

ダム貯水池水質の予測と保全対策について

On the Prediction Method and Conservation Measures
of Water Quality in Dam Reservoirs

建設省土木研究所 正 員 森 北 佳 昭
建設省土木研究所 振 井 茂 宏
建設省土木研究所 三 浦 進

1. はじめに

我国の多目的ダムは、洪水調節、上水・工業用水・かんがい用水供給、発電等の種々な目的を持って建設される。このようなダム貯水池の持つ治水・利水・環境機能がバランス良く調和して初めて、ダムの効力を十分に発揮することが可能となる。しかしながら、ダム建設に伴う流水の滞留は自然河川とは異なった水理特性、生態系を持つ水域を出現させ、これに起因した各種影響により貯水池の利水・環境機能が十二分に活用されない場合がある。近年、一部のダム貯水池において見受けられる水の華等のプランクトン異常発生現象もこのような影響の一つであり、異臭味水、浄水ろ過障害、湖水着色等が貯水池水質問題として議論されている。

本研究は、貯水池水質の定量的把握に資する数値解析モデルとモデルダムにおけるケーススタディ結果を報告し、貯水池水質の事前予測と貯水池運用による水質保全対策の可能性について若干の検討を加えたものである。

2. 貯水池富栄養化現象とその要因

貯水池富栄養化現象は「水域内の栄養塩濃度の増加とそれに伴う一次生産者（植物プランクトン）の生物生産性の増大、さらには生態系の構成と代謝が量的・質的に次々と遷移していく現象である」と論じられる場合が多い。貯水池におけるプランクトン異常発生現象の一つに水の華があるが、富栄養化現象の典型例として取り上げられている。

水の華は藍藻類、緑藻類等が大量に繁殖し、水色が緑色、青緑色、黄緑色を呈するものをいう。建設省所管ダムで水の華現象の見られるダムは全体の5.9%（昭和57年調査結果）程度であり、さらに利水障害発生ダムは3.8%程度にすぎない。図-1には水の華発生ダムの月別割合を示しているが、5月から9月にかけての夏場に発生しており、8月に最も多く見られる。水の華が最初に出現するのは表-1より初夏の頃であり、6月に多くなる。このような水の華発生の詳細なメカニズムは尚不明な点があるものの、その発生を左右する条件は次のようなものであると考えられる。

(1) 栄養塩

水の華の発生量は、水域内の栄養塩濃度（特に窒素、リン濃度）とその持続的な供給によって決定される。ダム貯水池においては、総窒素0.6 g/m³、総リン0.03 g/m³となれば水の華が発生し易くなる。

(2) 温度（気温、水温）

表-1より、水の華発生は月最高気温と密接な関係がありそうで、26℃を超えるダムで発生が窺える。一方、水温については水の華の主要構成種である藍藻類が24～32℃で発生している。これらのことから、水温、気温が約25℃より高くなれば、水の華現象が顕著となる。

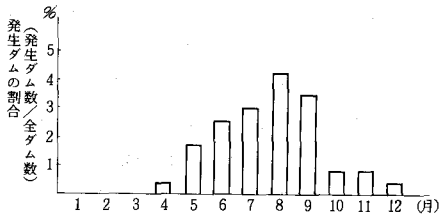


図-1 水の華月別発生ダムの割合
(昭和57年)

表-1 水の華発生と気温との関係

ダム 貯水池	最初の 発生月	水の華の最初の発生月の気温(℃)		
		最 高	最 低	月平均
A	5	27.8	0.0	14.9
B	8	26.3	22.1	24.1
C	4	29.0	3.0	11.9
D	6	28.0	8.7	19.0
E	7	27.4	20.4	23.6
F	5	30.2	7.3	18.7
G	8	27.6	22.1	25.4
H	6	32.0	9.0	19.5
I	6	32.0	10.0	16.5
J	10	27.2	3.3	16.4
K	7	29.7	16.5	23.4
L	6	31.0	10.0	19.9

