

13.5 河床の生態的健全性を維持するための流量設定手法に関する研究

研究予算：運営費交付金(治水勘定)

研究期間：平 18～平 21

担当チーム：水環境研究グループ自然共生研究センター

研究担当者：萱場祐一、皆川朋子、真田誠至

【要旨】

本研究は、生物の摂食効果により河床の健全性が維持される機能に着目し、これを加味した河川流量管理の考え方を提示することを目的としている。19年度は、生物による摂食が河床附着膜の状態に果たす役割の解明、単位クロロフィルa当たりの光合成速度、底生性生物群集の呼吸速度を推定する数理モデルの構築・検証を行った。得られた成果は以下のとおりである。

アユを対象に実験を行った結果、摂餌によって、河床附着膜は、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(%)が高い状態に変化すること、また、摂餌された附着藻類の最大光合成速度は、摂餌されなかったものより高いことを明らかになった。アユの摂餌は、藻類の活性、アユの餌資源としての質の向上に寄与することが示唆された。

河床附着膜内部の基質の動態を拡散方程式で、光合成速度は光量子量、栄養塩濃度を従属変数としたミカエリス・メンテン型の方程式で表現し、底生藻の光合成速度・底生性生物の呼吸速度を推定するための数理モデルを構築し、検証した。

キーワード：河川流量、附着藻類、アユ、摂食、河床

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るようになった。主な課題として、有機物やシルトなどの微細な土砂の堆積、糸状緑藻の繁茂、生物の餌資源としての質への影響、基礎生産への影響、下流への自濁作用、景観の悪化等があげられる。

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(流速)の減少や流況の平滑化といった要因のみでなく、生物生息場の変化によって生物相や生息密度が変化し、河床附着膜が生物に摂食されなくなったことがあげられる。そのため、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、それによって河床附着物が「摂食」されるといった生態系のしくみを加味した流量管理の考え方を提示していくことが必要である。

そこで本研究では、生物の摂食効果により河床の健全性が維持される機能に着目し、これを加味した河川流量管理の考え方を提示することを目的に、流量、河床の状

態、底生動物、魚類等の摂食圧の関係解明、生物の摂食を加味した附着藻類現存量推定モデルの構築、適切な流量管理についての提案を行う。

19年度は、生物による摂食が河床附着膜の状態に果たす役割の解明、流量-附着藻類現存量モデルの構築を目的に、単位クロロフィルa当たりの光合成速度、底生性生物群集の呼吸速度を推定するモデルの構築を行い、その検証を行った。

2. 生物による摂食が河床附着膜の状態に果たす役割の解明

2.1 目的

生物による河床附着膜の摂食は、1.で示した課題の改善を図る上で、大きなウエイトを占めると考えられる。しかし、生物の摂食が附着藻類群集に及ぼす影響や河床附着膜を巡る生物間の関係を扱った研究は生態学の分野で比較的多く行われているが¹⁾²⁾³⁾、工学的な観点から、摂食により河床の健全性が維持される機能に着目し、これを定量的に明らかにした研究はほとんどみられない。そこで、まず、日本の代表的な藻食性魚類であるアユを対象に、摂食が河床附着膜の状態に果たす役割を定量的に明らかにするため、以下の実験を行うこととした。

