

水質モデルの活用による嘉瀬川ダムの水質管理に関する研究

佐賀大学 大学院工学系研究科都市工学専攻

准教授 Vongthanasunthorn Narumol

水質モデルの活用による嘉瀬川ダムの水質管理に関する研究

Vongthanasunthorn Narumol

1 はじめに

嘉瀬川ダムは、佐賀県佐賀市富士町の嘉瀬川水系に建設された多目的ダムである。嘉瀬川ダム貯水池の上流部に副ダムが設置されており、その目的は景観確保、湖面・湖岸利用者の親水効果、貯水池の荒廃化の防止及び洪水後の本ダム放流水の水質改善である。副ダムにおける流入土砂の沈殿現象については、現象解明の観点から検討課題が残されているようである。嘉瀬川ダムでは濁水の長期化問題は報告されてはいないが、副ダムによる土砂の挙動を把握した上で本ダムにおける濁度の変化を検討する必要がある。一方、平成 25 年 8 月にダムサイト付近にアオコの発生が報告されており、原因究明に加え、水質管理の観点から内部生産及び栄養塩の挙動に関する知見の収集は必要不可欠である。

また、本ダムには、選択放流施設が設置されているが秋期には温水放流による下流への影響が懸念材料である。濁水問題と温水放流問題、そして富栄養化問題を解決するには、藻類増殖も含めた懸濁性物質の鉛直的な挙動を明らかにすることにより、合理的な施設運用のための基礎資料を得ることは有意義と言える。以上のことから、本研究の目的は水質管理の為に水質モデルを用いて嘉瀬川ダム貯水池における水質の挙動を明らかにすることである。

2 嘉瀬川ダムについて

嘉瀬川ダムは、2012 年 4 月に供用開始された佐賀県佐賀市富士町の嘉瀬川水系に建設された堤高 99m、堤頂長 456m の重力式コンクリートダムである。

総貯水容量は 7,100 万 m³、洪水調節、かんがい用水の補給、都市用水の供給、発電、河川の維持用水の補給を目的とする多目的ダムである。流入河川は嘉瀬川、神水川、浦川、大串川、栗並川である。嘉瀬川ダムの概要図¹⁾を図-1 に、嘉瀬川ダムの諸元²⁾を表-1 に示す。



図-1 嘉瀬川ダム概要図¹⁾

表-1 嘉瀬川ダムの諸元²⁾

項目	内容	
ダム諸元	型式	重力式コンクリートダム
	集水面積(km ²)	128.4
	湛水面積(km ²)	2.7
	堤高(m)	99
	堤長(m)	456
	堤体積(万m ³)	100
	総貯水容量(万m ³)	7100
	有効貯水量(万m ³)	6800
	サーチャージ水位(EL.m)	300
	常時満水位(EL.m)	292.5
	着工年度	1973年
	完成年度	2012年
	管理	国土交通省

嘉瀬川ダム水質調査計画³⁾により、図-2 に示すように平成 24 年～平成 28 年の平均年回転率 (α) が 2.3 回/年、平均 7 月回転率 ($\alpha 7$) が 0.32 回/月であり、表-2 から成層が形成される可能性が十分あると評価されている。

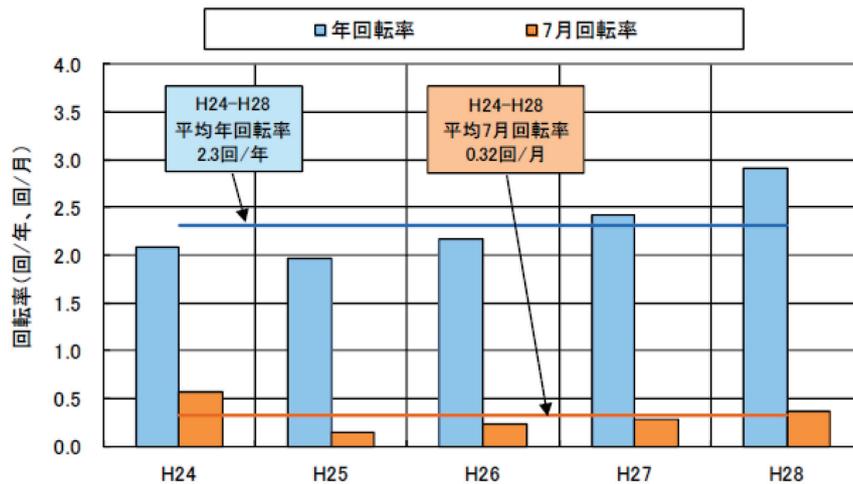


図-2 嘉瀬川ダムの年回転率及び7月回転率³⁾

表-2 成層の形成に関する評価³⁾

評価	α	$\alpha 7$
成層が形成される可能性が十分ある	<10	<1
成層が形成される可能性がある程度ある	10~30	1~5
成層が形成される可能性がほとんどない	>30	>5

