

山梨大学 正会員 平山公明
 山梨大学 正会員 今岡正美
 山梨大学 正会員 平山けい子

1. はじめに 河川での溶存酸素濃度に影響を与える要因のひとつに大気から水中への酸素の供給、再ばう気、がある。その酸素供給速度は通常再ばう気係数、 K_2 、であらわされ、河川での溶存酸素濃度を考える際にその大きさを知る必要がある。 K_2 の推定方法についてはいくつかの式が提案されているのだが、実際の河川での K_2 の大きさを精度よく推定できるとは言い難いというのが現状であろう。本報では、 K_2 を推定するひとつの手段として溶存酸素濃度の時間的変動を利用する方法の有効性について検討する。

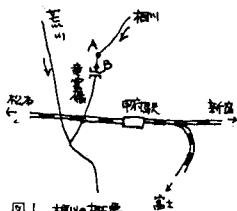


図1 相川の概略

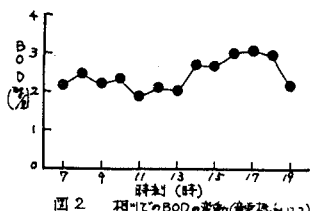


図2 相川でのBODの変動(電算機による測定)

2. 調査地点と測定方法 甲府市を流れる相川の竜雲橋上流側を調査地点とした。相川の概略を図1に示す。相川の調査地点は川幅数m程度で比較的人為的汚濁の影響の少ない場所にある。溶存酸素濃度はウィンクラー法のアジ化ナトリウム変法で測定した。照度は東京光学機械(株)の光電池照度計を用いて測定した。

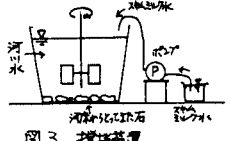


図3 攪拌装置

3. 攪拌実験による酸素消費項の検討 溶存酸素の保存式を一次元で書くと次のように書ける。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_2(C_s - C) + P - R \quad (1)$$

右辺の酸素消費項(R)に対してはBOD濃度に比例すると仮定されることが多い。しかし、対象河川は図2に示されるようにBODの変動が小さいこともあり、まず、RをBOD濃度によらず一定であると仮定してよいかを検討しようとした。そのために図3に示すような攪拌装置を用いて、ポンプでスキムミルク水を注入した場合(中流のスキムミルク1g/Lを2m³/minの流量で注入)と注入しない場合との溶存酸素濃度の変動と比較した。槽の底には河川の底から採取した付着生物のついた石を敷き河川水20Lを槽内に入れ河川での流速と同程度の流速で攪拌した。攪拌槽は屋上に置いた。

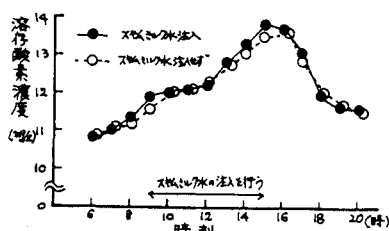


図4 攪拌槽でのDOの変動

溶存酸素濃度の測定結果を図4に示す。図4によればスキムミルク水注入の有無による酸素濃度の差異はほとんどないと言える。スキムミルク水注入の前でBODは6.8mg/L(6時)から35.1mg/L(20時)に上昇していた。(注入しない槽は6.5mg/L(6時)から4.1mg/L(20時)となる)実際の河川では図2に示されるように、このBODの変化よりもはるかに小さな変動を示しているため、河川での酸素濃度の変動を考察する上では、酸素消費項(R)はBODの濃度によらず一定と仮定してよいものと考えられる。

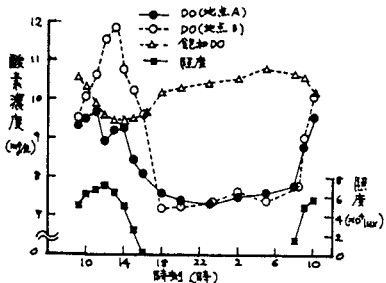


図5 相川でのDO変動(1986.11.14-15) (電算機による測定)

