

第2章 アセスメント段階(ダム計画時)における水質予測と環境保全措置

2.1 アセスメント段階における水質予測の方法

アセスメント段階における水質予測では、まずは概略的な予測を行いダム貯水池の富栄養化の程度を把握し、富栄養化の程度が大きくなる可能性がある場合には、適切な数値シミュレーションモデルを選定し、より詳細な将来予測を行う。

【解説】

環境影響評価法の対象事業の一つである農村振興局所管のダム事業のアセスメント段階で水質予測を行う目的は、事業計画時にダム貯水池を供用した場合に水質が評価基準（環境基準）と整合するかどうか判断し、富栄養化現象による影響が回避され、環境の保全への配慮が適正になされているかどうかを評価することである。

アセスメント段階におけるダム貯水池内の富栄養化に係る水質予測手順は、図9に示す通り、統計的手法や類似事例の引用・解析等により富栄養化の程度を概略予測し、ダム貯水池の富栄養化の程度が大きくなる可能性がある場合には適切な数値シミュレーションモデルを選定し、より詳細な将来予測を行う。

富栄養化の予測の基本的手法は表8に示す通りであるが、統計的手法や類似事例の引用・解析により富栄養化の影響を予測する場合には、必ず周辺の既設ダム貯水池の状況を調査し、統計的手法や類似事例の引用・解析の予測結果と併せて検討を行うものとする。

なお、概略的な予測手法は2.2で、数値シミュレーションを用いた詳細な水質等の予測は2.3で、それぞれ詳述する。

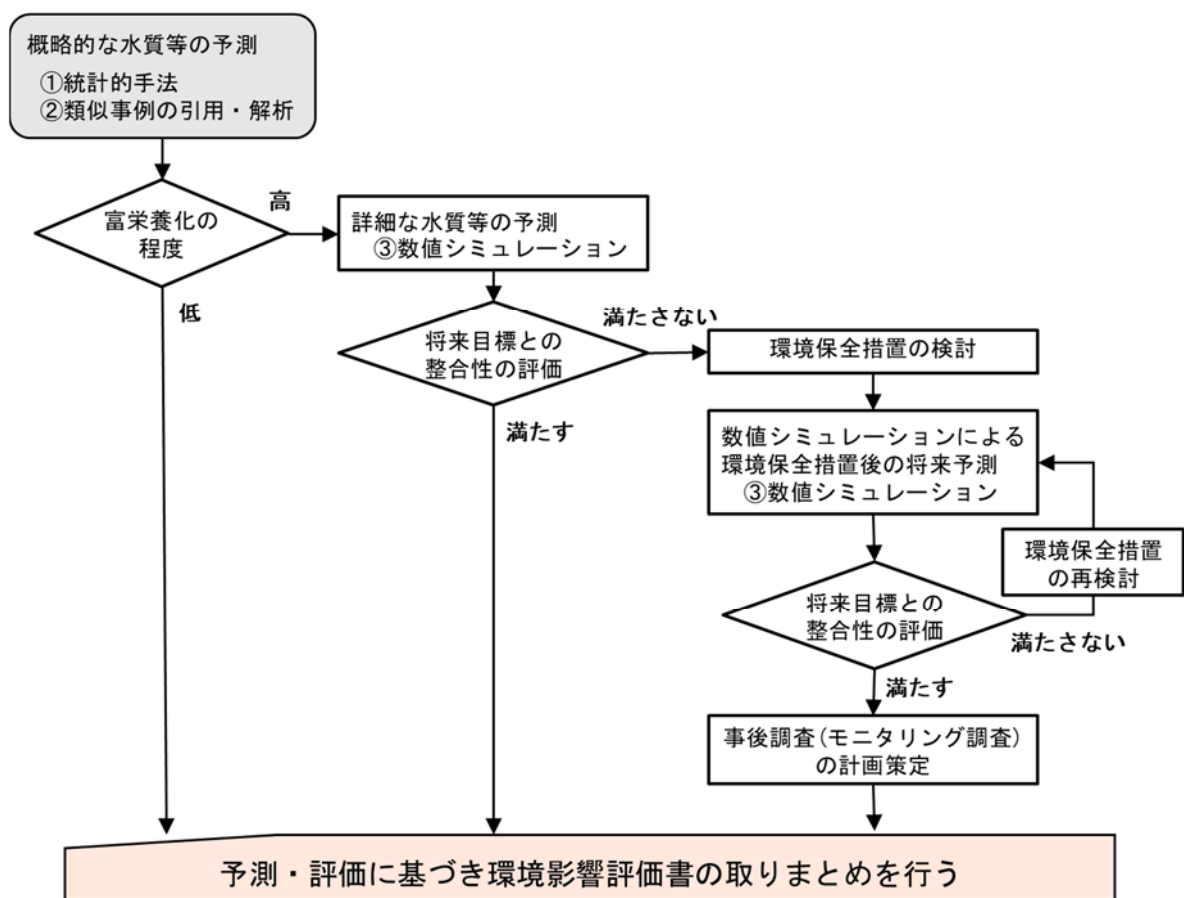


図 9 ダムアセスにおける富栄養化の予測評価手順

表 8 富栄養化の予測の基本的手法

影響要因	予測地域	予測の基本的な手法	予測項目
ダムの供用 及びダム貯 水池の存在	ダム貯水 池内	①統計的手法 (Vollenweider (フォーレンバイダー) モデル)	栄養塩類を指標とし た富栄養化の程度
		②類似事例の引用、解析	流入水質を指標とし た富栄養化の程度
		③数値シミュレーション	COD、窒素、リン、 クロロフィル a 等

2.2 概略的な予測

概略的な予測として、統計的手法及び事例の引用又は解析により、ダム貯水池の水質傾向と富栄養化現象の発生の可能性を検討する。

【解説】

概略的な予測として、Vollenweider モデル等による簡易予測を行い富栄養化の発生可能性を把握する。この段階ではダムは存在していないが、上記の手法は流入河川の流量と流入水質を用いて予測するため、調査は建設予定ダムの流入河川の流量、水質に対して行う。

概略的な予測としては、図 10 に示す通り、まず、Vollenweider モデルによる簡易予測を行い、これにより富栄養化の発生可能性が高いと評価された場合は、数値シミュレーションによる予測評価に移行する（p35、2.3.2 数値シミュレーションモデル選定の考え方、図 18 に移行し、引き続きモデル選定フローを行う）。

また、富栄養化の発生可能性が中程度と評価された場合には、さらに類似事例・統計的手法等により富栄養化が起きるかどうか解析・予測も行い、Vollenweider モデルによる予測結果とともに環境影響評価書を取りまとめる。

一方、富栄養化の発生可能性が低いと評価された場合は、その予測・評価に基づき環境影響評価書を取りまとめる。

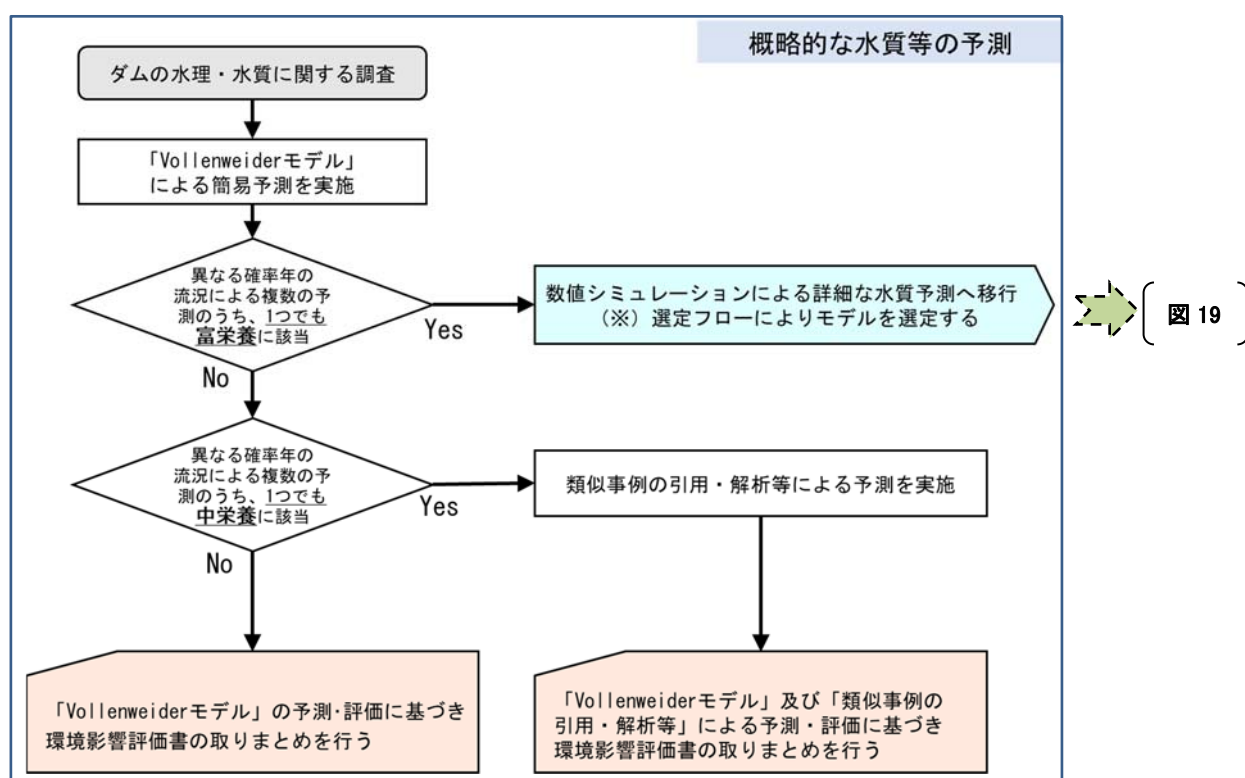


図 10 概略的な水質等の整理・予測フロー

(※) 数値シミュレーションによる予測評価に到達した場合、フローは p35、2.3.2 の図 19 に続く。

2.2.1 統計的手法（Vollenweider モデル）

Vollenweider モデルとは、ダム貯水池や淡水の自然湖沼ではリンが富栄養化の制限因子となっていることが多いことに着目し、回転率×平均水深とダムに流入するリンの単位面積当たりの年間負荷量の関係から富栄養化の状況をモデル化したものであり、ダム貯水池の富栄養化の可能性の予測に関しても一般的に用いられているものである。

なお、本モデルの適用に当たっては当該ダム貯水池の栄養塩類の制限因子を確認し、窒素が制限因子となっている場合は、富栄養化現象の発生の判断には適さない場合があることに留意する必要がある。

窒素とリンのいずれが制限因子として働くかについては両者の比 N/P で表すことが多く、表 9 を参考に対象のダム貯水池の栄養塩類の制限因子を確認する。

表 9 ダム貯水池の栄養塩類による制限因子

	窒素制限	リン制限
坂本（1987）	NP 比 ≤ 10	$20 \leq$ NP 比
OECD（1982）	NP 比 ≤ 10	$17 \leq$ NP 比

(1) 調査方法

概略的な予測にあたり調査すべき情報は、以下のとおりである。

1) 年間総流入量（Q）

流入河川の流量からダム貯水池への年間流入量を集計する。ダム計画時に検討している利水計算結果を用いることが想定される。現行の水利計画では、雨の少ない年を基準にしてダムを含む水利システムの計画がなされていることから、予測する場合も計画基準年*1の年間総流入量を用いる。一方、計画基準年以外にも、様々な流況が含まれるように異なる確率年を対象に集計し、複数の予測を行うことが望ましい。また、複数の流入河川のうち一部の河川で流量が観測されていない場合には、流域内で観測された流量観測結果を流域面積比で按分する等の手法がある。

2) ダム貯水池容量（V）

ダム計画におけるダム貯水池諸元から、ダム貯水池の容量を設定する。年平均回転率の算定のため、平常時最高貯水位に相当する容量のほか、夏季制限水位が設定されている場合には夏季制限水位に相当する容量を使用する。

3) ダム貯水池面積（A）

ダム計画におけるダム貯水池諸元からダム貯水池の面積を設定する。例えば、年平均回転率の算定に用いた平常時最高貯水位に相当するダム貯水池面積のほか、夏

*1：水利計画では、一般的に“10 年に 1 回程度生ずる渇水年”を計画基準年としている。

季制限水位が設定されている場合には夏季制限水位に相当するダム貯水池面積を設定する。

4) 平均水深 (Z)

平均水深は 2) で設定したダム貯水池容量を、3) で設定したダム貯水池面積で除して平均水深を求める。

5) リンの年間流入負荷量 (MP)

ダム貯水池に流入する河川の水質調査結果から、流入水に含まれるリン負荷量を算出する。負荷量は、流入水量とリン濃度の乗算により算出するが、より正確な負荷量の算定のため、各水質調査結果における流量とリン濃度の関係を統計的に整理した流量に対する流入負荷量の関係を示した L-Q 式を作成し、流量変動を踏まえて算出する場合もある。

(2) 予測手法

(1) で調査した数値を下記式に使用し、単位面積当たり年間リン負荷量を求め、平均水深×回転率の相関図に示す。予測の対象とするダムについて、計画基準年及び計画基準年以外の異なる確率年の様々な流況を含む複数のデータに基づき、同図にプロットを行い、中栄養から富栄養の領域にプロットされた場合には、富栄養化現象が発生しやすい。図 12 の 2 本の曲線は、富栄養化限界を判定する湖内リン濃度 ($\overline{[P]}\lambda$) として、0.01mg/L 及び 0.03mg/L を示している。これはそれぞれ貧栄養と中栄養、中栄養と富栄養の区分を想定している。

$$\overline{[P]}\lambda = \frac{L(P)}{V_p + H/\alpha}$$

ここに、 $\overline{[P]}\lambda$: 湖内の年間平均全リン濃度 (mg/L)

$L(P)$: 単位湖面積当たりの全リン負荷 (=MP/A) (g/m²/年)

V_p : リンの見掛けの沈降速度 (m/年)

H : 平均水深 (=V/A) (m)

α : 回転率 (=Q/V) (年)

(なお、 V_p の値は、Vollenweider によると、10m/年と推定されている。)

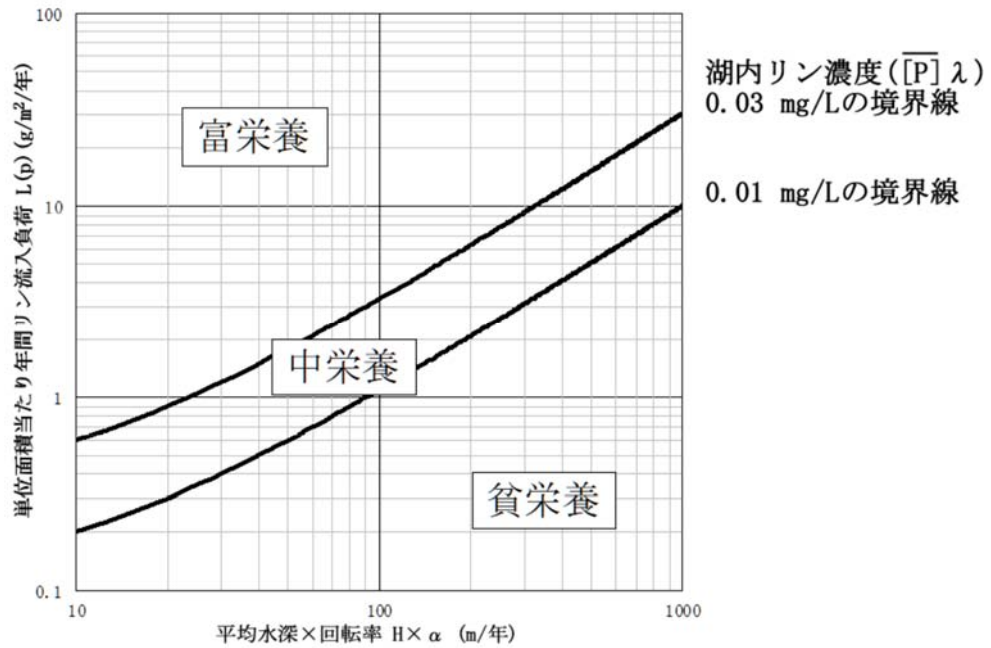


図 12 Vollenweider モデル

ケーススタディを行ったダムについてみると、A ダム・B ダムについては水質観測時の流量データを用いて、C ダムについては水質観測時の流量データがなかったため、平均水深・回転率・流量のそれぞれについて全観測値を平均した値を用いてモデル上にプロットを行ったところ、図 13 に示すとおりとなった。

