

渡良瀬貯水池・荒川貯水池における水質予測手法の検討結果について

目次

8. 渡良瀬貯水池・荒川貯水池における水質予測手法の検討	8-1
8.1 検討の背景.....	8-1
8.2 渡良瀬貯水池、荒川貯水池における水運用	8-1
8.3 渡良瀬貯水池、荒川貯水池の特徴	8-3
8.3.1 流入率.....	8-3
8.3.2 水質の特徴.....	8-4
(1) 水質変化特性.....	8-4
(2) ダム等管理フォローアップ定期報告書等からの整理	8-28
8.4 水質予測手法の検討.....	8-45
8.4.1 検討手順.....	8-45
8.4.2 従来の水質予測手法の適用性の検討	8-46
(1) 情報の収集.....	8-46
(2) 情報の分析・整理（従来の水質予測手法の適用性）	8-46
8.4.3 渡良瀬貯水池、荒川貯水池に適用可能な水質予測手法（条件整理）	8-51
(1) 水質予測手法の事例	8-51
(2) 渡良瀬貯水池及び荒川貯水池への適用を検討する水質予測手法	8-52
8.4.4 渡良瀬貯水池・荒川貯水池における水質予測手法の検討	8-53
(1) 情報の収集・整理.....	8-53
(2) 検討対象水域の水質予測手法の検討項目	8-53
(3) 渡良瀬貯水池・荒川貯水池における水質予測手法の検討概要	8-54
(4) 渡良瀬貯水池における水質予測手法の検討	8-55
(5) 荒川貯水池における水質予測手法の検討	8-70
8.5 新たな手法による渡良瀬貯水池・荒川貯水池における水質予測の試行	8-85
(1) 渡良瀬貯水池.....	8-86
(2) 荒川貯水池.....	8-88

8. 渡良瀬貯水池・荒川貯水池における水質予測手法の検討

渡良瀬貯水池、荒川貯水池の類型指定の見直しに向けて、対象水域における運転管理方法、流入率、水質等の情報の収集・整理を行い、対象水域の水質に影響すると推測される要因を抽出し水質予測手法の検討を行った。

8.1 検討の背景

前回の渡良瀬貯水池、荒川貯水池の暫定目標見直し時（中央環境審議会答申，H30.2）に挙げられた水質予測手法における課題は以下の通りである。

なお、これらの貯水池は一般的なダム湖と運転管理の方法が異なるため、水質汚濁のメカニズムも異なると推測されることから、今後は、貯水池の運転管理状況や水質保全対策の効果などを注視しつつ、流入率をはじめとする関連の情報を整理し、貯水池の特性を考慮した水質予測手法について検討していく必要がある。

8.2 渡良瀬貯水池、荒川貯水池における水運用

渡良瀬貯水池、荒川貯水池における水運用の概要は下表の通りである。

滞留時間という点では、荒川貯水池は他の人工湖沼に比べても突出して長いが、渡良瀬貯水池に関しては、同等のダム貯水池も存在する。

大きく異なる点としては、渡良瀬貯水池、荒川貯水池は、貯水池への流入が人為的にコントロールされている点であり、現在湖沼指定がなされている人工湖沼では他に例はない。

表 8.1 湖沼類型が適用されている人工湖沼における水運用

項目	水運用の特徴	備考
渡良瀬貯水池	・ 平常時は、河川からの直接流入はなく、貯水池機場により渡良瀬川から貯水池への取水と渡良瀬川への放流を行っている。 ・ カビ臭対策として、1～3月に干し上げ操作を実施している。 ・ 大規模な出水の際は、遊水地としての機能を発揮（河川からの越流水が流入、一時的に貯留）	滞留時間：189日（H25～H30） 非洪水期満水位時の水深：約 6.5m ・ 過去の専門委員会において、干し上げ時のデータは異常値扱いすることとされている。
荒川貯水池	・ 平常時は、河川からの直接流入はなく、貯水池機場により荒川から貯水池への取水（秋ヶ瀬取水堰）と荒川への放流を行っている。 ・ 大規模な出水の際は、遊水地としての機能を発揮（河川からの越流水が流入、一時的に貯留）	滞留時間：404日（H25～H30） 非洪水期満水位時の水深：約 10m
その他の人工湖沼（湖沼指定）	・ 河川の本流をせき止める形でダム等が設置されており、常時、河川から直接流入する。 ・ 他水系との導水のやり取り（流入や流出）がなされているダム貯水池等はあるが、常時（平常時も出水時も関係なく）河川からの直接流入があるという点で、上記の2水域とは根本的に異なる。	滞留時間：参考（表 8.1）

表 8.2 国指定水域内人工湖における状況（第 5 回専門委員会資料，H15.2）

名称	滞留時間	平均流速	成層形成	水質面	
	(日)	(cm/s)		クロロフィル a (mg/m ³)	利水障害等
川治ダム	261.8	0.05			
小河内ダム	240.6	0.09			
奈良俣ダム	219.1	0.03	成層型	2.7	
下久保ダム	206.1	0.09	成層型	1.1	
弥栄ダム	154.3	0.07			
矢木沢ダム	131.3	0.21	成層型	1.9	
早明浦ダム	117.8	0.18	成層型	1.7	
川俣ダム	117.2	0.28		1.9	
深山ダム	74.7	0.07			
二瀬ダム	52.1	0.09		10.8	
大迫ダム	52.0	0.11			
草木ダム	50.6	0.14	成層型	15.3	フランクソ
長沢ダム	37.6	0.30			
土師ダム	37.3	0.43			
小瀬川ダム	31.1	0.32			
藤原ダム	18.1	0.70	成層型	2.4	
松原ダム	16.7	1.01	成層型	12.0	淡水赤潮
大川ダム	16.6	0.49	混合型	4.8	
佐久間ダム	14.4	2.92			
城山ダム	13.8	1.19			アオコ
相模ダム	13.4	0.22			アオコ
大橋ダム	13.1	0.71			
横山ダム	13.0	1.02	不明確	6.6	
四十四田ダム	9.2	1.54	成層型	3.0	
丸山ダム	3.5	5.05	混合型	6.0	
天ヶ瀬ダム	2.3	5.62	混合型	12.8	異臭味
池田ダム	1.3	7.84	混合型	1.4	
大井ダム	0.8	10.91			
笠置ダム	0.5	23.69			
秋葉ダム	0.5	26.29			
平岡ダム	0.4	38.82			
新郷ダム	0.3	92.09			
浜原ダム	0.3	24.65			
船明ダム	0.2	79.54			
泰阜ダム	0.2	50.45			
揚川ダム	0.2	100.00			
上野尻ダム	0.1	100.35			
豊実ダム	0.1	81.15			
鹿瀬ダム	0.1	102.65			
渡良瀬遊水地			混合型	83.3	異臭味

※ 1 流速：湖沼の平均断面形状を堤長を弦とする円弧と仮定し、堤長・有効貯水量・湖沼面積から平均断面積を求め、年平均流入量/平均断面積から平均流速を推計した。

※ 2 滞留時間：年平均流入量を有効貯水量で除すことにより求めた。年平均流量は直近 10 年間の平均値を原則としたが、流入量が得られないダムについては流入河川の流量に流域面積比を乗じることにより推計した。

※ 3 成層形成：8 月における水温の鉛直分布から判断した。

※ 4 クロロフィル a：6～8 月の平均値。富栄養化限界の下限值 7mg/m³ を超えるものに網掛けした。

※ 5 利水障害等：自治体調査結果

8.3 渡良瀬貯水池、荒川貯水池の特徴

8.3.1 流入率

これら 2 つの貯水池の流入率（水域への流入負荷量／流域の発生負荷量）を、国が湖沼類型に指定している他の人工湖沼での流入率と比較し、図 8.1 に示す。

渡良瀬貯水池、荒川貯水池の流入率は突出して小さいことが分かる。これは、前述の通り、これら 2 つの貯水池における水運用が特殊であり、貯水池への流入が人為的にコントロールされ、上流からの流入水が全てダム貯水池に流入してくるわけではないことによるものであり、現在湖沼指定がなされている人工湖沼では他に例はない。

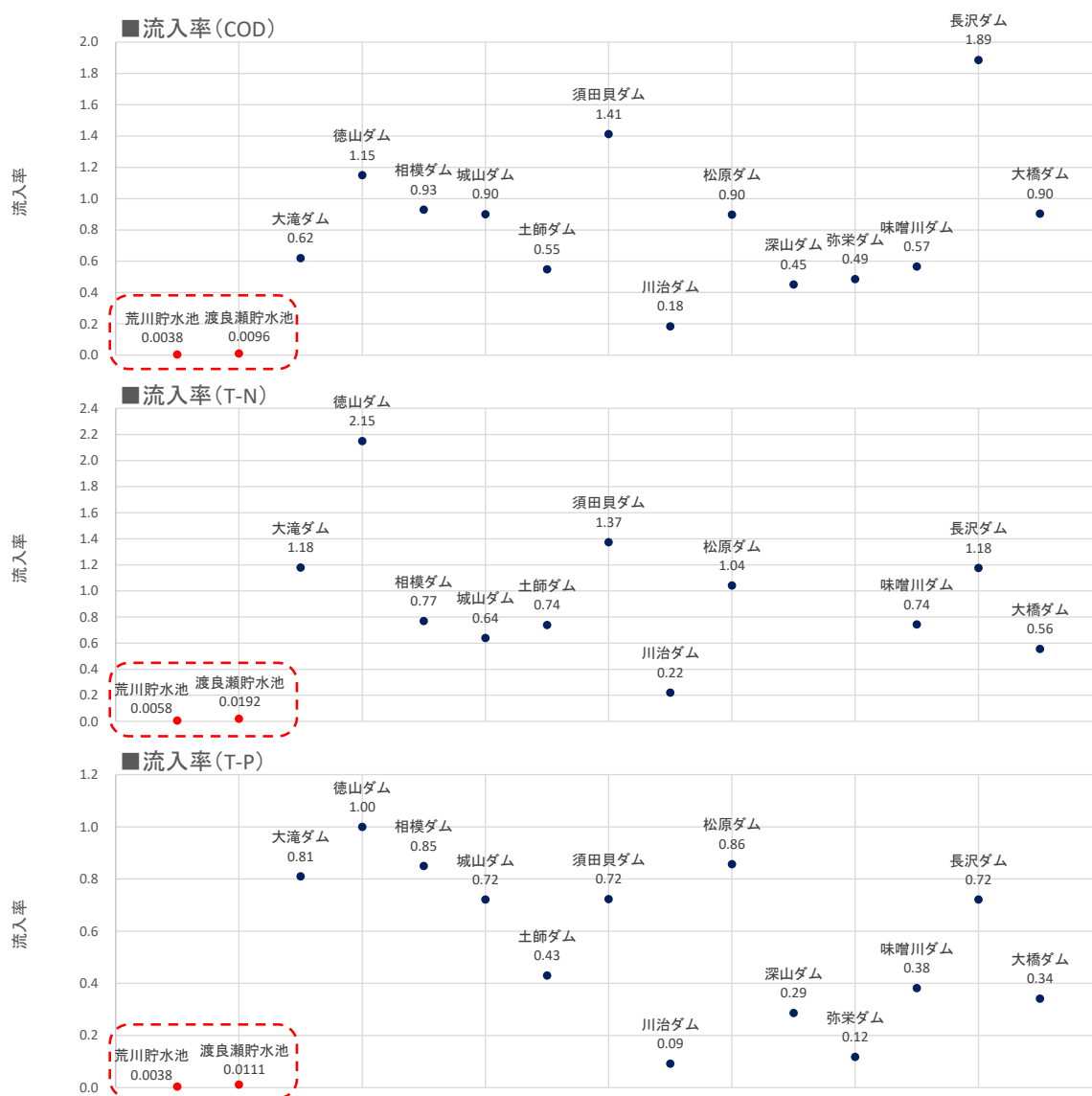


図 8.1 国指定人工湖沼における流入率の比較

8.3.2 水質の特徴

(1) 水質変化特性

1) 渡良瀬貯水池

渡良瀬貯水池の水質の経年変化を図 8.2 に、2010（H22）年度～2019（R1）年度の貯水池運用状況、貯水池及び流入河川の水質状況（COD、T-N、T-P、Chl. a の個別観測値）について整理し、図 8.3～図 8.12 に、水質項目間の相関関係を図 8.13 に、それぞれ示す。

COD については、貯水池水質の方が流入河川水質よりも高くなっている。また、夏季～秋季を中心に Chl. a の高くなる傾向と概ね対応しているとともに、湖内 Chl. a と COD も強い相関関係を示しており、内部生産の影響によるものと考えられる。

T-N、T-P については、貯水池水質の方が流入河川水質よりも低くなっており、大きくは貯水池内での沈降作用によるものと考えられる。

干し上げ期の水位低下時に各水質項目の濃度が高くなる傾向にあり、水深が浅くなった際に風の影響による底泥のかく乱による高濃度化が生じているものと考えられる。

また、令和元年 10 月中旬の出水前後の水質について見ると、10～11 月にかけて、COD 濃度が低下し、流入水質とほぼ同等の濃度となっている。同時期に Chl. a 濃度も低下しており、出水に伴う流入により貯水池水が入れ替わったことを示唆している。



図 8.2 渡良瀬貯水池の水質の経年変化（年度平均）

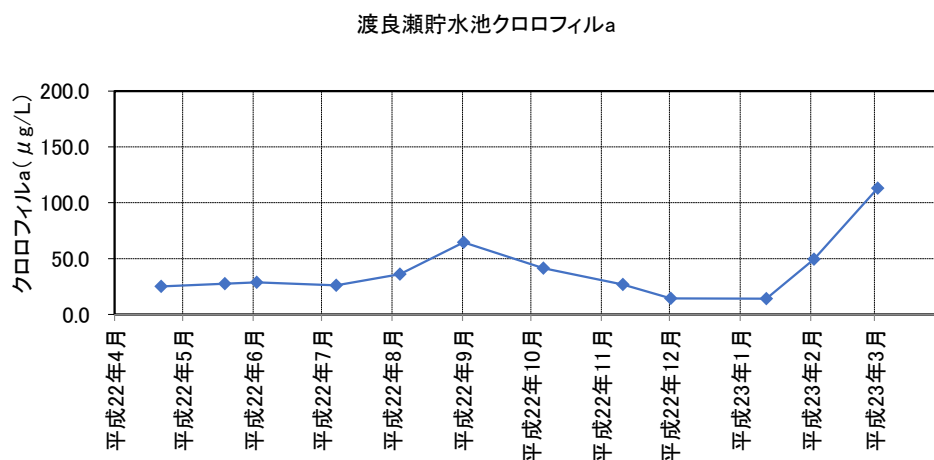
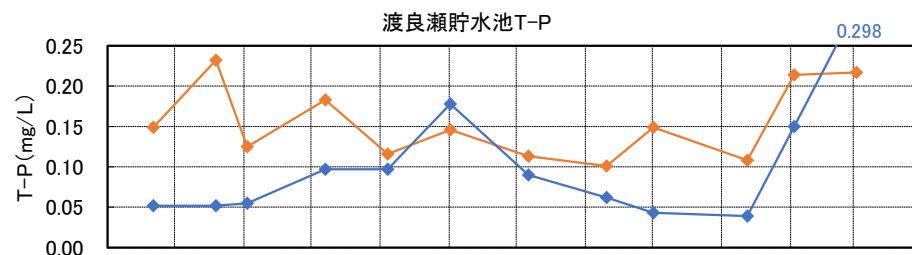
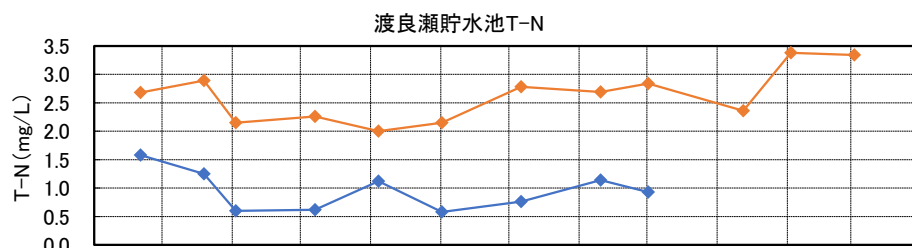
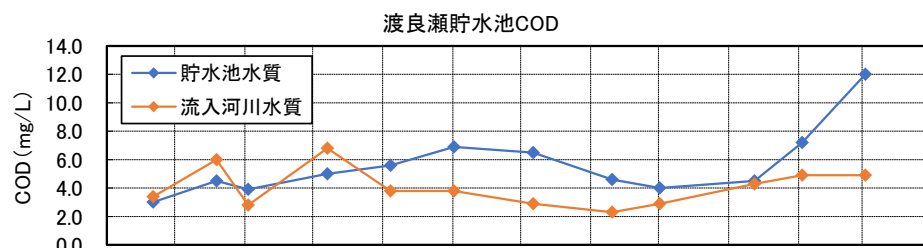
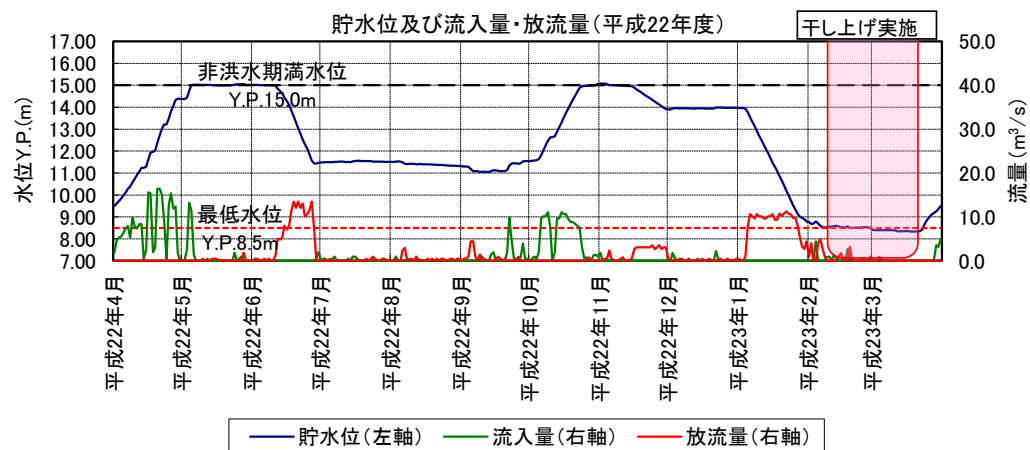


図 8.3 渡良瀬貯水池の水質状況 (2010 (H22) 年度)

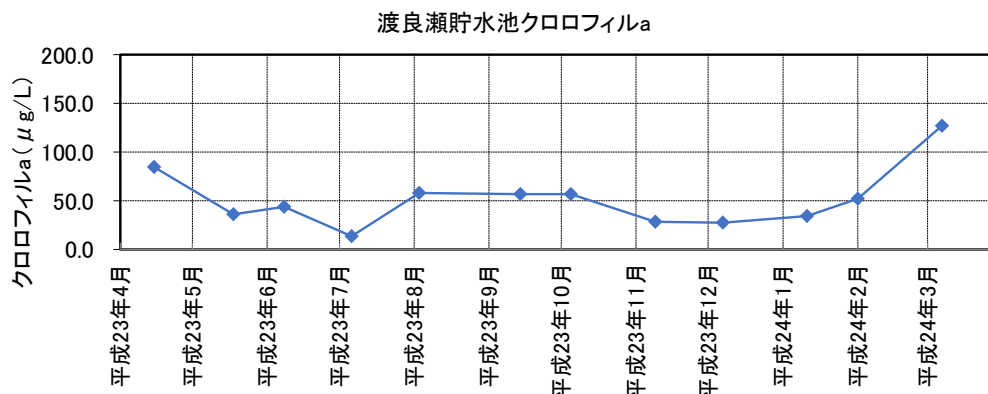
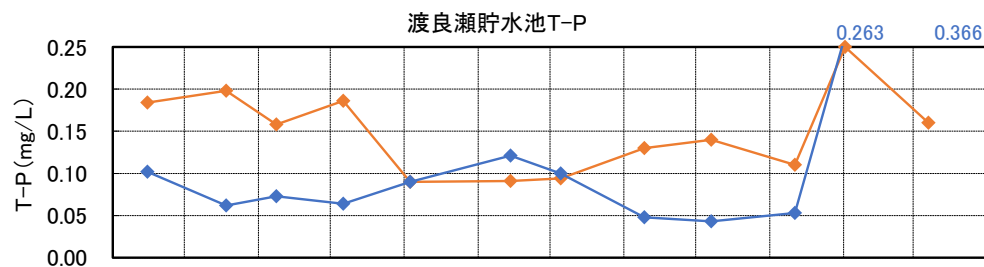
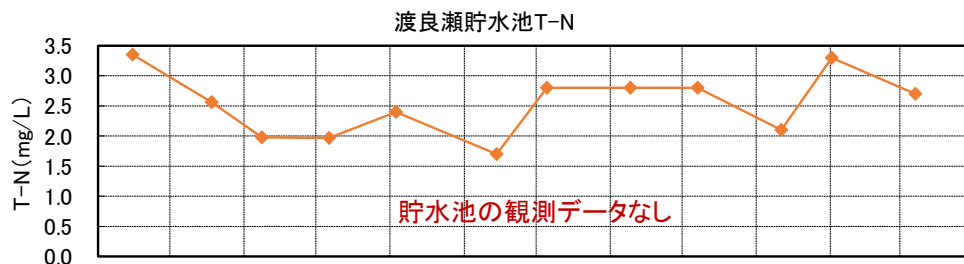
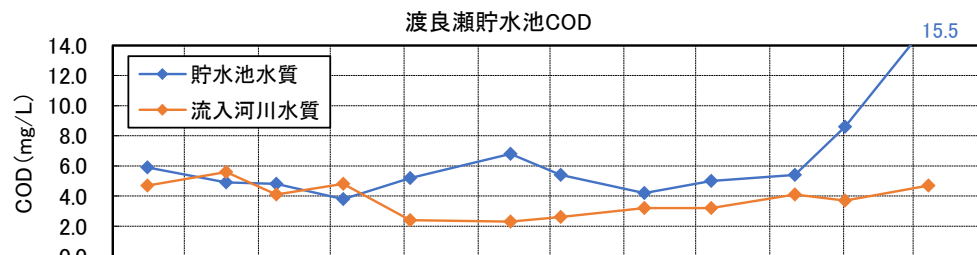
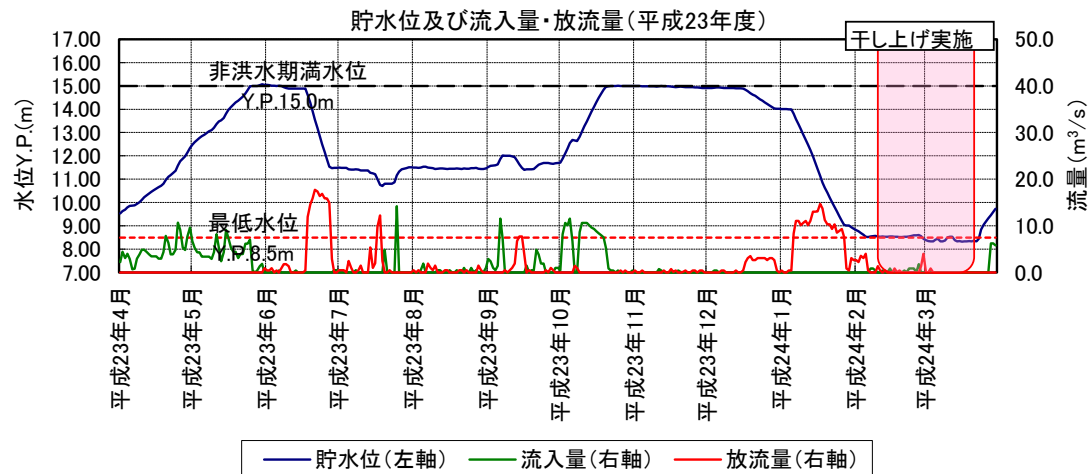


図 8.4 渡良瀬貯水池の水質状況 (2011 (H23) 年度)

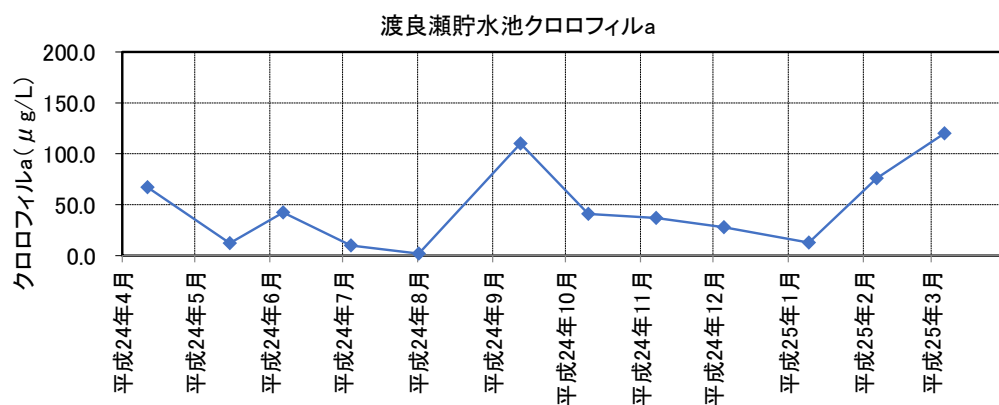
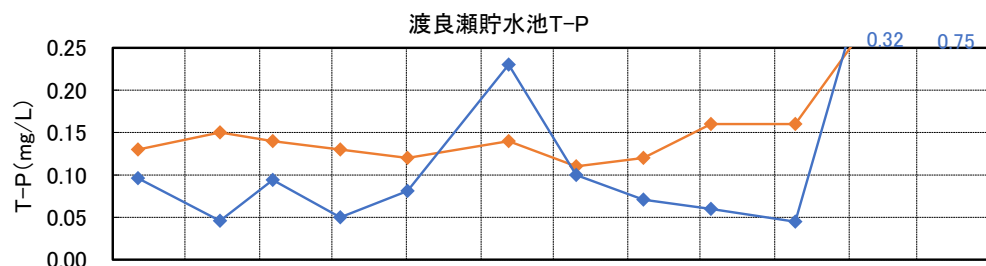
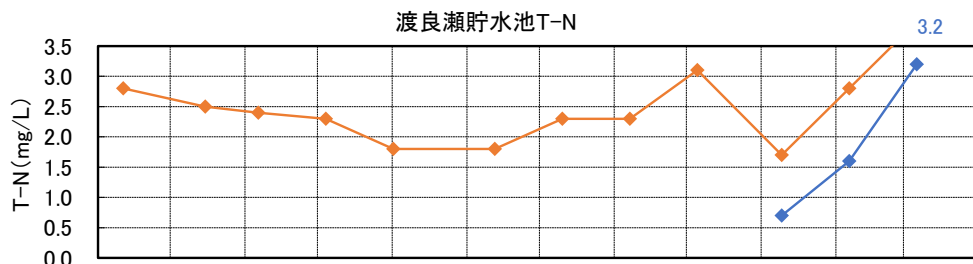
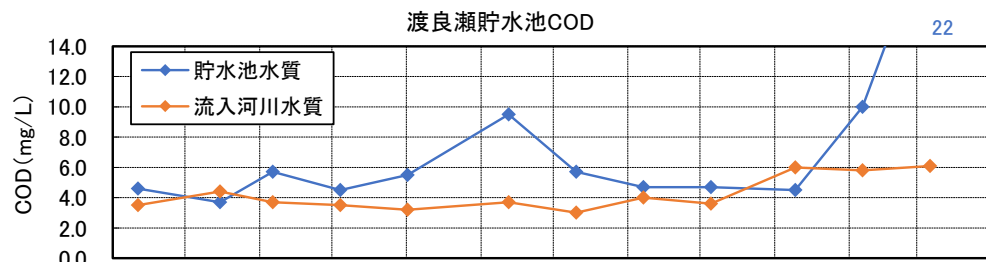
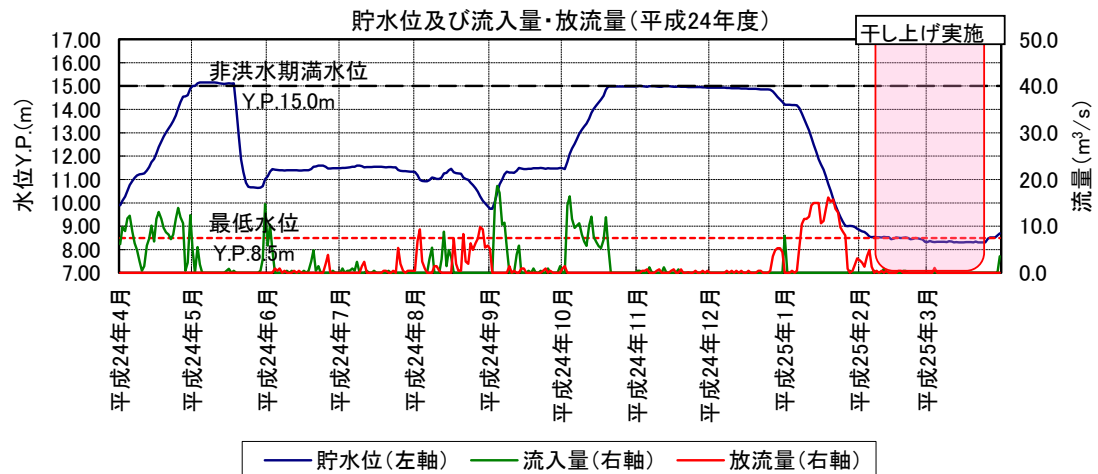


図 8.5 渡良瀬貯水池の水質状況 (2012 (H24) 年度)

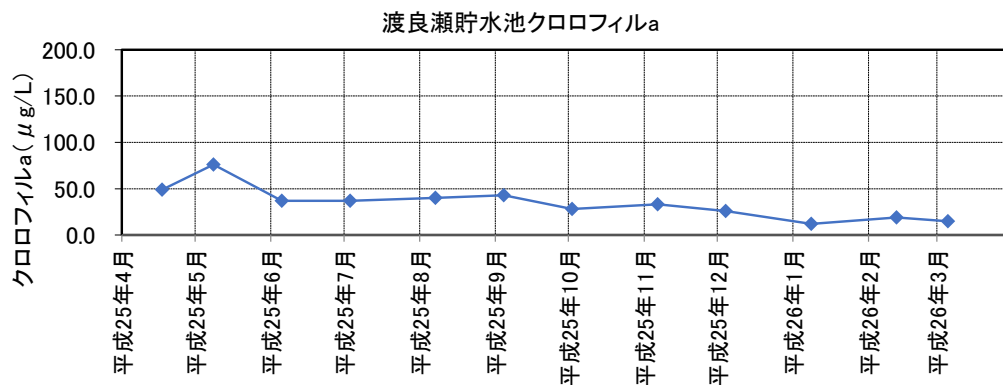
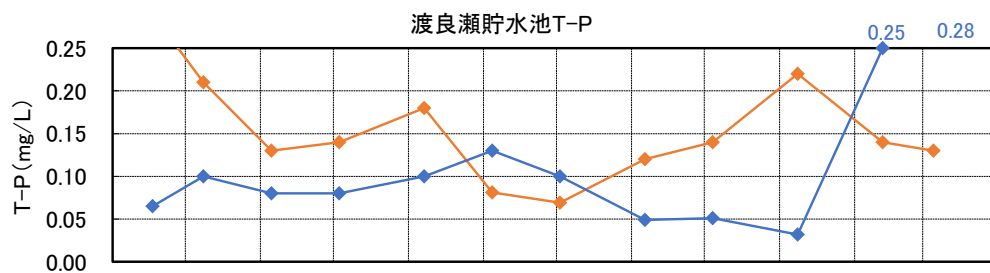
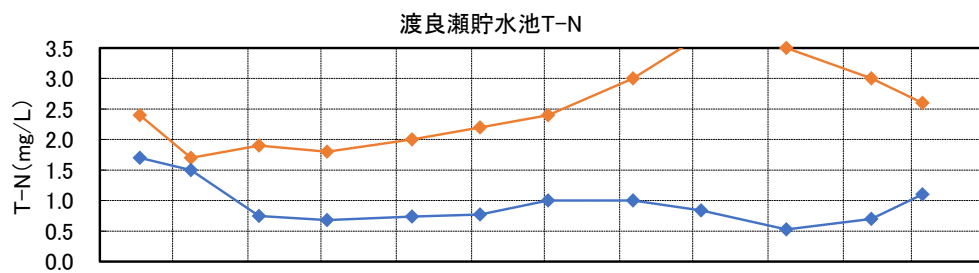
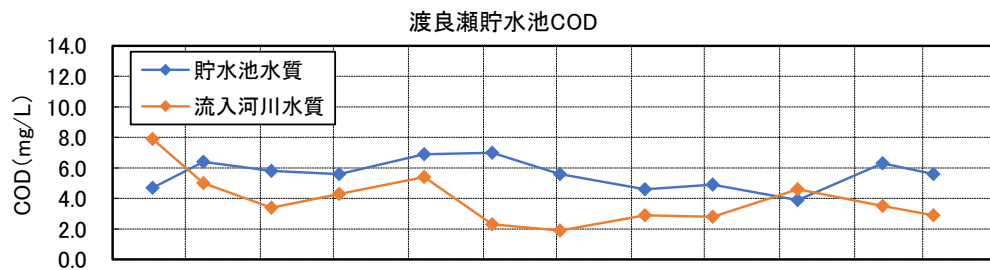
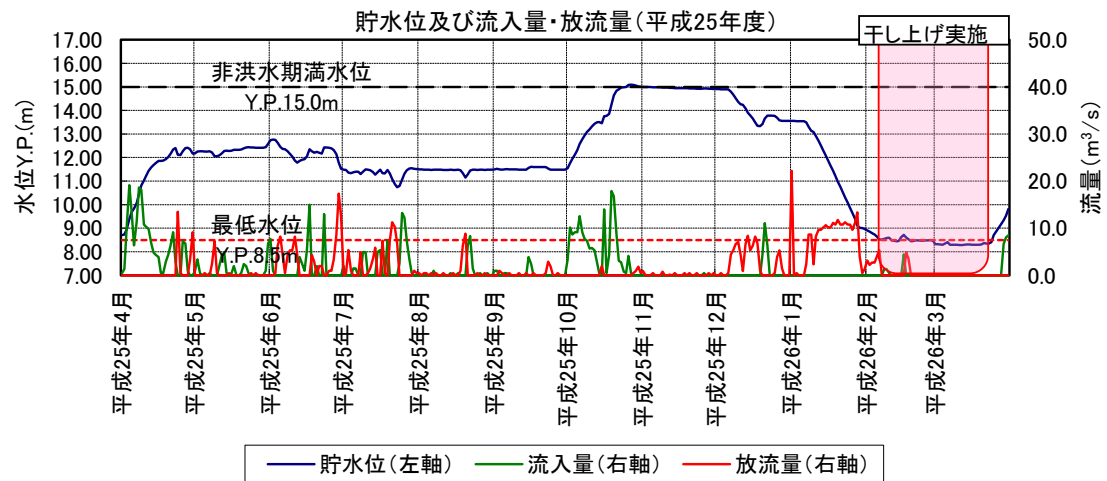


図 8.6 渡良瀬貯水池の水質状況 (2013 (H25) 年度)