(3) 日照

水の華は実験的に 1,000 ~ 5,000 lux の間に最大増殖を得ることが確認されている。²⁾

(4) その他

貯留水の流動, PH, 濁り, 降雨, 貯水池の形状等。

近年において水の華現象が見られるようになったのは, 気象条件が大きく変化しないことを考えれば, ダム流域の開発で貯水池に多量の栄養塩負荷が流入し, それに伴う池内栄養塩濃度の上昇が主な要因と考えられる。

3. 貯水池の水質予測

3-1 予測手順

現在, 実用レベルで実施している富栄養化現象の予測手順は図-2 に示すとおりである。すなわち, Vollenweider モデル, 数量化理論および類似ダムによる予測等を用いて, まず問題発生の可能性を定性的に概略検討し, その結果を踏まえて水質予測モデルにより定量的な検討を行うという手順である。本報では水質予測モデルについて述べるものである。

3-2 水質予測モデル

貯水池水質を解析するためのモデルは, 前章で示した各種要因ができるだけ反映されたものでなければならない。

本節で示す貯水池水質予測モデルは, 植物プランクトン(一次生産者)を中心とした貯水池内水質変化の擬似構造を数式で表現し数値解析を行うことにより, その時空間分布を把握しようとするものである。このような貯水池水質の解析には, 水理解析の一般的基础概念である流体力学原理をもとにした数学モデルを用いることになる。この基礎原理は 1) 質量保存則, 2) 運動量保存則, 3) エネルギー保存則, であるが, 計算の簡略化のために運動量保存則は適用せず, 流れは外生させることにする。また, 数値計算においては対象とする現象の時間的・空間的一様性やスケールに応じて, 適当な大きさの時間・空間内のものに交換する必要がある。そこで, 貯水池内の水温・水質変化は流下方向に比して水深方向が卓越すると仮定し, 図-3 に示すように水深方向に層分割した安芸・白砂らの鉛直一次元モデルを用いることにすれば, 貯水池水質解析のための数学モデルは以下のように記述される。

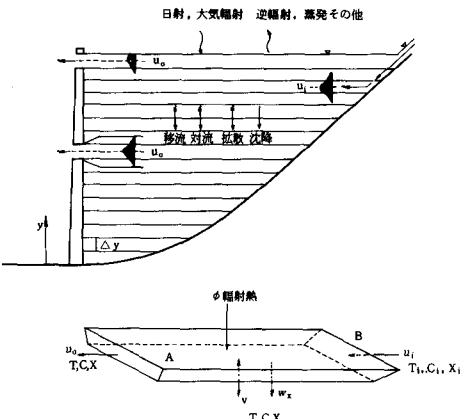


図-3 モデルの概念図

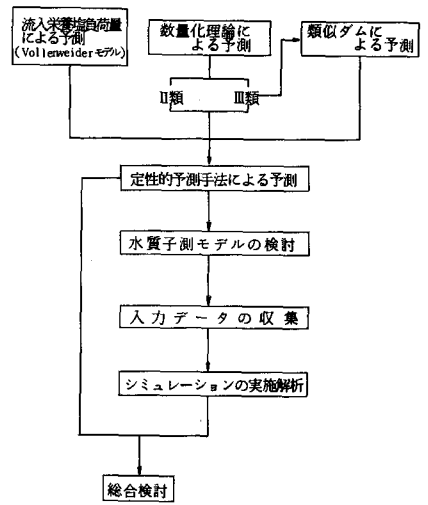


図-2 貯水池富栄養化現象の予測手順

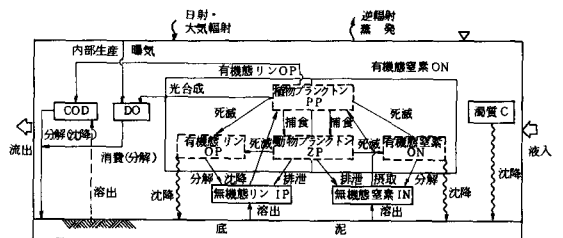


図-4 貯水池内水質変化機構概略図

(1) 非圧縮性流体の連続式

$$\frac{\partial(vA)}{\partial t} = (u_i - u_o) \cdot B \quad \dots\dots\dots (1)$$

