

B-6 溶存酸素濃度の連続観測を用いた 宮崎県五ヶ瀬川中流域における 一次生産速度定量の試み

○西山 正晃¹・高見 徹^{2*}・鈴木 祥広³・鬼束 幸樹⁴

¹大分工業高等専門学校専攻科機械・環境システム工学専攻（〒870-0152大分県大分市大字牧1666番地）

²大分工業高等専門学校都市・環境工学科（〒870-0152大分県大分市大字牧1666番地）

³宮崎大学工学部土木環境工学科（〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西1-1）

⁴九州工業大学大学院工学研究院建設社会工学研究系（〒804-8550福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1）

* E-mail: takami@oita-ct.ac.jp

1. はじめに

Vannote, R.L. (1980) らの河川連続体仮説 (river continuum concept) によると、河床付着藻類が行う一次生産は河川中流域における基礎的な食物エネルギーを供給している¹⁾。同仮説によると、森林や河川内で生産された物質が上流から下流に向かって変化するに従って、生物群集の構造も変化する。すなわち、河床付着藻類による一次生産の推定は、河川中流域におけるエネルギーの由来と流れ、ならびに生物群集の構造を把握する上で重要である。一次生産の測定には、主に湖沼及び海域の植物プランクトンの一次生産の測定で実績のある明暗瓶法が用いられてきた²⁾。しかし、河川に適用する場合には河川に特有な流速の効果が失われ代謝速度が低下すると言われている³⁾。また、Odum, H.T. (1956) は水中の溶存酸素を連続観測し、日変化から群集全体の一次生産速度を推定する方法を提唱しているが、本手法を適用した例はそれほど多くない⁴⁾。

本研究では、河川の一次生産の定量方法の確立を目的として、宮崎県五ヶ瀬川中流域において一次生産の定量を試みた。一次生産の定量には、河川生態学術研究会河川総合研究グループ基礎生産部会の萱場が提案する上下流の2地点間における溶存酸素(DO)の連続測定による方法⁵⁾(以下、萱場法と称す)を適用した。

2. 萱場法における一次生産の推定方法

(1) 萱場法の原理

対象区間の生態系全体に適応でき、流速や再曝気も考

慮できる方法として萱場法が考案された。萱場法は水体の溶存酸素濃度を連続観測し、昼間は日射による付着藻類の一次生産、底生生物による呼吸、ならびに大気からの再曝気によって溶存酸素濃度が変化する、夜間は日射がないため呼吸と再曝気によって溶存酸素濃度が変化する、という現象を利用して一次生産速度を推定する方法である。はじめに、夜間を対象として呼吸及び再曝気に関わる係数を算出する。次に、昼夜の呼吸・再曝気による溶存酸素濃度の増加・減少分を見積もり、溶存酸素濃度の実測値から、呼吸・再曝気の変化分を減ずることで純生産速度を推定する⁵⁾。対象区間の上下2地点間の溶存酸素濃度に差異が見られる場合は二点法を、差異が見られない場合は一点法を適用することとし、一次生産速度(総生産速度、純生産速度)を推定する。

(2) 再曝気係数の推定⁵⁾

夜間で日射が全くない時間帯における2地点間の酸素収支から推定する。光合成による酸素供給がなく、生物反応以外の酸素消費がないとすると、単位面積当たりに関する酸素収支式は次のようになる。

$$\frac{dX_{DO}}{dt} = -K_1 \frac{X_{O_2}}{h} + K_2 (X_{DO}^* - X_{DO}) \quad (1)$$

ここで、 K_1 : 呼吸速度係数、 K_2 : 再曝気係数、

X_{O_2} : 呼吸に係る基質量、 X_{DO} : 溶存酸素濃度、

X_{DO}^* : 飽和溶存酸素濃度、 h : 水深、 t : 時間

式(1)を上流地点(h_1)から下流地点(h_2)まで積分すると以下のように表現できる。

$$\frac{L}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} K_2^{20} - K_1^{20} C \quad (2)$$

$$L = \Delta X_{DO} = X_{DO}(t_2) - X_{DO}(t_1), \quad C = \frac{\int_{t_1}^{t_2} X_{org} dt}{h \Delta t},$$

$$R_1 = \theta_1^{(\bar{T}-20)} \Delta t, \quad R_2 = \theta_2^{(\bar{T}-20)} \left[X_{DO}^* - \frac{\{X_{DO}(t_2) + X_{DO}(t_1)\}}{2} \right] \Delta t,$$