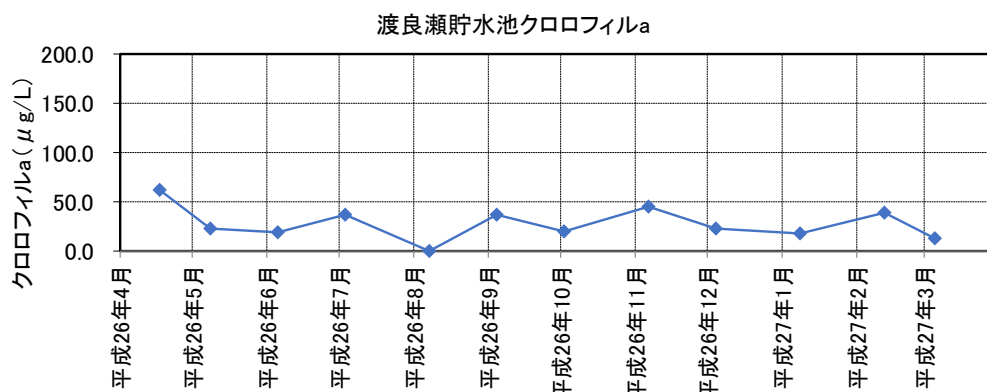
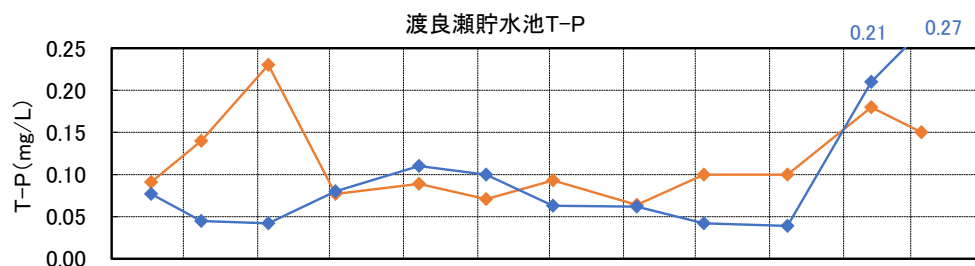
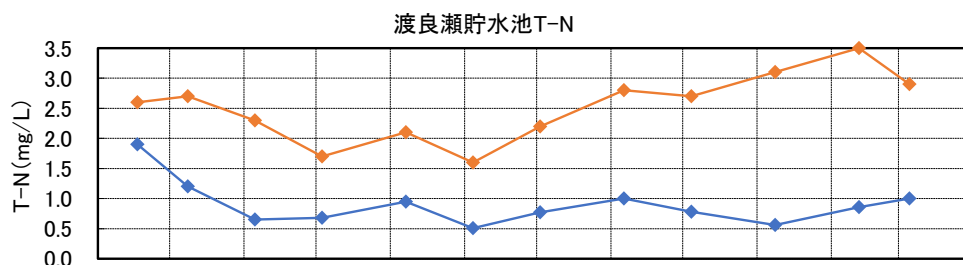
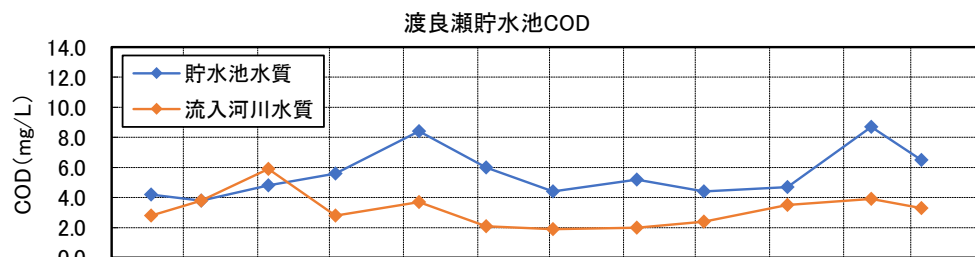
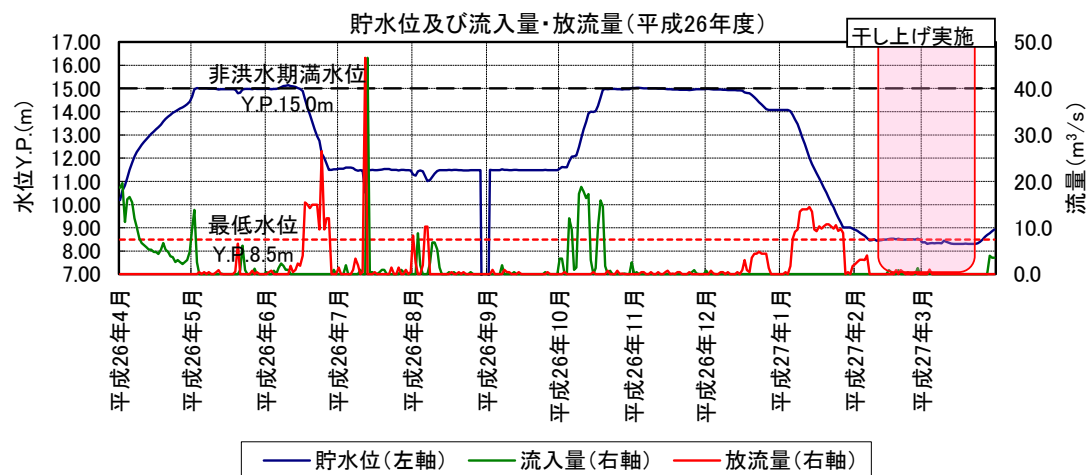


図 8.7 渡良瀬貯水池の水質状況 (2014 (H26) 年度)

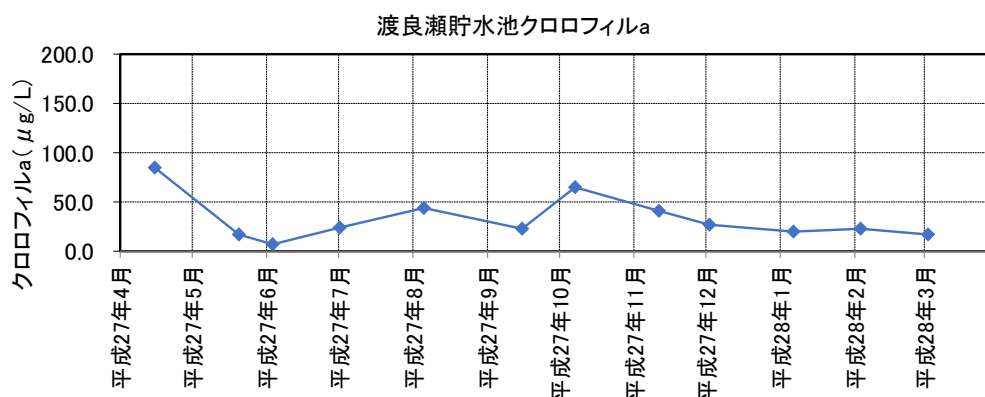
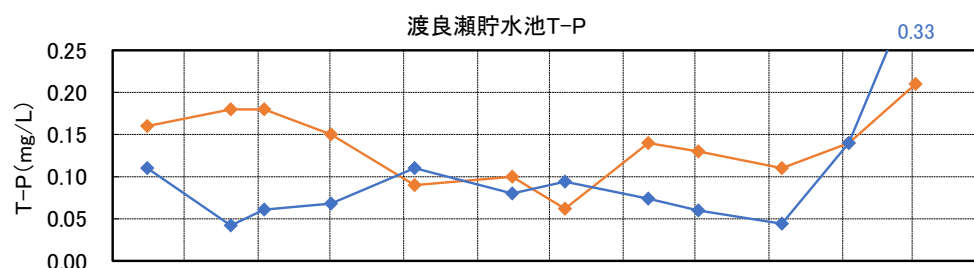
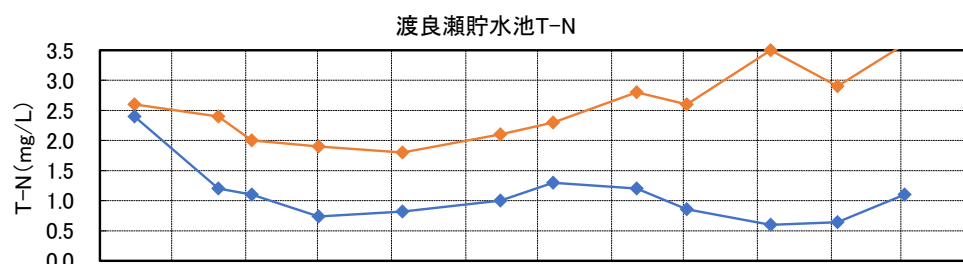
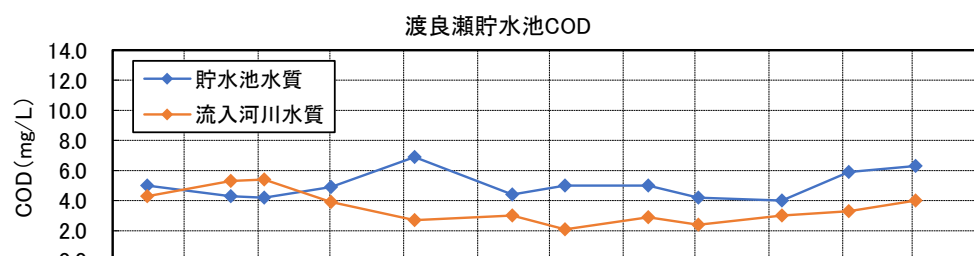
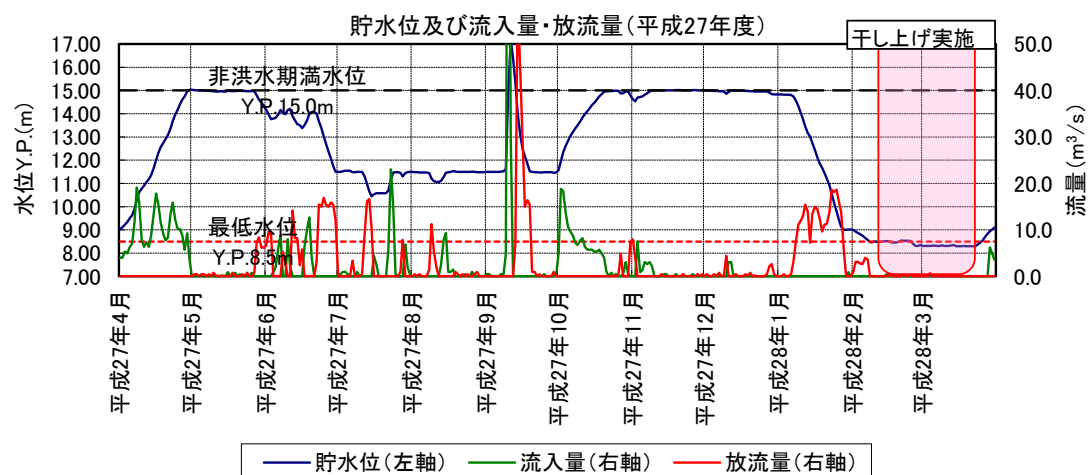


図 8.8 渡良瀬貯水池の水質状況 (2015 (H27) 年度)

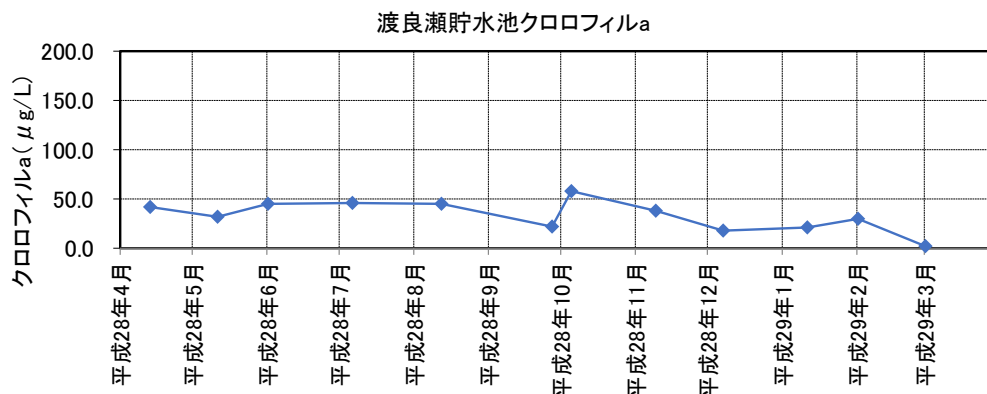
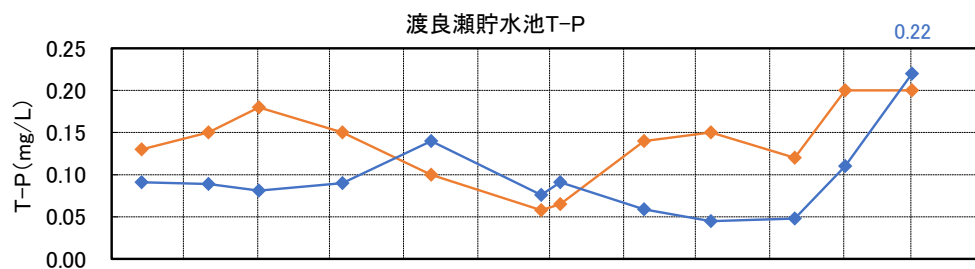
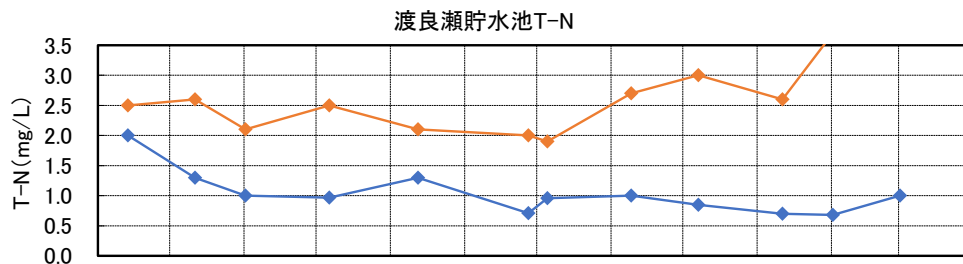
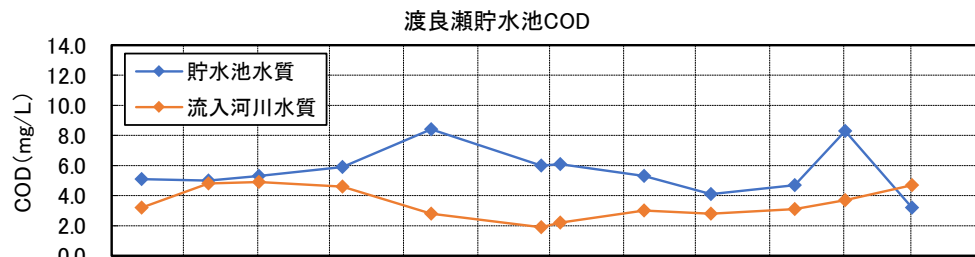
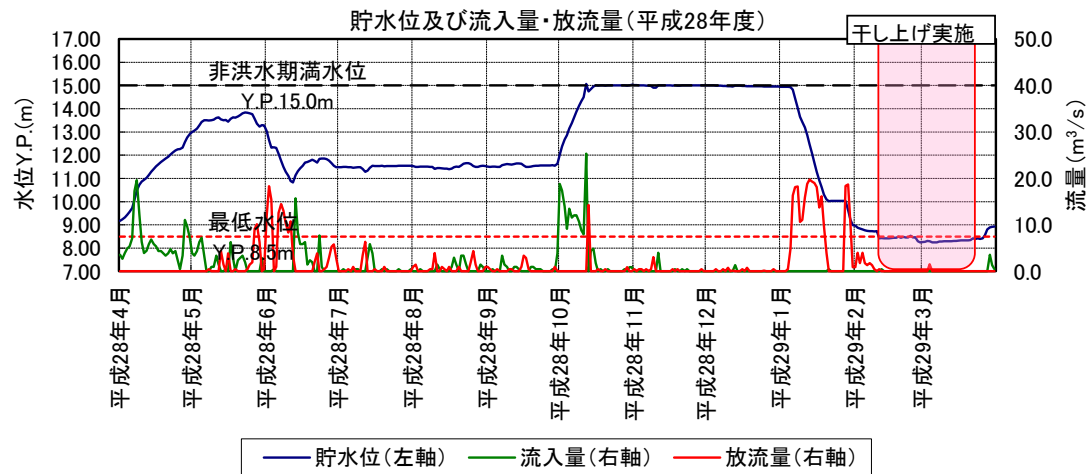


図 8.9 渡良瀬貯水池の水質状況 (2016 (H28) 年度)

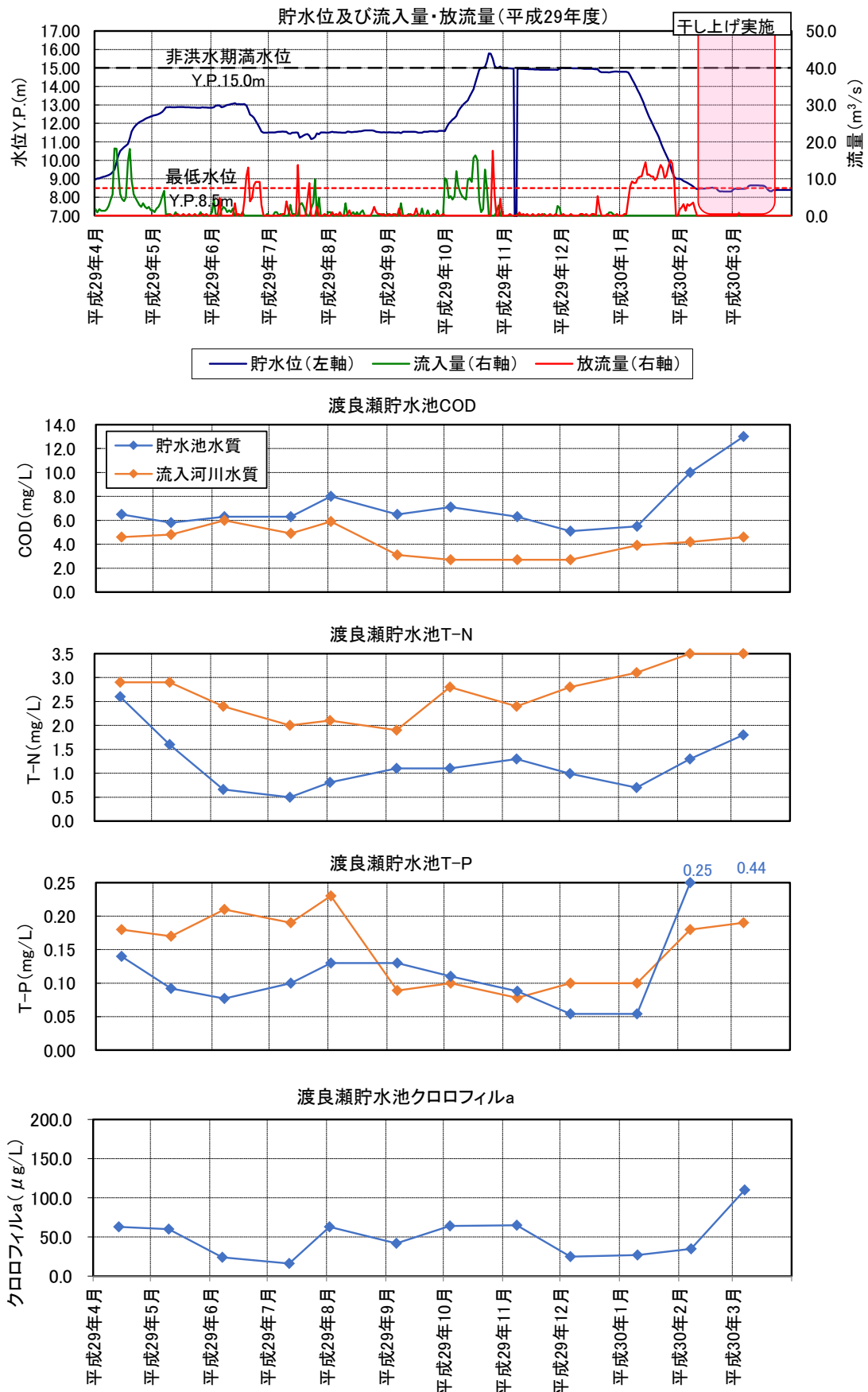


図 8.10 渡良瀬貯水池の水質状況 (2017 (H29) 年度)

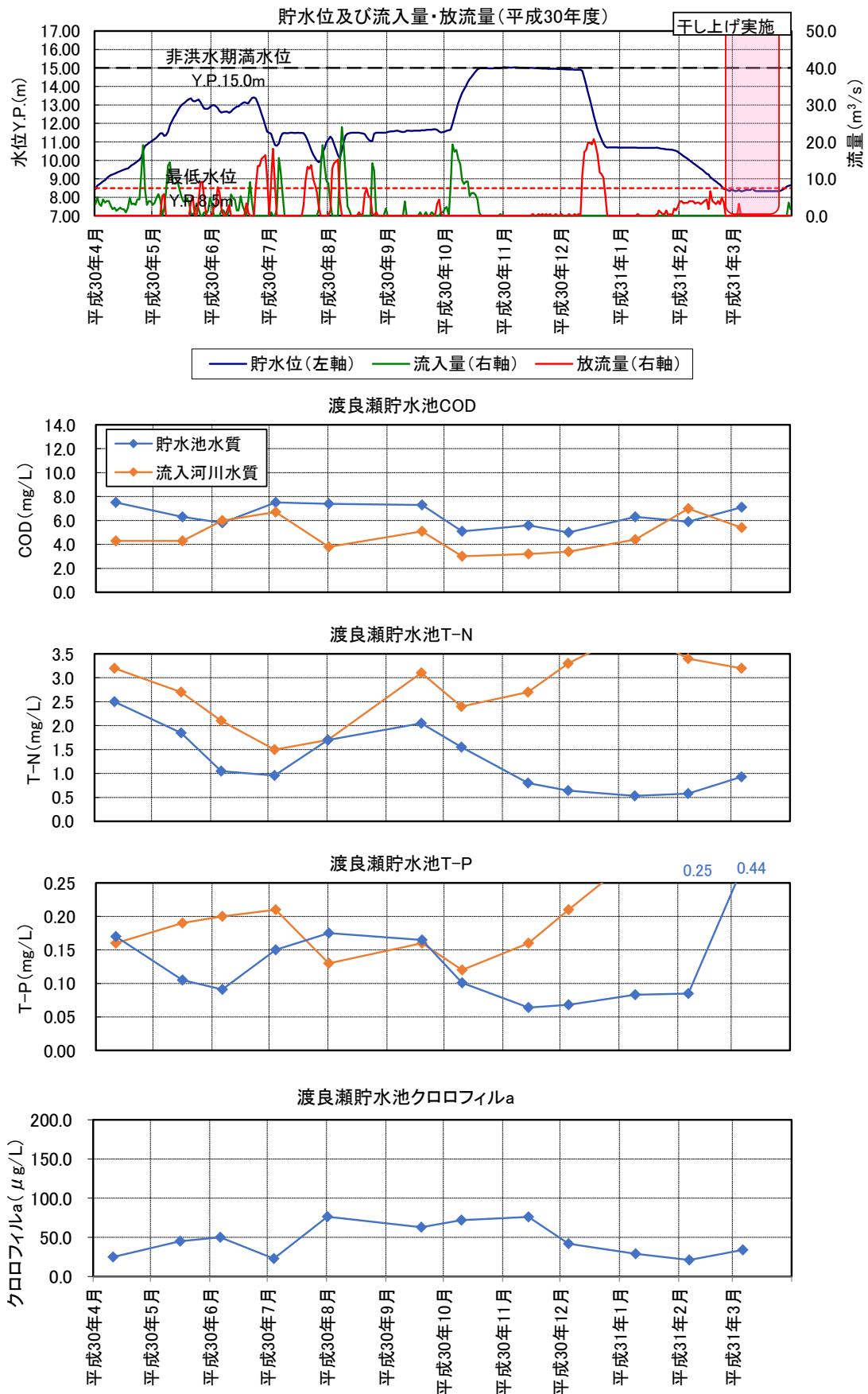


図 8.11 渡良瀬貯水池の水質状況 (2018 (H30) 年度)

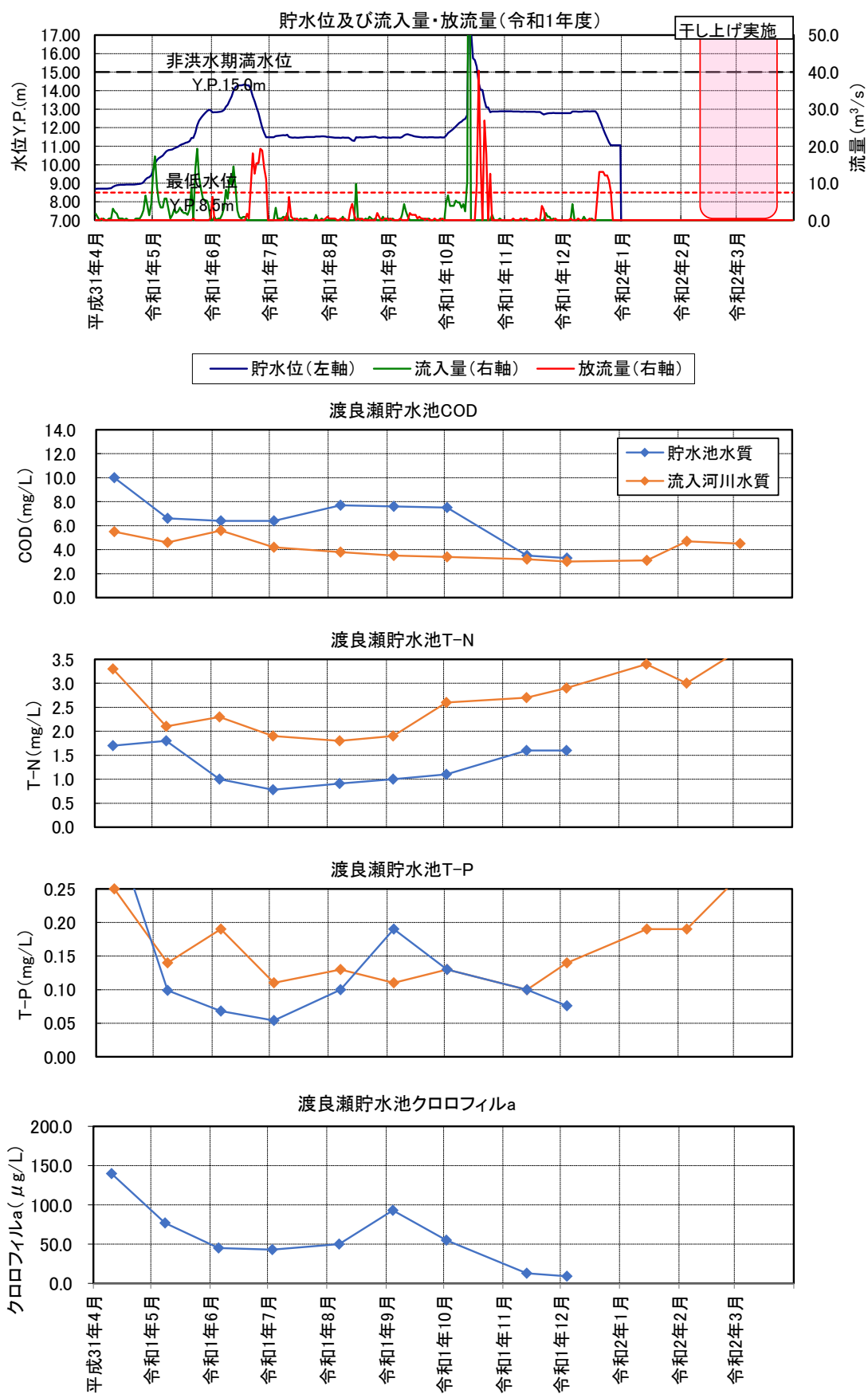


図 8.12 渡良瀬貯水池の水質状況 (2019 (R1) 年度)



図 8.13 渡良瀬貯水池の水質状況（水質項目間の関係）

2) 荒川貯水池

荒川貯水池の水質の経年変化を図 8.14 に、2010 (H22) 年度～2019 (R1) 年度の貯水池運用状況、貯水池及び流入河川の水質状況 (COD, T-N, T-P, Chl. a の個別観測値) について整理し、図 8.15～図 8.24 に、水質項目間の相関関係を図 8.25 に示す。

COD については、貯水池水質の方が流入河川水質よりも高くなっている。また、夏季～秋季を中心に Chl. a の高くなる傾向と概ね対応しているとともに、湖内 Chl. a と COD も強い相関関係を示しており、内部生産の影響によるものと考えられる。

T-N, T-P については、貯水池水質の方が流入河川水質よりも低くなっており、大きくは貯水池内での沈降作用によるものと考えられる。

平成 29 年 2～3 月、平成 30 年 2～3 月、平成 31 年 2～3 月に水位が大きく低下しているが、この期間中もしくは直後に各水質項目の濃度が高くなる傾向にあり、水深が浅くなった際に風の影響による底泥のかく乱による高濃度化が生じている可能性が考えられる。



図 8.14 荒川貯水池の水質の経年変化 (年度平均)

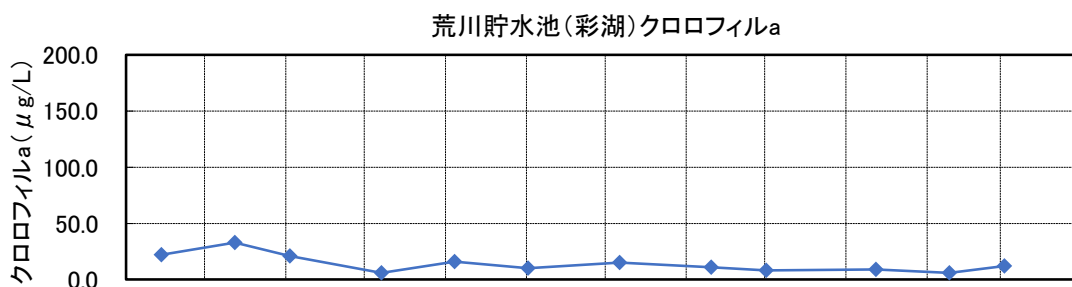
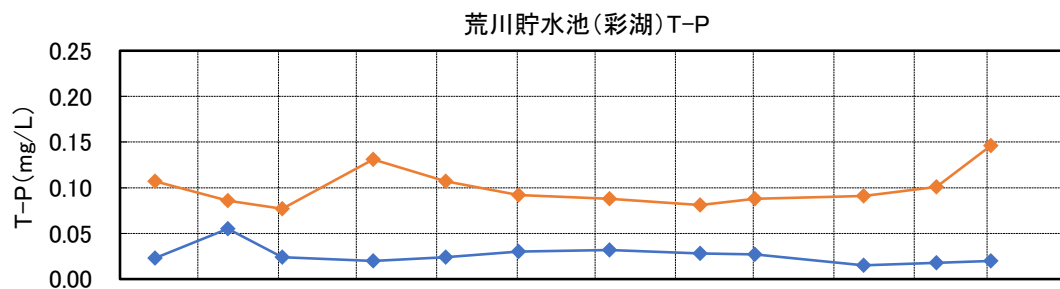
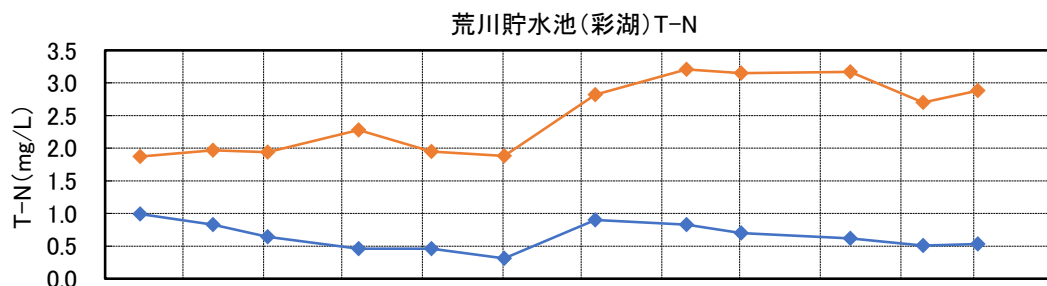
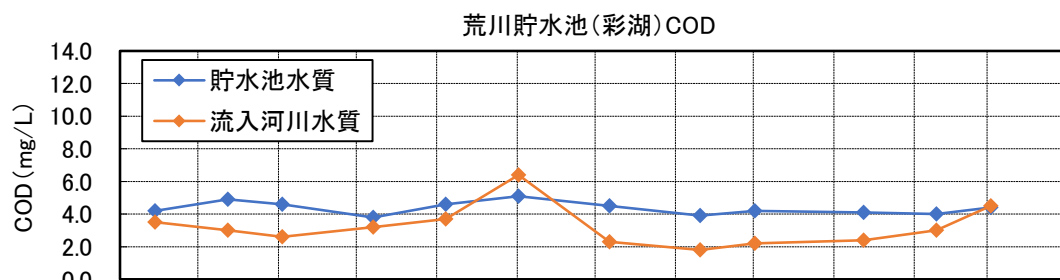
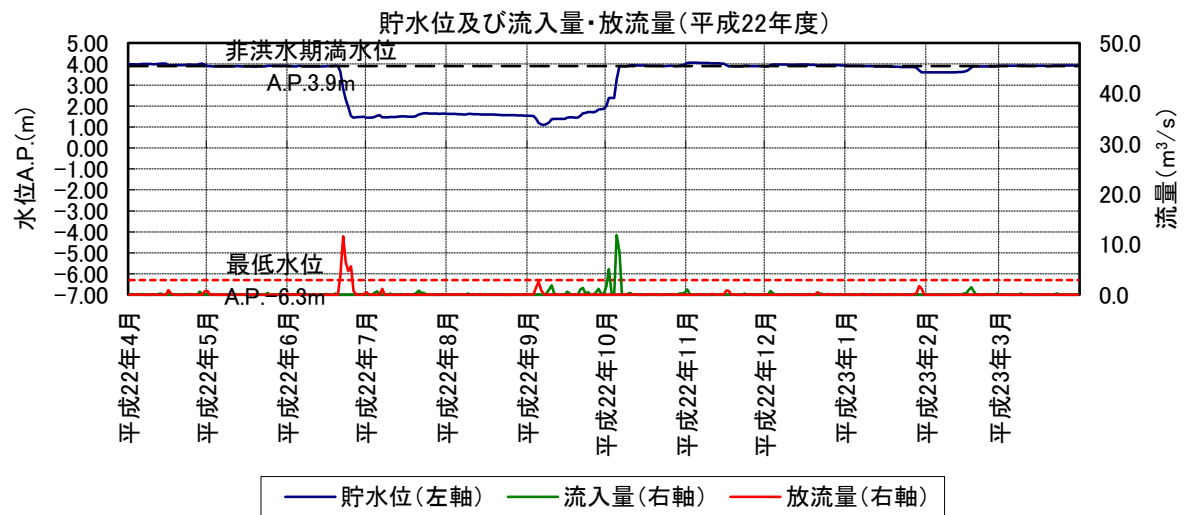


図 8.15 荒川貯水池の水質状況(2010(H22)年度)

