

農業用ダム環境影響評価参考図書（案）

～富栄養化編～

令和3年3月

農林水産省

農村振興局 鳥獣対策・農村環境課

はじめに

環境影響評価法が平成9年6月に制定されたことを受け、ダム等対象事業別に「環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針、環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令」（以下「主務省令」という。）が平成10年6月に定められました。事業者は、この主務省令を踏まえて、さらに具体的な調査・予測・評価の方法を選定するとともに、環境保全措置の検討を行うこととされています。

このため、農林水産省では、対象事業の一つである農村振興局所管のダム・堰事業に関して、主務省令に定められた調査、予測及び評価の具体的手法や対策の検討に当たって留意すべき事項を示した「ダム事業における環境影響評価に係る主務省令の解説」（アセスマニュアル）を平成13年3月に作成しました。

その後、平成23年4月には環境影響評価法の一部改正において、計画段階における配慮書の作成、環境保全措置等の報告書の作成等が位置づけられたことを受け、平成25年4月には主務省令の改正が行われました。それを踏まえ、アセスマニュアルについても平成30年3月、計画段階における配慮書の作成等に関わる具体的手法について、土地改良事業の適応性の観点から検討するとともに、最新の知見を踏まえた技術的な検討も行い、環境影響評価において評価すべき各環境要素に係る調査、予測及び評価の具体的手法等に関する解説書として改訂したところです。

一方で、供用後のダム等において、気候変動など自然条件の変化、多様な地域条件などを背景に、計画時点では予測し得なかった水環境の変化（富栄養化による植物プランクトンの異常繁殖）が顕在化しています。

このことを踏まえると、ダム計画時に行う環境影響評価の精度をこれまで以上に高めていくことが、この課題の解消につながると考えます。このため最新の知見や富栄養化現象が発生している農業用ダムを対象にしたケーススタディの結果等を活用しながら、ダムアセスマニュアルの内容のうち、「ダム計画時における水質予測と環境保全措置」及び「ダム完成後における富栄養化現象のモニタリング、要因解析及び対策」を中心に、体系的にわかりやすく解説した本参考図書（案）を取りまとめました。アセス実務担当者はもとより、ダム管理者においても技術的な手引きとして活用できるものと考えておりますので、積極的に利用していただけると幸いです。

なお、本参考図書（案）は、作成時点の技術的知見に基づいているため、今後の新たな技術の発展、知見等の蓄積を踏まえ、必要に応じて改訂する方針です。

農業用ダムの水質予測及び水質保全対策に係る有識者意見聴取会

委員名簿

座長

黒田 久雄 茨城大学農学部地域総合農学科地域共生コース 教授

委員

濱田 康治 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
農村工学研究部門水利工学研究領域水域環境ユニット 上級研究員

原口 智和 佐賀大学農学部食資源環境科学コース 准教授

眞家 永光 北里大学獣医学部生物環境科学科 講師

※敬称略 令和2年3月現在

目 次

本書の構成

各章の概要	1
第1章 富栄養化現象	1
1.1 富栄養化現象とは	1
1.2 富栄養化レベルとは	2
1.3 ダム貯水池における富栄養状態による影響	4
1.3.1 富栄養状態で発生する影響	4
1.3.2 代表的な生物異常発生現象の一つであるアオコ発生による影響	4
1.4 生物異常発生の発生要因と環境への影響	8
1.4.1 生物異常発生の発生要因	8
1.4.2 生物異常発生に伴うかんがいへの影響	12
1.4.3 生物異常発生に伴う悪臭の発生要因	13
1.5 富栄養状態に至りやすいダム貯水池の特性	15
1.6 物理・水環境と発生種の特性	16
第2章 アセスメント段階(ダム計画時)における水質予測と環境保全措置	19
2.1 アセスメント段階における水質予測の方法	19
2.2 概略的な予測	21
2.2.1 統計的手法 (Vollenweider モデル)	22
(1) 調査方法	22
(2) 予測手法	23
2.2.2 その他の概略的予測手法	25
(1) 類似事例の引用による解析・予測手法	25
(2) 年平均回転率による解析・予測手法	26
2.3 数値シミュレーションモデルを用いた水質の予測	28
2.3.1 数値シミュレーションとは	29
(1) 数値シミュレーションの概要	29
(2) 数値シミュレーションの水理モデルの種類	30
2.3.2 モデル選定の考え方	34
2.3.3 数値シミュレーションによる予測手順	36
(1) 数値シミュレーションの流れ	36
(2) パラメータを選定・同定するために必要となる主な観測データ	37
(3) 選定モデル別の主なデータ及びパラメータ	41