3 研究方法

3.1 嘉瀬川ダムの水環境に関する情報収集

嘉瀬川ダムにおける水環境及び施設運用ルールについて国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所嘉瀬川ダム管理支所の関係者から情報収集を行う。

3.2 嘉瀬川ダム流域の流入負荷特性の検討

図-1 に示すように嘉瀬川ダムには神水川、浦川、大串川、栗並川、嘉瀬川が流入しており、出水時に流域からの流入負荷はダム貯水池の水質に影響を及ぼす可能性が高いと考えられる。嘉瀬川ダム管理支所のデータに基づいて土地利用の変化を検討し、流入負荷について考察する。

3.3 水質モデルの構築

本ダムと副ダムの水深及び体積に違いがあるため、嘉瀬川ダムの貯水池を副ダム上流の貯水池(以下、副ダム)と副ダムと本ダムの間にある貯水池(以下、本ダム)に分けて水質解析を行う必要がある。水深が浅いことから副ダムを一池完全混合モデルとし、本ダムは鉛直一次元モデルとして水質モデルを構築する。対象水質項目はクロロフィル a(Chl-a)、無機態窒素(DIN)、オルトリン酸態リン(PO4-P)、COD、懸濁性物質(SS)、である。

3.4 副ダムにおける水質解析

一池完全混合モデルを用いた水質解析を行い、副ダムにおける流域の流入負荷の影響や内部生産による影響について分析する。

3.5 本ダムにおける水質解析

副ダムの水質解析から得られた副ダムの水質特性を考慮し、鉛直一次元モデルを用いた本ダムの水質解析を行う。水質解析の結果を踏まえて本ダムの水質に及ぼす副ダムの影響について検討する。

4 嘉瀬川ダムの水質特性

4.1 水温

流入河川と貯水池のそれぞれの地点の水温(図-3)を比較すると、下流になるほど水温が高く、滞留時間が長くなることで、貯水池内で熱が蓄積されていると考えられる。図-4 に示すように本ダムにおける水温の鉛直分布図から、成層期は4月～12月であることが確認できる。