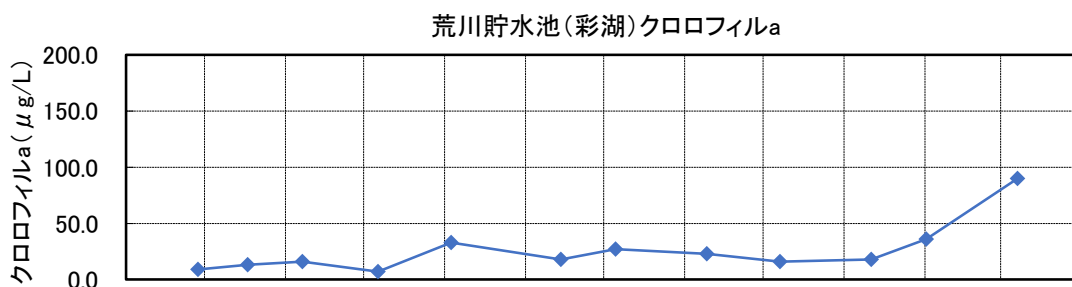
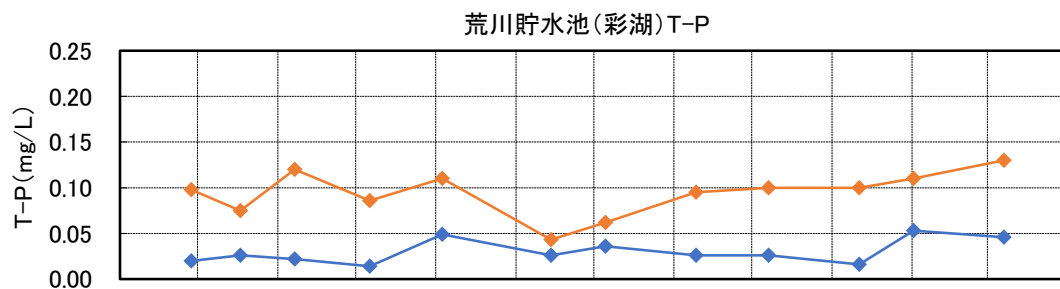
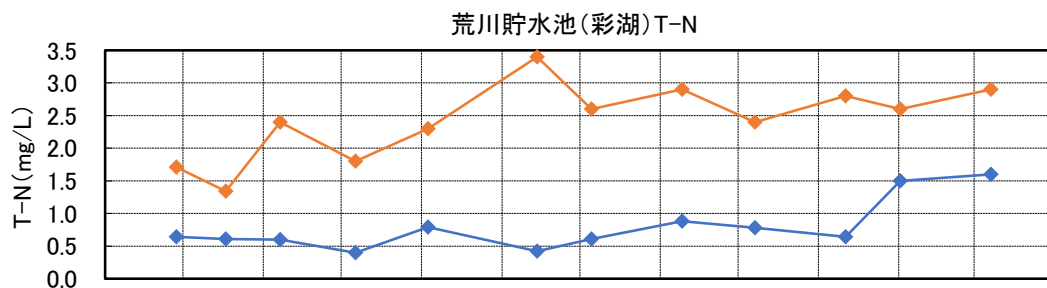
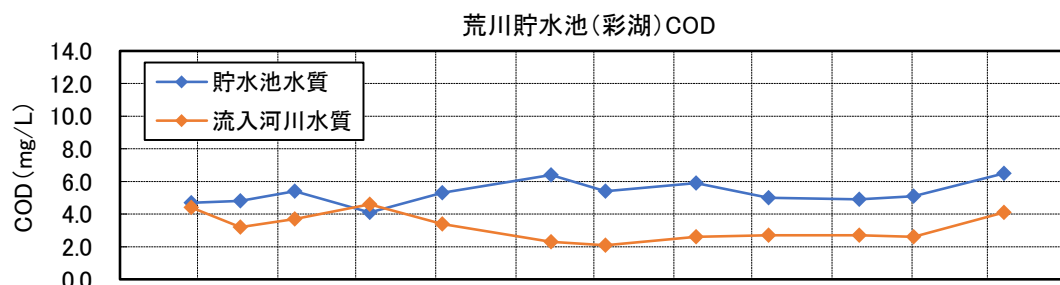
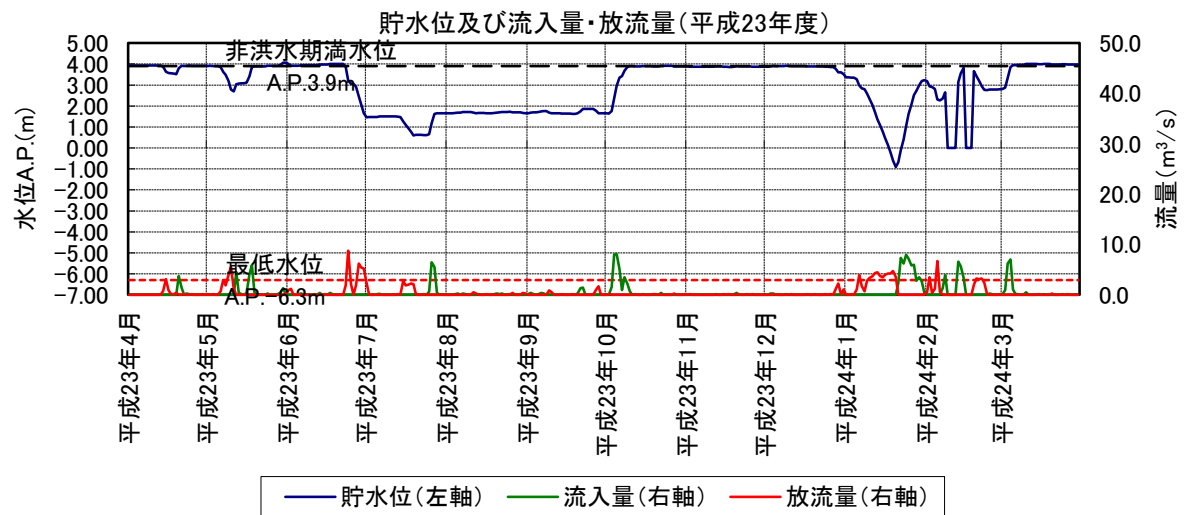


図 8.16 荒川貯水池の水質状況 (2011 (H23) 年度)

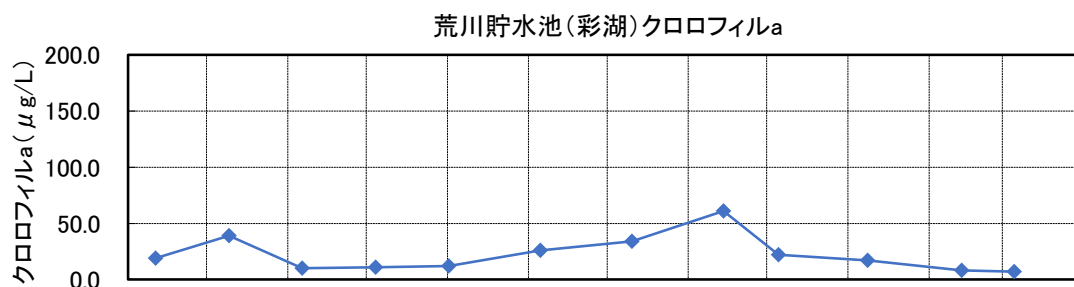
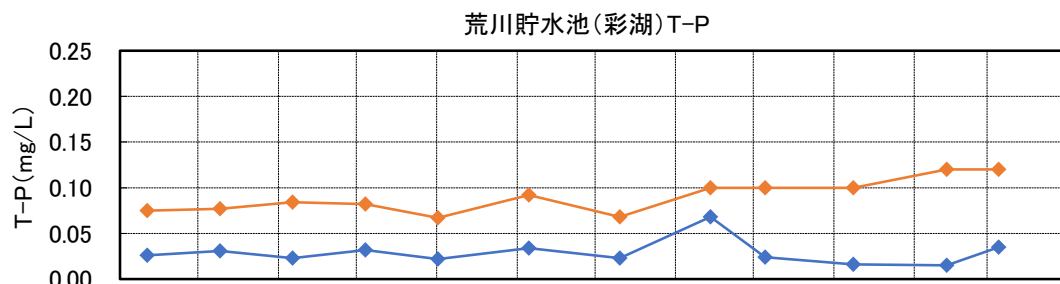
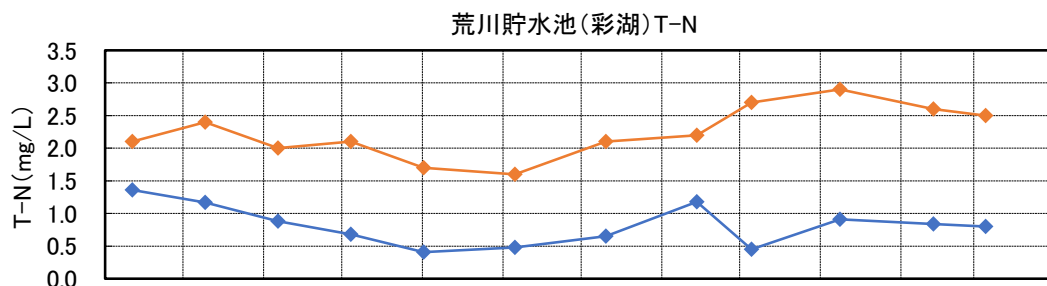
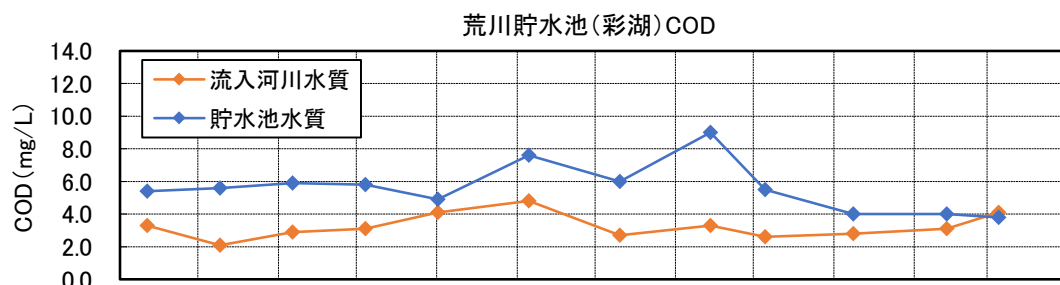
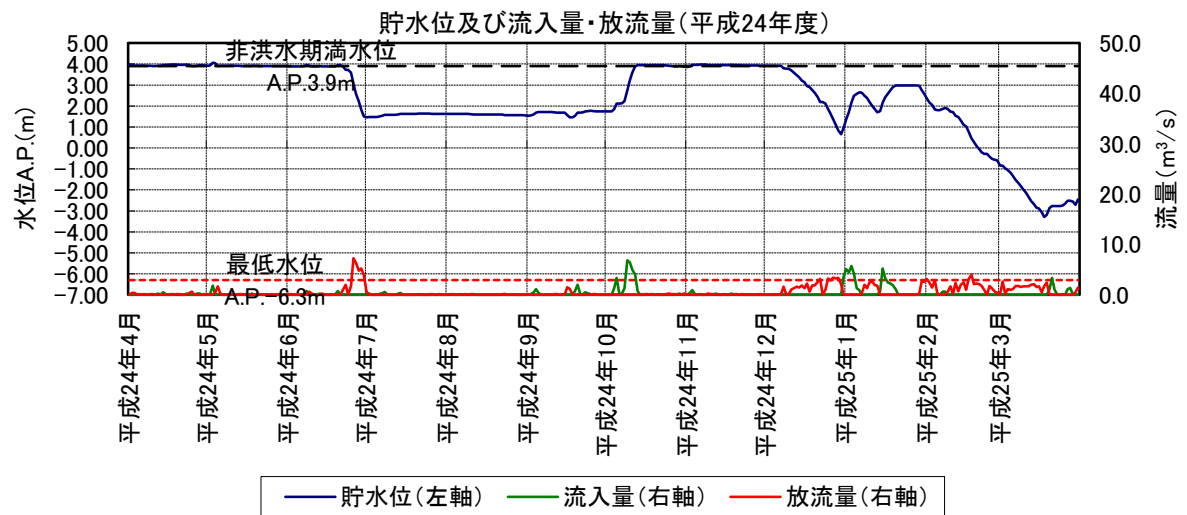


図 8.17 荒川貯水池の水質状況 (2012 (H24) 年度)

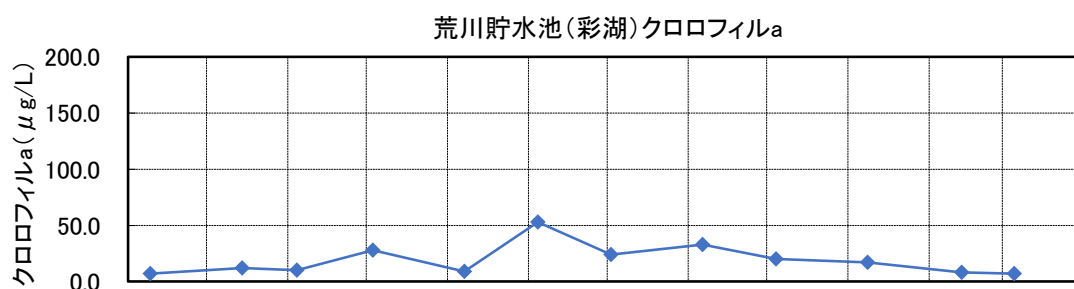
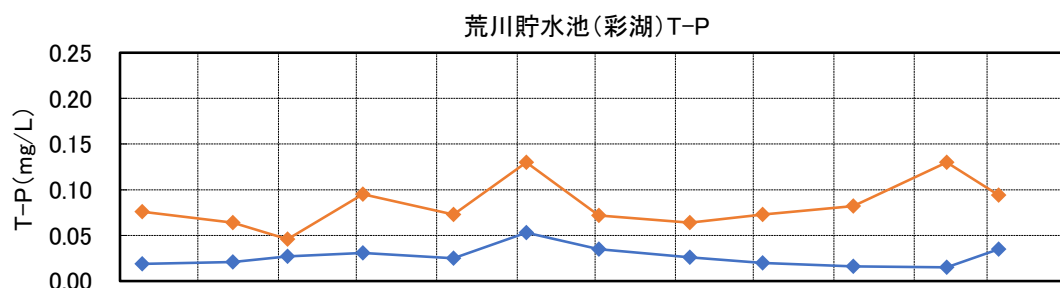
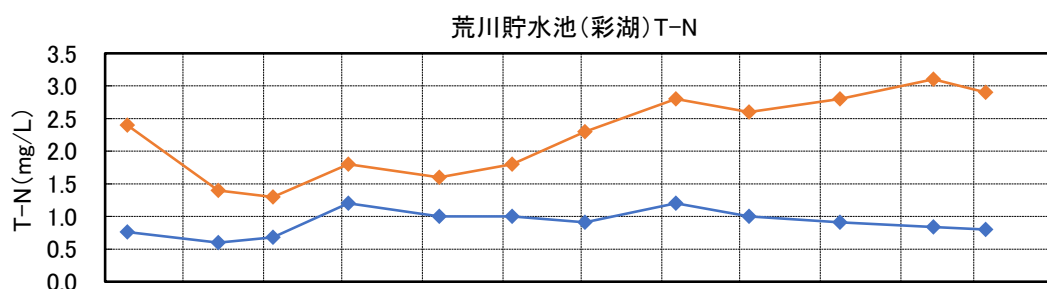
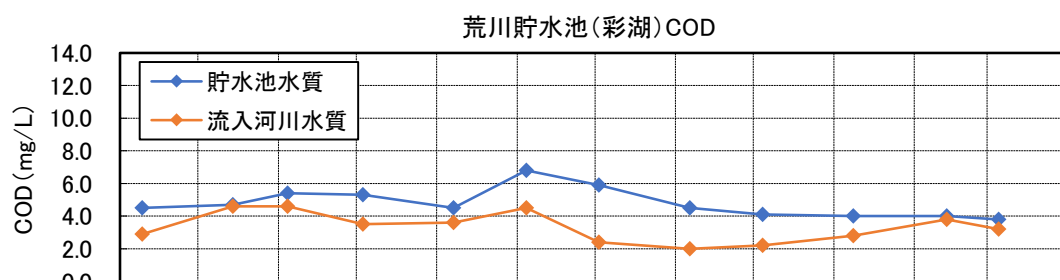
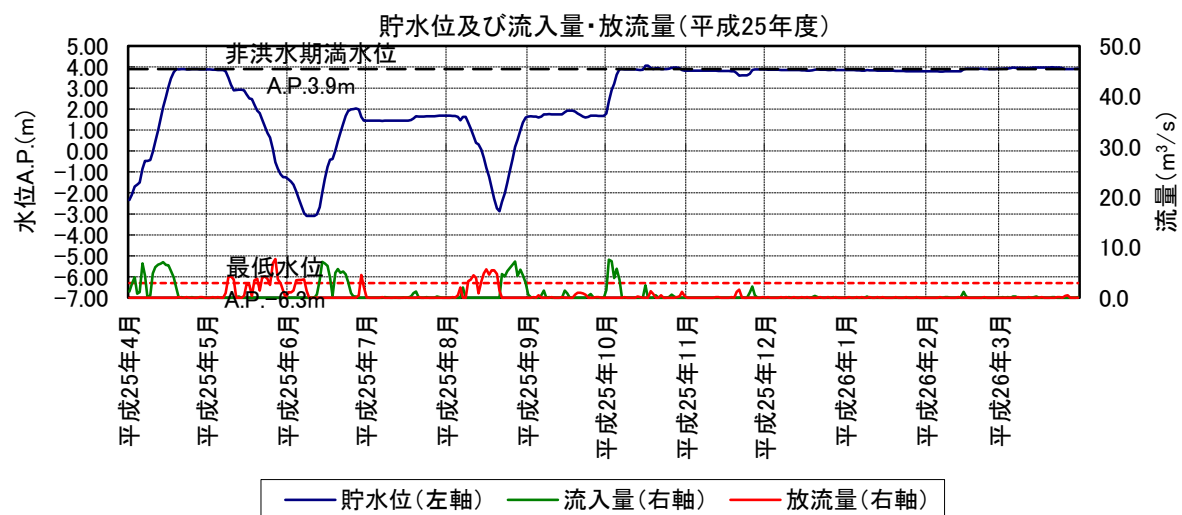


図 8.18 荒川貯水池の水質状況 (2013 (H25) 年度)

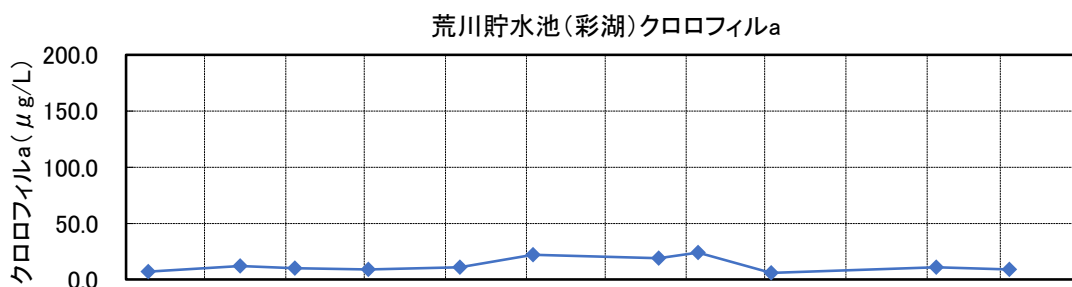
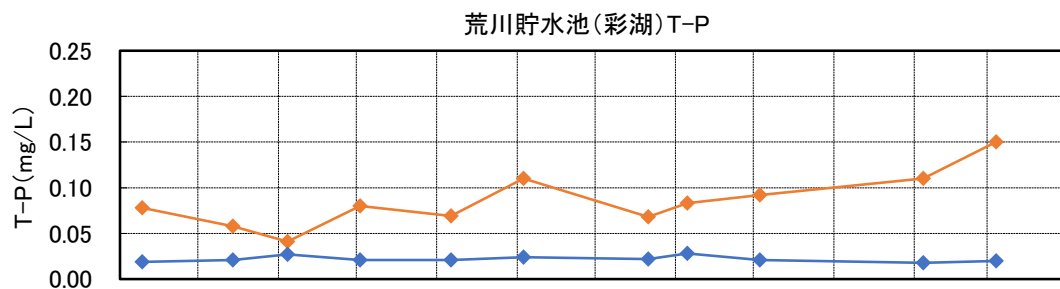
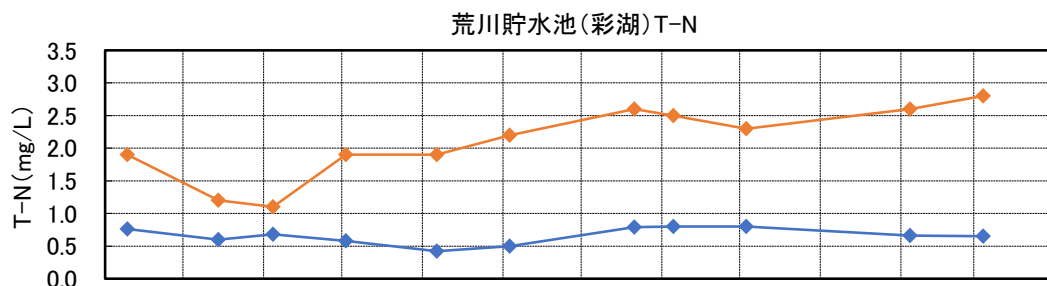
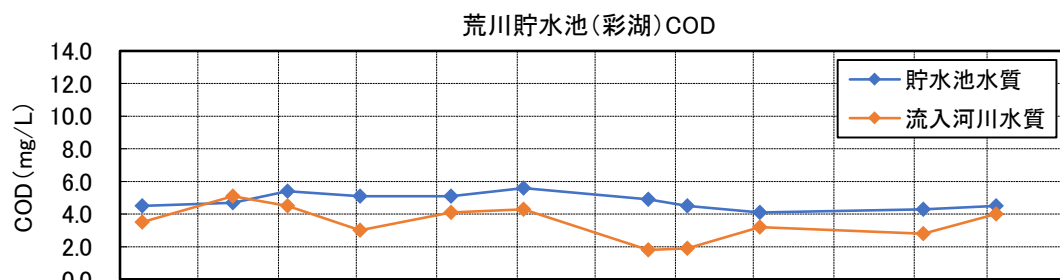
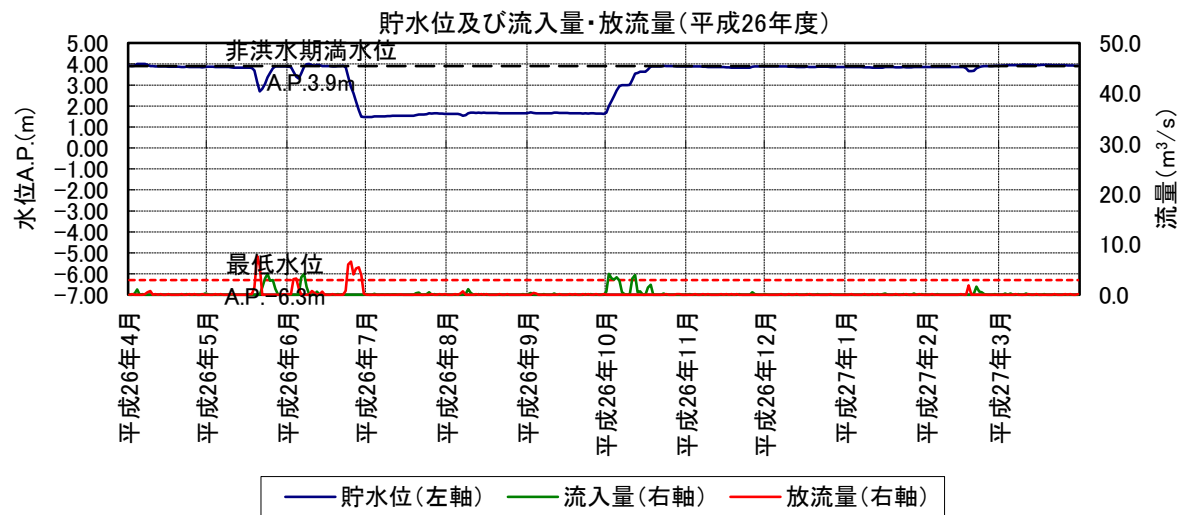


図 8.19 荒川貯水池の水質状況 (2014 (H26) 年度)

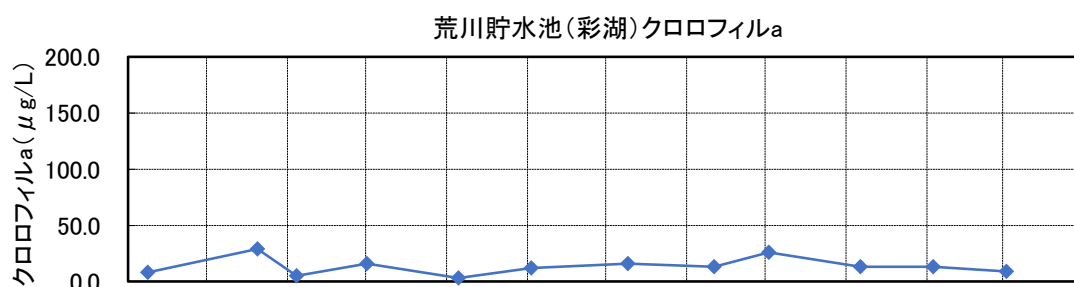
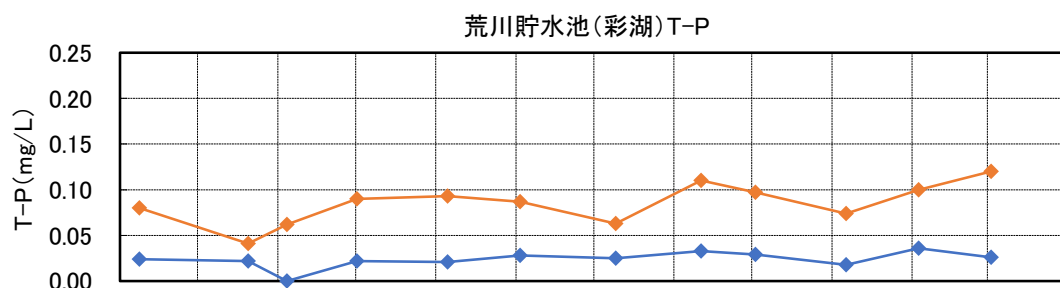
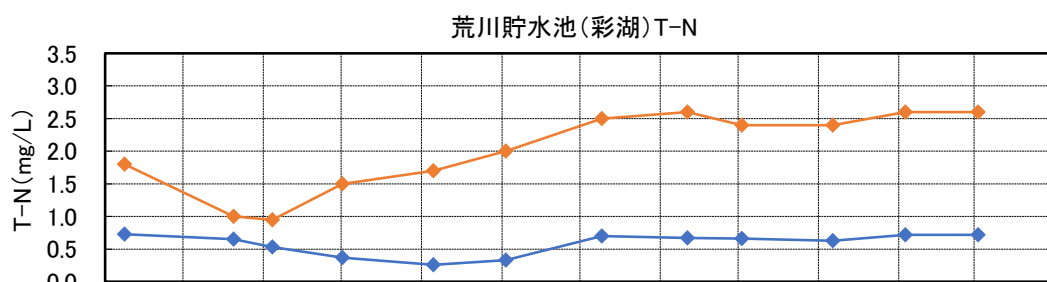
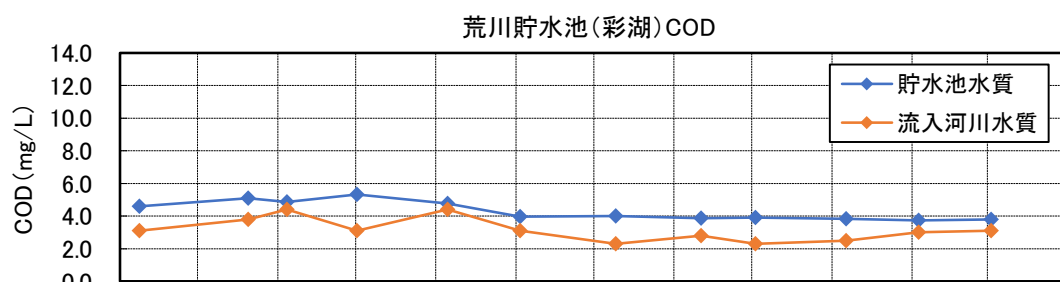
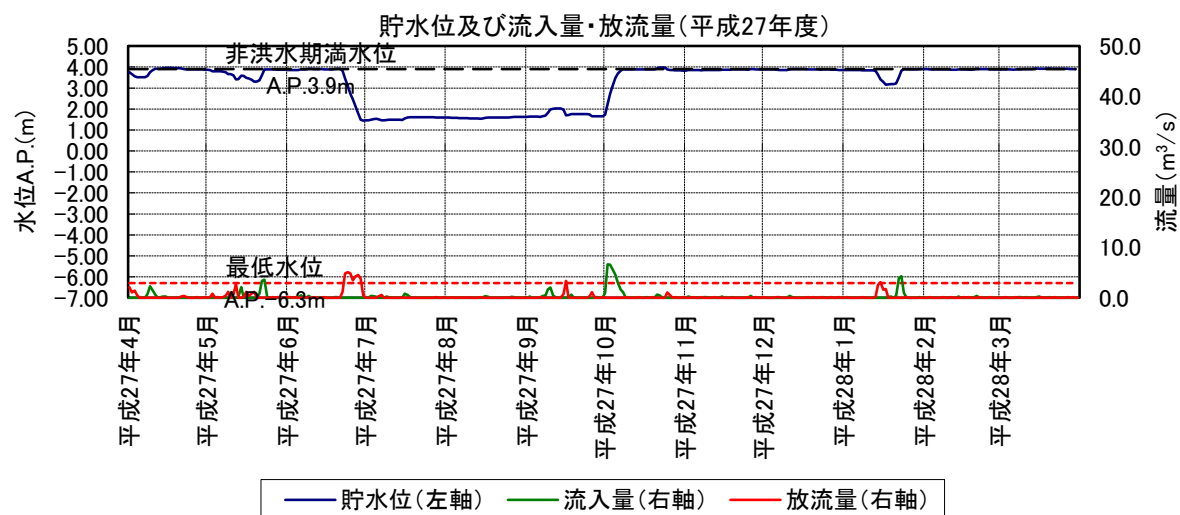


図 8.20 荒川貯水池の水質状況 (2015 (H27) 年度)

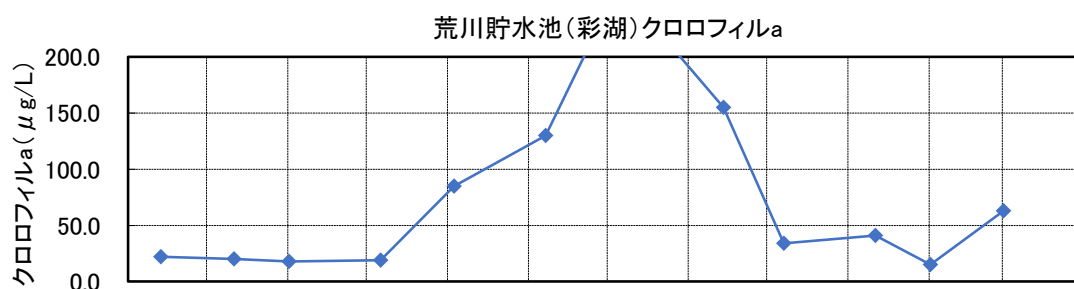
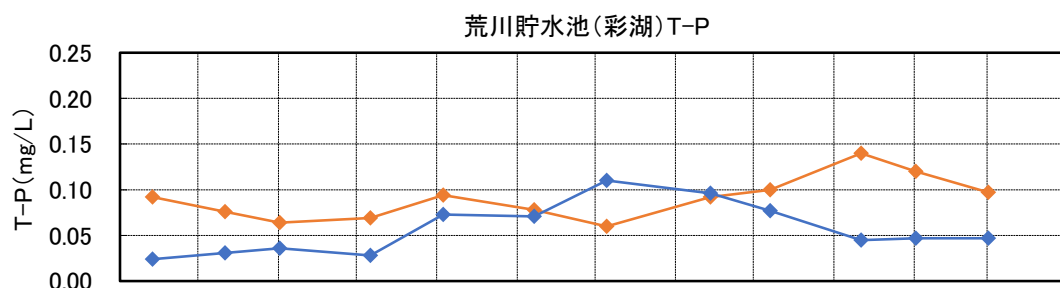
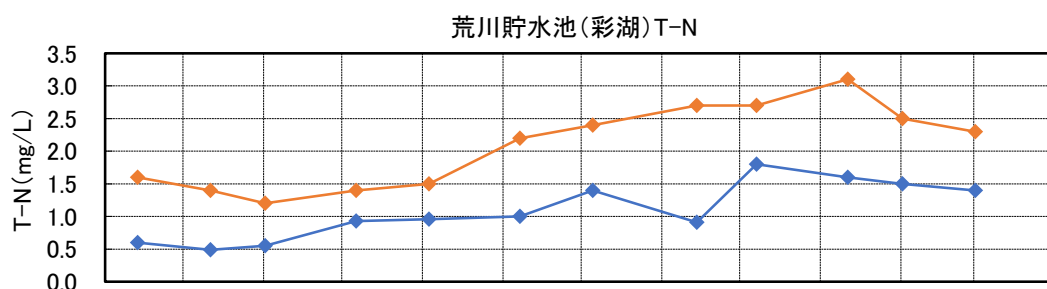
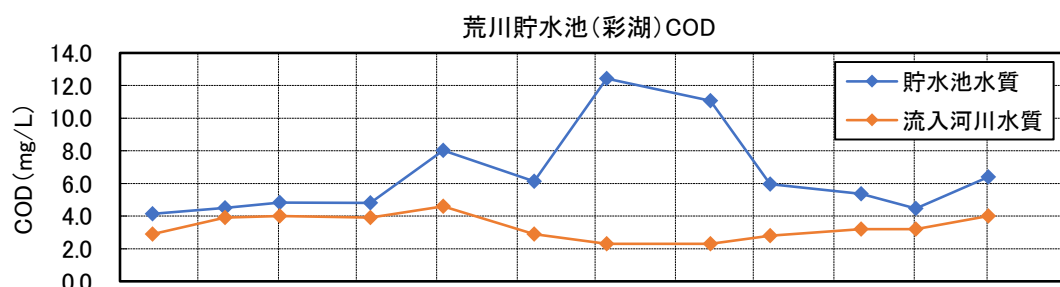
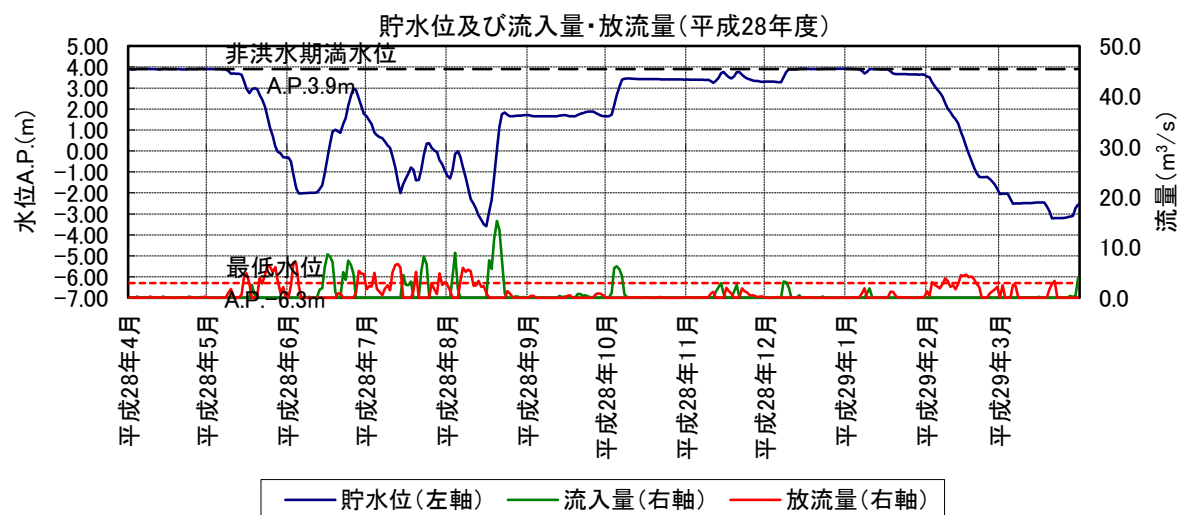


図 8.21 荒川貯水池の水質状況 (2016 (H28) 年度)

