＜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

１.富栄養化対策手法の解説

一般にアオコの抑制対策は図 1 に示すとおり、対策箇所に応じて大きく分類して流域対策、流入河川対策、貯水池内対策および放流対策に分けられる。

ここでは、図に示すアオコ対策について、主に国土交通省及び各都道府県等のダム管理者が公表している資料を収集し、事例整理を行った。更にインターネット上で閲覧が可能なアオコ対策に関する論文、国土交通省が運営している新技術情報提供システム（NETIS）に申請情報として登録されているアオコ対策に関する技術、経済産業省特許庁に特許を出願しているアオコ対策に関する技術、水環境や水関連の装置を開発・製造しているメーカー・企業等のホームページ等、幅広い視点から情報収集を実施した。また、海外の事例についても収集を試み、日本で実施されていない事例についても紹介している。収集したアオコ対策の概要は表 1(1)～(5)に、ダム等における対策事例は表 2(1)～(3)に示すとおりである。

- アオコ発生への対応
  - 流入河川対策
    - 副ダム：汚濁物質を沈殿させる
    - バイパス：貯水池を迂回し、汚濁物質を直接下流へ放流する
    - 水質浄化：汚濁物質をろ過等で除去する
  - 貯水池内対策
    - 曝気：躍層形成を抑制する、または底質からの溶出を抑制する
    - 流動化：貯水池表層を循環させ、躍層形成を抑制する
    - 浚渫：底質の汚濁物質を除去する
    - 覆砂：底質の汚濁物質の溶出を抑制する
    - 底質改善・底泥固化：薬剤等を散布し、底質の汚濁物質を吸着させる
    - 池干し：底泥を空気にさらして酸化させ、底質からの溶出を抑制する
    - 水位低下：貯水池の回転率を向上させる
    - 遮光：シート等で、アオコの増殖に必要な光を抑制する
    - 分画フェンス：流入栄養塩を無光層へ潜り込ませる
    - 浮島：水生植物を浮かべ、植物根茎からの栄養塩を吸収させる
    - 撹拌：アオコ発生時に水面を撹拌し集積したアオコを沈殿させる
    - アオコ回収：アオコ発生時に船やバキュームカーで回収する
    - アオコ処理：アオコ発生時に集積したアオコを殺藻する
  - 放流対策
    - 選択取水：任意の水深から放流し、アオコの増殖を抑制する
  - 流域対策
    - 汚染源管理：減肥・排水処理等により排出負荷量を削減する
    - 教育・啓発：環境教育や意識啓発により、排出負荷量を削減する

図 1　アオコの抑制対策

表 1(1)　アオコ対策

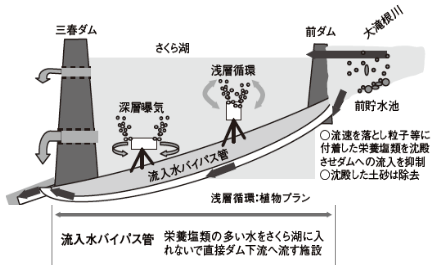
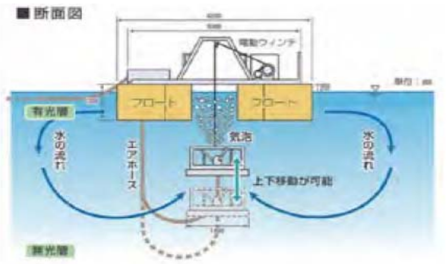
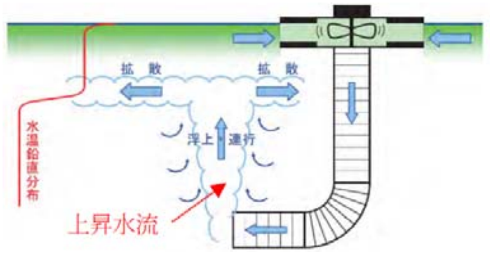
分類	対策名	対策のメカニズム	期待される効果、特徴	維持管理方法	留意点	建設費用・維持管理費用
流入河川対策	副ダム	ダム貯水池の流入端に設置し､粒子性の栄養塩を沈降させる。 	・貯水池への粒子性の栄養塩の流入を減らし、植物プランクトンの増殖を抑える。 ・リンなどの溶解性の栄養塩は、凝集剤を添加して不溶解性物質に転換し、副ダムに沈殿させる場合もある。 ・設置してから水質改善効果を発揮するまでに、一定の期間が必要になる。	副ダムに溜まる土砂を定期的に浚渫し、除去する。	・沈殿物や流木などの除去が必要	情報なし
	バイパス	貯水池内に流入する排水などを貯水池の下流へバイパスし、富栄養化を防止する。 	・懸濁態栄養塩の貯水池流入を低減することができる。	－	・流入水量の減少により、回転率の低下を招く場合がある。	情報なし
	水質浄化	流入河川からの汚濁負荷を多孔質物質で吸着･除去させる。 	・貯水池内に流入する前に植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩類を除去する。 ・栄養塩類のほかに、BOD、COD、SS 等の除去も行い、水質改善の効果も期待できる。	・カゴ網の投入・撤去 ・多孔質物質の詰まり防止のために定期的に洗浄することが必要	・河道内に施設を設けた場合、出水時等は、流出防止のために一時的に撤去する必要がある。 ・除去効果を保つためには、流量のコントロールが必要である。	情報なし
貯水池内対策	曝気 (浅層曝気循環)	浅層で曝気･循環を行うことにより有光層と無光層の水を循環させ、水温躍層の形成を低下させる。 	・表層の植物プランクトンを無光層に送り込むことにより増殖を抑制するとともに、水温躍層の形成が低下するため、栄養塩を含んだ流入水が下層に流入するようになり、有光層の植物プランクトンの増殖を抑制する。 ・設置してから水質改善効果を発揮するまでに、一定の期間が必要になる。	散気管、ウィンチ、ワイヤー、エアホース等の点検	・上昇水流の直上では、船舶等への影響がある。 ・設置箇所の水深により、湖底設置型と水位追随型のいずれかを選択する必要がある。 ・水温躍層が発生する前に運用を開始し、アオコ発生が懸念される春～秋にかけて常時運転を行う。	＜浅層・全層曝気循環装置＞ 建設費：6,500 万円/基　（メーカー聞き取り） 維持管理費：年次点検費 90 万円/年　ホース取替費：520 万円 ※耐久年数 5 年の製品の場合
	曝気 (全層曝気循環)	全層を曝気･循環することにより、水温躍層を破壊して貯留水の鉛直方向の混合を促進する。プロペラ式循環装置は、プロペラの稼働により表層水を吸い込み、プロペラに接続されたホースを通じて吸い込まれた水を貯水池深部から吐き出す仕組みの水質改善装置である。 	・植物プランクトンの無光層への送り込みによる増殖の抑制、底層への酸素供給による底泥からの栄養塩の溶出抑制を行う。 ・プロペラ式循環装置は、表層付近の温かい水を下層に吐き出すことによる混合循環の促進を行う。 ・設置してから水質改善効果を発揮するまでに、一定の期間が必要になる。	散気管、ウィンチ、ワイヤー、エアホース等の点検	・上昇水流の直上では、船舶等への影響がある。 ・水温躍層が発生する前に運用を開始し、アオコ発生が懸念される春～秋にかけて常時運転を行う。	＜プロペラ式循環装置＞ 建設費：6,500 万円/基 維持管理費：年間電気料金（6 ヶ月/年稼働）　60 万円/年 プロペラ循環装置点検整備更新費 110 万円/年 ※プロペラ循環装置点検整備更新費は、1 回/2 年の点検費、1 回/4 年の大規模点検費（モーター交換等）の総額を年換算して算出している。

表 1(2)　アオコ対策

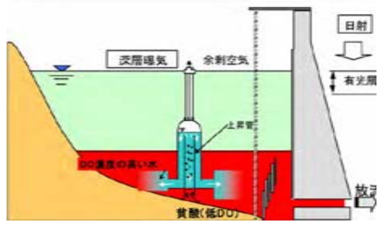
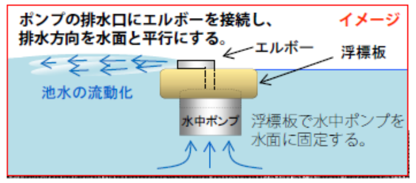
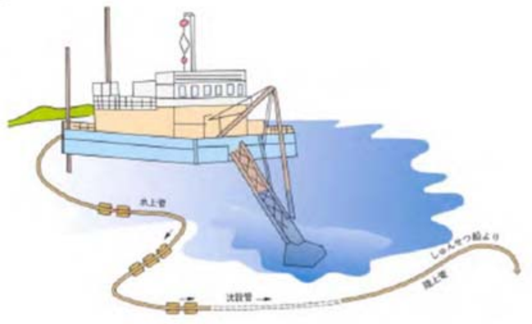
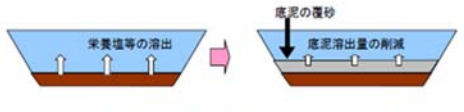
分類	対策名	対策のメカニズム	期待される効果、特徴	維持管理方法	留意点	建設費用・維持管理費用
貯水池内対策	曝気 (深層曝気)	底層水に酸素を溶かし込んで底層水の溶存酸素（DO）を改善する。 	・底層水の溶存酵素（DO）が改善され、底泥からの栄養塩類（リン）の溶出が減少することによりアオコ発生を抑制する。 ・水没式エアリフト型の場合、水中に設置が可能で、水上には大きな構造物が出ないため、設置条件面で有利である。 ・底層の貧酸素化を生じているダム貯水池では、よく採用されている。	コンプレッサーの整備点検	・貯水池の規模と溶存酸素（DO）の状態に応じて必要な基数を導入する必要がある。 ・水温躍層が発生する前に運用を開始する。	建設費：7,200 万円/基（制作、据付） 維持管理費：2,100 万円/15 年(運転費含まず) （上記はいずれもメーカーヒアリング）
	流動化	装置により水流を発生させて、水域を流動化・循環させ、停滞を改善する。 	・水の停滞によりアオコが集積している場合、アオコ原因藻類を分散させ、アオコを解消する効果が期待できる。 ・アオコが大量に集積し腐敗すると悪臭を放つため、アオコを攪拌することで、悪臭解消対策としても効果がある。 ・一般的にアオコは水の停滞が解消されると増殖が抑制されるため、予防的な効果も期待できる。 ・非稼働時期にアオコが発生した場合、発生水域で運用すればアオコの解消が期待できる。	設備の点検・整備・交換が必要である。	・装置は小規模で効果は限定的であるため、一般的に停滞した小規模水域の改善に用いられる。 ・比較的大規模な水域を対象とする場合は、全体的に十分な流動を発生させるように多数設置するとともに、水域形状を考慮した配置とする必要がある。 ・水温躍層が発生する前に運用を開始する。	情報なし
	浚渫	栄養塩類を含む湖底を浚渫することにより、栄養塩類の底泥からの溶出を減少させる。 	・汚濁物の系外除去 ・底泥からの栄養塩類溶出の防止 ・生物生息域の修復･創造等	－	・取り除いた汚泥の処理、再利用の検討が必要。 ・大規模な貯水池の場合、浚渫を一部区間で実施しても、池全体の改善につながらない場合がある。 ・流域からの汚濁負荷の影響が大きい場合は、浚渫と合わせて、流域の排出負荷量対策を講じないと、浚渫による底質改善の効果を維持することはできない。 ・浚渫を行った後、水質が悪化した事例も多く、十分な調査検討を行い、取り除く底泥の深さや浮泥の移動状況を事前に検討した上で対策を実施することが望ましい。 ・予防的対策としてアオコ発生前に実施する。	情報なし
	覆砂	貯水池の底に堆積した土砂･ヘドロ等の底泥を砂で覆う。これにより、底泥から水中への栄養塩類等の溶出抑制を図る。  覆砂による湖沼水質の保全・改善対策のイメージ	・底泥から水中への栄養塩類等の溶出を抑制する。 ・堆積物中の有機物の分解による酸素消費を軽減する(底層水の DO 低下の抑制)。	－	・水域の特性にもよるが効果の持続性には難があり、数年後には元の状態に戻ってしまうケースもある。	情報なし
	底質改善・底泥固化	薬剤等を底泥に投入または散布し、底質改善の場合は底泥中の有機物等を吸着・分解、底泥固化の場合は底泥を固化（不溶化）する。いずれの方法も、底泥からの栄養塩類の溶出を抑制する。	・底泥からの栄養塩の溶出削減により、水中への栄養塩類供給を抑制し、植物プランクトンの増殖を抑える。 ・底泥巻き上げ抑制により、水の濁質を抑制し清澄性を増加するほか、巻き上げ懸濁物からの栄養塩類供給も抑制する。	維持管理は特に必要ないが、効果が減少した時点で、再度の投入・散布が必要となる。	・薬剤成分が生態系や用水影響に影響がでないものを選択する必要がある。 ・底泥が再堆積した時点、または改善効果が減少した時点で、再度の投入・散布が必要となる。 ・対策実施後、水質改善効果を発揮するまでには一定の期間が必要になる。 ・アオコ発生前に実施する。 ・薬剤剤の効果持続期間、底質状況にもよるが、一般的には定期的な投入が必要である。	情報なし

表 1(3)　アオコ対策

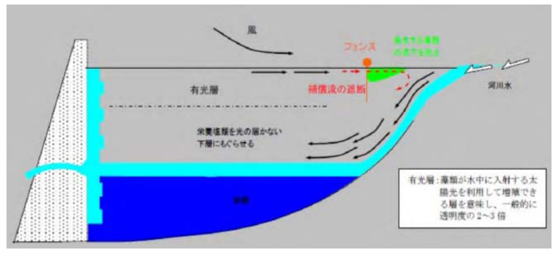
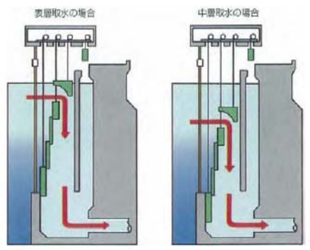
分類	対策名	対策のメカニズム	期待される効果、特徴	維持管理方法	留意点	建設費用・維持管理費用
貯水池内対策	池干し	・底泥を空気にさらして乾燥・酸化させることで底泥からの栄養塩類溶出を抑制する。 ・一般的には、水利用が少ない冬季に水位を低下させ、底泥を数ヶ月程度乾燥させる。 ・①水位低下時の波や降雨による底泥洗い流し作用、②日光中の紫外線による殺藻作用、③温度変化による殺藻作用（日温度変化、凍結）、④土壌粒子の団粒化、⑤酸化作用によるリンの不活性化、⑥有機物の好気的分解作用、⑦底生生物、土壌微生物相の変化による作用等が総合的に作用することにより、水質改善の効果が生じると考えられる。 	・日光に含まれる紫外線の作用や乾燥、温度上昇等により、湖底に堆積する藻類の栄養細胞あるいは休眠胞子の殺藻・不活性化を図る。 ・富栄養化した貯水を排出し、フレッシュな河川水を貯留することで水質改善を図る。 ・水位を下げて浚渫を行うよりも、水位を下げた状態で天日乾燥させた方がアオコ制御に効果があることが実験で明らかになっている。	非かんがい期の 2～3 ヶ月間実施。 貯水池の運用で対応可能なため、特に費用はかからない。	・水質悪化しやすいため池の場合、池干しを実施しても数年で元の底質・水質に戻る場合がある。 ・実施する際は、池干し後の貯水量の回復・確保に関する水利用者等との調整や池の生態系への配慮が必要である。 ・冬季以外に実施すると草が生えて問題になる。 ・底質の性状によっては、池干しの実施により、底泥から溶出する窒素が増加する可能性があるため、窒素が植物プランクトン増殖の制限要因となっている貯水池では、注意が必要である。	貯水池の運用で対応可能なため、特に費用はかからない。
	水位低下	貯水池の水を放流し水位を低下させ、水の入れ替えを促進し、滞留時間を短縮（回転率を向上）させる。	・水の入れ替えを促進し、滞留時間を短縮（回転率を向上）させる。	－	・実施の運用では、貯水量の回復・確保に関する水利用者等との調整や池の生態系への配慮が必要である。	情報なし
	遮光	水面に遮光用のネット・シート等を浮かべ、植物プランクトンの増殖に必要な光を抑制する。 	・植物プランクトンの増殖に必要な光を抑制する。	－	・完全遮光を行うとかえって水質が悪化する場合があることから、実施に当たっては注意が必要である。	情報なし
	分画フェンス	・フェンスを設置することによりフェンス上流で発生した藻類が表層流や風により下流に流下することを防ぐ。 ・窒素（T-N）やリン（T-P）等の栄養塩類を多く含んだ河川からの流入水をフェンス上流側に滞留させるとともに藻類に消費させる。 ・窒素（T-N）やリン（T-P）等の栄養塩類を多く含んだ流入水を光の届かない下層に潜らせる。  	・栄養塩濃度の高い流入水を無光層に導き、植物プランクトンの発生を抑制する。 ・選択取水設備を併用し、下層に導入した流入水を速やかに排出することで効果が増大する。 ・運転操作の必要が無い ・アオコ発生時に設置した場合もアオコの軽減策として効果が期待できる。 ・分画フェンスの設置位置はフェンス上流の滞留時間が、3 日～1 週間程度となる位置とする必要があるが、貯水池の立地や周辺環境に応じて異なる。また、フェンスの深さは、有光層の深さや水温の鉛直方向の分布等を考慮して決定する必要がある。	・フェンスに捕捉されたゴミ等の排除 ・洪水後の点検	・アオコが貯水池全体で発生する場合、複数箇所のフェンスが必要となる場合がある。 ・水面を分断するため、通船ゲートを設置するなど、ボート・ヨット等の湖面利用に配慮する必要がある。 ・出水時にアオコがフラッシュされる可能性があるため、その程度によっては、下流へ配慮する必要がある。 ・設置してから水質改善効果を発揮するまで一定の期間が必要になる。 ・予防的対策としてアオコ発生前に設置する。	建設費：25 万円/m（フェンスの深さ 10m の場合）（設備：フェンス、洪水時離脱装置） 維持管理費：50 万円/基（保守点検）（メーカーヒアリング）

