

アユ、オイカワの摂食が河床付着膜の性状に果たす役割 —藻類食者の生態的機能を加味した河床環境の保全—

FUNCTIONS OF GRAZING FISHES OF AYU, *Plecoglossus altivelis*, AND PALE CHUB, *Zacco platypus*, ON THE COMPOSITION OF PERIPHYTON

皆川朋子¹・萱場祐一²

Tomoko MINAGAWA and Yuich KAYABA

^{1, 2} 正会員 工博 (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島町笠田官有地無番地)

This study aims to propose a new approach of river flow management to sustain healthy riverbed condition by utilizing the grazing effects of freshwater fauna. We performed experiment to investigate the functions of grazing of ayu (*Plecoglossus altivelis*) and pale chub (*Zacco platypus*) on the composition of periphyton. The results of this study are as follows: i) The grazing of ayu restrains and reduces deposition of fine sediment and blooming of filamentous green algae, which were pointed out the inferior quality of riverbed condition. However, the grazing of pale chub cannot reduce them. ii) Feeding activities by not only ayu (*Plecoglossus altivelis*) but also pale chub (*Zacco platypus*) contributed to a decrease in the Autotrophic Index and an increase in the AFDM (%) and the ratio of living algae for the periphyton assemblages which were dominated by diatom.

Key Words : periphyton, grazing, *Plecoglossus altivelis*, *Zacco platypus*, riverbed, algae

1. はじめに

河川流量の減少や流況の平滑化は、しばしば有機物やシルトの堆積¹⁾、糸状緑藻の繁茂²⁾を引き起こし、生物の餌資源としての河床付着膜の質の低下³⁾や景観の悪化や親水性の低下⁴⁾をもたらす要因となる。

現在、これらを改善するための具体的な取り組みとして、維持流量の増加やダムからのフラッシュ放流等が実施されている。しかし、河床の健全性が損なわれる要因は、流量（掃流力）の減少や流況の平滑化といった要因のみでなく、それらに伴う生物生息場の変化を介した生物相や生息密度の変化によって、生態系の構造が変化し、河床付着膜が生物に摂食されにくくなつたことがあげられる。したがって、今後の河川流量管理においては、流量のみでなく、その場に生息すべき生物の棲み場（空間、流量等）を整え、生物が生息でき、それによって河床付着物が「摂食」されるといった生態系のしくみを河川技術者が認識し、より本質的な河川環境の保全を図っていくことが重要である。

これまで藻類食者と河床付着膜の関係については、日本の代表的な藻食性魚類であり、水産魚種のアユを対象とした研究が行われており、アユ *Plecoglossus altivelis*

の摂食によって、藍藻のビロウドランソウ *Homoeothrix janthina* が優占する藻類群集へと変化すること⁵⁾等が報告されているが、知見は限られている。また、他の魚種を対象とした研究は日本においてほとんどみられない。藻類食者の底生動物（主に刈取食者 Grazer）に関しては、国内外で比較的多く研究が行われ、摂食による付着藻類の減少、付着藻類群集への影響、河床付着膜を巡る生物間の関係等が明らかにされている⁶⁾⁷⁾⁸⁾。しかし、生物による付着膜摂食を河川環境保全の観点から評価した研究はみられない。

以上を背景に本研究では、河床環境の保全の観点から、生物の摂食が河床付着膜の性状に果たす役割に着目し、これを定量的に明らかにすることを目的に、代表的な藻食性魚類であるアユ、そして付着藻類を摂食する雑食性魚類のオイカワ *Zacco platypus* を対象に実験を行った。

2. 方法

(1) 実験方法

実験は、(独) 土木研究所自然共生研究センター内の実験河川（岐阜県各務原市）を用いて行った。実験河川は、木曽川支川新境川（流域面積42.6km²、流路延長13.6km）から河川水を導水し、人工的に造成した河川

(実験河川)に自然流下させたもので、延長約800m、川幅約2.5~6m、河床勾配は1/300~1/800である。実験期間は、アユ、オイカワによる摂食が盛んな2008年7~8月とした。

実験は、付着膜の状態の違いによる摂食の影響の違いを考慮し、流速の異なる条件の下(ケースI, II)で、異なる付着膜を成立させ、摂食の影響を把握することとした。実験区設定に際し、各実験区の河床や礫の初期条件を統一させるため、河床表層5cmを重機で攪乱し、表層の礫を撤去した。各実験区の上下流端はナイロン製ネット(5mmメッシュ)で仕切り、川幅約2.5m×長さ約4mとし、各ケース3区間ずつ設けた。実験区内に生息していた魚類はエレクトロフィッシャー(Smith-Root, Inc. 製 Mod.12B型)を用いて排除した。その後、付着物のない新たな礫(径15-20cmの玉石)を河床に敷き並べ、付着膜を成長させた。ケースI, IIの水理量は、それぞれ水深約40cm、流速(6割水深)15-25cm/s、水深約30cm、流速35-45cm/sに設定した。これらは、アユ及びオイカワが概ね選好する範囲⁹⁾にある。