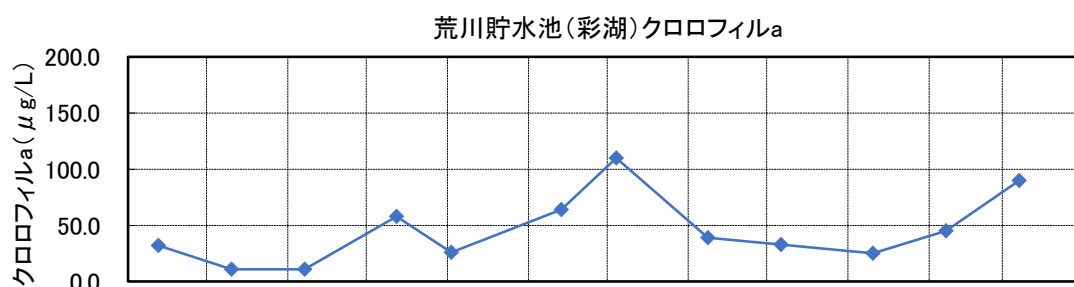
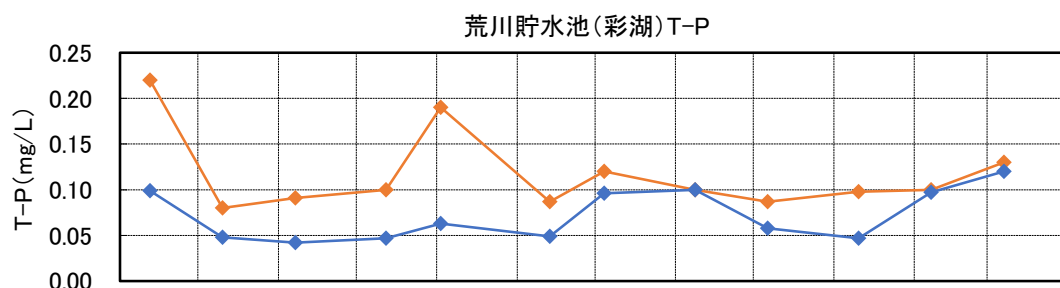
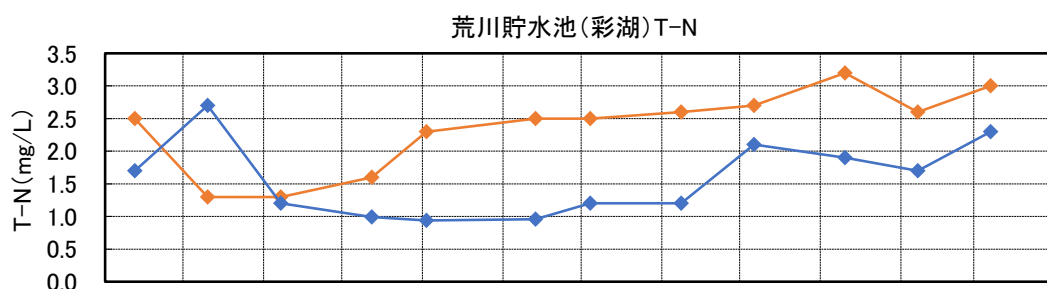
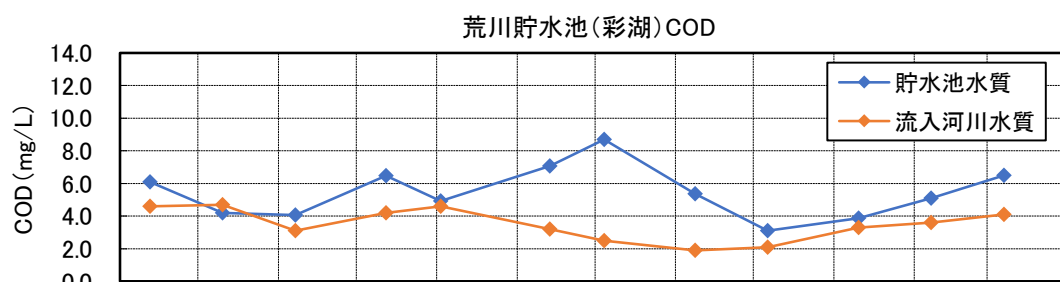
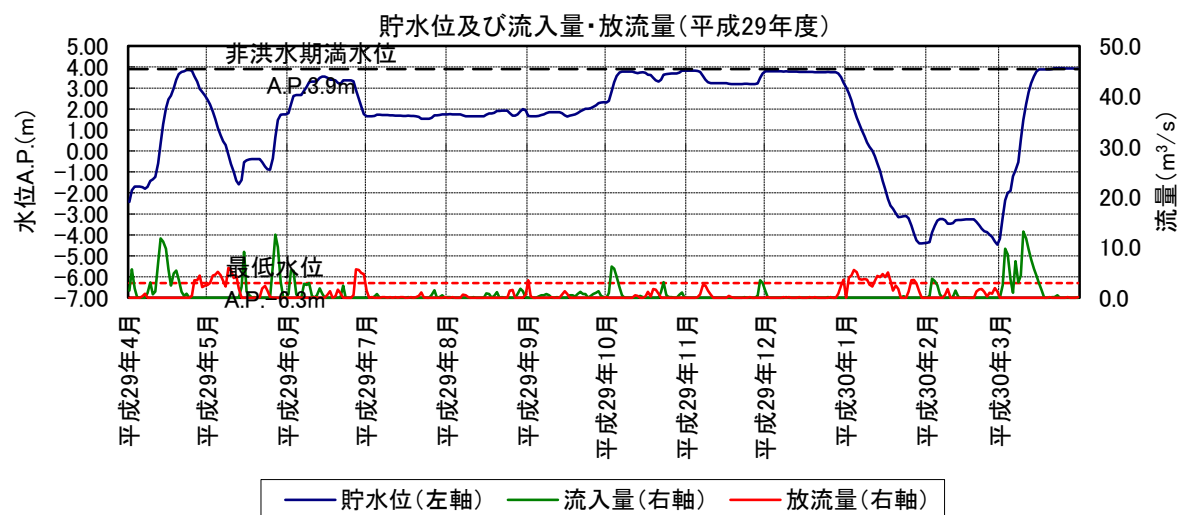


図 8.22 荒川貯水池の水質状況 (2017 (H29) 年度)

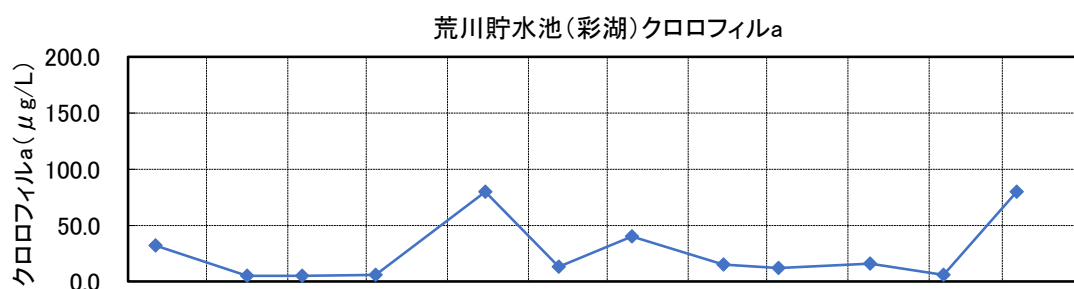
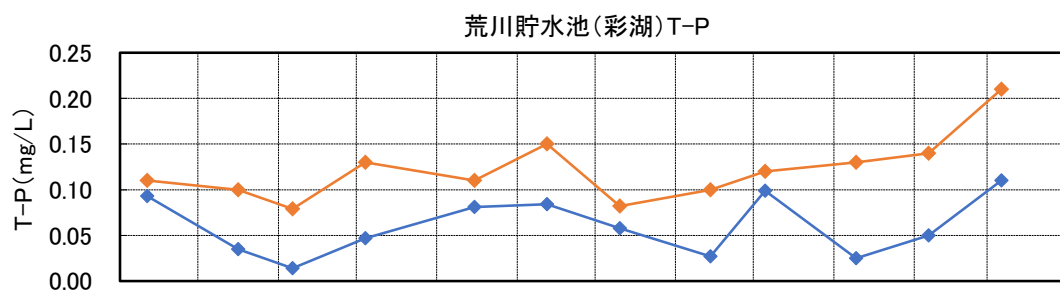
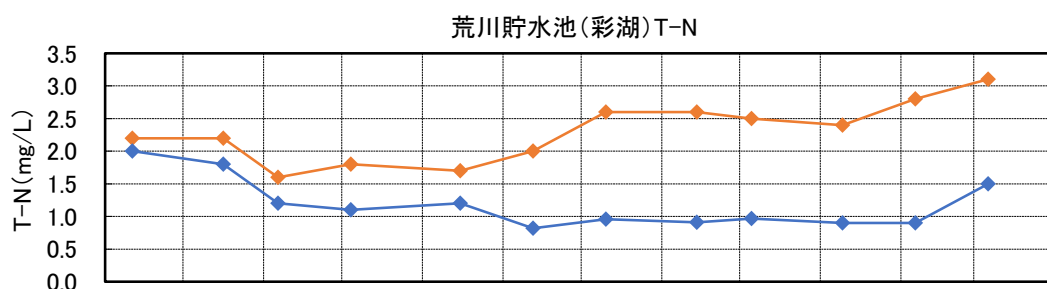
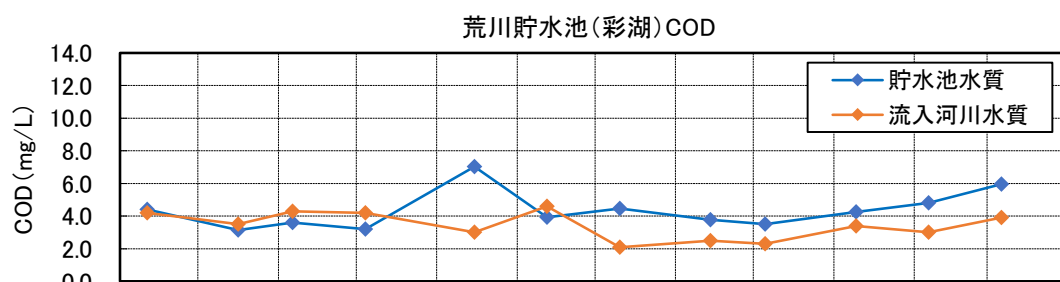
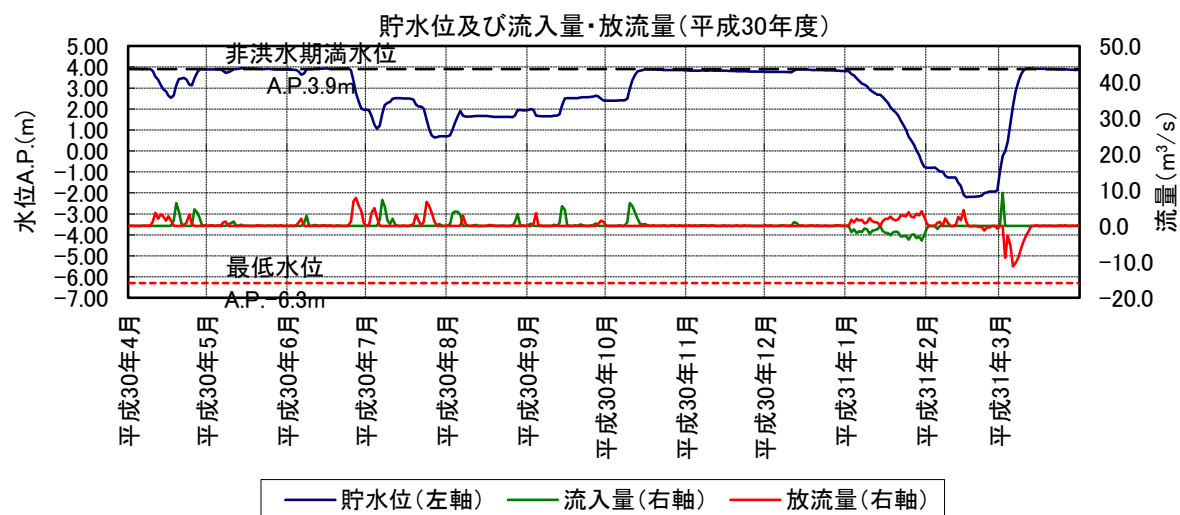


図 8.23 荒川貯水池の水質状況 (2018 (H30) 年度)

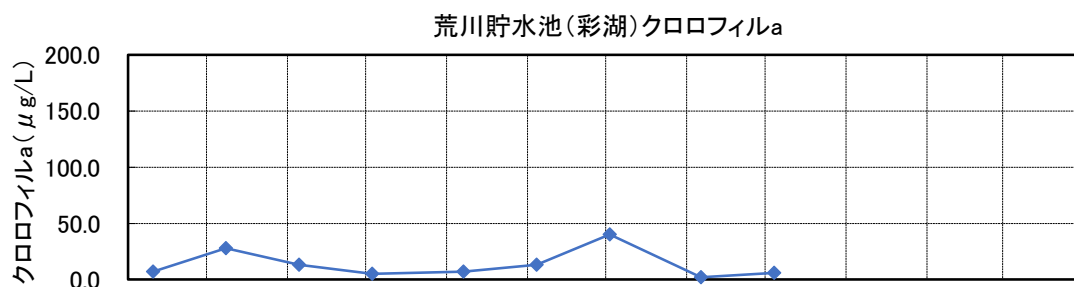
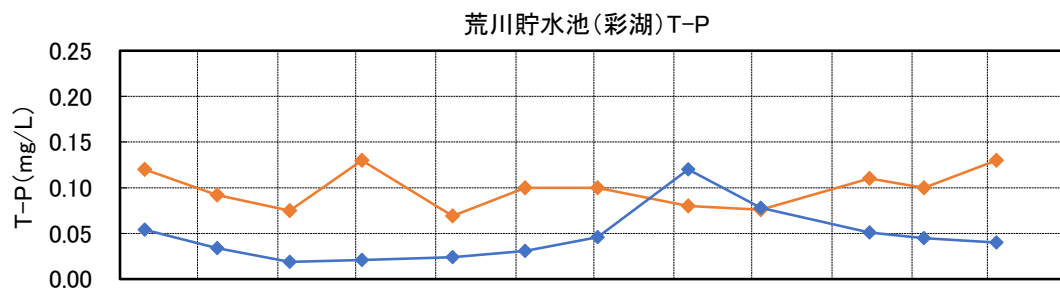
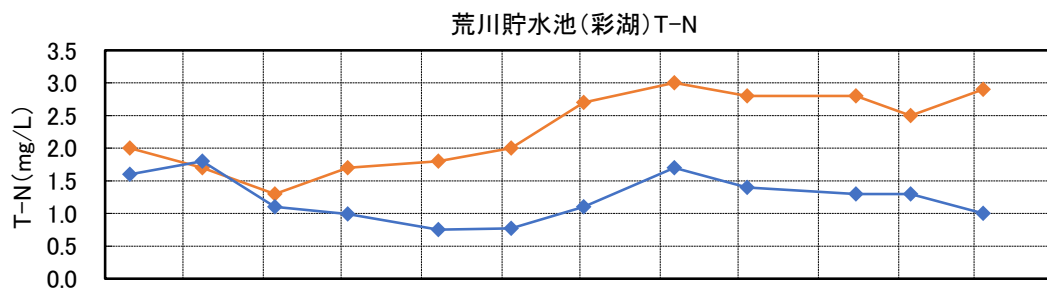
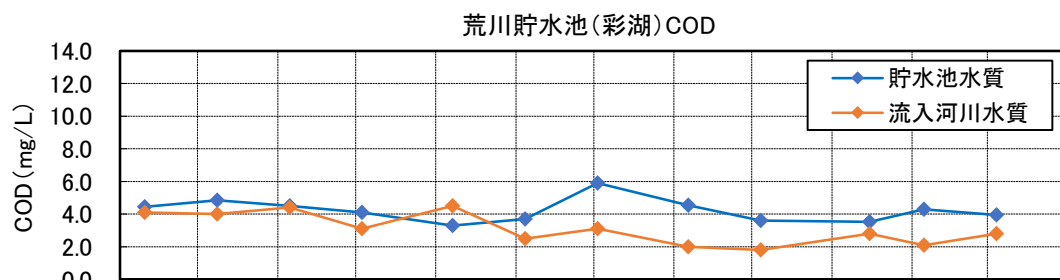
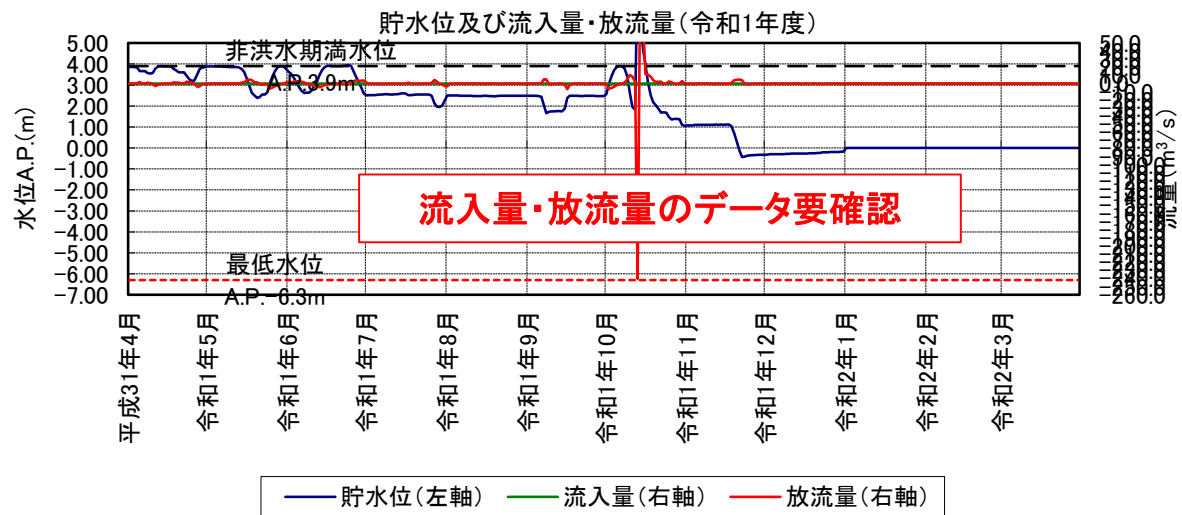


図 8.24 荒川貯水池の水質状況 (2019 (R1) 年度)



図 8.25 荒川貯水池の水質状況（水質項目間の関係）

(2) ダム等管理フォローアップ定期報告書等からの整理

渡良瀬貯水池および荒川貯水池の水質特性について、水域管理者である国土交通省より収集した資料等より整理した。

収集資料を表 8.3 に示す。

表 8.3 対象水域の水質特性等に関する収集資料

水域	収集内容	収集方法
渡良瀬貯水池	・ 渡良瀬遊水池総合開発事業定期報告書の概要, 平成 29 年 12 月 6 日	国土交通省 HP より DL
	・ H28 渡良瀬貯水池水質改善評価検討業務 ・ H29 渡良瀬貯水池水質改善検討業務 ・ H30 渡良瀬貯水池水質改善等検討業務 ・ H31 渡良瀬貯水池水質改善検討業務	水域管理者（国交省）より提供
荒川貯水池	・ 荒川調節池総合開発施設 定期報告書, 平成 28 年 12 月 21 日	国土交通省 HP より DL

1) 渡良瀬貯水池

ア) 渡良瀬遊水池総合開発事業定期報告書

収集資料のうち、渡良瀬遊水池総合開発事業定期報告書（本編および概要）の水質に関するとりまとめより、水質に関連する箇所を以下に抜粋・摘要する。

通常のダム貯水池とは異なり、水深に対して湛水面積が大きいため、風による混合の影響を受けやすく、水温成層は形成されない。また、風による鉛直混合の影響（底泥の巻き上げ）による影響が見られる。

T-N、T-P 濃度は渡良瀬川に比べて貯水池の方が低い傾向となっている。T-N 濃度は、干し上げ後の春季に高くなり、夏季に向かって低下する傾向がある。これは取水（春季）によって貯水池へ流入した高濃度の流入 T-N が沈降等により湖水より除去されるためと考えられる。また、T-P は水位低下期に高濃度化しており、底泥の攪乱が主な要因と考えられる。また、夏季に濃度ピークがあり、植物プランクトンの増殖によるものと考えられる。

植物プランクトンは概ね藍藻類が優占している。

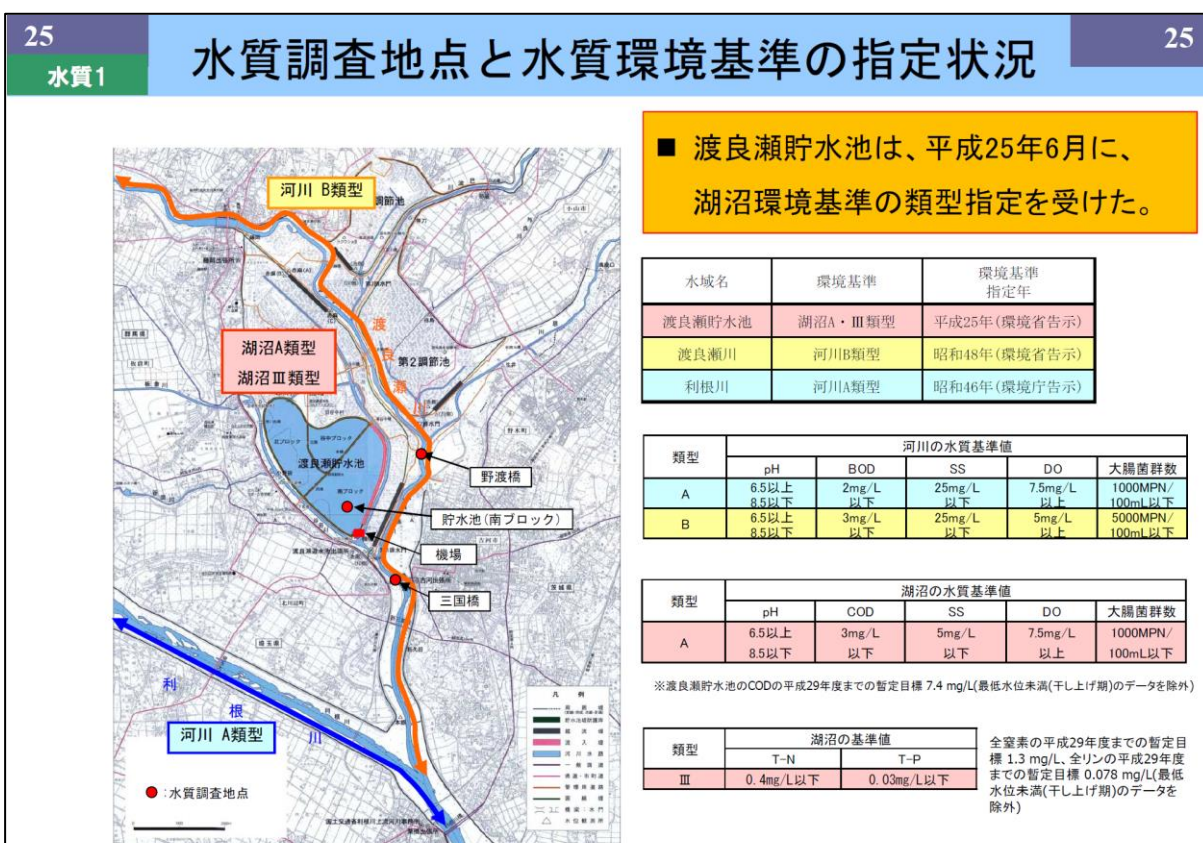
表 8.4 地点別にみた水質変化の傾向

貯水池（南ブロック）上層・下層
・ 2 月～3 月は干し上げにより水位が低下しており、下層の調査はほとんど実施されていない。水深が浅くなったことにより、その期間は巻き上げにより水質各項目の濃度が高くなる傾向がある。 ・ 水温は上層と下層で差が小さい。本貯水池が、山地に形成される貯水池と異なり、<u>満水時でも水深が 7m 程度と浅く、水深に対する湛水面積が大きい</u>ため<u>風による混合を受けやすい性質がある</u>ためである。 ・ pH は 7.5～9.3 の範囲で推移している。一般的には pH の上昇は植物プランクトンの光合成によるものが要因と考えられ、変動傾向が似る傾向にあるが、クロロフィル a 変化と比較すると本地点では必ずしもそうではない。 ・ DO は概ね 5mg/L～15mg/L で推移している。季節間の差が明確で冬季～春季が高い。水温の変動と逆の傾向にあることから、温度の変化に伴う飽和度の違いによるものと考えられる。

- ・SSは干し上げ期間である2月～3月以外は概ね25mg/L以下で推移している。干し上げによる水位低下期間を除くと上・下層で濃度や変動の傾向が似ている。干し上げによる水位低下期間では100mg/Lを越える高い値も見られる。
- ・濁度は概ね100度以下で推移している。SSと同様に冬期の水位低下期間を除くと上・下層の濃度や変動の傾向が似ており、水位低下期間に高い値を示す傾向がある。
- ・大腸菌群数は概ね9 MPN/100mL～5,400MPN/100mLで推移している。上層に比べ下層が高くなる傾向がある。環境基準が指定された平成26年以降は、環境基準値を概ね下回っている。
- ・BODは概ね1.0 mg/L～6.0mg/Lで推移している。平成25年に一時的に高い値がみられる。冬季～春季の水位低下期に濃度が高くなる傾向があることから、底質の攪拌が原因のひとつと考えられる。
- ・CODは概ね3mg/L～9mg/Lで推移している。冬季～春季の水位低下期に濃度が高くなる傾向があることから、底質の攪拌が原因のひとつと考えられる。また、夏季にピークが生じることが多く、クロロフィルaの変動傾向と類似していることから、植物プランクトンの影響であると考えられる。
- ・T-Nは概ね0.1mg/L～7.0mg/Lで推移している。干し上げ後の春季に高くなり、夏季に向かって低下する傾向がある。これは取水によって貯水池へ流入した高濃度のT-Nが沈降等により湖水より除去されるためと考えられる。
- ・T-Pは概ね0.01mg/L～0.9mg/Lで推移している。水位低下期に高濃度化することから、底泥の攪拌が主原因と考えられる。また、夏季に濃度ピークがあり、植物プランクトンの増殖によるものと考えられる。なお、T-Nに比べると取水による濃度変化は明確ではない。

出典：渡良瀬遊水池総合開発事業定期報告書，平成30年1月10日

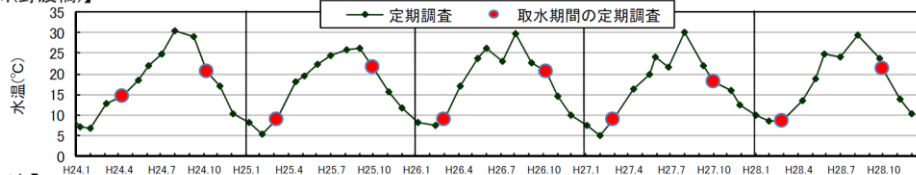
※下線は本検討でポイントと考えられる箇所に付与



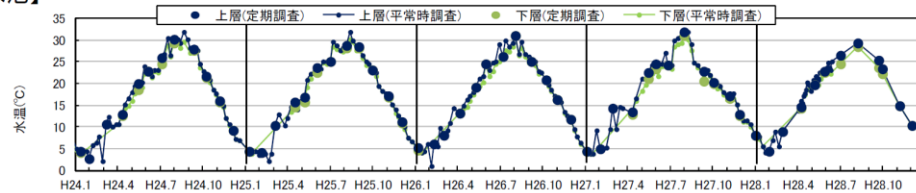
出典：渡良瀬遊水池総合開発事業定期報告書の概要，平成29年12月6日

- 貯水池の水温は、1℃から32℃の範囲であり、上層と下層の変化は小さい。
- 取水河川・放流河川は5℃から30℃の範囲で推移している。

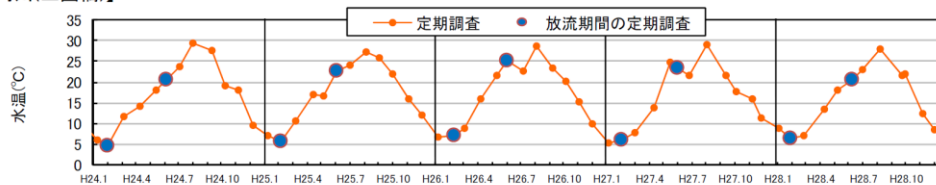
【取水河川(野渡橋)】



【貯水池】

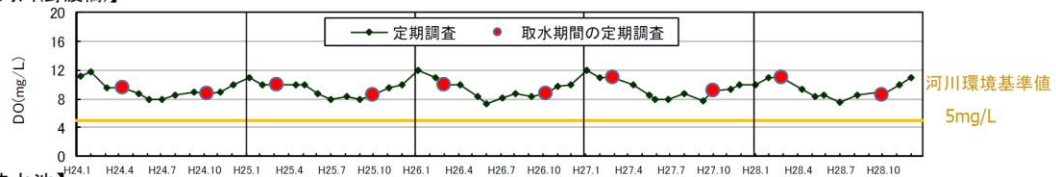


【放流河川(三国橋)】

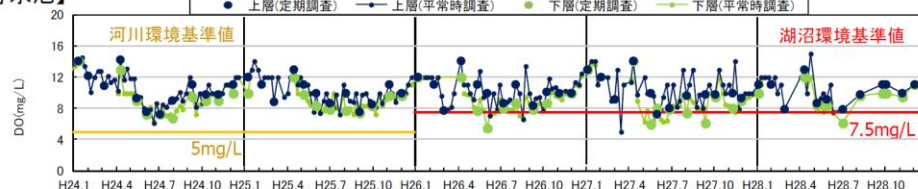


- 貯水池のDOは、上層では、冬季では12～13mg/L、夏季では8～12mg/Lの間であり、概ね環境基準値を満たしている。下層では、冬季は上層に近い値であるが、夏季には環境基準値である7.5mg/Lを下回ることがある。
- 取水河川・放流河川は環境基準値を満たしている。

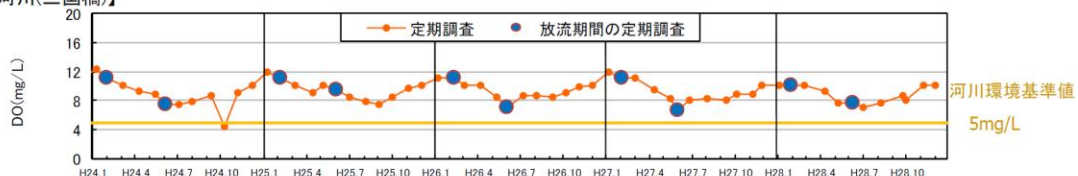
【取水河川(野渡橋)】



【貯水池】

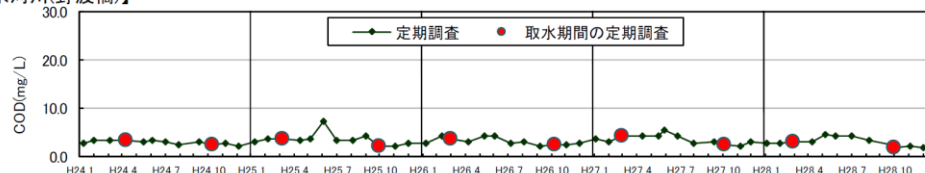


【放流河川(三国橋)】

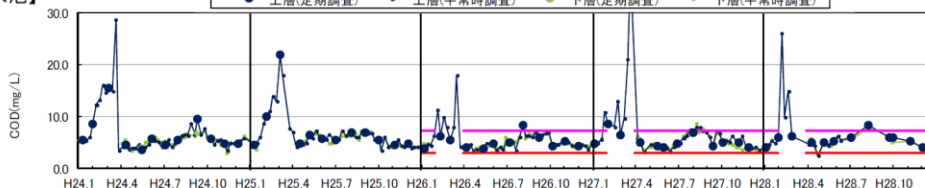


- 貯水池のCODは、上・下層で同様の变化傾向を示している。2～3月の干し上げ期を除くと概ね3～9mg/Lの範囲で推移しており、環境基準の暫定目標値は概ね満たしている。
- 貯水池のCODが、2～3月に高濃度となるのは、カビ臭対策のため実施している干し上げにより、貯水池内の水が底質と攪拌され、上昇したものである。
- 取水河川・放流河川は、概ね2～7mg/Lの範囲で変化している。

【取水河川(野渡橋)】

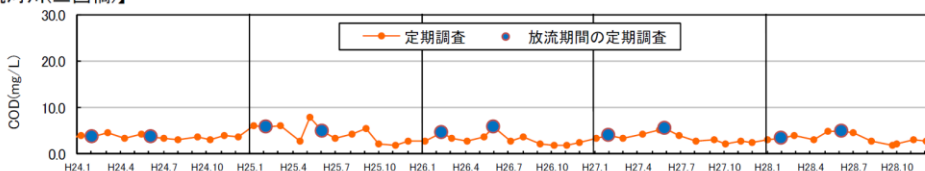


【貯水池】



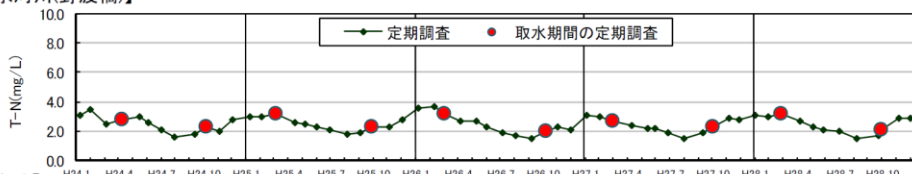
暫定目標値
7.4mg/L
3mg/L
湖沼環境基準値

【放流河川(三国橋)】

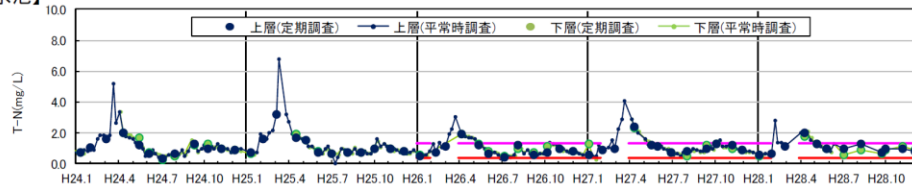


- 貯水池の窒素(T-N)は、上・下層で同様の变化傾向を示している。2月～3月の干し上げ期を除くと、概ね0.6～3.0mg/Lであり、暫定目標値を大部分の期間で下回っている。
- 貯水池の窒素(T-N)が、2～3月に高濃度となるのは、カビ臭対策のため実施している干し上げにより、貯水池内の水が底質と攪拌され、上昇したものである。
- 取水河川・放流河川は、概ね2.0～3.5mg/Lの範囲で変化している。

【取水河川(野渡橋)】

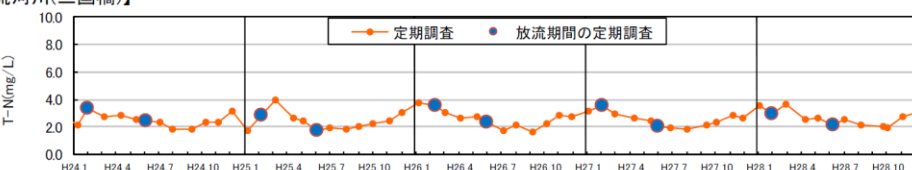


【貯水池】



暫定目標値
1.3mg/L
0.4mg/L
湖沼環境基準値

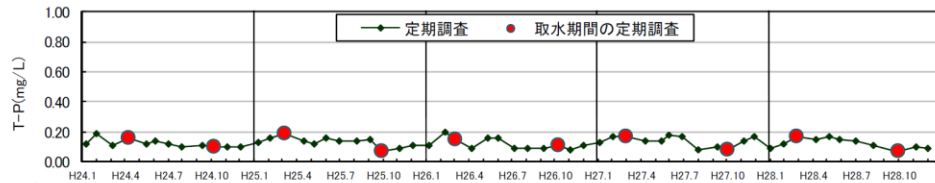
【放流河川(三国橋)】



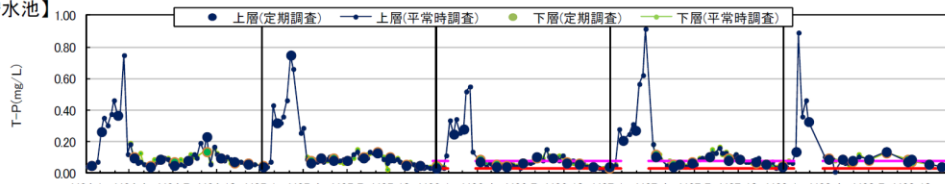
リン(T-P)

- 貯水池のリン(T-P)は、上・下層で同様の变化傾向を示している。2月～3月の干し上げ期を除くと、概ね0.03～0.90mg/Lであり、暫定目標値を超過する場合が多い。
- 貯水池のリン(T-P)が、2～3月に高濃度となるのは、カビ臭対策のため実施している干し上げにより、貯水池内の水が底質と攪拌され、上昇したものである。
- 取水河川・放流河川は、概ね0.10～0.30mg/Lの範囲で変化している。

【取水河川(野渡橋)】

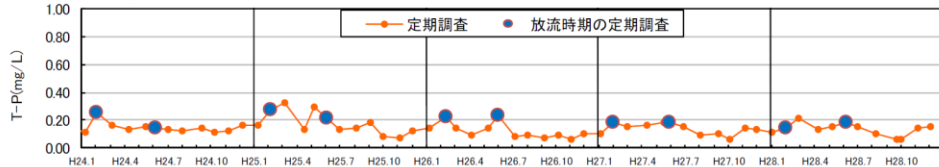


【貯水池】



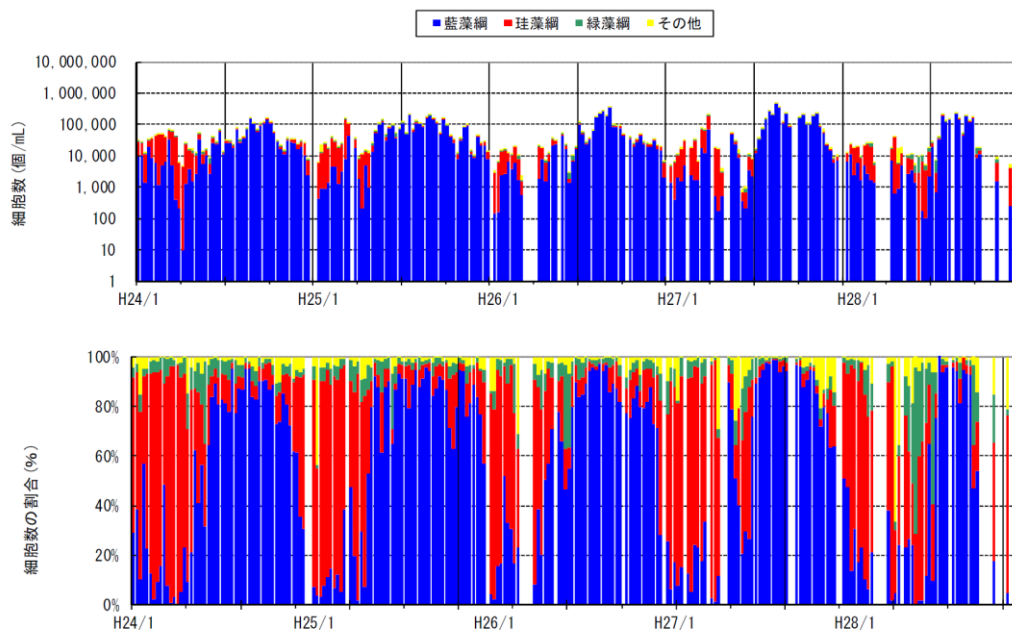
暫定目標値
0.078mg/L
0.03mg/L
湖沼環境基準値

【放流河川(三国橋)】



植物プランクトン

- 貯水池上層で年間を通して確認される植物プランクトンは藍藻類、その次に珪藻類であった。

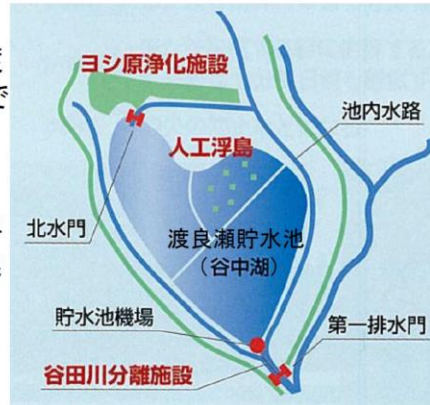


【備考】平成28年10月以降の植物プランクトン調査は、定期調査でのみ測定を実施している。

出典：渡良瀬遊水池総合開発事業定期報告書の概要，平成29年12月6日

水質保全対策の概要

- ヨシ原浄化施設(H11～H13 20ha, H14～現在 40ha)
ヨシ原での沈降やヨシの栄養分を吸着する性質を利用し、貯水池水を浄化する。
- 谷田川分離施設(H11～現在)
流入河川の谷田川を分離し、渡良瀬川の水のみを取水することで貯水池の水質を改善する。
- 干し上げ(H9、H16～現在)
渡良瀬貯水池(谷中湖)の水を干し上げて、池底を天日にさらし、春から夏にかけて発生するカビ臭を抑制する。
- 人工浮島(H11～現在)
遮光や栄養塩吸収などにより植物プランクトンの増殖抑制に寄与する。