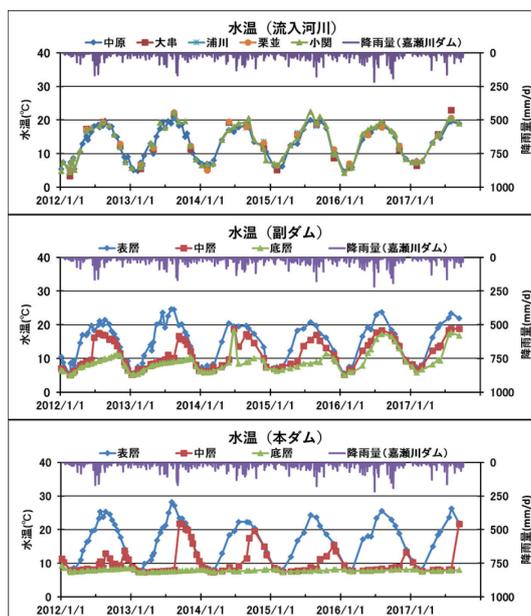


図-3 流入河川及び嘉瀬川ダム貯水池における水温の経年変化

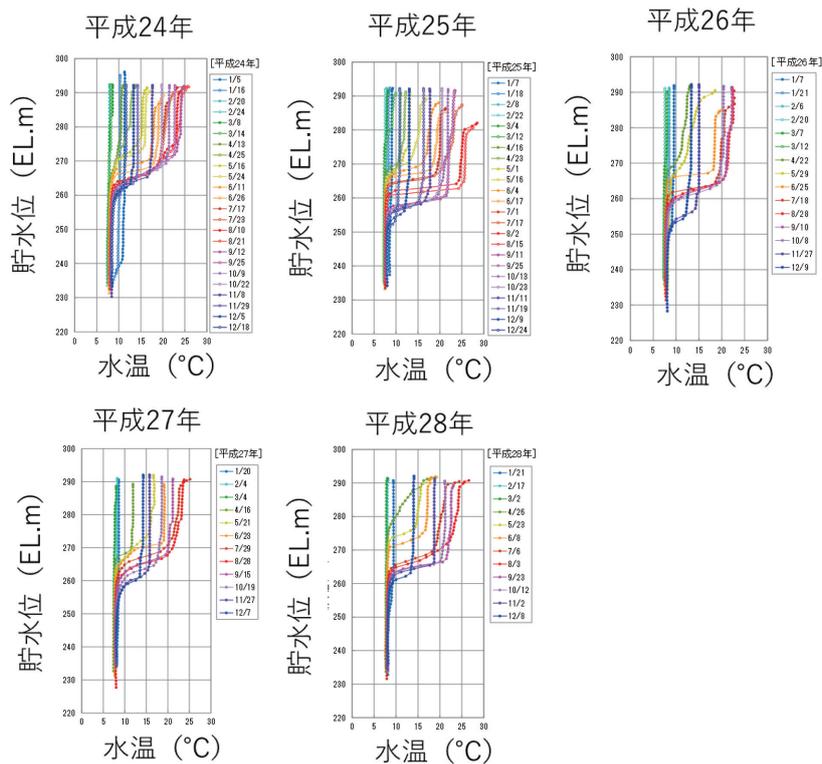


図-4 嘉瀬川ダム本ダムにおける水温の鉛直分布

4.2 Chl-a

図-5 に Chl-a の経年変化を示す。小関地点を除いて流入河川は非常に小さい値を示しており、貯水池に比べて藻類が少ないことを確認できる。副ダムでは表層の Chl-a が春季から夏季において増加傾向にあり、本ダムでは表層の Chl-a が 2014 年から春季～秋季において高くなっていることがわかる。本ダムの表層の Chl-a が副ダムの Chl-a より低いことから本ダムにおける希釈の寄与が推測される。表層の COD と SS も Chl-a と同じ傾向を示す。

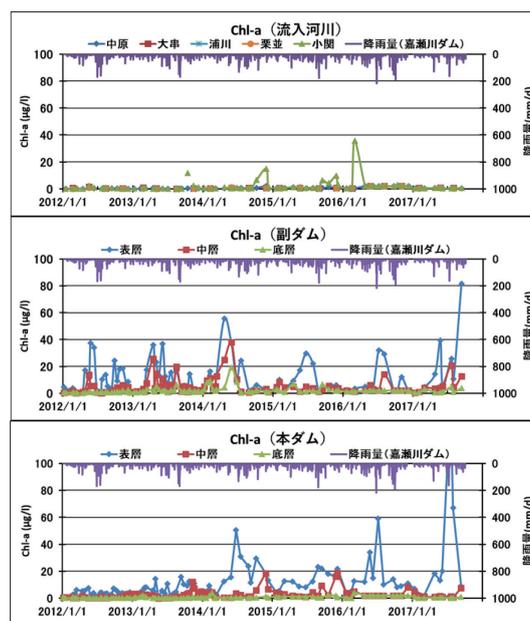


図-5 流入河川及び嘉瀬川ダム貯水池における Chl-a の経年変化

4.3 DIN

図-6にDINの経年変化を示す。副ダムと本ダムでは中層と底層の値が表層より高く、沈降及び貯留していると考えられる。Chl-aが高い時期にどちらも表層のDINの減少がみられるため、藻類による消費の影響が確認できる。

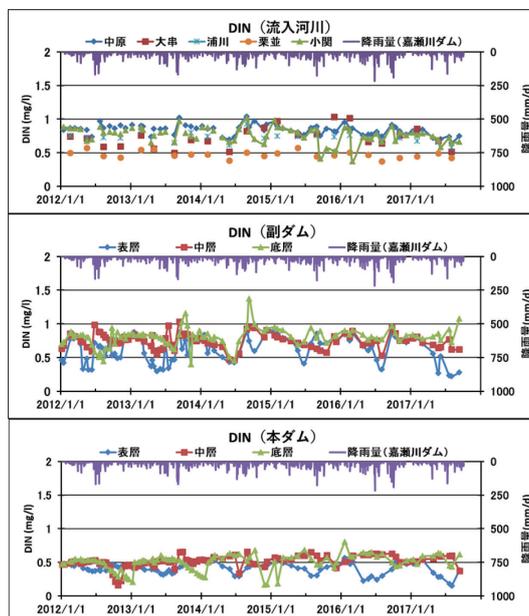


図-6 流入河川及び嘉瀬川ダム貯水池におけるDINの経年変化

4.4 PO4-P

PO4-Pの経年変化を図-7に示す。副ダムと本ダムのPO4-Pの傾向はDINと異なっている。副ダムでは出水後に表層の値が高くなっているため、流入負荷の影響を受けていることが確認できる。本ダムでは2016年1月を除いて値が非常に小さく、表層の値は中層と底層より下回っている。SSの吸着及び底層からの影響を受けていると考えられる。

