

曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル  
(案)

平成 17 年 10 月

国土交通省河川局河川環境課



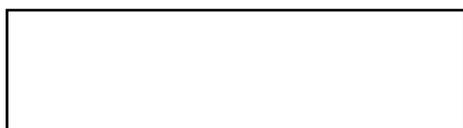
## 曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル（案）目次

第1部 総論	
第1章 はじめに	1-1
1.1 目的	1-1
1.2 対象とする水質保全施設	1-3
1.3 対象とする水質現象	1-4
第2章 ダム貯水池における水質現象の概要	2-1
2.1 ダム貯水池の水質現象	2-1
2.2 富栄養化現象の特性	2-3
2.3 貯水池における水温特性	2-10
2.4 濁水長期化現象の特性	2-14
2.5 ダムの水質変化に起因する影響の発生状況	2-17
2.6 水質現象による影響	2-18
第2部 曝気循環施設編	
第3章 曝気循環施設の概要	3-1
3.1 曝気循環施設の構造	3-1
3.1.1 曝気循環施設の形式	3-1
3.1.2 曝気循環施設の構成	3-3
3.2 曝気循環施設の水質保全施設としての機能	3-4
3.2.1 貯水池の流動を制御する機能	3-4
3.2.2 植物プランクトンの増殖を制御する機能	3-7
第4章 曝気循環施設の基本的な運用の考え方	4-1
4.1 概要	4-1
4.2 曝気循環施設の水質保全の対象	4-2
4.3 設定すべき基本的な運用条件	4-2
4.4 曝気循環施設の運用方法の検討手順	4-3
4.5 情報が十分にあるダム貯水池における運用方法の検討	4-4
4.5.1 検討に必要な情報の収集	4-4
4.5.2 曝気循環施設の運用管理指標	4-5
4.5.3 運用管理指標の検討・暫定設定	4-6
4.5.4 運用条件の検討・暫定設定	4-8

4.6	情報が少ないダム貯水池における運用方法の検討	4-12
4.6.1	曝気循環施設の運用管理指標	4-12
4.6.2	曝気循環施設の効果が得られやすい運用条件の傾向	4-12
4.7	実証運用	4-13
4.8	運用条件の見直し	4-14
4.9	管理運用	4-14
4.10	管理運用のための調査	4-15
4.11	曝気循環施設の運用の留意事項	4-17
4.12	全国の事例分析のとりまとめ	4-19
第3部 選択取水設備編		
第5章	選択取水設備の概要	5-1
5.1	選択取水設備の構造・用語	5-1
5.1.1	選択取水の形式	5-1
5.1.2	選択取水設備の構成	5-4
5.2	選択取水設備の水温・水質保全施設としての機能	5-5
5.2.1	水温を制御する機能	5-5
5.2.2	濁水長期化現象を軽減する機能	5-7
第6章	選択取水設備の運用方法の検討	6-1
6.1	選択取水設備の運用方法の検討手順	6-1
6.2	対象ダム貯水池の情報の収集・整理	6-3
6.3	概略判定	6-5
6.4	概略判定で課題ありとなったダムにおける調査体制の整備	6-8
6.5	対象ダムの自己診断	6-9
6.5.1	冷水・温水現象、濁水長期化現象の発生に関する確認	6-10
6.5.2	選択取水設備運用実績の確認	6-16
6.6	総合判定	6-18
6.7	運用管理指標の検討・設定	6-21
6.7.1	運用管理指標を検討する上での考え方	6-21
6.7.2	水温に関する運用管理指標の設定の考え方	6-22
6.7.3	濁水に関する運用管理指標の設定の考え方	6-24
6.8	選択取水設備の運用ルール of 検討	6-25
6.8.1	運用方法を検討する上での考え方	6-25
6.8.2	運用ルール案の検討・設定	6-26

6.8.3 運用ルール案の検討・設定	6-34
6.8.4 運用ルールの提案	6-35
6.9 実証運用	6-36
6.10 運用ルールの見直し	6-37
6.11 管理運用のための調査	6-38
第7章 曝気と選択取水の併用	7-1
7.1 併用する場合の基本的な考え方と留意点	7-1
7.2 出水時の併用における運用規則の事例	7-2

<凡例>



: マニュアル（案）の内容を示す。



: マニュアル（案）の解説の中でポイントとなる部分を示す。

## 第1部 総論

### 第1章 はじめに

#### 1.1 目的

本マニュアル（案）は、ダム貯水池に設置されている、次の二つの水質保全施設の運用に関する考え方を示すものである。

- 1) 富栄養化現象の軽減を目的とする曝気循環施設
- 2) 冷水現象、温水現象及び濁水長期化現象の軽減を目的とする選択取水設備

#### (1) 対象とする水質保全施設

ダム貯水池では、上流から流れ込む濁水や栄養塩類が貯水池内に滞留することなどが要因となり、濁水長期化現象や富栄養化現象などに起因する水質障害が発生することがある。本マニュアル（案）で対象とする、曝気循環施設及び選択取水設備は、これらの現象に対するダム貯水池の水質保全の一手法である。

曝気循環施設は、ダム貯水池内で植物プランクトンが異常増殖することによる富栄養化現象に伴って発生する水質障害の軽減を目的として設置されている水質保全施設である。選択取水設備は、ダム貯水池の放流水に関する冷水現象、温水現象及び濁水長期化現象に伴って発生する水質障害の軽減を目的として設置されている水質保全施設である。

#### (2) マニュアルの考え方と利用上の留意事項

本マニュアル（案）は、管理・運用がすでに行われている既設ダムにおいて、曝気循環施設及び選択取水設備の運用改善のための考え方を示すことを目指して作成したものである。

本マニュアル（案）では、曝気循環施設及び選択取水設備の運用について、比較的先進的なダム貯水池における事例を分析し、参考に挙げることで、既設のダム貯水池において状況を確認し、より効果的に運用を行うための方向性を示すことを目的とした。

また同時に、ダム貯水池が下流河川の水質にどのような変化を起こしているのかに関して、ダム管理者は十分に把握する必要があると考えられる。ダム貯水池の水質の特性や問題点はどこにあるのかを示した上で、ダム管理者が常日頃、水質状況を把握するための水質の監視（モニタリング）方法についてもまとめた。

なお、本マニュアル（案）では、単一のダムによる水質変化を中心に記述している。しかし、水系内に複数のダムが存在する場合も多く見られる。このような河川やダムにおいては、流域全体の水質変化に留意し、本マニュアルを参考にダム管理を行う必要がある。

また、水質保全施設の運用方法を検討し、実際に運用していく上では、データのように数値として現れない“経験的な知識”も重要である。本マニュアル（案）において示している方針は、定量的なデータや数値を基礎に示している。しかし、水質に関する課題は、個々のダム貯水池や河川においてそれぞれに特徴を持っているものである。従って、長年

貯水池や河川を観ることで得られてきた経験的な知見を生かすことを検討の上で心がけていく必要がある。

### (3) 本マニュアル（案）の構成

本マニュアル（案）では、次章以降で以下のような構成で、これらの水質保全施設の運用の参考手法を提供するものとした。

次章（第 2 章）では、本マニュアル（案）で対象とするダム富栄養化現象、冷水現象、温水現象及び濁水長期化現象に関して、ダム管理者として知っておくべき基本的な事柄をまとめた。

第 2 部（第 3 章、第 4 章）では、曝気循環施設の富栄養化現象の対策としての運用に関して、経験的な知見も含めた全国的な事例やデータ分析を元にして、現場で実用的かつ簡便的な指標を用いた運用手法を示した。

第 3 部（第 5 章、第 6 章）では、選択取水設備の運用に関して、既往の事例や知見を参考に、基本的な運用の考え方を示した。

第 2 部、第 3 部のうち、第 4 章及び第 6 章が本マニュアル（案）の特に中心となる、各水質保全施設の運用の考え方を示した章となっている。

## 1.2 対象とする水質保全施設

本マニュアル（案）において、対象とする水質保全施設は、以下の二つである。

- 1) 曝気循環施設：密度（水温）差によって成層化している貯水池において、気泡の浮力により周囲の水塊を連行させ、貯水池内に循環流を発生させることにより、水温成層状況を変化させることができる機能を具備した施設をいう。
- 2) 選択取水設備：密度（水温、濁質）差によって成層化している貯水池において、水深方向に取水する層を選択できる機能を具備した取水設備をいう。

### (1) 曝気循環施設

曝気循環施設には、浅層曝気施設、全層曝気施設、深層曝気施設等がある。

本マニュアル（案）では、これらの曝気循環施設のうち、富栄養化対策として有効である浅層曝気施設を対象とする。

曝気循環施設は、貯水池に循環流を発生させることで、表層から中層にかけて循環混合層を形成させ、植物プランクトンが異常増殖し難い環境を創出し、その環境を維持することを目的としている。具体的には以下のような効果を挙げることができる。

- ・植物プランクトンの活動層（表層）の水温制限効果
- ・循環混合層の拡大による植物プランクトンの光制限効果
- ・循環混合により植物プランクトンの高い表層水の希釈

運用上の配慮事項として、①どのような植物プランクトンの異常増殖を抑制するべきで、そのために貯水池内の水温の成層状況をどのようにするか理解する。②そのために曝気循環施設をどのように操作（運転開始時期・曝気水深）するべきか。③貯水池及び上下流河川の水質状況を把握し、水温などの水質を適切に測定する、などが挙げられる。

なお、曝気循環施設は、藍藻類等の水質障害となる藻類の発生を抑制することは可能であるとされている。また、発生する藻類種を藍藻類から緑藻類や珪藻類に遷移させることも可能とされている。しかし、藻類の発生を全ての場合において抑制できる対策ではないことを留意しておく必要がある。

### (2) 選択取水設備

成層型の貯水池では、成層期に主として水温及び濁りによって密度成層が形成されている。このような水深方向の物理的あるいは化学的な層状の構造は、貯水池内の水質現象を考える上で重要な現象である。例えば、水温成層（密度成層）以外にも、出水時・出水後には流入した濁水と貯水池内の水温成層状況により、濁りの成層化が生じることがある。さらには、植物プランクトンが増殖し表層に集積することや底層が貧酸素化することも、広義には成層現象と考えることができる。

このように水深方向に水質などが変化を持っている貯水池では、取水する層の深さの選択ができれば水量と共に放流水の水質の制御が可能となる。この原理を冷水現象、温水現

象及び濁水長期化現象等の水質現象の対処に応用したものが選択取水設備である。

さらに、上記のようにある水質（水温、濁質等）の層に対する取水を行うことで、放流水の制御のみではなく、貯水池内の成層状態や水質状況を変化させることも可能になる。例えば、ある高さからの取水を継続的に行うことで水温躍層の位置を制御することができる。また濁水層から懸濁物質を排出することや、表層に集積した植物プランクトンを排出することなどで、懸濁物質や植物プランクトンが貯水池内に貯留されることを抑えることなどが、可能である。

選択取水設備の運用上の配慮事項として、①どのような水質を放流すべきか理解する。②貯水池及び上下流河川の水質状況を把握し、水温などの水質を適切に測定する。③現状に併せて適切な水質の水深を選び放流するための操作を行う、などが挙げられる。

### 1.3 対象とする水質現象

本マニュアル（案）における水質保全施設で制御の対象とする主な水質現象は、以下の通りである。

- ・曝気循環施設：富栄養化現象
- ・選択取水設備：冷水現象、温水現象、濁水長期化現象

ダム貯水池の供用に伴い生じうる、ダムの下流河川における水質変化・現象のうち、曝気循環施設による制御の対象とする主な水質現象は富栄養化現象であり、選択取水設備による制御の対象とする主な水質現象は冷水現象、温水現象及び濁水長期化現象である。

ダムに係わって発生する水質現象はいずれも、ダムにおける水の貯留に伴って発生する水質変化である。したがって、これらの水質変化に対して、特にダムの上下流で生じる差を少なくする方向で考えることが、本質的であることを念頭に置く必要がある。

## 第2章 ダム貯水池における水質現象の概要

### 2.1 ダム貯水池の水質現象

ダム貯水池は、治水および利水上、きわめて重要な役割を果している。

一方で、河川水を長期間滞留することによって生じる環境の変化は、河川としての物理的特性に加え水質も、自然河川として流れていたときとは異なった種々の現象を呈することとなる。そのうち環境問題として周囲に影響を及ぼす要因となる水温や水の濁りの変化、あるいは富栄養化といった現象は、いずれも貯水池内に水が長期間滞留することに起因するものである。

したがって貯水池での水の滞留時間が短い場合は、このようなことは問題となりにくい。水温によって密度成層が形成される成層型貯水池では、これらの現象に起因する問題が生じる可能性がある。

#### (1) 富栄養化現象

ダム貯水池において栄養塩類の蓄積が進み栄養塩濃度の比較的高い貯水池に変化することにより、藍藻類等の植物プランクトンの異常増殖が発生し、アオコ等の水面の着色現象や上水の異臭味障害などが発生することで、景観や水利用に著しく障害を及ぼす現象を富栄養化現象という。

#### (2) 冷水現象

水温成層が形成されるダム貯水池では、水温躍層よりも下層の水温がかなり低い（通年で概ね10℃以下）。そのため、下層からの取水が行われた場合には、下部の冷水を放流する現象を冷水現象という。

#### (3) 温水現象

ある程度以上の貯水容量を持つダム貯水池では、春から秋にかけて、水とともに熱量も蓄積することになる。そのため、河川の水温が徐々に低下する秋季以降は、放流水温が流入水温を上回る現象を温水現象という。

#### (4) 濁水長期化現象

滞留時間の長い貯水池では、出水時に流入した濁水が、比較的長期間にわたって滞留する。これが出水後徐々に放流されるため、放流水が長期間濁水化する現象を濁水長期化現象という。

これらの富栄養化現象、冷水現象、温水現象及び濁水長期化現象は、ダム下流における河川の利用形態や環境に影響を及ぼす可能性がある。また、ダム下流で次に挙げるような水利用や水面利用等が行われている場合には、特にこれらの現象が問題となることがあるため注意を要する。

- ・ 富栄養化現象……観光、レクリエーション、漁業、上水、農業、工業用水
- ・ 冷水現象、温水現象……農業、漁業
- ・ 濁水長期化現象……観光、レクリエーション、漁業、上水、農業、工業用水

なお、従来着目されなかった現象に対しても、今後検討が必要となることも考えられるので、情報収集を怠らないよう配慮する必要がある。例えば、放流水温の平滑化という現象が挙げられる。ダムに流入した河川水は貯留され滞留時間が長いため、同じ取水位置で取水していると流入水温に比べ放流水温は平滑化される傾向にある。そのため、放流水温の日周期変動や数日単位での水温変動が、ダムのない場合に比較して小さくなる事が多い。しかし、ダム下流の生物の生息・生育の点からみれば、水温変化の攪乱が小さくなっており、生息環境として何らかの影響が生じる可能性がある。こうした現象について影響が認められる場合には、選択取水の運用の頻度を高くし、放流水深の変化を意図的につけることが必要になる。

## 2.2 富栄養化現象の特性

富栄養化現象とは、流入する河川水の栄養塩濃度が比較的高い貯水池において、藍藻類等の植物プランクトンの異常増殖が発生し、アオコ等の水面の着色現象や上水の異臭味障害などが発生することで、景観や水利用に障害を及ぼす現象である。

### 2.2.1 植物プランクトンと水質障害

#### (1) アオコ（水の華）

水の華（Water bloom）は淡水域において浮遊性の藻類（植物性プランクトン）の異常増殖によって水の色が変化する現象を指した呼称である。このような現象を起こす藻類としては、藍藻類、珪藻類、緑藻類そして原生動物の植物性鞭毛虫類がある。

このうち、藻類が水面付近に集積して緑青色の膜や抹茶を撒いたようになる場合にはアオコと呼ばれる。アオコは夏場を中心に発生する。また、藍藻類の *Microcystis*（ミクロキスティス）、*Aphanizomenon*（アファニゾメノン）、*Anabaena*（アナベナ）などの場合には、アオコや上水の異臭味など、富栄養化現象を発生する要因となることがある。



図 2.2.1 アオコの発生時の状況

## (2) アオコの原因となる植物プランクトン

### 【*Microcystis* (ミクロキスティス)】

主として池水性であるとされるが、自然湖沼や貯水池にもしばしば出現する。自然湖沼では霞ヶ浦、諏訪湖、印旛沼、琵琶湖など、貯水池では相模湖など、富栄養化した湖沼や貯水池などで出現している。このような湖沼では、*Microcystis*が夏期から秋期にかけて著しく繁殖してアオコの原因種となることがある。このような時期には、原水のpH値が9以上に上昇したり、青草臭をつけたりする。また、藻体の浮上性が強い。

*Microcystis aeruginosa*の仲間や*Microcystis viridis*のように動物に対して毒性のあるものがあり、濃厚なアオコを飲んだ牛や馬が死亡した事例が外国で報告されている。

細胞は非常に小さな球形で寒天質の被膜の中に密に集まって群体をつくり、顕微鏡でないと確認できないものから、互いに群体が接合して肉眼でみえる大きさの団塊になるものまである。群体の形は球形、楕円体状、レンズ状などいろいろで老熟したものはところどころ破れて網目状になるものもある。細胞の色は淡～濃青緑色、ときには黄緑色のこともある。また、細胞内に偽空胞があるものは顕微鏡下では赤褐色に見えることもある。

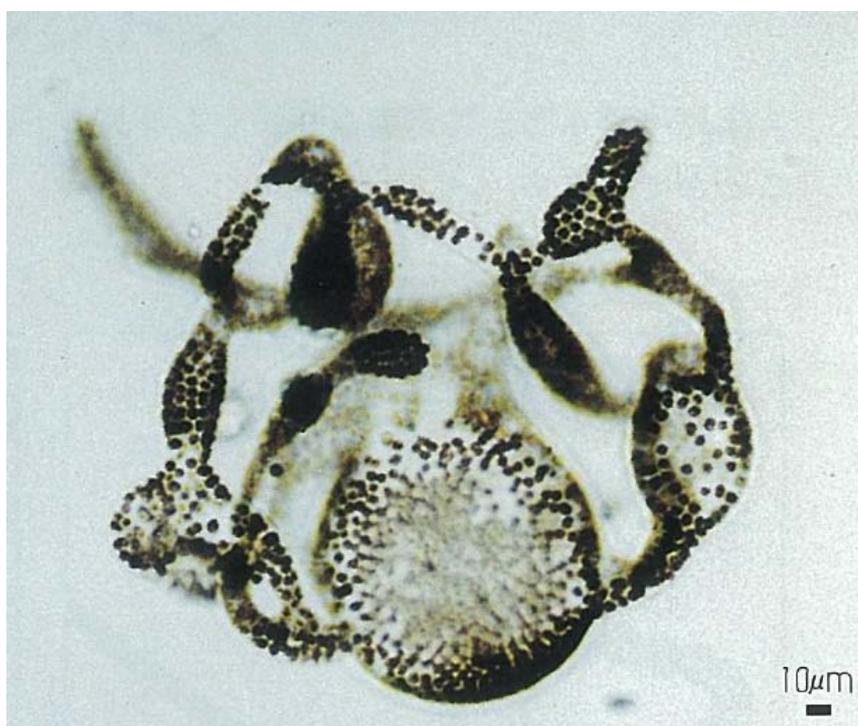


図 2.2.2 *Microcystis* 属の顕微鏡写真

### 【*Anabaena* (アハバナ)】

富栄養化した湖沼、貯水地等で大繁殖して水の華を形成し、水に青草臭をつけることがある。また、大量に死滅した際に水を乳白色にすることがある。アオコを形成する主な種としては、*Anabaena spiroides* var. *crassa* などが知られている。

かび臭の原因となる種類もある。これらは初夏から秋にかけて増殖し、ジェオスミンによる異臭味障害を起こすことがある。カビ臭を産出する主な種としては、*Anabaena macrospora* などがある。

糸状体（下図に示すように細胞が糸状に結合した状態）はまっすぐのもの、半円形に湾曲するもの、螺旋状に巻くものなど様々で、単独又は塊状になって浮遊するものや層状になって他物に付着するものがある。鞘は不明瞭で、多くは粘質化している。糸状体は全体が同じ太さのこともあるし、末端の細胞がやや細くなって、円錐状になることもある。栄養細胞（活動している細胞）の形は球状、樽状、まれには円柱状のものや長さが幅より短くなって円盤状になることもある。異質細胞を形成するが、糸状体の中間にあって通常は球状。休眠孢子は球状、円柱状等と一定せず、単独かときには2個以上が連続して異質細胞から離れて、又は隣接してできる。

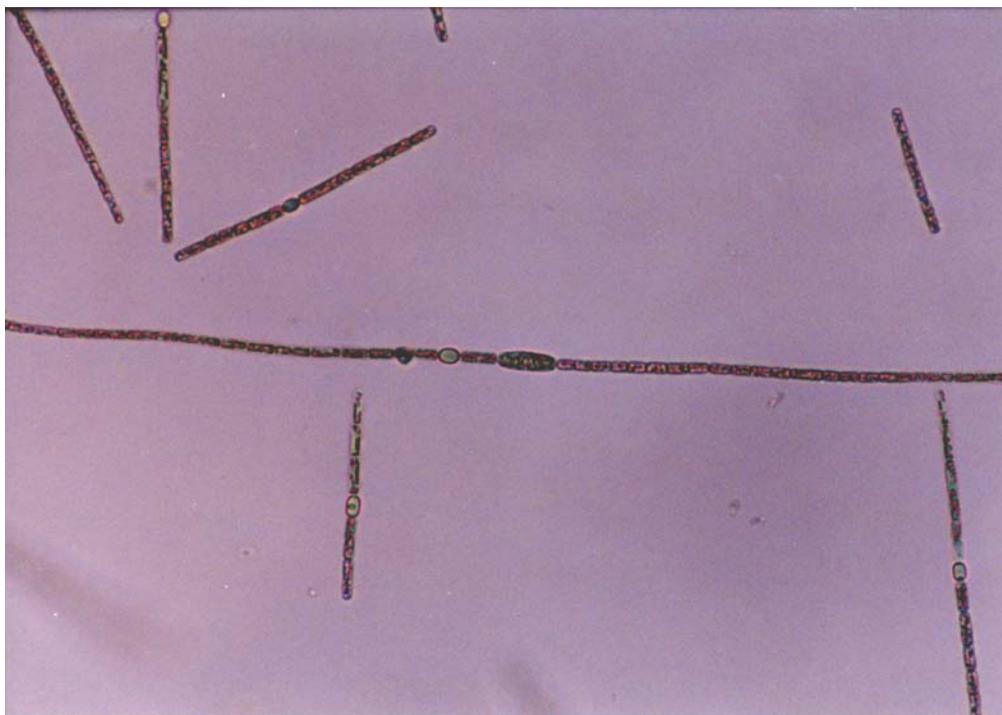


図 2.2.3 *Anabaena* 属の顕微鏡写真

### (3) 上水の異臭味障害

カビ臭の原因物質には、2-MIB（2-メチルイソボルネオール）とジェオスミンがある。ともにメチル基と水酸基を持つ有機物である。

臭いを発生させる生物種には、各種の藻類、植物性鞭毛虫類、菌類などが認められている。これらが発生する臭いは、生体内に含まれている貯蔵物質（主に油性物質）によるものと、特定の属種が死んで分解して生じるものがあると考えられている。

近年、発生することが多いカビ臭は、*Phormidium*（フォルミディウム）、*Anabaena*（アナバエナ）などの藍藻類による 2-MIB と藍藻類（*Anabaena*（アナバエナ）など）や放線菌（*Streptomyces*（ストレプトシス）など）によるジェオスミンがある。

厚生省（現厚生労働省）の発表による異臭味被害者数は昭和 58～60 年度、平均 1,000 万人程度であったが、平成 2 年度には 2,000 万人を越えており、わずか数年で被害者数は倍増している。また、そのうちの半数以上が琵琶湖を水源とする近畿地方における被害だと発表されている。

この臭気物質は、急速ろ過による浄水方法では除去できない。そのため、これらの臭いの原因物質が水道原水に混入すると、処理過程に活性炭による吸着処理を加えて除去することになる。しかし、臭気物質の濃度が高くなりすぎると、活性炭でも処理できなくなることがある。

現在、水道では粒状あるいは粉末状の活性炭やオゾンによる高度浄水処理が行われているほか、バイオテクノロジーを用いた脱臭技術等の研究・技術開発も進められている。

### (4) カビ臭発生の原因となる植物プランクトン

#### 【*Phormidium*（フォルミディウム）】

糸状体は多数集まって粘質被膜状の群体をつくり、基質に着生するが、しばしば単独又は群体で浮遊することがある。糸状体は先端が少し細くなるほかはほぼ同じ太さの円盤状が円筒状で、先端の細胞は先の丸い円錐状か帽状にふくれている。鞘は薄く、粘質化している。色は青緑色から暗青緑色を呈する。

カビ臭を生産する主な種としては、*Phormidium tenue* などが知られている。

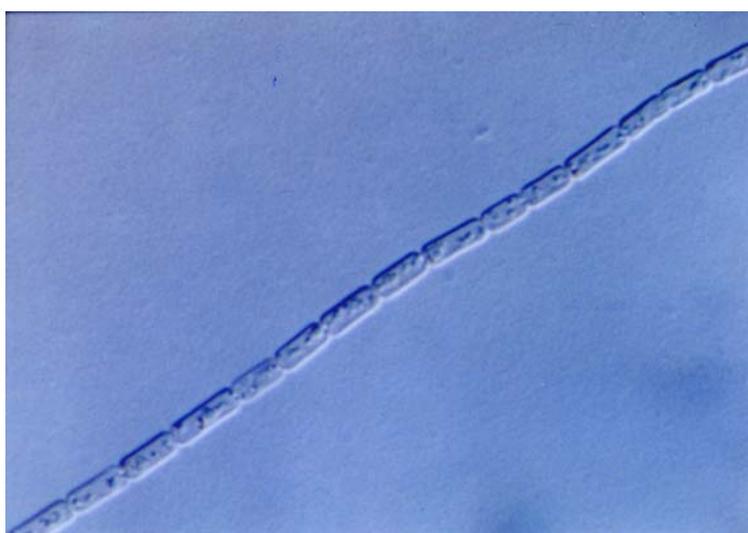


図 2.2.4 *Phormidium* の顕微鏡写真

## 2.2.2 植物プランクトンの増殖に影響を与える貯水池内の環境条件

貯水池において、植物プランクトンの増殖に影響を与える環境の主な要因に、  
物理的要因：日射、水温成層条件、水の滞留  
水質的要因：栄養塩、水温  
生態学的要因：植物プランクトン同士、あるいは他の生物（動物プランクトン、  
魚類など）との競合関係  
などが挙げられる。

### (1) 貯水池の環境特性

#### ① 貯水池の水理学的特性

貯水池の水理学特性が植物プランクトンの増殖に影響を与えている。

- ・形状が複雑で各種流入水源からの水が集まる場であり、閉鎖性の水域である。
- ・水が一定時間滞留する。
- ・水深が比較的深い。
- ・流れが遅い。
- ・夏季に水温躍層が生じた場合は上下層の混合が生じにくくなる。

#### ② 貯水池の水質変化

貯水池の水質は、水理学的特性による影響を強く受け、次のようにまとめられる。

- ・有機性懸濁物質の沈降、底質からの栄養塩類の溶出などによって、水質は平面的にも鉛直方向にも変化する。
- ・湖水に含まれる栄養塩類と光合成によって、内部生産（一次生産および二次生産）が生じる。
- ・とくに夏季に水温躍層が生じた場合、栄養塩類を多く含む貯水池では上下層で水質が著しく異なる現象が生じる。

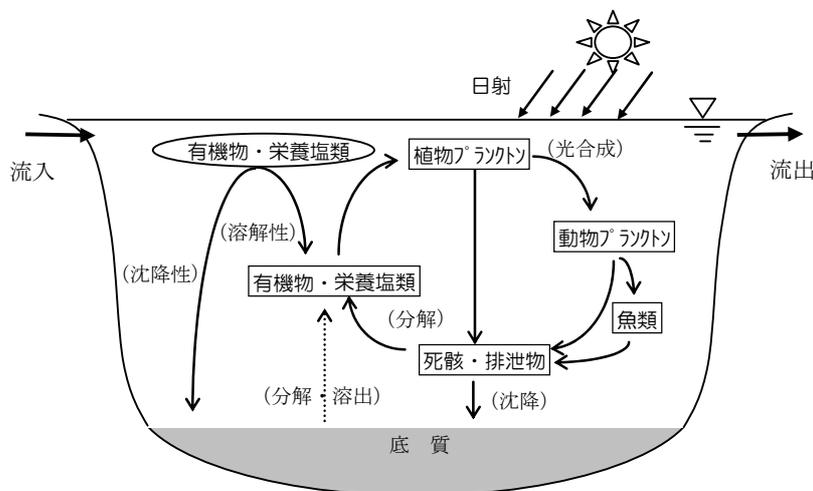


図 2.2.5 貯水池の水質特性概念図

栄養塩類濃度がある程度高い貯水池では、水の滞留時間が 5 日間程度以上になると植物プランクトンの増殖が顕著になり、それに伴う水質変化が目立つようになるといわれている。

また、ある特定の藍藻類や植物性鞭毛虫類などの異常増殖が起こると、水面の着色現象を呈することになる。

そして、光の届く表層では、光合成によって一次生産が行われる。光合成は炭酸同化作用によって、水中の二酸化炭素と栄養塩類から有機物（藻類細胞）と酸素を生産する。このため、表層では溶存酸素が過飽和になったり、二酸化炭素が消費されて pH が高くなったりする。逆に夜間は、藻類の呼吸によって、表層の溶存酸素が低くなることもある。

## (2) 植物プランクトン増殖の環境要因

### ① 日射

植物プランクトンの成長は、有機物の合成反応である光合成が分解反応である呼吸を上回る状態ではじめて維持される。このためには十分な光が必要である。水域では水深が増すにつれて光が減少していくため、光が弱くなって植物プランクトンの光合成による酸素の放出と呼吸による酸素消費とがちょうど等しくなる深度があり、これを「補償深度」という。

植物プランクトンの補償深度は表面光を 100%とした場合の相対照度が 1%になる深さとほぼ一致する。この深度は、貧栄養湖で 20~30m、中栄養湖で 10~20m、富栄養湖で 10m以下に相当する。この補償深度以浅の、光が十分にある層を「有光層」、それ以深を「無光層」と呼んでいる。

このように、水中照度は水深によって低下し、植物プランクトンは光が十分な場所で増殖し、光の減少につれて漸減するが、強光下ではむしろ光合成が低下することがある。こうした現象を「強光阻害」と呼んでいる。

### ② 滞留時間

植物プランクトンの増殖は貯水池内の滞留時間に深く関係している。滞留時間が短ければ、湖内流速が早く、貯水池内で植物プランクトンが十分に増殖する前に流出してしまうため、異常な増殖は起こりにくい。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。

レイノルズ（1984）の調べでは、植物プランクトンが 2 倍に増殖するのに 0.5~3 日かかり、畑（1987）によると、永瀬ダムにおける *Peridinium* の細胞は 0.5~5.8 日で 2 倍になっている。

### ③ 水温

藻類の光合成による細胞増殖の速度は一般に水温の上昇とともに高くなるが、ある限界を超すとかえって低下することが知られている。

図 2.2.6 は珪藻類及び藍藻類の光合成を酸素発生速度として表したものと水温との関係である。これは一種の最適曲線を示しており、光合成の適温は、珪藻類に比べて藍藻類のほうが高くなっている。

このように、藻類の増殖にはその種類に適した水温が必要となる。

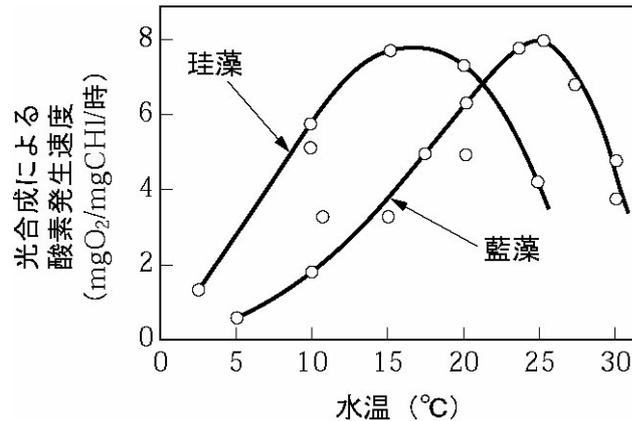


図 2.2.6 珪藻及び藍藻の光合成—水温曲線 (Ichimura, 1958 より)

### ④ 栄養塩

貯水池の富栄養化現象では、貯水池内の栄養塩濃度が問題となる。

富栄養化の目安としては窒素 ; 0.15~0.6mg/L、リン ; 0.01~0.035mg/L 程度であるとされることが多い。

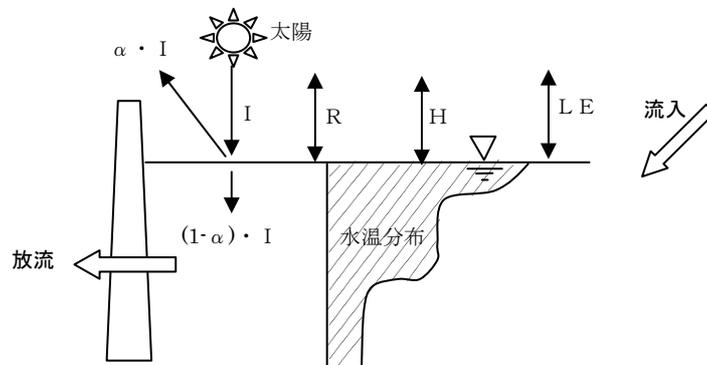
植物プランクトンの異常発生は水理・地形的要因等が生物現象と複雑に関係して発生するため、栄養塩類が増加し、栄養塩濃度が高くなっても植物プランクトンの異常発生を伴う富栄養化現象が発生しないこともあり、逆に栄養塩濃度が比較的低くても、植物プランクトンの異常発生現象が生じることもある。

## 2.3 貯水池における水温特性

鉛直方向に水温差が安定的に形成されることを**水温成層**という。水温成層の形成が、貯水池における様々な水質現象に対する要因となっている。特に大きく関与する現象として、冷水現象、温水現象及び濁水長期化現象がある。また、植物プランクトンの増殖（富栄養化現象）についても影響を及ぼす。

### (1) 貯水池の水温変化

貯水池では、水面に照射された太陽光線のうち、長波長の赤外線は水の極表面で吸収され、水表面を温める。また、大気からの熱伝導によっても温められる。一方、熱の消失は水面での蒸発や赤外放射、大気への熱輸送によって起こる。さらには、河川水の流入や放流に伴う熱の授受や流動も水温構造に影響を及ぼす。



$I$  ; 日射、 $\alpha$  ; 反射率、 $R$  ; 長波放射（水面及び大気間の放射収支；影響要因：水温、気温、雲量）、 $L E$  ; 潜熱（水面における水蒸気量と大気中の水蒸気量の差によって生ずる熱の交換量；影響要因：湿度、風速、水温）、 $H$  ; 顕熱（気温、水温差による熱交換量；影響要因：気温、水温、風速）

図 2.3.1 水面における熱交換

### (2) 水温躍層

成層型貯水池では、貯水池内の水の流れに加え、水面の熱交換や風などの気象要因により、水温成層が形成される。また、表水層と深水層間の水温が大きく変化する層を**水温躍層**と称する。

春から夏にかけて、太陽放射が強くなると水表面より水温が上昇する。表層の暖かい水は密度が小さいため、表層に留まり続けるが、風や夜間の冷却による鉛直混合によって次第にある程度の厚さをもった暖かい水の層「表水層」が形成される。表水層の下には「変水層」、「深水層」と呼ばれる水温の低い水の層が存在する。表水層と深水層間の水温が大きく変化する層を「水温躍層」と呼ぶこともある。

このように水面の熱交換や風などの気象要因によって形成される躍層を「一次躍層」という。貯水池においては取水口や放水口の位置によっては「二次躍層」が形成され

ることがある。

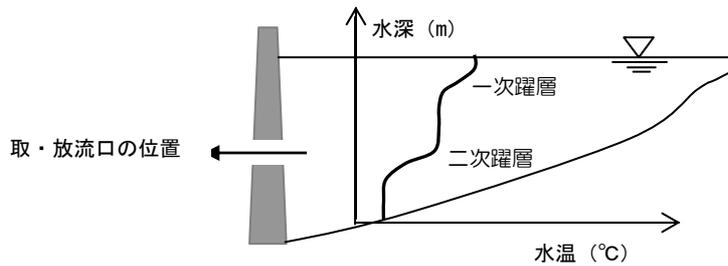


図 2.3.2 貯水池における一次躍層及び二次躍層の概念図

躍層は密度が急変する層であり、水温差以外に塩分濃度差や濁度差などによっても形成される。密度勾配が大きく、明瞭な躍層は面的に生じる場合には、躍層界面（もしくは密度界面）と呼ばれる。

### (3) 貯水池の水温の年変化

#### 【成層期】

水温躍層が形成されて成層状態になる時期を「成層期」または「停滞期」という。主に、春季から夏季にかけて成層が形成される。成層期は表水層と深水層との混合が起こりにくいため、深さ方向の水質も水温躍層を境として大きく変化する。

#### 【循環期】

秋になり太陽輻射が弱まると、水表面の冷却が卓越するようになり、表水層は水温を低下させながらさらに拡大し、成層が徐々にくずれて、最終的に鉛直方向に一律な水温となる。この時期を「循環期」と呼び、この状態は通常は翌年春、再び成層が始まるまで続く。

また、水の密度は 4°C で最大となるため、冬季の表面水温が 4°C 以下となる貯水池では、表水層が 4°C 以下、深水層が 4°C という水温の逆転が起こり、冬季でも弱い水温成層が形成されることがある。

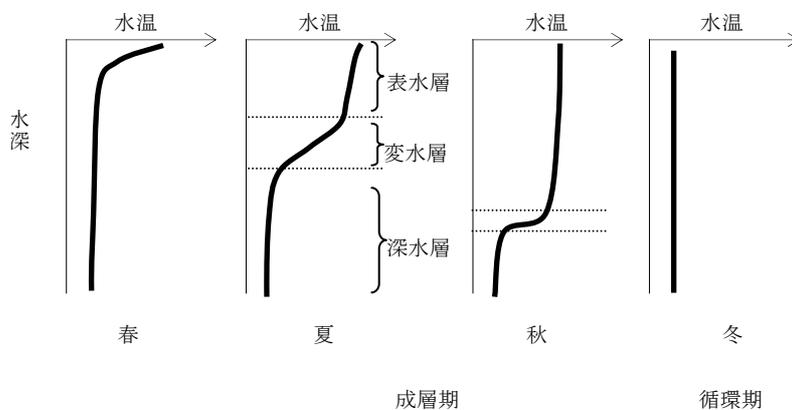


図 2.3.3 一般的な貯水池の水温鉛直分布（概念図）

#### (4) 貯水池の成層型

ダム貯水池は、水温成層の形成状況に関して**成層型**、**混合型**及び両者の中間的な**中間型**のように分類することができる。

混合型のダム貯水池では、湖水の平均滞留時間が短く、湖内流速が大きく、成層型のダム貯水池は平均滞留時間が長く、湖内流速が極めて小さい貯水池である。前者は河川に、後者は湖沼に近い性格を有している。

混合型貯水池では、貯水容量が流入量に比べて相対的に小さく、夏季においても水温躍層が形成されることはなく、一般に湖底に至るまで酸素が豊富となる。

成層型貯水池では、夏季に水温躍層が形成される場合が多く、表面水温が高く、深層水温が低くなるため、両者の水は、大きな出水で全体が混合される以外は、夏季には混ざりにくくなる。

水温成層が形成されるか否かは、水理、水文指標によって表 2.3.1 のように分類される。

表 2.3.1 水理・水文指標による貯水池の分類

判定 \ 指標	$F_D$ 値	$\alpha$ 値	$\alpha_7$ 値
成層型	0.01 以下	10 以下	1 以下
成層型 (成層 II 型) または中間型	0.01~0.03	10~20 (例外あり)	1~5 (例外あり)
混合型	0.03 以上	20 以上 (例外あり)	5 以上 (例外あり)

$\alpha$  は年間流入量 ( $Q_0$ ) と総貯水容量 ( $V_0$ ) との比 ( $=Q_0/V_0$ )、 $\alpha_7$  は夏期 (7 月) の流入量 ( $Q_7$ ) と総貯水容量 ( $V_0$ ) の比 ( $=Q_7/V_0$ ) を表す。また、平均的内部フルード数 ( $F_D$ ) は、次式で表される。

$$F_D = \frac{LQ}{HV_0} \sqrt{(\rho_0/g)/(-\frac{d\rho}{dz})} = \frac{V}{\sqrt{gH}} \sqrt{(\rho_0/H)/(-\frac{d\rho}{dz})}$$

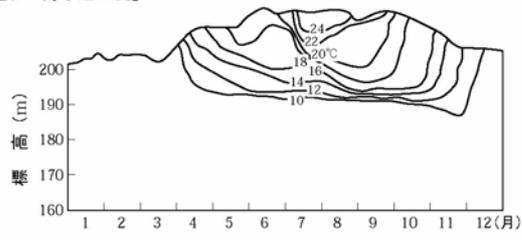
$L$ ; ダム貯水池延長 (m),       $Q$ ; 平均流入量 ( $m^3$ ),       $H$ ; ダム貯水池平均水深 (m),

$V_0$ ; 総貯水容量 ( $m^3$ ),       $V$ ; ダム貯水池内平均流速 (m/s),       $g$ ; 重力加速度 ( $m^2/s$ ),

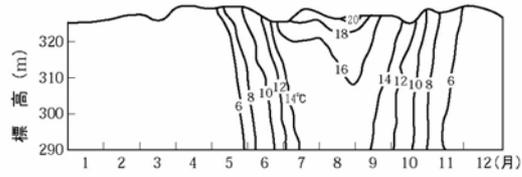
$\rho_0$ ; 基準密度 ( $kg/m^3$ ),       $(-\frac{d\rho}{dz})$ ; 平均密度勾配 ( $lg/m^4$ ).

