

報文

藻食性魚類アユの摂食が河床付着膜の性状に果たす役割

皆川朋子* 萱場祐一**

1. はじめに

近年、人為的な流量制御に伴う流況の平滑化や上流からの土砂供給の減少等により、河床の状態の健全性が損なわれていることが広く認識されている。具体的な課題として、有機物やシルト等の微細な土砂の堆積、糸状大型緑藻（カワシオグサ等）の繁茂、これらに伴う付着藻類を摂食する生物の餌資源としての質の低下、景観の悪化等があげられる。

現在、これらの対策として、ダムからの放流量の増量や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、これに伴う生物生息場の変化によって生物相や生息密度が変化し、河床付着膜が生物に摂食されにくくなつたことも一因としてあげられる。したがって、今後の河川環境管理においては、その川本来の特徴を理解するとともに、生物によって河床付着膜が「摂食」されるといった河川生態系のしくみを認識し、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。

そこで本報では、生物の摂食と河床環境の関係に着目し、付着藻類を摂食する生物について紹介し、次に藻食性魚類であるアユ *Plecoglossus altivelis* の摂食が河床付着膜の性状に及ぼす影響に関する実験結果を示し、摂食が河床環境の保全に果たしている役割を考察する。

2. 藻食性生物による摂食

日本における代表的な藻食性魚類といえば、まずアユを思い浮かべるであろう。アユには櫛状歯（しつじょうし）とよばれる独特の歯があり（写真-1）、これで付着藻類を削り取る。そのため、石の表面には箇葉状の摂食跡（食み跡）が残る（写真-2）。水産魚種でもあるアユについては、比較的多くの研究が多く行われており、アユの摂食

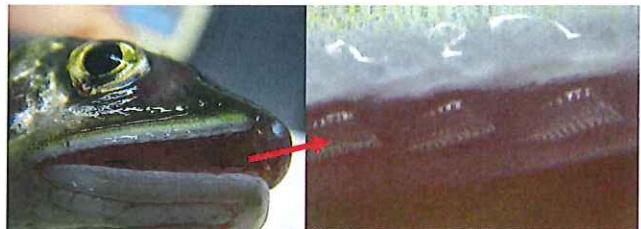


写真-1 アユの櫛状歯（しつじょうし）



写真-2 アユの食み跡（食み跡）



写真-3 ヤマトビケラ属の摂食跡（乾燥した状態）

によって、糸状藍藻のビロウドランソウ *Homeothrix janthina* が優占する藻類群集へと変化すること等が報告されている¹⁾。この他、付着藻類を主な餌資源として利用する淡水魚として、アジメドジョウ、ボウズハゼ等があげられる。また、オイカワなどの雑食性の魚類も付着藻類を利用する。

底生動物については、刈取食者（Grazer）とよばれる分類群があげられ、ヒラタカゲロウ属やタニガワカゲロウ属のように、小顎の鬚で表面を掃き取り摂食する掃き取り食者（Scraper）と、ヤマトビケラ属やニンギョウトビケラ属のように、大顎や犬歯で付着物を根こそぎ剥ぎ取るように摂食する摘み取り食者（Browser）に分類されている²⁾。底生動物と付着藻類との関係に関する研究は国内外で多く行われ、摂食による付着藻類の減少や付着藻類群集への影響等が明らかにされている。この他、サカマキガイやイシマキガイ等の巻貝類も付着藻類を摂食する。

生物による摂食量については、1日 1m²あたり、アユは 2.8~11 mg·chl.a³⁾、ヤマトビケラ属は 9.3~10.5 mg·chl.a (500 個体あたり)⁴⁾ であることが報告されている。1日 1m²あたりの純生産速度、例えば、多摩川中流の早瀬及び平瀬では 10~

Functions of grazing fish of ayu, *Plecoglossus altivelis*, on the composition and photosynthetic rate of periphyton

20mg·chl.*a*⁵⁾、千曲川中流では3~30mg·chl.*a*⁶⁾(いずれも炭素量をクロロフィル*a*量に換算)と比較すると、それらの摂食量はその約1/3以上に相当する。

3. 実験方法

3.1 摂食が付着膜に及ぼす影響

付着膜は、付着藻類、藻類以外の有機物（デトリタスやバクテリア等）、及び無機物（土粒子等）から構成されている。アユの摂食が付着膜の性状に及ぼす影響を明らかにするため、自然共生研究センターにある2つの実験河川を用いて実験を行った。