ここで、 K_1^{20} :水温 20℃における呼吸速度係数、
 K_2^{20} :水温 20℃における再曝気係数、
 C :平均呼吸基質濃度、 $\bar{T}$:上下流の平均水温、
 θ_1 :温度影響係数 (1.047)、 Δt :流下時間、
 θ_2 :温度影響係数 (1.027)、 h :水深

C が時間的に変化しないと仮定すると、式(2)より 20℃における呼吸速度及び再曝気係数を最小二乗法の解として得ることができる。

(3) 一次生産速度及び呼吸速度の推定方法

一次生産速度と呼吸速度の推定は、夜間において再曝気係数及び基準呼吸速度を求め、昼間における 2 地点間の溶存酸素濃度の差、当該区間の単位時間当たりの再曝気による酸素移動量、ならびに呼吸速度の収支に基づいて行った。再曝気係数及び基準呼吸速度は一定値として扱うこととした。流下する単位面積当たりの酸素収支を単位体積当たりの水体について示すと以下のようになる。

$$\frac{dX_{DO}}{dt} = \frac{GP}{h} - \frac{R}{h} + D \quad (3)$$

ここで、 GP : 単位面積当たりの純生産速度、
 R : 単位面積当たりの呼吸速度、
 D : 単位面積当たりの再曝気量

式(3)に式(2)を代入して、上流地点から下流地点まで積分し、単位時間・単位面積当たりの総生産速度 (GP) に変換すると以下の式が得られる。

$$GP = \left(L - K_2^{20} R_2 + K_1^{20} R_1 C \right) \frac{h}{\Delta t} \quad (4)$$

また、同様に純生産速度 (NP) は以下の式で表すことができる。

$$NP = GP - K_1^{20} R_1 C \frac{h}{\Delta t} \quad (5)$$

3. 現地調査と結果

(1) 現地調査

宮崎県五ヶ瀬川中流域を対象として、五ヶ瀬川岩熊井堰下流地点にて調査を行った (図-1)。2009 年 8 月 26 日と 12 月 18 日、2010 年 8 月の 3 回実施し、蛍光式溶存酸素計と光量子計を河床に設置し、溶存酸素濃度の連続観測を行った。調査期間中は溶存酸素濃度を 5 分間隔、光量子束密度を 1 秒間隔で連続測定し、一次生産を行う付着藻類 ($Chla$ 濃度) を定量した。また、流下時間等の調査を併せて行った。

(2) 調査結果

2009 年 8 月と 12 月、2010 年 8 月の五ヶ瀬川及び北川における天候、水温、流速、流下時間、 $Chla$ の結果を表-1 に、光量子束密度の変化と上下 2 地点間における溶存酸素濃度及び飽和度の変化を図-2 に示す。調査時の天候は、2009 年 8 月及び 12 月はともに晴れであり、2010 年 8 月は雨または曇りであった。2010 年 8 月の観測においては日射量の不足と流量変化のため精密な観測データを得ることができなかった。

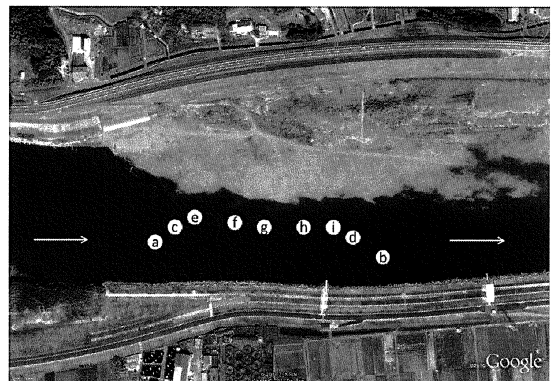


図-1 五ヶ瀬川における調査地点

(a,b : 2009年8月, c,d : 2009年12月, e-i : 2010年8月)

表-1 2009年8月と12月、及び2010年8月の五ヶ瀬川における天候、水温、流速、流下時間、 $Chla$

調査場所	調査日	観測時間	天候	水温(℃)	流速(cm/s)	流下時間(min)	chl _a (μg/cm ³)
五ヶ瀬川	2009.8.26-28	13:48	晴れ	22.8~24.8	10.27	20.07	3.0
	2009.12.18-20	16:22	晴れ	8.5~9.8	14.00	13.77	6.7
	2010.8.29-31	13:08	曇り/雨	22.0~23.7	31.43	7.92	3.4

4. 考察

2009年8月と12月、2010年8月における五ヶ瀬川の現地調査において、光量子束密度、溶存酸素濃度及び飽和度の変化は1日を周期とした変動がみられた。光量子束密度の増加に伴い、一次生産が行われ溶存酸素濃度と飽和度の値が増加したことが分かる(図-2)。