3 種類のダム貯水池の水温変化を図 2.3.4 に示す。

【成層型ダム貯水池の例】



【中間型ダム貯水池の例】



【混合型ダム貯水池の例】

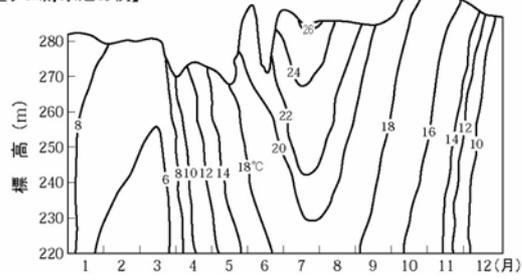


図 2. 3. 4 貯水池における深さ方向の水温分布の年間変動（等水温線図）

## 2.4 濁水長期化現象の特性

出水で生じた濁水が、貯水池内に流入し貯留されることで、出水後徐々に放流される。このため、ダムの下流河川において水の濁りが長引く現象が起きる。これを濁水長期化現象という。

### (1) 濁水の発生要因

貯水池の流域における濁水の発生は、雨水により土壌が浸食されることに端を発すると言える。したがって濁水の発生要因として、まず流域における濁質の発生状況を考慮すべきである。

濁水の生じた貯水池の流域では、山腹の崩壊、流域の荒廃などが見られることが多い。このような場所が、出水時における濁水の発生要因となっていると考えられる。また川砂利、碎石などの採取による影響、土壌に火山灰などの流出しやすいものが多く含まれていること、貯水池の上流端に堆積された細かい土砂が水位低下に伴って貯水池内に流入することなどが、濁水発生の原因となることもある。

### (2) 濁水長期化現象とは

ダムのない河川でも、出水になると濁水は発生するが、出水が終わると速やか（我が国では概ね数日以内）に元の状態に戻るのが一般的である。

しかし、貯水池に出水で生じた濁水が流入すると、濁水は貯水池内に貯留され、出水後徐々に放流される。このため、ダムの下流河川において水の濁りが長期化する現象が起きる。これを濁水長期化現象という。図 2.4.1 に、貯水池の下流における濁りの時間的な変化を模式的に示す。矢印で示した部分が、濁りが長期化している時である。このように貯水池がある場合は、濁りのピークは低下するものの、比較的低い濁りが継続することがある。

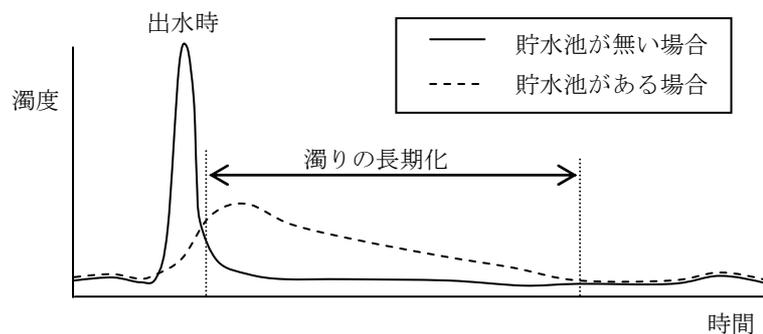


図 2.4.1 出水時の濁りの時間変化（貯水池のあり、無しの比較）

### (3) 濁水長期化現象の原理

回転率は、貯水池内の成層化に影響するとともに、出水後に濁水が排出される効率にも影響する。そのため、回転率が高いために滞留時間が短い混合型のダム貯水池では、貯留水の交換が比較的速やかに行われるため、濁水長期化現象は顕在化しにくい傾向にある。

これに対して、回転率が小さい成層型のダム貯水池では、出水頻度の高い夏期に強い水温躍層が形成されている。水温躍層が出水の流入などによって、どのような変動を示すかが、成層型の貯水池における濁水の挙動を大きく左右する。また成層型の貯水池では、年間の平均回転率の他に、出水時の総流入量と貯水池容量の比として算出される“出水時の回転率”からも、濁水の挙動を考察することが出来る。

回転率の他に重要な要素として、濁りの原因となる濁質（出水時に流入する細かい土砂などの懸濁物質）が水中を沈んでいく速度である沈降速度も挙げられる。沈降速度に影響する要因として、第一に粒子の大きさ、すなわち粒度組成がある。また、濁質の形状（薄片状のものだと沈降が遅い）や電気化学的な性質（濁質同士が電氣的に反発しあう・結合しやすい）なども関与していると考えられている。

また、濁水長期化の原因となる濁質は、非常に細かいものであることから、貯水池内における水の流れが示す乱れた挙動（乱流）やブラウン運動によって沈降が妨げられることも、大きく影響しているのではないかと考えられている。

### (4) 濁水長期化現象と出水規模

濁水長期化現象の発現は、**出水の規模**（貯水容量と出水時の流入水量の比）により異なる。

濁水濃度、水温によって水の密度が変化するので、成層状態、水位、取水量、流入量などと関連して、複雑な密度流現象を反映して貯水池内の濁度分布も変化する。

すなわち、ダム貯水池の上流河川からの濁水は、ダム貯水池内に流入すると急に流速を減じ、濁水の密度と同じ密度を持つ貯水池内の層（高さ）へ、密度流として浸入していく。

出水によって貯水池に流入した微細な懸濁粒子は、流れにより沈降が阻害され、出水規模に応じた濁水挙動を呈する。

以下、図 2.4.2 に示した成層型ダム貯水池における出水規模に応じた濁水の挙動について説明する。

#### 小規模出水の場合

小規模出水では、濁水は層状の塊となって貯水池内で生じた水温躍層の上（中層部）を流下する。そして、取水口に到達後して放流される。このような流れ方をするのは、貯水池に流入した濁水の密度が、貯水池内の水温躍層上での密度と一致することが多いことに起因する。

### 中規模出水の場合

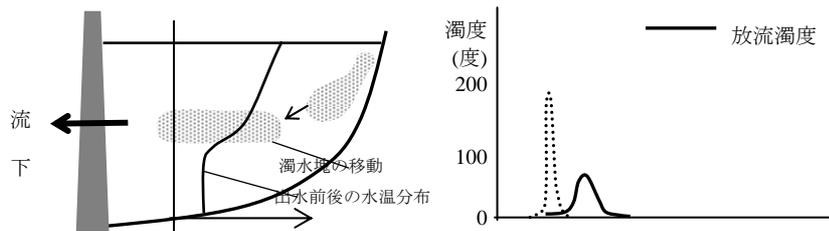
中規模出水では、出水の流入により貯水池内の水が攪拌・混合が起こるため、貯水池の水温度分布も図中の点線で示したように、ある程度変化する。中規模出水の濁水の密度は一般に底層のそれよりも小さいため、水温躍層上での濁水の層状の塊が流入し、水温躍層よりも浅い部分で層状に濁水化する。出水後は、清水の流入と濁質の沈降により、貯水池から流下する水の濁度は徐々に低下する。

### 大規模出水の場合

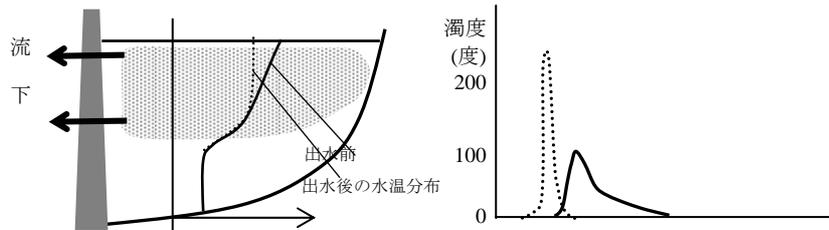
大規模出水では、貯水池水は全面的に濁水化し、図 2.4.2 の下図中の点線で示したように水温成層も消滅してしまう。これは出水時の貯水池内の水の混合が強く行われること、また、流入水が高濁度のため、流入水の密度が底層のそれよりも高くなることなどが、理由である。このように、大規模な出水では、貯水池内の全層の水が混合されてしまう。

秋口に起こる大規模出水では、特に濁水化しやすいので注意が必要である。これは、季節的に成層が消滅する時期（循環期）に移りつつあることが影響している。懸濁粒子が十分沈降し終えないうちに大循環が生ずるような場合には、流下する水の濁水期間が翌春まで続くこともある。

#### 【小規模の出水】



#### 【中規模の出水】



#### 【大規模の出水】

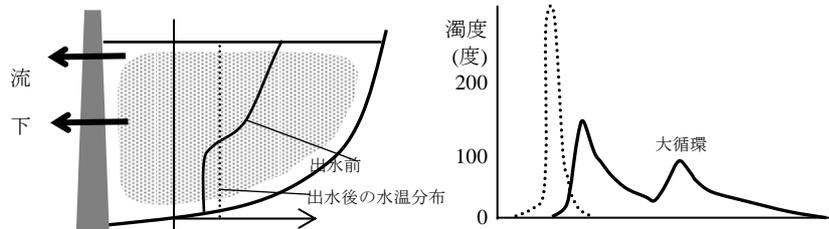


図 2.4.2 成層型ダム貯水池における出水規模と濁水現象の概念図

## 2.5 ダムの水質変化に起因する影響の発生状況

平成 14 年度に国土交通省で開催された「ダム事業のプログラム評価に関する検討委員会」において、全国のダム管理所（直轄、水資源機構、補助ダム）を対象にアンケート調査が実施された。この結果を基に対象となった全 423 ダムについて整理を行うとともに、富栄養化現象、濁水現象及び冷水現象の発生状況について取りまとめた。

### ○全 423 ダム

直轄及び水資源機構に加え、補助ダムも含めた全 423 ダムのアンケートでは、ダムの存在による影響のあるダムは、表 2.5.1 のとおりの回答があった。富栄養化現象が 24.6%、濁水現象が 15.4%、冷水現象が 7.6%となっている。

表 2.5.1 ダムの存在による影響（全 423 ダム）

	有り	なし	無回答
富栄養化現象	104 (24.6%)	319 (75.4%)	0 (0.0%)
濁水現象	65 (15.4%)	357 (84.4%)	1 (0.2%)
冷水現象	32 (7.6%)	390 (92.2%)	1 (0.2%)

### ○直轄及び水資源機構のダム

上記の結果から、直轄及び水資源機構の 93 ダムを抽出して整理を行った。ダムの存在による影響のあるダムは、表 2.5.2 のとおりであり、富栄養化現象が 33.3%、濁水現象が 34.4%、冷水現象が 18.3%となっており、全ダムに比べて高くなっている。直轄及び水資源機構のダムの方が、平均的に規模が大きいため影響が生じやすいことや、水質等の調査をより多く行っているために、影響が認識されやすいことなどのため、に全ダムより比率が高い結果になったと推察される。

表 2.5.2 ダムの存在による影響（直轄及び水資源機構 93 ダム）

	有り	なし	無回答
富栄養化現象	31 (33.3%)	62 (66.7%)	0 (0.0%)
濁水現象	32 (34.4%)	61 (65.6%)	0 (0.0%)
冷水現象	17 (18.3%)	76 (81.7%)	0 (0.0%)

## 2.6 水質現象による影響

上記のアンケート結果を元にダム富栄養化現象、濁水現象及び冷水現象による影響を以下に示す。(図 2.6.1～図 2.6.2 を参照)

### ○全 423 ダム

富栄養化現象では、貯水池内の景観障害が 71 ダムと最も多く、次いで下流河川等での異臭味障害が 38 ダム、貯水池内での異臭障害が 31 ダムとなっている。

濁水現象では、魚類への影響が 37 ダムと最も多く、次いで景観障害が 18 ダムとなっている。

冷水現象では、魚類への影響が 22 ダムと最も多く、次いで水稻生育障害が 13 ダムとなっている。

指摘者の種類は、富栄養化現象については水道事業者、住民ともに 46 ダムと多く、濁水現象及び冷水現象については、漁業協同組合が最も多くなっている。

### ○直轄及び水資源機構のダム

富栄養化現象では、貯水池内での景観障害が 24 ダムと最も多く、次いで下流河川等での異臭味障害が 12 ダム、貯水池内での異臭障害が 11 ダムとなっている。

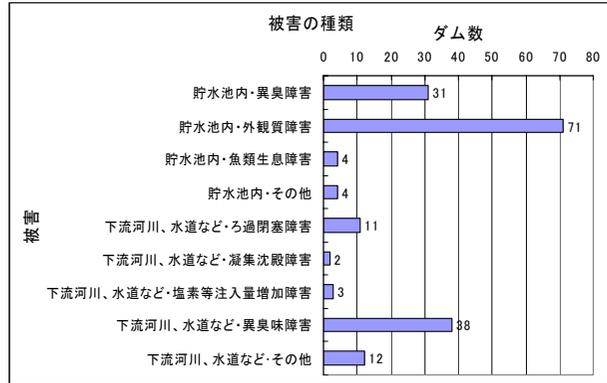
濁水現象では、魚類への影響が 20 ダムと最も多く、次いで景観障害及びその他で各 9 ダムとなっている。

冷水現象では、魚類への影響が 15 ダムと最も多く、次いで水稻生育障害が 6 ダムとなっている。

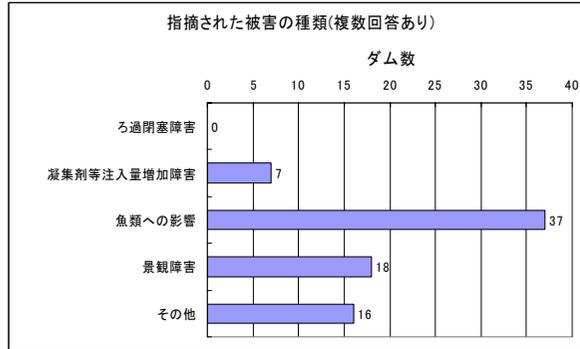
指摘者の種類は、富栄養化現象については水道事業者が 15 ダム、住民が 14 ダムと多く、濁水現象及び冷水現象については、漁業協同組合が最も多くなっている。

なお、被害項目のその他の記述においては、ダムの影響であろうとの指摘を受け、その後の調査等により、ダムの影響とは考え難い場合もあるが、ここでは、影響として取り扱った。

富栄養化現象（被害有り 104 ダム）



濁水現象（被害有り 65 ダム）



冷水現象（被害有り 32 ダム）

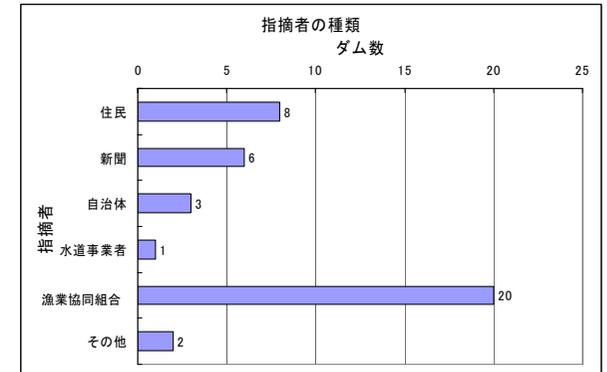
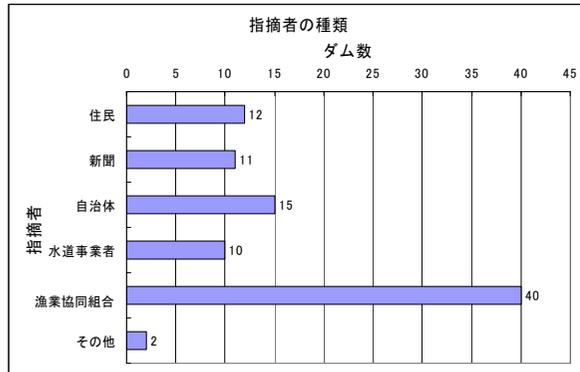
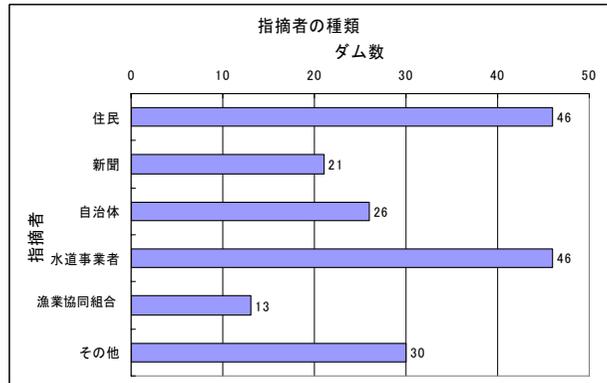
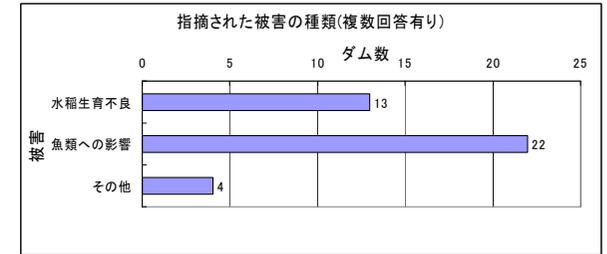
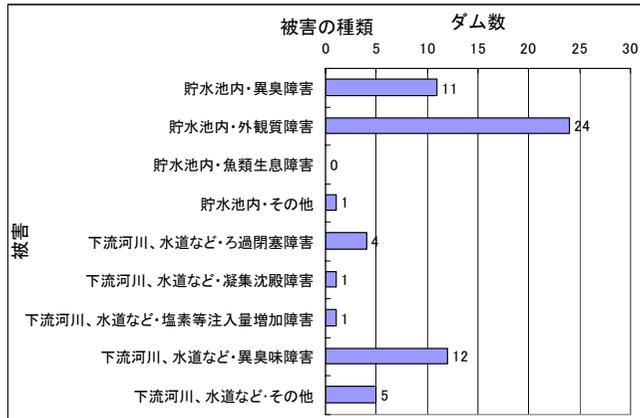
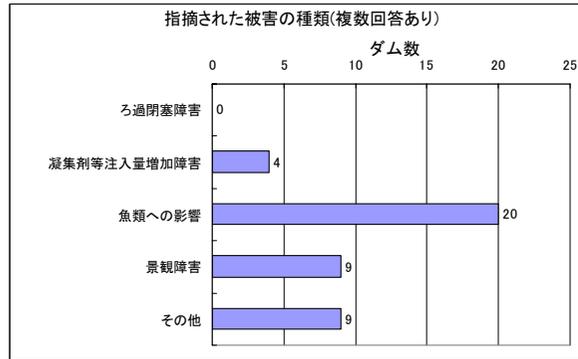


図 2.6.1 ダムの影響が起因すると指摘される影響項目と指摘者（複数回答）（全 423 ダム）

富栄養化現象（被害有り 31 ダム）



濁水現象（被害有り 32 ダム）



冷水現象（被害有り 17 ダム）

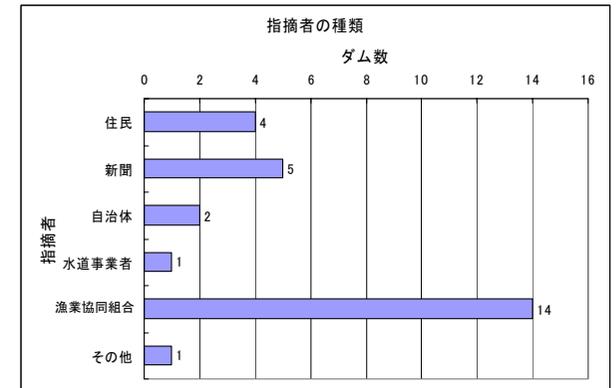
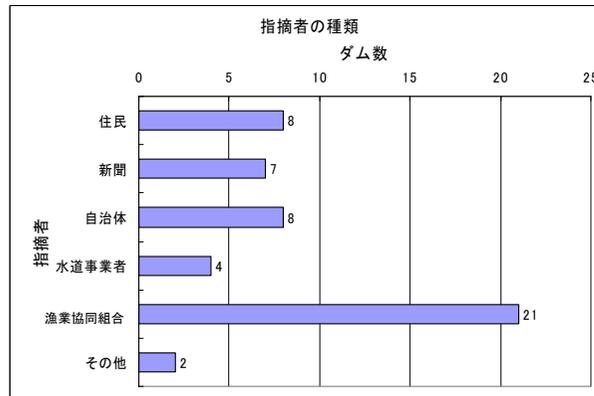
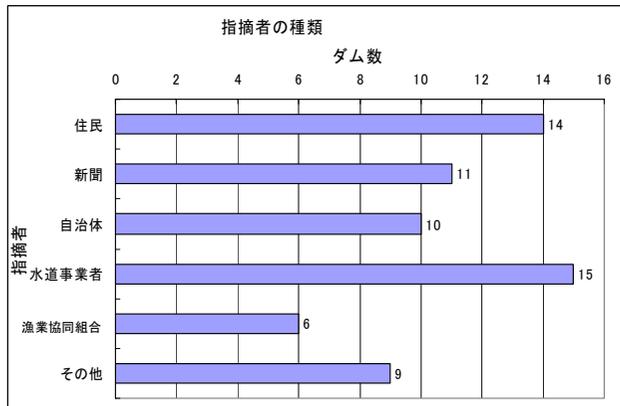
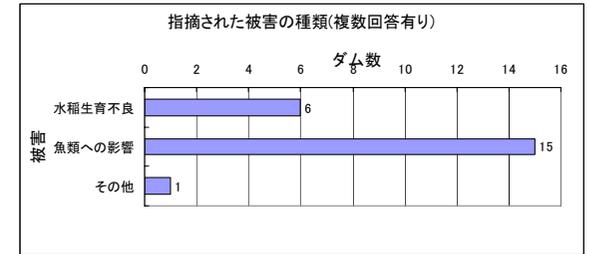


図 2.6.2 ダムの影響が起因すると指摘される影響項目と指摘者（複数回答）（直轄及び水資源機構 93 ダム）

## 第2部 曝気循環施設編

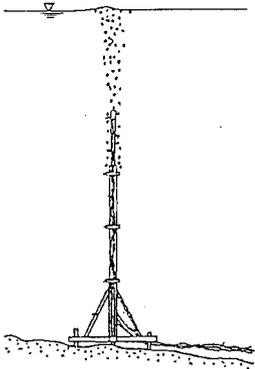
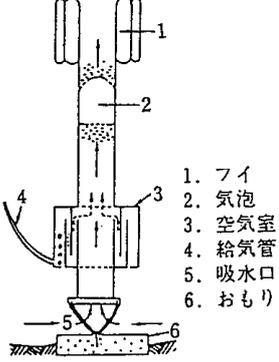
### 第3章 曝気循環施設の概要

#### 3.1 曝気循環施設の構造

##### 3.1.1 曝気循環施設の形式

曝気循環施設には、表 3.1.1 に示すように「散気方式」「空気揚水筒方式」などがある。近年では、曝気循環のエネルギー効率の高さから散気方式の設置事例が多い。

表 3.1.1 曝気循環施設の形式

散気方式	空気揚水筒方式
<p>地上のコンプレッサーより送風された空気を、水中に設置された散気口から吐出させ、気泡の浮力により、上昇流を生じさせ、貯水池内を循環混合させる。</p> <p>循環混合の能力（エネルギー効率）は他の方式よりも高い。</p>	<p>地上のコンプレッサーより送風された空気を、揚水筒の下部の空気室に貯め、間欠的に気泡塊（気泡弾）を揚水筒から吐出させ、揚水筒内の水を押し上げるとともに底層の水を筒内に吸入する。気泡弾の浮力により、上昇流を生じさせ、貯水池内を循環混合させる。</p>
	

また、散気方式の曝気循環施設は、設置方式により、「湖底設置式」及び「水面設置式」の2種類に分けられる。

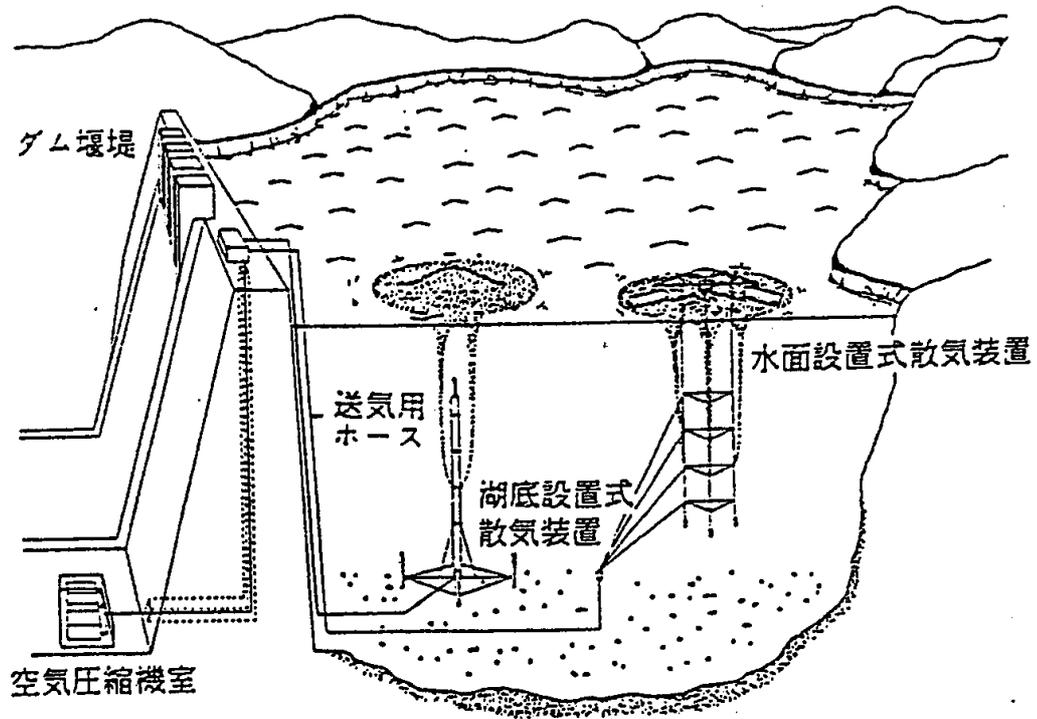


図 3.1.1 曝気循環施設の設置方式の例（湖底設置式・水面設置式）

### 3.1.2 曝気循環施設の構成

#### (1) 湖底設置式の曝気循環施設

図 3.1.2 に示す湖底設置式の曝気循環施設については、貯水池の底部に曝気循環施設本体を支持部材によって固定的に設置し、地上に設置したコンプレッサーから送気パイプ、切替弁、送気パイプを介して、曝気循環施設本体に取り付けられている散気口に送気して水中に散気する。散気標高を変更する場合には、散気口の位置を変更することなく、地上において切替弁を操作して所望位置にある散気口に連結されている送気パイプに送気して、散気口から散気させることが可能な構造である。

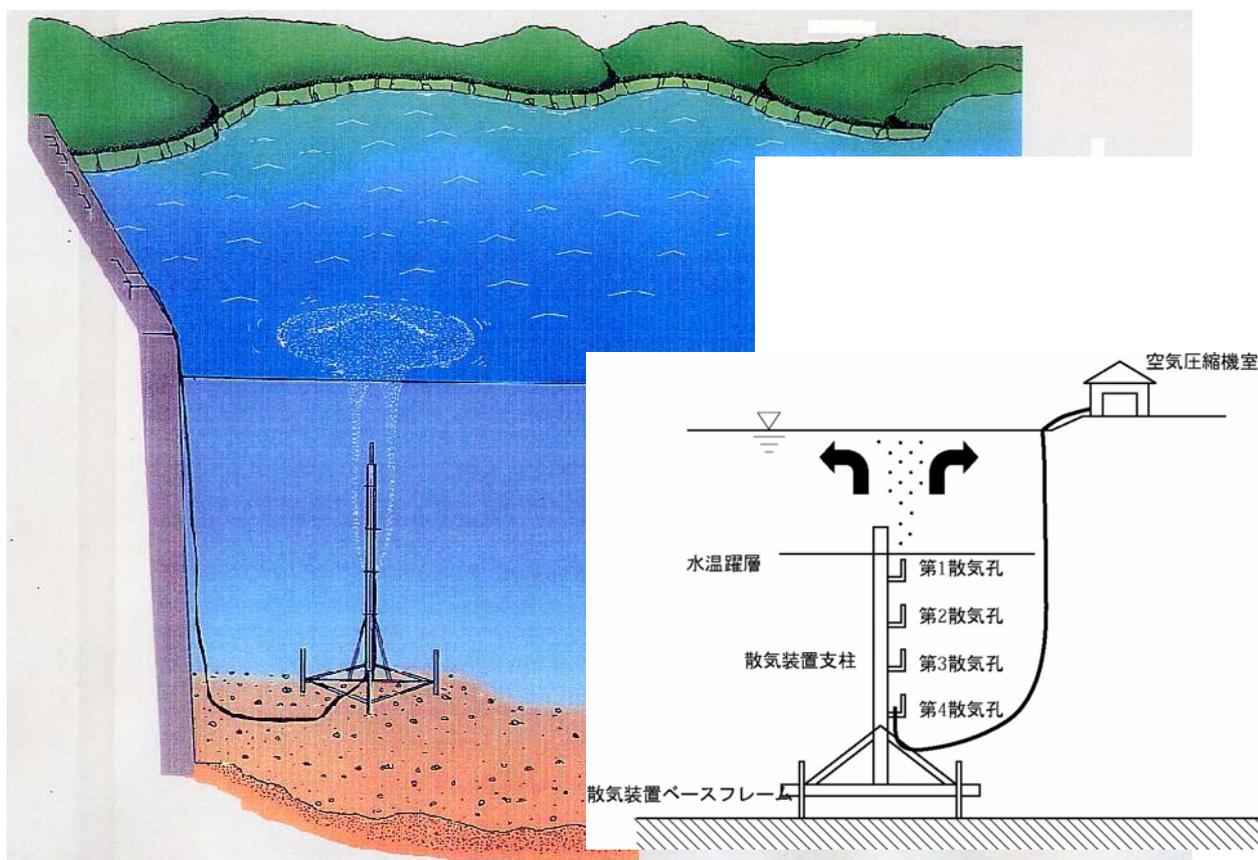


図 3.1.2 湖底設置式の曝気循環施設の構成要素 (例)

## (2) 湖面設置式の曝気循環施設

図 3.1.3 に示す湖面設置式の曝気循環施設については、貯水池の水面に浮力によって浮上している支持部材によって曝気循環施設本体をつり下げ、地上に設置したコンプレッサーから送気パイプ、切替弁、送気パイプを介して、曝気循環施設本体に取り付けられている散気口に送気して水中に散気する。

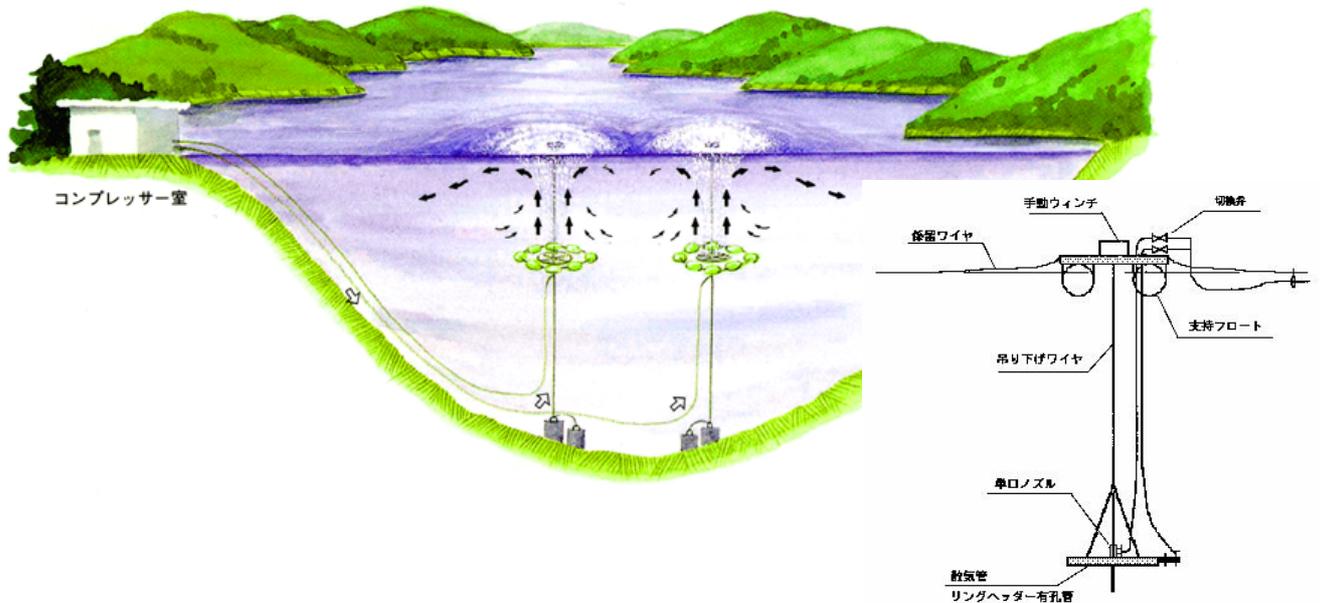


図 3.1.3 湖面設置式の曝気循環施設の構成要素（例）

## 3.2 曝気循環施設の水質保全施設としての機能

### 3.2.1 貯水池の流動を制御する機能

曝気循環施設は、貯水池内で曝気により循環流を発生させ、水温成層状況を変化させることにある。曝気循環施設の曝気による流動を変化させる機能について、以下に示す。

#### (1) 基本的な流動パターン

図 3.1.4 に曝気循環施設による貯水池内の流動状況を示す。

曝気循環施設による基本的な流動パターンは以下のとおりである。

- 曝気循環装置から放出された空気は周りの水を巻き込む。空気の周りの水は底層の水温の低い水なので、重い水を持ち上げる(内側(上昇)プルームの形成)。
- 空気に巻き込まれた水塊は水面にぶつかり、空気は大気に抜ける。水面に衝突した水は勢いがあり横に広がる。この横に広がる水の重さは、下層で巻き込んだ水であるため、それに近い重さとなる。
- 一方、この周辺の水の重さは上層の水で重さが軽い。すなわち、軽い水の中に重い水が下から盛り上がっているため、あるところまでは広がるが、それ以上は広がれず急激に落下する。(外側(下降)プルームの形成)
- 急激に落下した後、同じ密度の層のところで横に広がっていく(イントリュージョンの形成)。曝気循環で水面に大きな輪は基本的には下の方で巻き込まれてきていた水である。
- ただし、下層だけから水が巻き込まれているわけではなく、沈み込むときにも周りの水を巻き込む。その巻き込む水は、密度の低い表層の部分の温かい水である。そのため下から巻き込んでいた水と、上の方から巻き込んでいた水が混合した密度になり、その密度で沈み横に広がる。
- これを長期間継続すると、中間層の上の部分は上がり、下の部分は下がっていく。そして最後には、上層全体が混合した層となる。
- 中間層が下まで行くと、下層全体に混合した層ができる。最初、水温分布は少し斜めになるが、これを続けると全体が混合する。

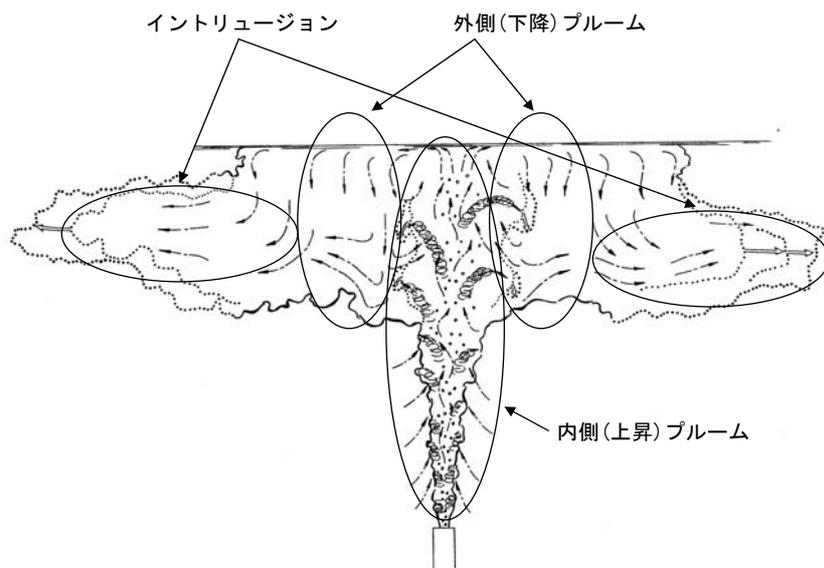


図 3.1.4 曝気循環施設による流動状況(概要)

## (2) 循環混合層の形成

図 3.1.5 は、図 3.1.4 に示した曝気循環施設による貯水池内の流動状況をさらに模式的に示したものである。鉛直方向の密度分布は底層の方が高く、水温分布はこの逆になり、中間層付近に温度躍層が形成される。

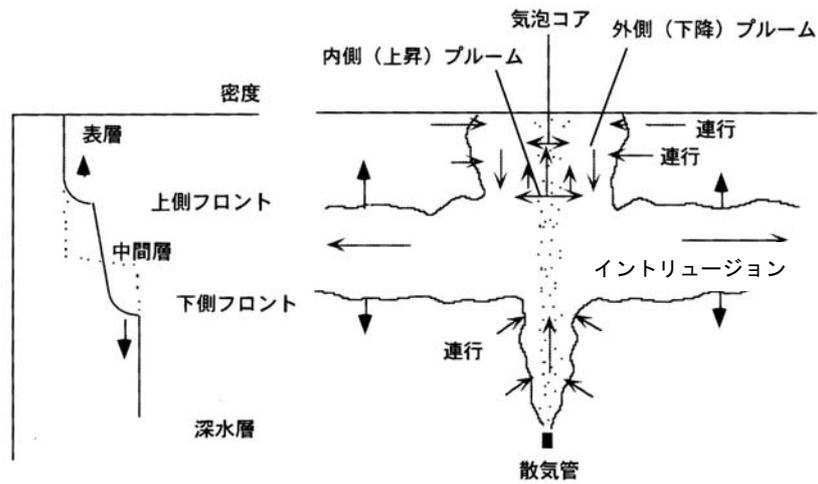


図 3.1.5 曝気循環施設による流動の模式図

### 3.2.2 植物プランクトンの増殖を制御する機能

貯水池内において、植物プランクトンが増殖する現象については、いまだ未解明な部分が多い。したがって、植物プランクトンの異常増殖の抑制を目的とした、曝気循環施設の効果のメカニズムについても十分に検証されていない。しかし、一般的に知られている植物プランクトンの特性と曝気循環施設による貯水池内の流動形成特性(循環混合層の形成)から植物プランクトンの異常増殖の抑制のメカニズムは以下のとおりと考えられる。

<b>水温</b> :	循環混合により表層水温を低下させる。 ⇒藻類増殖速度の低下, 藍藻類の優位性の解消
<b>光</b> :	循環混合により光条件を制限する。 ⇒藻類増殖速度の低下, 暗条件に弱い藻類の減少
<b>混合</b> :	循環混合により藍藻類濃度の高い表層水を希釈する。 ⇒鉛直混合により, 浮遊力を有する藍藻類が優位な状態を解消

#### (1) 水温

図 3.1.6 は成層が形成されている貯水池の水温と藻類の鉛直分布の模式図を示している。

成層が形成されると表層部分の水温は高くなり、水温が高くなると藻類の増殖速度は大きくなる。

このとき曝気循環施設により表層水と下層の水を混合すると、表層の水温は低下する。藻類の増殖率は表層付近で最も高くなるので、この部分の水温を下げることにより、全体の増殖速度を下げる事が可能になる。特に、藻類の中でも藍藻類は高水温を好むため、その増殖抑制効果は大きいと考えられる。

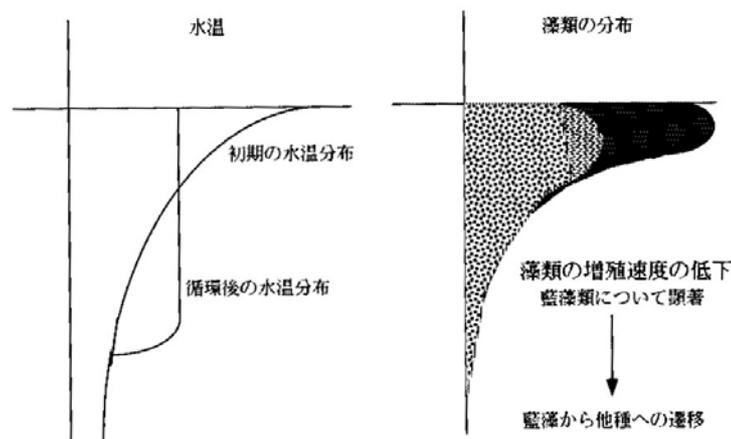


図 3.1.6 表層水温の低下と藻類への効果

## (2) 光

図 3.1.7 に貯水池内における温度躍層の位置と光合成量・藻類量の鉛直分布を示す。

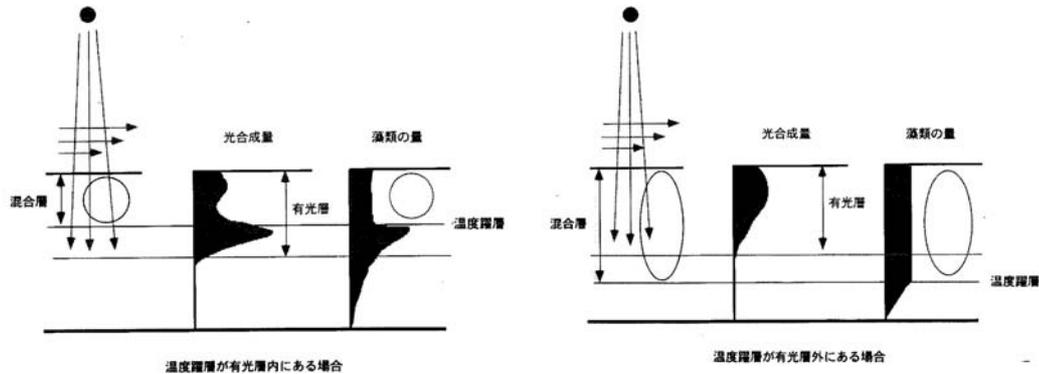


図 3.1.7 貯水池内における温度躍層の位置と光合成量・藻類量の鉛直分布

図 3.1.7 において左図は温度躍層が有光層内にある状態を示している。このとき、植物プランクトンの種類により多少異なるが、基本的には植物プランクトンの量は大部分が温度躍層近辺から水面にかけて分布し、特に温度躍層近辺に多くなる。

このとき、温度躍層の位置が有光層内にあり、温度躍層の下まで光が届いていれば、躍層付近の多くの藻類はすべて活発に光合成ができる。そして有光層内の光合成量(藻類の増殖量)は多くなり、全体として藻類は大量に増加する。

一方、図 3.1.7 の右図は温度躍層が有光層より深い位置にあり、その深さまでは一様な層があり、それより深いところで水温分布が変化している状態を示している。光が届く位置は左図の状態と同じであるが、混合した層が深くまで伸びており、躍層より下層の藻類は光合成(すなわち増殖)ができない。一様な温度分布をもつ層はすぐ混合するので、層内に均等に分布する藻類は、浅い方のは増殖するが深い部分のものは増殖せず、全体としては左図のものよりも光合成量は少なく藻類の増殖は妨げられることになる。

こうした効果は「光制限効果」と呼ばれており、近年の研究成果によれば、藍藻類は緑藻類などと比較して光に対する耐久力が極めて弱いため、この効果は藍藻類に対して比較的大きいと考えることができる。

## (3) 混合(かき混ぜ)

ダム貯水池内における植物プランクトンを藍藻類、緑藻類、珪藻類の3種類と考えると、緑藻類と珪藻類は基本的にはほとんど動けないが、藍藻類には細胞内に気泡を持ち上下運動ができるものがある。そのため、例えば成層が安定し水の動きがなくなってくると、藍藻は上層に集積しやすくなる。そして、中下層に取り残される緑藻類や珪藻類にとっては、利用できる光の量が少なくなり、緑藻類及び珪藻類の量は徐々に減少し、結果として藍藻類が優占する状態になる(図 3.1.8)。

このとき曝気循環施設により表層水と下層の水を混合すると、上層に集積していた藍藻が中

下層に押し込められ、緑藻類や珪藻類と同じ条件(環境)で競合することになる。同じ環境では、緑藻類や珪藻類の増殖力が藍藻類よりも強く、藍藻類が優占することはなくなる。

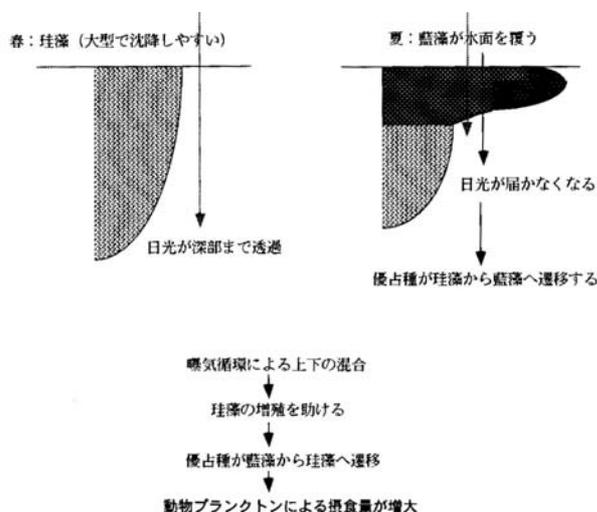


図 3.1.8 混合による藍藻類から珪藻類への優占種の遷移

この混合による効果は、基本的に緑藻類や珪藻類と藍藻類のいずれかを優占させるということであり、曝気循環施設の運用を考える上で重要な点の一つである。

冬季や春先には緑藻類や珪藻類は出現するが、藍藻類はほとんど出現せず、水温が上昇する夏季に藍藻類が出現するのが一般的である。藍藻類の異常増殖によるアオコの発生を抑制するには、緑藻類や珪藻類が優占する時期をどこまで延ばせるかが一つのポイントになる。藍藻類の出現時期に関して一つの指標となるのが、前述したように安定な成層の形成であり、例えば6,7月頃に成層の形成に伴い藍藻類が増殖することになる。

