

# 湖沼の底層溶存酸素量及び沿岸透明度 に関する水質保全対策の手引き

【詳細版】

令和2年3月

環境省 水・大気環境局 水環境課

## 目次

1. 序章 .....	1-1
1.1 手引きの目的と対象 .....	1-1
1.2 新規基準等(底層溶存酸素量及び沿岸透明度)について .....	1-2
1.3 新規基準等(底層溶存酸素量及び沿岸透明度)の保全対策の考え方 .....	1-3
1.4 手引きの構成等 .....	1-4
2. 底層溶存酸素量編 .....	2-1
2.1 底層溶存酸素量の基礎知識 .....	2-2
2.2 底層溶存酸素量の現状把握と要因分析 .....	2-9
2.3 対策の方針及び計画策定 .....	2-14
2.4 対策と調査の実施 .....	2-22
2.5 調査による効果の把握・検証 .....	2-23
2.6 検証結果を踏まえた計画の見直し .....	2-24
2.7 底層溶存酸素量にかかる調査の考え方 .....	2-25
2.8 底層溶存酸素量改善のための主な対策技術 .....	2-31
2.9 湖沼底層溶存酸素量改善モデル事業の事例 .....	2-36
2.10 底層溶存酸素量改善のための要因解析の事例 .....	2-45
3. 沿岸透明度編 .....	3-1
3.1 沿岸透明度の基礎知識 .....	3-2
3.2 沿岸透明度の現状把握と要因分析 .....	3-10
3.3 対策の方針及び計画策定 .....	3-14
3.4 対策と調査の実施 .....	3-20
3.5 調査による効果の把握・検証 .....	3-21
3.6 検証結果を踏まえた計画の見直し .....	3-22
3.7 沿岸透明度にかかる調査の考え方 .....	3-23
3.8 沿岸透明度改善のための主な対策技術 .....	3-29
3.9 沿岸透明度改善のための要因解析の事例 .....	3-35
4. 水質保全対策を進める上での配慮事項 .....	4-1
4.1 実態把握・要因解析に関する配慮事項 .....	4-1
4.2 水質保全対策の検討に関する配慮事項 .....	4-3
4.3 その他の配慮事項 .....	4-5
5. 用語集 .....	5-1
6. 参考文献 .....	6-1

## 1. 序章

### 1.1 手引きの目的と対象

#### 1) 背景

中央環境審議会による「水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて(平成 27 年 12 月答申)」において、底層溶存酸素量を生活環境項目の環境基準とし、沿岸透明度を地域において設定する目標とするとの結論を得て、平成 28 年 3 月に底層溶存酸素量が生活環境項目の環境基準に追加された。

今後各地の湖沼において、これらの水質管理指標による効果的・効率的な保全対策を推進していくこととなる。

#### 2) 目的と対象

本手引きは、湖沼の水質保全対策を担う環境行政の担当者(以下、「担当者」という。)を対象に、担当者が新たな指標である「底層溶存酸素量」や「沿岸透明度」の改善に向けた対策等を検討する際の知見となることを目的としている。

また、湖沼の水環境保全に関わる多くの方々の参考として活用されることを期待している。

## 1.2 新規基準等（底層溶存酸素量及び沿岸透明度）について

国内の湖沼は環境基準達成のため、湖沼水質保全計画等に基づく陸域からの流入負荷量の削減等により、水質の改善対策が進められてきた。しかしながら、湖底の貧酸素化や水草の繁茂、在来魚介類の減少といった課題もあり、従来環境基準の達成状況だけでは水環境の現状が伝わりづらいとの指摘がされていた。また、今後の湖沼における水環境保全施策として、生態系の保全や回復の視点も踏まえた管理の考え方、取組が求められた。

このような背景を踏まえ、環境省では、望ましい水環境の状態を表す指標として、①魚介類等の水生生物の生息・再生産や水生植物の生育に対して直接的な影響を判断できる指標、②国民が直感的に理解しやすい指標、という視点から、底層溶存酸素量を生活環境項目環境基準に、沿岸透明度を地域環境目標に設定した。なお、沿岸透明度については、地域での活用を想定した目標設定の考え方と手順を整理した「沿岸透明度の目標設定ガイドライン」が公表されている。

### ①底層溶存酸素量について

底層溶存酸素量は、底層を利用する水生生物の生息の場の再生産の観点等から、特に重要な要素のひとつである。

湖沼の底層溶存酸素量の低下によって、水生生物の生息そのものに影響を及ぼすおそれがある。また、底層溶存酸素量の低下は、底質から栄養塩を溶出させるなど内部負荷増加を促進させる影響が大きいと考えられている。更に、溶出した栄養塩が表層水に供給されると植物プランクトンが異常発生し浄水過程におけるろ過障害、水道水におけるカビ臭などの障害を生じさせる恐れがある。また、水道水の着色障害等を引き起こす鉄及びマンガンは、溶存酸素の欠乏による酸化還元電位の低下により底質から溶出する可能性が高いとされている。

### ②沿岸透明度について

沿岸透明度は、水生生物の保全の観点や親水利用の場の保全の観点から重要な要素のひとつである。

一定以上の水中光量を得るために必要な透明度を確保することは、水生植物の生育に不可欠である。水生植物は水生生物の生息の場を形成するとともに、富栄養化の原因となる栄養塩類を吸収するなどの水質浄化機能、物質循環機能を有していることから、透明度の低下による水生植物群落の衰退はこれらの機能を損なうおそれがある。

また、親水利用の場を保全する観点では、透明度が低下することに伴い、自然探勝や水浴などの親水利用形態においては、良好な水辺地を損なう恐れがある。

### 1.3 新規基準等(底層溶存酸素量及び沿岸透明度)の保全対策の考え方

中央環境審議会による「水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて(平成27年12月答申)」において、新規基準等の保全対策の方向性を示しており、以下に概要を掲載する。また、答申以降に検討を進めた、保全対策を進める際の留意事項を示す。

#### ①底層溶存酸素量

湖沼において底層溶存酸素量の類型指定を行うことにより、水環境の実態を底層溶存酸素量の基準値で監視及び評価することが可能となる。底層溶存酸素量の改善対策が必要と判断される水域については、関係者が連携・協議し、将来のあるべき姿を見据え、従来の水質汚濁防止対策に様々な対策を組み合わせ、中長期的な対策も視野に入れた総合的な水環境保全対策を進めていくことが必要である。

#### ②沿岸透明度

湖沼において、沿岸透明度を地域にとって適切な目標(地域環境目標)として設定することにより、水環境の実態を透明度で評価することが可能となる。地域環境目標の設定に当たっては、地域の関係者が連携して、水生植物の分布状況や親水利用のニーズを踏まえ、地域ごとの望ましい水環境像を検討することが重要と考える。また、沿岸透明度の対策が必要と判断される水域については、効果的な水質保全対策について議論し、総合的に対策を推進していくことが重要である。

#### ③その他留意事項

実際に底層溶存酸素量や沿岸透明度の改善対策を行う場合、それぞれの目的にはかなうが、その技術を適用したことで副次的な望まない影響が生じる可能性も想定される。対策技術の選定や対策の評価に際しては、こうした副次的な影響についても考慮することが重要である。その場合、地域の大学や研究機関等の有識者の協力を得るなど、地元の知識や知恵を活用することが特に有効であり、地域ぐるみで問題解決に向けた取組を進めることが望ましい。

また、地域環境目標については、対策による効果等を踏まえ、その状況に合致した目標値として適時適切に見直しを行うことが可能となるようシステムづくりが必要と考える。

## 1.4 手引きの構成等

### 1) 手引きの特徴

担当者が、湖沼の対策を検討するにあたって参考としやすいよう、(1)タイプ区分による要因検討の補助、(2)共通の数値モデル・パラメータを使用した定量的な要因検討、(3)モデル事業の紹介、の特徴を設けた。これらの特徴を表 1-1 で解説する。

表 1-1 手引きの3つの特徴

項目	内容
(1)タイプ区分による要因検討の補助	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>各地の湖沼で参考にすべき対策方針を概定できるよう、フローによる湖沼類型のタイプ区分と想定される対策方針等を示した。</u></li> <li>• 複数のタイプ区分を参考とする使い方も可能。</li> <li>• 全国の湖沼は類型化しきれない様々な特徴を有しているため、当該タイプ区分に当てはまらない場合は、各地の条件等を十分勘案して各湖沼の要因を検討する。</li> </ul>
(2)共通の数値モデル・パラメータを使用した定量的な要因検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>事例として、6 つの指定湖沼で共通の数値モデル・共通のパラメータを用いて行った要因解析や水質保全対策にかかる定量的な検討内容を示した。</u></li> <li>• 資料集に、全国湖沼において定量的な検討を行う際にモデルの作成が可能となるよう、<u>共通の数値モデル・パラメータを公開した。</u></li> </ul>
(3)モデル事業の紹介(底層溶存酸素量のみ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 対策技術の事例として、秋田県、長野県、鳥取県、島根県で行った<u>モデル事業の概要を紹介した。</u></li> <li>• 資料集に、対策の概要、効果を把握するための調査、効果の評価に加えて、<u>費用や課題等を記載した。</u></li> </ul>

資料集 URL [http://www.env.go.jp/water/kosyou/post\\_87.html](http://www.env.go.jp/water/kosyou/post_87.html)

## 2) 手引きの構成

本資料は1～6章より構成する。

1章は序章として手引き全体に係る必要性や目的、使い方等を示した。

2章は底層溶存酸素量、3章は沿岸透明度に係る手引きの本体となり、それぞれの章で対策にかかる一連の流れを示した。両項目ともまず①水質悪化の要因と対策の方針を検討し、②効果を把握するための調査を含む対策の計画を策定し、その計画に基づいて③対策及び効果を把握するための調査を実施、さらに④効果を把握するための調査結果を検証して⑤検証結果を踏まえた対策の見直しを行うこととしている。また、参考として⑥調査の考え方、⑦主な対策技術の紹介、⑧要因解析の事例紹介を記載した。

なお、①～⑤の一連の流れは、PDCAサイクルの考え方に基づいており、①②計画(Plan)に基づいて、③実施(Do)し、④効果の検証(Check)を踏まえて、⑤見直し(Action)を行うこととしている(図 1-2 参照)。底層溶存酸素量及び沿岸透明度の低下にかかる正確な要因分析は困難であるうえ、対策の多くが不確実性を含んでいるが、長期的な視点で試行錯誤を繰り返しながら進めることで、対策の不確実性を取り除いていくことを前提としている。

底層溶存酸素量、沿岸透明度ともに、すべての湖沼に共通した対策はなく、効果的、効率的な対策を行うためには各湖沼での的確な要因分析が必要となる。本資料では湖を特徴によってタイプ区分し、それぞれの典型的な水質悪化要因と対策の方針の例を示した。

参考の⑥調査の考え方では、現状の水質等データが不足している場合の調査の考え方を示した。⑦主な対策技術では、底層溶存酸素量または沿岸透明度改善のための主な対策技術について事例を含めて紹介した。事例にはモデル事業として先行して底層溶存酸素対策に取り組んだ湖沼の取組内容や環境省のETV事業等を含んでいる。⑧要因解析の事例では、複数の湖沼で数値シミュレーションによって水質汚濁のメカニズム解析を行い、保全対策の定量的な評価を行った事例を示した。

4章では水質保全対策を進める上での配慮事項について、解決策や考え方について示した。

5章には用語集を、6章には本資料にかかる参考文献を示した。

また、本資料における「共通の数値モデル・パラメータを使用した定量的な要因検討」「モデル事業の紹介(底層溶存酸素量のみ)」については、その詳細を記載した資料集を Web 上で公開しているため、具体的な計算を行う場合やモデル事業の詳細を確認したい場合は、是非、資料集を参照していただきたい。

(URL [http://www.env.go.jp/water/kosyou/post\\_87.html](http://www.env.go.jp/water/kosyou/post_87.html))



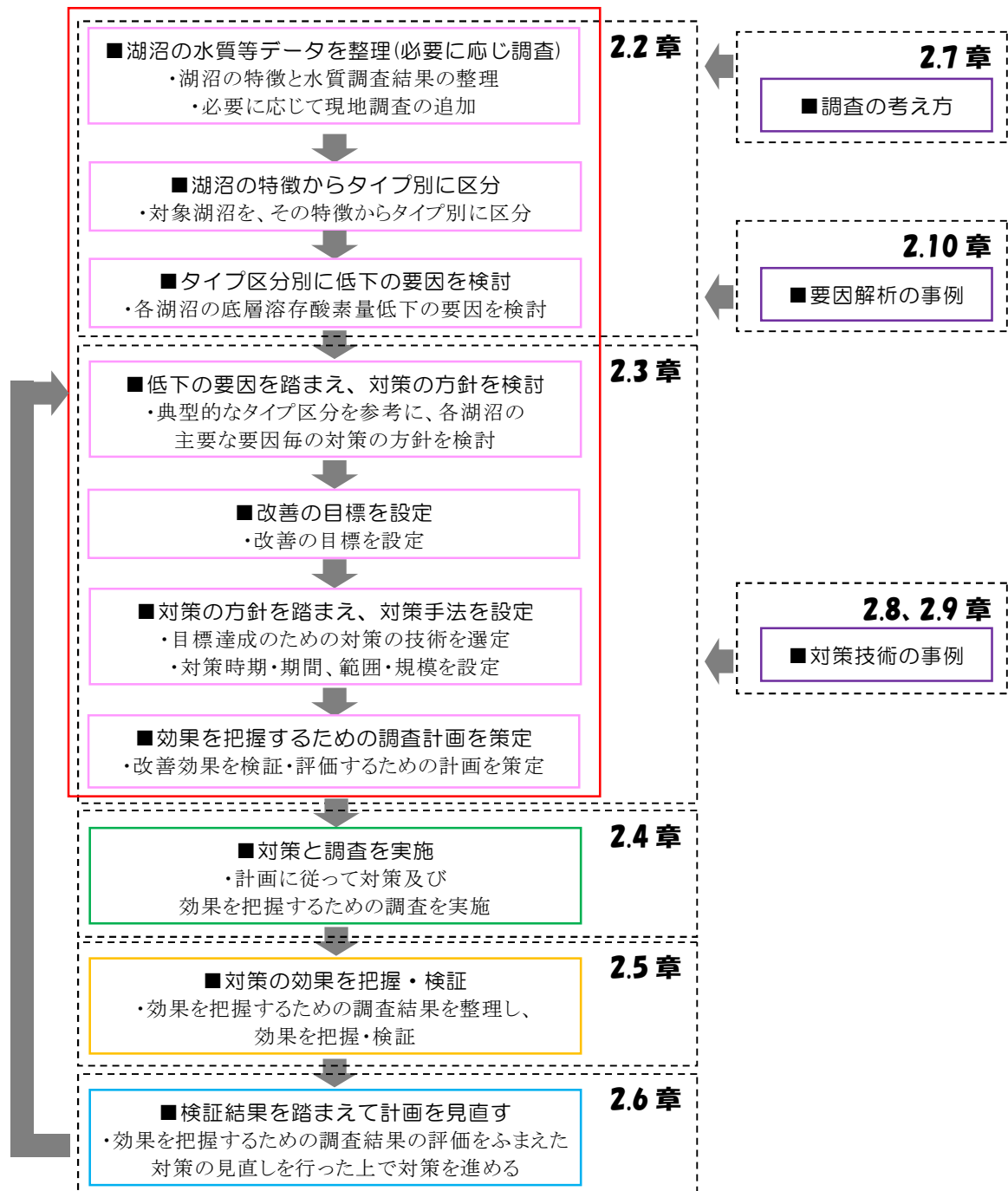
※2.2～2.6、3.2～3.6 はそれぞれ本資料の項目を示している。

図 1-2 底層溶存酸素量・沿岸透明度にかかる湖沼水質保全対策のPDCAサイクル



## 2. 底層溶存酸素量編

底層溶存酸素量編は 2.1～2.10 よりなる。2.1 には底層溶存酸素量の基礎知識を示した。また、2.2～2.6 には対策にかかる一連の流れを、2.7 には底層溶存酸素量にかかる調査の考え方、2.8 には底層溶存酸素量改善のための主な対策技術、2.9 には湖沼底層溶存酸素量改善モデル事業の事例、2.10 には底層溶存酸素量改善のための要因解析の事例を示した(図 2-1)。



※図中“X,X章”は手引きの該当する章を示す

図 2-1 底層溶存酸素量の対策にかかる検討の流れ

## 2.1 底層溶存酸素量の基礎知識

### 1) 底層溶存酸素量とは

溶存酸素量は水中に溶け込んでいる酸素の量のこと、略称の DO (Dissolved Oxygen) もよく使われる。JIS では単位を mg/L としている。酸素の水への溶けやすさは、水温 (高いと酸素が水に溶けにくい) や塩分 (高いと溶けにくい)、気圧 (低いと溶けにくい) などに影響されるため、飽和溶存酸素量 (図 2-2) を 100% として、溶存酸素飽和度 (%) を用いることもある。

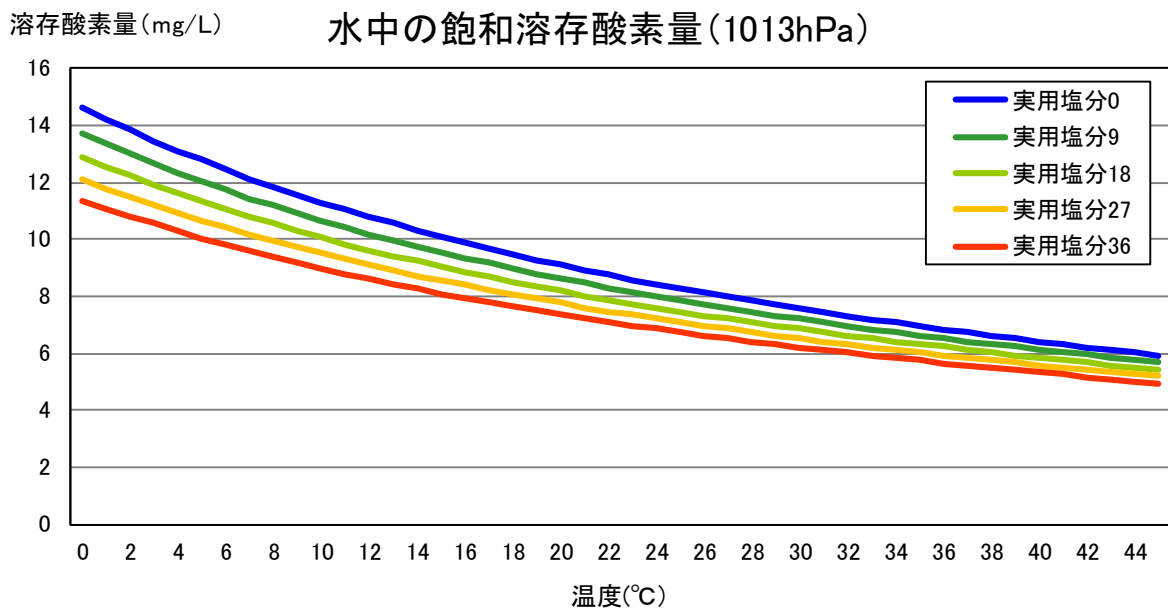


図 2-2 JIS K0102 に基づく 1013hPa 条件の温度・塩分ごとの飽和溶存酸素量

水中に有機物があるとその分解のために酸素が消費されることから、溶存酸素量は有機物による水質汚濁の指標とされ、きれいな水では飽和に近いが、汚濁が進むと少なくなる。「溶存酸素量」は、環境基準として既に設定されていたが、平成 28 年 3 月に、魚介類等の水生生物への直接的な影響を判断できる指標として、新たに「底層溶存酸素量」が生活環境項目の環境基準に追加され、底層溶存酸素量を年間最低値で評価することとなった。なお、底層溶存酸素量の測定水深は、可能な限り湖底直上で測定することが望ましいが、底泥の巻き上げや地形の影響等のため難しい場合には、湖底から 1m 以内の底層とすることとされている。

底層溶存酸素量は底層を利用する水生生物の生息・再生産にとって特に重要な要素の一つであり、湖沼の底層溶存酸素量の一定レベルまでの低下は、それ自体が水生生物の生息を困難にさせる上、底質から栄養塩を溶出させるなど内部負荷増加を促進させる影響が大きいと考えられ、溶出した栄養塩が表層水に供給されると植物プランクトンが

異常発生して浄水過程におけるろ過障害、水道水におけるカビ臭などの障害を生じさせる恐れがある。また、水道水の着色障害等を引き起こす鉄及びマンガンは溶存酸素の欠乏による酸化還元電位の低下により溶出する可能性が高いとされている。このように、水生生物の生息の場の保全・再生、ひいては健全な水環境保全の観点から、底層溶存酸素量に関する保全が必要である。

## 2) 底層溶存酸素量が低下する典型的な要因

湖沼の底層溶存酸素量の低下は、基本的には、

「要因①:湖沼中・底泥中の有機物を微生物が分解する際に酸素を消費すること」及び

「要因②:底層の湖水が、酸素を多く含んだ(表層の)湖水と混合しなくなること」の2つによって引き起こされる(図 2-3)。2つの要因がそろった時に底層溶存酸素量の低下が生じるが、湖沼によってはどちらかの要因の影響が大きいこともある。

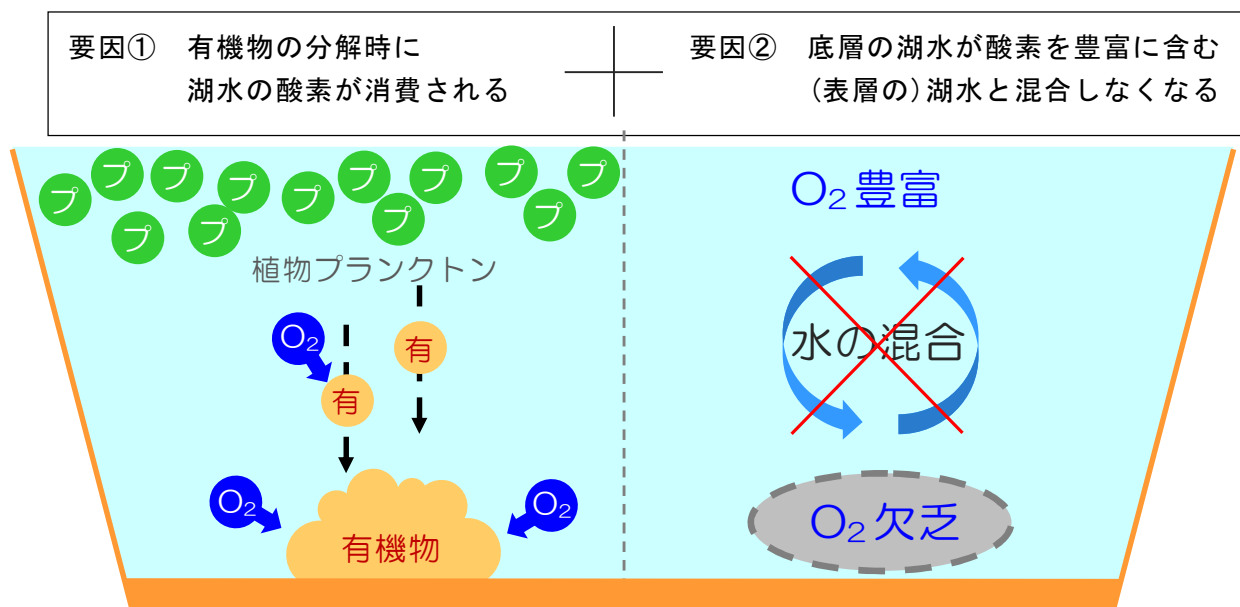


図 2-3 底層溶存酸素量が低下する2つの基本的な要因

要因①の有機物の起源は湖沼によって様々であり、典型的な要因としては、(1)河川等からの流入、植物プランクトンの過剰な増殖や、(2)湖内に既にヘドロなどの有機物が蓄積していることがあげられる。

なお、浅い湖には水生植物が存在し、それ自体は光合成により酸素を供給するが、底層溶存酸素を減少させることがある。例えば、水生植物の過剰な繁茂により水の流れを阻害して水の交換率を下げることや、水生植物の枯死体が湖底に沈殿して酸素を消費する有機物となることなどがある。

要因②の水の混合がなくなる理由も湖沼によって様々であり、典型的な要因としては(1)深い湖沼における水温による成層、(2)汽水湖における塩分による成層、(3)流入量の減少(回転率の減少)、(4)部分的な窪地等の混合しにくい地形があげられる。

水温による成層は、表層と底層の水温に差があるときに生じ、深い湖で起こりやすい。浅く広い湖では、風によって湖水が混合しやすいため、深い湖に比べて底層溶存酸素量の低下が起こりにくい。また、汽水湖では塩分の違いによる水の密度差が水温による密度差と比べて大きいことから、成層が強固で、破壊されにくいことが特徴である。

底層溶存酸素量の低下は要因①と要因②が揃ったときに生じるが、湖沼によって要因の内訳の組み合わせや、重要度は様々である。また、要因①や要因②の内訳がそれぞれ単一であるとも限らず、多くの湖沼では複合的な要因によると考えられ、主要な要因を明らかにすることが、効果的な対策の検討に結びつく。

仮説を立てて現況を把握し、要因分析を丁寧に行うことで主要な要因を探り出し、これに応じた適切な保全対策とともに効果を把握するための調査を実施し、その結果をふまえて仮説や要因分析を見直していくことが必要である。

### 3) 底層溶存酸素量の低下により生じる問題

湖沼の底層溶存酸素量の低下により生じる問題として、

「問題①:酸素不足で底層を利用する水生生物の生息や再生産に不適となる」、

「問題②:底質から栄養塩が溶出し、内部負荷を促進する(植物プランクトンの異常発生やヘドロの堆積等)」、

「問題③:底質から鉄やマンガンが溶出する」、の3点があげられる(図 2-4)。

問題①は、水質汚濁にかかる環境基準の項目の追加の趣旨に直接関連する問題である。底層を利用する水生生物の個体群が維持できる場を保全・再生することを目的に、生物 1~3 の各類型が指定された水域では、それぞれ基準値 4~2mg/L 以上が定められている(表 2-1)。湖沼によっては底層溶存酸素量の低下が、貴重種や水産有用種等へ及ぼす影響が問題となることも考えられる。

問題②は、嫌気条件下で栄養塩が溶出し、植物プランクトンが増殖して有機物が増えたり、酸素がないために有機物が分解されづらくヘドロとして残ったりすることで、底層溶存酸素量の低い状態が継続し、改善が難しくなることが問題である。

問題③は嫌気条件下で鉄やマンガンが溶出し、水道水の着色や味が悪くなること、酸素消費の要因となることといった問題が生じている。

問題①底層の水生生物の生息 や再生産に不適となる (汽水湖では硫化水素 の発生)	問題②底質から栄養塩が溶出し 内部負荷増加を促進する (植物プランクトンの異常 発生、ヘドロの堆積)	問題③底質から鉄や マンガンが溶出し、 水道水の着色障害や 酸素消費が生じる
---	---	---

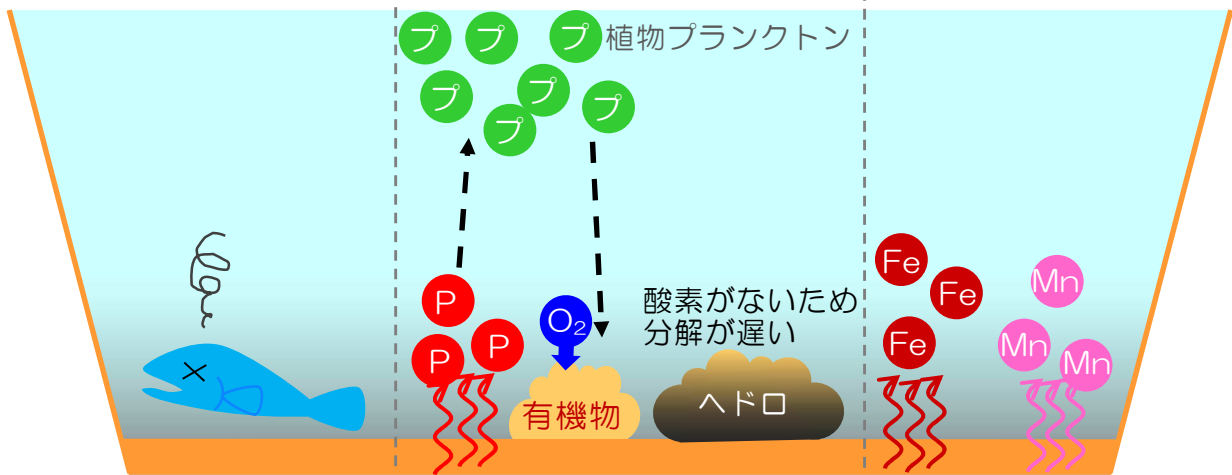


図 2-4 底層溶存酸素量の低下に伴う3つの基本的な問題

表 2-1 底層溶存酸素量の類型及び基準値

類型	水生生物が生息・再生産する場の適応性	基準値
生物 1	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物が生息できる場を保全・再生する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域	4.0mg/L 以上
生物 2	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が生息できる場を保全・再生する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域	3.0mg/L 以上
生物 3	生息段階において貧酸素耐性の高い水生生物が生息できる場を保全・再生する水域、再生産段階において貧酸素耐性の高い水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域又は無生物域を解消する水域	2.0mg/L 以上

※基準値は日間平均値とする。

※測定方法はJIS\_K0102に定める方法。または環境庁告示第59号(水質汚濁に係る環境基準)付表13。

※底層溶存酸素量の測定水深は、可能な限り湖底直上で測定することが望ましいが、底泥の巻き上げや地形の影響等のため難しい場合には、湖底から1m以内の底層とすることとされている。

## 底層溶存酸素量の類型の考え方

底層溶存酸素量の類型や基準値の考え方について、中央環境審議会による「水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて(平成 27 年 12 月答申)」では、以下のように示している。

### 【底層溶存酸素量の目標設定の基本的考え方】

水域の底層を生息域とする魚介類等の水生生物や、その餌生物が生存できることはもとより、それらの再生産が適切に行われることにより、底層を利用する水生生物の個体群が維持できる場を保全・再生することを目的に、維持することが望ましい環境上の条件として、底層溶存酸素量の目標設定の検討を行った。また、海水の水平方向の交換や鉛直方向の混合が生じにくい水域等の夏季に極端に貧酸素化する場所では、貧酸素耐性を有する小型多毛類等も生息できず、いわゆる無生物域となることがあり、底層溶存酸素量の目標設定の検討にあたっては、このような場を解消するための観点も考慮した。

### 【底層溶存酸素量の目標値】

目標値	目標値を設定する範囲
1) 目標値:4.0mg/L 以上 ・生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物が、生息できる場を保全・再生する水域 ・再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物が、再生産できる場を保全・再生する水域	この目標値を設定する範囲は、生息段階、又は再生産段階において貧酸素耐性が低い水生生物が生息できる場を保全・再生する範囲とする。 得られた貧酸素耐性評価値等を踏まえると、底層溶存酸素量が 4.0mg/L 以上あれば、ほとんどの水生生物種について、生息はもとより再生産ができる場を保全・再生することができるものと考えられる。
2) 目標値:3.0mg/L 以上 ・生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が生息できる場を保全・再生する水域 ・再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域	この目標値を設定する範囲は、生息段階、又は再生産段階において貧酸素耐性が低い水生生物を除き、水生生物が生息及び再生産できる場を保全・再生する範囲とする。 得られた貧酸素耐性評価値等を踏まえると、底層溶存酸素量が 4.0mg/L 以上必要な水生生物を除き、水生生物が生息及び再生産できる場を保全・再生することができるものと考えられる。
3) 目標値:2.0mg/L 以上 ・生息段階において貧酸素耐性の高い水生生物が、生息できる場を保全・再生する水域 ・再生産段階において貧酸素耐性の高い水生生物が、再生産できる場を保全・再生する水域 ・無生物域を解消する水域	この目標値を設定する範囲は、生息段階、又は再生産段階において貧酸素耐性が高い水生生物が生息及び再生産できる場を保全・再生する範囲、または、小型多毛類等も生息できない無生物域を解消するため、最低限の底層溶存酸素量を確保する範囲とする。 得られた貧酸素耐性評価値等を踏まえると、貧酸素耐性が高い水生生物が生息できる環境であり、また、小型多毛類等が生息でき、無生物域が解消される水域として、底層溶存酸素量 2.0mg/L 以上を最低限度とすることが考えられる。

### 【類型指定の方向性】

類型指定は、底層の貧酸素化の防止により、水生生物の保全・再生を図る必要がある水域について行うが、現に底層の貧酸素化が著しく進行しているか、進行するおそれがある閉鎖性海域及び湖沼を優先すべきである。

類型指定の検討にあたっては、各地域の意見を踏まえた上で、以下の点に留意して実施することが適当である。

①水域の底層溶存酸素量の状況や、現状及び必要に応じて過去も含めた水生生物の生息状況等を踏まえたうえで、保全・再生すべき水生生物対象種(以下、「保全対象種」という。)の選定を行い、その保全対象種の生息・再生産の場を保全・再生する水域の範囲を設定することを基本とする。その際、水域の範囲は、生息段階、再生産段階の2つの観点から設定し、水域毎の水生生物の生息状況等に即した類型指定を行う。また、無生物域を解消する水域の設定については、底層が無酸素状態になっている、あるいは無酸素状態になるおそれがあるところで、無生物域の解消のために最低限の溶存酸素量を確保する必要がある範囲について類型指定を行う。

②以下の範囲は必ずしも類型指定を行う必要はない。

○自然的要因による水深の深い範囲や、成層、底質の環境が水生生物の生息に適さない範囲等、設定する保全対象種が生息・再生産の場として底層の利用が困難な範囲

○ダムの死水域に代表されるような、構造物等により底層が構造上貧酸素化しやすくなっている範囲であって、その利水等の目的で、水生生物が生息できる場の保全・再生を図る必要がないと判断される範囲

