

ダム維持放流量変化が河床付着生物膜形成に与える影響に関する現地調査

INFLUENCE ON THE RIVERBED'S BIOFILM BY THE CHANGE OF MAINTENANCE FLOW DISCHARGE

井芹寧¹・矢野真一郎²・石川泰助³・齋藤正徳⁴

河口洋一⁵・島谷幸宏⁶・緒方健・山崎正敏⁷・清野聡子⁸

Yasushi ISERI, Shinichiro YANO, Taisuke ISHIKAWA, Youichi KAWAGUCHI
Yukihiro SIMATANI, Ken OGATA, Masatoshi YAMAZAKI, Satoko SEINO

¹正会員 工博 西日本技術開発株式会社 環境部 (〒810-0004 福岡市中央区渡辺通1-1-1)

²正会員 工博 九州大学大学院助教授 工学研究院環境都市部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

³学生会員 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻 (同上)

⁴学生会員 工修 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻 (同上)

⁵正会員 工博 九州大学大学院助手 工学研究院環境都市部門 (同上)

⁶フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門 (同上)

⁷福岡県保健環境研究所 環境科学部 (〒818-0135 太宰府市向佐野39)

⁸正会員 工博 東京大学大学院 総合文化研究科助手 (〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1)

In the Ohyama River located in the upper Chikugo River, the maintenance flow discharge has been regulated to be 4.5m³/s from mid-March to early October and 1.8m³/s in the remaining term since 2002. To assess the influence on the river ecosystem by the change of discharge, we sampled river water for analysis of nutrients and biofilm at an early development stage for identification and counting of periphyton under a microscope, at flat shallow before and after decreasing the discharge. The results show a difference of periphyton composition between not only flow conditions, but also positions, that is, the center line of stream and the side pool. Several species of Planktonic algae which are found in the upper dam was identified, and the most were dead or broken down. Thus, they would influence the ecosystem in the biofilm as an organic load. In the dead water zone, filamentous algae glowing greatly caused nutrients depletion for the short term.

Key words : maintenance flow discharge, attached algae, filamentous algae, microecosystem

1. 序論

ダム直下の河川では河床構成材料の粗粒化¹⁾や、流量の減少・安定化により、底生動物、魚類等に対して悪影響^{2), 3)}がみられる。それらの対策として、維持流量の増量放流やフラッシュ放流などが多くのダムで行われ、流量変化に伴う河川生物への影響を把握するための研究⁴⁾や魚類の生息にとって望ましいダム放流量の調査⁵⁾などが実施されている。また、河川管理の上で河川生物の指標種として魚類を代表種として取り組む例が多い。特に、アユに着目する場合、その餌となる付着藻類相が重要となる。付着藻類は河川生態系における基礎生産者であるとともに、付着藻類の量と質がアユの生息環境に直接影響する。一方、付着藻類の異常繁茂は景観の悪化、剥離による有機汚濁等の原因になることが指摘されている⁶⁾。三重県宮川では流量減少時に糸状緑藻が異常繁茂し障害を引き起こした事例が報告されている⁷⁾。

本研究で対象としている大山川ダムの減水区間は、上流域に貯水容量約6,000万m³の下笠ダム、5,500万m³の松原ダムがある。両貯水池とも、藻類の一次生産が活発で淡水赤潮やアオコの発生が観察されている。大山川ダムは松原ダムからの維持放流と発電放流が流入する小堰堤の流れダムであり、水量のほとんどを下流の発電所に配水していたが、2002年より河川生態系の再生を目的に維持放流量の増量処置が行われている。従来は年間1.5m³/sであった放流量を、3月21日から9月30日の間は4.5m³/s、10月1日から3月20日の間は1.8m³/sに増加した。あわせて流量増加や変動が河川環境に及ぼす影響を評価するため筑後川上流自然再生検討委員会が組織され、2002年から2003年にかけて調査研究が行われた。その研究成果として、一定の流速区分条件下における付着藻類の生育やアユの生息環境について、放流量増加により改善効果があることが報告されている⁸⁾。

本研究は、流量変化による河川生態系への影響評価の一環として、放流量 $4.5\text{m}^3/\text{s}$ 時と放流量 $1.8\text{m}^3/\text{s}$ 時の2回、河川横断方向に渡って石礫上の付着生物膜の形成状況を調査するとともに、付着基盤を設置し、付着生物膜初期発生に対する影響について評価を行った。また、放流量 $1.8\text{m}^3/\text{s}$ 時の水位低下により形成された止水域において、糸状藻類の異常発生が生じ親水性の低下につながることを懸念されたため、発生要因の解明の基礎データの収集を目的として水質調査を行い、その生育環境について評価を行った。

