

国立公害研究所 正員 村岡浩爾
同 正員 津野洋
同 正員 稲島武彦, O

I. はじめに

湖沼において水温は生物化学的反応の律速因子であると同時に、水温躍層の形成などにより湖流・拡散に大きく影響し、他の水質項目の鉛直分布にも規定している。ここでは水質量が水平方向にほぼ一様と仮定できる湖沼を対象に、水温・プラクトリ量・DO・リソ・CODの鉛直一次元モデルを開発し、水質の年変化のパターンを予測し現地実測値と比較を行い、各種パラメータの変化による予測値の変動を解析した。

II. 予測モデル

滞留時間の極端に短い湖沼を除き、湖流としては吹送流が支配的であり、同時に鉛直方向の混合も風により決定されることが一般的に認められる。ここではTurner-Klaus¹⁾に始まる二層モデルを用い、風による強制混合を予測モデルに組み込んだ。また湖沼においてはリソがプラクトリ増殖の制限因子になることが多いので、リソ濃度と導入したモデルとした。以下に水温 T 、植物プラクトリ量 S 、DO濃度 θ 、流入によるCOD量 C 、生物(植物プラクトリ)に利用可能なリソ量 P についての式を示す。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{\partial \phi_i}{\partial z} / (\rho \cdot C_p) \quad (E_1)$$

$$[B.C] \quad \phi = \phi_i + \phi_{\text{reff}} - \phi_{\text{ev}} - \phi_{\text{con}} \quad \text{at surface}$$

$$D \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad \text{at bottom}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = D \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + w \frac{\partial S}{\partial z} + (BS) - \xi_1 TS - \gamma(z) S \quad (E_2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + C_p (BS) - \xi_1 TS - \xi_2 TC \quad (E_3)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \xi_2 TC + \gamma(z) (C_{\text{in}} - C) \quad (E_4)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = D \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} - (C_p BS) + C_p \xi_1 TS + \gamma(z) (P_{\text{in}} - P) \quad (E_5)$$

$$[B.C] \quad D \frac{\partial S}{\partial z} = w S, D \frac{\partial \theta}{\partial z} = (\theta_{\text{sat}} - \theta) \times \text{fun}(U),$$

$$D \frac{\partial C}{\partial z} = 0, D \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \quad \text{at surface}$$

$$D \frac{\partial S}{\partial z} = 0, \quad D \frac{\partial C}{\partial z} = 0, D \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \quad \text{at bottom}$$

$$\phi = C_p \phi_{\text{in}} \exp(-\eta z) \quad (E_6), \quad \eta = \text{fun}(S) \quad (E_7), \quad \phi'_{\text{in}} = \phi_{\text{in}} \text{fun}(n) \quad (E_8)$$

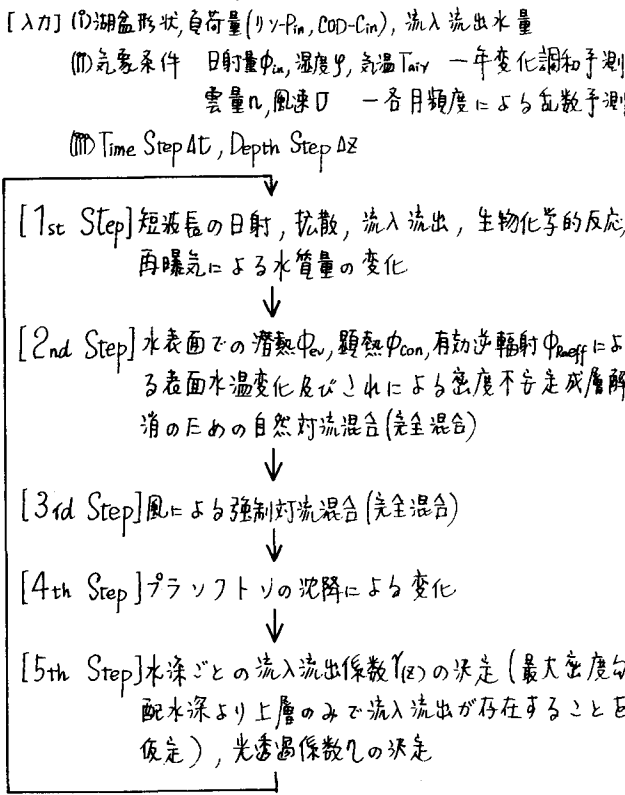
$$GP = (\phi_i / \phi_{\text{opt}}) \exp(1 - \phi_i / \phi_{\text{opt}}) \times (T / T_{\text{opt}}) \times C_p P / (C_p + P) \times S \quad (E_9) \quad (\phi_i, \phi_{\text{ev}}, \phi_{\text{con}}, \phi_{\text{reff}} \text{については西沢新²⁾参照})$$

