

シミュレーションによる 釜房ダム貯水池水質予測について

令和 4 年 7 月

目 次

1. 水質改善効果の予測	1
1.1 水質予測モデル.....	1
1.2 流入負荷量条件.....	4
1.3 現況における水質予測モデルの確認.....	6
1.4 将来水質濃度の予測.....	26
1.5 将来水質目標の設定方法の考え方（案）.....	28
2. 数値シミュレーション結果から 2-MIB 濃度を推定する方法(案)について	30
2.1 使用データ.....	30
2.2 2-MIB 濃度の推定手法の構築.....	30
2.3 藍藻類の数の推定手法の構築.....	34

1. 水質改善効果の予測

第 7 期水質保全計画の負荷削減対策による水質改善効果をシミュレーションモデルによって予測した。

1.1 水質予測モデル

使用した水質予測モデルは、「流動モデル」と「生態系モデル」の 2 つのモデルから構成される。

(1) 流動モデル : 流れ・水位・水温の計算を行うモデル

(2) 生態系モデル : 窒素・リンなどの栄養塩とプランクトンといった生物・化学的な項目を計算するモデル

生態系モデルは、主に流動モデルの計算条件及び計算結果を用いて計算を行う。生態系モデルのみで設定する条件としては、初期水質濃度、モデルパラメータ、流入負荷量となる。初期水質濃度は計算開始日時に近い実測値を用い、モデルパラメータについては、既存知見を基に、現況再現性を考慮しながら設定を行った。

水質予測モデルの構造、計算条件は表 1.1-1 に示すとおりである。

表 1.1-1(1) 本検討モデルと計算条件

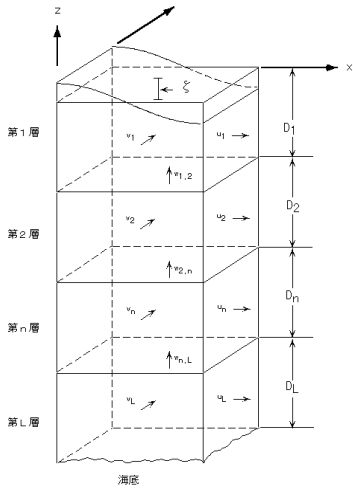
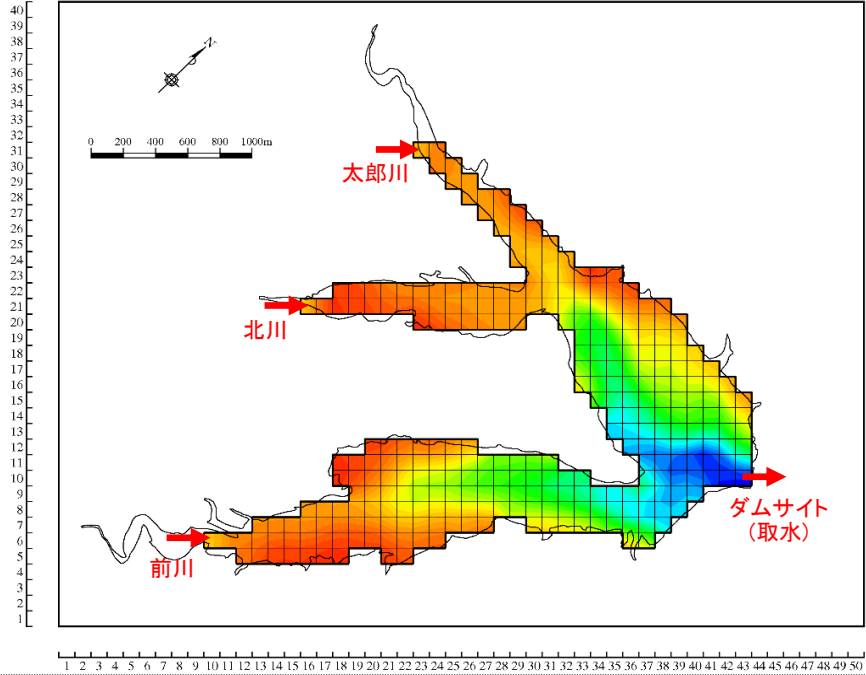
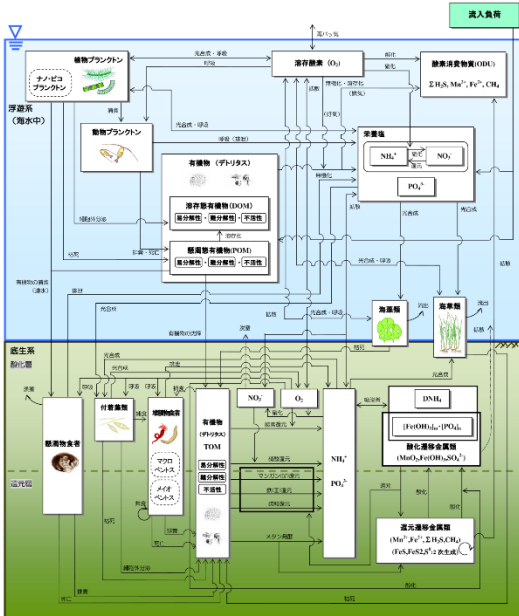

項目		本検討モデル
地形・ 解像度	モデル	<p>3次元モデル(静水圧近似)</p>  <p>(モデルの概念図)</p>
	測量データ	令和2年測量
	計算メッシュ図	
	水平格子	100m×100m
	層分割	第1層(水面に接する層): 層厚可変 第2層~第13層: 1~2m
計算年度		平成27(2015)年度, 平成28(2016)年度, 平成29(2017)年度, 平成30(2018)年度, 令和元(2019)年度, 令和2(2020)年度, 令和3(2021)年度
計算項目	流動モデル	水位, 流向・流速, 水温

表 1.1-1(2) 本検討モデルと計算条件

項目		本検討モデル	
	水質モデル	 <p>※水質-底質結合生態系モデル</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) PO₄-P (リン酸態リン) 2) NH₄-N (アンモニア態窒素) 3) NO₃-N (硝酸態窒素) 4) POP (懸濁態有機リン) 5) PON (懸濁態有機窒素) 6) POC (懸濁態炭素) 7) DOP (溶存態有機リン) 8) DON (溶存態有機窒素) 9) DOC (溶存態炭素) <p>※4)~9)は、易分解性、難分解性、不活性に分類する</p> <ol style="list-style-type: none"> 10) 植物プランクトン (クロロフィル-a で評価する) 11) 動物プランクトン 12) DO (溶存酸素) 13) 底質 <p>※COD=POC+DOC+プランクトン態 COD とし算出</p>
気象条件 (熱収支算定)	<p>気温 : 釜房ダム地点観測データ</p> <p>風速 : 釜房ダム地点観測データ</p> <p>相対湿度 : 釜房ダム地点観測データ</p> <p>雲量 : 仙台気象台</p> <p>全天日射量 : 仙台気象台</p>		
流入出条件	河川流量	対象河川 : 前川, 北川, 太郎川	
	河川水温	仙台気象台の3日移動平均気温との相関により設定	
	放流量	ダム管理データの放流量	
	流入負荷量	第6期の手法を踏襲して、北川における過去の降雨時のデータや既往の研究事例(二瓶ら) ^{※1} を参照し、降雨時のL-Q式を土地利用状況から推定し設定した。また、直接流入域からの負荷については、農業用地の負荷を考慮している。なお、項目はCOD, 窒素, リンとしている。	
水質保全施設	深層曝気	深層曝気設備1基を運用実績に基づき設定。	
	曝気循環施設	<p>散気管から発生した空気泡から上昇する流れ(内部ブルーム)と水面に達した水が密度差により沈降する下降流(外部ブルーム)で構成される <i>double plume model</i> ^{※2} で表現。常用曝気設備×4基, 夏季強循環曝気設備×6基について、運用実績を考慮して設定。</p>	
	曝気装置設置状況	 <p>(出典) 釜房ダム Web サイト</p>	

※1 二瓶康雄, 田中辰弥, 滝岡健太郎 (2010) : 出水時水質データがない河川におけるL-Q式推定法の一提案, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 66, No. 1, pp. 1176-1180.

※2 Asaeda and Imberger : Structure of Bubble Plumes in Linearly Stratified Environment, J. Fluid Mech, 1993, Vol. 249, pp. 35-37.

1.2 流入負荷量条件

流入負荷量条件は、河川からの流入水量と河川での実測水質濃度から算定した。排出負荷量はフレーム値の変化により変動し、数年単位の範囲では大きく変動することはないが、流入負荷量は気象条件により年ごとに大きく変動する。生態系モデルの計算条件として用いた流入水量を図 1.2-1 に、COD, T-N, T-P の 3 河川（太郎川, 北川, 前川）の流入負荷量を図 1.2-2 にそれぞれ示す。これによると、気象条件により流入水量は大きく変動し、これに伴い流入負荷量も変動するが、その変動は、河川と項目により若干異なる傾向を示している。これは流域の土地利用や負荷量の発生要因の差に起因するものと考えられる。

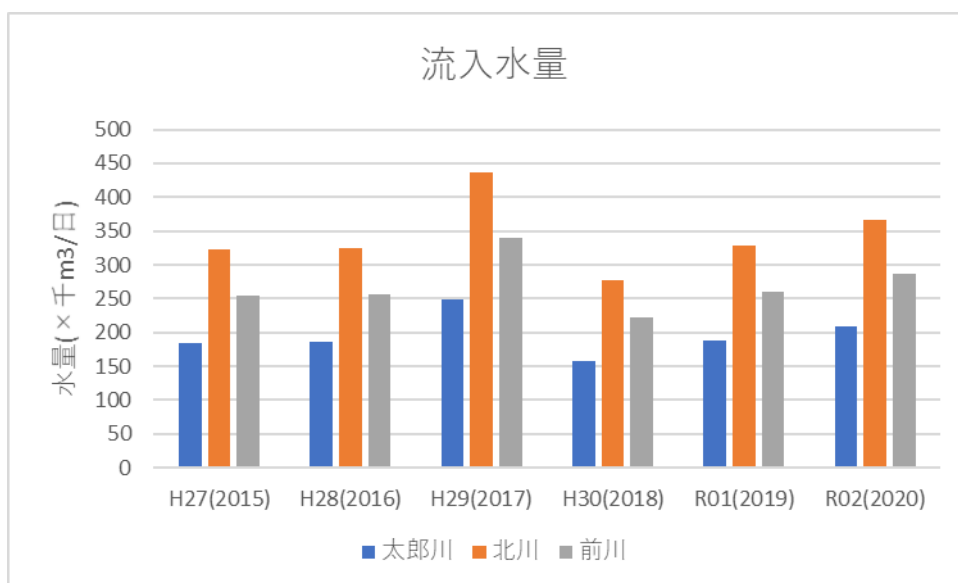


図 1.2-1 計算に用いた流入水量

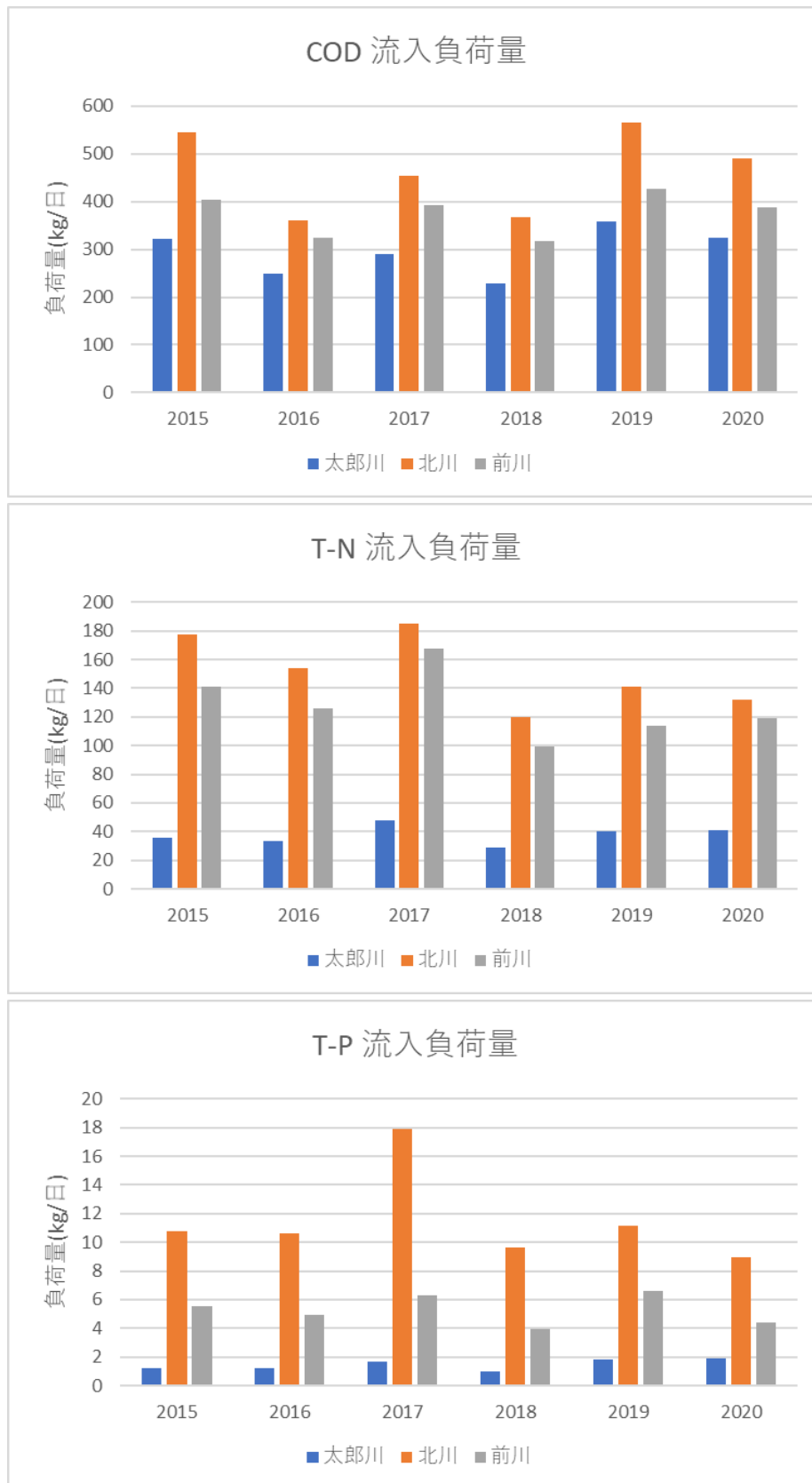


図 1.2-2 計算に用いた流入負荷量

1.3 現況における水質予測モデルの確認

現況における水質予測モデルを確認するために実測値と計算値の比較を行い、良好な再現性が得られるようにパラメータ(諸係数)の見直しを行った。

モデルによる現況計算の結果の確認は、以下の方法とした。

- ・これまでと同様な時系列図による実測値と計算値との比較
- ・客観的な評価指標値を算出
- ・環境基準である COD, T-N, T-P については、COD 年 75% 値, T-N, T-P 表層年平均値