実験河川にそれぞれ区間（幅約2.5m、長さ約100m）を設け、生息していた魚類を排除した後、新たに設置した河床材料（φ15cm程度の玉石）に付着膜を成長させ、一方にアユ（平均体長約18cm）を1個体/m²の密度で放流し（実験区）、その後の付着膜の変化を、放流しない区間（対照区）と比較した。各区の水深、流速はそれぞれ約15~30cm、25~60cm/sであり、上流ほど水深は小さく流速は大きかった。

河床付着膜の採取は、各区に縦断的に設けたそれぞれ5つの調査サイトにおいて週1回の頻度で行った。各サイトから3つの礫の上面5cm×5cm範囲の付着膜をナイロンブラシと蒸留水を用いて擦りとり試料（n=3）とし、冷暗条件で実験室に持ち帰り、ガラス纖維濾紙で濾過した後、乾燥重量、強熱減量、クロロフィル*a*（以下、chl.*a*とする）及びフェオフィチンを測定した。これらはそれぞれ、付着膜の全量、有機物量、生きた藻類及び死滅した藻類の目安となる。実験は2007年8~10月に行った。

3.2 光合成速度への影響

アユの摂食は付着藻類の光合成速度にも影響を及ぼしているのであろうか？ 2008年8~10月に3.1と同様の方法で、アユを放流した実験区と放流しない対照区（各々横約2.5m×長さ約4m）を設定し、両区から河床付着膜を採取し、3.1と同様の項目、及び明暗瓶法による付着藻類の光合成速度の測定を行った。明暗瓶法とは、試料を入れ密閉した瓶を、暗所と明所におき、一定時間が経過した後、瓶の中の溶存酸素濃度を測定し、その差を光合成による酸素発生量とするものである。



写真-4 簡易暗室内部(明暗瓶法)の様子

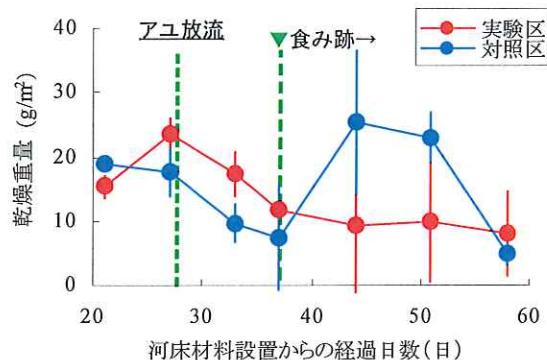
採取した試料は河川水で希釈し、酸素瓶（明瓶、暗瓶、初期酸素測定用）に詰めた。初期酸素測定用については速やかに溶存酸素を固定した。明瓶は、実験河川沿いに設置した簡易暗室内のバケット内に、レフランプ（500W）からの光量子密度が徐々に変化するよう設置し（写真-4）、各瓶の底面の光量子密度を光量子計により測定した。暗瓶は周囲をアルミホイルで密閉し、バケット内に沈めた。なお、バケット内にはポンプで汲み上げた河川水を通水し、水温を河川水と同条件に保った。3時間経過後、明瓶と暗瓶を回収し、初期酸素測定用と共に溶存酸素を測定し、単位chl.*a*、単位時間あたりの光合成速度を算出した。