表 1(4)　アオコ対策

分類	対策名	対策のメカニズム	期待される効果、特徴	維持管理方法	留意点	建設費用・維持管理費用
貯水池内対策	浮島	水生植物を植栽した人工島を水上に浮かべ、植物根茎による栄養塩の吸収、根茎に付着する微生物による栄養塩の吸収・分解を図る。 	・植物プランクトンを捕食する動物プランクトン等の生息基盤となったり、遮光効果による植物プランクトンの増殖抑制などの効果を期待できる。 ・設置場所の水深や底質の制約を受けない。 ・陸上部の設備用地が不要である。 ・貯水池内に直接設置するため、吹送流等の自然流動を利用しやすい。	・浮島の設置植物の植付・刈取	・植物プランクトンの増殖を抑制するために必要な浮島の設置面積は、一般的に水面積に占める遮蔽率で 20～30%とされており、大規模な浮島の設置に要するコスト等の課題がある。	情報なし
	攪拌	集積したアオコを舟のスクリュー等により沈殿する 	・集積・腐敗したアオコを攪拌し、沈めることで、アオコによる悪臭の解消を行う。	・定期的な装置の点検	・対症療法であり、発生源の根本的な解決にはならない。	情報なし
	アオコ回収	集積したアオコをバキュームカーやアオコ回収船で吸引・回収する。 	・応急処置対策や局所的なアオコ発生に対して有効である。 ・アオコとともに、アオコに含まれる窒素・リンを併せて除去できる。 ・特殊なフィルターによるろ過や脱水、濃縮などを施すことで、肥料として活用できる場合もある。 ・アオコ回収船は水域内を自由に移動できるため、様々な場所で発生するアオコへの対応が可能。また、多浮遊ゴミ清掃船、流木回収船、流出油回収船、巡視艇等の多目的用途にも使用可能。	・ポンプ吸込部ストレーナの清掃 ・ポンプの点検整備	・汚泥の処分が必要となる。 ・バキュームによるアオコの回収は、アオコが貯水池表面に層状にならないと効果的に吸引できない。	・アオコ回収船（メーカーヒアリング）：概算設備費：1,000 万円/基（回収船本体）1,000 万円/基（台船） 保守点検費：50 万円（但し、別途アオコ処分費用が必要） ※本体・付属フレキホース・送料一式 ・アオコ処理装置：情報なし
	アオコ処理	集積したアオコを一時的に吸引し、現地で殺藻し処理する。殺藻後のアオコは底層に沈下する。 	・応急処置対策や局所的なアオコ発生に対して有効である。 ・装置が自動運転するため、アオコ回収と比較して維持管理が容易である。	・定期的な装置の点検	・殺藻の場合は、表層のアオコ増殖を抑制するが、沈下したアオコから栄養塩類が溶出され底層の栄養塩類濃度が上昇する可能性がある。	・装置本体：2,800 万円/台 ・フェンス：150 万円/一式 ・電気機盤・据付工事費：550 万円/台 ・装置運搬費：別途発生 ・電気代：15 万円/月 ・初期指導費：1 万円 ・メンテナンス：40 万円/年
	淡水赤潮処理	紫外線照射により赤潮細胞を殺藻する淡水赤潮処理船を開発。 	淡水赤潮の細胞数を濁度を指標として推定し、紫外線照射時間を調整することで安定した殺藻率が得られる自動制御システムを装備している。これにより、湖水中の淡水赤潮細胞数に急激な変化がある場合でも、ほぼ 99%の殺藻率を得ることが可能である。7 年以上の実績あり。	情報なし	情報なし	情報なし

表 1(5)　アオコ対策

分類	対策名	対策のメカニズム	期待される効果、特徴	維持管理方法	留意点	建設費用・維持管理費用
放流対策	選択取水	取水口の高さを変え、任意の層から選択的に取水し、アオコの発生している表層の水や、逆にアオコの発生していない中下層水を放流することで、貯水池やその下流域への影響を回避する。  図 選択取水イメージ 出典：水資源機構 布目ダム管理所　布目ダムパンフレット	・流入する栄養塩を表層に補給しない。そのため、有光層の植物プランクトンへの栄養塩の供給及びアオコの増殖を抑制する。 ・分画フェンスとの併用により、効果は大きくなる。	・取水口等の点検設備 ・陸上と潜水による作業がある。	・表層で植物プランクトンが発生したときに実施。 ・設備を設置してから水質改善効果を発揮するまでには一定の期間が必要になる。 ・風による吹き寄せなどの影響で、アオコが集積したときに実施する。	情報なし
流域対策	汚染源管理	減肥・排水処理等により排出負荷量を削減する。	・減肥による農作物のブランド化や畜産排泄物を用いたバイオマス発電など。	・対策により異なる。	−	対策により費用は異なる
	教育・啓発	環境教育や意識啓発により、排出負荷量を削減する。	河川や貯水池の水質改善、生息生物種の増加など。	・環境学習等を継続する。	−	−

２．ダム・湖沼における富栄養化対策事例

表 2(1)　ダム等におけるアオコ対策事例

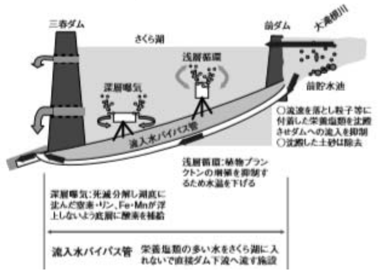
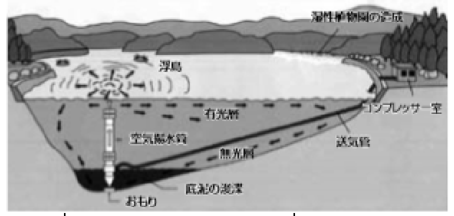
分類	対策名	ダム・湖名	規模	所在県	管理者	アオコの優先種	発生原因	概要	設置費用等	効果	その他設置等の事例
流入河川対策	副ダム	室生ダム	総貯水量： 16,900 千 m^3 湛水面積： 105ha	奈良県	機構	ミクロキスティス (H15～23)	流入河川負荷 底質からの栄養塩類の溶出	室生ダム貯水池の上流端に河川水を一時滞留させ、沈降粒子に含まれる栄養塩類（窒素、リンなど）を除去することにより流入河川からのリン負荷を削減することを目的として、平成 13 年 3 月に設置。 副ダム内に沈降させた土砂は天日乾燥後、湖外へ搬出処分している。 堤高 14.5m、堤頂長 114m	建設費：約 30 億円 維持管理費：約 2,200 万円/年	流量が多いほど室生ダム貯水池への T-P の流入量が低減している。 ただし、ダム等の維持管理に必要な時期及び大規模な出水時には緊急用ラバーゲートを倒伏させるため、この間の低減効果はなくなる。	・阿木川ダム(岐阜県) 総貯水容量 48,000 千 m^3,湛水面積 158ha ・嘉瀬川ダム(佐賀県) 総貯水容量 71,000 千 m^3,湛水面積 270ha
		布目ダム	総貯水量： 17,300 千 m^3 湛水面積： 95ha	奈良県	機構	ミクロキスティス (H15、19)	流入河川負荷 底泥からの栄養塩類の溶出	粒子性の栄養塩類を副ダム内で沈降させて、本ダム貯水池に流入する栄養塩類負荷を軽減することを目的に 1990 年度に副ダムを設置。 毎年 10 月から 11 月にかけて、バックホウ、ポンプ船等を用いて浚渫を実施。 堤高 14.5m、堤頂長 133.3m	情報なし	副ダムによる粒子態リンの沈降削減効果が見られる。 H16 以降アオコは発生していないが、赤潮が発生している。	
	バイパス	三春ダム	総貯水量： 42,800 千 m^3 湛水面積： 290ha	福島県	国	アナベナ ミクロキスティス	流入河川負荷	前貯水池からダム貯水池への流入負荷の削減を目的として設置。  	情報なし	T-N、T-P ともに前貯水池バイパス期間において負荷の削減がみられた。	・阿木川ダム(岐阜県) 総貯水容量 48,000 千 m^3,湛水面積 158ha ・芦ヶ池調整池
	水質浄化	小里川ダム	総貯水量： 15,100 千 m^3 湛水面積： 55.0ha	岐阜県	国	ダム流入河川の浄化を目的としており、アオコ対策に特化したものではない。	情報なし	情報なし	情報なし	情報なし	・八田原ダム（広島県） 流入河川に植生浄化施設（ビオトープ）を設置し、栄養塩類の対策として栄養塩類（T-N、T-P等）を除去
貯水池内対策	曝気	高山ダム （浅層曝気循環）	総貯水量： 56,800 千 m^3 湛水面積： 260ha	京都府	機構	ミクロキスティス (H15 年以降発生なし)	流入河川負荷 	水深約 15～20m 程度から空気泡を出し湖水の鉛直循環を起こすことで、アオコなどの藻類（植物プランクトン）の異常発生を抑制することを目的に設置。 設置状況：2001 年度～2003 年度にかけて 4 基設置（2002 年度に 1 基、2003 年度に 2 基、2004 年度から 4 基の運用を実施）	1 基当たり費用：約 6,500 万円 1 基当たり年間運転費（電気代）：約 270 万円 1 基当たり年間維持費（点検費）：約 60 万円	4 月～10 月に曝気水深約 20m で連続運用。毎年夏期（7 月頃から 9 月頃）にアオコの発生が見られていたが、2 基の運用を開始した 2003 年以降、アオコの発生は見られていない。	・鹿野川ダム(愛媛県)、5 基 総貯水容量 48,200 千 m^3,湛水面積 209ha ・草木ダム(群馬県)、5 基 総貯水容量 60,500 千 m^3,湛水面積 170ha ・布目ダム(奈良県)、1 基 総貯水容量 17,300 千 m^3,湛水面積 95ha
		大塩ダム （全層曝気循環）	総貯水量： 1,840 千 m^3 湛水面積： 15.5ha	群馬県	群馬県	情報なし	情報なし  	植物プランクトンの増加によってアオコの発生が見られるなど湖水の水質が悪化し、畑地かんがい施設の目詰まりや下流公共用水域への放流水に異臭を伴うなど、周辺に影響を及ぼしていた。 このため、平成 7 年から 6 年をかけて、①湖水の全層循環を行う間欠式空気揚水筒の設置、②階段工を用いた接触酸化流入工の設置、③底泥浚渫、④水生植物による植生浄化（低湿地、浮島）を実施した。	情報なし	アオコの発生が抑えられ、栄養塩類の低減によって水質の改善が図られたことで、これまで 2～ 3 年に一度発生していたアオコの混入に伴う畑地かんがい施設の目詰まりもなくなり、営農上の障害が解消して、良質な農業用水が供給されている。また、アオコによる異臭も解消されたことで快適な水辺環境が整い、来訪者も増加した。	・千屋ダム(岡山県)-プロペラ式循環装置- 総貯水容量 28,000 千 m^3,湛水面積 111ha ・島地川ダム(山口県)-プロペラ式循環装置- 総貯水容量 20,600 千 m^3,湛水面積 80ha
		一庫ダム （底層曝気）	総貯水量： 33,300 千 m^3 湛水面積： 140ha	兵庫県	機構	ミクロキスティス (H15～23) アナベナ(H20、21)	情報なし	全層曝気装置（沈水式：H17～） 2 基 ダムサイトから約 0.2km 地点と 0.5km 地点に設置 昭和 57 年 3 月 試験湛水開始 昭和 58 年 4 月 管理開始 昭和 59 年 3 月 全層曝気装置(浮上槽式)設置	情報なし	全層曝気施設の運用時には、中層から底層にかけて DO の値の上昇効果を示しており、底層部の嫌気化により昭和 57 年、昭和 58 年に発生した硫化水素臭は、昭和 59 年の全層曝気装置設置以降、起きなくなった。 しかし、アオコは依然として継続して発生している。	・余呉湖ダム(滋賀県)、1 基 総貯水容量 14,700 千 m^3,湛水面積 197ha ・羽地ダム(沖縄県)、1 基 総貯水容量 19,800 千 m^3,湛水面積 115ha ・山口調整池(福岡県)、1 基 総貯水容量 4,000 千 m^3,湛水面積 26ha

表 2(2)　ダム等におけるアオコ対策事例

分類	対策名	ダム・湖名	規模	所在県	管理者	アオコの優先種	発生原因	概要	設置費用等	効果	その他設置等の事例
貯水池内対策	流動化	手賀沼	面積：650ha 平均水深：0.85m	千葉県	ー	ミクロキスティス	流入河川負荷	市販の水中ポンプを改良し、アオコの集積がひどい入江に、水面積約 1,500m2 当たり一基の割合（染料を利用した拡散実験から推測）で平成 4 年度から設置。 ポンプの仕様：馬力 1.5kW、空気量 $30Nm^3$/時、循環水量 $40m^3$/時	情報なし	H4 年度以来、毎年アオコの発生時期には改良水中ポンプを入江に設置して流動化を図っており、アオコによる悪臭の苦情が住民から寄せられなくなった。	・霞ヶ浦-スクリュープロペラによる攪拌-
	浚渫	児島湖	総貯水量：2,607 万 m^3 湖面積：$10.88km^2$	岡山県	ー	アナベナ ミクロキスティス	流入河川負荷	児島湖に河川から流入した汚泥を含む底泥の浚渫等による児島湖の水質の改善を目的として、児島湖沿岸農地防災事業が実施された。 脱水処理後の浚渫泥は、水質悪化の要因である湖内のよどみ（深部）の埋戻し及び公共用地の造成土として利用。	＜主要工事＞ ・底泥浚渫工・・・1,580 千㎥ ・ミオ筋浚渫・埋戻工 300 千㎥ ・脱水処理工・・・1,880 千㎥ ・覆砂工（深部）・・110 千㎥ ＜工事期間＞ 平成 4 年度～18 年度	児島湖の水質は、近年、他の対策と相まって緩やかに改善された。	・尾白利加ダム(北海道) 浚渫土砂の農地への客土材としての有効利用 ・広沢池(京都府) 底泥除去をアオコ防除法として選択した場合の除去泥土の利用法の提案
	覆砂	宍道湖	面積：$81.8km^2$ 平均水深：4.5m 貯水量：366,000 千 m^3	島根県	ー	ミクロキスティスイクチオブラーベ(H22)	流入河川負荷 高水温	覆砂による底質改善により、底泥からの栄養塩類溶出を抑制し、併せて、シジミなどマクロベントスの生息可能環境を創出し、それらの自然浄化機能の活用による良好な湖沼水環境の構築を目指している。	15,000 千円程度(H23 年度予定事業費)	・覆砂により、底泥からの栄養塩類の溶出抑制。 ・シジミが植物プランクトン等をろ過捕食することによる水質浄化。 ・漁業活動としてのシジミ漁により、シジミ捕獲をすることで効率的に栄養塩(シジミ)が湖外搬出される。 ・マクロベントスによるバイオターベーション(生物攪拌)により、底泥浄化(酸化層の拡大、有機物の分解促進)される。	・琵琶湖(滋賀県) 事業面積約 18ha、覆砂厚 0.2m
	底質改善 底泥固化	加古里池	面積：0.17ha 水深約 1.5m	大阪府	ー	情報なし	情報なし	固定化菌体による底質・水質改善 池におけるフィールド試験として、池に堆積したヘドロを、バイオコスモ(光合成細菌をゼリー状に固定したもの)により浄化を行った。	・バイオコスモ単価:8,400 円/個 ・ヘドロ $300m^3$ あたりの浄化費用 40 万円程度(水路のケース)	・硫化物の除去率 24.1%、全窒素の除去率 19.4% ・夏期に悪臭が発生していたが、バイオコスモ投入後は、池付近からの苦情が無くなり、効果が現れた。	・諏訪湖(長野県)実証試験 H19～ 天然ゼオライト+マルチドレーン真空脱水法
	池干し	大久手池	面積 7.04ha 平均水深 1.7m	愛知県	ー	情報なし	情報なし	大久手池では、ため池の改修工事に伴って池干しを実施した。	情報なし	COD、BOD、T-P、Chl-a に低減効果が見られ、その後 11 年間効果が持続した。	・渡良瀬遊水地(栃木県) 総貯水容量 2,640 万 m^3、湛水面積 4,500ha ・水主ヶ池(愛知県)
		牛ヶ淵		東京都	ー	ミクロキスティス	流入下水道等の負荷 底泥からの栄養塩の溶出	・水を抜いて 1 ヶ月程度底部を天日乾燥させる。 ・生態系への影響､景観及び早期水位回復の可能性等を検討し､実施箇所を選定することが必要である。	情報なし	・汚濁底泥が空気にふれ酸化状態になると同時に表層部にクラックが入ることにより、底泥内部でも好気状態となり、水を再度溜めた場合に有機物､栄養塩の溶出量が小さくなる。 ・2 年程度効果が見られているが､恒久的ではなく､数年に 1 回の割合で実施が必要と考えられる。	
		三春ダム	総貯水量：42,800 千 m^3 湛水面積：290ha	福島県	国	アナベナ ミクロキスティス	流入河川負荷	三春ダム（蛇石川前貯水池）では、H18.10 月～12 月の 60 日間、水位を低下させた実証実験を実施した。	情報なし	底泥中のミクロキスティスの細胞数は、経日的に減少し、乾燥 2 週間後には 20%以下、30～60 日後にはゼロとなった。	
	水位低下	矢筈ダム	総貯水量：1,390 千 m^3	佐賀県	佐賀県	情報なし	ダム貯水池底堆積物からの供給 流入河川負荷	流入負荷削減対策、ダム貯水池水循環装置の設置と併用で冬場（非かんがい期）の水位低下を平成 16 年 12 月 7 日～ 17 年 1 月 28 日に実施し、貯水池の水位を常時満水位 （E L.100.60m ）から最低水位 （EL.92.62m）まで約 8m、623 千 m^3 の貯留水を放流した。	情報なし	・冬場の貯留水を放流することで、貯留水の入れ替えが促進されることも含めたダム貯水池の回転率の向上による効果 ・ダム貯水池底の土が直接空気に触れることによる、土中有機物の分解促進の効果	・印旛沼(千葉県) 約 30cm の水位低下の実証実験を実施(H20.3～4 の 1 カ月間)
	遮光	東総用水(ファームポンド)		千葉県	機構	情報なし	情報なし	アオコ発生防止を目的とし、遮光板(六角フロート)を 8 カ所のファームポンドに通年設置している。	情報なし	・植物プランクトンの増殖条件の 1 つである光を遮断することで、植物プランクトンの増殖を抑制	・北総東部用水(ファームポンド) (千葉県) 遮光板(六角フロート)：18 カ所 遮光板(四角フロート)：2 カ所