したがって、4,5月頃から曝気循環施設を稼働し、貯水池の水を混合しておけば、7月頃でも混合した状態が維持され、例えば珪藻類が5月ぐらいで出現しなくなっていたものが6,7月頃まで出現し、藍藻類の優占を抑制できる可能性がある。

このことは曝気循環施設の稼働時期を決定する一つの目安として利用することができる。

## 第4章 曝気循環施設の基本的な運用の考え方

### 4.1 概要

曝気循環施設の基本的な運用方法は、対象とするダム貯水池において、気象、水理、水質の特性を把握した上で設定することが望ましい。

このため、本マニュアル（案）は、以下に示す流れで、曝気循環施設の基本的な運用の考え方を示す。

- 1) 曝気循環施設の基本的な運用条件を示す。【第 4.3 章】
- 2) 対象とするダム貯水池において、曝気循環施設の適切な運用条件を設定するための手順を示す。【第 4.4 章】
- 3) 運用方法を設定する上で、情報が十分にあるダム貯水池における運用の設定方法を示す。【第 4.5 章】
- 4) 運用方法を設定する上で、情報が十分でないダム貯水池における運用の設定方法（全国的なダム貯水池での事例分析に基づく運用方法の例）を示す。【第 4.6 章】
- 5) 適切な曝気循環施設の運用を行うために必要な調査の方法を示す。【第 4.10 章】
- 6) 曝気循環施設の運用の留意事項を示す。【第 4.11 章】
- 7) 全国の事例の分析結果のとりまとめを示す。【第 4.12 章】

#### 4.2 曝気循環施設による水質保全の対象

本マニュアル（案）は、以下に示す水質障害を対象とする。

- 1) 藍藻類のミクロキスティス属の異常増殖によるアオコの発生（景観悪化）
- 2) 藍藻類のアナベナ属の異常増殖によるアオコの発生（景観悪化）
- 3) 藍藻類のフォルミディウム属の異常増殖によるカビ臭（2-MIB）の発生（利水障害）
- 4) 藍藻類のアナベナ属の異常増殖によるカビ臭（ジェオスミン）の発生（利水障害）

曝気循環施設による水質保全の対象とする水質障害は、以下のとおりである。

- 1) ダム貯水池及びダム下流におけるアオコの発生による景観悪化
- 2) ダム貯水池及びダム下流におけるカビ臭発生による水道用水等への利水障害

これらの水質障害は、ダム貯水池内における植物プランクトンの異常増殖により生じる。

ただし、曝気循環施設の機能は、3章で示したとおりであり、全ての植物プランクトンの増殖の抑制に効果が得られるわけではない。

また、既往の知見では、効果が確認されている主な水質障害として、藍藻類のミクロキスティス属及びアナベナ属等の異常増殖が原因のアオコ、藍藻類のフォルミディウム属及びアナベナ属等の異常増殖が原因のカビ臭がある。

曝気循環施設による水質保全の対象とする水質障害の概要及び曝気循環施設で主に制御可能な植物プランクトンの内容については2章に示す。

#### 4.3 設定すべき基本的な運用条件

曝気循環施設の運用条件は、以下の3つの条件を設定する。

- 1) 運用期間
- 2) 曝気水深
- 3) 連続運転の有無

設定すべき基本的な運用条件は、全国の事例分析より、大きな効果が確認された条件より定めている。

運用期間とは、曝気循環施設をいつからいつまで運転するかという運転する期間である。

曝気水深とは、曝気循環施設の空気を吐出させる散気口の水深（どの水深から曝気させるか）である。

連続運転の有無とは、運用期間中の出水時に一時的な停止を行うか、連続的な運転を行うかの有無（出水時に運転を停止した方がいいかどうか）である。

#### 4.4 曝気循環施設の運用方法の検討手順

曝気循環施設の運用方法は、以下の検討手順で行う。

- 1) 情報が十分にあるダム貯水池では、既往の情報をもとに運用方法を設定する。
- 2) 情報が十分でないダム貯水池では、暫定的な運用方法を設定する。

運用方法を設定した後、実証運用を行い、効果の確認を行う。必要な場合には、運用方法の見直しを行う。

実証運用後は、管理運用を行い、適宜、運用方法の見直しを行う。

運用方法の検討は、対象とするダム貯水池における既往の情報より、水温成層の形成特性及び水質障害の原因となる植物プランクトンの発生特性等を分析して行う。

また、運用方法を検討する上で情報が十分でないダム貯水池については、全国の事例分析より全体的な傾向を参考に暫定的な運用条件を設定する。

運用方法は、以下に示すフローに従い、設定する。

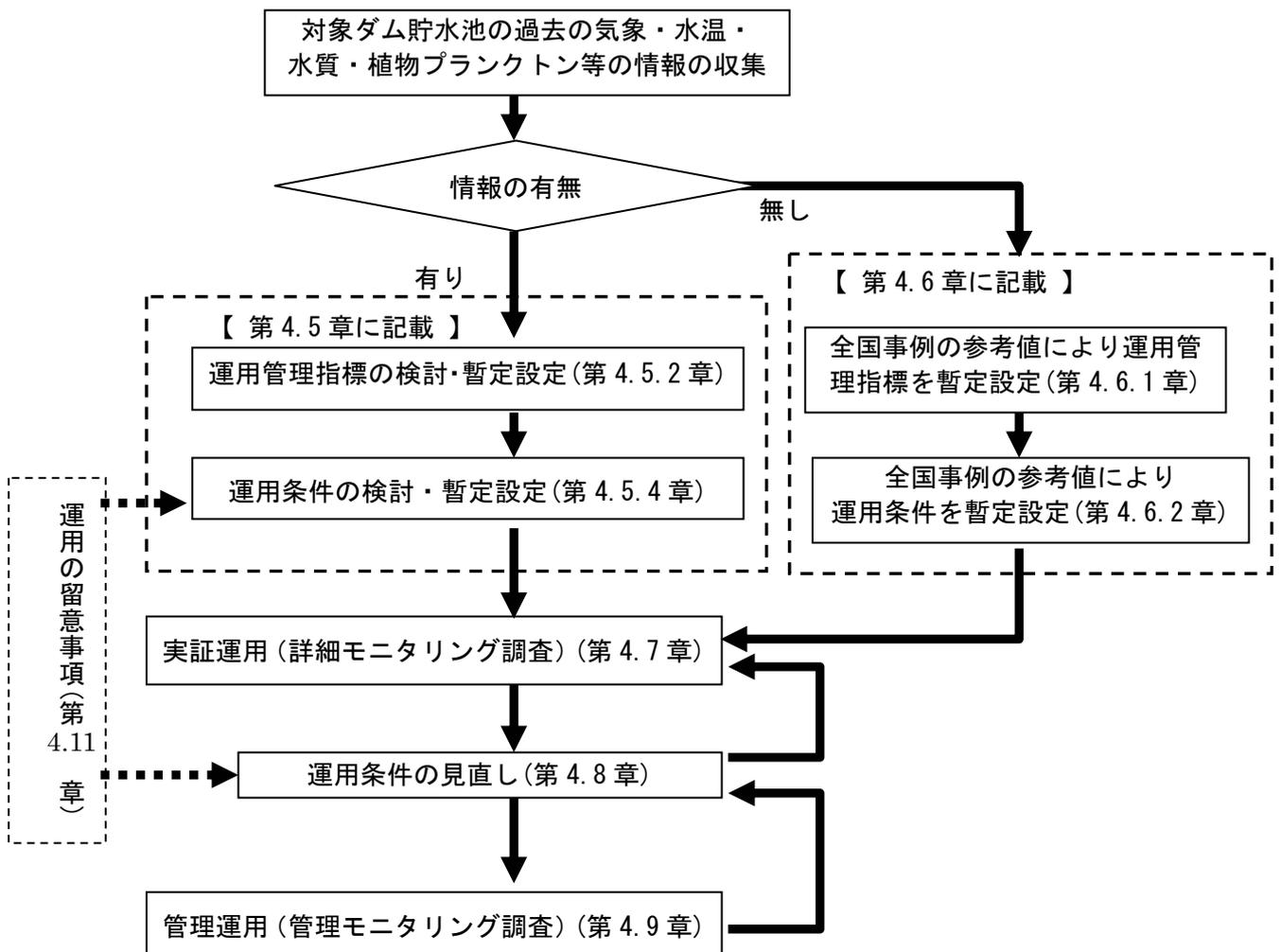


図 4.4.1 運用方法の検討手順

#### 4.5 情報が十分にあるダム貯水池における運用方法の検討

##### 4.5.1 検討に必要な情報の収集

対象ダム貯水池における過去の水温、水質、植物プランクトン及び曝気循環施設に関する情報を収集する。

以下の情報を収集する。なお、データの収集期間は10年以上が望ましい。

- 1) 対象ダム貯水池の水温鉛直分布の測定結果（1回/月以上の頻度）
- 2) 対象ダム貯水池の植物プランクトン（ミクロキスティス、アナベナ、フォルミディウム）の細胞数の測定結果（1回/月以上の頻度）
- 3) 対象ダム貯水池の水質障害（アオコの景観障害、カビ臭の利水障害）の発生記録
- 4) 水質調査日の降雨量
- 5) 曝気循環施設の運転日
- 6) 曝気循環施設の曝気水深
- 7) 曝気循環施設の運転台数あるいは吐出空気量
- 8) 曝気循環施設の停止理由

具体的には、次の手順で整理を行う。

対象ダムの過去のデータを用い、各年の植物プランクトン（ミクロキスティス、アナベナ、フォルミディウム）の細胞数の最大値、その最大値が観測された調査日の水温勾配、水質障害発生状況（アオコ、カビ臭）等を表4.5.1のように、植物プランクトンの種類毎に整理する。アナベナ属については、アオコ・カビ臭の両方について整理する。

表 4.5.1 植物プランクトン細胞数・水温勾配・水質障害発生状況の整理表  
(ミクロキスティスの整理例)

A	B	C	D	E	F	G	H
年	調査日	ミクロキスティス属の年最大細胞数 cell/ml	表層(0.1m)水温 ℃	水深3m 水温 ℃	水温勾配 ℃/m	アオコ発生 有無	降雨量 mm/日
19xx	x月x日						
19xx	x月x日						
19xx	x月x日						
19xx	x月x日						
19xx	x月x日						
19xx	x月x日						
19xx	x月x日						
19xx	x月x日						
20xx	x月x日						
20xx	x月x日						
20xx	x月x日						
20xx	x月x日						
20xx	x月x日						

注) 年の最大細胞数が観測されたときのデータを年毎にまとめる。  
対象とする藻類が複数発生した場合には、藻類種毎に表を作成する。  
水温勾配 = (D - E) ÷ 水深(3m)とする。(水温勾配を0~3mとした場合)

## 4.5.2 曝気循環施設の運用管理指標

曝気循環施設の運用における運用管理指標は、水温勾配とする。

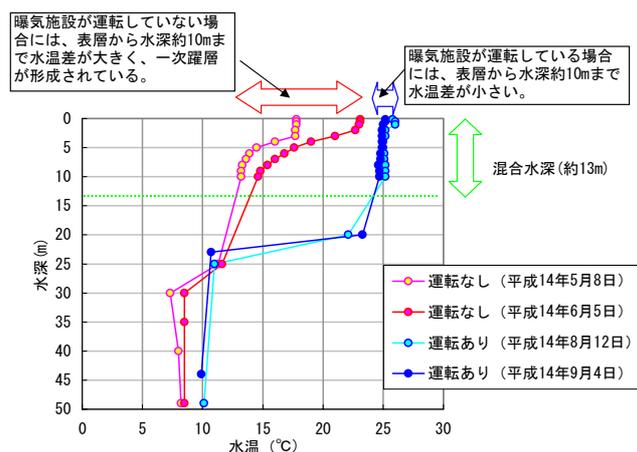
運用管理指標は、曝気循環施設の機能、現場での観測・算出の容易さを考慮し、水温勾配とする。

### (1) 水温勾配

曝気循環施設の機能は、水温の成層状況を変化させること（湖水の混合）から、この湖水の混合により、夏期の水温躍層の発達を抑制され、アオコ・カビ臭の軽減につながると考えられている。

また、水温成層状況の指標としては、浮力周波数、循環混合層厚及び密度勾配などがあるが、その算出には専門知識あるいは計算プログラム等を要する。そこで、運用管理指標は、現場での観測・算出が容易で、水温成層状況が判断できる水温勾配とした。

なお、水温勾配と密度勾配について、藻類の発生状況との関係を比較すると、両者とも同様の傾向が見られた。



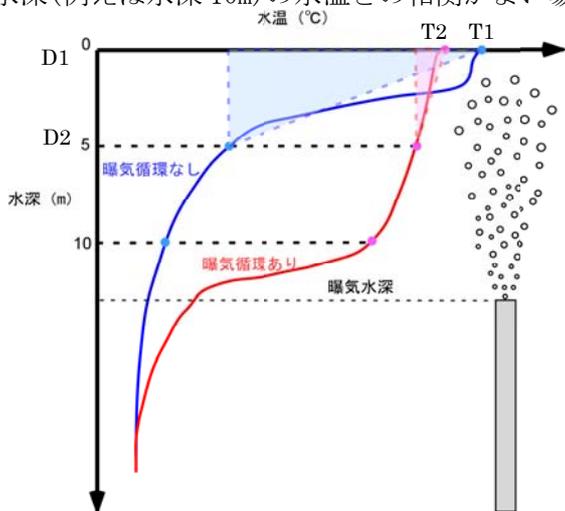
(曝気の運転あり、なしの比較；Hダム)  
図 4.5.1 貯水池における水温の鉛直分布

### (2) 水温勾配の算出方法

水温勾配（単位：°C/m）の算出は、図 4.5.2 に示すように、貯水池内の水温観測値を用い、表層の水温（水深 0.1m）と水深 3m（4m あるいは 5m でも可）の水温の差を水深の差で除して行う。

使用するデータは、第 4.5.1 章で収集した(1)水温の鉛直分布のデータを用いる。

水温勾配は、1次躍層が形成されると藍藻類の発生が顕著になる傾向が見られることから、表層付近（0～5m 程度）との差より求めることとする。しかし、貯水池の状況により、他の水深（例えば水深 10m）の水温との相関がよい場合にはこの限りではない。



#### 【水温勾配の算出方法】

$$K = (T_1 - T_2) / (D_2 - D_1)$$

ここに、

K：水温勾配（単位：°C/m）

T<sub>1</sub>：表層の水温（水深 0.1m）（単位：°C）

T<sub>2</sub>：水深 3m（4m あるいは 5m でも可）  
の水温（単位：°C）

D<sub>1</sub>：表層の水温の測定水深（単位：m）

D<sub>2</sub>：T<sub>2</sub> の測定水深（=3m～5m）（単位：m）

図 4.5.2 水温勾配の模式図及び算出方法

#### 4.5.3 運用管理指標の検討・暫定設定

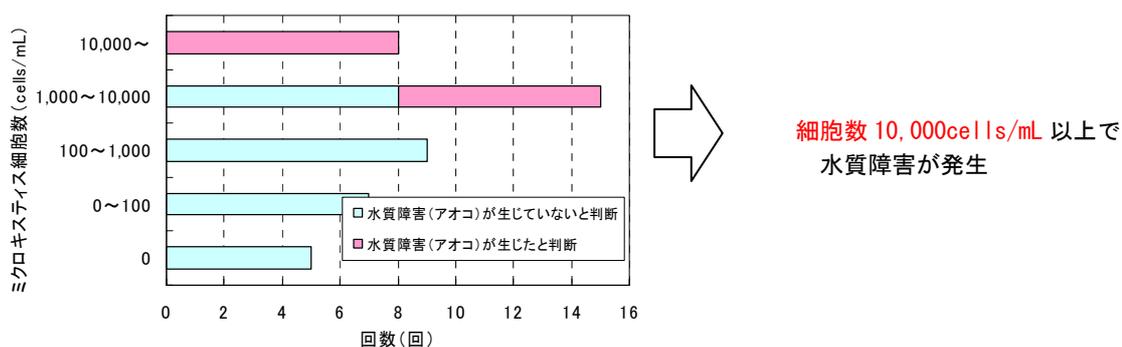
運用管理指標は、水温勾配と植物プランクトンの細胞数の関係を整理し、水質障害の発生がみられないような水温勾配を設定する。

##### (1) 水温勾配と植物プランクトンの細胞数の関係

水質障害の発生状況は植物プランクトンの細胞数と現場の判断の関係より設定する。  
水質障害の発生状況より、水質障害の発生の可能性が大きいと判断される植物プランクトンの細胞数を設定する。

水質障害の発生状況より原因と考えられる植物プランクトンの発生状況を既往の情報より把握する。

表 4.5.1 に示す整理表より、図 4.5.3 に示すような水質障害別（アオコ、カビ臭）、植物プランクトン（ミクロキスティス、アナベナ、フォルミディウム）別に、水質障害が発生する植物プランクトンの細胞数を整理する。なお、回数は出現年数とする。



(細胞数の分類；〇〇より大きい~〇〇以下)

注) 各々のダムで関係を把握する。

図 4.5.3 植物プランクトンの細胞数と水質障害の関係（ミクロキスティスの例）

なお、参考として、全国的なダム貯水池の事例分析から、水質保全対象の指標と植物プランクトンの細胞数の関係を示すと、以下のとおりである。

- 1) アオコによる景観悪化：ミクロキスティス属 (*Microcystis*) の細胞数が 10,000cell/mL 以上で水質障害発生、1,000cell/mL 以上で水質障害発生の可能性が大きい。
- 2) アオコによる景観悪化：アナベナ属 (*Anabaena*) の細胞数が 100cell/mL 以上で水質障害発生の可能性が大きい。
- 3) カビ臭 (2-MIB) による異臭味障害：フォルミディウム属 (*Phormidium*) の細胞数が 1,000cell/mL 以上で水質障害発生の可能性が大きい。

(2) 水温勾配と植物プランクトンの細胞数の関係

植物プランクトン（マイクロキスティス、アナベナ、フォルミディウム）の年最大の細胞数とその時の水温勾配の関係を整理する。また、それらの関係から、水質障害の発生がみられない水温勾配を把握し、それを運用管理指標値とする。

具体的には、表 4.5.1 より、図 4.5.4 に示すような水質障害別（アオコ、カビ臭）、植物プランクトン（マイクロキスティス、アナベナ、フォルミディウム）別に、水温勾配と植物プランクトンの細胞数の関係を整理し、運用管理指標値を設定する。また、降雨日のデータは、水温勾配が平常時の状況と異なるため除外する。

なお、情報が少ない場合には、全国の事例を参考に整理を行う。

<運用管理指標;水温勾配=0.5°C/mの例>

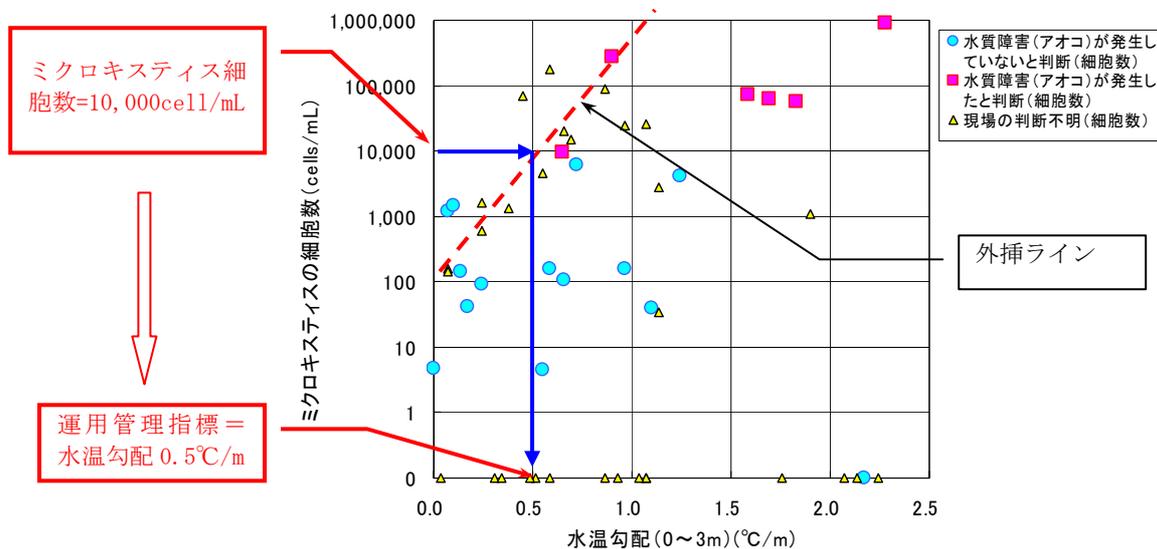


図 4.5.4 Microcystis 細胞数と水温勾配の関係より求めた運用管理指標（例）

#### 4.5.4 運用条件の検討・暫定設定

運用条件は、運用管理指標を満たすための運用とし、運用期間、曝気水深及び連続運転の有無の3条件より設定を行う。

##### (1) 運用期間の設定

運転を開始する時期については、既往事例の分析結果から、植物プランクトン（特に藍藻類）の異常増殖が発生する夏季だけの運転ではなく、水温成層が形成され始める時期（春季）からの継続した運転が有効である。このため、運用を開始する時期の設定が重要である。

運転を停止する時期については、水質障害の原因となる植物プランクトンの異常増殖の終息時期、貯水池の水温成層の解消時期（循環期の開始時期）を考慮して設定する。

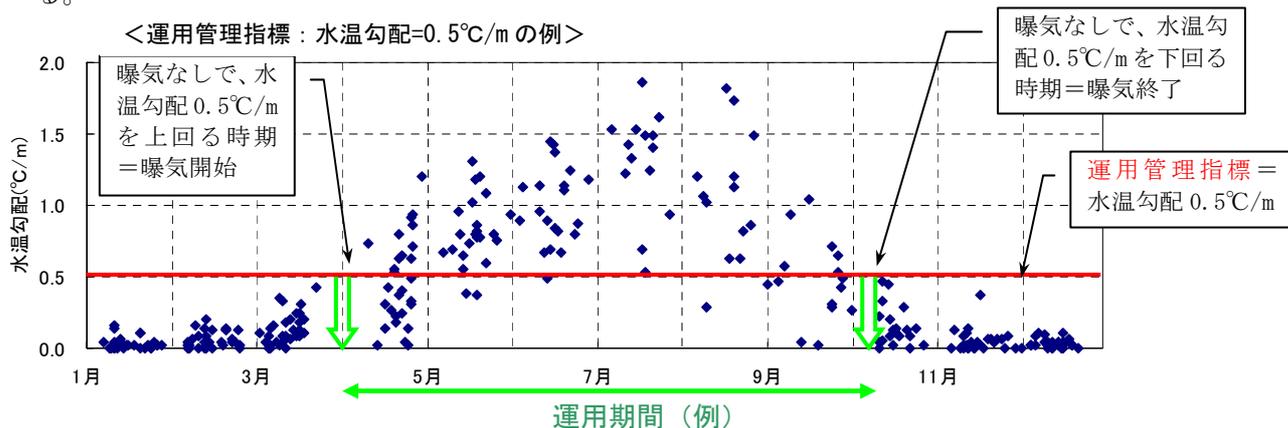
曝気循環施設の運転条件別に、図4.5.5～6に示すような年間の水温勾配の年変動の傾向を把握する。なお、収集した水温勾配のデータ（1回/月以上）を全てプロットする。使用するデータは、4.5.1で収集した(1)～(6)のデータを用いる。

##### i) 曝気循環施設を設置していない時期の情報が十分にある場合

曝気循環施設をする設置前の貯水池の水温勾配に関して、データが十分にある場合には、図4.5.5に示すような年間の水温勾配の整理を行う。

年間の水温勾配の傾向より、第4.5.3章で定めた運用管理指標を上回る時期を運転開始時期とし、循環期となる9～10月の時期に水温勾配が運用管理指標を下回る時期を曝気終了時期とする。

また、詳細な運転開始時期は、日々のモニタリングより運用管理指標との関係から決定する。



(注1) 曝気なし：該当日において曝気運転なし

(注2) 連続運転：曝気開始から該当日まで停止なしで運転されている（1日停止の場合は連続運転とする）

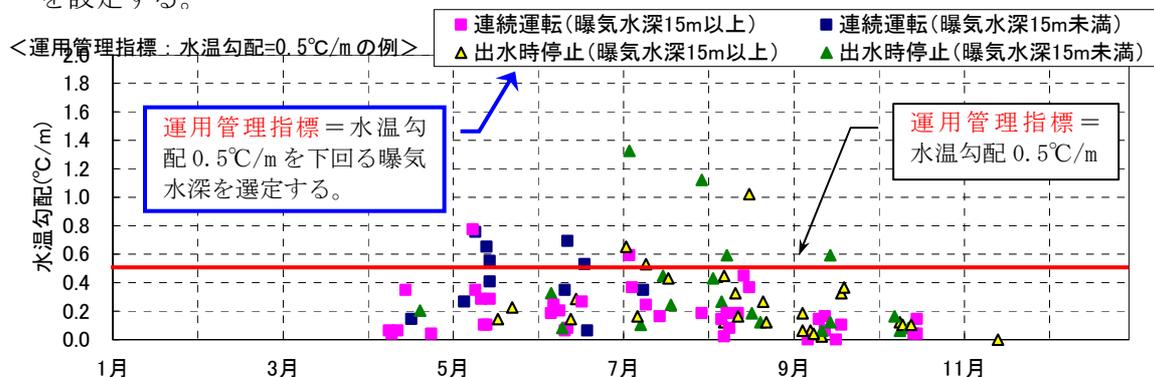
(注3) 出水時停止：曝気開始から該当日まで出水による停止が2日以上

図4.5.5 水温勾配(0～5m)の年間変動からみた運用期間の例（曝気がない場合）

ii) 曝気循環施設を設置している時期の情報が十分にある場合

曝気循環施設を設置している時期の情報が十分にある場合には、貯水池内の水温勾配の年間変動を曝気水深別に整理する。

運転期間は、上記と同様の方法で行い、水温勾配が運用管理指標を上回らないような期間を設定する。



- (注1) 連続運転：曝気開始から該当日まで停止なしで運転されている（1日停止の場合は連続運転とする）
- (注2) 出水時停止：曝気開始から該当日まで出水による停止が2日以上
- (注3) 曝気水深は該日前一ヶ月間の主水深を用いる

図 4.5.6 水温勾配（0～5m）の年間変動（曝気水深による区分）からみた運用期間の例

(2) 曝気水深の設定

曝気水深とは、曝気の吐出口から水面までの距離とする。  
 曝気水深は 15～20m に設定するのが好ましいと考えられるが、現状の効果をみながら設定する。

曝気水深については、その設定により、水温躍層の低下（循環混合層の厚さ）が決まることから、重要な運用条件である。

曝気水深は、既往事例の分析結果より、補償深度の 2～3 倍程度とすれば十分であると考えられる。そのため、曝気水深は 15～20m に設定するのが好ましいと考えられる。これは、多くのダム貯水池の透明度が 2～3m 程度であり、補償深度が 5～10m 程度になるからである。

曝気水深は、深いほど、植物プランクトン増殖の光・水温制限に効果があると考えられる。しかし、余りに深層から混合すると貯水池表層水温が過度に低下し、冷水現象が問題となる可能性も高くなる。また、曝気水深を深くすると、貯水池内の蓄熱が促進され、温水層が大部分を占めることとなり、秋季から冬季にかけて温水現象が問題となる可能性も高くなる。

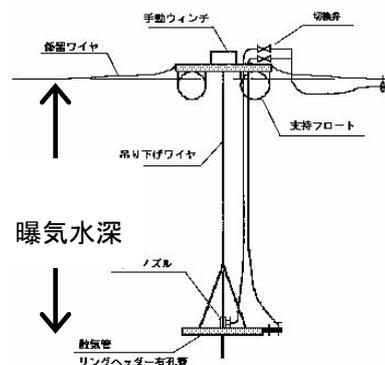
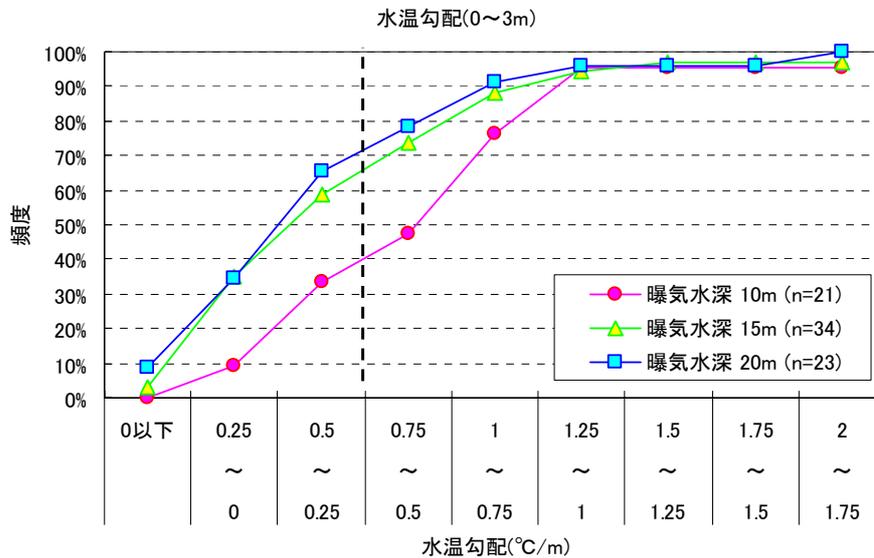


図 4.5.7 曝気水深

したがって、曝気水深はこの両者の兼ね合いから決定されることになると考えられる。

また、曝気水深はコジットゲート等の常用洪水吐との位置関係より、貯水池内の成層状態や水質状況を変化させることもあるため、留意が必要である。

なお、参考として、既往事例の分析結果より、図 4.5.8 に曝気水深別の水温勾配の頻度分布を示す。



注) 連続運転を実施している曝気施設で、循環期を除く期間(4月~9月)を集計(降雨時のデータを除く)

図 4.5.8 水温勾配と曝気水深の頻度分布(参考例)

### (3) 連続運転の有無

曝気循環施設の運転は、曝気循環施設の運転を停止すると、表層付近に水温躍層が短時間で形成されるため、基本的には連続運転が望ましい。

ただし、出水時から出水後の運転については、以下の事項について留意が必要である。

#### i) 小規模な出水の場合

小規模な出水の場合には、流入した濁水は大きく混合せずに水温躍層の高さに層状に流入する。この場合、曝気の稼働により濁水を混合させ巻き上げる可能性は低い。そこで、富栄養化現象の抑制を優先させ、曝気は連続的に運転することが望ましい。

#### ii) 大規模な出水の場合

貯水池が全層混合してしまうような大規模な出水の場合、連続運転を行うと、濁水の沈降による湖水の清水化を妨げてしまう可能性が高い。濁水の懸念が大きい場合は、数日程度、曝気を停止するという選択肢もあり得る。しかし、富栄養化現象の抑制の観点からは、出水とともに流入した栄養塩により、植物プランクトンが増殖しやすい環境となる。また、既往事例の分析結果からみても、継続運転することが望ましい。

そのため、貯水池内及び下流河川の状況(アオコの発生、濁度など)を監視しつつ、運用する必要がある。

(4) 運転管理指標値からみた運用条件の設定

(1)～(2)で作成した図に、運用管理指標値と比較し、運用条件（運用期間・曝気水深・連続運転の有無）を設定する。

表 4.5.2 運用条件の設定（例）

項目	設定の内容（例）
運用管理指標（水温勾配）	水温勾配（0～3m）＝0.5℃/m
運用期間	4月1日～9月15日 （ただし、開始時期は、モニタリングしながら決定する。）
曝気水深	15m
連続運転	基本的には、連続運転とする。 出水時は、流入量が〇〇m <sup>3</sup> /s以上となった場合には、停止する。 停止した場合には、降雨終了の1日後に運転を再開する。

## 4.6 情報が少ないダム貯水池における運用方法の検討

### 4.6.1 曝気循環施設の運用管理指標

運用管理指標は、水温勾配とし、全国の事例分析より暫定的に設定する。

水質障害を抑制するための運用管理指標の参考値：0.5℃/m以下

曝気循環施設の運用における運用管理指標案は、曝気循環施設の機能、現場での観測・算出の容易さを考慮し、水温勾配とする。

全国の事例分析を行い、その傾向から、水温勾配=0.5℃/m以下を参考値とした。

### 4.6.2 曝気循環施設の効果が得られやすい運用条件の傾向

運用条件は、全国の事例分析より暫定的に設定する。

効果が得られている運用条件の傾向は、以下のとおりである。

- 1) 運用期間：4月～9月
- 2) 曝気水深：15m～20m
- 3) 連続運転の有無：連続運転を基本とし、出水等の状況に応じ運転を停止する。

運用条件の傾向は、曝気循環施設の運用条件と運用管理指標等との関係について、全国的なダム貯水池での曝気循環施設の運用の事例分析を行い、曝気循環施設の効果が得られやすい運用条件を示した。

運用条件の設定については、第4.5.4章を参照に設定する。

#### 4.7 実証運用

設定された運用条件により、3年程度、実証運用及び詳細なモニタリング調査を行い、運用管理指標及び運用条件の妥当性を検証する。

実証運用の期間については、1年のみの場合には、冷夏など、植物プランクトンの異常増殖が発生しにくい気象・流況条件の年があり、曝気循環施設の効果が確認できないことが想定されるため、3年程度を見込むものとする。

実証運用時の詳細なモニタリング調査の方法は、第4.10章の「(1)運用条件の最適化を図るための実証運用時の詳細なモニタリング」を参考に示す。実証運用時のモニタリング調査は、通常のダム管理のモニタリング調査を基本に、夏季における植物プランクトンの定量分析等の水質調査頻度を増やすものとする。

また、モニタリング調査結果は、第4.5.1章でとりまとめた結果と併せて整理を行う。

#### 4.8 運用条件の見直し

実証運用後の見直しは、実証運用時における詳細なモニタリング調査結果を用い、第 4.5 章の手順で、運用管理指標及び運用条件の整理を行い、必要に応じて行う。

また、管理運用時の見直しは、流域の開発状況、運用による効果の確認等により、モニタリング調査結果等を用い、必要に応じて行う。

##### (1) 実証運用後の見直し

実証運用時に効果が得られなかった場合には、原因を分析し、運用条件の変更で対応可能かを検討する。必要に応じ、曝気循環施設の増設、別途の水質保全対策等の検討を行う。

##### (2) 管理運用時の見直し

###### i) 効果が得られにくくなった場合の見直し

運用条件を設定した実証運用の年次から、数年が経過し、流域の汚濁負荷量の増加や流況等の変化に伴い、ダム貯水池の富栄養化の状況が変化し、水質保全効果が得られにくくなることも想定される。

そのような場合は、まず、運用条件の変更で対応可能かを検討し、必要に応じ、曝気循環施設の増設、別途の水質保全対策を検討する。

###### ii) 効率的な運用方法の見直し

運用条件を設定した実証運用の年次から、数年が経過し、運用による効果が確認された場合には、運用の効率化を必要に応じて行う。

運用の効率化には、以下に示す事項が考えられる。

- ・ 運転期間の変更（開始時期及び終了時期の設定変更：運転期間の短縮）
- ・ 曝気の運転時間（1日中の運転から日中だけの運転等の設定）
- ・ 曝気の運転基数（全基の運転から季別の基数を設定）

#### 4.9 管理運用

見直した運用条件に従い、管理運用を行う。管理運用の際には、管理のためのモニタリング調査を行う。

モニタリング調査結果において、水質保全効果等が得られにくくなった場合には、第 4.5 章の手順で、適宜、運用管理指標及び運用条件の見直しを行う。

管理運用は、当初設定した運用による効果が得られているかを確認するとともに、効果的な運用計画を見直すために行う。

そのため、管理運用時には、通常のダム管理のモニタリング調査より管理を行う。

また、モニタリング調査結果は、第 4.5.1 章でとりまとめた結果と併せて整理を行う。

#### 4.10 管理運用のための調査

曝気循環施設の管理運用では、運用のためリアルタイムの運用管理指標（水温勾配）の情報が必要であり、運用により得られる効果の検証と必要に応じた改善策（運用条件の見直し等）をとるために、モニタリングを行う必要がある。

モニタリングの目的別に、以下の調査が必要となる。

- 1) 運用条件の最適化を図るための実証運用時の詳細なモニタリング
- 2) 適切な曝気循環施設の運用をするための管理運用時のモニタリング

- ・実証運用時の詳細なモニタリングは、『ダム貯水池水質調査要領』に基づく定期調査等の内容とするが、植物プランクトンの発生しやすい時期には細かな頻度（2回/月～1回/週）で調査を実施する。このとき、植物プランクトンの定量分析を行うことが重要である。
- ・管理運用時のモニタリングは、『ダム貯水池水質調査要領』に基づく定期調査等の内容とする。

##### (1) 運用条件の最適化を図るための実証運用時の詳細なモニタリング

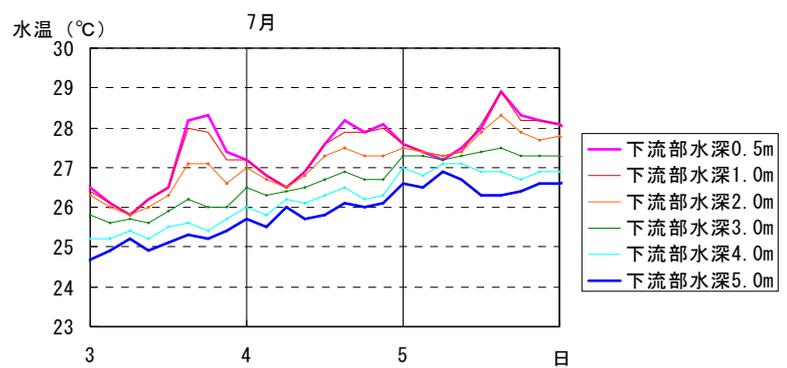
基本的な運用管理指標は、水温勾配とするため、できる限り、リアルタイムの貯水池内の水温をモニタリングする必要がある。

モニタリング項目は表 4.10.1 のとおりであり、調査頻度は、植物プランクトンの増殖が活発で水温が上昇しやすい 6 月～9 月の時期（植物プランクトンの発生状況によって期間を設定）に細かな頻度で調査を行うことを基本とする。

また、運用条件を検討するために、必要な情報として、気象・水理・水質条件があり、水質については、通常管理のための調査よりも、調査頻度を密にする必要がある。

また、運用管理指標である水温は、モニタリング項目の中でも重要である。

貯水池によって日変動の状況が異なるため、モニター等を用いて把握することが望ましい。定期的な水温の測定は、基本的には 2 回/日（昼・夜間）実施することが好ましいが、観測機器の稼働状況、作業性等を考慮し、1 回/日（例えば 9:00）でもよい。ただし、計測時刻の変更は行わないこととする。



(Tダム；曝気なしの例)

図 4.10.1 貯水池の水温の日間変動の例

##### (2) 適切な曝気循環施設の運用をするための管理運用時のモニタリング

基本的な運用管理指標は、水温勾配のため、できる限り、リアルタイムの貯水池内の水温をモニタリングする必要がある。

また、運用条件を検討するために、必要な情報として、気象・水理・水質条件があり、水質については、通常の管理のための調査を基本とする。

基本的には、表 4.10.1 に示すとおり、「(1) 運用条件の最適化を図るための実証運用時の詳細なモニタリング」同じ調査項目・方法となるが、水質の定期調査の頻度は、「管理運用時」の欄の 1 回/月～2 回/月の頻度に減らすことが可能である。

表 4.10.1 運用時のモニタリング（実証運用時・管理運用時）

	自動観測装置によるリアルタイム観測			定期調査		その他
	常時監視が必要な水質項目	常時監視が必要な気象項目	常時監視が必要な水理項目	定期的な監視が必要な水質項目		
モニタリング項目	水温、濁度、DO 等	気温、日射量、降雨量等	流入量、放流量、貯水位、貯水量等	植物プランクトン定量分析、クロロフィル a、COD、BOD、SS、総窒素、無機態窒素、総リン、無機態リン、2-MIB、ジェオスミン等 (2-MIB、ジェオスミンは、カビ臭が発生していないダムでは必要ない)		曝気循環施設の運転日報、水質障害の発生状況記録等
モニタリング方法	できる限り、水質自動監視計を設置。水質自動監視計がない場合、調査頻度を増やす。	既往のダム管理のデータがある場合、それを用いることができる。無い場合は観測を行う。	既往のダム管理のデータがある場合、それを用いることができる。無い場合は観測を行う。	『ダム貯水池水質調査要領』に基づいて実施されている、既往のダム管理の調査（1 回/月）を基本とし、頻度などを必要に応じて追加する。既往の調査が行われていない場合は調査を行う。		
調査頻度	2 回/日以上 (日中、夜間)	既往のダム管理に従う。観測していない場合、1 時間毎に観測。	既往のダム管理に従う。観測していない場合、1 時間毎に観測。	<b>実証運用時</b> 6 月～9 月 2 回/月～1 回/週 (既往の定期調査を含める。特に、植物プランクトン定量分析が重要。他の項目は状況により、頻度を減らすことは可能) 10 月～5 月 1 回/月～2 回/月 (既往の定期調査を含める。)	<b>管理運用時</b> 1 回/月～2 回/月	
調査地点	貯水池内の代表地点（ダムサイト地点：水深 20m までは 1m 毎、それ以深は 1～5m で適宜実施。放流口付近を重視）、流入河川、下流河川（放流水）	既往のダム管理に従う。観測していない場合、ダム管理所で観測。	既往のダム管理に従う。観測していない場合、ダムサイト地点（流入量は貯水位と放流量から算出）で観測。	貯水池内の代表地点（ダムサイト地点：上・中・下層の 3 層）、流入河川、下流河川（放流水）（植物プランクトン定量分析は、基本的に貯水池内のみ）		

注) 定期調査の調査頻度は、「運用条件の最適化を図るための実証運用時の詳細なモニタリング」を「実証運用時」の欄（薄黄色）、「適切な曝気循環施設の運用をするための管理運用時のモニタリング」を「管理運用時」の欄（水色）に示した。

#### 4.11 曝気循環施設の運用の留意事項

曝気循環施設の機能は、水温成層を変化させることにあるため、運用にあたっては、次の事項について留意が必要である。

- ・ 曝気循環施設の水質保全の対象ではない他の水質項目への影響
- ・ 他の水質保全施設併用時における各施設の運用への影響

##### (1) 他の水質への留意事項

運用にあたっては、次に示す曝気循環施設の水質保全の対象ではない他の水質項目への影響に留意する必要がある。

- ・ 濁水長期化現象：出水時の貯水池内の濁水の巻き上げによる影響
- ・ 冷水現象：早い時期から運転することにより、貯水池表層の水温が低下することによる影響
- ・ 温水現象：貯水池下層まで水温が上昇することによる影響

##### (2) 他の水質保全施設併用時における各施設の運用への留意事項

曝気循環施設の機能は、水温の成層状況を変化させることにあることから、同様な機能を有する水質保全施設（フェンスなど）や水温成層特性を利用して運用される水質保全施設（選択取水設備など）の運用にあたっては、曝気循環施設によりもたらされる水温・水質の鉛直分布の変化を考慮して、各々の水質保全施設の効果に悪影響を与えないよう運用に留意が必要である。