(2) 水温収支式

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{B}{A} (u_i T_i - u_o T) - \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial y} (v \cdot A \cdot T) + \frac{(\alpha + D)}{A} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (A \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{1}{\rho \cdot C_w \cdot A} \frac{\partial}{\partial y} (\phi A) \quad \dots\dots\dots (2)$$

(3) 濁度収支式

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{B}{A} (u_i C_i - u_o C) - \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial y} (v \cdot A \cdot C) + \frac{(\alpha + D)}{A} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (A \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial y} (w_c \cdot A \cdot C) \quad \dots\dots\dots (3)$$

(4) 水質の濃度収支式

$$\frac{\partial x}{\partial t} = F(X) + V_o(X) + S(X) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$F(X) = \frac{B}{A} (u_i X_i - u_o X) - \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial y} (v \cdot A \cdot X) + \frac{(\alpha + D)}{A} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (A \frac{\partial x}{\partial y}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$V_o(X) = \frac{1}{A} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (w_x \cdot A \cdot X) \quad \dots\dots\dots (6)$$

表-2 モデル式(生化学的生産・消費項)

表-3 パラメーター一覧表(生化学的生産・消費項)

$S(PP) = (\frac{G_p}{T_s} - \frac{D_p}{T_s} - \frac{G_s}{T_s}) \cdot PP$ 増殖 呼吸(死滅) 捕食	(7)
$GP = \beta_s \cdot K \cdot T_s \{ \frac{1}{T_s} \exp(1 - \frac{T}{T_s}) \}^{\frac{1}{I_s}} \exp(1 - \frac{I}{I_s}) \cdot \frac{IN}{K_{IN} + IN} \cdot \frac{IP}{K_{IP} + IP}$	(8)
$DP = R_{PP} \cdot \theta_{PP}^{T-20}$	(9)
$GZ = R_g \cdot \frac{K_{PP}}{K_{PP} + PP} \cdot ZP$	(10)
$S(ZP) = \frac{\alpha \cdot a_z \cdot G_p \cdot PP}{\text{増殖}} - \frac{R_z \cdot \theta_z^{T-20}}{\text{死滅}} \cdot ZP$	(11)
$S(DO) = K_1 (DO - DO_0) + K_2 \cdot \theta_{DO}^{T-20} \cdot PP - K_3 \cdot COD - r \cdot \frac{A_b}{V}$ 再曝気によるDO生産 COD物質によるDO消費 底泥によるDO消費	(12)
$S(COD) = K_p \cdot G_p \cdot PP - R_c \cdot \theta_c^{T-20} \cdot COD + R_{wc} \cdot \theta_{wc}^{T-20} \cdot \frac{A_b}{V}$ 内部生産 分解 底泥からの溶出	(13)
$S(IP) = \{ (-\beta_p \cdot G_p + \beta_p (1 - a_2) \cdot G_2) \} \cdot PP + \frac{R_p \cdot \theta_p^{T-20} (OP - \beta_p \cdot PP - r_p \cdot ZP)}{\text{植物プランクトンの摂取 動物プランクトンの排泄 有機態から無機態への分解}}$ $+ \frac{R_{wp} \cdot \theta_{wp}^{T-20} \cdot \frac{A_b}{V}}{\text{底泥からの溶出}}$	(14)
$S(OP) = \{ (\beta_p \cdot G_p - \beta_p (1 - a_2) \cdot G_2) \} \cdot PP - \frac{R_p \cdot \theta_p^{T-20} (OP - \beta_p \cdot PP - r_p \cdot ZP)}{\text{植物プランクトンの摂取 動物プランクトンの排泄 有機態から無機態への変換(分解)}}$	(15)
$S(IN) = \{ (-\beta_g \cdot G_p + \beta_g (1 - a_2) \cdot G_2) \} \cdot PP + \frac{R_N \cdot \theta_N^{T-20} (ON - \beta_N \cdot PP - r_N \cdot ZP)}{\text{植物プランクトンの摂取 動物プランクトンの排泄 有機態から無機態への分解}}$ $+ \frac{R_{WN} \cdot \theta_{WN}^{T-20} \cdot \frac{A_b}{V}}{\text{底泥からの溶出}}$	(16)
$S(ON) = \{ (\beta_N \cdot G_p - \beta_N (1 - a_2) \cdot G_2) \} \cdot PP - \frac{R_N \cdot \theta_N^{T-20} (ON - \beta_N \cdot PP - r_N \cdot ZP)}{\text{植物プランクトンの摂取 動物プランクトンの排泄 有機態から無機態への変換(分解)}}$	(17)
ここに PP : クロロフィルa濃度 IP : 無機態リン濃度 ZP : 炭素濃度 IN : 無機態窒素濃度 DO : 飽和溶存酸素濃度 OP : 有機態リン濃度 DO : 溶存酸素濃度 ON : 有機態窒素濃度 COD : COD濃度 A _b : 底泥面積 V : 貯留量 I_y : 深さyにおける日射量 $I_y = I_0 \cdot \exp \{ -\eta (y_s - y) \}$(18) I ₀ : 水面の日射量 η : 日射量減衰定数 y _s : 水面の高さ η = 0.5 + 0.001 · PP(19)	