ヨシ原浄化施設



谷田川分離施設



干し上げ



人工浮島

水質保全対策の実施状況

■ 水質保全対策の実施(稼働)状況は以下のとおりである。

平成 年	谷田川 分離施設 設置有無	ヨシ原 浄化施設 浄化面積 (ha)	干し上げ・水位低下				浮島施設 設置有無
			水位低下無し	水位低下有り (Y.P.8.5m～ 9.0m以下)	干し上げ有り (Y.P.8.5m以下)	最低下時 水位 (Y.P.m)	
9	—	—			●	8.5	—
10	—	—	●			12.2	—
11	●	20	●			10.5	●
12	●	20		●		9.0	●
13	●	20		●		9.0	●
14	●	40		●		9.0	●
15	●	40		●		9.0	●
16	●	40			●	8.3	●
17	●	40			●	8.3	●
18	●	40			●	8.3	●
19	●	40			●	8.3	●
20	●	40			●	8.3	●
21	●	40			●	8.3	●
22	●	40			●	8.3	●
23	●	40			●	8.3	●
24	●	40			●	8.3	●
25	●	40			●	8.3	●
26	●	40			●	8.3	●
27	●	40			●	8.3	●
28	●	40			●	8.3	●

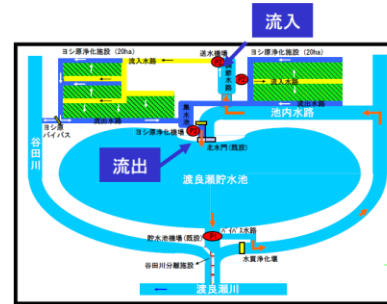
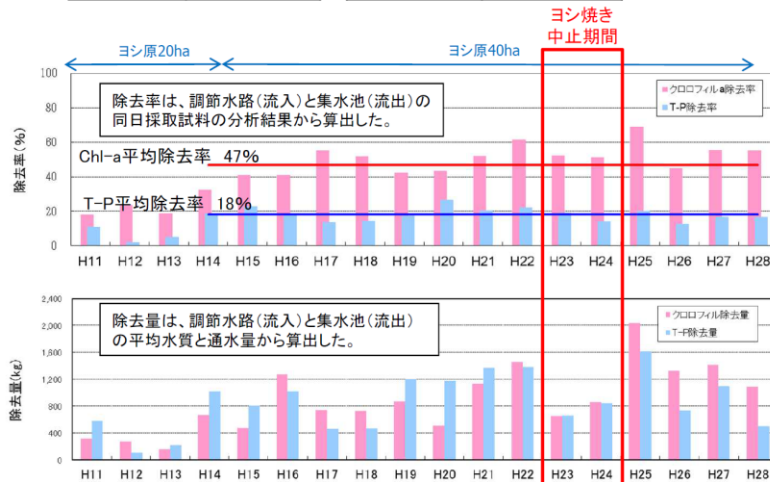
出典：渡良瀬遊水池総合開発事業定期報告書の概要，平成 29 年 12 月 6 日

水質保全対策の効果：ヨシ原浄化

- ヨシ原浄化施設の除去率は、Chl-a:47%、T-P:18%(H14～H28年平均)であり、貯水池の水質浄化に寄与している。
- ヨシ焼きの中止期間中およびその前後で、除去率に大きな違いは認められなかった。

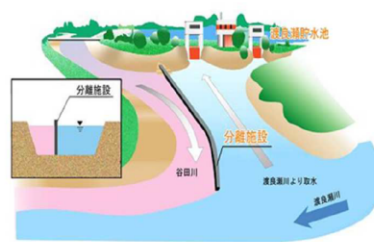
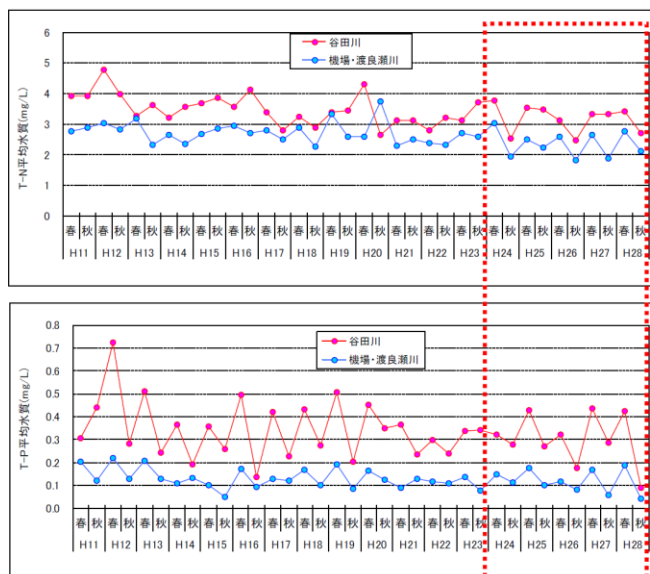
【ヨシ原浄化施設 施設諸元】

浄化水量	5m ³ /s	流下距離	100m
滞留時間	3時間	面積	40ha
水深	0.2m	運転期間	5月～10月



水質保全対策の効果：谷田川分離施設

- 谷田川の水質は、貯水池取水水質よりもT-N:0.8mg/L、T-P:0.2mg/L程度高い(平成11～28年の平均)。
- 谷田川分離施設設置によって、貯水池内に流入する栄養塩の削減することができていると考えられる。



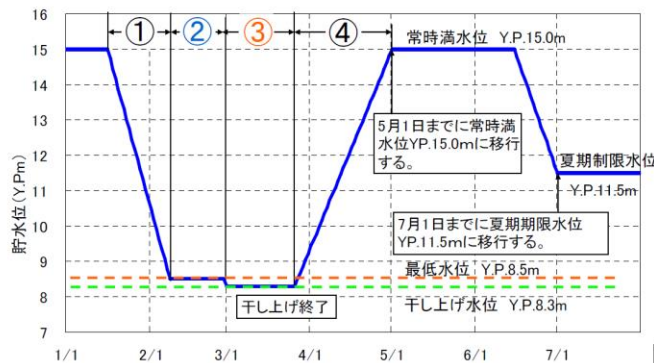
【谷田川分離施設 施設諸元】

構造	鋼矢板
天端高	H11.3～H25.3:YP+11.6m H25.4～:YP+12.0m
延長	620m
設置区間	貯水池機場 ～第1排水門 ～渡良瀬川合流点

水質保全対策の効果：干し上げ

●干し上げ

干し上げの実施の概要は、次のとおりである。



①水位低下期 (1/16～2/10)

鳥類・魚類への影響を少なくするために、急激な水位低下に注意しながら、常時満水位 (Y.P. 15.0 m) から最低水位 (Y.P. 8.5 m) に移行する。

②最低水位期 (2/10～3/1)

鳥類 (水鳥) への影響を考慮して、この期間は、最低水位 (Y.P. 8.5 m) を維持する。

③干し上げ期 (3/1～3/25)

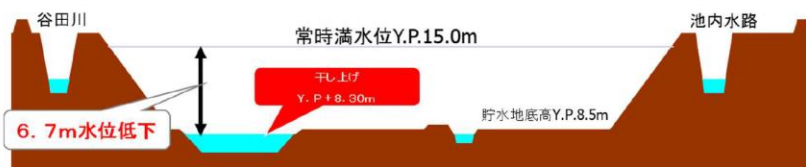
干し上げ水位 (Y.P. 8.3 m) を維持し、貯水池底泥を干し上げる。

④水位回復期 (3/26～5/1)

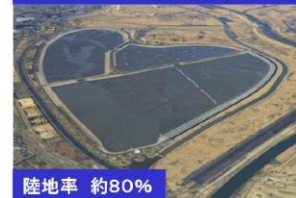
干し上げ水位 (Y.P. 8.3 m) から水位を回復させ、常時満水位 (Y.P. 15.0 m) に移行する。

運用方法は「渡良瀬貯水池水質改善検討委員会」において、水質改善効果・生物の影響などの意見を伺いながら策定した。

干し上げ時 (Y.P.8.3m) の貯水池断面

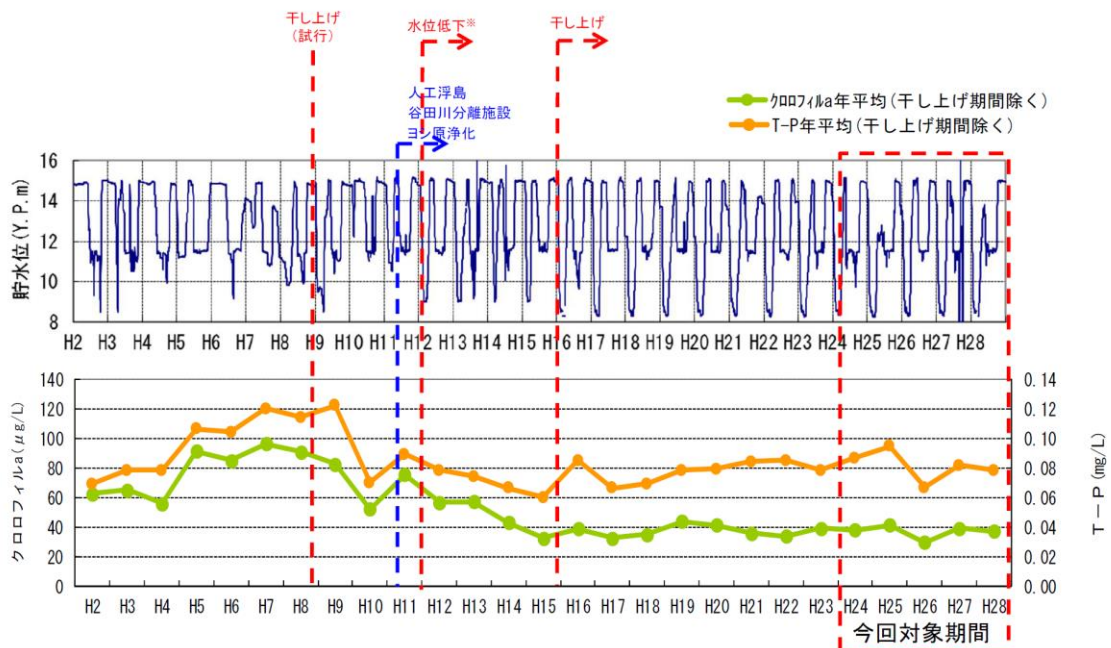


干し上げ期 (Y.P.8.33m)
平成27年3月12日撮影



水質保全対策の効果：総括 1 (栄養塩等)

■クロロフィルa、T-Pは、水質保全対策の実施によって、対策実施以前に比較して濃度の上昇が抑制されている。

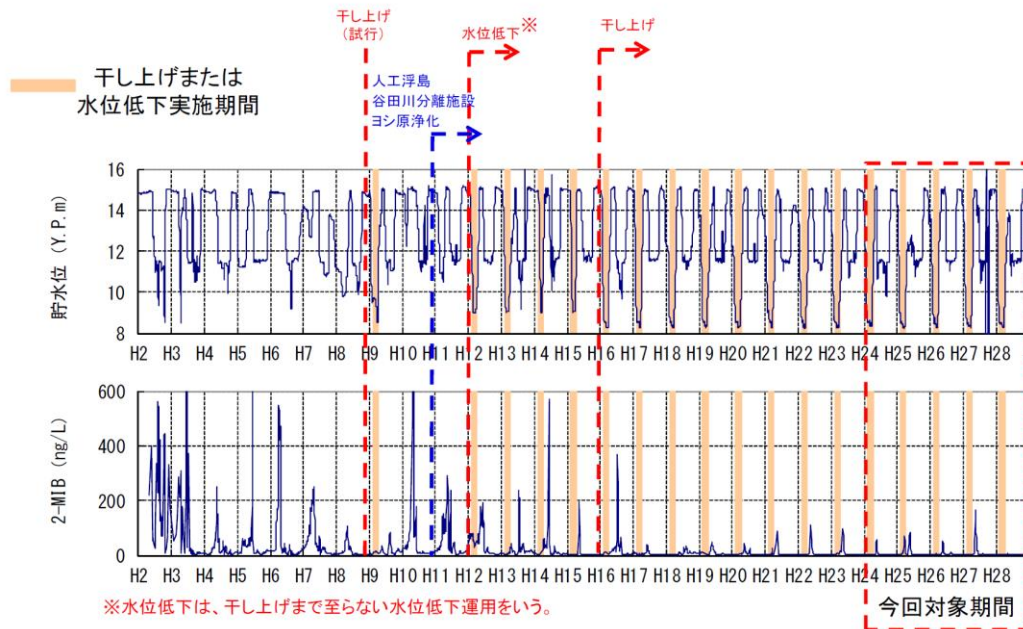


※水位低下は、干し上げまで至らない水位低下運用をいう。

出典：渡良瀬遊水池総合開発事業定期報告書の概要，平成 29 年 12 月 6 日

水質保全対策の効果：総括2（カビ臭）

- 2-MIBは、平成10年までは1000ng/Lを超える年もあったが、平成11年以降は谷田川分離施設、ヨシ原浄化施設等の対策による栄養塩類の低減によって、年最大値が200～600ng/L程度まで抑制できている。
- 平成16年の干し上げの本格的実施以降は、概ね100ng/L以下に抑制できている。



水質のまとめ

【水質のまとめ】

- 渡良瀬貯水池は平成25年に湖沼A・Ⅲ類型に指定された。
環境基準と比較して貯水池上層のSS、T-Pで環境基準値を上回る場合が多い。
- ヨシ原浄化施設および谷田川分離施設により、貯水池に流入する負荷量が削減され、貯水池の水質浄化に寄与している。
- 干し上げを中心とする水質保全対策の総合的な効果として、貯水池内の2-MIBの抑制に寄与している。

【今後の方針】

- ◆ 良好な貯水池水環境を保全するため、今後も水質測定などを継続し、各種水質保全対策の効果量の確認及び適切な管理・運用を行っていく。
- ◆ 環境基準項目については、基準値を高い頻度で上回っている項目があることから、水質改善の検討を進めるとともに、流域関連市町村に対して水質改善の取り組みについて連携を働きかけていく。

1) 植物プランクトンの消長と栄養塩の関係

収集データより、渡良瀬貯水池における植物プランクトン (Chl. a) の消長と栄養塩の関係について、整理・分析する。

渡良瀬貯水池 (南ブロック) における Chl. a および栄養塩 (N, P) 関連の変化を整理し、図 8.26 に示す。

Chl. a の変化を見ると、春季および夏季に 2 つのピークを示すような変化を呈している。

前述の通り、春季のピークは干し上げの影響も含まれていると考えられる。夏季のピークは植物プランクトンの増殖の影響によるものと考えられる。

貯水池表層の形態別の栄養塩の変化を見ると、窒素については夏季に I-N 濃度が低下し、ゼロに近い濃度レベルになる場合もあるのに対し、りんについて見ると、同時期の $\text{PO}_4\text{-P}$ はある程度の濃度レベルを維持している。

これは、渡良瀬貯水池においては、夏季の植物プランクトンの増殖の制限因子は窒素であることを示唆するものである。N/P 比の変化を見ても、夏季には 10 を下回るような水準となる場合もしばしば見られることから、窒素制限となっていることが考えられる。

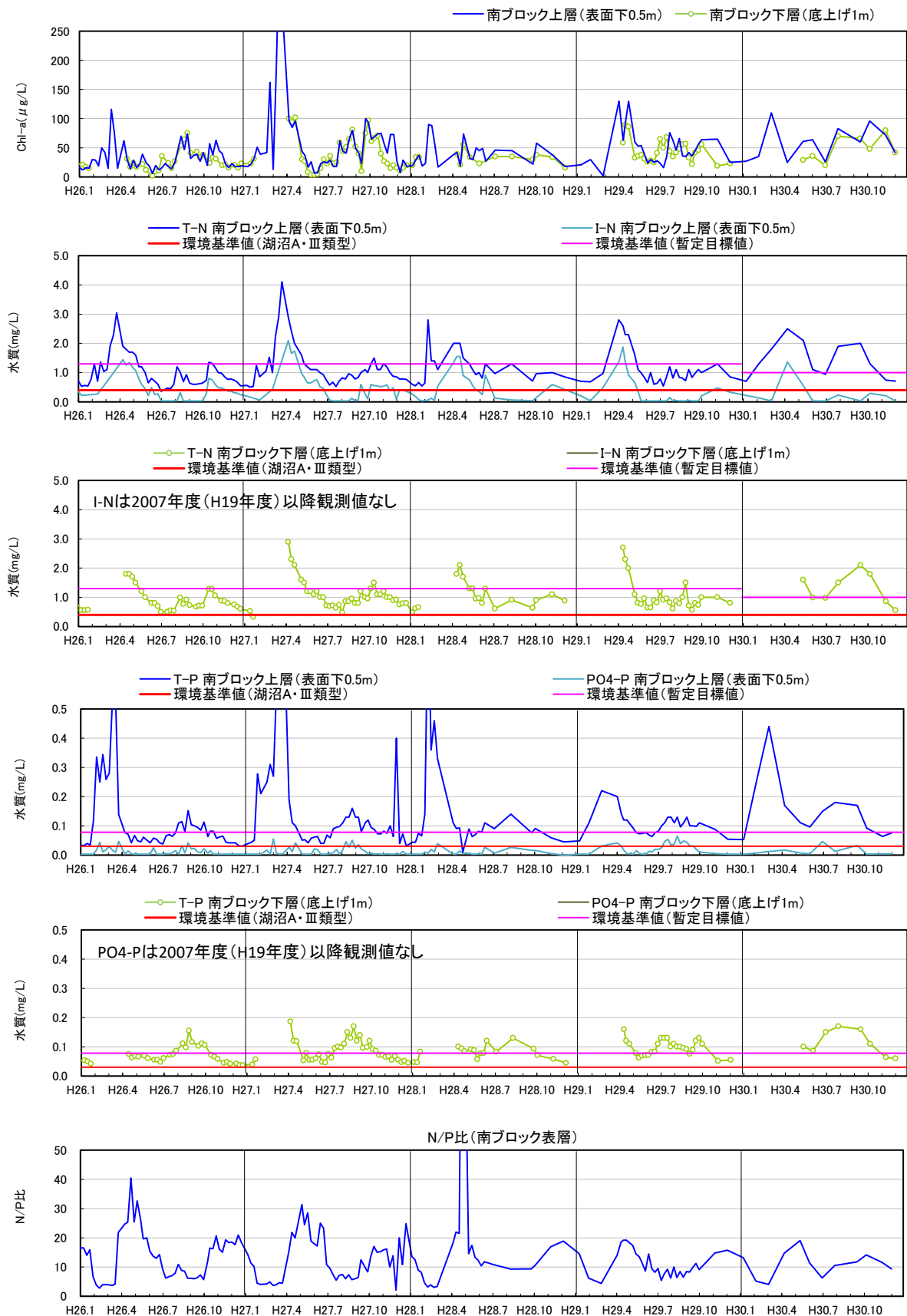


図 8.26 湖内 Chl. a および栄養塩 (N, P) の変化 (渡良瀬貯水池)

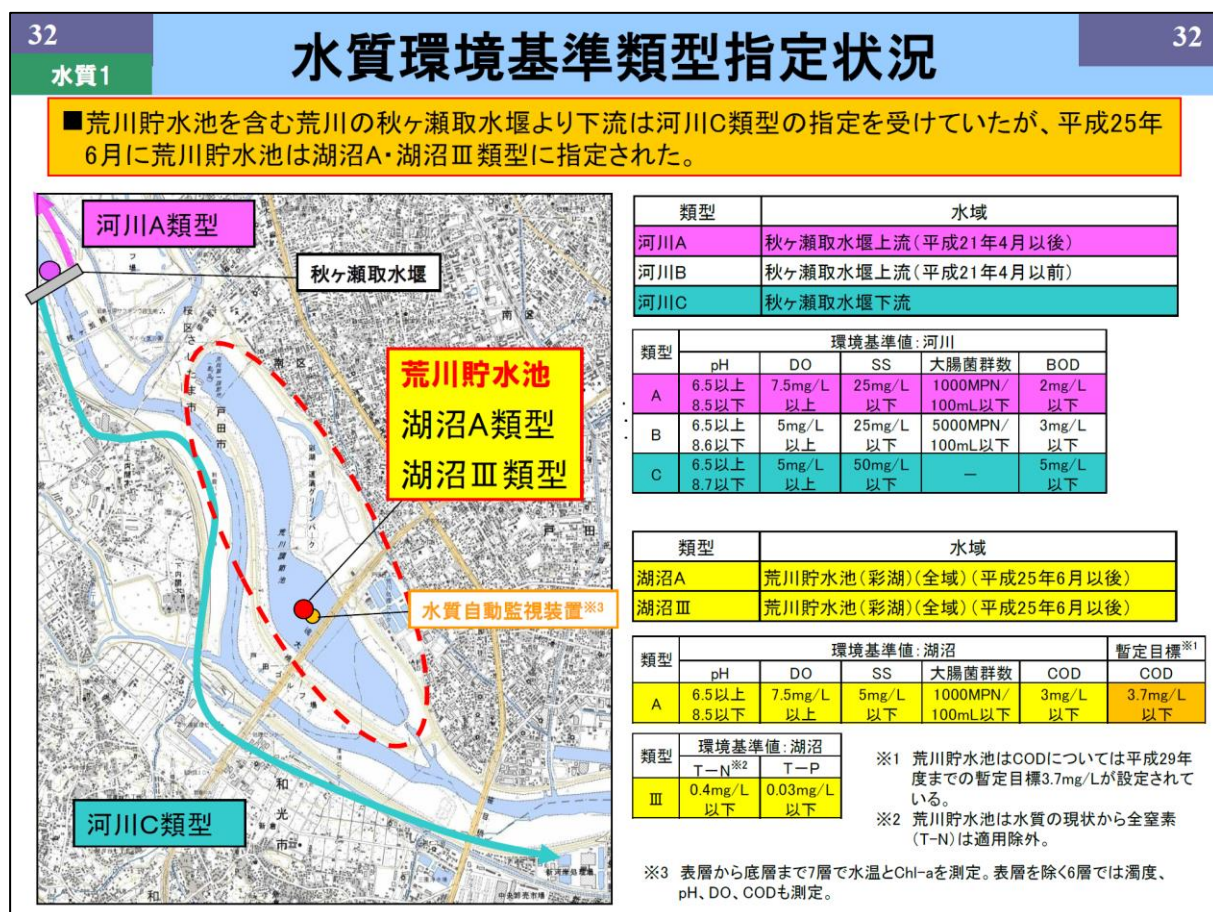
2) 荒川貯水池

収集資料（荒川調節池総合開発施設 定期報告書，平成 28 年 12 月 21 日）の水質に関するとりまとめから水質に関連する箇所を以下に抜粋・摘要する。なお、荒川貯水池の水質形成機構に関する分析・考察等は含まれていなかった。

流域の水質の縦断変化を見ると、上流から下流に行くにしたがって、BOD、T-N、T-P の濃度は上昇する傾向にある。通常の貯水池と同様に春季～夏季には水温成層が形成されるが、曝気循環施設が設置されており、稼働時は水温の鉛直分布が均一化される傾向になる。下層では夏季に貧酸素状況になっている。

T-N、T-P 濃度は荒川本川に比べて貯水池の方が低い傾向となっており、荒川からの流入は貯水池への栄養塩供給の側面を持っていることが分かる。

植物プランクトンは概ね珪藻類、緑藻類が優占しているが、一時的にアオコ原因藻類である藍藻類が優占し、同時期にカビ臭原因物質（2-MIB、ジェオスミン）の濃度が上昇する傾向が見られる。



出典：荒川調節池総合開発施設 定期報告書，平成 28 年 12 月 21 日

荒川の水質縦断面図

■一般河川で有機汚濁の代表的な指標となるBOD、富栄養化項目のT-N、T-Pで評価した。

<BOD>

下流に行くに従い上昇がみられるが、荒川貯水池の75%値(1.1mg/L)を超えていたのは、秋ヶ瀬取水堰(1.5mg/L)、及び荒川貯水池より下流の笹目橋(3.8mg/L)のみであった。



<T-N>

上流部の中津川合流点前は0.5mg/L以下であるが、下流に行くに従い上昇がみられる。親鼻橋より下流では1.1mg/L以上となり、荒川貯水池の年平均値0.63mg/Lを超える値となっている。



<T-P>

上流部の中津川合流点前は0.020mg/L以下であるが、下流に行くに従い上昇がみられる。親鼻橋より下流では0.041mg/L以上となり、荒川貯水池の年平均値0.025mg/Lを超える値となっている。

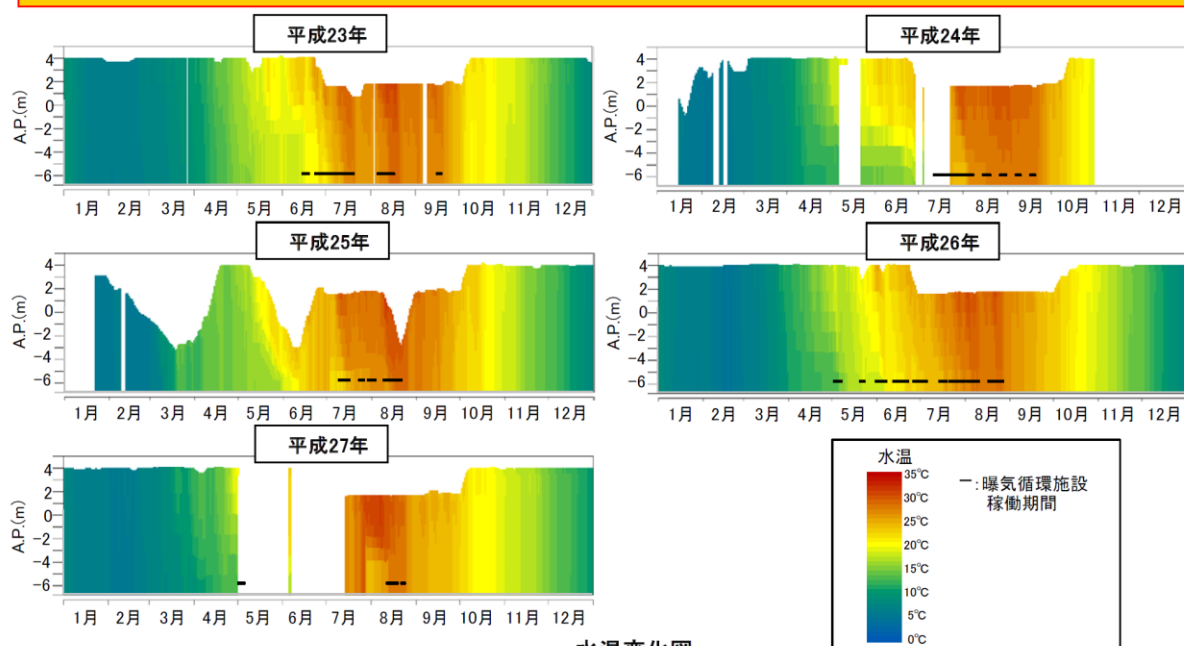


荒川の水質縦断面図(平成27年度)

出典:平成27年度公共用水域の水質測定結果について 埼玉県公式ウェブサイト H27荒川水系水質調査業務報告書

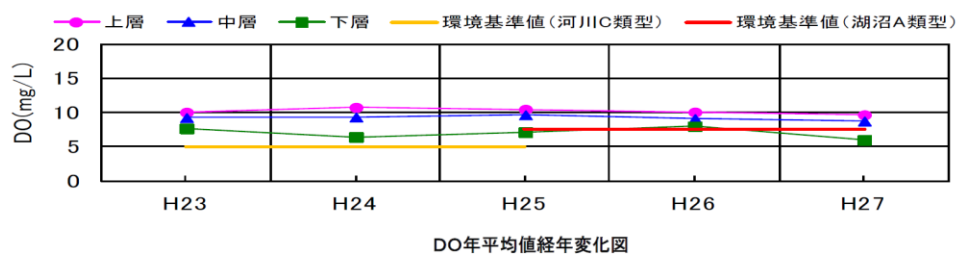
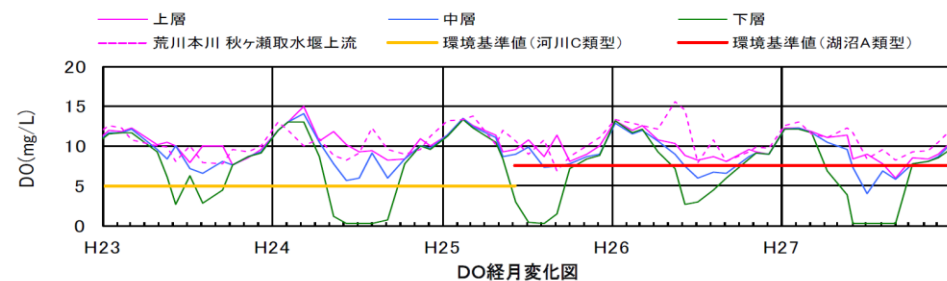
水温

■水温は冬季には全層で5℃まで低下する。一方、夏季には表層で31℃、底層で29℃まで上昇する。
 ■概ね5月以降に水温躍層が形成され、6月には鉛直的な温度差が最大になる。その後8月にかけて曝気循環施設の実施により鉛直的な温度差が減少する。秋季～冬季には鉛直的に水温が均一化する傾向にある。

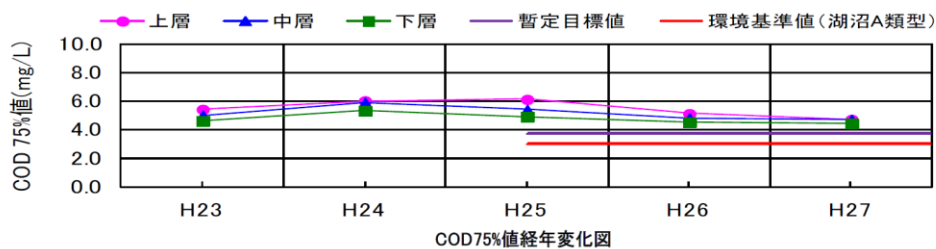
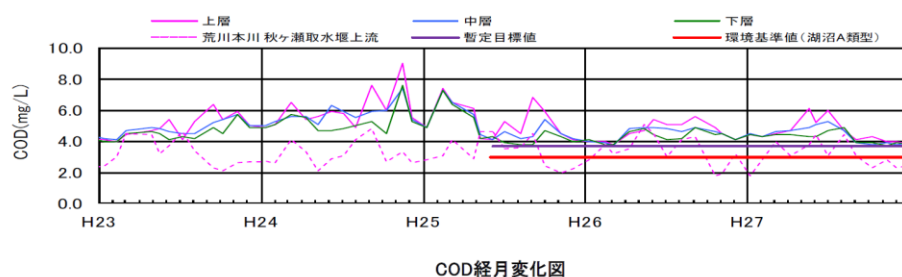


出典: 荒川調節池総合開発施設 定期報告書, 平成 28 年 12 月 21 日

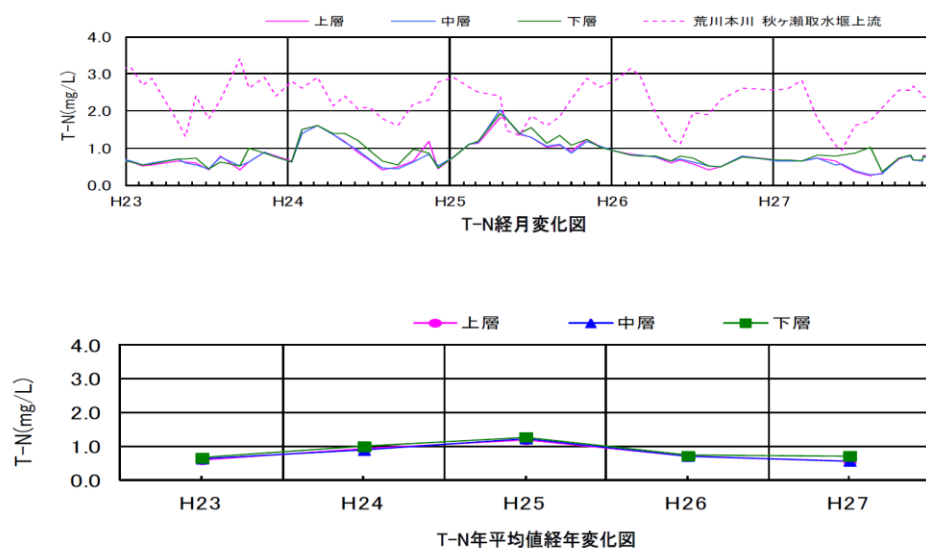
- 夏季を中心に中・下層において環境基準値(平成25年6月まで5mg/L以上、平成25年6月以降7.5mg/L以上)を下回る値がみられる。
- 上・中層の年平均値は環境基準値を満足している。下層においては平成25、27年に年平均値が環境基準値を下回っている。



- 上・中・下層ともにほとんどの値が暫定目標値(3.7mg/L以下)を超えている。
- 75%値は上・中・下層ともに暫定目標値(3.7mg/L以下)を超えている。