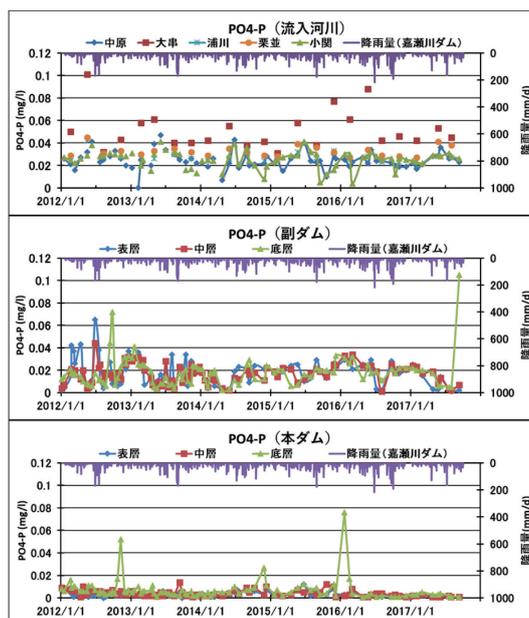


図-7 流入河川及び嘉瀬川ダム貯水池におけるPO4-Pの経年変化

4.5 DO

DOの経年変化を図-8に示す。流入河川では秋季から春季において高くなる傾向があり、水温の影響を受けていると考えられる。副ダムと本ダムにおいて、春季から秋季の表層の濃度が飽和と溶存酸素量(Cs)より高い傾向にある。同じ時期にChl-aも高いことから藻類の光合成の影響が大きいと考えられる。

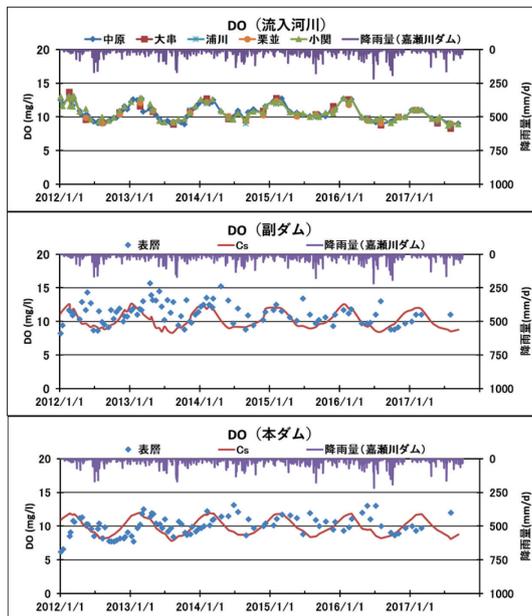


図-8 流入河川及び嘉瀬川ダム貯水池におけるDOの経年変化

4.6 pH

pHの経年変化を図-9に示す。副ダムと本ダムの表層において、pHの高い時期にChl-aが高い値を示すかつDOは過飽和であることからpHの上昇は藻類増殖によるものと考えられる。

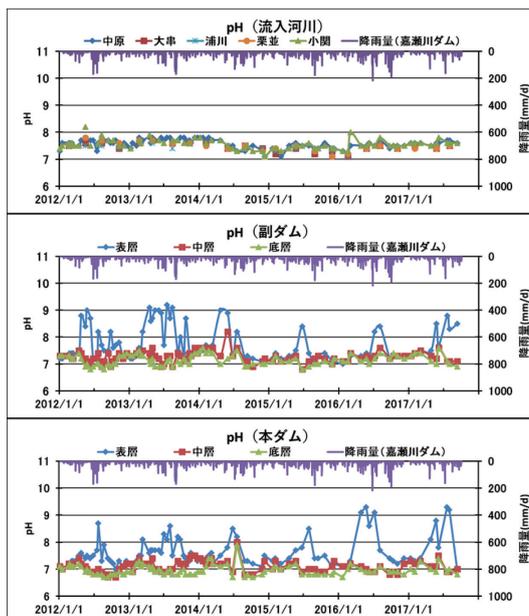


図-9 流入河川及び嘉瀬川ダム貯水池におけるpHの経年変化

4.6 COD

CODの経年変化を図-10に示す。流入河川の変化は小さいが春季から秋季においてやや高くなる傾向にある。副ダムでは春季に表層のCODが高くなり、夏季に底層のCODが高くなる傾向にある。本ダムではChl-aとほぼ同様の傾向にあるが、冬季に底層の値が高くなることもあり、藻類の死滅及び沈降が原因と考えられる。