以降に、最終的に決定したパラメータ値による計算結果の確認を示す。

1.3.1 客観的な評価指標値について

計算値(予測値)と実測値がどの程度の類似性をもっているかの指標はいくつかあるが、ここでは以下の 2 種類の方法を用いて評価を行った。

データ個数を N 個、そのうち i 番目の観測値を O_i とし、 O_i に対応する予測値を P_i とする。

観測値、予測値の平均値をそれぞれ $\bar{O} \left(= \frac{1}{N} \sum O_i \right)$, $\bar{P} \left(= \frac{1}{N} \sum P_i \right)$ とおく。

(1) 相関係数 R

2 変量の間類似性(関係性)を表す基本的な指標として、相関係数がある。これは次式で定義される。予測と観測の基準値からの偏差の相関を示し、基準値からの偏差の増減のパターンが完全に一致している場合には最大値の 1 をとり、相関がまったくない場合には 0 をとり、逆に完全にパターンが反転している場合には最小値の -1 をとる。

$$R = \frac{\sum (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum (P_i - \bar{P})^2}}$$

(2) 2 乗平均平方根誤差(RMSE)

予測誤差を表す基本的な指標として、2 乗平均平方根誤差(RMSE: Root Mean Square Error)がある。これは次式で定義される。最小値の 0 に近いほど予測値が観測値に近いことを示す。

$$MSE = \frac{1}{N} \sum (O_i - P_i)^2, \quad RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (O_i - P_i)^2}$$

1.3.2 比較地点

実測値と計算値を比較する地点は、釜房ダム貯水池内 7 地点の水質測定点のうち、ダムサイト(ST.3)、貯水池 1 (ST.4)、貯水池 2 (ST.5)の 3 地点とした。

なお、これ以外の 4 地点については、ST.11 はダム堤体内であるため対象外、ST.13～15 はモデルで河川水流入点(上流端)としていることから対象外とした。

定期調査 (調査地点)

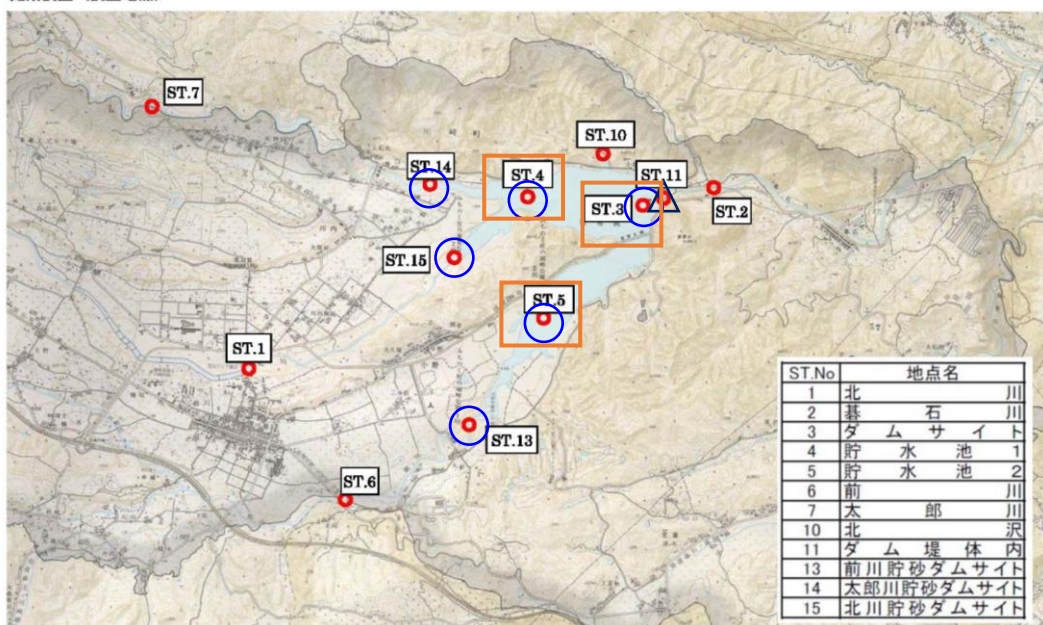


図 1.3-1 貯水池内測定地点と計算結果比較対象地点

○ : 水温と水質を測定, △ : 水温を測定, □ : 比較対象地点

1.3.3 水温の結果

(1) 時系列変動

釜房ダム貯水池の水理学的な再現性を確認するために、ダムサイト(環境基準点)、貯水池 1、貯水池 2 における水温実測結果 (公共用水域水質測定結果: 上層, 中層, 下層) と計算結果の比較を行った。