2. 調査概要

(1) 調査時期及び地点

付着藻類調査については、放流量 $4.5\text{m}^3/\text{s}$ 時（2005年9月28～30日）と放流量 $1.8\text{m}^3/\text{s}$ 時（同年11月25～27日）に、図-1に示す金堀橋下流の平瀬において調査横断線を設置し調査を行った。本地点は大山川ダム下流約700mに位置し、その間には支流等の大きな流入はなくダム放流の影響を直接的に受ける水域となっている。止水域の水質環境調査については、11月25～26日に金堀橋下流の止水域と上流水域の計7地点について水質等の調査を行った。

(2) 付着藻類調査

調査横断線において、①河床断面及び流速分布計測、②石礫付着藻類採取、③付着基盤設置を実施した。

a) 河床断面及び流速分布計測

調査横断線において横断方向に1～2.5m間隔で水深を測定し、電磁流速計（株東邦電探TK-105DH型及びアレック電子(株)ACM100-D）を用い、水深60cm未満の測点では水深の6割の位置（1点法）、水深60cm以上の測点では水深の2割、8割の位置（2点法）で、断面直交成分の流速を計測した。また、石礫の頂部から約2cmの位置で主流方向成分の流速（以下、底層流速とする）を計測した。

b) 石礫付着藻類採取

横断方向に2～2.5m間隔で河床の石礫を採取し、それぞれの石礫の上面に5cm×5cmのコドラートを設置し、コドラート内の付着物をナイロンブラシと蒸留水を用いてこすり取り試料とした。それぞれの試料を、クロロフィルa（以下、Chl-aとする）不検出の水で300mLフィルアップしたものを、多項目水質計（YSI ナノテック社製 YSI6600）を使用し、濁度とChl-aを測定した。代表試料についてアセトン抽出吸光度法によるChl-a分析を実施し手分析との整合性のチェックを行った。また、石礫を採取したそれぞれの地点における水深と、石礫上2cmの位置で電磁流速計（株東邦電探TK-105DH型及びアレック電子(株)ACM100-D）を用いて底層流速を測定した。

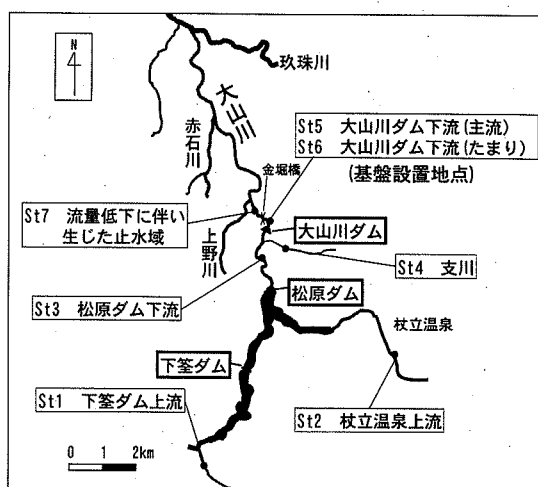


図-1 調査・実験地点位置図

c) 付着基盤設置

調査横断線において2.5～5.0m間隔でポリカーボネート製の付着基盤（26mm×76mm×26mm）を安定した石礫の上面に取り付けて48時間設置後回収した。回収後は生物膜を乱さないように湿潤状態を保ち、速やかに研究室に持ち帰り、検鏡より基盤上の付着生物の種の同定・個体数の計測を行った。あわせて流下藻類採取も実施し、遠沈濃縮後、同様に計測を行った。なお、検鏡にあたっては位相差及び落射蛍光顕微鏡を用い、細胞運動状況、細胞内色素の有無などを確認し、生細胞を判別計数した。

(3) 止水域の水質環境調査

各調査地点において多項目水質計（YSI ナノテック社 YSI6600）を使用し、水温、pH、濁度、導電率（EC）を測定後、水試料を採取し0.45μmメンブランフィルターでろ過処理し研究室に持ち帰った。試料はイオンクロマトグラフ（DIONEX社DX120）により主要イオン類、AutoAnalyzer（BLTECBL社swAAt）により、オルトケイ酸、オルトリン、全リン、溶存態全リン、全窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、溶存態全窒素の濃度を分析した。全窒素・リンから溶存態窒素・リンを差し引き有機態窒素・リン濃度を算出した。また、各地点で石礫付着物を採取し持ち帰り乾燥後、安定同位体比質量分析計（PDZ Europa社ANCA-SL）を使用し炭素及び窒素含有量を分析した。