4. 結果及び考察

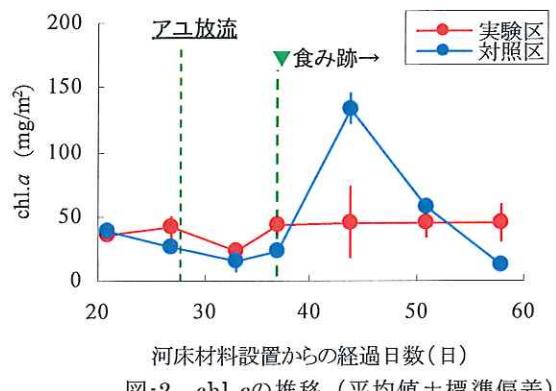
4.1 摂食が付着膜に及ぼす影響

アユの食み跡は実験区上流から確認されはじめ、放流から10日後には区間中程まで拡大した。以下に、食み跡が確認された実験区の調査サイトの結果を対照区と比較して示す。

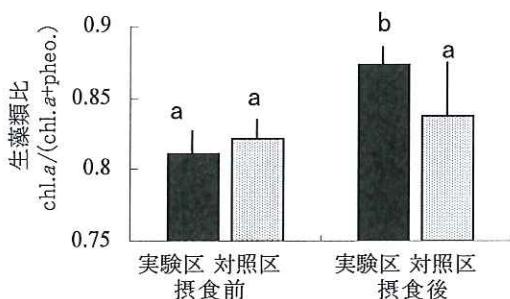
図-1、2に河床付着膜の乾燥重量、chl.*a*の推移を示した。アユ放流前は、実験区と対照区に違いはみられないが、アユの食み跡が確認された後は両者で異なり、実験区では乾燥重量及びchl.*a*ともに減少した後、増加することなく、ほぼ一定値を推移した。図-3に、実験区でアユの食み跡が確認された調査日前後それぞれ3回の調査（「摂食前」、「摂食後」とする）から得られた①chl.*a*/(chl.*a*+フェオフィチン)（以下、生藻類比とする）、②強熱減量(%) (=強熱減量/乾燥重量×100) を示した。これらは、付着膜の質的な状態を表し、①は付着膜の老化や藻類の活性、②微細土砂の沈積の程度の目安になる。図中のアルファベットは、実験区、対照区の摂食前後（4グループ）の違いを検討するため、一元配置分散分析



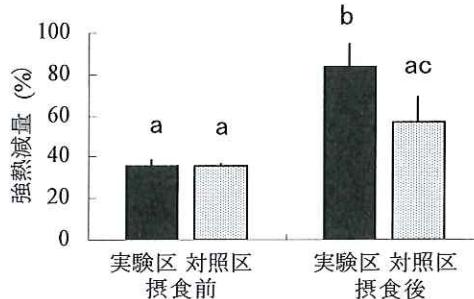
図・1 乾燥重量の推移（平均値±標準偏差）



図・2 chl.aの推移（平均値±標準偏差）



①生藻類比 chl.a/(chl.a+phaeo.)



②強熱減量 (%)

注) 図中のアルファベットはTukeyの多重比較検定の結果を示すもので、同じ文字が含まれるグループ間には有意差が認められない ($P > 0.05$) ことを示している。

(有意水準5%)を行った後、有意差が認められた場合にTukey検定(有意水準5%)による多重比較を行った結果を示したものである。同じ文字が含まれるグループ間には有意差が認められないことを示している。生藻類比及び強熱減量(%)は、摺食前の実験区と対照区、及び摺食後の対照区の間には有意差は認められないが、摺食後の実験区は、それより有意に大きかった。

以上のように、アユの摺食によって付着膜は、乾燥重量が小さく(付着膜が薄い)、質的には生きている藻類が多く(活性が高く)、強熱減量(%)が高い状態に変化していた。厚い付着膜は、光が内部まで透過しなくなるため、下層の細胞の活性は低下し、枯死・分解し剥離しやすくなるといわれている。そして剥離、流下した付着膜は、自渦作用の要因となる。したがって、アユの摺食によって薄い付着膜が維持されることは、膜内への光の透過を向上させ、さらに、自渦作用の抑制に寄与することが示唆される。付着膜における微細土砂の増加についても、付着物内部への光の透過を遮断し、藻類の成長阻害を引き起こす要因になり、また、アユの肥満度への影響が懸念されている。そのため、アユの摺食による強熱減量(%)の

増加(無機物量の割合の減少)は、微細土砂の減少による膜内への光の透過、餌資源としての質の改善に役立つものと考えられる。ただし、無機物の減少には、微細土砂の減少だけでなく、藻類群集の変化(アユの摺食によって珪藻(無機物のケイ素が含有した被殻をもつ)が減少し、被殻を持たない藍藻の*H.janthina*が優占する)も関与しているため、厳密にはこれらを分離して評価する必要がある。

また、筆者らが行った別の実験では、アユに摺食されることによって大型糸状藻類(サヤミドロ *Oedogonium* sp.、アオミドロ *Spirogyra* sp.)の繁茂が抑制されることが明らかになっている⁷⁾。糸状大型藻類の大量繁茂は、河川景観や親水性を低下させる要因になることから、アユの摺食はこれらに対しても一定の役割を果たしていることが示唆される。