(D : 拡散係数, w : 沈降速度, ρ : 密度, C_p : 比熱, ξ_1, ξ_2 : S, C の減少係数, θ_{sat} : 飽和DO濃度, $\phi_{\text{opt}}, T_{\text{opt}}$: ϕ, T に関する係数, $C_1 \sim C_6$: 係数 γ の値はTABLE1中に $\text{fun}(\quad)$: ()内値の関数であると示す。

以上の連立偏微分方程式を $\Delta t, \Delta z$ により差分化するとともにTABLE1にフローにより予測計算を行った。風による強制混合の強さは下層成層水の上層混合層への運行速度 U_e が実験的に次の形で表現されることを用いた。

$$U_e / u_* = m T / (q s p D) \quad (E_{10}) \quad m: \text{係数}, \quad T: \text{風による応力 } T = C_g \rho_{\text{air}} U^2, \quad C_g: \text{風の摩擦損失係数}$$

TABLE1 予測フロー



ρ_{air} : 大気密度, $u_* = \sqrt{\tau/\rho}$, g : 重力加速度, $\Delta\rho$: 上層と下層の密度差, D : 混合層厚さ

m の値は、Kato-Phillips³⁾ の実験で 2.5, W_u ⁴⁾ の実験で 0.234 と異なり、 m の値を 5 通りに変化させ、予測値の変動を調べた。計算は Δt を発散しない程度に細く刻み、年変化が定常となるまで続けた。(4 年程度)

Ⅲ. 予測結果

対象とした湖は日光湯の湖と琵琶湖北湖であり、TABLE2 基本タイプ係数値に示したような一般に広く用いられている数値により予測計算を行った。湯の湖での夏、秋の予測値との比較を Fig. に示す。また基本タイプ係数より C_3 , w , m の値を各種に変化させた場合の予測値の変動を TABLE3, 4 に示す。以上と湯の湖、琵琶湖北湖に関する報告書 (IBP, 栃木県、滋賀大 etc.) による予測値と比較により予測値の適合度、問題点をまとめてみると、

(i) 水温 — 年変化、躍層下での水温分布は $m=0.2 \sim 0.67$ 程度で予測値とほぼ一致した。躍層より上では予測値は均一化しすぎていて、これは自然・強制対流により水塊・物質の完全混合を仮定しているため、混合層が厚くなると混合層中での混合度も考慮しなければならぬと考えられる。また氷厚(湯の湖)は氷上層の氷温を考えるとによりシミュレーションできた。

(ii) 植物プランクトン量 —

躍層水深で高濃度になることは予測できた。年最高値は TABLE3 に示すように w , C_3 により大きく変化するが、滞留時間の短い湯の湖の場合 w に依存し、長い琵琶湖北湖の場合 C_3 (リソンの回復率) に依存する割合が大きい。S_{MAX} となる DATE は I_{opt} に支配されていて、 $I_{opt}=350 \text{ cal/cm}^2/\text{day}$ で湯の湖 286 ppm-200 日、琵琶湖 085 ppm-170 日であった。