表 2(3)　ダム等におけるアオコ対策事例

分類	対策名	ダム・湖名	規模	所在県	管理者	アオコの優先種	発生原因	概要	設置費用等	効果	その他設置等の事例
貯水池内対策	分画フェンス	上津ダム	総貯水量： 5,600 千 m^3 湛水面積： 33ha	奈良県	奈良県	情報なし	情報なし	＜フェンス位置の決定＞ ・予算を考慮し、ダム貯水池全体を対象にせず、3 つの流入河川のうち最も栄養塩濃度の高い 1 河川の流入部に設置することとし、地理条件、滞留時間等を考慮し、フェンスを設置する位置を決定。 ＜フェンスの長さや高さの決定＞ ・フェンスの長さは、貯水池の水位低下時を考慮して余裕のある長さ（100m）とし、フェンスの高さは、有光層及び夏季の流入河川の水温と、貯水池内の鉛直方向の水温分布から 3m に決定。	＜初期費用＞ フェンスの費用： 19,500 円/m（フェンスの高さ 3m） その他、資材費として係留具、設置作業費などが必要。 ※フェンスは調査のため仮設的に設置。	フェンスの設置により、アオコのフェンス下流への拡散を防止する効果と、フェンス下流への栄養塩の供給を抑制する効果が確認された。	・青蓮寺ダム(三重県) 総貯水容量 27,200 千 m^3,湛水面積 104ha ・比奈知ダム(三重県) 総貯水容量 20,800 千 m^3,湛水面積 82ha
	浮島	上津ダム	総貯水量： 5,600 千 m^3 湛水面積： 33ha	奈良県	奈良県	情報なし	情報なし	・目的：上津ダムの富栄養化に伴うアオコ発生の抑制対策 ・場所：奈良県山添村 上津ダム ・期間：平成 19 年 6 月 12 日～ ・ベチバー草の浮島作り 三重大学・生物資源学研究科では、奈良県農村振興課（旧耕地課）や土地改良区の呼びかけに応える形で上津ダムのダム貯水池に浮かべるためのベチバー草のいかだ作りに協力している。	情報なし	・上津ダム環境美化運動への参加は環境運動に取り組むためのモチベーションを地域で高めるのに一役かっている。	・阿木川ダム(岐阜県) 空芯菜の浮島：96 個(約 23m²) (H20 年度) ・高山ダム(京都府) 植栽フローティングマット 20 枚
		ゴルフ場調整池	総貯水容量 2 千 m^3 水深約 1m	神奈川県	民間	情報なし	情報なし	・クラブハウスの浄化槽処理水が流入するゴルフ場調整池の浄化に、フェスタ工法を用いた。 ＜フェスタ工法の概要＞ ・水質浄化用に開発した植生浮島を、ため池等の閉鎖性水域の水面積の 5～10%になるように水辺に係留設置し、浮島と水生植物の複合的な浄化作用を利用して小規模の浮島で水質を改善する浄化工法である。 ・アオコを形成する藍藻類の増殖抑制効果を有する 10 種類の抽水植物を選定し、選択的に利用する。 ・浮島の係留、植物の植付けなどの簡単な作業で施工でき、維持管理も容易である。	情報なし	・植物プランクトンの濃度が実施前と比較して約 80%減少し、流入水中の T-N、T-P 濃度を約 47%削減した。 ＜フェスタ工法の効果＞ ・ため池等の全体に水質浄化用植生浮島を係留設置し、水域全体を浄化する。 ・流入河川等の河口付近に隔離水域を設け、隔離水域内で本浄化工法を実施し、富栄養化の原因となる栄養塩を除去する。 ・放流河川等の河口付近に隔離水域を設け、隔離水域内で本浄化工法を実施し、pH の低減、懸濁物質及び栄養塩を除去する。 ・外周遮光幕の設置による遮光効果の向上 ・沈水植物群の再生による水環境改善 ・水辺の生物多様性の保全・創出に貢献する。	・池沼等 6 件、河川 3 件
	アオコ回収	室生ダム	総貯水量： 16,900 千 m^3 湛水面積： 105ha	奈良県	機構	ミクロキスティス (H15～23)	流入河川負荷底泥からの栄養塩類の溶出	ダム貯水池水面上を移動し、回収船に搭載された取水装置によりアオコを粉砕することなく回収する。 フィルターでろ過して濃縮水にした後、凝集剤 PAC（Polyaluminium Chloride）を注入し、濃縮水をフロック化する。最後に脱水機によりアオコフロックを脱水する。	情報なし	情報なし	・霞ヶ浦(茨城県) ハンドスキマーを用いたアオコ回収・除去
	アオコ処理	氷川ダム	総貯水量： 6,300,000 m^3 湛水面積： 35ha	熊本県	熊本県	情報なし	情報なし	微細藻類の細胞内にあるガス胞をパルスパワーで生成した水中フラッシュプラズマ（または水中ストリーマプラズマ）でたたき、沈める。沈んだ微細藻類には太陽が当たらないので、光合成が起こらず、増殖が抑制される。	情報なし	情報なし	・阿木川ダム（岐阜県） シアノバスターを用いてアオコを高水圧で衝撃板に衝突させ、アオコの群体構造や細胞内の気泡を破壊
	選択取水	一庫ダム	総貯水量： 33,300 千 m^3 湛水面積： 140ha	兵庫県	機構	ミクロキスティス (H15～23) アナベナ(H20、21)	情報なし	・都市型ダムの一庫ダムでは、夏場にアオコが発生した場合に、水道用水に支障を与えないように選択取水設備を操作している。 ・H20 と H21 にアナベナが発生し、カビ臭原因物質の一つであるジェオスミンが発生した際、水質調査を強化し、水道事業者と連絡を取りながらカビ臭対策を実施。 ・ジェオスミンの濃度と水温の動向を見ながら、適宜取水深を変更し、カビ臭の心配のある水を下流に流さないようにした。	情報なし	ジェオスミンの濃度と水温の動向を見て、適宜取水深を変更したことで、放流口表層のジェオスミン濃度は水道水の水質基準である 10ng/L より低い。（H21 の操作事例）	・姉川ダム(滋賀県) 総貯水容量 7,600 千 m^3,湛水面積 33ha ・三春ダム(福島県) 総貯水容量 42,800 千 m^3,湛水面積 290ha ・竜門ダム(熊本県) 総貯水容量 42,500 千 m^3,湛水面積 121ha ・布目ダム(奈良県) 総貯水容量 17,300 千 m^3,湛水面積 95ha

３．ケーススタディダムにおける検討結果

３．１　検討・整理項目

ケーススタディ３ダム（Ａダム・Ｂダム・Ｃダム）における調査結果等から、以下の事項について検討・整理した。

（１）Vollenweider モデルによる各ダムの富栄養化の程度の検討
（２）既往知見による藍藻類の発生と指標との関連
（３）各ダムにおける調査概要
（４）アオコ形成植物プランクトンの発生状況
（５）植物プランクトン量と窒素、リンとの関係
（６）各ダムにおける底質の状況
（７）ケーススタディダムから報告された３ヶ年の総合取りまとめ

３．２　Vollenweider モデルによる各ダムの富栄養化の程度の検討

Vollenweider モデルとは、ダム貯水池や淡水の自然湖沼ではリンが富栄養化の制限因子となっている場合が多いことに着目し、リン負荷量と富栄養化現象の関係について見いだされた、ダム貯水池に流入するリンの単位面積当たりの年間負荷量と回転率×平均水深との関係をモデル化したものである。

Ａダム・Ｂダムは、水質観測データと流量データの時期が重なるため、得られた水質データを用いてモデルを構築し、Ｃダムは水質観測データと流量データの時期が異なるため、それぞれの全観測値を平均した値を用いてモデルを構築した。計算結果は、図２に示すとおりである。

ケーススタディダムの３ダムは、中栄養から高栄養の貯水池に分類され、富栄養化の問題が生じる可能性は高いと考えられる。

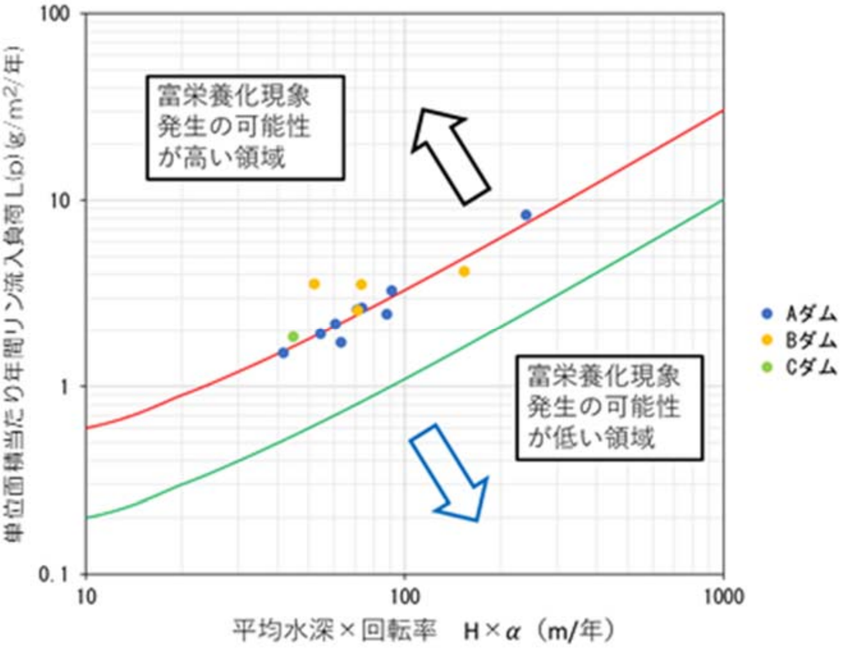


図 2　 ケーススタディダムの Vollenweider モデル計算結果

３．３　既往知見による藍藻類の発生と指標との関連

既往の文献からアオコを形成する植物プランクトンと、各種指標（物理環境・水質環境）との関係について表 3 として整理した。整理にあたり参考にした文献は、表 4 に示すとおりであり、合計 60 の文献を対象とした。

表 3　既存知見による藍藻類の発生と指標との関連

項目		既往知見
物理環境	表層水温(℃)	・藍藻類は高水温を好む種が多い ・藍藻類の中でも Microcystis は高温を特に好む ・Anabaena、Oscillatoria、Phormidium は Microcystis よりも低い水温を好む ・Phormidium は 20℃を下回っても発生。Phormidium 属にはアンテナ色素の違いに応じて PC と PE があるが、PE が主体であれば循環期でも出る可能性がある。 ・Aphanizomenon は、23～29℃で増殖が最適となる。
	水温勾配(℃/m)	・0.5℃/m を上回ると水質障害が生じるレベルで Microcystis が増殖する恐れがある(10000 細胞/mL を超える可能性がある)。 ・Microcystis は湖水が混合していると増殖できなかったが、Anabaena は物理的な撹乱には比較的強いと考えられる。
	流入量、放流量(回転率)(回/月)	・降雨が少なく、流動が落ち着き静穏な時期に Anabaena が増殖。
水質環境	T-N(mg/L)	・30μg/L がアオコの発生限界
	T-P(mg/L)	・3μg/L がアオコの発生限界
	DIN(μg/L)	・Anabaena、Aphanizomenon は窒素固定能力があるため、水中の窒素が欠乏していても大気中の窒素ガスを栄養素に変換できる。
	T-N/T-P(－) DIN/DIP(－)	・N/P 比が 60 以下のときは、アナベナやアファニゾメノンのような窒素固定できるものが優占し、N/P 比が 60 以上ではミクロキスティスやオシラトリアなどの窒素固定をおこなわないといわれるものが優占する ・Phormidium は TN/TP 比 20-25 が多い。Microcystis、Anabaena、Oscillatoria は 10-15 が多い。
	T-N/DIN(－) T-P/DIP(－)	・Microcystis aeruginosa の優占水域では、DIN や DIN:DIP 比が低く、TN(全窒素):DIN 比が非常に高い(100 前後)。 ・Microcyctis は DIN が低く TN:DIN や DON:DIN 比が高い時期に高密度で出現し、その出現密度のピークは TN:DIN や DON:DIN 比のピーク期(7 月と 9 月)とほぼ一致した。 ・水温が 25℃以上の場合は供給 N/P 比が低い時に、Microcyctis が優占する。
	T-N×T-P ((μg/L)^2)	・TN×TP 換算で 93 （μg at/L)以上では Microcystis 属や Phormidium 属 約 2-93 （μg at/L)の範囲内では Anabaena 属や Aphanizomenon 属が bloom として出現しやすい。

（※）DIP (Dissolved Inoganic Phosphate)：リン酸イオン(オルトリン酸、溶存態無機リン)