なお、具体的な類型指定の手順については、図Aのような流れを想定しているが、詳細については、実際の類型指定を行う際に検討する。

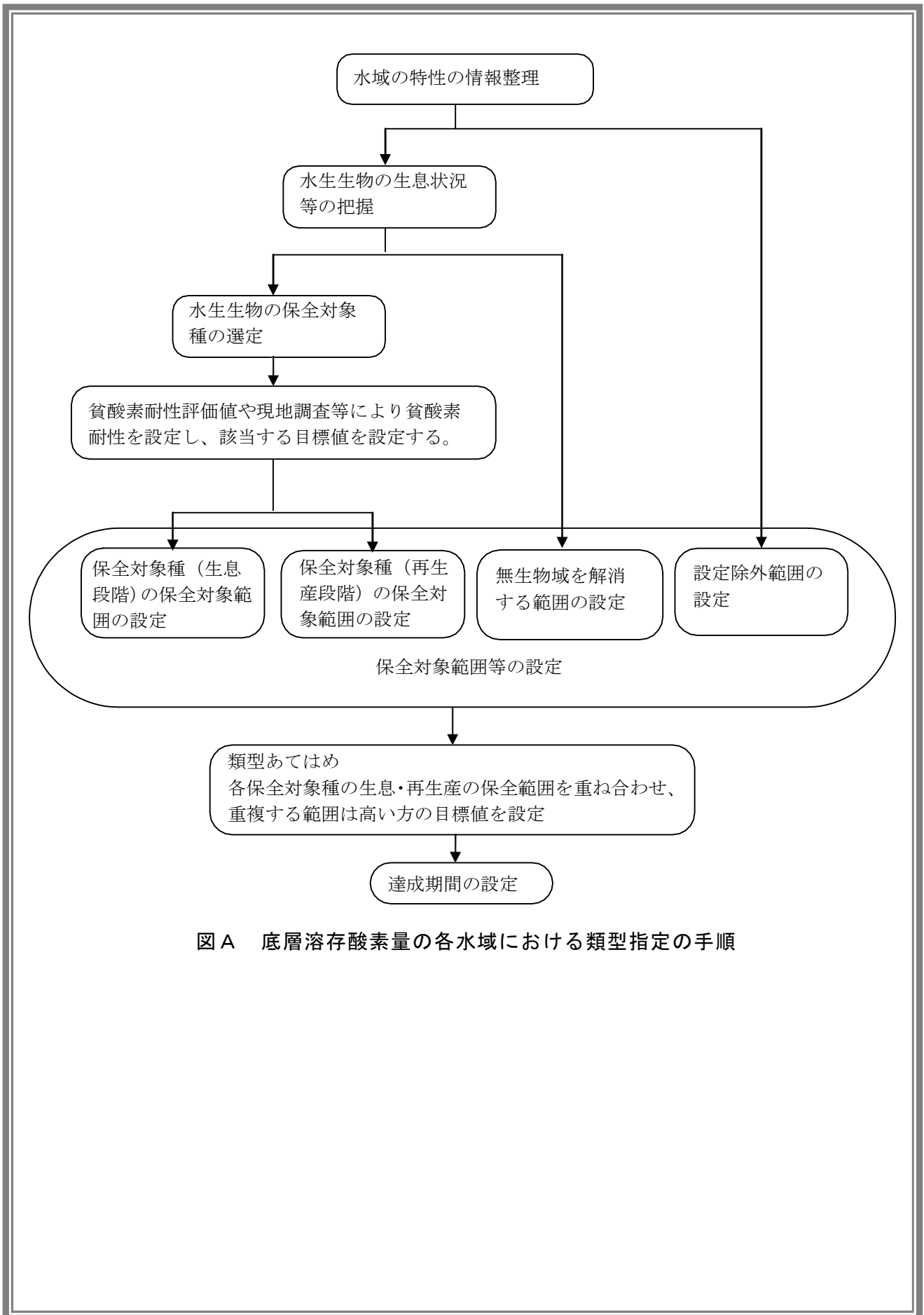


図 A 底層溶存酸素量の各水域における類型指定の手順



## 2.2 底層溶存酸素量の現状把握と要因分析

### 1) 対象湖沼のこれまでの経緯と現況の把握

まず、対象湖沼のこれまでの経緯と現況を把握するために、湖沼の特徴と底層溶存酸素量に関わる水質調査の結果を整理する。

事前に想定した仮説を明らかにする形で調査結果を整理すると、対象湖沼で起こっていることを把握しやすい。

水質調査が不足しているために現況が把握できない場合、「2.7 底層溶存酸素量にかかる調査の考え方」を参照して適切な調査を行うことが望ましい。浅い湖では、気温が高くプランクトンが多く発生した夏季に底層溶存酸素量が減少しやすいため、このような時期に調査を行うことで底層溶存酸素量の低下の状況を把握しやすい。

過去のデータが不足している場合、環境が類似した近隣の湖沼と比較することや、過去の状況を知る人に話を聞く等で補完することが有効である。

### 2) 湖沼の底層溶存酸素量低下の要因の検討

#### (1) タイプ区分を参考にした要因の検討

「1)対象湖沼のこれまでの経緯と現況の把握」で整理された結果に基づき、底層溶存酸素量が低下した主な要因を検討する。この際、地元の知識・地元の知恵を活用することが有効であり、地域の大学や研究機関等の有識者の協力を得ることが望ましい。

要因の検討や対策にあたって、参考にすべき湖沼を概定するために、図 2-5 のフローで「汽水湖」、「深い湖」、「浅い湖」、「貯水池」に大きく区分することもできる。

フローで区分したタイプごとの底層溶存酸素量が低下する典型的な要因を「(2)タイプ区分毎の典型的な底層溶存酸素量低下の要因の解説」に示しており、これらを参考に、それぞれの湖沼で、底層溶存酸素量が低下した主な要因を検討する。

なお、フローのスタートは「底層溶存酸素量が低下して問題が生じている、またはその恐れがある(はい・いいえ)」としている。ここで「いいえ」とした湖沼、つまり底層溶存酸素量が低下していない湖沼の他、低下していても、類型が指定された水域で環境基準を達成している湖沼、人の利用や生物への影響が明確にみられない湖沼など、地域で問題が生じていない湖沼は、「今のところ問題がない湖」とされる。

この他、要因の検討にあたって、湖沼の現状と複合的な要因との関連性を明らかにし、効果的・効率的な対策を選定するために、数値モデルを用いることもできる。本資料(詳細版)の「2.10 底層溶存酸素量改善のための要因解析の事例」では、6 つの指定湖沼

(釜房ダム貯水池、霞ヶ浦、諏訪湖、琵琶湖、中海、宍道湖)において共通の数値モデル、共通のパラメータを用いて数値シミュレーションによる水質汚濁のメカニズム解析を行い、要因を明らかにするとともに、保全対策の定量的な評価を行った事例を示した。また WEB で公開している資料集(URL [http://www.env.go.jp/water/kosyou/post\\_87.html](http://www.env.go.jp/water/kosyou/post_87.html))において使用した共通の数値モデル及びパラメータを公開した。専門的な知識や経験を持ち、データが充実している湖沼では、事例を参考に共通の数値モデル、共通のパラメータを用いた数値シミュレーションによる水質汚濁のメカニズム解析を行うことができる。

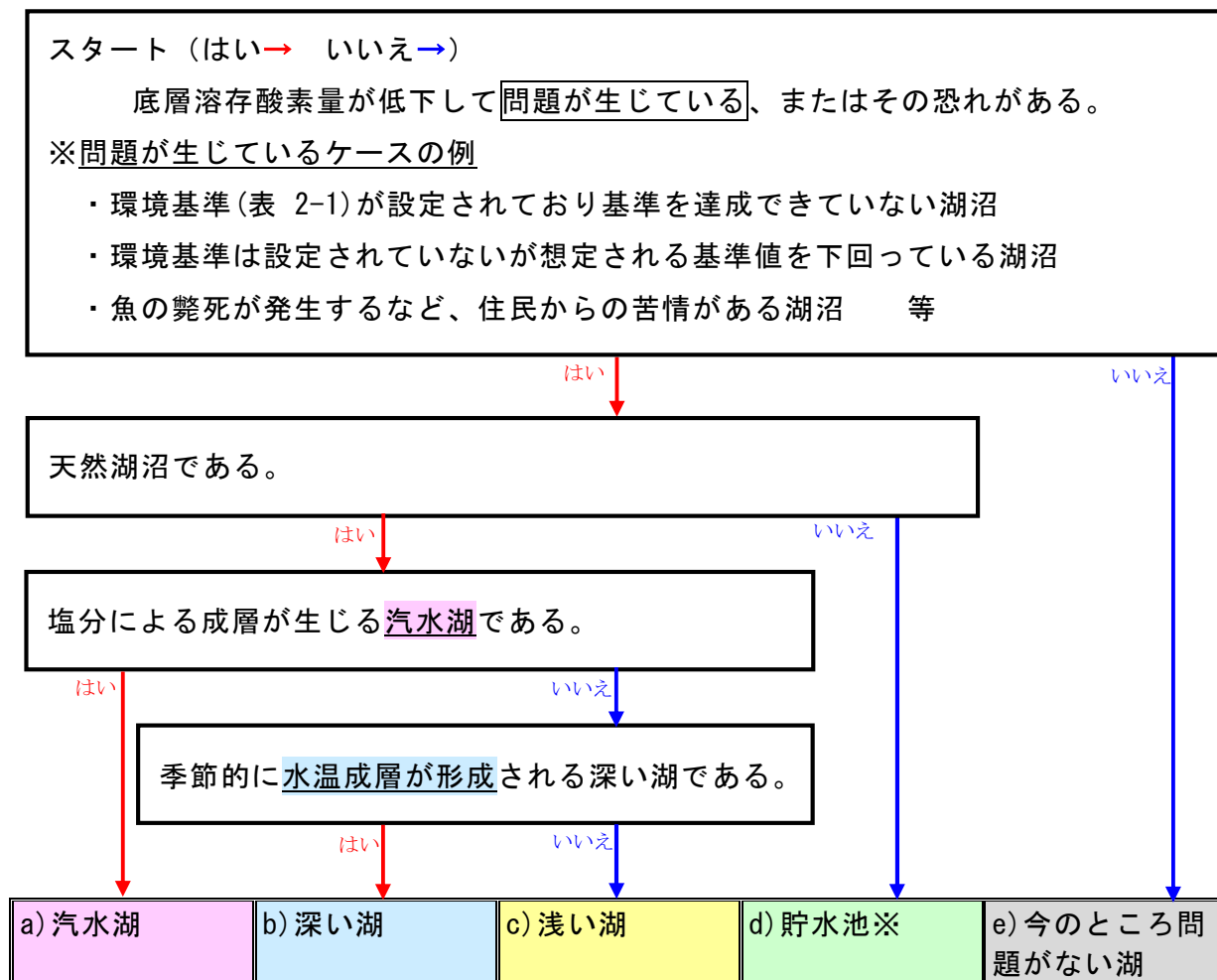


図 2-5 底層溶存酸素量低下の要因検討の参考のためのタイプ区分フロー

※ダムの死水域に代表されるような、構造物等により底層が構造上貧酸素化しやすくなっている範囲であって、その利水等の目的で、水生生物が生息できる場の保全・再生を図る必要がないと判断される範囲については、必ずしも類型指定を行う必要はない。

## (2) タイプ区分毎の典型的な底層溶存酸素量低下の要因の解説

底層溶存酸素量低下の典型的な要因を、図 2-5 で区分したタイプごとに示す。

### a) 汽水湖

汽水湖で、塩分と水温による強固な成層が生じて、底層溶存酸素量が低下するタイプである。宍道湖、中海などが含まれる。

典型的な底層溶存酸素量低下の要因としては、塩分と水温による壊れにくい密度成層が形成されることで、底層の溶存酸素が消費され、かつ底層への酸素の供給がないことがあげられる。

この他、湖沼によっては、部分的な窪地等で地形的に水が混合しにくい一部の湖底の周辺だけが貧酸素化しやすかったり、流量の減少によって湖水の回転率が減少し、水が停滞したりすることで植物プランクトンが過剰に増殖する等の要因もあげられる。

### b) 深い湖

貯水池以外で水深が深いため季節的な水温成層が生じて底層溶存酸素量が低下するタイプである。琵琶湖(北湖)などが含まれる。

典型的な底層溶存酸素量低下の要因としては、季節的に水温による成層が形成されて底層の溶存酸素が消費され、かつ底層への酸素の供給がないことがあげられる。

冬季に表層水が冷却され湖水の鉛直循環が起こる湖では、鉛直循環によって底層の貧酸素が解消されるが、気候の温暖化等で冬季に表層水が十分に冷却されない場合には鉛直循環が起こらず、底層の貧酸素の状態が長期間継続する事となる。

この他、湖沼によっては、流量の減少によって湖水の回転率が減少し、水が停滞することで植物プランクトンが過剰に増殖する等の要因もあげられる。

### c) 浅い湖

浅い湖は水の混合は比較的起こりやすいが、底層に有機物が堆積しやすいことで底層溶存酸素量が低下しやすいタイプである。琵琶湖南湖、霞ヶ浦(西浦、北浦)などが含まれる。

浅い湖は風によって湖水が混合しやすいため、水温成層が生じたとしても短期間であり、底層溶存酸素量の低下は起こりづらい。一方で浅い湖は平地に多いことから、周辺が開発されやすく栄養塩の流入が多いために植物プランクトンが増殖し、湖内の有機物が増加しやすい。既に栄養塩の流入を低減させた湖沼でも、過去に栄養塩の流入が多かったために湖内底質等にヘドロ等の有機物を多く含むことがある。

典型的な底層溶存酸素量低下の要因としては、これらの有機物の多い湖沼において、有機物の分解で酸素が消費されるとともに、風がないときに混合が起こらないことで底層

溶存酸素量が低下することがあげられる。

また、浅い湖に限らないが、一部の湖沼の浅い水域では水草の過剰な繁茂が底層溶存酸素の減少に繋がっている。水生植物は湖沼生態系の一端を担っており、栄養を吸収して光合成によって湖沼中に酸素を供給する源となる以外にも、水中の懸濁粒子を沈降させて透明度を上昇させる、他の生物の生息・生育環境となる等の機能を有している。この一方で、一部の水生植物が繁茂しすぎた湖沼では、水生植物が水の流れを阻害し、有機物の懸濁粒子を捕捉・沈降させて底層の有機物を増加させる他、水生植物自体が枯死して有機物の供給源となる場合もある。

この他、湖沼によっては、部分的な窪地等で地形的に水が混合しにくい一部の湖底の周辺だけが貧酸素化しやすかったり、湖沼に流入する流量の減少によって湖水の回転率が減少し、水が停滞することで植物プランクトンが過剰に増殖したりする等の要因もあげられる。

#### d) 貯水池

貯水池に特有の条件により底層溶存酸素量が低下するタイプである。釜房ダム貯水池などが含まれる。

典型的な底層溶存酸素量低下の要因としては、堤体付近で水深が深く、長期にわたり成層が形成されることで、底層の溶存酸素が消費され、かつ酸素の供給がないことがあげられる。

一定の位置にある放流口より放流することや、広い集水域を持つこと、比較的地形が急峻であることといった貯水池の特徴が関連する場合もある。

なお、ダムの死水域に代表されるような、構造物等により底層が構造上貧酸素化しやすくなっている範囲であって、その利水等の目的で、水生生物が生息できる場の保全・再生を図る必要がないと判断される範囲については、必ずしも類型指定を行う必要はない。

#### e) 今のところ問題がない湖

底層溶存酸素量が低下していない湖沼の他、低下していても類型が指定された水域で環境基準を達成している湖沼、人の利用や生物への明確な影響がみられない湖沼など、地域で問題が生じていない湖沼は、「今のところ問題がない湖」とされる。

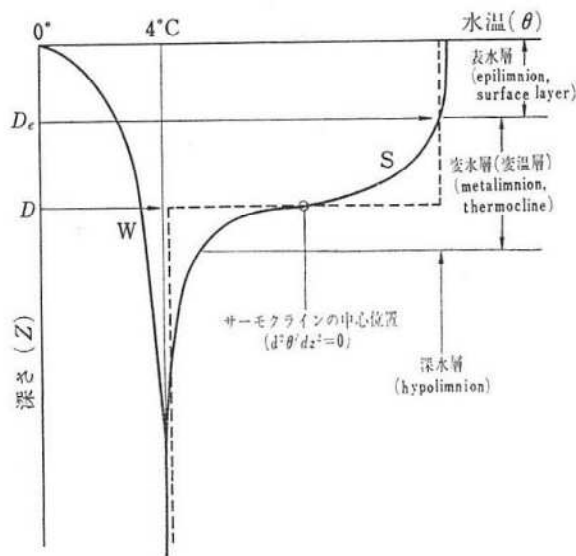
## 深い湖と浅い湖の区別

自然湖の深い湖と浅い湖の区別は、季節的に水温成層が形成されるかどうかで判断することとしている。温帯の深い湖では、図BのSとして模式的に示したとおり、夏に水温成層が形成される。変温層の深さは湖の表面積と風速によって変化し、広い湖や風の強い地域の湖では変温層が深くなる。

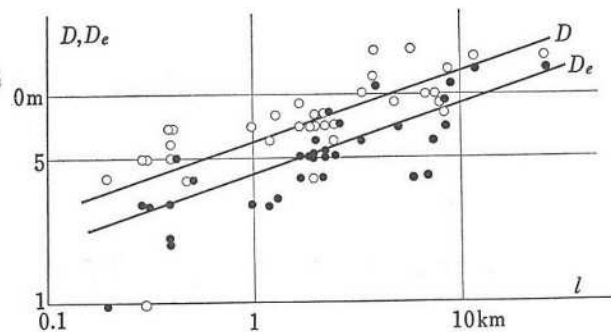
新井正、西沢利栄(1974)『水温論』では日本の湖をもとに、湖の広さの指標とした吹送距離が夏季の変温層の深度と比例するとして図Bを示した。点の分散はあるが、変温層の深度( $D$ )をmで、吹送距離( $l$ )をkmで示すと、夏季に  $D = 6 l^{1/3}$  の関係が成り立つ。

水温論では、夏季に表水層のみが存在し、変温層以下の存在が明瞭でない湖を浅い湖、変温層以深の層をもつ湖を深い湖とすることを提案し、表水層の厚さは湖の広さによって決定されることから、図Cにより浅い湖と深い湖の区分ができるとしている。水温論を補足すると、この式で求められた各湖沼の変温層の深度と比較して、湖沼の水深が浅い場合には「浅い湖」、深い場合には「深い湖」という目安となる。

ただし、各地域の風の強さや地形等にも左右されるため、判断に迷う場合には夏季の現地調査結果に基づき、水温成層の状態を確認する事が望ましい。



図B 水温成層の模式図  
Sは夏の状態、Wは冬の状態



図C 日本の湖の吹送距離( $l$ )と表水層の厚さ( $De$ )及び変温層の深度( $D$ )

※吹送距離( $l$ )は湖沼の表面積( $S_0$ )の平方根  
( $\sqrt{S_0} = l$ )

図B、図C：新井正、西沢利栄(1974)

『水温論』 共立出版株式会社

## 2.3 対策の方針及び計画策定

各湖沼の底層溶存酸素量の低下について想定される主要な要因ごとに対策の方針を検討し、目標を定めた上で、対策の効果を把握するための調査を含めた対策の計画を策定する。この際、地元の知識・地元の知恵を活用することが有効であり、地域の大学や研究機関等の有識者の協力を得ることが望ましい。

底層溶存酸素量低下の対策をなるべく的確に行うために、PDCA サイクルの考え方に基づき、調査結果を踏まえた試行錯誤を繰り返しながら対策を進めることで対策の不確実性を取り除いていくことを前提に計画を策定する。

対策の方針の検討にあたっては、湖沼や地域の特性を踏まえることとする。

### 1) 対策の方針の検討

底層溶存酸素量低下の要因を踏まえて、要因を解消または緩和するための対策の方針を検討する。図 2-5 のタイプごとに典型的な対策の方針の例を以下に示す。

#### a) 汽水湖

汽水湖では塩分と水温による強固な成層は必然であることから、底層溶存酸素量が少ない状態を完全に解消するのではなく、地域で生じている問題の改善に向け、緩和するための方針を検討する。

まず検討すべき方針としては、有機物による酸素消費を軽減するために、外部負荷の削減や、内部負荷の削減とする。現時点で負荷量削減が十分でない湖沼では、負荷量削減を基本的な対策として行うことが望ましい。ただし、既にこれらの対策を行っている場合には、追加の対策の効果について検討を行うこととする。

湖沼全体、または部分的に行う湖水の混合の促進や底層への酸素等の直接供給で、底層溶存酸素量を増加させる方針は、塩分と水温による強固な成層が生じて、底層溶存酸素量が低下している湖沼では効果が高いと想定される。特に混合の促進で塩分成層が解消・緩和されれば、底層と表層の水が混合し、底層溶存酸素量を上昇させる効果が高い。ただし混合や交換が十分でない場合には成層の破壊に至らないため、量的な検討が必要である。地域での考え方によっては塩分成層の解消・緩和のため塩分調節を行う対策も考えられるが、汽水湖の環境を大きく改変することになるため、地域住民や関係機関を含めて十分な議論を踏まえた合意形成が必要である。

また、塩分の薄い汽水湖ではヤマトシジミが生息・繁殖可能であるため、他の方針と組み合わせる生態系機能を活用した水質浄化(二枚貝等による浄化とその取り上げ)を行う方針も考えられる。

## b) 深い湖

水深が深い湖では季節に応じた水温成層の発生は必然であることから、底層溶存酸素量が少ない状態を完全に解消するのではなく、地域で生じている問題の改善に向け、緩和するための方針を検討する。

まず検討すべき方針としては、外部負荷や内部負荷に要因がある場合に、有機物による酸素消費を軽減するために、外部負荷の削減や、内部負荷の削減とする。現時点で負荷量削減が十分でない湖沼では、負荷量削減を基本的な対策として行うことが望ましい。ただし、既にこれらの対策を行っている場合には、追加の対策の効果について検討を行うこととする。

湖沼全体、または部分的に行う湖水の混合の促進や底層への酸素等の直接供給で、底層溶存酸素量を増加させる方針は、水深が深いために季節的な水温成層が生じて底層溶存酸素量が低下している湖沼では効果が高いと想定される。特に季節的な温度成層が解消・緩和されれば、底層と表層の水が混合し、底層溶存酸素量を上昇させる効果が高い。ただし混合や交換が十分でない場合には成層の破壊に至らないため、量的な検討が必要である。

また、他の方針と組み合わせて生態系機能を活用した水質浄化(抽水植物や二枚貝等による浄化とその取り上げ)を行う方針も考えられる。

## c) 浅い湖

浅い湖で底層溶存酸素量の減少する大きな要因として、有機物による酸素消費が多いことが考えられるため、まず検討すべき方針としては、外部負荷や内部負荷に要因がある場合に、有機物による酸素消費を軽減するために、外部負荷の削減や、内部負荷の削減とする。現時点で負荷量削減が十分でない湖沼では、負荷量削減を基本的な対策として行うことが望ましい。これらは浅い湖の典型的な要因で底層溶存酸素量が低下している湖沼では効果が高いと想定される。ただし、既にこれらの対策を行っている場合には、追加の対策の効果について検討を行うこととする。

湖沼全体、または部分的に行う湖水の混合の促進や底層への酸素等の直接供給で、底層溶存酸素量を増加させる方針も、有機物が多く、有機物の分解で酸素が消費されるが風がないときに混合が起こらないことで底層溶存酸素量が低下している湖沼では効果が高いと想定される。湖沼に流入する流量の増加は、混合の促進だけではなく、湖水の回転率を増加させて植物プランクトンの増加を抑制する効果もあると考えられる。

また、他の方針と組み合わせて生態系機能を活用した水質浄化(抽水植物や二枚貝等による浄化とその取り上げ)を行う方針も考えられる。

水草が過剰に繁茂することが底層溶存酸素量の低下の要因になっている湖沼では、水草そのものが貴重な場合や、水草が生物の生息や繁殖の場として重要なこと、懸濁粒子等を沈降させて透明度の上昇に寄与すること等を考慮して、地域で理解の得られる形

で水草の過剰な繁茂を抑制する方針も効果があると考えられる。

d) **貯水池**

貯水池では、山間部に位置する等の条件より、貯水池内での対策を方針とすることが多い。具体的には、植物プランクトンの増殖・集積を抑制するための曝気や、放流する水温を問題ない範囲に保った状態での選択取水等を検討する。

また、外部負荷や内部負荷に要因がある場合には、外部負荷の削減や、内部負荷の削減を方針とする。ただし、既にこれらの対策を行っている場合には、追加の対策の効果について検討を行うこととする。

e) **今のところ問題がない湖沼**

底層溶存酸素量が低下していない湖沼の他、低下していても類型が指定された水域で環境基準を達成している湖沼、人の利用や生物への影響が明確にみられない湖沼など、地域で問題が生じていない湖沼は、無理に対策を行う必要は無いが、底層溶存酸素量が高い状態、または低くても改善の必要が無い状態が維持できるよう、基礎調査等で継続的に状況を確認することが望ましい。



表 2-2 各タイプに対応する典型的な対策の方針

タイプ	典型的な対策の方針
a)汽水湖	(1)外部負荷の削減 (2)内部負荷の削減 <b>(3)湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給</b> (4)生態系機能を活用した水質浄化(他の方針と組み合わせて)
b)深い湖	(1)外部負荷の削減 (2)内部負荷の削減 <b>(3)湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給</b> (4)生態系機能を活用した水質浄化(他の方針と組み合わせて)
c)浅い湖	<b>(1)外部負荷の削減</b> <b>(2)内部負荷の削減</b> <b>(3)湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給</b> (4)生態系機能を活用した水質浄化(他の方針と組み合わせて) <b>(5)水草の過剰な繁茂の抑制(水草が過剰に繁茂している湖で)</b>
d)貯水池	(1)外部負荷の削減 (2)内部負荷の削減 <b>(6)貯水池内での対策</b>
e)今のところ問題がない湖沼	(基礎調査等による継続的な状況の確認が望ましい)

(1)～(6)は表 2-3 の(1)～(6)に対応している。((1)～(6)は優先順位とは関係がない)

**太字ゴシック**は各タイプの典型的な要因で底層溶存酸素量が低下している湖沼で効果が高いと想定される方針

※外部負荷の削減、内部負荷の削減について、既にこれらの対策を行っている場合には追加の対策の効果について検討する。

## 2) 改善の目標の設定

底層溶存酸素量の改善の目標を設定する。基本的には底層溶存酸素量の環境基準の類型指定を行った際の目標値、保全対象種、保全対象範囲、達成期間を用いる。

類型指定した範囲以外で改善を行う場合にも、底層溶存酸素量の類型指定の考え方(p2-6～2-8 参照)に準じて目標値、保全対象種、保全対象範囲、達成期間を設定することが望ましい。

段階的に改善していく場合には、短期的目標、中長期的目標等に分けて設定してもよい。

### 3) 対策手法の設定

#### (1) 対策技術の選定

対策の方針に対応する代表的な対策技術を表 2-3 に示す。また、それぞれの対策手法の概要を「2.8 底層溶存酸素量改善のための主な対策技術」に示す。

「2.10 底層溶存酸素量改善のための要因解析の事例」では、6つの指定湖沼で内部負荷、外部負荷の削減、酸素水供給や水草刈り取りなどの対策を行った場合の底層溶存酸素量の改善の状況を計算で示した。

これらを参考に、目標を達成するために採用する具体的な対策技術を選定する。選定にあたっては、湖沼や地域の特性、改善の目標、対策にかかる費用をふまえることとし、対策技術の適用で、副次的な望まない影響が生じる可能性があることにも留意する。

費用の参考として、モデル事業、ETV事業等の費用を資料集に記載した。

表 2-3 対策の方針に対応する主な対策の例

タイプ	対策の方針	主な対策の例
a)汽水湖 b)深い湖 c)浅い湖 d)貯水池	(1)外部負荷の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特定汚染源対策(下水処理・下水処理の高度化等)</li> <li>・非特定汚染源対策</li> <li>・土砂流出抑制</li> <li>・流入河川の浄化</li> <li>・内湖の整備</li> <li>・系外放流(富栄養化対策バイパス)</li> <li>・流量の増加(取水量の調整、導水等)</li> </ul>
a)汽水湖 b)深い湖 c)浅い湖 d)貯水池	(2)内部負荷の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底質改善(浚渫、覆砂、底泥の酸化処理、耕耘、フラッシング)</li> <li>・湖水の浄化(アオコ回収、湖水のろ過、接触酸化)</li> <li>・植物プランクトン発生抑制(混合、遮光等)</li> </ul>
a)汽水湖 b)深い湖 c)浅い湖	(3)湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流量の増加(取水量の調整、導水等)</li> <li>・湖水の混合(曝気、散気、水流発生装置等)</li> <li>・底層への酸素・空気供給(高濃度酸素水供給装置等)</li> <li>・人工的な深掘り跡の埋め戻し</li> <li>・(汽水湖では塩分調整・海水の導入)</li> </ul>
a)汽水湖 b)深い湖 c)浅い湖	(4)生態系機能を活用した水質浄化(他の方針と組み合わせる)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・抽水植物等による浄化とその取り上げ(ヨシ刈り)</li> <li>・二枚貝等による浄化とその取り上げ(漁獲の増加)</li> </ul>
c)浅い湖 (水草が過剰に繁茂している湖)	(5)水草の過剰な繁茂の抑制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水草の刈り取り</li> </ul>
d)貯水池	(6)貯水池内での対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・湖水の混合(曝気、散気、水流発生装置等)</li> <li>・底層への酸素・空気供給(高濃度酸素水供給装置等)</li> <li>・選択取水</li> <li>・流動制御フェンス</li> </ul>

**太字ゴシック**は各タイプの典型的な要因で底層溶存酸素量が低下している湖沼で効果が高いと想定される方針に対応するタイプ

※(1)～(6)の番号や対策技術の記載順は優先順位とは関係がない

## (2) 対策時期・期間の設定

対策を実施する時期・期間を設定する。対策を実施する時期や期間は地域特性や対策技術の特性によって異なることから、効率的に対策の効果が得られる時期・期間を設定する。対策技術によっては効果がすぐには現れず、長期的に対策を継続することで効果が発現するものや、逆に短期的には効果がみられるが、長期的には効果が薄れていくものなど様々であることをふまえて、対策に要する期間を検討する。短期(例えば5年以内)、中期(5年～10年)、長期(10年以上)等で設定しても良い。

新たな対策手法の採用当初には、小規模に対策を実施するとともに予備的な調査を行い、この結果を踏まえて本格的な対策を実施する時期や期間を設定することもできる。

「2.10 底層溶存酸素量改善のための要因解析の事例」の「5)効果的な保全対策の検討の事例(長期的な効果)」において、生活系と産業系の負荷量を削減した場合の底質の改善効果を予測しており、30年後には底質の有機物が1～7%削減されるとしている。

## (3) 対策範囲・規模の設定

地域特性及び対策技術の特性に応じて、保全が必要な範囲に効率的に対策の効果が得られるように、対策を実施する範囲・規模を適切に設定する。

新たな対策手法の採用当初には、小規模に対策を実施するとともに予備的な調査を行い、この結果を踏まえて本格的な対策を実施する範囲や規模を設定することもできる。

「2.10 底層溶存酸素量改善のための要因解析の事例」の「4)効果的な保全対策の検討の事例(酸素水供給、水草刈取りなど対策効果の定量的試算)」において、高濃度酸素水の供給や水草の刈取り等による対策効果を予測しており、対策を行った地点の近傍で効果があっても、距離が開くと効果がみられなくなった。

## 4) 効果を把握するための調査の計画

対策を受けた底層溶存酸素量や関連する項目の回復の程度・状況を確認し、改善効果を検証・評価するために効果を把握するための調査計画を策定する。

公共用水域の水質調査をはじめとする基礎調査では、水域の評価を行うために、水域を代表させる地点で長期的に調査を行うものであるが、これに対して効果を把握するための調査は対策の効果を評価し、必要に応じて対策の見直しを行うことが目的であるため、頻度や地点等をより細やかにすることで効果を把握しやすいと考えられる。

なお、調査結果については気象条件や人為の影響等想定以外の影響を受け得ることに留意して調査中の状況を適切に把握できるよう努めることが望ましい。

また、対策によって副次的な望まない影響が生じることが想定される場合には、必要に応じて想定される影響を含めて調査を行う。

## (1) 調査結果の評価方法

調査結果の評価方法を設定する。

改善の目標に照らし合わせる事等によって、目標を達成したかどうかを評価することを基本とし、この他、かかった費用や労力、使用した材料(例えば供給した酸素量等)といったコストに対し、どれだけの改善効果が得られたかという評価方法も考えられる。

評価の時期は、達成期間の終了時を基本とし、段階的な改善の場合には段階ごとの評価や中間評価を適宜行ってもよい。

## (2) 効果の把握・検証方法

効果を把握・検証する方法を設定する。

評価方法の設定状況によるが、例えば対策実施前と実施中、実施後の比較や、効果の現れやすい地点と対照地点との比較を行うことで、対策による改善の効果を把握・検証する。また、対策の持続効果を把握するためには、対策実施時期を含む時系列の整理が有効である。

改善効果の把握・検証方法を設定した上で調査手法を検討することで、より有効な調査計画が立案できる。

## (3) 効果を把握するための調査の項目

底層溶存酸素量その他、必要に応じて対策の方針・対策技術に照らし合わせて改善効果を判定するのに適した項目を設定する。

調査の項目については、実態や要因を把握するために行った調査と同様の項目になると考えられるが、必要に応じて修正する。「2.7 底層溶存酸素量にかかる調査の考え方」を参考にしてもよい。

非特定汚染源対策や底質改善等、長期的な効果を期待する対策については、短期的な効果は見えづらく、明瞭にはわかりづらいことに留意し、底層溶存酸素量以外にも改善が期待できる項目を選定することが望ましい。

## (4) 効果を把握するための調査の時期・頻度

調査時期・頻度を設定する。

底層溶存酸素量の低下が最も問題となりやすい夏季を含む時期に調査を行うこととする。

対策実施前、実施中、実施後の調査を基本とする。対策実施前から同じ手法で調査を行うことで、対策による効果を評価しやすくなる。実態や要因を把握するための調査と同じ

手法で調査を行っている場合には、これらに対策実施前の調査と位置づけてもよい。

高濃度酸素供給装置等、短期的な効果が見込める対策については、高い頻度で調査を行い、その評価を速やかに対策の見直しに結びつけることが望ましい。

非特定汚染源対策や底質改善等、長期的な効果を期待する対策については、短期的な効果は見えづらく、明瞭にはわかりづらいことに留意し、定期的・長期的な調査を行うことが望ましい。

#### (5) 効果を把握するための調査の範囲・地点

調査範囲・地点を設定する。

保全が必要な範囲に効果が見込めるように対策を実施することから、保全が必要な範囲のうち対策の実施により効果の現れやすい地点で調査を実施することを基本とする。また、対照地点を設けて両者を比較することで、対策による効果を評価しやすくなる。効果の現れやすい地点として、公共用水域の水質調査等の調査地点を利用することも考えられる（公共用水域の水質調査の調査地点で効果が現れやすいように対策を行った場合）。

高濃度酸素供給装置等、限られた範囲で効果が見込める対策については、対策箇所を中心として距離別に調査を行うことも有効である。

## 2.4 対策と調査の実施

「2.2 底層溶存酸素量の現状把握と要因分析」で検討した要因を反映し、「2.3 対策の方針及び計画策定」で策定した計画に従って、各湖沼で選定した対策及び効果を把握するための調査を実施する。

## 2.5 調査による効果の把握・検証

策定した計画に従って、調査結果を整理し、効果を把握・検証する。

改善の効果が充分に見られた場合には、対策の計画が妥当であったと考えられる。

改善の効果が充分に見られなかった場合には、対策の計画が不適當であった部分を考察し、計画の見直し(2.6 検証結果を踏まえた計画の見直し)に反映させる。

なお、調査結果については、対策による効果以外に、気候や人為の影響等、想定以外の影響を受け得ることに留意して検討を行う必要がある。

また、策定した計画に従って適切な時期に効果を把握するための調査結果の評価を行う。

対策によって副次的な望まない影響が生じることが想定される場合には、必要に応じて想定される影響を含めて評価する。

## 2.6 検証結果を踏まえた計画の見直し

「2.5 調査による効果の把握・検証」で行った効果の把握・検証の結果を踏まえて計画の見直しを行い、そのうえで対策を進める。

対策の計画が妥当であった部分については引き続き対策を進め、必要に応じて改善の範囲や規模を拡大させる。

対策の計画が不適当な部分については、以下の通り様々な段階での見直しが想定される。なぜ対策がうまくいかなかったのか、原因として技術的な問題、対策期間の不足、評価手法との不整合など様々な要因が考えられることから、想定される要因を検証する。この際、地元の知識・地元の知恵を活用することが有効であり、地域の大学や研究機関等の有識者の協力を得ることが望ましい。