###### a) 同様な機能を有する水質保全施設（フェンスなど）

フェンスについては、設置水深によっては、水温躍層の低下に影響を与えるため、運用にあたっては留意が必要である。

Tダムでは、フェンスの設置水深が5m、曝気循環施設の曝気水深が15mであるため、曝気循環施設の運用で期待した位置（水深15m付近）よりも浅い位置に水温躍層が形成されるなどの影響がみられた。

###### b) 水温成層特性を利用して運用する水質保全施設（選択取水設備）

選択取水施設については、水温成層特性を利用して運用するため、曝気循環施設による水温・水質の鉛直分布の変化を考慮して、運用するなどの留意が必要である。

##### (3) 運用上の留意事項

###### a) 底泥の巻き上げ

貯水池運用において、夏季に貯水位が低くなるダム貯水池では、曝気水深を15m以上にした場合に、底質を巻き上げる可能性がある。これにより表層への栄養塩類の補給、底泥由来の放線菌による臭気物質の発生等が懸念される。このため、曝気水深と全水深との関係を留意する必要がある。

###### b) カビ臭

カビ臭を産出する藻類が中層付近で発生した場合には、曝気循環施設により藻類を表層付近に循環する場合があります。取水上問題となることも想定されるため、留意が必要である。

(4) 曝気吐出空気量と貯水池規模（貯水量・湛水面積）の関心の全国的な傾向

曝気吐出空気量と貯水池規模（貯水量・湛水面積）の関心の全国的な傾向より、必要曝気空気量のおおよその目安を示す。これと比較して、曝気空気量が大幅に少なく、十分な効果が得られていない場合には、曝気循環施設の増設について検討することが必要となる。使用するデータは、第 4.5.1 章で収集した(1)～(8)のデータを用いる。

【参考：曝気循環施設の導入事例】

曝気循環施設が導入され、水質保全効果が確認されているダム貯水池の規模と吐出空気量の関係を以下に示す。

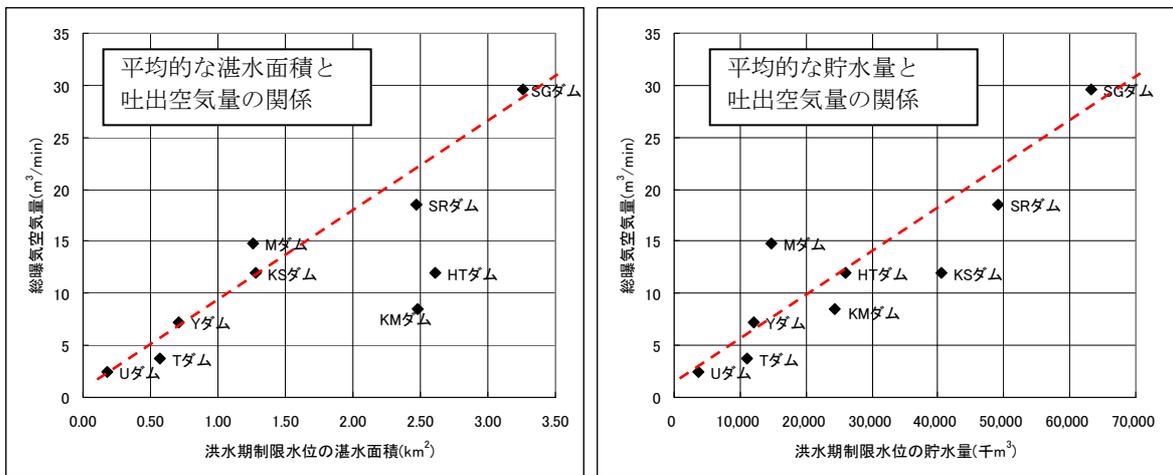


図 4.11.1 曝気循環施設を導入し効果がみられる主なダム貯水池の規模と吐出空気量の関係

## 4.12 全国の事例分析のとりまとめ

運用マニュアル（案）は、曝気循環施設の運用について、比較的先進的なダム貯水池における事例を分析し、参考に挙げることで、既設のダム貯水池において状況を確認し、より効果的に運用を行うための方向性を示すことを目的とした。ここでは、その事例分析の結果を以下に示す。

### 4.12.1 水質障害の発生と植物プランクトンの関係

水質障害の発生状況は、現場の見目の判断を指標として、既往の文献及びヒアリング結果よりとりまとめ、水質障害の原因生物である植物プランクトンの細胞数との関係を整理した例を以下に示す。

なお、アナバ属については、カビ臭に対しての細胞数と水質障害の関係については明瞭な関係は得られていない。

表 4.12.1 植物プランクトンの細胞数と水質障害の関係の例

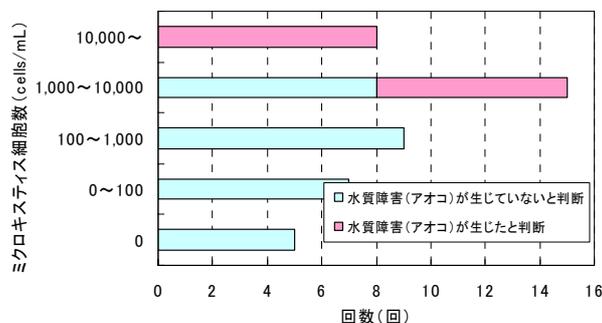
藻類種	水質障害の内容	細胞数と水質障害の関係
ミコキスティス属 (Microcystis)	アオコ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 細胞数 10,000cells/mL 以上 →水質障害が発生</li> <li>・ 細胞数 1,000cells/mL 以上 →水質障害の可能性が大きい</li> <li>・ 細胞数 1,000cells/mL 以下 →水質障害の可能性が小さい</li> </ul>
アナバ属 (Anabaena)	アオコ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 細胞数 100cells/mL 以上 →水質障害の可能性が大きい</li> <li>・ 細胞数 100cells/mL 以下 →水質障害の可能性が小さい</li> </ul>
	カビ臭	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 明瞭な関係は得られていない</li> </ul>
フォルミディウム属 (Phormidium)	カビ臭	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 細胞数 1,000cells/mL 以上 →水質障害の可能性が大きい</li> <li>・ 細胞数 1,000cells/mL 以下 →水質障害の可能性が小さい</li> </ul>

なお、ダム貯水池の水理・水質・気象等の諸条件により、水質障害が発現する植物プランクトンの細胞数が変化することがあるため、対象とするダム貯水池での情報を整理し、現地の状況に即して設定する必要がある。

### (1)アオコの発生とミクロキスティス属の細胞数との関係

アオコの発生状況について、現場の判断と細胞数の関係より示す。

Microcystis 細胞数が 1,000cells/mL 以下の場合には Microcystis によるアオコの発生はみられない。しかし、Microcystis 細胞数が 1,000cells/mL 以上であると水質障害の発生がみられ、細胞数が 10,000cells/mL 以上では、全てのケースで水質障害と判断されている。



(細胞数の分類：〇〇より大きい~〇〇以下)

- 現場の判断 (アオコの発生)
- ① 細胞数 10,000cells/mL 以上で水質障害が発生
  - ② 細胞数 1,000cells/mL 以上で水質障害の可能性が大きい
  - ③ 細胞数 1,000cells/mL 以下で水質障害の可能性が小さい

図 4.12.1 Microcystis 細胞数と水質障害 (現場の判断) の状況

#### 文献事例でのミクロキスティスとアオコの関係

→アオコ形成時の群体数は水 1ml あたり 500~5000 程度 (細胞数で 25000~250000 程度)。

出典：眞柄泰基：水道水質事典，日本水道新聞社，2002

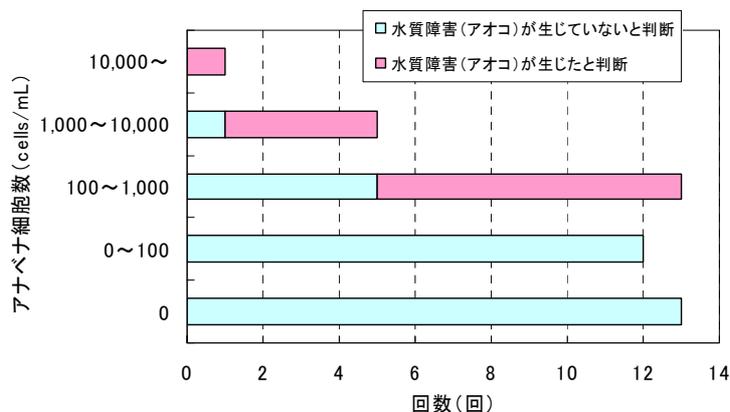
→上記の文献より、細胞数=群体数×50 を目安とできる。(目安であり、貯水池によって異なる。)

### (2)アオコの発生とアナベナ属の細胞数との関係

アオコの発生状況について、現場の判断と細胞数の関係を示す。

Anabaena 細胞数が 100cells/mL 以下の場合には水質障害の発生事例がみられなかった。

しかし、Anabaena 細胞数が 100cells/mL 以上になると水質障害の発生がみられ、1,000cells/mL 以上での発生の可能性が大きくなる。



(細胞数の分類：〇〇より大きい~〇〇以下)

- 現場の判断 (アオコの発生)
- ① 細胞数 100cells/mL 以上で水質障害の可能性が大きい
  - ② 細胞数 100cells/mL 以下で水質障害の可能性が小さい

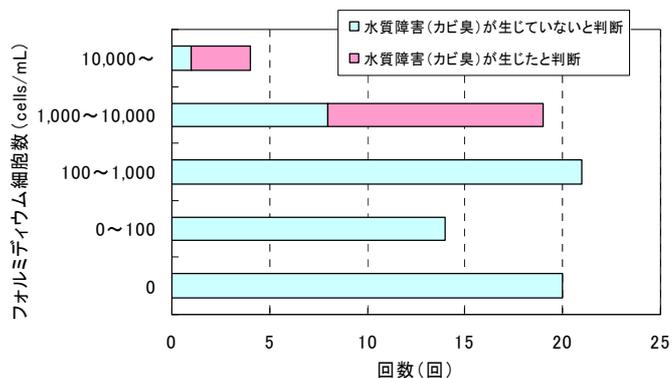
図 4.12.2 Anabaena 細胞数と水質障害 (現場の判断) の状況

### (3) カビ臭の発生とフォルミディウム属の細胞数との関係

以下に、現場の判断と細胞数の関係を示す。

Phormidium 細胞数が 1,000cells/mL 以下の場合には水質障害の発生はみられなかった。

しかし、Phormidium 細胞数が 1,000cells/mL 以上であると水質障害の発生がみられ、細胞数が 10,000cells/mL 以上では、水質障害と判断されているケースが多い。



現場の判断（カビ臭の発生）

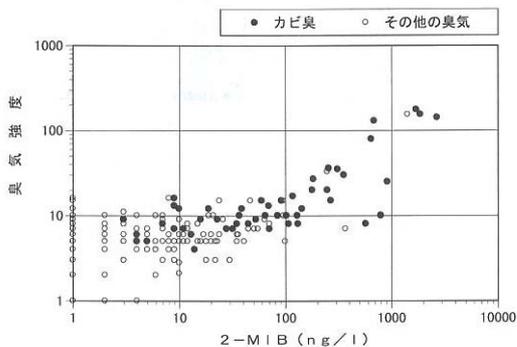
- ① 細胞数 1,000cells/mL 以上で水質障害の可能性が大きい
- ② 細胞数 1,000cells/mL 以下で水質障害の発生事例なし

(細胞数の分類：○○より大きい～○○以下)

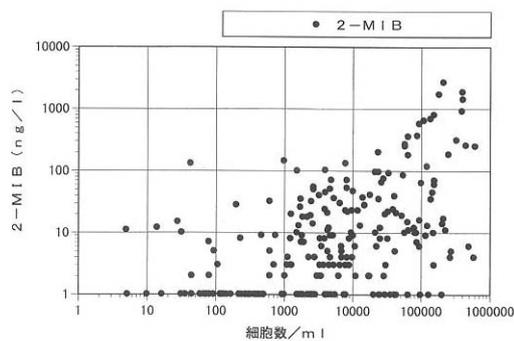
図 4.12.3 Phormidium 細胞数と水質障害（現場の判断）の状況

#### 1. 文献事例でのフォルミディウムとカビ臭の関係

- ・ 2-MIB 濃度が 10ng/l を超えるとカビ臭と認識される頻度が増加する傾向。
- ・ フォルミディウムが 100~1000 細胞数/ml を超えると、10ng/l 以上の 2-MIB 濃度が増える傾向。



臭気強度と 2-MIB 濃度の関係



2-MIB 濃度とフォルミディウム発生量の関係

出典：工藤勝弘・河上智行・山田正：ダム貯水池におけるフォルミディウムとカビ臭，水文・水資源学会誌，Vol.17，No.4，pp.331-342，2004

#### 2. 水道法に基づく水質基準

- ・ 2-MIB 濃度が 10ng/mL 以下

#### 4. 12. 2 水質障害を抑制するための運用管理指標(水温勾配)の参考値

水温勾配と植物プランクトンの関係を整理し、水質障害が発生する植物プランクトンの細胞数とそれに対応する水温勾配を設定した例を表に示す。

表 4. 12. 2 水質障害を抑制するための運用管理指標(水温勾配)の参考値

藻類種	水質障害の内容	細胞数と水質障害の関係	水温勾配と水質障害発生の関係
Microcystis	アオコ	<ul style="list-style-type: none"> <li>細胞数 10,000cells/mL 以上 →水質障害が発生</li> <li>細胞数 1,000cells/mL 以上 →水質障害の可能性が大きい</li> <li>細胞数 1,000cells/mL 以下 →水質障害の可能性が小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水温勾配が 0.5°C/m 以上でかつ、Microcystis 細胞数が 10,000cells/mL 以上 →水質障害と判断</li> <li>水温勾配を 0.5°C/m 以下 →水質障害を抑制できる可能性が大きい</li> </ul>
Anabaena	アオコ	<ul style="list-style-type: none"> <li>細胞数 100cells/mL 以上 →水質障害の可能性が大きい</li> <li>細胞数 100cells/mL 以下 →水質障害の可能性が小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水温勾配が 0.5°C/m 以上でかつ、Anabaena 細胞数が 100cells/mL 以上 →水質障害と判断</li> <li>水温勾配を 0.5°C/m 以下 →水質障害を抑制できる可能性が大きい</li> </ul>
	カビ臭	・明瞭な関係は得られなかった	・明瞭な関係は得られなかった
Phormidium	カビ臭	<ul style="list-style-type: none"> <li>細胞数 1,000cells/mL 以上 →水質障害の可能性が大きい</li> <li>細胞数 1,000cells/mL 以下 →水質障害の可能性が小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水温勾配が 0.5°C/m 以上でかつ、Phormidium 細胞数が 1,000cells/mL 以上 →水質障害と判断</li> <li>水温勾配を 0.5°C/m 以下 →水質障害を抑制できる可能性が大きい</li> </ul>



注) カビ臭による水質障害の原因藻類 Anabaena については、抑制するための条件を把握することができなかった。

### (3) 水温勾配とアオコ発生時のミクロキスティス属の細胞数との関係

ミクロキスティス属の細胞数の年最大値と同日の水温勾配の関係を示す。

水温勾配と Microcystis 細胞数の関係から、水温勾配が大きくなると Microcystis 細胞数も増加する傾向にある。

また、水温勾配が  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$  以上でかつ、Microcystis 細胞数が  $10,000\text{cells}/\text{mL}$  以上となると、水質障害と判断されており、 $1,000\text{cells}/\text{mL}$  以上となると、水質障害の可能性が大きくなる。

このため、水温勾配を  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$  以下にすることができれば、水質障害（アオコの大量発生= $10,000\text{cells}/\text{mL}$ ）を抑制できる可能性が大きい。

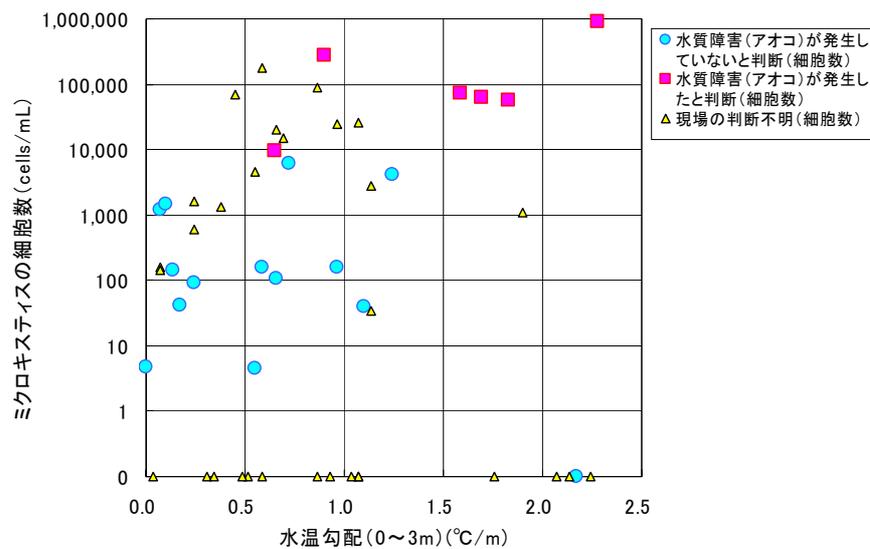


図 4. 12. 4 Microcystis 細胞数が年最大時の水温勾配と Microcystis 細胞数の関係

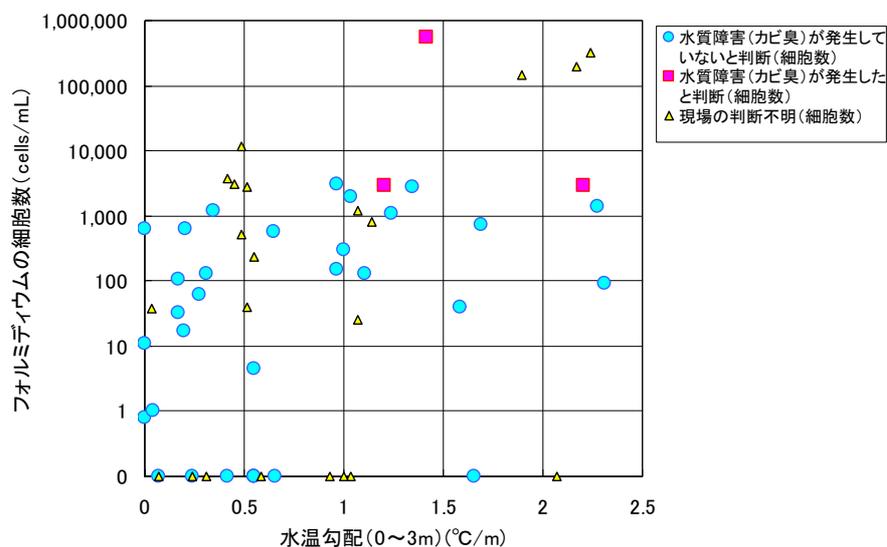


#### (5) 水温勾配とカビ臭発生時のフォルミディウム属の細胞数との関係

フォルミディウムの細胞数の年最大値と同日の水温勾配の関係を示す。

水温勾配と Phormidium 細胞数の関係を見ると、水温勾配が 0.5°C/m 以上でかつ、Phormidium 細胞数が 1,000cells/mL 以上となると、水質障害と判断される可能性が大きい。

このため、水温勾配を 0.5°C/m 以下にすることができれば、水質障害を抑制できる可能性が大きい。



注) 植物プランクトンと水温鉛直分布の測定日が異なるデータがあるため、測定日が同日のデータのみ使用

図 4.12.6 Phormidium 細胞数が年最大時の水温勾配と Phormidium 細胞数の関係

#### (6) 水温勾配とカビ臭発生時のアナベナ属の細胞数との関係

アナベナ属の細胞数の年最大値と同日の水温勾配の関係を示す。

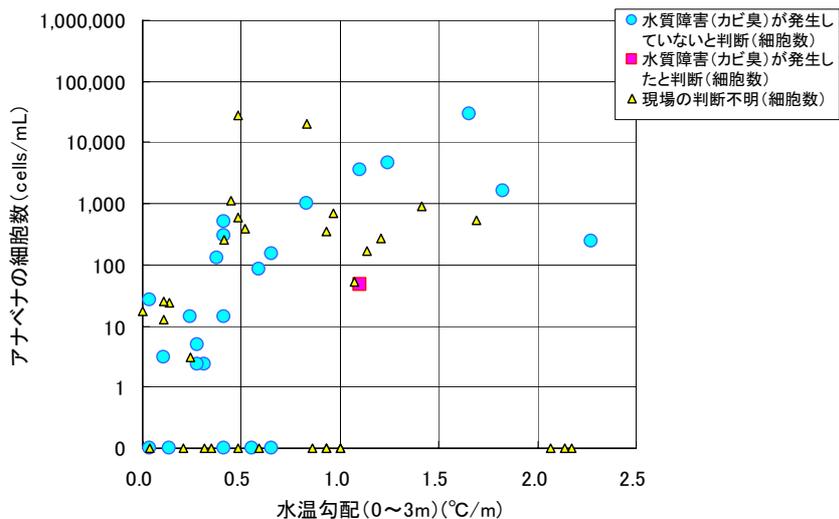


図 4.12.7 Anabaena 細胞数が年最大時の水温勾配と Anabaena 細胞数の関係

(7) 情報が少ないダム貯水池における運用管理指標の設定

以上の整理を行うに足りるデータが少ない場合、図 4.12.8 に示す全国事例の参考値から、運用管理指標として、水温勾配  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$  とする。



図 4.12.8 水質障害を抑制するための運用管理指標の参考値

#### 4.12.3 曝気循環施設の効果が得られやすい運用条件の傾向

具体的には、全国の曝気循環施設が導入されているダム貯水池において、運用条件と効果の関係について整理を行い、効果が得られやすい運用条件を把握した。

効果の指標は、「水温勾配」および「植物プランクトン（景観障害の代表種であるミクロキスティス）の年最大値」とし、曝気式循環施設の運用条件は、「運用期間」、「曝気水深」及び「連続運転の有無」である。

##### (1) 水温勾配からみた運用条件

###### a) 水温勾配の年間変動からみた運用期間

曝気循環施設を設置していない貯水池の水温勾配（0～5m）は、3月～4月にかけて水温勾配が大きくなり始め、7月から8月に最大となり、循環期となる10月には水温差がほとんどない状況となる。

4月は、気象、流況等の状況によって水温勾配が異なるが、最大で約1.0°C/mとなる。曝気施設がない場合には、アオコが発生しやすい7月～8月には0.6°C/m～2.0°C/m以上となる。

また、水温勾配が小さい場合でも、6月には水温勾配が0.5°C/m以上となる。

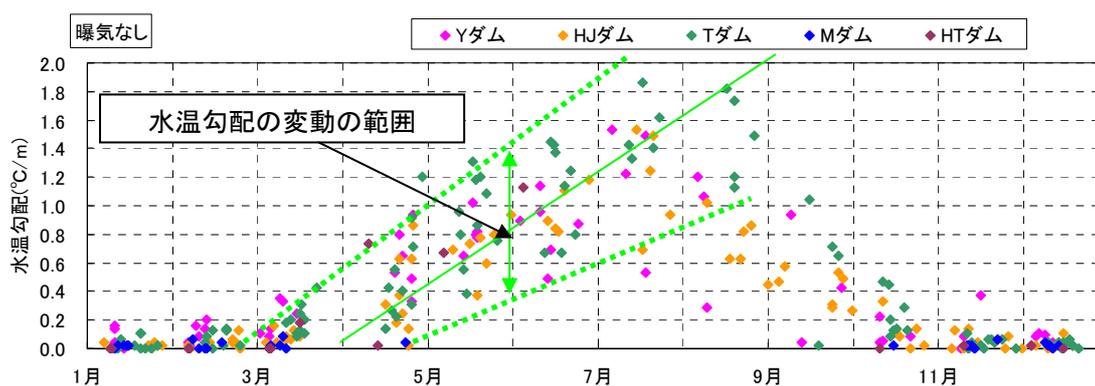
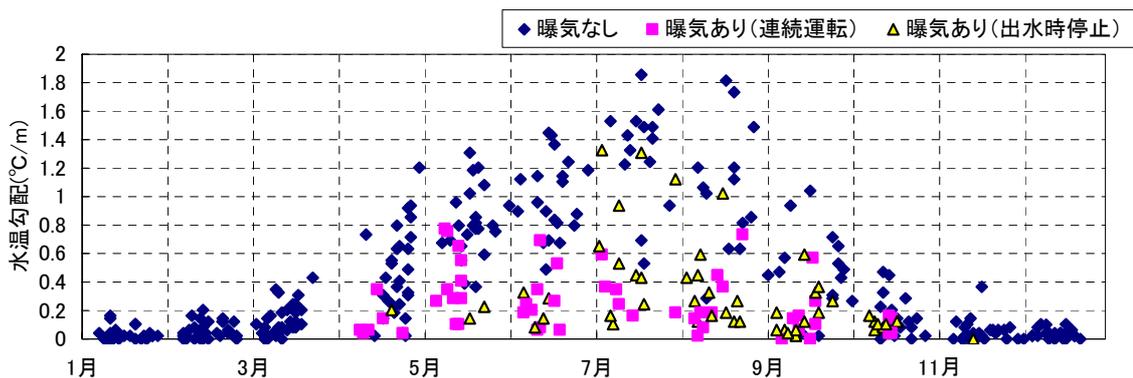


図 4.12.9 水温勾配（0～5m）の年間変動

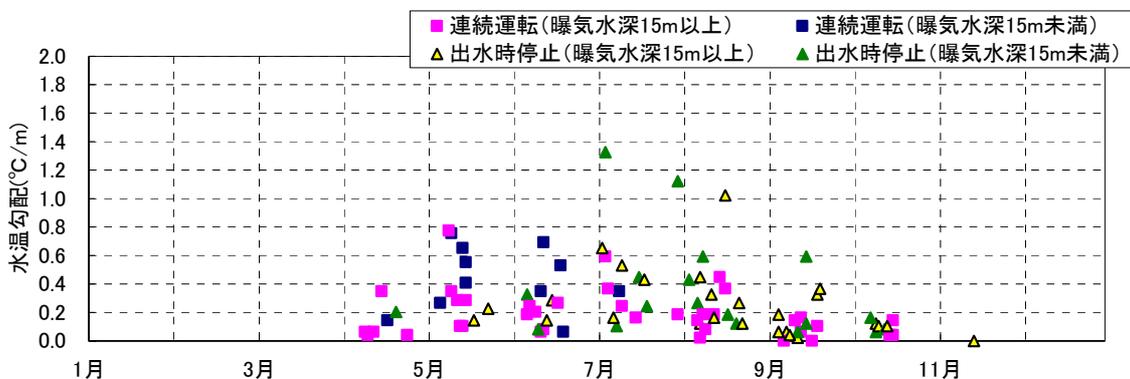
また、曝気循環施設を設置している場合には、夏期の水温勾配が小さくなる傾向がみられ、特に、連続運転しているほど、7月以降の水温勾配が約0.6°C/m以下と小さくなる。



- (注1) 曝気なし：該当日において曝気運転なし
- (注2) 連続運転：曝気開始から該当日まで停止なしで運転されている（1日停止の場合は連続運転とする）
- (注3) 出水時停止：曝気開始から該当日まで出水による停止が2日以上

図 4.12.10 水温勾配 (0~5m) の年間変動 (曝気あり、なし)

さらに、曝気水深及び連続運転の有無でみると、曝気水深が 15m 以上で連続運転している場合には、水温勾配を最も小さくすることができ、水温勾配 0.5°C/m 以下に抑えることが可能である。



- (注1) 連続運転：曝気開始から該当日まで停止なしで運転されている（1日停止の場合は連続運転とする）
- (注2) 出水時停止：曝気開始から該当日まで出水による停止が2日以上
- (注3) 曝気水深は該日前一ヶ月間の主水深を用いる

図 4.12.11 水温勾配 (0~5m) の年間変動 (曝気水深による区分)

以上より、水温勾配の年間変動からみると、水温勾配を 0.5°C/m 以下にするため、運用期間は、概ね 4 月~9 月の期間の運用が必要と考えられる。

b) 水温勾配からみた運用開始時期と曝気水深

水温勾配の最大値を指標とし、水温勾配と曝気の開始時期及び曝気水深との関係を以下に示す。

水温勾配は、曝気開始時期が早ければ、 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$  以下となる傾向があり、曝気開始時期を4月として連続運転を行えば、水温勾配が約  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$  以下に保たれると考えられる。

また、運用開始時期が5月以降になると、水温勾配が  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$  以上になり、Microcystis 等が発生しやすい状況になると考えられる。

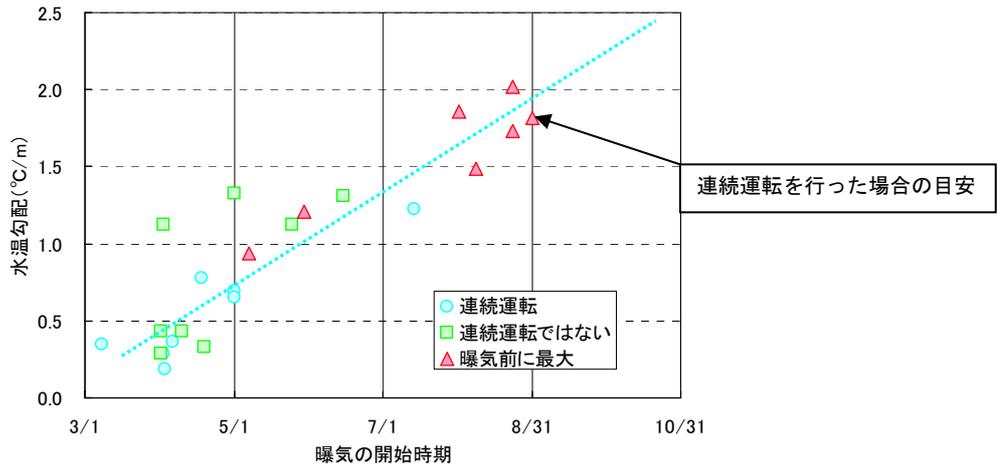


図 4.12.12 曝気の開始時期と水温勾配の関係 (運転方法)

また、曝気の開始時期と曝気水深の関係を見ると、水温勾配について、曝気水深 15m 以上、曝気運転開始時期3~4月の運転条件のとき、水温勾配が  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$  以下となる傾向がみられた。

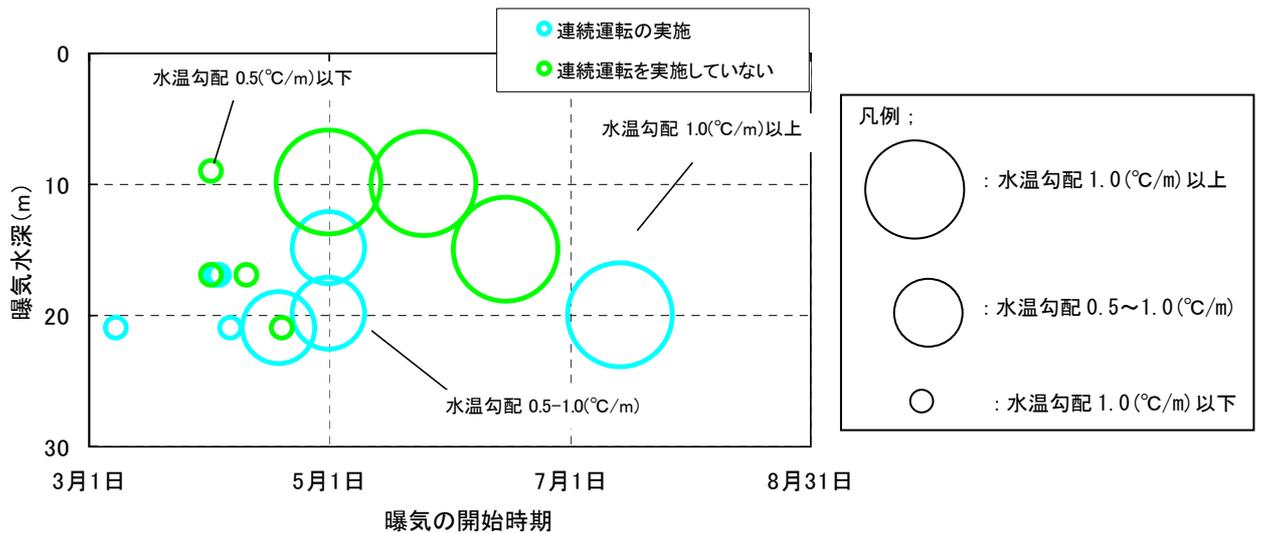


図 4.12.13 曝気の開始時期と曝気水深の関係 (水温勾配)

以上より、水温勾配と運用開始時期・曝気水深との関係を見ると、概ね4月からの運用開始、曝気水深 15m 程度及び連続運転が必要と考えられる。

【参考：植物プランクトンと表層水温の関係】

藍藻類のミクロキスティス属、アナベナ属及びフォルミディウム属の植物プランクトン濃度は、ダム湖のように常に十分な栄養塩類の流入があって、夏季に栄養塩類が枯渇しない場合には、水温が高い夏季に異常上昇しやすい。

全国のダムの事例より、植物プランクトンの細胞数と表層水温の関係を以下に示した。

1) 表層水温とアオコ発生時の細胞数との関係

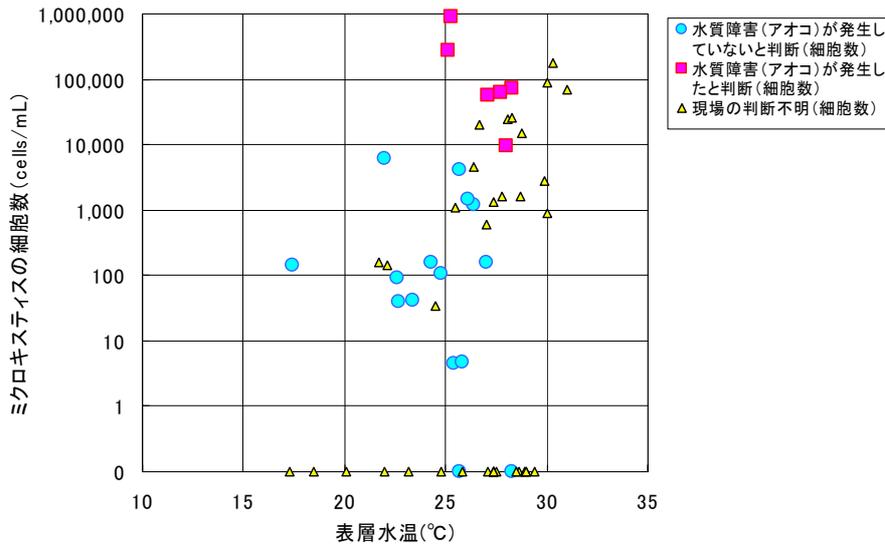


図 4. 12. 14(1) Microcystis 細胞数が年最大時の表層水温と Microcystis 細胞数の関係

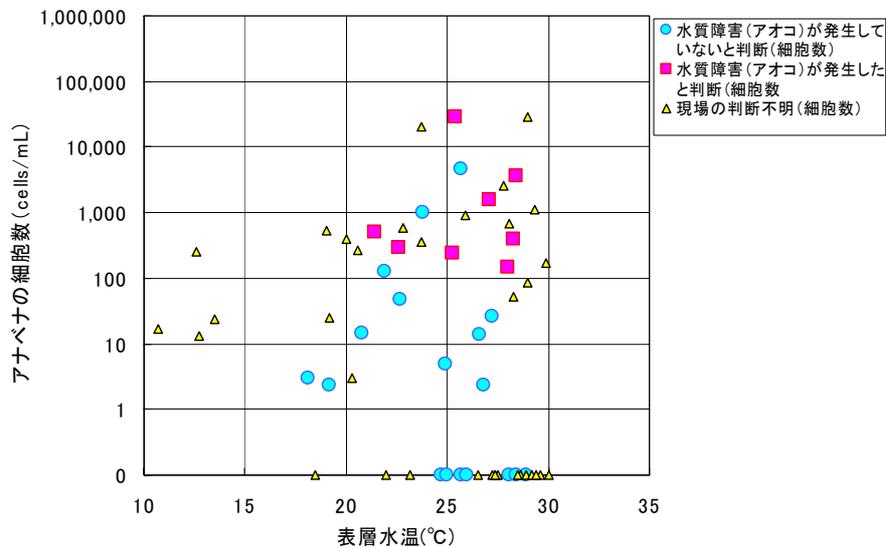


図 4. 12. 14(2) Anabaena 細胞数が年最大時の表層水温と Anabaena 細胞数の関係

2) 表層水温とカビ臭発生時の細胞数との関係

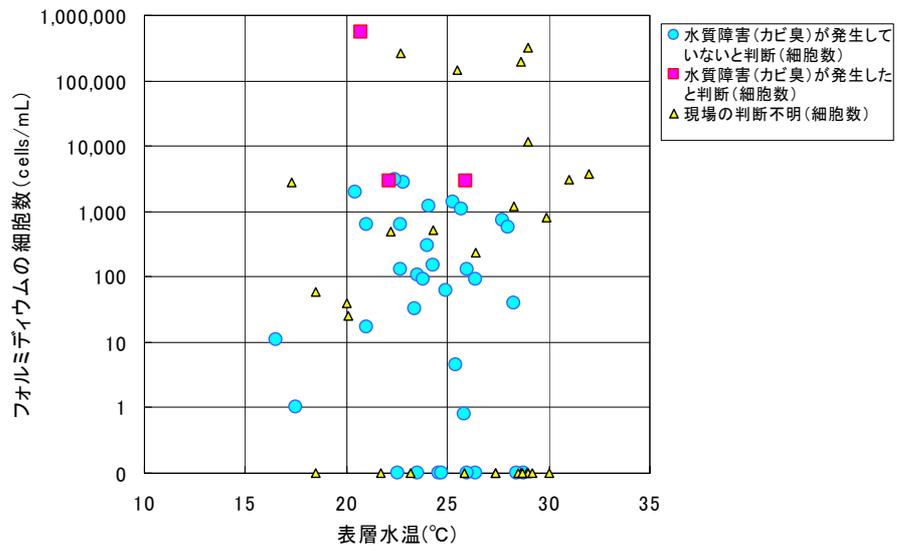


図 4. 12. 15(1) Phormidium 細胞数が年最大時の表層水温と Phormidium 細胞数の関係

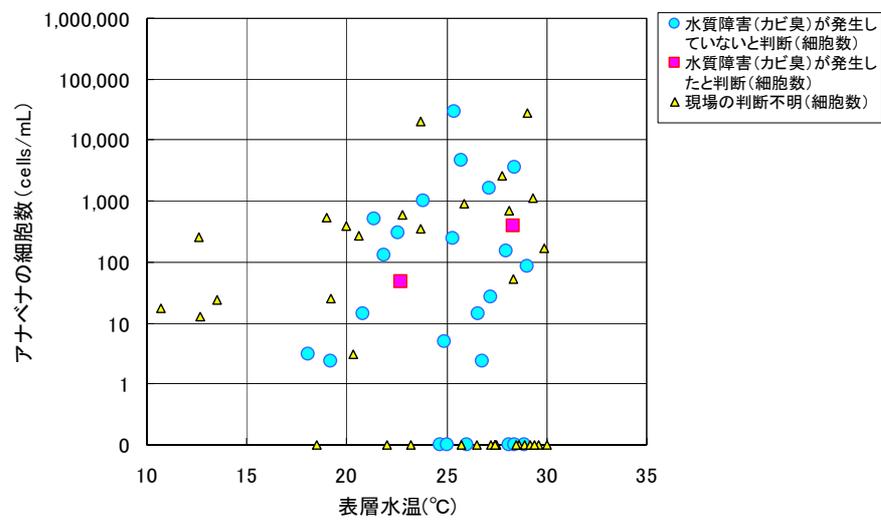


図 4. 12. 15(2) Anabaena 細胞数が年最大時の表層水温と Anabaena 細胞数の関係

また、既往事例の分析結果より、植物プランクトンの出現頻度と表層水温(0.1m)の関係を以下に示した。

### 3) 植物プランクトンの出現頻度と表層水温の関係 (アオコ)

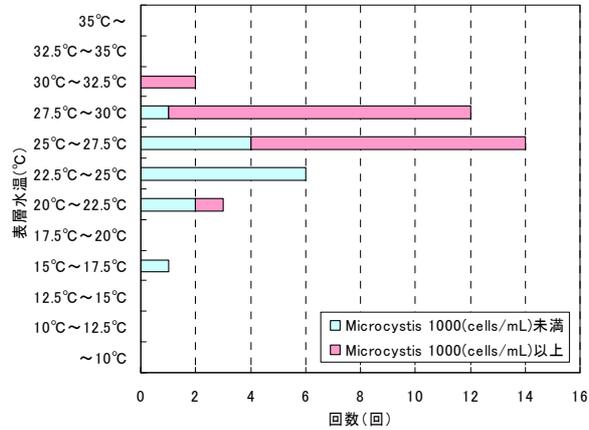


図 4. 12. 16(1) Microcystis の出現頻度と表層水温の関係

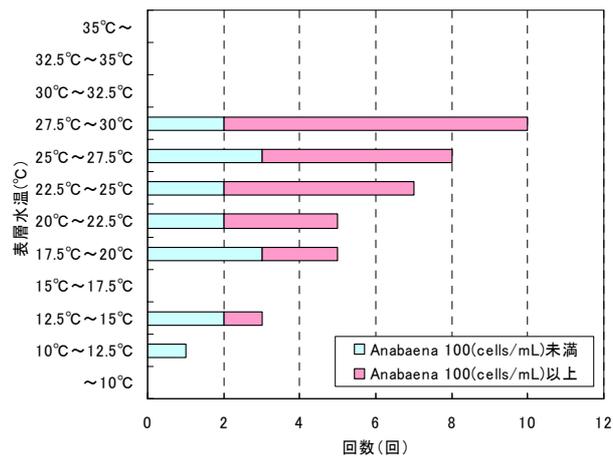


図 4. 12. 16(2) Anabaena の出現頻度と表層水温の関係

### 4) 植物プランクトンの出現頻度と表層水温の関係 (カビ臭)

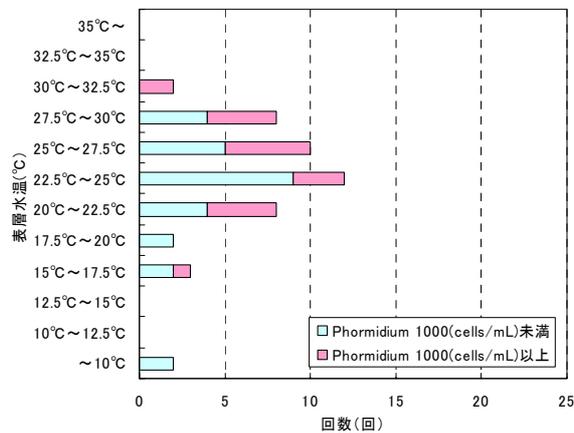


図 4.12.17 Phormidium の出現頻度と表層水温の関係

### 第3部 選択取水設備編

#### 第5章 選択取水設備の概要

##### 5.1 選択取水設備の構造・用語

###### 5.1.1 選択取水の形式

選択取水設備は、次のように多段式とその他の形式に分けられる。

- 1)多段式
  - ・直線多段式
  - ・半円型多段式
  - ・円型多段式（機械式、フローティングタイプ）
- 2)多孔式
  - ・多孔式
  - ・複式
  - ・ヒンジパイプ式等