ケーススタディを行ったダム貯水池は、いずれも中栄養から高栄養のダム貯水池に分類され、富栄養化の問題が生じる可能性が高いと評価された。

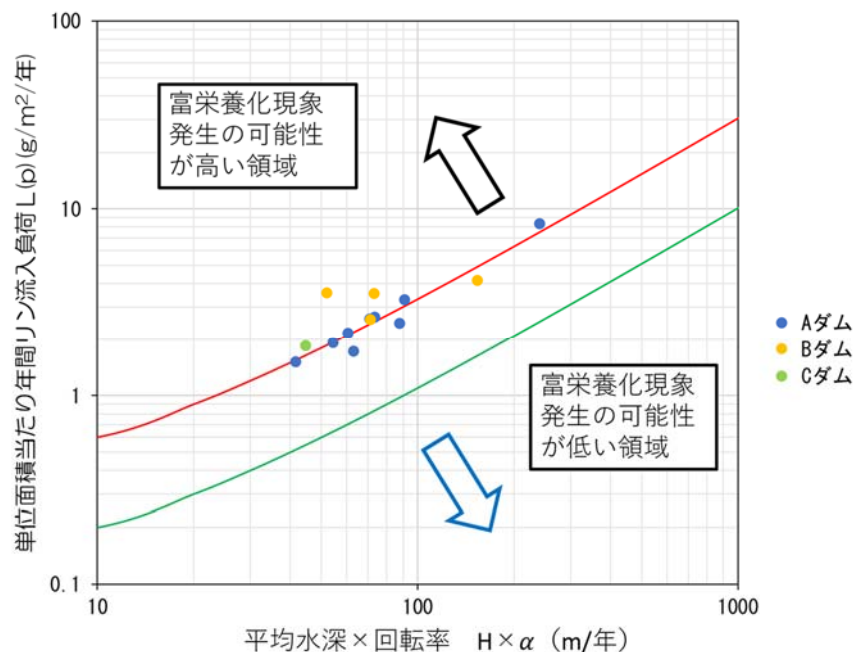


図 13 ケーススタディダムの Vollenweider モデル計算結果

2.2.2 その他の概略的予測手法

Vollenweider モデルにより、富栄養とは判定されないが、中栄養と判定された場合、以下に示す解析・予測手法例を用いて富栄養化の予測を行い、Vollenweider モデルの予測結果と併せて富栄養化の評価を行い、環境影響評価書を取りまとめる。

(1) 類似事例の引用による解析・予測手法

類似事例及び当該ダム流入負荷量（流入窒素濃度、流入リン濃度）等から、富栄養化の程度を判定する。

流入負荷量は、流入量と流入水質の濃度の積により得られる数値であり、平常時と出水時の負荷特性の違いを考慮し、平常時及び出水時に流入量と流入水質を測定した上で、流入負荷量を算出することが重要である。通常は、流量とリン濃度の関係を統計的に整理した流量に対する流入負荷量の関係を示した L-Q 式を作成し、予測する。

L-Q 式（流入負荷量式）の作成にあたっては、幅広い流量規模における調査データがあることが望ましく、ダム貯水池の水質状況等を踏まえ、L-Q 式（流入負荷量式）の作成において把握されていない出水規模の範囲を抽出し、調査を行い、作成することが望ましい。

流入河川の各調査項目の濃度と測定時の流量から、流入負荷量（ $L = \text{濃度} \times \text{流量}$ ）を算出し、対数目盛で、横軸に流量若しくは比流量（ Q ）を、縦軸に流入負荷量（ L ）をとり、両者の関係図を作成する。この図には平水時のデータも加える。L-Q 式（流入負荷量式）は、以下の近似式で定義されており、 a と b を求めることにより流量により流入負荷量を予測することが可能となる。

$L = a \times Q^b$ ここに、 L ：単位時間あたりに流入する負荷量（ g/s 又は kg/s ）

但し、 Q ：流量（ m^3/s ）

類似事例の解析の一例である全国の農業用ダムのかんがい期における流入窒素・リンの負荷量及び流入濃度と湖内表層の全窒素・全リンの濃度との関係（図 14）をみると、類似したダム貯水池では流入負荷量及び流入濃度と湖内水質との間には関係がある場合があり、特に流入濃度と湖内水質との相関が高い場合がある。このような類似事例を用いてダム貯水池の水質を判定することが可能である。この類似事例を用いた予測では、かんがい期の流入流量と流入負荷量から流入濃度（ $[M] = L / Q$ ； $[M]$ は流入全窒素濃度あるいは流入全リン濃度）を求め、富栄養化の階級（表 1）等から富栄養化現象が起こるかどうか判定する。なお、図 14 で示す通り、流入濃度と湖内の窒素濃度との関係は比較的高いが、それでもばらつきがみられていることに留意が必要である。

周辺の既設ダムの事例などから流入負荷量から湖内の水質を判定するためには、ばらつきがある場合はそれが生じる要因を明らかにする必要があるが、明らかに貧栄養、中栄養となる場合は、アセスメント段階では数値シミュレーションによる水質予測は実施せず、

上述した Vollenweider モデル等統計的手法による解析・予測の結果及び類似事例、統計的手法等による予測の結果に基づき、影響評価を取りまとめる。

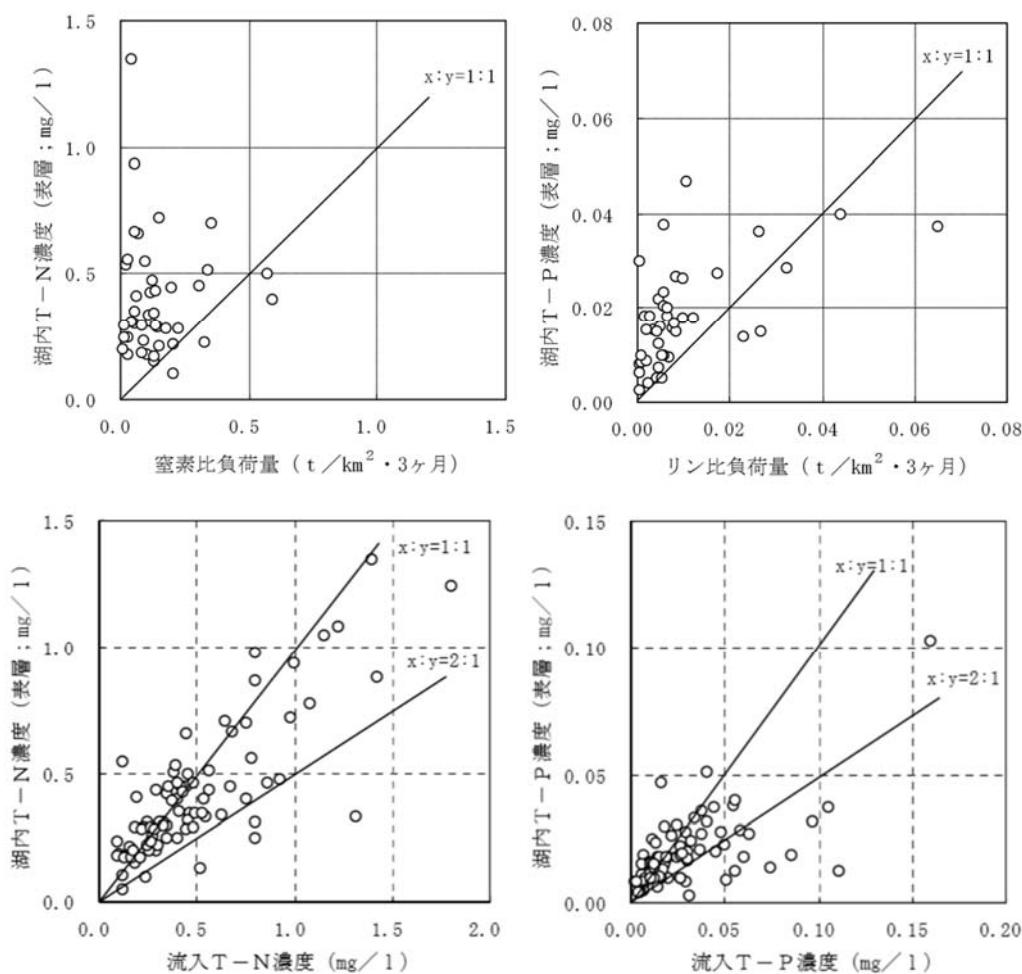


図 14 流入負荷量、流入濃度と湖内水質の解析事例

(全国農業用ダム貯水池のかんがい期)

出典：農林水産省農村振興局農村環境課「ダム事業における環境影響評価に係る主務省令の解説」(平成 29 年 3 月) (図Ⅲ-2-27, 2-28 p. 3-155)

(2) 年平均回転率による解析・予測手法

藻類の増殖は湖沼の水理特性等の影響を受けるが、とりわけ重要なものは 水の滞留の程度であり、藻類(プランクトン)が生息するのは平均的な水の滞留時間 ($T_w = 1/\alpha$, α は (2) の回転率を使用する) がほぼ 3~4 日以上の湖沼であると考えられる。水の滞留時間を 3~4 日としたことは、多数のダム貯水池における水の滞留時間とプランクトンの種類数との関係を見ると、平均的な滞留時間が 3~4 日以上のダム貯水池では固有のプランクトンが出現することが認められること (森下: 1978) に加え、OECD の報告書 (1982) では滞留

時間が 3～5 日以内だと増殖しないとしていることに基づくものである*1。

このことから、以下の年平均回転率と 7 月平均回転率*2 とともに 100 回を上回る場合は、富栄養化現象が発生しないと判定される。

$$\text{年平均回転率} \quad \alpha (\text{年平均回転率}) = Q / V \quad \text{式(1)}$$

$$\text{7 月平均回転率} \quad \alpha_7 (\text{年平均回転率に換算}) = Q_7 / V \quad \text{式(2)}$$

但し、 Q ：年間総流入量、 Q_7 ：7 月の月間総流入量、 V ：貯水容量。

また、供用後のダム貯水池における成層形成の状況を予測・評価することにより、水塊の鉛直混合がどの程度阻害されるかを把握し富栄養化の可能性を評価することは可能である。上記の年平均回転率と成層形成の状況を整理すると表 10 となり、年平均回転率(式(1))から成層型を判定することが可能である。混合層型であると全層循環し、プラクトンの増殖が生じず富栄養化現象による影響は生じないと判定される。 α 、 α_7 は利水や出水時の放流状況に大きく影響されるため、対象とする年や期間によっても結果が大きく異なる可能性がある。そのため、年平均回転率は、Vollenweider モデルと同様に計画基準年を用いて計算するが、より長期間（30 年間程度）の回転率を計算し、評価することが望ましい。

表 10 ダム貯水池の成層の形成と富栄養化現象との関係

指標条件		滞留しにくい水域	滞留しやすい水域
水質等の現象面	夏季クロフィル a 濃度の上昇	プランクトンは増殖せず、クロフィル a 濃度は低い	プランクトンの増殖によりクロフィル a 濃度が上昇
	溶存酸素の消費	主に BOD 成分の分解により DO が消費される	BOD・COD 成分の分解により DO が消費される
	富栄養化に伴う利水障害	富栄養化現象による影響（障害）は発生しない	アオコの発生等により利水障害を生じることがある
構造的側面	水深	浅い	深い
水理学的側面	成層の形成	混合型（全層循環）	成層型
	流速	3cm/s 以上	1cm/s 以下
	回転率 ¹⁾	$\pi_1 > 20$ （混合型）	$\pi_1 < 10$ （成層型）

注 1)： π_1 ＝年間総流入量／ダム貯水池総容量（出典：高橋裕「河川工学」（東京大学出版会、1990））

*1：OECD の報告書（1982）では滞留時間が 3～5 日以内だと増殖しないとしている。また、一般に、富栄養化が問題となる滞留時間の目安は 2 週間以上とされている（出典：岩佐義朗編著「湖沼工学」（山海堂、1990））。

*2：年回転率が小さいダム貯水池は成層化しやすい、水温躍層が最も大きくなる夏季（7 月）はダム貯水池では鉛直混合が起らず交換量が小さくなるため成層が形成される可能性が高まることから、成層形成の可能性を判定する指標として年回転率（ α ）とともに 7 月回転率（ α_7 ）が採用されている。

2.3 数値シミュレーションモデルを用いた水質の予測

概略予測の結果、富栄養化の可能性が懸念された場合には、適切な数値シミュレーションモデルを選定し、より詳細な将来予測を行う。

シミュレーションモデルに必要な入力データとして、水の流動に係る事項、富栄養化に係る事項、気象に係る事項について通年の情報を収集する必要がある、不足する場合には現地調査を実施する。

【解説】

概略予測の結果、富栄養化の可能性が予測された場合には、「水理モデル」と「富栄養化モデル」から構成される数値シミュレーションモデルにより詳細な将来予測を行うことが一般的である。数値シミュレーションモデルは、富栄養化に関連のある物理・水環境をモデル化するため、2.3.3 に示す調査項目のデータを収集する必要がある。収集したデータを元に、数値シミュレーションを構築して富栄養化の程度やそれによる影響を表現する。数値シミュレーションモデルには様々な種類のモデルが存在し、その選定にあたっては高度な技術的な判断が必要となる。