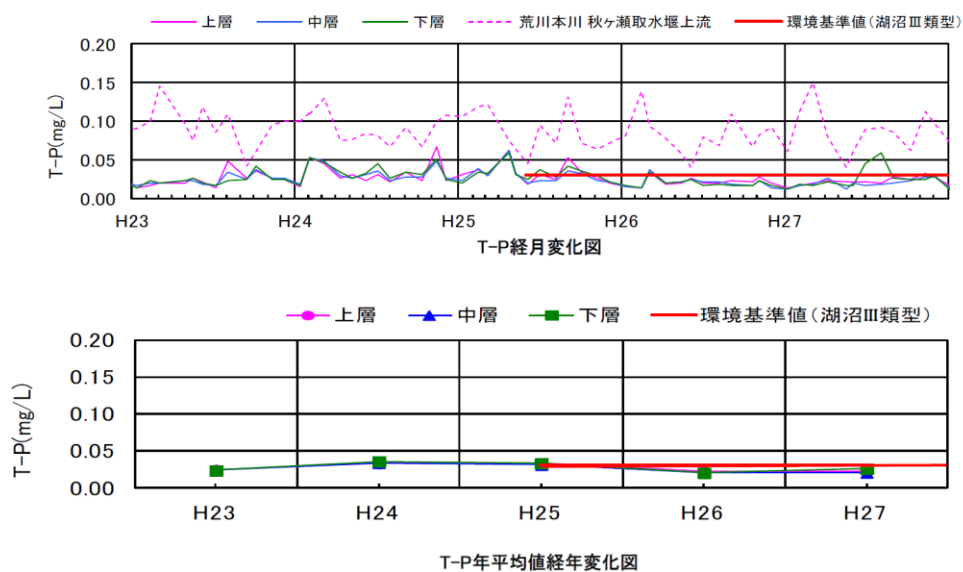


■上・中・下層ともに、ほぼ同様の変動傾向を示しており、約0.3～2.0mg/Lの間にある。

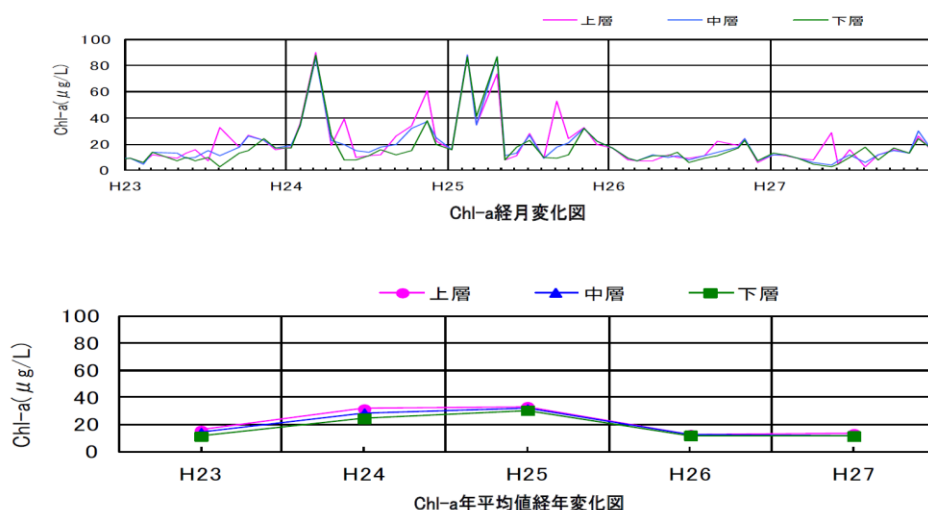


■平成25～27年において、上・中・下層で環境基準値(0.03mg/L以下)を超える値がみられることがある。

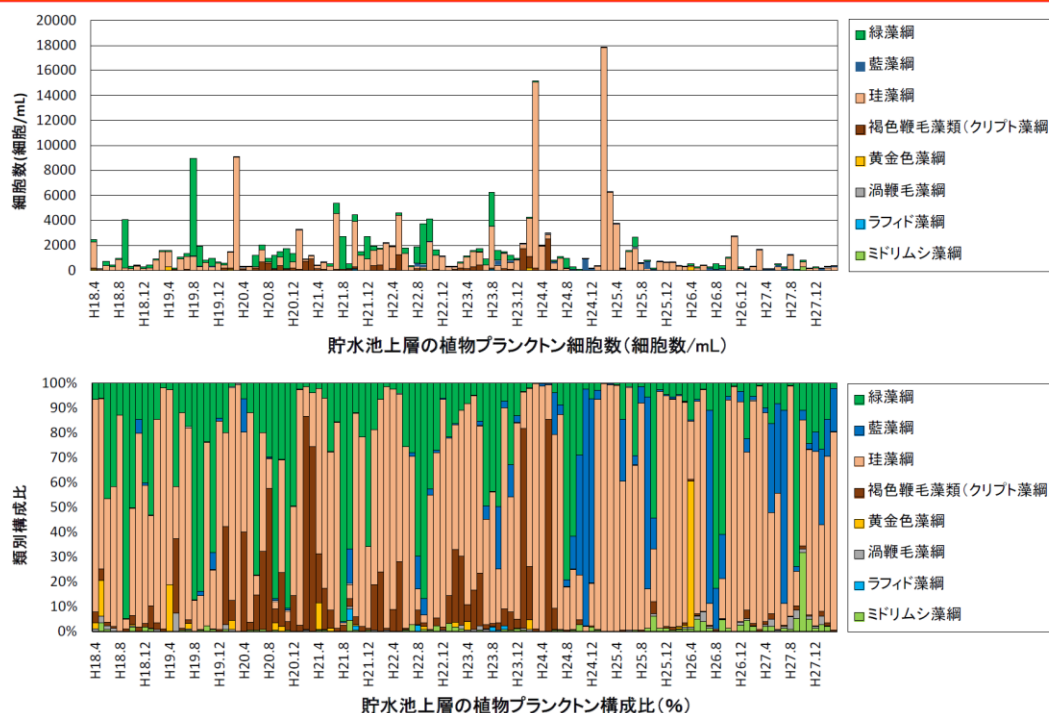
■平成25年は上・中・下層ともに年平均値が環境基準値を超えている。一方、平成26、27年の上・中・下層の年平均値は環境基準値を満足している。



■上・中・下層ともにほぼ同様の変動傾向を示しており、3.0～90 $\mu\text{g/L}$ の範囲にある。



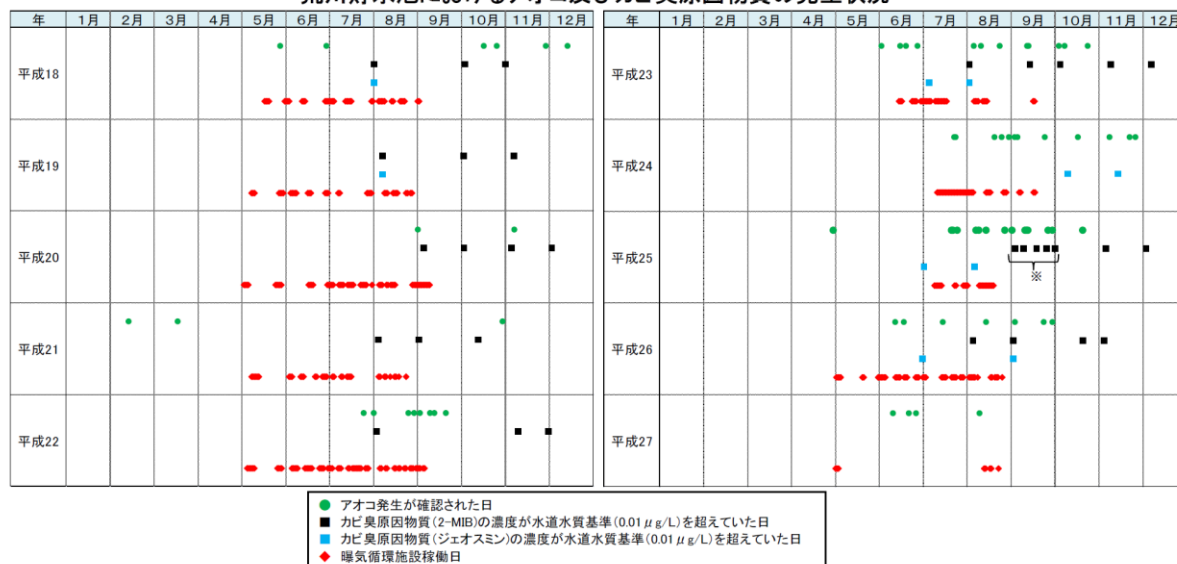
■植物プランクトンは概ね珪藻類、緑藻類が優占している。
 ■アオコの原因藻類である藍藻類は、平成24年11、12月、平成25年9月、平成26年7月及び平成27年7月に優占している。



アオコ及びカビ臭原因物質の発生状況

- 平成18、20～27年にアオコの発生が観測されている。特に平成23～25年は年間12～15回の発生が観測されている。
- 平成18～23、25～26年にカビ臭原因物質である2-MIBの濃度が水道水質基準値を超えている。
- 平成18～19、23～26年にカビ臭原因物質であるジェオスミンの濃度が水道水質基準値を超えている。
- 曝気循環施設※1の稼働状況とアオコ及びカビ臭原因物質の発生の間には明確な関係はみられない。

荒川貯水池におけるアオコ及びカビ臭原因物質の発生状況



※1: 曝気循環施設は、湖の3ヶ所の底に設置されたパイプから気泡を発生させ、湖の水を対流させることで水質悪化を防ぐ施設である。表層と底層の水温差が5℃以上またはDOが3mg/L以下の時に稼働する。

※2: 平成25年9月4日の定期水質調査において貯水池上層のカビ臭原因物質の2MIBが高濃度(3.86 μg/L)であることが観測されたため、週1回の頻度で調査を実施した。10月2日まで水道水質基準(0.01 μg/L)を超える値が観測された。

出典: 河川巡視日報(平成17～平成27年度)、荒川水系水質調査業務報告書(平成18～平成27年度)、荒川上流河川事務所資料(航空写真)

水質のまとめ

【水質のまとめ】

- 荒川貯水池は環境基準に関し湖沼の水域類型の指定を受けていなかったが、平成25年6月に湖沼A・湖沼Ⅲに指定された。
- 荒川貯水池において、上・中・下層のCODが環境基準値を満たさないことが多かった。
- 荒川貯水池において、至近5ヶ年では平成23～27年にアオコの発生が観測されている。また、至近5ヶ年では、平成23、25、26年にカビ臭原因物質である2-MIBの濃度が、平成23～26年にカビ臭原因物質であるジェオスミンの濃度が、水道水質基準値を超えている。

【今後の方針】

- ◆ 今後とも、水質調査結果を踏まえながら、良好な貯水池環境および水資源供給の維持を図るため、監視を継続すると共に曝気施設等の水質保全施設を利用しながら適切な管理を行っていく。

8.4 水質予測手法の検討

8.4.1 検討手順

■中央環境審議会答申，H30.2（渡良瀬貯水池および荒川貯水池に係る記載）

なお、これらの貯水池は一般的なダム湖と運転管理の方法が異なるため、水質汚濁のメカニズムも異なると推測されることから、今後は、貯水池の運転管理状況や水質保全対策の効果などを注視しつつ、流入率をはじめとする関連の情報を整理し、貯水池の特性を考慮した水質予測手法について検討していく必要がある。



① 渡良瀬貯水池および荒川貯水池の流入率（8.3.1）

渡良瀬貯水池、荒川貯水池の流入率（COD，T-N，T-P）を国が湖沼類型に指定している他の人工湖沼での流入率と比較した結果、突出して小さいことが分かった。

これは、これら2つの貯水池における水運用が特殊であり、貯水池への流入が人為的にコントロールされ、上流からの流入水が全てダム貯水池に流入してくるわけではないことによるものであり、現在湖沼指定がなされている人工湖沼では他に例はない。



② 貯水池の水質特性の整理（前項での整理）および従来の水質予測手法の適用性の検討

■貯水池水質特性（8.3.2）

- ・ いずれの貯水池においても、貯水池 COD の方が流入河川 COD よりも高くなっている。また、湖内 Chl.a と COD も強い相関関係を示しており、内部生産の影響と考えられる。
- ・ T-N，T-P については、貯水池水質の方が流入河川水質よりも低くなっており、大きくは貯水池内での沈降作用によるものと考えられる。

■従来の水質予測手法の適用性の検討（8.4.2）

- ・ 流入水質と貯水池水質の関係等について整理分析し、従来の水質予測手法の適用性を検討する。

【従来の人工湖沼の類型指定の検討で用いられている水質予測手法】

将来水質＝現況水質×将来流入負荷量／現況流入負荷量
※将来流入負荷量＝将来発生負荷量×現況平均流入率

- ・ 現況と将来の負荷量比により将来水質を予測
- ・ 水質項目間（COD、T-N、T-P）の関係は考慮せず、それぞれの項目で独立に予測



③ 渡良瀬貯水池、荒川貯水池に適用する水質予測手法の検討（8.4.3，8.4.4）

- ・ 渡良瀬貯水池、荒川貯水池を対象に、予測すべき項目である COD、T-N、T-P と貯水池の水質に影響していると考えられる各種指標との関係を分析し、予測式を検討する。
- ・ 将来の予測が可能な指標を用いた予測手法を検討する。

図 8.27 水質予測手法の概略検討フロー

8.4.2 従来の水質予測手法の適用性の検討

(1) 情報の収集

流入水質と貯水池水質の関係等についての整理分析にあたり、下記の資料を収集整理した。

表 8.5 分析のための情報収集内容及び方法

項目	内容	収集方法
水質	湖内水質 ・ COD、T-N、T-P、Chl.a 流入水質 ・ COD、T-N、T-P	・ 公共用水域水質測定結果（環境省） ・ 水域管理者資料（国交省） ・ ダム諸量データベース ・ 過年度の専門委員会資料

(2) 情報の分析・整理（従来の水質予測手法の適用性）

流入水質と貯水池水質の関係（COD、T-N、T-P）、貯水池内の Chl.a と COD の関係について、年度データおよび個別データを対象に整理・分析し、図 8.28～図 8.31 に示す。

項目間の相関関係を下記の表 8.6、表 8.7 に整理する。

渡良瀬貯水池においては、COD、T-N は、流入水質と貯水池内水質に一定の相関関係があり、従来の水質予測手法の適用も可能であるが、T-P については、従来の水質予測手法の適用は適切ではない状況である。

荒川貯水池においては、COD、T-N、T-P のいずれの項目についても、従来の水質予測手法は適用が適切ではない状況である。

また、いずれの貯水池においても COD については、Chl.a との相関が強くなっており、その（内部生産）影響による COD 濃度の寄与分も無視できないレベルである。

以上の分析結果を踏まえ、次項以降では、これらの 2 水域における新たな水質予測手法を検討するものとする。

表 8.6 渡良瀬貯水池での水質（年度平均値）の相関関係

分析項目（年度平均）	相関関係（R ² 値）	考察
①湖内 COD と湖内 Chl.a の相関	0.796	・強い相関関係がある。
②流入 COD と湖内 COD の相関	0.1792	・一定の相関関係はあり、従来の水質予測手法の適用も可能であるが、①より相関は弱い。
③流入 T-N と湖内 T-N の相関	0.4375	・一定の相関関係はあり、従来の水質予測手法の適用も可能
④流入 T-P と湖内 T-P の相関	0.0196	・相関関係がなく、従来の水質予測手法の適用は適切とは言えない。

表 8.7 荒川貯水池での水質（年度平均値）の相関関係

分析項目（年度平均）	相関関係（R ² 値）	考察
①湖内 COD と湖内 Chl.a の相関	0.7401	・強い相関関係がある。
②流入 COD と湖内 COD の相関	0.0887	・相関関係がなく、従来の水質予測手法の適用は適切とは言えない。
③流入 T-N と湖内 T-N の相関	0.0111	・相関関係がなく、従来の水質予測手法の適用は適切とは言えない。
④流入 T-P と湖内 T-P の相関	0.1261	・相関関係がなく、従来の水質予測手法の適用は適切とは言えない。



図 8.28 渡良瀬貯水池の水質状況（水質項目間の関係）【再掲】

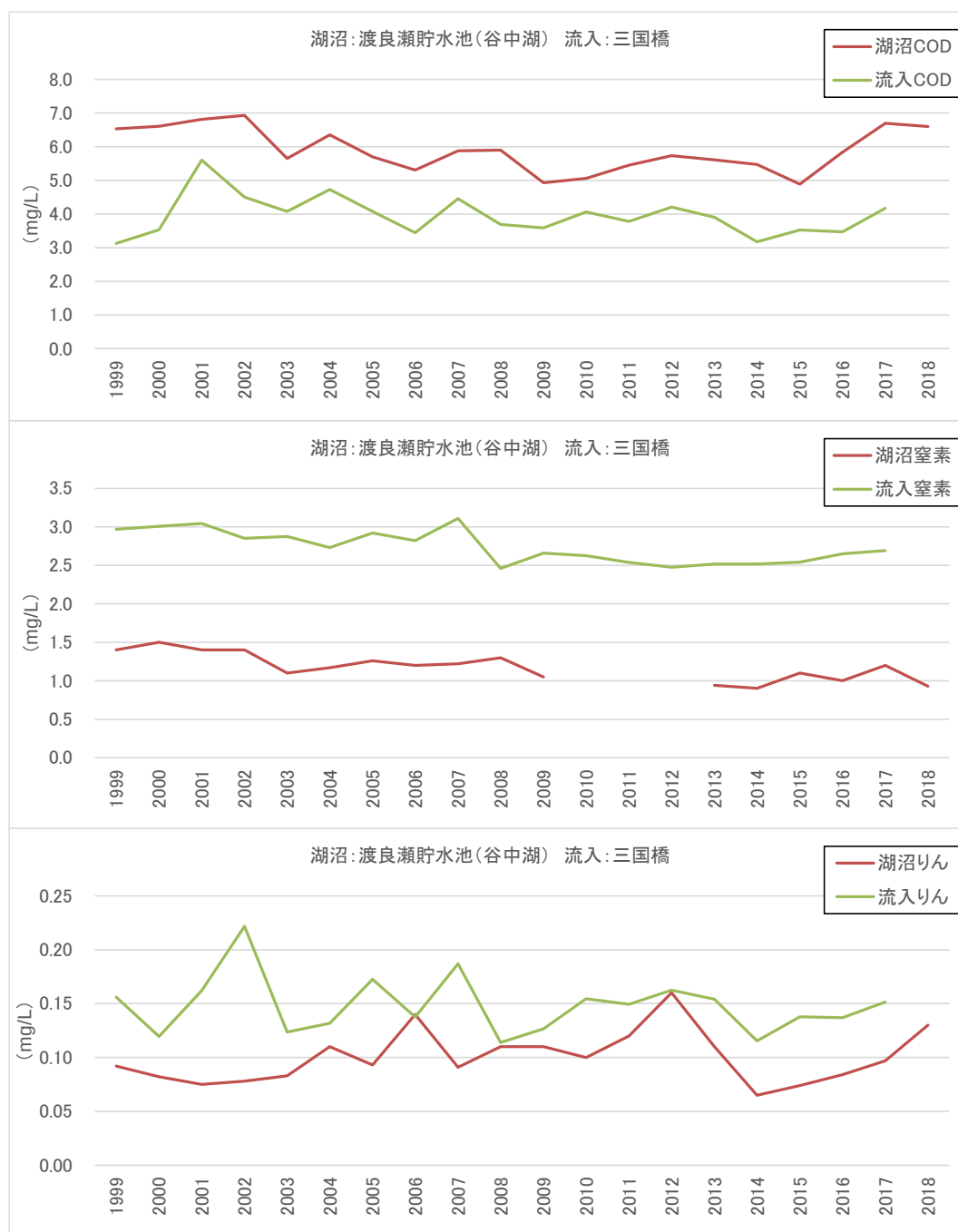


図 8.29 渡良瀬貯水池の水質の経年変化（年度平均）【再掲】



図 8.30 荒川貯水池の水質状況（水質項目間の関係）【再掲】



図 8.31 荒川貯水池の水質の経年変化（年度平均）【再掲】

8.4.3 渡良瀬貯水池、荒川貯水池に適用可能な水質予測手法（条件整理）

現行の水質予測手法のロジックは、流域の汚濁負荷量の減少⇒流入水質の改善（低下）⇒湖内水質の改善（低下）である。

また、人工湖沼の水質に影響すると推測される条件としては、以下に挙げるような項目が挙げられるが、将来予測を行うにあたって変化として与え得る条件は流域の負荷（流入水質とほぼ同義）のみであり、気象や水文条件が当該貯水池の水質に影響していたとしても、結局予測の際はその変数は現況と同じと扱わざるを得ない（気候変動等の予測を行う場合を除く）。また、これは、数値シミュレーションモデル等を用いる場合でも同様である。

■人工湖沼の水質（COD、T-N、T-P）に影響すると推測される条件

流入水質：COD、T-N、T-P ⇒現状の取扱いで将来変化を想定できるのはこれらのみ
貯水池特性：回転率、貯水池形状、貯水池内水質保全対策
気象特性：降水量、日射量、日照時間 等

なお、新たに検討する水質予測手法としては、統計的手法等の比較的簡易な手法によることを基本とし、数値シミュレーションモデル等の高度な手法は用いないものとする。

(1) 水質予測手法の事例

統計的な手法等によって湖沼の水質を予測する手法の事例を表 8.8 に示す。

それぞれ特徴があるが、いずれの手法も湖内の内部生産による COD（もしくは Chl.a）を栄養塩濃度、その他の変数を用いて予測するという考え方の方法である。

また、Vollenweider モデルは湖内の栄養塩濃度をいくつかの変数を用いて予測する手法であるが、説明変数は流入水質（または負荷量）、水域特性（平均水深、回転率）であり、水域特性が将来的に変化しないものと想定する場合、栄養塩は流入水質によって規定される。

表 8.8 水質予測手法の事例

論文等名称	概要
湖沼水質の簡易な予測モデル、福島他、水質汚濁研究、1986	・ Chl.a と COD との回帰式で Chl.a=0 とした時の COD の値を CODMIN（流入水質依存の一次汚濁 COD）、Chl.a の内部生産に伴って増加していく分の COD を Δ COD と考える。 ・ Δ COD を制限栄養塩濃度 $\overline{NU}$ を説明変数として定式化
浅い湖沼における滞留時間と栄養塩濃度が湖内の COD 生産に与える影響、神谷他、応用生態工学、2015	・ Chl.a と COD との回帰式で Chl.a=0 とした時の COD の値を CODMIN（流入水質依存の一次汚濁 COD）、Chl.a の内部生産に伴って増加していく分の COD を Δ COD と考える。（①と同じ） ・ Δ COD を滞留時間と湖内 TP を説明変数として定式化
気候変動による国内のダム湖水質への影響評価、梅田他、土木学会論文集、2012	・ ダム湖内の Chl.a 濃度を湖内の水温状態を示す指標[※]と流入 TP を説明変数として定式化 ※水温状態を示す指標：表層水温が 20℃かつ表層水温勾配が 0.5℃/m 以上になる日数
Vollenweider モデル ※OECD の研究等を含む	・ Vollenweider モデルは、水域の単位面積当たりの負荷量と平均水深及び回転率（滞留時間）が富栄養化現象と関係が深いことに注目したもので、湖を完全混合状態の 1 つのボックスと仮定した物質収支式について、定常状態として得られた式が示されている。 ・ 派生した研究も含めて様々な式が提案されている。 ⇒ 湖内栄養塩濃度を単位面積当たり負荷量、平均水深、回転率を説明変数とした式 ⇒ 湖内栄養塩濃度を流入栄養塩濃度、回転率を説明変数とした式 ⇒ 湖内 Chl.a 濃度を流入栄養塩濃度、回転率を説明変数とした式

表 8.9 水質予測手法の整理・比較（参考）

水質予測手法	留意点・適用水域
①従来手法（現在用いている手法） ・ 現況と将来の負荷量比により将来水質を予測 ・ 水質項目間（COD、T-N、T-P）の関係は考慮せず、それぞれの項目で独立に予測 将来水質＝現況水質×将来流入負荷量／現況流入負荷量 ※将来流入負荷量＝将来発生負荷量×現況平均流入率	■留意点 ・ 内部生産は考慮されていない ■適用水域 ・ 貯水池水質が流入水質と相関がある水域 ・ 内部生産の影響が顕著でない水域
②内部生産を考慮する手法（簡易手法） ・ COD について、植物プランクトンによる内部生産の影響を考慮 ・ T-N、T-P については、従来手法同様に現況と将来の負荷量比等で予測 【COD 予測手法例】 将来水質＝一次汚濁 COD＋内部生産 COD 一次汚濁 COD＝現況水質×将来流入負荷量／現況流入負荷量 内部生産 COD＝f（将来栄養塩濃度） ※栄養塩濃度の関数	■留意点 ・ 植物プランクトンによる内部生産を考慮 ・ 底泥溶出等の内部負荷は考慮されない ■適用水域 ・ 植物プランクトンによる内部生産の影響が無視できない水域 ・ 将来の変化を想定し得る要素（流域からの発生汚濁負荷量により予測が可能
③内部生産を考慮する手法（シミュレーションモデル） ・ 水・物質収支、植物プランクトンの消長、各水質項目の分解、沈降、溶出を考慮可能な生態系モデルにより予測 ⇒指定湖沼での検討と同様の方法 ⇒将来の条件設定が必要	■留意点 ・ モデルの構築・現況再現（モデルキャリブレーション）が必要 ・ 環境省がモデルを保有する等、同じモデルを次回も使用できる形を取らない限り、検討後値においてモデル構築費用（委託費増加）および検討に要する期間が必要となる可能性 ■適用水域 ・ 制限なし

(2) 渡良瀬貯水池及び荒川貯水池への適用を検討する水質予測手法

湖内の栄養塩濃度の物質収支を考えると、一般的には、流入、流出、湖内部での水質変化（沈降・溶出）のコンポーネントとなり、将来的に対象湖沼の水質形成機構が変化しないものと想定する場合、栄養塩は流入水質によって規定されることとなる。

以上を踏まえ、渡良瀬貯水池及び荒川貯水池に適用する水質予測手法としては、以下の考え方に基づいて検討するものとする。

- ① Chl.a と COD との回帰式で Chl.a=0 とした時の COD の値を CODMIN（流入水質依存の一次汚濁 COD）とする。
- ② Chl.a の内部生産に伴って増加していく分の COD を ΔCOD とする。
- ③ ΔCOD（Chl.a）について、流入水質（栄養塩濃度）を説明変数として定式化する。
- ④ 流入水質（栄養塩濃度）は、従来通り、流域の負荷量変化から推定する。

8.4.4 渡良瀬貯水池・荒川貯水池における水質予測手法の検討

(1) 情報の収集・整理

検討対象水域である、渡良瀬貯水池、荒川貯水池について、対象水域の水質、運用等、適用する水質予測手法を検討する際の基礎データとなる情報、また、水質予測手法の既往研究事例についての情報を収集・整理した。

表 8.10 対象水域の現状把握のための情報収集内容及び方法

項目	内容	収集方法
対象水域の概要	・河川、流域の概要 ・ダム の概要・諸元 ・類型指定状況等	既往検討資料、専門委員会資料等
水質・運用等の現状データ	・水質（貯水池、流入河川） ・ダム運用（貯水位、流入量、放流量） ・水質障害の発生状況	既往検討資料、ダム諸量 DB 公共用水域水質測定結果（環境省） 水域管理者（国交省）への依頼
水質形成機構保全対策	・水質形成機構や水質保全対策に係る既往検討結果 ⇒ダムフォローアップ資料、水質保全検討	水域管理者（国交省）への依頼 水域管理者へのヒアリング
水質予測手法	・水域管理者の既往検討において用いられた手法	水域管理者へのヒアリング

(2) 検討対象水域の水質予測手法の検討項目

今回対象となっている水域において、従来の予測手法では課題があることとされたのは、これまで類型指定を行ってきた人工湖沼に比べ、運転管理の方法が異なることが主な理由である。渡良瀬貯水池、荒川貯水池ともに、いわゆる本川に設置されているダム等ではなく、貯水池への流入について人為的に運転管理されている貯水池であり、その運転管理状況によって貯水池の水質がどのような影響を受けているかを分析する必要がある。

そこで、貯水池運用や水質、気象等の収集情報に基づいて、以下に挙げるような方法・項目について分析を行い、対象水域の水質形成要因を検討・考察するとともに、水質予測手法の検討を行う。

表 8.11 対象水域の水質形成要因の分析方法

手法	分析方法・内容	検討・考察の視点
相関分析	・貯水池運用と水質の関係について、以下に挙げる指標について、相関分析を行い、関係性の深い変数を把握する。 ■被説明変数：類型指定対象水質項目（COD, T-N, T-P）、Chl.a ■説明変数：流入量、放流量、流入水質（COD, T-N, T-P）、流入負荷量（COD, T-N, T-P）、貯水池水質（COD, T-N, T-P, Chl.a）、気温、降水量	・流入水質と湖内水質の関係について分析する。 ・内部生産等水域内での水質変化に着目して分析する。
水質特性検討	・水域管理者からの収集資料に基づいて、各水域の水質形成機構・特性について整理する。（8.3.2）	・着目すべき現象や特徴的な水質形成機構について補足的に整理・考察する。

(3) 渡良瀬貯水池・荒川貯水池における水質予測手法の検討概要

渡良瀬貯水池、荒川貯水池の水質予測手法の検討は、各水域の水質形成要因の分析結果を踏まえた予測手法（案）を設定した。

■対象水域の水質形成要因の分析（STEP-1） ※水質項目、変数因子間の相関関係の分析

湖内水質項目（COD、T-N、T-P、Chl.a）とその水質変化に関係すると考えられる水運用、流入水質、流入負荷量、気象に関する項目（変数）について、変数間の相関関係を分析（単相関マトリクスを作成）し、相関の認められる変数を抽出

【相関分析の対象とした変数】

- ・ 湖内水質（COD、T-N、T-P、Chl.a）
- ・ 水運用（流入量、放流量、貯水量、滞留日数）
- ・ 流入水質（COD、T-N、T-P）
- ・ 流入負荷量（COD、T-N、T-P）
- ・ 気象（気温、降水量、日照時間）

■変数間の単相関マトリクス

変数	湖内水質	水運用	流入水質	流入負荷量	気象
湖内水質					
COD	1.00				
T-N	0.70				
T-P	0.43				
Chl.a	0.89				
水運用					
流入量	-0.41	1.00			
放流量	-0.31	-0.37	1.00		
貯水量	0.35	0.86	-0.22	1.00	
滞留日数	0.27	0.31	-0.22	0.29	1.00
流入水質					
COD	0.42	0.15	-0.04	0.31	0.11
T-N	0.37	0.66	-0.00	0.44	-0.17
T-P	0.28	0.24	-0.12	0.28	-0.24
流入負荷量					
COD	-0.18	-0.12	-0.12	-0.23	0.30
T-N	-0.30	-0.07	-0.10	-0.34	0.97
T-P	-0.19	-0.09	-0.09	-0.25	0.84
気象					
気温	-0.32	-0.31	-0.27	-0.41	0.20
降水量	-0.20	-0.12	-0.36	-0.39	0.25
日照時間	-0.31	-0.21	-0.35	-0.32	0.35

※年統計値（平均、合計）で分析

■予測式の検討（STEP-2） ※STEP-1 で予測水質項目と相関の認められた変数を用いた予測式の検討

予測の対象とする湖内水質項目（COD、T-N、T-P、Chl.a）と、上記 STEP-1 において予測水質項目と相関が認められた項目（変数）を用いて、重相関分析を行い、統計的優位性や予測結果の精度（予測値と実測値の相関関係）を判断材料として予測式を検討

【渡良瀬貯水池における予測式の検討結果】

①COD の予測式

$$\text{湖内 COD} = \text{一次汚濁 COD} + \Delta \text{COD}$$

$$\text{一次汚濁 COD} = \text{流入 COD}$$

$$\Delta \text{COD} = \text{湖内 Chl.a} \times 0.0474$$

$$\text{湖内 Chl.a} = \text{流入 T-N} \times 38.39447 - \text{年流入量} \times 0.00053 - 31.2159$$

②T-N の予測式

$$\text{湖内 T-N} = \text{流入 T-N} \times 0.8142 - 1.0099$$

③T-P の予測式

該当する予測式なし ※従来の予測式（現況と将来の流入負荷量比から予測）を適用する

【荒川貯水池における予測式の検討結果】

①COD の予測式

$$\text{湖内 COD} = \text{一次汚濁 COD} + \Delta \text{COD}$$

$$\text{一次汚濁 COD} = \text{流入 COD}$$

$$\Delta \text{COD} = \text{湖内 Chl.a} \times 0.0657$$

$$\text{湖内 Chl.a} = \text{流入負荷量 T-P} \times 11.49274 + 8.09614$$

②T-N の予測式

$$\text{湖内 T-N} = \text{流入 T-N 負荷量} \times 0.008785 + 0.5403$$

③T-P の予測式

$$\text{湖内 T-P} = \text{流入 T-P 負荷量} \times 0.012343 + 0.0166$$

■単位

Chl.a : $\mu\text{g/L}$

その他の水質項目 : mg/L

年流入量 : $\text{千 m}^3/\text{年}$

流入負荷量 : t/年

■類型指定検討の将来水質予測における運用方法の検討（STEP-3）

類型指定検討での運用上、現況水質（実測値）との齟齬がない将来予測式とするため、上記 STEP-2 で検討した予測式を用いて、以下の形の式に変換

$$\text{将来水質} = \text{現況水質} + \text{現況から将来の水質変化}$$

(4) 渡良瀬貯水池における水質予測手法の検討

1) 水域の水質特性の分析

渡良瀬貯水池において収集した指標項目（表 8.12 参照）について、各項目間の相関分析を実施した。

相関分析結果（各項目間の相関係数）を表 8.13 に示す。

表 8.12 分析対象指標

区分	指標項目	説明	備考
湖内水質	①貯水池 COD 干除外	年度平均 COD（干し上げデータ除外）	
	②貯水池 T-N 干除外	年度平均 T-N（干し上げデータ除外）	2011 年欠測
	③貯水池 T-P 干除外	年度平均 T-P（干し上げデータ除外）	
	④貯水池 Chl. a 干除外	年度平均 Chl. a（干し上げデータ除外）	
水運用	⑤流入量	年度合計貯水池流入量（ダム諸量 DB）	
	⑥放流量	年度合計貯水池放流量（ダム諸量 DB）	
	⑦貯水量	年度平均貯水量（ダム諸量 DB）	
	⑧滞留日数	⑦／⑤×365	
流入水質	⑨流入水質 COD	年度平均 COD（渡良瀬川三国橋地点）	
	⑩流入水質 T-N	年度平均 T-N（渡良瀬川三国橋地点）	
	⑪流入水質 T-P	年度平均 T-P（渡良瀬川三国橋地点）	
	⑫流入負荷量 COD	年度合計 COD 負荷量（⑤×⑨）	
	⑬流入負荷量 T-N	年度合計 T-N 負荷量（⑤×⑩）	
	⑭流入負荷量 T-P	年度合計 T-P 負荷量（⑤×⑪）	
気象	⑮気温	年度平均気温（古河）	
	⑯降水量	年度合計降水量（古河）	
	⑰日照時間	年度合計日照時間（古河）	

※分析対象期間：1993～2017 年度（n=25）

最終的に予測が必要となる COD, T-N, T-P について、他の項目との相関関係を以下に示す。

- ・ COD、T-N は湖内 Chl.a との相関が高い。また、COD と T-N の相関が高い。この結果からは、COD、T-N は植物プランクトンの内部生産との関係が考えられ、内部生産にはりんよりも窒素の方が影響していることがうかがえる。
- ・ T-N については、貯水量、流入 T-N と比較的高い正の相関を示す。
- ・ T-P については、Chl.a、日照時間と一定の相関を示しているものの R 値はさほど高くなく、他の項目との相関はあまり見られない。この結果からは、底泥の影響（溶出や巻き上げ）等、今回の分析で対象としていないメカニズムが T-P の挙動に影響していることが推察される。

表 8.13 渡良瀬貯水池における分析対象指標間の相関関係（相関係数 R）

R値	貯水池 COD 干除外	貯水池 T-N 干除外	貯水池 T-P 干除外	貯水池 Chl.a 干除外	流入量	放流量	貯水量	滞留日数	流入水質 COD	流入水質 T-N	流入水質 T-P	流入負荷 量COD	流入負荷 量T-N	流入負荷 量T-P	気温	降水量	日照時間
貯水池COD干除外	1.00																
貯水池T-N干除外	0.70	1.00															
貯水池T-P干除外	0.39	0.43	1.00														
貯水池Chl.a干除外	0.89	0.78	0.48	1.00													
流入量	-0.41	-0.22	-0.09	-0.45	1.00												
放流量	-0.31	-0.37	-0.37	-0.39	0.81	1.00											
貯水量	0.35	0.65	-0.22	0.34	-0.19	-0.24	1.00										
滞留日数	0.27	0.31	-0.22	0.29	-0.72	-0.56	0.48	1.00									
流入水質COD	0.42	0.15	-0.04	0.31	0.11	0.24	0.09	0.04	1.00								
流入水質T-N	0.37	0.64	-0.09	0.44	-0.17	-0.09	0.62	0.29	0.30	1.00							
流入水質T-P	0.29	0.24	-0.12	0.28	-0.24	0.04	0.17	0.52	0.50	0.38	1.00						
流入負荷量COD	-0.18	-0.12	-0.12	-0.26	0.90	0.81	-0.10	-0.59	0.52	0.01	0.01	1.00					
流入負荷量T-N	-0.30	-0.07	-0.10	-0.34	0.97	0.81	-0.05	-0.69	0.20	0.07	-0.16	0.92	1.00				
流入負荷量T-P	-0.19	-0.09	-0.09	-0.25	0.84	0.83	-0.12	-0.55	0.38	0.04	0.27	0.89	0.86	1.00			
気温	-0.32	-0.31	-0.27	-0.41	0.20	0.30	-0.11	0.03	-0.22	-0.22	-0.10	0.09	0.14	0.03	1.00		
降水量	-0.33	-0.12	-0.28	-0.39	0.25	0.12	0.18	0.19	-0.26	-0.13	-0.26	0.11	0.18	-0.02	0.17	1.00	
日照時間	-0.31	-0.47	0.35	-0.32	0.35	0.32	-0.67	-0.52	-0.06	-0.52	-0.12	0.26	0.24	0.31	0.24	-0.16	1.00