3. 調査結果及び考察

(1) 付着藻類調査結果

a) 河床断面流速分布調査

河床断面流速分布調査結果を表-1、図-2に示す。調査横断線における平均流速は放流量 $4.5\text{m}^3/\text{s}$ 時が $0.23\text{m}/\text{s}$ であるのに対し放流量 $1.8\text{m}^3/\text{s}$ 時は $0.11\text{m}/\text{s}$ に52%減少し、平均水深は 0.63m から 0.49m に22%減少した。

b) 石礫附着藻類調査結果

石礫附着藻類 Chl-a 測定結果を図-3 に示す。Chl-a は 4.5m³/s 時は 0.92 ~ 3.21 μg/100mm²、1.8m³/s 時は 3.24 ~ 7.68 μg/100mm² の範囲で、全体的に 1.8m³/s 時の方が現存量が多くなった。1.8m³/s 時の河岸付近の浅水域には、大型の珪藻である *Cymbella* sp. が厚さ数 mm 以上のマットを形成したり、止水水域で大型糸状緑藻の *Spirogyra* sp. の大量発生が観察されるなど、4.5m³/s 時より河床全体にわたって藻類の生産量が増加した。図-4 に示すとおり 4.5m³/s 時の測定結果から Chl-a/濁質比と水深または底層流速との間に関連性が示唆された。4.5m³/s 時の平瀬部では、流速が早いほど、また水深が深いほど石礫附着生物膜中の Chl-a 成分の割合が高くなる傾向とも捉えられるが、今後、さらにデータを蓄積し検証する必要がある。

c) 附着基盤調査結果

設置 48 時間後の附着基盤上の初期形成生物膜組成を表-2 に、主要種の顕微鏡写真を写真-1 に示す。初期発生物膜内に最大で約 30 種、24, 130cells/100mm² の附着藻類が確認された。4.5m³/s 時は 1, 972 ~ 24, 130cells/100mm² で、1.8m³/s 時は 670 ~ 2, 606cells/mm² で、初期発生量としては 4.5m³/s 時の方が多かった。附着藻類は珪藻類が主体であるが、4.5m³/s 時には *Anabaena* sp. や *Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp. 等の藍藻類も多く出現した。附着形態としては一般的に膜形成初期に活着するといわれている密着型 (*Cocconeis* 等) に加え、放射直立型 (*Synedra* 等)、樹状直立型 (*Gomphonema* 等) も見られた、特に、基盤に附着するかもしくは附着有機物フロックに貫通し移動する運動性のある種類 (*Oscillatoria*, *Bacillaria* 等) が目立った。数は少ないが附着器官で基盤に着生した数百 μm の長さの緑藻も観察された。また、表-3 に附着基盤上の浮遊性藻類出現状況を示す。これより特徴的なことは、河川附着性の藻類に混在して、珪藻の *Aulacoseira granulata* や *Fragilaria crotonensis*, *F. japonica* 等の浮遊性藻類の出現が多く確認されたことである。浮遊性藻類は 4.5m³/s 時に多く出現しているが、これは、4.5m³/s 時河川流下藻類において出現量が多い順に *F. japonica* が 310cells/mL、*A. granulata* が 270cells/mL、*F. crotonensis* が 90cells/mL、*Peridinium bipes* が 10cells/mL、*Eudorina* sp. が 10 cells/mL、*Asterionella formosa* が 2cells/mL 出現しており、これらの傾向と附着藻類組成が類似していることから、上流のダム貯水池から流下してきた藻類の沈積・附着が関与しているものと考えられる。なお、1.8m³/s 時の流下藻類は *A. granulata* が 38cells/mL、*F. japonica* が 17cells/mL、*F. crotonensis* が 1 cell/mL となり激減する。通常は河川附着藻類として出現することはない *Peridinium bipes* や *Eudorina* sp. が認められた。*Peridinium* は仮シスト化している細胞も確認され、下流止水水域に種供

表-1 調査・実験横断線における流況の変化

項目	4.5m ³ /s時	1.8m ³ /s時	減少率
放流量 (m ³ /s)	4.5	1.8	0.6
断面平均流速 (m/s)	0.23	0.11	0.52
断面平均水深 (m)	0.63	0.49	0.22
水面幅 (m)	36	29	0.19