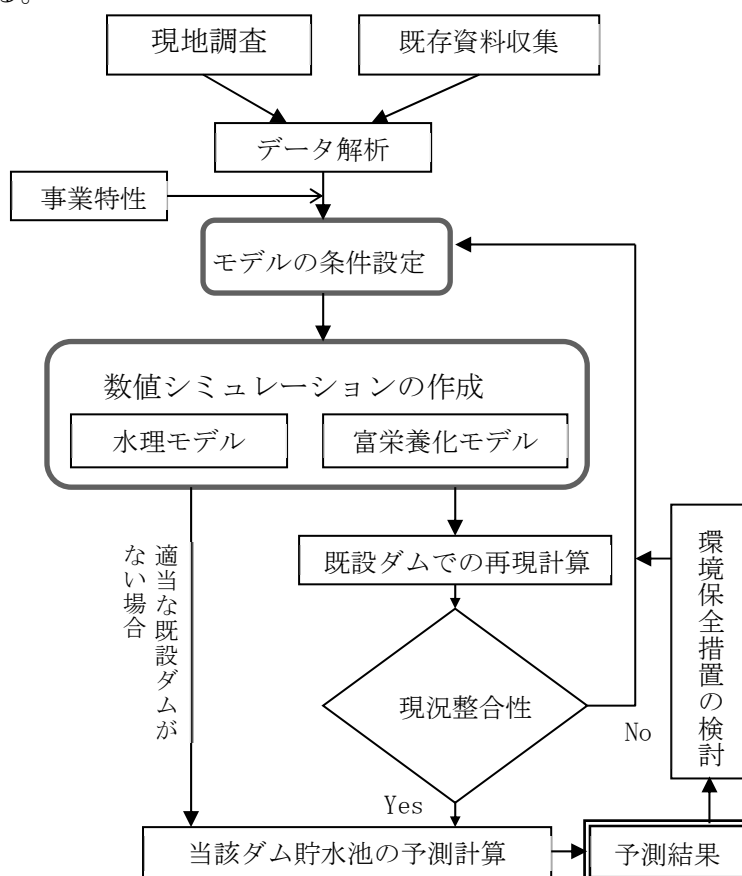


図 15 数値シミュレーションの手順

出典：農林水産省農村振興局農村環境課「ダム事業における環境影響評価に係る主務省令の解説」（平成 29 年 3 月）（図Ⅲ-2-34, p. 3-165）

2.3.1 数値シミュレーションとは

(1) 数値シミュレーションの概要

富栄養化現象の予測にあたり活用する数値シミュレーションは、ダム貯水池水の流動等の水理的メカニズムを数値モデル化するとともに、富栄養化現象の主体である植物プランクトンの増殖・呼吸・分解等の生化学的現象等を同時に数値モデル化し、時間経過とともに変化する水質の将来予測を行い、将来の富栄養状態及びそれによる影響を予測するものである。

数値シミュレーションは2つのモデルが結合したものであり、水理的メカニズムをモデル化したものを「水理モデル」、生物化学的メカニズムをモデル化したものを「富栄養化モデル」と呼び、両モデルを連成して計算を行う。

「水理モデル」については、流体力学を基礎として広く一般に使われているモデルが多くあり、ダム貯水池水の流動を比較的精度高く再現することが可能である。

一方、「富栄養化モデル」は、予測対象とする水質項目から「物質循環モデル」と「生態系モデル」に区分されるが、近年のダム貯水池の富栄養化予測においては、植物プランクトンの季節変化など現実には即した状況が再現しやすいため、生態系モデルが多く用いられている。

「生態系モデル」の中でも、魚類等の大型の捕食者を含む高次生態系モデルは構築・検証が難しいことから、低次生態系モデルを構築することが一般的であり、生物生産、死滅、沈降等は扱うものの、高次の捕食者や種間競争の影響は扱っていない。低次生態系モデルは、植物プランクトンを藍藻類、珪藻類、緑藻類の藻類種ごとにモデル化し、種間競合について一部概念的な影響を考慮したモデルもある。プランクトン個体の生理生態やプランクトン種間の相互作用など明らかになっていないことが多く、モデルの精度・再現性に課題が残されていることから使用に当たっては留意する必要がある。

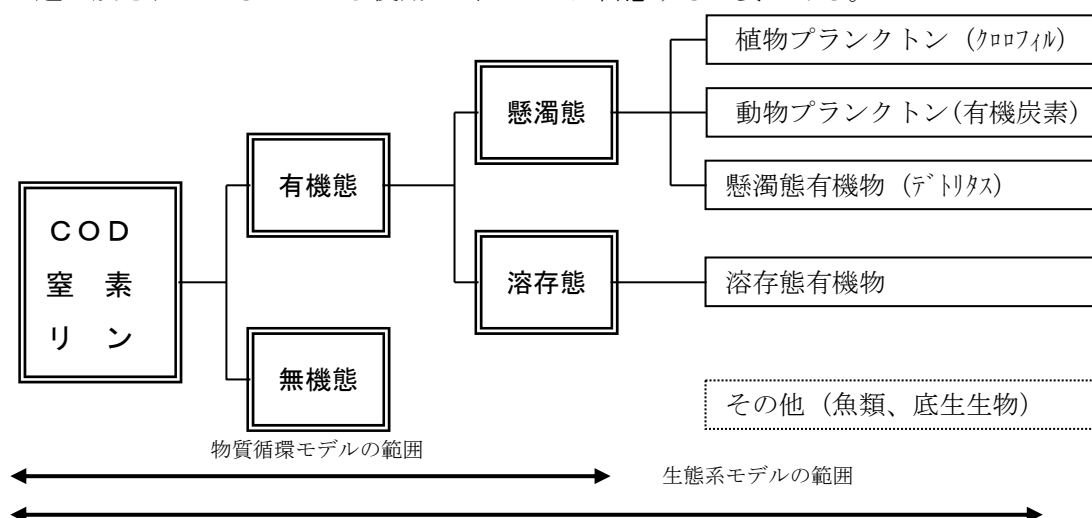
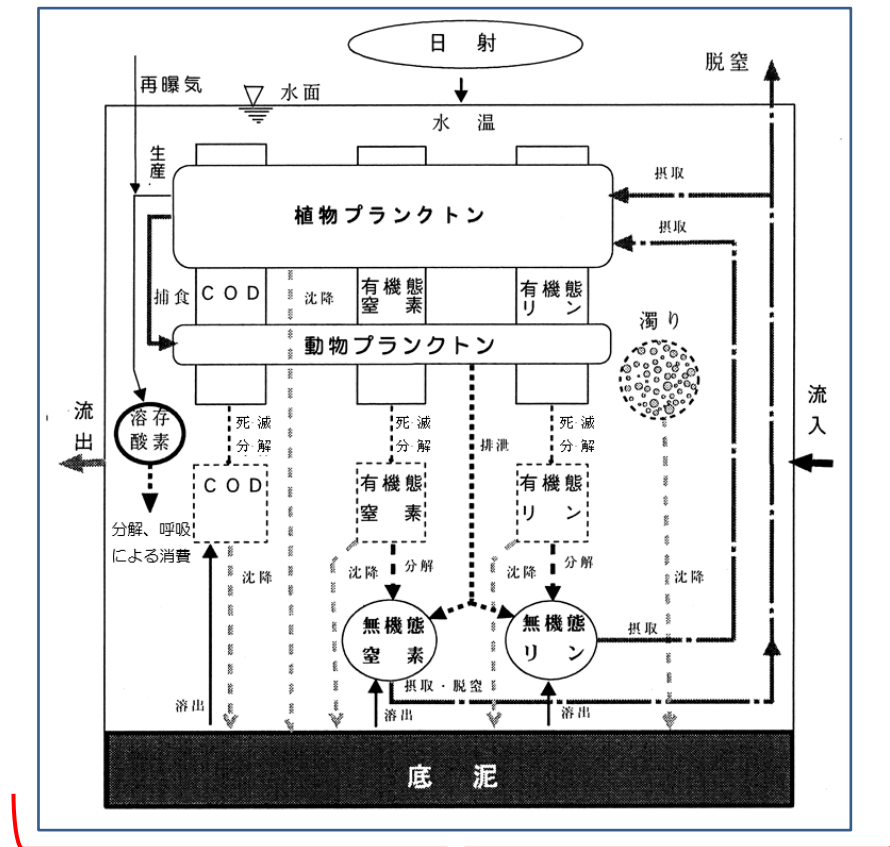


図 16 富栄養化モデルの区分と水質項目

【富栄養化モデルの概念図】



【水理モデルのメッシュイメージ】

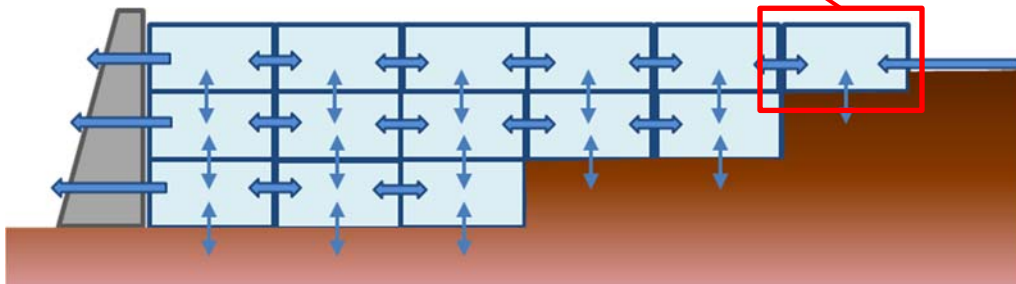


図 17 数値シミュレーションのイメージ

(2) 数値シミュレーションの水理モデルの種類

ダム貯水池の流動現象や水質現象を再現・予測するために利用される数値シミュレーションモデルには、ボックスモデル、1次元モデル、2次元モデル及び3次元モデルに大別することができる(図18、表11)。

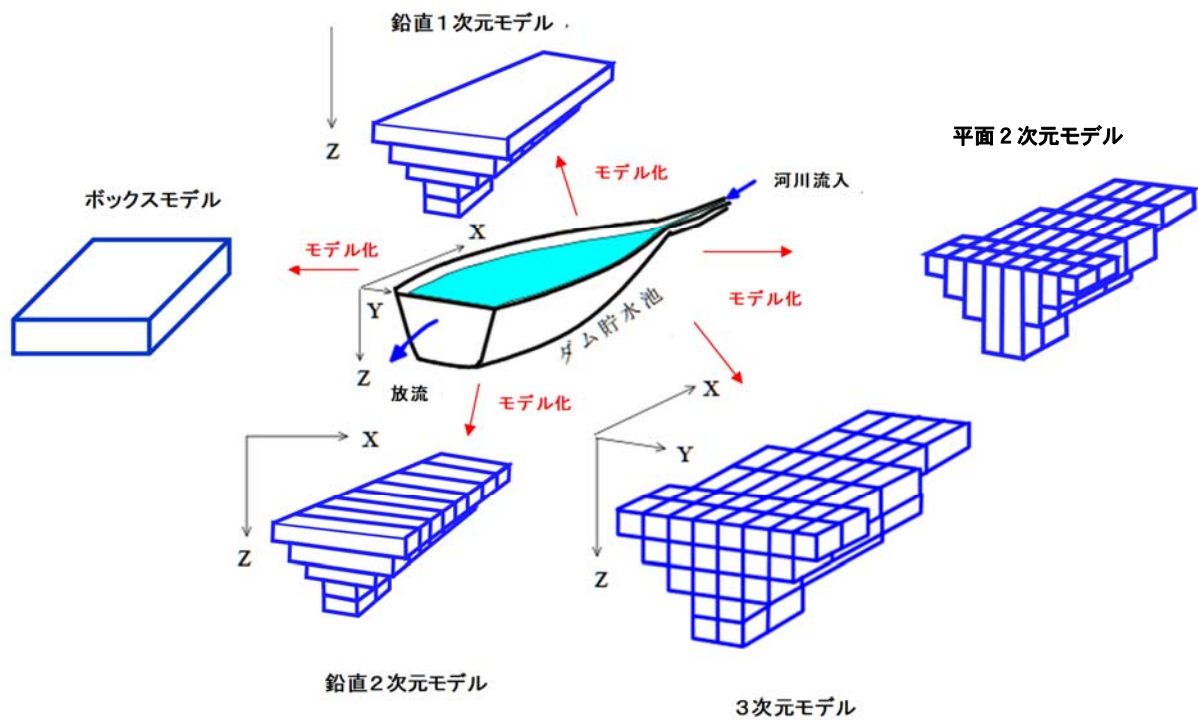


図 18 ダム貯水池のモデルの種類とモデル化のイメージ

数値シミュレーションは、実際の流動・水質現象に対応した具体的な対策の効果を把握するために必要な水理モデルの選定が行われることがほとんどであり、高度な技術的判断が必要となる。

表 12 に示す通り環境保全措置の効果を評価する場合では、具体的な水質保全対策ごとに予測に適用可能なモデルが異なる。

表 11 数値シミュレーションモデルの種類（湖沼における水理・水質管理の技術に加筆）

モデルの種類	ボックスモデル	鉛直 1 次元モデル	平面 2 次元モデル	鉛直 2 次元モデル	3 次元モデル
特徴	・水理量は収支のみ ・水質はボックスの平均値	・水域を鉛直方向に層に分割し、水理量・水質の鉛直分布を計算 ・水理量・水質は層毎に求められるが、水平方向の分布は一樣とみなしている	・水域を縦断・横断方向にメッシュ分割し、水理量・水質の分布を計算 ・水理量・水質はメッシュ毎に求められるが、鉛直方向の分布は一樣とみなしている。	・水域を縦断・鉛直方向にメッシュ分割し、水理量・水質の縦断・鉛直分布を計算 ・水理量・水質はメッシュ毎に求められるが、横断方向の分布は一樣とみなしている。	・水域を縦断・横断・鉛直方向にメッシュ分割し、水理量・水質の 3 次元分布を計算 ・水理量・水質の 3 次元的な分布が求められる。
適用できる水域の条件	・ボックス内での水質分布が一緒とみなせるダム貯水池 ・流動の時間変化の影響をある程度無視できる。	・水平方向の水質分布が一樣とみなせるダム貯水池 ・水平方向の流動の時間変化の影響がある程度無視できるダム貯水池 ・比較的形状が単純なダム貯水池	・鉛直方向の水質分布が一樣とみなせるダム貯水池（例えば、広く浅いダム貯水池） ・鉛直方向の流動の時間変化の影響がある程度無視できるダム貯水池 ・入り江があるような形状が比較的複雑なダム貯水池	・縦断・鉛直方向に水質変化が生じるダム貯水池（例えば、河川のように細長いダム貯水池） ・横断方向の流動の時間変化の影響がある程度無視できるダム貯水池 ・支川が枝分かれするような形状が比較的複雑なダム貯水池でもある程度適用可能	・水平方向、鉛直方向に水質分布が生じるダム貯水池（例えば、密度流の生じるダム貯水池、水深の大きなダム貯水池） ・平面形状が複雑なダム貯水池 ・支川が枝分かれするような形状が比較的複雑なダム貯水池でも適用可能
計算対象	・水質のボックス内平均値 ・水面における熱交換 ・物質収支（流入出＋沈降） ・底質からの負荷は考慮可能	・水質のメッシュ内平均値 ・水面における熱交換 ・水理量、水質の鉛直分布 ・物質収支（流入出＋沈降） ・メッシュ間の移流・拡散 ・底質からの負荷は考慮可能	・水質のメッシュ内平均値 ・水面における熱交換 ・水理量、水質の水平分布 ・物質収支（流入出＋沈降） ・メッシュ間の移流・拡散 ・底質からの負荷は考慮可能	・水質のメッシュ内平均値 ・水面における熱交換 ・水理量、水質の縦断及び鉛直分布 ・物質収支（流入出＋沈降） ・メッシュ間の移流・拡散 ・底質からの負荷は考慮可能	・水質のメッシュ内平均値 ・水面における熱交換 ・水理量、水質の 3 次元分布 ・物質収支（流入出＋沈降） ・メッシュ間の移流・拡散 ・底質からの負荷は考慮可能
長所	・計算時間が非常に短い ・長期的な水質予測が可能	・計算時間が短い ・長期的な水理量・水質予測が可能	・計算時間が 3 次元モデルより短い ・中期的（1～数 10 年）な水理量・水質予測が可能 ・風による流れを考慮できる。	・計算時間が 3 次元モデルより短い ・中期的（1～数 10 年）な水理量・水質予測が可能 ・密度流による流れを考慮できる。 ・水温成層を制御するような対策の検討が可能	・現象の 3 次元把握が可能 ・局所的な水理量・水質の特徴が表現できる。 ・密度流や風による流れ等を考慮できる。 ・より複雑な湖内対策施設の配置計画検討が可能
短所	・全層混合を仮定しているため水温成層が形成されるダム貯水池には適さない。 ・空間的な水質分布を表現できない。 ・流動変化の影響は考慮しにくい。	・平面的な水質変化の把握ができない。 ・局所的な現象が表現しにくい。	・鉛直方向の水質変化が表現できない。 ・水温成層が形成されるダム貯水池には適さない。	・横断方向の水質変化が表現できない。 ・吹送流など横断方向に分布が生じる流動を表現できない。	・3 次元メッシュ分割を行うため、膨大な計算時間を要する。 ・中～長期計算には不向き。
適用できる水質変化現象及び主な対策	[現象] ・富栄養化 [対策] ・底泥浚渫効果予測	[現象] ・冷・温水 ・濁水長期化 ・富栄養化 [対策] ・選択取水設備の効果予測 ・曝気循環設備の効果予測 ・底泥浚渫効果予測	[現象] ・富栄養化 [対策] ・底泥浚渫効果予測	[現象] ・冷・温水 ・濁水長期化 ・富栄養化 [対策] ・選択取水設備の効果予測 ・フェンス ^{注)} の効果予測 ・曝気循環設備の効果予測 ・底泥浚渫効果予測	[現象] ・冷・温水 ・濁水長期化 ・富栄養化 [対策] ・選択取水設備の効果予測 ・フェンス ^{注)} の効果予測 ・曝気循環設備の効果予測 ・底泥浚渫効果予測
備考	・ボックス内での全層混合を仮定するため、鉛直方向の水温・水質の違いを利用する選択取水や曝気循環等の対策の表現が困難である。	・1 層内での水平方向の水質変化を一樣と仮定するため、流下方向の流れを利用するフェンス ^{注)} 等の対策の表現が困難である。	・1 メッシュ内での全層混合を仮定するため、鉛直方向の水質の違いを利用する選択取水や曝気循環等の対策の表現が困難である。 ただし、水深が浅く、鉛直方向の変化が小さいダム貯水池や入り江部等では、流入水の縦断・横断方向の進出状況等の確認に対応できる。	・縦断・鉛直方向の水質変化を表現可能であり、鉛直方向の水質の違いを利用する選択取水や曝気循環、縦断方向の水塊の分離を利用するフェンス ^{注)} 等の対策の表現が可能である。 ・水理解析ルーチンの高度化やメッシュ分割の細密化により計算時間が増大する場合もある。	・縦断・横断・鉛直方向の水質変化を表現可能であり、鉛直方向の水質の違いを利用する選択取水や曝気循環、縦断方向の水塊の分離を利用するフェンス ^{注)} 等の対策の表現できるほか、横断方向の水質変化が表現可能であり、水質保全設備の配置もより詳細に表現できる。 ・流入支川と取水地点の位置関係により横断方向の移流拡散状況を把握する必要がある場合に対応が可能である。 ・モデルパラメータの設定範囲等の知見が十分でなく、精度確保のため調査、設定作業が多くなる。