水温の実測値と計算値の時系列を図 1.3-2 に示す。

計算値の水温は、上層, 中層, 下層ともに再現性は概ね良好であり、夏季に成層し冬季に鉛直一様となる季節変動が表現されている。

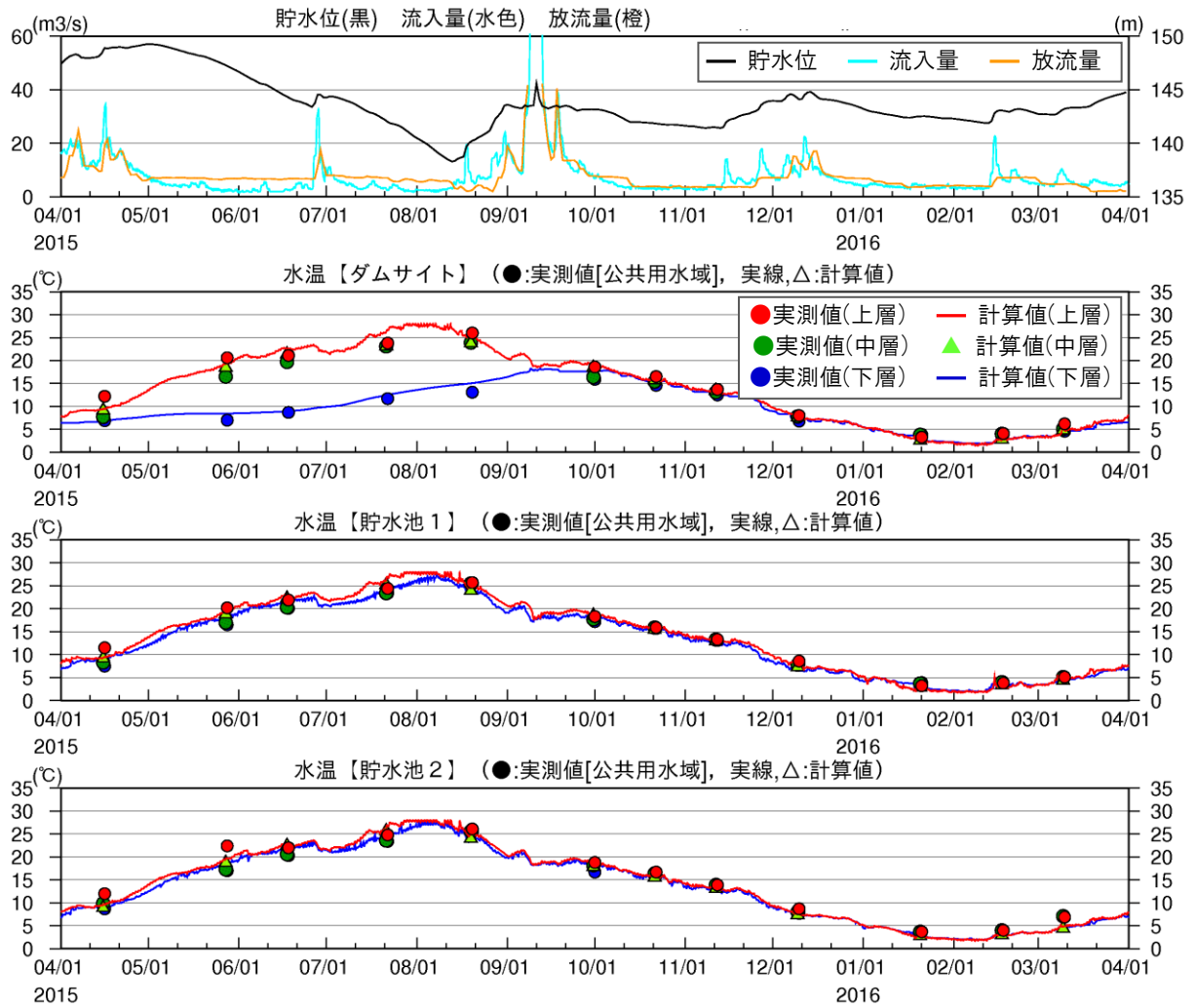


図 1.3-2(1) 水温の実測値と計算値の比較 平成 27(2015)年度
ダムサイト, 貯水池 1, 貯水池 2

中層については、実測値の標高は日によって変わるため対応する計算層も異なることから、実線で描けないため計算値も記号でプロットした

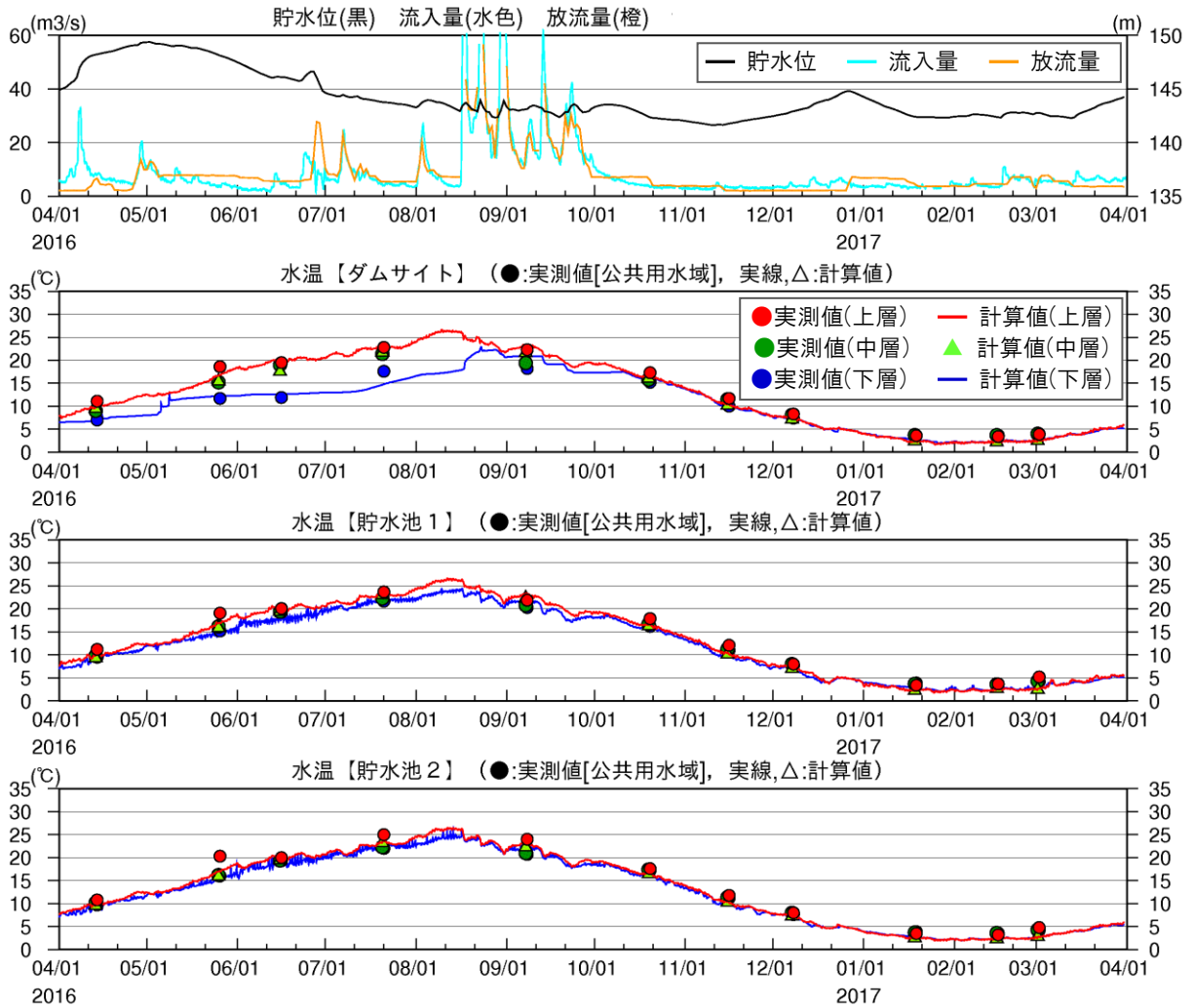


図 1.3-2(2) 水温の実測値と計算値の比較 平成 28(2016)年度
ダムサイト, 貯水池 1, 貯水池 2

中層については、実測値の標高は日によって変わるため対応する計算層も異なることから、実線で描けないため計算値も記号でプロットした

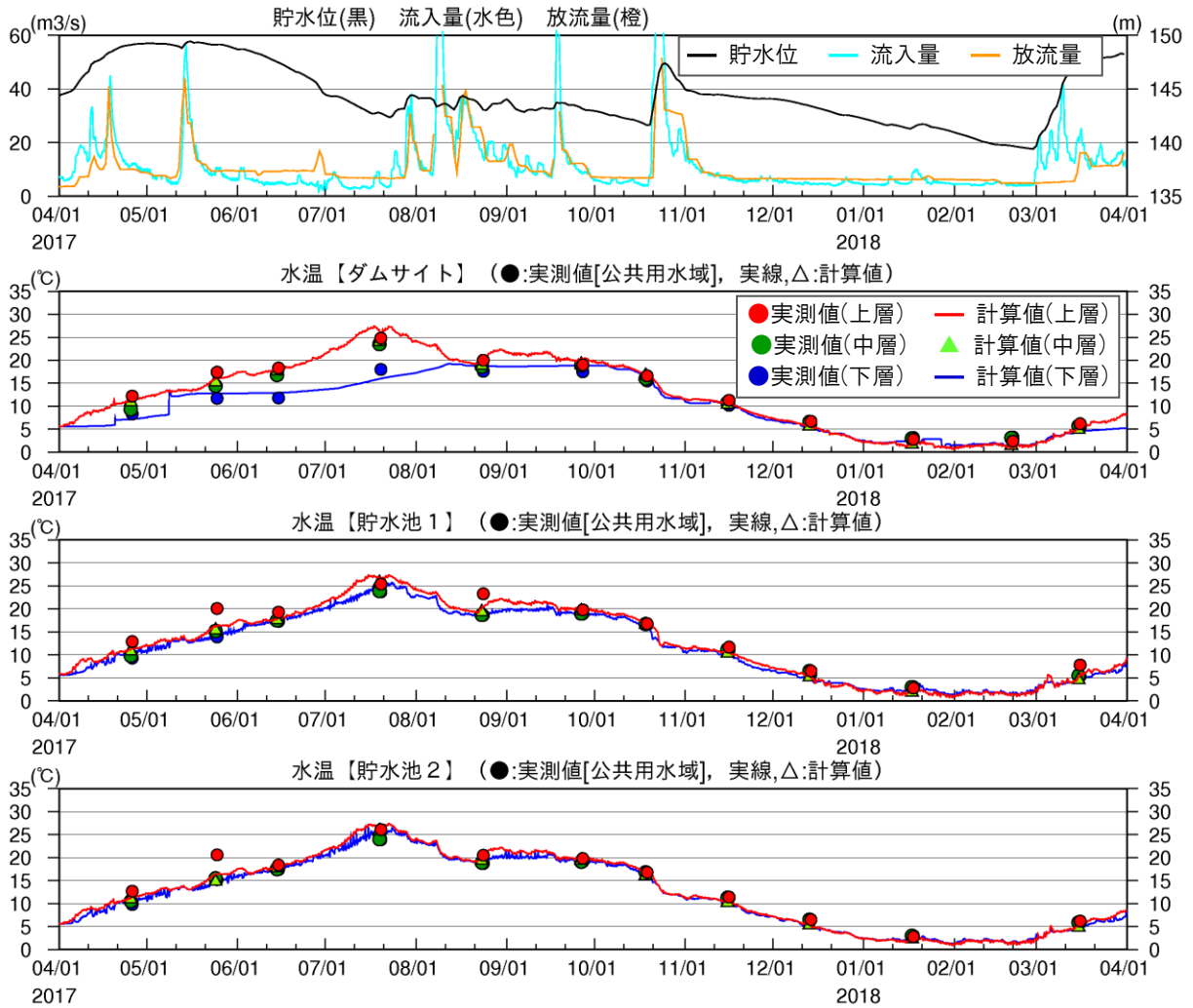


図 1.3-2(3) 水温の実測値と計算値の比較 平成 29(2017)年度
ダムサイト, 貯水池 1, 貯水池 2

中層については、実測値の標高は日によって変わるため対応する計算層も異なることから、実線で描けないため計算値も記号でプロットした

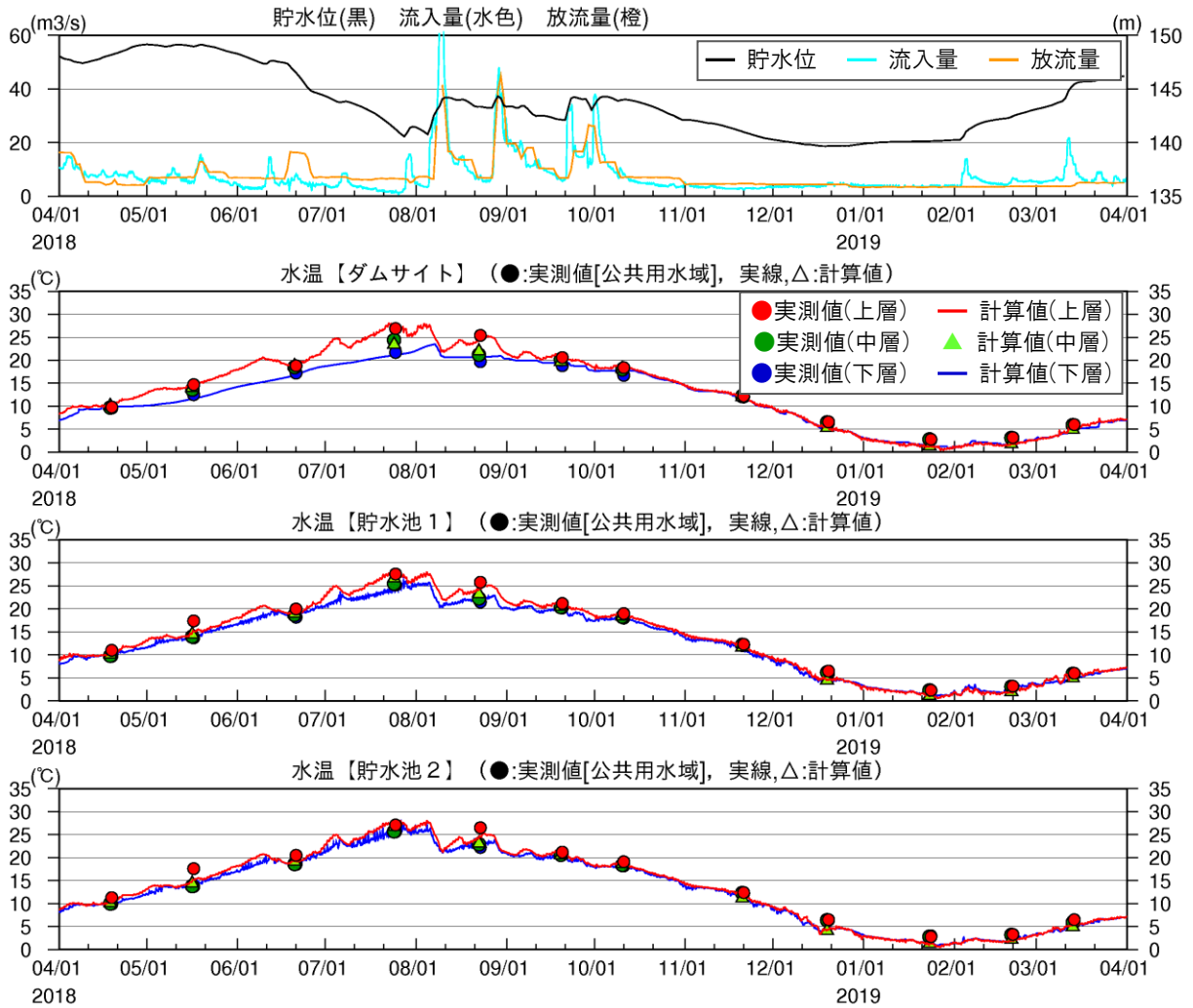


図 1.3-2(4) 水温の実測値と計算値の比較 平成 30(2018)年度
ダムサイト, 貯水池 1, 貯水池 2

中層については、実測値の標高は日によって変わるため対応する計算層も異なることから、実線で描けないため計算値も記号でプロットした

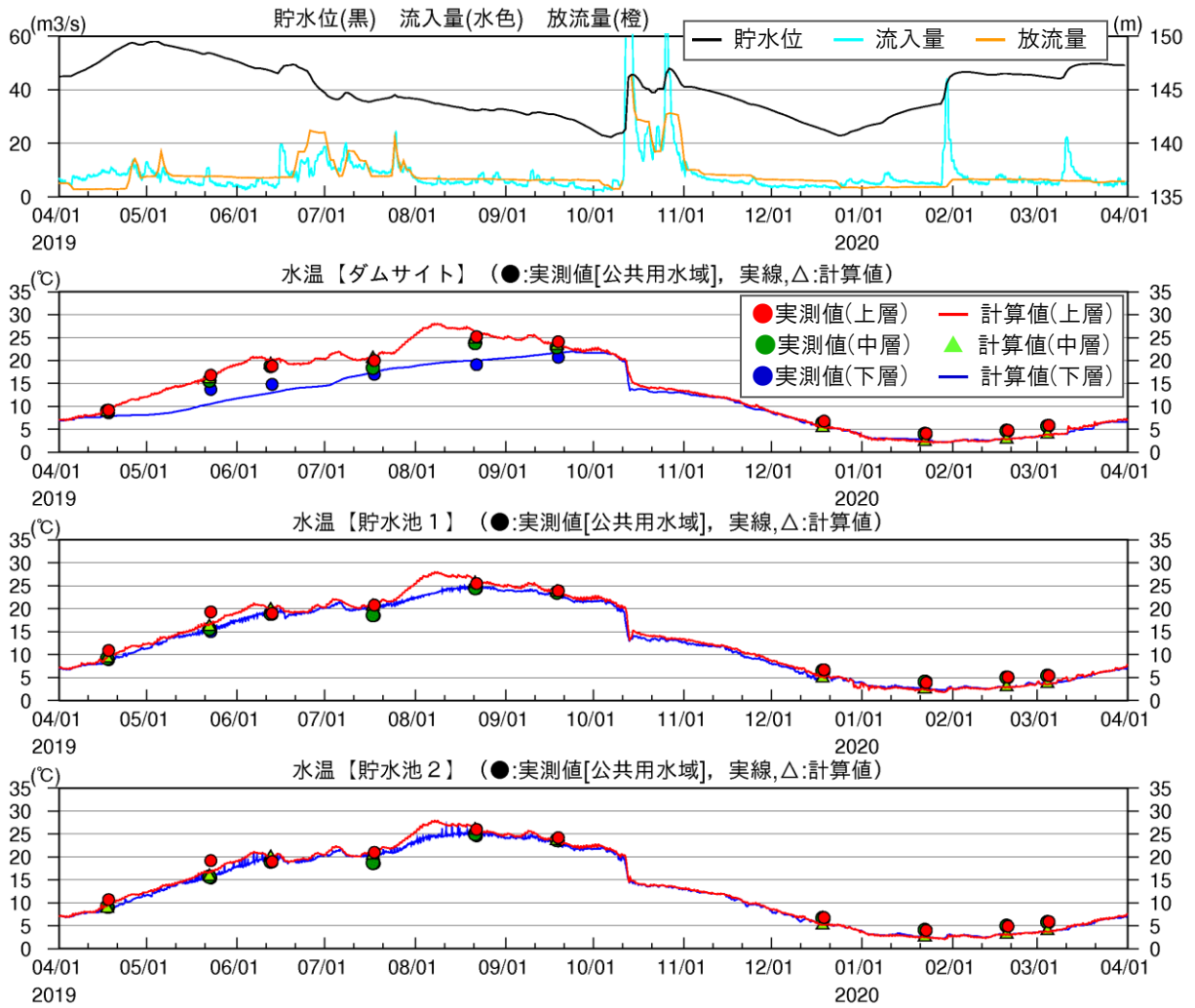


図 1.3-2(5) 水温の実測値と計算値の比較 令和元(2019)年度
ダムサイト, 貯水池 1, 貯水池 2

中層については、実測値の標高は日によって変わるため対応する計算層も異なることから、実線で描けないため計算値も記号でプロットした

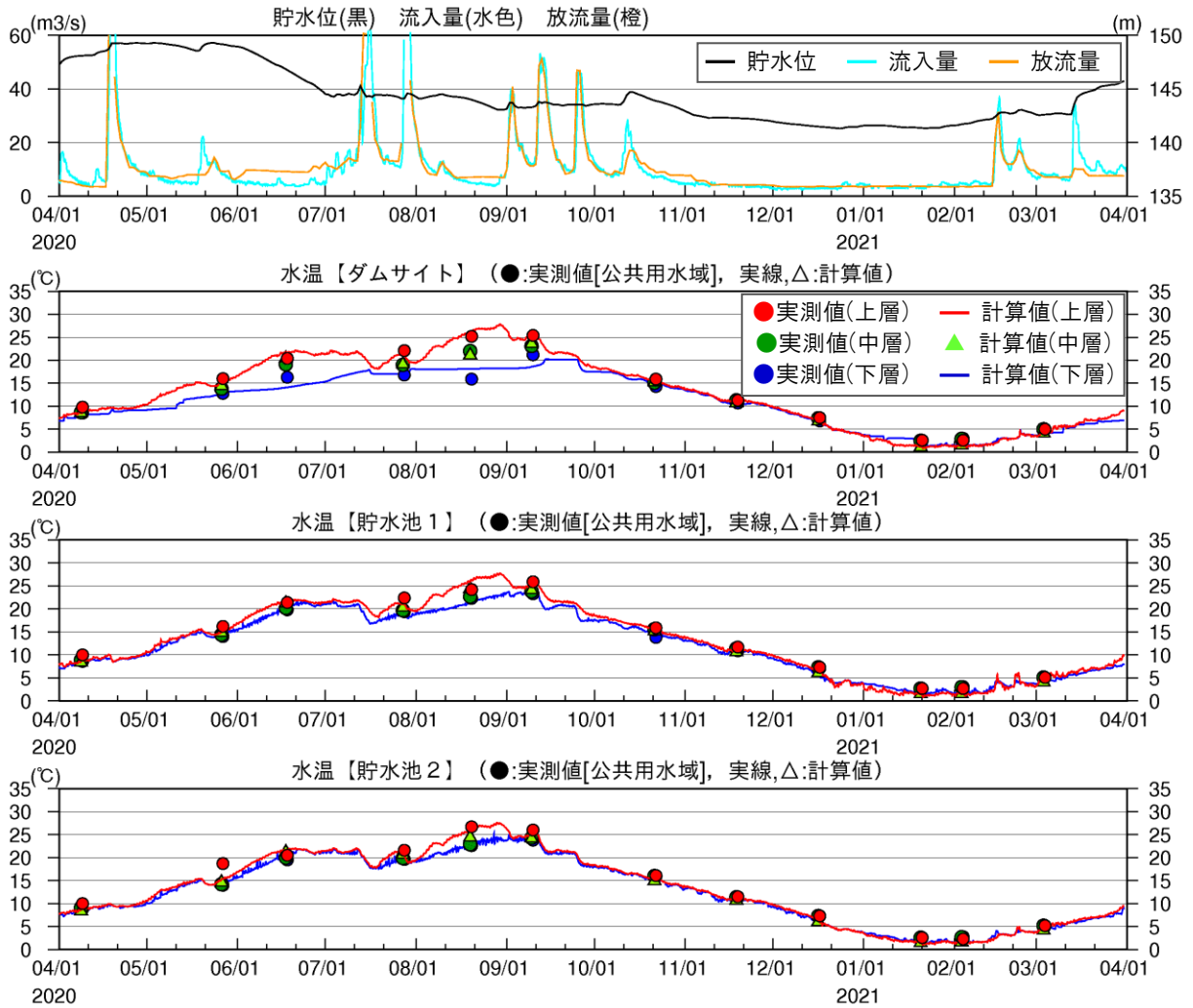


図 1.3-2(6) 水温の実測値と計算値の比較 令和 2(2020)年度
ダムサイト, 貯水池 1, 貯水池 2

中層については、実測値の標高は日によって変わるため対応する計算層も異なることから、実線で描けないため計算値も記号でプロットした

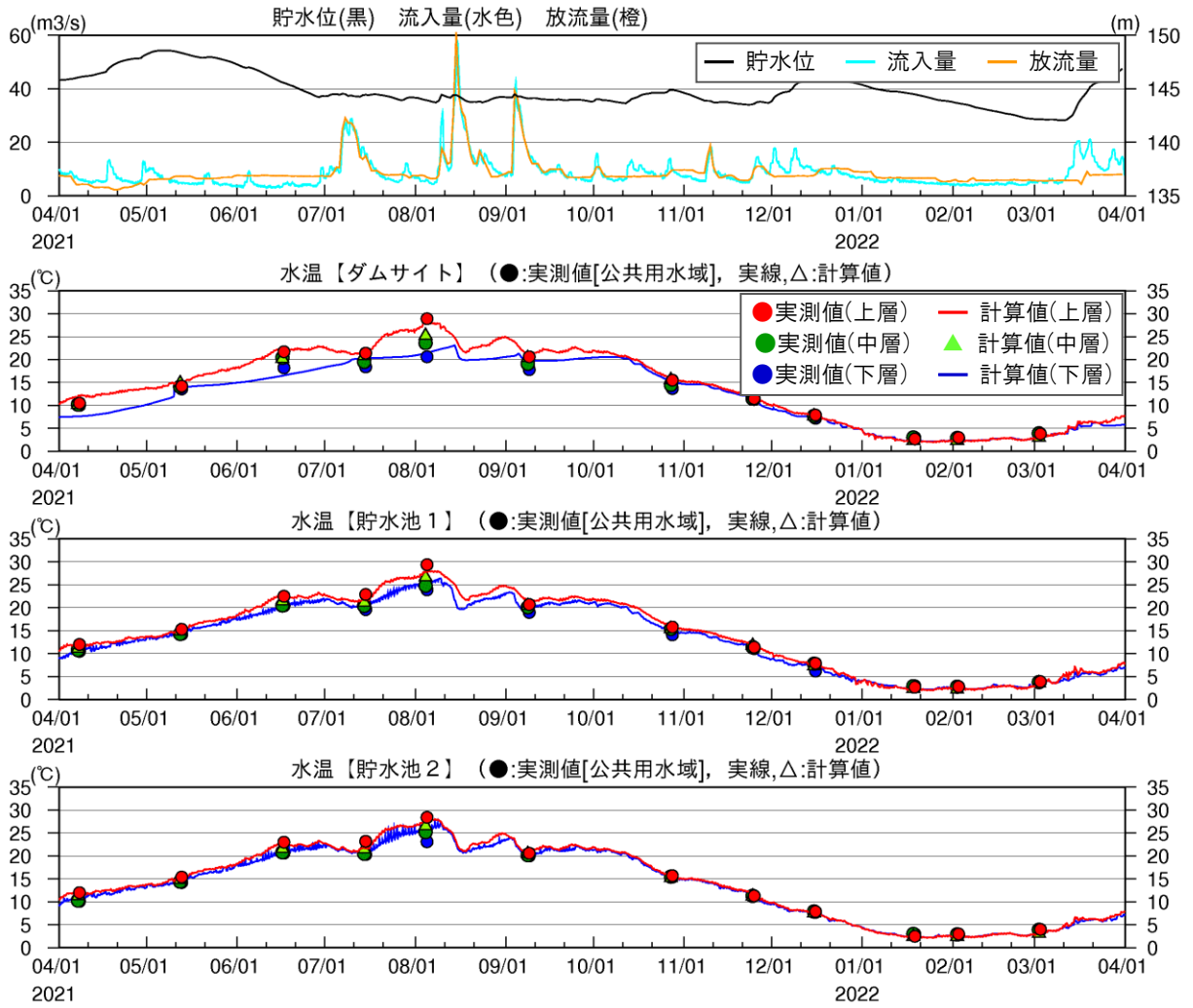


図 1.3-2(7) 水温の実測値と計算値の比較 令和 3(2021)年度
ダムサイト, 貯水池 1, 貯水池 2

中層については、実測値の標高は日によって変わるため対応する計算層も異なることから、実線で描けないため計算値も記号でプロットした

(2) 評価指標値

流動モデルについて、水温を対象として評価指標値を算定した。対象地点は、ダムサイト、貯水池 1、貯水池 2 の 3 地点とした。

評価の対象年次は、先に示した時系列変動の比較と同様に平成 27 (2015) 年度～令和 3 (2021) 年度とし、相関係数と RMSE について 7 か年及び 1 か年ずつについて全層、上層、中層、下層別に算出した。

表 1.3-1 に相関係数と RMSE の結果を示した。また、全層についての実測値と計算値の散布図を図 1.3-3 に示した。

相関係数は、いずれの解析においても 0.9 以上の高い値が得られた。RMSE は、7 か年全層で 1.1～1.2 であった。層別で比較すると、ダムサイトでは、相関係数は上層、RMSE は中層の精度がより高く、貯水池 1、貯水池 2 では中層の相関係数がより高い傾向であった。

表 1.3-1(1) 水温の評価指標値 ダムサイト

地点名	データ数	相関係数R	RMSE (°C)	
ダム サイト	7ヵ年(上層+中層+下層)	243	0.992	1.1
	7ヵ年(上層)	81	0.995	1.1
	7ヵ年(中層)	81	0.994	1.0
	7ヵ年(下層)	81	0.983	1.3
	H27年度(上層+中層+下層)	36	0.989	1.2
	H27年度(上層)	12	0.991	1.4
	H27年度(中層)	12	0.992	1.2
	H27年度(下層)	12	0.993	1.1
	H28年度(上層+中層+下層)	33	0.989	1.3
	H28年度(上層)	11	0.996	1.2
	H28年度(中層)	11	0.992	1.2
	H28年度(下層)	11	0.975	1.4
	H29年度(上層+中層+下層)	36	0.993	1.1
	H29年度(上層)	12	0.996	1.1
	H29年度(中層)	12	0.995	1.0