区分	パラメータ	説明
植物プランクトン増殖	β _s	植物プランクトン増殖のスペース効果係数 β _s = exp(-B s _i · PP)
	K	植物プランクトン増殖によるクロロフィルa生成率
	T _s	植物プランクトンの最大増殖率を与える最適水温
	I _s	植物プランクトンの最大増殖率を与える最適日射量
	K _{IN}	無機態窒素に関する半飽和定数
植物プランクトンの増殖	K _{IP}	無機態リンに関する半飽和定数
	R _{PP}	20°Cにおける植物プランクトンの呼吸によるクロロフィルa消費率
植物プランクトンの増殖	θ _{PP}	クロロフィルa消費率に対する温度係数
	R _g	動物プランクトン捕食率
	a _z	動物プランクトンの同化率
植物プランクトンの増殖	K _{PP}	クロロフィルaに関する半飽和定数
	R _z	20°Cにおける動物プランクトンの呼吸による動物プランクトンの消費率
植物プランクトンの増殖	Q _z	動物プランクトンの呼吸による動物プランクトンの消費率に対する温度係数
	K ₁	再曝気係数
DO生産	K ₂	20°Cにおける光合成によるDO生産率
	θ _{DO}	光合成によるDO生産率に対する温度係数
DO消費	K ₃	COD物質によるDO消費率
	r	底泥によるDO消費率
分	R _C	20°CのときのCOD分解率
	Q _C	COD分解率に対する温度係数
	R _p	20°Cのときの有機態リンから無機態リンへの変換率
	Q _p	有機態リンから無機態リンへの変換率に対する温度係数
解	R _N	20°Cのときの有機態窒素から無機態窒素への変換率
	Q _N	有機態窒素から無機態窒素への変換率に対する温度係数
	R _{WC}	CODの底泥からの溶出率
	θ _{WC}	CODの底泥からの溶出率に対する温度係数
溶	R _{WP}	底泥中のリン含有量
	I _D	溶存酸素の存在によるリンの溶出率減少を表す補正係数
	Q _{WN}	無機態リンの底泥からの溶出率に対する温度係数
	R _{WN}	無機態窒素の底泥からの溶出率
出	θ _{WN}	無機態窒素の底泥からの溶出率に対する温度係数
	α	植物プランクトン中の炭素量とクロロフィルa量の比
	K _P	植物プランクトン中のCOD物質量とクロロフィルa量の比
	B _P	植物プランクトン中のリン量とクロロフィルa量の比
換	B _N	植物プランクトン中の窒素量とクロロフィルa量の比
	r _P	植物プランクトン中のリン量と炭素量の比
率	r _N	植物プランクトン中の窒素量と炭素量の比