注）出水時の濁水や栄養塩類に富んだ流入水を深層部に導水するための設備

出典：湖沼技術研究会「湖沼における水理・水質管理の技術」（平成 19 年 3 月）p4-5 表 4.2.1 を元に加筆

表 12 使用目的に応じた数値シミュレーションモデルの活用事例

使用目的	具体的な対策	ボックス	鉛直 1 次元	平面 2 次元	鉛直 2 次元	3 次元	モデル選定 フロー*)
流況・水質の現況再現計算 流況・水質の将来予測計算		○	○	○	○	○	判定①
環境保全措置の 効果評価	< 湖内水質保全対策の検討及び効果予測 >						
	・池干し	○	○	○	○	○	判定①
	・フェンス・浮島		△	○	○	○	判定②
	・アオコ回収・処理	△	△	○	○	○	判定②
	・水位低下	△	○		○	○	判定③
	・遮光	△	○		○	○	判定③
	・曝気・攪拌		○		○	○	判定③
	・浚渫・底質改善／固化		○		○	○	判定③
	・流動対策				○	○	判定④
	< 流動対策の効果予測 >						
	・選択取水		○		○	○	判定③
	・放流量の調整	△	○	△	○	○	判定③
	< 流域汚濁負荷削減対策による効果予測 >						
	・副ダム、バイパス	○	○	○	○	○	判定①
	・流入河川の水質浄化	○	○	○	○	○	判定①
	・流域負荷削減	○	○	○	○	○	判定①

注：○は適用可能なモデル、△は場合によっては適用可能なモデル

*) 図 19 シミュレーションモデル選定において適用する判定フロー

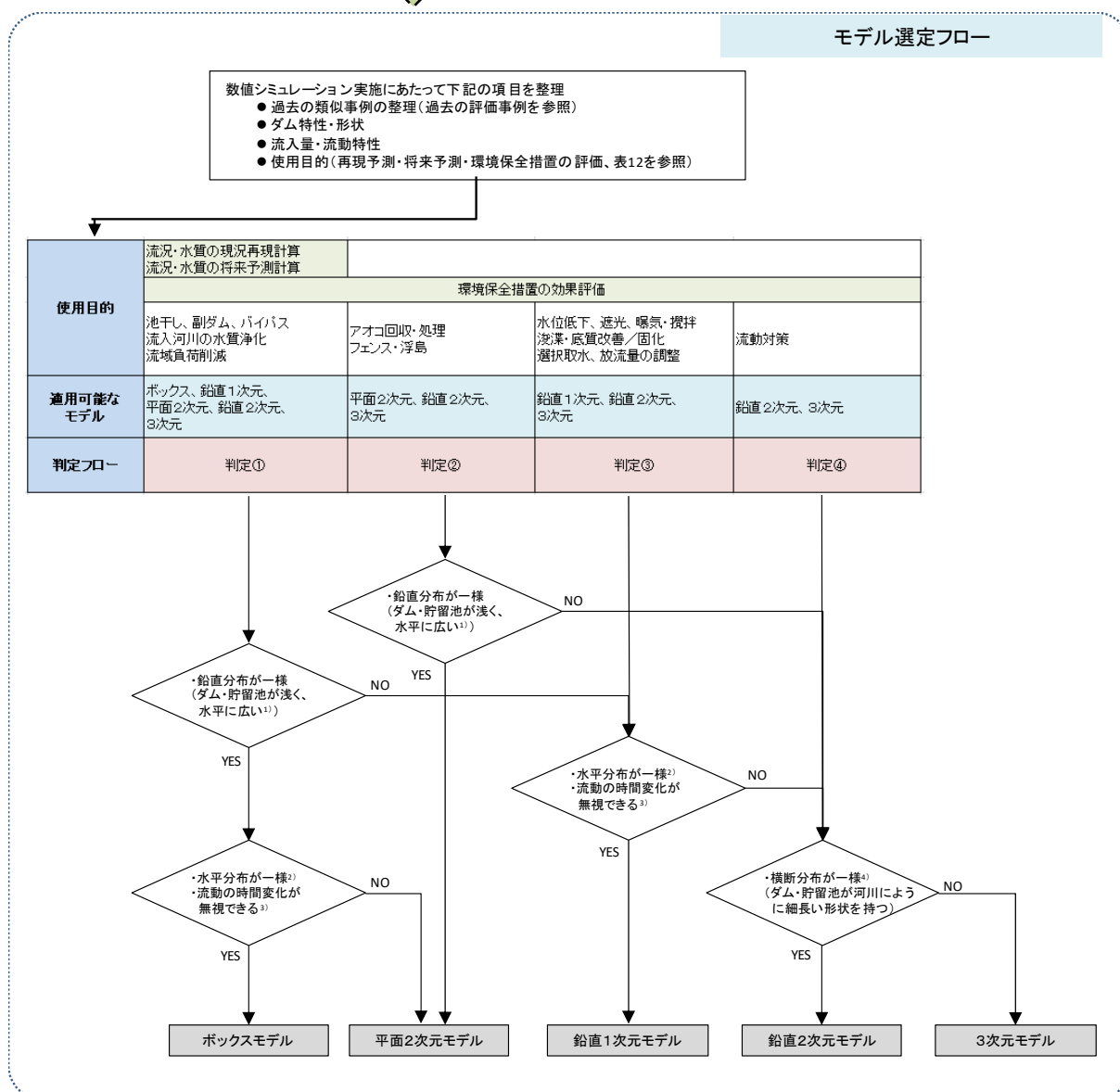
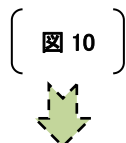
2.3.2 モデル選定の考え方*

数値シミュレーションでは、使用する数値モデルの構築やモデルによる計算等に相応の時間やコストを要する。また、複数条件での計算や再計算が必要になれば、それに応じて必要な時間やコストは上乗せされることとなる。従って、モデルによる計算を効率的、かつ過不足なく実施するために、ダムの特・特性・構造等や使用目的（具体的な対策）を考慮してモデルを選定・構築する必要がある。

モデル選定にあたっては、高度な技術的判断が必要となるが、簡易的にモデルを選定する手法として、図 19 にフロー図を示す。まず、対象とするダムの特性や形状、流入量や流動等の水理特性を整理し、他のダム貯水池における対策と評価事例等を参考として、対象ダムにおいて将来的に実施可能な環境保全措置を検討する。次に、表 12 の使用目的（具体的対策）を参照し、モデル選定フローの判定区分を確認し、判定フローに従って最適となるモデル選定を行う。

選定結果として 2 次、3 次などの高次元モデルが選定された場合には、現況の再現性や予測精度の観点からは高次元のモデルを選定することが望ましいが、計算負荷も大きいことから、使用目的を考慮の上、選定されたモデルより低次元のモデルを用いて、パラメータや入力条件の感度分析を行うことによって、その予測結果を踏まえて評価することも可能ではある。

*： 当該節は、2.2 概略的な予測 で記載した図 10（p. 21）のフローからの継続説明であるので、必要に応じて 2.2 の内容を参照されたい。



注：

1) 「浅い」の判断の目安：水深 10m 以下*¹、「広い」の判断の目安： $L^2/D_L \gg H^2/D_H$ *²

2) ダム・貯留池の水平形状が単純（流れの分離や再循環帯がある場合）
その流れ領域の重要な構成部分は、1次元的なモデルでは再現できないため。

3) 判断の目安： $20 > L/D_L$ *³

4) 判断の目安： $20 > L_w/D_L$ *³

但し、L：ダムの代表的長さ、 L_w ：ダムの代表的幅、H：ダムの平均水深、 D_L ：水平拡散係数、 D_H ：鉛直拡散係数

図 19 シミュレーションモデル選定フロー(判定番号は 12 に該当)

*1高村 義親，岡田 光正「農業土木技術者のための水質入門（その 4）」，農業土木学会誌，52（11） p. 1013-1019，1984.

*2村岡 浩爾，福島 武彦，「ボックスモデルを用いた水質予測方式に関する研究」，土木学会論文報告集，（336） p. 85-94，1983.

*3 例えば，M. Pannone（2010），WATER RESOURCES RESEARCH，46，W08534；Taylor，G. I.（1954），The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe，Proc. R. Soc. London，Ser. A，223，446-468.

2.3.3 数値シミュレーションによる予測手順

(1) 数値シミュレーションの流れ

将来予測に当たっては、図 20 に示す通り、類似している既存ダムを対象として、選定したモデルを用いて流動・水質の現況再現計算を行い、現状再現結果によってモデルの妥当性を確認することが望ましい。また、ダム改修の場合は改修前のダムでの現況再現計算を行い、再現性の検証を行う。

将来予測計算は、現況再現計算によって再現性が確認されたモデルのパラメータを用い、設定された環境保全措置等の将来条件で行う。

将来予測計算結果で得られた値が評価基準を満たさない場合には、評価基準を満足し得る環境保全措置等を再検討し、その保全措置を講じた場合における将来予測計算を行い、評価基準を満足するか効果となることを確認する。

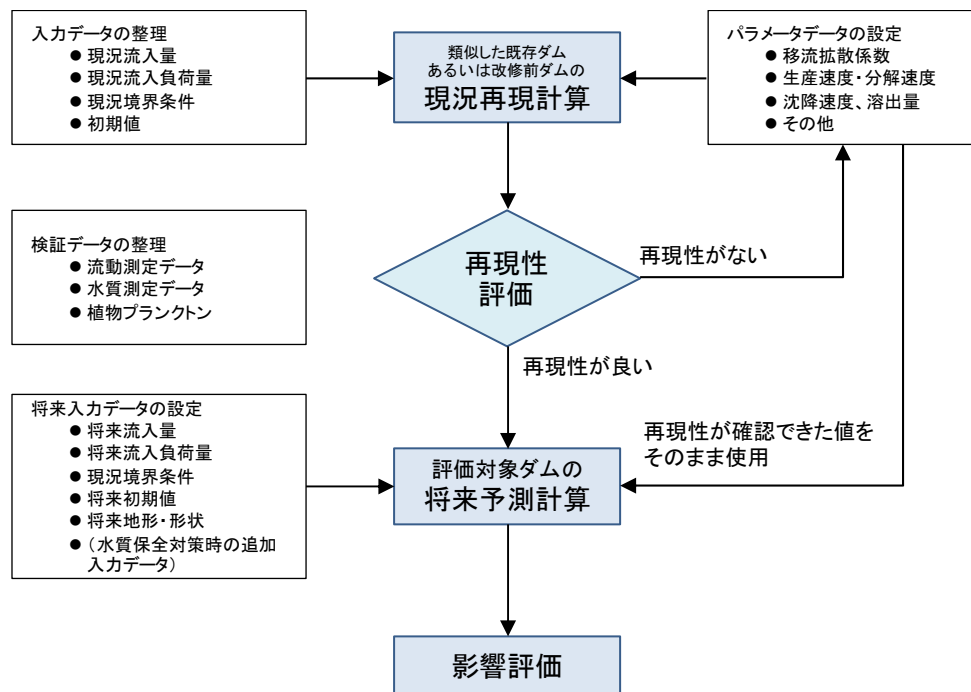


図 20 ダムアセスにおける予測計算フロー

(2) パラメータを選定・同定するために必要となる主な観測データ

調査すべき項目は、新規ダムの場合は表 13(1)、既存ダムの場合は表 13(1)のとおりである。各項目は、数値シミュレーションモデルを実施する上で必須の項目である。調査を実施する地点は、ダム貯水池に対する流入河川、新規建設ダムについてはダムサイト予定地点、既存ダムの再開発については、ダム貯水池内基準点（ダム貯水池内最深部、環境基準点等各ダムにより異なる）について実施する。

また、調査すべき情報の調査期間については、原則として以下の考え方に基づく。富栄養化現象に係る予測を数値シミュレーションモデルで検討する場合には、富栄養化現象の発生が気象等の影響を受けることを踏まえ、季節変動が把握できる通年の情報を得ることを原則とし、既存資料により必要データが得られない場合は、現地調査を行って必要な情報を収集する必要がある。