礫設置から約1ヶ月経過した後、両ケースの3つの実験区からそれぞれ礫3つをランダムに採取し、それらの上面5cm×5cmの範囲から、ナイロンブラシと蒸留水を用いて河床付着膜を採取した(「処理前」とする)。その後、各ケースの3つの実験区を、それぞれ、アユを放流した「アユ区」(放流密度:1個体/m²)、オイカワを放流した「オイカワ区」(放流密度:4個体/m²)、いずれも放流しない「対照区」に設定した。用いたアユは、岐阜県内の養殖場から購入した人工アユ(平均体長15.7cm、湿重量47g)であり、オイカワ(平均体長7.5cm、湿重量6.5g)は、実験河川でエレクトロフィッシャーを用いて採捕したものである。放流密度は、実河川で行われた調査結果(アユ:0.03-5.50個体/m²¹⁰⁾、オイカワ:0.02-7.32個体/m²¹¹⁾を参考に、その範囲内とした。各実験区上部及び側面は10cm×10cmメッシュのネットで被い、鳥類による魚類捕食を防止した。

放流から10日後、各実験区において、再び礫3つ(「アユ区」及び「オイカワ区」では、摂食跡があるもの)をランダムに選定し、前述と同様に付着膜を採取した。放流から10日後までの水温平均値は25.3°C(Onset Computer Corp. 製、StowAway Tidbit, 測定間隔10分)であり、電気伝導度は平均11.8μS/m(東亜DKK製、WM-22EP, 測定2回)であった。

採取した試料は、冷暗条件で実験室に運搬し、速やかにガラス纖維濾紙(Whatman GF/C 47mm)で濾過し、乾燥重量(60°C24時間乾燥)、強熱減量(マッフル炉で550°C2時間燃焼)、クロロフィルa(chl.a)及びフェオフィチン(Lorenzen (1967))を測定し、強熱減量(%)、無機物量(ここでは、乾燥重量から強熱減量を差し引いた重量とした)、クロロフィルa/(クロロフィルa+フェオフィチン)(以下、生藻類比とする)、AI(Autotrophic Index; =強熱減量/クロロフィルa)を算出した。また、試料の一部はホルマリンで固定した後、

それぞれ採取した3つの試料を同じ採取面積の割合で混合させ1試料とし、電子顕微鏡(600倍)の下で400個以上の付着藻類の細胞を同定・計数した。

底生動物の生息状況については、魚類放流から5日後に、それぞれ実験区の3つの礫から、サーバーネット(250nmメッシュ)を用いて採取し、ホルマリンで固定した後、同定・計数を行い把握した。採取面積は、採取した礫の径(長さ、幅、高さ)から以下に示すGraham et al.(1988)¹²⁾の式を用いて礫表面を算定し、生息密度を求めた。

$$\text{表面積 (m}^2\text{)} = 1.15 (LW + WH + HL)^{12}$$

ここで、Lは径(m), Wは幅(m), Hは高さ(m)を表す。

(2) 統計的処理

各ケースの「処理前」の3つの実験区の初期条件が同じであることを確認するため、乾燥重量(g/m²)、強熱減量(g/m²)、無機物量(g/m²)、強熱減量(%)、chl.a量(mg/m²)、生藻類比、AIの各項目について、一元配置分散分析(有意水準5%)を行った。「処理前」と処理後の「対照区」、「アユ区」、「オイカワ区」の付着膜の状態の比較は、各項目について一元配置分散分析(有意水準5%)を行い、有意差が検出された場合には、Tukeyの多重比較検定(有意水準5%)を行った。これらの検定に際しては、データの等分散性と正規性を得るために、実数値は対数変換、%値は逆正弦変換して用いた。

3. 結果

(1) 付着物量及び構成の変化

「処理前」の各ケースの3つの実験区から得られたデータを対象に一元配置分散分析を行った結果、ケースI, IIともに、前述したいずれの項目においても、実験区間に有意差は検出されず、各ケースの処理前の実験区の付着膜の状態に差はないことが確認された。以降、各ケースの3つの実験区から採取した合計9データを「処理前」として扱うこととする。