	H29年度(下層)	12	0.985	1.2
	H30年度(上層+中層+下層)	36	0.997	0.9
	H30年度(上層)	12	0.997	0.9
	H30年度(中層)	12	0.997	0.8
	H30年度(下層)	12	0.996	0.9
	R01年度(上層+中層+下層)	30	0.995	1.4
	R01年度(上層)	10	0.997	1.3
	R01年度(中層)	10	0.997	1.3
	R01年度(下層)	10	0.988	1.6
	R02年度(上層+中層+下層)	36	0.993	1.1
	R02年度(上層)	12	0.998	1.0
	R02年度(中層)	12	0.997	0.9
	R02年度(下層)	12	0.978	1.4
	R03年度(上層+中層+下層)	36	0.993	1.0
	R03年度(上層)	12	0.996	0.7
R03年度(中層)	12	0.998	0.9	
R03年度(下層)	12	0.985	1.3	

表 1.3-1(2) 水温の評価指標値 貯水池 1

地点名	データ数	相関係数R	RMSE (°C)
7ヵ年(上層+中層+下層)	240	0.993	1.1
7ヵ年(上層)	80	0.992	1.3
7ヵ年(中層)	80	0.996	1.0
7ヵ年(下層)	80	0.995	0.9
H27年度(上層+中層+下層)	36	0.991	1.1
H27年度(上層)	12	0.994	1.0
H27年度(中層)	12	0.991	1.2
H27年度(下層)	12	0.989	1.1
H28年度(上層+中層+下層)	33	0.995	1.2
H28年度(上層)	11	0.993	1.5
H28年度(中層)	11	0.998	1.1
H28年度(下層)	11	0.996	0.9
H29年度(上層+中層+下層)	33	0.986	1.4
H29年度(上層)	11	0.980	2.0
H29年度(中層)	11	0.997	0.9
H29年度(下層)	11	0.996	0.8
H30年度(上層+中層+下層)	36	0.996	1.0
H30年度(上層)	12	0.996	1.2
H30年度(中層)	12	0.999	0.9
H30年度(下層)	12	0.997	0.8
R01年度(上層+中層+下層)	30	0.994	1.4
R01年度(上層)	10	0.995	1.6
R01年度(中層)	10	0.997	1.4
R01年度(下層)	10	0.995	1.3
R02年度(上層+中層+下層)	36	0.996	1.0
R02年度(上層)	12	0.996	1.1
R02年度(中層)	12	0.999	1.0
R02年度(下層)	12	0.997	0.8
R03年度(上層+中層+下層)	36	0.997	0.7
R03年度(上層)	12	0.997	0.7
R03年度(中層)	12	0.999	0.7
R03年度(下層)	12	0.998	0.7

貯水池
1

表 1.3-1(3) 水温の評価指標値 貯水池 2

地点名	データ数	相関係数R	RMSE (°C)
7ヵ年(上層+中層+下層)	240	0.993	1.2
7ヵ年(上層)	80	0.993	1.4
7ヵ年(中層)	80	0.996	1.1
7ヵ年(下層)	80	0.995	1.0
H27年度(上層+中層+下層)	36	0.988	1.4
H27年度(上層)	12	0.991	1.5
H27年度(中層)	12	0.989	1.4
H27年度(下層)	12	0.988	1.3
H28年度(上層+中層+下層)	33	0.994	1.2
H28年度(上層)	11	0.994	1.6
H28年度(中層)	11	0.998	1.0
H28年度(下層)	11	0.997	0.9
H29年度(上層+中層+下層)	33	0.990	1.2
H29年度(上層)	11	0.986	1.5
H29年度(中層)	11	0.996	0.9
H29年度(下層)	11	0.995	1.0
H30年度(上層+中層+下層)	36	0.995	1.2
H30年度(上層)	12	0.995	1.5
H30年度(中層)	12	0.997	1.0
H30年度(下層)	12	0.997	1.0
R01年度(上層+中層+下層)	30	0.995	1.4
R01年度(上層)	10	0.996	1.5
R01年度(中層)	10	0.997	1.3
R01年度(下層)	10	0.997	1.3
R02年度(上層+中層+下層)	36	0.995	1.1
R02年度(上層)	12	0.994	1.4
R02年度(中層)	12	0.997	1.0
R02年度(下層)	12	0.998	0.9
R03年度(上層+中層+下層)	36	0.996	0.8
R03年度(上層)	12	0.998	0.6
R03年度(中層)	12	0.999	0.7
R03年度(下層)	12	0.997	0.9

