈降の有無判定の尺度になりうることを示すものであり、この尺度からみると南畑敷より上流では沈降はほとんど生じていなかったが、南畑敷~尾関山間では多少は沈降が生じていた可能性がある。

8. 算定値の妥当性

今回の算定値が妥当なものであるかを確認するために、算定値を、各区内の定量調査地点で調べた付着藻類のフラッシュ放流後における単位面積当たりの湿重量の減少量と比較した。

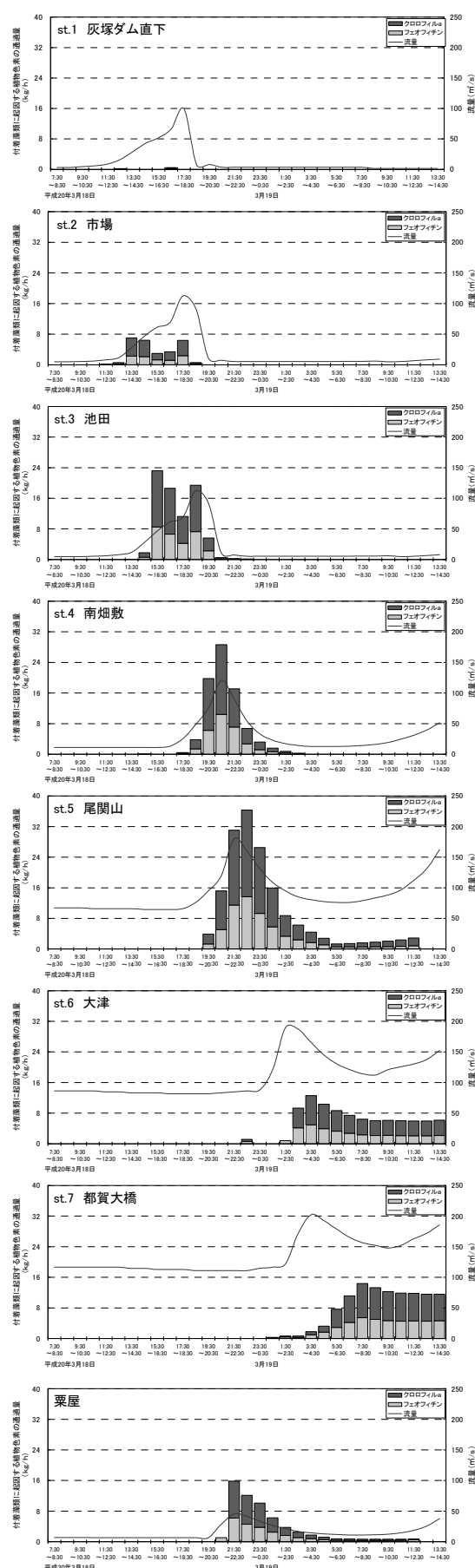
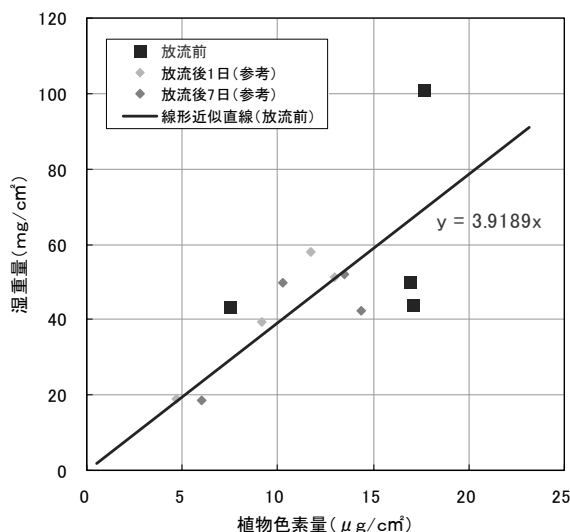