4. K_2 の推定方法 式(1)に基づいて K_2 を推定するにあたり、いくつかの仮定を設けた。右辺の第1項と第2項については無視できるものと仮定した。第3項の飽和濃度については水温を測定することにより飽和溶存酸素濃度表より得た値を用いた。第4項については次の2通りの関係と

表1 使用したデータ

時刻 (hr)	$\frac{\partial C}{\partial t}$ (A/B) (mg/L/hr)	$\frac{\partial C}{\partial t}$ (B/A) (mg/L/hr)	C (A/B) (mg/L)	C (B/A) (mg/L)	照度 (μmol/m²)	C_s (mg/L)
9.47	0.27	0.79	9.41	9.20	5.59	10.43
10.5	0.20	0.59	9.60	10.36	6.44	10.09
11.5	-0.06	0.95	9.32	11.12	6.90	9.72
12.5	0.29	0.25	9.09	11.73	6.74	9.51
13.5	0.03	-1.07	9.24	11.32	6.69	9.46
14.5	-0.90	-0.55	9.85	10.52	3.79	9.48
15.5	-0.35	-0.63	9.29	9.94	1.47	9.58
19.0	-0.08	0.05	7.50	7.23	0	10.26
21.5	-0.04	0.03	7.36	7.32	0	10.37
24.5	0.06	0.08	7.39	7.50	0	10.49
3.5	0.04	-0.08	7.54	7.50	0	10.68
8.5	1.00	1.23	8.32	8.41	3.0	10.61
9.5	0.76	1.07	9.20	9.56	5.1	10.38

仮定してみた。

$$P = \alpha I \quad (2)$$

$$P = P_0 \frac{I}{5000 + I} \quad (3)$$

第5項はBODの濃度によらず一定とした。以上の仮定のもとで(1)式は(4)式となる。

$$\frac{dC_t}{dt} = K_2(C_s - C) + P - R \quad (4)$$

河川での酸素濃度、照度、水温を経時的に測定すると、 $\frac{dC_t}{dt}$, $C_s - C$, I の値を各時刻において知ることができる。これらの値がいくつかの時刻において得られれば、最小自乗法により定数である K_2 , R 等の値を推定することができる。本研究ではこのような方法により河川での K_2 を推定することが可能かどうかを検討しようとした。

5. 結果と考察 河川での溶存酸素濃度の調査は約170m離れた図1の2地点、A, Bでおこなった。その測定結果を図5に示す。酸素濃度は昼間に高く夜間に低くなる傾向にある。また、上流と下流の2地点と比較すると、昼間は上流と下流での酸素濃度に差があり、下流の方が濃度が高い。この傾向は以前に調査した時にも見られた。

この結果より、4.で述べた方法により K_2 を求めた。 K_2 を求めるのに使ったデータを表1に示す。表1より求めた K_2 , R 等の値を表2, 3に示す。 P と I の関係を2通りに仮定したが、どちらの場合もほぼ同程度の K_2 の値が得られている。

³⁾ Dobbinsは $K_2 = K_2 \times H$ とすると K_2 はおおむね0.03~0.5m/hrの範囲にあると指摘している。調査地点では $H = 0.1 \sim 0.2$ mなので $K_2 = 0.04 \sim 0.14$ m/hrとなり、Dobbinsの指摘する範囲内の値となっている。このことから、本研究で述べた方法により河川での K_2 を推定できることが示唆される。図6~9に、表2, 3の値と照度、水温のデータを用いて計算される酸素濃度の変動の様子と実測値とともに示した。 P と I の関係を2通りに仮定したが、(2)式を仮定する方が実測値との一致はややよいようである。