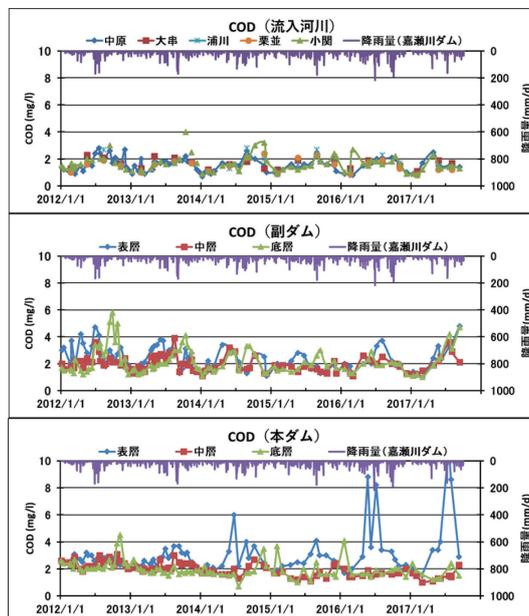


図-10 流入河川及び嘉瀬川ダム貯水池におけるCODの経年変化

4.7 SS

図-11にSSの経年変化を示す。流入河川の濃度は出水後に高くなる傾向にある。2013年以降の出水後に副ダムの表層のSSは流入河川のSSより低い値を示しており、副ダムのSS沈殿が見られる。一方、流入河川のSSに比べて副ダムの表層の濃度が増加する期間があり、同時期のChl-aも上昇していることから、SSの増加は巻き上げに加え藻類の増殖による影響も含まれていると考えられる。副ダムの濁水沈殿量を定量的に評価する際、土砂と藻類由来のSSに分離した上で水質解析モデルを用いて検討する必要がある。

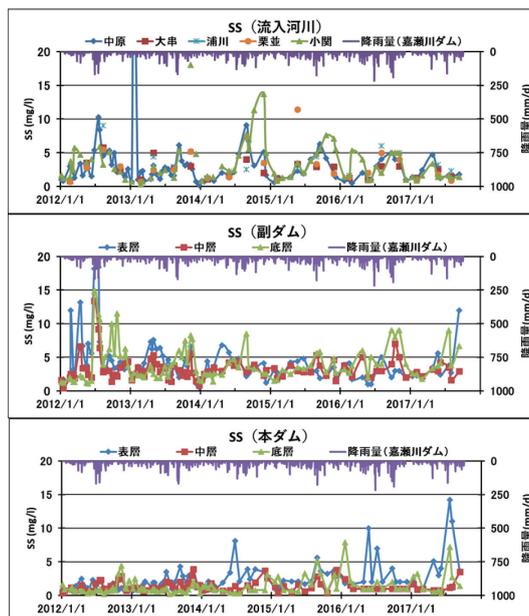


図-11 流入河川及び嘉瀬川ダム貯水池におけるSSの経年変化

5 嘉瀬川ダム流域の流入負荷特性の検討

嘉瀬川ダム流域(旧富士町及び旧三瀬村)の流域社会環境により、流域フレーム及び土地利用の変化³⁾を図-12～図-15に示す。図-12に示すように、嘉瀬川ダム流域内の人口は僅かではあるが、減少傾向にある。

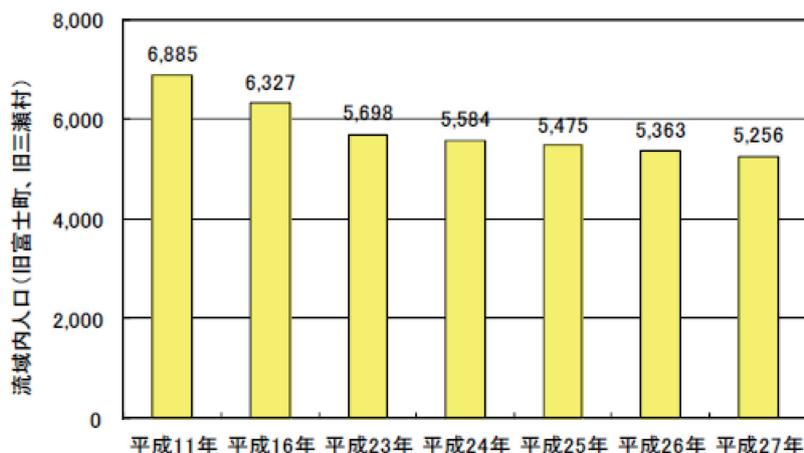


図-12 嘉瀬川ダム流域における人口の推移³⁾

図-13に流域内の水洗化率³⁾を示す。平成27年では流域内の水洗化率は70%である。特定環境保全公共下水道及び農業集落排水の事業は完了の状態であり、市営浄化槽において、平成25年に14%に上昇し、それ以降は一定の値を示す。市営浄化槽に増加する余地がある。