図1~7に各ケースの「処理前」及び処理後の「対照区」、「アユ区」、「オイカワ区」の河床付着膜の分析結果を平均値及び標準偏差で示した。また、図中の小文字アルファベットは、一元配置分散分析により、「処理前」、「対照区」、「アユ区」、及び「オイカワ区」に有意差が確認された($P<0.05$)項目に対して行ったTukey検定の結果を示したもので、同じ文字が含まれているケース間には有意差が認められないことを示している。

「処理前」の付着膜の状態は、ケースI, IIで異なり、ケースIIの付着物量(乾燥重量、強熱減量、無機物量、chl.a量)は、ケースIより大きい傾向がみられた。また、ケースIIでは、大型糸状緑藻の繁茂とその間隙に砂等が捕捉された状態が目視によって確認でき、これらがみられないケースIの状態とは異なっていた。なお、ここでは、砂以下(粒径2mm以下)の土粒子を細粒土砂とする。

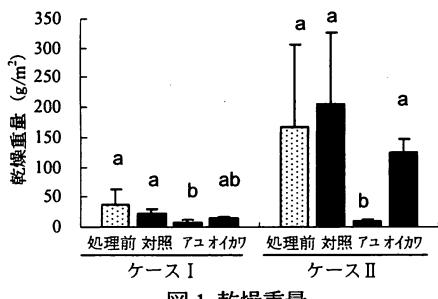


図-1 乾燥重量

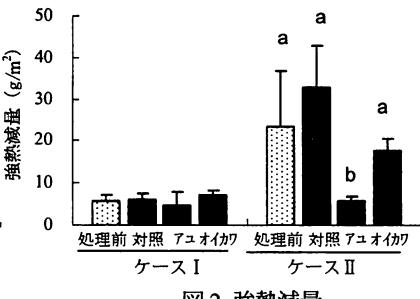


図-2 強熱減量

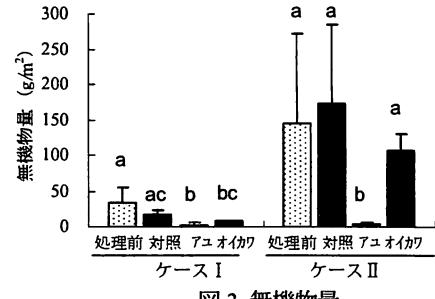


図-3 無機物量

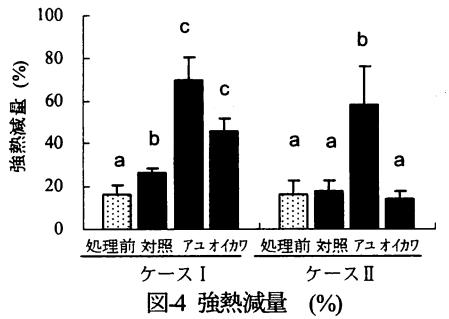


図-4 強熱減量 (%)

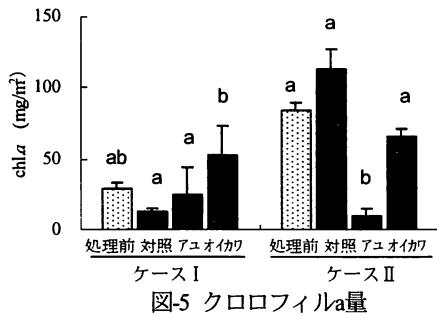


図-5 クロロフィルa量

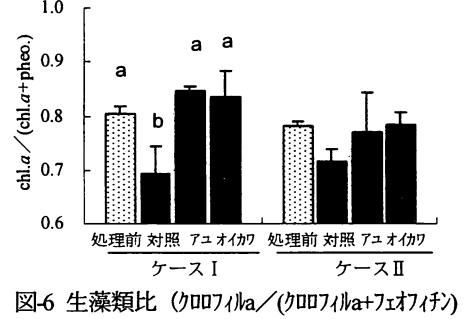


図-6 生藻類比 (クロロフィルa/(クロロフィルa+フェオフォイド))

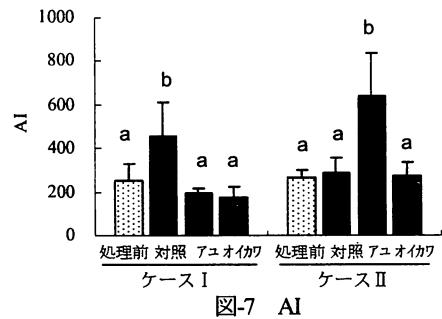


図-7 AI

処理後の「対照区」の付着膜は、ケースIでは、「処理前」との間に、強熱減量(%)、生藻類比及びAIにおいて有意差が検出され、強熱減量(%)及び生藻類比は減少し、AIは増加していた。これは、時間経過に伴う付着膜の変化を示すものと考えられたが、ケースIIではいずれの項目においても有意差は検出されず、変化はみられなかった。