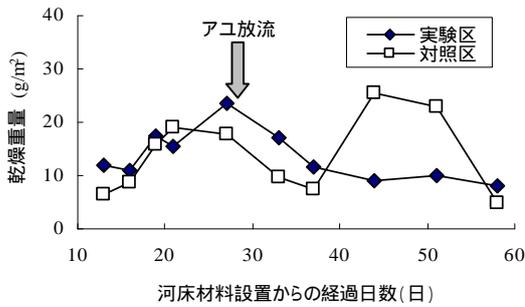


図 - 1 乾燥重量の変化

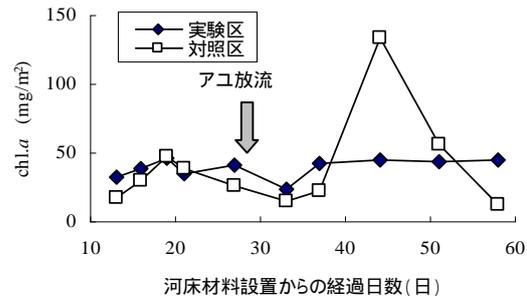


図 - 2 クロロフィル a の変化

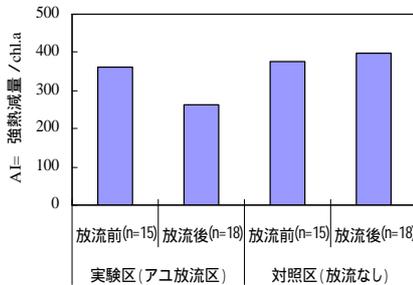


図 - 3 AI の変化

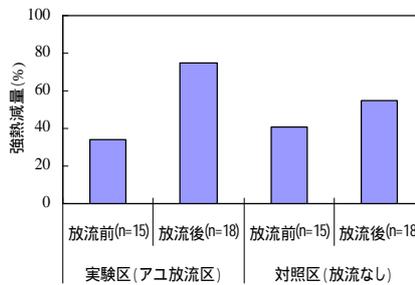


図 - 4 強熱減量 (%) の変化

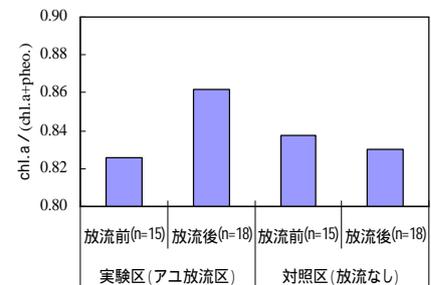


図 - 5 生藻類率の変化

2.2 方法

自然共生研究センター内の2つの実験河川の上流にそれぞれ調査区(幅約2.5m、区間長約100m)を設け、河床に新たな河床材料(15cm程度の玉石)を敷き詰め、約1ヶ月河床附着膜を成長させた後、一方の区間にアユを250個体(放流密度1個体/m²)放流し(実験区)、その後の河床附着膜の状態の変化を、放流しない区間(対照区)と比較することにより明らかにすることとした。実験期間は2007年8~10月である。実験期間中の流量は0.2m³/sとした。なお、調査区の上・下流端には、5mmメッシュのネットを設置し、魚類の調査区への侵入を防止した。また、調査区に生息していた魚類は、あらかじめ電気ショッカーを用いて捕獲し、排除した。

河床附着膜の採集は、実験区及び対象区のそれぞれ5地点(St.0~St.4)を対象に、週1~2回の頻度で行った。試料は、各地点3つの礫の上面5cm×5cmの範囲の河床附着膜を、ナイロンブラシと蒸留水を用いて擦りとり(n=3)、冷暗状態で実験室へ持ち帰り、乾燥重量、強熱減量、クロロフィルa、フェオフィチンを測定した。また、試料の一部はホルマリンで固定し、同定・計数用サンプルとした。この他、調査区の水深、流速、水温、水質などの物理環境条件についてもデータを取得した。

次に、摂食による基礎生産への影響を明らかにするため、摂食圧の影響をうけた実験区と受けていない対照区の附着藻類の光合成速度を、明暗瓶法を用いて測定し、比較した。調査は10月に実施し、水温は約17℃であった。

河床附着膜を実験区及び対照区から採取し、これを河川水で希釈した後、速やかに100mlの酸素瓶に詰め明暗瓶法を行った。酸素瓶は、それぞれ明瓶18本、暗瓶3本、初期溶存酸素測定用2本とした。初期酸素測定用については、速やかにウインクラー法により溶存酸素を測定した。また、明暗瓶法に使用した河床附着膜試料について、乾燥重量、強熱減量、クロロフィルaを測定した。明瓶と暗瓶は、実験河川沿いに設置した簡易暗室内のパケット内の流水(実験河川水をポンプで汲み上げ、掛け流しの状態にした)に水没させ、レフランプ(500W)3個からの光量子密度が、徐々に変化するように設置し、光量子計を用いて各明瓶の底面付近の光量子密度を測定した。暗瓶には光が透過しないよう、アルミホイルで密閉した。4時間後、これらを回収し、ウインクラー法により溶存酸素を測定し、単位クロロフィルa当たりの光飽和した最大光合成速度を算出した。

2.3 結果及び考察

アユの摂食の影響をうけた地点は、上流側の調査地点St.0~St.2であり、これらの地点における河床附着膜の変化は、ほぼ同様の傾向であったため、以下、結果は、St.2を対象に示すこととする。図-1、2に、河床附着膜の乾燥重量及びクロロフィルaの変化を示す。放流前は、実験区と対照区に違いはみられなかったが、放流後は、実験区では、乾燥重量及びクロロフィルaともに、対照区より低い値を推移した。図-3~5に、実験区と対照