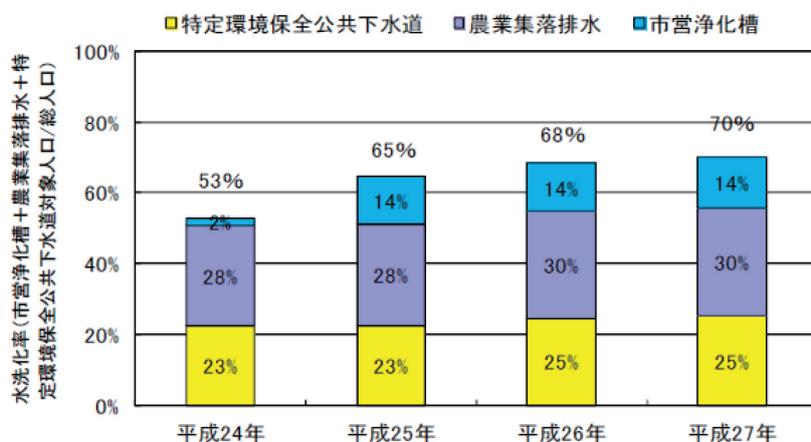


図-13 嘉瀬川ダム流域における水洗化率の推移³⁾

図-14に流域内の家畜頭羽数の推移³⁾を示す。平成24年から減少傾向がみられ、平成27年に牛は113頭に、鶏は163,000羽まで減少した。

図-15に示すように経年変化は見られず、平成16年に水田及び畑地は約16%であり、山林・その他は約84%占めている。

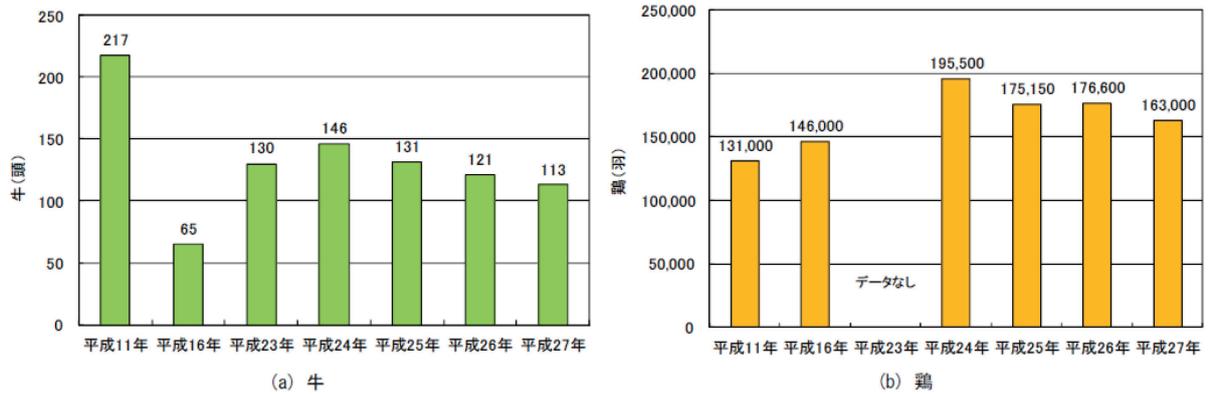


図-14 嘉瀬川ダム流域における家畜頭羽数の推移³⁾

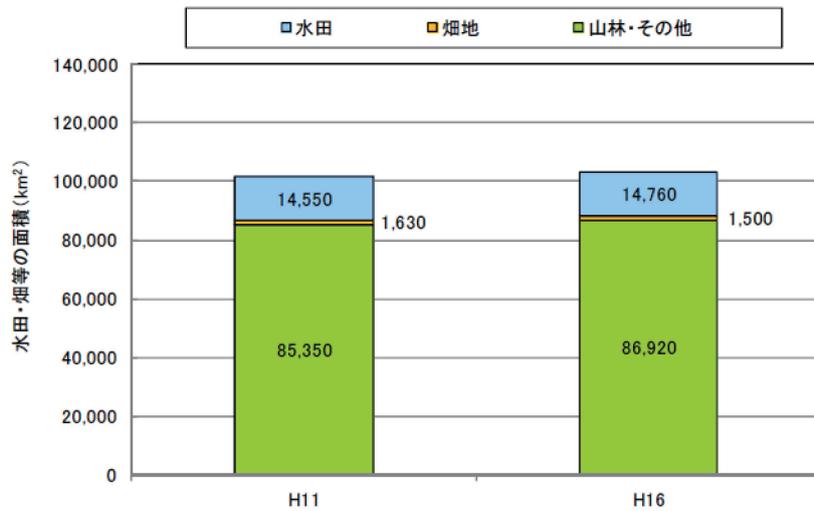


図-15 嘉瀬川ダム流域における耕地・山林面積の推移³⁾

以上のことから、経済活動からの発生負荷量は若干低下する傾向にあり、山林からの自然由来の負荷量はほぼ変化していないことが推測される。

6 水質モデルの構築

本ダムと副ダムの水深及び体積に違いがあることから、嘉瀬川ダムの貯水池を副ダム上流の貯水池と副ダムと本ダムの間にある貯水池に分けて水質解析を行う。水深が浅いことから副ダムの貯水池を一池完全混合モデルとし、本ダムの貯水池は鉛直一次元モデルとして水質モデルを構築する。