各形式の構造図を以下に示す。

出典：選択取水設備設計要領（案）同解説 昭和62年9月  
建設省河川局開発課 監修・（財）国土開発技術研究センター

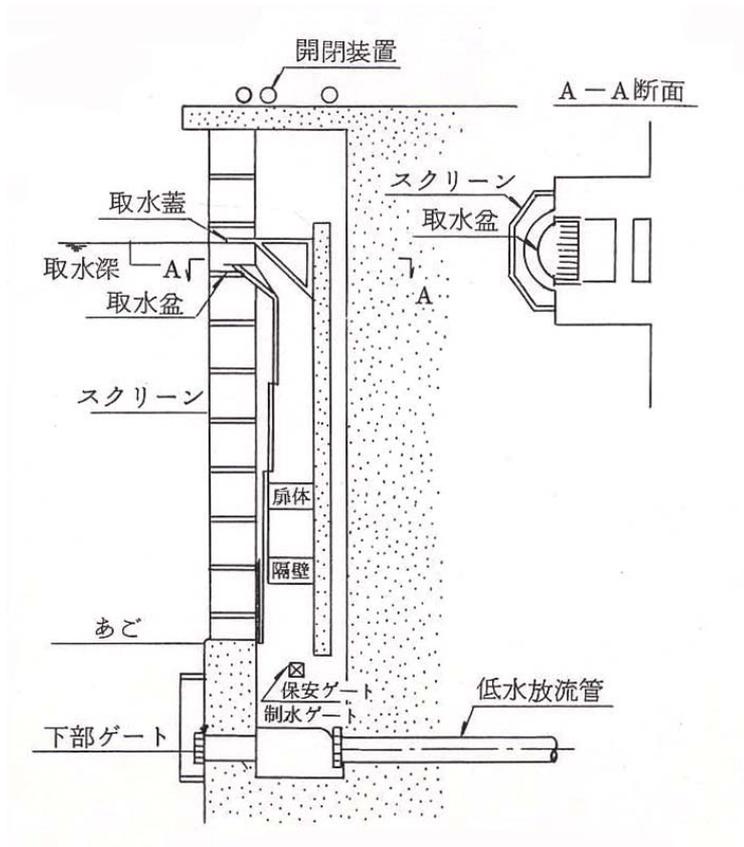


図 5.1.1 直線多段式ゲート（例）

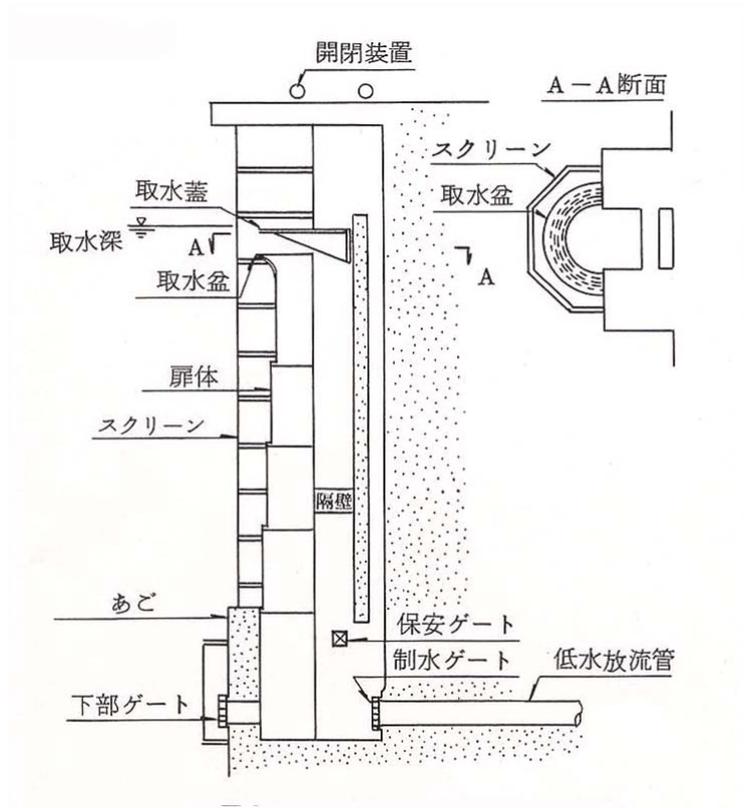


図 5.1.2 半円型多段式ゲート (例)

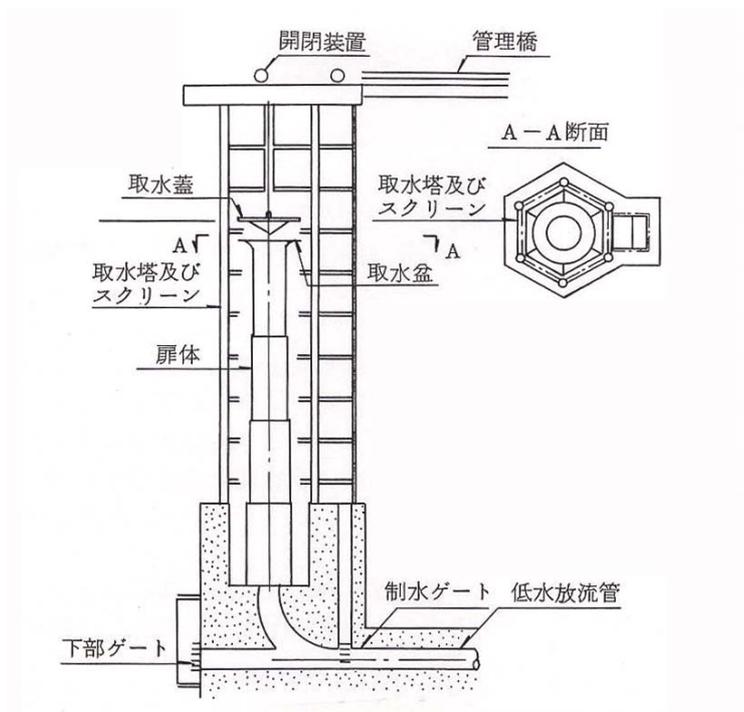
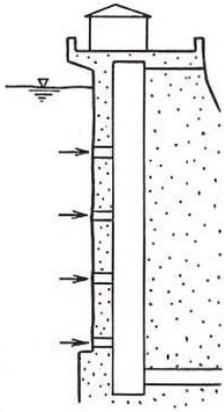
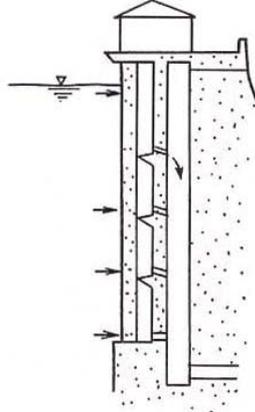


図 5.1.3 円型多段式ゲート (例)

多孔式



複式



ヒンジパイプ式

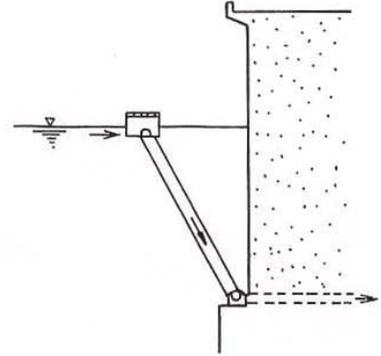


図 5.1.4 その他の形式の例

注：成層している貯水池において、多孔式取水設備を採用する場合、孔間移行する時に冷水放流がさけられないため、小水量でも多段式を採用するケースが多くなっている。

### 5.1.2 選択取水設備の構成

取水設備の構成要素及びその名称は次の通りである。

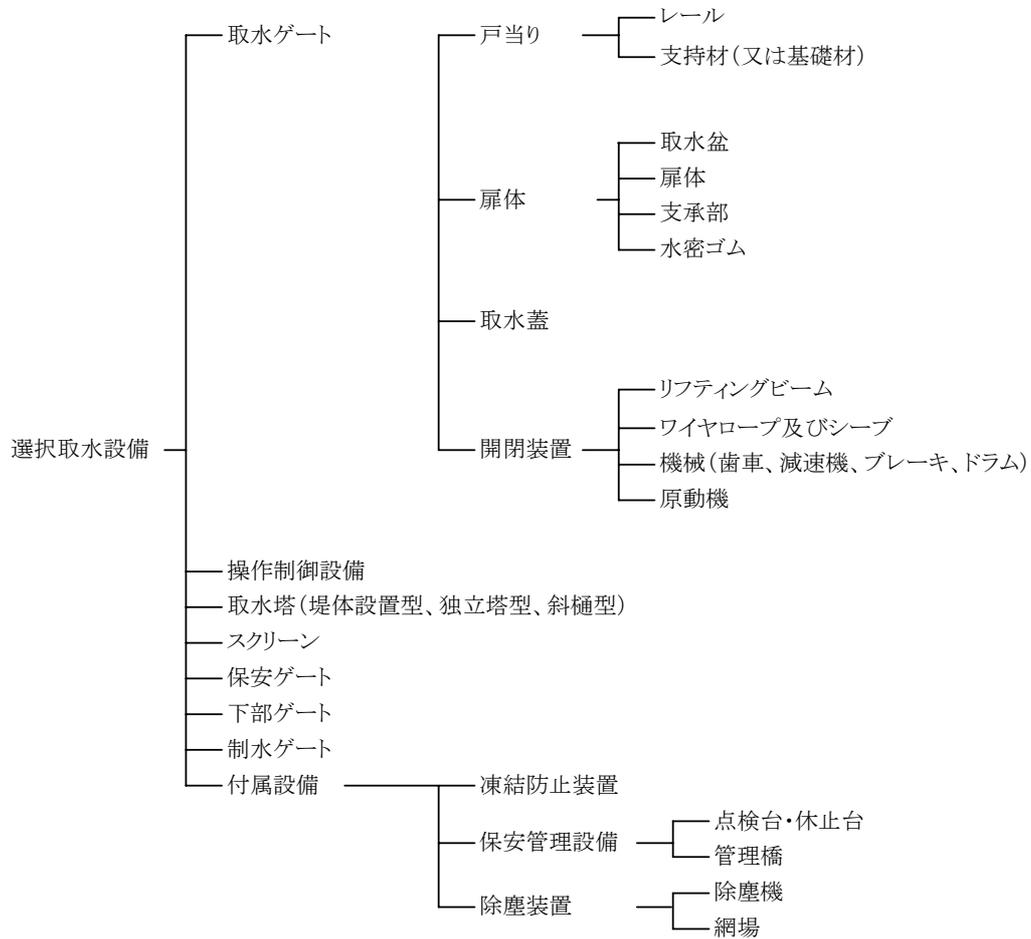


図 5.1.5 設備の構成要素

なお、ここで除外した管体類及び放流装置とは次のものを示す。

管体類：低水放流管等

放流装置：放流用主バルブ、副バルブ等

## 5.2 選択取水設備の水温・水質保全施設としての機能

水温成層が形成されている貯水池においては、取水口の高さを変えることにより、任意の層の水を選択取水できる。このように、水温や水質による成層化の生じている湖水から、放流水質（水温、濁り及びクロロフィル a 等を含む懸濁あるいは溶存物質の濃度）を選択的に取水することが、選択取水設備の期待できる機能の一つである。

また、選択取水設備を採用することで、貯水池の成層状況や、それに伴って濁水の流入水深を制御することも可能である。

### 5.2.1 水温を制御する機能

#### (1)冷水現象軽減

混合型の貯水池では、貯水池の水温は流入河川の水温と概ね等しい。それに対して成層型の貯水池では、水温成層の形成されている時期（春から秋）に底層水の水温が低くなっている。そのため、取水口の位置が低い場合には、流入河川水の水温よりも低い水温の水が放流されることになる。これが冷水現象である。

冷水現象を抑制するため、選択取水設備の期待できる機能は以下の通りである。

#### ①放流水温の選択による冷水現象軽減

水温成層が安定的に形成されている場合には、冷水軽減対策として、水温躍層より上層の温水層から取水を行う表層取水が代表的に挙げられる。

#### ②貯水池内の成層状態の制御による冷水現象軽減

##### a) ドローダウン等による水位変動が大きい場合の冷水現象軽減

貯水位を急激に低下させる場合、放流量が流入水量より多く受熱が追いつかないために、温水層の水を全て放流してしまい、冷水現象が生じる場合がある。

このようなダムにおいては、水位の急激な低下を想定し、予め温水を貯留することで冷水現象を軽減することができる。そのため、受熱期には任意層取水により、深い層（ほぼ流入水と等しい水温層）から取水し、表層付近に温水を貯留する運用を行うことが考えられる。

##### b) 中・下層に洪水吐きがある場合の冷水現象軽減

水温躍層が洪水吐きより上層に存在する場合は、洪水時における洪水吐きの稼働により、急激な冷水放流が生じることがある。このようなことを防ぐために任意層取水により水温躍層の形成位置を制御し、常時より水温躍層を洪水吐き付近に形成する方策が考えられる。これにより、洪水時の一時的ではあるが急激な冷水放流を回避することが期待できる。

ただし、洪水吐き位置が底部にある場合は、水温躍層の制御過程において、下層取水により水温躍層の位置を低下させることになる。そのため、常時冷水放流の可能性があることに留意する必要がある。

## (2) 温水現象軽減

貯水池内に蓄積した熱によって、表層には温水層が形成される。これを放流することにより、放流水温が流入水温と比べて高くなることがある。この現象は秋口に顕著にみられる。また、秋から冬において循環期に入ったダム貯水池では春季～秋季に蓄熱した分、流入水温に比べ湖内の水温は高くなることが多い。そのため、いずれの水深から取水しても放流水温は高くなる。これらが温水現象である。

温水現象を抑制するため、選択取水設備の期待できる機能は以下の通りである。

### ① 放流水温の選択による温水現象軽減

循環期前で水温成層が形成されている場合には、選択取水位置を下げ、適切な水温層から取水することで、温水放流を軽減できる可能性がある。ただし、冷水が貯留されている容量や最低取水位置の関係により、温水放流が緩和される期間は限られる。

### ② 貯水池内の成層状態の制御による温水現象軽減

- a) 成層期(春季から夏季)の貯水池内における熱の蓄積を抑えることも対策となりうる。その場合、春季から夏季にかけては表層取水を行うことが、熱の排除による対策になると考えられる。
- b) 循環期に入ってしまうと、選択取水のみでは効果は期待できない。そのため、春季から秋季に選択取水を用いて強固な水温成層を形成させ、循環期を遅らせることも対策と考えられる。

なお a)、b)として挙げた、表層取水を行い熱の排除を行うか、または選択取水を用いて水温成層を強固に形成させるかの方策は、相反する機能である。

さらに a)の考え方には、若干の注意が必要である。この方策は、特に現象が顕著で影響が大きいと想定される秋季の温水現象を軽減するために、場合によっては春から夏には多少の温水放流を許容しようという考え方ともなる。つまり、最も影響が大きい時期について軽減する分、他の時期にしわ寄せが出てしまうこともあり得る。このような場合には、年間を通じて最も適した(下流河川への影響が少ない)運用という面を考慮する必要がある。

このように、②に示した機能においては、ダムの特性、地域特性、水質・気象特性など様々な事項を考慮に入れて検討する必要がある。

### 5.2.2 濁水長期化現象を軽減する機能

濁水長期化現象の軽減を図るために、貯水池内に貯留される濁質物質の総量を取水操作によって低下させたり、逆に濁度の低い層から選択取水を行い放流水の濁りを抑えたりするという機能が挙げられる。

水温成層が形成されている貯水池では、洪水後に清水と濁水とに、貯水池内が層状に分離される状態がしばしば見られる。この時期に清水を選択的に取水すれば、下流河川の濁水期間を短縮することが可能だと考えられる。

選択取水を効果的に行うために必要な条件は次の2点である。

- 1) 平常時に安定した水温成層の形成および維持をはかること
- 2) 洪水による水温成層の破壊を極力防止すること

1)のためには、平常時において、躍層が形成されている標高、もしくは躍層を形成させたい標高から取水する必要がある。

中小規模の洪水は多くの場合、この躍層上に流入する。そして、洪水規模に応じたある期間後になると、表層に清水層が形成され、懸濁物質は中層に滞留する状態に移行する。表層の水温成層が回復して表層が清水化した時点で、取水口を表層に切替える。1～2m/dayの濁質の沈降が期待できる場合は中、大規模洪水後においても1週間～10日程度後に表層取水口への切替えが可能であろう。

表層取水を長期に継続することは、大気からの受熱量を排出してしまう結果となる。場合によっては、過剰な温水放流や水位低下時の温水冷水を招きやすいことが想定される。

躍層以下に沈降した懸濁物質はさらに沈降を続けるが、大循環による対流が躍層以下に及ぶのは、洪水期から数ヶ月後であれば、沈降には十分な時間的余裕があり、懸濁物質の再浮上の恐れはないものと考えられる。

2)のためには、洪水を底層から放流することを極力避けることが望ましい。また逆に表層から放流すると、濁水も上層へと流れ込んでしまうため、同様に回避することが望ましい。従ってある程度の規模の洪水吐きを貯水池の中間標高に設けることが有効だと考えられる。そして、この高さへと水温躍層を形成するよう、1)に示したような運用を行うことが有効である。

このような濁水長期化現象の軽減を目的とした運用をする際にも、放流水温（冷水現象や温水現象）に留意した運用を行う必要がある。ただし、濁水と水温の両者を満足する運用を行うことが困難な場合がある。（例えば、出水時に濁水軽減のために下層から取水すると冷水が放流されてしまうことがある）このように、目的を両立することが難しい場合は、下流の水利用、生物の生息・生育環境などを踏まえ、総合的に運用を判断することが望まれる。

## 第6章 選択取水設備の運用方法の検討

### 6.1 選択取水設備の運用方法の検討手順

本マニュアル（案）での、選択取水設備の運用に関する検討手順は、以下の通りとする。

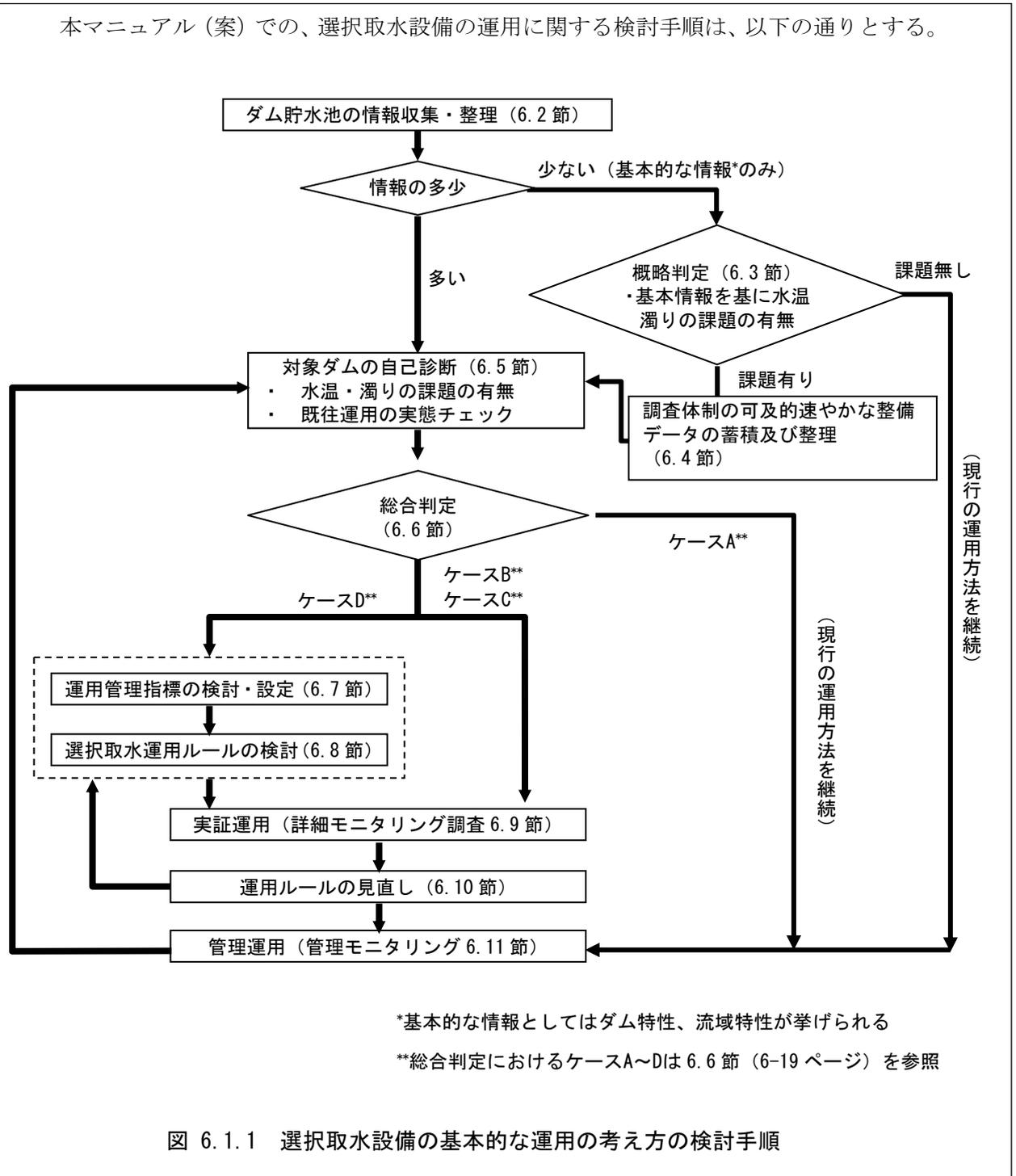


図 6.1.1 選択取水設備の基本的な運用の考え方の検討手順

選択取水設備の基本的な運用方法は、対象とするダム貯水池における気象、水理、水質及び下流の水利用、生物の生息・生育環境を把握した上で設定することが望ましい。

本マニュアル（案）は以下に示す流れで選択取水設備の基本的な運用の考え方を示す。

- 1) ダム貯水池の情報収集・整理【6.2 節】  
ダム貯水池における過去の冷水・温水、濁水長期化現象の現状を把握するため必要となる情報を示す。
- 2) 概略判定【6.3 節】  
ダム管理者が保有する基本情報を基に、冷水・温水現象、濁水長期化現象発生の有無、可能性を判断する手法について示す。
- 3) 調査体制の整備【6.4 節】  
水質データが十分でないダムにおける調査体制について示す。
- 4) 対象ダムの自己診断【6.5 節】  
収集した情報を基にダムの現状を評価する手法を示す。
- 5) 総合判定【6.6 節】  
物理的・水質的な指標と、利水・自然環境の視点からダムの現状を総合的に判定する手法を示す。
- 6) 運用管理指標の検討・設定【6.7 節】  
運用管理指標の基本的な考え方や留意事項について示す。
- 7) 選択取水設備の運用ルール of 検討【6.8 節】  
選択取水設備の運用方法を検討するにあたっての基本的な考え方や留意事項を示す。
- 8) 実証運用（詳細モニタリング調査）【6.9 節】  
設定された運用管理指標や選択取水の運用条件の妥当性を検証する手法を示す。
- 9) 運用ルールの見直し【6.10 節】  
運用ルールの見直し手法について示す。
- 10) 管理運用（管理モニタリング）【6.11 節】  
選択取水設備を適切に運用するための調査手法を示す。

## 6.2 対象ダム貯水池の情報の収集・整理

ダム貯水池における過去の冷水・温水・濁水長期化現象の現状を把握することを目的として情報を収集、整理する。

### 1) 水運用、水温、濁水等の情報

対象とする水質項目は水温・濁質濃度とする。なお、濁質濃度はデータの測定し易い濁度を原則とする。しかし濁質の特性を把握するため、SS濃度・濁質組成も参考資料としても収集する。対象地点は、流入河川地点、貯水池内地点、下流河川地点の区分それぞれから選定する。

貯水池運用データは流入量、放流量、貯水位、取水水位とする。

なお、これらの情報全てを保有していなくとも、ダム貯水池の運用データや水質の定期観測データのような基本情報のみの場合でも 6.3 節「概略判定」の検討に進むものとする。

#### ① 対象とする地点

- ・ 流入河川地点（貯水池の流入河川に観測点が複数ある場合は、すべての観測点）
- ・ 貯水池内（ダムサイト又は基準点、水深方向にすべてのデータ）
- ・ ダム下流地点（放流水温は放水口地点と下流（基準）地点とする。なお両者が距離的に近い場合には、どちらかを省略することが可能である。ただし、下流までダムの影響が想定される場合は、その範囲について流下方向に複数点）

#### ② 必要とする観測データの項目

水温、濁質濃度（濁度、SS）及び濁質の粒度分布

#### ③ 必要とする情報の頻度

- ・ 自動観測計が上記地点で設置されている場合は、その情報を収集・整理する。出水時の濁質組成については出水時の観測（調査）データを収集する。なお、自動観測計のデータの信頼性を確認するため定期観測（1回/月）データについても収集し、クロスチェックをすることが望ましい。
- ・ 自動観測計が設置されていない場合は定期観測、出水時の観測データを収集する。ただし、冷水・温水現象の発生の有無を判断するためには、まず、定期観測（月1回）のデータなどから問題が生じているかどうかの概略判定を行う（6.3 節参照）。問題が生じている可能性のあるダムについては、早期に自動観測計を設置し、以下のような頻度での調査やデータ整理・分析をすることが望まれる。

冷水現象発生の判断のため：1回/1～2日程度<sup>\*</sup>（受熱期：3月中旬～9月末まで）

温水現象発生の判断のため：1回/3～5日程度<sup>\*\*</sup>（7月～11月末まで）

\* 冷水現象は出水時のコンジット放流や渇水補給時の急激な水位低下に伴うことが多く、短いスパンでの変化現象であるため毎日の観測が望まれる。

\*\* 温水放流は夏季の蓄熱によるもので長期間生ずる現象である。そのため3～5日に1回の観測で判断可能と考えられる。

#### ④ ダム貯水池運用

ダム貯水池の運用方法により、冷水・温水現象及び濁水長期化現象の程度は異なる。そのため、流入量、ゲート別の放流（取水）量、貯水位、選択取水の取水位置などの情報を収集整理する。これらは日単位を基本とするが、出水時については時間単位で収集・整理する。

### 2) 流域情報等

ダムによる影響を分析するための情報として、以下の項目も収集する必要がある。

- 1) 対象ダム貯水池の水質障害（冷水・温水現象、濁水長期化現象）の発生記録
- 2) 対象ダム流域からの冷水・温水・濁水放流に関する苦情
- 3) 対象ダムの上下流における水系統（発電バイパス等）
- 4) 対象ダムの上下流における利水（灌漑、漁業など）
- 5) 対象ダムの上下流における重要な生態系
- 6) 対象ダムの上下流の地質、崩壊地状況

水質データ以外にも、ダムによる影響を評価し、選択取水設備の運用を検討していくために、上記のような社会的な状況や生物・生態系に関連する情報なども必要である。

### 3) 情報の収集期間

データの収集期間は5ヶ年～10ヶ年以上が望ましい。

なお、この期間に満たない新設ダムで自動水質計が設置されていない場合は、ダム建設前を含めたデータを収集することが望まれる。流入水温、流入濁質濃度を推定し、検討を行うために必要となるデータとなるからである。

### 6.3 概略判定

観測データが少ない場合には、ダム取水や放流設備の配置・構造、ダム運用及び水利用者からの苦情・意見等の基本情報から、冷水・温水現象、濁水長期化現象発生の有無及びそれらの可能性の有無を判断する。

ダム管理者が保有する下記の基本情報を基に、冷水・温水現象、濁水長期化現象発生の有無、可能性の有無の判定を行う。

#### (1) 冷水・温水現象の発生に関する基本情報

冷水・温水現象が発生しているか、また発生する可能性があるかを判定するための基本情報としては、以下のものが挙げられる。

- 1) 貯水池の回転率
- 2) ダムの取水口（洪水吐き、低水放流設備の取水口）の高さ
- 3) 水利用者等からの水温に関する苦情・意見
- 4) 水運用データのチェック

#### 1) 貯水池の回転率

冷水・温水現象の発生は貯水池の水温成層の状況に依存する一つの指標として年回転率（ $\alpha = Q_0 / V_0$ 、 $Q_0$ ：年間総流入量、 $V_0$ ：総貯水容量）があり、 $\alpha < 30$  の場合は水温成層が形成される可能性がある（例えば『多目的ダムの建設 第2巻 環境調査I編 平成17年度版』、p.175）ため、留意しておく必要がある。

#### 2) ダムの取水口（洪水吐き、利水放流）の高さ

冷水・温水現象の発生は、ダムの取水位置や洪水吐きの位置にも依存する。そのため、これらの情報を確認する必要がある。

##### ①洪水吐きが低い位置にある場合

中間型・成層型ダムで、低い位置（水温躍層より下層）に洪水吐きが設置されている場合は、洪水時に洪水吐きを開くことによって、下層の冷水を一次的だが急激に放流する可能性がある。

なお、水温成層情報（実測の水温分布データ）が無いダムでは、洪水吐き位置の水深が約20m以上であることを対象とする。

##### ②低水放流設備の取水口が低い位置にある場合

中間型・成層型ダムにおいて低い位置（水温躍層より下層）から取水する場合、水の流動による影響で、水温躍層の位置が深くなる。その結果、表層に温水を多量に貯留することになる。これが、秋季における温水放流を発生する原因となることがある。なお、水温成層情報（実測の水温分布データ）が無いダムでは、低水放流設備の取水口位置の水深が約20m以上であることを対象とする。

一方、熱量の少ない地域のダムでは、春先に冷水放流が生じることもある。また、取水口

を下層に移動した際にも冷水放流が生じる可能性がある。

### 3) 水利用者等からの冷水・温水現象に関する苦情・意見

下流の利水者（漁業協同組合や農家など）からの苦情の有無により、冷水現象や温水現象の発生を確認を行う。

### 4) 水運用データ

年間水位・流量の変化グラフを通して、冷水現象や温水現象が発生しやすい状況であるかを確認することで、ダムの特性を定性的に把握することができる。

- ・急激な水位低下（例えば：渇水補給期間、ドローダウン期間）があるか（冷水現象が生じやすい）
- ・水位回復期（例えば：渇水補給後、夏季制限水位から常満水位への移行期間）があるか（温水現象が生じやすい）
- ・洪水規模が大きい（出水時流入量は、出水直前貯水容量の約半分以上。このような洪水が多いなら、冷水・濁水現象が発生しやすい）

## (2) 濁水長期化現象の発生に関する基本情報

濁水長期化現象が発生しているか、または発生する可能性があるかを判断するための基本情報としては、以下のものが挙げられる。

- 1) 水利用者等からの水温に関する苦情・意見
- 2) 水運用データのチェック
- 3) 流域地質・崩壊地等の特性

### 1) 水利用者等からの水の濁りに関する苦情・意見

下流漁業者や住民、観光客等からの苦情の有無により、濁水長期化現象の発生を検討する。

### 2) 水運用データのチェック

年間水位・流量の変化グラフを通して、濁水現象が発生しやすい状況であるかを確認することで、ダムの特性を定性的に把握することができる。

・洪水規模が大きい（出水量は約総貯水容量の半分以上。このような洪水が多いなら、濁水長期化現象が発生しやすい）一つの目安としては、洪水の総流入量  $W_f$  と総貯水容量  $V_0$  の比  $\beta = (W_f/V_0)$  があり、 $\beta > 0.5$  で濁水長期化が発生しやすい。

- ・洪水の発生回数は多いか（濁水現象が発生しやすい）

### 3) 流域地質・崩壊地等の特性

濁水長期化現象が発生しやすい場合の流域特性、地質特性等は以下の通りである。

- ・出水時流入濁質濃度が高い場合
- ・貯水池末端に微細土砂の堆積がある場合

- ・ダムの上流に崩壊地がある場合。

図 6.3.1 には、既往の文献に基づいて重荒廃地域と一般重荒廃地域の分布を示す。これはあくまで一つの目安となる指標（資料）にすぎないことは留意する必要があるが、ダム上流域がこのいずれかの地域を含んでいる場合は濁水現象の発生の懸念があると考えられる。

またダムの下流河川のその時の状態が、平常時の状況や近傍の類似した河川の状態及びダムの上流などと比較して、河床の石の表面のシルト分が顕著に多い（多かった）という観点からも、濁水現象の発生を概略的に把握することができる。

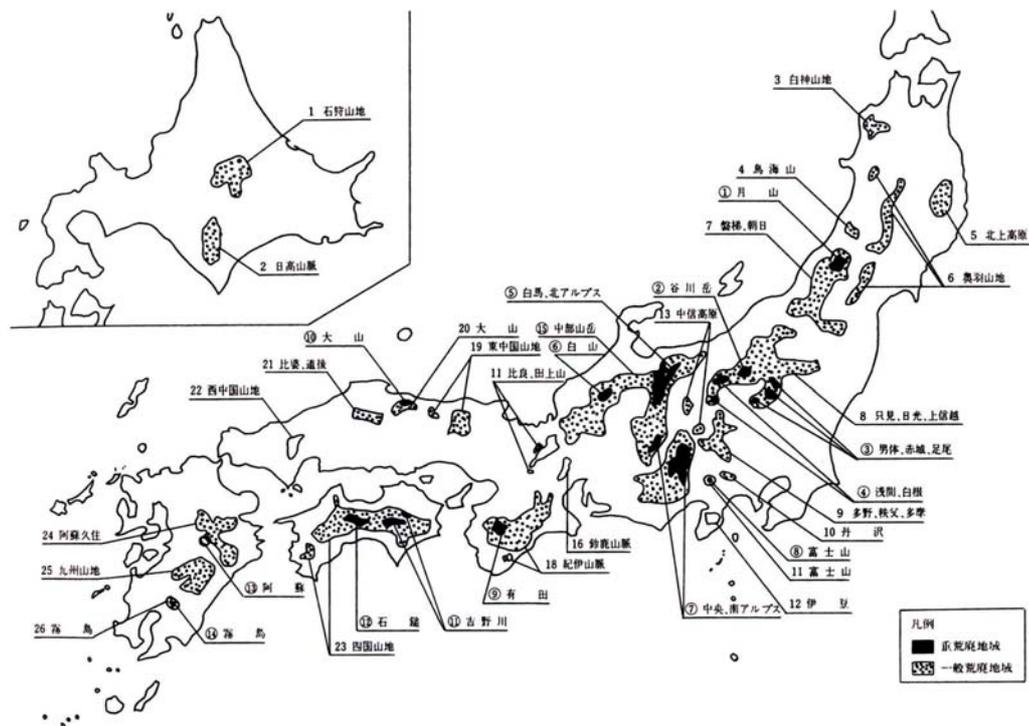


図 6.3.1 重荒廃地域、一般重荒廃地域の分布（出典：砂防便覧 H11）

重荒廃地域、一般重荒廃地域の定義は以下のとおりである。

①重荒廃地域

大規模な崩壊、禿禿（とくしゃ）地、滑落崖地を含んだ地質及び植生の不安定な地域。

- ・ 大規模な崩壊地とは1崩壊面積  $0.3\text{km}^2$  以上のもの。
- ・ 大規模な禿禿地とは1禿禿面積  $2.0\text{km}^2$  以上のもの。
- ・ 大規模な滑落崖地とは、断続的な滑落崖に含まれる面積  $1\text{km}^2$  以上のもの。

②一般重荒廃地

崩壊地、禿禿地、滑落崖地が点在し、その延面積がその地域の相当量を占め、その地域に荒廃をもたらすとともに、下流域に土砂氾濫及び洪水氾濫の危険を及ぼすおそれのある地域。延面積が相当量とは、崩壊地 1%以上、禿禿地 10%以上、滑落崖地 5%以上。

#### 6.4 概略判定で課題ありとなったダムにおける調査体制の整備

水質データなどについて十分な測定や蓄積がないダムでは、調査体制を新たに可及的速やかに整備し、調査データを随時整理するとともに、ダム貯水池における水質現象・選択取水設備の運用状況などについて詳細に検討を行う。

ただし、現状でも得られる情報に関しては、可能な範囲で収集・整理を実施する。

十分な水質観測データが得られないダムにおいては6.9節「詳細モニタリング調査」を参考し、6.2節「対象ダム情報の収集」の対象とする水質項目・調査地点において調査体制の整備を行い、データの蓄積を行うとともに詳細検討を行う。

## 6.5 対象ダム自己診断

十分な観測データがある場合には、当該ダムの現況を把握するため、以下の事項について自己診断を行う。

- 1) 過去の水質観測データから冷水・温水現象、濁水長期化現象発生の有無をチェックする
- 2) 既往運用実績から選択取水設備運用の実態をチェックする

収集整理した水質観測データや流域情報等をもとに、当該ダムにおける冷水・温水現象、濁水長期化現象の発生状況や課題の確認を行う。また、冷水・温水現象または濁水長期化現象が生じていないダムでは、その運用方法が概ね妥当であると想定されることから、選択取水の運用ルール及び運用実績を整理することで、他ダムへの参考事例となりうる。

一方、冷水・温水現象又は濁水長期化現象が生じているダムでは、運用ルールと運用実績の比較を行うとともに、課題の整理を行う。

自己診断に関する詳細は、以下に示す。

### 6.5.1 冷水・温水現象、濁水長期化現象の発生に関する確認

ダムから下流河川への放流水質について、以下の現象に係わる情報を確認する。

- 1) 冷水・温水放流現象
- 2) 濁水長期化現象

#### 1) 冷水・温水現象の発生に関する確認事項

冷水・温水現象が発生しているか、また発生する可能性があるかを調べるための手段として、以下の情報が挙げられる。

- ・冷水・温水現象の発生状況に関する確認事項
  - 1) 貯水池の流入水温と放流水温の実測値に基づく比較
  - 2) 水利用者等からの水温に関する苦情・意見 概略判定(6.3節)と同様
- ・冷水・温水現象が発生する可能性に関する確認事項
  - 3) 貯水池内の水温の鉛直分布に基づく水温成層状況
  - 4) ダムの取水口（洪水吐き、低水放流）の高さ
  - 5) 水運用データのチェック } 概略判定（6.3節）と同様な整理

#### 1) 貯水池の流入水温と放流水温の実測値に基づく比較

冷水・温水現象の発生に関する目安の一つとして、流入水温の既往10年間の変動範囲（最大・最小範囲）と放流水温を比較する方法がある。この範囲を上回る期間がある場合は温水現象、下回る場合は冷水現象が、それぞれ発生しているとする考え方である。（図 6.5.2 参照）なお、放流水温は放水口水温と下流（基準）地点とする。ただし両者が距離的に近い場合には、どちらかを省略することが可能である。また、放水口及び下流地点で水温計測が行われていない場合は、湖内の水温鉛直分布と取水口位置から放流水温を推定する必要がある。

ここで目安とする既往10年間の水温幅とは、過去の10ヶ年を考慮し、年間の流入水温（日平均水温）の変動時系列をグラフ化した際に、その10本の線を包絡する水温幅のことを示す。（図 6.5.1）

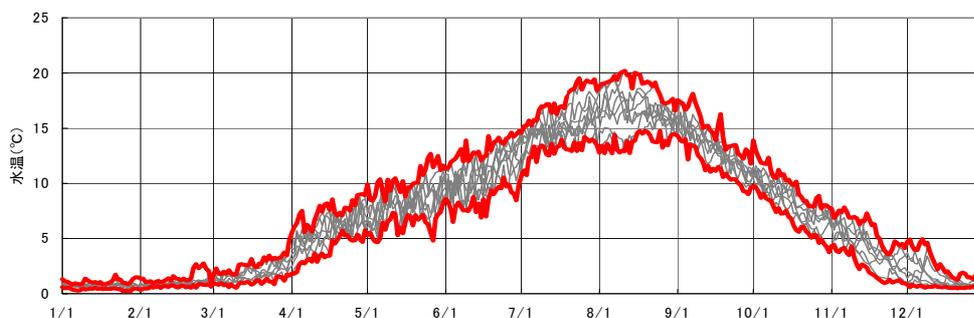


図 6.5.1 年間水温幅

また、これらの水温変化に関する現象をチェックするために、必要となる観測データの頻度は以下の通りである。

- ・冷水現象：1回/日程度（受熱期：3月中旬から9月末頃まで）
- ・温水現象：1回/3～5日程度（7月から11月末）

図 6.5.2 に示したデータでは、放流水温がダム建設前の 10 ヶ年水温最大・最小幅を超える期間がある。矢印で示したこれらの期間が、温水現象または冷水現象が発生していると考えることができる。

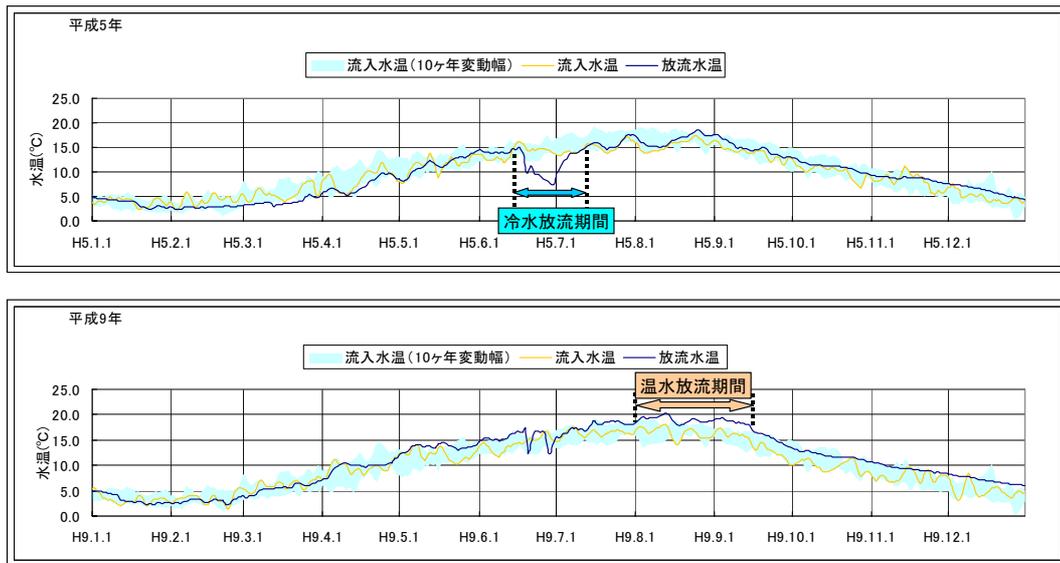


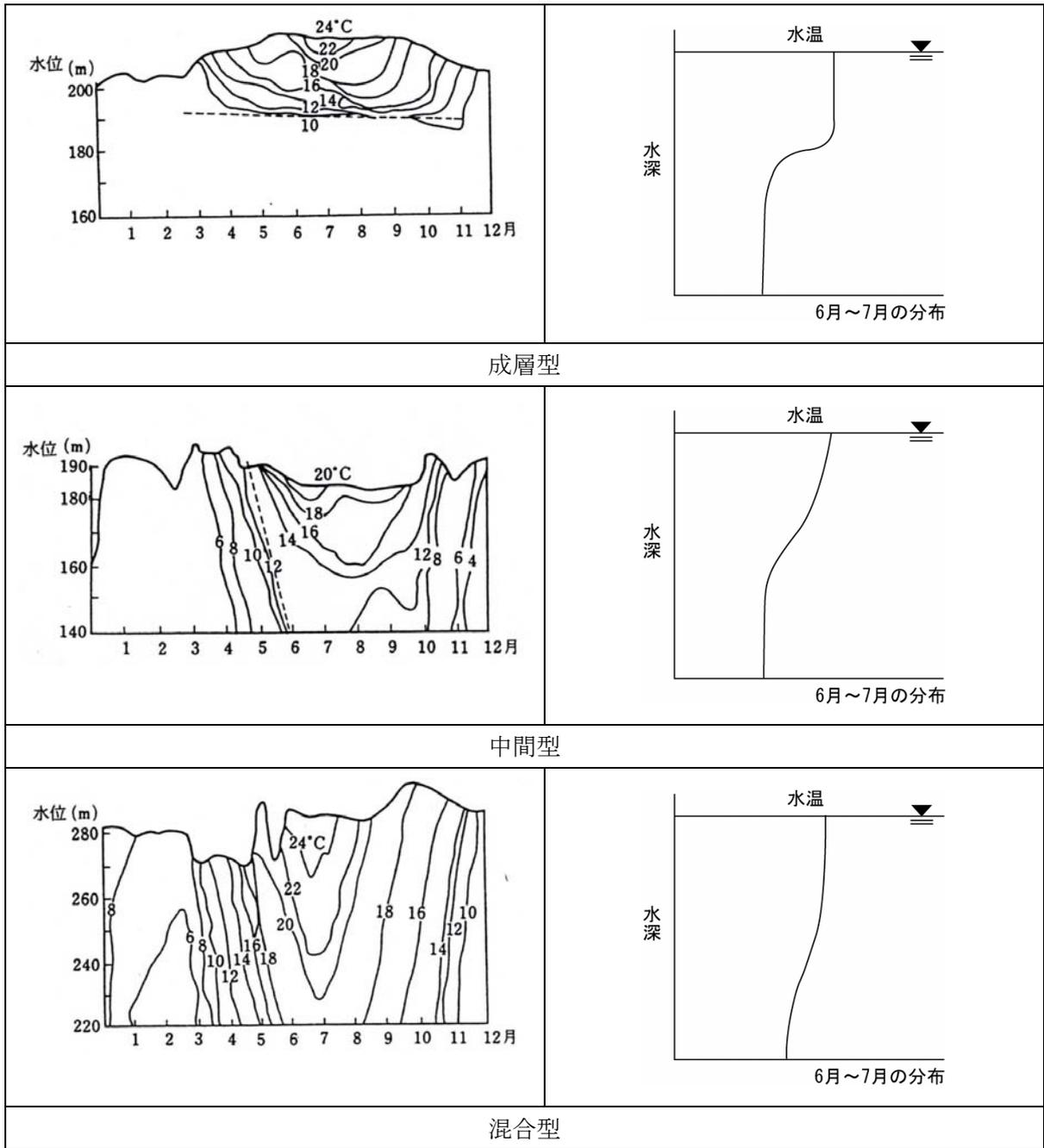
図 6.5.2 冷水現象・温水現象の目安指標の例

## 2) 貯水池内の水温の鉛直分布に基づく水温成層状況

水温成層状況は水温現象に大きく影響を及ぼすため、観測データを用いてチェックする。

図 6.5.3 に成層期における典型的な水温の鉛直分布形を示す。水温分布の分類と水温現象の関係は以下のようなものである。

- ・温水現象は、水温分布に係わらず発生することがある。しかし、混合型ダムで年回転率が十分大きな（年 30 回以上）場合においては、温水現象が発生し難い。
- ・冷水現象は、一般の混合型ダムでは発生しにくい。それに対して、成層型では冷水現象発生の可能性がある。