区のアユ放流前後の期間のAI(=強熱減量/クロロフィルa)、強熱減量(%)、クロロフィルa/(クロロフィルa+フェオフィチン(以下、生藻類率とする))を示した。放流後、実験区では、AIは減少し、強熱減量(%)及び生藻類率は増加する傾向がみられた。アユの摂餌によって、河床附着膜は、一定の厚さ(薄い)が維持され、生きている藻類の割合が高く(枯死した藻類や藻類以外の有機物(デトリタスや細菌など)の割合が低い)、粘土やシルト等の微細な土砂を含む無機物量の割合が低い状態に変化することが明らかになった。河床附着膜は、厚くなると、光が内部まで透過しなくなるため、下層の藻類は枯死する。また、シルト等の微細な土砂の沈積は、附着藻類への遮光による成長阻害を引き起こす要因となり⁴⁾、アユの成長に影響を及ぼすと考えられている⁵⁾。したがって、アユによる河床附着膜摂餌は、藻類の活性やアユの餌資源としての質の向上に寄与するものと考えられる。

表-1に明暗瓶法に用いた河床附着膜の乾燥重量、クロロフィルa、AI、強熱減量(%)を示した。前述したように、実験区と対象区では、附着膜の状態(厚さや構成等)が異なる。単位クロロフィルa当たりの最大光合成速度を算出した結果、実験区では6.4mg-C chl. a⁻¹hr⁻¹、対象区では2.0mg-C chl. a⁻¹hr⁻¹で、アユの摂餌圧の影響を受けた附着膜の方が高い値を示した。実験区における値は、2005年に毎月実施された明暗瓶法による最大光合成速度の最大値(7月)⁶⁾と同レベルであり、実験河川の附着膜においては最大レベルであったと評価される。一方、対象区の値は、2005年10月に測定された値⁴⁾とほぼ等しかった。アユの摂餌がない対象区と比較し、実験区では、アユの摂餌により膜が薄く保たれ、栄養塩の摂取速度が増加し、活性度が高い附着藻類が維持されたものと推察される。今後、さらに河床附着膜と光合成速度との関係に関するデータを取得し、シルトの含有の程度や附着藻類群集の違いに起因した光合成活性の違い等、さらに詳細に検討する予定である。

表-1 明暗瓶法に用いた河床附着膜の状態

	乾燥重量(g/m ²)	chl.a (mg/m ²)	AI	強熱減量(%)
実験区	35.2	83.5	370	49
対象区	53.0	69.2	637	32

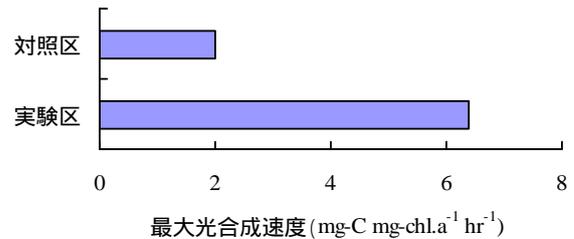


図-6 最大光合成速度

3. 流量 - 附着藻類現存量モデルの構築

3.1 モデルの概要

河床の健全性の評価は附着藻類の現存量だけでなく、附着藻類の活性度(単位クロロフィルa、単位時間当たりの光合成速度)、河床附着膜に含まれる無機物量等が関連する。しかし、附着藻類の現存量の増加に伴い、活性度が低下し、無機物量が増加する傾向が見られることから、ここでは、現存量を指標として河床の健全性を評価することを目的とし、対象場の条件に応じて附着藻類の現存量を推定する数理モデルの開発を行う。

一般に単位面積当たりの附着藻類の現存量(クロロフィルa)の増減は以下の式で示すことができる。

$$\frac{dB_{chl-a}}{dt} = P_n - D - G + I \quad \text{式(1)}$$

ここに、 P_n : 底生藻の単位時間当たり一次純生産量、 D : 単位時間当たりの底生藻剥離量、 G : 単位時間当たりの摂食量、 I : 単位時間当たりの移入量である。

流量の変化は右辺全ての項に影響を与え、結果として附着藻類の現存量を変化させることになるが、本年度は一次純生産速度を流量と関連付けて推定する手法についての報告を行い、その他の項については平成20年度以降の報告内容とする。

単位時間当たりの一次純生産量 P_n は以下の式で表現される

$$P_n = P_g - R \quad \text{式(2)}$$

ここに、 P_g : 一次総生産速度、 R : 呼吸速度である。

一次総生産速度、呼吸速度の推定方法に関する研究例は極めて少なく、現在のところ、与えられた場の条件(流量、栄養塩濃度、光量子量等)に対する一次純生産速度の見積もりは困難な状態にある。ここでは既往の研究を参照しながら、単位クロロフィルa当たりの光合成速度、底生性生物群集の呼吸速度を推定するモデルの構築を行い、その検証を行った。