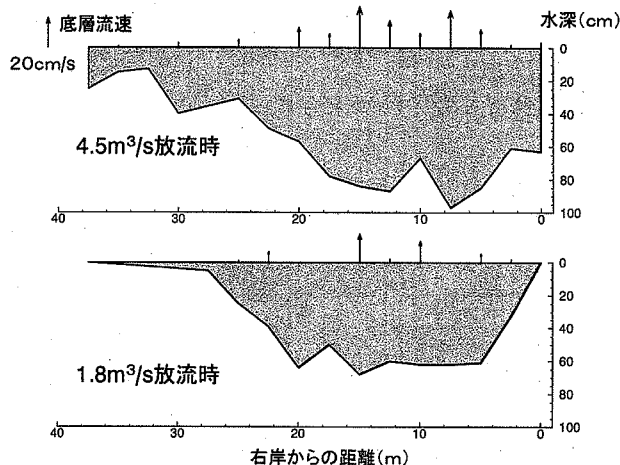


図-2 調査横断面・底層流速の変化

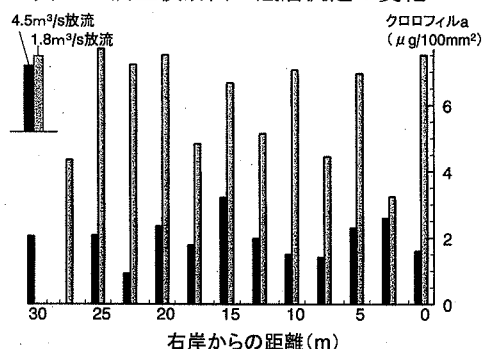


図-3 調査横断線におけるクロロフィル a 測定結果

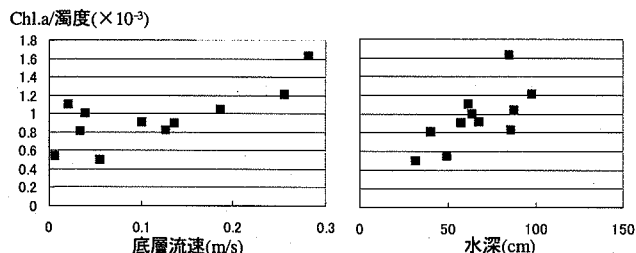


図-4 Chl-a/濁度比と底層流速、水深の関係 (0.45m³/s) 給として影響することが予想される。なお、ワンド部ではアオコ形成種である *Microcystis aeruginosa* も確認された。

本研究では、未固定試料を検鏡した。これにより従来の方法では判別が困難な微小動物類の出現が確認された。ワンド部の石礫上の生物膜中に動物類が多く観察され、細菌捕食性、デトリティラス食性の原生動物類が 400 ~ 1, 000 個体/100mm² 出現した。4.5m³/s 時には藻類から細菌まで摂食する *Dfflugia* sp. フロックや生物膜の内部まで匍匐して摂食する *Rotatoria* が多く出現した。1.8m³/s 時には小型の鞭毛虫が大量に出現したが、有機物分解作用が活性化していることを示唆するものと判断される。動物類の増加の過程を示すと、ダム貯水池から流下供給された浮遊性藻類