様々な気象・水象条件下の予測を行う場合は、気象に係る項目については 10 年以上の日・時間単位の測定データが必要である。複雑なモデルを用いて将来予測を行う場合には、モデルの妥当性の検討は、1 年間の現況では十分でない可能性が考えられる。これは、モデルに係る諸係数が数多くあるために、1 年間の水質を再現できるパラメータの組合せは 1 つに限定されるものではない可能性が考えられるためである。特に、事業期間が長く、将来の予測時点が現況から大きく離れ、負荷量等の条件が大きく変化する可能性がある場合は、過去に遡った期間での再現性を検討し、予測精度を高めるような考え方を取り入れることに留意が必要になる。

表 13(1) 調査項目及び調査期間等（新規建設ダム）

調査項目		調査地点	調査深度	調査期間等
水の流動	水温	・ダム建設予定地 ・流入河川	・ダム建設予定地、 流入河川では1層(2割水深)	原則として月1回以上の頻度で1年以上
	濁度			
	S S			
	粒度分布	・流入河川	・流入河川で1層(2割水深)	
	流量 ^{注1}			
水質	COD	・ダム建設予定地 ・流入河川	・ダム建設予定地、 流入河川では1層(2割水深)	原則として月1回以上の頻度で1年以上
	T-P(全リン)			
	DIP(無機態リン) ^{注2}			
	O-P(有機態リン) ^{注3}			
	T-N(全窒素)			
	DIN(無機態窒素) ^{注4}			
	O-N(有機態窒素) ^{注5}			
	DO			
	クロロフィルa			
気象	気温	・ダム建設予定地 又はその周辺の 気象観測所等 ^{注6}	—	毎正時の連続測定を原則1年以上
	風速、湿度、雲量、日射量			
	降水量			

注1：ダムサイト予定地への総流入量（流入河川が複数ある場合は河川別）を把握するほか、流入河川における水質調査時の流量。

注2：通常、溶存態のPO₄-P(オルトリン酸態リン)を無機態リンという。

注3：有機態のリンを意味し、T-PからDIPを差し引いたもの。

注4：溶存態のNO₃-N、NO₂-N、NH₄-Nの合計である。

注5：有機態の窒素を意味し、T-NからDINを差し引いたもの。

注6：周辺の気象観測所の測定データを使用する場合は、ダム建設予定地の近傍で短期に測定したデータに基づき補正することが望ましい。

注7：国土交通省河川砂防基準に示されている流量観測手法に従う。

表 13(2) 調査項目及び調査期間等（既存の再開発ダム）

調査項目		調査地点	調査深度	調査期間等
水の流動	水温	・ダム貯水池内基準点 ・流入河川 ・放流口地点	・ダム貯水池内基準点は原則 0.1m, 0.5m, 1m 以下 1m 毎 ・流入河川、放流口地点では1層(2割水深)	原則として月1回以上の頻度で1年以上
	濁度			
	S S			
	粒度分布	・流入河川	・流入河川で1層(2割水深)	
	流量 ^{注1}		— ^{注7}	
水質	COD	・ダム貯水池内基準点 ・流入河川 ・放流口地点	・ダム貯水池内基準点は原則 0.1m, 0.5m, 1m 以下 1m 毎 ・流入河川、放流口地点では1層(2割水深)	原則として月1回以上の頻度で1年以上
	T-P(全リン)			
	DIP(無機態リン) ^{注2}			
	O-P(有機態リン) ^{注3}			
	T-N(全窒素)			
	DIN(無機態窒素) ^{注4}			
	O-N(有機態窒素) ^{注5}			
	DO			
	クロロフィル a			
気象	気温	・ダムサイト又はその周辺の気象観測所等 ^{注6}	—	毎正時の連続測定を原則1年以上
	風速、湿度、雲量、日射量			
	降水量			

注1：ダム貯水池への総流入量、放流量を把握するほか、流入河川における水質調査時の流量。

注2：通常、溶存態の $\text{PO}_4\text{-P}$ (オルトリン酸態リン)を無機態リンという。

注3：有機態のリンを意味し、T-P から DIP を差し引いたもの。

注4：溶存態の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計である。

注5：有機態の窒素を意味し、T-N から DIN を差し引いたもの。

注6：周辺の気象観測所の測定データを使用する場合は、対象ダムの近傍で短期に測定したデータに基づき補正することが望ましい。

注7：河川流量を測定する場合は、国土交通省河川砂防基準に示されている流量観測手法に従う。

水質のデータについては、毎時データのような密なデータを調査で把握することは手間・コストの面から現実的ではなく、1回/月程度の頻度で調査を実施する場合が多い。しかし、河川に流れ込む汚濁物質は、降雨時には平水時に比べ飛躍的に増加するため(図21 参照)、シミュレーションで再現する場の特徴を示す条件(境界条件)の一つとして流入水質を設定する場合は、降雨時のデータを適切に表現することが重要となる。したがって表13に示す定期的な調査に加え、降雨に伴う出水時を対象とする追加調査を行い、流量ごとの水質情報を充実させることが必要である。

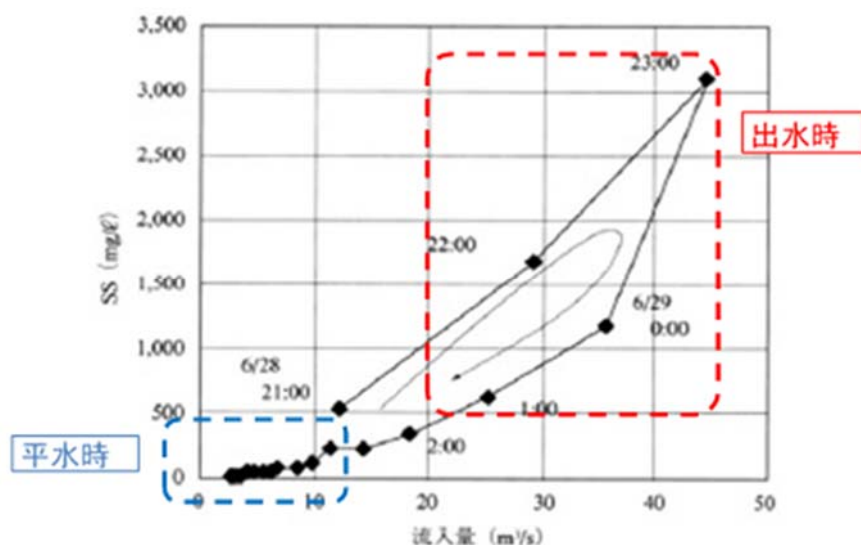


図21 流入水質の出水中の変化(SSの事例)

出典：塚原 他「カーテンウォール付き常用洪水吐きの土砂放流特性」(「土木技術資料」40-11、1998)

出水時調査は、表14に示すとおり実施することを基本とする。

なお、数値シミュレーションモデルで用いて富栄養化現象の予測を行う場合には、水質変化が日周変動であることを踏まえて、計算のタイムステップを日単位で行うことが多いが、前述のとおり出水時には大きな水質変化が短期間で生じることから、タイムステップを時間単位とすることも必要である。タイムステップを時間単位で実施する場合には、水質、流量、並びに気象データともに設定するタイムステップに合わせたデータを入手・整理することが必要である。

表14 定期調査及び出水調査の調査期間等

調査の種類	調査期間及び時期	備考
定期調査	原則として月1回以上の頻度で1年以上	—
出水時調査	複数回の出水を対象に、出水の立ち上がり期、ピーク期、減水期のそれぞれが把握できるように3回以上5回程度の調査を実施する。	少なくとも出水規模の異なる出水を対象にして、3回以上実施することが望ましい。

(3) 選定モデル別の主なデータ及びパラメータ

数値シミュレーションモデルを用いた水質予測には、2.3.3で示した調査項目を含む入力条件・データと検証データが必要となる。以下にボックスモデル及び1次元モデル・2次元モデル・3次元モデルごとにモデルの概要と必要となるデータ（入力データ及び検証データ）を説明する。

1) ボックスモデル

① モデルの概要

ボックスモデルは、完全混合（均一）であるとして、ボックス内での物質の増減を計算するモデルであり、汚濁負荷の流入・流出・溶出・沈降の他、懸濁態有機物の分解（溶存栄養塩類化）、植物プランクトン（藻類）の増殖・呼吸・枯死・沈降や高次生態系（動物プランクトン等）の捕食、呼吸・死亡等による水質変化をモデル化したものである。

底泥からの負荷がダムに及ぼす影響が大きい場合には、底泥内も多層に分割し、層間の物質の移動を考慮することができる底泥モデルを結合したモデルを使うことも可能である。

② 必要データ

ア 計算条件の設定

(ア) 気象データ（気温、日射量等）

(イ) 流入負荷量

流入負荷量は、流送能力型モデル、あるいはポルートグラフシミュレーションにより推定する。また、より詳細な地表流モデル、汚濁負荷モデル等により計算された負荷量を用いることもある。

(ウ) 水収支（河川流入量、河川流出量、取水量、降水量、蒸発量等）

河川流入量および流出量は計画流入流出量により設定する。あるいは実測値を用いても良い。

イ 生態系モデルの設定

(ア) 水質データ（COD、T-P、DIP、O-P、T-N、DIN、O-N、DO、クロロフィル a 等）

(イ) 生態系モデルのパラメータ

モデル構造により入力するパラメータが異なるが、主なパラメータ・定数を以下に示す。パラメータは既存の文献による値等を参考にして設定するが、水域によって変動があるため、周辺の既設ダム等でのモデル再現計算などにより

適切な値を設定することが望ましい。

- ✓ 溶出速度定数（底泥モデルを使用する場合はウのデータが必要）
- ✓ 沈降速度定数
- ✓ 無機化分解係数
- ✓ 生産速度・呼吸速度・枯死速度

植物プランクトンの生産・呼吸・枯死については、増殖モデルを用いることが多い。増殖モデルの種類によって、入力パラメータが異なる。

- ✓ 高次生態系の捕食速度・呼吸速度・死亡速度
- ✓ 脱窒定数
- ✓ その他のパラメータ（上記以外に生態系モデルに必要な定数等）

（ウ）底質データ及びパラメータ（底泥モデルを使用する場合）

2) 1次元モデル・2次元モデル・3次元モデル

① モデルの概要

1次元モデル・2次元モデル・3次元モデルは、水理モデルと富栄養化モデルからなるシミュレーションモデルである。水理モデルでは、ダムの水平方向あるいは鉛直方向について、連続式および運動方程式を用いて流動を計算する。富栄養化モデルは、基本的にはボックスモデルと類似のモデルを用いるが、水平方向あるいは鉛直方向の物質等の移流・拡散について、移流拡散方程式により物質の濃度変化を計算する。

ボックスモデル同様、底泥からの負荷がダムに及ぼす影響が大きい場合には底泥内も多層に分割し、層間の物質の移動を考慮することができる底泥モデルを結合したモデルを使うことも可能である。

② 必要データ

ア 計算条件の設定

（ア）気象データ（気温、湿度、風向・風速、日射量、降水量等）

（イ）流入負荷量

流入負荷量は、流送能力型モデルおよびポルートグラフシミュレーションにより推定する。あるいは、より詳細な地表流モデル、汚濁負荷モデル等により計算された負荷量を用いることもある。

（ウ）水収支（河川流入量、河川流出量、取水量、降水量、蒸発量等）

河川流入量および流出量は計画流入流出量により設定する。あるいは実測値を用いても良い。

イ 水理モデルの設定

(ア) ダムの構造 (ダム幅、水深、流入河川位置、放流位置)

(イ) 水質データ (水温、濁度等)

(ウ) モデルパラメータ

- ✓ 渦動粘性係数
- ✓ 渦動拡散係数
- ✓ 水面での境界条件 (熱収支、風による吹送流)
- ✓ 面に関する境界条件 (せん断応力)

ウ 生態系モデルの設定

(ア) 水質データ (COD、T-P、DIP、O-P、T-N、DIN、O-N、DO、クロロフィル a 等)

(イ) 生態系モデルのパラメータ

モデル構造により入力するパラメータが異なるが、主なパラメータ・定数を以下に示す。パラメータは既存の文献による値等を参考にして設定するが、水域によって変動があるため、周辺の既設ダム等でのモデル再現計算などにより適切な値を設定することが望ましい。

- ✓ 溶出速度定数 (底泥モデルを使用する場合は (ウ) のデータが必要)
- ✓ 沈降速度定数
- ✓ 無機化分解係数
- ✓ 生産速度・呼吸速度・枯死速度

植物プランクトンの生産・呼吸・枯については、増殖モデルを用いることが多い。増殖モデルの種類によって、入力パラメータが異なる。

- ✓ 高次生態系の捕食速度・呼吸速度・死亡速度
- ✓ 脱窒定数
- ✓ その他のパラメータ (上記以外に生態系モデルに必要な定数等)

(ウ) 底質データ及びパラメータ (底泥モデルを使用する場合)

2.4 水質予測結果を踏まえた環境保全措置の検討

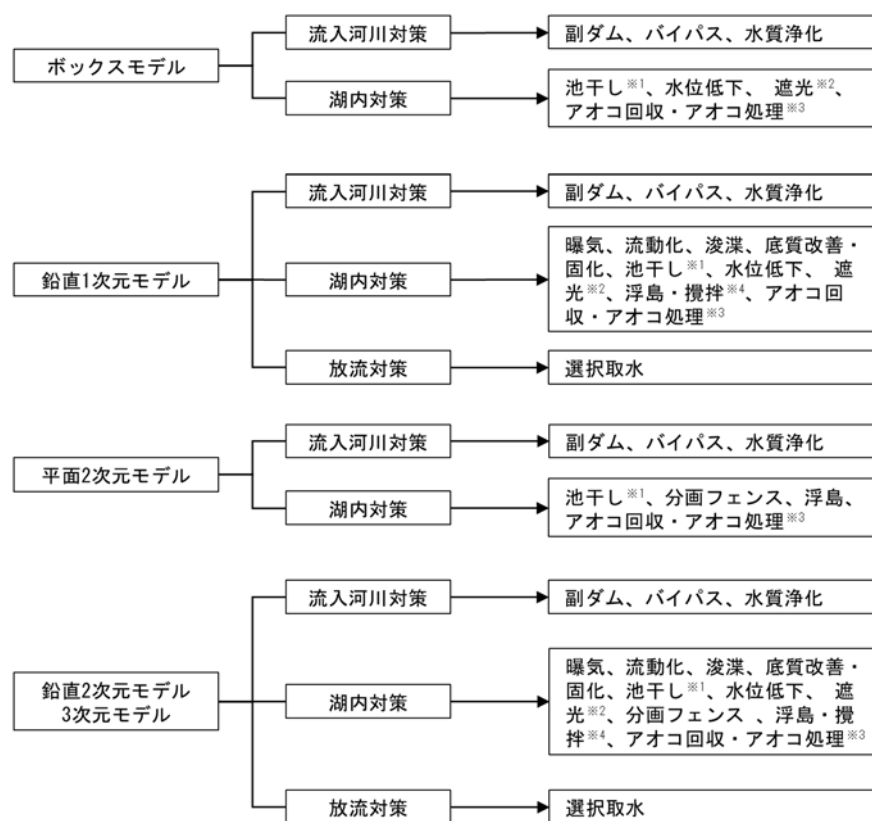
2.3.3 で構築したモデルにより、ダム供用時において富栄養化による影響が予想された場合には、環境保全措置として、水質保全を図る各種対策を行う。この対策は、流入河川対策、ダム貯水池内対策、放流対策に分類され、代表的な対策としては曝気循環、分画フェンス、選択取水等が挙げられる。