「アユ区」、「オイカワ区」は、ケースIでは、「対照区」との間に、多くの項目において有意差が検出された。「アユ区」では、強熱減量とchl.aを除くすべての項目において「対照区」との間に有意差が検出され、乾燥重量、無機物量、AIは「対照区」より小さく、強熱減量(%)、生藻類比は大きかった。「オイカワ区」では、乾燥重量、強熱減量を除く項目において「対照区」との間に有意差が検出され、無機物量、AIは「対照区」より小さく、chl.a、生藻類比、及び強熱減量(%)は大きかった。また、「アユ区」と「オイカワ区」の間には、chl.a量に有意差が認められたが、他の項目では検出されなかつた。ケースIIの「アユ区」では、生藻類比を除くすべての項目において「対照区」との間に有意差が検出され、乾燥重量、chl.a、強熱減量、無機物量は「対照区」より小さく、強熱減量(%)、AIは大きかった。これに対し、ケースIIの「オイカワ区」では、いずれの項目においても「対照区」との間に有意差は検出されず、変化が認められた「アユ区」とは異なっていた。

(2) 付着藻類群集の変化

表-1に、処理前後の付着藻類群集の種組成について、代表種と、それらの出現割合（全細胞数に占める割合（%））を示した。ここで代表種とは、各サンプルのそれぞれ全細胞数（一部の種は1糸状体を1として計数）に占める割合が5%以上の種とした。

「処理前」のケースIでは、珪藻のフネケイソウ *Navicula confervacea*、緑藻（浮遊性）のイカダモ *Scenedesmus* spp.、ケースIIでは、これらに加え、珪藻のタルケイソウ *Melosira varians*の出現割合が大きかつた。また、ケースIIでは、大型糸状緑藻のサヤミドロ *Oedogonium* sp.の割合がケースIより大きく、アオミドロ *Spirogyra* sp.も出現していた。ケースIの「対照区」は、「処理前」と比較して、各種の出現割合の増減はみられたが、代表種の構成は類似していた。ケースIIにおいても、「対照区」の珪藻の種数は「処理区」よりも多いが、「処理前」とほぼ同様の種構成であった。これに対し「アユ区」では、ケースI、IIとともに糸状藍藻のビロウドランソウ *H. janthina*が大きく優占し、「処理前」や「対照区」の群集とは異なっていた。「オイカワ区」については、ケースIでは、「アユ区」と同様に糸状藍藻の *H. janthina*が優占したが、その割合は「アユ区」より小さく、珪藻類は「アユ区」より多く出現していた。ケースIIでは、「対照区」に似た種組成であり、ケースIのような変化は生じていなかった。

表-1 付着藻類群集の代表種とそれらの出現割合 (%)

		ケース I			ケース II				
		処理前 (N=3)	対照区	アユ区	オイカワ区	処理前 (N=3)	対照区	アユ区	オイカワ区
藍藻	<i>Homoeothrix janthina</i> *	10.1±17.9		81.1	57.9	0.4±0.5	1.4	85.3	3.5
	<i>Chamaesiphon</i> sp.			18.6	8.3			12.9	
珪藻	<i>Melosira varians</i>	6.0±3.9	2.4	0.5	14.7±6.5	14.7	0.5	3.5	
	<i>Fragilaria pinnata</i>			0.3	9.6±3.2	13.4		0.7	
	<i>Fragilaria pseudogaillonii</i>					16.3	0.1	2.0	
	<i>Navicula confervacea</i>	23.1±3.4	64.3	0.7	24.6±8.9	8.3		30.9	
	<i>Achnanthes exigua</i>				2.8±3.7	0.3			
	<i>Nitzschia amphibia</i>				6.1	0.9±0.3	0.5	2.0	
	<i>Nitzschia palea</i>	4.6±1.8	5.4	1.7	2.0±1.5	1.4		0.1	
	<i>Nitzschia paleacea</i>				5.0	1.1		7.0	
緑藻	<i>Scenedesmus</i> spp.	41.1±7.0	15.5	9.9	21.2±2.9	19.8		17.0	
	<i>Oedogonium</i> sp.	0.9±1.3		0.2	0.6	7.4±8.1	10.5	0.2	
	<i>Spirogyra</i> sp.					4.7±5.8	0.8	1.0	
	上記合計	92.7±2.3	87.5	100.0	90.9	87.3±2.5	88.4	99.5	
								91.2	