貯水池
2

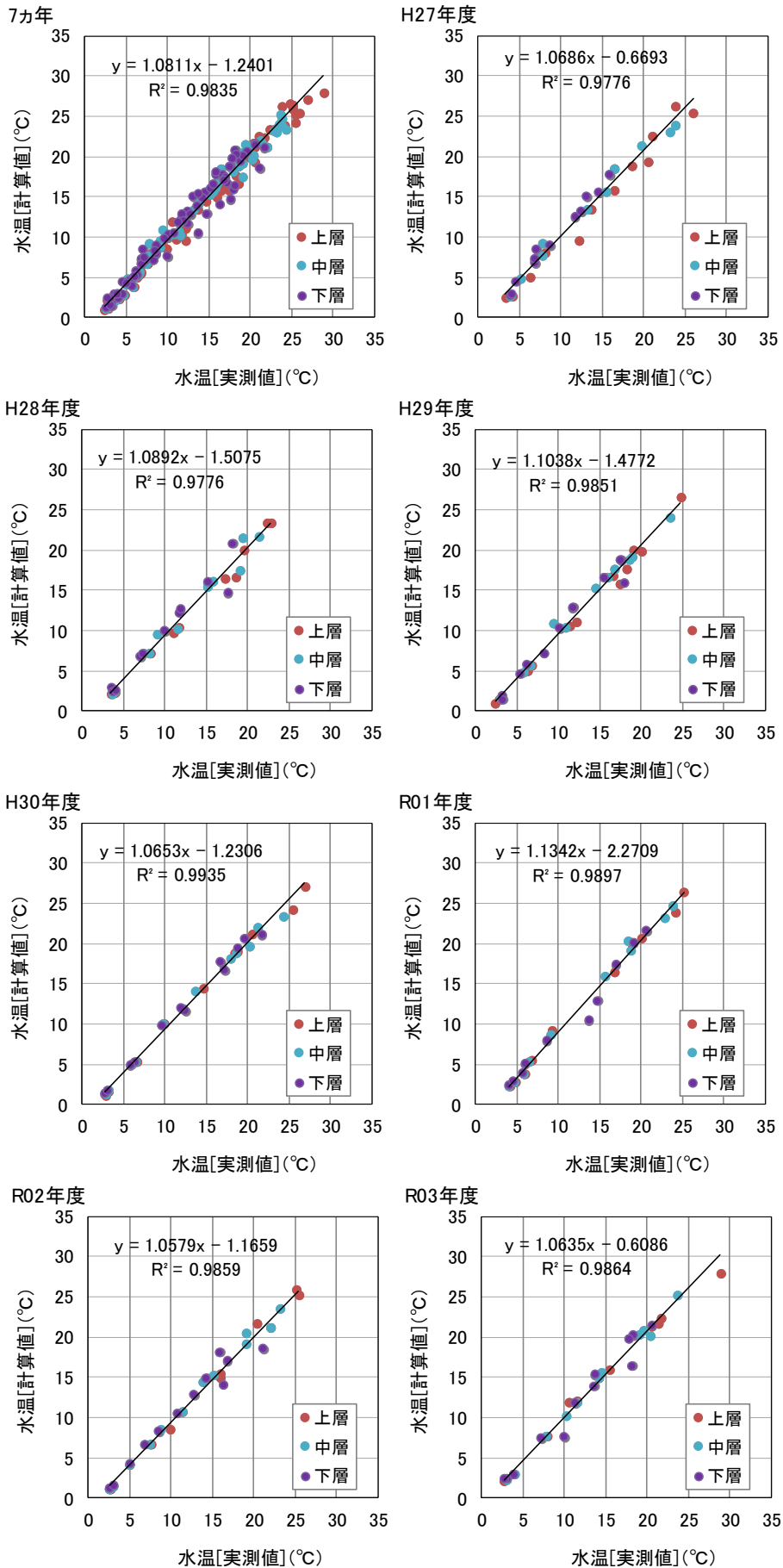


図 1.3-3(1) 水温の実測値と計算値の散布図 ダムサイト 上層+中層+下層

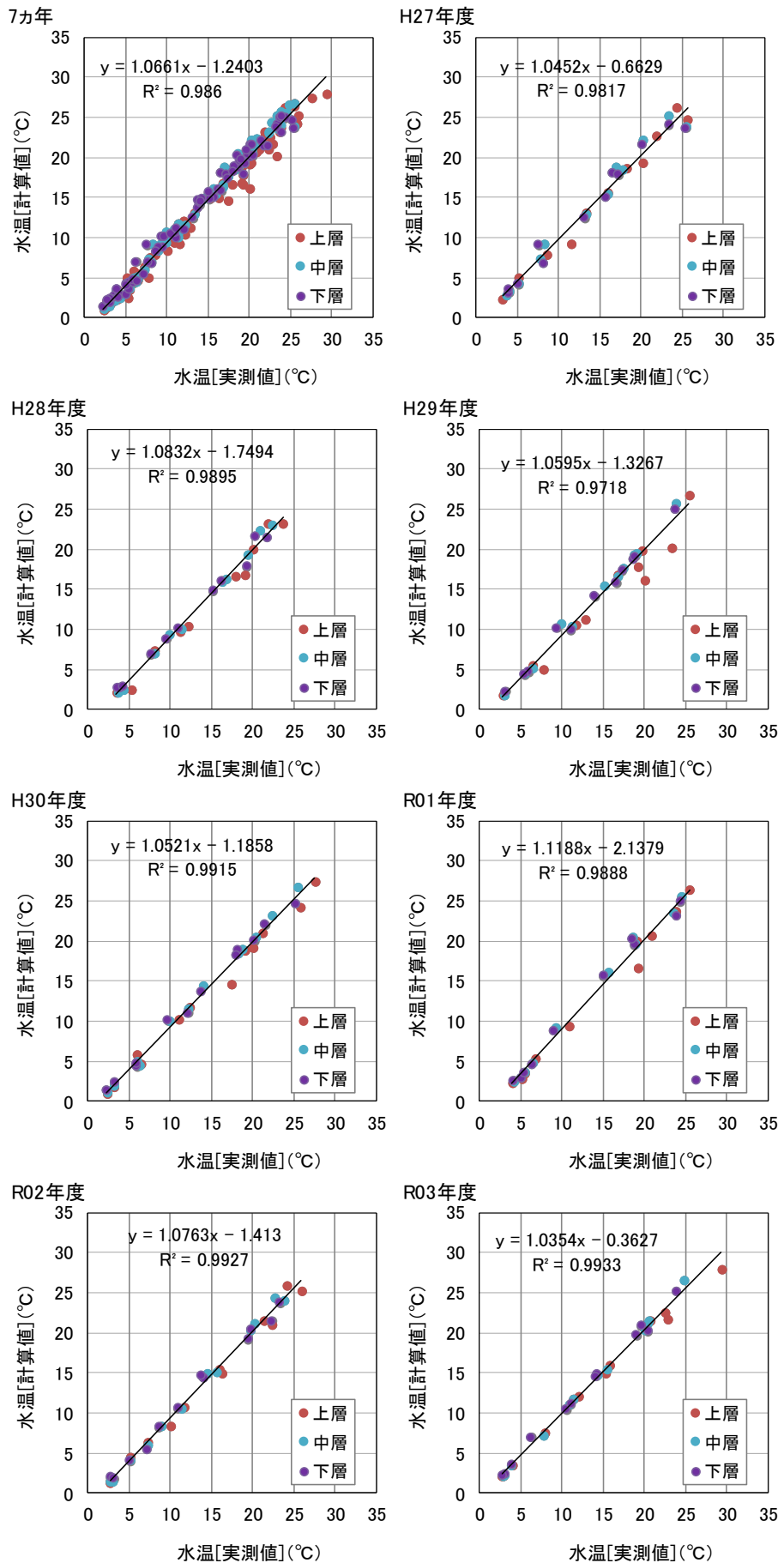


図 1.3-3(2) 水温の実測値と計算値の散布図 貯水池 1 上層+中層+下層

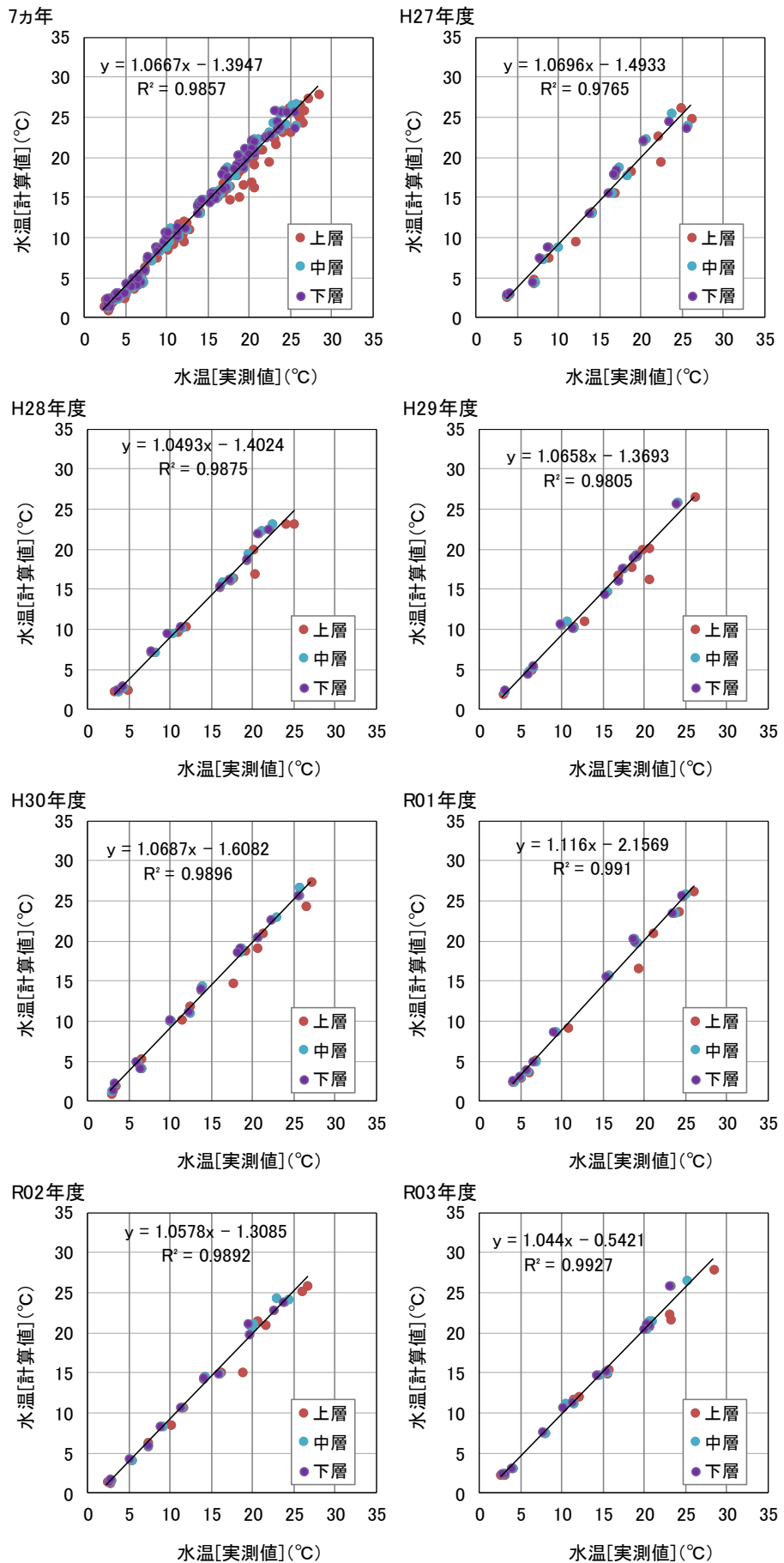


図 1.3-3(3) 水温の実測値と計算値の散布図 貯水池2 上層+中層+下層

1.3.4 水質の結果

(1) 時系列変動

水質計算結果について、H28(2016)～R03(2021)年度の時系列変動と観測値との比較を図1.3-4に示す。計算を行った6か年を通して、計算結果は概ね観測値を再現しているが、T-Pの計算結果が全体的に高めに計算されている等の課題があるため、引き続き現況再現性の確認を行いつつ、精度向上を図る。