ここに、 v ；鉛直方向流速、 u_1 ；流入水の水平方向流速、 u_0 ；流出水の水平方向流速、 y ；標高、 A ；貯水池面積、 B ；貯水池平均幅、 T ；水温、 T ；流入水温、 ρ ；水の密度、 C_w ；水の比熱、 ϕ ；放射熱、 C ；濁度、 C_t ；流入濁度、 w_c ；濁質の沈降速度、 X ；水質濃度、 X_1 ；流入水質濃度、 w_x ；水質の沈降速度、 α ；分子拡散係数、 D ；渦動拡散係数、 t ；時間、 $F(x)$ ；移流・拡散項、 $V(x)$ ；沈降項、 $S(x)$ ；生化学的生産・消費項である。

水質の生化学的生産・消費項 $S(x)$ については図-4に示す8項目を水質因子とし、それら相互間の变化過程の概略を図-4に従って表-2のように数式化した。なお、植物プランクトンと動物プランクトンの現存量はそれぞれ一般的によく用いられるクロロフィル a 濃度、炭素濃度を水質指標に採用した。また、沈降を考慮したものは、クロロフィル a 、 COD 、有機態の窒素・リンである。

上記の基礎式をもとに数値解析を行うが、計算にあたって時間方向の離散化にはRunge-Kutta-Gill法を用い、図-5の計算フローに従って実施する。数値計算の概要は、計算時間間隔ごとに各層の移流、拡散量を計算し、その結果を用いて水温、濁度、各水質の計算を行うものである。計算時間間隔 Δt は次式で示す安定条件によるものとする。

$$\Delta t = \text{Min} \left(\frac{\Delta y^2}{2D}, \frac{\Delta y}{v_m}, \frac{\Delta y}{w_m}, \Delta t_0 \right)$$

ここに、 Δy ；分割層厚、 v_m ；時刻 t における鉛直方向流速の絶対値の最大値、 w_m ；時刻 t における沈降速度の最大値、 Δt_0 ；時刻 t における与えられた入力条件の時間差分、である。

また、表-3に示す生化学的生産・消費項のパラメータ値および初期条件、境界条件は適用する貯水池毎に適切に設定する必要がある。

3-3 モデルの実貯水池への適用

前節で示した水質解析モデルを富栄養化現象が見られるAダム貯水池（総貯水容量約3,000万 m^3 ）に適用し、本モデルの妥当性について検討した。モデルの同定期間は昭和58年1月1日から12月31日までとし、同定に用いたパラメータ値、初期条件・境界条件を表-4、表-5に、同定結果の一部を図-6、図-7にそれぞれ示す。なお、図に示す実測値は、貯水池内での水質観測が平面的に9ヶ所で行われており、流下方向水質の一様性を仮定した本モデルの特性から、これら9ヶ所での水質観測値の算術平均値を便宜的に用いている。

図-6の鉛直分布図より、定性的な分布状況は概ね再現しているとともに、定量的にも一部を除いて実測値と良好に一致している。一方、図-7の経時変化図についても、実測値と一致しない時期が若干見受けられるものの水質の時間