3.2 光合成・呼吸速度の推定モデル

河床附着膜（研究の多くは生物膜、biofilm の用語を充てる場合が多いが、本研究では河床附着膜に統一する）における光合成・呼吸（有機物代謝）は、附着膜直上の栄養塩濃度・光条件・水温を一定とすれば、附着膜の性状・構造、膜直上の流速によって支配される。具体的には、附着膜が厚くなり膜内部での底生藻の密度が大きくなると光が膜内部に透過しにくくなる。これに加えて、膜直上の流速が低下すると、栄養塩等の基質が膜内部に拡散し難くなるため、有機物代謝が低下する可能性が大きくなる。このような栄養塩等の基質拡散の大きさは附着膜内部の拡散係数の取り扱いによって決まるため、拡散係数を膜の厚さや性状、流速と関連付けてどのように設定するかが課題となる。

附着膜の性状・構造と基質拡散との関係については比較的研究例が散見され、附着膜内部の構造を仮定する上で参考になる。例えば、森林内を流れる piedmont stream 横に設置した実験水路において、CLSM(Confocal Laser Scanning Microscopy)を用いて底生藻と細菌類が混在する河床附着膜の発達過程を詳細に観察した結果によると⁷⁾、河床附着膜は、現存量の増加と共に厚みを増すだけでなく、起伏量が増加し、六角形に似た空隙(Void)の周辺に藻類累と細菌が集積したセルクラスターから構成されることが示されている。また、170~200 μm の厚さを有する附着膜の溶存酸素濃度を観測した結果によると、セルクラスターでは附着膜表層から 50 μm までしか酸素が透過しないが、空隙内部では100 μm 程度まで溶存酸素濃度が表流水と同程度の値を示し、空隙がセルクラスターに対する主要な基質の輸送経路であること、流速の増加と共にその傾向が大きくなること示されている⁸⁾。また、河床附着膜上部の藻類は流れによって躍動し(fluttering)、基質供給量を増加させることが知られている⁹⁾。

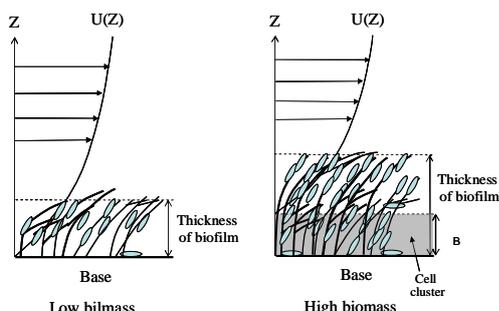


図 - 7 附着膜の厚さと拡散係数の関係

膜が薄い場合(左)は渦拡散とし、膜が厚くなると(右)膜上層は渦拡散、下層は分子拡散として取り扱い、膜の鉛直方向に拡散係数を変化させることにする。

これらの研究成果から本研究では附着膜内部の拡散係数については附着膜が薄い場合は式(3.A)を、附着膜が「ある高さ」 δ_m よりも厚くなった場合には式(3.B)で拡散係数を与え、 δ_m までを分子拡散係数、それより上部では渦拡散に近い係数を与える(図 - 7)

$$z < \delta_m : K(Z_*) = E(Z_*) \quad \text{式(3.A)}$$

$$z \geq \delta_m : K(Z_*) = D_s + E(Z_{m*}) \quad \text{式(3.B)}$$

ここで、 D_s : 基質 S の分子拡散係数、 Z_* : は無次元高さ(= uz/v)、 Z_{m*} : は z が分子拡散から渦拡散に移行する基準面を δ_m とした無次元高さ(= $uz(z-\delta_m)/v$)である。 $E(Z_*)$ (もしくは $E(Z_{m*})$) は Van Driest 型の以下の式で与える¹⁰⁾。

$$E(Z_*) = \frac{v}{2} \left[\left\{ 1 + 4\kappa^2 Z_*^2 \left(1 - \exp\left(-\frac{Z_*}{26}\right) \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} - 1 \right]$$

式(4)