DIN (Dissolved Inoganic Nitrogen)：溶存態無機窒素

（アンモニア態、硝酸態、亜硝酸態）の窒素の合計

表4　アオコの優占種となる藍藻類の生育特性の参考文献

1. 藍藻類 Microcystis aeruginosa と珪藻類 Cyclotella sp.の増殖に及ぼす N/P 比および温度の影響
2. 水の華の発生機構とその制御　生嶋ら,1987.2,東海大学出版会
3. 淡水域の富栄養化,坂本充,水圏の富栄養化と水産増殖,p9-28,1973
4. 水の華の発生機構とその制御　生嶋ら,1987.2,東海大学出版会
5. Robarts, R. D. and Zohary, T. (1987) Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria, New Zealand, Journal of Marine and Freshwater, Research, 21, 391-399
6. Smith, V. H.(1983)Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton, Science, 221,669-671.
7. 曝気･循環施設マニュアル(案)（平成7年3月，財団法人ダム水源地環境整備センター）
8. アオコ（Anabaena affinis）の増殖特性（鳥取県衛生研究所 第34号，1994，南條吉之他）
9. 水道水質ハンドブック（平成8年，日本水道新聞社）
10. ラン藻による水の華，特に Microcystis 属の生態学的研究の現状（1988，高村典子）
11. 湖沼等の富栄養化対策マニュアル(環境省　平成13年)
12. 八郎潟調整池におけるアナベナ属の増殖因子を用いた細胞数再現モデルの構築　佐藤ら,秋田県環境センター年報　第31号,2003
13. 霞ヶ浦(西浦･北浦)における Microcystis 属の形態種組成と栄養塩濃度の関係　本間ら,日本水産学会誌74,189-198,2008
14. 琵琶湖における植物プランクトンの動態　辻村,琵琶湖研究所記念誌所報22号,179-185,2005
15. Anabaena macrospora の増殖特性とジオスミン産生について　青山ら,衛生科学36(1),21-27,1990
16. アオコの増殖及び分解に関する研究　矢木ら　国立公害研究所報告第92号,1986
17. キレート物質欠乏下におけるかび臭物質産生ラン藻類の鉄吸収　中島ら　日本水処理生物学会誌 vol.28.No.2,1992
18. Anabaena macrospora と Phormidium tenue の増殖とかび臭物質産生に必要な鉄の形態
19. 霞ヶ浦における夏期優占藻類種の変遷と藻類種ごとの生態的特徴および景観に及ぼす影響　茨城県霞ヶ浦環境科学センターHP
20. 霞ケ浦（ 西浦） におけるユレモ目 Planktothrix suspensa の季節変動と水平・鉛直分布　中村ら　茨城県霞ヶ浦環境科学センター　年報 2010
21. 湖沼における 2 つの藻類優占状態間でのレジームシフトに関する数理モデル　川口ら,数理解析研究所講究録第 1597 巻,130-135,2008
22. クエン酸鉄及びリン酸鉄を鉄源に用いた場合のかび臭物質産生ラン藻類の増殖　中島ら,日本水処理生物学会誌第 30 巻第1号,1-8,1994
23. 何が茨戸湖の夏季優占浮遊藻類種を変化させたか　高野ら,Jpn. J. Limnol., 55, 4, 279-286, 1994
24. 海浜公園池における水の華発生機構と環境要因　村上ら,海洋開発論文集第23巻,2007
25. アオコの発生と水質,気象要因等との関係(諏訪湖)　朴ら,日本水産学会誌　64(2),307-308,1998
26. アオコの空間的分間的分布と集積特性　石川ら,陸水学雑誌64：171-183,2003
27. 三春ダムにおける植物プランクトン増殖特性に関する基礎的研究　手塚ら,環境工学研究論文集第41巻,2004
28. 牛久沼における藻類増殖の制限物質　矢木ら,Jpn. J. Limnol., 50, 2, 139-138, 1989
29. 高濃度のケイ素を有する湖における優占ケイ藻種の交代に対するケイ素濃度の影響　高野ら,Jpn. J. Limnol., 57, 2, 153-162, 1996
30. 漆沢ダム湖におけるアオコ発生メカニズムに関する検討　増田ら,環境工学研究論文集第45巻,2008
31. Y. Yoshida, K. Miyahara, and H. Nakahara: Relationships between the dominant phytoplankton and D IN:DIP ratios in inland waters. Fisheries Sci., 61, 396-400(1995)
32. 諏訪湖におけるアオコの発生と DON-DIN 比等との関係　吉田ら,日本水産学会誌　62(4),631-637,1996
33. 汽水湖中海・宍道湖の水質変動や生物の盛衰に及ぼす気象5因子の影響　橘谷,日本水産学会誌　62(2),311-312(1998)
34. 成層化したダム湖における藍藻類の鉛直移動　増木ら.水環境学会誌　35(9),151-157,2012
35. 浅い貯水池の水位低下･干し上げに伴う 2-MIB への影響　佐藤ら,応用生態工学　10(2),141-154,2007
36. 浅い人工池沼における枝角類群集組成の変動とそれが水質に及ぼす影響について　田中ら,陸水学雑誌63：189-199,2002
37. 琵琶湖における優占植物プランクトンと DIN-DIP 比等との相互関係
38. 富栄養湖におけるラン藻と動物プランクトンの相互関係　花里,Jpn. J. Limnol., 50, 1, 53-67, 1989
39. 琵琶湖南湖湖水への栄養塩添加によるアナベナー・ブルームの人為的誘発　手塚ら,Jpn. J. Limnol., 54, 1, 85-90, 1993
40. 琵琶湖北湖諸港におけるアオコの異常発生機構　吉田ら,日本水産学会誌62(2),230-235,1996
41. 日本における湖沼の富栄養度と水産生物　原沢ら,衛生工学研究論文集第20巻,1984
42. 藻類の動態解析における増殖能の取扱いについて　原沢ら,衛生工学研究論文集第20巻,1984
43. 貯水池における水質環境要素と藻類増殖の関連　梅田ら,水工学論文集第51巻,2007
44. 藍藻類の混合培養系に及ぼす温度の影響　藤本ら,日本水処理生物学会誌第30巻第1号,45-48,1994
45. 村山上貯水池から分離された Anabaena macrospora MYK87X の培養と増殖特性について　保坂,日本水処理生物学会誌 27(1),1991
46. 選択取水方式の導入が植物プランクトンの鉛直分布と生長環境に及ぼす影響
47. 生態系はどのように変わったか　濱田,霞ヶ浦 NEWS Vol.6 No.10,2001
48. アオコと栄養バランス　中野,第17回琵琶湖研究シンポジウム妙録　琵琶湖研究所所報第18号
49. 曝気循環の効果判定に用いる指標について　廣瀬ら,
50. 曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案)　国土交通省河川局　平成17年10月
51. 多目的ダム貯水池の水質と流入河川・貯水池特性との関連について 天野ら,ダム工学 Vol. 10, No. 2,2000
52. 藍藻類の増殖抑制効果に対する曝気循環対策の施設規模の影響　後藤ら,水工学論文集第52巻,2008
53. 養魚池から分離した Phormidium luridum の増殖特性　小橋ら,日本水処理生物学会誌 Vol.27No.2,1991
54. アオコの発生と水質要因等との関係(霞ヶ浦)　高村,日本水産学会誌　64(2),305-306,1998
55. 琵琶湖水質の生物学的特徴　中西ら,環境技術 Vol.26　No.8,1997
56. 植物プランクトンの出現状況の変遷からみたダム貯水池における水質段階の推移に関する研究　牧野ら,水文・水資源学会誌　Vol.20　No.4,312-328,2007
57. 多摩川源流域における下水道整備が奥多摩湖の水質問題に及ぼす影響に関する研究　寶ら,研究助成・学術研究 Vol.38 No.281,2009
58. 水田農業における藍藻類の窒素固定の利用　渡辺,化学と生物 Vol.6　No.5,287-292,1968
59. 網走湖におけるアオコ発生要因の解析について　大場ら,河川環境総合研究報告　第8号,2002
60. 琵琶湖で見られる藍藻 アファニゾメノン フロスアクア　滋賀県立衛生環境センター,衛生と環境 No.97,2001

３．４　各ダムにおける調査概要

(1)　Ａダム

ケーススタディ開始前のＡダムにおける水質等の調査は、平成 13 年から実施されており、主に夏から秋にかけての調査であった。また、平成 15 年までは、窒素については T-N と NH4-N、リンについては T-P の調査であり、溶存態の実態は不明であった。

ケーススタディ調査機関の平成 29 年～令和元年度における調査概要は、表 5(1)～(3)、図 3(1)～(3)に示すとおりである。

表 5(1)　Ａダムにおける調査概要（平成 29 年度）

	調査事項		場所・地点			回数	時期	調査項目等	調査状況
Aダム（a県）	風速等連続観測		ダム管理施設付近			－	7～2月	風向・風速	8/28、11/14、3/6
	流量観測		河川	2河川	各1箇所	4回	7、8、9、11月	流量	7/6、8/28、9/25、11/14
	水温連続観測		ダム	1地点	鉛直方向に20箇所	－	7～2月	水温	7/6、8/28、9/25、11/14
	水温連続観測		放流口	1地点	1箇所	－	7～2月	水温	7/6、8/28、9/25、11/14
	水温連続観測		河川	2河川	各1箇所	－	7～2月	水温	7/6、8/28、9/25、11/14
	水質調査（平水時）		ダム	1地点	鉛直方向に20箇所	4回	7、8、9、11月	気温、透視度、水温、pH、DO、濁度、EC、chl-a	7/6、8/28、9/25、11/14
	水質調査（平水時）		放流口	1地点	1箇所	4回	7、8、9、11月	気温、透視度、水温、pH、DO、濁度、EC、chl-a	7/6、8/28、9/25、11/14
	水質調査（平水時）		河川	2河川	各1箇所	4回	7、8、9、11月	気温、透視度、水温、pH、DO、濁度、EC、chl-a	7/6、8/28、9/25、11/14
	水質調査（平水時）	室内	ダム	1地点	3層（表層、中層、下層）	4回	7、8、9、11月	COD、D-COD、T-N、T-P、PO4-P、chl-a、植物プランクトンの同定・計数	7/6、8/28、9/25、11/14
	水質調査（平水時）	室内	放流口	1地点	1箇所	4回	7、8、9、11月	COD、D-COD、T-N、T-P、PO4-P、chl-a、植物プランクトンの同定・計数	7/6、8/28、9/25、11/14
	水質調査（平水時）	室内	河川	2河川	各1箇所	4回	7、8、9、11月	COD、D-COD、T-N、T-P、PO4-P、chl-a、植物プランクトンの同定・計数	7/6、8/28、9/25、11/14
	底質調査		ダム	2地点	2箇所	1回	9月	底質分析、溶出試験	9/8

図 3(1)　Ａダムにおける調査地点（平成 29 年度）

表 5(2)　Ａダムにおける調査概要（平成 30 年度）

	調査事項		場所・地点			回数	時期	調査項目等	調査状況
Aダム（a県）	風速等連続観測		ダム管理施設付近			―	5～2月	風向・風速、温湿度	8/15、11/21
	流量観測		河川	2河川	各1箇所	7回	5、6、7、8、9、10、1、3月	流量	5/24、6/21、7/20、8/15、9/19、10/17、1/22、3/1
	水温連続観測		ダム	1地点	鉛直方向に20箇所	―	5～2月	水温	5/24、8/15、11/21
			放流口	1地点	1箇所	―	5～2月	水温	5/24、8/15、11/21
			河川	2河川	各1箇所	―	5～2月	水温	5/24、8/15、11/21
	水質調査（平水時）		ダム	1地点	鉛直方向に20箇所	7回	5、6、7、8、9、10、1、3月	気温、透視度、水温、pH、DO、濁度、EC、chl-a	5/24、6/21、7/20、8/15、9/19、10/17、1/22、3/1
			放流口	1地点	1箇所	7回	5、6、7、8、9、10、1、3月	気温、透視度、水温、pH、DO、濁度、EC、chl-a	5/24、6/21、7/20、8/15、9/19、10/17、1/22、3/1
			河川	2河川	各1箇所	7回	5、6、7、8、9、10、1、3月	気温、透視度、水温、pH、DO、濁度、EC、chl-a	5/24、6/21、7/20、8/15、9/19、10/17、1/22、3/1
		室内	ダム	1地点	3層(表層、中層、下層)	7回	5、6、7、8、9、10、1、3月	SS、COD、D-COD、T-N、DT-N、T-P、DT-P、PO4-P、chl-a、植物プランクトンの同定・計数	5/24、6/21、7/20、8/15、9/19、10/17、1/22、3/1
			放流口	1地点	1箇所	7回	5、6、7、8、9、10、1、3月	SS、COD、D-COD、T-N、DT-N、T-P、DT-P、PO4-P、chl-a、植物プランクトンの同定・計数	5/24、6/21、7/20、8/15、9/19、10/17、1/22、3/1
			河川	2河川	各1箇所	7回	5、6、7、8、9、10、1、3月	SS、COD、D-COD、T-N、DT-N、T-P、DT-P、PO4-P、chl-a、植物プランクトンの同定・計数	5/24、6/21、7/20、8/15、9/19、10/17、1/22、3/1
	水質調査（出水時）		河川	2河川	各1箇所	2回	8～10月の出水時	気温、透視度、水温、pH、DO、濁度、EC	8/15～16、9/30～10/1
		室内	河川	2河川	各1箇所	2回	8～10月の出水時	SS、COD、D-COD、T-N、DT-N、T-P、DT-P、PO4-P	8/15～16、9/30～10/1
	水質調査（出水ピーク後）		ダム	1地点	鉛直方向に20箇所	2回	8～10月の出水時ピーク後	気温、透視度、水温、pH、DO、濁度、EC、chl-a	8/21、10/3
			放流口	1地点	1箇所	2回	8～10月の出水時ピーク後	気温、透視度、水温、pH、DO、濁度、EC、chl-a	8/21、10/3
		室内	ダム	1地点	3層(表層、中層、下層)	2回	8～10月の出水時ピーク後	SS、COD、D-COD、T-N、DT-N、T-P、DT-P、PO4-P、chl-a	8/21、10/3
			放流口	1地点	1箇所	2回	8～10月の出水時ピーク後	SS、COD、D-COD、T-N、DT-N、T-P、DT-P、PO4-P、chl-a	8/21、10/3

備考）平成 30 年度は、植物プランクトンの増殖に対する影響を検討するため SS（濁度）、また植物プランクトンが直接利用できる溶解性の窒素（DT-N）及びリン（DT-P）を追加した。また、出水時の水質調査を追加した。

図 3(2)　Ａダムにおける調査地点（平成 30 年度）

表 5(3)　Ａダムにおける調査概要（令和元年度）

	調査事項		場所・地点			回数	時期	調査項目等	調査状況
Aダム（a県）	風速等連続観測		ダム管理施設付近			−	8～12月	風向・風速、日射量、温湿度	8/24、9/19
	流量観測		河川	2河川（3地点）	各1箇所	2回	8～9月	流量	8/24、9/19
	水温連続観測		ダム	1地点	鉛直方向に20箇所	−	8～12月	水温	8/24、9/19
			放流口	1地点	1箇所	−	8～12月	水温	8/24、9/19
			河川	2河川（2地点）	各1箇所	−	8～12月	水温	8/24、9/19
	水質調査（平水時）		ダム	1地点 ※1	鉛直方向に20箇所	2回	8～9月	気温、透視度、水温、ｐH、DO、濁度、EC、chl-a	8/24、9/19
			放流口	1地点	1箇所	2回	8～9月	気温、透視度、水温、ｐH、DO、濁度、EC、chl-a	8/24、9/19
			河川	2河川（3地点）	各1箇所	2回	8～9月	気温、透視度、水温、ｐH、DO、濁度、EC、chl-a	8/24、9/19
		室内	ダム	1地点	3層（表層、中層、下層）	2回	8～9月	SS、COD、D-COD、T-N、NH4-N、NO3-N、NO2-N、DT-N、DIN、T-P、DT-P、PO4-P、溶解性PO4-P、chl-a、植物プランクトンの同定・計数	8/24、9/19
			放流口	1地点	1箇所	2回	8～9月	SS、COD、D-COD、T-N、NH4-N、NO3-N、NO2-N、DT-N、DIN、T-P、DT-P	8/24、9/19
			河川	2河川（3地点）	各1箇所	2回	8～9月	SS、COD、D-COD、T-N、NH4-N、NO3-N、NO2-N、DT-N、DIN、T-P、DT-P	8/24、9/19
	水質調査（出水時）		河川	2河川（3地点）	各1箇所	1回	8～10月の出水時	気温、透視度、水温、ｐH、DO、濁度、EC	10/4～5
		室内	河川	2河川（3地点）	各1箇所	1回	8～10月の出水時	SS、COD、D-COD、T-N、NH4-N、NO3-N、NO2-N、DT-N、DIN、T-P、DT-P、PO4-P、溶解性PO4-P	10/4～5

※1　湖心での調査を基本としつつ、上流部から下流部（堤体）の縦方向にも適宜調査を実施

備考）令和元年度は、流入河川の水質状況を詳細に把握するため地点を追加、植物プランクトン増殖の影響を検討するため、態様別の無機態窒素を追加した。

図 3(3)　Ａダムにおける調査地点（令和元年）

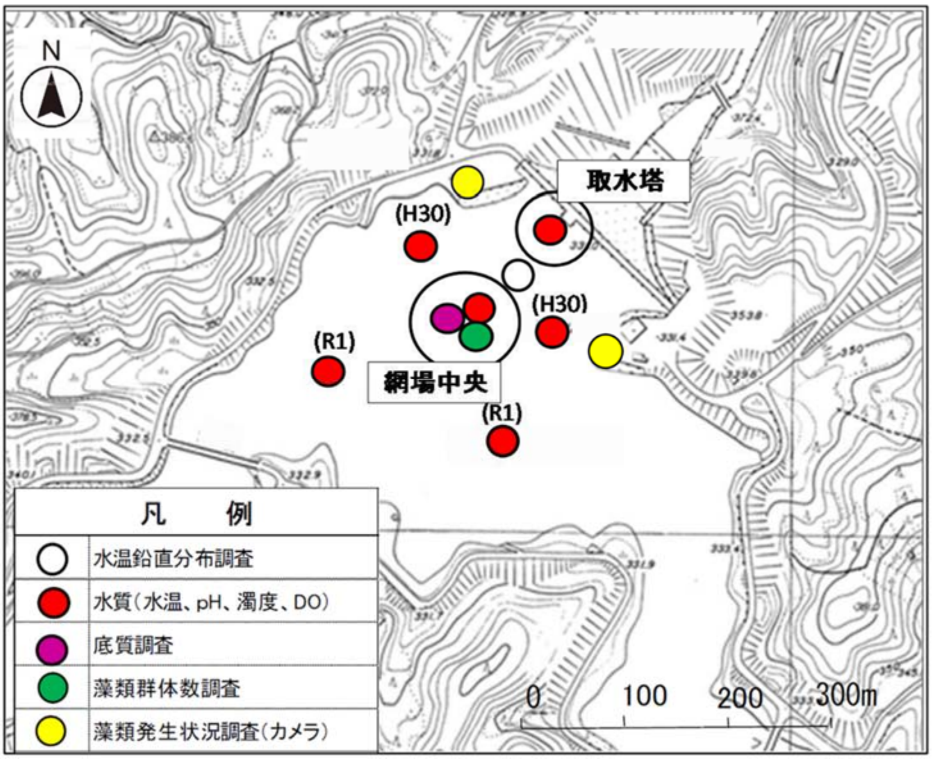
(2)　Ｂダム

ケーススタディ開始前のＢダムにおける水質調査は、平成 15 年から実施されているが、窒素・リンの調査はされていない。窒素・リンの調査は、ケーススタディの始まった平成 29 年から開始され、平成 29 年からは、窒素については T-N の他、各種溶存態（NH4-N,NO-2,NO-3）、リンについては T-P と PO4-P が調査されている。なお、アオコの発生状況は、平成 25 年から調査が実施されている。