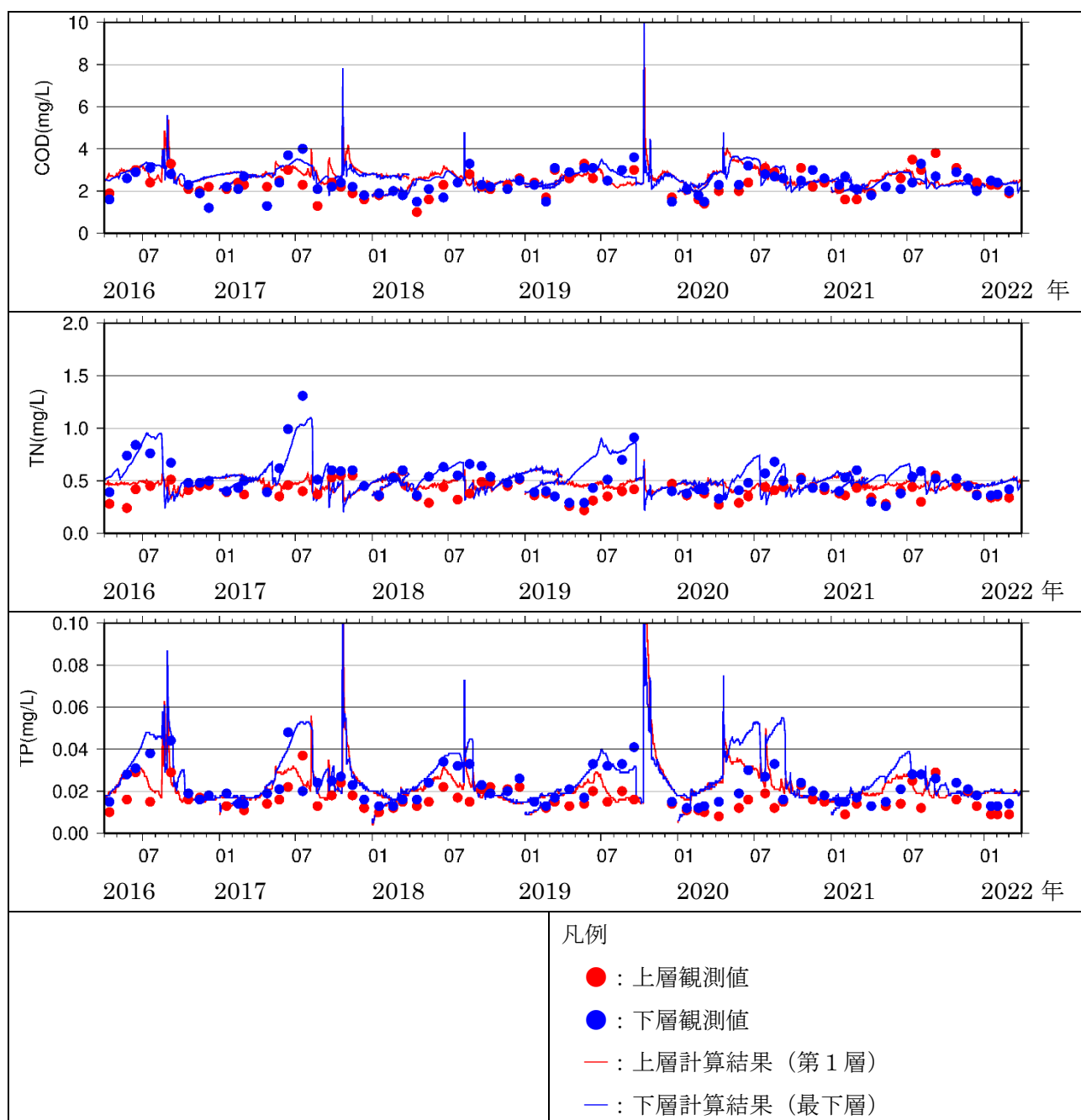


図 1.3-4(1) 水質の実測値と計算値の比較図 (ダムサイト, H28(2016)～R03(2021)年度)

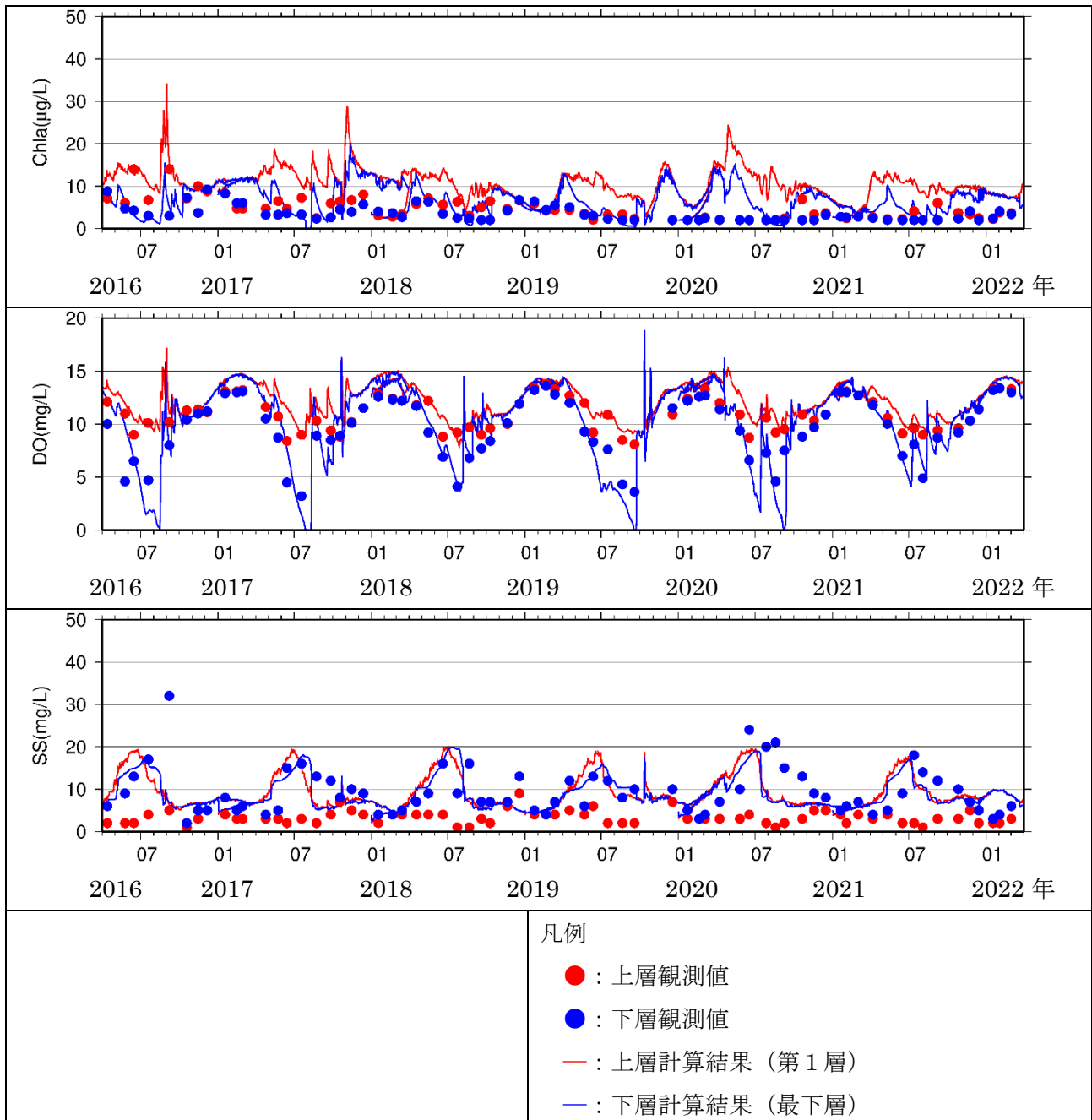


図 1.3-4(2) 水質の実測値と計算値の比較図 (ダムサイト, H28(2016)~R03(2021)年度)

(2) 評価指標値

水質モデルについて、COD、T-N、T-P 濃度を対象とした評価指標値を算定した。対象地点は、ダムサイトの1地点とした。

評価の対象年次は、計算期間である平成28(2016)年度から令和2(2020)年度とし、5か年の上層及び下層の相関係数を算出した。

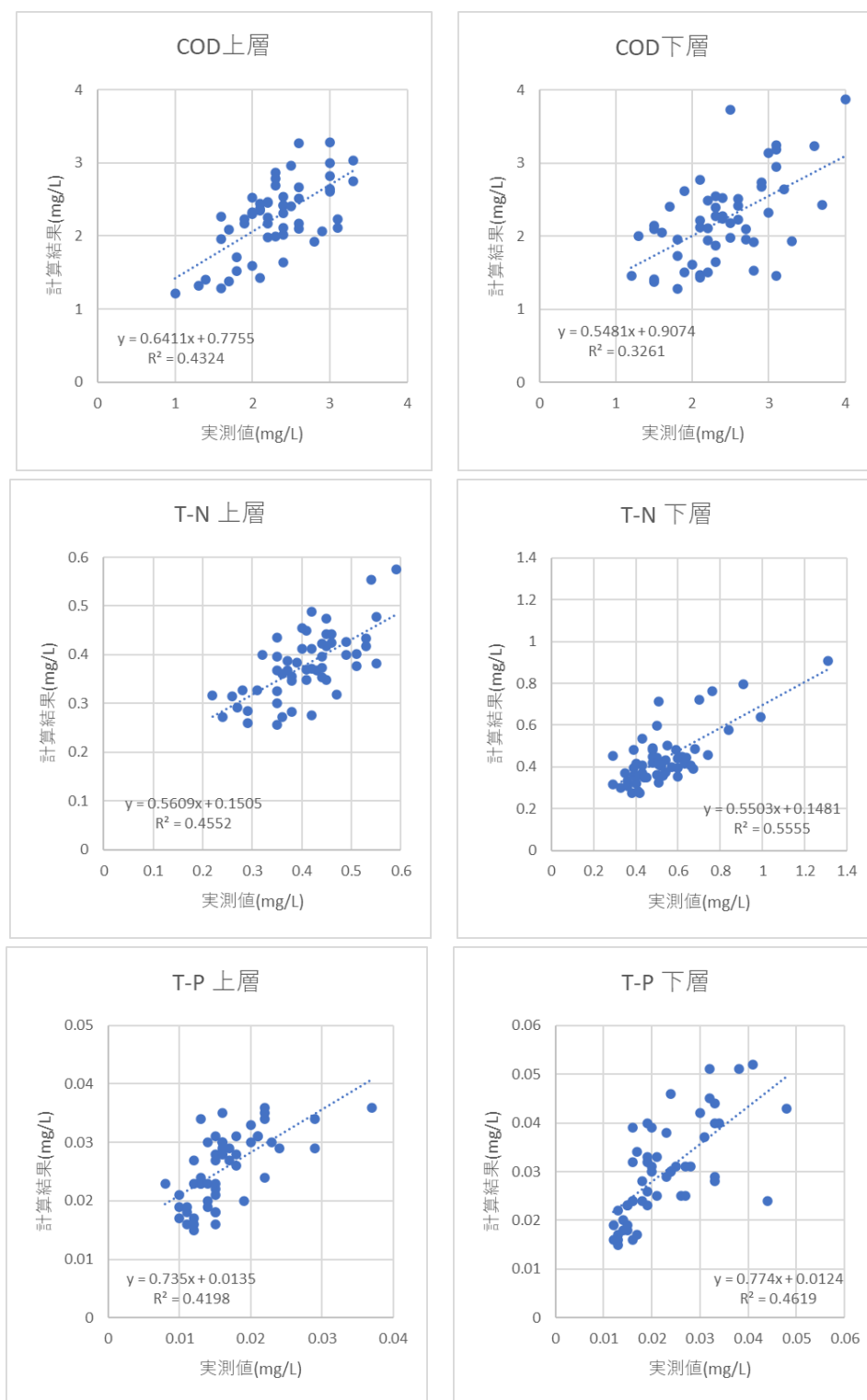


図 1.3-5 水質の実測値と計算結果の相関関係 (ダムサイト)

(3) COD 年 75%値, T-N, T-P 表層年平均値

図 1.3-6 に環境基準点（ダムサイト）における実測値と計算結果の水質年度平均値及び COD 年 75%値の算出結果を示す。T-N, T-P は上層（計算結果は第 1 層），COD については上下層（計算結果は第 1 層と最下層）の値を用いて算出した。これによると，T-P において計算結果の方が高めに算出されており，流入負荷量の精査が必要であると考えられる。その他の項目については，概ね年度ごとの変動傾向も再現されていると考える。