これらの見直しを反映させた対策の計画を策定し、PDCAサイクルに則って継続的に対策を行うことで、それぞれの湖沼で対策の妥当性が向上し、効果的、効率的な底層溶存酸素量の改善が期待できる。

### 1) 改善手法が不適当な場合

対策技術は適切と考えられるが、改善手法の規模や実施時期が不適当と評価された場合には、これを見直し、適切な改善手法に修正する。

### 2) 対策技術が不適当な場合

改善効果があまりみられないなどで、選定した対策技術が不適当と評価された場合には、適切な対策技術に修正する。

### 3) 対策の方針が不適当な場合

全く改善効果がみられない、または悪化するような場合には対策の方針が不適当である可能性があるため、方針の見直しを行う。

### 4) 要因の検討が不適当な場合

効果を把握するための調査を進める上で、要因の検討が不適当と考えられる場合には、適切な要因の検討に立ち戻って見直しを行う。



## 2.7 底層溶存酸素量にかかる調査の考え方

対象湖沼で想定される課題に関連した現状の水質等データが不足し、要因の検討が困難な場合には、追加で調査を行うことが有効である。調査の考え方を以下に示す。

なお、ここでは一般的な考え方について整理しており、地域及び湖沼の特性に応じて適切に修正することで実態に即した要因の検討を行うことができる。

### 2.7.1 調査の種類

調査には、目的に応じて以下に示す 3 種類の調査がある。本節では、「(2)問題を把握するための調査」について詳述し、「(1)基礎調査」、「(3)対策の効果を把握するための調査」については概略について触れることとする。

- (1)基礎調査
- (2)問題を把握するための調査
- (3)対策の効果を把握するための調査

#### (1) 基礎調査

底層溶存酸素量等、特定の問題が発生している項目に着目するわけではなく、それぞれの湖沼の一般的な状況を把握するために実施する調査である。

湖沼の状況を把握できるような地点と必要な調査項目を定めて、定期的・継続的に調査を行うもので、季節的(成層期と循環期)、経年的な変化を把握することも重要である。

この手引きでは詳述しないが、公共用水域の水質の測定等が参考になる。

なお、これまでに水質調査があまり、または全く行われておらず、データが揃っていないために問題が顕在化していないと考えられる湖沼では、必要に応じて、季節変化を踏まえてまずは 1 年間程度の基礎調査を行い、状況を把握することが望ましい。その上で、底層溶存酸素量の低下が問題になるようであれば、要因を把握するための調査を行うこととする。

ただし、これまでに水質調査があまり、または全く行われていない湖沼で、底層溶存酸素量の低下によると考えられる問題が現に生じており、対策を要する場合には、基礎調査とあわせて問題を把握するための調査を行うことが望ましい。

▶ 基礎調査については公共用水域の調査方法等を参考に計画・実施する。

## (2) 問題を把握するための調査

底層溶存酸素量の低下など、問題が顕在化したときに行う、その実態及び要因を把握するための調査である。

底層溶存酸素量の実態を把握するためには、いつ、どこで、どのような条件の下で、どの程度の底層溶存酸素量の低下が生じているのかを調査する。

また、底層溶存酸素量の低下に係る要因については、湖沼の特徴等を基に仮説を立て、仮説を検証できるような調査を実施する。

「2.7.2 問題を把握するための調査について」以降では問題を把握するための調査について取り上げる。

## (3) 対策の効果を把握するための調査

水質保全対策を受けた底層溶存酸素量や関連する項目の回復の程度・状況を確認し、改善効果を評価するために実施する調査である。

水質保全対策の評価を目的としていることから、効果を把握できるように項目、時期、地点等を選定する。

対策の効果を把握するための調査の解説は「2.3 対策の方針及び計画策定」に記載した。



対策の効果を把握するための調査については 2.3 対策の方針及び計画策定  
4) 効果を把握するための調査の計画(P2-20～)を参照。

## 2.7.2 問題を把握するための調査について

### (1) 調査手法

「問題を把握するための調査」の調査手法の考え方を以下に示す。これらの考え方を参考に、各湖沼で必要に応じて調査時期・頻度、地点・範囲を設定する。

#### a) 調査時期・頻度

底層溶存酸素量の低下が生じている時期を中心とし、比較・対照のため問題が生じていない時期にも設定する。

底層溶存酸素量の低下やその要因となる現象をとらえるため、例えば季節変動を伴う場合には月 1 回、潮汐に伴う変動を伴う場合には大潮、中潮、小潮の時期に複数回等、状況を適切に把握できるように調査時期・頻度を設定する。

#### b) 調査地点・範囲

底層溶存酸素量の低下が生じている範囲において、その範囲を代表する地点を設定する。また、比較・対照のため問題が生じていない範囲にも調査地点を設定する。

底層溶存酸素量の低下が生じている範囲と、原因と想定される現象が生じている範囲が異なる場合には、原因と想定される現象が生じている範囲においても調査地点を設定する。

また、水質や底質を採取する際の深さについて適切に設定する。水質については、中海や宍道湖においては底上 1m と底上 0.5m で底層溶存酸素量の傾向が異なるとされている。各湖沼の状況や調査の継続性を考慮し、必要に応じて予備調査を行った上で底面からの距離を決定する。底質については、採取位置のわずかな違いで底泥のたまり方が異なる可能性があるため、1 地点として複数回採取して混合するなど、調査地点を代表する底質を採取するよう努める。さらに底質の鉛直方向の変化が大きい場合には採取深度によるサンプリング誤差が大きくなるため、どの深さまでを採取するか予備調査等により決定し、適切な採取方法を用いることが望ましい。

### (2) 調査項目

「問題を把握するための調査」の調査項目の考え方を以下に示す。これらを参考に、各湖沼で必要に応じて調査項目を設定する。

なお、「2.10 底層溶存酸素量改善のための要因解析の事例」において、事例として6つの指定湖沼で共通の数値モデル・共通のパラメータを用いて行った要因解析や水質保全対策にかかる定量的な検討内容を示している。全国の湖沼で同様の検討を行う場合に必要なパラメータ等は資料集に掲載した。

a) 底層溶存酸素量及び想定される課題にかかる調査項目

①底層溶存酸素量

底層溶存酸素量の低下の実態を把握する。

測定方法は環境庁告示第 59 号別表 2 に従い、日本産業規格 (JIS) K0102\_32 に定める方法又は付表 13 に掲げる方法 (付表 13: [https://www.env.go.jp/kijun/wt\\_a13.html](https://www.env.go.jp/kijun/wt_a13.html)) とする。

なお、底層溶存酸素量の測定水深は、可能な限り湖底直上で測定することが望ましいが、底泥の巻き上げや地形の影響等のため難しい場合には、湖底から 1m 以内の底層とする。

湖内の水質・底質の状況の他、想定される底層溶存酸素量を低下させる要因を把握する調査と同時に測定する。

②湖内の水質・底質（内部負荷の状況）

各湖沼で底層溶存酸素量の挙動に関連すると考えられる水質・底質の状況を調査する。

一般的な水質の項目として、水温、pH、EC、塩分、COD、亜硝酸、硝酸、リン酸、硫化水素、全窒素、全リン等がある。なお有機物の指標として、間接的な指標である COD に加え、有機物そのものの指標である全有機炭素濃度 (TOC) を測定することも考えられる。

底質調査の項目としては、粒度分布、比重、水分、色、臭気、pH、ORP、強熱減量、TOC、COD、全窒素、全リン、硫化物等がある。また、底質からの溶出が懸念されている場合には底泥溶出速度実験が有効である。この他、貧酸素状態の進行しやすさの指標として、底泥及び底層水の酸素消費速度実験が有効である。

なお、底層の貧酸素化により、底層からメタン、硫化水素及び還元性重金属の発生がみられることがある。対策の方針の選定に際してこれらが問題になる場合には、その状況を確認しておく。

「底質調査方法 (平成 24 年 8 月 環境省水・大気環境局)」や「底質に係わる技術資料 (平成 21 年 3 月 湖沼技術研究会底質ワーキング)」が参考となる。

③流入水の水質（外部負荷の状況）

流域から流入する外部負荷の影響が大きいと考えられる場合には、外部負荷量の状況を調査する。

有機物及び栄養塩類について、河川流量×河川水質濃度により流域ごとの負荷量を算出することで、外部負荷の現況を明らかにすることができる。また、原単位法を用いた負荷量推定を行うことで負荷源ごとに負荷量を検討できるので、対策の検討に有効である。

る。

「環境工学公式・モデル・数値集(平成 16 年 6 月 土木学会)」、「湖沼における水理・水質管理の技術(平成 19 年 3 月 湖沼技術研究会)」、「水質総量削減制度導入指針(平成 23 年 3 月 環境省)」、「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン(第二版)(平成 26 年 12 月 環境省水・大気環境局 水環境課)」が参考になる。

#### ④植物プランクトン

植物プランクトンの繁茂及び死滅により貧酸素状態が生じていると考えられる場合には、植物プランクトンの状況を把握する調査を行う。

湖水中の植物プランクトンのクロロフィル a 濃度を測定する方法等がある。上層だけではなく、複数の層で測定することで、どの層に問題があるかを把握することができる。

また、アオコの発生する時期・場所においては、日常的に広範囲の状況を把握するために目視による水面の観察を主体とした、国立環境研究所による「見た目アオコ指標(<https://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/pdf/972215-1.pdf>)」による調査も有効である。

「地球環境調査計測事典第2巻陸域編②(平成 15 年 3 月 竹内均監修)」、「平成 28 年度版河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル【ダム湖版】V動植物プランクトン調査編(国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 平成 28 年 12 月一部改訂)」が参考になる。

#### ⑤流出入水量・滞留時間

流出・流入する水量を算定し、それらを湖沼の容積で割ることで滞留時間の算定が可能となる。滞留時間は植物プランクトンの発生状況に影響する重要な変数であるため、把握することが望ましい。

「平成 20 年度 窒素・磷排水規制対象湖沼調査 入力要領(環境省 水・大気環境局水環境課)」が参考になる。

#### ⑥成層の状況

水温または塩分の強固な成層によって貧酸素状態が生じていると考えられる場合には成層の状況を把握するための水温・塩分の分布調査を行う。

表層と底層の水温または塩分差による成層がどのように分布しているか、またどの程度継続しているかを把握する調査とする。

### ⑦部分的な窪地の状況

人工的な深掘り等、部分的な窪地の存在によって貧酸素状態が生じていると考えられる場合には、窪地の状況を把握する調査を行う。

窪地の深さ及び広さ及び位置等を把握し、窪地の分布状況と底層溶存酸素量の低下の状況を重ね合わせて窪地の関連を検討する。

### ⑧水草の繁茂状況

水草の過剰な繁茂により貧酸素状態が生じていると考えられる場合には、水草の繁茂状況を把握する調査を行う。

問題と考えられる水草を主体としてその他の種も含む水草の繁茂の状況と水の動きの状況、水草の生育場所内外での有機物の沈降状況及び堆積状況等、問題と考えられる状況を把握できる調査を実施する。把握すべき水草の繁茂の状況としては、いつ、どこで、何が、どのくらい生育しているのか等が想定される。

水草の調査には、水草バイオマス量、水草周辺の水質、生育場所内外での懸濁物質濃度、湖底の堆積有機物量、水草内外での底層溶存酸素測定などがある。また、分布範囲を把握するためには、ドローン等を用いた高い位置からの写真撮影などの手法が考えられる。

#### b) その他地域や湖沼の特性に応じて追加する調査項目

その他、地域や湖沼の特性に応じて必要な調査項目を追加する。例えば、類型指定の際に設定した各地域の保全対象種の生息状況等が挙げられる。

## (3) 調査結果の検討の考え方

「問題を把握するための調査」の目的に従い、底層溶存酸素量の低下の実態とその要因を把握できるよう、結果を整理し、検討を行う。

底層溶存酸素量の低下の実態として、いつ、どこで、どのような条件の下で、どの程度の底層溶存酸素量の低下が生じているのかを示す。

また、底層溶存酸素量の低下に係る要因については、底層溶存酸素量低下時に特異的に確認された、または関連づけて確認された現象等を踏まえて、仮説を検証する形で底層溶存酸素量の低下の要因を推定する。

なお、調査結果については、対策による効果以外に、気象条件や人為の影響等、想定以外の影響を受け得ることに留意して検討を行う必要がある。

## 2.8 底層溶存酸素量改善のための主な対策技術

### 1) 対策の基本的な考え方

底層溶存酸素量の改善のための主な対策について、(1)外部負荷の削減、(2)内部負荷の削減、(3)湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給、(4)生態系機能を活用した水質浄化、(5)水草の過剰な繁茂の抑制、(6)貯水池内での対策、の6つに分類して整理を行った。対策の事例については「2)対策の事例」に示す。

#### (1) 外部負荷の削減

a) 汽水湖

b) 深い湖

c) 浅い湖

d) 貯水池

流域からの流入による外部負荷を削減することで有機物のもととなる植物プランクトンの増殖を抑える方針である。外部負荷の削減は湖沼の水質保全対策の基本的な方針である。ただし、既にこれらの対策を行っている場合には、追加の対策の効果について検討を行うこととする。

負荷の発生源には、生活排水、工場・事業場排水等、排出源を特定しやすい特定汚染源負荷と、市街地、農地、森林等からの流出水といった排出源を特定しづらい非特定汚染源負荷に分けられる。各地で下水道の整備が進んだために特定汚染源負荷は減少しており、平成17年6月の湖沼法改正で非特定汚染源負荷対策の強化が明記された。

表 2-4(1) 外部負荷の削減にかかる主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
特定汚染源負荷対策	処理施設の整備等により特定の排出源からの汚濁負荷を低減させる。	下水処理、下水処理の高度化等
非特定汚染源対策※	排出ポイントを特定しづらい面的な広がりをもつ地域から発生する負荷を地域特性に応じた対策で低減させる。	路面の清掃、施肥量の適正化、森林管理等
土砂流出抑制	被覆や防風により降雨や風食による土砂の流出を抑制する。	土壌表面の被覆、防風対策
流入河川の浄化	湖沼に流入する河川の中で汚濁負荷を除去し、湖沼に流入する負荷を低減させる。	吸着法、土壌処理法、植生浄化法
内湖の整備	流入河川流入部等に設けた小さな湖沼や池で懸濁態の負荷を沈降させ、湖沼に流入する負荷を低減させる。	内湖・貯砂ダムの整備
系外放流	湖沼内に流入していた排水等を、湖沼を迂回して下流河川等に放流することで湖沼に流入する負荷を低減させる。	富栄養化対策バイパス

表 2-4(2) 外部負荷の削減にかかる主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
流量の増加	流入河川の流量の増加により湖沼に流入する負荷を希釈する。また、底層と表層の水を混ぜることで底層に酸素を供給する。回転率の増加により植物プランクトンの生産を減少させる。	取水量の調整、導水等

※詳細については、「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン(第二版)(平成 26 年 12 月 環境省水・大気環境局水環境課)」を参照。

**(2) 内部負荷の削減**    a) 汽水湖    b) 深い湖    c) 浅い湖    d) 貯水池

湖沼内部で発生する負荷を削減することで有機物のもととなる植物プランクトンの増殖を抑える方針である。外部負荷と同様、内部負荷の削減は湖沼の水質保全対策の基本的な方針である。ただし、既にこれらの対策を行っている場合には、追加の対策の効果について検討を行うこととする。

主要な内部負荷は、湖沼内での植物プランクトンの増加と、既に湖沼内に蓄積している底泥からの溶出である。

表 2-5 内部負荷の削減にかかる主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
底質改善	湖沼の底質を改善することで、底泥から水中への栄養塩の溶出を抑制する。	浚渫、覆砂、底泥の酸化処理、耕耘、フラッシング
湖水の浄化	湖水のろ過や接触酸化等により、湖水の有機物や栄養塩を取り上げる。	アオコ回収、湖水のろ過、接触酸化等
植物プランクトン発生抑制	水温、日射、滞留時間等の主に栄養塩以外の植物プランクトンが増殖する条件を変更して植物プランクトンの発生を抑制する。	混合、遮光等

**(3) 湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給**    a) 汽水湖    b) 深い湖

c) 浅い湖

酸素の欠乏した底層水に酸素の豊富な水を混合させたり、底層に酸素等を供給したりすることで、底層の溶存酸素量を増加させる方針である。

湖水の混合は植物プランクトンの生育条件を変えるため、有機物のもととなる植物プランクトンの発生抑制(内部負荷の抑制で整理)の効果も期待できる。



底層に酸素や空気等を供給することは、底質改善(内部負荷の抑制で整理)の効果も期待できる。

表 2-6 湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給にかかる主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
流量の増加	底層と表層の水を混ぜることで底層に酸素を供給する。流量の増加により回転率を増加させ植物プランクトンの生産を減少させる。	取水量の調整、導水等
湖水の混合	底層と表層の水を混ぜることで底層に酸素を供給する。植物プランクトンが表層に留まる時間を減少させることで植物プランクトンの生産を減少させる。	曝気、散気、水流発生装置等
底層への酸素・空気供給	ポンプ等を用いて底層に直接酸素や空気等を供給する。底質が酸化することで底泥から水中への栄養塩の溶出を抑制する。	高濃度酸素水供給装置等
人工的な深掘り跡の埋め戻し	人工的な深掘り跡等で湖水が滞留し、貧酸素化している場合、深掘り跡を埋め戻すことで混合を促進し、底層に酸素を供給する。	深掘り跡の埋め戻し
(汽水湖では)塩分調整・海水の導入	流入する塩分の調整や、海水の導入を行うことで、湖内の塩分成層を解消または緩和させ、湖水の混合を促進させる。(環境を大きく改変するため、十分な議論が必要。)	塩分調整、海水の導入

(4) 生態系機能を活用した水質浄化 (他の方針と組み合わせて)

a) 汽水湖

b) 深い湖

c) 浅い湖

植物が栄養塩を吸収したり、二枚貝が植物プランクトンを接餌したりするといった、生態系機能を活用した水質浄化によって外部負荷や内部負荷を削減し、有機物のもととなる植物プランクトンの増殖を抑える方針である。

これらの対策には、維持管理が不可欠であることや、取組を行ったことにより湖沼全体の水質が浄化されるというものではないことに留意が必要である。水質浄化だけでなく、生態系の再生・保全、資源活用、人と自然の触れ合いの場の提供といった点にも着目し、長期的な視野で持続的に進めていくことが重要であり、湖沼全体の水質保全を見据えるには、他の方針の対策と組み合わせることが前提となる。

表 2-7 生態系機能を活用した水質浄化に係る主な対策※

主な対策	対策の原理	適用技術例
抽水植物等による浄化とその取り上げ	抽水植物等が栄養塩を吸収して生長したあとに刈り取りによって湖沼から取り上げることで外部負荷または内部負荷を低減する。	ヨシ刈り
二枚貝等による浄化とその取り上げ	二枚貝等が植物プランクトンを摂餌して成長したあとに漁獲によって湖沼から取り上げることで内部負荷を低減する。	漁獲の増加 生息場の整備（漁獲を伴うもの）

※詳細については、「自然浄化対策について 生態系機能を活用した“健やかな湖沼水環境”の実現を目指して(平成 26 年 12 月 環境省水・大気環境局水環境課)」を参照

**(5) 水草の過剰な繁茂の抑制** c) 浅い湖(水草が過剰に繁茂している湖)

水生植物は湖沼生態系の一端を担っており、栄養を吸収して光合成によって湖沼中に酸素を供給する源となる以外にも、水中の懸濁粒子を沈降させて透明度を上昇させたり、他の生物の生息・生育環境となったりする等の機能を有している。この一方で、一部の水生植物が繁茂しすぎた湖沼では、水生植物が水の流れを阻害し、有機物の懸濁粒子を捕捉・沈降させて底層の有機物を増加させる他、水生植物自体が枯死して有機物の供給源となる場合もある。

水草が過剰に繁茂することで底層溶存酸素量の低下の要因になっている湖沼において、水草の過剰な繁茂を抑制することで生育箇所周辺の水の流れを回復するとともに、水草によって沈降しやすくなっていた懸濁有機物の沈降量を減少させ、さらに水草の湖沼からの取り上げで湖内の有機物を減少させる方針である。

水草そのものが貴重な場合や、水草の機能等を考慮して、地域で理解の得られる形で対策を行う必要がある。

なお、今後環境省では、水草発生要因を踏まえた対策の検討を行う予定としている。

表 2-8 水草の過剰な繁茂の抑制に係る主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
水草の刈り取り	水草を取り除くことで水流を回復させるとともに有機物の懸濁粒子の沈降を減少させる。水草を湖沼から取り上げることで内部負荷を低減する。	水草の刈り取り・除去 (人力(琵琶湖等)、重機(琵琶湖等)、ロボットボート(伊豆沼等)等)

## (6) 貯水池内での対策 d) 貯水池

ダム管理者が行う貯水池内の対策としては、曝気等が代表的である。

この他、(1)～(5)に示した対策のうち、適切な対策があれば取り入れることもできる。

表 2-9 貯水池内での対策※

主な対策	対策の原理	適用技術例
湖水の混合	底層と表層の水を混ぜることで底層に酸素を供給する。植物プランクトンが表層に留まる時間を減少させることで植物プランクトンの生産を減少させる。	曝気、散気、水流発生装置等
底層への酸素・空気供給	ポンプ等を用いて底層に直接酸素や空気等を供給する。底質が酸化することで底泥から水中への栄養塩の溶出を抑制する。	高濃度酸素水供給装置等
選択取水	底層放流を行うことで貧酸素化した底層水を放流する等、放流する水深を切り替えることで底層溶存酸素量低下の要因を軽減する。	選択取水
流動制御フェンス	貯水池の流入端にフェンスを設置し、栄養塩を含む流入水をフェンスの下の層に導入させることによって、表層への栄養塩の供給を低減させ、植物プランクトンの生産を減少させる。	流動制御フェンス

※詳細については、「ダム貯水池水質改善の手引き(平成30年3月 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課)」を参照

### 2) 対策の事例

底層溶存酸素量の改善に有効と考えられる対策の事例として、環境省環境技術実証事業(ETV事業:Environmental Technology Verification)、土木研究所の重点技術及び海外事例の概要や概略の費用の情報を整理した。対策の事例は資料集に示す。

なお、湖沼底層溶存酸素量改善モデル事業の事例については、「2.9 湖沼底層溶存酸素量改善モデル事業の事例」及び資料集に掲載した。



対策の事例については【資料集 3-1～】を参照。

## 2.9 湖沼底層溶存酸素量改善モデル事業の事例

環境省は「湖沼溶存酸素量及び沿岸透明度改善モデル事業」として、行政機関等に委託(公募)して平成 26 年度～令和元年度に表 2-10 に示す 4 湖沼にかかる事業を実施した。

4 件のモデル事業の概要を(1)～(4)に整理した。なお、モデル事業実施後の効果を把握するための調査結果や課題、設置費用、維持管理費用に関する情報については「資料集」に示す。

表 2-10 湖沼底層溶存酸素量改善モデル事業の実施状況

行政機関等・湖沼	本手引きでの適用		対策の概要	
	湖沼のタイプ	対策の方針 (表 2-2 に対応)		
秋田県 八郎湖	浅い湖	湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	底層への酸素・空気供給	高濃度酸素水の湖内底層への供給
長野県 諏訪湖	浅い湖	内部負荷の削減	底質改善	覆砂
		生態系機能を活用した水質浄化	二枚貝等による浄化とその取り上げ	シジミの放流
		水草の過剰な繁茂の抑制	水草の刈り取り	ヒシの適正管理
鳥取県 湖山池	汽水湖	湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	湖水の混合	流動促進装置による上下水塊の攪拌
島根県 宍道湖	汽水湖	水草の過剰な繁茂の抑制	水草の刈り取り	水草の繁茂エリアでの一定範囲の水草除去

# 1) 秋田県八郎湖における湖沼環境モデル事業

## (1) 事業概要

事業概要は表 2-11 のとおり。

表 2-11 秋田県八郎湖のモデル事業の概要

項目	内容
事業名	八郎湖底層溶存酸素等改善対策検証事業
事業の目的	八郎湖の水質及び底質の改善を図り、浅い湖沼における効果的な湖内浄化対策モデルを構築する。
対策の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高濃度酸素水を湖内底層へ供給し、貧酸素化の解消・抑止を図るとともに、水質及び底質等の改善効果について検証する。</li> <li>・八郎湖の底層溶存酸素量や水質及び底質の改善を図り、局部的に深い湖沼域における効果的な湖内浄化対策モデルの構築を行う。</li> </ul>
対象年	平成 27 年度、平成 28 年度、平成 29 年度：大久保湾 平成 30 年度、令和元年度：西部承水路
事業実施前の湖沼の状況	<p>①干拓事業完了後、徐々に富栄養化が進行し、各種水質保全対策を推進しているが、水質環境基準を達成していない状況が継続している。</p> <p>②夏期には底層が貧酸素化し、底質からの栄養塩類の溶出が、水質悪化、アオコ発生の一因となっている。</p> <p>③近年はアオコが大量に発生するなど、水質汚濁の問題が顕在化し、H24 には COD(年平均値)が全国でワースト 4 位となった。</p>
事業実施場所	<p>(1)八郎湖調整池南東部の大久保湾</p> <p>①大きな流入河川がなく、調整池の中でも特に水の停滞が著しい水域であり、夏季にはアオコの発生や滞留が生じやすい。</p> <p>②大久保湾の周辺は水田(周辺干拓地)が多い。</p> <p>③湖底には、底泥(ヘドロ状)の堆積が著しい。</p> <p>④過去の調査で底層の貧酸素化が確認され、底泥からの栄養塩類の溶出が水質悪化やアオコ発生・増殖の一因と考えられる。</p> <p>(2)西部承水路</p> <p>①八郎湖の中でも水の停滞が著しく水質が悪い水域である。</p> <p>②平成 12 年度から流動化事業を実施した結果水質の改善傾向がみられるが、依然として他の水域よりも水質が悪い状況にある。</p> <p>③対策の実施箇所は水深約 6m の浚渫くぼ地(西部承水路の平均水深 1.7m)で、底層の貧酸素化が確認されている。</p>



## (2) 対策の内容と期待される効果

### a) 対策の内容

大久保湾湖岸または西部承水路湖岸に高濃度酸素水供給装置を設置し、大気中から取り込んだ酸素を溶解させた水(以下、高濃度酸素水)を湖内底層に供給し、貧酸素化の解消・抑制を図る。

表 2-12 高濃度酸素水供給装置の概要(平成 29 年度の例)

項目	内容
能力	吐出水 DO 30~40 mg/L、吐出水量 約 3.0 m <sup>3</sup> /min
稼働期間	6月1日~11月30日(24時間稼働) ※メンテナンスによる停止期間あり
装置寸法	高濃度酸素水溶解装置 φ910×H2,795mm プレハブ小屋(コンプレッサー等収納) 2.4×5.4m
使用電力容量	22kW(装置一式)

### b) 期待される効果

高濃度酸素水の供給で貧酸素化を解消・抑止し、底質からの栄養塩類の溶出が抑制されるとともに、好气的環境の維持により底質の改善も期待できる。また、栄養塩類の溶出抑制に伴い植物プランクトン(アオコ)の増殖抑制も期待できる。

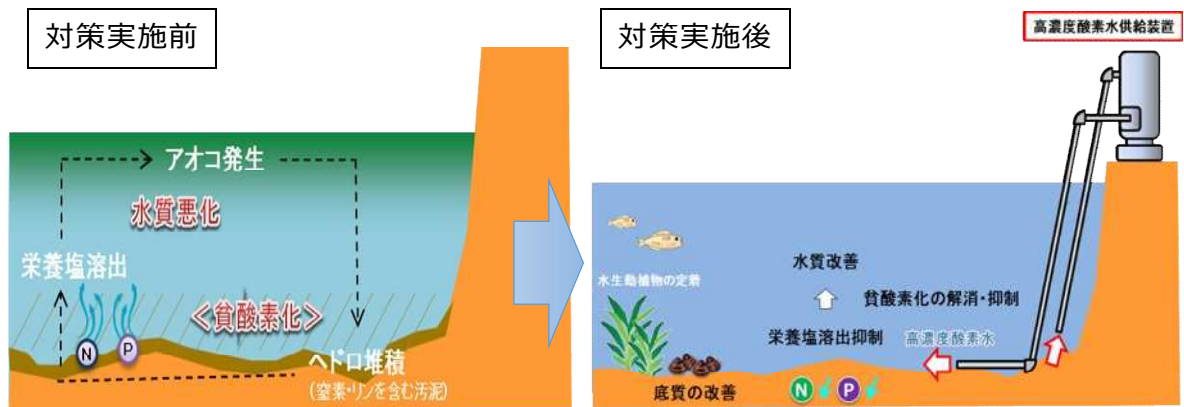


図 2-6 期待される効果のイメージ

▶ 調査内容、調査結果、効果等については【資料集 1-2~】を参照。

## 2) 長野県諏訪湖における湖沼環境モデル事業

### (1) 事業概要

事業概要は表 2-13 のとおり。

表 2-13 長野県諏訪湖のモデル事業の概要

項目	内容
事業名	「シジミが採れる諏訪湖」再生手法検討事業
事業の目的	諏訪湖では、ヒシの異常繁茂による湖底の貧酸素状態が顕在化しているため、これを改善するための手法を試行して、その効果について検討する。
対策の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 覆砂やシジミの放流による底質環境改善</li> <li>○ ヒシの適正管理</li> <li>○ 沖合で発生する貧酸素水塊の解消</li> </ul>
対象年	平成 26 年度、平成 27 年度、平成 28 年度
事業実施前の湖沼の状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 諏訪湖の水質は中長期的には改善してきたが、COD、窒素は環境基準を達成しておらず、ここ数年は横ばいである。</li> <li>・ 平成 10 年代から沿岸域に浮葉植物のヒシが大量繁茂するようになり、密生状態になると水の流れがほとんどなくなり、貧酸素状態になる。</li> <li>・ 漁獲量はピーク時は 500t を超えたが年々減少し、平成 26 年度はピーク時の 1/20 まで減少した。貝類は、昭和 25 年には 200t 超の漁獲があったが、ここ数年は漁獲がない状況が継続している。</li> <li>・ 夏場には、湖底に貧酸素水塊が発生している。平成 28 年 7 月には、前例がない規模のワカサギの大量死が発生。原因特定には至らないが、D O 低下が要因の一つと考えられる。</li> </ul>
事業実施場所	<p>A 上川河口付近で覆砂した試験ヤード(50m×50m) (渋崎区)</p> <p>B 中門川河口付近で覆砂した試験ヤード(65m×100m) (湖岸通り区)</p> <p>C 承知川河口付近の湖岸域 (高浜区)</p> <p>D 補足調査として水質常時監視3地点 (湖心、塚間川沖、初島西)</p>



## (2) 対策の内容と期待される効果

### a) 対策の内容

覆砂による底質改善、ヒシの効果的除去、貝類の生息

### b) 期待される効果

#### 【覆砂による底質改善】

泥状化した湖底を覆砂することにより、有機物の分解に伴う酸素消費を抑制するとともに、近年大量繁茂しているヒシの発生を抑制し、沿岸域のDOの改善につながる。

湖底からの栄養塩類の溶出抑制が期待できることから、植物プランクトンの発生を抑制でき、透明度が改善する可能性がある。

湖流改善により貧酸素水塊が沿岸域に及ぼす影響を小さくする可能性がある。

#### 【ヒシの効果的除去】

ヒシを除去することは、停滞する湖流を改善することから、DOの改善が期待される。

複雑に密生した水中茎を除去することで魚介類の生息環境の改善が期待される。

ヒシ種子除去を発芽直後に実施することにより、作業の効率化、その後の繁茂抑制効果が期待される。

なお、諏訪湖においては、除去後のヒシの種子密度に有意な差が見られず、人手による作業の限界があると思われたため、以後実施されていない。

#### 【貝類の生息】

淡水域でシジミを生息させた場合に、水中懸濁物質由来項目の浄化効果が確認されており、透明度が改善することが期待される。

貝類の生息環境を整えられれば、漁業関係者等による貝漁のため湖底の耕耘が行われることになり、湖底環境を好気状態に変え、底層DOを改善する効果が期待される。

▶ 調査内容、調査結果、効果等については【資料集 1-46～】を参照。

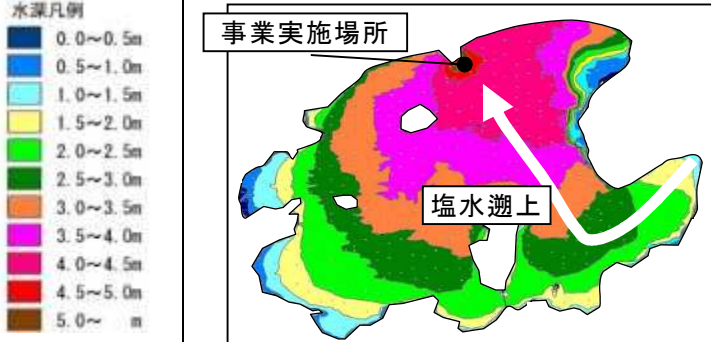


### 3) 鳥取県湖山池における湖沼環境モデル事業

#### (1) 事業概要

事業概要は表 2-14 のとおり。

表 2-14 鳥取県湖山池のモデル事業の概要

項目	内容
事業名	湖山池における流動促進装置による底層貧酸素化抑制の実証試験事業
事業の目的	湖山池で近年の汽水化による取組によって、池の最深部の塩分成層の発達が顕著で、貧酸素化の発達を助長している。貧酸素化の対策のひとつの方法として、上下水塊の攪拌による貧酸素化の抑制手法を確立したい。
対策の概要	流動促進装置を池の最深部に導入し、上下水塊の常時攪拌を行うことにより、初夏から秋にかけての塩分成層の破壊と貧酸素化の拡大抑制を図る。
対象年	平成 27 年度
事業実施前の湖沼の状況	湖山池では、COD、全窒素、全リンが高く、近年は上昇傾向にある。平成 24 年 3 月からの汽水化事業に伴って、それまで課題となっていたヒシ・アオコの発生抑制という一定の成果を得た一方で、魚類の大量斃死や赤潮発生という別の課題も顕在化してきた。また、底層部の塩分躍層の形成により、夏季に貧酸素化が起りやすい状況となっており、目標範囲内の塩分管理手法の確立も課題となっている。
事業実施場所	<p>湖山池は、湖面積 6.81km<sup>2</sup>、流域面積 38.91km<sup>2</sup>、平均水深 2.8m、最大水深 6.5m、流域人口 22,000 人の湖沼で、時として海から塩水が遡上する汽水湖である。逆流遡上の際に比重の大きい塩水は、池の最深部に停滞し、塩分成層しやすい傾向となる。</p> <p>特に夏季においては、塩分成層の発達、上下層水塊の混合鈍化、底質の有機物分解等により顕著な貧酸素化となりやすい環境が形成され、拡大していく。水深は、池の北側部が最深部で 6.5m 程度(池全体の平均水深は 2.8m)であり、塩水は矢印のとおり遡上して最深部に溜まる。北側部を底とする「すり鉢状」の地形である。</p> 