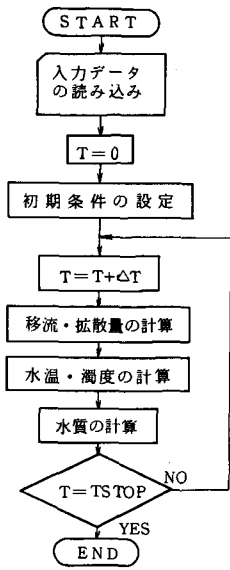


図-5 計算フロー

表-4 パラメータの設定値

パラメータ	単 位	設定値	パラメータ	単 位	設定値
β_{s1}		0.0385	θ_c		1.06
K	1/°C・日	0.1	R_p	1/日	0.027
T_s	°C	20	θ_p		1.05
I_s	cal/cm²・日	400	R_N	1/日	0.027
K_{1N}	g/m²	0.1	θ_N		1.05
K_{1P}	g/m²	0.01	R_{WC}	g/m²・日	0.8
R_{PP}	1/日	0.0957	θ_{WC}		1.05
θ_{PP}		1.05	R_{WP}	mg/g	0.15
R_g	mg/g・C・日	0.4	θ_{WP}		1.05
a_z		0.6	R_{WN}	g/m²・日	0.015
K_{PP}	mg/m³	60	θ_{WN}		1.06
R_z	1/日	0.0766	t_D	② 2	
θ_z		1.05	α	g-C/mg-chl	0.05
K_1	1/日	① 1	K_p	g-COD/mg-chl	0.148
K_2	1/日	0.063	β_p	g-P/mg-chl	0.001
θ_{p0}		1.072	β_N	g-N/mg-chl	0.01
K_3	1/日	0.05	r_P	g-P/g-C	0.02
r	g/m²・日	0.5	r_N	g-N/g-C	0.2
R_c	1/日	0.037			

① $K_1 = \frac{A_1}{V_1} \left(\frac{D}{(200-60(W)) \times 10^4} \right) \times 86,400$
 ここに、 A_1 ：水表面積 V_1 ：表層の貯水量
 D ：分子拡散係数 W ：流速
 ② $t_D = 0.01/(4.0 \cdot DO + 1)$

表-5 初期条件・境界条件（モデル同定時）

項目	初期値	境 界 条 件	
		本 川	支 川
水 温	表層 9.4°C 底層 9.0°C	$T_1 = -0.03 + 0.85 T_A$	$T_1 = -0.011 + 0.901 \cdot T_A$
濁 度	表層 1.7 g/m³ 底層 6.0 g/m³	$C_1 = 2.187 Q^{0.975}$	$C_1 = 9.668 Q^{0.949}$
クロロフィル a	全層 2.0 mg/m³	$L_{PP} = 0.0$	$L_{PP} = 0.0$
動物プランクトン	全層 0.0075 g/m³	$L_{2P} = 0.0$	$L_{2P} = 0.0$
DO	全層 8.0 g/m³	$L_{DO} = 10.066 Q^{0.975}$	$L_{DO} = 9.668 Q^{0.949}$
COD	全層 2.0 g/m³	$L_{COD} = 1.654 Q^{1.171}$	$L_{COD} = 2.810 Q^{1.174}$
無機態リン	全層 0.02 g/m³	$L_{1P} = 0.0236 Q^{1.188}$	$L_{1P} = 0.0561 Q^{0.985}$
有機態リン	全層 0.01 g/m³	$L_{OP} = 0.0264 Q^{1.401}$	$L_{OP} = 0.0513 Q^{0.986}$
無機態窒素	全層 0.48 g/m³	$L_{1N} = 0.3411 Q^{1.335}$	$L_{1N} = 0.4936 Q^{1.342}$
有機態窒素	全層 0.2 g/m³	$L_{ON} = 0.2530 Q^{1.028}$	$L_{ON} = 0.2674 Q^{1.218}$

(T_A ：気温、 Q ：流入量)

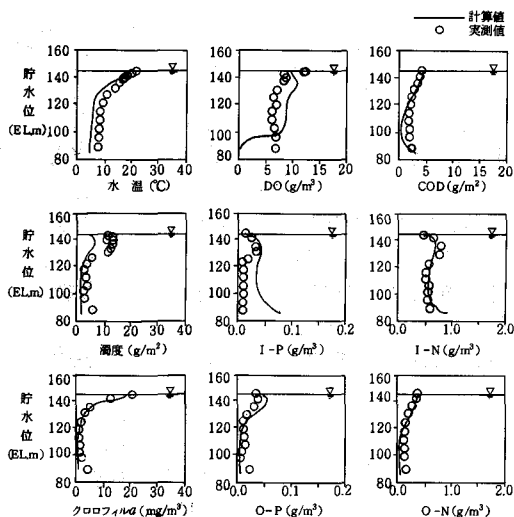


図-6 水質鉛直分布図の一例 (昭和 58 年 5 月 20 日)