図4において2地点で濃度差がみられる。そこで、(1)式右辺の第一項の $-\frac{dC_t}{dt}$ が $-\frac{d(C_s - C)}{dt}$ (AB間の距離)で評価できると考えて(2)式を仮定して同様に最小自乗法で K_2 等を推定した結果を表4に示す。この場合には K_2 や R がマイナスの値となるので、このような方法で(1)式中の右辺第一項を評価するのは不適当であると考えられる。

6. まとの 河川での溶存酸素濃度の変動から K_2 を求める方法を示し、相川での測定結果から K_2 を推定してみた。その結果、オーダー的に妥当と考えられる値を得た。したがって本報で述べた K_2 の推定法が有効であることが示唆された。今後、 R の値の妥当性、 K_2 と水理パラメータとの関連性、と調べることによりこの方法の有効性を検討したい。

使用記号 C : 溶存酸素濃度(g/m³), t : 時間(s), U : 流速(m/s), x : 流下距離(m), D : 分散係数(m²/s), K_2 : 再飽和係数(1/s), C_s : 飽和溶存酸素濃度(g/m³), P : 光合成による酸素発生速度(g/m²/s), R : 酸素消費速度(g/m²/s), K_e : 酸素移動係数(m/s), H : 水深(m), I : 照度(lux), α : 照度と酸素発生速度に換算する係数(g/m²/s/lux), P_0 : 飽和酸素発生速度(g/m²/s), subscripts A, B: 測定地点。

文献 1) 川島, 鈴木: 中小都市河川の富栄養化, 水質汚濁研究, Vol.6, No.4, 1983.

2) 平山, 今岡, 平山: 河川での溶存酸素濃度の時間的変動に関する考察, 第40回国土学会年誌, II-392, 1985.

3) Dobbins, W. E.: BOD and Oxygen Relationships in Streams, P. of A.S.C.E., Vol.90, No. SA-3, 1964.

表2. K_2, R の推定値 (2)式を仮定

	K_2 (1/hr)	R (mg/hr-lux)	α (mg/hr-lux)
地点A	0.70	2.0	2.7×10^{-5}
地点B	0.49	1.4	3.7×10^{-5}

表3. K_2, R, P_0 の推定値 (2)式を仮定

	K_2 (1/hr)	R (mg/hr-lux)	P_0 (mg/hr-lux)
地点A	0.71	2.2	1.8
地点B	0.42	1.3	2.0

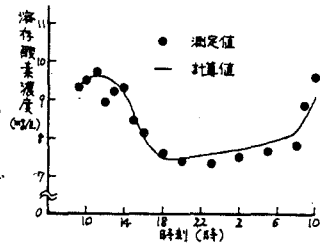


図6 測定値と計算値の比較 (地点A, (2)式を仮定)

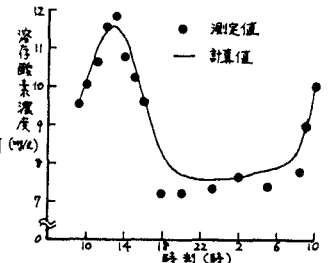


図7 測定値と計算値の比較 (地点A, (3)式を仮定)

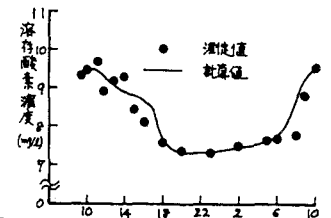


図8 測定値と計算値の比較 (地点A, (2)式を仮定)

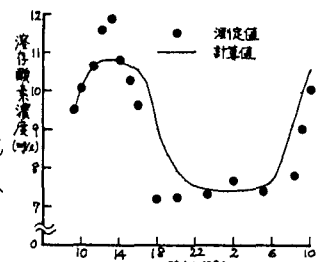


図9 測定値と計算値の比較 (地点B, (2)式を仮定)

表4. K_2, R, α の推定値 (2)式を仮定(1)式を推定)

	K_2 (1/hr)	R (mg/hr-lux)	α (mg/hr-lux)
地点A	-9.0	-2.6	-1.5×10^{-5}
地点B	-4.7	-1.4	-0.9×10^{-5}