表-2 付着基盤初期形成(48hour)生物膜組成

出現種	地点	(cells.ind/s/100mm ²)							
		流心部(3)		流心部(4)		ワンド		ワンド内	
		4.5	1.8	4.5	1.8	4.5	1.8	4.5	1.8
	放流量(m ³ /s)	4.5	1.8	4.5	1.8	4.5	1.8	4.5	1.8
	水深(m)	0.85	0.61	0.67	0.62	0.49	0.39	0.4	0.05
	底面流速(cm/s)	12.6	5.9	10	14.6	5	7.4	3.3	0
藍藻	<i>Anabaena</i> sp.	80				240		2540	120
	<i>Merismopedia punctatum</i>	10							
	<i>Microcystis aeruginosa</i>					200	50		
藻	<i>Oscillatoria</i> spp.	3260	80	240	25	240	25	440	300
	<i>Phormidium</i> spp.			200		100			
	<i>Achnanthes crenulata</i>	20	20			10			
	<i>Achnanthes</i> sp.	20	10		10	40	20		
	<i>Asterionella formosa</i>			1		20		240	
	<i>Aulacoseira ambigua</i>								6
	<i>Aulacoseira granulata</i>	200	100		70	720	140	2600	660
	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	480	180			120	5	2500	140
	<i>Aulacoseira italica</i>	20						1000	
	<i>Aulacoseira japonica</i>	220	80	90	10	220	7	2400	40
	<i>Bacillaria paradoxa</i>		80				40	260	
	<i>Cocconeis placentula</i>	90	40	160	20	180		220	40
	<i>Cocconeis</i> sp.	10	20	20	10	80		200	
	<i>Cyclotella</i> sp.							10	
	<i>Cymbella tumida</i>	150	80	120	40	260	240	580	60
珪藻	<i>Cymbella turgidula</i> var. <i>nipponica</i>	60							
	<i>Cymbella ventricosa</i>			80				100	
	<i>Cymbella aspera</i>		30		10	5	5	10	15
	<i>Cymbella</i> spp.	60	10		60	15	5	50	5
	<i>Diatoma vulgare</i>	20	320		30		110		20
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	480			殻	640		3500	30
	<i>Fragilaria</i> sp.	20		80					
	<i>Gomphonema parvulum</i>	60		160		280		200	
	<i>Gomphonema constrictum</i>								
	<i>Gomphonema</i> spp.	40		40		60		100	6
	<i>Gyrosigma</i> sp.+ <i>Pleurosigma</i> sp.				1				
藻	<i>Hydrosera whampoensis</i>								1
	<i>Melosira varians</i>	80	1360	80	100	160	1700	2800	120
	<i>Navicula</i> spp.	160	180	120	70	220	60	2300	80
	<i>Nitzschia</i> spp.	50	160		40			300	10
	<i>Pinnularia</i> sp.		20		5				
	<i>Rhoicosphenia curvata</i>		2		3				4
	<i>Surirella robusta</i>	10	20				1	80	20
	<i>Surirella</i> spp.	60	20	1	10	20			
	<i>Synedra acus</i>								
	<i>Synedra ulna</i>	160	80	300	100	360		340	殻
	<i>Synedra ulna</i> var. <i>oxvrrhynchus</i>	50		120	4	120		40	
	<i>Synedra</i> spp.		80	160	60		5	60	160
	<i>Synchaeta stylata</i>	1							
緑藻	<i>Pediastrum</i> sp.		20						
	<i>Spirogyra</i> sp.	2				10	2	60	
	<i>Closterium</i> sp.				1		1		
	<i>Coelastrum</i> sp.		20						2
	<i>Cosmarium</i> sp.	1						240	2
	<i>Cosmoecium</i> sp.		10						
	<i>Staurastrum</i> sp.	1	1			2		260	
	<i>Scenedesmus</i> sp.							380	2
藻	<i>Planktosphaeria gelationosa</i>		40						300
他	<i>Pandorina morum</i>					r			60
	<i>Volvox</i> sp.					r			
	<i>Euglena</i> sp.								2
	<i>Eudorina</i> sp.	1						320	
	<i>Peridinium bipes</i>					1	2	10	
	糸状緑藻(付着器含)								1
	鞭毛藻の一種								400
藻類種数		30	28	17	21	28	19	30	28
藻類総細胞数		5816	3123	1972	679	4323	2428	24130	2606
輪虫	<i>Synchaeta stylata</i>	1							
	<i>Rotaria</i> sp.		2						
	<i>Trichocerca</i> sp.		1					40	8
	Rotatoriaの一種	2	2	0.1	1			100	8
原生動物	<i>Tintinnopsis</i> sp.	1							
	<i>Vorticella</i> sp.	1							6
	<i>Epistylis</i> sp.					1			
	<i>Diffugia globulosa</i>					r		200	
	<i>Englypha</i> sp.						1		
	<i>Stylonychia</i> sp.				3				3
	<i>Lacrymaria olor</i>								2
他	Ciliataの数種		60			1	40	60	40
	Amoebidaの一種								20
	Nematodaの一種					r		30	
	Mastigophoraの数種								1000
動物類種数		4	4	1	2	4	2	5	8
動物類総個体数		5	65	0.1	4	2	41	430	1087

表-3 浮遊性藻類出現状況 (+が多いほど量が多い)

藻類	流心部		ワンド部	
	4.5m ³ /s	1.8m ³ /s	4.5m ³ /s	1.8m ³ /s
浮遊性 <i>Microcystis aeruginosa</i>			++	+
<i>Asterionella formosa</i>			+	
<i>Fragilaria crotonensis</i>	+		+++	
<i>Staurastrum</i> sp.			++	
<i>Scenedesmus</i> sp.			++	
<i>Pandrina morum</i>				+
<i>Eudorina</i> sp.			++	
<i>Melosira granulata</i>	++	+	+++	++
中間型 <i>Melosira varians</i>	++	+++	++	++
<i>Synedra ulna</i>	++	+	++	

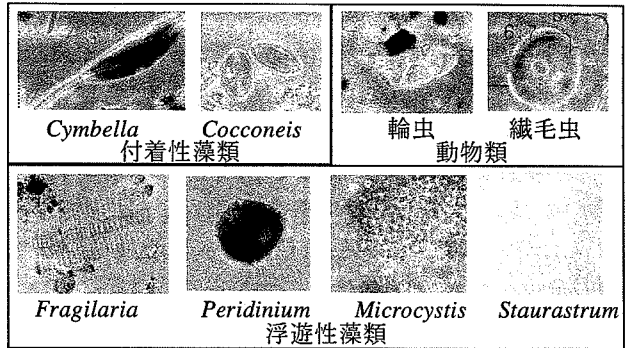


写真-1 初期形成生物膜内に出現した藻類、原生動物等



写真-2 減水時に現れた止水水域と糸状藻類

が流下過程で生理活性が衰え、ワンドなどの低流速水域で沈積する。生物膜中の浮遊性藻類は増殖が出来ず死滅し有機物として負荷源となる。これらの有機物を直接捕食する、また有機物分解の過程で増殖した細菌類等を捕食する多種の消費者群(原生動物、動物プランクトン、線虫類等)が増加する。