河床附着膜の厚さは単位面積当たりのクロロフィル a と比例関係にあると仮定し、以下の式で表現した¹¹⁾。

$$\delta_B = \eta B_{chl-a} \quad \text{式(5)}$$

ここに、 B_{chl-a} : 単位面積当たりのクロロフィル a、 η : B_{chl-a} に対する河床附着膜の換算係数である。クロロフィル a の鉛直方向の分布については、河床附着膜の上部と下部から採取した底生藻の光合成活性に関する調査結果によると下層から採取した底生藻は光合成活性が低く、上層部の活性が高いことが示されている¹²⁾。また、底層における基質の供給量が小さく、底生藻そのものの呼吸活性を維持できない場合にはクロロフィル a 量そのものが減少し、活性が低下する可能性がある。以上から、現場で採取した底生藻中の活性の高いクロロフィル a は附着膜上層に偏って分布し、底生藻のクロロフィル a は上層から底層に向かって線形的に減少するとし、次式で与える。

$$R_a(z) = \frac{(B_{chl-a}/\delta_B)}{\delta_B} \cdot z \quad \text{式(6)}$$

なお、従属栄養生物の現存量については一様で与え、また、光の消散については附着膜の構造は大きく変化しないと仮定し、クロロフィル a が鉛直方向に一様に分布するとして取り扱った(なお、本モデルは附着膜の下層が Cell cluster を主体とし、上層が Sparse (疎ら)な構造と扱っていること、底生藻の分布を非一様で与えていることから Non-uniform sparse and cluster (SPCL モデル)と表現する。

附着膜における基質の拡散は戸田、Hong らの研究を参考に¹³⁾、以下の式で与える。

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(K_N(z) \frac{\partial N}{\partial z} \right) = \alpha_N (P_{ag}(z) - R(z)) \quad \text{式(7)}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(K_P(z) \frac{\partial P}{\partial z} \right) = \alpha_P (P_{ag}(z) - R(z)) \quad \text{式(8)}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(K_{DO}(z) \frac{\partial DO}{\partial z} \right) = \alpha_{DO} (-P_{ag}(z) + R(z)) \quad \text{式(9)}$$

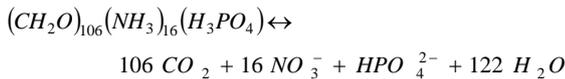
$$\frac{\partial}{\partial z} \left(K_{DOC}(z) \frac{\partial DOC}{\partial z} \right) = (-ex \cdot P_{ag}(z) - P_h(z)) \quad \text{式(10)}$$

ここで、 N ：溶存態窒素濃度(DIN と表記する場合がある)

P ：溶存態リン濃度(SRP と表記する場合がある)、 DO ：溶存酸素濃度、 α ：付着藻類の有機炭素量に対する各基質の質量換算係数(添え字 n ：無機溶存態窒素、 p ：無機溶存態リン濃度、 DO ：溶存酸素を示す)、 P_{ag} ：炭素量で表現した底生藻の単位現存量当たりの一次総生産速度、 R ：底生性生物群集の全呼吸量(底生藻 + 従属栄養生物)、 P_h ：従属栄養生物による二次生産速度、 ex ：底生藻が固定した溶存態炭素(DOC)の細胞外への滲出比である。

境界条件としては底生藻が繁茂する河床基盤において各基質のフラックス量をゼロとし、かつ、河床基盤面から拡散係数が十分大きくなる高さにおいて流水中の基質濃度を与えた。

ここで、各基質の換算係数は幅広い有機物に対して当てはめることができる以下の分子式より算出した¹⁴⁾。



また、式中の光合成速度と基質の摂取速度との関係は、ミカエリス・メンテン型の式で表現する。

$$P_{ag}(z) = p_{s,max} \rho_a(z) \frac{I(z)}{I_K + I(z)} \min \left(\frac{N(z)}{N_k + N(z)}, \frac{P(z)}{P_k + P(z)} \right) \quad \text{式(11)}$$

ここに、 $P_{ag}(z)$ ：単位体積当たりの一次総生産速度、 $p_{s,max}$ ：全基質飽和条件下での底生藻の単位現存量当たりの最大光合成速度、 ρ_a ：単位体積当たりの底生藻の現存量、 $I(z)$ ：光量子密度(以下、PF と表記する場合がある)、 I_K 、 N_k 、 P_k ：は添え字で示した基質の半飽和定数である。

式(11)中の $I(z)$ は底生藻内部における光の消散を考慮し、以下の式で与える。

$$I(z) = I_s \exp \left(-k_a \int_z^{\delta_B} \rho_a(z) dz \right) \quad \text{式(12)}$$

ここに、 I_s ：河床付着膜表層での光量子密度、 k_a ：付着膜内部での光量子密度の消散係数である。

一方、底生藻の呼吸速度は溶存酸素のみを基質としてミカエリス・メンテン型の式で表現し、溶存酸素飽和条件下での底生藻の呼吸速度(最大呼吸速度)を最大光合成速度の10%に設定する¹⁵⁾。また、底生性従属栄養生物については、底生性生物群集の全基質飽和条件下での最