これらの実測値から、一点法と二点法におけるそれぞれの一次生産速度を表-2に示す。2009年の8月においては、一点法と二点法はともに総生産速度が呼吸速度を上回り、再曝気量の値は負となった。これは、一次生産に伴って排出された酸素が水中で飽和に達し、過剰分が大気中に放出されたことを示すと考えられる。一方、2009年の12月においては、一点法と二点法はともに呼吸速度が総生産速度を上回り、純生産速度の値が負、再曝気量の値が正となった。これは、季節における水温の変化が影響していると考えられる。

2010年8月の一点法においては、呼吸速度が総生産速度を上回り、純生産速度が負、再曝気量が正となり、2009年12月と同じ傾向を示した。これは、天候が曇りまたは雨であったため、光量子束密度が低いことや流量の増加に伴う流速の増加が影響していると考えられる。

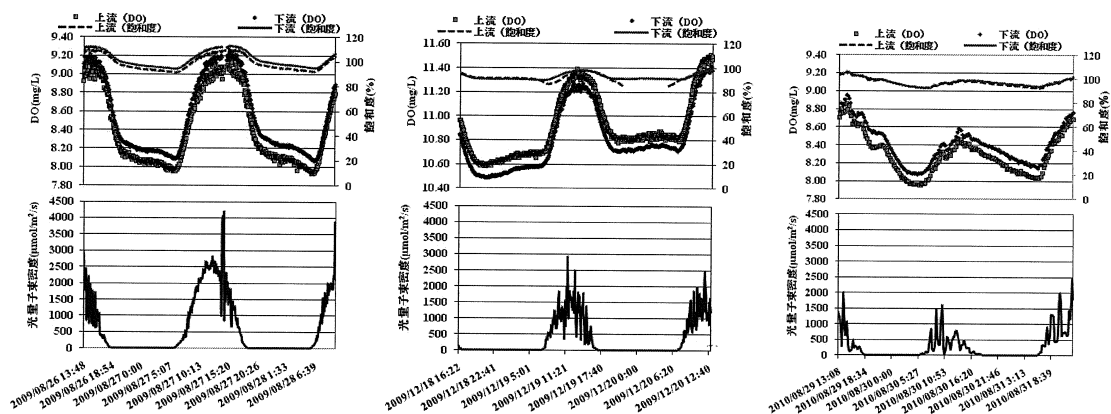


図-2 3回の現地調査における光量子束密度、溶存酸素濃度ならびに飽和度の経時変化
(左図:2009年8月(a-b間), 中央図:2009年12月(c-d間), 右図:2010年8月(e-h間))

表-2 萱場法における2009年8月と12月、及び2010年8月の五ヶ瀬川における一次生産速度

調査場所	調査日	解析方法	総生産速度(G.P) ($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$)	呼吸速度(R) ($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$)	純生産速度(N.P) ($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$)	再曝気量 ($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$)
五ヶ瀬川	2009.8.26-27	一点法	7.16	6.39	0.77	-0.71
		二点法	12.94	4.04	8.90	-0.20
	2009.12.18-19	一点法	15.25	24.96	-9.70	9.82
		二点法	4.30	24.02	-19.72	11.51
	2010.8.29-30	一点法	1.42	2.25	-0.83	0.22

5. まとめ

2009年8月と12月、2010年8月における五ヶ瀬川中流域の調査によって、光量子束密度の日変化に伴う溶存酸素濃度の経時的な上昇・低下を確認した。2010年8月の観測においては日射量の不足と流量変化のため精密な観測データを得ることができなかった。これらの観測データから一次生産速度を推定した結果、総生産速度と呼吸速度の大小関係は光量子束密度に依存する傾向を示した。

参考文献

- 1) Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. & Cushing, C. E.: The river continuum concept, Canadian Journal of Fishery and Aquatic Science, 37, pp.130-137, 1980.
- 2) 西条八束, 三田村緒佐武著: 新湖沼調査法, 講談社, p208, 1995.
- 3) 萱場祐一: 溶存酸素濃度の連続観測を用いた実験河川における再曝気係数, 一次生産速度及び呼吸速度の推定, 陸水学雑誌, 66, pp.93-105, 2005.
- 4) Odum, H.T.: Primary production in flowing waters, Limnology and Oceanography, 2, pp.85-97, 1956.
- 5) 萱場祐一: 一次生産速度測定方法(案), 河川生態学術研究会, 2009.