6.1 連続の式

図-16 に嘉瀬川ダムの水収支を示す⁴⁾。本ダム貯水池の水質計算を行う際に用いた連続式を以下に示す。

$$\frac{dV_0}{dt} = Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (1)$$

V_0 : 本ダム貯水池貯水容量 (m^3) Q_{IN} : 嘉瀬川ダム本ダム貯水池への流入流量 (m^3)

Q_{OUT} : 嘉瀬川ダム貯水池からの流出流量 (m^3)

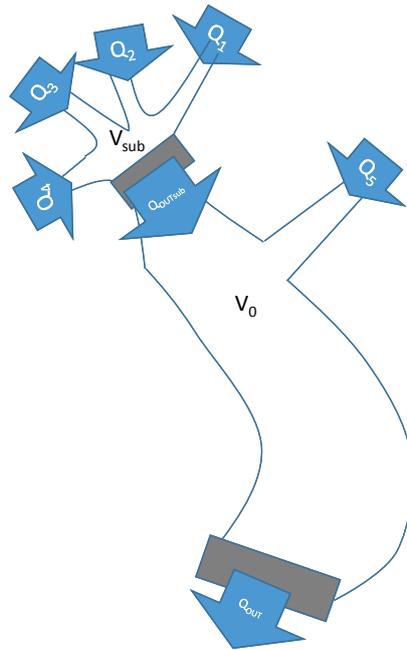


図-16 嘉瀬川ダムの水収支⁴⁾

貯水池流入量は、残留域からの流量も含まれており計測が困難である。容積 V_0 は嘉瀬川ダム全体の水位(H-V)と副ダム上流の水位(H-V)の差から求めた。本研究では、計測が容易な容積と放流量より流入量を算出している。

$$Q_{IN} = \frac{dV_0}{dt} + Q_{OUT} \quad (2)$$

本ダム貯水池への流入量を嘉瀬川本川からの流入と副ダムからの放流に分けることで副ダムの放流量とする。

$$Q_{IN} = \frac{dV_0}{dt} + Q_{OUT} = Q_{OUTsub} + Q_5 \quad (3)$$

$$Q_{OUTsub} = \frac{dV_0}{dt} + Q_{OUT} - Q_5 \quad (4)$$

Q_{OUTsub} : 副ダム貯水池からの流出流量 (m^3) Q_5 : 嘉瀬川本川からの流入流量 (m^3)

次に、嘉瀬川ダム副ダム貯水池の水質計算を行う際に用いた連続式を以下に示す。

$$\frac{dV_{sub}}{dt} = Q_{INsub} - Q_{OUTsub} \quad (5)$$

また、副ダム貯水池の水位はほぼ一定であることから、副ダムの放流量は副ダム貯水池への全流入量と等しいとした。

$$Q_{INsub} = Q_{OUTsub} \quad (6)$$

V_{sub} : 副ダム貯水池貯水容量 (m^3) Q_{INsub} : 副ダム貯水池への流入流量 (m^3)

容積 V は副ダム上流の水位(H-V)から常時満水位の値とした。副ダム貯水池への流入河川の流量は流域面積比を用いることで算出した。

$$Q_1 = \frac{A_1}{A} Q_{INsub} \quad (7)$$

$$Q_2 = \frac{A_2}{A} Q_{INsub} \quad (8)$$

$$Q_3 = \frac{A_3}{A} Q_{INsub} \quad (9)$$

$$Q_4 = \frac{A_4}{A} Q_{INsub} \quad (10)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \quad (11)$$

Q_1 : 中原(神水川)流量(m^3) Q_2 : 浦川流量(m^3) Q_3 : 大串川流量(m^3)

Q_4 : 栗並川流量(m^3) A_1 : 中原(神水川)流域面積(km^2) A_2 : 浦河流域面積(km^2)

A_3 : 大串川流域面積(km^2) A_4 : 栗並川流域面積(km^2) A : 副ダム全流域面積(km^2)

成層期における本ダム貯水池の表水層は 4~7 月:20m、8~10 月:25m、11~12 月:30m とした⁵⁾。

$$\frac{dV}{dt} = Q_{IN} - Q_{OUT} \pm Q_{exc} \quad (12)$$

$$\pm Q_{exc} = \frac{dV}{dt} - Q_{IN} + Q_{OUT} \quad (13)$$

V : 表層容量(m^3) Q_{exc} : 下層との交換流量(m^3/s)