以上のように、本地点の付着藻類には上流からの流下プランクトンの混入が多く観察され、特に、ダム貯水池由来の浮遊藻類の影響が認められた。また、ワンド部の石礫上では生物膜内微細止水環境で多段の生態系が成り立っており、一種のマイクロエコシステムが構築されている。ワンド水域では小魚が多く、これらの動物類の一部は魚の良好な餌として機能するなど、河川魚類生態系の形成に寄与している可能性がある。

(2) 止水水域水質環境調査結果

止水水域水質環境調査は糸状藻類の繁茂が見られた止水水域の水質特性を明らかにするために、止水水域とその上流水域について調査を行った。写真-2に止水水域の写真を、各調査地点の概要を下記に示す。

St. 1 (下釜ダム上流)は下釜ダム貯水池に流入する河川にあたり、上流は山地溪流で小集落が散在する程度で人工負荷源は少ない。St. 2 (杖立上流)は松原ダム貯水池に流入する河川の杖立温泉集落の上流の地点である。集水域には小国町集落や農地が広がり、畜産も盛んであるなど農業系の負荷源が多い。St. 3 (松原ダム下流)は松原ダムからの河川維持放流水が流下する大山川本川の地点で、大山川ダム直上流にあたる。St. 4 (支川)は大山川ダム直上右岸側から流入する小河川で、評価地点の周辺部でダム放流の影響がない河川域として選定した。St. 5 (大山川ダム

下流)は大山川ダム直下700mの金堀橋付近の平瀬にあたり、その河川水は大山川ダム放流水が主体で、その影響を直接受ける地点である。St. 6(ワンド部)は大山川下流地点の右岸側の周囲を岩で形成されたワンドで、主流と水の交換はある。St. 7(止水域)は金堀橋から数百m下流の地点で、1.8m³/s時においては水位低下により主流から分断された止水池となっており、糸状藻類の繁茂が観察されている。

トリリニャーダイアグラムを図-5に、水質現地測定結果を表-4に、栄養塩分析結果を図-6に示す。

トリリニャーダイアグラムによると本水系は一般的な河川水のアルカリ土類重炭酸塩群に区分される。分布位置から下釜上流、支川、止水域が他の水と異なった水系の水質組成であることが示されている。

現地測定結果については、水温は7.9~14.2℃の範囲で下流域ほど上昇する傾向が認められた。ワンド部は12.0℃、止水域は11.3℃であり、主流部と比較すると主流部は14.2℃である。水の停滞する地点では流れている地点より低い。

pHは7.9~8.6の範囲で、流下に伴い上昇する傾向が認められた。各地点とも付着藻類の炭酸同化作用によりアルカリ性を呈している。

濁度は1.2~4.0mg/Lの範囲で、ダム上流は1.2、1.9mg/Lであるのに対しダム下流水域では流下藻類の混入のためか3mg/L前後の値となり増加が認められる。大山川流心部は3.6mg/Lであるのに対し、ワンド部は2.7mg/L、止水域は2.7mg/Lと低い値であった。これらの水域は流れが小さく、懸濁粒子が沈降することによるものと考えられる。

窒素成分はT-Nで0.080~0.428mg/Lの範囲で、下釜上流は0.207mg/Lで他地点と比較して低濃度であるが、上流域に汚濁負荷源の多い杖立上流で最大値をとる。松原ダム下流地点ではダム貯水池の生物活動の影響で減少する。溶存の有機態と亜硝酸態が上流域と比較して増加するが、ダム貯水池の有機物分解作用が影響しているものと考えられる。ワンド部はわずかに懸濁性の有機態が増加するとともに硝酸態が減少する。ワンド部は主流と水の循環はあるものの河川主流部と比較して滞留傾向にあることから、付着及び浮遊藻類が多いことが観察されていることから、硝酸を栄養として藻類が利用したことが影響しているものと考えられる。止水域では主流からの直接的な栄養塩の供給がないため、窒素成分はほとんど懸濁性の有機態となっており、止水域で異常繁茂している糸状藻類等に吸収され溶存態としては枯渇している状況である。窒素成分の多くは藻類に吸収され沈降しているものと考えられる。