2.4	水質予測結果を踏まえた環境保全措置の検討	44
2.4.1	数値シミュレーションで検証可能となる主な環境保全措置	44
2.4.2	環境保全措置の選定	48
2.5	環境影響評価手法	49
2.6	事後調査（モニタリング調査）の計画策定	56
第3章	供用段階（ダム完成後）における富栄養化現象のモニタリング、要因解析及び対策	60
3.1	富栄養化現象への対応の流れ	60
3.2	影響面からの対策の必要性の判断	62
3.3	各段階での対応	63
3.3.1	日常的な対応	65
(1)	水利用状況、土地利用等の状況確認	65
(2)	ダム貯水池の水質状況等の確認	67
3.3.2	発生する可能性の高い時期の対応	69
(1)	アオコレベルの確認	69
(2)	詳細な水質等の調査	76
(3)	予防対策の検討・実施	77
3.3.3	発生時の対応	78
(1)	発生要因の検討	78
(2)	発生時対策の検討・実施	83
3.3.4	発生後の対応	94
(1)	モニタリング結果の解析による対策効果の確認	94
(2)	実施対策の評価	95
(3)	対策・モニタリング計画の見直し	96

< 巻末参考 >

1. 富栄養化対策手法の解説
2. ダム・湖沼における富栄養化対策事例
3. ケーススタディダムにおける検討結果
4. 用語集

本書の構成

目次構成

本書は、大きく3つの章により構成される。

第1章 富栄養化現象

第2章 アセスメント段階（ダム計画時）における水質予測と環境保全措置

第3章 供用段階（ダム完成後）における富栄養化現象のモニタリング、要因解析及び対策

各章の構成

本書の各章における構成を以下に示す。

(箱書き)

基本となる事項を記載する。

【解説】

箱書きに記載した事項の背景となる考え方や具体的な実施事項等について解説する。

【参考文献】

箱書き、解説に記載した事項に関連する文献として、公表されている基準、マニュアル、書籍等を記載する。

なお、【解説】では、特に重要な部分を_____（下線）で強調する。

各章の概要

各章の概要は以下のとおりである。

第1章 富栄養化現象

1.1 富栄養現象とは

富栄養化現象とは、人為的負荷によりダム貯水池へ窒素、リンなどの栄養塩類の供給が増加し、その結果、水域の栄養塩類濃度が徐々に高くなる「富栄養化」の過程と、富栄養化レベルが、貧栄養・中栄養を経て至った富栄養状態で発生する現象を指す。

- ・「富栄養現象」について解説する。

1.2 富栄養化レベルとは

水中の栄養塩類濃度と生物生産の高低によって、栄養塩類濃度が低く生物生産の低い状態を貧栄養レベル、栄養塩類濃度が高く生物生産の高い状態を富栄養レベルと分類されている。また、貧栄養レベルと富栄養レベルの間は中栄養レベルとして区分される。

- ・富栄養化レベルについて解説する。

1.3 ダム貯水池における富栄養化による影響

1.3.1 富栄養化状態で発生する影響

富栄養状態では、水域の栄養塩類濃度が高いため、藻類の増殖による透明度の低下、水色の変化、昼間のpHの上昇等の水質変化が生じる。さらに特定の藻類の増殖が進むと、アオコ等の生物異常発生現象が顕在化し、それに伴いかんがい用水の水質低下等のかんがいへの影響、景観阻害や悪臭の発生等のかんがい以外への影響が発生する。

- ・富栄養化の進行に伴う影響、並びに生物異常発生による影響・被害の概要及び被害事例について、ダム貯水池内の影響だけではなく、利水・設備への影響等を解説する。

1.3.2 代表的な生物異常発生現象の一つであるアオコ発生による影響

富栄養状態で発生する代表的な生物異常発生現象の一つであるアオコとは、富栄養化が進んだ湖沼やダム貯水池などの閉鎖性水域で、水温が20°C以上になる初夏から初秋にかけて、ミクロキスティスやアナベナなどの藍藻類が異常増殖して、水面が青藍色の粉で覆いつくされたようになる現象であり、透明度が低下するばかりでなく、かんがい利用、レクリエーション施設としての利用、魚類や底生生物、上水などへの影響が発生する。