【解説】

水質保全対策は、2.3.3 で構築し予想された富栄養化の影響に応じて、図 19 及び図 22 に示す想定される水質保全対策に対応したモデルを選択し、効果検討のシミュレーションを実施する。また、検討に当たっては、表 12、15、16 に示す保全対策に関する資料も参考とする。

2.4.1 数値シミュレーションで検証可能となる主な環境保全措置

水質保全対策のシミュレーションにあたっては、環境影響評価時に想定されている運用条件等を設定し、想定する効果が発現するかを確認するための検証を行う必要がある。この検証過程において、具体的な対策内容の整理や、想定された運用条件の修正等を行い、環境保全措置として位置付ける水質保全対策を選定し、基本的な運用条件についても整理する。



※1：池干しの効果を検討し、モデルに反映する必要がある

※2：全面を遮光する場合は既存モデルでも表現可能、一部遮光を行うためには、モデルの改造が必要

※3：どのモデルでも表現可能であるがモデルの改造が必要

※4：空間的な評価は3次元モデルが必要

図 22 数値シミュレーションモデルと対応する水質保全対策

表 15 水質保全対策の例

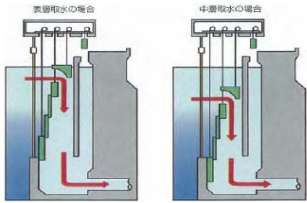
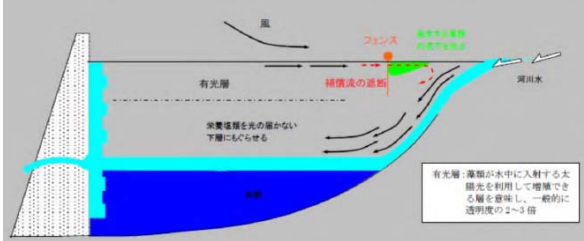
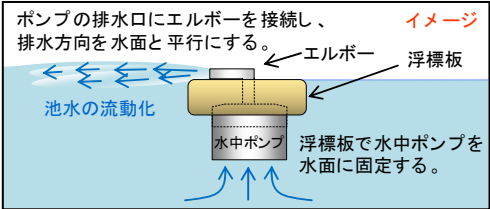
対策種別	対策例
選択取水設備	取水口の高さを変え、任意の層から選択的に取水し、アオコの発生している表層の水や、逆にアオコの発生していない中下層水を放流することで、ダム貯水池やその下流域への影響を回避  図 選択取水イメージ 出典：水資源機構 布目ダム管理所 布目ダムパンフレット
分画フェンス	- 栄養塩類濃度の高い流入水を無光層に導き、植物プランクトンの発生を抑制 - フェンスを設置することによりフェンス上流で発生した藻類が表層流や風により下流に流下することを防ぐ 
小規模な流動化装置	- 小規模な流動化装置によるダム貯水池内の水の循環・滞留改善 - アオコ原因藻類を分散しアオコを解消する効果 ＜小規模な流動化装置の事例：水中ポンプによる流動化＞ 
全層曝気循環装置・プロペラ式循環装置	全層曝気循環装置（写真左）やプロペラ式循環装置（写真右）によるダム貯水池内の水の循環促進 

表 16 水質保全対策一覧（その１）

種類	対策名	対応時		原理
		計画 段階	供用 段階	
流入 河川 対策	吸着法	—	◎	礫・木炭・波板・ひも等の接触材の表面に微生物を付着させ、微生物が水中の有機物を吸着・分解する作用により浄化を行う。主にＳＳ、リンの除去が期待できる。
	土壌処理法	○	◎	休耕田や河川敷用地等に設置した土水路等に流入水を引き込んで、水田や湿地における土壌の持つ分解・吸着能作用により浄化を行う。浄化原理がろ過であり、浄化水は清澄となるが、その分目詰まりが起こりやすく、定期的な土壌入れ替えなどのメンテナンスが必要となる。土、砂礫の種類によっては、窒素・リンの除去も期待できる。
	植生浄化法	○	◎	水生植物及び水生植物に付着した微生物による水中の懸濁物質※、栄養塩類（窒素・リン）の吸着・取り込み作用により浄化を行う。水生植物の除去により、生体内に吸収された栄養塩類が除去できる。 ※水中の濁りの原因物質のこと。濁質ともいう。濁りの原因物質としては、粘土などの無機系物質や、微生物や生物による分解物質などの有機系物質がある。
貯水 池内 対策	副ダム P. 参考-2 参照	◎	○	ダム貯水池の流入部に設置し、粒子性の栄養塩類を沈降させ、ダム貯水池への栄養塩類の流入を減らし、植物プランクトンの増殖を抑える。リン酸などの溶存性栄養塩類は除去できないが、凝集剤を添加して懸濁態物質に転換すれば沈殿除去することが可能となる。
	バイパス	◎	○	ダム貯水池内の濁度が高くなった場合に、ダム上流の濁度の低い水を下流に放流する「清水バイパス」、ダム貯水池内が濁水化するのを防止するために、出水期間中に濁水をバイパスさせ下流へ放流する「濁水バイパス」、ダム貯水池内に流入する排水などをダム貯水池の下流へバイパスし、富栄養化を防止する「富栄養化対策バイパス」などがある。アオコ対策としては、富栄養化対策バイパスが有効であるほか、濁水バイパスも懸濁態栄養塩類のダム貯水池流入を低減することができるため有効である。
	浅層曝気循環 P. 参考-2 参照	○	◎	ダム貯水池中層あるいは表層から空気を吐き出し、気泡の浮力により上昇流を生じさせ、ダム貯水池内に循環混合層を形成させる。これにより、表層水温の低下、植物プランクトンの有光層以深への引き込み、藻類の拡散などを生じさせ、表層における植物プランクトンの増殖・集積を抑制する。
	全層曝気循環 P. 参考-2 参照	○	◎	ダム貯水池内全体を曝気循環することで、深層水を表層に強制的に移動させ、全層を循環混合する。植物プランクトンの無光層への移動、表層水温の低下により、植物プランクトンの増殖抑制を図る。
	深層曝気 P. 参考-3 参照	○	◎	ダム貯水池の深層水に酸素を供給し、底質から鉄、マンガン、硫化水素及び栄養塩類などの溶出を抑制することで、赤水・黒水※の発生防止や、循環期における栄養塩類のダム貯水池全体への拡散防止を図る。 ※赤水は鉄を、黒水はマンガンを含んだ水で、それぞれ赤色、黒色に着色するためこのように呼ばれる。
	流動化 P. 参考-3 参照	○	◎	水流発生装置により流動の小さい湖水に水の流れを発生させて、水域を流動化・循環させ、停滞を改善する。水平方向もしくは鉛直方向の水流を発生させる装置がある。主に、ため池などの比較的小規模なダム貯水池で効果を発揮する。
	浚渫 P. 参考-3 参照	○	◎	栄養塩類濃度の高い底泥を浚渫・除去し、底泥からの栄養塩類の溶出量を抑制する。

表 16 水質保全対策一覧（その2）

種類	対策名	対応時		原理
		計画 段階	供用 段階	
貯水池内 対策	覆砂 P. 参考-3 参照	○	◎	ダム貯水池の底に堆積した土砂・ヘドロ等の底泥を砂で覆う。これにより、底泥から水中への栄養塩類等の溶出の抑制を図る。
	底質改善 底泥固化 P. 参考-3 参照	○	◎	薬剤等を底泥に投入または散布し、底質改善の場合は底泥中の有機物等を吸着・分解し、底泥固化の場合は底泥を固化（不溶化）する。底質改善・底泥固化いずれも、底泥からの栄養塩類・重金属類の溶出を抑制し、底泥巻き上げを抑制する。
	池干し P. 参考-4 参照	○	◎	ダム貯水池の底を空気にさらして乾燥・酸化分解させることで底泥からの栄養塩類流出を抑制する。また、日光に含まれる紫外線的作用や乾燥、温度上昇等により、湖底に沈降して堆積したアオコの原因藻類の殺藻、不活性化が期待できる。
	水位低下 P. 参考-4 参照	○	◎	ダム貯水池の水を放流し水位を低下させ、水の入替えを促進し、滞留時間を短縮（回転率を向上）させる。
	遮光 P. 参考-4 参照	○	◎	水面に遮光用のネット・シート等を浮かべ、植物プランクトンの増殖に必要な光を抑制する。ただし、完全遮光を行うとかえって水質が悪化する場合があることから、実施に当たっては注意が必要。
	分画 フェンス P. 参考-4 参照	○	◎	ダム貯水池の流入部等にフェンスを設置し、発生したアオコを一部水域に封じ込める。また併せて、出水時の濁りや栄養塩類に富んだ流入水を深部に導入し、植物プランクトンへの栄養塩類の供給を抑制することで、植物プランクトンの増殖抑制を図る。なお、栄養塩類の有光層への再浮上を防止するために、選択取水と併用することも効果的である。
	浮島 P. 参考-5 参照	○	◎	人工的に水生植物を植栽した浮島を水上に浮かべ、植物根茎による栄養塩類の吸収、根茎に付着する微生物による栄養塩類の吸収・分解を図る。また、植物プランクトンを捕食する動物プランクトン等の生息基盤となる他、遮光効果による植物プランクトンの増殖抑制などの効果を期待できる。また、地域住民の水質保全に対する意識啓発の効果も期待される。
	アオコ回収 P. 参考-5 参照	—	◎	アオコが大量発生している表層水をポンプ等で吸収・回収し、アオコを除去する。アオコとともに、アオコに含まれる窒素・リンを併せて除去することが可能である。
放流 対策	選択取水 P. 参考-6 参照	◎	○	水温躍層が形成されているダム貯水池において、取水口の高さを変え任意の層から選択的に取水するための設備であり、一般的に冷水・温水放流や濁水の長期化を低減するために設置される。選択取水設備が設置されている場合に、本施設を適切に運用することで、表層のアオコを放流してダム貯水池のアオコを減少させたり、逆にアオコが発生していない中下層水を選択的に取水することで水利用への被害を回避したりすることができる。

注）対応時期の凡例

- ◎：アオコの解消、低減効果がより期待できる
- ：アオコの解消、低減効果が得られる
- ：対応時期としてはふさわしくない

2.4.2 環境保全措置の選定

「環境影響評価法の規定による主務大臣が定めるべき指針等に関する基本的事項」（最終改正：平成二十六年六月二十七日 環境省告示第八十三号）における、「第五 環境保全措置指針に関する基本的事項」において、

「環境保全措置は、対象事業の実施により選定項目に係る環境要素に及ぶおそれのある影響について、事業者により実行可能な範囲内で、当該影響を回避し、又は低減すること及び当該影響に係る各種の環境の保全の観点からの基準又は目標の達成に努めることを目的として検討されるものとする。」

と記載されている。

すなわち、基本事項では、事業者により実行可能な範囲でのベスト追及型アセスを実施すること要求されている。このことから、1つの検討結果のみではなく、地理的な条件による制約、予算状況等に応じて実施可能な範囲で、影響を回避し、又は低減する効果が最大限得られる環境保全措置を選定し、各種の環境の保全の観点からの基準又は目標が達成できるような検討を行うことが望ましい。

例えば、数値シミュレーションモデルにより、夏季にダム貯水池に強い水温躍層が形成され、富栄養化現象の発生が予測された場合には、曝気装置を設置することによって形成される水温躍層を破壊し、富栄養化現象の発生を抑えることが考えられる。しかし、予算的に設置が難しい場合には、代替策としてかんがい期以外の時期にダム貯水池内を空にし、池干しを行うことで底質環境の改善を行う、或いは、アオコ回収を定期的を実施する等の代替策を実行する対策も考えられる。

ただし、環境保全措置として曝気装置によるダム貯水池内の流動化（循環）を行う場合、設置後の当該施設の維持管理主体はほとんどの場合、地元関係機関になると想定されるため、環境保全措置の選定・実施内容の検討に当たっては、将来の維持管理主体も含めた十分な検討・協議を行うことが重要である。

なお、環境保全措置の選定に当たり専門的な判断を要する場合には、関連する分野の有識者等にヒアリングを行い、指導・助言を受けることが望ましい。

2.5 環境影響評価手法

評価は、事業者が実行可能な範囲内でできる限りの環境保全措置を施し、富栄養化による影響が回避され、又は低減されており、環境の保全への配慮が適正になされているかどうかを評価する。

また、国又は地方公共団体が実施する環境保全に関する施策によって、当該ダム貯水池に対して、富栄養化に関する基準又は目標が示されている場合には、当該基準又は目標と調査・予測結果との間に整合が図られているかどうかを評価する。

【解説】

環境保全措置は事業者が行うものであり、事業計画において地形的な条件による制約、予算的な制約等を踏まえて実施が十分可能な内容で行うこととなるが、環境保全措置によって富栄養化現象による影響がどの程度避けられたのか、又は低減されたのかを事前に評価する必要がある。

この評価の方法については、環境保全措置により表 17 に示すような国又は地方公共団体等が定めている富栄養化に係る各種基準を満たすか否かを確認する方法、又は、環境保全措置により水質が改善されるかを確認する方法がある。後者の場合は、対象となるダム貯水池に直接適用させる基準が定められていない場合であり、事業計画の検討過程においてダムの水質保全（改善）を図っていく際の目標を設定し、環境保全措置によって水質が改善され設定した目標が達成されるかを確認することとなる。この目標設定に当たっては、ダムの利用目的が農業用水である場合には、農業用水基準や他地区の事例等を参考にしながら、整備されるダムの維持管理主体となる地元関係機関等と十分に協議・検討した上で設定する。

富栄養化に係る具体的な基準としては、農業用水基準、水産用水基準、環境類型指定の状況等を考慮した環境基準、今後の河川水質管理の指標（案）等がある。評価に際しては、評価対象ダムが環境類型指定対象ダムの場合には環境基準、環境類型指定がされていない場合には、農業用水基準とするなど利水目的に即して適切に判断することとなる。

表 17(1) 評価の基準(水質汚濁に関する環境基準①)

生活環境の保全に関する環境基準(河川)

項目 類型	利用目的の適応性	基準値				
		水素イオン濃度 (pH)	化学的酸素 要求量 (BOD)	浮遊物質 量 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級 自然環境保全及びA以下 の欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	1mg/L 以下	25mg/L 以下	7.5mg/L 以上	50MPN/100mL 以下
A	水道2級 水産1級水浴及びB以下 の欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	2mg/L 以下	25mg/L 以下	7.5mg/L 以上	1,000MPN/100mL 以下
B	水道3級 水産2級及びC以下の 欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	3mg/L 以下	25mg/L 以下	5mg/L 以上	5,000MPN/100mL 以下
C	水産3級 工業用水1級及びD以下 の欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	5mg/L 以下	50mg/L 以下	5mg/L 以上	—
D	工業用水2級 農業用水及びEの欄に 掲げるもの	6.0 以上 8.5 以下	8mg/L 以下	100mg/L 以下	2mg/L 以上	—
E	工業用水3級 環境保全	6.0 以上 8.5 以下	10mg/L 以下	ごみ等の浮遊 が認められないこと。	2mg/L 以上	—
備考						
1. 基準値は、日間平均値とする(湖沼、海域もこれに準ずる。)。 2. 農業用利水点については、水素イオン濃度 6.0以上 7.5以下、溶存酸素量5mg/L 以上とする(湖沼もこれに準ずる。)。 以下、3、4略						

表 17(2) 評価の基準(水質汚濁に関する環境基準②ア)

生活環境の保全に関する環境基準(湖沼※)