表-2 底生動物の出現種と個体数 (m^{-2})

		ケース I			ケース II		
		対照区	アユ区	オイカワ区	対照区	アユ区	オイカワ区
コカゲロウ属	<i>Baetis</i> sp.			5.8	10.5	4.6	7.2
ニンギョウトビケラ	<i>Goera japonica</i> Banks	9.2					
シマヒケラ科	<i>Hydropsychidae</i>	77.8	4.8	127.5			
ユスリカ科	<i>Chironomidae</i>	997.4	67.6	1,373.5	89.6	4.6	50.7
ガカンボ科	<i>Tipulidae</i>	4.6		5.8			
アブ科	<i>Tabanidae</i>			5.8			
ヒル綱	<i>Tipulidae</i>	32.0	53.1	46.4	79.0	18.3	58.0
ミズ綱	<i>Oligochaeta</i>				5.3	9.2	
シジミ属	<i>Corbicula</i> sp.	100.7	86.9	29.0			21.7
合計		1,221.6	212.5	1,593.7	184.4	36.6	137.6

(3) 底生動物

表-2に底生動物の出現種及び個体数を示した。ケースIではユスリカ科 Chironomidae, ケースIIではユスリカ科及びヒル綱 Tipulidae が優占した。総個体数は、ケースIがIIより多く、両ケースともに、「アユ区」の個体数は、「対照区」及び「オイカワ区」より少ない傾向がみられた。

4. 考察

(1) 摂食による河床付着膜の変化

ケースIの「処理前」は、珪藻の*Navicula confervacea*, 緑藻(浮遊性)の*Scenedesmus* spp.の出現割合が大きく、付着物量が比較的小さい付着膜が成立していた。このような付着膜に対してアユの摂食は、乾燥重量を減少させ、強熱減量(%)を増加させた。強熱減量は有意に減少していないことから、これらは主に無機物量の減少によるものと考えられる。オイカワの摂食に関しては、乾燥重量の減少はみられないが、アユと同様に、無機物量の減少に伴う強熱減量(%)の増加が確認された。ただし、ここで示した無機物量には、細粒土砂の他に、珪藻の珪酸質の被殻に含まれるケイ素重量が含まれる。そこで、無機物量に含まれる両者の割合を評価するため、以下に示す細胞体積とケイ素含有量の関係式¹³⁾を用いてケイ素重量を推定する。

$$\text{Log [Si]} = 0.707 \log V - 0.263 \quad ^{13)}$$

ここで、Siは細胞に含まれるケイ素の重量 (pg/cell), Vは細胞の体積 ($\mu\text{m}^3/\text{cell}$) を示す。珪藻の体積は、Phycology Section, Patrick Center for Environmental Researchによる2001 Biovolume Measurements¹⁴⁾の体積平均値を用い、これに掲載されていない種については、顕

微鏡下で撮影した画像からおおよその体積を算定した。表-3に、代表種として示した珪藻(表-1)の細胞数、体積、そしてそれらに含まれるケイ素量、燃焼後の二酸化ケイ素重量推定値と無機物量に占める割合を示す。無機物に占める二酸化ケイ素の割合は小さく、無機物量はほぼ細粒土砂で占められていたと判断され、無機物量の減少は、摂食による細粒土砂の減少によるものと推定された。

また、ケースIでは、アユ及びオイカワに摂食された付着膜の生藻類比はいずれも「対照区」より大きく、AIは小さく、「処理前」と同程度であった。アユやオイカワの摂食により、活性が低下した付着膜が除去され、付着膜の質的改善が図られたものと考えられた。強熱減量については、「対照区」、「アユ区」、「オイカワ区」の間に有意差はなかった。要因として、「対照区」と「オイカワ区」では、デトリタスや藻類を摂食するユスリカ科の個体数が多く、それによる摂食圧が「アユ区」より大きく作用した可能性が考えられたが(表-2), chl.a量は「オイカワ区」が「アユ区」、「対照区」より大きく、ここでは要因は明瞭にはならなかった。

ケースIIの「処理前」の付着膜は、大型糸状緑藻の*Oedogonium* sp.や*Spirogyra* sp.が出現し、それらの間隙に細粒土砂が捕捉され、付着物量は大きかった。アユは、このような付着膜も摂食し、乾燥重量を減少、強熱減量(%)を増加させ、そして、大型糸状緑藻を減少させた。しかし、生藻類比は「対照区」よりもやや大きい傾向がみられたが、有意差はなく、AIについては「対照区」より大きく、ケースIの付着膜に対してみられた明瞭な質的改善はケースIIでは、確認されなかった。オイカワの摂食に関しては、付着物の減少及び質的な改善は確認