出典：貯水池水質の予測・評価モデルに関する研究 H4.1 土木研究所

図 6.5.3 水温鉛直分布の分類例

冷水現象の発生しやすい時期は、受熱期（地方によって多少期間が違うが、おおよそ 3 月中旬から 9 月末まで）であることが多い。また、冷水現象が発生しやすい状況として、つぎが挙げられる。

- ・ 出水時における中・下層放流
- ・ 出水時における上下層水の混合
- ・ 貯水位低下時（湧水補給時、ドローダウン）
- ・ 取水位置の急激な移行時（例：多孔式取水設備の取水孔の移行時）

温水放流現象は、放熱期（地方によって多少期間が違うが、大よそ 10 月から 11 月末まで）に発生することが多い。温水現象が発生しやすい場合は以下の通りである。

- ・ 水位回復時（貯水池内水の滞留時間が長くなることから）
- ・ 夏季高温期

また、洪水吐きが底層にある場合、洪水時には貯水池内に貯留されている冷水を放流することになる。一方で、洪水として流入する水温は、洪水時の放流水と比較すると相対的に温かい。この洪水時の水を貯留することになるため、秋口における温水放流を誘起する可能性がある。

## 2) 濁水長期化現象の発生に関する確認事項

十分な観測データがある場合には、濁水の長期化が発生しているか、また発生する可能性があるかを調べるための手段として、以下の情報が挙げられる。

- 1) 貯水池の流入濁質濃度と放流濁質濃度の実測値に基づく比較
  - 2) 貯水池内の水温の鉛直分布に基づく水温成層状況
  - 3) 水利用者等からの水の濁りに関する苦情・意見
  - 4) 水運用データのチェック
  - 5) 流域地質等特性
- } 概略判定（6.3節）と同様な整理

### 1) 貯水池の流入濁質濃度と放流濁質濃度の実測値に基づく比較

放流水の濁質濃度が、ダムが建設される前の河川の濁質濃度(あるいは流入濁質濃度)を上回る日数を濁水長期化現象発生の指標の一つとする。

そのほかに目安指標として、放流濁度が流入濁度よりも高く、かつ環境基準  $SS=25\text{mg/L}$  を相当する濁度を越えていることを濁水長期化現象とするなどの評価方法もある。

なお、放流濁度は放水口濁度と下流（基準）地点とする。ただし両者が距離的に近い場合には、どちらかを省略することが可能である。また、放水口及び下流地点で濁度の計測が行われていない場合は、湖内の濁度鉛直分布と取水口位置から放流濁度を推定する必要がある。

濁水長期化現象をチェックするため、必要観測データの頻度は、1回/日程度の濁度の観測である。

図 6.5.4 に A ダムの事例を示す。A ダムでは、洪水後に放流濁質濃度が、流入濁質濃度を超える期間がある。このようなときを濁水の長期化現象が発生している期間としてとらえられる場合がある。

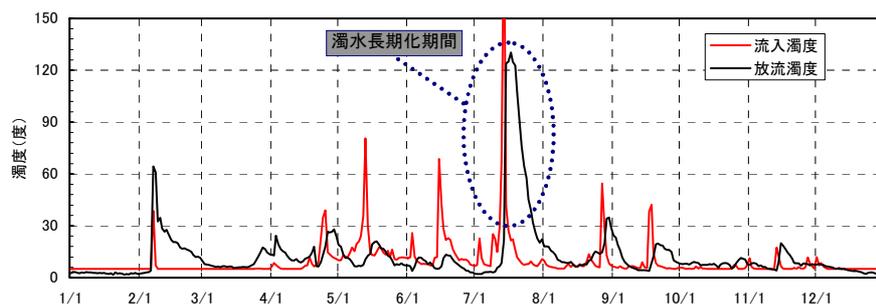


図 6.5.4 濁水長期化の発生日安の例

### 2) 貯水池内の水温・濁度分布の鉛直分布に基づく成層状況

水温成層状況は、貯水池内の濁水の流れ・挙動に大きく影響を及ぼす。従って、貯水池内の観測データを用いてチェックする必要がある。

また、出水によって取水位置～水面までの上層が濁水化する場合は、出水後に濁水放流する可能性が高い。

濁水発生の要因は 2.4 節でも示したように、大きく分けて下記の 3 つに区分できる。

### 洪水による濁水

貯水池に流入した濁水の動きは、洪水規模と貯水池容量のバランスによってその程度は異なる。下図は一洪水の総流入量  $W_f$  と貯水池容量  $V_0$  の比  $\beta$  ( $=W_f/V_0$ ) による貯水池内の濁水挙動の特性を示したものである。貯水池内すべての水が濁ってしまうような大規模洪水 ( $\beta > 1$ ) になると、選択取水設備のみでは効果は期待できない。

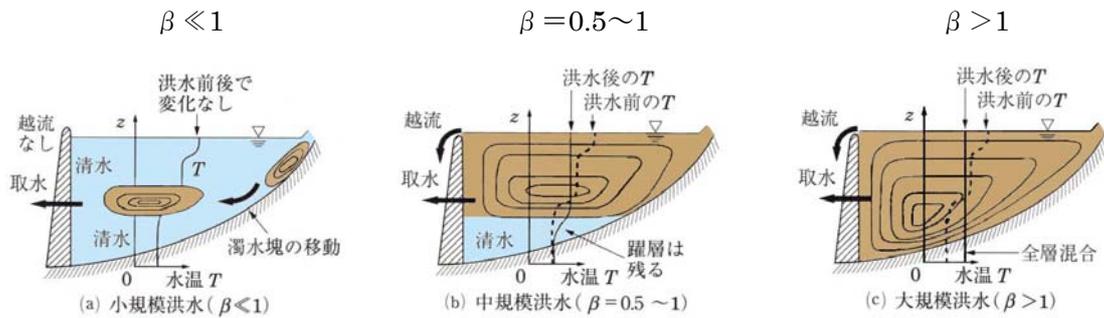
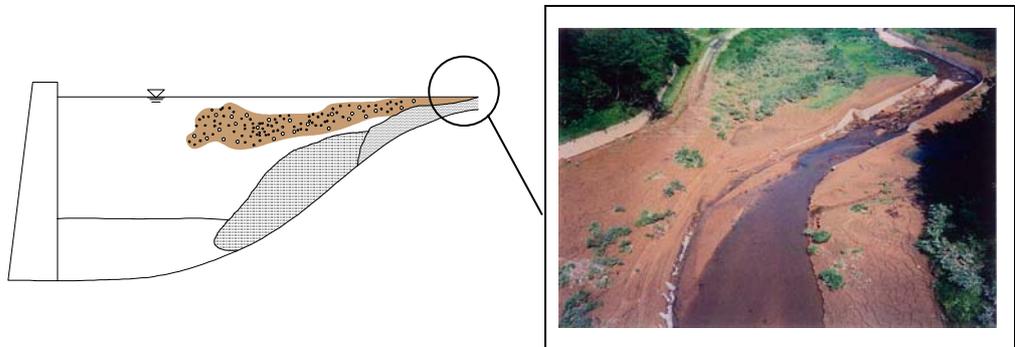


図 6.5.5 洪水時の回転率  $\beta$  と湖内濁質の概要

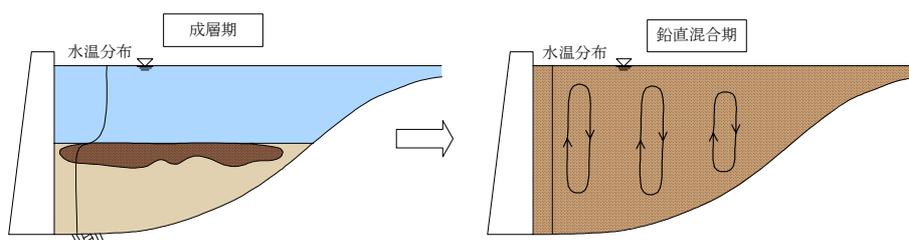
### 水位低下時濁質の再浮上による濁り

貯水池末端部に堆積した微細濁質成分が、貯水位の低下によって露出したときに発生することがある。小規模出水などにより再度巻き上げられて貯水池に流入すると、濁水発生の要因となる。



### 鉛直混合による濁質の再浮上

夏期に貯水池内に流入した微細濁質成分は沈降しきれず、下層に停滞することがある。このような濁質が秋から冬にかけての貯水池内の循環混合によって、再び貯水池表層近くに浮上することで、濁水発生の要因となる。



## 6.5.2 選択取水設備運用実績の確認

ダムに設置されている取水設備の運用状況を把握し、課題を整理するため、以下の項目についてチェックを行う。

- 1) 選択取水設備の設置状況及び設置目的
- 2) 選択取水設備の運用状況

設置されている取水設備の運用状況を把握し、課題を整理する。

### 1) 選択取水設備の設置状況及び設置目的

選択取水設備の設置年や形式、規模等について整理する。設置理由の整理にあわせて、対象とした水質現象、選択取水の諸元、運用方法の決定手法についても整理する。確認・整理項目は以下のとおり。

- ・ 選択取水設備の種類（表層取水か、選択取水か、多孔式取水か）
- ・ 選択取水設備を設置した理由、目的（対象とした課題・水温、濁水など）
- ・ 選択取水運用方法の検討手法（シミュレーションによるものか、など）

### 2) 選択取水設備の運用状況

選択取水設備の運用状況を把握するにあたっては、以下の項目を確認し、その上で選択取水設備の運用状況を整理する。

- ・ 運用ルールの設定はあるか  
設定されていない場合は、「設備運用課題①」が有りとする。
- ・ 運用ルール通りで運用しているか

運用ルール通りで運用していない場合は、「設備運用課題②」が有りとする。また、運用ルールに従わない理由を整理する。

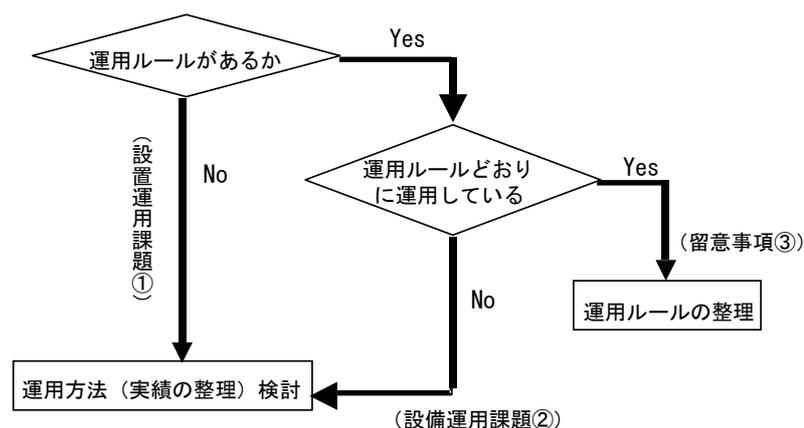


図 6.5.6 選択取水設備運用実績の確認

設備運用課題①、②に該当するダムでは、冷水・温水現象を発生しやすい期間の運用方法を整理する。設備運用課題①に該当するダムでは、これまでの運用実績の整理をする。

【冷水・温水現象の発生しやすい期間の例】

- ・ 春先～秋季までの冷水現象が生じやすい期間の取水位置の整理
- ・ 洪水時及び洪水後の取水位置の整理
- ・ 水位低下時の取水位置の整理
- ・ 夏季～秋季の温水現象が生じやすい期間の取水位置の整理

留意事項③に該当するダムは、運用ルールと実績上は課題が無いと考えられるダムである。しかし、設定したルール通りに運用を行っていても、6.5.1 節で確認を行ったような水温や濁水に関する課題が発生していることもあり得る。例えば、濁水長期化現象のみを考慮したルール設定であったため、現在の視点では冷水放流現象が生じているようなことが考えられる。そのようなダムにおいては、次節以降における検討（運用管理指標及び運用ルールの設定）に際して、特に留意が必要である。

## 6.6 総合判定

冷水・温水現象、濁水長期化現象の発生に伴う課題や、選択取水設備の運用に係わる課題の有無は、物理的・水質的な指標と利水・自然環境の問題という、両者から判断を行う。

### 1) 水温に関する課題の判定

水温に関して課題が有りとする判定条件は、つぎの二つである。

#### 1) 物理的・水質的な指標

放流水温が、各時期における既往の流入水温（もしくはダム建設前の水温）を大きく外れることがある。

#### 2) 利水・自然環境の問題

ダムの下流河川の利水に関する意見や苦情がある。（あった。）もしくは、ダムの下流河川の生態系（魚類など）に影響が見られる。（見られた。）

本検討マニュアルにおける、放流水温に関する課題は、上に挙げたように、機械的に計測の可能な物理的または水質的な指標と、社会的な面や生物が関連するため必ずしも明確に問題が現れ得ない利水面や自然環境の面からの、二つの方向から評価を行うものとした。

なお、2)の判定に際しては、経験的に河川の状況を熟知している農業者や漁業者などからの意見を参考とすることが望ましい。

### 2) 濁水に関する課題の判定

濁水に関して課題が有りとする判定条件は、つぎの二つである。

#### 1) 物理的・水質的な指標

放流水の濁質濃度（濁度、SS）が、流入濁質濃度（もしくはダム建設前の濁質濃度）を上回る期間が数日以上生じることがある。

#### 2) 利水・自然環境の問題

ダムの下流河川の利水に関する意見や苦情がある。（あった。）

もしくは、ダムの下流河川の生態系（魚類など）に影響が見られる。（見られた。）

通常時と比較して、河床の石の表面のシルト分が顕著に多い。（多かった。）

濁水についても、水温と同様に、物理的または水質的な指標と、利水面や自然環境の面からの、二つの方向から評価を行うものとした。

なお、利水面や自然環境の面から定量的な管理目標値が得られない場合も多く、目安として環境基準  $SS=25\text{m/L}$  を用いることもある。

放流水の濁質濃度の基準とする値（流入濃度や環境基準値）を上回る期間に関しては、個々の河川水質の状況を考慮に入れる必要がある。例えば、元来濁りの発生しやすい河川などでは、比較的長期間（例えば2週間程度など）を目安とすることもできる。一方、濁りの発生しにくい河川などでは、より短期間で考慮する必要がある。

このように放流濁質の濃度・期間ともに、評価の上では留意が必要である。

なお、水温と同様に 2) の判定に際しては、経験的に河川の状況を熟知している農業者や漁業者などからの意見を参考とすることが望ましい。

### 3) 検討方針フローの判断

判定結果により、その後の検討方針が以下の表に示すように、4 ケースに分かれる。

		物理的・水質的な指標による 課題有りの可能性	
		可能性小	可能性大
利水、自然 環境の課題	影響無	ケース A	ケース B
	影響有	ケース C	ケース D

i) ケース A : 既往の水質観測結果からみて課題はないと判定されたダムで、かつ下流の利水者等からも課題はないと判定されたダム。

設備運用課題②に対応するダムでは、現状の管理・運用をしながら、モニタリングを継続する。また、設備運用課題①に対応するダムでは、現状の運用実績を踏まえ、運用ルールを検討を行う。

ii) ケース B : 既往の水質観測結果からみて課題があると判定されたダムであるが、下流の利水者等からは課題はないと判定されたダム。

この状況は、

①ダム建設から長期間経過しており、下流河川の状況がダムのある現状に馴染んでいる。

②影響が顕在化していないだけであり、潜在的に課題を抱えている可能性がある。

等が考えられ、設備運用課題②に対応するダムでは、前節における自己分析結果を参照するとともに現状の管理・運用をしながら、モニタリングを継続し、分析を行うとともに、必要に応じて見直しを行う。設備運用課題①に対応するダムでは、ケース A と同様、運用実績を踏まえ運用ルールを検討する。

iii) ケース C : 既往の水質観測結果からみて課題はないと判定されたダムであるが、下流の利水者等からは課題があると判定されたダム。

寄せられている意見や苦情の分析を行い、運用方針改善の必要性を検討する必要がある。また、より詳細に情報（意見及び実測データ）の分析を行い、どういう場合に影響が生じているのかを検討する。

その上で、運用方針改善の必要性がある場合は、運用管理指標の設定や運用ルールを検討を行う。（設備運用課題①、②とも）

なお、物理的・水質的な実測データから、影響の判断ができない場合は、

より詳細なモニタリングの調査を実施し、分析を行う。

iv) ケース D : 既往の水質観測結果からみて課題があると判定されたダムで、下流の利水者等からも課題があると判定されたダム。

可及的速やかな対処が必要であるので、運用管理指標及び運用ルールの検討を行う。(設備運用課題①、②の両者)

## 6.7 運用管理指標の検討・設定

### 6.7.1 運用管理指標を検討する上での考え方

運用管理指標を検討・設定するための基本的な考え方は、貯水池からの放流先である、ダム下流の河川環境の状況を考慮することである。

運用管理指標を検討する上で勘案すべき主な点としては、以下の項目が挙げられる

- 1) 現状におけるダム下流の河川環境との整合
- 2) 新たな視点における河川環境の保全
- 3) その他

などが挙げられる。

これらは、ダム毎により異なるものであり、個々の現状に応じて、運用管理指標を設定する必要がある。

選択取水設備の運用に対する運用管理指標は、施設の日々の操作に直結するものである。すなわち、貯水池内のどの深さに存在する水質を取水するかということと密接に関連するからである。したがって、操作ルールを決定する上で、まず考慮すべき要素である。

運用管理指標を設定する際には、以下のことについて留意する必要がある。

#### 1) 現状におけるダム下流の河川環境との整合

本マニュアル（案）では、既設の管理ダムに対する改善方策を示すことを目指している。したがって、建設から年数が経過しているダムにおいては、現在までに形成された河川環境も勘案した運用管理指標を検討する必要がある。

#### 2) 新たな視点における河川環境の保全

従来は、下流で取水されるとき灌漑への影響から、冷水対策としてできるだけ温かい水を放流することを主に考えられてきた。それに加えて近年では、下流の生物・生態系への影響をより重点的に考慮する視点が重要となっている。

特に新規にダムを建設する際には、ダムの存在による影響を可能な限り軽減させるべきであるという考え方から、放流水質もダム建設前の河川水質と同等とすることが目安と考えられている。

例えば水温に関しては、ダム建設後では流入水温とほぼ等しい水温を放流することが目安とされることが多い。

#### 3) その他

ダムの上流に発電バイパスがあるなど、ダム以外の人為的な要因によって流域内の水の運用が変化している場合は、ダムが無い状況であっても、水温が変化している可能性がある。このような現状を勘案して運用管理指標を設定する必要がある。

## 6.7.2 水温に関する運用管理指標の設定の考え方

河川としての自然環境や社会環境に対応するために、ダムの放流水温の運用管理指標についての一般的な考え方として、つぎの二点が挙げられる。

1) 流入水温と同程度の水温を放流するための放流水温設定

2) 冷水・温水現象を回避するための放流水温設定

ただし、河川により自然（水質、生物、生態）環境や社会（利水）環境が異なる。そのため、河川や流域の状況によっては、

3) 各流域の特性に応じた放流水温設定

についても配慮し、運用管理指標を検討する必要がある。

### 1) 流入水温と同程度の水温を放流するための放流水温設定

下流河川に対してダムの存在・供用の影響を低減するという観点からは、ダムの上下流での水温変化を小さくするという意味から、流入水温と放流水温を等しくすることが望ましいと考えられている。

しかし、流入水温と等しい放流水温となる水を常に放流することは難しい。そのため、冷水・温水現象の発生に関する目安の一つとして、流入水温の既往の10年間での最大・最小範囲に放流水温を収めるという考え方がある。これは、下流の生物の生息、生育環境からみて、過去に生じた自然の擾乱の中で、生物は生息・生育が可能とする考え方である。（既往の実測水温の変動幅を考慮した水温の設定例を資料編 P 参-4 に示す。）

### 2) 冷水・温水現象を回避するための放流水温設定

1) の放流水温を満足できない場合は、下流の水利用、生物の生息・生育、環境への影響を軽減するため、以下の点に留意する。

- ・ 下流でかんがい取水が行われている場合は、稲の成長期に応じた水温を設定する。各地域によって稲の成長期は異なるため地域特性を把握して設定する。
- ・ 温水放流はかんがいに及ぼす影響は小さいものの、渇水時などでは問題となることもある。
- ・ 冷水現象を回避するための水温の設定にあたっては、他ダムの事例も参考にすることができる。（利水に対する影響を考慮した水温の設定例を資料編 P 参-3 に示す。）

### 3) 流域の特性に応じた放流水温設定

ダムの放流水温は、灌漑など下流の利水からの要請により、温水を意図して放流している場合もある。また、ダム建設後年数が経っている場合、下流の利水、生物の生息・生育環境は、ダムの影響を受けた現在の環境で維持されている場合もある。これらの状況においては、それぞれの流域の特性や慣習などに基づいて、現状に応じた無理のない水温を考慮する必要がある。（魚類の生息水温、水温に関する生理学的影響については資料編 P 参-1～参-2 に参考資料を示す。）

ただし、現況の環境がダムの影響により悪化していると考えられる場合は1)の流入水温

と同程度の放流水温を運用管理指標とすることも、検討が必要である。

また水系で複数のダムが存在する場合には、一つのダムのみで問題を解消しようとする前に、水系全体での水質変化傾向を整理して、最適な運用管理指標や運用を検討する必要がある。

### 6.7.3 濁水に関する運用管理指標の設定の考え方

下流の河川環境を考慮に入れ、出水時には流入濁質を早期に排出するものの、その後は濁水長期化現象を回避するように清水を取水する考え方を基本に、運用管理指標を設定する。

放流濁度の運用管理指標の設定にあたっては、以下の基準等に留意する

- 1) 現況水質
- 2) 河川等の環境基準
- 3) 各種の水質基準
- 4) 生物の生息・生育環境からみた濁質濃度の影響
- 5) 他ダムの事例

これらは対象となるダム下流河川により異なるものであり、個々の現況を踏まえ運用管理指標の設定を行う。また、濁水現象は洪水の発生時期、規模によってもその程度は異なることから季別や出水規模に応じた運用管理指標の設定が望まれる。

#### 1) 現況水質

放流水の濁りの運用管理指標の設定にあたっては、ダムの上下流を含めた流域全体における現況水質を考慮して設定する。特に、平水時の河川水が清澄な河川ほど、一般に要求水準が高いことに留意する。

#### 2) 河川等の環境基準

流入河川の濁りが環境基準値等を満足しているのにもかかわらず、放流の濁りが環境基準値を満足できない場合は、環境基準値を最低限の目安値に設定する。

なお、ダム管理者の可能な範囲で流入水質に近づけ、運用管理指標のレベルを上げることも考えられる。

#### 3) 各種の水質基準（資料編 P 参-5 参照）

下流の水利用、生物の生息・生育状況等から運用管理指標を行う。

このうち下記の水産用水基準は魚類の生活史に応じて目標値が設定されている。

- ・水産用水基準
- ・利用面からの社会的要請水質

#### 4) 生物の生息・生育環境からみた濁質濃度の影響（資料編 P 参-6～7 参照）

水産資源として扱われていない魚類や底生生物等の生息・成育環境からみた運用管理指標を設定する。ただし、現状においては、これらの知見は少なく、3) に示した水産用水基準に準じることとなる。

#### 5) 他ダムの事例

他ダムでの運用管理指標の考え方等を参考に設定する。（景観を考慮した濃度の設定例を資料編 P 参-8～9 に示す。）

## 6.8 選択取水設備の運用ルールを検討

### 6.8.1 運用方法を検討する上での考え方

運用方法の検討は、貯水池水の放流先である、ダム下流の河川環境や利水の状況を考慮して設定した運用管理指標を達成又は可能な限り近づけることを基本とする。勘案すべき主な点としては、

- 1)ダム下流における利水状況（時期ごとの主な事象）
- 2)ダム下流における生態系の状況（時期ごとの主な生物群、または時期ごとの生態系）
- 3)ダムが建設されていない場合の河川環境

などが挙げられる。これらは、ダム毎により異なるものであり、個々の現状に応じて、設定した運用管理指標を達成するための運用法を設定する。

自己評価結果及び運用管理指標の検討結果を踏まえて、各ダムの特性を勘案し、運用方法検討を行う。検討手順は以下の様である。

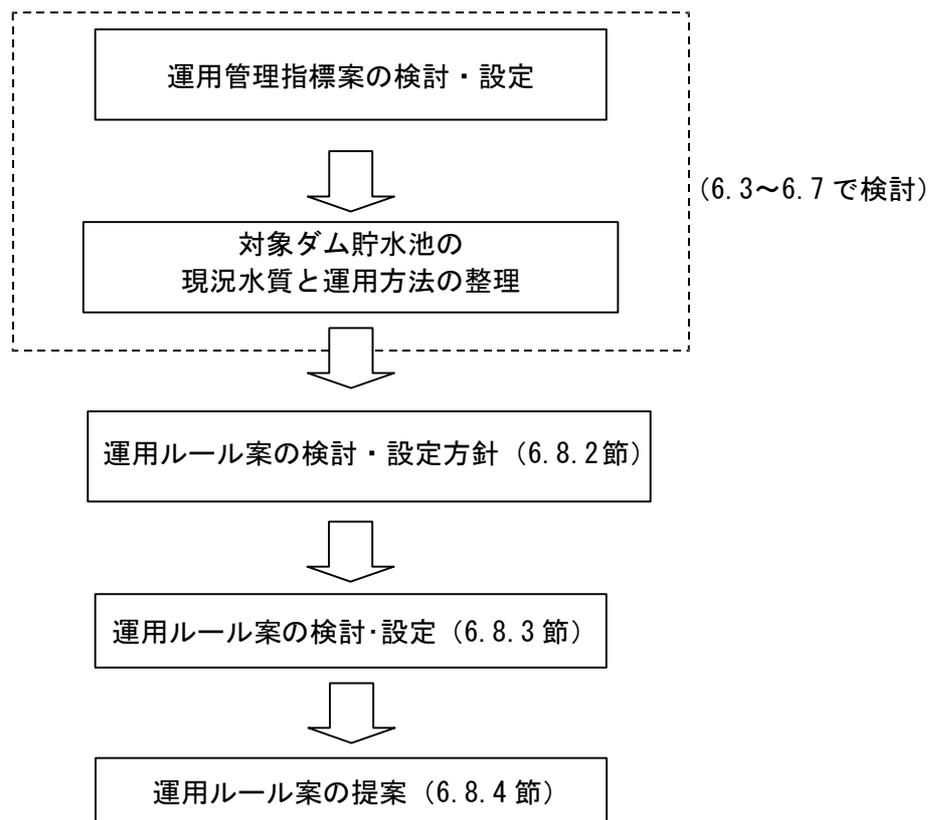


図 6.8.1 運用条件の検討手順

## 6.8.2 運用ルール案の検討・設定方針

各ダムで設定した運用管理指標を達成できるように、適切な選択取水設備の運用ルール案の検討・設定方針を検討する。

選択取水設備の運用における原則的な方向性として、

- ①ダム流入水温と同程度の水温を放流するための運用
- ②温水現象を回避・軽減するための運用
- ③冷水現象を回避・軽減するための運用
- ④濁水放流の回避・軽減
- ⑤わかりやすい運用ルール

という点を留意することになる。ただし、複数の管理目標があるため、当該ダム下流状況の特徴を踏まえ、バランスのとれた適切な操作ルールを設定する。

また、年ごとの気象・水文条件やダムの操作運用条件などによっては、選択取水の運用のみでは、必ずしも設定した運用管理指標の達成がかなわない場合が出てくることが想定される。そのような状況が生じることについても留意し、適切な運用ルールを検討する。

### 6.8.2.1 冷水・温水現象対策としての運用方法検討方針

選択取水の取水位置に係わる操作ルールとして、平常時には

- 1) 数日～10日程度の頻度で操作を設定
- 2) 取水深により管理する

を基本的な考え方とする。

なお、水温状況は毎日監視し、臨機応変な対応ができる管理体制を設定することが望まれる。

#### (1) 運用の基本的な考え方

選択取水の運用は理想的には、流入水質や放流水質及び貯水池内水質を監視しながら、常時の操作を行うことである。しかし実際の管理を人手によって行うことを考えると、必ずしも現実的ではないと言える。

そこで実管理上は、ある程度の日数毎の期間で運用操作を設定し、また放流水温の間接的な指標となる期間毎の取水深を基本として管理を行うことで概ね十分である。

ただし、毎年気象条件や水文条件により、貯水池内の水温分布の状態が変化するので、常に水温はモニタリングを行い、状態を把握しておく必要がある。

(冷水・温水現象軽減のための選択取水運用を実施している操作ルールの事例を及び選択取水の運用事例を資料編 P 参-10～11 に示す。)

#### (2) 冷水・温水現象を回避・軽減する運用における留意事項

運用上、つぎの事柄に留意する必要がある。

- 1) 通常の場合の運用方法
- 2) ドローダウンのための運用
- 3) 渇水時の運用
- 4) 洪水時の運用
- 5) 中・下層に洪水吐きがある場合の運用

これら状況に対しては、それぞれの状況に応じた影響軽減策を検討する必要がある。

##### 1) 通常の場合の運用方法

水温成層が形成されており、またドローダウン等の期間以外の水位変動が小さい場合には、流入水温と同程度の放流水温を確保するため、特に冷水現象の対策として、表層取水および表層付近の取水（地方によって異なるが、おおよそ水深 10m以内）を行う。

##### 2) ドローダウンのための運用操作

ダムによっては、洪水調節ダムとしての機能を果たすため、初夏のあたりに夏季制限水位へ移行する。この際に、流入量に比較して大量の放流を行う必要がある。この期間をドローダウン期という。このときに表層取水を行っている、表層付近に貯留されていた温水をすべて放流し尽くしてしまい、その後冷水現象が発生する恐れがある。

このような状況を回避するためには、①ドローダウン期間の延長（早くから開始）により水位低下速度を制御（利水安全度上問題が無いかを確認）する方法や、②受熱期の開始時期（水温成層が形成され始める時期、3月～5月頃）から予め中層取水（貯水池の条件によって異なるがおおよそ水深10m～30mほど）を行い、表層に熱量を蓄積しつつ、ドローダウン期間に急激な冷水放流を避けるような運用といった運用を基本として検討を行う。

具体的な検討方法は図6.8.1の検討フローに従って行う。図6.8.2はAダムにおいて春季から選択取水を運用し、貯水池内に熱を温存させ、ドローダウン期の冷水放流を軽減した例である（シミュレーション結果）。

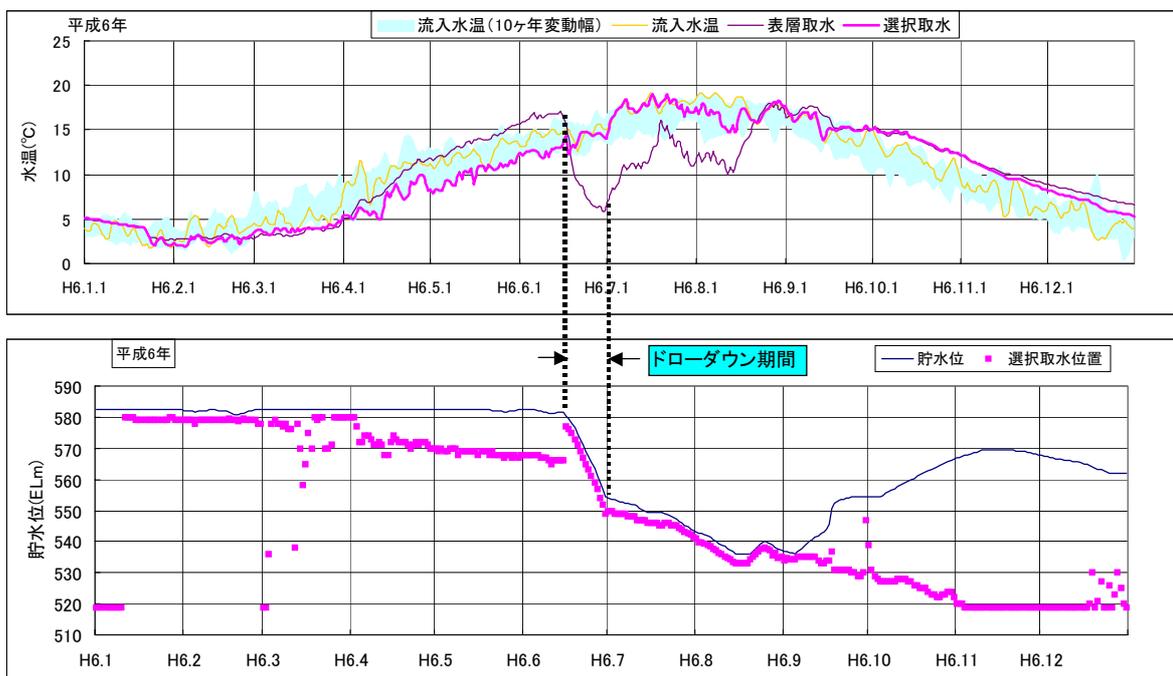


図 6.8.2 選択取水等対策による冷水放流の対応（Aダムにおける改善例）

一方図6.8.3に示すBダムにおいては、シミュレーション結果によると選択取水を行ってもドローダウン期間には冷水放流が生じている。このような冷水放流を完全に解消することは難しく、熱量の収支から方法の限界性を考慮する必要がある。しかし、春先から相対的に低水温放流することによって、ある程度まで温水の貯留ができることで、急激な冷水放流については改善されている。

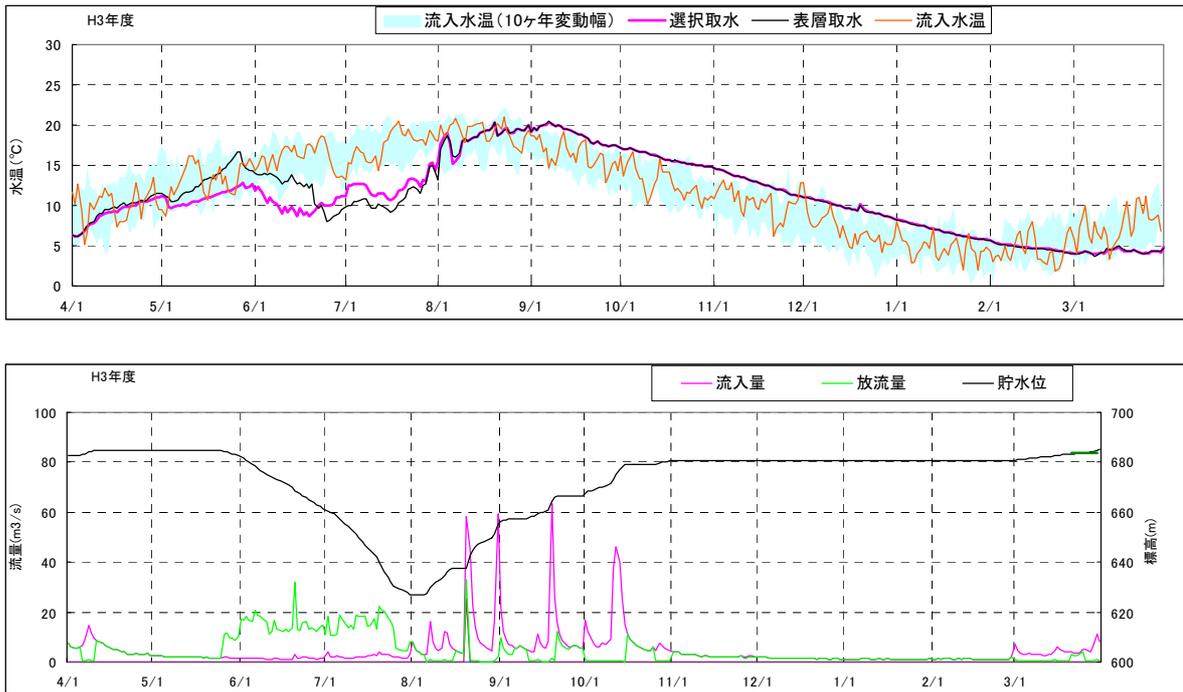


図 6.8.3 選択取水等対策による冷水放流の対応（限界例）

### 3) 渇水時の運用方法

渇水時に、下流への補給のためかなりの速さで水位を低下させることになる場合がある。そのときに、上層の温水を吐ききってしまい、その後下層の冷水を放流せざるを得ないことがある。

これは回避の難しい現象であるが、図 6.8.1 の検討フローに従う検討を実施し、以下の2つ方法による改善効果が期待できる。

- 既往の実績及び熱量の年間変動特性を十分分析し、冷水放流を起こさないように水位低下速度を制御する。
- ドローダウンにおける冷水放流対策と同様、受熱期のスタート時点（おおよそ3月初旬）から予め中層取水（地方によって違うが、おおよそ10m～30m水深とする）を行い、表層に熱量を蓄積しつつ、渇水補給期間に急激な冷水放流を避けるような運用を検討する。

### 4) 渇水時の運用

渇水時に選択取水設備を運用する場合には、放流水に対する水温と濁りのバランスに配慮する。中小規模の洪水流入時には、上層が濁っており下層の濁りが低いという状況が見られることが多い。そのため、渇水対策としては下層から取水することが一見良いように見受けられることがある。しかし、下層が水温躍層より低いため、非常に低温な水を放流してしまうこととなってしまう。このように、水温と濁りのバランスを考慮しながら運用を考える必要がある。

5) 中・下層に洪水吐きがある場合の運用方法

水温躍層が洪水吐きより上層に存在する場合、洪水吐きの稼働による出水時の冷水放流及び出水後秋口での温水放流が生じる可能性がある。そのため、予め中層（あるいは下層）取水を行い、水温躍層を洪水吐き付近につくり、冷水現象を軽減する方法について検討する。

### 6.8.2.2 濁水長期化現象の対策としての運用方法方針

各ダムにおける濁水長期化現象の特徴を踏まえ、濁水対策としての選択取水設備の操作ルールを設定する。

また、濁水対策についての検討であっても、水温についても留意する。

#### 1) 運用の基本的な考え方

選択取水による濁水長期化現象の軽減として運用を行う場合には、河川や貯水池の濁りの状況に応じて、次の表のように考え方が分けられる。

表 6.8.1 選択取水の基本的な考え方

	流入河川	貯水池内	運用方法	留意事項
平常時	清水	清水	清水取水 躍層制御取水*	水温最適運用
出水時 出水後数日間	濁水	濁水	濁水層取水	濁水対応運用
出水後	清水	濁水	清水取水**	水温最適運用 + 清水取水

\*水温成層の形成位置（水深）を制御するための取水  
\*\*湖内の一部に清水層が保たれている時

平水時は、基本的に水温最適運用を行うこととなる。ただしこれに加えて、出水時の濁水を下層へ導くために、予め水温躍層を低い位置に形成させるための運用も考えられる。

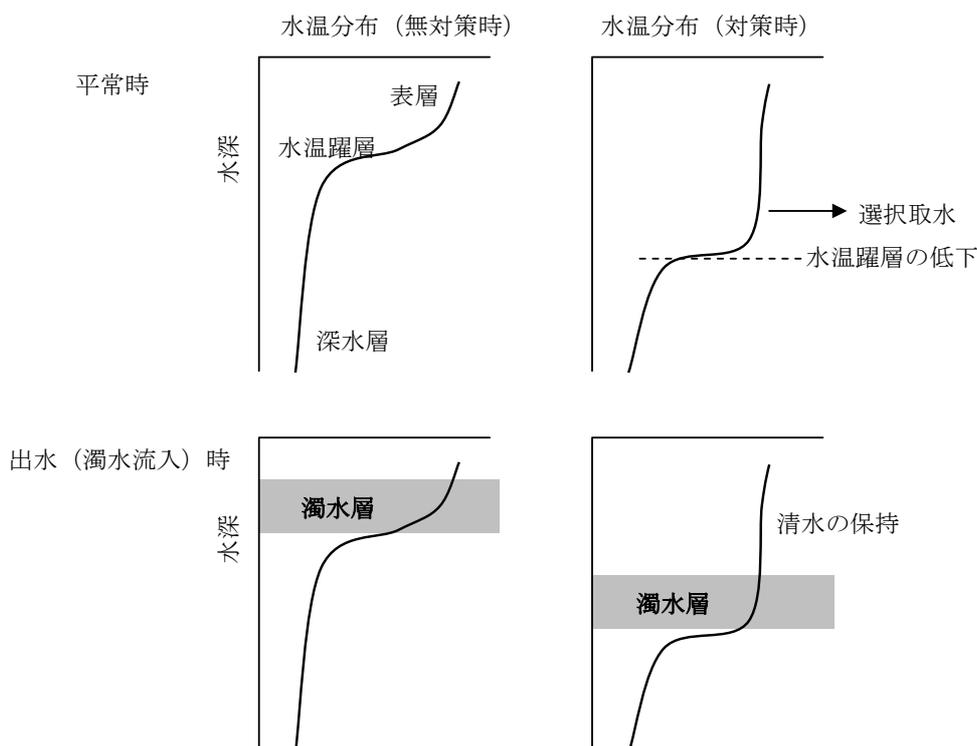


図 6.8.4 平常時の選択取水運用による水温躍層制御の効果

図 6.8.4 に示した平常時の選択取水運用による効果は、洪水時において、①上層に清水を保持することが可能になる、②洪水吐きの高さ付近に躍層を作ることによって濁水の放流効率を上げるといふ、二点が主に想定される。

出水時・出水後数日間は、濁水の早期排出が効果的な場合であれば、濁水層取水を行う。その場合、清水層の形成が促進されるとともに、秋季の循環期においても効果が期待できる。ただし、濁水の早期排出の効果が発揮されるのは限られた条件の場合であることが多い。また出水後のどの程度の期間まで濁水早期排出が行えるかは、地域の特性などにより異なるため注意する必要がある。そのような場合には、より簡略な操作ルールを設定することも、方針としてあり得る。