類型	利用目的の適応性	基準値				
		水素イオン 濃度 (pH)	化学的酸素 要求量 (COD)	浮遊物質 量 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級、水産1級、自然 環境保全及びA以下の欄に 掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	1mg/L 以下	1mg/L 以下	7.5mg/L 以上	50MPN/ 100mL 以下
A	水道2、3級、水産2級、 水浴及びB以下の欄に掲 げるもの	6.5 以上 8.5 以下	3mg/L 以下	5mg/L 以下	7.5mg/L 以上	1,000MPN/ 100mL 以下
B	水産3級、工業用水1級、 農業用水及びCの欄に掲 げるもの	6.5 以上 8.5 以下	5mg/L 以下	15mg/L 以下	5mg/L 以上	—
C	工業用水2級、環境保全	6.0 以上 8.5 以下	8mg/L 以下	ごみ等の浮遊 が認められないこと。	2mg/L 以上	—
備考 水産1級、水産2級及び水産3級については、当分の間、浮遊物質量の項目の基準値は適用しない。						

※ここでの湖沼は天然湖沼及び貯水量が 1,000 万立方メートル以上であり、かつ、水の滞留時間が4日間以上である人工湖のこと。

表 17(2) 評価の基準(水質汚濁に関する環境基準②イ)

項目 類型	利用目的の適応性	基準値	
		全窒素	全磷
I	自然環境保全及びⅡ以下の欄に掲げるもの	0.1mg/L 以下	0.005mg/L 以下
Ⅱ	水道 1、2、3 級(特殊なものを除く。) 水産 1 種 水浴及びⅢ以下の欄に掲げるもの	0.2mg/L 以下	0.01mg/L 以下
Ⅲ	水道 3 級(特殊なもの) 及びⅣ以下の欄に掲げるもの	0.4mg/L 以下	0.03mg/L 以下
Ⅳ	水産 2 種及びⅤの欄に掲げるもの	0.6mg/L 以下	0.05mg/L 以下
Ⅴ	水産 3 種、工業用水、 農業用水、環境保全	1mg/L 以下	0.1mg/L 以下
備考 1. 基準値は、年間平均値とする。 2. 水域類型の指定は、湖沼植物プランクトンの著しい増殖を生ずるおそれがある湖沼について行うものとし、全窒素の項目の基準値は、全窒素が湖沼植物プランクトンの増殖の要因となる湖沼について適用する。 3. 農業用水については、全磷の項目の基準値は適用しない。			

表 17(3) 評価の基準(農業(水稻)用水基準)

項目		農業用水基準 (農林水産技術会議 昭和 46 年 10 月 4 日)
pH (水素イオン濃度)		6.0～7.5
COD (化学的酸素要求量)		6mg/L 以下
S S (無機浮遊物質)		100mg/L 以下
D O (溶存酸素)		5mg/L 以上
T-N (全窒素濃度)		1mg/L 以下
EC (電気伝導度)		30mS/m 以下
重金属	As (ヒ素)	0.05mg/L 以下
	Zn (亜鉛)	0.5 mg/L 以下
	Cu (銅)	0.02mg/L 以下

表 17(4) 評価の基準(水産用水基準)

項目		基準	
有機物 (COD, BOD)	河川	自然繁殖の条件として、20℃5 日間の BOD は 3mg/L 以下であること。 ただし、サケ・マス・アユを対象とする場合は 2mg/L 以下であること。	
		生育の条件として、20℃5 日間の BOD は 5mg/L 以下であること。 ただし、サケ・マス・アユを対象とする場合は 3mg/L 以下であること。	
	湖沼	自然繁殖の条件として、COD は 4mg/L 以下であること。 ただし、サケ・マス・アユを対象とする場合は 2mg/L 以下であること。	
		生育の条件として、COD は 5mg/L 以下であること。 ただし、サケ・マス・アユを対象とする場合は 3mg/L 以下であること。	
	海域	一般の海域では、COD _{OH} (アルカリ性法)は 1mg/L 以下であること。	
		ノリ養殖場や閉鎖性内湾の沿岸域では COD _{OH} は 2mg/L 以下であること。	
全窒素 全リン	湖沼	コイ、フナを対象とする場合	全窒素 1.0mg/L 以下、全リン 0.1mg/L 以下
		ワカサギを対象とする場合	全窒素 0.6mg/L 以下、全リン 0.05mg/L 以下
		サケ科、アユ科を対象とする場合	全窒素 0.2mg/L 以下、全リン 0.01mg/L 以下
	海域	環境基準が定める水産 1 種	全窒素 0.3mg/L 以下、全リン 0.03mg/L 以下
		環境基準が定める水産 2 種	全窒素 0.6mg/L 以下、全リン 0.05mg/L 以下
		環境基準が定める水産 3 種	全窒素 1.0mg/L 以下、全リン 0.09mg/L 以下
		ノリ養殖に最低限必要な栄養塩濃度	無機態窒素 0.07～0.1mg/L 無機態リン 0.007～0.014mg/L
溶存酸素(DO)		河川及び湖沼では 6mg/L 以上。ただし、サケ・マス・アユを対象とする場合は 7mg/L 以上であること。	
		海域では 6mg/L 以上であること。	
		内湾漁場の夏季底層において最低限維持しなくてはならない溶存酸素は 4.3mg/L (3mL/L)であること。	
水素イオン濃度 (pH)		河川及び湖沼では 6.7～7.5 であること。	
		海域では 7.8～8.4 であること。	
		生息する生物に悪影響を及ぼすほど pH の急激な変化がないこと。	
懸濁物質 (SS)	河川	25mg/L 以下であること(人為的に加えられる懸濁物質は 5mg/L 以下)。	
		忌避行動などの反応を起こさせる原因とならないこと。	
		日光の透過を妨げ、水生植物の繁殖、生長に影響を及ぼさないこと。	
	湖沼	サケ・マス・アユを対象とする場合は 1.4mg/L 以上(透明度 4.5m 以上)であること。	
		温水性魚類を対象とする場合は 3.0mg/L 以下(透明度 1.0m 以上)であること。	
	海域	人為的に加えられる懸濁物質は 2mg/L 以下であること。 海藻類の繁殖に適した水深において必要な照度が保持され、その繁殖と生長に影響を及ぼさないこと。	
着色		光合成に必要な光の透過が妨げられないこと。 忌避行動の原因とならないこと。	
水温		水産生物に悪影響を及ぼすほどの水温の変化がないこと。	
大腸菌群数		大腸菌群数(MPN)が 100mL 当たり 1,000 以下であること。 ただし、生食用カキを飼育するためには 100mL 当たり 70 以下であること。	
油分		水中には油分が検出されないこと。	
		水面に油膜が認められないこと。	
有害物質		有害物質の基準値は、別表に掲げる物質ごとに同表の基準値の欄に掲げるとおりとする(別表は掲載を省略)。	
底質		河川および湖沼では、有機物などによる汚泥床、ミズワタなどの発生をおこさないこと。	
		海域では乾泥として COD _{OH} (アルカリ性法)は 20mg/g 乾泥以下、硫化物は 0.2mg/g 乾泥以下、ノルマルヘキサン抽出物質 0.1%以下であること。	
		微細な懸濁物が岩面、礫、又は砂利などに付着し、種苗の着生、発生あるいはその発育を妨げないこと。	
		海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律に定められた溶出試験(昭和 48 年環境庁告示第 14 号)により得られた検液中の有害物質のうち水産用水基準で基準値が定められている物質については、水産用水基準の基準値の 10 倍を下回ること。ただし、カドミウム、PCB については溶出試験で得られた検液中の濃度がそれぞれの化合物の検出下限値を下回ること。	
		ダイオキシン類の濃度は 150pgTEQ/g を下回ること。	

出典：日本水産資源保護協会「水産用水基準(2012 年版)」(2012)

表 17(5) 評価の基準(今後の河川水質管理の指標について(案)①)

河川水質管理の視点	河川水質の確保すべき機能		確保すべき機能を表す項目	河川水質管理の指標項目の分類				今後の河川水質管理の指標項目(案) (全国共通の項目)	
				住民との協働に 優れた項目	感覚指標に係る水質項目	機能に関して指標性のある水質項目	洪水時調査の 必要な項目	住民との協働による 測定項目	河川等管理者 による測定項目
人と河川の豊かなふれあいの確保	快適性	水域全体のきれいさ	ゴミの量	ゴミの量	—	—	—	ゴミの量	—
		水の透明感 [水のきれいさ]	透明度、SS、濁度、水の色、 [BOD]、[COD]、油、油	透明度、水の色、 [※] SS、 [※] 濁度、油、油、 [※] COD	—	透明度、SS、濁度 [BOD]	—	透明度、 [[※] COD]	SS、濁度、[BOD]
		川底の感触	川底の感触、[SS]、[濁度]、 [BOD]、[COD]	川底の感触、 [[※] COD]	[BOD]、 [T-N]、[T-P]、 [河床付着物のクロロフィルa]	[SS]、[濁度]	—	川底の感触、 [[※] COD]	[BOD]、[T-N]、[T-P]、 [河床付着物のクロロフィルa]
		川に入ったときの 快適性	水に触れた感覚	水温、粘性、クロロフィルa	水温、 [※] クロロフィルa	—	水温、粘性	—	—
		臭い	水の臭い、臭気、[臭気度]、 [DO]、[BOD]、[COD]	水の臭い、臭気 [[※] DO]、[[※] COD]	[DO]、 [BOD]	[臭気度]	—	水の臭い、 [[※] DO]、[[※] COD]	—
	安全性	衛生学的安全性 [触れる、 飲飲の安全性]	糞便性大腸菌群数、 大腸菌群数、大腸菌、 ダイオキシン類、環境ホルモン	—	—	糞便性大腸菌群数、 大腸菌群数、大腸菌、 ダイオキシン類、 環境ホルモン	—	—	糞便性大腸菌群数
豊かな生態系の確保	生態、生育、 繁殖	呼吸	DO、SS、[BOD]、[COD]	[※] DO、[[※] COD]	—	DO、[BOD]	DO、SS	[※] DO、[[※] COD]	DO、SS、[BOD]
		毒性	NH ₄ -N、Zn、ダイオキシン類、 環境ホルモン	[※] NH ₄ -N	—	NH ₄ -N、Zn、 ダイオキシン類、 環境ホルモン	NH ₄ -N	[※] NH ₄ -N	NH ₄ -N
		生物の生態	水生生物の生態、[水温]、[pH]、 [BOD]、[COD]、 [T-N]、[T-P]、 [水辺の植生]、[鳥類]、[魚類]、[昆虫]	水生生物の生態、 [水温]、[[※] pH]、 [[※] COD]、[水辺の植生]、 [鳥類]、[魚類]、[昆虫]	—	水生生物の生態、 [BOD]、[T-N]、[T-P]	—	[※] 水生生物の生態、 [水温]、[[※] pH]、 [[※] COD]	[※] 水生生物の生態、 [pH]、[BOD]、 [T-N]、[T-P]
利用しやすい 水質の確保	安全性	毒性 [消毒剤生成物 含む]	[TOC]、[BOD]、[COD]、[SS]、 トリハロメタン生成能(NH ₄ -N)、 健康項目	—	—	[TOC]、[BOD]、[COD]、 [SS]、トリハロメタン生成能、 [NH ₄ -N]、健康項目	[TOC]、 [トリハロメタン生成能]、 [NH ₄ -N]	トリハロメタン生成能、 [NH ₄ -N]、[TOC]	—
		病原性微生物	原虫類、ウイルス、 糞便性大腸菌群数、 大腸菌群数、大腸菌	—	—	原虫類、ウイルス、 糞便性大腸菌群数、 大腸菌群数、大腸菌	原虫類、ウイルス、 糞便性大腸菌群数、 大腸菌群数、大腸菌	—	糞便性大腸菌群数
	快適性	臭い	2-MIB、ジオスミン、 臭気度、[T-N]、[T-P]	—	—	2-MIB、ジオスミン、 臭気度、[T-N]、[T-P]	2-MIB、ジオスミン	—	2-MIB、ジオスミン
	維持管理性	味覚	臭気度、[TOC]、[COD]	—	—	[TOC]、[COD]	[TOC]、[COD]	—	pH、SS、濁度、NH ₄ -N
下流域や滞留 水域に影響の 少ない水質の 確保	下流域の富栄養化や閉鎖性水域(ダム、湖沼、湾)の富栄養化への影響が少ない水質レベルであること。	[T-N]、[T-P]、 クロロフィルa、 [※] ケイ酸、 [[※] フルボ酸]、[Fe]、 [無機N]、[無機P]、[COD]	[[※] PO ₄]	—	—	[無機N]、[無機P]、[CO D]、 [[※] ケイ酸]、[[※] フルボ酸]	[T-N]、[T-P]	[[※] PO ₄]	[T-N]、[T-P]
河川の基本的特徴の表現			水温、流量、流速、水位 BOD、COD、 SS、濁度、pH、EC 水生生物の生態、[[※] フレッシュ度]	水温、 [※] COD、 [※] pH、 [[※] フレッシュ度]	—	BOD、SS、濁度、pH、EC 流量、流速、水位 水生生物の生態	SS、濁度	水温、 [※] pH、 [※] COD	BOD、SS、濁度、pH、 流量

※1今後の調査・研究が必要である項目
 ※2この項目は情報提供のみに限られる。「フレッシュ度」は仮称であり、今後変更される可能性がある。
 ※3分析方法も含め、今後の調査・研究が必要である項目
 ※4バック方式などの簡易な方法で測定を行うことができる。
 ※5ろ紙吸光法(簡易な方法)で測定を行うことができる。
 ※6住民との協働による場合は、簡易調査方法で実施し、河川等管理者による場合は、スコア法で実施する。
 ※上記の視点に対して、水質以外の項目として川への近づき易さや、河道形態などが影響してくる。そのため、水質管理を行う上では、これらを考慮して検討を行う必要がある。
 ※現在国土交通省で設置している水質自動監視装置では、水温、pH、DO、濁度、COD、NH₄-N、T-N、T-P等の測定を行っている。また、水位観測所において水位の観測を行っている。
 ※BODは湖沼ではCODとする。都市河川では必要に応じてC-BODを追加してもよい。
 ※流量は湖沼では水位とする。

●※の注
 ・※は水質管理上重点的に評価を行う項目[評価項目]
 ・[]内の指標項目は、現地での調査の目的やデータ活用状況に応じて、追加的に測定を行うことを検討する項目
 ・工法は特に指標性の高い項目を要す
 ・※(簡易測定項目)はできれば実施する項目(特に簡易DO、簡易NH₄-Nは測定することで、「豊かな生態系の確保」のランクの目安を現地で判断できることから実施が望ましい)

出典：国土交通省河川局河川環境課「今後の河川水質管理の指標について(案)改訂版」(平成21年3月)

<https://www.mlit.go.jp/common/000046619.pdf>

表 17(6) 評価の基準(今後の河川水質管理の指標について(案)②)

■人と河川の豊かなふれあいの確保

ランク	説明	ランクのイメージ	評価項目と評価レベル ^{※1)}					地域特性項目
			全国共通項目					
			ゴミの量	透視度 (cm)	川底の感触 ^{※3), 4)}	水におい	糞便性 大腸菌群数 (個/100mL)	
A	顔を川の水につけやすい		川の中や水際にゴミは見あたらないまたは、ゴミはあるが全く気にならない	100以上 ^{※2)}	快適である	不快でない	100以下	当該河川・地点の特性や地域住民のニーズに応じて独自に設定
B	川の中に入って遊びやすい		川の中や水際にゴミは目につくが、我慢できる	70以上	不快感がない		1000以下	
C	川の中には入れないが、川に近づくことができる		川の中や水際にゴミがあって不快である	30以上	不快である	水に鼻を近づけると不快な臭いを感じる	1000を超えるもの	
D	川の水に魅力がなく、川に近づきにくい		川の中や水際にゴミがあってとても不快である	30未満		水に鼻を近づけるととても不快な臭いを感じる		