表-3 無機物に占めるケイ素の重量割合

	体積 (mm^3/cell)	Si (pg/cell)	ケース I (cell/mm ²)			ケース II (cell/mm ²)		
			「処理前」	「対照区」	「アユ区」「オイカワ区」	「処理前」	「対照区」	「アユ区」「オイカワ区」
<i>Melosira varians</i> *	5,207	2.4	21	4	10	237	468	9
<i>Fragilaria pinnata</i> *	131	1.2	39		7	155	425	9
<i>Fragilaria pseudogaillardii</i>	7,040	2.5				519	1	26
<i>Navicula confervacea</i>	80	1.1	81	108	1	15	397	397
<i>Achnanthes exigua</i> *	98	1.1				37	9	
<i>Nitzschia amphibia</i> *	181	1.3			132	14	17	26
<i>Nitzschia palea</i> *	281	1.5	16	9	36	33	43	1
<i>Nitzschia paleacea</i> *	93	1.1			108	34		90
(全珪藻細胞数に占める上記種の割合(%)			(78.0)	(82.6)	(100.0)	(47.7)	(77.0)	(80.6)
上記種のSi含有量推定値 (mg/m ²)			7.0	2.5	0.0	8.0	64.1	269.8
燃焼後の SiO ₂ 推定値 (mg/m ²)			15.0	5.3	0.0	17.1	137.4	578.1
無機物量に占めるSiO ₂ の割合 (%)			0.04	0.06	0.00	0.20	0.09	0.54
						0.00		1.18

* : 「2001 Biovolume Measurements」(Phycology Section, Patrick Center for Environmental Research)のデータ(体積)¹⁴⁾を使用した種

されず、摂食の影響はアユとは異なっていた。

付着藻類群集については、ケース I, IIで成立している群集は異なっていたが、いずれもアユの摂食によって糸状藍藻の*H.janthina*が優占する構造へと変化し、既存研究⁹を支持するものであった。また、オイカワのケース I の付着膜に対する摂食についても、アユの摂食と同様に*H.janthina*が優占する群集へと変化することが確認された。しかし、その優占度はアユにより摂食された群集ほど高くなかった。北米で行われたオイカワと同じコイ科魚類 *Campostoma* spp. を対象とした研究においても、糸状藍藻の *Calothrix* sp. が優占する群集へと変化したことが報告されており¹⁵、摂食によって糸状藍藻が優占する点において共通していた。

以上のように、アユ、オイカワの摂食により河床付着膜の性状は変化するが、影響は両種で異なり、また、付着膜の状態によって異なっていた。特に、ケース II でみられた摂食の影響の違いは顕著であり、節状歯とよばれる独特の歯をもつアユと、これをもたないオイカワの口の形態の違いが表れたものと考えられる。

(2) 摂食が河床環境の保全に果たす役割

付着物量が多い厚い付着膜は、光が内部まで透過しなくなるため、下層の細胞は活性が低下し、枯死・分解し剥離しやすくなるといわれている¹⁶。そして剥離、流下した付着膜は、自濁作用をもたらす要因となる。アユ摂食後の付着物量が小さい、すなわち、薄い付着膜は、光の膜内部への透過が向上し、さらに、枯死した藻類や藻類以外の有機物が除去されることによって藻類の活性が高まることが推察され、河川の生産性にも影響を及ぼすと考えられる。また、剥離、流下する付着膜は減少することから、自濁作用の防止にも寄与すると考えられる。さらに、アユの摂食後の付着物量は、人の河床に対する視覚的な許容範囲（例えば、乾燥重量で約10g/m²以下¹⁷）にあることから、景観の維持にも一定の役割を果たしていることが示唆される。

また、アユの摂食によって細粒土砂や大型糸状緑藻の減少が確認された。礫設置から約1ヶ月が経過した「処理前」の付着膜は、ケース I, II のいずれにおいても強熱減量(%)が低く（平均値で20%以下）、特にケース II

では、無機物量が100g/m²を上回り、細粒土砂量は大きかった。さらにケース II では、大型糸状緑藻が出現していた。細粒土砂の沈積は、付着物内部への光の透過を遮断し、成長阻害を引き起こす要因となること¹⁸、底生動物の種組成に影響を及ぼす（例えば、シルトが堆積するとユスリカ科が増加する¹⁹等）ことが指摘されている。さらに、景観的な評価を低下させる要因になる¹⁷。大型糸状緑藻については、不快な藻類とされ、河川景観や親水性を低下させる要因となること⁴、底生動物の餌資源として好まれないこと²⁰、底生動物群集の多様性を低下させること²¹が報告されている。特に大型糸状緑藻のカワシオグサ *Cladophora glomerata*については、アユの後腸で消化されないことから、成長阻害となる可能性が指摘されている²²。したがって、アユの摂食によってこれらの減少が確認されたことは、アユの摂食が河床環境の維持に大きな役割を果たしていることを示唆するものと考えられる。