ケーススタディ調査期間の平成 29 年～令和元年度における調査概要は、表 6、図 4 に示すとおりである。

表 6　Ｂダムにおける 3 ヶ年間の調査概要

調査事項	調査項目等	H29	H30	H31
土地利用・気象・水運用				
土地利用調査	土地利用状況、人口、世帯数、し尿処理形態別人口、茶の施肥量に関する農家アンケート等	Bダム流域	同左	同左
気象調査	気温、降水量、風速、湿度、気圧、風向、風速	ダム管理所・地方気象台観測データ	同左	同左
ダムの水運用調査	流入量、放流量、貯水位	ダム管理所観測データ	同左	同左
ダム湖の水質				
水温連続観測	水温	鉛直方向に20箇所（水深30m）	鉛直方向に30箇所（水深20m）	鉛直方向に30箇所（水深20m）
水質調査（多項目水質計）	水温、pH、濁度、DO	1地点 鉛直方向に20箇所（水深30m）	4地点 鉛直方向に30箇所（水深20m）	4地点 鉛直方向に30箇所（水深20m）
水質調査（富栄養化関連項目）	COD、T-N、NH4-N、NO2-N、NO3-N、T-P、PO4-P、chl-a	3河川の各流入口流付近及びダム湖内下流、取水塔（3層（表層、中層、下層）	網場中央： 2層（藻類の分布が想定される層、その下層）	網場中央： 3層（0.5m、5m、藻類の分布が多く想定される層） 3河川は各1層、ダム湖内4地点は4層または5層、放流地点1層
藻類群体数調査	多波長蛍光クロロフィル計、生物顕微鏡	網場中央：1層（水深0.5m）	網場中央： 2層（藻類の分布が想定される層、その下層）	網場中央： 3層（0.5m、5m、藻類の分布が多く想定される層）
藻類発生状況調査	タイムラプスカメラ撮影	網場方向及び取水塔方向： 1箇所（管理所側）	網場方向及び取水塔方向： 2箇所（管理所側、ボート側）	網場方向及び取水塔方向： 2箇所（管理所側、ボート側）
底質調査	泥種、色相、臭気、粒度、強熱減量、T-P、T-N、SS,DO,COD、密度	網場中央	―	―
河川の水質				
流入河川水温連続観測調査	水温	3河川の各流入口付近	同左	同左
出水時水質調査	COD、T-N、NH4-N、NO2-N、NO3-N、T-P、PO4-P、chl-a	3河川の各流入口付近	―	―
河川水流入深度調査	水温、pH、濁度、DO	-	ダム湖内12地点（湖底または水深30m）	ダム湖内10地点（湖底または水深30m）



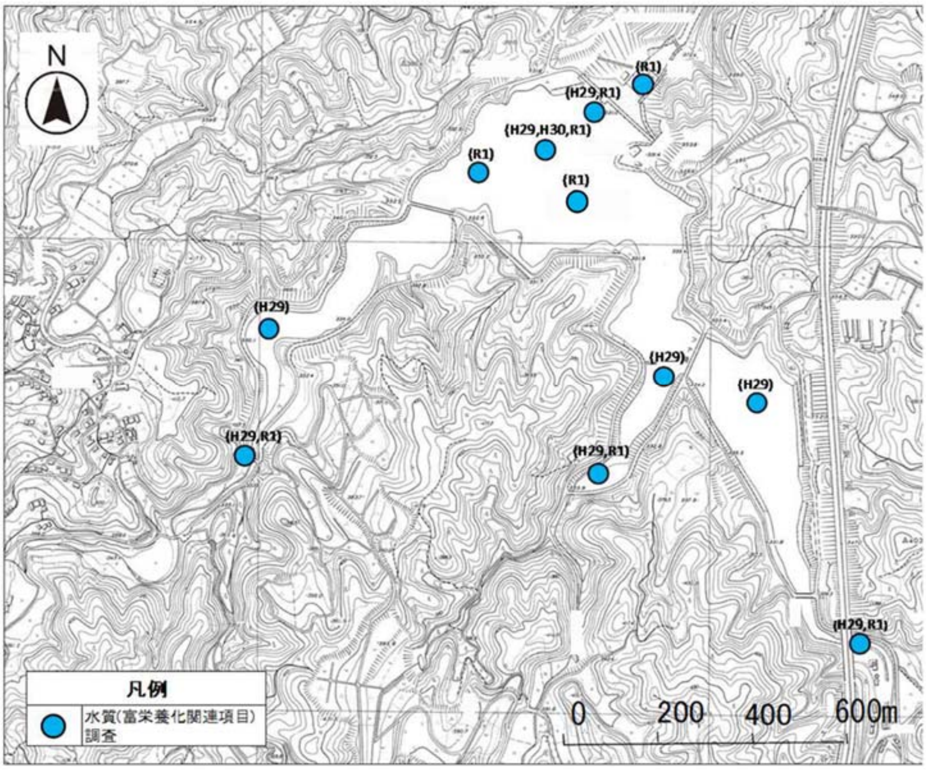


図４　Ｂダムにおける３ヶ年間の調査位置

(3)　Cダム

ケーススタディ開始前のCダムにおける水質調査は、2つの時期に行われており、平成15年～平成18年1月までの調査では、窒素・リンの溶存態は調査されておらず、また、平成22年～平成28年の調査では、窒素は溶存態と有機窒素、リンはT-Pが調査されているが、PO4-Pの溶存態については調査されていなかった。平成29年度のケーススタディからは、窒素についてはT-Nの他、各種溶存態（NH4-N,NO-2,NO-3）、リンについてはT-PとPO4-Pが調査されている。

ケーススタディ調査期間の平成 29 年～令和元年度における調査概要は、表7(1)～(3)、図5(1)～(3)に示すとおりである。

表7(1)-1　Cダムにおける調査概要（平成29年度-1）

調査事項		調査項目等	場所・地点			時期	回数	備考
水温連続観測		水温	ダム	1地点（最深部）	鉛直方向に20箇所	8下～1月末（15分間隔）	－	自記録式水温計
		水温	河川	2点	各1箇所	8下～1月末（15分間隔）	－	
水質調査（鉛直）		水温、pH、DO、濁度、chl-a、EC	ダム	2地点	鉛直方向に20箇所	8～9、12～1月各1回	4回	多項目水質計
水質調査（平水時）		水温、pH、DO、濁度、chl-a、EC	ダム	2地点	3層（表層、中層、下層）	8～9月各旬1回 10～1月各1回 D-CODは各月1回	10回	採水分析
		水温、pH、DO、濁度、chl-a、EC	河川	2点	各1箇所		10回	
	室内	T-N、NH4-N、NO2-N、NO3-N、T-P、PO4-P、COD、D-COD	ダム	2地点	3層（表層、中層、下層）	8～9月各旬1回 10～1月各1回 D-CODは各月1回	10回	室内分析
		T-N、NH4-N、NO2-N、NO3-N、T-P、PO4-P、COD、D-COD	河川	2点	各1箇所		10回	
水質調査（出水時）		水温、pH、DO、濁度、chl-a、EC	河川	2点	各1箇所	9/7、9/17	2回	現地測定
	室内	T-N、NH4-N、NO2-N、NO3-N、T-P、PO4-P、COD、D-COD	河川	2点	各1箇所		2回	室内分析
構成植物プランクトン群体数		多波長分光光度計	ダム	2地点	表層	9/29、10/18、11/14	3回	顕微鏡計数は、11/14の1回のみ
アオコの発生状況		カメラ撮影等	ダム	湖面全域		水質調査時	10回	

表7(1)-2　Cダムにおける調査概要（平成29年度-2）

調査事項	調査項目等	場所・地点			時期	回数	備考
気象・ダム運用	気温、降水量、風速、風向、日照時間	〇〇町気象観測システム △△観測所			4～1月（1時間毎）	－	局対応
	降水量、流入量、取水量、放流量、越流量、貯水位	ダム管理施設付近			4～1月（1時間毎）	－	土地改良区
底質調査	底質の状態（堆積物、砂、シルト等の別、色、臭気等）、ORP 粒度分布、強熱減量、硫化物、CODsed、T-N、T-P	ダム	最深部		2月	1回	現地測定、室内分析
	溶出試験						室内試験

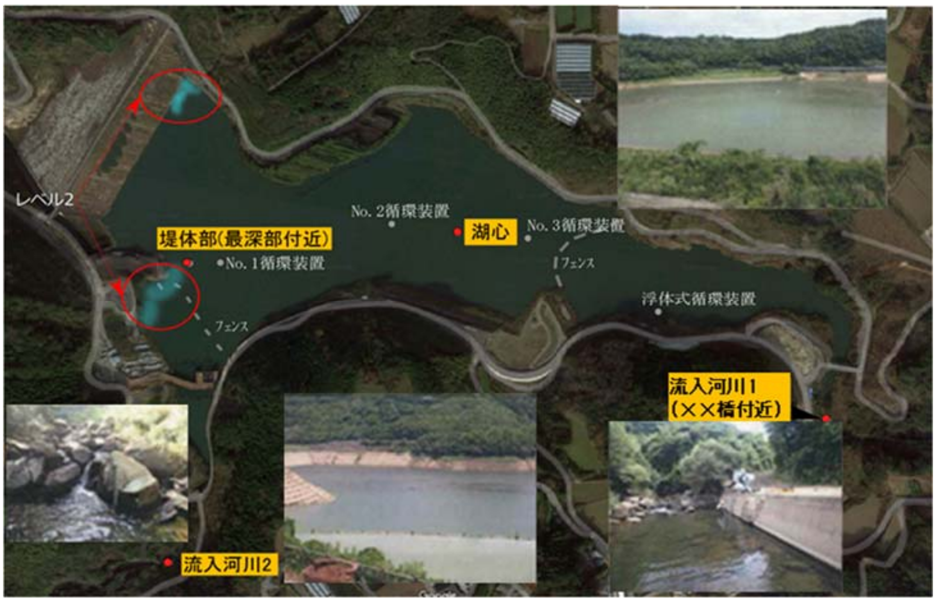


図 5(1)　Ｃダムにおける調査位置（平成 29 年度）

表 7(2)　Ｃダムにおける調査概要（平成 30 年度）

平成 29 年度の調査内容からの主な変更点
・Ｃダムの水質予測モデルを２次元で再現するため、水質の鉛直方向への調査をダムの縦断方向に１０ヶ所実施した。（平成 29 年度調査地点は、湖心及び最深部の２地点） ・底質の栄養塩類の溶出がダム湖内のアオコ発生に関係していると考えられる水深１５ｍから採泥し溶出試験を実施した。（平成 29 年度は最深部から採泥し溶出試験）

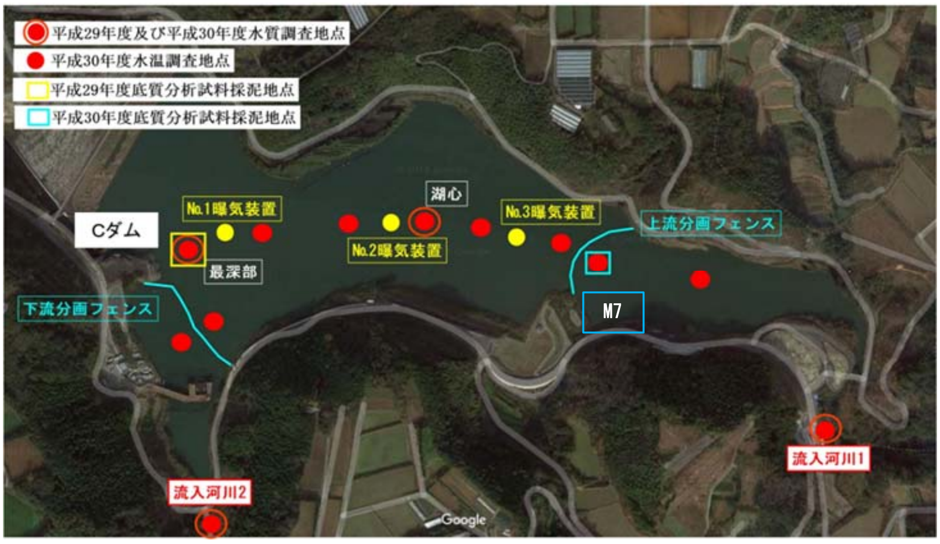


図 5(2)　Ｃダムにおける調査位置（平成 30 年度）

表 7(3)　Cダムにおける調査概要（令和元年度）

平成 30 年度の調査内容からの主な変更点
・水温・水質鉛直観測（湖心、最深部、M1～M8 の 10 地点（●）、5 月～11 月、全 7 回） ・植物プランクトン分析（湖心、最深部）及びアオコ発生状況確認（5 月～11 月、全 7 回） ・流入河川の水質・流量観測（4 河川（●）、5 月～11 月、全 7 回） ・水温多層連続観測（最深部：20 層、流入河川 1 及び流入河川 2、H30～継続観測） ・出水時の水質分析及び流量観測（6 月～9 月の期間に 3 回、1 回の出水時に 5 回以上の観測） ・曝気装置の影響範囲の把握（No.1 曝気装置周辺 12 地点、10 月、11 月に各 1 回）

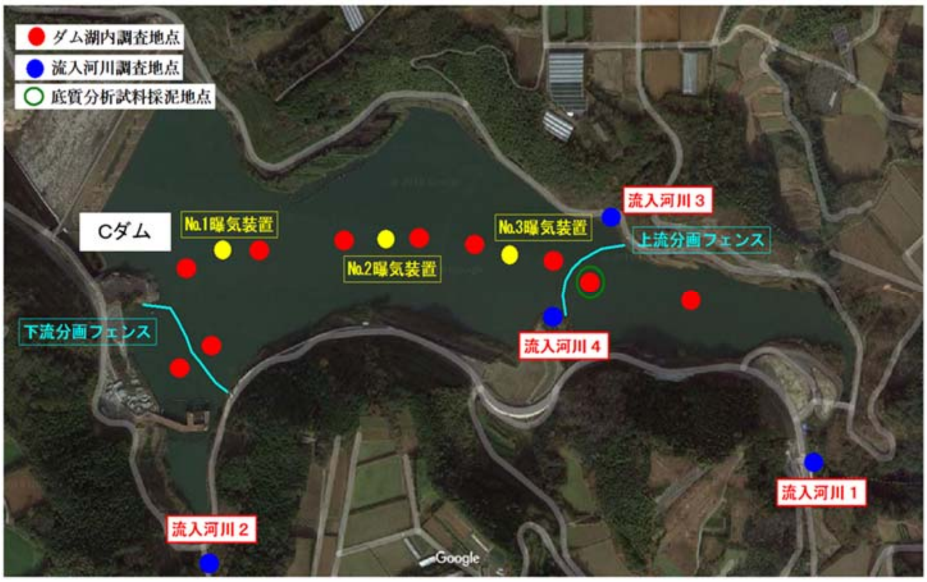


図 5(3)　Cダムにおける調査位置（令和元年度）

３．５　アオコ形成植物プランクトンの発生状況

Ａダム・Ｂダム・Ｃダムの植物プランクトン調査結果から、ケーススタディダム期間における生物異常発生時の植物プランクトンの優先種は、表 8 に示すとおりである。

どのダム貯水池においても、ミクロキスティスやプセウダナバエナなどの藍藻類が主な優占種であった。

なお、Ａダムにおいては、出現量は多くは無いが、平成 29 年度にアナベナや淡水赤潮の原因になりうるケラティウムが確認されており、今後もカビ臭の発生や景観への影響について注意が必要であると考えられる。