大呼吸速度から底生藻の最大呼吸速度を減じた値を最大値とし、光合成速度同様ミカエリス・メンテン型の式で、それぞれ以下の式で与える。

$$R_a(z) = 0.1 p_{s,max} \rho_a(z) \frac{DO(z)}{DO_k + DO(z)} \quad \text{式(13)}$$

$$R_h(z) = (r_{s,max} - 0.1 p_{s,max}) \rho_{ah}(z) \cdot \min \left(\frac{DO(z)}{DO_k + DO(z)}, \frac{DOC(z)}{DOC_k + DOC(z)} \right) \quad \text{式(14)}$$

ここに、 R_a ：単位体積当たりの底生藻の呼吸速度、 R_h ：単位体積当たりの従属栄養生物の呼吸速度、 $r_{s,max}$ ：全基質飽和条件下での底生藻及び底生性従属栄養生物の単位現存量当たりの呼吸速度、 ρ_{ah} ：単位体積当たりの底生藻及び従属栄養生物の現存量、 DO_k 、 DOC_k ：それぞれ、溶存酸素濃度、溶存態有機炭素濃度で添え字 k は半飽和定数であることを示す。以上から、全呼吸速度は以下の式で表現される。

$$R(z) = R_a(z) + R_h(z) \quad \text{式(15)}$$

ここで、 ρ_{ah} は概念的な量であり、実際には取り扱いができないことから、式(14)の右辺の最初の項は、式(16)のように変形し、付着藻類、従属栄養生物に拘わらず現存量は全てクロロフィル a を指標として表現することにする。

$$r_{s,max} \rho_{ah}(z) - R_a(z) = \left[r_{s,max} \frac{\rho_{ah}(z)}{\rho_a(z)} \right] \rho_a(z) - 0.1 p_{s,max} \rho_a(z) = r'_{s,max} \rho_a(z) - 0.1 p_{s,max} \rho_a(z) \quad \text{式(16)}$$

ここで、 $r'_{s,max}$ については以下から“'”は特に表示しない。

底生性従属栄養生物の二次総生産速度は DOC の同化率を A_s とし、以下の式で与えた。

$$P_h(z) = A_s / (1 - A_s) \cdot R_h(z) \quad \text{式(17)}$$

なお、 A_s の設定については既往の知見が少ないが、ここではこれを50%として与えた。

3.3 モデルの適用方法と適用例

本モデルの適用に際しては、現地で補足的にデータを取得し、全基質飽和条件下における最大光合成速度・呼吸速度を推定し、モデルに与える必要がある。しかし、溶存酸素濃度の連続観測等の手法に基づき得られた最大光合成速度・呼吸速度は光飽和条件下における値であるため、測定時の水温、栄養塩濃度、現存量、流速による影響を補正し、全基質飽和条件下での最大光合成速度・呼吸速度を推定する。

図-8にこのプロセスを示した。現地において測定された光飽和条件下における光合成速度 p_{max} 、全底生生物群集の呼吸速度 r_{max} について、水温については $1.047^{(T-20)}$

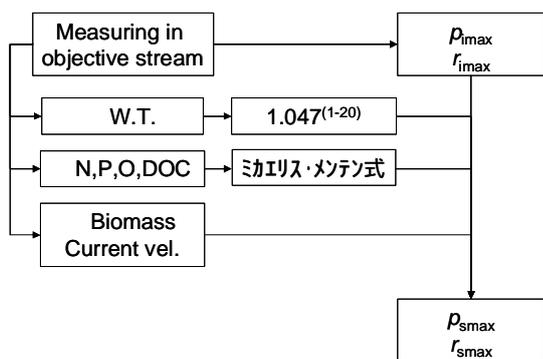


図 - 8 全基質飽和条件下での代謝速度算定のフロー

WT.: 水温、N、P、O、DOC: 窒素、リン、酸素、溶存態有機物を示す。現場で測定した光飽和条件下、水温 T における代謝速度から、水温、基質濃度、現存量、流速の補正を行った後、水温 20 °、全基質飽和条件下での代謝速度が見積もれる。

として補正を行う。 栄養塩等の基質については現地で測定した各基質濃度からミカエリス・メンテン型の式を用いて補正する。 現存量及び流速の補正を行うことにより、摂氏 20 における全基質飽和条件下における p_{smax} 、 r_{smax} を得ることができる。ただ、 p_{smax} 、 r_{smax} については簡易に適用できる手法が確立していないため、実際の適用に際してはこれを割愛する。