## (2) 対策の内容と期待される効果

### a) 対策の内容

流動促進装置を池の最深部水深約 5.9mに導入し、上下水塊の常時攪拌を行うことにより、初夏から秋にかけての塩分成層の破壊と貧酸素化の拡大抑制を図る。

流動促進装置／ポンプ技術については、①表層部から取水し送水。ポンプ送水比の約 20 倍の水流発生が可能。②発生水流は「整流」で、吐出方向の調整によりヘドロの巻き上げ等を回避可能。③理論計算では平面方向 200m程度まで流速が到達する能力を持つ。④送水角度は仰角 10 度上向きにセット。

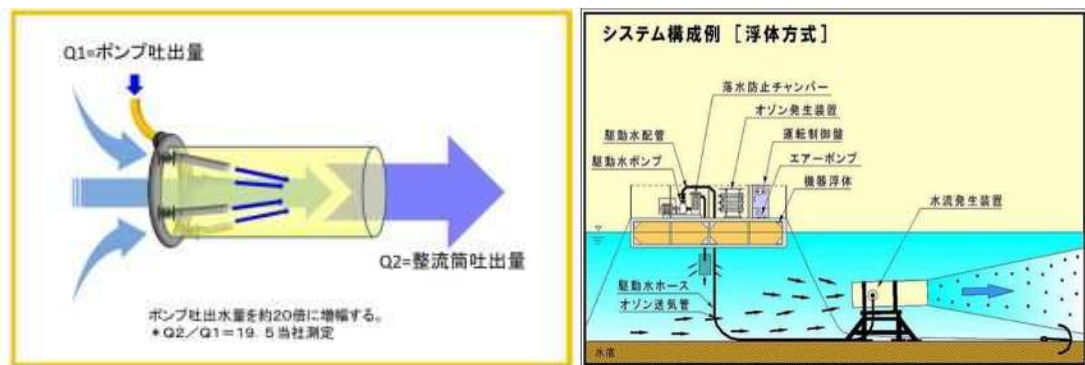


図 2-7 流動促進装置／ポンプ技術の概要

### b) 期待される効果

湖山池の貧酸素化は、塩分成層形成に伴う底部水塊の停滞が起因するところが多い。流動促進装置による塩分躍層の破壊が底層貧酸素化の改善へ繋がると見込んでいる。

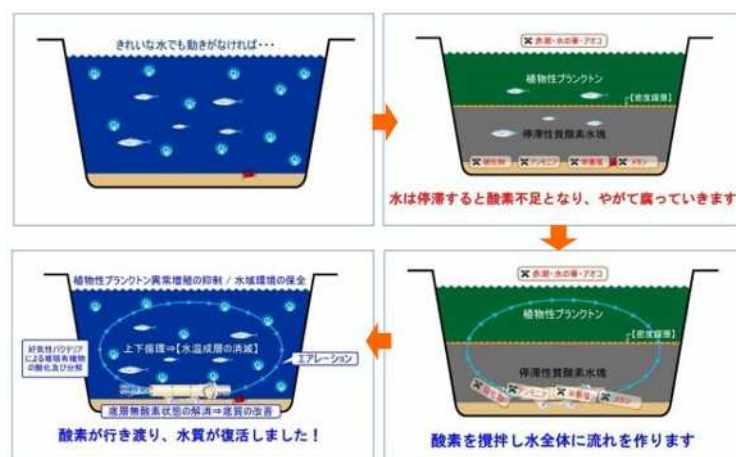


図 2-8 塩分躍層の破壊による底層貧酸素化解消のメカニズム

▶ 調査内容、調査結果、効果等については【資料集 1-83～】を参照。

#### 4) 島根県宍道湖における湖沼環境モデル事業

##### (1) 事業概要

事業概要は表 2-15 のとおり。

表 2-15 島根県宍道湖のモデル事業の概要

項目	内容
事業名	宍道湖の水草等の異常繁茂による底層溶存酸素量への影響把握及び効率的な保全対策の検証に係る事業
事業の目的	宍道湖沿岸域に広がる水草等繁茂による「底層溶存酸素量」への影響を把握する調査を行うとともに、この水草繁茂域の底層溶存酸素量の改善を測ることを目的とする。その際、効率的な水草等除去手法を用いることで、対策区域周囲の水草繁茂エリアにおいても底層溶存酸素量が高く維持でき、単位作業当たりの効果が及ぶ面積をより広くしていくことを目指す。
対策の概要	宍道湖北岸の水草等が異常繁茂する沿岸域(水深約2m)において、等深線に沿うように一定範囲の湖底を定期的に漁具等で掻き、水草等を除去・繁茂抑制する。そして、水草等を除去・繁茂抑制したライン内及びそのライン間に残る水草等の繁茂エリア、水草除去を実施していない水草等の繁茂箇所において、連続測定機器等を用いて底層溶存酸素量等を測定し、対策効果の検証を行う。
対象年	平成 30 年度、令和元年度
事業実施前の湖沼の状況	宍道湖は、山陰地方の中央部に位置する汽水湖である。斐伊川-宍道湖-大橋川-中海-境水道-日本海と連なる斐伊川水系に属する。昭和 30 年代後半以降は湖底の植生はほぼなく、年間を通して貧酸素状態にならない水深 4m 以浅の沿岸部はヤマトシジミの好漁場として利用。平成 24 年頃から水草等の繁茂エリアの拡大が目立ち始め、水草等の呼吸や分解及び湖流の停滞によって底層溶存酸素濃度が低下し、シジミ等への影響を危惧。
事業実施場所	事業実施水域は宍道湖北岸(秋鹿沖)とした。この水域は岸から水深 2.5m 程度まではなだらかに深くなっており、その沖で 1m 程度急激に水深が深くなっている。水草等は水深が急激に深くなる 2.5m 以浅で多く繁茂しており、その沖では急激に減少する。水草等の繁茂は宍道湖の他の地点よりも遅れ、平成 26 年頃から顕著となっている。また、底質は細砂～砂であり以前はヤマトシジミの好漁場であった。このことからもかつては底層の貧酸素化はほとんどなかったことが伺える。

## (2) 対策の内容と期待される効果

### a) 対策の内容

宍道湖北岸の水草等が異常繁茂する沿岸域(松江市秋鹿町沖:水深約2m)において、等深線に沿うように一定範囲の湖底を帯状の水路を2本、定期的に漁具(マンガ)等で掻き、水草等を除去し繁茂を抑制する。

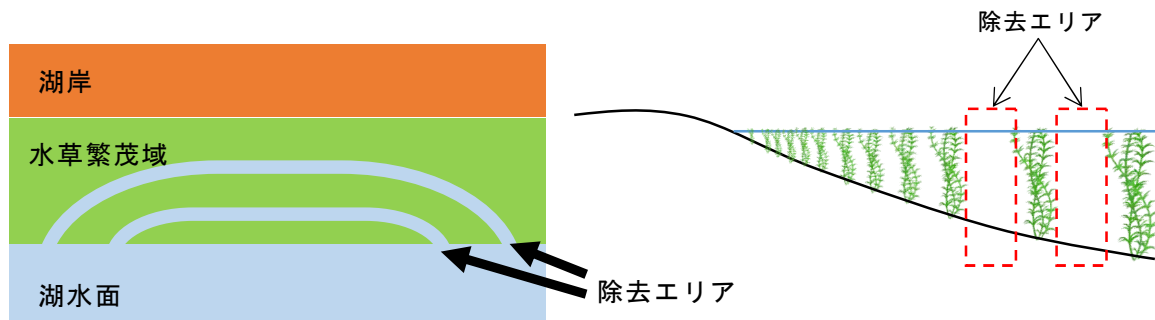


図 2-9 水草除去のイメージ図

### b) 期待される効果

水草等除去により湖水の流動を確保するとともに、水草除去エリアでの底層溶存酸素量を改善し、さらに、水草等の除去範囲のみならず除去の間の水草繁茂範囲についても底層溶存酸素量が確保されることが期待される。

▶ 調査内容、調査結果、効果等については【資料集 1-97~】を参照。

## 2.10 底層溶存酸素量改善のための要因解析の事例

底層溶存酸素量改善にあたり、対象湖沼における底層溶存酸素量低下の要因を解析することにより、効果的な対策の検討を行うことができる。要因解析の方法としては、現地観測結果を用いるものと、現地調査結果を用いた数値モデルを構築し、その計算結果を用いるものがある。

### 1) 観測結果を用いた要因解析

底層溶存酸素量の低下は図 2-3 に示されているように湖水の酸素が消費されることと底層の湖水に酸素が供給されない状況によって引き起こされる。一般的には、夏季に上層と下層の水温差が大きくなり成層が発達した結果、上下の鉛直混合が弱くなり底層に酸素を含んだ表層水が供給されなくなった時、有機物の多い湖水や有機物の多い底泥の湖沼では比較的速やかに底層水の溶存酸素量が低下する。しかしながら、有機物が多く、その分解過程で多くの酸素が消費されている湖沼であっても、常に鉛直混合が生じ表層付近から酸素を多く含む水が底層に供給されている湖沼では底層溶存酸素量の低下は起きにくい。起きても継続期間が短い一方、有機物が少なく湖水中・底泥中の酸素消費速度が小さい湖沼であっても季節的に鉛直混合が生じない期間が長い場合には鉛直混合が生じるまで底層溶存酸素量は低下し続ける。このように湖沼によって底層溶存酸素量の低下が生じる過程には差があるため、対象とする湖沼の底層溶存酸素量の状況を把握し、その動きと他のどのような事象が関連しているか現地調査結果から推測することは重要である。

ここでは、対象とする湖沼において「2.7 底層溶存酸素量にかかる調査の考え方」に記載されている調査を実施して得られた観測結果を用いて要因解析を行う場合の考え方を示す。

#### (1) 底層溶存酸素量の変化傾向から要因を推測する

成層期(水温の鉛直構造)と底層溶存酸素量の関係を示す例として、図 2-10 に霞ヶ浦(北浦)の 2008 年 9 月の観測結果を示す。この例では水温と DO 濃度の鉛直分布は同様の傾向を示しており、上層は植物プランクトンの活発な光合成により DO 濃度は過飽和となっているが、水深 4~5m 付近に形成された水温成層によって上層から下層へ酸素を含む水が供給されなかったため 5m 以深では酸素濃度の急激な低下が生じている。霞ヶ浦では夏季のクロロフィル-a 濃度は  $50 \mu\text{g/L}$  を超えることもあり、活発な光合成が行われており、これに起因する呼吸や有機物の分解速度に対して十分な酸素供給が起こらない条件下では 1~2 日で容易に貧酸素化するとされている。しかしながら、霞ヶ浦(西浦)では風によって頻繁に成層が解消するため貧酸素化が長期化しないという

特徴を示している。

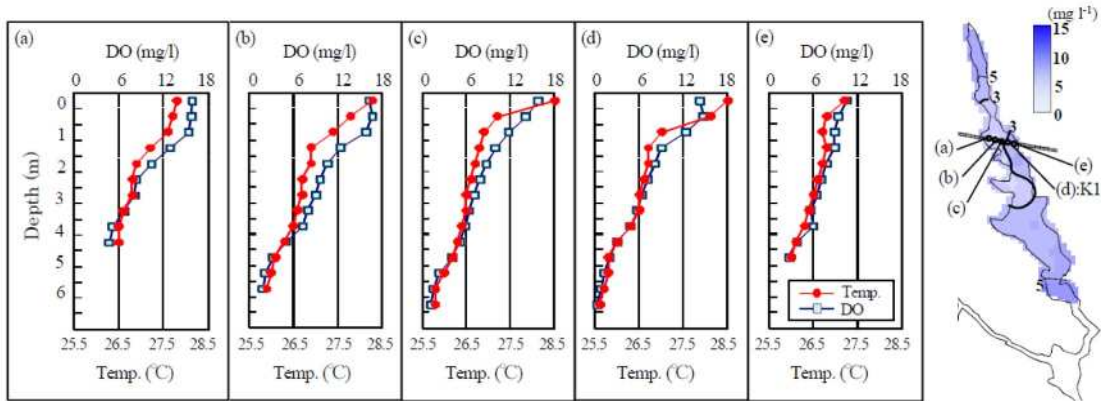


図 2-10 北浦における貧酸素水塊形成時における水温と DO 濃度の鉛直分布

出典:小松伸行・石井裕一・渡邊圭司・本間隆満・北澤大輔:霞ヶ浦における貧酸素水塊の観測と解析、水工学論文集、第 54 巻、2010 年 2 月

一方、琵琶湖(北湖)における底層水溶存酸素量の経月変化は図 2-11 に示すように冬季に最も低くなる変化傾向を示している。琵琶湖(北湖)においても霞ヶ浦と同様、夏季に水温成層の形成により鉛直混合せず、表層水から深層水へ酸素供給されなくなるが、クロロフィル-a 濃度が  $5 \mu\text{g/L}$  を下回る有機物の少ない水環境のため溶存酸素の低下は霞ヶ浦と比べて緩やかである。琵琶湖では冬季の水温低下と季節風の影響で上層の水と下層の水が混ざる「全循環」が生じ底層水の溶存酸素量が回復するパターンを繰り返していたが、2019 年年初には全循環が起こらず貧酸素化が長期化した。

湖の規模としては琵琶湖と比べて小さい野尻湖においても、琵琶湖と同様、有機物が少ない一方、構造的に鉛直循環が生じにくいいため冬季に最も底層溶存酸素量が低下する傾向を示している。

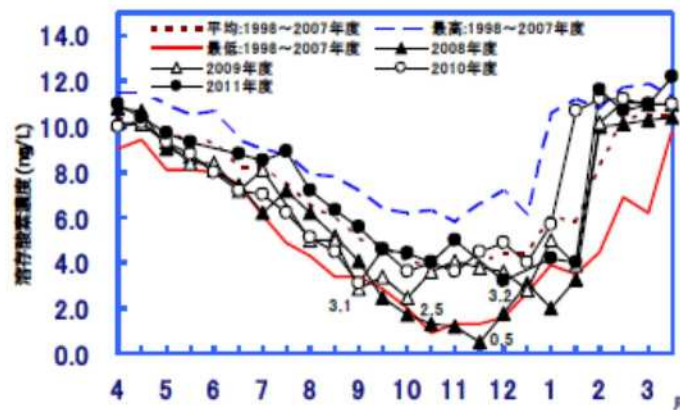


図 2-11 今津沖中央定点(C 点)での湖底直上 1m の DO 濃度の経月変化

出典:青木眞一・南真紀・岡本高弘・焦春萌:琵琶湖の推進 90m 地点での深層部の溶存酸素濃度の低下と水質について、日本陸水学会シンポジウム講演要旨

このように、底層溶存酸素量の変化傾向を見ることで、対象とする湖沼の底層溶存酸素量低下の要因について大局的に推測することができる。

## (2) 酸素消費速度から要因を推測する

図 2-3 では「有機物の分解時に湖水の酸素が消費される」とあるが、湖水の酸素消費には水中での酸素消費と底泥中の酸素消費がある。それぞれ現地調査や現地サンプルを用いた室内実験により消費速度を求めることができる。これらの観測や室内実験は技術的に難易度が高く費用もかかることから多くの結果を得ることが難しい。このような背景から、底層溶存酸素量の経験的な予測式に関する研究事例が既存知見に散見される。資料集にこの経験的な予測式の紹介と既存文献における底泥酸素消費速度と水中酸素消費速度の調査事例について紹介する。

## (3) 水質・底質観測結果から要因を推測する

霞ヶ浦や諏訪湖のように夏季のクロロフィル-a 濃度が  $50 \mu\text{g/L}$  を超えるような湖沼では、藻類の異常増殖(赤潮、アオコ)の後、それらが湖底に堆積して大量に酸素を消費する現象がみられる。また、水中の有機物量だけではなく、底泥の有機物含有量が高い水域では底層水が貧酸素化しやすい傾向を示していることから、底質性状(IL、有機物含有量等)と底層溶存酸素量との関係を確認することも重要である。

## 2) 数値モデルを用いた要因解析

成り立ちや利用状況等を考慮した条件の異なる 6 つの指定湖沼(釜房ダム貯水池、霞ヶ浦、諏訪湖、琵琶湖、中海、宍道湖、表 2-16 参照)でモデル構築を行い、それぞれの湖沼で底層溶存酸素量が低下する要因を検討した。また、さまざまな保全対策を行った場合の底層溶存酸素量の改善の状況を検討した。

なお、全国の湖沼で同様の解析を行う参考になるよう、これらの検討の詳細は資料集(URL [http://www.env.go.jp/water/kosyou/post\\_87.html](http://www.env.go.jp/water/kosyou/post_87.html))に掲載した。

モデルは基本的には 6 つの指定湖沼共通の考え方に基づいて設計し、各湖沼の特徴を反映させた上で現況再現を試みることにより、各湖沼独自の底層溶存酸素量低下に係る検討に結びつけることとした。

使用したモデルは、流れ・水温(・塩分)といった湖内での物理的な側面を表現する「流動モデル」と、窒素・リンなどの栄養塩やプランクトンといった生物・化学的な側面を表現する「水質モデル」の 2 つである。水質モデルでは、流動モデルで得られた結果を計算条件として使用しており、計算項目は図 2-12 の四角で囲まれた項目であり、四角と四角の間をつなぐ矢印が物質の流れを表している。

共通ではない各湖沼の特徴として、放流調節や曝気装置の稼働(釜房ダム貯水池)、水草の繁茂による流動阻害と有機物の生成(諏訪湖・琵琶湖南湖)、二枚貝による懸濁物の補足(宍道湖)を、流動モデルと水質モデルに適宜反映させた。

表 2-16 6つの指定湖沼の特徴

項目	湖沼のタイプ	特徴
釜房ダム貯水池	貯水池	指定湖沼中唯一のダム湖。
霞ヶ浦	浅い湖	指定湖沼の中では有機物濃度が高い湖沼。風による頻繁な混合が特徴的な浅い西浦と、負荷が多く深いため貧酸素化しやすい北浦を有する湖沼である。また、流入水量等の変化による滞留時間の長期化も指摘されている。
諏訪湖	浅い湖	陸域負荷対策によって富栄養湖から中栄養湖へのレジームシフト中であると考えられている湖沼。底層溶存酸素量の低下要因は主に水温成層と、活発な基礎生産に起因する底泥有機物分解に伴う酸素消費であると考えられている。湖岸部では浮葉植物のヒシの繁茂が顕著であり、局所的にヒシ帯底層でも貧酸素化がみられる。
琵琶湖	南湖:浅い湖	日本を代表する深い湖。気候変動に伴う鉛直循環の弱화가溶存酸素量の鉛直分布に影響を及ぼしている。南湖では沈水植物の繁茂が顕著。
	北湖:深い湖	
中海	汽水湖	汽水湖。近年では有機物濃度の低下傾向がみられる。底層溶存酸素量の低下は主に水温と塩分による密度成層と考えられ、夏季に広範囲にわたる貧酸素化が見られる。
宍道湖	汽水湖	中海よりも塩分濃度が薄い汽水湖。底層溶存酸素量の低下は主に水温と塩分による密度成層と考えられる。湖岸部にはヤマトシジミが生息している。



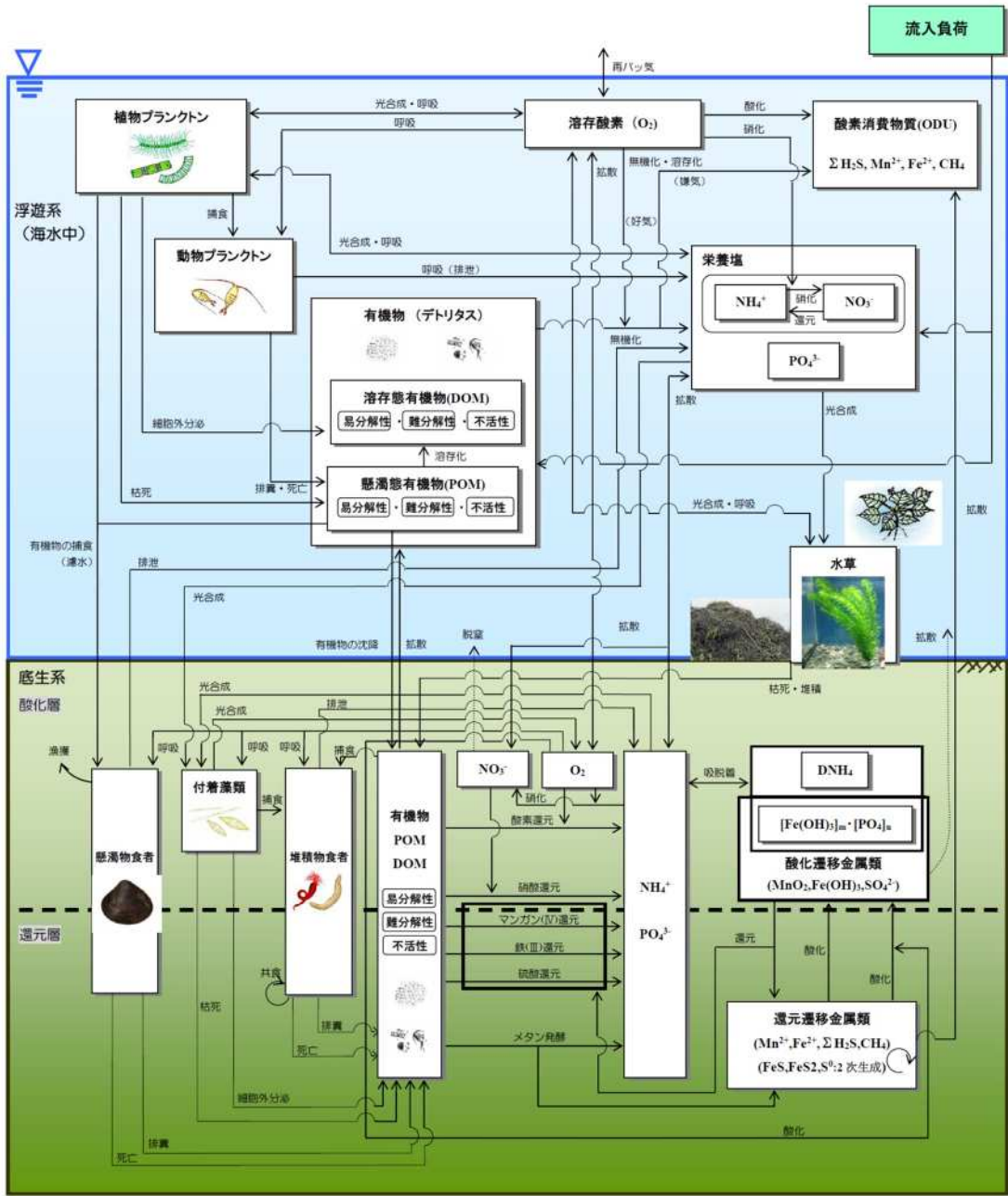


図 2-12 水質モデルの概要

□ : 計算項目    ⇄ : 物質の流れ

## (1) 底層溶存酸素量低下の要因の検討の事例

数値シミュレーションモデルにより計算された酸素の生成・消失に係る各循環過程(光合成に伴う生成、プランクトンの呼吸、硝化に伴う消費、水中の懸濁態有機物の分解に伴う消費、水中の溶存態有機物の無機化に伴う消費、底泥の有機物による酸素消費、酸素消費物質の酸化、大気との交換)を季別に平均し、底層溶存酸素量が低下する時期の影響要因を検討した。

なお、数値シミュレーションモデルは現況再現性について客観評価を行った上で検討に用いた。

## (2) 計算結果と解説

検討の事例として、霞ヶ浦(西浦)、諏訪湖(湖心)、琵琶湖(北湖、南湖)の結果を図2-13に示す。

いずれの湖でも、酸素の生成は主に光合成に伴うものであり、霞ヶ浦と諏訪湖では夏季に活発に植物プランクトンの光合成が行われていた。琵琶湖北湖では、冬季に全循環が生じ、下層から上層に栄養塩類が供給され、活発な光合成が生じることを反映して冬季に光合成のピークがみられた。琵琶湖南湖では、水草の光合成による酸素生成が植物プランクトンの光合成による生成量を上回っていた。

酸素の消失については、湖沼によって要因が様々であった。霞ヶ浦(西浦)、諏訪湖、琵琶湖南湖は表2-16でいずれも浅い湖としたが、霞ヶ浦(西浦)では有機物の分解に伴う水中での酸素消費が大きく、諏訪湖や琵琶湖南湖では底泥による酸素消費が大きい結果となっていた。霞ヶ浦のように風により鉛直混合が頻繁に起こる湖沼では湖底に堆積した有機物も頻繁に巻き上げられるため、底泥の酸素消費より水中での酸素消費が大きくなると考えられる。諏訪湖と琵琶湖南湖では、酸素消費の大きな要因はいずれも底泥にあるが、琵琶湖南湖では水草の光合成量が大きいことから、底泥の中でも水草に由来する有機物が大きな割合を占めていると推察できる。一方諏訪湖では、水草(浮葉植物ヒシ)の繁茂による影響をモデルに組み込んでいるが、底層溶存酸素量の低下が顕著にみられる湖心部には水草がほとんど生育していないため、その影響は目立たず、底泥の中でもプランクトンに由来する有機物が大きな割合を示していると推察できる。

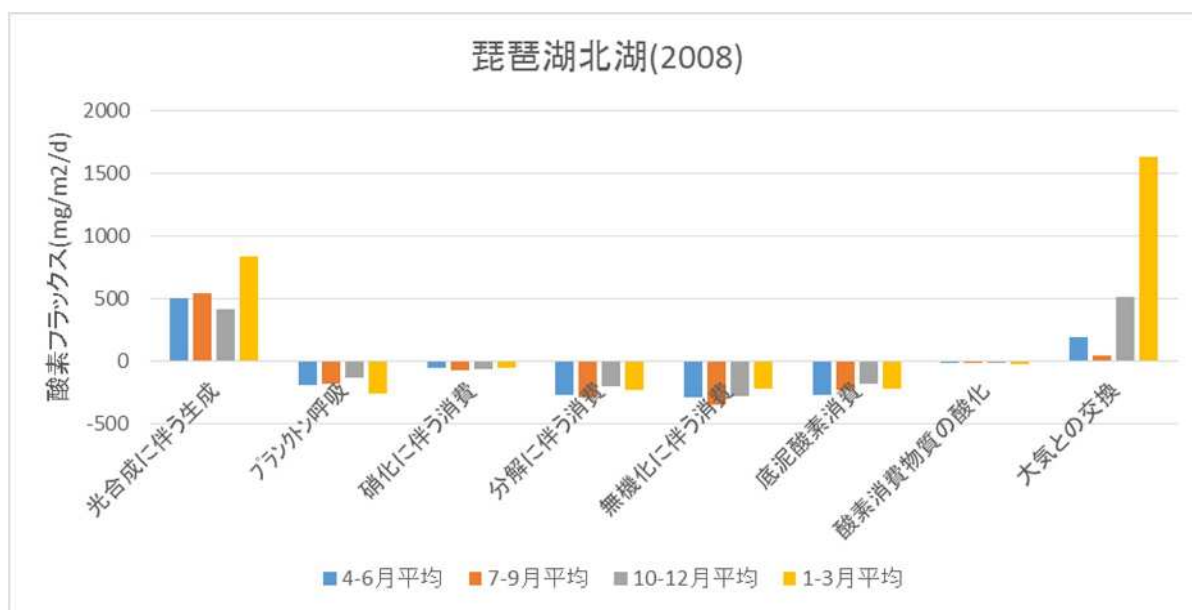


図 2-13(1) 水質モデル計算結果から整理した酸素の生成・消失量

分解に伴う消費 : 水中の懸濁態有機物が分解する時に酸素を消費する  
 無機化に伴う消費 : 水中の溶存態有機物が無機化する時に酸素を消費する  
 酸素消費物質の酸化 : 底泥から発生した酸素消費物質が水中で酸化する際、  
 酸素を消費する

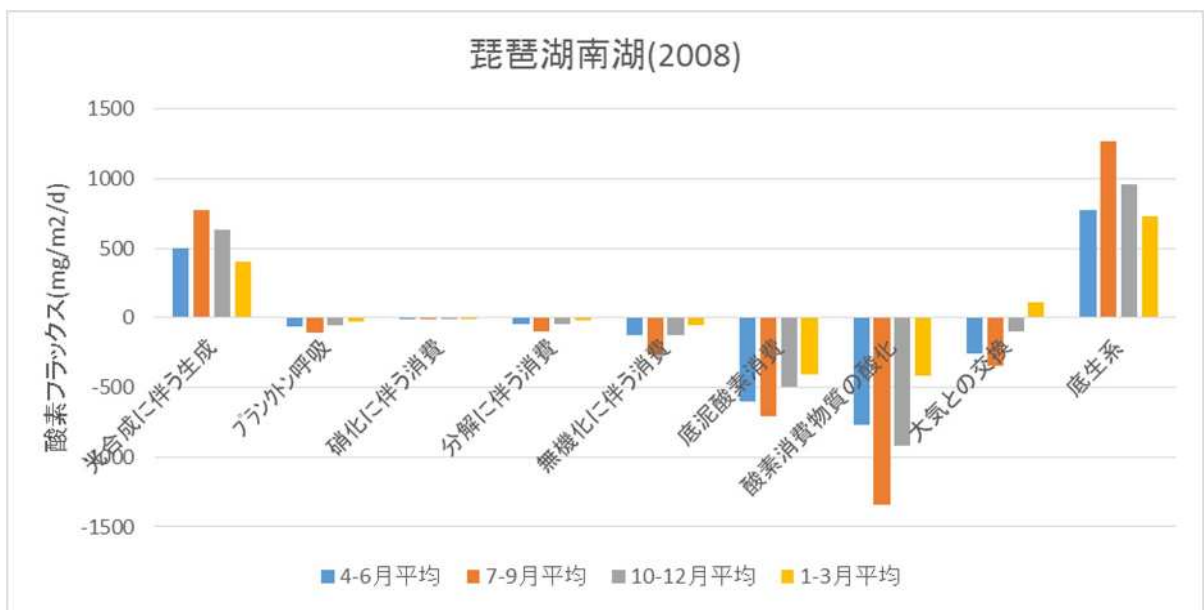


図 2-13 (2) 水質モデル計算結果から整理した酸素の生成・消失量

- 分解に伴う消費 : 水中の懸濁態有機物が分解する時に酸素を消費する
- 無機化に伴う消費 : 水中の溶存態有機物が無機化する時に酸素を消費する
- 酸素消費物質の酸化 : 底泥から発生した酸素消費物質が水中で酸化する際、酸素を消費する
- 底生系 : 水草による光合成及び呼吸

### 3) 効果的な保全対策の検討の事例（モデル感度解析による内部負荷、外部負荷削減の効果の試算）

#### (1) 計算ケース

底層溶存酸素量低下の要因の検討結果を受けて、湖沼に流入する負荷量と底泥に対する対策が、どの程度底層溶存酸素量の低下を抑制できるか確認することを目的として、「現況」計算ケースに対し、2種類の対策で、(L)流入負荷量を削減した場合、(R)底泥有機物からの栄養塩類溶出および酸素消費速度がゼロとなった場合（覆砂等底質改善による）を想定し、感度解析を行った。

ここでは、底層溶存酸素量低下の要因として底泥酸素消費が大きかった諏訪湖を例として、流入する10河川について1河川ずつ全負荷量をゼロにした10ケース(L1～L10、図2-14参照)と、水深帯1m毎の底泥からの栄養塩溶出と酸素消費速度をゼロにした7ケース(R1～R7、図2-15参照)の計17ケースの計算結果を示した。

なお、ここでは短期的な効果として、対策後1年間の結果を示した。

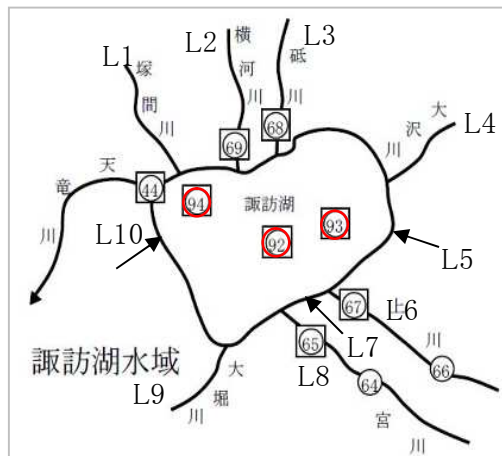


図 2-14 負荷削減に対する感度解析の計算ケース L1～L10 諏訪湖

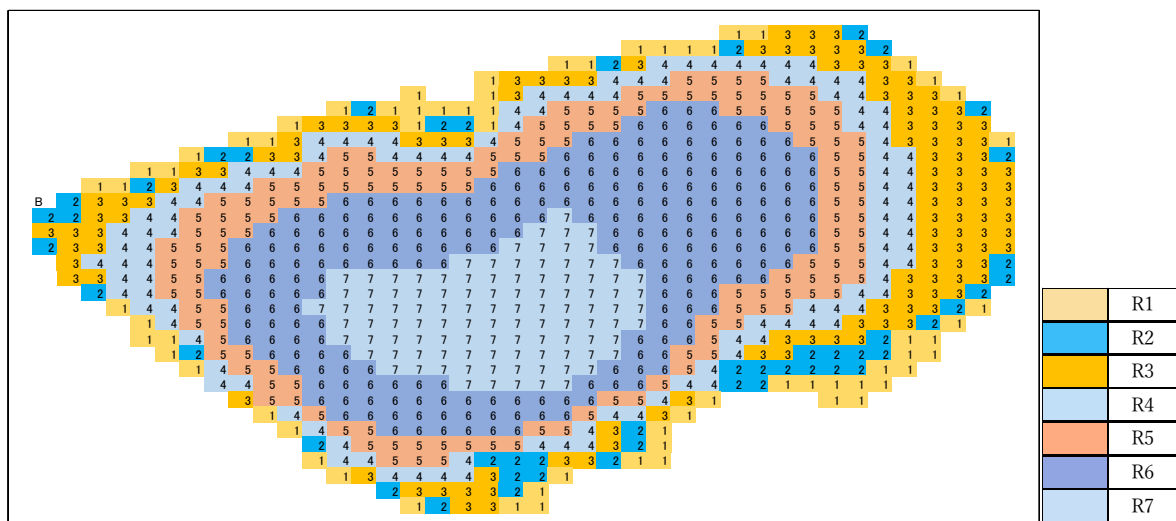


図 2-15 底質改善に対する感度解析の計算ケース R1～R7 諏訪湖

## (2) 計算結果と解説

諏訪湖の環境基準点のうち、貧酸素が観測される湖心と塚間川沖における上層と下層の DO 濃度の変化を図 2-16 に示す。

流入負荷量の削減(L1~L10)はどの流域からであっても上層の DO 濃度は低下する予測結果となった。これは、河川由来の栄養塩の低下で湖内上層の植物プランクトンの光合成量が低下し、光合成に伴う DO 供給が減少したことによるものと考えられる。