魚類を排除した条件下で成立したケース II の「処理前」の状態（大型糸状緑藻の出現と砂等の捕捉）に関しても、アユやオイカワ等の摂食圧が作用していなかったことが要因の一つとして考えられ、摂食には、細粒土砂の沈積や大型糸状緑藻の繁茂を抑制する作用があることが示唆される。ただし、筆者らは、別の実験において、基質への付着力が強いカワシオグサは、アユの摂食下にあっても残存することを確認しており、摂食による大型糸状緑藻の減少等は、各種の基質への付着力の強さ、また、糸状体の長さ等によって異なるものと考えられる。

アユの摂食によって*H.janthina*が優占する藻類群集へと変化し、付着膜を構成している藻類、藻類以外の有機物（枯死した藻類、デトリタス、バクテリア等）、無機物の構成比が変化し、ケース I の付着膜に対しては、強熱減量(%)及び生藻類比の増加、AIの減少、ケース II では、強熱減量(%)の増加が認められ、質的な向上が図られていた。そして、ケース I の付着膜に対する摂食による質的向上は、オイカワの摂食によっても同様に認められたことは大変興味深い。アユが付着藻類を摂食する期間は、5月から11月頃までに限られることから、通年河川に生息しているオイカワ等の魚類の摂食が河床付着膜の性状に果たす役割の重要性が示唆される。

本実験では、異なる付着膜を成立させるため、異なる水理量の下でこれを成長させた。ケースⅡ（流速35-45cm/s）は、ケースⅠ（流速15-25cm/s）よりも細粒土砂が沈降にくく、付着膜に含まれる細粒土砂量はケースⅠより小さいと当初考えたが、実際は、大型糸状緑藻の出現によって、その間隙に砂（掃流砂）が捕捉され、細粒土砂量は大きかった。付着膜中の細粒土砂量を予測評価する際には、シルト等の微細砂の沈降のみでなく、大型糸状緑藻の出現やこれに伴う土砂の捕捉を考慮することが必要であると考えられる。

5.まとめ

本研究は、河床環境の保全の観点から、生物の摂食が河床付着膜の性状に果たす役割を定量的に評価するため、アユとオイカワの2種の魚類を対象に実験を行った。その結果、アユは、大型糸状緑藻（*Oedogonium* sp., *Spirogyra* sp.）が出現し、細粒土砂量が大きい付着膜についても摂食し、これらを減少させること、珪藻等の出現割合が大きい付着膜に対しては、摂食により、強熱減量(%)や生藻類比の増加、AIの減少が認められ、質的な改善効果が図られることを明らかにした。また、摂食が付着藻類の活性向上、自濁作用の抑制及び河川景観の維持に寄与することを示唆し、河床環境の保全に果たす役割は大きいことを示した。オイカワの摂食に関しても、珪藻等の出現割合が大きい付着膜に対しては、アユと同様に付着膜の質を改善する効果があることを明らかにした。

河川環境管理においては、流況の改善や生物の棲み場を修復することによって、健全な生態系の構造や機能を回復させることが重要である。本研究は、その一部の生物の摂食が付着膜の性状や河床環境の保全に果たす役割について、主に魚類と付着膜の2者に着目し示したものである。しかし、魚類の付着膜摂食は付着膜だけではなく、底生動物群集にも影響を及ぼし、それらの変化は河床付着膜に影響を与える²³⁾²⁴⁾。底生動物群集への影響や、生態系の構造・機能を含めた評価については今後の課題としたい。