※1) 評価レベルについては、河川の状況や住民の感じ方によって異なるため、必要に応じて住民による感覚調査等を実施し、設定することとする。
 ※2) 実際には100cmを超える水質レベルを設定すべきであり、今後の測定方法の開発が望まれる。
 ※3) 川底の感触とは、河床の礫に付着した有機物や藻類によるヌルヌル感を対象とする。そのため、川底の感触は、ダム貯水池、湖沼、堰の湛水域には適用しない。
 ※4) 感触の「不快感」については、各々以下のイメージである
 A：素足で入りたいと感じる B：履物があれば入りたいと感じる C：履物をはいても入りたいくない

■豊かな生態系の確保

ランク	説明	評価項目と評価レベル				地域特性項目 当該河川・地点の特性や地域住民のニーズに応じて独自に設定
		全国共通項目				
		DO (mg/L)	NH ₄ - N (mg/L)	水生生物の生息*)		
A	生物の生息・生育・繁殖環境として非常に良好	7以上	0.2以下	I. きれいな水 ・カワゲラ ・ナガレトビケラ等	・住民と共に独自に設定 ・文献等から設定	
B	生物の生息・生育・繁殖環境として良好	5以上	0.5以下	II. 少しきたない水 ・コガタシマトビケラ ・オオシマトビケラ等		
C	生物の生息・生育・繁殖環境として良好とは言えない	3以上	2.0以下	III. きたない水 ・ミズムシ ・ミズカマキリ等		
D	生物が生息・生育・繁殖しにくい	3未満	2.0を超えるもの	IV. 大変きたない水 ・セスジユスリカ ・チョウバエ等		

* 水生生物の生息は流れのある瀬で調査を実施する。そのため、水生生物の生息はダム貯水池、湖沼、堰の湛水域には適用しない。

■利用しやすい水質の確保

ランク	説明	評価項目と評価レベル				当該河川・地点の特性や地域住民のニーズに応じて独自に設定
		全国共通項目				
		安全性	快適性		維持管理性	
		トリハロメタン生成能 (μ g/L)	2-MIB (ng/L)	ジオスミン (ng/L)	NH ₄ -N (mg/L)	
A	より利用しやすい	100以下	5以下	10以下	0.1以下	文献等から設定
B	利用しやすい		20以下	20以下	0.3以下	
C	利用するためには高度な処理が必要	100を超えるもの	20を超えるもの	20を超えるもの	0.3を超えるもの	

：評価レベル

出典：国土交通省河川局河川環境課「今後の河川水質管理の指標について(案)改訂版」(平成21年3月)
<https://www.mlit.go.jp/common/000046619.pdf>

表 17(7) 評価の基準(富栄養化の階級)

富栄養化の階級(指標：T-N) 単位：mg/L

階級			出典
貧栄養	中栄養	富栄養	
0.02～0.2	0.1～0.7	0.5～1.3	坂本 1966
<0.4※	0.4～0.6※	0.6～1.5※	Forsberg & Ryding 1980

注)※印は夏季(6月～9月)平均値

出典：岩佐義朗編著「湖沼工学」(山海堂、1990)

富栄養化の階級(指標：T-P) 単位：mg/L

階級			出典
貧栄養	中栄養	富栄養	
0.005～0.01	0.01～0.03	0.03～0.1	Vollenweider 1967
0.002～0.02	0.01～0.03	0.01～0.09	坂本 1966
<0.02		>0.02	吉村 1937
<0.01	0.01～0.02	>0.02	US EPA 1974
<0.012	0.012～0.024	>0.024	Carlson 1977
<0.0125	0.0125～0.025	>0.025	Ahl & Wiederholm 1977
<0.01	0.01～0.02	>0.02	Rest & Lee 1978
<0.01	0.01～0.035	0.035～0.1	OECD
<0.015※	0.015～0.025※	0.025～0.1※	Forsberg & Ryding 1980

注)※印は夏季(6月～9月)平均値

出典：岩佐義朗編著「湖沼工学」(山海堂、1990)

富栄養化の階級(指標：クロロフィル a) 単位：μg/L

階級			出典
貧栄養	中栄養	富栄養	
<4	4～10	>10	US EPA 1974
<3※	3～7※	7～40※	Forsberg & Ryding 1980

注)※印は夏季(6月～9月)平均値

出典：岩佐義朗編著「湖沼工学」(山海堂、1990)

富栄養化の階級(指標：年平均クロロフィル a, 年最大クロロフィル a) 単位：μg/L

指標	階級			出典
	貧栄養	中栄養	富栄養	
年平均クロロフィル a	<2.5	2.5～8	8～25	OECD
年最大クロロフィル a	<8.0	8～25	25～75	OECD

出典：(財)ダム水源地環境整備センター「ダム貯水池水質用語集」(2006)

2.6 事後調査（モニタリング調査）の計画策定

事後調査（モニタリング調査）は、環境影響評価の結果、ダムが存在・供用により水質に影響があり、環境保全措置が必要と判断した場合に、環境保全措置の一環として行う。

その目的は、環境保全措置の効果確認及びダム運用条件等の検証であり、場合によっては運用の見直しを行うために必要な基礎資料を取得することである。

調査は環境保全措置の内容により期待される効果が異なるため、調査項目の内容は環境保全措置に応じて検討・整理する必要がある。

【解説】

2.5 により行った環境影響評価の結果行うこととした環境保全措置（水質保全対策）は、その効果を確認し、ダムの運用条件等の検証を行い、場合によっては運用の見直しを行うことが重要である。

事後調査（モニタリング調査）は、こうした環境保全措置の点検に必要な基礎情報を収集することを目的とする。

また、環境保全措置の一環として実施するため、モニタリング計画を作成し、その計画に基づいて調査を行う必要がある。

モニタリング調査は水質保全対策の内容を十分に踏まえて、調査内容を検討・整理する必要がある。表 18 の内容を基本として定期的に長期的に行う内容とする。例えば、曝気循環施設を水質保全対策とした場合と選択取水を対策とした場合ではその内容は異なる。表 19 のとおり、曝気循環施設の場合では、水温躍層を曝気により破壊し鉛直混合を促すことを目的としている施設のため、水温の観測頻度を高める必要がある。一方、選択取水の場合では、流入水質と放流水質が同じにすることが目標であるため、流入河川水と同じ水温となる水深を観測する必要がある。ダム貯水池内に複数点の水温・濁度の鉛直分布観測地点を設定することとなる。このように水質保全対策の特徴等を踏まえて、その効果を把握できるよう調査内容を検討・工夫する必要がある。

また、各対策の運用条件を後々見直すことも想定されることから、調査時期や頻度等についても十分な検討が必要であるが、モニタリング調査の実施体制や予算的な制約等を考慮しつつ実施可能な内容として検討・整理する必要がある。

表 18 定期調査の概要

調査項目	調査地点	調査深度	調査頻度
水温、濁度、DO(溶存酸素量)	- ダム貯水池内基準地点 - 流入河川地点 - 放流口地点	- ダム貯水池内基準地点は原則 0.1m, 0.5m, 1m 以下 1m 毎 - 流入河川地点、放流口地点は 1 層(2 割水深)	原則として 1 回/月
生活環境項目 (DO(溶存酸素量)を除く)、クロロフィル a		- ダム貯水池内基準地点は 3 層(0.5m, 1/2 水深、底上 1m 又は表水層、深水層、底水層) - 流入河川地点、放流口地点は 1 層(2 割水深)	
健康項目	- ダム貯水池内基準地点 - 水道原水取水口地点(ダム貯水池から水道用水直接取水がある場合) - 必要に応じて流入河川地点、放流口地点	- ダム貯水池内基準地点は 1 層(0.5m) - 水道原水取水口地点は取水深度に応じて設定 - 流入河川地点、放流口地点は 1 層(2 割水深)	原則として 2 回/年(夏季と冬季)
植物プランクトン	ダム貯水池内基準地点	1 層 (0.5m)	原則として 1 回/月
底質 (粒度組成、強熱減量、COD _{sed} 、T-N(全窒素)、T-P(全リン)、硫化物、重金属等)		底泥表層 1 層	原則として 1 回/年(夏季)
2-MIB、ジェオスミン (水道水源のダム貯水池で行う)	- ダム貯水池内基準地点 - 水道原水取水口地点(ダム貯水池から水道用水直接取水がある場合)	- ダム貯水池内基準地点は 1 層(0.5m) - 水道原水取水口地点は取水深度に応じて設定	4 回/年程度 (藻類の発生量が多い時期)
無機態窒素、無機態リン (富栄養化現象が生じる懸念があるダム貯水池で行う)	ダム貯水池内基準地点	3 層(0.5m, 1/2 水深、底上 1m 又は表水層、深水層、底水層)	原則として 1 回/月

- ・現地記録項目は表中の記載を省略した。
- ・生活環境項目(DO(溶存酸素量)を除く)：pH、BOD、COD、SS(浮遊物質質量)、大腸菌群数、T-N(全窒素)、T-P(全リン)
- ・生活環境項目(水生生物の保全)：全亜鉛、ノニルフェノール、LAS(直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩)
- ・健康項目：カドミウム、全シアン、鉛、六価クロム、ヒ素、総水銀、アルキル水銀、PCB、ジクロロメタン、四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、シス-1,2-ジクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,3-ジクロロプロペン、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、ベンゼン、セレン、硝酸性窒素及び亜硝酸態窒素、ふっ素、ほう素、1,4-ジオキサン
- ・ダイオキシン類：ポリクロロジベンゾフラン、ポリクロロジベンゾパラジオキシン、DL-PCB(ダイオキシン様 PCB)
- ・底質の重金属等：鉄、マンガン、カドミウム、鉛、六価クロム、ヒ素、総水銀、アルキル水銀、PCB、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、セレン
- ・無機態窒素：アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸性窒素
- ・無機態リン：オルトリン酸態リン

＜調査項目の主な目的＞

- ・水温：ダム貯水池の水温成層形成状況の把握
- ・濁度：ダム貯水池の濁りの状況の把握
- ・生活環境項目：生活環境の保全に関する環境基準項目の監視
- ・クロロフィル a、植物プランクトン：富栄養化現象の発生状況の監視
- ・健康項目：人の健康の保護に関する環境基準項目の監視
- ・ダイオキシン類：ダイオキシン類に関する環境基準項目の監視
- ・底質：水質に密接に関連する底質の状況の監視
- ・2-MIB、ジェオスミン：水道水源としての性状の監視
- ・無機態窒素、無機態リン：植物プランクトンの消長と密接に関連する項目の把握

出典：国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課「ダム貯水池水質調査要領」(平成 27 年 3 月版)を一部変更

表 19(1) 富栄養化に関連した事後調査計画案(曝気循環設備の場合)

調査項目	調査地点	調査深度	調査頻度
・ 常時監視項目 水温、濁度、DO(溶存酸素量)	・ ダム貯水池内基準地点※ ・ 流入河川地点 ・ 放流口地点	・ ダム貯水池内基準地点※では水深20mまでは1m毎、それ以深は1～5m毎 ・ 流入河川地点、放流口地点では1層(2割水深)	原則として、2回/日以上(日中及び夜間)
・ 定期監視項目			
植物プランクトン、クロロフィルa、COD、BOD、SS(浮遊物質)、T-N(全窒素)、無機態窒素、T-P(全リン)、無機態リン	・ ダム貯水池内基準地点※ ・ 流入河川地点 ・ 放流口地点 ただし、植物プランクトンはダム貯水池内基準地点※のみ	・ ダム貯水池内基準地点※では3層(0.5m, 1/2水深, 底上1m又は表水層, 深水層, 底水層) ・ 流入河川地点、放流口地点では1層(2割水深)	6月～9月は2回/月～1回/週、10月～5月は1回/月～2回/月を目安とするが、 具体的な調査頻度は水温成層の形成状況を考慮して、ダム毎に設定
2-MIB、ジェオスミン(腐敗臭発生への対策として曝気循環設備の設置等を伴う対策を実施した場合)	・ ダム貯水池内基準地点※ ・ 放流口地点 ・ 水道原水取水口地点(ダム貯水池から水道用水直接取水がある場合)	・ ダム貯水池内基準地点※では3層(0.5m, 1/2水深, 底上1m又は表水層, 深水層, 底水層) ・ 放流口地点では1層(2割水深) ・ 水道原水取水口地点は取水深度に応じて設定	
・ 循環混合層の形成範囲を把握するための項目 水温(自記録式水温計等により測定)	ダム貯水池の適切な地点	水温鉛直分布が把握できる適切な深度	原則として、2回/日以上(日中及び夜間)

・ 無機態窒素：アンモニア態窒素，亜硝酸態窒素，硝酸性窒素

・ 無機態リン：オルトリン酸態リン

※ダム貯水池内基準地点：曝気循環設備による循環混合層の形成状況を確認する上で適切な地点を指し、曝気循環設備の近傍（吐出空気の影響を直接受けない程度の離隔を確保する）とする。

＜調査項目の主な目的＞

・ 常時監視項目、定期監視項目：曝気循環設備の運用状況、効果の把握

・ 循環混合層の形成範囲を把握するための項目：曝気循環設備による循環流によって強制的に混合する層の形成範囲の把握

出典：国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課「ダム貯水池水質調査要領」（平成27年3月版）を一部変更

表 19(2) 富栄養化に関連した事後調査計画案(選択取水設備の場合)

調査項目	調査地点	調査深度	調査頻度
・常時監視項目 水温、濁度	・ダム貯水池内基準地点※ ・流入河川地点 ・放流口地点	・ダム貯水池内基準地点※では鉛直方向に1m毎 ・流入河川地点、放流口地点では1層(2割水深)	原則として、1回/日以上
・定期監視項目 COD、BOD、SS(浮遊物質)、T-N(全窒素)、無機態窒素、T-P(全リン)、無機態リン	・ダム貯水池内基準地点※ ・流入河川地点 ・放流口地点	・ダム貯水池内基準地点※では3層(0.5m, 1/2水深, 底上1m又は表水層, 深水層, 底水層) ・流入河川地点、放流口地点では1層(2割水深)	原則として、1回/月
・貫入状況を把握するための項目 水温、濁度	ダム貯水池で湛水部末端からダム貯水池内基準地点※に縦断的に調査地点を設定	流入水の貫入状況が把握できる適切な深度	流入水の貫入過程に応じた適切な頻度を設定

- ・無機態窒素：アンモニア態窒素，亜硝酸態窒素，硝酸性窒素
- ・無機態リン：オルトリン酸態リン

※ダム貯水池内基準地点：ダム貯水池に流入した濁水や栄養塩類が、選択取水設備により適切に放流されていることを確認する上で適切な地点を指し、選択取水設備の近傍とする。

＜調査項目の主な目的＞

- ・常時監視項目、定期監視項目：選択取水設備の運用状況、効果の把握
- ・貫入状況を把握するための項目：選択取水設備によるダム貯水池の濁質の貫入状況の把握

出典：国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課「ダム貯水池水質調査要領」（平成27年3月版）を一部変更