(iii) DO — 躍層より下層での濃度が予測値ほど下がる。この理由としては (i) 水温で述べた完全混合の仮定とも考えられるが、湯の湖の場合、底泥の酸素要求量を評価しないで予測を行なったと考えられる。

Table.2 Coefficient for basic type	
$D=0.01 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $w=18.8 \text{ cm/day}$, $m=0.4$, $\xi_1=\xi_2=0.004$, $T_{opt}=27^\circ\text{C}$ $\phi_{opt}=210 \text{ cal/cm}^2/\text{day}$, $c_1=1.21$, $c_2=0.0088$, $c_4=2/\text{day}$, $c_5=0.02$ $\Delta t=0.1 \text{ day}$	
for YUNOKO $\Delta z=0.5 \text{ m}$, $c_3=1.0$, $C_y=0.0013$, $T=0.035$, $C_{in}=3 \text{ ppm}$, $P_{in}=0.2 \text{ ppm}$	ppm
for BIWAKO $\Delta z=2 \text{ m}$, $c_3=0.5$, $C_y=0.0022$, $T=0.00046$, $C_{in}=5 \text{ ppm}$, $P_{in}=0.0039 \text{ ppm}$	ppm

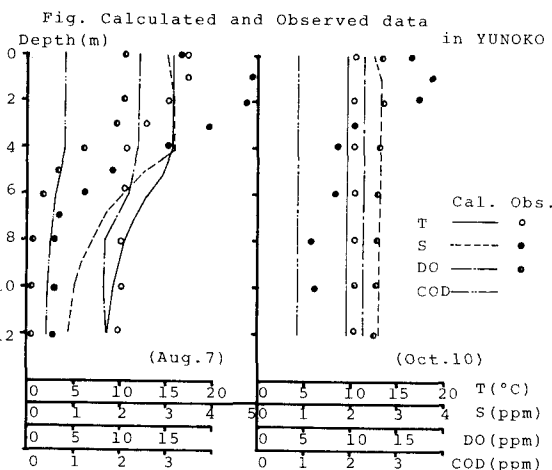


TABLE3. S_{MAX}(ppm), S_{MAX}-DATE(from Jan.1) for various c_3 and w

In YUNOKO					
w	c_3	1.0	0.5	0.3	0.1
0.188	4.28,180				
18.8	3.16,170	2.60,150	2.61,150	2.49,150	
37.6	2.37,160	2.10,150	2.04,150		
94.0	diverge				

cm/day at 1-3 m depth

In BIWAKO			
1.0	0.5	0.3	0.1
2.91,150			
2.26,150	0.86,150	0.77,150	0.66,150
1.79,150	0.84,150	0.63,150	
1.06,130	0.63,150		

TABLE4. Values for various m

In YUNOKO									
m	TMAX	DATE	TMIN	DATE	Uniform T duration	S _{MAX}	DATE	DOMIN	DATE
2.5	15.7	230	41.9	30	100-140, 230-330	2.96	200	10.1	220
0.67	15.6	230	39.6	20	100-130, 270-310	3.12	170	5.22	260
0.4	15.6	230	36.8	20	100-120, 280-310	3.16	170	4.83	270
0.2	15.7	230	35.7	20	100-120, 280-310	3.20	150	5.50	270
0.02	15.7	230	25.3	20	120, 290-300	3.13	150	5.80	280

In BIWAKO									
m	TMAX	DATE	TMIN	DATE	Uniform T duration	S _{MAX}	DATE	DOMIN	DATE
2.5	24.8	230	4.8	60	10-70	0.63	190	8.6	240
0.67	25.0	230	4.4	50	20-70	0.80	160	8.2	230
0.4	25.0	230	4.3	50	20-70	0.86	150	8.2	250
0.2	25.0	230	4.1	50	20-60	0.86	150	8.2	240
0.02	24.5	220	3.8	50	20, 40-70	2.16	110	3.8	320