表 8　ケーススタディダムにおけるアオコ発生植物プランクトンの発生状況（概数）

ダム名	調査地点	年度	植物プランクトンの優占種と量（細胞数/mL）
Ａダム	St.4	平成 29 年度	・8 月：ミクロキスティス／　142,000 ・9 月：ミクロキスティス／　35,700
		平成 30 年度	・9 月：ミクロキスティス／　110,900 ・10 月：ミクロキスティス／　3,200
		令和元年度	・8 月：ミクロキスティス／　300 ・9 月：ミクロキスティス／　700
Ｂダム	網場中央	平成 29 年度	・7 月：ミクロキスティス／　3,031,200 ・7 月：プセウダナバエナ／　888,400 ・7 月：アファニゾメノン／　51,200 ・8 月：ミクロキスティス／　37,100 ・8 月：プセウダナバエナ／　514,000 ・8 月：ミクロキスティス／　13,930,400 ・8 月：プセウダナバエナ／　439,200
		平成 30 年度	（種別の現存量の内訳無し）
		令和元年度	（種別の現存量の内訳無し）
Ｃダム	湖心	平成 29 年度	・11 月：ミクロキスティス／　1,700,000
		平成 30 年度	・6 月：ミクロキスティス／　2,100,000 ・7 月：ミクロキスティス／　786,000 ・8 月：ミクロキスティス／　9,740,000 ・9 月：ミクロキスティス／　16,708,000 ・11 月：ミクロキスティス／　1,110,000
		令和元年度	・7 月：アナノカプサ／　18,000 ・8 月：アナノカプサ／　14,000 ・8 月：ミクロキスティス／　40,000 ・10 月：アナノカプサ／　18,000 ・10 月：メリスモペディア／　1,000 ・11 月：メリスモペディア／　1,000

３．６　植物プランクトン量と水理水質条件との関係

⑴　Ａダム

平成 29 年～令和元年度の調査結果を用いて、植物プランクトン量としての Chl-a、細胞数と、植物プランクトンの増殖に関係する栄養塩類としての窒素、リンとの関係について、表 3 で整理した既存の知見を参考にして相関図等として整理・検討した。相関図は図 6、T-N/T-P 比等は表 9 のとおりである。なお、整理対象データは、全調査結果のうちアオコが出現している調査日の結果のみとした。

表層水温と植物プランクトン（アオコ）の細胞数、Chl-a の関係をみると、水温が 20℃を超えて 25℃の範囲で細胞数、Chl-a が多く、この範囲外の低い水温・高い水温でも少ない傾向を示している。T-N、T-P と Chl-a の濃度との関係は、かなり高い正の相関がみられ、また、PO4-P (DIP) と Chl-a の濃度との関係も比較的高い正の相関を示している。栄養塩が増加することで、植物プランクトンが増殖している様子が推察される。

⑵　Ｂダム

Ａダムと同様に平成 29 年～令和元年度の調査結果を用いて、植物プランクトン量としての Chl-a、細胞数と、植物プランクトンの増殖に関係する栄養塩類としての窒素、リンとの関係について、表 3 で整理した既存の知見を参考にして相関図等として整理・検討した。相関図は図 7、T-N/T-P 比等は表 10 のとおりである。

表層水温と植物プランクトン（アオコ）の細胞数、Chl-a の関係をみると、水温が 25～30℃の範囲で細胞数、Chl-a が多い傾向を示している。また、T-N 及び T-P と Chl-a の濃度との相関は、かなり高い傾向がみられた。

⑶　Ｃダム

Ａダムと同様に平成 29 年～令和元年度の調査結果を用いて、植物プランクトン量としての Chl-a、細胞数と、植物プランクトンの増殖に関係する栄養塩類としての窒素、リンとの関係について、表 3 で整理した既存の知見を参考にして相関図等として整理・検討した。相関図は図 8、T-N/T-P 比等は表 11 のとおりである。

表層水温と植物プランクトン（アオコ）の細胞数、Chl-a の関係をみると、水温が 20℃を超え 30℃の範囲で細胞数、Chl-a が多い傾向を示している。また、T-N と Chl-a の濃度との関係は、かなり高い正の相関がみられた。T-N、T-P と Chl-a の濃度との関係は、他の２つのダムほど高い相関は見られなかった。

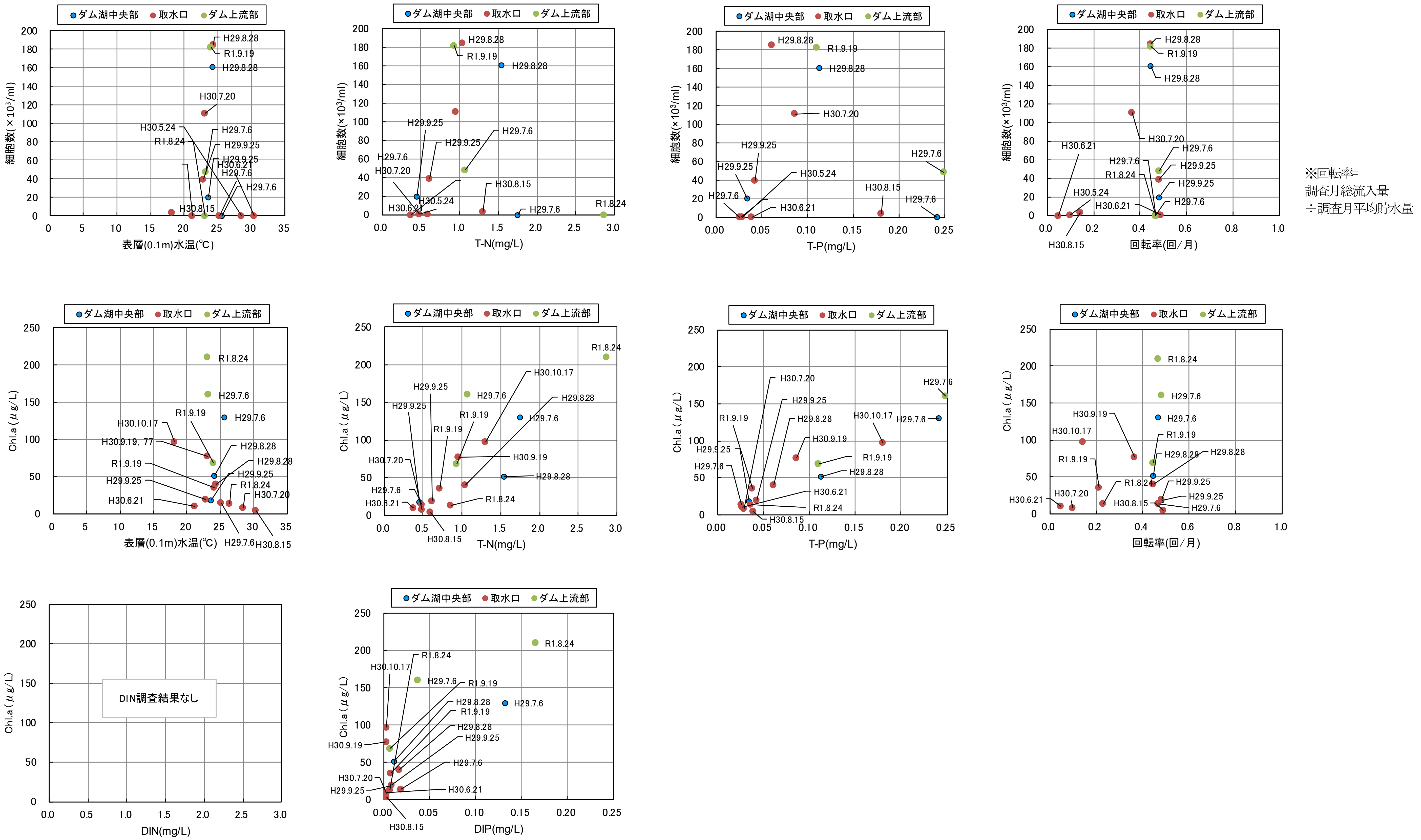
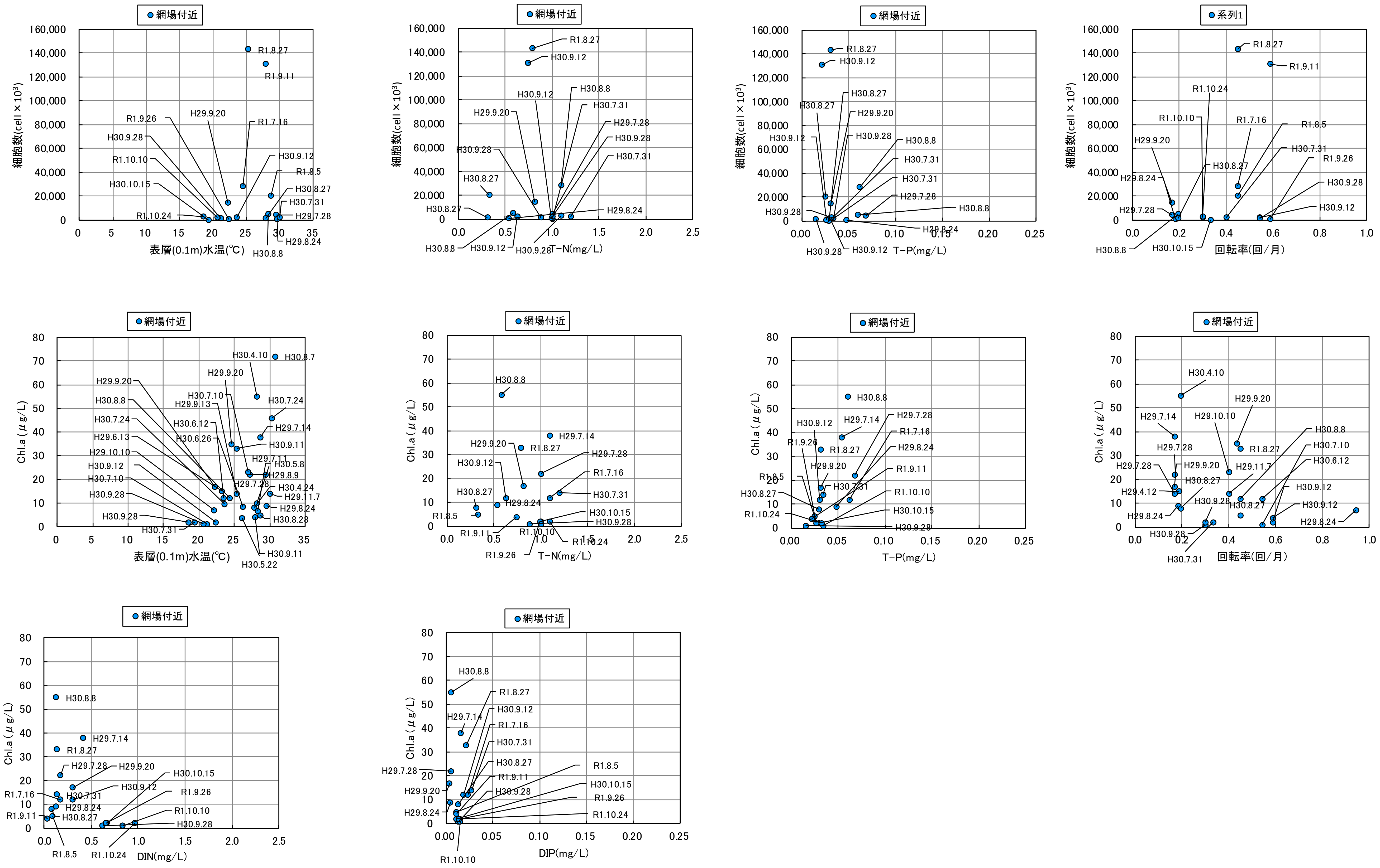
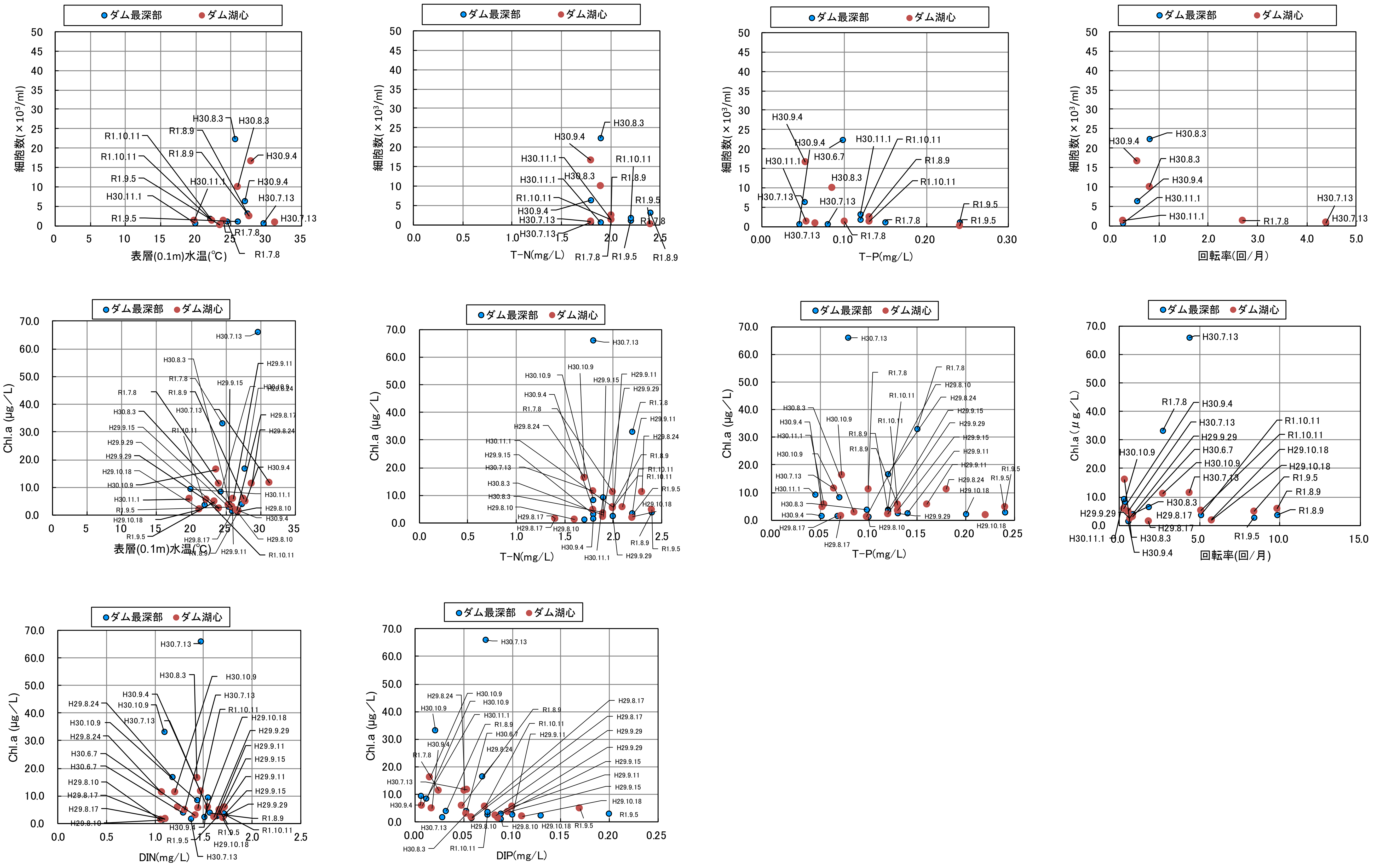


図 6　 平成 29 年度～令和元年度調査結果　Ａダムの各指標相関図



※回転率=
調査月総流入量
÷調査月平均貯水量

図７　平成 29 年度～令和元年度調査結果　Ｂダムの各指標相関図



※回転率=
調査月総流入量
÷調査月平均貯水量

図 8　平成 29 年度～令和元年度調査結果　Cダムの各指標相関図

表 9 平成29年度～令和元年度調査結果　Aダムの T-N、T-P の状況

T-N/T-P

	H29.7.6	H29.8.28	H29.9.25	H29.11.14	H30.5.24	H30.6.21	H30.7.20
流入河川ST-1	26.1	41.3	30.9	36.2	24.2	14.7	13.5
流入河川ST-2	4.9	3.9	5.0	7.2	7.0	5.0	4.4

	H30.8.15	H30.9.19	H30.10.17	H31.1.15	H31.3.1	R1.8.24	R1.9.19
流入河川ST-1	14.3	19.0	21.6	42.5	30.8	20.0	22.6
流入河川ST-2	3.9	4.1	5.2	25.7	23.1		
流入河川ST-2-a						4.9	5.2
流入河川ST-2-b						5.4	8.8

T-N×T-P

	H29.7.6	H29.8.28	H29.9.25	H29.11.14	H30.5.24	H30.6.21	H30.7.20
流入河川ST-1	117	152	223	114	243	157	171
流入河川ST-2	1889	4340	604	238	645	903	747

	H30.8.15	H30.9.19	H30.10.17	H31.1.15	H31.3.1	R1.8.24	R1.9.19
流入河川ST-1	195	147	129	157	108	115	147
流入河川ST-2	857	1445	270	31	69		
流入河川ST-2-a						22,258	20,069
流入河川ST-2-b						2,876	51

T-N/T-P

	H29.7.6	H29.8.28	H29.9.25	H29.11.14	H30.5.24	H30.6.21	H30.7.20
取水施設 ST-4 表層	18.5	17.0	14.4	20.0	18.8	14.1	16.6
取水施設 ST-4 中層	31.9	18.7	19.2	20.1	68.2	51.6	46.4
取水施設 ST-4 下層	8.3	18.8	15.5	10.6	12.9	18.2	20.0
ダム放流口 ST-7	15.4	22.6	16.3	23.2	12.8	12.4	25.4

	H30.8.15	H30.9.19	H30.10.17	H31.1.22	H31.3.1	R1.8.24	R1.9.19
取水施設 ST-4 表層	15.1	11.0	7.2	22.7	29.1	23.9	18.7
取水施設 ST-4 中層	37.1	22.4	13.3	28.3	32.3	6.5	8.5
取水施設 ST-4 下層	14.1	8.1	7.4	22.7	33.3	5.5	6.7
ダム放流口 ST-7	15.2	14.3	14.6	25.8	35.4	8.0	5.6