- ・代表的な生物異常発生現象の一つであるアオコの発生による影響について、かんがいへの影響と、かんがい以外への影響について解説する。

1.4 生物異常発生の発生要因と環境への影響

富栄養状態のダム貯水池で生じる環境や利水への影響には、生物の異常発生そのものに起因する景観や利水障害等と、異常発生した生物の死滅によって生じる悪臭発生等があり、その発生要因は異なる。

- ・富栄養状態のダム貯水池で生じる利水や環境への影響について解説する。

1.4.1 生物異常発生の発生要因

生物異常発生とは、一般に特定の藻類の異常増殖によりダム貯水池の水面で顕著な変色を確認された状態を指す。これらの現象の発生要因は、第一に、流域の土地利用等の変化（森林の農耕地化、農耕地の宅地化、工場や畜舎等の増加など）によって流入水質が変化し、結果として流入水の栄養塩類の増加によりダム貯水池が富栄養化することがあげられる。それに加えて特定の藻類の増殖に適した水温や日射量等の気象条件が整ったり、水理条件としての流入水量の増減なども関係するほか、ダム貯水池内の生物の相互作用等も関係することから、発生要因は複雑である。

- ・アオコや淡水赤潮に関係する植物プランクトンの異常発生の要因について解説する。

1.4.2 生物異常発生に伴うかんがいへの影響

富栄養状態のダム貯水池におけるアオコ等の生物異常発生に伴う利水面への影響としては、農業用水基準の超過等のかんがい用水としての水質低下が懸念されるほか、かんがい施設が目詰まり等が発生する可能性もある。

- ・富栄養状態のダム貯水池におけるアオコ等の生物異常発生に伴う利水面への影響について解説する。

1.4.3 生物異常発生に伴う悪臭の発生要因

藍藻類や放線菌の一部の種が、悪臭の原因となる物質を生成し、放出することによって、悪臭が発生する。悪臭の原因物質としては、2-メチルイソボルネオール（2-MIB）やジエオスミンがよく知られている。2-MIB等の悪臭は上水道利用のあるダム貯水池でカビ臭ともいわれる。

- ・悪臭を発生させる主な藻類、並びに悪臭の発生に関する知見（主な藍藻類との関係など）について解説する。

1.5 富栄養状態に至りやすいダム貯水池の特性

富栄養状態に至りやすいダム貯水池の特性は、滞留時間が長い、表層水温が温まりやすい、流域からの栄養塩類の流入量が多い等が挙げられる。

- ・富栄養状態に至りやすいダム貯水池の特性について記述する。

1.6 物理・水環境と発生種の特性

生物異常発生や悪臭の発生を左右する物理・水環境の要因として、水温(季節変化と日変化、水温成層の発達など)、光(日照時間、水中照度、透明度)、水質(栄養塩類、pH など)、水の動き(鉛直混合、湖内流動)などが挙げられ、発生種ごとにその適性が異なる。

- ・生物異常発生の代表的な例であるアオコの発生しやすい気象条件や生態学的特徴について解説する。

第2章 アセスメント段階(ダム計画時)における水質予測と環境保全措置

2.1 アセスメント段階における水質予測の方法

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

- ・ダムアセスメントにおける富栄養化の予測評価手順について解説する。

2.2 概略的な予測

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

2.2.1 統計的手法(Vollenweider モデル)

- ・Vollenweider モデルによる予測・評価方法を解説する。

2.2.2 その他の概略的予測手法

- ・類似事例の引用、及び年平均回転率による解析・予測手法について解説する。

2.3 数値シミュレーションモデルを用いた水質の予測

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

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

2.3.1 数値シミュレーションとは

- ・数値シミュレーションの概要を説明し、モデルの種類、モデルの選定の考え方及び予測手順について解説する。

2.3.2 モデル選定の考え方

- ・環境保全措置の視点から数値シミュレーションモデル選定の考え方について解説する。

2.3.3 数値シミュレーションによる予測手順

- ・数値シミュレーションの流れや、数値シミュレーションモデル構築に必要なパラメーターの選定・同定に必要な観測データ等について解説する。

2.4 水質予測結果を踏まえた環境保全措置の検討

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

2.4.1 数値シミュレーションで検証可能となる主な環境保全措置

- ・水質保全対策例と、その対策評価が可能となる数値シミュレーションモデルの選定方法について解説する。

2.4.2 環境保全措置の選定

- ・環境保全措置の選定の考え方について解説する。

2.5 環境影響評価手法

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

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

- ・評価項目、評価基準について解説する。

2.6 事後調査（モニタリング調査）の計画策定

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

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

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

- ・通常のモニタリング調査（定期調査）、水質保全設備設置時の場合（曝気循環設備及び選択取水設備の場合）の調査について解説する。

第3章 供用段階(ダム完成後)における富栄養化現象のモニタリング、要因解析及び対策

3.1 富栄養化現象への対応の流れ

富栄養化現象への対応には、「日常的な対応」「発生する可能性の高い時期の対応」「発生時の対応」「発生後の対応」の大きく4つの段階があり、各段階に応じて適切な対応を行う。