流入負荷の削減による下層 DO 濃度に対する影響は、0.2mg/L 程度の改善効果がみられた。

底質改善の効果(R1~R7)については、湖心、塚間川沖の 2 地点とも、その地点の水深帯への施工(湖心は R7、塚間川沖は R5)がもっとも高い改善効果が得られ、0.7~1mg/L 程度の改善効果がみられた。これらの結果から、諏訪湖の下層 DO の改善には、短期的には流入負荷対策より底質改善対策が有効である可能性が示唆された。

現況と、対策(L1~L10、R1~R7)を行った場合の最下層の DO 濃度が 2mg/L、3mg/L、4mg/L を下回った積算日数を図 2-17 に示す。

湖心においては上川(L6)と宮川(L8)の流入負荷量をゼロとした時に基準値を下回る日数が減少する傾向がみられるが、その他の河川については大きな変化は見られなかった。

湖底からの栄養塩の溶出と酸素消費をゼロにしたケース湖心直下の R7 とその周辺部である R6 のケースで基準値を下回る日数が減少したが、2mg/L を下回る貧酸素水塊の消失には至らなかった。

これらの結果より、要因検討を行った上で適切な対策を行った場合に底層溶存酸素量の改善効果がみられるが、短期的には望ましい(例えば 2mg/L 未満の貧酸素の解消など)状態が得られない可能性もあることが示された。とくに、底泥由来の酸素消費が底層溶存酸素量の低下に大きな影響を及ぼしている湖沼では、底質の改善には時間がかかることも想定され、効果の発現に時間がかかることを前提とした長期的な検討や、工学的な手法を検討した場合の効果の検討など、湖沼の特性や地域の実情に応じた対策を検討することが望ましい。

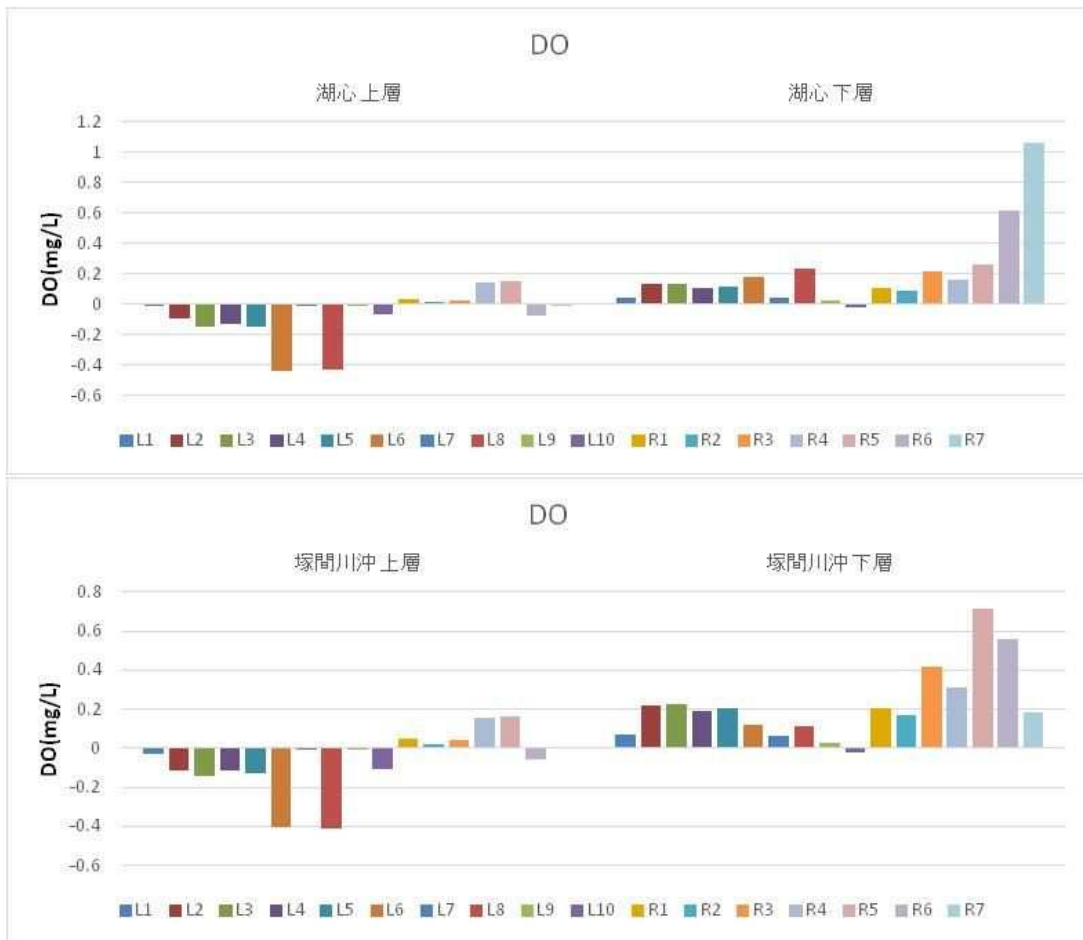


図 2-16 負荷削減および底質改善に対する感度解析計算での DO 濃度の変化

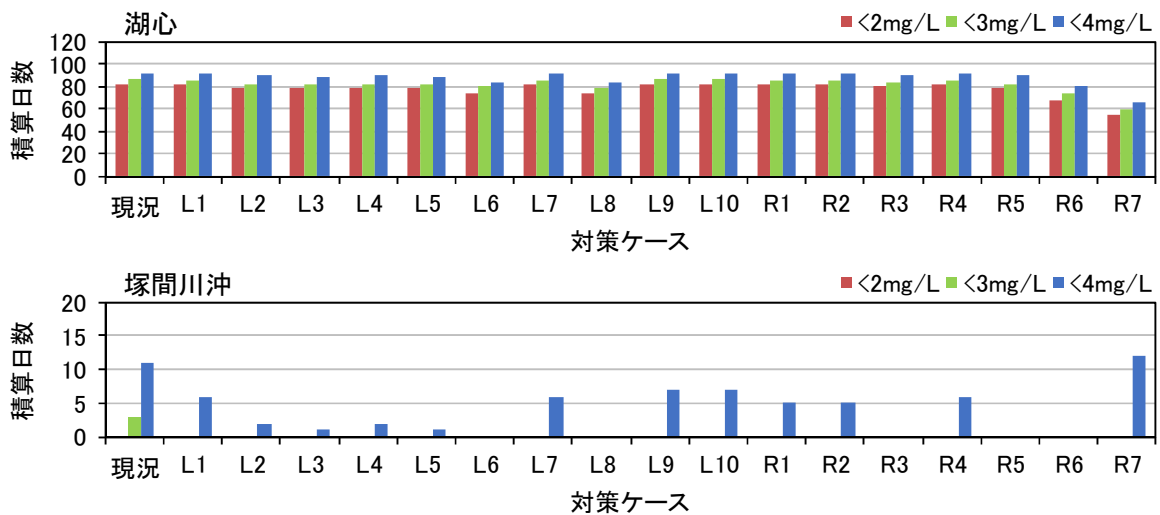


図 2-17 最下層の DO 濃度が基準値を下回る積算日数 諏訪湖 2011 年

#### 4) 効果的な保全対策の検討の事例（酸素水供給、水草刈取りなど対策効果の定量的試算）

##### (1) 計算ケース

底層溶存酸素量の改善対策として、流入負荷量の削減や底質改善の他に、土木工学的な対策も考えられることから、これらの効果についても予測計算を行った。

各湖沼で計算対象とした対策は表 2-17 の通りであり、高濃度酸素水(288kg/d)の注入に加え、それぞれの湖沼で適当とみなした対策を選定した。

表 2-17 土木工学的な対策の計算ケース

湖沼	対策案	期待される効果
釜房ダム貯水池	放流口高さの変更	鉛直方向の流動を促進することによる底層 DO の低下抑制
	高濃度酸素水の注入	底層 DO の上昇
霞ヶ浦(北浦)	高濃度酸素水の注入	底層 DO の上昇
諏訪湖	湖岸部:ヒシの刈り取り	ヒシの除去による流動促進、ヒシ枯死体の減少に伴う酸素消費の抑制
	湖岸部:浅場造成	ヒシの除去、底質改善、生物浄化
	湖心部:高濃度酸素水の注入	底層 DO の上昇
	湖心部:サイフォンによる底層水の系外搬出	貧酸素水の直接除去による底層 DO の上昇
琵琶湖(北湖)	高濃度酸素水の注入	底層 DO の上昇
中海	高濃度酸素水の注入	底層 DO の上昇
宍道湖	シジミの生息(現状の効果確認)	水中の懸濁態有機物の除去による底層 DO の低下抑制
	高濃度酸素水の注入	底層 DO の上昇

##### (2) 計算結果と解説

土木工学的な対策による底層溶存酸素量の改善効果を表 2-18 に示す。なお、効果の評価に用いた貧酸素とは DO 2mg/L 以下を指す。効果の指標として、湖内の環境基準点(概ね湖心)最下層における DO 日平均濃度が 2mg/L を下回る連続日数と、日平均濃度が 2mg/L を下回る面積の対策後の減少面積の積算(貧酸素のべ減少面積)を用いた。

結果の概観としては、釜房ダム貯水池のような面積が小さく貧酸素面積も小規模な湖沼では今回適用した高濃度酸素水の注入による底層 DO の改善効果は大きく、湖沼や貧酸素面積の規模が大きくなるに従い、機械を設置した基準点周辺は貧酸素が解消しても一定距離離れると効果がみられない結果となった。

面的な分布の例として、諏訪湖における対策計算結果を図 2-18 に示す。

これによると、現況の底層溶存酸素量の分布に対し、それぞれ対策を講じた場所において貧酸素の解消もしくは低減効果がみられている。表 2-18 の評価結果とあわせ



て見ると、ヒシの刈り取りや覆砂は貧酸素の解消・低減範囲が湖岸付近に限定されているため、環境基準点である湖心の貧酸素連続日数を減少させることはできないが、諏訪湖全体の貧酸素のべ減少面積は大きな値となっている。逆に、湖心に高濃度酸素水を注入したケースでは、湖心の貧酸素連続日数をほぼ0日にすることができているが、改善範囲が極めて限定的であるため、貧酸素のべ減少面積は小さい値となっている。これは図 2-18 の濃度分布図を見るとわかりやすく、対策を検討する際、改善対象範囲や目的に応じて対策技術等を選定する必要があることを示唆している。

(諏訪湖の濃度分布の例)

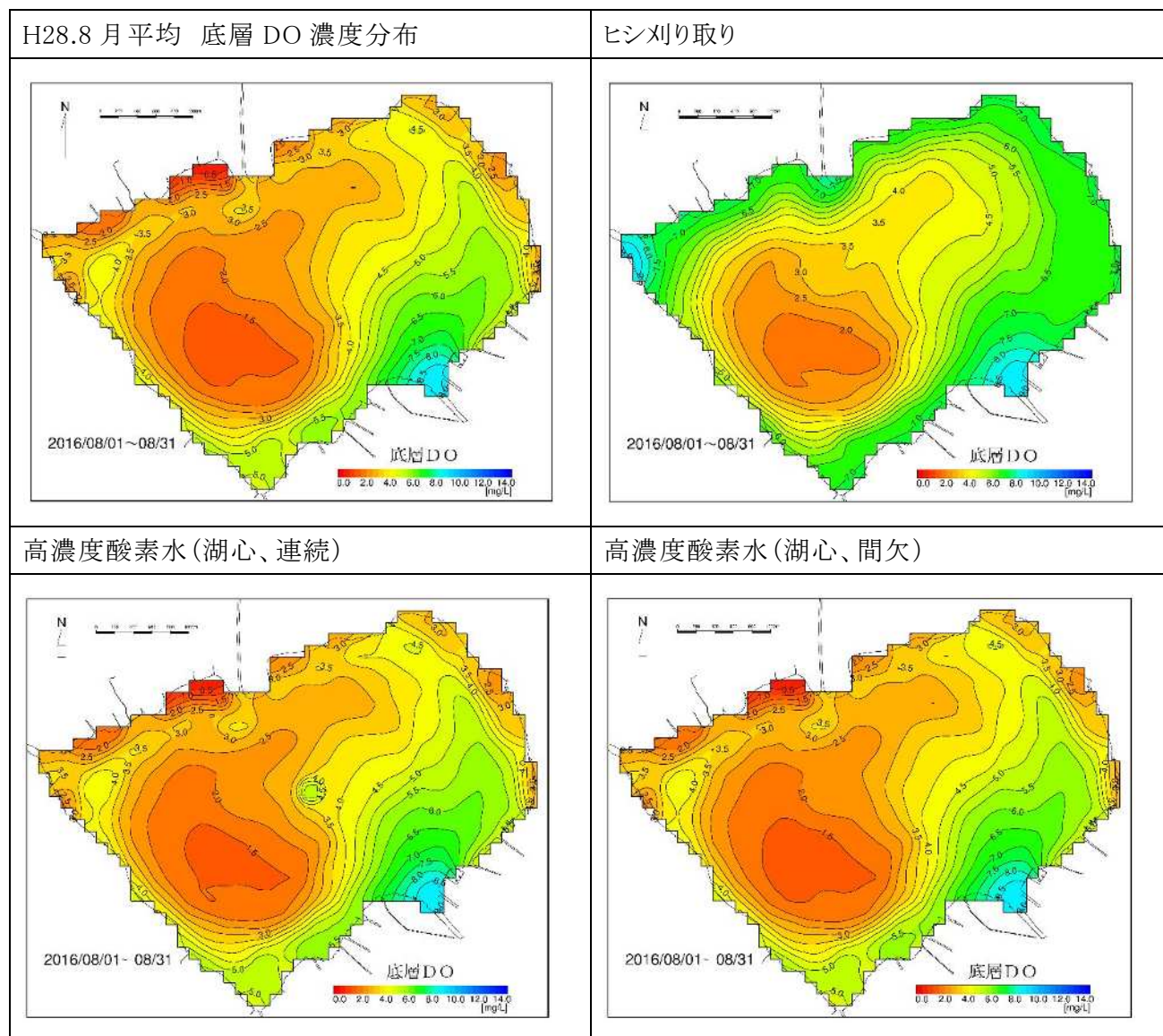


図 2-18 諏訪湖における対策計算の効果 (8月平均底層 DO 濃度分布)

連続:6月~9月の連続稼働

間欠:設置地点の底層 DO が2mg/Lを下回った場合に稼働

表 2-18 土木工学的な対策による底層 DO 改善効果の計算結果

湖沼 (基準点名) 湖面積、平均水深	対策	計算条件※ <sup>1</sup>	効果	
			貧酸素※ <sup>2</sup> のべ 減少面積(km <sup>2</sup> )	基準点における 貧酸素※ <sup>2</sup> 連続 日数減少(日)
釜房ダム 貯水池 (ダムサイト) 湖面積 3.9km <sup>2</sup> 平均水深 11.6m	放流口の変更	ゲート位置を 10m層→20m層	H21:-4.5 H22:-6.8 H23:-2.2	H21:68→7 H22:70→42 H23:28→4
	高濃度酸素水 (ダムサイトの最下層)	288kg/d、連続	H21:-4.8 H22:-14.8 H23:-2.4	H21:68→0 H22:70→0 H23:28→0
		288kg/d、間欠	H21:-0.6 H22:-0.5 H23:-0.2	H21:68→0 H22:70→0 H23:28→0
霞ヶ浦(北浦) (釜谷沖) 湖面積 36km <sup>2</sup> 平均水深 4m	高濃度酸素水 (釜谷沖の最下層)	288kg/d、連続	H23:-11.1	H23:11→1
		288kg/d、間欠	H23:-1.3	H23:11→7
諏訪湖 (湖心) 湖面積 13.3km <sup>2</sup> 平均水深 4.7m	ヒシ刈取り	全刈	H28:-81.2	H28:24→24
	覆砂	湖岸帯の一部	H28:-58.2	H28:24→24
	高濃度酸素水 (湖心の最下層)	288kg/d、連続	H28:-11.5	H28:24→1
		288kg/d、間欠	H28:-3.4	H28:24→0
サイフォン	最深部 1m <sup>3</sup> /s	H28:-8.8	H28:24→20	
琵琶湖(北湖) (17B) 湖面積 614km <sup>2</sup> 平均水深 43m	高濃度酸素水 (17Bの最下層)	288kg/d、連続	H20:-6.8	H20:122→122
		288kg/d×15機 連続	H20:-119.8	H20:122→122
		288kg/d、間欠	H20:-19.5	H20:122→122
		288kg/d×15機 間欠	H20:-268.5	H20:122→115
中海 (N6) 湖面積 92.1km <sup>2</sup> 平均水深 5.4m	高濃度酸素水 (N6の最下層)	288kg/d、連続	H24:-23.3	H24:45→38
		288kg/d、間欠	H24:-1.3	H24:45→40
宍道湖 (S3) 湖面積 81.8km <sup>2</sup> 平均水深 4.5m	高濃度酸素水 (S3の最下層)	288kg/d、連続	H24:-5.8	H24:18→15
		288kg/d、間欠	H24:-3.3	H24:18→15
	シジミの生息	シジミの有無	H25:-184.7	H25:26→13

※1 連続:6月～9月の連続稼働(琵琶湖北湖は12月～1月)

間欠:設置地点の底層 DO が 2mg/L を下回った場合に稼働

※2 貧酸素:DO 2mg/L 以下

## 5) 効果的な保全対策の検討の事例（長期的な効果）

### (1) 計算ケース

2015 年度を基準として、茨城県と滋賀県の人口動態に応じて生活系と産業・工業系の負荷量が減少した場合の霞ヶ浦と琵琶湖の底質への影響予測計算を実施した。

図 2-19 に霞ヶ浦と琵琶湖の 2020 年度以降の推定負荷量と 2015 年度に対する県人口と負荷量の比率を示す。これによると、茨城県では、2015 年度に対して 2045 年度は人口が 77%と推定されているが、全負荷量に占める生活系と産業系の負荷量の割合が COD と T-N では 25%程度、T-P で 50%であることから、2045 年度の負荷量は 2015 年度の 94%(COD、T-N)と 87%(T-P)となっている。同様に琵琶湖では 2015 年度に対して 2045 年度は人口が 89%と推定されているが、2045 年度の負荷量は 2015 年度の 98%(COD)、97%(T-N)、95%(T-P)となっている。



図 2-19 霞ヶ浦と琵琶湖の 2020 年度以降推定負荷量と 2015 年度に対する比率

## (2) 計算結果と解説

計算開始 5 年後毎の底泥 TOC 含有量の変化予測結果を図 2-20 に示す。いずれも TOC 含有量は経年的に減少傾向を示している。その 30 年間の低下割合は、霞ヶ浦で 5～7%、琵琶湖で 1.1%であった。このように、長期間にわたり負荷量が減少することにより、底泥有機物含有量を低減する効果が期待できると考えられる。

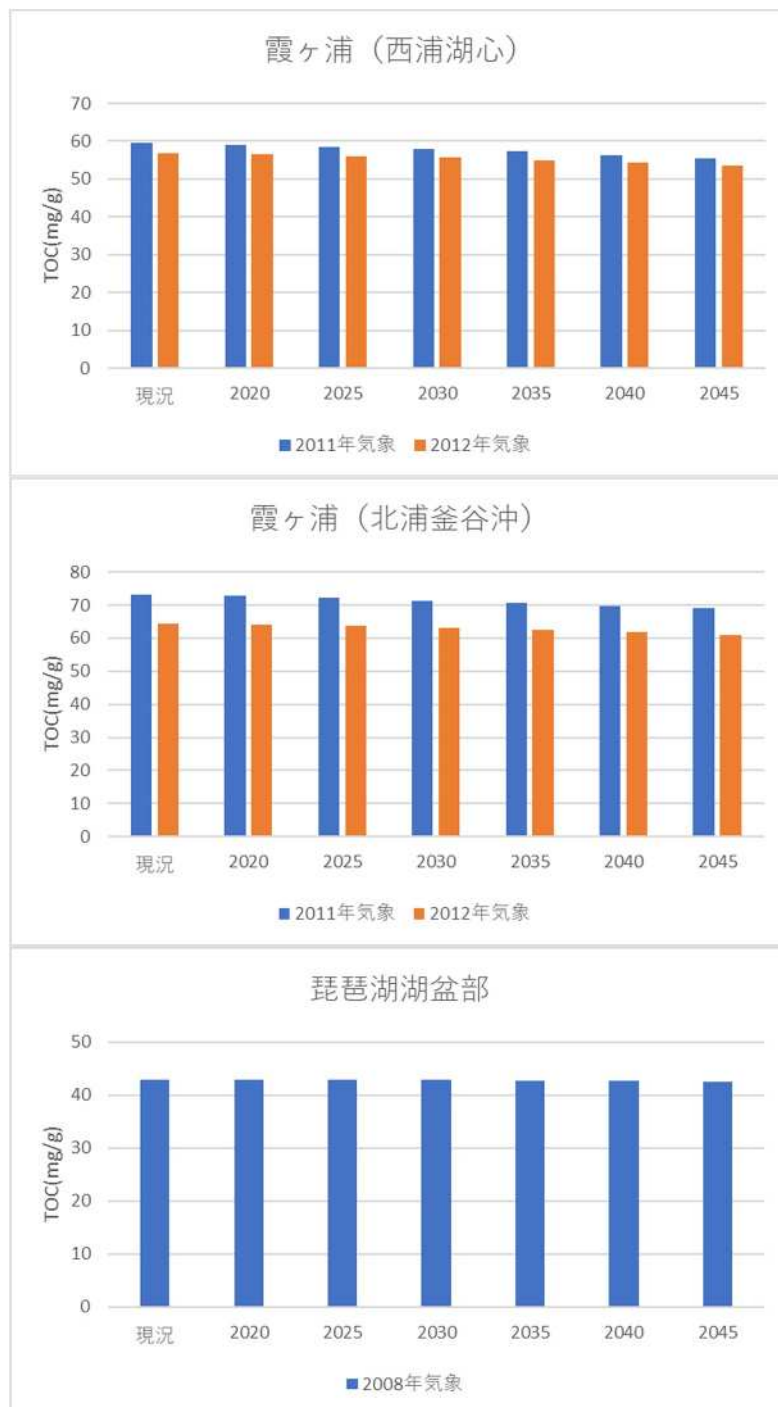


図 2-20 霞ヶ浦と琵琶湖の底泥 TOC 含有量の変化予測結果

## 6) 効果的な保全対策の検討の事例（シミュレーション結果からみた効果的な保全対策）

3)～5)のシミュレーション結果から、6つの指定湖沼について、効果的と考えられる保全対策と効果の発現に係る条件等について表 2-19 に整理した。

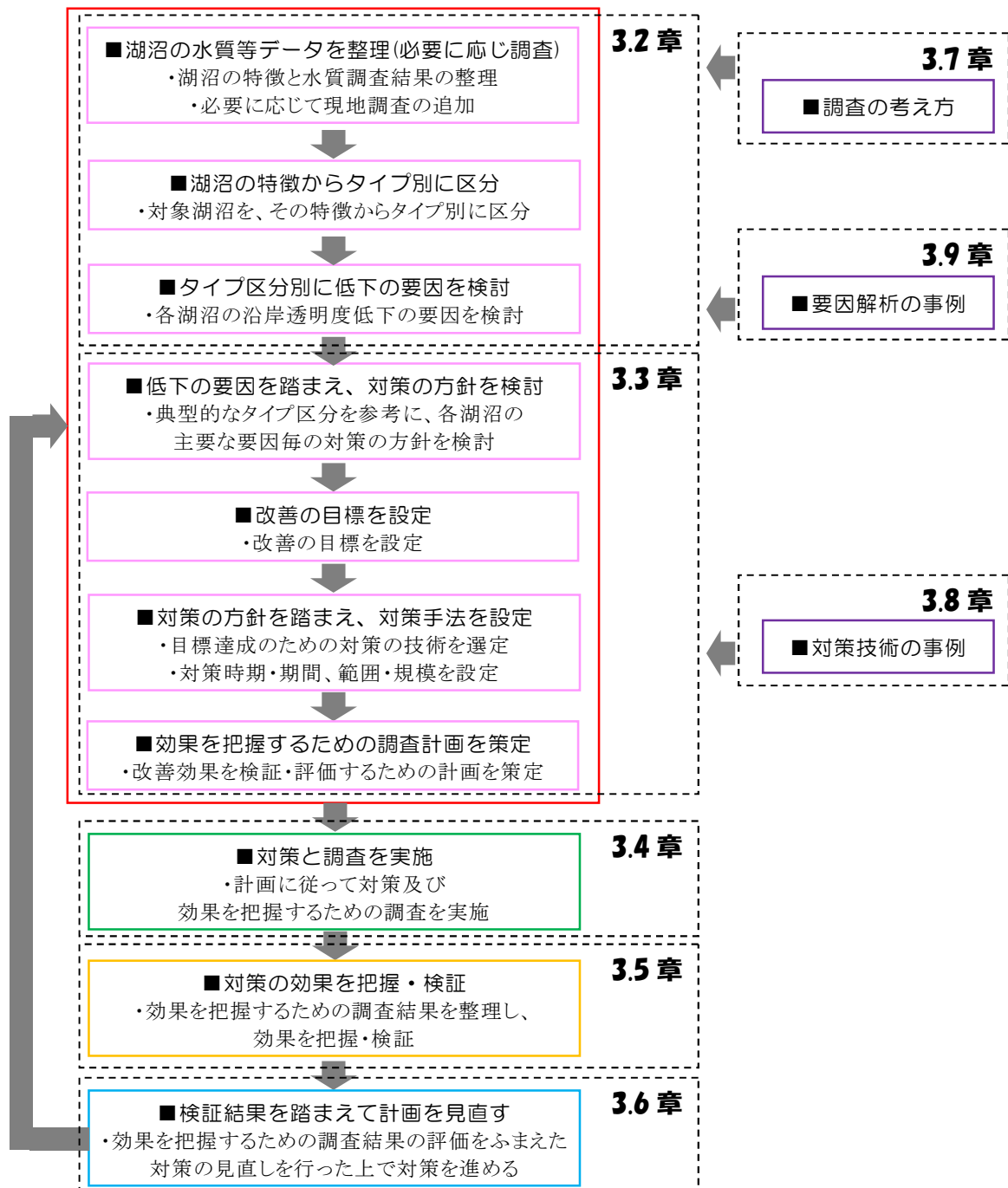
表 2-19 シミュレーション結果からみた効果的な保全対策

対策の方針	主な対策の例	計算による効果
(1)外部負荷の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特定汚染源対策（下水処理・下水処理の高度化等）、</li> <li>・非特定汚染源対策、・土砂流出抑制</li> <li>・流入河川の浄化、・内湖の整備</li> <li>・系外放流（富栄養化対策バイパス）</li> <li>・流量の増加（取水量の調整、導水等）</li> </ul>	<p>全ての湖沼において効果的であるが、削減可能な負荷量と水質・底質の状況に応じて効果の発現に差が生じる。琵琶湖では負荷量5%削減で30年後、10%削減で25年後に明確な効果がみられた。</p>
(2)内部負荷の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底質改善（浚渫、覆砂、底泥の酸化処理、耕耘、フラッシング）</li> <li>・湖水の浄化（アオコ回収、湖水のろ過、接触酸化）</li> <li>・植物プランクトン発生抑制（混合、遮光等）</li> </ul>	<p>霞ヶ浦や諏訪湖では底質改善が効果的であったが、施行の規模によっては効果が見えにくい。</p>
(3)湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流量の増加（取水量の調整、導水等）</li> <li>・湖水の混合（曝気、散気、水流発生装置等）</li> <li>・底層への酸素・空気供給（高濃度酸素水供給装置等）</li> <li>・人工的な深掘り跡の埋め戻し</li> <li>・（汽水湖では塩分調整・海水の導入）</li> </ul>	<p>釜房ダム貯水池以外の湖沼では高濃度酸素水供給の効果は局所的であった。 中海における深掘り跡の埋め戻しは貧酸素の体積や硫化水素発生リスクが低減。</p>
(4)生態系機能を活用した水質浄化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・抽水植物等による浄化とその取り上げ（ヨシ刈り）</li> <li>・二枚貝等による浄化とその取り上げ（漁獲の増加）</li> </ul>	<p>湖沼の規模と二枚貝類の量によるが、宍道湖ではシジミ生息域外においても効果がみられた。</p>
(5)水草の過剰な繁茂の抑制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水草の刈り取り</li> </ul>	<p>諏訪湖水草帯では効果的であったが、効果は局所的。</p>
(6)貯水池内での対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・湖水の混合（曝気、散気、水流発生装置等）</li> <li>・底層への酸素・空気供給（高濃度酸素水供給装置等）</li> <li>・選択取水、・流動制御フェンス</li> </ul>	<p>釜房ダム貯水池では湖水の混合、高濃度酸素水、選択取水が効果的であった。</p>

▶ 要因解析の事例の詳細については【資料集 2-XX～】を参照。

## 3. 沿岸透明度編

沿岸透明度編は 3.1～3.9 よりなる。3.1 には沿岸透明度の基礎知識を示した。3.2～3.6 には対策にかかる一連の流れを、3.7 には沿岸透明度にかかる調査の考え方、3.8 には沿岸透明度改善のための主な対策技術、3.9 には沿岸透明度改善のための要因解析の事例を示した(図 3-1)。



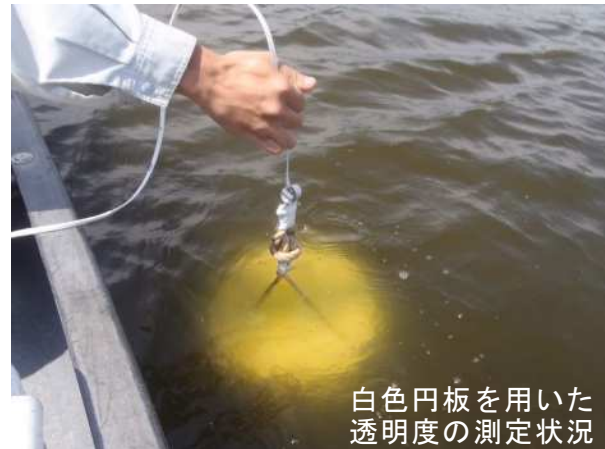
※図中“X.X章”は手引きの該当する章を示す

図 3-1 沿岸透明度の対策にかかる検討の流れ

## 3.1 沿岸透明度の基礎知識

### 1) 沿岸透明度とは

透明度は水の透明さを表す指標であり、透明度が高いほど可視光を良く透過することを示す。測定には、直径 30cm の白色円板(透明度板、セッキ円板)を用い、これを水中に沈めて見えなくなる深さと、引き上げて見え始めた深さを反復して確かめて平均し、測定結果をメートル(m)で表示する。



白色円板を用いた  
透明度の測定状況

透明度が低いことは水中光量が少ないことを示しており、水中光量の低下により沈水植物等、湖沼の水生植物の光合成が妨げられる。また、透明度が低下すると水辺空間の景観が損なわれ、水辺の親水機能が低下する。

望ましい水環境の状態を表す指標として、水生植物の生育に直接的な影響を判断できる指標、国民が直感的に理解しやすい指標、という考えから、中央環境審議会による「水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて(平成 27 年 12 月答申)」において、「沿岸透明度」は地域において設定する目標とする、との結論を得、平成 30 年 7 月には地域において沿岸透明度の目標値設定を行うための検討手順をまとめた「沿岸透明度の目標設定ガイドライン(環境省水・大気環境局水環境課)」が公開された。

指標としての名称が「沿岸透明度」であることについては、水生植物の保全・再生の観点からは沿岸に水生植物が生育することが多いこと、親水利用の場の保全の観点からは、水浴や眺望等が沖合ではなく沿岸水域を対象とすることによる。

沿岸透明度は水生植物が一定以上の水中光量を得ていることの指標となる。水生植物はそれ自体が貴重な生物である他、栄養を吸収して光合成によって湖沼中に酸素を供給する源となったり、水中の懸濁粒子を沈降させて透明度を上昇させたり、他の生物の生息・生育環境となる等の機能を有している。また、親水利用の観点からも自然探勝や水浴など一定の透明度が求められる場合、透明度の低下により利用に影響を与え、良好な水辺地を損なうおそれがある。このように、水生植物の生育の場の保全・再生、ひいては健全な水環境の保全の観点から、また良好な親水利用の場を保全する観点から、沿岸透明度に関する保全が必要である。

「沿岸透明度の目標設定ガイドライン」では、沿岸透明度の目標値を適用する範囲は、保全対象種の保全・再生すべき範囲や親水利用行為の実施範囲をもとに設定し、遊覧船等により水域全面を利用する場合も想定されることから、眺望として対岸が視認できる



規模である場合には全域での水域あてはめが想定され、規模の大きい湖沼では、沿岸から限られた水域でのあてはめも想定される。

透明度は植物プランクトンの増加や、降雨による濁質の流入、風による底質の巻き上げ等によって低下することから、時期によって変化が見られる。沿岸透明度の目標値は、水生植物の保全の観点からも、親水利用の場の保全の観点からも、沿岸透明度の年間平均値を基本とした上で、必要に応じて特定の期間における目標値の設定を検討することとされている。

なお、沿岸透明度は水生植物の生育をふまえた目標であるが、一部の湖沼においては、水生植物の過剰繁茂によって、水質だけでなく生活や漁業等に影響を及ぼす問題となっていることにも留意が必要である。

## 2) 沿岸透明度が低下する典型的な要因

湖沼の沿岸透明度の低下は、基本的には、

「要因①:湖沼中の植物プランクトンが光の透過を遮ること」、

「要因②:湖沼中のトリプトン(植物プランクトン以外の懸濁物質:土粒子等)が光の透過を遮ること」、

「要因③:湖沼中のCDOM(有色溶存有機物)が光の透過を遮ること」の3つによって引き起こされる(図 3-2)。3つの要因の組み合わせで透明度の低下が起こるが、湖沼によってはいずれかの要因の影響が大きいこともある。