4.2 光合成速度への影響

表・1、写真・5に光合成速度の測定に用いた試料の一例を示した。アユに摺食された付着膜の乾燥重量は小さく、強熱減量(%)は大きいが、摺食されていない付着膜の乾燥重量は大きく、糸状緑藻の繁茂や微細土砂の沈積がみられ、強熱減量(%)

表・1 明暗瓶法に用いた河床付着膜

項目	アユ摂食	摂食なし
乾燥重量 (g/m^2)	11.2	167.4
クロロフィル a (mg/m^2)	52.3	77.6
クロロフィル a / (クロロフィル a+フェオフィチン)	0.91	0.86
強熱減量 (%)	87.4	8.5

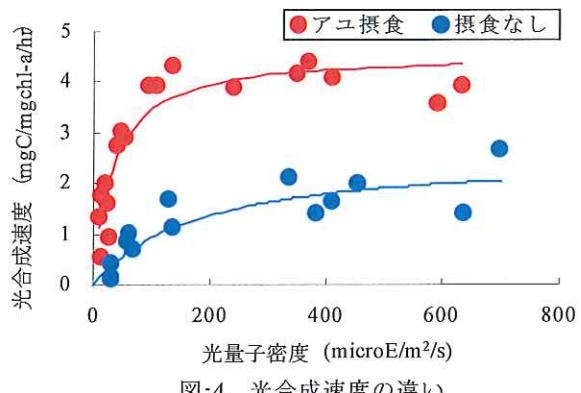
写真・5 河床付着膜の状態の違い
(左: アユ摂食、右: 摂食なし、方形枠は5×5cm)

は小さかった。図・4に、光量子密度と表・1に示した付着膜の単位chl.a、単位時間あたりの光合成速度の関係を示した。アユに摂食された付着膜の最大光合成速度は、摂食されていない付着膜の約2倍大きく、藻類の活性が高かった。このような摂食の有無による光合成速度の違いには、4.1で示した付着膜の厚さや、付着膜に沈積した微細土砂等が関与するなどの知見が得られている。また、別の機会に報告したい。

5. まとめ

本報では、河床環境の保全の観点から、付着藻類を摂食する生物を紹介し、アユの摂食により、河床付着膜は一定の厚さ（薄い）が維持され、生きている藻類の割合や強熱減量(%)が高まること、そして、摂食された付着膜の光合成速度は、摂食されなかつたものと比べ高く、藻類の活性向上に寄与することを示した。また、アユの摂食は自濁作用の抑制、景観の向上等にも寄与することを示唆した。

河床環境保全においては、フラッシュ放流等の対策等とともに、河川が本来有する生態系の構造や機能を認識し、これが成立するための河川環境管理を行っていくことが重要である。今後は、河床環境の診断方法や適切な流量管理のあり方の提案等を行っていきたいと考えている。なお、本報は、アユの摂食と付着膜の関係に着目したが、魚類の付着膜摂食は、底生動物、さらに生態系にも影響を及ぼすことを付記しておく。



参考文献

- 1) Abe S, Uchida K, Naguma T, Ioriya T, Tanaka J: Effects of a grazing fish, *Plecoglossus altivelis* (Osmeridae), on the taxonomic composition of freshwater benthic algal assemblages, Arch. Hydrobiol. 150(4), pp. 581-595, 2003
- 2) 竹門康弘：底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態系の評価、日本生態学会誌 55(1)、pp.189-198、2005
- 3) 深見公雄・水成貴之・久保田浩・西島敏隆：高知県下の二河川における付着藻類の増殖速度およびアユによる藻類消費速度の見積り、水産増殖 Vol.42 No.2, pp.199-206, 1994
- 4) Kuhara N, Nakano S. and Miyasaka H.: Interspecific competition between two stream insect grazers mediated by non-feeding predator fish, OIKOS 87, pp.27-35, 1999
- 5) 河川生態学術研究会多摩川研究グループ：多摩川の総合研究－永田地区を中心として－、(財)リバーフロント整備センター、pp.33-36、2000
- 6) 河川生態学術研究会千曲川研究グループ：千曲川の総合研究－鼠橋地区を中心として－、(財)リバーフロント整備センター、pp.263-274、2001
- 7) 皆川朋子・萱場祐一：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－、河川技術論文集 Vol.15, pp.97-102, 2009

皆川朋子*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ自然共生研
究センター 主任研究
員、博士（工学）
Dr. Tomoko MINAGAWA

萱場祐一**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ自然共生研
究センター 上席研究
員、博士（工学）
Dr. Yuich KAYABA