- ・ダム管理者が供用段階で発生する可能性のある富栄養化現象への対応を段階ごとに解説する。

3.2 影響面からの対策の必要性の判断

富栄養化現象が発生した場合には、発生源や発生状況の把握、原因物質の特定を行いつつ、特に影響範囲や程度について十分な状況把握を行い、対策の必要性・緊急性を検討して各種対応策の実施を判断する。

- ・影響面からの対策の必要性の判断に関する具体的な内容について、利水に係る影響、施設に係る影響、周辺地域に係る影響等の観点から解説する。

3.3 各段階での対応

富栄養化現象への対応としては、ダムの供用開始段階では貧栄養、中栄養であっても人為的負荷によりダム貯水池へ窒素、リンなどの栄養塩類の供給により、中長期的に富栄養に至ることが多い。このことから、水質及び富栄養化現象発生に影響する環境条件などを日常的に把握し、現象が発生する可能性が高い時期、現象の発生時、現象の発生後の各段階に応じて適切な対応を行う。

- ・富栄養化現象への対応を4つの段階に区分し、それぞれの段階について解説する。

3.3.1 日常的な対応

ダム貯水池の水利用状況や流域の状況等を定期的に把握し、ダム貯水池がアオコの発生しやすい状態に変化していないかを確認する。また、ダム貯水池の水質のうち、簡易的に測定できる項目について定期的に監視し、例えば水色の変化や透明度の低下の把握によって、富栄養化現象の発生の兆しを早期に発見する。

(1) 水利用状況、土地利用等の状況確認

- ・日常的に必要となる対応として、水利用状況、ダム貯水池の監視や水温等の測定、気象情報の状況把握等について解説をする。

(2) ダム貯水池の水質状況等の確認

- ・日常的に必要となる対応として、簡易な水質の状況把握について解説をする。

3.3.2 発生する可能性の高い時期の対応

富栄養化現象が発生する可能性が高くなったと考えられる場合には、水面の状況、水温の監視にあわせて、「見た目アオコ指標レベル」を用いてその発生状況を把握する。

また、水質改善対策の検討材料とするため、詳細な水質調査を実施するとともに、取組可能な範囲で富栄養化現象の発生を予防する対策に取り組む。

(1) アオコレベルの確認

- ・監視・観測の強化、予防対策並びに「見た目アオコ指標レベル」について解説する。
- ・アオコレベルとその被害について解説する。

(2) 詳細な水質等の調査

- ・詳細な水質等の調査内容について解説する。

(3) 予防対策の検討・実施

- ・アオコの発生の高い時期の予防対策の考え方について解説する。

3.3.3 発生時の対応

ダム貯水池が富栄養状態となり、アオコ発生が頻繁に発生する等の富栄養化現象の発生が確認された場合には、発生した時期の水質状況から、富栄養化現象の発生要因を検討するとともに、この結果等を踏まえて、富栄養化現象を抑制する対策を検討し実施する。また、対策内容が変更となる場合などにはモニタリング計画の見直しを行う必要がある。

(1) 発生要因の検討

- ・状況等の把握、発生要因の確定、対策検討、対策後の効果確認について解説する。

(2) 発生時対策の検討・実施

- ・富栄養化対策、実施について解説する。

3.3.4 発生後の対応

富栄養化現象に対して導入した水質改善対策の効果発現状況については、3.3.2 及び 3.3.3 の一連の調査結果を用いて、水質評価基準または目標を満たしているか、もしくは対策前の水質よりも改善されている状況にあるか等を評価し、必要に応じて対策・モニタリング計画の見直しを実施する。

(1) モニタリング結果の解析による対策効果の確認

- ・水質改善対策の効果検証にあたって整理する点について解説する。

(2) 実施対策の評価

- ・富栄養化現象に対する水質改善対策の効果検証の着目点について解説する。

(3) 対策・モニタリング計画の見直し

- ・対策の効果の程度により、対策・モニタリング計画の見直しの方針について解説する。