出水後は湖内の清水層から取水を行い、濁水長期化現象の軽減を図るものとするが、この際、放流水温においても留意する必要がある。

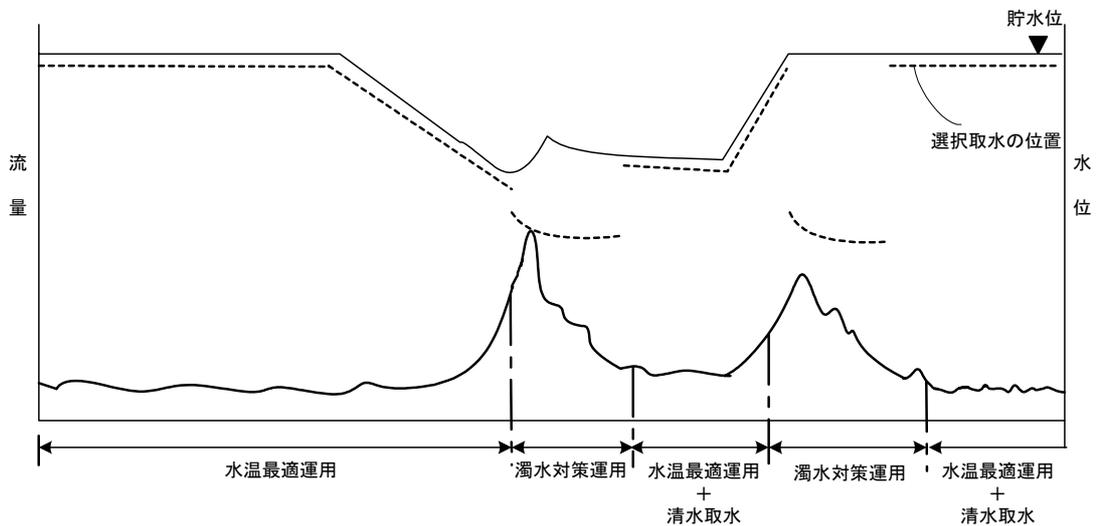


図 6.8.5 選択取水の運用概念図

なお選択取水設備に加えて、十分な深さをもった濁水防止フェンスを併用することで、濁質の沈降を促進させることが可能である。これは、循環期以外（循環期にいたる以前に濁質を沈降させる）における対策として、ある程度有効であると考えられている。

## 2) 濁水現象を回避・軽減する運用における留意事項

運用上、つぎの事柄に留意する必要がある。

- 1) 清水放流のための運用操作
- 2) 洪水時の運用
- 3) 洪水直後の濁質早期排除による運用操作

これら運用を行うにあたっては、流入河川の濁度変化に応じた操作ルールを検討する必要がある。このため流入河川の濁度のモニタリングを行うことが望まれる。

### 1) 清水放流のための運用操作

貯水池への流入濁度が、運用管理指標以下の場合は、貯水池内濁度の鉛直分布をみながら清水放流となるように運用を行う。

### 2) 洪水時の運用

洪水発生により流入水が運用管理指標を超えている場合は、上流河川と放流水の景観にあまり差が生じないようにすること及び、上流河川と同程度な濁水を速やかに貯水池外へ放流し、濁水を長期化させないようにするため、濁水放流になるように運用する。

### 3) 洪水直後の濁質早期排除による運用操作

洪水発生の直後に高濁水層が、貯水池中層付近に存在する場合は、その層付近からの選択取水を行い、速やかに濁水を放流することで、濁水長期化をある程度軽減することができる。

このような放流操作の実施に対しては、下流の生態系の実態を十分勘案するとともに利水者との十分な協議を行った上で、数値シミュレーションなどにより、洪水規模に応じた早期排出を行う期間を検討し、設定する必要がある。

(濁水長期化軽減のための選択取水を運用している操作ルールの事例及び選択取水の運用事例と資料編 P 参-13~16 に示す。)

### 6.8.3 運用ルール案の検討・設定

選択取水設備の運用ルールについての検討は、選択取水設備の運用事例や実績を参照する方法と数値シミュレーションによる解析方法に大別できる。

#### (1) 選択取水設備の運用実績や運用事例に基づいた検討・設定

貯水池規模、回転率、水文条件、流入水質などの点で、当該ダムと類似性のあるダムにおける選択取水設備の運用ルールや運用事例を参照に検討することができる。また、当該ダムにおいて、冷水・温水現象や濁水長期化現象が発生していない場合には、運用実績を参照して運用ルール案を作成することもできる。

なお、これらの検討方法により運用ルールを設定した場合、実際の運用へと移行する際には、運用の変更に伴う影響に留意しながら運用を行う必要がある。

#### (2) シミュレーションによる検討・設定

数値シミュレーションを行うことで、水温成層の形成、発達、混合や洪水時の濁水挙動など貯水池内の現象と、選択取水の運用とそれに伴う放流水質の変動について、組み合わせた解析及び検討が可能となる。そのため、シミュレーションにより検討を行っておくことが望ましい。

##### 1) シミュレーションの手法

数値シミュレーションモデルは種々のモデルが開発されている。いずれのモデルを用いるかは、対象ダムの特性を考慮して選定する。ただし、選択取水設備の検討であることから、貯水池内における鉛直方向の水の流動や水温・水質変化を解析可能なモデルである必要がある。

実用上多く用いられているのは、貯水池の水深方向及び縦断方向に空間分割を行う鉛直二次元モデル（一次元多層流モデル）である。また、鉛直一次元モデルも水深方向の解析が可能であるため、採用されることが多い。

さらに近年の計算機の性能向上により、三次元モデルが用いられることもある。

##### 2) 予測期間の選定

予測期間の選定にあたっては、冷水・温水現象、濁水長期化現象が生じたダムにおいては、問題が発生した年を含む数ヶ年を対象とする。また、冷水・温水放流現象が生じる可能性のあるダムでは、渇水年、夏季の回転率の低い年を含む数ヶ年を予測期間として選定する。また、濁水長期化現象が生じる可能性のあるダムでは、洪水年を含む数ヶ年を対象期間として選定する。

##### 3) 予測手法

予測条件としては、予測期間の水文条件、気象条件及び流入河川の水質条件が必要である。自動水質計が設置されているダム湖においては、自動水質計の値を用いるものとする。

自動水質計が設置されていないダム湖では、既往の水質データから水質（負荷量）～流量関係式、水温～気温の関係式を作成してモデルの同定を行い、各種パラメータの設定を行う。（流入水温の設定、流入濁質濃度の設定例を資料編 P 参-19～21 に示す。）関係式の作成に対して、データが不足する場合には必要に応じて収集する。

なお、モデルの検証にあたっては、実際の選択取水の運用方法を用いる。

ダム湖内及び下流の計算値と実測値の整合を確認した上で、設定した運用条件（案）のもとに選択取水を運用したケースの予測を行う。

#### 4) 運用ルール案の適用性の確認

6.7 で設定した運用管理指標を満足するか、又は軽減されているかの確認を行う。

なお、運用管理指標を満足できない場合は、それは選択取水の運用方法によるものか、ダム固有又は特異な問題（熱量が少ない、湖内全層を入れ替えるような洪水が生じた等）を把握する。

気象条件などによっては、利水補給時には湖内の熱量が不足し、冷水放流が生じることがある。この場合、選択取水の運用では回避・軽減は難しいことがある。

濁水現象についても、特に大規模な洪水や循環期の洪水など、貯水池内のほぼ全層で濁りが一様化してしまうような状況では、選択取水設備で解消しうる限界が存在することになる。

選択取水設備の運用により、改善が見込まれる場合は、再度運用方法の検討を行い、シミュレーションを実施する。その上で、適切な運用方法を決定する。

#### 6.8.4 運用ルールの提案

選択取水の限界を踏まえ、効果があり、管理上問題のない運用条件案を設定する。また、管理のための選択取水運用ルールを作成する。
---

## 6.9 実証運用

設定された運用管理指標・選択取水運用条件により、3年程度実証運用及び詳細なモニタリング調査を行い、設定した運用管理指標・選択取水運用条件の妥当性を検証する。

実証運用の期間については、気象・水文状況の年変化があること、運用管理指標・選択取水運用条件の見直す可能性があることから、運用管理指標・選択取水運用条件の妥当性を確認できることを目的とし、3ヶ年程度を目安とする。

実証運用期間の詳細なモニタリング調査の方法は、6.11節「管理運用ための調査」を参考する。調査は、通常のダム管理のモニタリング調査を基本に、水質保全対策の対象現象の特性を留意し、各ダムの現象の特性を把握できるように設定する。

モニタリングの調査結果は、前述したダムの情報収集・自己評価方法に従って、整理を行い、運用管理指標・選択取水運用条件の妥当性を評価する必要がある。

なお、運用管理指標・選択取水運用条件の妥当性を評価する際に、モニタリングの対象期間の気象・水文状況は限られている。そこで、モニタリング結果を用いて数値シミュレーションモデルを作成し検証した上で、多様な気象・水文状況を対象として、運用管理指標・選択取水運用条件の妥当性について予測・評価する方法は有効である。

## 6.10 運用ルールの見直し

設定された運用管理指標・選択取水運用条件の妥当性を実証するためのモニタリング結果を用い、自己評価での手順で整理・評価した結果に応じて、条件の見直しを行う。

### (1) 実証運用後の見直し

実証運用時に効果が得られなかった場合には、原因を分析し、運用条件の変更で対応可能かを検討する。必要に応じ、選択取水施設の改造、別途の水質保全対策を検討する。

### (2) 管理運用時の見直し

運用条件を設定した実証運用の年次から、数年が経過し、流域の汚濁負荷量の増加や流況等の変化に伴い、ダム貯水池の濁質濃度の状況が変化し、水質保全効果が得られにくくなることも想定される。

そのような場合では、まず、運用条件の変更で対応可能かを検討し、必要に応じ、選択取水施設の改造、別途の水質保全対策を検討する。

## 6.11 管理運用のための調査

水質保全対策としての選択取水設備を適切に運用するためには、以下の視点からの調査を実施する必要がある。

- ・ダム管理者として、ダムの影響及びダムの現状を認識・把握するための調査
- ・選択取水設備の運用を適切に行うための常時監視的な調査
- ・選択取水設備の効果を把握するための調査

### 1) 管理指標

水温、濁度、気象条件などが主な調査項目である。

濁水に関しては、濁度とSSの両方を考慮することが望ましい。ただし、自動観測が可能であることなどの測定上の便宜や、景観などの観点からは見た目の濁りが重要であるということなどを考慮すると、濁度を中心に行うことが現実的である。ただし、環境基準ではSSを指標にしている。そこで、濁度とSSの相関関係について平水時や出水時の実測により調べておくことで、各ダムの状況が判断可能となるであろう。

選択取水設備の運用目的が、水温対策あるいは濁水対策のどちらか一方であっても、水温と濁質濃度との両方の観測を実施することが望ましい。これは、貯水池管理として水質の現状を把握する上で基礎的な情報であるという考え方に基づくものである。

### 2) 水質等のモニタリング方法

定期調査、臨時調査（出水時など）、自動観測のような区分で考慮して実施する。

### 3) 調査頻度

モニタリング方法に応じて原則として以下のように設定する。

- ・自動観測： 水温・濁質濃度に対する1日1回以上
- ・定期調査： 水温・濁質濃度に対する1月1回  
(ダム貯水池水質調査要領(案)に準ずる)
- ・出水時調査： 水温・濁質濃度に対する数時間に1回

ただし、自動観測装置に関しては、観測機器のメンテナンスも必要である。観測機器の性能や設置地点の状況（土砂がたまりやすい）などにもよるが、概ね1ヶ月毎に実施する必要がある。

### 4) 調査地点

ダム存在による下流への水温・水質の影響を把握するために、原則として以下のように観測地点を設置する。いずれの地点も、月一回程度の頻度の定期調査は、前提として考え、実施する。

- ・上流河川： 自動水質観測計を設置し、水温・濁質濃度を1日1回以上観測す

る。なお自動水質観測計を設置するまでの間は、自動水質観測計、参考資料（ページ 19、20）に挙げた流入水質算定方法を用い、流入水質の日データの補完を行うこととする。

- ・貯水池内： 自動水質観測計を設置し、水温・濁質濃度を 1 日 1 回以上観測する。また、鉛直（水深）方向には、1m 間隔程度の複数点で測定する。なお自動水質観測計を設置するまでの間は、冷水・温水現象や濁水長期化現象の発生時期・特性に応じて、観測頻度を増やすことで対応することとする。
- ・下流河川： 自動水質観測計を設置し、水温・濁質濃度を 1 日 1 回以上観測する。なお自動水質観測計を設置するまでの間は、水質現象の発生時期・特性に応じて、冷水・温水現象や濁水長期化現象が発生しやすい時期に観測頻度を増やすことで対応することとする。

#### 5) 自動観測装置

濁度計に関しては、測定原理（透過散乱、後方散乱、積分球など）やキャリブレーション方法（カオリン、ホルマジンなど）あるいは、センサーの構造などにより、測定値がことになってしまうことがある。同一河川内では、同じ測定機を用いることが必要である。

#### 6) その他

上記に示した管理運用のための調査は、選択取水設備運用方法を策定するために必要なデータである。ただし、全ての調査体制を短期間に整備することは難しいため、十分な体制が整備されるまでは長期的な視点に立って実情に則した修正（簡易化）を行うことも考えられる。

例えば、上流河川の流入濁質については、定期水質調査及び出水時調査から得られる水質と流量の関係より C~Q 関係を設定し、日々の流入濁質を推定する方法がある。また、流入水温についても定期水質調査により得られる河川水温と近傍の気象観測所の気温との関係より、日々の流入水温を推定する方法が用いられているダムがある。

## 第7章 曝気と選択取水の併用

### 7.1 併用する場合の基本的な考え方と留意点

個別に考えた場合の、平常時の運用では、

- 曝気＝水深 15～20mにおける連続運用により富栄養化現象の制御
- 選択取水＝冷水・温水の放流を回避するための運用水深の対応が基本方針である。

曝気を運用することにより、貯水池内の水温成層状況が変化する。(曝気水深付近に強い躍層が形成され、それより上層は混合され、水温勾配が比較的小さい)

従って、曝気が稼働している貯水池では、曝気の無い場合とは異なる水深で、選択取水を行う必要が生じると想定される。

しかしながら、基本的な考え方として、貯水池内の水温分布及び流入水温等を常時監視しながら、取水深を考慮するという方針は、同様である。

出水時の運用は、

- 曝気＝可能な限りの連続運用により、富栄養化現象の制御
- 選択取水＝水温（冷水・温水）に加え、濁水対応の運用であり、濁水についても考慮する必要が生じる。

#### 小規模出水の場合

流入した濁水は、大きく混合せずに、水温躍層の高さに層状に流入する。この場合、曝気の稼働により濁水を巻き上げてしまうものの、その影響範囲は狭く、しかも再沈降する。そこで、富栄養化現象の抑制を優先させ、曝気は連続的に運転することが望ましい。

#### 大規模出水の場合

貯水池が全層混合してしまうような出水の場合、出水後の曝気の運用により、濁水の沈降による湖水の清水化を妨げてしまう可能性が高い。濁水の懸念が大きい場合は、数日程度、曝気を停止するという選択肢もあり得る。しかし、富栄養化現象の抑制の観点からは、出水とともに流入した栄養塩により、植物プランクトンが増殖しやすい環境となる事が多い。従って、アオコの兆候など現場の状況を見ながら、そのときの状況に応じて運転を判断することが望ましい。

いずれにしても、湖内及び下流河川の状況（アオコの発生、濁度など）を監視しつつ、運用する必要がある。

## 7.2 出水時の併用における運用規則の事例

全国のダムに対するアンケート結果から、曝気と選択取水の両者が設置されているダムでの運用規則を整理した。出水時における曝気装置の運用規則を表 7-1 に示す。

ダム毎に考え方が、異なっている。例えば、流入水量で曝気装置の停止を判断しているダムが多く(A、C、G、H、I)、一方で出水時も連続運用(J)しているケースや、濁度による運用(E、G)をしているケースも見られる。

図 7.2.1 選択取水設備と曝気装置の両方を有しているダムの諸元と貯水池の水温成層形成期における運用概要

ダム名	曝気装置		選択取水設備		備考	
	目的	諸元	目的	諸元		
A	富栄養化 (浅層)	運転水位 上層(WL-10m),中層(EL133),下層(EL130) 台数等 3.7m <sup>3</sup> /min/台×4台 常用運転 中層運転 出水時 流入量 200m <sup>3</sup> /s程度で停止	濁水 (早期排除) ・富栄養化	選択取水範囲 EL142.4~150.9 最大放流量 46m <sup>3</sup> /s 常用放流 EL142.4(最低取水位)	常時満水位 EL150.9 最低水位 EL142.9 出水時放流 濁度最大層取水	
B	富栄養化 (全層)	運転水位 EL134.0 台数等 0.95m <sup>3</sup> /min/台×5台、3.7m <sup>3</sup> /min/台×1台 常用運転 EL134.0 出水時 停止。再開は水質自動監視の濁度を考慮	冷水	選択取水範囲 EL130.4~149.80 最大放流量 10m <sup>3</sup> /s 常用放流 表層 0~3m	常時満水位 EL149.8 最低水位 EL133.1 出水時放流 表層 0~3m	
C	富栄養化 (浅層)	運転水位 上層(EL314),中層(EL309),下層(EL301) 台数等 3.7m <sup>3</sup> /min/台×4台、2.4m <sup>3</sup> /min/台×1台 常用運転 EL301 運転 出水時 流入量 100m <sup>3</sup> /s程度で停止	冷水・濁水 (早期排除)	選択取水範囲 E308.8~326.0 最大放流量 25m <sup>3</sup> /s 常用放流 表層(4/1~6/10) EL306.3(6/11~3/31)	常時満水位 EL326.0 最低水位 EL308.0 出水時運用 流動制御を意識して、EL306.3 運用	
D	富栄養化 (浅層)	運転水位 水深(WL-10m)、水深(WL-5m) 台数等 0.08m <sup>3</sup> /min/台×5台 常用運転 現在、運転していない。	冷水	選択取水範囲 EL218~286 最大放流量 55m <sup>3</sup> /s 常用放流 流入水温と同水温層から放流	常時満水位 EL286.0 最低水位 EL206.0 出水時放流 出水後は濁度の低い層から放流	
E	富栄養化 (浅層) (全層)	運転水位 浅層：水深(WL-8m) 全層：10.7~38.3m 台数等 3.7m <sup>3</sup> /min/台×2台 (浅層×1台、全層×1台) 常用運転 3/20~10月(水温 20℃未満を目安) 浅層：水深・8m、全層：(吸込)水深 38m、(突出)表層 出水時 高濁水流入時(目安 20度)で停止	冷水・濁水 (早期排除)	選択取水範囲 EL256.0~287.3 最大放流量 20.0m <sup>3</sup> /s 常用放流 0~5mで取水 水道障害となる生物発生時に選択取水で回避	常時満水位 EL284.0 最低水位 EL256.0	
F	冷水 (浅層)	運転水位 水深(WL-21.5m) 台数等 2.1m <sup>3</sup> /min/台×1台 常用運転 洪水期に入る 6月下旬から底層水温が 17℃に達するまでの期間	冷水・濁水 (清水層取水)	選択取水範囲 EL191.4~173.0 最大放流量 27m <sup>3</sup> /s(表層・中層) 常用放流 50m <sup>3</sup> /s(底層) 表層-2m	常時満水位 EL191.4 最低水位 EL164.4 洪水期制限水位 EL178.5 出水時放流 25m <sup>3</sup> /s以上はEL162.6から放流	
G	富栄養化 ・冷水 (全層)	運転水位 EL223.0~EL238.0(5m ピッチ) 台数等 3.7m <sup>3</sup> /min/台×8台 常用運転 濁度・pH・水温・成層強度を考慮して、突出口高を変更している。 出水時 流入量 40m <sup>3</sup> /sまたは河川の濁度 70度で停止	冷水	選択取水範囲 EL233.2~254.4 最大放流量 15m <sup>3</sup> /s 常用放流 表層取水が基本 堤体の水質自動監視装置と流入・ダム下流水温を考慮し、冷水現象を回避のための選択取水運用を実施。	常時満水位 EL254.4 最低水位 EL234.7 出水時放流 EL233から放流	
H	富栄養化 ・冷水 (浅層)	運転水位 水深-10m~20m：EL221.5~229.5m 台数等 3.6m <sup>3</sup> /min/台×2台 常用運転 放流水温の目標値を月別に設定し、曝気水深を変更。(4~5月:水深 10m、6~7月水深 15m、8~9月水深 20m) 出水時 流入量 5m <sup>3</sup> /sで停止	冷水・濁水 (早期排除) (清水層取水)	選択取水範囲 EL219.0~EL274.5 最大放流量 25m <sup>3</sup> /s 常用放流 放流水温の目標値を月別に設定し、選択取水の水深を変更。(4~5月:水深 10m、6~7月水深 15m、8~9月水深 20m)	常時満水位 EL274.5 最低水位 EL219.0 出水時放流 出水終了後表層(1.5m)から取水し、貯水池の濁度 5度以下で選択取水を戻す。	
I	富栄養化 ・濁水 ・冷水 (浅層)	運転水位 水深可変範囲：10~25m 台数等 3.6m <sup>3</sup> /min/台×3台 常用運転 月別に曝気水深を変更。(5月:水深 15m、6月:水深 20m、7~9月水深 25m) 出水時 流入量 10m <sup>3</sup> /sで停止	冷水・濁水 (早期排除) (清水層取水)	選択取水範囲 EL142.5~162.0 最大放流量 8.0m <sup>3</sup> /s 常用放流 浅層曝気水深からの取水とする。	常時満水位 EL162.0 最低水位(堆砂 EL) EL142.5 出水時放流 浅層曝気水深からの取水とする。 出水後 濁度を考慮し、表層放流も実施	
J	富栄養化 (浅層)	運転水位 EL16.25 台数等 0.84m <sup>3</sup> /min/台×2台 常用運転 3/1~10/31 運転 出水時 出水時も運転	濁水 (清水層取水)	選択取水範囲 EL7.1~27.8 最大放流量 0.423m <sup>3</sup> /s 常用放流 通年水深 1mで取水	常時満水位 EL27.8 最低水位 EL7.1 出水時放流 常時満水位以上は自然越流	



選取取水設備編 參考資料



## ○参考資料 1 : 魚類の生息水温・水質範囲

魚類と生息水温・水質条件に関して、既往の研究資料 1)などを参考に整理すると表 1 のような調査研究事例がある。

魚類が存在するには、その水域が魚類の生存できる環境であると同時に、そこで魚類が繁殖できる、すなわち産卵し、稚魚が成長できる環境でなければならない。

魚類は呼吸のための酸素を必要とするので、水中の DO (溶存酸素濃度) が十分に高い値でなければならない。自然水域では DO に大きな影響を与えるのは、水温、日射、流速である。水温についていえば、水温が上昇すると酸素の溶解度が低下する。一方では、有機物の分解が促進され、さらに生物群集の酸素消費量が増大するため、酸素の消費量は大きくなる。この場合、光が水域全体に十分透過する状態にあれば、一次生産によって酸素が供給され、また十分な流速がある場合には水面が波立ち、酸素が供給される。しかし、水の透明度が低く、かつ湛水した水域では、酸素は不足しがちである。

また、水中での濁質の多量の存在は、水中への太陽光線透過を妨げ、植物の生長が抑制されるほか、その懸濁粒子が魚のエラを傷つけたり、エラの弁膜を詰まらせたりするなど直接的な被害を与えることがある。こうした場においても、魚類が成長していくためには、必要な水温・水質条件が満たされている必要がある。

国土交通省では、平成 2 年度から「河川水辺の国勢調査」として魚類などの生物調査を実施し、魚類と密接に関係のある水質指標およびその範囲についても検討を行ってきている。その結果を表 1 に示す。

対象魚種のうち、ヤマメ、アマゴが最も清澄な水域を好み、アユ、カワムツ、ウグイ、オイカワ、カマツカの順でそれに続いている。コイ、フナ、モツゴは汚濁に強い魚種とされている。

表 1 魚類の生息水温・水質範囲

水質 魚類	水温 (°C)		pH	DO(mg/l)	BOD(mg/l)		NH <sub>4</sub> -N(mg/l)
	年平均	年最大	年平均	年平均	年最小	75%値	年平均
アユ	—	30 以下	6.5~8.0	8 以上	5 以上	4 以下	0.6 以下
ヤマメ・アマゴ	16 以下	28 以下	7.0~8.0	9 以上	6 以上	2 以下	0.2 以下
カワムツ	13 以上	23~30	6.5~8.0	8 以上	5 以上	4 以下	0.6 以下
オイカワ	—	—	6.5~8.5	7 以上	3 以上	10 以下	2.0 以下
ウグイ	—	30 以下	6.5~8.0	8 以上	4 以上	5 以下	1.0 以下
モツゴ	10 以上	—	6.5~8.0	6 以上	3 以上	10 以下	3.0 以下
カマツカ	10 以上	—	6.5~8.0	7 以上	3 以上	10 以下	2.0 以下
コイ	10 以上	20 以上	6.5~9.0	6 以上	4 以上	10 以下	3.0 以下
フナ	10 以上	—	6.5~9.0	6 以上	3 以上	10 以下	3.0 以下
ヨシノボリ	—	—	6.5~8.0	7 以上	3 以上	10 以下	3.0 以下

建設省：水環境管理に関する研究，土木技術資料 36-4，1994.

**○参考資料 2 : 魚類の水温に関する生理学的影響**

生物にとって水温は極めて重要な項目であるが、適温や耐忍可能上下限温度は種によって異なり、同一種内でも生活史の段階によって異なり、また同一種でも生活史の段階によっても異なるとされている。

このように生物にとって水温の基準を定期的に設定することは難しいものの「水産用水基準：(財)日本水産資源保護協会」によれば以下のように整理される。

- 魚類の多くは、0度から約30度までの温度範囲の内で最適水温を持ち、その前後数度内で産卵する。産出された卵の態勢温度が概して最適水温の約+5度の範囲である。
- 温度は発生卵と仔魚期の代謝率に大きく作用し、成長率に多大な影響を持つ。
- 耐性温度の範囲は、温帯域の種の仔魚や未成魚は、20~25度だが、発生卵は約11.6度しかない。

**○参考資料 3 : アユの適水温**

アユの適水温については、図1に示すような最適水温、適水温幅が示されている。産卵や卵孵化、遡上等の生活史の段階によって水温幅の範囲も異なり、これらは地域によってその時期などが異なるため地域特性を考慮する必要がある。

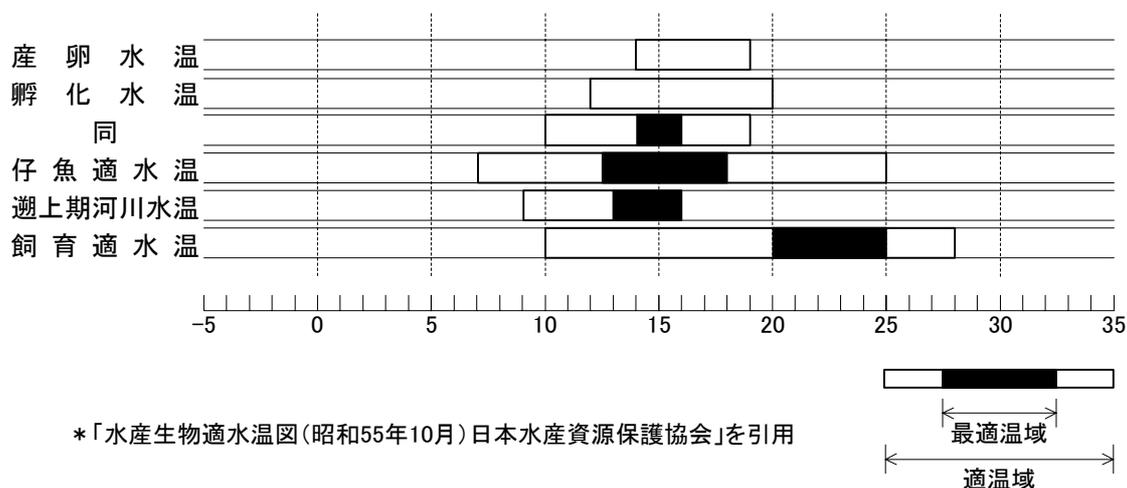


図 1 アユの適水温図

○参考資料 4 : [水温の設定事例 1 : 利水に対する影響を考慮した水温の設定 (A ダム) ]

稲作、漁業両者の許容水温を考慮し、主として冷水現象を回避できるように、季節に応じて異なった放流水温を設定した。具体的に設定した水温と考え方は表 2 の通りである。

表 2 A ダム運用管理放流水温設定方法

期間	放流水温	設定根拠
5/1~5/10	15.5℃	・ ドローダウン期間 (4/1~6/15) 冷水放流を回避
5/11~5/20	16.0℃	同 上
5/21~5/31	16.5℃	・ ドローダウン期間 (4/1~6/15) 冷水放流回避 ・ 5/26~9/30 アユ漁解禁 (放流水温は流入水温と同程度を目標、流入水温平均値 17.0℃)
6/1~6/10	18.0℃	・ ドローダウン期間 (4/1~6/15) 冷水放流回避 ・ 5/26~9/30 アユ漁解禁 (放流水温は流入水温と同程度を目標、流入水温平均値 18.5℃)
6/11~6/30	18.5℃	・ ドローダウン期間 (4/1~6/15) 冷水放流回避 ・ 5/26~9/30 アユ漁解禁 (放流水温は流入水温と同程度を目標、流入水温平均値 19.1℃) ・ 稲作期間 (放流水温は 18℃以上を目標)
7/1~9/20	20.0℃	・ 5/26~9/30 アユ漁解禁 (放流水温は流入水温と同程度を目標) ・ 稲作期間 (放流水温は 18℃以上を目標) ・ 流入水温変動幅 (13.3~24.2℃) の中間値付近
9/21~9/30	19.0℃	・ 5/26~9/30 アユ漁解禁 (放流水温は流入水温と同程度を目標、流入水温平均値 20.0℃) ・ 稲作期間 (放流水温は 18℃以上を目標)
10/1~10/10	18.0℃	・ 稲作期間 (放流水温は 18℃以上を目標) ・ ニジマス漁 (10/1~5/10, 放流水温は流入水温と同程度)
10/11~10/20	17.0℃	・ ニジマス漁 (10/1~5/10, 放流水温は流入水温と同程度) ・ 流入水温平均値 17.1℃

## ○参考資料5：[水温の設定事例2：既往の実測水温の変動幅を考慮した水温の設定]

ダムが建設される前と同程度の水温を放流することで、ダムによる影響を軽減するという考え方から、運用管理指標を設定する場合がある。目安となるのはダムの流入水温である。また理想的には流入水温と等しい水温層から取水することである。

そのような考え方から、特に建設前の環境影響評価では、河川および生態系が過去に経験している水温であることを目安に検討される。たとえば、ダム建設後の放流水温はダム建設前のある10ヶ年での水温の変動幅を大幅に超えないことを考慮する場合が多い。

図2、図3の例では、建設中のBダムに対して、放流水温はダム建設前の10ヶ年水温最大・最小幅を超える期間がある。特に渇水供給時の冷水放流および秋口における温水放流が存在しているため、冷水放流および温水放流の対策が求められるといえる。

これらの事例のように、例えば運用管理指標設定の基本を既往の10年間など、実績水温を考慮した基準とし、その上でかんがいや漁業などの利水面を考慮して、実績変動幅の中で、温水より・冷水よりなどの運用管理指標を設定する、という判断は考えられる。

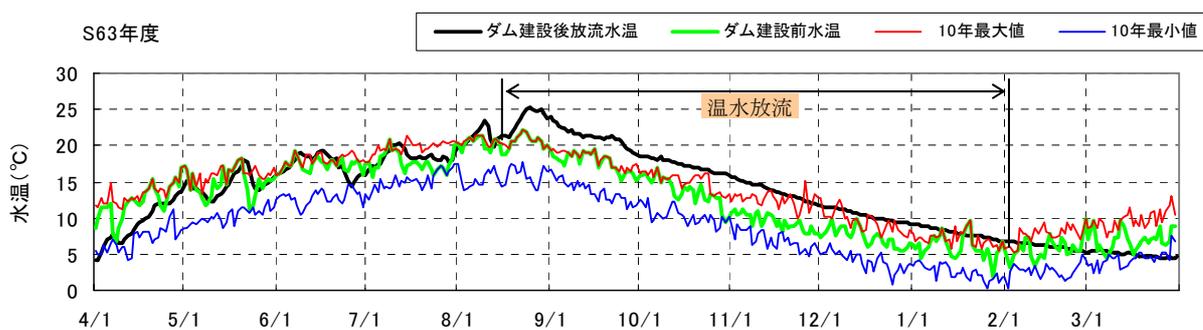


図2 水温（温水）に関する評価事例

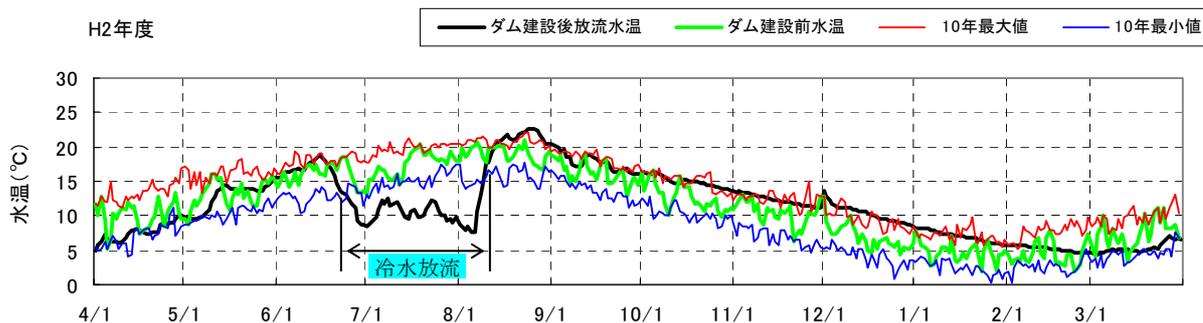


図3 水温（冷水）に関する評価事例

○参考資料6：各種水質基準

以下に各種の水質基準値を示す。

表3 生活環境基準の区分、類型及び基準値（河川）

	項目 種型	基準値				
		水素イオン 濃度(pH)	生物化学的酸素 要求量(BOD)	浮遊物質 量(SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
河川	AA	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	6.0以上 8.5以下	2mg/L以下	25mg/L以下	7.5mg/L以上	1000MPN/ 100mL以下
	B	6.5以上 8.5以下	3mg/L以下	25mg/L以下	5mg/L以上	5000MPN/ 100mL以下
	C	6.5以上 8.5以下	5mg/L以下	25mg/L以下	5mg/L以上	—
	D	6.0以上 8.5以下	8mg/L以下	50mg/L以下	2mg/L以上	—
	E	6.5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	—

表4 水産用水基準（2000年版：抜粋）

水域	河川		湖沼	
	サケ・マス・アユ	左記以外の魚種	サケ・マス・アユ	左記以外の魚種
SS	25mg/L以下（人為的に加えられる懸濁物質は5mg/L以下）嫌忌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、成長に影響を及ぼさないこと。		サケ・マス・アユ	温水性魚類
			1.4mg/L以下 （透明度4.5m以上）	3.0mg/L以下 （透明度1.0m以上）

平成12年12月（社）日本水産資源保護協会

SS（淡水域・河川）	「水域に生息している一般的な魚類は、化学的に不活性な濁質濃度に対してはかなりの耐性を有しており、短期的にはその生存にとって直接的な影響が及ぶことはない。しかし、耐性限界よりもかなり低い濃度であっても、魚類は濁水に対して忌避行動を示す。忌避反応を起こす最低値は、ニジマス・アマゴは45mg/L、イワナでは30mg/Lである。アユは25mg/Lで忌避行動を示すが、時間経過に伴って濁水区と清水区を往復するようになる。これらの事例から、懸濁物質は25mg/L以下とした。 長期的な約1箇月の飼育試験では、アユ、ニジマスともに10mg/L程度以上で成長に影響が見られ、また、アユの漁獲量に対しては自然濁水の長期化で5mg/Lで影響が出始めるという報告もある。従って、人為的に添加される濁質濃度は、長期にわたる場合は5mg/L以下とした。」（抜粋）
------------	--

○参考資料 7 : 濁水と魚類の関係に関する知見の事例

表 5 濁水と魚類の関係 (研究論文より)

魚類	内容	備考
アユ	濁水に 48 時間暴露したときの斃死が見られた最低の濁度 アユ仔魚：740mg/L, アユ稚魚：2420mg/L アユ稚魚の半数が斃死する濁度 (LC <sub>50</sub> ) 24 時間：4360mg/L, 48 時間：4160mg/L	文献 1)
	実験で設定した最高 102mg/L の SS の 30 日間暴露は, 対照区 (清水区) との間で有意差はなく, アユ仔魚の直接の致死原因とはならない. SS が 14mg/L 以上の区の魚では対照区の魚と比べて肥満度が有意に低い値であった.	
	摂餌障害を引き起こす濁度の閾値は, 13mg/L と 25mg/L との間に存在する. SS が 347mg/L では摂餌が全く行われなかった.	
	産卵は対照区 (SS 平均 1mg/L) と SS が 34~59mg/L (平均 47mg/L) の濁水中で見られた. SS が 95~156mg/L (平均 125mg/L) 以上の濁水中では見られなかった.	
	濁水を忌避する濃度の閾値は 22mg/L	
	実験では, 流入河川モデルの濁度とそのモデルへの遡上率との間には 31mg/L に濁度を閾値としたアユの遡上率の低下が認められた. 河川水中の SS が約 88mg/L で遡上率が半減し, 約 250mg/L で遡上が起こらなくなる.	
アユ	平均体重 3.65~26.3g の稚魚期~成魚期では, 成長や飼料効率は対照区 (清水区) に比べて濁度が 20mg/L 以上の区で劣る.	文献 2)
アユ	Y 型二者択一水路において, 15mg/L を超えると忌避. 濁度が 30~50mg/L 以上の濁水を流した場合に, 遡上行動に影響が出る.	文献 3)
イワナ	30mg/L で遡上率低下	
ニジマス	50mg/L で遡上率低下	
アマゴ	30mg/L で遡上率低下	
ヤマメ	生息が確認された地点の水質：SS20mg/L 以下	文献 4)
アユ	生息が確認された地点の水質：SS35mg/L 以下	
ウグイ	生息が確認された地点の水質：SS40mg/L 以下	

- 1) 藤原公一：濁水が琵琶湖やその周辺河川に生息する魚類へおよびす影響，滋賀県水産試験場研究報告，No.46, pp.9-37, 1997.
  - 2) 全内漁連：ダム等河川工作物設置による魚類への影響調査，漁業公害調査報告書，pp.84-111, 1986.
  - 3) 本田晴朗：アユの遡上行動におよぼす濁質濃度および水温低下の影響，海洋科学，Vol.15, No.4, pp.223-225, 1983.
- 渡辺昭彦：水辺の国勢調査に基づく魚類と水質の関係，土木研究所発表論文集，No.32, pp.65-68, 1993.