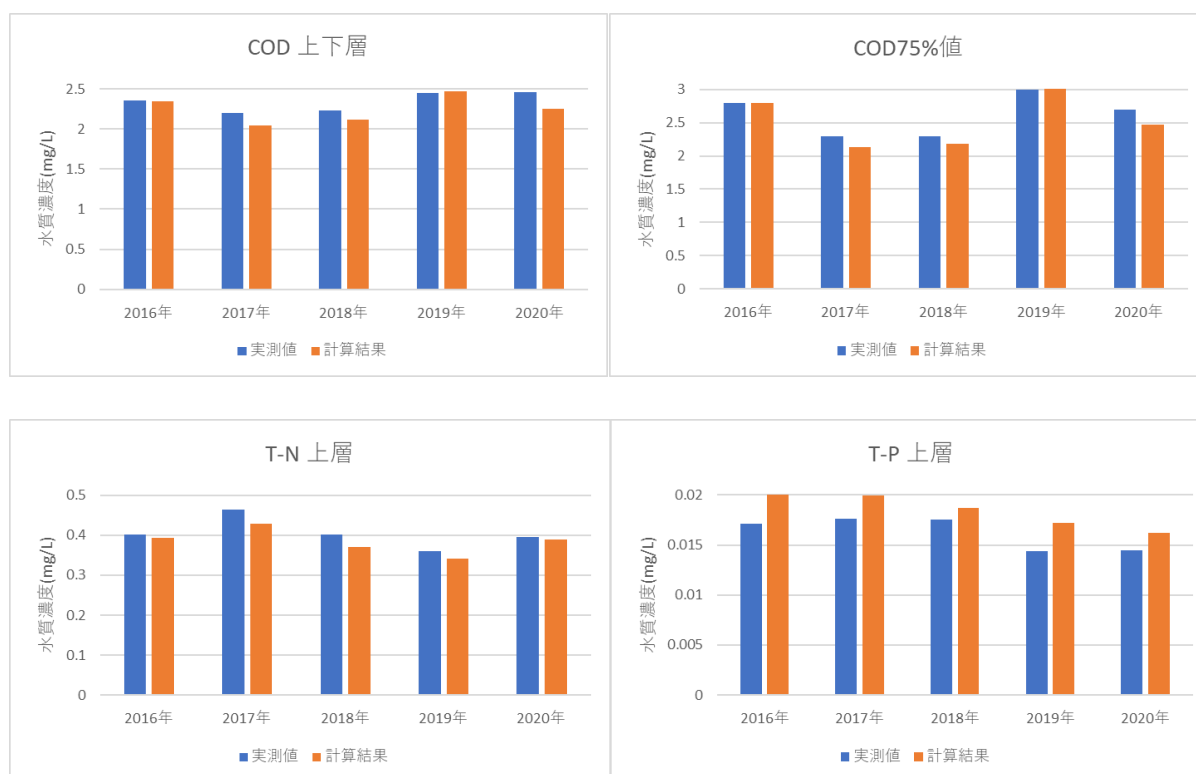


図 1.3-6 水質の実測値と計算結果の比較（ダムサイト）

1.4 将来水質濃度の予測

釜房ダム貯水池における水質濃度は、降水量などの気象条件の違いによって影響を受けることから、予測モデルの確認を行った 5 か年の環境条件を用いた将来水質濃度の計算を行った。計算ケースは R8 年度将来（施策あり）、R8 年度将来施策なし、R13 年度将来（施策あり）、R13 年度将来施策なしの 4 ケースである。これらの結果について、ダムサイト（環境基準点）に該当する計算格子の水質濃度から、COD 濃度の上下層・年度平均、T-N 及び T-P 濃度の上層・年度平均値を作成し、図 1.4-1 に示した。これによれば、T-P に関しては、将来（施策あり）の結果において現況より濃度が低下する傾向が見られるものの、その濃度変化は 0.001mg/L 未満であり、T-N と COD に関しては R13 将来（施策あり）の結果において現況より 0.008～0.014mg/L 程度の濃度低下が見られている。濃度の低下については、年度により若干の差がみられるが、気象要因に伴う流入負荷量の季節的なパターンの差や、釜房ダム貯水池の放流実績および曝気装置の稼働実績に伴う滞留時間の違いなどに起因するものと考えられる。

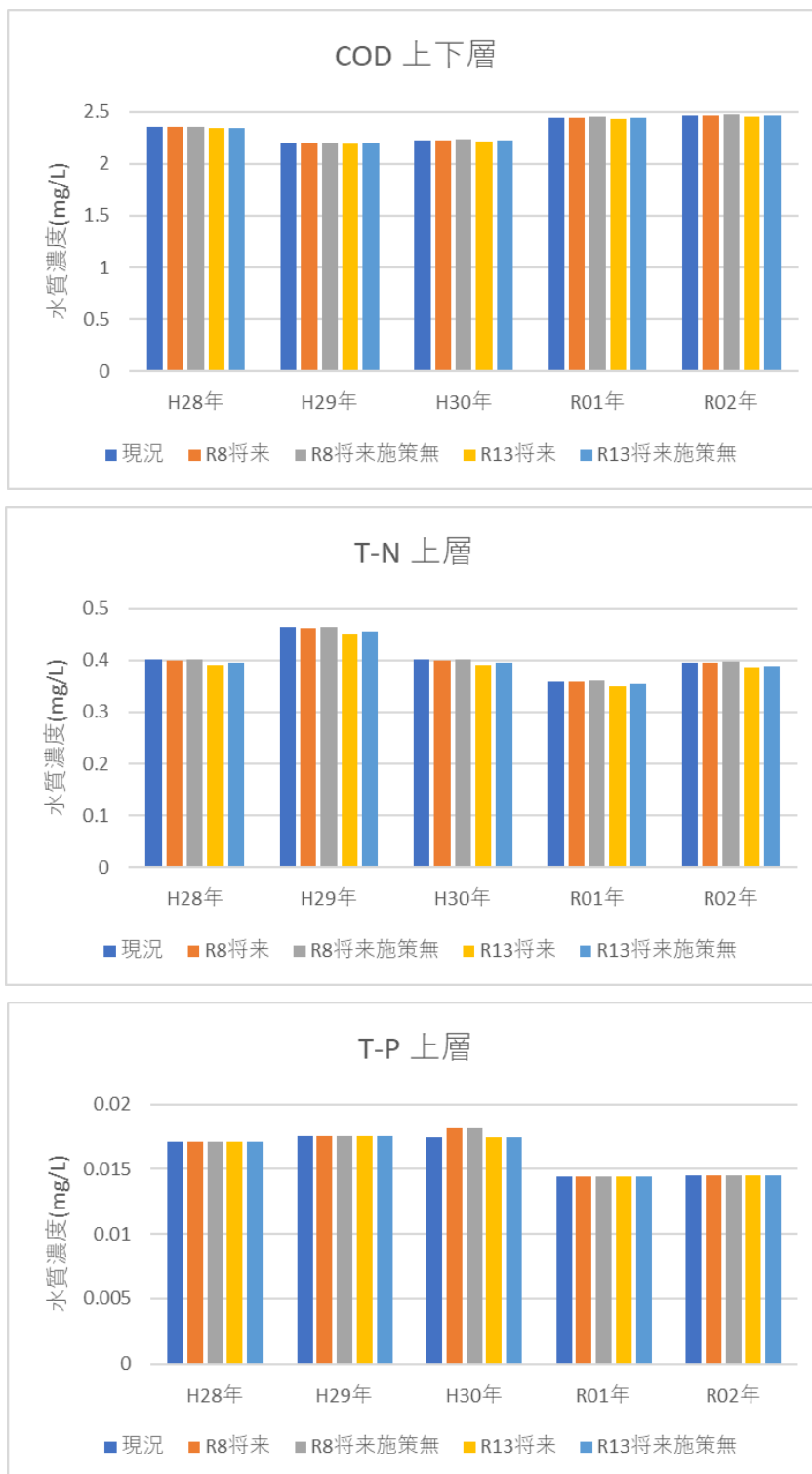


図 1.4-1 各気象条件下での将来水質予測結果（ダムサイト）

1.5 将来水質目標の設定方法の考え方（案）

【水質目標値】暫定

		現状(令和3年度)	目標値(令和13年度)
化学的酸素要求量(COD)	75%値(mg/L)	2.8 (H29-R03 : 2.3~3.0)	2.5 (第6期 : 2.46)
	(参考)年平均値(mg/L)	2.5 (同 : 2.1~2.5)	-
全窒素	年平均値(mg/L)	0.38 (同 : 0.36~0.46)	0.39(同 : 0.48)
全りん	年平均値(mg/L)	0.015 (同 0.014~0.018)	0.015 (同 : 0.015)
N/P比	年平均値	25 (同 : 23~27)	25 (同 : 32)

H29(2017)~R03(2021)の実測値

	最小値	最大値	平均値	R03(2021)	第6期目標値
COD75%値(mg/L)	2.3	3.0	2.6	2.8	2.46
T-N(mg/L)	0.36	0.46	0.40	0.38	0.48
T-P(mg/L)	0.014	0.018	0.016	0.015	0.015
N/P比	23	27	25.2	25	32

R13 将来施策時水質予測結果 (H29(2017)~R02(2020) : 暫定)

実測値	H29	H30	R01	R02	R03
	2017	2018	2019	2020	2021
COD75%値	2.3	2.3	3.0	2.7	2.8
T-N	0.46	0.40	0.36	0.40	0.38
T-P	0.018	0.018	0.014	0.015	0.015
R13 予測計算	H29	H30	R01	R02	R03
	2017	2018	2019	2020	2021
COD75%値	2.29	2.29	2.99	2.69	(計算中)
T-N	0.45	0.39	0.35	0.39	
T-P	0.018	0.018	0.014	0.015	

水質目標値の設定においては、第6期湖沼計画中間評価を行った平成28(2016)年度の翌年以降の5か年(H29(2017)~R03(2021))の水質濃度変化幅と平均水質及び将来水質予測結果における現況からの濃度低下幅を考慮して案を作成した。

(1) COD

COD年75%値の実測値をみると、5か年の濃度変化幅は2.3~3.0mg/L、平均値は2.6mg/Lであり、第6期目標値の2.46mg/L以下となったのは、H29(2017)、H30(2018)の2か年であった。異なる気象条件による将来水質予測値は概ね現況から0.01mg/L程度の濃度低下であることから、5か年の平均値の2.6mg/Lから0.01mg/L下げた値2.59mg/Lが将来の平均

的な濃度になると考えられる。COD に関しては、対策による COD の流入負荷量の削減の効果に加え、窒素とリンの流入負荷量の削減による貯水池内の内部生産の抑制効果も期待されることから、水質目標値は少し挑戦的ではあるが、第 6 期の目標値 2.46mg/L を COD 公表値の桁数である小数点以下 1 桁とした 2.5mg/L とすることを提案する。

(2) T-N

T-N の実測値をみると、5 か年の濃度変化幅は 0.36~0.46mg/L、平均値は 0.40mg/L であり、気象条件の変動がある中でも 0.48mg/L の第 6 期目標値は達成できていると考えられる。異なる気象条件による将来水質予測値は概ね現況から 0.01mg/L 程度の濃度低下であることから、5 か年の平均値の 0.40mg/L から 0.01mg/L 下げた値 0.39mg/L が将来の平均的な濃度になると考えられることから T-N の水質目標値は第 6 期目標値の 0.48mg/L から大幅に低下した 0.39mg/L とすることを提案する。

(3) T-P

T-P の実測値をみると、5 か年の濃度変化幅は 0.014~0.018mg/L、平均値は 0.016mg/L であり、第 6 期目標値の 0.015mg/L 以下であるのは R01~R03 の直近 3 か年である。異なる気象条件による将来水質予測値は小数点以下 3 桁で表現している実測値とほぼ同値であることから、将来水質の平均的な濃度も実測値とほぼ同値であると考えられる。T-P の水質目標値は将来の平均的な水質濃度と考えられる 0.016mg/L とすることが妥当であると考えられるが、直近 3 か年の濃度が第 6 期目標値の 0.015mg/L を達成していることから、0.015mg/L を継続するという選択肢もある。

(4) N/P 比

N/P 比の実測値をみると、5 か年の変化幅は 23~27、平均値は 25.2 であり、第 6 期目標値の 32 を全ての年で下回っている。異なる気象条件による将来予測値は概ね現況から 0.6 程度の低下であることから、将来の平均的な N/P 比は $25.2 - 0.6 = 24.6$ 程度になると考えられるため、目標値は 25 とすることを提案する。

2. 数値シミュレーション結果から 2-MIB 濃度を推定する方法(案)について

2-MIB の推定方法 (案)

数値シミュレーション結果から 2-MIB 濃度を簡易的に推定する方法として、以下の方法を提案する。本手法は現時点での案であり、必要に応じて随時変更することとする。

$$[2\text{-MIB (ng/L)}] = 0.0138 [\text{藍藻類の数 (生物数/mL)}] + 1.7641$$

$$[\text{藍藻類の数 (生物数/mL)}] = [\text{藍藻類のクロロフィル a (}\mu\text{g/L)}] \times 170$$

以降、上式の導出過程について述べる。

2.1 使用データ

仙台市水道局「水質年報（平成 23 年度～令和 2 年度）」に記載された各水質項目を使用した。

2.2 2-MIB 濃度の推定手法の構築

(1) 経年変化

2-メチルイソボルネオール (2-MIB) 濃度と他項目（藍藻類、フォルミジウム、クロロフィル a, TOC, N/P 比）の経年変化を比較した。

上記項目の変動傾向は必ずしも一致しないものの、ある程度の対応がみられた（図 2.2-1, 図 2.2-2）。

(2) 季節変化

2-MIB 濃度と他項目について、平成 23（2011）～令和 2（2020）年度における月ごとの平均値を算出し、季節変化を比較した。

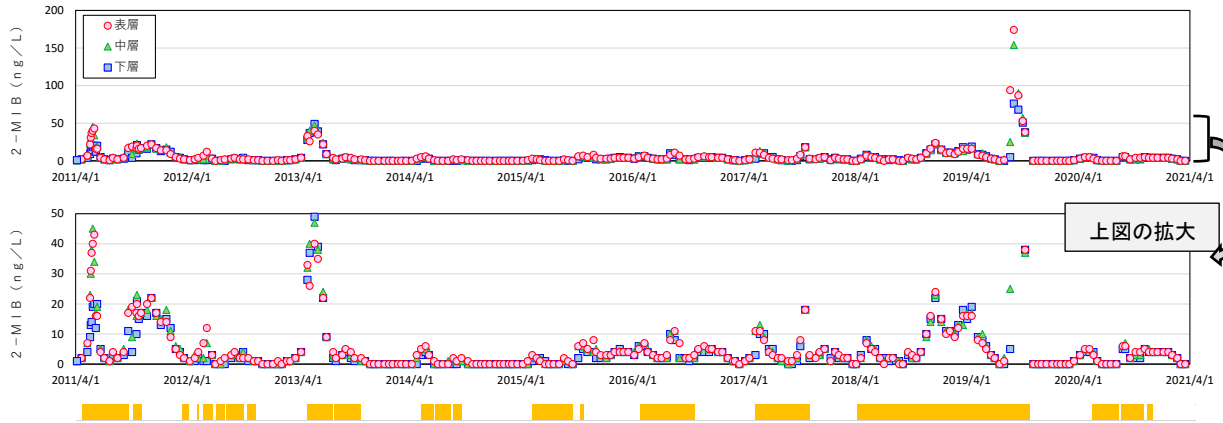
2-MIB 濃度は 5 月及び 9 月前後に高く、藍藻類及びフォルミジウムの季節変動と類似していた（図 2.2-3, 図 2.2-4）。