T-N×T-P

	H29.7.6	H29.8.28	H29.9.25	H29.11.14	H30.5.24	H30.6.21	H30.7.20
取水施設 ST-4 表層	29	146	61	219	73	24	32
取水施設 ST-4 中層	283	716	235	221	76	114	84
取水施設 ST-4 下層	2,412	4,722	6,494	11,654	581	507	333
ダム放流口 ST-7	82	194	367	226	260	58	89

	H30.8.15	H30.9.19	H30.10.17	H31.1.22	H31.3.1	R1.8.24	R1.9.19
取水施設 ST-4 表層	53	188	539	88	78	71	62
取水施設 ST-4 中層	105	124	134	80	71	150	329
取水施設 ST-4 下層	940	1,786	3,000	228	135	8,797	10,078
ダム放流口 ST-7	62	195	125	86	64	174	219

表 10 平成 29 年度～令和元年度調査結果　Ｂダムの T-N、T-P の状況

T-N/T-P

	H29.7.14	H29.7.28	H29.8.8	H29.8.24
流入河川1	13.3	12.7	8.7	12.2
流入河川2	45.7	33.3	30.0	37.9

	H29.7.14	H29.7.28	H29.8.8	H29.8.24
流入河川1	13.3	12.7	8.7	12.2
流入河川2	45.7	33.3	30.0	37.9

T-N×T-P

	H29.7.14	H29.7.28	H29.8.8	H29.8.24
流入河川1	83	89	449	101
流入河川2	223	276	560	380

	H29.7.14	H29.7.28	H29.8.8	H29.8.24
流入河川1	83	89	449	101
流入河川2	223	276	560	380

T-N/T-P

	H29.7.14	H29.7.28	H29.8.8	H29.8.24	H30.7.31	H30.8.8	H30.8.27	H30.9.12	H30.9.28	H30.10.15
取水棟	20.4	14.7		11.3	35.3	9.7	10.7	21.0	58.7	34.5

	H30.11.29	H30.12.25	R1.7.16	R1.8.5	R1.8.27	R1.9.11	R1.9.26	R1.10.10	R1.10.24	R1.11.20
取水棟	84.6	65.3	17.7	13.2	25.5	33.6	38.1	29.4	34.4	57.1

T-N×T-P

	H29.7.14	H29.7.28	H29.8.8	H29.8.24	H30.7.31	H30.8.8	H30.8.27	H30.9.12	H30.9.28	H30.10.15
取水棟	137	157		60	94	80	21	44	30	67

	H30.11.29	H30.12.25	R1.7.16	R1.8.5	R1.8.27	R1.9.11	R1.9.26	R1.10.10	R1.10.24	R1.11.20
取水棟	33	34	157	19	56	38	59	78	81	58

表 11 平成 29 年度～令和元年度調査結果　Ｃダムの T-N、T-P の状況

T-N/T-P

	H29.8.10	H29.8.17	H29.8.24	H29.9.11	H29.9.15	H29.9.29	H29.10.18	H30.6.7	H30.7.13	H30.8.3
流入河川1	49.1	11.3	11.1	25.6	18.3	20.0	12.7	13.1	41.1	31.1
流入河川2	19.1	24.2	52.4	52.1	48.6	42.0	24.7	21.0	109.7	27.6

	H30.9.4	H30.10.9	H30.11.1	R1.5.8	R1.6.5	R1.7.8	R1.8.9	R1.9.5	R1.10.11	R1.11.14
流入河川1	26.4	32.5	44.8	15.4	8.8	21.7	14.7	24.5	24.5	38.4
流入河川2	51.6	42.4	60.3	31.3	10.0	25.6	23.4	56.2	52.7	67.2
流入河川3				45.0	23.9	46.7	29.0	42.5	47.3	64.9
流入河川4				15.8	14.0	17.9	23.0	52.7	36.6	42.2

T-N×T-P

	H29.8.10	H29.8.17	H29.8.24	H29.9.11	H29.9.15	H29.9.29	H29.10.18	H30.6.7	H30.7.13	H30.8.3
流入河川1	259	502	695	330	460	422	1073	385	224	202
流入河川2	402	184	362	483	415	480	967	240	184	162

	H30.9.4	H30.10.9	H30.11.1	R1.5.8	R1.6.5	R1.7.8	R1.8.9	R1.9.5	R1.10.11	R1.11.14
流入河川1	349	335	263	453	444	544	927	517	517	356
流入河川2	346	533	486	245	211	330	360	521	503	436
流入河川3				282	187	457	505	1066	997	619
流入河川4				397	244	610	401	503	551	596

T-N/T-P

	H29.8.10	H29.8.17	H29.8.24	H29.9.11	H29.9.15	H29.9.29	H29.10.18	H30.6.7	H30.7.13	H30.8.3
ダム最深部	17.0	20.6	14.2	14.3	15.0	15.4	11.0	22.4	22.8	19.4
ダム湖心	16.3	19.7	12.8	13.1	14.6	15.8	10.0	20.7	28.1	22.4

	H30.9.4	H30.10.9	H30.11.1	R1.5.8	R1.6.5	R1.7.8	R1.8.9	R1.9.5	R1.10.11	R1.11.14
ダム最深部	35.3	26.1	42.2	29.0	22.9	14.7	20.0	9.2	18.3	31.9
ダム湖心	34.6	23.6	37.0	28.4	20.2	20.0	15.4	10.0	15.4	32.3

T-N×T-P

	H29.8.10	H29.8.17	H29.8.24	H29.9.11	H29.9.15	H29.9.29	H29.10.18	H30.6.7	H30.7.13	H30.8.3
ダム最深部	296	166	355	488	376	453	767	131	248	324
ダム湖心	273	173	721	585	430	397	843	121	201	281

	H30.9.4	H30.10.9	H30.11.1	R1.5.8	R1.6.5	R1.7.8	R1.8.9	R1.9.5	R1.10.11	R1.11.14
ダム最深部	160	216	149	240	195	575	502	920	460	264
ダム湖心	163	213	188	271	249	348	453	1003	453	238

３．７　各ダムにおける底質の状況

(1)　Ａダム

Ａダムは平成 29 年 9 月 8 日に貯水池の中央部と取水施設付近で底質調査を実施している。調査結果は、表 12 に示すとおりである。また、栄養塩類の溶出試験結果は、図 9 に示すとおりである。

底質は、TOC・T-N・T-P・リン酸態リン・硫化物の値が高い。夏季に底層の DO が 0 になるＡダムでは、底層に堆積した有機物の影響で、強還元環境下で硫化物を生成していると考えられる。また、溶出試験結果をみると、嫌気条件の方が好気条件よりも溶出量が高い値を示した。

表 12　Ａダム底質調査結果

分析項目＼調査地点	中央部(ST-3)		取水施設付近(網場)(ST-4)	
強熱減量	12.8	%	15.2	%
含水率	72.9	%	83.3	%
TOC	35	mg/g	43	mg/g
全窒素(ケルダール窒素)	3.8	mg/g	4.4	mg/g
全りん(T-P)	0.82	mg/g	2.0	mg/g
化学的酸素消費量(CODsed)	40	mg/g	47	mg/g
硫化物(S)	1.1	mg/g	3.9	mg/g
有効態りん	38.3	mg/kg	230	mg/kg
りん酸態りん(CDB-P画分)	0.55	mg/g	1.2	mg/g
りん酸態りん(NaOH-P画分)	0.11	mg/g	0.27	mg/g
りん酸態りん(HCl-P画分)	0.03	mg/g	0.06	mg/g

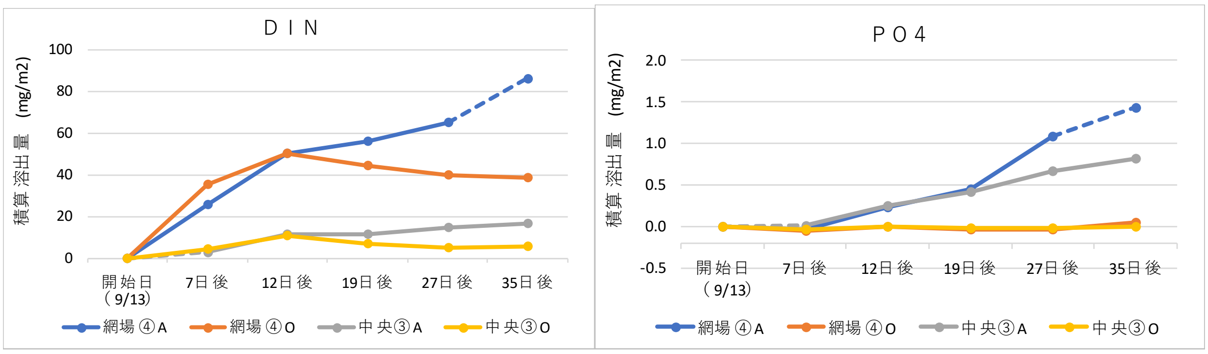


図 9 Ａダムにおける底泥からの栄養塩類溶出試験結果（平成 29 年 9 月 8 日採泥）

※溶出試験に当たっての水温条件：20℃
※網場④A；St-4（嫌気的条件）　網場④O；St-4（好気的条件）　中央③A；St-3（嫌気的条件）　中央③O；St-3（好気的条件）
※COD；化学的酸素要求量（有機物の指標）、DOC；溶存性有機態炭素（有機物を炭素量で表したもの）
※ ━ ━ ━ ；試験の際の巻き上げによる影響と推察される。

(2)　Ｂダム

Ｂダムは、平成 29 年 11 月 15 日に網場地点で底質調査を実施している。調査結果は、表 13 に示すとおりである。なお、同表には、平成 20 年と平成 21 年に実施した「ダム干上げ時」の調査結果も参考として記載している。また、栄養塩類の溶出試験結果は、表 14 に示すとおりである。

底質は、T-P の値が高く、T-N・COD の値も比較的高い。溶出試験結果について好気条件と嫌気条件の結果を比較すると、嫌気条件が T-N、NH4-N、NO2-N、溶解性 COD、水溶性 TOC で高い値を示した。この結果からは、11 月でも底層の DO が 0 になるＢダムでは、栄養塩の溶出が発生していると推察される。

表 13　Ｂダム底質調査結果

調査地点:⑦網場

項目/調査年月日		平成20年3月7日	平成21年3月3日	平成29年11月15日
気温	(℃)	6.0	1.9	13.8
泥温	(℃)	–	–	6.2
泥種		–	–	シルト質
色相		–	–	オリーブ黒(5Y3/2)
臭気		–	–	微硫化水素臭
粒度		–	–	–
強熱減量	(wt/%)	16.9	15.1	14.6
T−P	(mgP/g)	2.6	3.0	4.6
T−N	(mgN/g)	1.7	6.1	4.4
硫化物	(mgS/g)	0.25	0.15	0.29
酸化還元電位	(mv)	-66.0	9.3	87.0
COD	(mgO/g)	21.0	2.3	18.8
密度試験	(g/cm^3)	1.1	1.1	2.5
含水率	(wt/%)	73.0	78.0	52.9

表 14　Ｂダムにおける底泥からの栄養塩類溶出試験結果

項目	単位	好気条件	嫌気条件
DT-N	mg/m3/日	29.1	46.2
NH4-N		0.3	49.7
NO2-N		-0.5	39.0
NO3-N		0.0	-1.0
DT-P		0.5	2.5
DPO4-P		0.0	1.4
D-COD		8.0	137.0
D-TOC		0.0	30.1

(3)　Ｃダム

Ｃダムは、平成 30 年 1 月 30 日と 11 月 13 日に、前者は提体部地点で後者はM7（図 5(2)参照）地点付近において底質調査を実施している。調査結果は、表 15 に示すとおりである。また、栄養塩類の溶出試験結果は、図 10 に示すとおりである。

底質は、COD・T-N の値が高く、T-P・TOC も比較的高い値であった。溶出試験結果について好気条件と嫌気条件の結果を比較すると、好気性条件の方が、2 回の溶出試験とも T-N・T-P・COD のいずれについても高い傾向を示した。

表 15(1)　Ｃダム底質調査結果（平成 30 年 1 月 30 日）

1	調査地点		堤体部(最深部)
2	緯度経度	度	33.462904.129.886968
3	調査月日		H30.1.30
4	調査開始時刻		10:22
5	天候		曇
6	気温	℃	2.6
7	水色		13
8	透明度(貯水池)	m	2
9	全水深	m	32.9
10	泥温	℃	5
11	泥色		10R 4/2
12	泥性状		シルト質粘土
13	泥臭気		無臭
14	備考		特になし
15	粒度組成(底質)0.005mm以下		34.1
16	粒度組成(底質)0.075～0.005mm		61.4
17	粒度組成(底質)0.425～0.075mm		4.1
18	粒度組成(底質)2～0.425mm		0.4
19	粒度組成(底質)4.75mm～2mm		0
20	粒度組成(底質)4.75mm以上		0
21	含水比	%	168
22	強熱減量(600℃)	%	13.9
23	化学的酸素要求量(CODsed)	mg/g	20
24	TOC	mg/g	33.4
25	全窒素(T−N)	mg/g	5.4
26	全燐(T−P)	mg/g	1.7
27	硫化物	mg/g	0.005未満

表 15(2)　Ｃダム底質調査結果（平成 30 年 11 月 13 日）

1	調査地点		M7付近
2	緯度経度	度	33.4631109,129.892089
3	調査月日		11/13
4	調査開始時刻		11:48
5	天候		曇
6	気温	℃	17.7
7	水色		14
8	透明度(貯水池)	m	2.1
9	全水深	m	21.8
10	泥温	℃	17.9
11	泥色		2.5Y 4/2
12	泥性状		シルト混粘土
13	泥臭気		土臭
14	備考		特に無し
15	粒度組成(底質)0.005mm以下		26.7
16	粒度組成(底質)0.075～0.005mm		70.5
17	粒度組成(底質)0.425～0.075mm		2.6
18	粒度組成(底質)2～0.425mm		0.2
19	粒度組成(底質)4.75～2mm		0
20	粒度組成(底質)4.75mm以上		0
21	含水比	%	89.9
22	強熱減量(600℃)	%	13.2
23	化学的酸素要求量(CODsed)	mg/g	17
24	TOC	mg/g	37.5
25	全窒素(T-N)	mg/g	3.3
26	全燐(T-P)	mg/g	1.6