R値

	: 0.7以上
	: 0.5～0.7
	: 0.3～0.5

表 8.14 分析対象指標一覧（渡良瀬貯水池）

※項目黒字：年度平均値、項目赤字：年度合計値

年度		貯水池水質（干し上げ除外）				貯水池運用				流入水質			流入負荷量（計算値）			気象			備考
和暦	西暦	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl. a (μg/L)	流入量 (千m ³ /年)	放流量 (千m ³ /年)	貯水量 (千m ³ /年)	滞留日数 (日)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (t/年)	T-N (t/年)	T-P (t/年)	気温 (℃)	降水量 (mm)	日照時間 (時間)	
和暦年度	西暦年度	貯水池COD干除外	貯水池T-N干除外	貯水池T-P干除外	貯水池Chl. a干除外	流入量	放流量	貯水量	滞留日数	流入水質COD	流入水質T-N	流入水質T-P	流入負荷量COD	流入負荷量T-N	流入負荷量T-P	気温	降水量	日照時間	備考
H5	1993	7.30	1.60	0.101	83.2	31697.6	18957.8	19077.9	219.7	4.28	2.91	0.133	135.64	92.19	4.21	13.42	1296.0	1675.5	
H6	1994	9.28	1.57	0.095	93.1	20900.2	31388.5	18070.0	315.6	4.39	2.65	0.163	91.79	55.39	3.42	15.32	847.0	1833.5	
H7	1995	9.09	1.46	0.104	96.3	23950.1	36101.2	15212.5	231.8	4.35	2.88	0.160	104.08	69.06	3.83	14.44	1078.0	1925.5	
H8	1996	7.54	1.49	0.105	91.5	48515.3	53518.1	14699.5	110.6	4.91	3.01	0.201	238.13	145.95	9.74	14.27	904.0	2010.7	
H9	1997	6.78	1.94	0.121	68.1	51497.0	26228.4	19917.8	141.2	3.23	3.03	0.117	166.08	156.21	6.03	14.90	1228.0	1958.0	
H10	1998	6.56	1.49	0.067	58.3	7833.0	19579.9	19989.5	931.5	4.08	3.04	0.235	31.98	23.83	1.84	15.14	1540.0	1587.0	
H11	1999	6.53	1.40	0.092	70.3	41944.6	47839.6	17630.5	153.4	3.13	2.97	0.156	131.25	124.44	6.54	15.33	1117.0	2007.4	
H12	2000	6.61	1.52	0.082	51.5	54846.7	52744.4	16920.0	112.6	3.54	3.01	0.120	194.02	164.91	6.56	14.96	1530.0	1777.2	
H13	2001	6.82	1.38	0.075	56.5	75066.9	77254.8	18358.6	89.3	5.60	3.04	0.162	420.44	228.45	12.17	15.22	1238.0	1922.9	
H14	2002	6.93	1.42	0.078	44.8	71834.7	74404.5	18235.9	92.7	4.50	2.85	0.222	323.56	204.73	15.92	14.43	1257.0	1883.3	
H15	2003	5.65	1.00	0.057	30.8	45392.8	48770.6	18268.2	146.9	4.08	2.88	0.124	184.98	130.50	5.61	14.72	1226.0	1706.2	
H16	2004	6.35	1.09	0.088	38.1	59171.9	53391.7	16626.5	102.6	4.73	2.73	0.132	279.83	161.49	7.79	15.30	1483.0	2099.9	
H17	2005	5.70	1.24	0.077	38.0	40875.8	40781.4	16858.4	150.5	4.08	2.92	0.172	166.74	119.32	7.05	14.72	884.0	2001.0	
H18	2006	5.31	1.08	0.085	27.0	48725.3	48483.8	16533.1	123.8	3.44	2.82	0.138	167.70	137.49	6.70	15.24	1338.0	1785.4	
H19	2007	5.88	1.23	0.083	44.6	51268.0	53119.5	15079.3	107.4	4.46	3.11	0.187	228.57	159.36	9.59	14.98	1032.0	2039.9	
H20	2008	5.90	1.20	0.088	38.9	64782.9	43794.0	14426.2	81.3	3.69	2.46	0.114	239.16	159.37	7.37	15.07	1447.0	1873.7	
H21	2009	4.93	0.98	0.080	37.3	42208.1	45337.9	14423.6	124.7	3.59	2.66	0.127	151.60	112.20	5.34	14.93	1042.5	1825.2	
H22	2010	5.06	0.95	0.083	32.1	43545.6	46192.1	14818.3	124.2	4.07	2.63	0.154	177.09	114.38	6.72	15.21	1190.0	2182.0	
H23	2011	5.45		0.093	44.6	45576.9	49593.1	14720.7	117.9	3.78	2.54	0.149	172.43	115.69	6.80	14.79	1311.5	2066.5	
H24	2012	5.74	1.15	0.108	39.9	53783.3	38605.3	14033.0	95.2	4.21	2.48	0.163	226.34	133.11	8.74	14.95	1076.0	2253.1	
H25	2013	5.61	0.93	0.094	36.4	51725.2	52179.9	13560.7	95.7	3.91	2.52	0.154	202.16	130.17	7.97	14.94	1321.0	2270.2	
H26	2014	5.47	0.90	0.079	29.4	47206.0	51482.3	15633.9	120.9	3.18	2.52	0.115	149.88	118.80	5.45	14.85	1373.0	2232.7	
H27	2015	4.89	1.08	0.080	34.2	72936.2	73388.8	15862.3	79.4	3.53	2.54	0.138	257.10	185.38	10.04	15.42	1415.5	2068.3	
H28	2016	5.84	1.04	0.084	36.1	46422.5	48180.3	14479.4	113.8	3.48	2.65	0.137	161.32	123.02	6.36	15.12	1187.0	2075.3	
H29	2017	6.67	1.15	0.111	44.0	39725.9	41677.5	14148.9	130.0	4.18	2.69	0.151	165.86	106.93	6.02	14.75	1154.0	2123.7	
平均		6.32	1.26	0.088	50.6	47257.3	46919.8	16303.4	164.5	4.02	2.78	0.153	190.71	130.89	7.11	14.90	1220.6	1967.4	

2) 水質予測手法の検討

前項の分析結果より、類型指定の検討において将来予測が必要となる項目（COD、T-N、T-P）について、水質予測手法の視点から摘要する。

なお、前提として、将来予測を行うにあたって変化として与え得る条件は流域の負荷（流入水質とほぼ同義）のみであり、気象や水文条件が当該貯水池の水質に影響していたとしても、結局予測の際はその変数は現況と同じと扱わざるを得ないことに留意する必要がある。

- ・ COD については、湖内 Chl.a との相関が高く、内部生産の影響が無視できないと考えられることから、既往事例も参考に内部生産の影響を考慮した手法を用いる。
- ・ T-N については、貯水量、流入 T-N と比較的高い正の相関を示していることから、これらの項目を説明変数とした予測手法を用いる。
- ・ T-P については、他の項目との相関が低く、将来予測において条件を想定できる指標を用いた予測手法をとることが難しい。要因としては、湖内の水質変化（溶出、巻き上げ等）の影響が大きいとともに、流入水質の明瞭な経年的な変化（低下）もなく、想定しているような関係（流域の汚濁負荷量の減少⇒流入水質の改善（低下）⇒湖内水質の改善（低下））が見いだせなかったと考えられる。

以上を踏まえ、渡良瀬貯水池における湖内の COD、T-N、T-P の水質予測手法を検討する。

7) 湖内 COD の予測

湖内 COD と Chl.a の関係を図 8.32 に示す。

良好な相関関係を呈しているとともに、一次汚濁 COD と解される Y 切片（≒3.9）は、検討対象期間における流入 COD（≒4.0）とほぼ等しく、想定している関係（湖内 COD＝一次汚濁 COD＋ΔCOD）が成立していると考えられる。

以上より、渡良瀬貯水池の COD 予測式は、以下の通りとする。

■COD の予測式（渡良瀬貯水池）

$$\text{湖内 COD} = \text{一次汚濁 COD} + \Delta \text{COD}$$

$$\text{一次汚濁 COD} = \text{流入 COD}$$

$$\Delta \text{COD} = \text{湖内 Chl.a} \times 0.0474$$

なお、湖内 COD と流入 COD の関係を図 8.33 に示すが、有意な相関関係となっている。

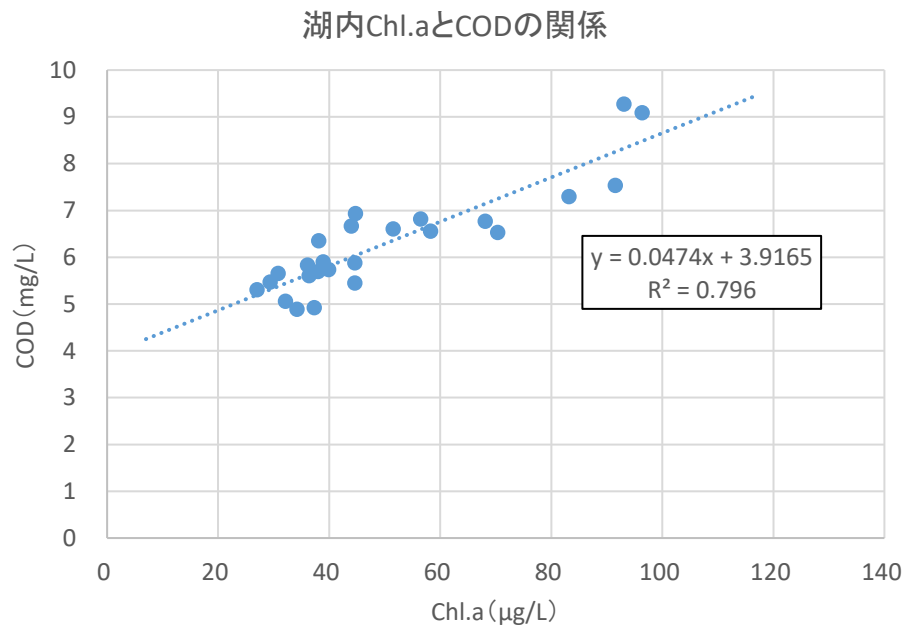


図 8.32 湖内 COD と Chl. a の関係（渡良瀬貯水池）

■ 回帰分析結果

湖内Chl.a～湖内COD

回帰統計	
重相関 R	0.892
重決定 R2	0.796
補正 R2	0.787
標準誤差	0.519
観測数	25

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	24.140	24.140	89.718	0.000
残差	23	6.188	0.269		
合計	24	30.328			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	3.9165	0.2737	14.3082	6.E-13	3.3503	4.4828	3.3503	4.4828
湖内Chl.a	0.0474	0.0050	9.4720	2.E-09	0.0371	0.0578	0.0371	0.0578

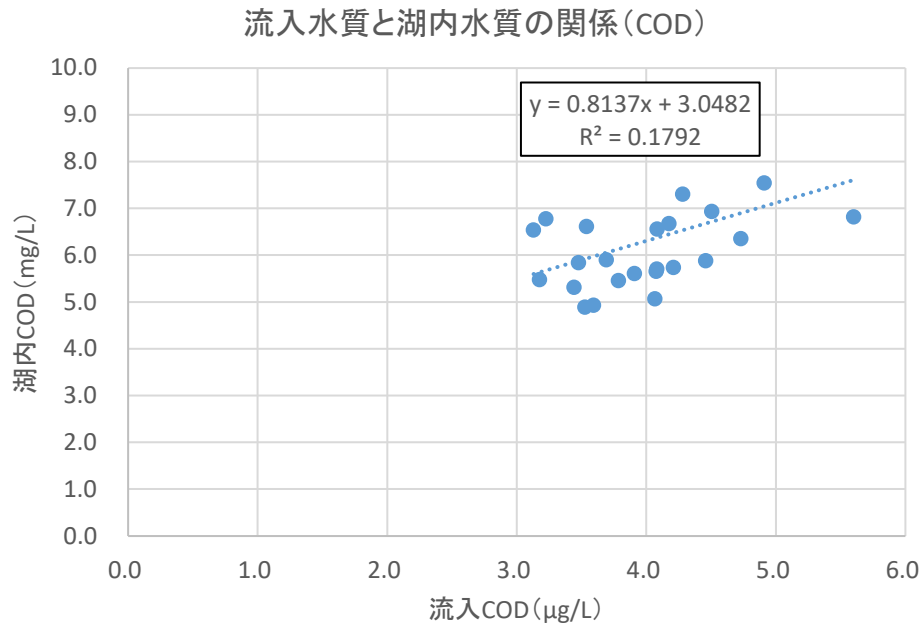


図 8.33 (参考) 湖内 COD と流入 COD の関係 (渡良瀬貯水池)

■ 回帰分析結果

湖内COD～流入COD

回帰統計	
重相関 R	0.423
重決定 R ²	0.179
補正 R ²	0.144
標準誤差	0.541
観測数	25

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	1.472	1.472	5.023	0.035
残差	23	6.738	0.293		
合計	24	8.210			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	2.6243	0.6301	4.1649	0.0004	1.3209	3.9278	1.3209	3.9278
流入COD	0.2203	0.0983	2.2412	0.0350	0.0170	0.4236	0.0170	0.4236

イ) 湖内 Chl. a の予測

湖内 COD の予測に湖内 Chl. a の予測が必要となることから Chl. a の予測式について検討する。

表 8.13 に示した項目間の相関関係を見ると、湖内 Chl. a と相関の比較的高い項目としては、流入量（負の相関）、流入 T-N（正の相関）が挙げられる。次いで、気温（負の相関）が挙げられるが、実現象と対応していない関係（気温が高いほど Chl. a が低くなる）である。また、降水量については、流入量と対応しているため、流入量と流入 T-N を説明変数とした予測式について検討した。

説明変数に流入量と流入 T-N の両方を用いた場合と、流入 T-N のみを用いた場合の検討結果をそれぞれ回帰分析結果①（P5-20）、回帰分析結果②（P5-21）に示す。

年流入量と流入 T-N を用いた式の方が、予測の再現性（Chl. a の実測値と予測値の相関）が良いことから、渡良瀬貯水池の Chl. a 予測式は、以下の通りとする。

■Chl.a の予測式（渡良瀬貯水池）：回帰分析結果①（P5-20） ※採用

湖内 Chl.a = 流入 T-N×38.39447 - 年流入量×0.00053 - 31.2159

※Chl. a の実測値と上式による予測値の相関： $R^2=0.9058$
--

■Chl.a の予測式（渡良瀬貯水池）：回帰分析結果②（P5-21） ※不採用
--

湖内 Chl.a = 流入 T-N×44.9676 - 74.4482

※Chl. a の実測値と上式による予測値の相関： $R^2=0.8846$
--

■ 回帰分析結果①

湖内Chl.a～年流入量・流入T-N

回帰統計	
重相関 R	0.5865
重決定 R ²	0.3440
補正 R ²	0.2844
標準誤差	17.8914
観測数	25

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	3693.42	1846.71	5.76914	0.00968
残差	22	7042.24	320.10		
合計	24	10735.67			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-31.2159	52.58538	-0.5936	0.5588	-140.271	77.83948	-140.271	77.83948
年流入量	-0.00053	0.000237	-2.2260	0.0366	-0.00102	-3.6E-05	-0.00102	-3.6E-05
流入T-N	38.39447	17.77301	2.1603	0.0419	1.535498	75.25344	1.535498	75.25344

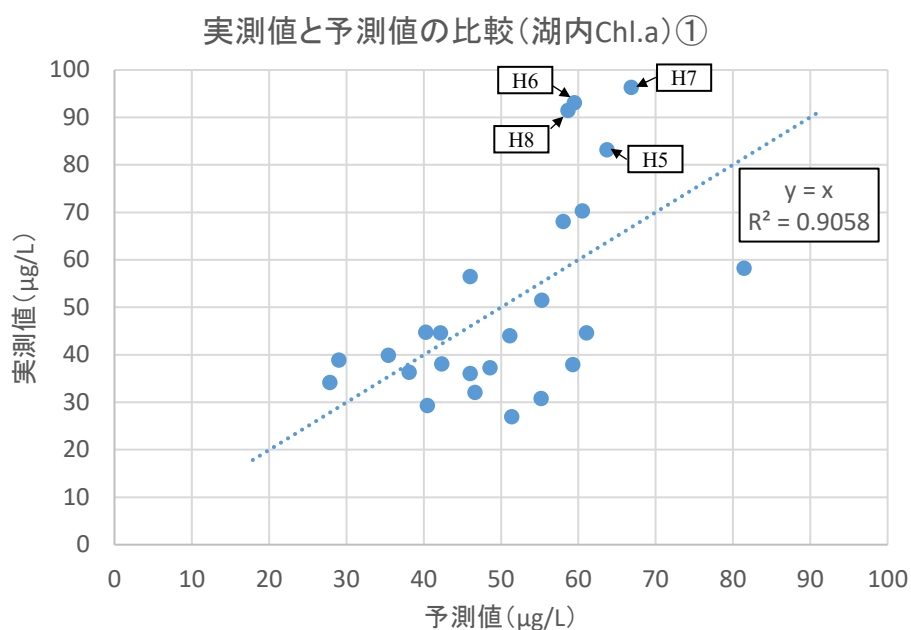


図 8.34 上記の関係から予測した湖内 Chl. a と実測 Chl. a の関係 (渡良瀬貯水池)

(参考) 渡良瀬貯水池における干し上げ実施について

干し上げ実施：H8 年度、H15 年度以降（干し上げ期間：2～3 月）

水位低下実施：H11～H14（干し上げよりも水位低下の度合いが少ない操作）

■ 回帰分析結果②

湖内Chl.a～流入T-N

回帰統計	
重相関 R	0.4430
重決定 R ²	0.1963
補正 R ²	0.1613
標準誤差	19.36872
観測数	25

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	2107.281	2107.281	5.617209	0.026551
残差	23	8628.387	375.1473		
合計	24	10735.67			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-74.4482	52.90255	-1.40727	0.172718	-183.885	34.98902	-183.885	34.98902
流入T-N	44.9676	18.97315	2.370065	0.026551	5.718653	84.21655	5.718653	84.21655

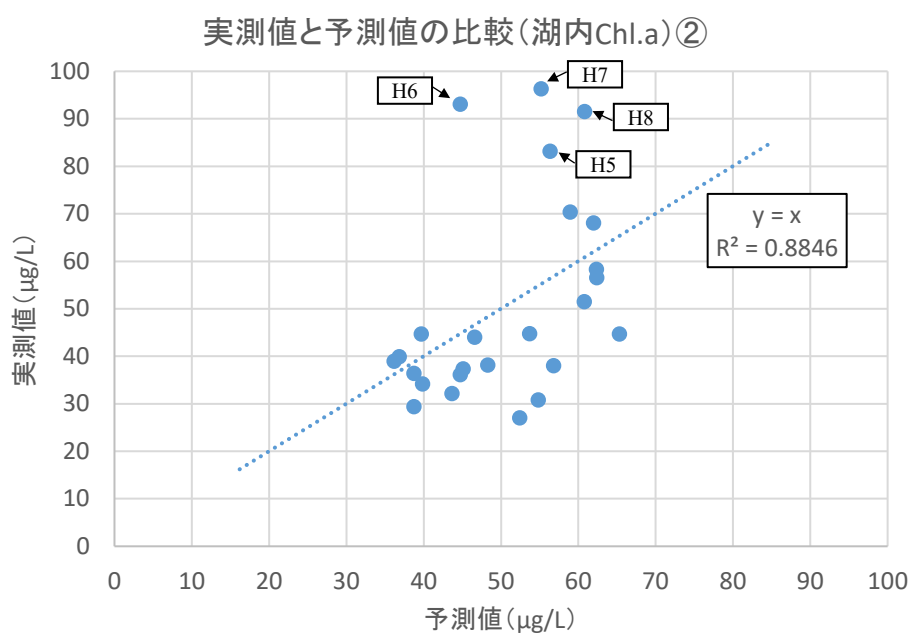


図 8.35 上記の関係から予測した湖内 Chl. a と実測 Chl. a の関係 (渡良瀬貯水池)

(参考) 渡良瀬貯水池における干し上げ実施について

干し上げ実施：H8 年度、H15 年度以降 (干し上げ期間：2～3 月)

水位低下実施：H11～H14 (干し上げよりも水位低下の度合いが少ない操作)

ウ) 湖内 T-N の予測

表 8.13 に示した項目間の相関関係を見ると、湖内 T-N と相関の比較的高い項目（湖内水質項目を除く）としては、貯水量（正の相関）、流入 T-N（正の相関）が挙げられる。

貯水量との関係は水質形成機構の面で解釈が難しい上、将来予測の条件としては現況と同じと考えることから、流入 T-N を説明変数とした予測式について検討した。

検討結果を図 8.36 に示す。

有意な分析結果が得られたことから、渡良瀬貯水池の T-N 予測式は、以下の通りとする。

■T-N の予測式（渡良瀬貯水池）

$$\text{湖内 T-N} = \text{流入 T-N} \times 0.8142 - 1.0099$$

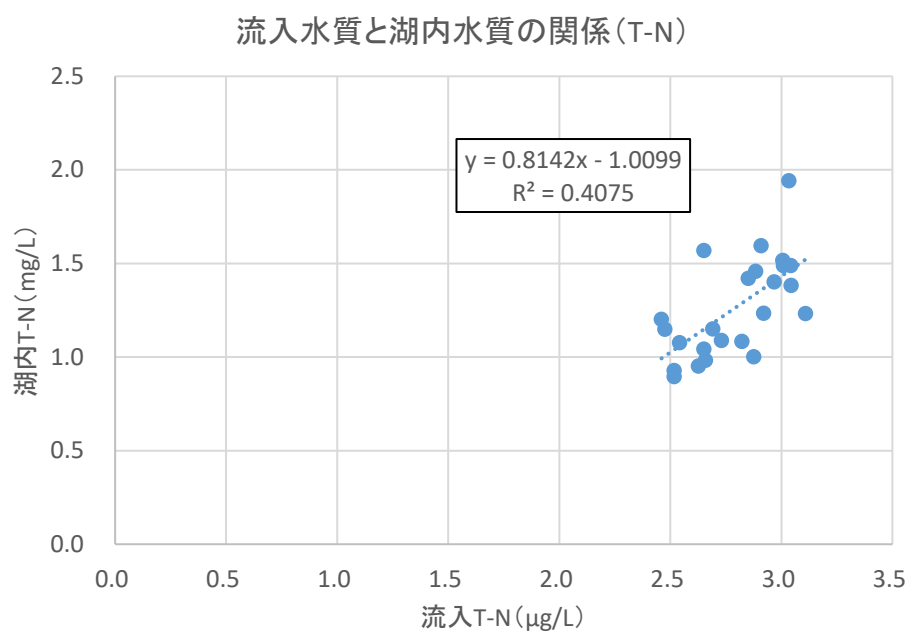


図 8.36 湖内 T-N と流入 T-N の関係 (渡良瀬貯水池)

■ 回帰分析結果

湖内T-N～流入T-N

回帰統計	
重相関 R	0.638
重決定 R ²	0.408
補正 R ²	0.381
標準誤差	0.207
観測数	24

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	0.650	0.650	15.131	0.001
残差	22	0.946	0.043		
合計	23	1.596			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-1.0099	0.5857	-1.7242	0.0987	-2.2247	0.2048	-2.2247	0.2048
流入T-N	0.8142	0.2093	3.8898	0.0008	0.3801	1.2483	0.3801	1.2483

エ) 湖内 T-P の予測

表 8.13 に示した項目間の相関関係を見ると、湖内 T-P と相関の比較的高い項目（湖内水質項目を除く）としては、放流量（負の相関）、日照時間（正の相関）が挙げられる。

いずれも水質形成機構の面で解釈が難しい上、将来予測の条件としては現況と同じと考えることとなる。また、流入 T-P との関係を図 8.37 に示すが有意な関係は見られない。

有意な式が得られないことから、渡良瀬貯水池の T-P 予測は、従来同様の方法で実施することとする。

■T-P の予測式（渡良瀬貯水池）

該当なし

※従来の予測手法（現況と将来の流入負荷量比から予測）を適用する

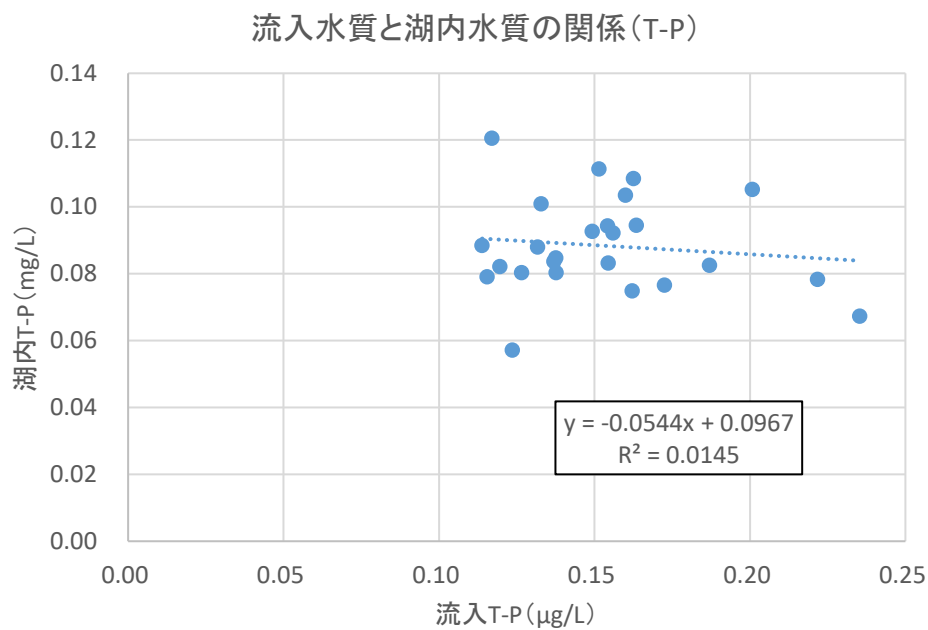


図 8.37 湖内 T-P と流入 T-P の関係 (渡良瀬貯水池)

■ 回帰分析結果

湖内T-P～流入T-P

回帰統計	
重相関 R	0.120
重決定 R2	0.014
補正 R2	-0.028
標準誤差	0.015
観測数	25

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	0.000	0.000	0.338	0.567
残差	23	0.005	0.000		
合計	24	0.005			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	0.0967	0.0146	6.6231	0.0000	0.0665	0.1269	0.0665	0.1269
流入T-P	-0.0544	0.0936	-0.5814	0.5667	-0.2480	0.1392	-0.2480	0.1392

3) 将来水質予測における運用方法の検討

以上で検討した水質予測手法を踏まえ、類型指定の検討において用いる手法を検討する。

上記で検討した予測手法を以下に摘要する。

■COD の予測式（渡良瀬貯水池）

$$\text{湖内 COD} = \text{一次汚濁 COD} + \Delta \text{COD}$$

$$\text{一次汚濁 COD} = \text{流入 COD}$$

$$\Delta \text{COD} = \text{湖内 Chl.a} \times 0.0474$$

$$\text{湖内 Chl.a} = \text{流入 T-N} \times 38.39447 - \text{年流入量} \times 0.00053 - 31.2159$$

■T-N の予測式（渡良瀬貯水池）

$$\text{湖内 T-N} = \text{流入 T-N} \times 0.8142 - 1.0099$$

■T-P の予測式（渡良瀬貯水池）

該当なし

※従来の予測手法（現況と将来の流入負荷量比から予測）を適用する

以上の検討結果、および従来までの検討手法も踏まえて、将来水質予測における運用方法を以下に整理する。現況水質（実測値）との齟齬がないように将来水質予測（目標値の設定）を行うため、現況から将来の差分（減少分もしくは増加分）を上記の関係式を用いて算定する考え方である。

手順①：将来の予測条件の設定（現行手法と同様）

流域のフレーム・負荷量の算定、水文・運用データの整理より以下の指標を設定

- ・ 水質汚濁負荷量（COD、T-N、T-P）：現況、将来
- ・ 流入水量：現況（＝将来）
- ・ 流入負荷量：現況、将来
- ・ 流入率：現況（＝将来）※流入負荷量／汚濁負荷量



手順②：湖内 T-N、T-P の予測

T-N)

$$\begin{aligned} \text{将来湖内 T-N} &= \text{現況湖内 T-N} + \text{現況から将来の湖内 T-N の変化分} \\ &= \text{現況湖内 T-N} + (\text{将来流入 T-N} \times 0.8142 - 1.0099) \\ &\quad - (\text{現況流入 T-N} \times 0.8142 - 1.0099) \\ &= \text{現況湖内 T-N} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況流入 T-N} \times 0.8142 \end{aligned}$$

※1) 検討した上記 T-N の予測式を踏まえ、湖内 T-N は流入 T-N の変化に対して 0.8142 の比率で変化すると想定

※2) 流入 T-N は流域の負荷量の変化に応じて変化すると想定

$$\text{将来流入 T-N} = \text{現況流入 T-N} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況流入 T-N}$$

T-P)

$$\text{将来湖内 T-P} = \text{現況湖内 T-P} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況湖内 T-P}$$

※1) 現行と同様の方法



手順③：湖内 Chl.a、湖内 COD の予測

Chl.a)

$$\text{現況湖内 Chl.a} = \text{現況流入 T-N} \times 38.39447 - \text{現況年流入量} \times 0.00053 - 31.2159$$

$$\text{将来湖内 Chl.a} = \text{将来流入 T-N} \times 38.39447 - \text{現況年流入量} \times 0.00053 - 31.2159$$

$$\text{※将来流入 T-N} = \text{現況流入 T-N} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況流入 T-N}$$

COD)

■年平均 COD

$$\text{将来湖内 COD} = \text{将来一次汚濁 COD} + \text{将来} \Delta \text{COD}$$

$$\text{将来一次汚濁 COD} = \text{将来流入 COD}$$

$$\text{将来流入 COD} = \text{現況流入 COD} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況流入 COD}$$

$$\text{将来} \Delta \text{COD} = \text{現況} \Delta \text{COD} + \text{変化分} \Delta \text{COD}$$

$$\text{現況} \Delta \text{COD} = \text{現況湖内 COD} - \text{現況流入 COD}$$

$$\text{変化分} \Delta \text{COD} = (\text{将来湖内 Chl.a} - \text{現況湖内 Chl.a}) \times 0.0474$$

■COD75%値

現行と同様の手法によって算定

現況水質との齟齬なく運用するには上記の方法となる。

(5) 荒川貯水池における水質予測手法の検討

1) 水域の水質特性の分析

荒川貯水池において収集した指標項目（表 8.15 参照）について、各項目間の相関分析を実施した。

相関分析結果（各項目間の相関係数）を表 8.16 に示す。

表 8.15 分析対象指標

区分	指標項目	説明	備考
湖内水質	①貯水池 COD	年度平均 COD	
	②貯水池 T-N	年度平均 T-N	2011 年欠測
	③貯水池 T-P	年度平均 T-P	
	④貯水池 Chl. a	年度平均 Chl. a	
水運用	⑤流入量	年度合計貯水池流入量（ダム諸量 DB）	
	⑥放流量	年度合計貯水池放流量（ダム諸量 DB）	
	⑦貯水量	年度平均貯水量（ダム諸量 DB）	
	⑧滞留日数	⑦／⑤×365	
流入水質	⑨流入水質 COD	年度平均 COD（秋ヶ瀬取水堰地点）	
	⑩流入水質 T-N	年度平均 T-N（秋ヶ瀬取水堰地点）	
	⑪流入水質 T-P	年度平均 T-P（秋ヶ瀬取水堰地点）	
	⑫流入負荷量 COD	年度合計 COD 負荷量（⑤×⑨）	
	⑬流入負荷量 T-N	年度合計 T-N 負荷量（⑤×⑩）	
	⑭流入負荷量 T-P	年度合計 T-P 負荷量（⑤×⑪）	
気象	⑮気温	年度平均気温（さいたま）	
	⑯降水量	年度合計降水量（さいたま）	
	⑰日照時間	年度合計日照時間（さいたま）	

※分析対象期間：1997～2017 年度（n=21）

最終的に予測が必要となる COD, T-N, T-P について、他の項目との相関関係を以下に示す。

- ・ COD、T-N、T-P は、それぞれ湖内 Chl.a との相関が高く、特に、COD と T-P について相関が高い。また、COD は T-P と相関が高い。この結果からは、湖内水質は植物プランクトンの内部生産との関係が考えられ、内部生産には窒素よりもりんの方が影響していることがうかがえる。
- ・ T-N については、流入 T-N と負の相関を示しているのが特徴的である。一方で、流入負荷量 T-N とは比較的高い正の相関関係にあり、流入水質ではなく流入負荷量が湖内水質を支配していると推察される。
- ・ T-P についても同様の傾向がみられる。

表 8.16 荒川貯水池における分析対象指標間の相関関係（相関係数 R）

R値	貯水池 COD	貯水池 T-N	貯水池 T-P	貯水池 Chl.a	流入量	放流量	貯水量	滞留日数	流入水質 COD	流入水質 T-N	流入水質 T-P	流入負荷 量COD	流入負荷 量T-N	流入負荷 量T-P	気温	降水量	日照時間
貯水池COD	1.00																
貯水池T-N	0.51	1.00															
貯水池T-P	0.75	0.85	1.00														
貯水池Chl.a	0.86	0.71	0.87	1.00													
流入量	0.55	0.63	0.74	0.66	1.00												
放流量	0.65	0.52	0.67	0.75	0.89	1.00											
貯水量	-0.05	-0.51	-0.41	-0.40	-0.51	-0.49	1.00										
滞留日数	-0.54	-0.52	-0.62	-0.61	-0.91	-0.82	0.52	1.00									
流入水質COD	0.30	0.36	0.33	0.31	0.35	0.30	-0.27	-0.32	1.00								
流入水質T-N	-0.64	-0.11	-0.28	-0.33	-0.26	-0.29	-0.29	0.34	-0.15	1.00							
流入水質T-P	-0.10	0.35	0.36	0.18	0.28	0.23	-0.27	-0.14	0.31	0.32	1.00						
流入負荷量COD	0.56	0.67	0.76	0.66	1.00	0.89	-0.60	-0.91	0.43	-0.26	0.31	1.00					
流入負荷量T-N	0.44	0.60	0.68	0.58	0.99	0.88	-0.65	-0.90	0.33	-0.13	0.33	0.98	1.00				
流入負荷量T-P	0.49	0.67	0.77	0.63	0.98	0.87	-0.62	-0.87	0.36	-0.18	0.42	0.98	0.98	1.00			
気温	0.40	0.09	0.23	0.32	0.27	0.38	0.10	-0.19	0.22	-0.52	-0.14	0.26	0.20	0.21	1.00		
降水量	-0.26	-0.10	-0.04	-0.14	0.05	-0.08	-0.04	0.02	-0.29	0.32	0.18	0.05	0.13	0.11	0.14	1.00	
日照時間	0.44	0.20	0.19	0.16	0.31	0.29	0.17	-0.24	0.25	-0.64	-0.24	0.31	0.23	0.24	0.35	-0.47	1.00