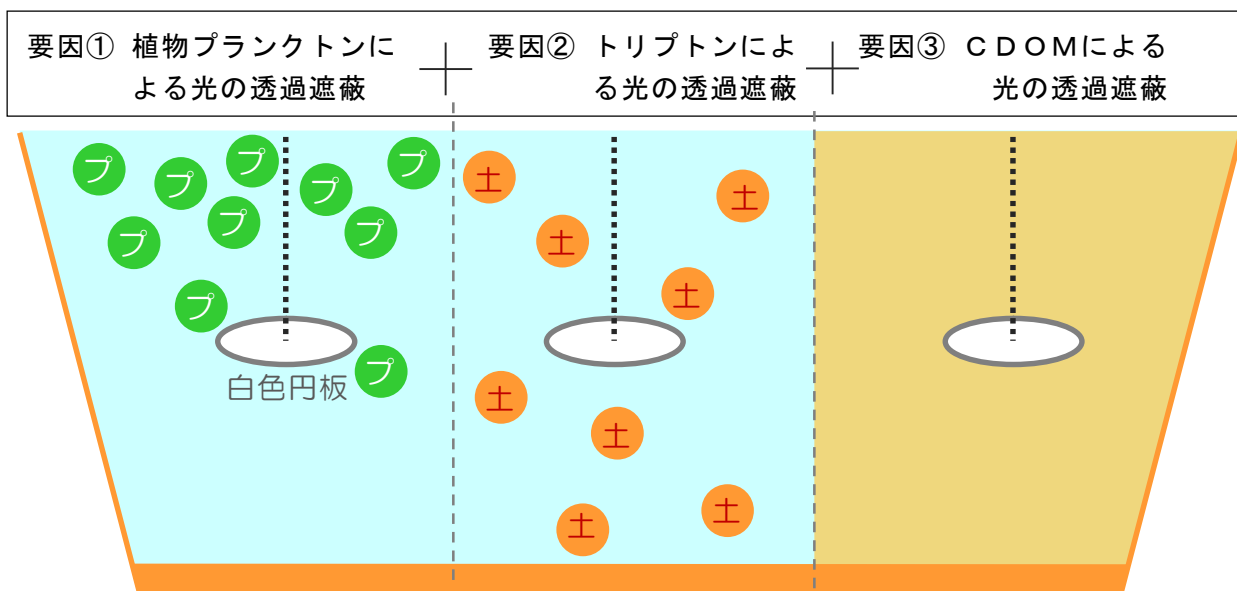


図 3-2 沿岸透明度が低下する3つの基本的な要因

要因①の植物プランクトンについては、湖沼によって様々な増加の要因があるが、典型的な要因としては、(1)河川等から流入したり、湖沼内に既に存在する豊富な窒素やリン等を栄養として、条件に合った水温・日射・滞留時間のもとで植物プランクトンが過剰に増殖したりすることがあげられる。

要因②のトリプトンについては、(1)河川等から流入する土砂や、(2)底泥の巻き上げ等があげられる。

要因③のCDOMについては、フミン物質等の溶存有機物が要因としてあげられる。主に高山や高緯度地域に多い腐植栄養湖で、腐植物質等によるCDOMが多いことに由来する。

沿岸透明度の低下は要因①、要因②、要因③の複合で生じるが、湖沼によって各要因の組み合わせや影響の大きさは様々である。主要な要因を明らかにすることが、効果的な対策の検討に結びつく。また、主要な要因が複数ある場合には、それぞれの要因に応じた対策を検討することも必要である。

仮説を立てて現況を把握し、要因分析を丁寧に行うことで主要な要因を探り出し、これに応じた適切な保全対策とともに効果を把握するための調査を実施し、その結果をふまえて仮説や要因分析を見直していくことが必要である。

### 3) 沿岸透明度の低下により生じる問題

湖沼の沿岸透明度の低下により生じる問題として、

「問題①:水生植物の生育環境悪化に伴う生態系の劣化」、

「問題②:景観が損なわれることによる親水機能の劣化」の2点があげられる(図 3-3)。

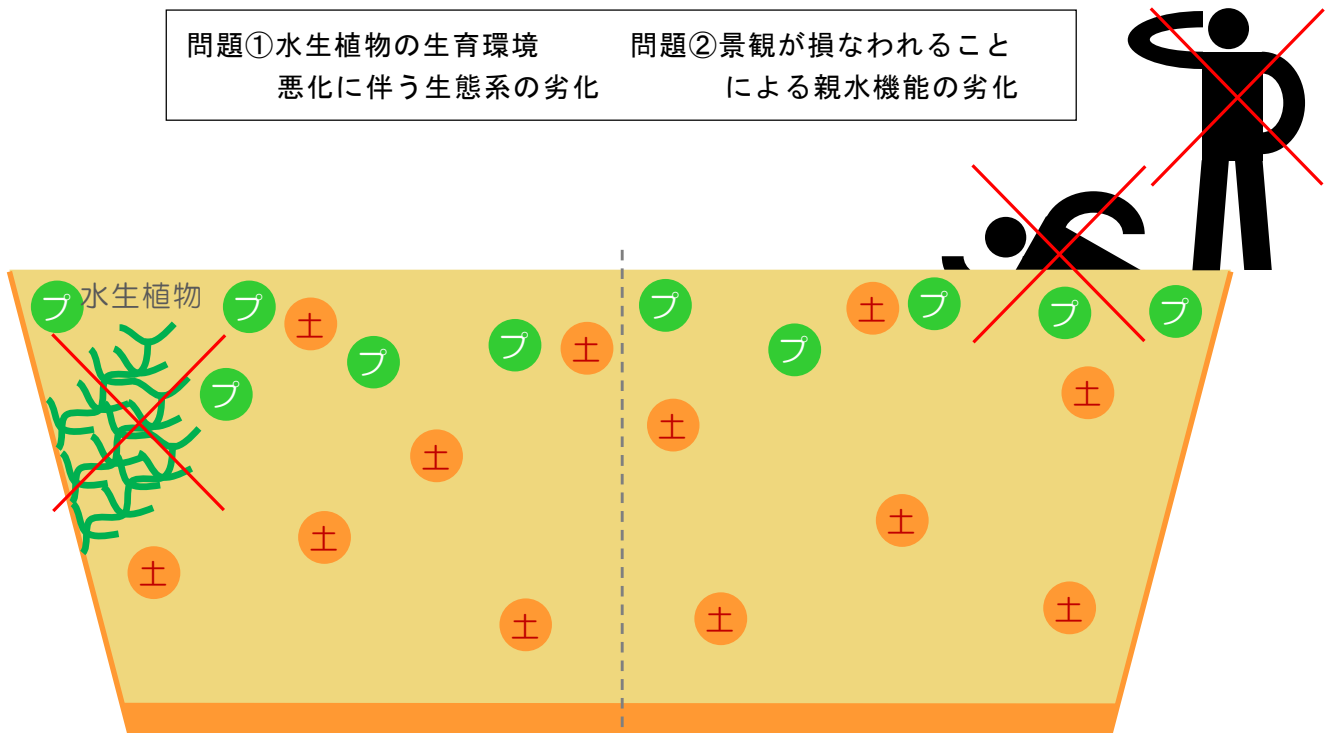


図 3-3 沿岸透明度の低下に伴う2つの基本的な問題

問題①及び問題②は、中央環境審議会による「水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて(平成 27 年 12 月答申)」において、沿岸透明度の目標設定が、水生植物の保全・再生の観点及び親水利用の場の保全の観点から維持することが望ましいとする条件に応じたものであり、環境基準とするよりもむしろ地域の合意形成により、地域にとって適切な目標(地域環境目標)を設定することが適当だとされている。

沿岸透明度の目標値の設定については、「沿岸透明度の目標設定ガイドライン(平成 30 年 7 月 環境省水・大気環境局水環境課)」に記載されている。

## トリプトンと CDOM について

### 【トリプトン】

トリプトンは、生体の植物プランクトン以外の懸濁物質を意味する(Wetzel, R. G. (2001))。

懸濁物質(SS:Suspended Solids)は、水中に懸濁している物質のことで、JIS K 0102 では、2mmのふるいを通し、1 $\mu$ mのろ過材上に残留する物質とされ、単位はmg/Lである。SSには、粘土鉱物に由来する微粒子や、動植物プランクトンとその死骸、下水等に由来する有機物や金属の沈殿物等、様々なものが含まれる。

また、懸濁物質を600 $\pm$ 25 $^{\circ}$ Cで30分間強熱したときに残留する物質を強熱残留物、この時の減少量をSSの強熱減量(VSS:Volatile Suspended Solids)といい、VSSには動植物プランクトンやバクテリア、排水中の有機物などが含まれる。

トリプトン濃度は以下の式から求められる。ただし、植物プランクトン態SSとクロロフィルa(Chl-a)は比例関係にあるとみなしている(dは係数)。

$$[\text{トリプトン}] = [\text{SS}] - [\text{植物プランクトン態 SS}] = [\text{SS}] - d[\text{Chl-a}]$$

係数dは、VSSをY軸、クロロフィルaをX軸にとった回帰式の傾きとして求められる。ただし、植物プランクトン態SS以外のVSSを定数とみなしている(eは定数)。

$$[\text{VSS}] = [\text{植物プランクトン態 SS}] + [\text{それ以外の VSS}] = d[\text{Chl-a}] + e$$

なお、無機態SS濃度(=SS-VSS)はトリプトン濃度と概ね比例関係にあると考えられる。そのため、トリプトンの推定結果の検証のために無機態SSを利用できる。



図D 本手引きで扱うトリプトンの考え方

土:土粒子、プ:植物プランクトン、金属:金属の粒子、

死プ:植物・動物プランクトンの死骸、動プ:動物プランクトン、有:有機物の粒子

### 【CDOM】

CDOM: Colored Dissolved Organic Matter (有色溶存有機物)は、水に溶存している有機物のうち、色のついたものをいう。

本手引きでは CDOM の濃度ではなく、主に CDOM によって遮られる波長 440nm の光の吸収量(吸光度)を用いている。

事前に加熱処理したガラス繊維ろ紙でろ過後、ろ液を分光光度計用セル(光路長 5cm または 1cm)に満たし、分光光度計で波長 440nm の吸光度を測定して、同波長の純水の吸光度を差し引いて補正し、以下の式により吸収係数として示した。

$$\text{吸収係数} = (\text{補正済み吸光度}) / (\text{セルの光路長})$$

溶存有機炭素(DOC:Dissolved Organic Carbon)は水中に溶存態で存在する有機炭素を示し、単位は mg/L である。DOC はろ液を全有機炭素(TOC)分析することで得られる。すべての溶存有機炭素が有色ではないが、本手引きでは CDOM の吸収係数が DOC や D-COD(溶存性 COD)の濃度に関連していると想定して、DOC や D-COD から CDOM を推定する方法も検討した。CDOM は測定していないが DOC または D-COD は測定しているという場合には、この方法を用いることができる。

CDOM 濃度が高いために透明度が低い湖沼の多くは、高緯度地域や高山などの寒冷地帯等で腐植起源の CDOM により水の色が黄褐色や褐色に色づくことがあげられる。湖沼の CDOM のほとんどはこうした自然由来であると考えられ、自然由来の場合には本手引きで対策の対象とはしない。

ただし、CDOM には、ろ紙を通過する極微細な粒子が含まれており、これらの極微細な粒子が透明度低下の主な要因となっている場合には、トリプトンが主体の湖と同様の方法で対策を行うことができる。



図 E CDOM吸収係数の高い湖沼の例(北海道 達古武湖)

## 沿岸透明度の目標の考え方

沿岸透明度の目標の考え方について、中央環境審議会による「水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて(平成27年12月答申)」では、以下のように示している。また、沿岸透明度の目標値の設定の手順については、「沿岸透明度の目標設定ガイドライン(平成30年7月 環境省水・大気環境局水環境課)」に記載されている。

### 【沿岸透明度の目標設定の基本的考え方】

#### 1) 水生植物の保全・再生

海藻草類及び沈水植物等の水生植物の生育の場の保全・再生の観点から、維持することが望ましい環境上の条件として、沿岸透明度の目標設定の検討を行った。

#### 2) 親水利用の場の保全

保全対象とする親水利用の目的として、①自然探勝に利用される水域で、自然環境保全上高い透明度が求められる場所における親水利用、②水浴、眺望などの日常的な親水行為(以下、「日常的親水」という。)の対象になる場所における親水利用、に分類した。海域及び湖沼における親水利用として勘案すべき水浴は、水浴場における水浴に限らず、水辺空間とのふれあいの観点から日常生活の中で行われる行為として広くとらえることが適当と考えられる。これらの親水利用の場の保全を目的に、維持することが望ましい環境上の条件として、沿岸透明度の目標設定の検討を行った。

### 【目標値設定の方向性】

沿岸透明度の目標値の当てはめについては、水生植物の生育の場を保全・再生する水域又は親水利用のための水質を特に確保すべき水域を対象として、それぞれの水域ごとに特定し、以下の点に留意して目標値を設定することが適当である。

- 1) 現地調査等により、各水域の現状の透明度を把握する。既存の測定点において過去から測定を行っている場合にはその測定結果も活用する。併せて測定地点における水深を測定する。
- 2) 水生植物の保全・再生の観点からの沿岸透明度については、魚介類等水生生物の生息・産卵場確保、水質浄化機能、物質循環機能の確保等の観点から保全対象種を選定し、その生育の場を保全・再生すべき水域を設定する。その上で、その水域ごとに目標水深を設定し、各地域の幅広い関係者の意見等を踏まえて、透明度の目標値を導出することを基本とする。目標水深については、水生植物の生育の場の現状又は過去の分布状況や、自然再生に係る関連計画等の状況を踏まえて目標値を設定する。
- 3) 親水利用の場の保全の観点からの透明度については、親水利用行為を踏まえて、その範囲を設定し、水域の利水状況、水深、水質などの特性、地域住民等のニーズ等に応じて目標

値を設定する。目標とする透明度は、各地域の幅広い関係者の意見等を踏まえて合意形成を図った上で、現状及び過去の当該水域の状況も考慮しつつ設定する。例えば、水域ごとの親水利用の目的に照らし、現状の透明度の維持や過去の透明度の回復なども考えられる。

- 4) 水生植物の保全の観点と親水利用の場の保全の観点について、両方が重なる範囲においては、目標値の高い方を当該範囲の目標値として設定することが望ましいが、各地域の幅広い関係者の意見等を踏まえて、適切な透明度を設定する。

目標値の設定の検討の際は、場所によっては底泥の巻き上げ等の自然的要因等により透明度が低くなることに留意する。

なお、具体的な目標値設定の手順については、図Fのような流れを想定している。

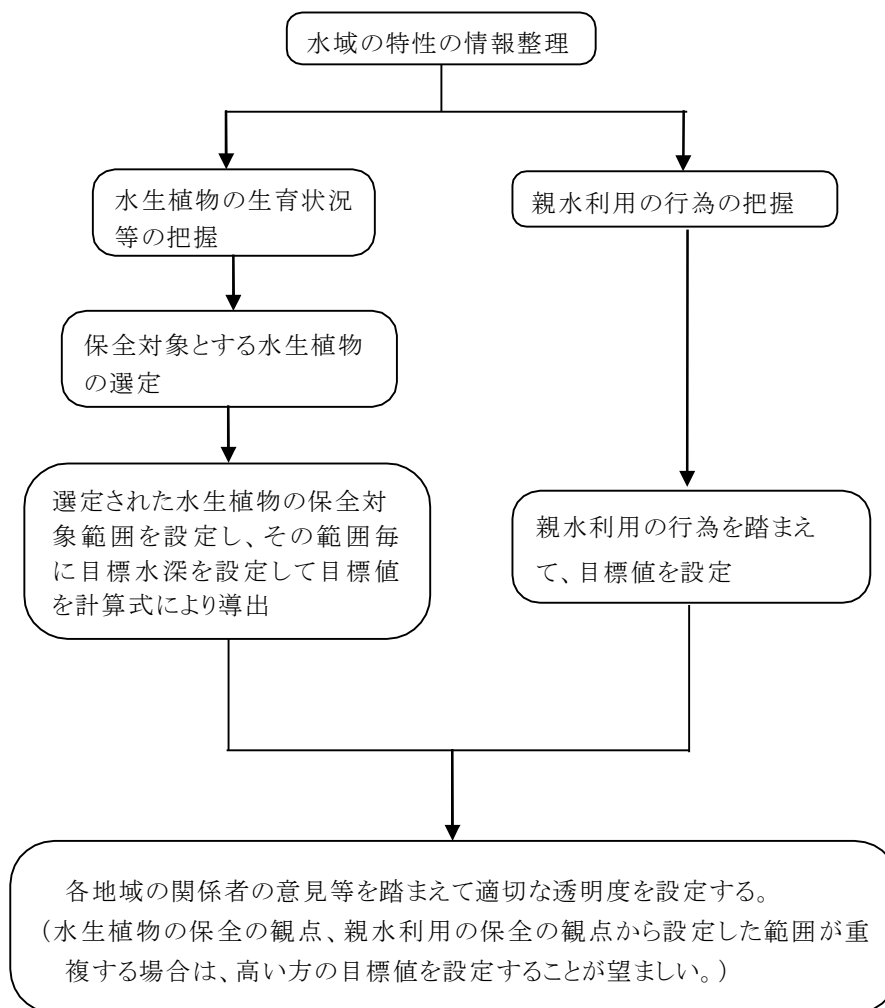


図 F 沿岸透明度の各水域における目標値設定の手順

## 3.2 沿岸透明度の現状把握と要因分析

### 1) 対象湖沼のこれまでの経緯と現況の把握

まず、対象湖沼のこれまでの経緯と現況を把握するために、湖沼の特徴と沿岸透明度に関わる水質調査の結果を整理する。

事前に想定した仮説を明らかにする形で調査結果を整理すると、対象湖沼で起こっていることを把握しやすい。

水質調査が不足しているために現状が把握できない場合、「3.7 沿岸透明度にかかる調査の考え方」を参照して適切な調査を行うことが望ましい。

沿岸透明度が低下している時期に透明度、クロロフィル a 濃度、SS、CDOM を測定することで、沿岸透明度の低下する 3 つの要因について、いずれの寄与が大きいのかを判断することができる。

過去のデータが不足している場合、環境が類似した近隣の湖沼と比較することや、過去の写真を収集したり、過去の状況を知る人に話を聞いたりする等で補完することが有効である。

### 2) 湖沼の沿岸透明度低下の要因の検討

#### (1) タイプ区分を参考にした要因の検討

「1)対象湖沼のこれまでの経緯と現況の把握」で整理された結果に基づき、沿岸透明度が低下した要因を検討する。この際、地元の知識・地元の知恵を活用することが有効であり、地域の大学や研究機関等の有識者の協力を得ることが望ましい。

沿岸透明度の低下は以下の 3 つの要因の複合であると考えられ、湖沼によって各要因の組み合わせや影響の大きさは様々である。

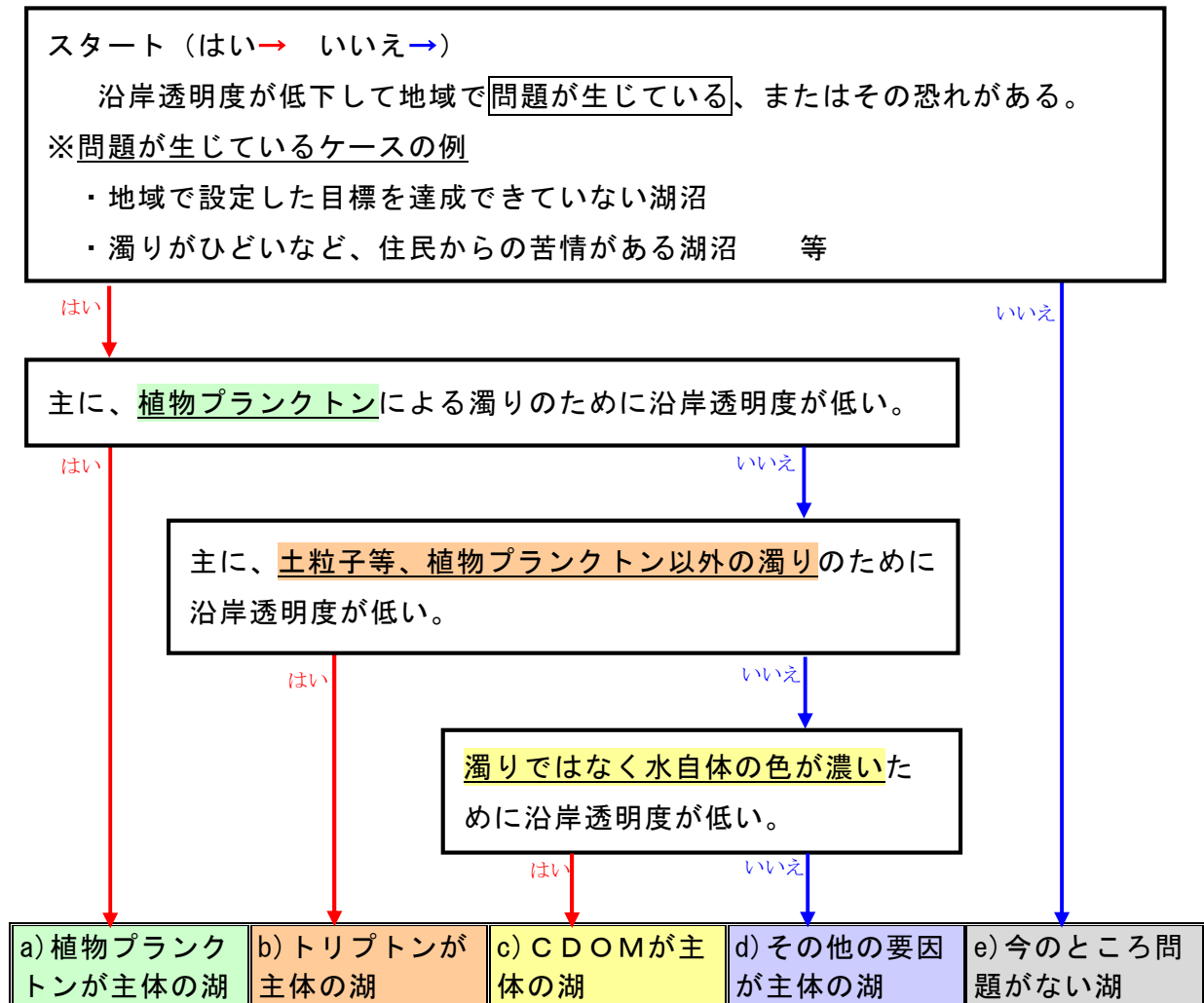
- a)植物プランクトンによる懸濁物質
- b)トリプトン(植物プランクトン以外の懸濁物質)
- c)CDOM(有色溶存有機物)

要因の対策や検討にあたって、参考にすべき湖沼を概定するために、図 3-4 のフローで「植物プランクトンが主体の湖」、「トリプトンが主体の湖」、「CDOMが主体の湖」に大きく区分することもできる。主な要因が複数あると想定される場合には、複数のタイプを参考にする。

フローで区分したタイプ毎の透明度が低下する典型的な要因を「(2)タイプ区分毎の典型的な沿岸透明度低下の要因の解説」に示しており、これらを参考に、それぞれの湖沼で沿岸透明度が低下した主な要因を検討する。



なお、フローのスタートは「沿岸透明度が低下して地域で問題が生じている、またはその恐れがある(はい・いいえ)」としている。ここで「いいえ」とした湖沼、つまり沿岸透明度が低下していない湖沼の他、低下していても、地域で設定した「地域環境目標」を達成している湖沼、水生植物や親水機能に明確な影響がみられない湖沼など、地域で問題が生じていない湖沼は、「今のところ問題がない湖」とされる。



※複合的な要因によって沿岸透明度が低下している湖沼では、複数のタイプを参考にする。

図 3-4 沿岸透明度低下にかかる特徴を明確にするためのタイプ区分フロー

沿岸透明度低下に寄与する要因については、水質調査結果を用いて重回帰モデルを構築することで検討することもできる。モデルの基本式は式 1 に、トリプトンの推定式は式 2 に示すとおり。

$$SD^{-1} = a_1 \cdot [\text{Chl-a}] + a_2 \cdot [\text{Tr}] + a_3 \cdot [\text{CDOM}] + b_1 \quad (\text{式 1})$$

SDは透明度(m)、[Chl-a]はクロロフィル a 濃度( $\mu\text{g L}^{-1}$ )、[Tr]はトリプトン濃度( $\text{mg L}^{-1}$ )、[CDOM]は CDOM の吸収係数( $\text{m}^{-1}$ )、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $b_1$  は係数

$$[\text{Tr}] = [\text{SS}] - [\text{PSS}] = [\text{SS}] - d \cdot [\text{Chl-a}] \quad (\text{式 2})$$

[SS]は SS 濃度( $\text{mg L}^{-1}$ )、[PSS]は植物プランクトン態 SS 濃度( $\text{mg L}^{-1}$ )、 $d$  は係数

なお、本資料(詳細版)の「3.9 沿岸透明度改善のための要因解析の事例」には、複数の指定湖沼において重回帰モデルを用いて透明度の低下に寄与する要因を明らかにするとともに、保全対策の定量的な評価を行った事例を示した。

また、WEB で公開している資料集(URL [http://www.env.go.jp/water/kosyou/post\\_87.html](http://www.env.go.jp/water/kosyou/post_87.html))には、より詳細なモデルの構築の事例を掲載しており、事例を参考に各湖沼の特性を反映させた重回帰モデルを構築し、寄与率を明らかにすることができる。

## (2) タイプ区分毎の典型的な沿岸透明度低下の要因の解説

沿岸透明度低下の典型的な要因を、図 3-4 で区分したタイプごとに示す。

### a) 植物プランクトンが主体の湖

湖沼内の植物プランクトンが増加したために沿岸透明度が低下したタイプである。

典型的な沿岸透明度低下の要因としては、河川等から流入したり、湖沼内に既に存在する豊富な窒素やリン等を栄養として、条件に合った水温・日射・滞留時間のもとで植物プランクトンが過剰に増殖することがあげられる。

また、競合する水生植物の減少、湖内の塩分の低下や日照条件の変化、流量(回転率・滞留時間)の変化等による植物プランクトンの増加等も考えられる。

b) **トリプトンが主体の湖**

湖沼内の土粒子等の植物プランクトン以外の懸濁物質が増加したために沿岸透明度が低下したタイプである。

典型的な沿岸透明度低下の要因としては、河川から流入する土砂や湖内の底泥の巻き上げが増えたことがあげられる。この他、土砂以外の懸濁物質の流入等も考えられる。

c) **CDOMが主体の湖**

湖沼内の有色溶存有機物(フミン物質等)が多いために沿岸透明度が低いタイプである。

典型的な沿岸透明度低下の要因としては、高緯度地域や高山などの寒冷地帯等で腐植起源の溶存有機物により水の色が黄褐色や褐色に色づくことがあげられる。

湖沼の CDOM のほとんどはこうした自然由来であると考えられ、自然由来の場合には本手引きで対策の対象とはしない。

ただし、CDOM には、ろ紙を通過する極微細な粒子が含まれている。これらの極微細な粒子が透明度低下の主な原因となっている場合には、トリプトンが主体の湖と同様の方針で対策を行うことができる。

d) **その他の要因が主体の湖**

沿岸透明度の低下の要因が、植物プランクトン、トリプトン、CDOM によらないタイプである。個別に沿岸透明度低下の要因を検討する必要がある。

e) **今のところ問題がない湖**

沿岸透明度が低下していない湖沼の他、低下していても、地域で設定した「地域環境目標」を達成している湖沼、水生植物や親水機能への影響が明確にみられない湖沼など、地域で問題が生じていない湖沼は、「今のところ問題がない湖」とされる。

### 3.3 対策の方針及び計画策定

各湖沼の沿岸透明度の低下として想定される主要な要因ごとに対策の方針を検討し、目標を定めた上で、効果を把握するための調査を含めた対策の計画を策定する。この際、地元の知識・地元の知恵を活用することが有効であり、地域の大学や研究機関等の有識者の協力を得ることが望ましい。

沿岸透明度低下の対策をなるべく的確に行うために、PDCA サイクルの考え方に基づき、調査結果を踏まえた試行錯誤を繰り返しながら対策を進めることで対策の不確実性を取り除いていくことを前提に計画を策定する。

対策の方針の検討にあたっては、湖沼や地域の特性を踏まえることとする。

#### 1) 対策の方針の検討

沿岸透明度低下の要因を踏まえて、要因を解消または緩和するための対策の方針を検討する。図 3-4 のタイプごとに典型的な対策の方針の例を以下に示す。

##### a) 植物プランクトンが主体の湖

湖沼内の植物プランクトンを減少させるための方針を検討する。

まず検討すべき方針としては、外部負荷や内部負荷に要因がある場合に、外部負荷の削減や、内部負荷の削減とする。現時点で負荷量削減が十分でない湖沼では、負荷量削減を基本的な対策として行うことが望ましい。ただし、既にこれらの対策を行っている場合には、追加の対策の効果について検討を行うこととする。内部負荷の削減の対策としては、植物プランクトン発生抑制(混合、遮光等)や、湖内の直接浄化も含まれる。

湖沼全体、または部分的に湖水の混合を促進し、水の停滞を改善する方針も考えられる。

また、他の方針と組み合わせて生態系機能を活用した水質浄化(抽水植物や二枚貝等による浄化とその取り上げ)を行う方針も考えられる。

##### b) トリプトンが主体の湖

湖沼内の土粒子等を減少させるための方針を検討する。

各湖沼で土粒子等が増えた主な要因に応じて、濁質の発生の低減や濁質の流入の低減、底泥の巻き上げの低減を方針とする。

ただし、地域特性として風が強いために常に底泥の巻き上がりが生じる等の場合には、沿岸透明度の対策を行う必要性を含めて方針を検討する。

## c) CDOM が主体の湖

湖沼の CDOM のほとんどは自然由来であると考えられ、自然由来の場合には本手引きで対策の対象とはしない。

ただし、CDOM には、ろ紙を通過する極微細な粒子が含まれている。これらの極微細な粒子が透明度低下の主な原因となっている場合には、トリプトンが主体の湖と同様の方針で対策を行うことができる。

## d) その他の要因が主体の湖

特殊な要因により沿岸透明度が低下していることから、各地の条件等を勘案して、それぞれの要因毎に対策を検討する。

## e) 今のところ問題がない湖

沿岸透明度が低下していない湖沼の他、低下していても、地域で設定した「地域環境目標」を達成している湖沼、水生植物や親水機能への影響が明確にみられない湖沼など、地域で問題が生じていない湖沼は、対策を行う必要は無いが、沿岸透明度が高い状態、または低くても地域で問題の生じていない状態が維持できるよう、基礎調査等で継続的に状況を確認することが望ましい。

表 3-1 各タイプに対応する典型的な対策の方針

タイプ	典型的な対策の方針
a)植物プランクトンが主体の湖	(1)外部負荷の削減 (2)内部負荷の削減 (3)湖水の混合の促進 (4)生態系機能を活用した水質浄化(他の方針と組み合わせる)
b)トリプトンが主体の湖	(5)濁質の発生の低減 (6)濁質の流入の低減 (7)底泥の巻き上げの低減
c)CDOM が主体の湖	(CDOM が自然由来の場合には、本手引きで対策の対象としない) (極微細な粒子が透明度低下の主な原因となっている場合には、トリプトンが主体の湖と同様の方針で対策を行うことができる)
d)その他の要因が主体の湖	(各地の条件等を勘案してそれぞれの要因毎に対策を検討する)
e)今のところ問題がない湖沼	(基礎調査等による継続的な状況の確認が望ましい)

(1)～(7)は表 3-2 の(1)～(7)に対応している。(1)～(7)は優先順位とは関係がない)

※外部負荷の削減、内部負荷の削減について、既にこれらの対策を行っている場合には追加の対策の効果について検討する。

## 2) 改善の目標の設定

沿岸透明度の改善の目標を設定する。基本的には地域の合意形成により、地域にとって適切な目標として設定された地域環境目標を用いる。沿岸透明度の目標値の設定については、「沿岸透明度の目標設定ガイドライン(平成30年7月 環境省水・大気環境局水環境課)」に記載されている。

地域環境目標を設定した以外の場所で改善を行う場合にも、地域環境目標の考え方に準じて適切な透明度を設定することが望ましい。

段階的に改善していく場合には、短期的目標、中長期的目標等に分けて設定してもよい。

## 3) 対策手法の設定

### (1) 対策技術の選定

対策の方針に対応する代表的な対策技術を表 3-2 に示す。また、それぞれの対策手法の概要を「3.8 沿岸透明度改善のための主な対策技術」に示す。

「3.9 沿岸透明度改善のための要因解析の事例」では、5つの指定湖沼で植物プランクトン対策やトリプトン対策を行った場合の沿岸透明度の改善の状況を計算で示した。

これらを参考に、目標を達成するために採用する具体的な対策技術を選定する。選定にあたっては、湖沼や地域の特性、改善の目標、対策にかかる費用をふまえることとし、対策技術の適用で、副次的な望まない影響が生じる可能性もあることにも留意する。

費用の参考として、ETV事業等の費用を資料集に記載した。

表 3-2 対策の方針に対応する主な対策の例

タイプ	対策の方針	主な対策の例
植物プランクトンが主体の湖	(1)外部負荷の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特定汚染源対策(下水処理・下水処理の高度化等)</li> <li>・非特定汚染源対策</li> <li>・土砂流出抑制</li> <li>・流入河川の浄化</li> <li>・内湖の整備</li> <li>・系外放流(富栄養化対策バイパス)</li> <li>・流量の増加(取水量の調整、導水等)</li> </ul>
	(2)内部負荷の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底質改善(浚渫、覆砂、底泥の酸化処理、耕耘、フラッシング)</li> <li>・湖水の浄化(アオコ回収、湖水のろ過、接触酸化)</li> <li>・植物プランクトン発生抑制(混合、遮光等)</li> </ul>
	(3)湖水の混合の促進	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流量の増加(取水量の調整、導水等)</li> <li>・湖水の混合(曝気、散気、水流発生装置等)</li> <li>・人工的な深掘り跡の埋め戻し</li> <li>・(汽水湖では塩分調整・海水の導入)</li> </ul>
	(4)生態系機能を活用した水質浄化 (他の方針と組み合わせる)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・抽水植物等による浄化とその取り上げ(ヨシ刈り)</li> <li>・二枚貝等による浄化とその取り上げ(漁獲の増加)</li> </ul>
トリプトンが主体の湖	(5)濁質の発生の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・都市地域の堆積負荷の除去</li> <li>・農業地域の土壌の流出防止、水田の用排水の適正管理、農業用排水路対策</li> <li>・森林地域の森林の適正管理、水土保持対策</li> </ul>
	(6)濁質の流入の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土砂流入防止フェンス</li> <li>・流入河川の浄化</li> <li>・内湖の整備(貯砂ダム等)</li> <li>・土砂バイパス</li> </ul>
	(7)底泥の巻き上げの低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底質改善(浚渫、覆砂)</li> <li>・フラッシング</li> </ul>

※(1)～(7)の番号や対策技術の記載順は優先順位とは関係がない

## (2) 対策時期・期間

対策を実施する時期・期間を設定する。対策を実施する時期や期間は地域特性や対策技術の特性によって異なることから、効率的に対策の効果が得られる時期・期間を設定する。対策技術によっては効果がすぐには現れず、長期的に対策を継続することで効果が発現するものや、逆に短期的には効果がみられるが、長期的には効果が薄れていくものなど様々であることをふまえて、対策に要する期間を検討する。短期(例えば5年以内)、中期(5年～10年)、長期(10年以上)等で設定しても良い。