謝辞：本研究を行うにあたり、(独)土木研究所自然共生研究センターの安田麻耶子氏には、化学分析、底生動物の同定において多大なるご協力をいただいた。また、実験区の維持において、同センターの岸智子氏、土手塚陽子氏、鳴川智美氏、古田敦子氏に多大なる御尽力を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 墨田廸影、渡辺仁治：石川県手取川におけるダム建設に伴う生珪藻群集の変化、藻類 34, pp.194-202, 1986.
- 2) Peterson, C. G., Steavenson RJ : Resistance and resilience of lotic algal communities: importance of disturbance timing current, *Ecology*, 73, pp.1445-1461, 1992.
- 3) Ryan, P. A : Environmental effects of sediment on New Zealand streams: a review. *New Zealand journal of marine and freshwater research*, Vol.25, pp.207-221, 1991.
- 4) Welch, E. B., Jacoby JM. Horner RR, Seeley MR : Nuisance biomass levels of periphyton algae in stream. *Hydrobio.*, 157, pp.161-168, 1988.
- 5) Abe, S., Uchida, K., Naguma, T., Ioriya, T. and Tanaka, J.: Effects of a grazing fish, *Plecoglossus altivelis* (Osmeridae), on the taxonomic composition of freshwater benthic algal assemblages., *Arch. Hydrobiol.* 150, pp. 581-595, 2003.
- 6) Horner, R. R., Welch, E. B. , Seeley, M. R., and Jacoby, J.M.: Response of periphyton to change in current velocity, suspended sediment, and phosphorus concentration., *Freshwater Biology*, 24, pp.215-232, 1990.
- 7) Katano, I., Doi, H., Houki, A., Isobe, Y., and Oishi, T.: Changes in periphyton abundance and community structure with the dispersal of a caddisfly grazer, *Micrasema quadriloba*, *Limnology*, 8, pp.219-226, 2007.
- 8) Kuhara, N., Nakano, S., and Miyasaka, H.: Interspecific competition between two stream insect grazers mediated by non-feeding predatory fish, *OIKOS*, 87, pp.27-35, 1999.
- 9) 河村三郎：魚類生息環境の水理学、財団法人リバーフロント整備センター, 2003.
- 10) 川那部浩哉：アユの社会構造と生産II—15年間の変化を見てー、日本生態学会誌 20, pp.144-151, 1970.
- 11) 名越誠・川那部浩哉・水野信彦・宮地伝三郎・森主一・杉山幸丸・牧岩男・斎藤洋子：川の魚の生活 III、オイカワの生活史を中心にして、京都大学理学部生理生態学研究業績 82, pp.1-19, 1962.
- 12) Graham, A. A., McCaughan , D. J., and McKee, F. S.: Measurement of surface area of stones. *Hydrobio.*, 157, pp. 85-87, 1988.
- 13) Reynolds, C. S. : Diatoms and the geochemical cycling of silicon, *Biomineralization in the Lower Plants and Animals*, Leadbeater, B. S. C. and Ridings, R. eds., pp.269-289, Oxford University Press, 1986.
- 14) http://diatom.acnatsci.org/autecology/uploads/{443C03CA-FE56-40BF-B6D8-26243E2DE83F}_BiovolumeMetrics.txt
- 15) Power, M.E. A.J. Stewart and W. J. Matthews: Grazer control of algae in a Ozark Mountain stream: effects of short-term exclusion, *Ecology*, 69, pp.1894-1898, 1988.
- 16) Aizaki, M.: Seasonal change in standing crop and production of periphyton in the Tamagawa river. *Japanese Journal of Ecology*, 28, pp.123-134, 1978.
- 17) 皆川朋子、福嶋悟、萱場祐一：河川流量管理のための河床付着物の視覚的評価に関する研究、河川技術論文集, 11, pp.553-558, 2005.
- 18) Yamada, H., Nakamura, F.: Effect of fine sediment deposition and channel works on periphyton biomass in the MAKOMANAI RIVER, North Japan, *River Res. Applic.*, 18, pp.481-493, 2002.
- 19) Armitage, P. D. : Invertebrate drift in the regulated River Tees and an unregulated tributary, Maize Beck, below Cow Green dam. *Freshwater Biology*, 7, pp.167-184. 1977.
- 20) Dodds, W.K., and Gudder, D. A: The ecology of *Cladophora* ., *Journal of Phycology*, 28, pp.415-427, 1992.
- 21) Francoeur, S. N., Biggs, B. J. F. Short-term effect of elevated velocity and sediment abrasion on benthic algal communities. *Hydrobio.*, 561, pp.59-69, 2006.
- 22) 内田朝子：矢作川中流域におけるアユの消化管内容物、矢作川研究, No.6, pp.5-20, 2001.
- 23) Katano, O., Aonuma, Y., Nakamura, T., and Yamamoto, S.: Indirect contramensalism through trophic cascades between two omnivorous fishes. *Ecology*, 84, pp.1311-1323, 2003.
- 24) Katano, O., Nakamura, T., and Yamamoto, S: Intraguild in direct effects through trophic cascades between stream-dwelling fishes. *J. Anim. Ecol.* ,75, pp.167-175. 2006.

2009. 4. 9受付)