○参考資料 8 : 生物生息環境からみた濁質濃度の影響及び利水・親水面からみた望ましい水質

1) 生物生息環境からみた濁質濃度の影響

魚類の遡上に対する濁質濃度の影響に関して、文献から以下のような結果が示されている。

- ・ イワナの遡上行動は、濁度 30 度前後より低下し始める。
- ・ ニジマスの遡上行動は、濁度 50 度前後より低下し始める。
- ・ アマゴの遡上行動は、濁度 30 度前後より低下し始める。

2) 利水・親水面からみた望ましい水質

表 6 利用面からの社会的要請水質

利用用途			基準等			備考
			濁度 (度)	SS (mg/l)	その他	
湖内	湖内利用	水に入る			透明度 1m	海水浴場判断基準
			5			プール水質基準
			5		色度 10 度	文献 (*) 50%の人が不快と感じない水質
		水にふれる		~25		
		船で入る	10	10	色度 5 度 TN 2	
		景観	10	25	色度 5 度 透明度 1m	
水産		25	TP 0.1 透明度 1m	水産用基準		
河川	環境基準		—	25		A 類型
	水産			25		水産用水基準
K ダムで目安となる範囲	湖内	10	25			下限値による整理
	放流	10	25			

\* 水環境管理に関する研究 (建設省土木研究所)

○参考資料9：濁度の運用管理指標の設定の事例（Cダム）

Cダムでは秋季～春季にかけて湖内が白濁し、下記の観光地から改善が求められている。そのため、各種対策が実施されており、その時の目標設定は以下のとおりである。

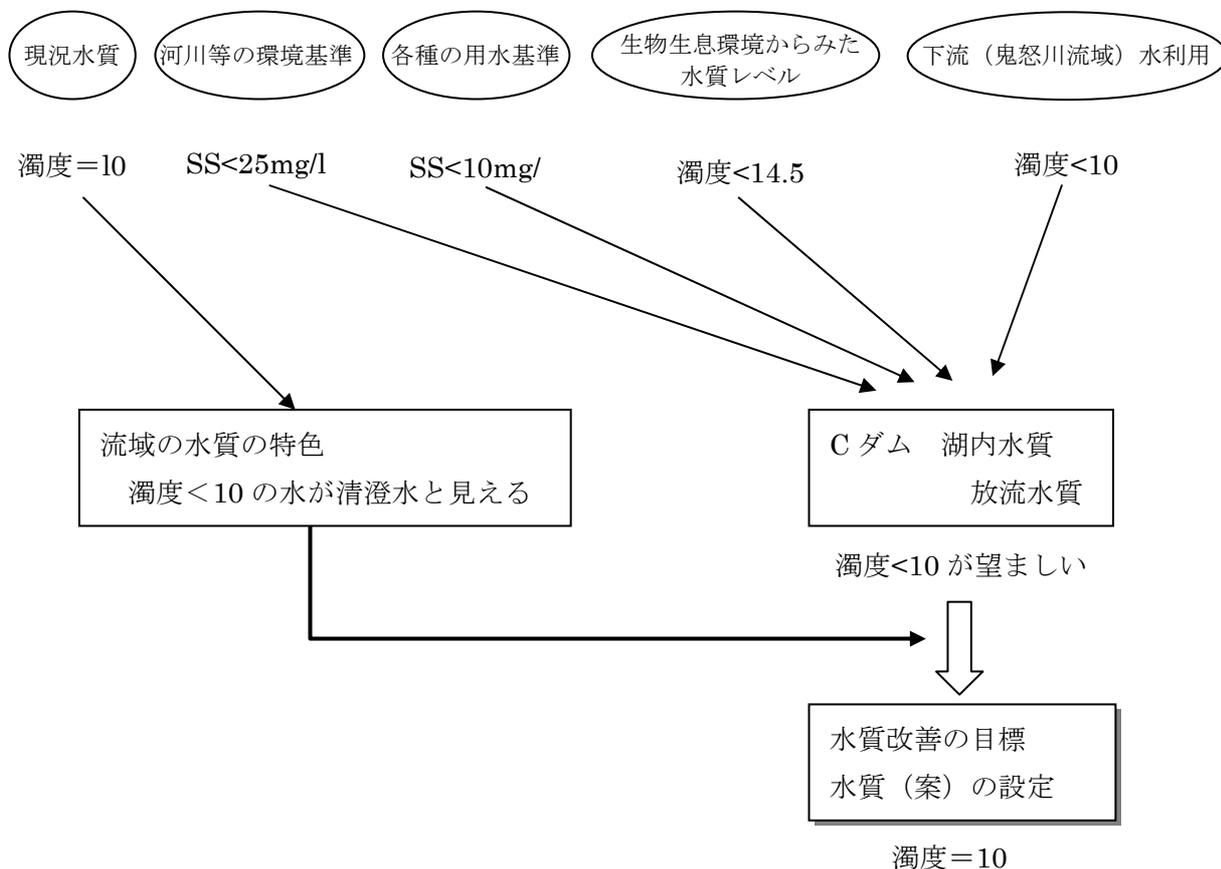


図4 Cダム貯水池における濁質濃度の運用管理指標設定（案）

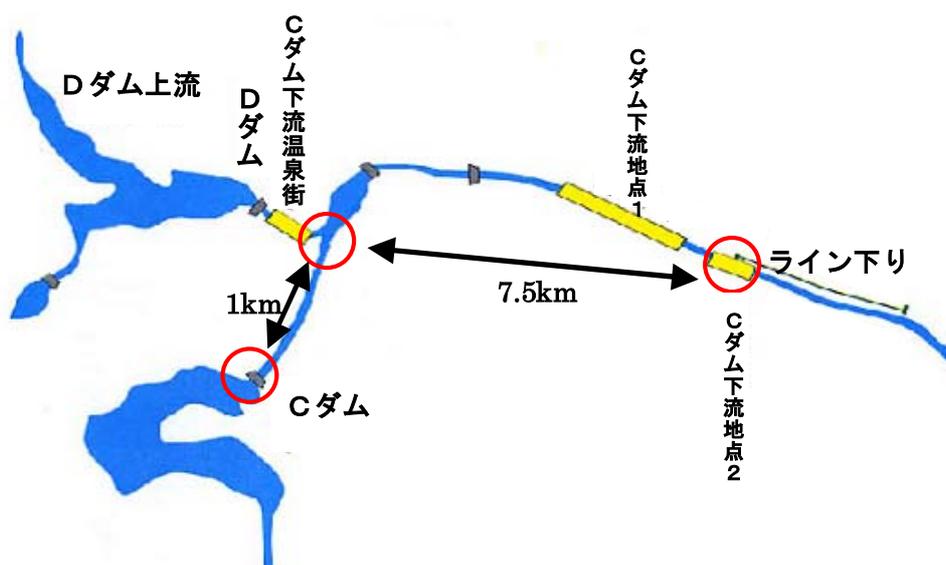


図5 Cダム流域位置図

C ダム流入地点 濁度：6



C ダム下流流入沢A 濁度：5



C ダム潜り込む地点 濁度：5



C ダム下流流入沢B濁度：10



D ダム上流 濁度：20



C ダムサイト 濁度：40



C ダム下流地点2 濁度：50



C ダム直下 濁度：435



図 6 現地調査写真一覧



### ○参考資料 11 : [操作ルールの事例 2 : F ダム]

冷水放流現象を回避することを目的とした F ダムの事例を示す。

F ダムの選択取水の運用ルールは設備導入後による検討結果によるものである。具体的な内容は図 8 の通りである。

この運用ルールは魚類の生息や、稲作りなどの要求に応じて、各時期の最低放流水温を設定したものである。

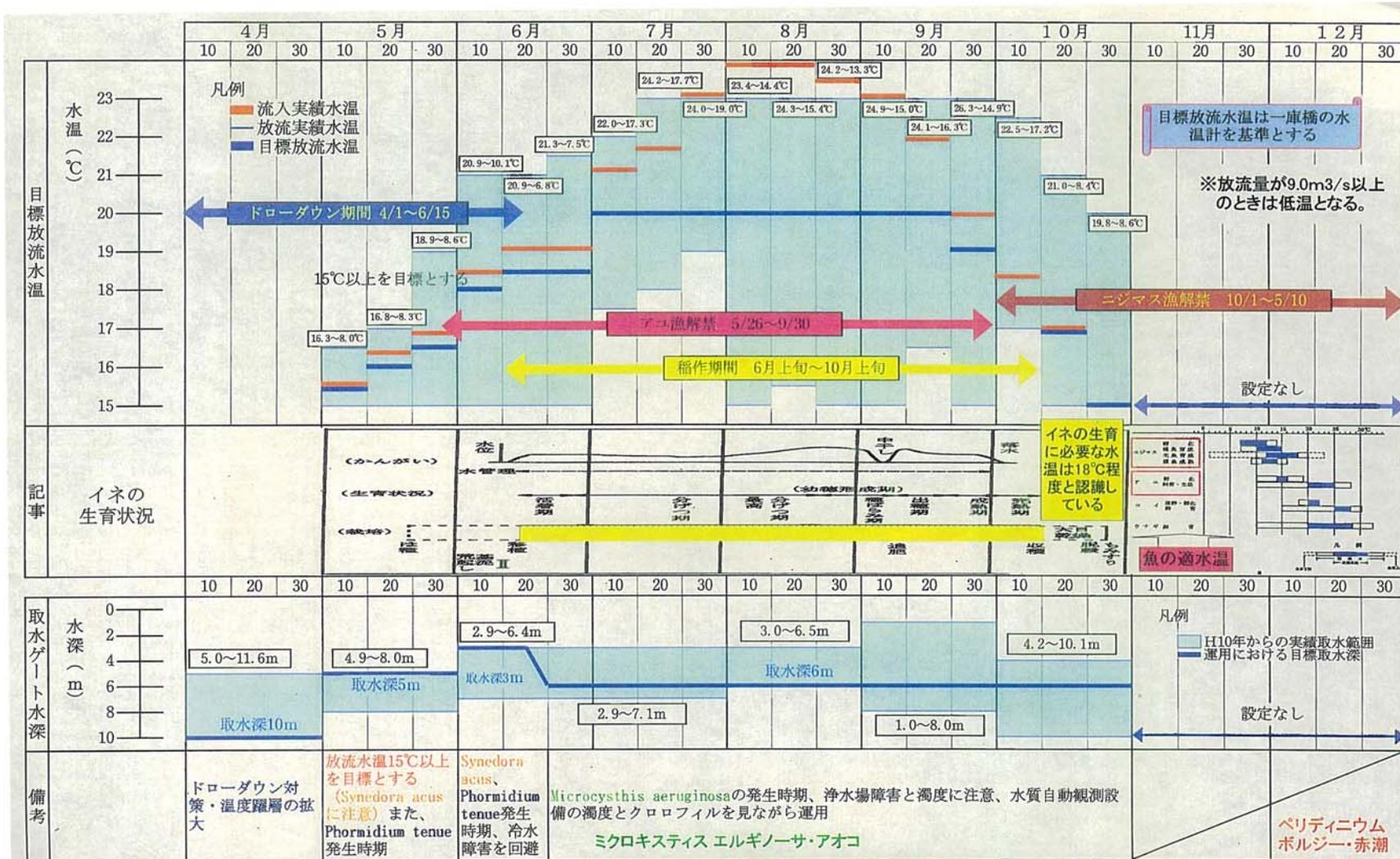
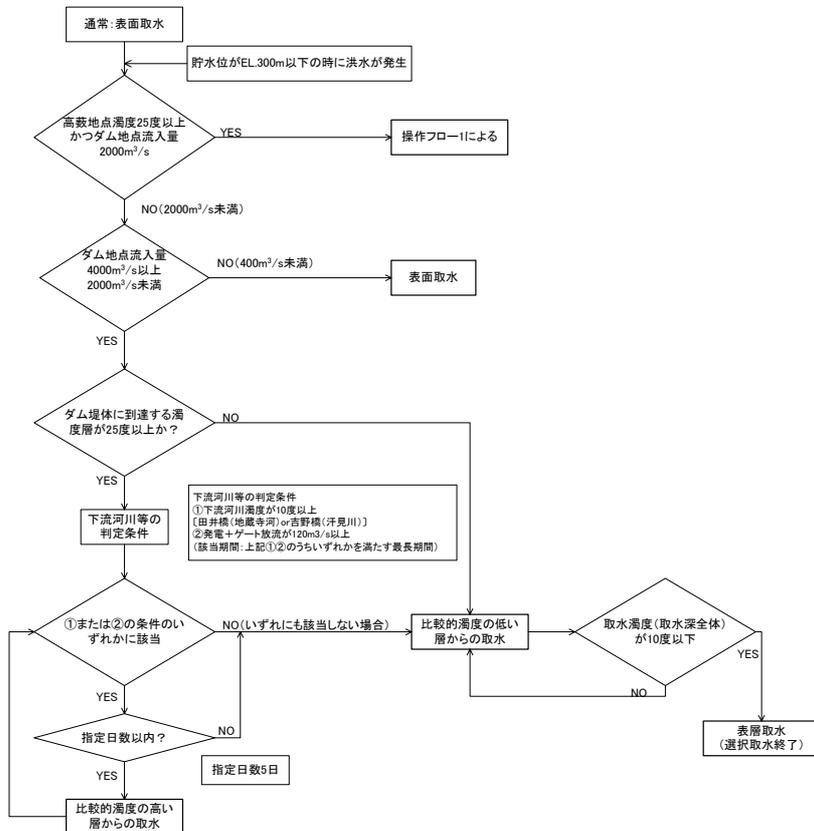
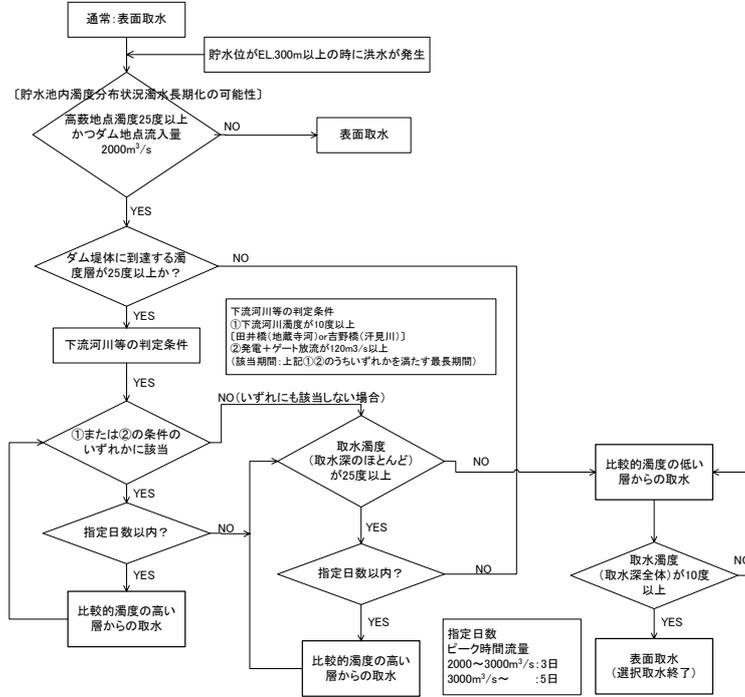


図 8 Fダム選択取水運用ルール

○参考資料 1 2 : [操作ルールの事例 3 : Gダムの事例 (洪水時の運用方法)]

Gダムは濁水長期化を軽減するため、洪水時において濁質ピーク層から取水することを選択取水運用ルールとした。



図に示しているように、水温躍層の位置は EL290m にあるため、濁質の流入層は出水時 EL290m である。そこで、洪水時において、濁質のピーク層の位置に応じて選択取水位置を EL310m～EL305m にした。

なお、放流濁度の図（3 段目）は、2 段目の図と同じデータであるが、縦軸をより強調し変化を見やすくしたものである。

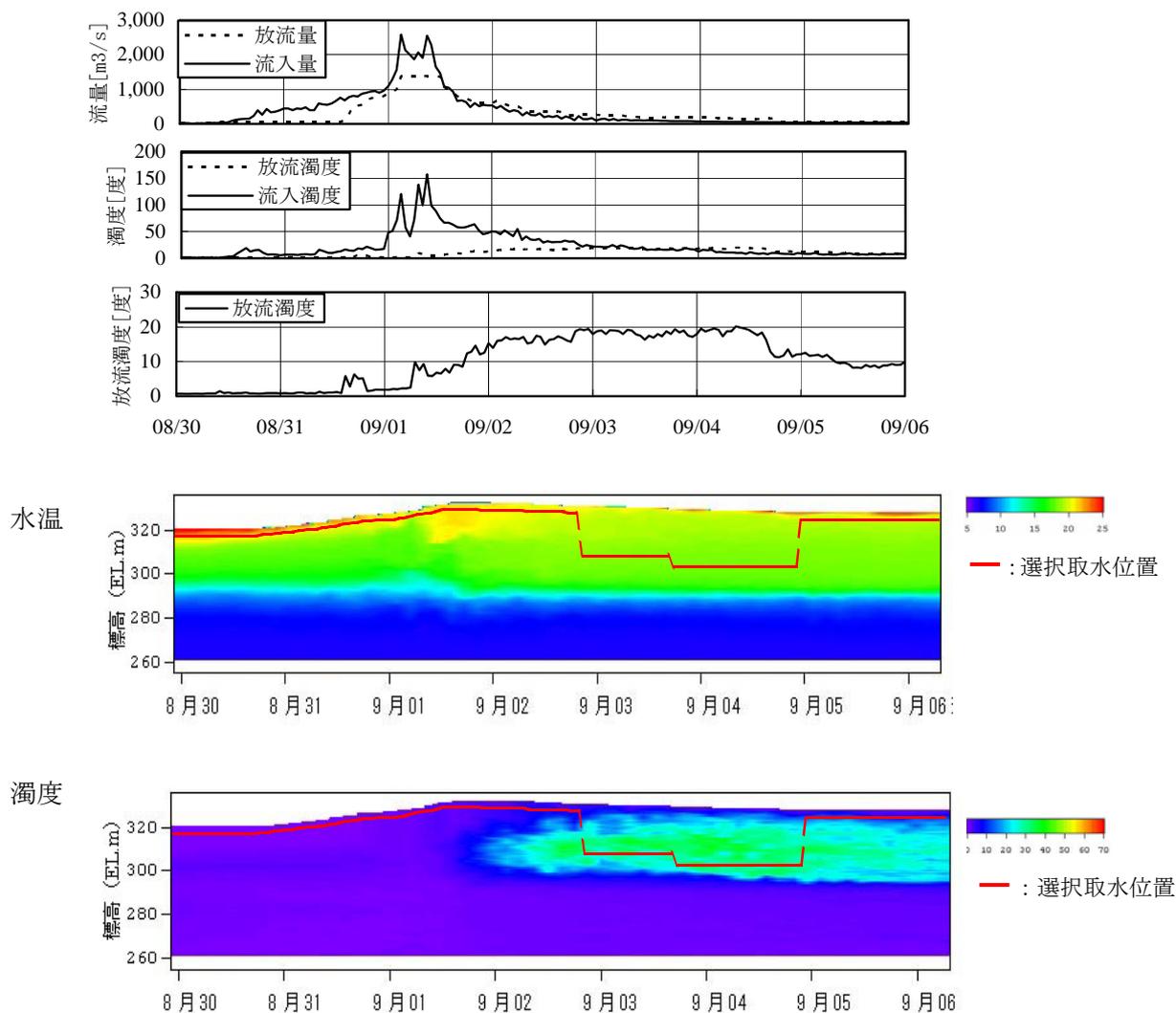


図 9 Gダム選択取水運用例

○参考資料 13 : [操作ルールの事例 4 : Hダム]

冷水放流・濁水長期化及び富栄養化現象の対策を目的としたHダムの事例を示す。

なお、曝気循環施設もHダムでは設置されており、出水時には水質保全施設として両者の併用を考慮する操作方法が設定されている。

表 8 選択取水操作方法（平常時）

	常時
4月	<ul style="list-style-type: none"> <li>・選択取水位置：10m</li> <li>・目標水温 14℃</li> </ul>
5月	<ul style="list-style-type: none"> <li>・選択取水位置：15m</li> <li>・目標水温 14℃</li> </ul>
6月	<ul style="list-style-type: none"> <li>・選択取水位置：15m</li> <li>・目標水温 20℃</li> </ul>
8～9月	<ul style="list-style-type: none"> <li>・選択取水位置：20m</li> <li>・目標水温 20℃</li> </ul>

表 9 選択取水操作方法（出水時）

5月	出水開始時	日平均流量が 5m <sup>3</sup> /s 以上となったとき以下の操作を行う。 ・曝気位置：停止 ・選択取水位置：水深 15m
	出水終了時	流入量が洪水開始流量を下回ったときかつ ・曝気位置：停止のまま ・選択取水位置：表層取水（水深 1.5m）
	曝気開始時	計画曝気水深の濁度が 5 度以下となったとき以下の操作を行う。 ・曝気位置：水深 15m ・選択取水位置：水深 15m
6月	出水開始時	日平均流量が 5m <sup>3</sup> /s 以上となったとき以下の操作を行う。 ・曝気位置：停止 ・選択取水位置：水深 15m
	出水終了時	流入量が洪水開始流量を下回ったときかつ ・曝気位置：停止のまま ・選択取水位置：表層取水（水深 1.5m）
	曝気開始時	計画曝気水深の濁度が 5 度以下となったとき以下の操作を行う。 ・曝気位置：水深 15m ・選択取水位置：水深 15m
8～9月	出水開始時	日平均流量が 5m <sup>3</sup> /s 以上となったとき以下の操作を行う。 ・曝気位置：停止 ・選択取水位置：水深 20m
	出水終了時	流入量が洪水開始流量を下回ったときかつ ・曝気位置：停止のまま ・選択取水位置：表層取水（水深 1.5m）
	曝気開始時	計画曝気水深の濁度が 5 度以下となったとき以下の操作を行う。 ・曝気位置：水深 15m ・選択取水位置：水深 20m

○参考資料 1 4 : [選択取水運用の事例 1 : 夏季における渇水時の水位と水温]

夏季における渇水時の補給が必要とされた時の I ダムの水温変化を示す。

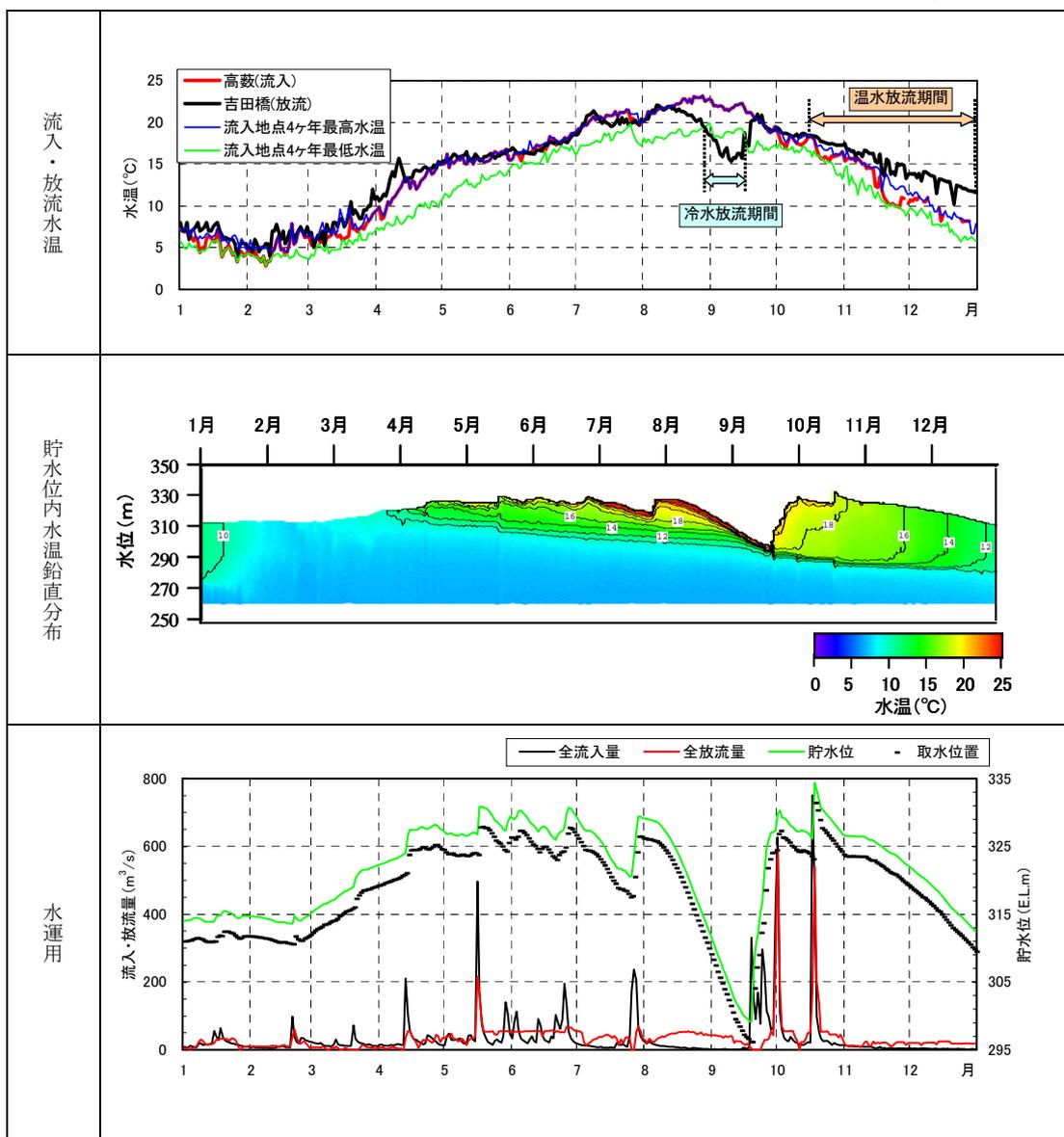


図 10 に示すように、8 月中旬～9 月中旬において渇水時に補給を行ったことから、ダム表層付近の温水を全部放流してしまう結果となっている。

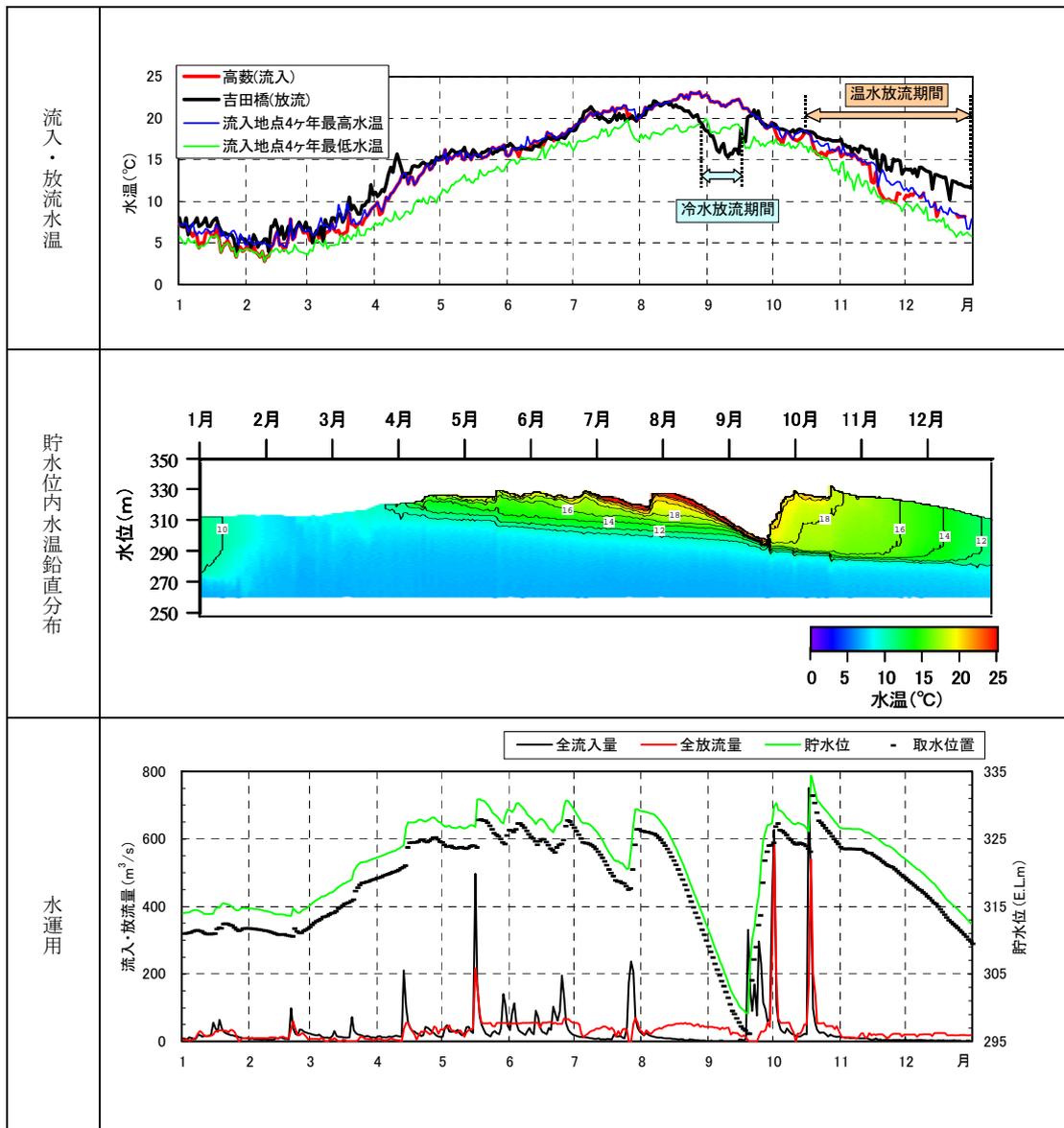


図 10 I ダム (2000 年) の水温変化

○参考資料 15 : [選択取水運用の事例 2 : 流入水温と放流水温がほぼ等しく運用ができた場合]

冷水及び温水放流現象は、ほとんど生じていない。また、概ね年間を通じて放流水温がほぼ流入水温と同じ程度で放流されている。

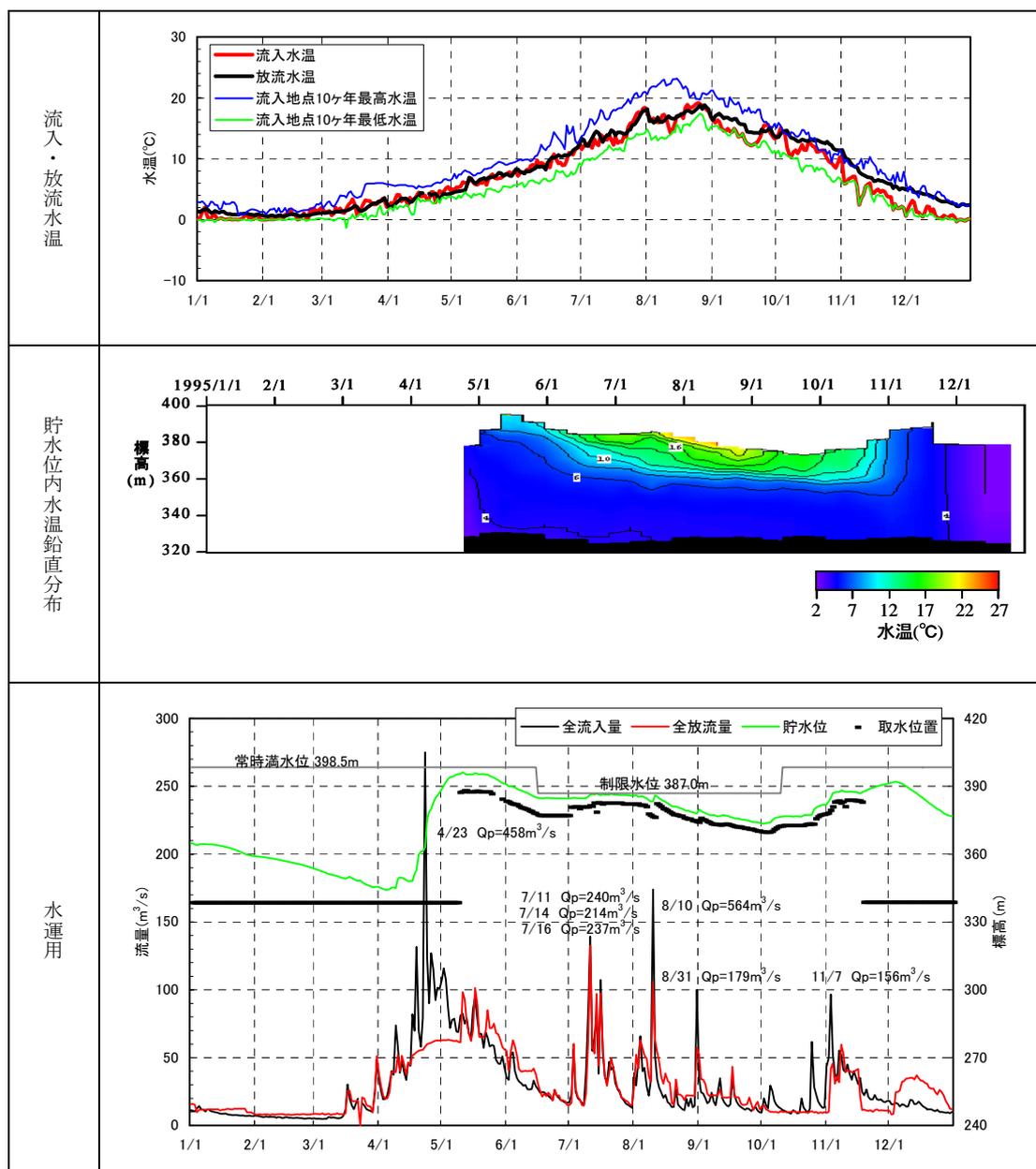


図 11 Jダム (1995年) の水温変化

○参考資料 16 : [観測体制の例 : Kダムの観測状況]

観測位置は図 12 の通りである。観測項目は表 10 に示す。

表 10 観測項目一覧表

観測地点	項目	観測期間
ダム上流	水温	~H12.4 定期観測 H12.5~ 10分出力
	濁度	~H12.4 定期観測 H12.5~ 10分出力
ダム貯水池	水温	H3~ 1回/1日(9時)
	濁度	H3~ 1回/1日(9時)
ダム直下	水温	H12.5~ 10分出力
	濁度	H12.5~ 10分出力
下流基準地点	水温	H13~ 10分出力
	濁度	H13~ 10分出力

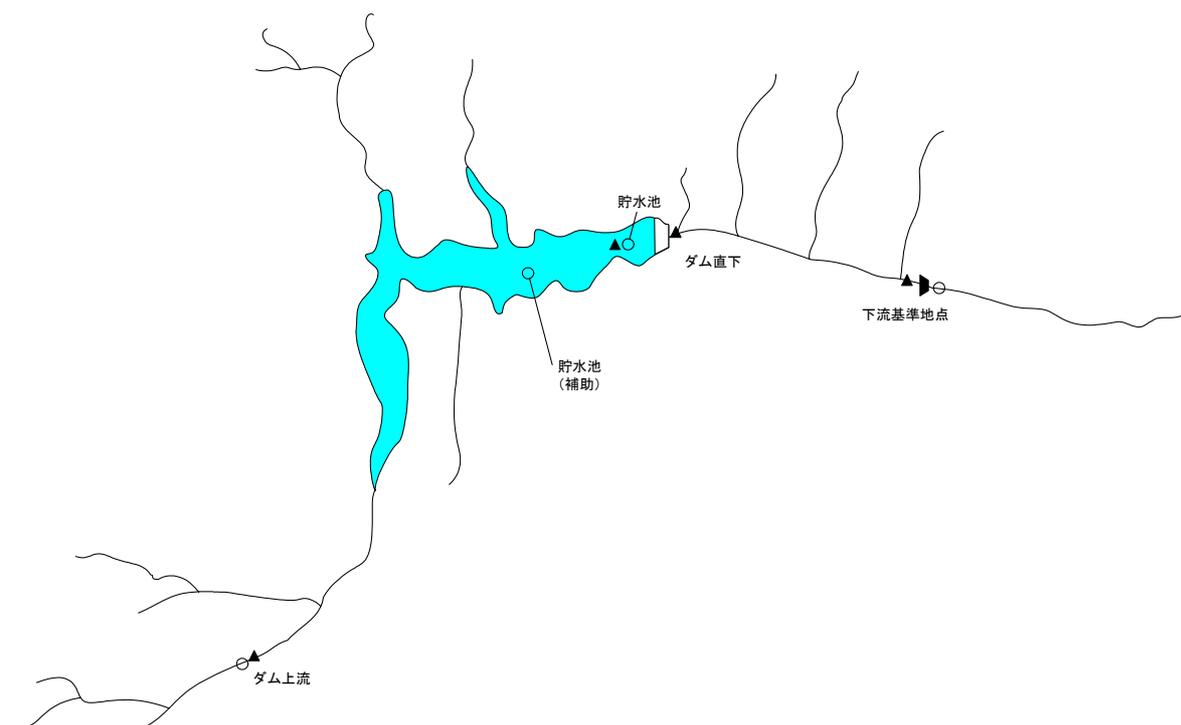


図 12 Kダム自動観測地点

○参考資料 17 : [観測体制の例 : Lダムの観測状況]

観測地点の位置図を図 13 に示す。また、観測項目・観測期間を図 13 に示す。

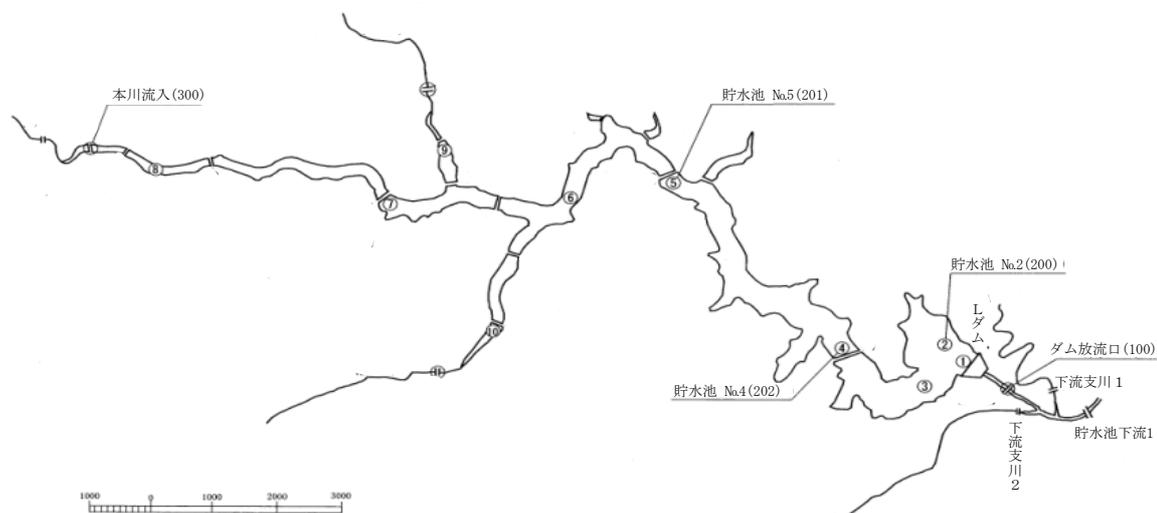


図 13 Lダム水質調査地点

表 11 観測項目一覧表

地 点		期 間	測定項目	測定間隔
上流河川	本川流入(300)	H8.11.1~H10.3.19	水温、濁度	1 時間
		H10.3.20~	水温、濁度	10 分
貯水池内	貯水池 No.5(201)	H9.10.2~	水温、濁度	3 時間、50 cm
	貯水池 No.4(202)	H9.10.1~	水温、濁度	3 時間、50 cm
	網場	H11.3.21~	水温、濁度	3 時間、50 cm
	ダムサイト	H9.10.21~	水温、濁度	3 時間、50 cm
貯水池下流	ダム放流口(100)	H10.3.25~	水温、濁度	10 分
	貯水池下流 1	H10.3.26~	水温、濁度	10 分
下流支川	下流支川 1	H11.3.14~	水温、濁度	10 分
	下流支川 2	H10.3.25~	水温、濁度	10 分

### ○参考資料18：流入水温推定方法

流入地点に自動観測計が設定されている場合は、その実測値を用いるものとするが、自動観測計が設置されていない場合、流入水温は近傍気象観測所又はダム管理所の気温との関係式により推定する。

流入水温の推定方法は以下の通りである。

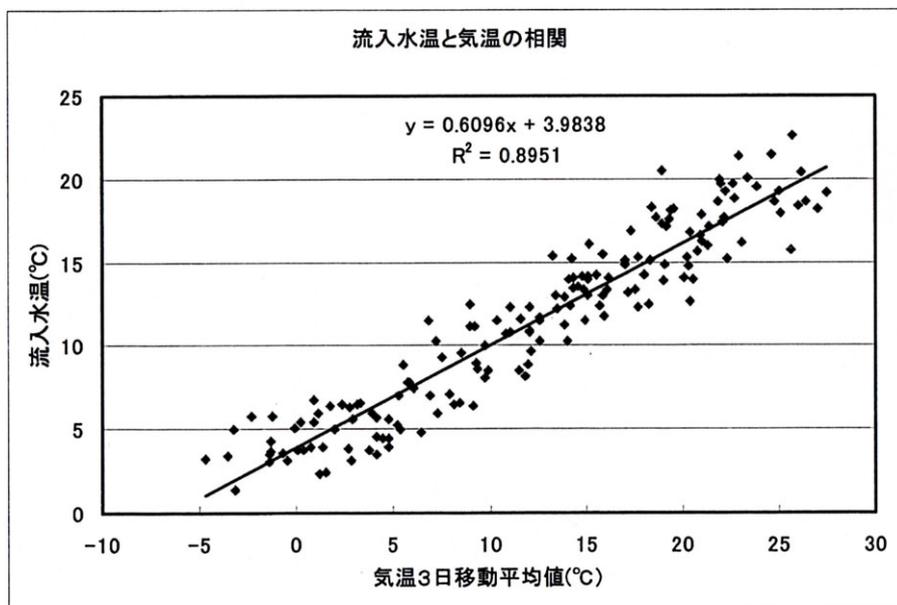
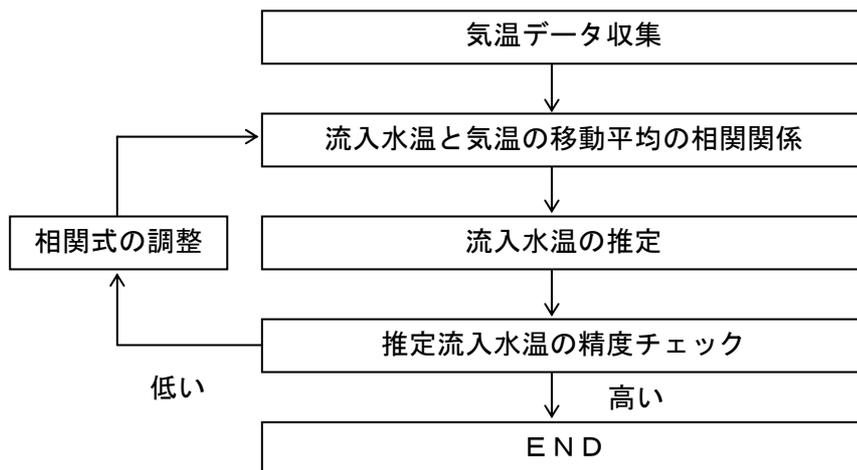


図 14 流入水温の推定式作成例

### ○参考資料 19 : 流入濁質濃度の推定

流入濁度も流入水温と同様で、自動水質計が設置されている場合は、その実測値を用いるものとするが、自動水質計が設置されていない場合に既往の定期調査、出水時調査で得られる濁度と流量の関係式から推定する。

流入濁質濃度の推定方法は以下の通りである。

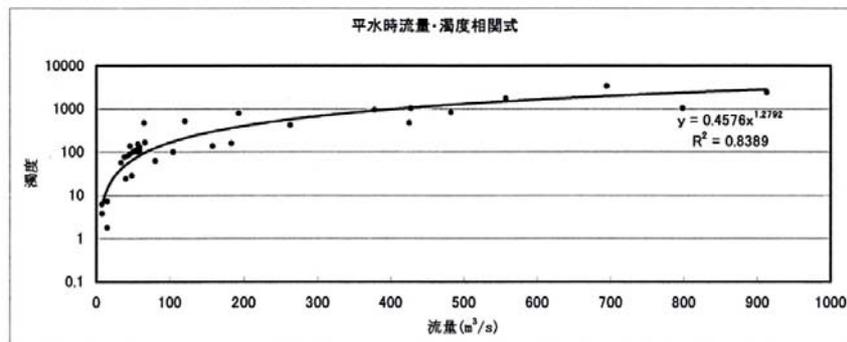
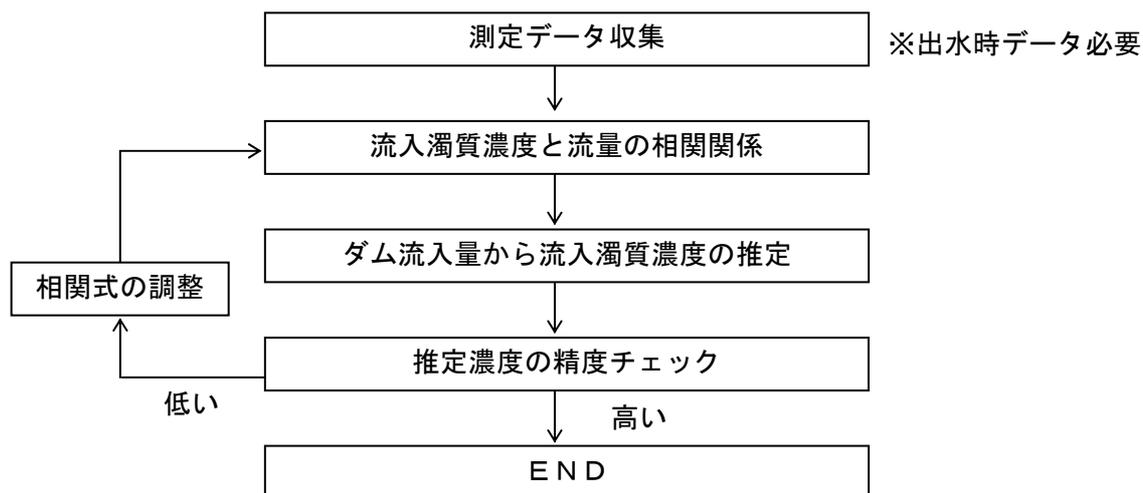


図 15 流入濁度の推定式作成例

#### ・水温・濁度推定時の留意事項

##### ○流入水温の推定

必要に応じて流量、季節の影響を考慮し、流入水温の相関式を修正する場合がある。

##### ○流入濁質濃度の推定

通常、流入濁質濃度の算定では、実測値(例：SS 濃度と流量  $Q$ )の回帰分析から求めた流量と濁質濃度の相関式を用いることが多い。

## 参考文献

以下に、本資料で対象とした貯水池の水質や水質保全に関連した参考となる文献を挙げる。

- 1) 盛下勇監修、(財)ダム水源地環境整備センター編著：『ダム貯水池の水環境 Q&A なぜなぜおもしろ読本』、山海堂、2002年。
  - ・ダム貯水池の水質を含めた水環境全般の入門書として最適と思われる。
- 2) (財)ダム技術センター編集・発行：『多目的ダムの建設－平成17年度版 第2巻 環境・調査I編』、2005年。
  - ・実務的な観点から、実際のダムのデータ等を踏まえた記述が充実している。
- 3) 有田正光編著、池田・中井・中村・道奥・村上著：『水圏の環境』、東京電気大学出版局、1998年。
  - ・密度流を中心に、ダムに限らない広く環境水理学の教科書的な書物。
- 4) 岩佐義朗編著：『湖沼工学』、山海堂、1990年。
  - ・ダムを含めた湖沼に関する水の流れ、シミュレーションモデルなど様々な記述。
- 5) (社)日本水質汚濁研究協会編：『湖沼環境調査指針』（絶版）
  - ・湖沼に関連した調査全般に関する基本的な文献。
- 6) 建設省河川局開発課監修、(財)ダム水源地環境整備センター編著：『改訂 ダム貯水池水質調査要領』
  - ・ダムの水質調査のマニュアル的冊子。