以上のプロセスから水温 20 における全基質飽和条件下での最大光合成速度、全底生生物群集の呼吸速度を算出し、次に、前述した式を数値的に解くことにより与えられた現存量（付着膜の厚さ）に対する光合成速度を推定することが可能となる。

平成 16 年 9 月から平成 17 年 7 月まで実験河川で毎月実施した一次生産速度・呼吸速度の測定結果を用い、本計算の妥当性について検証を行った。本検証における諸条件として、摩擦速度を現地の水理量から 7cm s^{-1} とし、各月の水温、栄養塩濃度は実測値を基に、各基質の半飽和定数は既往文献を元に設定した。

算出した全基質飽和条件下での最大光合成速度の値は全期間を通じて一定値を示すことが望ましいが、算出した値は 11 月、3 月に著しく大きく（図 - 9）その他の月は概ね一定となった。現在のところこの原因を特定することはできないが、11 月は水温の低下、3 月は水温の上昇が始まる時期であることから、藻類の組成等が変化し、活性が一時的に変化したのかも知れない。呼吸速度は 12 月に一旦低下するものの、その後は徐々に上昇する傾向が認められる。実験後期において単位クロロフィル a 当たりの従属生物群集量の増加もしくは呼吸活性が上昇し、式(16)の仮定が成立しなくなった可能性が示唆された。このように各月における両値は一定ではなく、月によ

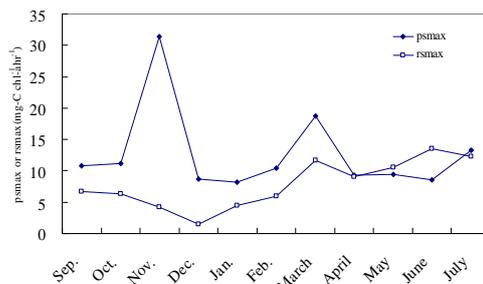


図 - 9 全基質飽和条件下での最大光合成速度・呼吸速度

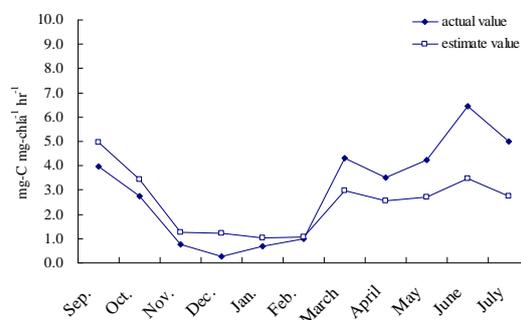
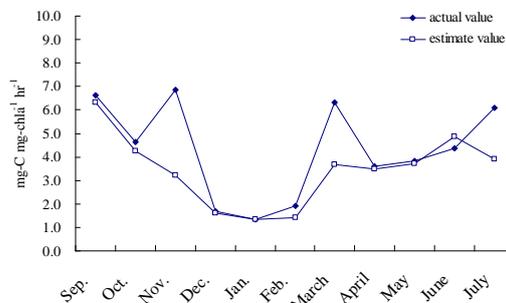


図 - 10 最大光合成（上）・呼吸速度（下）推定値と実測値

て変動があるが、全基質飽和条件下における最大光合成速度については 11 月、3 月を除く値の平均値(10mg-C chl-a⁻¹ hr⁻¹)を、呼吸速度については全月の平均値(7.8 mg-C chl-a⁻¹ hr⁻¹)とし、計算条件を設定した。

光飽和条件下での最大光合成速度は 11 月、3 月以外は概ね実測値を再現したが、呼吸速度については、実験期間前半で推定値が相対的に大きく、後半で小さくなった（図 - 10）。全基質飽和条件下での呼吸速度は実験期間後半で上昇する傾向が見られ、この平均値で計算条件を与えたことが推定値と実測値の乖離の原因と考えられる。

今後、モデルに用いている各パラメータの精査を行うとともに、河川特性と一次生産力との関係を明らかにし、より簡易で精度の高い一次生産速度推定手法を確立する必要がある。

4. まとめ

19年度は、生物による摂食が河床付着膜の状態に果たす役割の解明、単位クロロフィルa当たりの光合成速度、底生性生物群集の呼吸速度を推定する数理モデルの構築・検証を行った。得られた成果は以下のとおりである。

アユを対象に実験を行った結果、摂餌によって、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（%）が高い状態に変化すること、また、摂餌された付着藻類の最大光合成速度は、摂餌されなかったものより高いことを明らかにした。アユの摂餌は、藻類の活性、アユの餌資源としての質の向上に寄与することが示唆された。