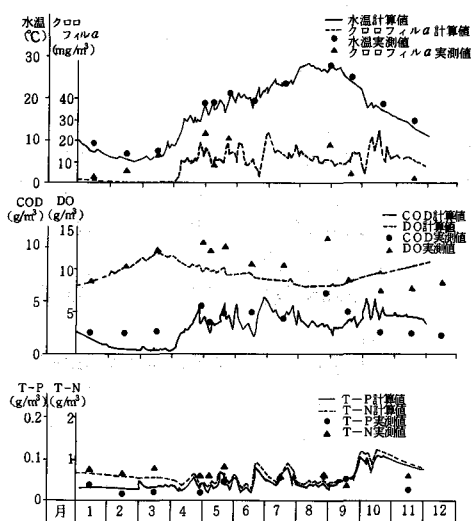


図-7 水質経時変化図 (昭和 58 年貯水池表層)

的变化傾向ならびにその量的再現性はほぼ満足の結果を示している。以上のモデル同定結果より、本水質解析モデルは貯水池水質の変化機構をかなり良好に再現できるものと考えられる。

4. 貯水池水質保全対策の検討

4-1 対策の概要

世界の数多くの湖沼や貯水池で、富栄養化現象を抑制したり、ある一定の望ましい水質レベルに保全しようという試みが実施されている。Dunst⁵⁾らが各国の水質保全対策手法について紹介したものを表-6に整理して示す。これらの対策は流域対策と貯水池対策に大別されるが、抜本的には貯水池に流入してくる負荷を削減する流域対策が重要である。しかしながら、ダム管理者としても貯水池で行える対応について検討を加えておく必要がある。表-6に示した貯水池対策のいくつかについては、現在、パイロット実験等を実施してその効果の把握に努めているところである。一方、希釈および洗い出し、底層水放流、選択放流といった貯水池運用による水質保全対策については、下流河川に与える影響や効果評価の困難性を勘案すれば上述のモデル等を用いたシミュレーションにより検討するのが適当である。

4-2 貯水池運用による水質保全

洪水時や低水時の放流、取水位置は貯水池水質にも微妙に影響を及ぼすものと思われる。そこで、Aダム貯水池で同定した水質予測モデルを用いて取放水口位置が変化した場合の水質シミュレーション

表-6 貯水池の水質保全対策

貯水池内における対策	対源に対する策	下水の高度処理 (化学的凝集沈殿処理等) 洗剤中のリン酸塩の低減または代替 環状 (バイパス) 水路の開削 (放流路の変更)
	非対源に対する策	肥料の制限 浸透溝 酸化アルミニウムカラムによるろ過 前貯水池によるリン除去 化学薬品によるリン除去 土地利用の規制
貯水池内における対策	湖内の栄養塩除去	湖内での化学的凝集沈殿 希釈および洗い出し 底層水の放流 生物による栄養塩除去 水位低下による湖底堆積物の乾燥・除去 湖底処理 (湖底を覆う方法) 選択放流
	富栄養化現象に富対する応急対策	曝気 (循環) 水位低下または上昇による水中植物の制御 物理的対策 (水生植物の刈取り等) 化学的制御 (殺菌剤、除草剤の使用) 生物学的制御 (捕食関係による操作等)

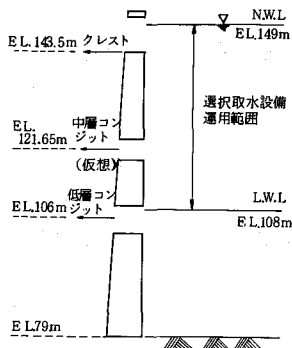


図-8 取・放水設備の位置

表-7 シミュレーションケース

洪水時 取水方法	放水口		
	1 Crest	2 中層 コンジット	3 低層 コンジット
A 低濁度層からの選択取水	A-1	A-2	A-3
B 高COD層からの選択取水	B-1	B-2	B-3
C 常時表層取水	C-1	C-2	C-3
D 常時低層取水	D-1	D-2	D-3