リン成分はT-Pで0.010~0.035mg/Lの範囲で、窒素成分と類似した傾向を示すが、松原ダム下流地点から流下に伴い増加する。これは、支川の値が本川

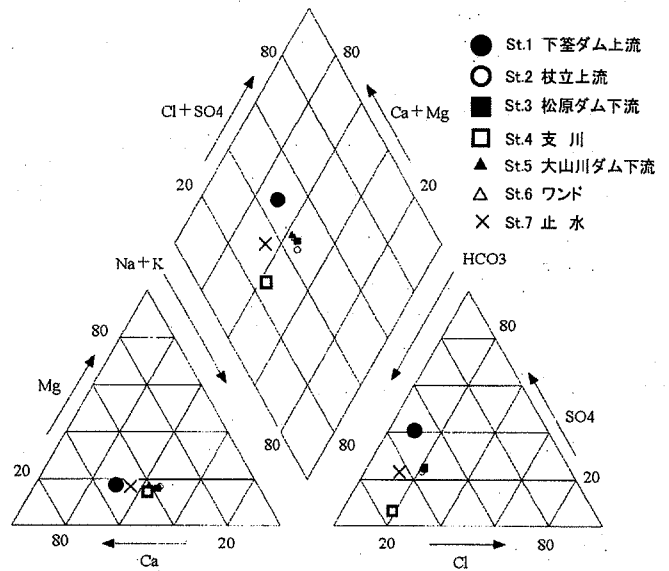


図-5 大山川水系トリリニャーダイアグラム

表-4 現地水質測定結果

地点名	測定項目				
	月/日/時	濁度 (mg/L)	水温 (°C)	pH	EC (μS/cm)
St1	11/25/11	1.2	7.88	7.9	77.3
St2	11/25/10	1.9	10.69	8.2	133
St3	11/25/12	3.8	14.09	8.2	120
St4	11/26/14	2.1	13.41	8.1	100
St5	11/25/13	3.6	14.17	8.6	124
St6	11/25/13	2.7	12.03	8.6	123
St7	11/26/16	3.2	11.29	8.1	119

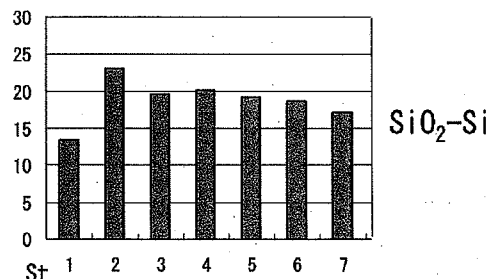
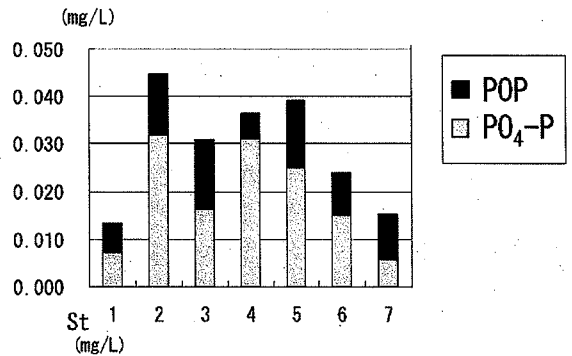
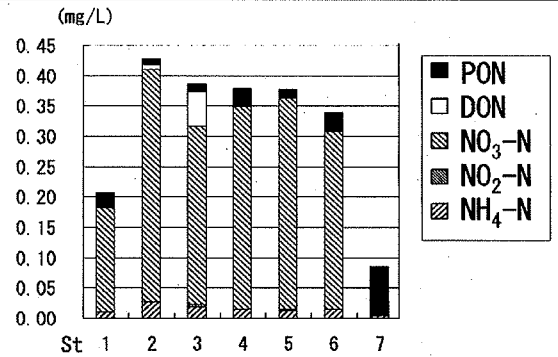


図-6 栄養塩水質分析結果

より高濃度であることから、周辺集水域からの流入水の影響によるものと考えられる。リン酸態リン(P₀₄-P)は藻類の生長に重要な栄養塩であるので、ワンド部、止水域と藻類の影響の大きい水域ほど減少している。止水域では溶存の窒素成分は枯渇しているが、リン酸態リンは0.005mg/L程度残存していることから止水域は窒素制限環境と考えられる。

オルトケイ酸(SiO₂)は13.5~23.1mg/Lの範囲で、主流と比較するとワンド部、止水部は低濃度であるが、リン、窒素成分と比較すると変化は小さい。

各地点の付着生物膜のC/N比(mol比)を比較すると、河川主流部の各地点は7.7~9.3であるのに対しワンド部は10.7、止水域は17.7と止水的環境で高い値になった。このことは、糸状藻類が優占する生物膜は分解を受けやすい成分が多く、剥離して流下した場合、速やかに河川水のBODの増加(汚濁化)につながる可能性が高いことを示唆している。

以上より、藻類が繁茂する止水域は河川的主流と比較してイオン組成が異なり、栄養塩が減少するなど、特徴的な水質環境にあることが明らかとなった。糸状緑藻の異常繁茂は、止水域を好んで増殖する*Spirogyra* sp.⁷⁾に栄養塩が効率的に吸収利用されたことが一因となっているものと推察される。