(3) 2-MIB と他項目の関係

2-MIB 濃度と他項目について、平成 23（2011）～令和 2（2020）年度における月ごとの平均値を比較した。

2-MIB 濃度は「藍藻類の数」との相関が高く、以下の式で近似することができた（図 2.2-5, $R^2 = 0.89$ ）。

$$[2\text{-MIB (ng/L)}] = 0.0138 [\text{藍藻類の数 (生物数/mL)}] + 1.7641$$

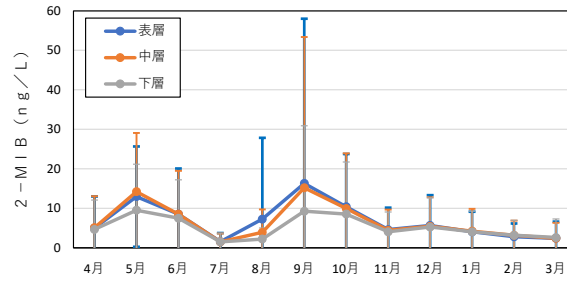


注：■ は常用曝気設備または夏季強循環曝気設備の主要な稼働時期

図 2.2-1 釜房ダム（ダムサイト）における 2-MIB 濃度の推移

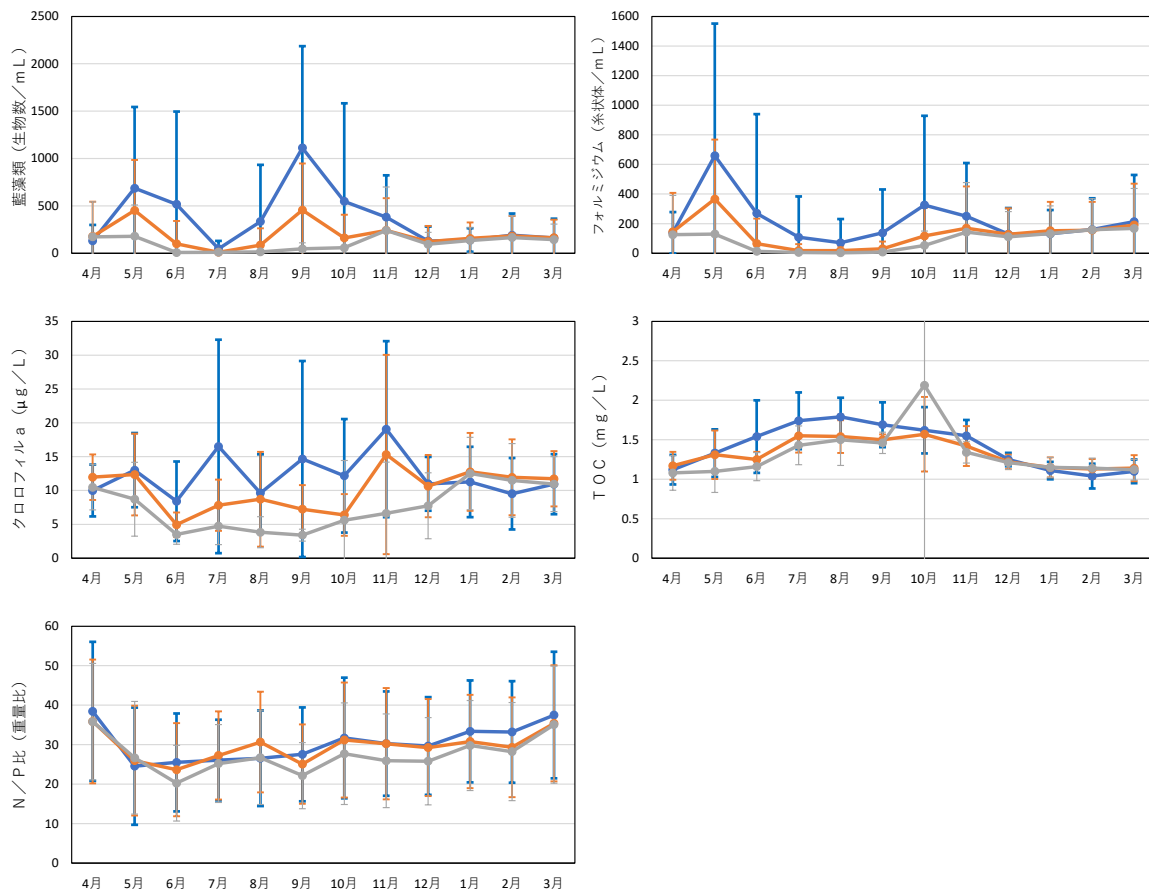


図 2.2-2 釜房ダム（ダムサイト）における藍藻類，フォルミジウム，クロロフィル a，TOC 濃度及び N/P 比の推移



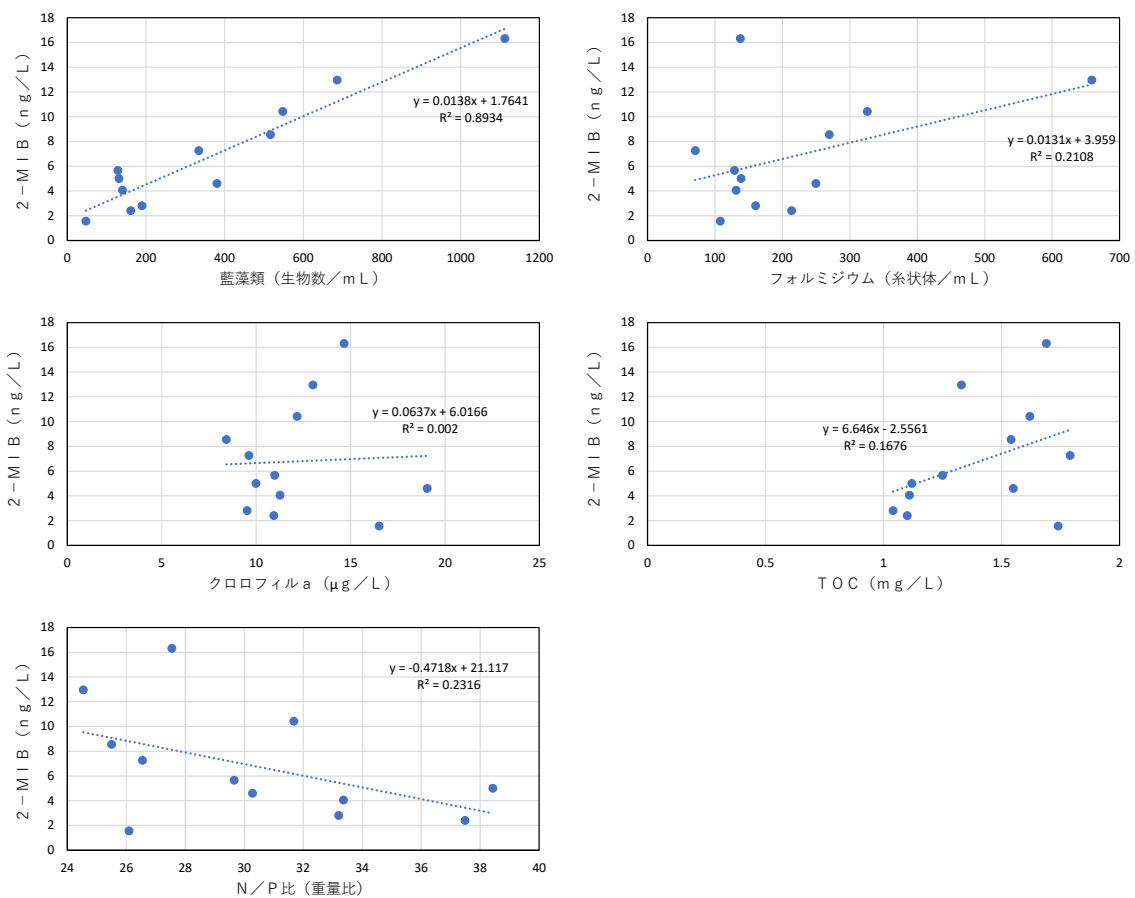
注：1. 各プロットは平成 23 (2011) ~令和 2 (2020) 年度における月ごとの平均値
 2. エラーバーは標準偏差

図 2.2-3 釜房ダム (ダムサイト) における 2-MIB の平均的な季節変化



注：1. 各プロットは平成 23 (2011) ~令和 2 (2020) 年度における月ごとの平均値
 2. エラーバーは標準偏差

図 2.2-4 釜房ダム (ダムサイト) における藍藻類, フォルミジウム, クロロフィル a, TOC 濃度及び N/P 比の平均的な季節変化



注：1. 各プロットは平成 23（2011）～令和 2（2020）年度における月ごとの平均値（1～12月までの 12 個のプロット）

図 2.2-5 釜房ダム（ダムサイト，表層）における 2-MIB と他項目の関係

2.3 藍藻類の数の推定手法の構築

数値シミュレーションでは「藍藻類のクロロフィル a 濃度」が出力されるが、「藍藻類の数」は不明である。そのため、以下の手順で「藍藻類の数／藍藻類のクロロフィル a」の比率を求め、この比率（一定と仮定）を用いて「藍藻類のクロロフィル a 濃度」を「藍藻類の数」に換算することとした。

手順

- ① まず、ダムサイトの表層において「藍藻類の数が植物プランクトン総数の 80%を超える時期」を抽出した（図 2.3-1：赤枠の 4 時期）。
- ② 次に、「上記時期のクロロフィル a」＝「藍藻類のクロロフィル a」と仮定し、「藍藻類の数／藍藻類のクロロフィル a」の比率を算出した。

上記検討の結果、「藍藻類の数／藍藻類のクロロフィル a」の比率は 160～180（平均：170）（生物数/mL）／（ $\mu\text{g/L}$ ）であった。

比率の平均値を用いると、換算式は以下のとおり。

$$[\text{藍藻類の数 (生物数/mL)}] = [\text{藍藻類のクロロフィル a } (\mu\text{g/L})] \times 170$$

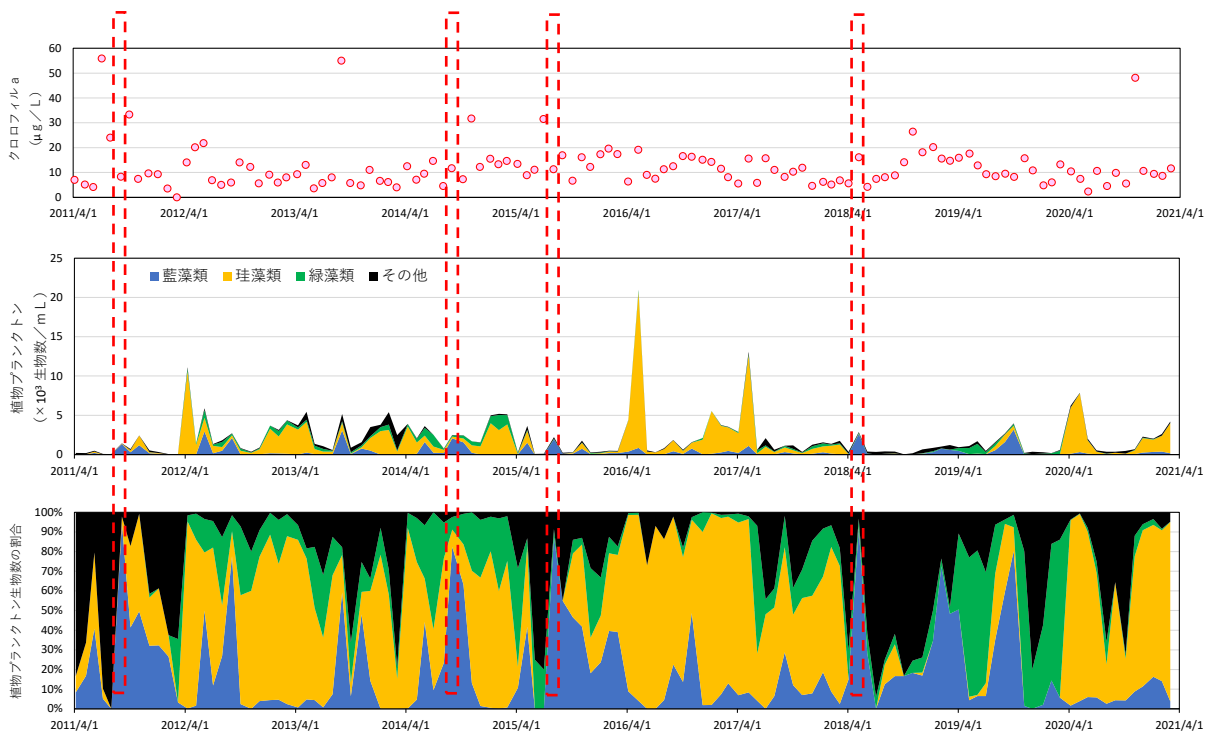


図 2.3-1 釜房ダム（ダムサイト，表層）におけるクロロフィル a 濃度，植物プランクトンの数及び割合の推移