新たな対策手法の採用当初には、小規模に対策を実施するとともに予備的な調査を行い、この結果を踏まえて本格的な対策を実施する時期や期間を設定することもできる。

## (3) 対策範囲・規模

地域特性及び対策技術の特性に応じて、保全が必要な範囲に効率的に対策の効果が得られるように、対策を実施する範囲・規模を適切に設定する。

新たな対策手法の採用当初には、小規模に対策を実施するとともに予備的な調査を行い、この結果を踏まえて本格的な対策を実施する範囲や規模を設定することもできる。

## 4) 効果を把握するための調査の計画

対策を受けた沿岸透明度や関連する項目の回復の程度・状況を確認し、改善効果を検証・評価するために効果を把握するための調査計画を策定する。

公共用水域の水質調査をはじめとする基礎調査では、水域の評価を行うために、水域を代表させる地点で長期的に調査を行うものであるが、これに対して効果を把握するための調査は対策の効果を評価し、必要に応じて対策の見直しを行うことが目的であるため、頻度や地点等をより細やかにすることで効果を把握しやすいと考えられる。

なお、調査結果については気象条件や人為の影響等想定以外の影響を受け得ることに留意して調査中の状況を適切に把握できるよう努めることが望ましい。

また、対策によって副次的な望まない影響が生じることが想定される場合には、必要に応じて想定される影響を含めて調査を行う。

### (1) 調査結果の評価方法

効果を把握するための調査結果を評価する方法を設定する。

改善の目標に照らし合わせることによって、目標を達成したかどうかを評価することを基本とし、この他、かかった費用や労力、使用した材料といったコストに対し、どれだけの改善効果が得られたかという評価方法も考えられる。



評価の時期は、達成期間の終了時を基本とし、段階的な改善の場合には段階ごとの評価や中間評価等を適宜行ってもよい。

## (2) 効果の把握・検証手法

効果を把握・検証する方法を設定する。

評価方法の設定状況によるが、例えば対策実施前と実施中、実施後の比較や、効果の現れやすい地点と対照地点との比較を行うことで、対策による改善の効果を把握・検証する。また、対策の持続効果を把握するためには、対策実施時期を含む時系列の整理が有効である。

改善効果の把握・検証方法を設定した上で調査手法を検討することで、より有効な調査計画が立案できる。

## (3) 効果を把握するための調査の項目

沿岸透明度の他、必要に応じて対策の方針・対策技術に照らし合わせて改善効果を判定するのに適した項目を設定する。

調査の項目については、実態や要因を把握するために行った調査と同様の項目になると考えられるが、必要に応じて修正する。「3.7 沿岸透明度にかかる調査の考え方」を参考にしてもよい。

非特定汚染源対策や底質改善等、長期的な効果を期待する対策については、短期的な効果は見えづらく、明瞭にはわかりづらいことに留意し、沿岸透明度以外にも改善が期待できる項目を選定することが望ましい。

## (4) 効果を把握するための調査の時期・頻度

調査時期・頻度を設定する。

各地域で沿岸透明度の低下が最も問題となりやすい時期を含めて調査を行うこととする。

対策実施前、実施中、実施後を基本とする。対策実施前から同じ手法で調査を行うことで、対策による効果を評価しやすくなる。実態や要因を把握するための調査と同じ手法で調査を行っている場合には、これらを対策実施前の調査と位置づけてもよい。

アオコ回収等、短期的な効果が見込める対策については、高い頻度で調査を行い、その評価を速やかに対策の見直しに結びつけることが望ましい。

非特定汚染源対策や底質改善等、長期的な効果を期待する対策については、短期的な効果は見えづらく、明瞭にはわかりづらいことに留意し、定期的・長期的な調査を行うことが望ましい。

### (5) 効果を把握するための調査の範囲・地点

調査範囲・地点を設定する。

保全が必要な範囲に効果が得られるように対策を実施することから、保全が必要な範囲のうち対策の実施により効果の現れやすい地点で実施することを基本とする。また、対照地点を設けて両者を比較することで、対策による効果を評価しやすくなる。効果の現れやすい地点として、公共用水域の水質調査等の調査地点を利用することも考えられる(公共用水域の水質調査の調査地点で効果が現れやすいように対策を行った場合)。

## 3.4 対策と調査の実施

「3.2 沿岸透明度の現状把握と要因分析」で検討した要因を反映し、「3.3 対策の方針及び計画策定」で策定した計画に従って、各湖沼で選定した対策及び効果を把握するための調査を実施する。

### 3.5 調査による効果の把握・検証

策定した計画に従って、調査結果を整理し、効果を把握・検証する。

改善の効果が充分に見られた場合には、対策の計画が妥当であったと考えられる。

改善の効果が充分に見られなかった場合には、対策の計画について不適當であった部分を考察し、計画の見直し(3.6 検証結果を踏まえた計画の見直し)に反映させる。

なお、調査結果については、対策による効果以外に、気候や人為の影響等、想定以外の影響を受け得ることに留意して検討を行う必要がある。

また、策定した計画に従って適切な時期に効果を把握するための調査結果の評価を行う。

対策によって副次的な望まない影響が生じることが想定される場合には、必要に応じて想定される影響を含めて評価する。

## 3.6 検証結果を踏まえた計画の見直し

「3.5 調査による効果の把握・検証」で行った効果の把握・検証の結果を踏まえて計画の見直しを行い、その上で対策を進める。

対策の計画が妥当であった部分については引き続き対策を進め、必要に応じて改善の範囲や規模を拡大させる。

対策の計画が不適当な部分については、以下の通り様々な段階での見直しが想定される。なぜ対策がうまくいかなかったのか、原因として技術的な問題、対策期間の不足、評価手法との不整合など様々な要因が考えられることから、想定される要因を検証する。この際、地元の知識・地元の知恵を活用することが有効であり、地域の大学や研究機関等の有識者の協力を得ることが望ましい。

これらの見直しを反映させた対策の計画を策定し、PDCAサイクルに則って継続的に対策を行うことで、それぞれの湖沼で対策の妥当性が向上し、効果的、効率的な沿岸透明度の改善が期待できる。

### 1) 改善手法が不適当な場合

改善技術は適切と考えられるが、改善手法の規模や実施時期が不適当と評価された場合には、これを見直し、適切な改善手法に修正する。

### 2) 対策技術が不適当な場合

改善効果があまりみられないなどで、選定した対策技術が不適当と評価された場合には、適切な対策技術に修正する。

### 3) 対策の方針が不適当な場合

全く改善効果がみられない、または悪化するような場合には対策の方針が不適当である可能性があるため、方針の見直しを行う。

### 4) 要因の検討が不適当な場合

効果を把握するための調査を進める上で、要因の検討が不適当と考えられる場合には、適切な要因の検討に立ち戻って見直しを行う。

## 3.7 沿岸透明度にかかる調査の考え方

対象湖沼で想定される課題に関連した現状の水質等データが不足し、要因の検討が困難な場合には、追加で調査を行うことが有効である。調査の考え方を以下に示す。

なお、ここでは一般的な考え方について整理しており、地域及び湖沼の特性に応じて適切に修正することで実態に即した要因の検討を行うことができる。

### 3.7.1 調査目的の考え方

調査には、目的に応じて以下に示す 3 種類の調査がある。本節では、「(2)問題を把握するための調査」について詳述し、「(1)基礎調査」、「(3)対策の効果を把握するための調査」については概略について触れることとする。

- (1)基礎調査
- (2)問題を把握するための調査
- (3)対策の効果を把握するための調査

#### (1) 基礎調査

沿岸透明度等、特定の問題が発生している項目に着目するわけではなく、それぞれの湖沼の一般的な状況を把握するために実施する調査である。

湖沼の状況を把握できるような地点と必要な調査項目を定めて、定期的・継続的に調査を行うもので、季節的(成層期と循環期)、経年的な変化を把握することも重要である。

この手引きでは詳述しないが、公共用水域の水質の測定等が参考になる。

なお、これまでに水質調査があまり、または全く行われておらず、データが揃っていないために問題が顕在化していないと考えられる湖沼では、必要に応じて、季節変化を踏まえてまずは 1 年間程度の基礎調査を行い、状況を把握することが望ましい。その上で、沿岸透明度の低下が問題になるようであれば、要因を把握するための調査を行うこととする。

ただし、これまでに水質調査があまり、または全く行われていない湖沼で、沿岸透明度の低下によると考えられる問題が現に生じており、対策を要する場合には、基礎調査とあわせて問題を把握するための調査を行うことが望ましい。

▶ 基礎調査については公共用水域の調査方法等を参考に計画・実施する。

## (2) 問題を把握するための調査

沿岸透明度の低下など、問題が顕在化したときに行う、その実態及び要因を把握するための調査である。

沿岸透明度の実態を把握するためには、いつ、どこで、どのような条件の下で、どの程度の沿岸透明度の低下が生じているのかを調査する。

また、沿岸透明度の低下に係る要因については、湖沼の特徴等を基に仮説を立て、仮説を検証できるような調査を実施する。

「3.7.2 問題を把握するための調査について」以降では問題を把握するための調査について取り上げる。

## (3) 対策の効果把握するための調査

水質保全対策を受けた沿岸透明度や関連する項目の回復の程度・状況を確認し、改善効果を評価するために実施する調査である。

水質保全対策の評価を目的としていることから、効果を把握できるように項目、時期、地点等を選定する。

対策の効果把握するための調査の解説は「3.3 対策の方針及び計画策定」に記載した。



対策の効果把握するための調査については 3.3 対策の方針及び計画策定  
4) 効果を把握するための調査の計画(P3-18～)を参照。

## 3.7.2 問題を把握するための調査について

### (1) 調査手法

「問題を把握するための調査」の調査手法の考え方を以下に示す。これらの考え方を参考に、各湖沼で必要に応じて調査時期・頻度、地点・範囲を設定する。

#### a) 調査時期・頻度

沿岸透明度の低下が生じている時期を中心とし、比較・対照のため問題が生じていない時期にも設定する。

沿岸透明度の低下やその要因となる現象をとらえるため、例えば季節変動を伴う場合には月 1 回、夏季に集中して起こる場合には夏季に高頻度とする等、状況を適切に把握できるように調査時期・頻度を設定する。

#### b) 調査地点・範囲

沿岸透明度の低下が生じている範囲において、その範囲を代表する地点を設定する。また、比較・対照のため問題が生じていない範囲にも調査地点を設定する。

沿岸透明度の低下が生じている範囲と、原因と想定される現象が生じている範囲が異なる場合には、原因と想定される現象が生じている範囲においても調査地点を設定する。

また、底質を採取する場合には、採取位置のわずかな違いで底泥のたまり方が異なる可能性があるため、1 地点として複数回採取して混合するなど、調査地点を代表する底質を採取するよう努める。さらに底質の鉛直方向の変化が大きい場合には採取深度によるサンプリング誤差が大きくなるため、どの深さまでを採取するか予備調査等により決定し、適切な採取方法を用いることが望ましい。

### (2) 調査項目

「問題を把握するための調査」の調査項目の考え方を以下に示す。これらの調査項目を参考に、各湖沼で必要に応じて調査項目を設定する。

なお、「3.7.2 問題を把握するための調査について」において、事例として6つの指定湖沼で要因解析や水質保全対策にかかる定量的な検討内容を示している。全国の湖沼で同様の検討を行う場合に必要なパラメータ等は資料集

(URL [http://www.env.go.jp/water/kosyou/post\\_87.html](http://www.env.go.jp/water/kosyou/post_87.html))に掲載した。

## a) 沿岸透明度及び想定される課題にかかる調査項目

①沿岸透明度

沿岸透明度の低下の実態を把握する。

測定方法は『沿岸透明度の目標設定ガイドライン』に従い、直径 30cm の白色円板(透明度板、セッキ円板)を静かに水中に沈めて見えなくなる深さと、ゆっくり引き上げて見え始めた深さを反復して確かめて平均し、測定結果をメートル(m)で表示する。

湖内の水質・底質の状況の他、想定される沿岸透明度を低下させる要因を把握する調査と同時に測定する。

②湖内の水質・底質の状況（内部負荷の状況）

各湖沼で沿岸透明度の挙動に関連すると考えられる水質・底質の状況を調査する。

一般的な水質の項目として、水温、pH、EC、塩分、COD、SS、亜硝酸、硝酸、リン酸、硫化水素、全窒素、全リン等がある。なお有機物の指標として、間接的な指標である COD に加え、有機物そのものの指標である全有機炭素濃度(TOC)を測定することも考えられる。

底質調査の項目としては、粒度分布、比重、水分、色、臭気、pH、ORP、強熱減量、TOC、COD、全窒素、全リン、硫化物等がある。また、底質からの溶出が懸念されている場合には底泥溶出速度実験が有効である。

「底質調査方法(平成 24 年 8 月 環境省水・大気環境局)」や「底質に関わる技術資料(平成 21 年 3 月 湖沼技術研究会底質ワーキング)」が参考となる。

③流入水の水質（外部負荷の状況）

流域から流入する外部負荷の影響が大きいと考えられる場合には、外部負荷量の状況を調査する。

懸濁物質、有機物及び栄養塩類について、河川流量×河川水質濃度により流域ごとの負荷量を算出することで、外部負荷の現況を明らかにすることができる。また、原単位法を用いた負荷量推定を行うことで負荷源ごとに負荷量を検討できるので、対策の検討に有効である。

「環境工学公式・モデル・数値集(平成 16 年 6 月 土木学会)」、「湖沼における水理・水質管理の技術(平成 19 年 3 月 湖沼技術研究会)」、「水質総量削減制度導入指針(平成 23 年 3 月 環境省)」、「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン(第二版)(平成 26 年 12 月 環境省水・大気環境局 水環境課)」が参考になる。



#### ④植物プランクトン

植物プランクトンの繁茂により沿岸透明度の低下が生じていると考えられる場合には、植物プランクトンの状況を把握する調査を行う。

湖水中の植物プランクトンのクロロフィル a 濃度を測定する方法等がある。

また、アオコの発生する時期・場所においては、日常的に広範囲の状況を把握するために目視による水面の観察を主体とした、国立環境研究所による「見た目アオコ指標 (<https://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/pdf/972215-1.pdf>)」による調査も有効である。

「地球環境調査計測事典第2巻陸域編②(平成15年3月 竹内均監修)」、「平成28年度版河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル【ダム湖版】V動植物プランクトン調査編(国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 平成28年12月一部改訂)」が参考になる。

#### ⑤流出入水量・滞留時間

流出・流入する水量を算定し、それらを湖沼の容積で割ることで滞留時間の算定が可能となる。滞留時間は植物プランクトンの発生状況に影響する重要な変数であるため、把握することが望ましい。

「平成20年度窒素・磷排水規制対象湖沼調査 入力要領(環境省 水・大気環境局水環境課)」が参考になる。

#### ⑥トリプトン

土粒子等、トリプトンの増加により沿岸透明度の低下が生じていると考えられる場合には、トリプトンの状況を把握する調査を行う。

本手引きでは水中の懸濁物質(SS)から、懸濁物質の強熱減量(VSS)、クロロフィル a 量の観測値を利用し、トリプトンの推定式を作って検討を行った。なお、SSからVSSを除いた分をトリプトンとみなして検討することもできる。

トリプトンの河川等からの流入や、風波に伴う巻き上げ等、問題と考えられる状況を把握できる調査を実施する。

#### ⑦CDOM

湖沼の特徴として自然の腐植物質による CDOM(有色溶存有機物)が多いために沿岸透明度が低い場合には、CDOMについては本手引きの対策の対象とはしない。

本手引きでは、CDOMの濃度ではなく、主に CDOM によって遮られる波長 440nm の光の吸収量(吸光度)を用いている。

事前に加熱処理したガラス繊維ろ紙でろ過後、ろ液を分光光度計用セル(光路長

5cm または 1cm) に満たし、分光光度計で波長 440nm の吸光度を測定して、同波長の純水の吸光度を差し引いて補正し、以下の式により吸収係数として示した。なお、使用するガラス繊維ろ紙の孔径の違いによって CDOM の値に違いが出ることもあるので注意が必要である。

$$\text{吸収係数} = (\text{補正済み吸光度}) / (\text{セルの光路長})$$

また、本手引き(詳細版)では CDOM の吸収係数が DOC (溶存有機炭素) や D-COD (溶存性 COD) の濃度に関連していると想定して、DOC や D-COD から CDOM を推定する方法も検討した。CDOM は測定していないが DOC や D-COD は測定しているという場合には、この方法を用いることができる。DOC はろ液を TOC 分析することで、D-COD はろ液を COD 分析することで得られる。

#### b) その他地域や湖沼の特性に応じて追加する調査項目

その他、地域や湖沼の特性に応じて必要な調査項目を追加する。例えば、目標設定の際に考慮した各地域に生育する沈水植物の生育状況や、親水利用の状況等が挙げられる。

### (3) 調査結果の検討の考え方

「問題を把握するための調査」の目的に従い、沿岸透明度の低下の実態とその要因を把握できるよう、結果を整理し、検討を行う。

沿岸透明度の低下の実態として、いつ、どこで、どのような条件の下で、どの程度の沿岸透明度の低下が生じているのかを示す。

また、沿岸透明度の低下に係る要因については、沿岸透明度低下時に特異的に確認された、または関連づけて確認された現象等を踏まえて、仮説を検証する形で沿岸透明度の低下の要因を推定する。

なお、調査結果については、対策による効果以外に、気象条件や人為の影響等、想定以外の影響を受け得ることに留意して検討を行う必要がある。

### 3.8 沿岸透明度改善のための主な対策技術

#### 1) 対策の基本的な考え方

沿岸透明度の改善のための主な対策について、植物プランクトンの対策である(1)外部負荷の削減、(2)内部負荷の削減、(3)湖水の混合の促進、(4)生態系機能を活用した水質浄化、トリプトンの対策である(5)濁水の発生の低減、(6)濁水の流入の低減、(7)底泥の巻き上げの低減、の7つに分類して整理を行った。

なお、CDOM には、ろ紙を通過する極微細な粒子が含まれている。これらの極微細な粒子が透明度低下の主な原因となっている場合には、トリプトンが主体の湖と同様の方針で対策を行うことができる。

#### (1) 外部負荷の削減 a) 植物プランクトンが主体の湖

流域からの流入による外部負荷を削減することで植物プランクトンの増殖を抑える方針である。外部負荷の削減は湖沼の水質保全対策の基本的な方針である。ただし、既にこれらの対策を行っている場合には、追加の対策の効果について検討を行うこととする。

負荷の発生源には、生活排水、工場・事業場排水等、排出源を特定しやすい特定汚染源負荷と、市街地、農地、森林等からの流出水といった排出源を特定しづらい非特定汚染源負荷に分けられる。各地で下水道の整備が進んだために特定汚染源負荷は減少しており、平成 17 年 6 月の湖沼法改正で非特定汚染源負荷対策の強化が明記された。

表 3-3(1) 外部負荷の削減にかかる主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
特定汚染源負荷対策	処理施設の整備等により特定の排出源からの汚濁負荷を低減させる。	下水処理、下水処理の高度化等
非特定汚染源対策※	排出ポイントを特定しづらい面的な広がりを持つ地域から発生する負荷を地域特性に応じた対策で低減させる。	路面の清掃、施肥量の適正化、森林管理等
土砂流出抑制	被覆や防風により降雨や風食による土砂の流出を抑制する。	土壌表面の被覆、防風対策
流入河川の浄化	湖沼に流入する河川の中で汚濁負荷を除去し、湖沼に流入する負荷を低減させる。	吸着法、土壌処理法、植生浄化法
内湖の整備	流入河川流入部等に設けた小さな湖沼や池で懸濁態の負荷を沈降させ、湖沼に流入する負荷を低減させる。	内湖・貯砂ダムの整備

表 3-3(2) 外部負荷の削減にかかる主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
系外放流	湖沼内に流入していた排水等を、湖沼を迂回して下流河川等に放流することで湖沼に流入する負荷を低減させる。	富栄養化対策バイパス
流量の増加	流入河川の流量の増加により湖沼に流入する負荷を希釈する。回転率の増加により植物プランクトンの生産を減少させる。	取水量の調整、導水等

※詳細については、「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン(第二版)(平成 26 年 12 月 環境省水・大気環境局水環境課)」を参照。

## (2) 内部負荷の削減 a) 植物プランクトンが主体の湖

湖沼内部で発生する負荷を削減することで、植物プランクトンの増殖を抑える方針である。外部負荷と同様、内部負荷の削減は湖沼の水質保全対策の基本的な方針である。ただし、既にこれらの対策を行っている場合には、追加の対策の効果について検討を行うこととする。

主要な内部負荷は、湖沼内での植物プランクトンの増加と、既に湖沼内に蓄積している底泥からの溶出であるため、植物プランクトンの増加を抑えることは内部負荷の削減と同時に、直接沿岸透明度の向上にも寄与することとなる。

表 3-4 内部負荷の削減にかかる主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
底質改善	湖沼の底質を改善することで、底泥から水中への栄養塩の溶出を抑制する。	浚渫、覆砂、底泥の酸化処理、耕耘、フラッシング
湖水の浄化	湖水のろ過や接触酸化等により、湖水の有機物や栄養塩を取り上げる。	アオコ回収、湖水のろ過、接触酸化等
植物プランクトン発生抑制	水温、日射、滞留時間等の主に栄養塩以外の植物プランクトンが増殖する条件を変更して植物プランクトンの発生を抑制する。	混合、遮光等

**(3) 湖水の混合の促進** a) 植物プランクトンが主体の湖

湖水の混合により植物プランクトンの生育条件を変化させ、発生を抑制する方針である。また、人工的な深掘り跡の埋め戻しでは栄養塩の溶出を抑えることとしている。

表 3-5 湖水の混合の促進にかかる主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
流量の増加	流量の増加により回転率を増加させ、植物プランクトンの生産を減少させる。	取水量の調整、導水等
湖水の混合	底層と表層の水を混ぜ、植物プランクトンが表層に留まる時間を減少させることで植物プランクトンの生産を減少させる。	曝気、散気、水流発生装置等
人工的な深掘り跡の埋め戻し	人工的な深掘り跡等で湖水が滞留し、貧酸素化・栄養塩が溶出している場合、深掘り跡を埋め戻すことで混合を促進し、栄養塩の溶出を抑える。	深掘り跡の埋め戻し
(汽水湖では)塩分調整・海水の導入	流入する塩分の調整や、海水の導入を行うことで、湖内の塩分成層を解消または緩和させ、湖水の混合を促進させることで滞留時間を減少させ、植物プランクトンの生産を減少させる。また、塩分の変化により狙いの植物プランクトンの生育環境を損なわせる。(環境を大きく改変するため、十分な議論が必要。)	塩分調整、海水の導入

**(4) 生態系機能を活用した水質浄化（他の方針と組み合わせて）** a) 植物プ

## ランクトンが主体の湖

植物が栄養塩を吸収したり、二枚貝が植物プランクトンを接餌したりするといった、生態系機能を活用した水質浄化によって外部負荷や内部負荷を削減し、植物プランクトンの増殖を抑える方針である。

これらの対策には、維持管理が不可欠であることや、取組を行ったことにより湖沼全体の水質が浄化されるというものではないことに留意が必要である。水質浄化だけでなく、生態系の再生・保全、資源活用、人と自然の触れ合いの場の提供といった点にも着目し、長期的な視野で持続的に進めていくことが重要であり、湖沼全体の水質保全を見据えるには、他の方針の対策と組み合わせることが前提となる。

表 3-6 生態系機能を活用した水質浄化にかかる主な対策※

主な対策	対策の原理	適用技術例
抽水植物等による浄化とその取り上げ	抽水植物等が栄養塩を吸収して生長したあとに刈り取りによって湖沼から取り上げることで外部負荷または内部負荷を低減し、植物プランクトンの増殖を抑える。	ヨシ刈り
二枚貝等による浄化とその取り上げ	二枚貝等が植物プランクトンを接餌して成長したあとに漁獲によって湖沼から取り上げることで植物プランクトンを低減する。	漁獲の増加 生息場の整備（漁獲を伴うもの）

※詳細については、「自然浄化対策について 生態系機能を活用した“健やかな湖沼水環境”の実現を目指して(平成 26 年 12 月 環境省水・大気環境局水環境課)」を参照

### (5) 濁水の発生の低減 **b) トリプトンが主体の湖**

都市地域、農業地域、森林地域といった流域における濁水の発生源で対策することで、濁水の発生を低減し、湖沼内のトリプトンや CDOM のうち極微細な粒子を軽減させる方針である。

表 3-7(1) 濁水の発生の低減にかかる主な対策※

主な対策	対策の原理	適用技術例
都市地域の堆積負荷の除去	道路面や道路沿道等の雨水枡、管渠内に堆積した土砂を清掃し、都市地域からの濁質の流出を低減させる。	路面の清掃、雨水枡・管渠等の清掃
農業地域の土壌の流出防止	降雨による土壌の流出や風食による土壌の飛散を防止し、農業用地からの土壌の流出を低減させる。	土壌表面の被覆、防風対策
水田の用排水の適正管理	代掻き工程の改善、用水量の節減、不耕起により、水田の排水に伴う濁水の流出を低減させる。	田植え工程の改善、水管理の改善、冬季湛水・不耕起移植栽培
農業用排水路対策	農業用排水路の浚渫により底泥を除去し、用排水路からの濁水の流出を低減させる。	農業用排水路の浚渫
森林の適正管理	適切な伐採や植林、管理、植生の選択により、降雨時の濁水の流出を低減させる。	適切な伐採管理の実施、植林、森林管理、負荷削減に寄与する植生の選択

表 3-7(2) 濁水の発生の低減にかかる主な対策※

主な対策	対策の原理	適用技術例
森林地域の水土保全対策	埋設土留工、掘割工等の施設の設置で雨水の地下浸透を図ることで、降雨時の濁水の流出を低減させる。	水土保全施設の設置

※詳細については、「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン(第二版)(平成26年12月環境省水・大気環境局水環境課)」を参照。

#### (6) 濁水の流入の低減 **b) トリプトンが主体の湖**

流域において発生した濁水について湖沼への流入を低減し、湖沼内のトリプトンやCDOMのうち極微細な粒子を軽減させる方針である。

表 3-8 濁水の流入の低減にかかる主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
土砂流入防止フェンス	流入河川や湖沼の入り口に設置したフェンス内で懸濁物質を沈殿させることで湖沼内に流入する濁水を低減させる。	土砂流出防止フェンス
流入河川の浄化	湖沼に流入する河川の中で懸濁物質を除去し、湖沼に流入する濁水を低減させる。	吸着法、土壌処理法、植生浄化法、河道の浚渫
内湖の整備	流入河川流入部等に設けた小さな湖沼や池で懸濁物質を沈降させ、湖沼に流入する濁水を削減させる。	内湖・貯砂ダムの整備
土砂バイパス	洪水時に発生する土砂を多く含んだ流入水を湖沼を迂回して下流にバイパスさせることで湖沼に流入する濁水を低減させる。	土砂バイパス

**(7) 底泥の巻き上げの低減** **b) トリプトンが主体の湖**

湖沼内の底泥の巻き上げを抑制することで、湖沼水中のトリプトンや CDOM のうち極微細な粒子を軽減させる方針である。

表 3-9 底泥の巻き上げにかかる主な対策

主な対策	対策の原理	適用技術例
底質改善	湖沼の底質を改善することで、底泥の水中への巻き上げを抑制する。	浚渫、覆砂
フラッシング	貯水池等で水位を低下させ、流入水により底泥を下流に洗い流すことで、底泥の水中への巻き上げを抑制する。	フラッシング

**2) 対策の事例**

沿岸透明度の改善に有効と考えられる対策の事例として、環境省環境技術実証事業 (ETV事業:Environmental Technology Verification) 及び海外事例の概要、課題、費用の情報を整理した。整理した結果は資料集に示す。



対策の事例については【資料集 3-9~】を参照。



### 3.9 沿岸透明度改善のための要因解析の事例

成り立ちや利用状況等の条件の異なる様々な湖沼で重回帰モデルを構築し、それぞれの湖沼で透明度の低下に寄与する要因を検討した。また、複数の指定湖沼でさまざまな保全対策を行った場合の沿岸透明度の改善の状況を検討した。

なお、全国の湖沼で同様の解析を行う参考になるよう、これらの検討の詳細は資料集(URL [http://www.env.go.jp/water/kosyou/post\\_87.html](http://www.env.go.jp/water/kosyou/post_87.html))に掲載した。

#### 1) 重回帰モデルの概要

重回帰モデルは、沿岸透明度を低下させる要因として、植物プランクトン、トリプトン(植物プランクトン以外の懸濁物質)、CDOM(有色溶存有機物)の3成分を想定している。モデルの基本式は下記のとおり。

$$SD^{-1} = a_1 \cdot [\text{Chl-a}] + a_2 \cdot [\text{Tr}] + a_3 \cdot [\text{CDOM}] + b_1 \quad (\text{式 1})$$

ここで、SD は透明度(m)、[Chl-a]はクロロフィル a 濃度( $\mu\text{g L}^{-1}$ )、[Tr]はトリプトン濃度( $\text{mg L}^{-1}$ )、[CDOM]は CDOM の吸収係数( $\text{m}^{-1}$ )、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $b_1$ は係数である。

トリプトンの推定式は下記のとおり。

$$[\text{Tr}] = [\text{SS}] - [\text{PSS}] = [\text{SS}] - d \cdot [\text{Chl-a}] \quad (\text{式 2})$$

ここで、[SS]は SS 濃度( $\text{mg L}^{-1}$ )、[PSS]は植物プランクトン態 SS 濃度( $\text{mg L}^{-1}$ )、 $d$ は係数である。係数  $d$  は、VSS(SS の強熱減量)とクロロフィル a の回帰式の傾きとして、回帰分析により求められる( $[\text{VSS}] = d \cdot [\text{Chl-a}] + \text{定数}$ )。

式 1 の右辺の各項の大きさは、沿岸透明度低下に対する各要因の寄与の程度を反映していると考えられる(たとえば  $a_1 \cdot [\text{Chl-a}]$ は植物プランクトンの寄与)。したがって、右辺の各項を比較することで、沿岸透明度の主要な低下要因を推定することができる。

重回帰モデルは、水質調査結果が充実している場合には、該当水域の水質調査結果に基づき、それぞれの水域ごとに個別湖沼モデルを構築することが望ましい。これは、植物プランクトンの優占種等が水域や季節によって異なり、植物プランクトンそれぞれの色素や形態の相違が光の透過率に影響し、モデルの係数が変わることが想定されるためである。各湖沼の水質調査結果から、重回帰分析によって重回帰モデルを構築する方法の詳細は資料集に示す。

また、該当水域の水質調査があまり行われておらず、データ数が少ない場合には、「2)沿岸透明度低下の要因の検討の事例」で構築した汎用モデルの係数を利用して、簡易的に要因の検討を行うことができる。この場合、該当水域の透明度の低下が問題になっている時期において最低1回、1地点におけるクロロフィル a、SS、CDOMの吸収係数(またはDOCかD-CODと全水深)の調査結果が必要となる。

## 2) 沿岸透明度低下の要因の検討の事例

### (1) 水質調査

沿岸透明度の低下要因を検討するために、特性の異なる全国の9湖沼で表層水を採取し、水質分析を実施した。調査の概要を表3-10に示す。

表 3-10 水質調査の概要

対象湖沼	八郎湖、霞ヶ浦、印旛沼、手賀沼、諏訪湖、琵琶湖南湖・北湖、中海、宍道湖
調査地点	1回の調査につき、各湖沼3地点(手賀沼は2地点、霞ヶ浦は4地点)
調査時期	2018年5、8、11月及び2019年1月(印旛沼・手賀沼は2月)
調査項目	透明度、全水深、クロロフィル a、SS、VSS(SSの強熱減量)、DOC(溶存有機炭素)、D-COD(溶存性COD)、CDOMの吸収係数(波長440nm)
CDOMの吸収係数の測定方法	① 事前に加熱処理したガラス繊維ろ紙(孔径0.7μm)で試水をろ過 ② 分光光度計で波長440nmの吸光度を測定(セルの光路長は5cmまたは1cm) ③ (吸収係数) = (純水の吸光度を差し引いて補正した吸光度) / (光路長)

### (2) 重回帰モデルの構築

「(1)水質調査」の結果及び過年度の水質データベースを利用し、重回帰モデル(式1、式2)の係数を求めた。ただし、式1の係数a3、b1は文献を利用して算出した(Terrel et al. 2012)。

重回帰モデルは、「個別湖沼モデル」と「汎用モデル」を構築した。

#### a) 個別湖沼モデル

それぞれの水域ごとのモデル(個別湖沼モデル)を構築した。モデル(式1、式2)の係数は、「(1)水質調査」により得られたデータ及び過年度の水質の定期調査結果を解析することにより、湖沼ごと、季節ごとに求めた。個別湖沼モデルの詳細については資料集(URL [http://www.env.go.jp/water/kosyou/post\\_87.html](http://www.env.go.jp/water/kosyou/post_87.html))に示す。

「(1)水質調査」のデータを用いて検証した結果、重回帰モデルにより推定された透明度の誤差(二乗平均平方根誤差:RMSE)は0.1~1.0mであり、良好な再現性が認めら

れた(図 3-5)。本検討には様々な特性の湖沼が含まれることから、他湖沼でも同様に個別湖沼モデルを構築できることが示唆された。

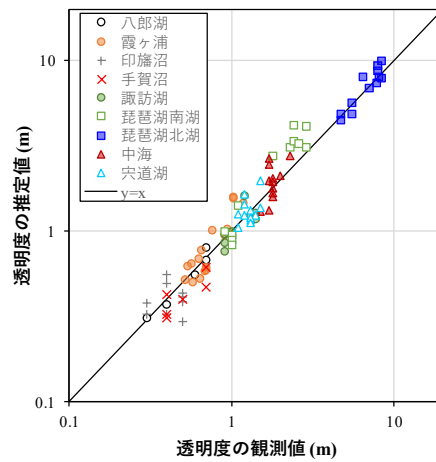


図 3-5 透明度の観測値と推定値の関係(個別湖沼モデル)

#### b) 汎用モデル

水質調査データの不足のため個別湖沼モデルが構築できない場合に簡易的に利用できるモデルとして、汎用モデルを構築した。モデル(式 1、式 2)の係数は、水質調査結果の重回帰分析により、透明度の範囲別(1m 未満、1m 以上 2m 未満、2m 以上)及び季節別に求めた。汎用モデルの詳細については資料集

(URL [http://www.env.go.jp/water/kosyou/post\\_87.html](http://www.env.go.jp/water/kosyou/post_87.html))に示す。

重回帰モデルにより推定された透明度の誤差(二乗平均平方根誤差:RMSE)は 0.2 ~1.9m であり、個別湖沼モデルより再現性は低いものの、概ね良好な再現性が認められた(図 3-6)。

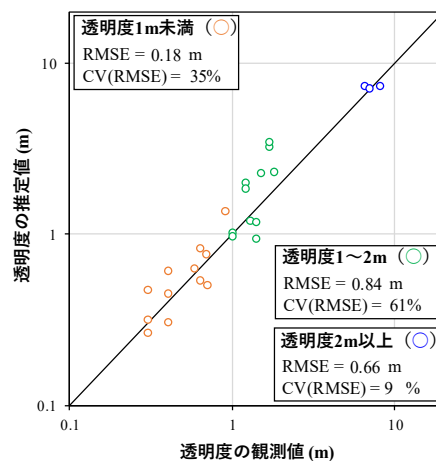


図 3-6 透明度の観測値と推定値の関係(汎用モデル(夏季))