4. 結論

大山川のダム放流制御に伴う流量変化が河川付着藻類に与える影響として下記の知見が得られた。

①石礫上の付着藻類現存量は4.5m³/s放流時より1.8m³/s放流時の方が増加する傾向が認められた。大型の*Cymbella*等の珪藻類の増殖の影響によるものと考えられる。基盤上の初期形成付着藻類は4.5m³/s時の方が藍藻類の出現量が多いことなど、多種、多量の付着藻類の着生が認められた。

②初期形成生物膜において付着性と浮遊性藻類の混在が認められた。特に、ワンド部において上流のダム貯水池由来と考えられる浮遊性藻類の出現が多く認められた。浮遊性藻類は生物膜内では分解し有機物の供給源となる。ワンド部の生物膜内では、これらの有機物または有機物分解細菌を捕食する原生動物、輪虫、線虫類などが多量に観察され、独自のマイクロエコシステムが形成されている。また、ワンド水域には小魚が多く観察されており、微小動物類が上位の食物連鎖網に寄与しているものと推察される。ダム放流量の操作による河川生態系修復においては、一次生産性の高いダム貯水池水が放流水となる場合は、水量などの物理的環境に加え、放流水の水質や流下藻類の組成なども把握して、下流河川生態への化学・生物的影響を充分予測評価した上、処置を実施することが重要と考えられる。

③流量低下時に河川の主流と分断された止水域が形成され、緑藻の*Spirogyra* sp.の異常繁茂が生じた。止水域では河川水に含まれていたリン、窒素成分の減少が認められ、止水を好んで増殖する*Spirogyra*に、栄養塩が効率的に吸収利用されたことが、*Spirogyra*の優占的増殖につながっているものと考えられる。特に、窒素成分は枯渇状態にあり、窒素制限環境下で藻体が枯死浮泥化する状況も観察された。止水域における藻類異常繁茂は、有機物負荷源として河川環境に悪影響を及ぼす可能性がある。

④今回の調査で、新たな測定評価手法として、多項目水質計による現地における付着生物膜性状分析を試みた。手分析と整合性があり、増水時の生物膜懸濁液のChl-a/濁度比において流速や水深が大きいほど上昇する傾向が認められるなど、環境指標としての有効性が示唆された。今後データを蓄積し現地測定で評価可能な手法として発展させていきたい。

今後は、ダム放流の影響のない地点も加え、季節的変動による影響も踏まえた継続的調査を実施し、ダム放流量変化が河川生態系に対する影響について評価を試み、アユやその他の河川生物及び河川生態系の回復に適した維持放流技術の構築を目指す。

謝辞：本研究は(財)河川環境管理財団のH17年度河川整備基金助成事業「維持流量の弾力的運用による河川環境の保全・改善効果(研究代表者：矢野真一郎)」により実施された。国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所の方々には、参考資料や情報をいただいた。付着物分析には愛媛大学沿岸環境科学研究センターCOE研究員の宮坂仁先生に多大なるご協力をいただいた。また、九州大学工学府環境流体力学研究室の学生諸氏にも観測・分析作業にご協力いただいた。ここに記し謝意を表する。

参考文献

- 1) 辻本哲郎：ダムが河川の物理的環境に与える影響-河川工学及び水理学的視点から-、応用生態工学, Vol. 2, No. 2, pp. 103-112, 1999.
- 2) 谷田一三、竹門康弘：ダムが河川の底生動物に与える影響、応用生態工学, Vol. 2, No. 2, pp. 153-164, 1999.
- 3) 森誠一：ダム構造物と魚類の生活、応用生態工学, Vol. 2, No. 2, pp. 165-177, 1999.
- 4) 皆川朋子、清水高男、島谷幸宏：流量変動が生物に及ぼす影響に関する実験的検討、河川技術に関する論文集, 第6巻, pp. 191-196, 2000.
- 5) 両角和重、三野直人、赤石沢則男：魚(特にアユ)の生息にとって好ましいダム放流変動に関する調査、ダム技術, No. 154, pp. 44-52, 1999.
- 6) 小倉紀雄、山本晃一編：自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系、技報堂出版, 2005.
- 7) 三橋弘宗、野崎健太郎：三重県宮川における糸状藻*Spirogyra* sp.の大発生、陸水生物学報, 14, pp. 9-15, 1999.
- 8) 山口将文、丸岡昇、高橋秀和、大石三之：筑後川上流におけるアユを指標魚種とした流量増加によるインパクト・レスポンスの検討、リバーフロント研究所報告, No. 15, pp. 63-70, 2004.

(2006. 4. 6受付)