図-6 調査地点別の植物色素通過量の経時変化



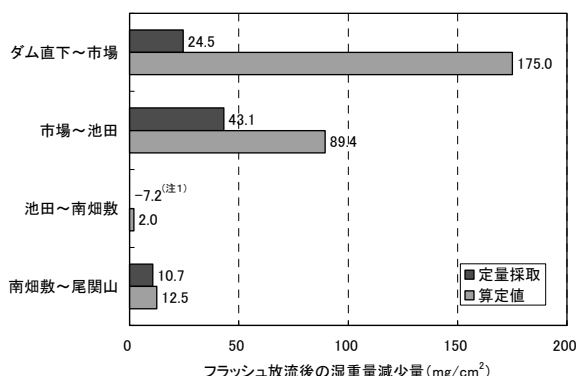
【湿重量への換算式】

湿重量 = $3.9189 \times 10^3 \times \text{植物色素量}$

【使用データ】

2007 年のフラッシュ放流前後における付着藻類調査結果。換算式には、放流前の付着藻類のデータのみを使用

図-7 付着藻類に含まれる植物色素量と湿重量との関係



(注1) 池田～南畑敷区間の定量採取結果では、フラッシュ放流後に湿重量が増加していた。

図-8 算定値と定量採取結果との比較

比較にあたって、算定値は、図-7の換算式を用いて湿重量に換算し、さらに各区间のおおよその水面幅から単位面積当たりの湿重量に換算した。

両者を比較した結果は、図-8のとおりで、算定値の方が大きな値となった。このような差が出た原因としては、次の2点が考えられた。

- 算定に用いた水質データのフェオフィチン/クロロフィルa比は現場で定量採取した付着藻類のそれに比べて非常に大きかったことから、算定値には、付着藻類のほか、枯死して河床に堆積していた付着藻類の掃流分も含まれていたと考えられた。
- 算定値は、各区間の平均的な量をあらわすものであるのに対して、定量採取結果は、各区间の中の1点のデータである。

したがって、両者にこの程度の差が生じる可能性は十分にあり、数値オーダー的には合っていることから、算定値はおおむね妥当であると考えられた。

9. まとめ

フラッシュ放流によるダム下流の付着藻類剥離効果の調査としては、放流前後に付着藻類そのものを定量採取してその変化を調べる方法が一般的であるが、今回灰塚ダムでは、放流時の河川水中に含まれる植物色素の濃度変化を時系列的にとらえ、その結果から剥離効果を定量的に評価するという方法を試みた。

その結果、以下を明らかにすることができた。これらの結果は、フラッシュ放流のより効果的な放流規模や放流波形の検討に有用な情報であると考えられる。

- 下流河川における付着藻類の総剥離量を、枯死して河床に堆積していた付着藻類の掃流分も含めて、推定することができた。
- 剥離効果の大きい区間や、下流で沈降が生じる区間を把握することができた。
- 剥離量と流量との関係を時系列的に把握することができ、剥離は、流量の急激な増加時に一気に進んでいることが確認できた。

なお、本方法実施にあたっての留意事項は次のとおりである。

- 採水地点の流量データが必要である。今回のように流量観測所地点で行う場合は問題ないが、流量観測所がない場合や採水地点と離れている場合は、採水と同時に流量観測を行う必要がある。
- 調査時の降雨は、特に支川流入部より下流の調査地点の算定精度に影響する。このため、降雨時には支川を調査地点に加え、支川からの降雨増水に起因する植物色素量を把握する必要がある。しかし、この量を下流の調査地点に反映させるには、調査地点間の流達時間を考慮する必要がある。流達時間は予測値となることから、精度はおちることになる。
- 計算上は、剥離量と沈降量は分離できない。

謝辞：本調査は国土交通省中国地方整備局三次河川国道事務所から委託された灰塚ダム河川環境調査業務の一部として実施したものです。本業務の発表は、当時の灰塚ダム管理支所に所属しておられた今岡俊和氏、入川直之氏にお勧めいただきました。御両氏ならびに三次河川国道事務所の皆様に深く感謝します。また、業務の遂行にあたって適切なご指導・ご助言を頂いた元広島県水産試験場長の村上恭祥氏に敬意と謝意を表します。

(2010.4.8 受付)