河床付着膜内部の基質の動態を拡散方程式で、光合成速度は光量子量、栄養塩濃度を従属変数としたミカエリス・メンテン型の方程式で表現し、底生藻の光合成速度・底生性生物の呼吸速度を推定するための数理モデルを構築し、検証した。

今後、さらに、流量、河床の状態、底生動物、魚類等の摂食に関するデータを現地調査、実験等により補足するとともに、これを基に、一次生産及び付着藻類を餌とする生物の物理環境生息場、摂食圧を組み込んだモデルの構築を進め、現地への適用を図る予定である。

参考文献

- 1) Pringle C.M. and Hamazaki T.: "The role of omnivory in a neotropical stream: separating diurnal and nocturnal effects", *Ecology* 79, pp.269-280, 1998.
- 2) Abe S, Uchida K, Naguma T, Ioriya T, Tanaka J : "Effects of a grazing fish, *Flecoglossus altivelis* (Osmeridae), on the taxonomic composition of freshwater benthic algal assemblages", *Arch. Hydrobio.* 150(4), pp. 581-595 , 2003.
- 3) 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.
- 4) Yamada H. & Nakamura F. : "Effect of fine sediment deposition and channel works on periphyton biomass in the MAKOMANAI RIVER, North Japan", *River Res. Applic.* 18:481-493.2002.
- 5) 村上恭祥, 林譲二, 加藤友久:「魚を育む豊かな流れ～河川生物資源保全流量調査報告書～」, pp158-209.全国内水面漁業協同組合連合会, 1989.
- 6) 萱場祐一:「河川中流域における物理環境場が一次生産過程に及ぼす影響に関する研究」, 博士論文, 2007.
- 7) Battin, T. J., kaplan, L. A., Newbold, J. D., Cheng, X. and Hansen, C.: "Effects of current velocity on the nascent architecture of stream microbial biofilm". *Applied and Environmental Microbiology.* 69(9), pp.5443-5452, 2003.
- 8) De Beer, D., Stoodley, P., Roe, F., and Lewandowski, Z.: "Effect of biofilm structure on oxygen distribution in and mass transfer". *Biotechnology and Bioengineering.* 43, pp.1131-1138, 1994.
- 9) Stoodley, p., Lewandowski, Z., Boyle, J. D. and Lappin-scott, H.M.: "Oscillation characteristics of biofilm streamers inturbulent flowing water as related to drag and pressure drop". *Biotechnology and Bioengineering.* 68(4), pp. 355-369, 1998.
- 10) Boudreau, P. B. : "Solute transport above the sediment-water interface". In *The Benthic Boundary Layer* (ed .Boudreau, B. P and JØrgensen, B. B.), Oxford University Press, New York, 2001.
- 11) 相崎守弘:「富栄養化河川における付着微生物群集の発達にともなう現存量および光合成量の変化」, *Japan Journal of Limnology*, 41(4), pp. 225-234, 1980.
- 12) Tominaga, H. and Ichimura, S.: "Ecological Studies on the organic matter production in a mountain river ecosystem". *Botanical Magazine* 79, pp.815-829, 1966.
- 13) 戸田祐嗣:「水理・物質拡散・生物一次生産に着目した礫床河川の環境特性に関する研究、東京工業大学学位論文」, 2002.
- 14) Klaff, J. : "Limnology". Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002.
- 15) 高橋正征, 古谷研, 石丸隆監訳:「粒状物質の一次生産」, *生物海洋学* 2, 東海大学出版会, 1996.

STUDY ON ENVIRONMENTAL FLOW FOR MAINTAINING ECOLOGICAL FUNCTIONS OF RIVER BEDS

Abstract : 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, which is dependent of river discharge. In the fiscal year 2007, the key results of this study are as follows:

- 1) The role for grazing fish, *Plecoglossus altivelis*, for the periphyton mat condition was investigated by comparing grazed epilithic algae with no grazed algae in experimental streams. Feeding activity on thin periphyton mat contributed to an increase in the Autotrophic Index and AFDM(%). Maximum photosynthetic rate of the grazed epilithic algae was higher than the rate of no grazed one.
- 2) A numerical model estimating the photosynthetic rate of epilithic algae and the respiration rate of benthic community was developed and verified using the data obtained in experimental streams. A numerical model estimating metabolic rate of epilithic algae and benthic community was developed and verified, in which solute transfer inside biofilm is described by the diffusion equation and the photosynthesis rate is expressed by Michaelis-Menten equation as dependent variables of photon flux and nutrient concentration..

Key words: flow regime, periphyton, *Plecoglossus altivelis*, grazing, riverbed