R値

	:0.7以上
	:0.5~0.7
	:0.3~0.5

表 8.17 分析対象指標一覧（荒川貯水池）

※項目黒字：年度平均値、項目赤字：年度合計値

年度		貯水池水質（干し上げ除外）				貯水池運用				流入水質			流入負荷量（計算値）			気象			備考
和暦	西暦	COD	T-N	T-P	Chl. a	流入量	放流量	貯水量	滞留日数	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P	気温	降水量	日照時間	
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(μg/L)	(千m ³ /年)	(千m ³ /年)	(千m ³ /年)	(日)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(t/年)	(t/年)	(t/年)	(℃)	(mm)	(時間)	
H9	1997	3.3	1.17	0.027	17.8	4576.6	4659.3	8637.6	688.9	3.40	2.91	0.106	15.55	13.31	0.48	15.05	1244.0	1870.6	
H10	1998	3.4	0.61	0.025	19.3	5343.8	5313.4	8649.3	590.8	3.40	2.90	0.113	18.15	15.50	0.61	15.31	1688.0	1534.9	
H11	1999	3.6	0.69	0.029	19.3	25069.0	28685.2	7198.9	104.8	3.33	2.73	0.108	83.35	68.52	2.71	15.44	1487.0	1957.8	
H12	2000	3.5	0.84	0.027	11.1	6942.2	1933.7	7597.0	399.4							15.00	1567.0	1823.3	
H13	2001	3.4	0.71	0.019	13.7	4790.9	4775.4	8712.2	663.7	2.82	2.59	0.094	13.50	12.38	0.45	15.26	1302.0	1970.4	
H14	2002	3.6	0.60	0.021	10.5	4796.1	4687.0	8671.5	659.9	3.02	2.57	0.084	14.47	12.31	0.40	14.54	1091.0	1934.3	
H15	2003	4.3	0.73	0.026	16.0	6728.0	4966.0	8662.1	469.9	2.79	2.77	0.082	18.78	18.65	0.55	14.80	1320.0	1689.2	
H16	2004	4.3	0.61	0.021	10.4	4793.5	4723.4	8911.2	678.5	3.09	2.50	0.080	14.82	11.98	0.38	15.43	1538.0	2088.7	
H17	2005	4.3	0.61	0.024	11.8	4823.7	4857.7	10005.9	757.1	3.04	2.52	0.113	14.67	12.14	0.55	14.76	1334.0	1963.4	
H18	2006	4.2	0.59	0.024	10.1	4609.4	4631.6	10001.8	792.0	2.98	2.75	0.088	13.71	12.68	0.40	15.41	1634.0	1764.8	
H19	2007	4.2	0.48	0.023	9.3	8423.1	3882.2	9760.9	423.0	3.41	2.54	0.094	28.71	21.41	0.80	14.96	1211.0	2102.6	
H20	2008	3.7	0.56	0.022	10.0	6862.1	6882.4	9960.1	529.8	1.91	2.47	0.092	13.10	16.93	0.63	15.17	1642.5	1872.7	
H21	2009	4.2	0.59	0.022	11.6	8157.0	8078.9	9729.4	435.4	3.44	2.21	0.103	28.07	18.01	0.84	15.23	1292.5	1851.9	
H22	2010	4.4	0.65	0.026	14.1	4808.3	4930.5	9933.5	754.1	3.22	2.43	0.098	15.47	11.70	0.47	15.66	1293.5	2230.7	
H23	2011	5.3	0.79	0.030	25.5	14530.8	14325.2	9632.0	241.9	3.20	2.43	0.094	46.50	35.24	1.37	15.19	1462.5	2010.1	
H24	2012	5.6	0.82	0.029	22.2	8625.6	15715.9	8906.6	376.9	3.24	2.24	0.090	27.96	19.34	0.78	15.42	1042.0	2241.5	
H25	2013	4.8	0.91	0.027	19.0	21103.2	14408.6	9091.8	157.3	3.34	2.23	0.083	70.52	47.13	1.76	15.49	1392.0	2227.7	
H26	2014	4.8	0.66	0.021	12.7	6187.1	6138.2	9913.6	584.8	3.33	2.13	0.083	20.62	13.15	0.52	15.38	1390.5	2188.5	
H27	2015	4.5	0.58	0.026	13.6	6353.9	6377.3	9923.9	570.1	3.16	2.00	0.085	20.07	12.73	0.54	16.00	1307.0	2002.7	
H28	2016	8.1	1.12	0.058	72.2	20465.6	27507.2	8220.8	146.6	3.33	2.08	0.090	68.22	42.64	1.85	15.68	1248.0	2021.9	
H29	2017	6.1	1.57	0.072	45.3	27928.8	20917.6	8056.9	105.3	3.49	2.34	0.117	97.52	65.40	3.27	15.29	1433.5	2116.6	
平均		4.5	0.76	0.028	18.8	9805.6	9447.5	9056.1	482.4	3.15	2.47	0.095	32.19	24.06	0.97	15.26	1377.1	1974.5	

2) 水質予測手法の検討

前項の分析結果より、類型指定の検討において将来予測が必要となる項目（COD、T-N、T-P）について、水質予測手法の視点から摘要する。

なお、前提として、将来予測を行うにあたって変化として与え得る条件は流域の負荷（流入水質とほぼ同義）のみであり、気象や水文条件が当該貯水池の水質に影響していたとしても、結局予測の際はその変数は現況と同じと扱わざるを得ないことに留意する必要がある。

- ・ COD については、湖内 Chl.a との相関が高く、内部生産の影響が無視できないと考えられることから、既往事例も参考に内部生産の影響を考慮した手法を用いる。
- ・ T-N、T-P については、流入負荷量と比較的高い正の相関を示していることから、これらの項目を説明変数とした予測手法を用いる。

以上を踏まえ、荒川貯水池における湖内の COD、T-N、T-P の水質予測手法を検討する。

7) 湖内 COD の予測

湖内 COD と Chl. a の関係を図 8.38 に示す。

良好な相関関係を呈しているとともに、一次汚濁 COD と解される Y 切片（≒3.2）は、検討対象期間における流入 COD（≒3.2）とほぼ等しく、想定している関係（湖内 COD＝一次汚濁 COD＋ΔCOD）が成立していると考えられる。

以上より、荒川貯水池の COD 予測式は、以下の通りとする。

■COD の予測式（荒川貯水池）

$$\text{湖内 COD} = \text{一次汚濁 COD} + \Delta \text{COD}$$

$$\text{一次汚濁 COD} = \text{流入 COD}$$

$$\Delta \text{COD} = \text{湖内 Chl.a} \times 0.0657$$

なお、湖内 COD と流入 COD の関係を図 8.39 に示すが、有意な相関関係は認められない。

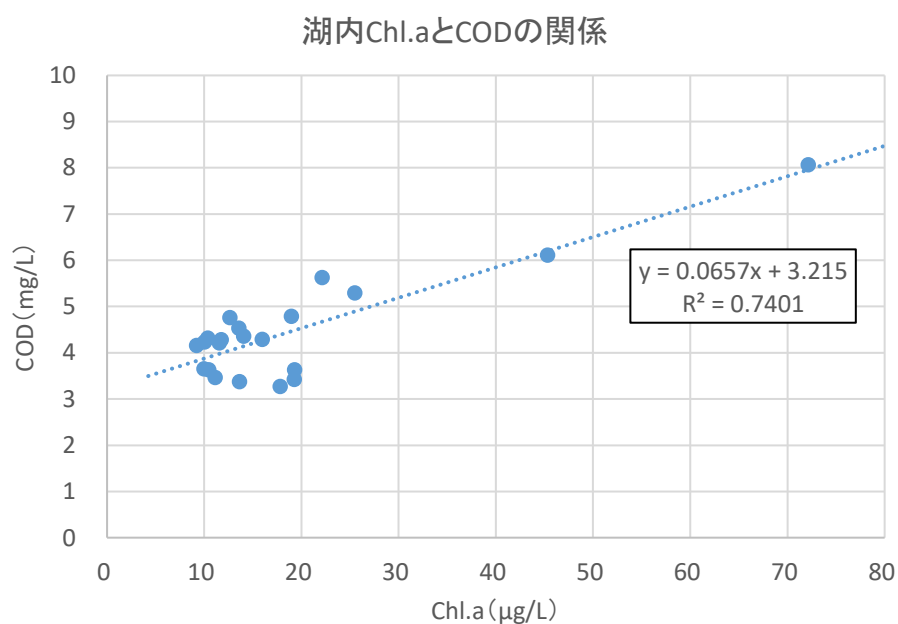


図 8.38 湖内 COD と Chl. a の関係（荒川貯水池）

■ 回帰分析結果

湖内Chl.a～湖内COD

回帰統計	
重相関 R	0.8603
重決定 R ²	0.7401
補正 R ²	0.7264
標準誤差	0.5841
観測数	21

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	18.4603	18.4603	54.1001	0.0000
残差	19	6.4833	0.3412		
合計	20	24.9436			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	3.21496	0.2110	15.2371	4.E-12	2.7733	3.6566	2.7733	3.6566
貯水池Chl.a	0.065703	0.0089	7.3553	6.E-07	0.0470	0.0844	0.0470	0.0844

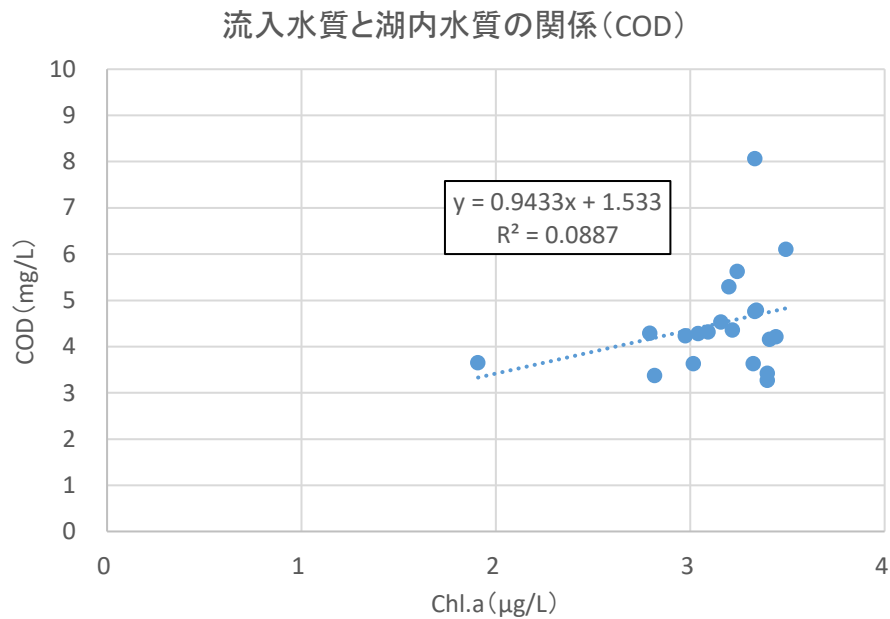


図 8.39 (参考) 湖内 COD と流入 COD の関係 (荒川貯水池)

■ 回帰分析結果

湖内COD～流入水質COD

回帰統計	
重相関 R	0.2978
重決定 R2	0.0887
補正 R2	0.0380
標準誤差	1.1006
観測数	20

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	2.1214	2.1214	1.7514	0.2023
残差	18	21.8034	1.2113		
合計	19	23.9248			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	1.533026	2.2561	0.6795	0.5055	-3.2069	6.2729	-3.2069	6.2729
X 値 1	0.943256	0.7128	1.3234	0.2023	-0.5542	2.4407	-0.5542	2.4407

4) 湖内 Chl. a の予測

湖内 COD の予測に湖内 Chl. a の予測が必要となることから Chl. a の予測式について検討する。

表 8.13 に示した項目間の相関関係を見ると、湖内 Chl. a と相関の比較的高い項目としては、流入量および放流量（正の相関）、滞留日数（負の相関）、流入負荷量（正の相関）が挙げられる。

流入量、放流量、滞留日数については、単体の項目では、実現象と対応していない関係（滞留日数が長いほど Chl. a が低くなる）である。

流入負荷量については、先に述べた通り、荒川貯水池においては、流入水質よりも流入負荷量が湖内水質に対して支配的であると考えられる、つまり、高い水質濃度の水が流入することではなく、供給される負荷量が水質を規定していると捉えることができる。

以上より、流入負荷量（T-N、T-P）を説明変数とした予測式について検討した。

説明変数に相関の強い流入負荷量 T-P のみを用いた場合と、流入負荷量（T-N、T-P）の両方を用いた場合の検討結果を、それぞれ回帰分析結果①（P5-35）、回帰分析結果②（P5-36）に示す。

予測の再現性（予測値と実測値の R^2 値）はほぼ同様であるが、T-N, T-P の 2 変数とした場合において、T-N の P-値がやや大きく統計的有意性が確保できていないことや係数値が負の値（T-N 負荷量が小さい方が Chl. a 濃度が高くなる）となっていることを踏まえ、荒川貯水池の Chl. a 予測式は、以下の通りとする。

■Chl.a の予測式（荒川貯水池）：回帰分析結果①（P5-35） ※採用

$$\text{湖内 Chl.a} = \text{流入負荷量 T-P} \times 11.49274 + 8.09614$$

※Chl. a の実測値と上式による予測値の相関： $R^2=0.7806$

■Chl.a の予測式（渡良瀬貯水池）：回帰分析結果②（P5-36） ※不採用

$$\text{湖内 Chl.a} = \text{流入負荷量 T-P} \times 31.74553 - \text{流入負荷量 T-N} \times 0.93691 + 11.05510$$

※Chl. a の実測値と上式による予測値の相関： $R^2=0.796$

■回帰分析結果①

湖内Chl.a～流入負荷量T-P

回帰統計	
重相関 R	0.6298
重決定 R ²	0.3966
補正 R ²	0.3631
標準誤差	11.8858
観測数	20

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	1671.390	1671.390	11.831	0.0029
残差	18	2542.881	141.271		
合計	19	4214.271			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	8.09614	4.1831	1.9354	0.0688	-0.6923	16.8846	-0.6923	16.8846
流入負荷量T-P	11.49274	3.3413	3.4396	0.0029	4.4730	18.5125	4.4730	18.5125

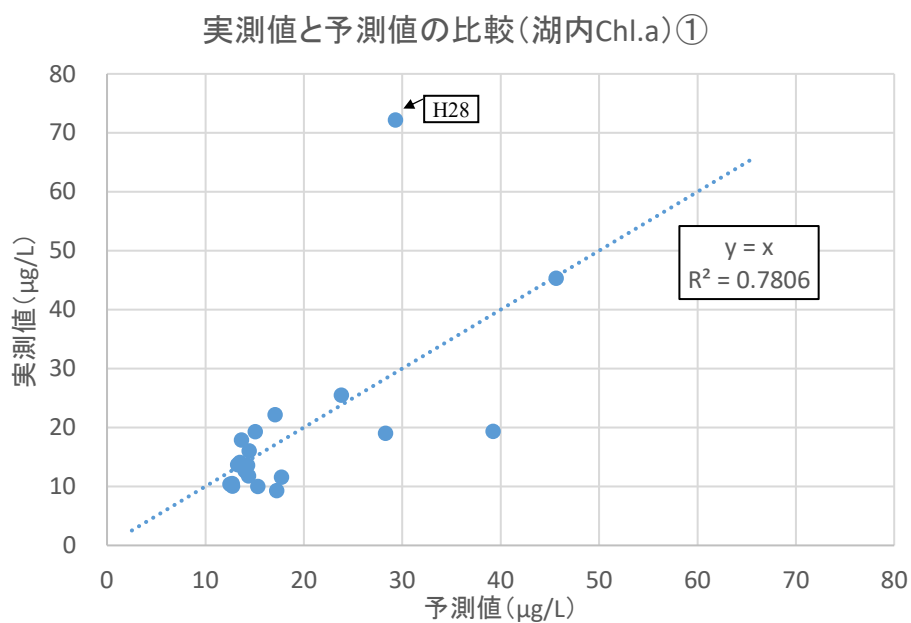


図 8.40 上記の関係から予測した湖内 Chl. a と実測 Chl. a の関係 (荒川貯水池)

(参考) H28 夏季～秋季に継続して高濃度の Chl.a 値を観測

■ 回帰分析結果②

湖内Chl.a～流入負荷量T-P、流入負荷量T-N

回帰統計	
重相関 R	0.6624
重決定 R ²	0.4387
補正 R ²	0.3727
標準誤差	11.7959
観測数	20

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	1848.835	924.417	6.6436	0.0074
残差	17	2365.437	139.143		
合計	19	4214.271			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	11.05510	4.9092	2.2519	0.0378	0.6975	21.4127	0.6975	21.4127
流入負荷量T-P	31.74553	18.2383	1.7406	0.0998	-6.7339	70.2250	-6.7339	70.2250
流入負荷量T-N	-0.93691	0.8297	-1.1293	0.2745	-2.6873	0.8135	-2.6873	0.8135

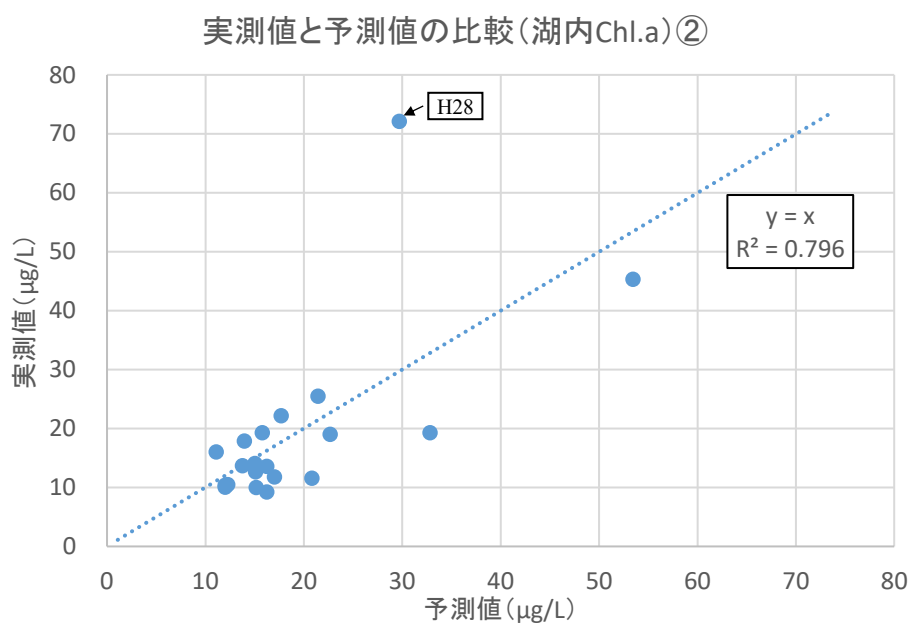


図 8.41 上記の関係から予測した湖内 Chl. a と実測 Chl. a の関係 (荒川貯水池)

(参考) H28 夏季～秋季に継続して高濃度の Chl.a 値を観測

ウ) 湖内 T-N の予測

表 8.13 に示した項目間の相関関係を見ると、湖内 T-N と相関の比較的高い項目としては、流入量および放流量（正の相関）、貯水量および滞留日数（負の相関）、流入負荷量（正の相関）が挙げられる。

流入量、放流量、滞留日数については、単体の項目では、実現象と対応していない関係（滞留日数が長いほど水質が低くなる）である。また、貯水量との関係は水質形成機構の面で解釈が難しい。

流入負荷量については、先に述べた通り、荒川貯水池においては、流入水質よりも流入負荷量が湖内水質に対して支配的であると考えられる、つまり高い水質濃度の水が流入することではなく、供給される負荷量が水質を規定していると捉えることができる。

検討結果を図 8.42 に示す。

有意な分析結果が得られたことから、渡良瀬貯水池の T-N 予測式は、以下の通りとする。

■ T-N の予測式（荒川貯水池）

$$\text{湖内 T-N} = \text{流入負荷量 T-N} \times 0.008785 + 0.5403$$

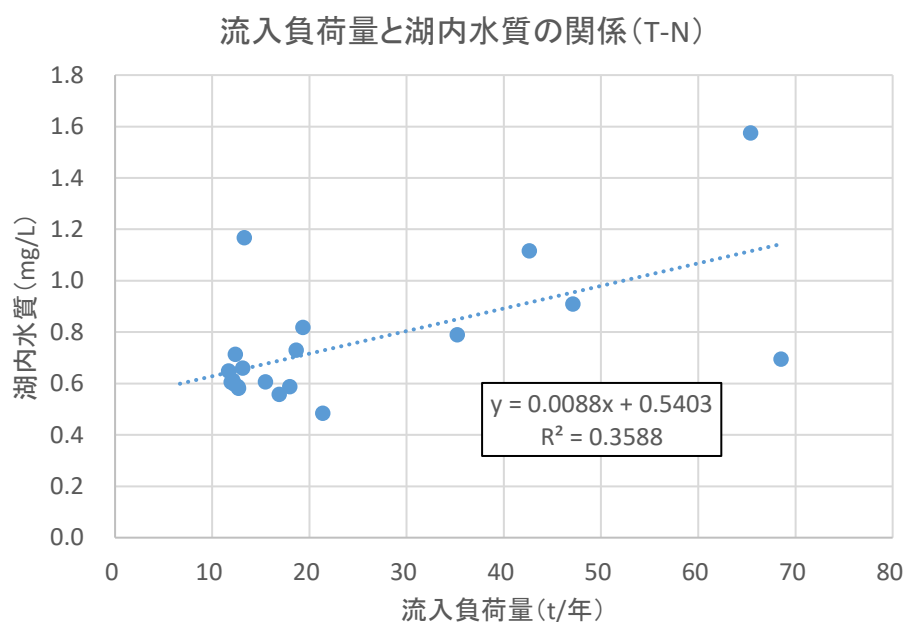


図 8.42 湖内 T-N と流入負荷量 T-N の関係 (荒川貯水池)

■ 回帰分析結果

湖内 T-N ~ 流入負荷量 T-N

回帰統計	
重相関 R	0.5990
重決定 R ²	0.3588
補正 R ²	0.3232
標準誤差	0.2165
観測数	20

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	0.4719	0.4719	10.0726	0.0053
残差	18	0.8433	0.0469		
合計	19	1.3152			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	0.540323	0.0823	6.5637	4.E-06	0.3674	0.7133	0.3674	0.7133
流入負荷量 T-N	0.008785	0.0028	3.1737	5.E-03	0.0030	0.0146	0.0030	0.0146

エ) 湖内 T-P の予測

表 8.13 に示した項目間の相関関係を見ると、湖内 T-P と相関の比較的高い項目としては、流入量および放流量（正の相関）、滞留日数（負の相関）、流入負荷量（正の相関）が挙げられる。

流入量、放流量、滞留日数については、単体の項目では、実現象と対応していない関係（滞留日数が長いほど水質が低くなる）である。

流入負荷量については、先に述べた通り、荒川貯水池においては、流入水質よりも流入負荷量が湖内水質に対して支配的であると考えられる、つまり高い水質濃度の水が流入することではなく、供給される負荷量が水質を規定していると捉えることができる。

検討結果を図 8.43 に示す。

有意な分析結果が得られたことから、荒川貯水池の T-P 予測式は、以下の通りとする。

■ T-P の予測式（荒川貯水池）

$$\text{湖内 T-P} = \text{流入 T-P 負荷量} \times 0.012343 + 0.0166$$

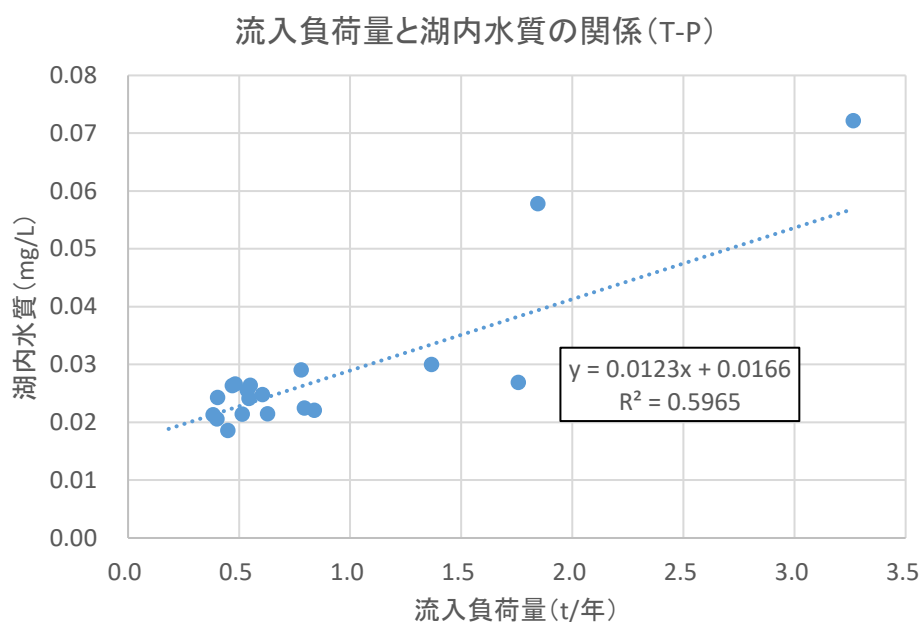


図 8.43 湖内 T-P と流入負荷量 T-P の関係 (荒川貯水池)

■ 回帰分析結果

湖内 T-P ~ 流入負荷量 T-P

回帰統計	
重相関 R	0.7723
重決定 R ²	0.5965
補正 R ²	0.5741
標準誤差	0.0085
観測数	20

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	0.0019	0.0019	26.6064	0.0001
残差	18	0.0013	0.0001		
合計	19	0.0032			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	0.016602	0.0030	5.5416	3.E-05	0.0103	0.0229	0.0103	0.0229
流入負荷量 T-P	0.012343	0.0024	5.1581	7.E-05	0.0073	0.0174	0.0073	0.0174

3) 将来水質予測における運用方法の検討

以上で検討した水質予測手法を踏まえ、類型指定の検討において用いる手法を検討する。

上記で検討した予測手法を以下に摘要する。

■COD の予測式（荒川貯水池）

$$\text{湖内 COD} = \text{一次汚濁 COD} + \Delta \text{COD}$$

$$\text{一次汚濁 COD} = \text{流入 COD}$$

$$\Delta \text{COD} = \text{湖内 Chl.a} \times 0.0657$$

$$\text{湖内 Chl.a} = \text{流入負荷量 T-P} \times 11.49274 + 8.09614$$

■T-N の予測式（荒川貯水池）

$$\text{湖内 T-N} = \text{流入 T-N 負荷量} \times 0.008785 + 0.5403$$

■T-P の予測式（荒川貯水池）

$$\text{湖内 T-P} = \text{流入 T-P 負荷量} \times 0.012343 + 0.0166$$

以上の検討結果、および従来までの検討手法も踏まえて、将来水質予測における運用方法を以下に整理する。現況水質（実測値）との齟齬がないように将来水質予測（目標値の設定）を行うため、現況から将来の差分（減少分もしくは増加分）を上記の関係式を用いて算定する考え方である。

手順①：将来の予測条件の設定（現行手法と同様）

流域のフレーム・負荷量の算定、水文・運用データの整理より以下の指標を設定

- ・ 水質汚濁負荷量（COD、T-N、T-P）：現況、将来
- ・ 流入水量：現況（＝将来）
- ・ 流入負荷量：現況、将来
- ・ 流入率：現況（＝将来）※流入負荷量／汚濁負荷量



手順②：湖内 T-N、T-P の予測

T-N)

$$\text{将来湖内 T-N} = \text{現況湖内 T-N} + (\text{将来 T-N 負荷量} - \text{現況 T-N 負荷量}) \times 0.008785$$

※1) 検討した上記 T-N の予測式を踏まえ、湖内 T-N は流入 T-N 負荷量の変化に対して 0.008785 の比率で変化すると想定

T-P)

$$\text{将来湖内 T-P} = \text{現況湖内 T-P} + (\text{将来 T-P 負荷量} - \text{現況 T-P 負荷量}) \times 0.012343$$

※1) 検討した上記 T-P の予測式を踏まえ、湖内 T-P は流入 T-P 負荷量の変化に対して 0.012343 の比率で変化すると想定



手順③：湖内 Chl.a、湖内 COD の予測

Chl.a)

$$\text{現況湖内 Chl.a} = \text{現況流入 T-P 負荷量} \times 11.49274 + 8.09614$$

$$\text{将来湖内 Chl.a} = \text{将来流入 T-P 負荷量} \times 11.49274 + 8.09614$$

COD)

■年平均 COD

$$\text{将来湖内 COD} = \text{将来一次汚濁 COD} + \text{将来} \Delta \text{COD}$$

$$\text{将来一次汚濁 COD} = \text{将来流入 COD}$$

$$\text{将来流入 COD} = \text{現況流入 COD} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況流入 COD}$$

$$\text{将来} \Delta \text{COD} = \text{現況} \Delta \text{COD} + \text{変化分} \Delta \text{COD}$$

$$\text{現況} \Delta \text{COD} = \text{現況湖内 COD} - \text{現況流入 COD}$$

$$\text{変化分} \Delta \text{COD} = (\text{将来湖内 Chl.a} - \text{現況湖内 Chl.a}) \times 0.0657$$

■COD75%値

現行と同様の手法によって算定

現況水質との齟齬なく運用するには上記の方法となる。

8.5 新たな手法による渡良瀬貯水池・荒川貯水池における水質予測の試行

前節で検討した水質予測手法による水質予測を試行するものとし、従来手法（資料 7）との予測結果の比較を行う。

従来の「現況と将来の負荷量比で予測を行う手法」と、今回検討した予測手法による予測結果を比較し、下表に示す。

新たな手法による予測結果は従来手法による予測結果と比べて大きな差異はみられない。

これは、考慮している将来変化は流入負荷量のみであり、流入負荷量の変化がさほど大きくない場合は、将来予測値も現況から大きく変化することはないためと考えられる。

表 8.18 予測結果比較（従来手法と今回手法，渡良瀬貯水池）

単位:mg/L

項目	現況 (H28～R2)	将来予測(R9)結果			目標水質	
		従来手法	今回手法	備考	暫定目標	環境基準
湖内COD(年平均値)	6.3	6.0	5.8	従来手法も適用可(統計的に有意な関係)		
湖内COD(75%値)	6.9 (6.87)	6.5 (6.46)	6.2 (6.18)		5.5	3.0
湖内T-N(年平均値)	1.3 (1.2600)	1.2 (1.1766)	1.1 (1.1161)	従来手法も適用可(統計的に有意な関係)	1.0	0.4
湖内T-P(年平均値) ※今回手法＝従来手法	0.110 (0.1100)	0.103 (0.1034)	0.103 (0.1034)	従来手法は統計的に有意でないが、新たに有意な式が得られなかったため従来手法を適用	0.078	0.030

表 8.19 予測結果比較（従来手法と今回手法，荒川貯水池）

単位:mg/L

項目	現況 (H28～R2)	将来予測(R9)結果			目標水質	
		従来手法	今回手法	備考	暫定目標	環境基準
湖内COD(年平均値)	5.2	5.0	4.9	従来手法は統計的に有意でない		
湖内COD(75%値)	5.7 (5.72)	5.4 (5.44)	5.4 (5.41)		3.7	3.0
湖内T-N(年平均値)	1.2 (1.21)	1.1 (1.11)	1.2 (1.181)	従来手法は統計的に有意でない(予測対象外)		
湖内T-P(年平均値)	0.058 (0.0576)	0.053 (0.0525)	0.055 (0.0554)	従来手法は統計的に有意でない	—	0.030

次項以降に水域毎に手順を追って実施した予測計算過程・結果の詳細を示す。

(1) 渡良瀬貯水池

1) T-N、T-P の予測（渡良瀬貯水池）

予測式及び予測結果を以下に示す。

【予測式】

T-N)

$$\begin{aligned}
 \text{将来湖内 T-N} &= \text{現況湖内 T-N} + \text{現況から将来の湖内 T-N の変化分} \\
 &= \text{現況湖内 T-N} + (\text{将来流入 T-N} \times 0.8142 - 1.0099) \\
 &\quad - (\text{現況流入 T-N} \times 0.8142 - 1.0099) \\
 &= \text{現況湖内 T-N} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況流入 T-N} \times 0.8142
 \end{aligned}$$

※1) 検討した上記 T-N の予測式を踏まえ、湖内 T-N は流入 T-N の変化に対して 0.8142 の比率で変化すると想定

※2) 流入 T-N は流域の負荷量の変化に応じて変化すると想定

$$\text{将来流入 T-N} = \text{現況流入 T-N} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況流入 T-N}$$

T-P)

$$\text{将来湖内 T-P} = \text{現況湖内 T-P} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況湖内 T-P}$$

※1) 現行と同様の方法

【予測結果】

T-N)

現況湖内T-N	(mg/L)	1.3
現況流入T-N	(mg/L)	2.7
現況T-N流入負荷量	(t/年)	116.0
将来T-N流入負荷量	(t/年)	108.3
(将来負荷量-現況負荷量)/現況負荷量		-0.066
将来湖内T-N(年平均値)	(mg/L)	1.1

T-P)

現況湖内T-P	(mg/L)	0.110
現況T-P流入負荷量	(t/年)	6.9
将来T-P流入負荷量	(t/年)	6.5
(将来負荷量-現況負荷量)/現況負荷量		-0.060
将来湖内T-P(年平均値)	(mg/L)	0.103

2) COD の予測（渡良瀬貯水池）

予測式及び予測結果を以下に示す。

【予測式】

Chl.a)

$$\text{現況湖内 Chl.a} = \text{現況流入 T-N} \times 38.39447 - \text{現況年流入量} \times 0.00053 - 31.2159$$

$$\text{将来湖内 Chl.a} = \text{将来流入 T-N} \times 38.39447 - \text{現況年流入量} \times 0.00053 - 31.2159$$

$$\text{※将来流入 T-N} = \text{現況流入 T-N} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況流入 T-N}$$

COD)

■年平均 COD

$$\text{将来湖内 COD} = \text{将来一次汚濁 COD} + \text{将来} \Delta \text{COD}$$

$$\text{将来一次汚濁 COD} = \text{将来流入 COD}$$

$$\text{将来流入 COD} = \text{現況流入 COD} + \frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}} \times \text{現況流入 COD}$$

$$\text{将来} \Delta \text{COD} = \text{現況} \Delta \text{COD} + \text{変化分} \Delta \text{COD}$$

$$\text{現況} \Delta \text{COD} = \text{現況湖内 COD} - \text{現況流入 COD}$$

$$\text{変化分} \Delta \text{COD} = (\text{将来湖内 Chl.a} - \text{現況湖内 Chl.a}) \times 0.0474$$

■COD75%値

$$\text{現行と同様の手法によって算定} \quad (75\% \text{値} = \text{年平均値} \times 1.35016 - 1.6164)$$

【予測結果】

現況流入T-N	(mg/L)	2.7
将来流入T-N	(mg/L)	2.5
現況年流入量	(千m ³ /年)	43,204
現況湖内Chl.a	(μg/L)	48.4
将来湖内Chl.a	(μg/L)	41.6
現況湖内COD	(mg/L)	6.3
現況流入COD	(mg/L)	4.0
現況ΔCOD	(mg/L)	2.3
変化分ΔCOD	(mg/L)	-0.3
将来ΔCOD	(mg/L)	2.0
現況COD流入負荷量	(t/年)	174.3
将来COD流入負荷量	(t/年)	165.7
(将来負荷量-現況負荷量)/現況負荷量		-0.049
将来流入COD(一次汚濁COD)	(mg/L)	3.8
将来湖内COD(年平均値)	(mg/L)	5.8
将来湖内COD(75%値)	(mg/L)	6.2

(2) 荒川貯水池

1) T-N、T-P の予測（荒川貯水池）

予測式及び予測結果を以下に示す。

【予測式】

手順②：湖内 T-N、T-P の予測

T-N)

将来湖内 T-N = 現況湖内 T-N + (将来 T-N 負荷量 - 現況 T-N 負荷量) × 0.008785

※1) 検討した上記 T-N の予測式を踏まえ、湖内 T-N は流入 T-N 負荷量の変化に対して 0.008785 の比率で変化すると想定

T-P)

将来湖内 T-P = 現況湖内 T-P + (将来 T-P 負荷量 - 現況 T-P 負荷量) × 0.012343

※1) 検討した上記 T-P の予測式を踏まえ、湖内 T-P は流入 T-P 負荷量の変化に対して 0.012343 の比率で変化すると想定

【予測結果】

T-N)

現況湖内T-N	(mg/L)	1.21
現況T-N流入負荷量	(t/年)	40.4
将来T-N流入負荷量	(t/年)	37.0
将来湖内T-N(年平均値)	(mg/L)	1.18

T-P)

現況湖内T-P	(mg/L)	0.058
現況T-P流入負荷量	(t/年)	1.93
将来T-P流入負荷量	(t/年)	1.76
将来湖内T-P(年平均値)	(mg/L)	0.055

2) COD の予測（渡良瀬貯水池）

予測式及び予測結果を以下に示す。

【予測式】

手順③：湖内 Chl.a、湖内 COD の予測

Chl.a)

現況湖内 Chl.a = 現況流入 T-P 負荷量 × 11.49274 + 8.09614

将来湖内 Chl.a = 将来流入 T-P 負荷量 × 11.49274 + 8.09614

COD)

■年平均 COD

将来湖内 COD = 将来一次汚濁 COD + 将来 Δ COD

将来一次汚濁 COD = 将来流入 COD

将来流入 COD = 現況流入 COD + $\frac{(\text{将来負荷量} - \text{現況負荷量})}{\text{現況負荷量}}$ × 現況流入 COD

将来 Δ COD = 現況 Δ COD + 変化分 Δ COD

現況 Δ COD = 現況湖内 COD - 現況流入 COD

変化分 Δ COD = (将来湖内 Chl.a - 現況湖内 Chl.a) × 0.0657

■COD75%値

現行と同様の手法によって算定 (75%値 = 年平均値 × 1.02476 + 0.38445)

【予測結果】

現況流入T-P負荷量	(t/年)	1.93
将来流入T-P負荷量	(t/年)	1.76
現況湖内Chl.a	(μ g/L)	30.3
将来湖内Chl.a	(μ g/L)	28.3
現況湖内COD	(mg/L)	5.2
現況流入COD	(mg/L)	3.3
現況 Δ COD	(mg/L)	1.9
変化分 Δ COD	(mg/L)	-0.1
将来 Δ COD	(mg/L)	1.8
現況COD流入負荷量	(t/年)	61.7
将来COD流入負荷量	(t/年)	58.6
(将来負荷量-現況負荷量)/現況負荷量		-0.051
将来流入COD（一次汚濁COD）		3.1
将来湖内COD（年平均値）		4.9
将来湖内COD（75%値）		5.4