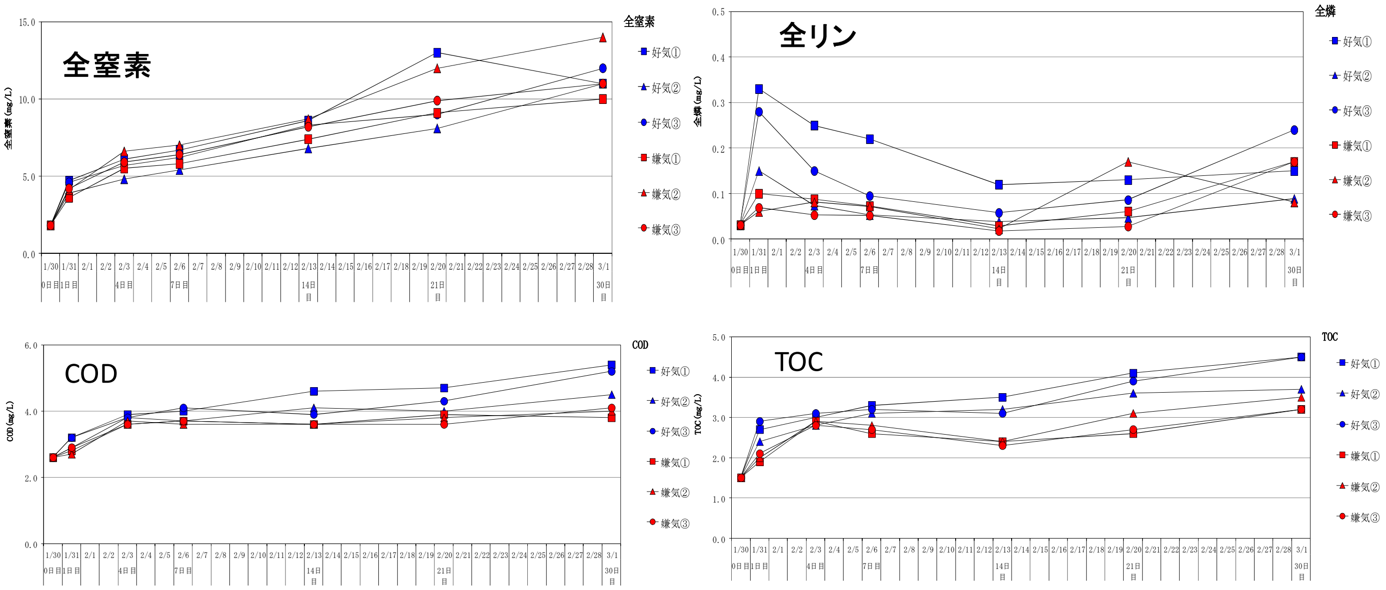


図 10(1) Cダムにおける底泥からの栄養塩類溶出試験結果（平成 30 年 1 月 30 日採泥）

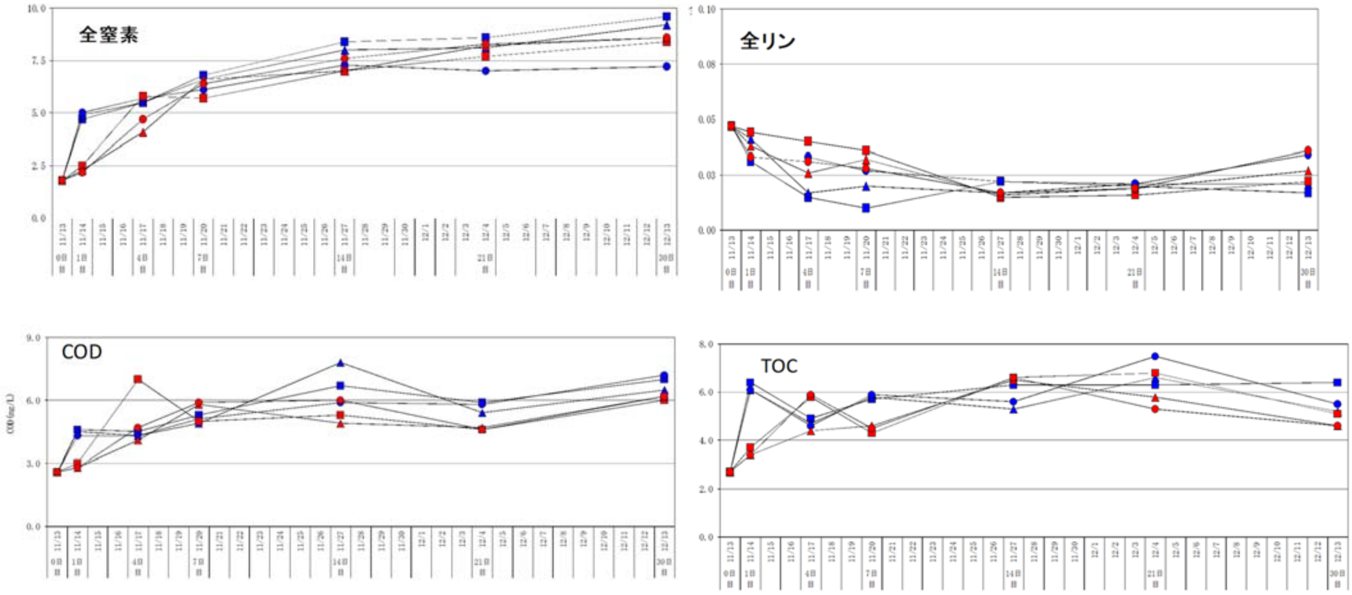
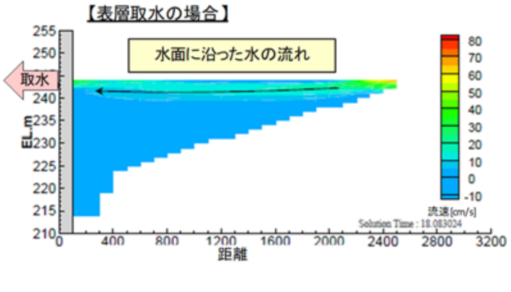


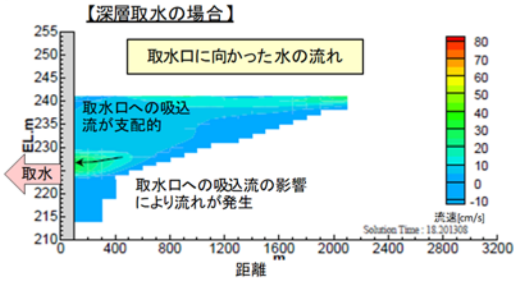
図 10(2) Cダムにおける底泥からの栄養塩類溶出試験結果（平成 30 年 11 月 13 日採泥）

３．８　ケーススタディダムから報告された３ヶ年の総合取りまとめ

以下には 3 ヶ年間のケーススタディ結果について、各ダムにおいて取りまとめられた総合取りまとめの主要な事項を表 16 に示す。

表 16(1) 3 ヶ年間のケーススタディ結果総合取りまとめ－Ａダム

<table>
<tr><th>項目</th><th>内　容</th></tr>
<tr><td>1.ダム貯水池の特徴</td><td>＜流入河川＞
・流入河川の流域で、畜産、畑作が行われている。
・流入河川水(特に ST-2)で富栄養化に影響を及ぼす COD・窒素・リン濃度が高濃度。
＜ダム貯水池＞
・年間を通じて滞留時間が長い。
・春から秋にかけて上層と下層の混合が起こりにくいため、水温成層が形成。
・夏季では強固な水温成層が形成され、水深０～２ｍで植物プランクトンが増殖しアオコが発生。
・流入河川の水温は水温躍層付近と同程度となることから、その付近に栄養塩類が流入。
・夏季には水温躍層以深で DO が 0mg/L となり、嫌気（還元）状態となる。
・アオコは流入端付近、網場付近に顕著な発生がみられ風の吹き寄せにより湖岸部に集積。</td></tr>
<tr><td>2.富栄養化現象の発生要因</td><td>・畑地かんがい用水の利用量が少なく、湖水の滞留時間が長い
・流入河川からの栄養塩(T-N、T-P)が高い。特に流入河川(ST-2)では T-P の濃度が高い。
・流入河川①では、T-N の値が令和元年 8 月を除いて環境基準値を超過している。T-P、COD については環境基準値以下である。
・流入河川②では、5 月から 11 月頃にかけて T-N、T-P、COD の値について環境基準値の超過が散見される。
・出水時は、流入河川①、②とも、 T-N、T-P、COD の値について大幅に環境基準値を超過している。
・底層及び底質が嫌気(還元)状態であることによる、底泥からの窒素、リン等の溶出</td></tr>
<tr><td>3.水質改善対策の検討結果</td><td>
<table>
<tr><th>項目</th><th>対策内容</th><th colspan="2">検証結果〔（）は H29.9 の藻類濃度に対する割合〕</th></tr>
<tr><td>深層取水</td><td>○取水深度を No.5（EL.79.0m）の深い取水口に変更して取水</td><td>○温度躍層が深くなり、水温が高い層が厚くなり河川水が流入する深さが深くなるため、表層への栄養塩類の供給が少なめになり藻類の表層での濃度が低くなる。</td><td>（７９）</td></tr>
<tr><td>流入負荷</td><td>○流域からの流入する負荷を２割削減</td><td>○ダム湖への栄養塩類の流入が削減されるため、ダム湖での藻類増殖が抑制される。</td><td>（７７）</td></tr>
<tr><td>底質改善</td><td>○浚渫等によって溶出する栄養塩類の量を５割削減</td><td>○底層の栄養塩類濃度が低下するものの躍層により表層への供給が抑制されるため藻類増殖抑制への影響は限定的である。</td><td>（９８）</td></tr>
<tr><td>深層取水
＋
流入負荷</td><td>○取水深度を No.5（EL.79.0m）の深い取水口に変更して取水
○流域からの流入する負荷を２割削減</td><td>○上述の「深層取水」と「流入負荷」の相乗効果により、表層での藻類の濃度が更に低下する。</td><td>（６１）</td></tr>
</table>




</td></tr>
</table>

表 16(2) 3ヶ年間のケーススタディ結果総合取りまとめ－Ｂダム

項目	内　　容
1.ダム貯水池の特徴	・流域の茶園等からの栄養塩の供給が多く、富栄養化現象が発生してきた。 夏季においては、表層水温の上昇や豊富な栄養塩の供給、水温躍層の形成等によって植物プランクトンの内部生産が活発化され、藻類の増殖が促進されている。 　また、Ｂダムの年平均回転率（H25～29 の平均で 3.21）は成層型に分類されており、表層以深は滞留している状態である。そのため中層～下層にかけては貧酸素傾向。
2.富栄養化現象の発生要因	＜水理の観点＞ （平成 29 年度・平成 30 年度） ・夏季から秋季にかけ、水温躍層が表層の浅い位置（水深 2m～2.5m）とやや深い位置（水深 14～15m）に形成され、湖内の水循環が起こりにくい。 ・第 1 孔（常時満水位から深度 7m ）及び第 2 孔（常時満水位から深度 14m ）を使用した排水操作。水温の観測では、水温躍層が水深 14m～15m 付近に確認。日中表層が比較的高水温になる 7 月～9 月は 2m～2.5m程度、水温躍層が観測。 （令和元年度） ・夏季から秋季にかけ、水温躍層が表面の浅い位置（水深 1.5m～2.0m）と水深 8～10m付近に形成された。 　表面取水ゲート（水深 1.5m 程度から取水）のみを使用した排水操作が行われたためと考えられた。 ＜水質の観点＞ ・Ｂダムでは、夏季から秋季にかけ藍藻類を中心とする藻類の増殖が見られる。平成 30 年度調査では夏季に表層から水深 3m の範囲の発生が見られた。 ・令和元年度は平成 29 年度、30 年度に比べ発生は少なかった。 ・流入域からは茶園等及び生活系から栄養塩（窒素、リン）の流入がある。 なお、ダム底質には有機物（COD、強熱減量）及び窒素、リンが多く含まれ、栄養塩の溶出源となっている。
3.水質改善対策の検討結果	＜貯水池内対策＞ 　H29,H30 のダムの取水操作は、昼間に第 1 取水孔（常時満水位から深度 7ｍ）、夜間に比較的深い水深から取水（第 2 取水孔）していたため、第 2 取水孔（常時満水位から深度 14m ）の水深まで比較的水温の高い層が広がったと考えられ、水温躍層は第 2 取水孔の水深程度で形成された。 　一方、R 元は表面取水ゲートのみから取水することにより、水深 1.5～2m 程度及び水深 8～10m 程度に水温躍層が形成され、いずれも H29、H30 のダムの運用と比べ浅い結果となった。 　これらの違いがあり　H29,H30 はダム湖の広範囲に藻類の発生現象が見られたが、R 元は広範囲の発生は見られず、発生期間も短くなるなど状況が改善した。 　なお、R 元のダムの運用状況においても、放流水を上水道が取水しているが、水質等に問題はなかった。 ＜貯水池外対策＞ 　河川からの流入負荷削減については、流域の茶園等及び生活系からの栄養塩の流入が考えられるが、茶園の施肥削減に向けては改めて栽培技術を試験研究し、現行の栽培方法と収量等に差がないことを示し、県栽培技術指針に反映した上で普及指導を行っていく必要があるとされている。

表 16(3) 3ヶ年間のケーススタディ結果総合取りまとめ－Cダム

<table>
<tr><th>項目</th><th>内　容</th></tr>
<tr><td>1. ダム貯水池の特徴</td><td>・滞留期間が長く、縦断方向に長く水深が深い形状であることから、夏季に水温躍層（３層の水塊構造）が発達する。
・水温躍層は、20～30㎜／日程度の降雨では解消されないが、100㎜／日を超えるようなまとまった降雨により解消される。また、平成 16 年度に設置された曝気装置（３基）の稼動によっても水温躍層は解消する。
・アオコの発生は湖面全域で確認されるが、風によって主にＺ川流入部、堤体内側の両端に吹き寄せられていることが多い</td></tr>
<tr><td>2. 富栄養化現象の発生要因</td><td>＜水理の観点＞
・半島に位置し水源が乏しい上に、しばしば少雨渇水傾向のため、ダム湖内に流入した水は滞留期間が長い傾向にある（H30 かんがい期間の滞留日数：54.3 日）。
・夏季は水温躍層が形成され、湖面表層が 25℃を越える期間が長い。
・夏季は晴天日が多いことから、湖面への日射量が大きい。
＜水質の観点＞
・ダムの上流域では、農業（耕種、畜産、果樹）が盛んで、負荷が大きい水が流入する。
・底層に有機物が堆積、ヘドロ化しており、水温躍層の形成による底層の貧酸素化が進み、栄養塩類（特にリン）の溶出による供給が考えられる。</td></tr>
<tr><td>3. 水質改善対策の検討結果</td><td>＜保全対策の検討ケース＞
<table>
<tr><th colspan="2">検討ケース</th><th>対策の概要</th></tr>
<tr><td>case0</td><td>現況の平均的運用</td><td>・既設曝気装置 3 基稼働（稼働期間は 7/1～9/30）
・分画フェンス通年設置</td></tr>
<tr><td>case1</td><td>曝気装置の稼働期間見直し</td><td>・既設曝気装置の稼働期間を 5/1～10/31 とする</td></tr>
<tr><td>case2</td><td>case1
＋曝気装置の出力増強</td><td>・既設曝気装置の稼働期間を 5/1～10/31 とする
・既設曝気装置の出力規模（送気量）を 2 倍にする</td></tr>
<tr><td>case3</td><td>case1
＋曝気装置の散気管化</td><td>・曝気装置の稼働期間を 5/1～10/31 とする
・曝気装置 3 基のうち上流側 2 基を散気管式に変更</td></tr>
<tr><td>case4</td><td>分画フェンス撤去</td><td>・既設曝気装置 3 基稼働（稼働期間は 7/1～9/30）
・分画フェンス撤去</td></tr>
<tr><td>case5</td><td>case1＋case4</td><td>・既設曝気装置の稼働期間を 5/1～10/31 とする
・分画フェンス撤去</td></tr>
<tr><td>case6</td><td>case3＋case4</td><td>・曝気装置の稼働期間を 5/1～10/31 とする
・曝気装置 3 基のうち上流側 2 基を散気管式に変更
・分画フェンス撤去</td></tr>
<tr><td>case7</td><td>流入負荷 1 割削減</td><td>・流域からの流入負荷濃度を 1 割削減</td></tr>
<tr><td>case8</td><td>流入負荷 2 割削減</td><td>・流域からの流入負荷濃度を 2 割削減</td></tr>
<tr><td>case9</td><td>取水位置の変更による循環制御</td><td>・取水位置の変更により、湖内循環の促進及び底層の冷水活用によるアオコ抑制</td></tr>
<tr><td>case10</td><td>case9＋曝気装置の稼働期間見直し（間断運転）</td><td>・取水位置の変更（常に表層水を取水）により、湖内循環の促進及び底層の冷水活用によるアオコ抑制
・既設曝気装置の稼働期間を効率化（アオコ発生状況を踏まえ、曝気装置の稼働期間を以下の様に設定
下流側 1 基：5/1～8/31
上流側 2 基：7/1～8/31</td></tr>
<tr><td>case11</td><td>分画フェンスの丈の変更</td><td>・分画フェンスの丈を既設（1m）から 5m に変更</td></tr>
<tr><td>case12</td><td>case1
＋曝気装置の散気管化・経済化</td><td>・曝気装置の稼働期間を 5/1～10/31 とする
・曝気装置 3 基のうち最上流側 1 基を散気管式に変更、残る 1 基（真ん中の 1 基）は運用停止</td></tr>
<tr><td>case13</td><td>竣工時の状態</td><td>・曝気装置なし
・分画フェンスなし</td></tr>
<tr><td colspan="2">現況再現ケース</td><td>・曝気装置の稼働を調査 3 ヵ年の実稼働期間に当てはめたケース</td></tr>
<tr><td colspan="2">実測値</td><td>・実測に基づくクロロフィル a 濃度の 3 ヵ年平均値、各年平均の最大値及び最小値、3 ヵ年間の最大値</td></tr>
</table>
＜保全対策委の検討結果の概要＞
・計算結果においては、年平均クロロフィル a 濃度に対しては、case11、case13 および現況再現ケースでは基準を満足しなかった。これらのケース以外では平均値で基準を満足したが、case0、case4、case7、case9 では年によって基準を満足しない場合があった。
・一方、最大クロロフィル濃度に対しては、基準を達成したのは case1、2、3、5、6、10、12 の 7 ケースであり、いずれも曝気装置の稼働期間を 5/1 から運用したケースであった。
・全体の傾向としては、分画フェンスが無いケースのほうが分画フェンスがあるケースよりクロロフィル a 濃度が低くなった。これは、分画フェンスがあるために曝気装置による鉛直循環流が阻害され、アオコ等の植物プランクトンを底層に取り込む能力が低くなったためと考えられる。
・曝気装置の出力規模を大きくした場合の明瞭な改善傾向は得られなかった。
・曝気装置を散気管式に変更した場合、クロロフィル a 濃度が多少減る傾向があった。
・取水位置の変更による明瞭な改善傾向は得られなかった。
・曝気装置（散気管式）を 1 基にしても、得られる改善効果に大きな影響はみられなかった。
・検討したケースのうち最善ケースは、クロロフィル a 濃度平均値としては case2、最大値としては case6 であるが、case6 に対して散気管化を行わなかった場合（case5）、散気管を 1 基のみ運用した場合（case12）もほぼ同様の改善効果が得られると考えられた。
・取水位置および曝気装置稼働期間の調整など、運用効率化を想定したケースでは、改善効果としては上記の最善ケースに劣る部分もあるものの、クロロフィル a 濃度平均値、最大値とも基準を達成する結果となった。</td></tr>
</table>