### (3) 沿岸透明度低下の要因の検討

構築した重回帰モデルを用いて、沿岸透明度低下の要因を検討した。

図 3-7 は、式 1 の右辺の各項の積み上げ棒グラフ(割合表示)である。例えば、八郎湖ではクロロフィル a の項(式 1 の  $a_1 \cdot [\text{Chl-a}]$ )が他の項に比べて大きいいため、沿岸透明度低下の主要因は植物プランクトンによるものと考えられる。

沿岸透明度低下の主要因を湖沼別・季節別に整理すると、諏訪湖・琵琶湖北湖・中海・宍道湖では植物プランクトン、霞ヶ浦、琵琶湖南湖ではトリプトンであることが多かった(表 3-11)。また、中海を除き、季節によって主要因の変化がみられた。

季節によって主要因が異なる湖沼では、透明度の低下が問題になっている季節の主要因を当面の対策の対象にするなどの方針の検討が想定される。

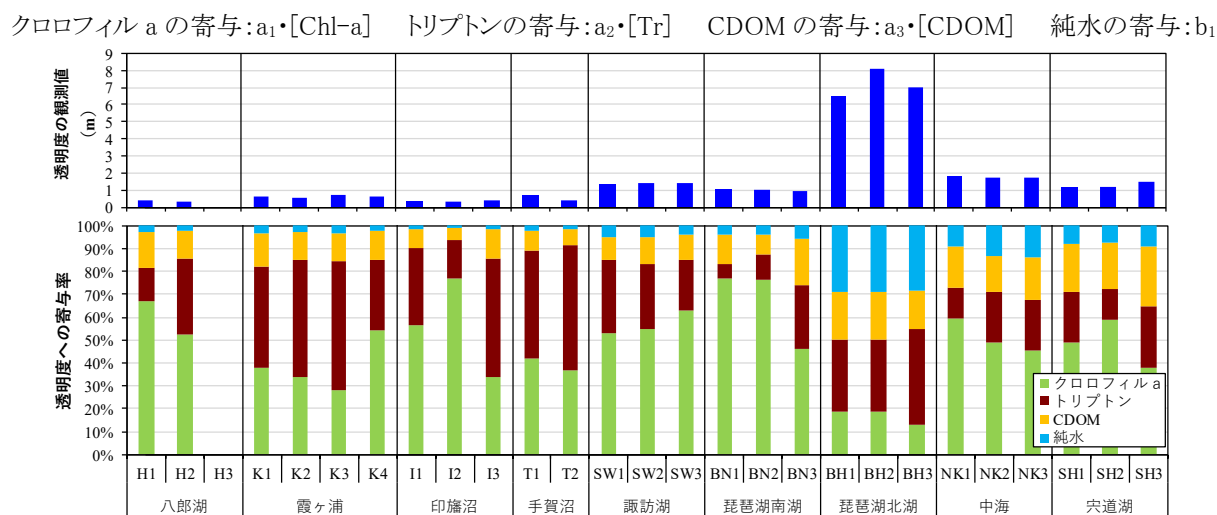


図 3-7 汎用モデル(夏季)により推定された各要因の透明度への寄与率(2018年8月)

表 3-11 汎用モデル(各季)により推定された沿岸透明度低下の主要因

時期	八郎湖	霞ヶ浦	印旛沼	手賀沼	諏訪湖	琵琶湖南湖	琵琶湖北湖	中海	宍道湖
春季(5月)	ト	ト	ト	ト	ト	ト	ク	ク	ト
夏季(8月)	ク	ト	ク	ト	ク	ク	ト	ク	ク
秋季(11月)	ト	ト	ト	ク	ク	ト	ク	ク	ク
冬季(1~2月)	ク	ク	ク	ク	ク	ト	ク	ク	ク

ク:クロロフィル a、ト:トリプトン

#### (4) CDOM の代替指標の検討

CDOM は一般的な水質調査では測定されないため、既存データの入手が難しい。そこで、一般的に測定されている溶存有機物の指標としてDOC及びD-CODに着目し、これらからCDOMを推定する手法を検討した。水質調査結果に基づき、CDOMの吸収係数とDOC、D-COD濃度の関係を解析した結果は下記のとおり( $R^2 = 0.84 \sim 0.87$ )。

$$[\text{CDOM}] = 0.178 D^{-0.263} \cdot [\text{DOC}]$$

$$[\text{CDOM}] = 0.101 D^{-0.268} \cdot [\text{D-COD}]$$

ここでDは全水深(m)、[DOC]、[D-COD]はDOC及びD-COD濃度(mg/L)である。

代替指標からCDOMを推定する場合は、CDOMを直接測定した場合に比べてやや精度が低下することに留意する必要がある。

### 3) 効果的な保全対策の検討の事例（モデル感度解析による削減効果の試算）

複数の指定湖沼でさまざまな保全対策を行った場合の沿岸透明度の改善の状況を検討した。

#### (1) 計算ケース

沿岸透明度に係る水質保全対策として、①流入負荷量をゼロに削減したケース、②覆砂等底質改善により底泥有機物からの栄養塩溶出及び酸素消費速度をゼロに削減したケース、③濁水の流入や底泥巻き上げを1/2に低減したケースを設定し、対策効果の検討を行った。

①、②のケースは、「2.10 底層溶存酸素量改善のための要因解析の事例」の数値モデルを用いてクロロフィルaとDOCを計算し、重回帰モデルに入力した。③のケースは、トリプトン濃度を半分として重回帰モデルで計算した。

なお、ここでは短期的な効果として、対策後1年間の結果を示した。

#### (2) 計算結果と解説

各対策の実施により想定される沿岸透明度への短期的な効果を表3-12に示す。

沿岸透明度低下の要因がトリプトンであるとされた霞ヶ浦ではトリプトンの対策が効果的であり、植物プランクトンが要因であるとされた諏訪湖、中海、宍道湖では植物プランクトンの対策が効果的であった。このように、要因検討を行った上で適切な対策を行った場合に沿岸透明度の改善効果がみられることが示された。

また、複数の対策効果の比較により、効果的な対策の選定に利用できる。

例えば、植物プランクトン対策として、霞ヶ浦では底質からの栄養塩溶出の削減により、流入負荷の削減と同等の効果が期待できるが、諏訪湖では流入負荷の削減効果が

高い一方、溶出削減による効果は低いことがわかる。

なお、上記の検討は数値モデルによる計算を必要とするが、モデルを使用せずとも簡易的に対策の効果を推定できる場合もある。例えば、流入河川の影響を強く受ける水域(河口付近等)では、流入河川からの栄養塩負荷を半分に削減することで、植物プランクトン量も半分程度に低減されるケースも考えられる。

表 3-12 対策実施による短期的な効果(数値モデルおよび重回帰モデルにより推定)

対象水域(地点、年)	沿岸透明度(m)			
	現況	植物プランクトン対策		トリプトン対策
		①流入負荷⇒0	②溶出⇒0	③SS⇒1/2
釜房ダム貯水池(ダムサイト、2011年)	3.0	3.7	3.3	4.0
霞ヶ浦(湖心、2011年)	1.0	1.3	1.3	1.4
諏訪湖(湖心、2011年)	1.0	1.3 <sup>1)</sup>	1.0 <sup>2)</sup>	1.1
中海(N6、2012年)	2.3	3.2 <sup>3)</sup>	2.4 <sup>4)</sup>	2.3
宍道湖(S3、2012年)	1.7	4.2 <sup>3)</sup>	1.8 <sup>4)</sup>	1.9

<sup>1)</sup>宮川の負荷削減、<sup>2)</sup>湖心周辺の溶出削減、<sup>3)</sup>斐伊川の負荷削減、<sup>4)</sup>一部の水域の溶出削減

#### 4) 効果的な保全対策の検討の事例(長期的な効果)

霞ヶ浦及び琵琶湖北湖を対象に、人口動態に応じた負荷削減による透明度への長期的な影響を検討した。

##### (1) 計算ケース

数値モデルにより、2015年度を基準として、茨城県及び滋賀県の人口動態に応じて生活系と産業・工業系の負荷量が減少した場合の水質予測計算を実施した。詳細は「2.10 5) 効果的な保全対策の検討の事例(長期的な効果)」に記載のとおり。

水質予測計算から求められたクロロフィル a 及び DOC を重回帰モデル(個別湖沼モデル)に入力し、透明度への長期的な影響を試算した。なお、トリプトン濃度は現況の濃度が維持されると仮定した。

##### (2) 計算結果と解説

霞ヶ浦及び琵琶湖北湖における夏季平均透明度の長期予測結果を図 3-8 に示す。いずれの湖沼においても、透明度の改善効果は数 cm と予想された。これは、負荷削減そのものが大きくないことに加え、両湖沼ともに夏季の主な透明度低下要因はトリプトンと推定されているため、透明度改善効果が大きく発現しなかったと考えられる。

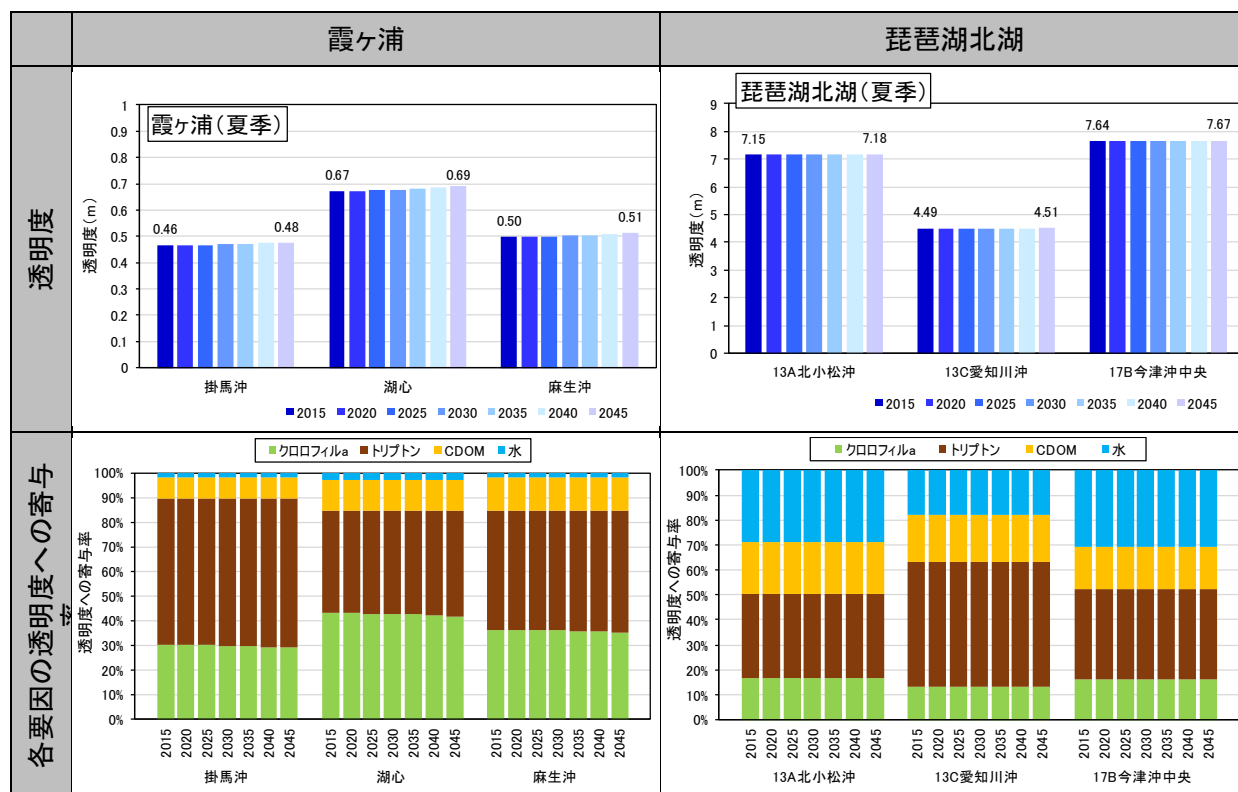


図 3-8 霞ヶ浦及び琵琶湖における夏季平均透明度の長期予測結果

### 5) 効果的な保全対策の検討の事例（シミュレーション結果からみた湖沼のタイプ別の効果的な保全対策）

2)の沿岸透明度低下要因の検討結果及び 3)のシミュレーション結果から、複数の指定湖沼を対象に、タイプ別に効果的と考えられる保全対策について表 3-13 に整理した。

なお、タイプ区分については、沿岸透明度低下の主要因の検討結果(表 3-11)及びシミュレーション結果(表 3-12)に基づく代表的な区分であり、地点・季節によっては異なる場合がある。

表 3-13 シミュレーション結果からみた湖沼のタイプ別の効果的な保全対策

タイプ区分	湖沼の例	対策の方針	主な対策の例
植物プランクトンが主体の湖	諏訪湖 中海 宍道湖	外部負荷の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特定汚染源対策(下水処理・下水処理の高度化等)</li> <li>・非特定汚染源対策</li> <li>・土砂流出抑制</li> <li>・流入河川の浄化</li> <li>・内湖の整備</li> <li>・系外放流(富栄養化対策バイパス)</li> <li>・流量の増加(取水量の調整、導水等)</li> </ul>
		内部負荷の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底質改善(浚渫、覆砂、底泥の酸化処理、耕耘、フラッシング)等</li> </ul>
		湖水の混合の促進	<ul style="list-style-type: none"> <li>・湖水の混合(曝気、散気、水流発生装置等)等</li> </ul>
		生態系機能を活用した水質浄化(他の対策と組み合わせて)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・抽水植物等による浄化とその取り上げ(ヨシ刈り)</li> <li>・二枚貝等による浄化とその取り上げ(漁獲の増加)</li> </ul>
トリプトンが主体の湖	釜房ダム貯水池 霞ヶ浦	濁質の発生の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・都市地域の堆積負荷の除去</li> <li>・農業地域の土壌の流出防止、水田の用排水の適正管理、農業用排水路対策</li> <li>・森林地域の森林の適正管理、水土保持対策</li> </ul>
		濁質の流入の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土砂流入防止フェンス</li> <li>・流入河川の浄化</li> <li>・内湖の整備(貯砂ダム等)</li> <li>・土砂バイパス</li> </ul>
		底泥の巻き上げの低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底質改善(浚渫、覆砂)</li> <li>・フラッシング</li> </ul>

※タイプ区分については、代表的な区分であり、地点・季節によっては異なる場合がある。

※「植物プランクトンが主体の湖」の対策の方針については、シミュレーション結果(表 3-12)により効果的と判断された「外部負荷の削減」に下線を付し、他の対策(内部負荷の削減、湖水の混合の促進、生態系機能を活用した浄化等)についても対策の例を簡単に記載した。

▶ 要因解析の事例の詳細については【資料集 2-XX~】を参照。



## 4. 水質保全対策を進める上での配慮事項

### 4.1 実態把握・要因解析に関する配慮事項

#### 1) 調査不足

底層溶存酸素量、沿岸透明度は新たに設定された基準等であり、必要な地点で既往の調査が不足しているために現況の把握が難しく、水質保全対策を進める上での方針が立てづらい可能性がある。

これまでに調査があまり行われていない湖沼では、1年間程度の基礎調査を実施して状況を把握することが望ましい。また、これまでに調査があまり行われていない湖沼で、現に問題が生じており、対策を要する場合には基礎調査とともに問題を把握する調査を行い、問題の実態及び要因を把握し、対策に繋げることが必要である。

また、特に底層溶存酸素量は底質から大きく影響を受けると考えられるが、既往の底質の調査は水質に比べて非常に少なく、あまり実態が把握されていない。今後底層溶存酸素量にかかる水質保全対策を進める際には、事前に底質調査を行い、その結果を踏まえることでより実態に即した要因の検討を行うことができると考えられる。

#### 2) 新たな調査項目

底層溶存酸素量、沿岸透明度はともに湖内の有機物の量や有機物が微生物により分解される量に関連しているが、湖沼で有機物の間接的な指標として通常使われているCODは、有機物そのものの量が把握できないことや、微生物によって分解されにくい難分解性有機物を含むという指摘がある。

CODは公共用水域監視のための水質調査等により、多くの湖沼で長年調査が積み重ねられており、他の地点や過去の調査と比較が可能であるが、これに加えてTOC(全有機炭素)やDOC(溶存有機炭素)、難分解性有機物の調査を取り入れることで、適切な要因解析に繋がる可能性がある。

また、底質からの栄養塩等の溶出が懸念されている場合には底泥溶出速度実験が有効であり、貧酸素状態の進行のしやすさの指標として底泥及び底層水の酸素消費速度実験が有効であるが、これらの調査・実験はこれまであまり行われていない。今後、これらの調査・実験を取り入れることでより実態に即した要因の検討を行うことができると考えられる。

### 3) 外部負荷の不整合

河川等から流入する外部負荷の算出をする際に、原単位から積み上げた値と実際の負荷が異なることで、検討が的外れになる可能性がある。

原単位に関係のない洪水時の流入が大きく影響することや、1年単位で算出している原単位が、実際には時間差をおいた過去の蓄積を含めて流入していること等の理由が検討されているが、湖沼によって条件は様々であると考えられる。

不整合があることを考慮して調査結果を検討し、不整合を踏まえて計画を補正するなど  
の対応が望ましい。

### 4) 要因解析

本資料では、各湖沼の要因解析については詳細な記載を行っておらず、代表的な湖沼での要因解析の事例をもとにした簡易的なフローでタイプ区分を行っているが、可能であれば各湖沼で数値シミュレーションを行い、湖沼で起こっている現象の因果関係を把握することが望ましい。

数値シミュレーションは、全国の様々な湖沼の特性や取り扱う現象に応じて適切な数値モデルを用いる必要があり、さらに入力情報や境界条件の精度で結果が左右されやすいなど、留意点が多いことから、全国の湖沼で広範に用いることを前提とした本資料の標準的な手法としては採用しなかった。

ただし、数値シミュレーションを適切に使用した場合には、現象の因果関係の把握が高精度で行える他、様々な水質保全対策を用いた場合の効果予測を行うこともでき、効果的、効率的な保全対策の検討に寄与できる。

現在数値シミュレーションを利用していない湖沼においても、データが比較的蓄積されている等解析環境が整っている場合には、状況に応じて数値シミュレーションの活用も視野に入れることが望ましい。

### 5) 気候変動

湖沼水質への酸素の溶存量は水温に直接影響を受ける。また水温成層やその解除の状況は気温や水温、風に左右される。またこの他、水温の変化により植物プランクトンや水草の生育状況が現況と異なる可能性も考えられる。

気候変動による環境の変化は、一時的な変更の積み重ねが長期的な変動につながる可能性もあり、即時性を持った対応は難しいことも考えられるが、現象と対策の記録を継続的に行い、これを元に適切な見直しを行うことが望ましい。

## 4.2 水質保全対策の検討に関する配慮事項

### 1) 副次的な影響・相反する項目

底層溶存酸素や沿岸透明度の対策で、それぞれの目的にはかなうが、その技術を採用したことで副次的な望まない影響が生じる可能性もある。

例えば底層溶存酸素量対策として夏季に水温成層を破壊したところ表層に栄養塩が供給され、植物プランクトンが増殖して透明度が低下することも考えられる。また、沿岸透明度が改善したことによって水草が過剰に繁茂し、底層溶存酸素量が低下することも考えられるといったように、底層溶存酸素量と沿岸透明度に限らず、ある対策を行った場合に、既存の基準である COD や、T-N、T-P 等も含め、別の項目が悪化する可能性がある。

対策技術の選定や対策の評価に際しては、こうした副次的な影響についても考慮することが重要で、状況が許す場合には悪影響のない対策が望ましいが、そうでない場合には地域の実情に即して、水質保全対策を検討し、必要に応じて副次的な悪影響についても調査や評価を行うこととする。

### 2) 効果の見えづらいつ対策

水質保全対策を進めるにあたり、従来の水質汚濁対策だけではなく、様々な対策を組み合わせる施策を進めていくことが重要であるが、生態系機能を活用した水質浄化(抽水植物や二枚貝等による浄化とその取り上げ)等一部の対策は、対策が小規模の場合に底層溶存酸素量や沿岸透明度の改善に直ちに結びつかず、効果が見えづらい。

また、流域内に蓄積された負荷が大きい湖沼などでは、水質保全対策を実施したあと、効果が調査結果として発現するまでにタイムラグが生じる可能性が考えられ、この場合も効果が見えづらい。

この他、底層溶存酸素量について 6 指定湖沼で土木工学的な対策を行う条件で数値シミュレーションを行った事例では、対策を行うことで底層溶存酸素量 2mg/L 以下となる連続日数が減少したものの、数日間は貧酸素の状態が続く結果のケースがあった。このようなケースでは、水質は改善したが、生物への影響が解消されたわけではなく、効果が見えづらいと言える。

対策の実施時には効果を把握するための調査を行い、対策による改善の効果を把握・検証して、計画の見直しを行う(PDCA)こととしている。対策の効果が見えづらい場合にも様々な要因を検討し、計画が不適当な部分については見直しを行うこととする。

各湖沼の実情に応じ、効果の見えづらいつ対策を採用する場合には、他の対策と組み合わせたり、適切な規模や対策期間を設け、長期的な観点から効果を把握するための調査を行ったりする必要がある。

### 3) 保全が必要な範囲

底層溶存酸素量や沿岸透明度の対策は、保全が必要な範囲に対策の効果が得られるように適切に設定する。高濃度酸素水の供給のように限られた範囲で効果が見込める対策については、必要に応じて保全が必要な範囲に優先順位を設けることも有用である。

底層溶存酸素量の類型指定や、沿岸透明度の目標設定の際には、保全が必要な範囲を検討することとなっている。合理的な保全を行うためには、これらの指定・設定時の考え方を前提とし、さらに地域の実情を踏まえて対策を行う範囲を設定する必要がある。

### 4) 生物多様性への配慮

水質保全対策の一環として生態系機能を活用した水質浄化(抽水植物や二枚貝等による浄化とその取り上げ)を検討する場合、水産有用種や園芸品種等を導入することも考えられる。これらは地域住民の関心が高いこと、水質保全対策以外の利用が可能なこと、入手しやすいことなどを考慮すると優先順位が高くなる可能性があるが、一方で生物多様性を考慮した場合に理想的とは言えない可能性もある。

もともとその地域に生息・生育している生物を利用することが望ましいが、様々な理由でそれが難しい場合には、生物多様性に配慮した導入を行う必要がある。具体的には、我が国の生態系等に被害を及ぼすおそれのある外来種の混じる可能性を減らすことや、野外に広がる危険が少ない種を選定すること等が挙げられる。

湖沼という公共の用に供される水域において、人が必ずしも管理できない状態で生物を野外に放つことを重大なものと認識することが必要である。

また、水質保全対策の一環として水草の除去等を行う際には、水草自体が湖沼生態系の一端を担っており、様々な機能を有することから、除去に際して周辺の生物になるべく影響しないこと等を考慮して、除去が必要な範囲や時期等を検討することが望ましい。なお、今後環境省では水草発生要因を踏まえた対策の検討を行う予定としている。

## 4.3 その他の配慮事項

---

---

### 1) 各都道府県の連携・情報共有

本資料は底層溶存酸素量や沿岸透明度の対策を検討している湖沼の担当者に向け、先進的な事例等を基に作成したものである。

底層溶存酸素量や沿岸透明度の既往対策事例は多くはないため、今後実施する対策や効果を把握するための調査は貴重な先行事例になる。先行事例はそのまま他の湖沼に適用できるものではないが、成功例、失敗例ともにデータを蓄積、公開することで検討の参考として活用できる。また、各都道府県で連携し情報を共有することで、先行事例のより有効な活用がなされると期待される。

## 5. 用語集

【ア行】	
アオコ	栄養が豊富な湖沼等で植物プランクトンが大量に発生し、水面が青い粉のように(著しい場合には膜状、マット状、厚く堆積した状態)になる現象。アオコを形成する植物プランクトンとしてはマイクロキスティス属やアナベナ属などの藍藻類が代表的である。
栄養塩類	植物の生育に必要な塩類のこと。水質保全の観点からは、リンや窒素が問題になりやすく、湖沼や内湾等でこれらが増加すると植物プランクトンの異常増殖を引き起こすことがある。
沿岸透明度	望ましい水環境の状況を表す指標として、水生植物の生育に直接的な影響を判断できる指標、国民が直感的に理解しやすい指標、という考えから新たに設けられた、地域において設定する目標。 【詳細版】p3-2～3-5 に詳細を解説した。
【カ行】	
回転率	ある湖沼の貯水量に対する単位時間当たりの流入水量(または流出水量)の比率。湖沼の水の入れ替わりの指標である。
外部負荷	流域から流入河川等を通じて湖沼等に流入する負荷。生活排水、事業所排水、畜産排水等の特定汚染源による負荷と、市街地、農地、森林等の非特定汚染源による負荷に分けられる。
環境基準	環境基本法第 16 条に基づき、人の健康を保護し、及び生活環境を保全するうえで維持されることが望ましい基準として国が定めた基準。このうち、生活環境を保全するうえで維持することが望ましい基準が「生活環境の保全に関する環境基準」であり、底層溶存酸素量はここに含まれる。
吸光度	光を吸収する度合いの指標。光を吸収する物質が多いほど高くなる。
クロロフィル a	植物が光合成を行うために含む代表的な色素の一つ。水域では植物プランクトンの量の指標となる。
懸濁物質	SS(Suspended Solids)ともいう。水中に懸濁している物質のこと。主に植物プランクトンや土粒子など。
原単位	特定汚染源負荷では、工場・事業場、家庭その他の負荷発生源における単位当たりの発生負荷量又は排出負荷量のこと。 非特定汚染源負荷では、土地利用ごとの単位面積当たりの負荷量のこと。

原単位法	発生負荷量や排出負荷量の原単位に、それぞれの原単位に該当するフレーム(出荷額、人口、面積等のデータ)を乗じることで発生負荷量や排出負荷量を算定する方法。
耕耘	底質を耕してほぐすこと。
<b>【サ行】</b>	
自然探勝	優れた自然の場所で、その風景を楽しむこと。
実用塩分	水の電気伝導度から換算した塩分の指標。単位はないが、実用塩分であることを示すために psu を添える場合がある。
植物プランクトン	光合成を行い、水と水中の二酸化炭素から有機物をつくる浮遊生物の総称で、藍藻類や珪藻類などを含む。栄養塩・水温・日射・滞留時間・塩分等の条件が合うときに増殖し、底層溶存酸素量や沿岸透明度の低下の要因となることがある。
浚渫	湖底に堆積した土砂・ヘドロ等の底泥をポンプや浚渫船等によって回収・除去する手法。底泥から水中への栄養塩等の溶出を抑制することができる。
親水	水辺と親しむこと。景観やレクリエーションを含む。
数値シミュレーション	数値モデルを用いた計算により、生じている現象を、近似的ではあるが定量的に把握する手法。
数値モデル	水質の変化等、生じている現象を方程式などで表現するもの。数値モデルの再現性が高い(生じている現象が数値モデルでよく再現できている)ことを前提に、係数を比較して結果に大きく影響を与える要因の検討や、部分的に係数を入れ替えて保全措置を行った場合の予測を行うことができる。
水生植物	水草、水中に生育する植物の総称。湖沼生態系の一端を担っており、栄養を吸収して光合成によって湖沼中に酸素を供給する源となる以外にも、水中の懸濁粒子を沈降させて透明度を上昇させる、他の生物の生息・生育環境になる等の機能を有している。この一方で、一部の水生植物が繁茂しすぎた湖沼では、水生植物の水の流れの阻害による底層溶存酸素量の低減や、漁業や船舶航行の障害、腐敗に伴う臭気の発生などの悪影響が発生し、問題となっている。
重回帰モデル	数値モデルの一種で、重回帰式を用いたモデルのこと。
成層	湖沼や海洋において、鉛直方向に水温や塩分が大きく変化する躍層が生じている状態のこと。成層状態では上側と下側の水が混ざりにくい。

<b>【タ行】</b>	
抽水植物	根茎が水中の土壌中にあり、葉や茎の一部が水上にでている水生植物。ヨシ、ガマ、マコモ等。
沈水植物	根茎が水中の土壌中にあり、茎や葉が水面下に沈んでいる水生植物。クロモ、セキショウモ、シャジクモ類等。
底層溶存酸素量	魚介類等の水生生物への直接的な影響を判断できる指標として、平成28年3月に新たに環境基準に追加された項目。可能な限り湖底直上で測定し、年間最低値で評価することとしている。 <b>【詳細版】</b> p2-2～2-5 に詳細を解説した。
底泥溶出速度実験	底質からの汚濁物質の溶出実態を把握するための実験。実際の水域に近い条件を再現し、底泥に含有された汚濁物質が溶出する速度を測定する。
透明度	水の透明さを表す指標。透明度が低く水中光量が少ないと水中植物の光合成が妨げられる。また、透明度の低下で水辺空間の景観が損なわれる。 <b>【詳細版】</b> p3-2～3-5 に詳細を解説した。
トリプトン	生体の植物プランクトン以外の懸濁物質のこと。主に土粒子など。 <b>【詳細版】</b> p3-6 に詳細を解説した。
<b>【ナ行】</b>	
内部負荷	(流域から流入するのではなく)底泥からの溶出や、植物プランクトンの発生など、湖沼の内部で発生する負荷。
<b>【ハ行】</b>	
バイオマニピレーション	食物連鎖を利用して、水質や生態系を人為的に操作すること。生態系操作、生物操作ともいう。
非特定汚染源負荷	面的な広がりを有する市街地、農地、森林等の地域を発生源とする負荷や、湖沼等に大気から直接降下する負荷など、汚濁物質の排出ポイントが特定しにくい負荷のこと。
フミン物質	植物の枯死体等が微生物による分解や物理・化学作用を経て生じた有機物の総称。
分光光度計	光の波長ごとの吸光度を測定できる分析機器。



<b>【ヤ行】</b>	
躍層	湖沼や海洋において、鉛直方向に水温や塩分が大きく変化する層のこと。躍層の上側と下側では水が混ざりにくい。
有機物	し尿や食品残渣、プランクトン等、生物由来の様々な物質の総称。微生物によって分解されるときに水中の酸素が使われるため、水中の酸素が減少する大きな要因の一つである。湖沼では有機物の間接的な指標として、通常 COD(化学的酸素要求量)が用いられている。
溶存酸素量	水中に溶解込んでいる酸素の量のこと。DO (Dissolved Oxygen)ともいう。水生生物の生息に特に重要な要素の一つ。水中に有機物があるとその分解のために酸素が使われるため、有機物による水質汚濁の指標とされる。 <b>【詳細版】</b> p2-2～2-5 に詳細を解説した。
<b>【ラ行】</b>	
硫化水素	硫黄と水素の無機化合物で強い毒性を有する。化学式 $H_2S$ 。汽水湖や内湾などの底泥において酸素が少ない条件で発生し、水生生物のへい死の原因となる。
レジームシフト	比較的短期間に、環境がある状態から別の状態に急激に変化すること。
<b>【英数字】</b>	
CDOM	Colored Dissolved Organic Matter の略。有色溶存有機物ともいう。水に溶存している有機物のうち、色のついたもの。 <b>【詳細版】</b> p3-7 に詳細を解説した。
COD	Chemical Oxygen Demand の略。化学的酸素要求量ともいう。湖沼で有機物の間接的な指標として通常使われており、長年調査が積み重ねられている湖沼も多いことから、他の地点や過去の調査と比較するうえで有効である。一方で、COD は有機物そのものの量が把握できないことや、微生物によって分解されにくい難分解性有機物を含むという指摘がある。
DOC	Dissolved Organic Carbon の略。溶存有機炭素ともいう。水中に溶存している有機物を炭素の量で示したもの。
ETV 事業	環境技術実証 (Environmental Technology Verification) 事業。既に実用化された先進的環境技術の中には、環境保全効果等について客観的立場から示された情報がないために普及が進んでいないものがあるが、

	ETV 事業は、そのような環境技術について開発者でも利用者でもない信頼できる第三者機関が実際の現場等で実証し、その結果を環境省ウェブサイト等で公表、閲覧可能とすることで、環境技術の普及を支援し、環境保全に資することを目的としている。
TOC	Total Organic Carbon の略。全有機炭素ともいう。水中の有機物を炭素の量で示したもの。
VSS	Volatile Suspended Solids の略。懸濁物質(SS)の強熱減量ともいう。水中に懸濁している物質のうち 600℃で熱して消失する分のことで、主に植物プランクトンなど。
WEP システム	吸入した水に酸素を溶かし込んで高濃度酸素水を生成し、酸素を供給したい水深に直接吐出することができる、国立研究開発法人土木研究所が民間企業と共同開発したシステム。

## 6. 参考文献

### ■新規基準等■

- ・水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて(平成 27 年 12 月答申)
- ・底層溶存酸素量及び沿岸透明度に係る目標設定に関する参考資料(平成 27 年 12 月答申参考資料)
- ・(お知らせ)水質汚濁に係る環境基準の追加等に係る告示改正について(平成 28 年 3 月 環境省報道発表資料)
- ・水質汚濁に係る環境基準(環境庁告示第 59 号)
- ・環境省水・大気環境局水環境課(平成 30 年 7 月):沿岸透明度の目標設定ガイドライン

### ■現況把握■

- ・新井正、西沢利栄(1974(昭和 49 年)):水温論, 共立出版株式会社
- ・環境省水・大気環境局(平成 24 年 8 月):底質調査方法
- ・湖沼技術研究会底質ワーキング(平成 21 年 3 月):底質に関わる技術資料
- ・社団法人土木学会(平成 16 年 6 月):環境工学公式・モデル・数値集, 丸善株式会社
- ・湖沼技術研究会(平成 19 年 3 月):湖沼における水理・水質管理の技術
- ・環境省(平成 23 年 3 月):水質総量削減制度導入指針
- ・環境省水・大気環境局水環境課(平成 26 年 12 月):非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン(第二版)
- ・環境庁国立環境研究所(平成 10 年 3 月):湖沼環境指標の開発と新たな湖沼環境問題の解明に関する研究, 国立環境研究所特別研究報告
- ・竹内均監修(平成 15 年 3 月):地球環境調査計測事典第2巻陸域編②, フジ・テクノシステム
- ・国土交通省水管理・国土保全局河川環境課(平成 28 年 12 月一部改訂):平成 28 年度版河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル【ダム湖版】V動植物プランクトン調査編
- ・平成 20 年度 窒素・磷排水規制対象湖沼調査 入力要領(環境省 水・大気環境局水環境課)
- ・環境省水・大気環境局水環境課(平成 30 年 7 月):沿岸透明度の目標設定ガイドライン
- ・Terrel MM, Fukushima T, Matsushita B, Yoshimura K, Imai A (2012) Long-term light environment variability in Lake Biwa and Lake Kasumigaura, Japan:modeling approach. Limnology 13:237-252

### ■水質保全対策■

- ・環境省水・大気環境局水環境課(平成 26 年 12 月):非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン(第二版)

## 6.参考文献

- ・環境省水・大気環境局水環境課(平成 26 年 12 月):自然浄化対策について 生態系機能を  
活用した“健やかな湖沼水環境”の実現を目指して
- ・国土交通省水管理・国土保全局河川環境課(平成 30 年 3 月):ダム貯水池水質改善の手引き