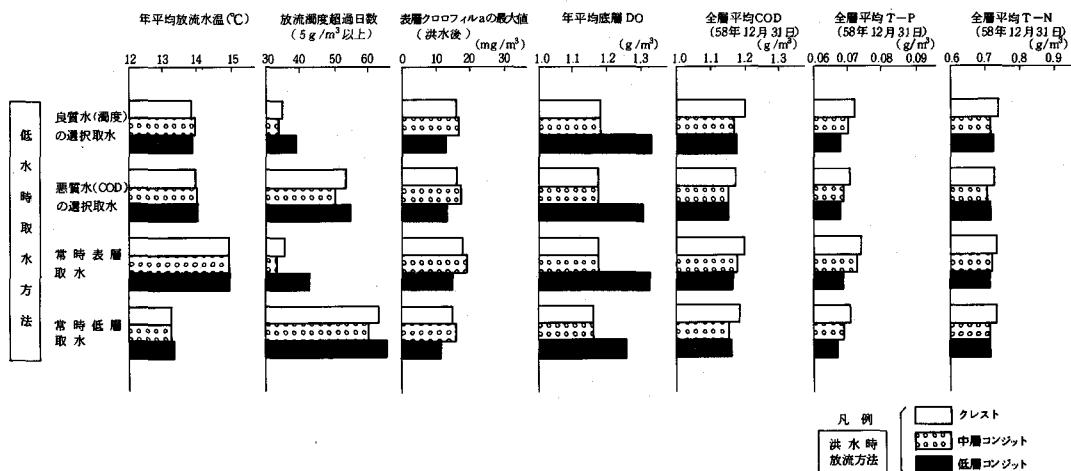


図-9 貯水池運用の違いによる水質の変化

ンを実施し、貯水池運用による水質保全の可能性について検討を加えてみる。

Aダム貯水池の放流、取水方法として、洪水時にはクレスト、中層・低層コンジットの使用、低水時には選択取水、常時表層・低層取水が考えられる。図-8には、取・放水設備の位置関係を、表-7、図-9はシミュレーションケースとシミュレーション結果をそれぞれ示す。シミュレーションに用いた流況は平水年相当であり、洪水放流を10月に15日間行っただけであるが、それでも各水質は多少の影響を受けている。本図より、低水時取水方法は放流水温、放流濁度に相当影響を及ぼし、貯水池水質には取水量が小さいためにさほどでもない。一方、洪水時放流口位置は15日使用でも貯水池水質に影響を与えている。この結果だけから見れば、貯水池および下流河川の水利用状況にもよるが、対象としたような流況年には低水時常時表層取水、洪水時低層コンジットからの放流が水質面から見た最適な貯水池運用方法であると考えられる。

5. おわりに

本文では、貯水池水質予測モデルとそれを用いた貯水池運用による水質保全の可能性の検討結果を中心に報告したが、モデルの妥当性ならびに水質保全の可能性が示されたと考える。しかしながら、今回の水質保全対策の検討結果はかなりの限定された条件下での一例であり、その結果を一般化することはできない。今後は、種々の流況、気象条件、貯水池規模のもとでシミュレーションを実施し、貯水池の最適運用方法の一般化を試みるとともにダム放流口配置のあり方という計画論へのフィードバックも検討していく必要があろう。

参考文献

- 1) 例えば、日本水質汚濁研究協会；湖沼環境調査指針，公害対策技術同友会，pp 11～13，1982。
- 2) 例えば、矢木，岡田，須藤，萩原，高村；Microcystis の増殖特性，国立公害研究所研究報告第25号，pp 47～58，1981。
- 3) 安芸，白砂；貯水池流動形態のシミュレーション解析—その1 発電専用貯水池の流動形態；発電水力No 134，1975。
- 4) 三浦 進；ダム貯水池における水質解析手法とその適用，第22回土木研究所研究発表会資料，pp 95～98，1983。
- 5) Russell C. Dunst et al；Lake Rehabilitation Techniques and Experiences，Water Resources Bulletin，American Water Resources Association，1974。