計算期間は水質が安定した 2014 年~2015 年とし、計算ステップは一日とした⁵⁾。

流入負荷は流入河川である神水川(中原地点)、浦川、大串川、栗並川、嘉瀬川(小関地点)の L-Q 式⁴⁾及び副ダム貯水池の計算結果で与えた。表-3 に各流入河川の L-Q 式⁴⁾を示す。

表-3 嘉瀬川ダム流入河川のL-Q式

地点	項目	回帰式
神水川(中原)	Chl-a	$L=0.3607*Q^{1.6532}$
	COD	$L=1.3072*Q^{1.4857}$
	SS	$L=1.5804*Q^{2.256}$
	T-N	$L=0.9124*Q^{1.1115}$
	T-P	$L=0.0319*Q^{1.1516}$
	DIN	$L=0.8037*Q^{1.1474}$
	PO4-P	$L=0.0236*Q^{0.9281}$
浦川	溶解性COD	$L=0.8844*Q^{1.3544}$
	Chl-a	$L=1.1298*Q^{1.8239}$
	COD	$L=3.023*Q^{1.4909}$
	SS	$L=5.1958*Q^{1.8578}$
	T-N	$L=0.8653*Q^{1.0744}$
	T-P	$L=0.04*Q^1$
	DIN	$L=0.8075*Q^{1.0547}$
大串川	PO4-P	$L=0.027*Q^{0.8692}$
	溶解性COD	$L=1.1488*Q^{1.1141}$
	Chl-a	$L=0.7718*Q^{1.3737}$
	COD	$L=2.1401*Q^{1.3326}$
	SS	$L=3.1678*Q^{1.5756}$
	T-N	$L=0.8411*Q^{1.0965}$
	T-P	$L=0.0649*Q^{1.0149}$
栗並川	DIN	$L=0.7468*Q^{1.335}$
	PO4-P	$L=0.0489*Q^{0.9319}$
	溶解性COD	$L=1.6045*Q^{1.4637}$
	Chl-a	$L=1.3383*Q^{1.3059}$
	COD	$L=4.1366*Q^{1.5485}$
	SS	$L=6.6642*Q^{1.5855}$
	T-N	$L=0.4571*Q^{0.8762}$
小関地点	T-P	$L=0.0865*Q^{1.2576}$
	DIN	$L=0.4144*Q^{0.952}$
	PO4-P	$L=0.0386*Q^{1.052}$
	溶解性COD	$L=1.9622*Q^{1.3495}$
	Chl-a	$L=0.3607*Q^{1.6532}$
	COD	$L=1.45*Q^{1.24}$
	SS	$L=1.5804*Q^{2.256}$
小関地点	T-N	$L=0.8509*Q^{0.9393}$
	T-P	$L=0.035*Q^{1.02}$
	DIN	$L=0.5802*Q^{0.8927}$
	PO4-P	$L=0.0236*Q^{0.9281}$
	溶解性COD	$L=0.8844*Q^{1.3544}$

6.2 副ダムの物質保存式

(1) Chl-aの基礎式

$$\frac{d(CH_i \cdot V)}{dt} = L_{IN(CH_i)} - L_{OUT(CH_i)} - w_i \cdot CH_i \cdot A + P_{i(CH_i)} \cdot V - F_{i(CH_i)} \cdot V \quad (14)$$

藻類の増殖速度はモノー型を用いた。藻類の増殖及び死滅は、以下のように与えた。

$$\text{増殖} \quad P_{i(CH_i)} = \mu_{\max i} \cdot f_{Tm1i} \cdot \frac{IN}{IN + KN_i} \cdot \frac{IP}{IP + KP_i} \cdot CH_i \quad (15)$$

$$\text{死滅} \quad F_{i(CH_i)} = FF_i \cdot f_{Tm2i} \cdot CH_i \quad (16)$$

CH:Chl-a 濃度(mg/m³) V:表層容量(m³) L_{IN(CH_i)}:流入負荷(g/s) L_{OUT(CH_i)}:流出負荷(g/s)
w:沈降速度(m/s) A:沈降面積(m²) P:増殖速度(m/s)
μ max:最大比増殖速度(m/s) F:死滅速度(m/s) FF:死滅速度係
fT:温度補正係数(m1:増殖, m2:死滅) T:水温(°C)
IN:無機態窒素濃度(mg/l) IP:無機態リン濃度(mg/l)
KN:無機態窒素の半飽和定数 i: (1・珪藻, 2・緑藻, 3・藍藻)
KP:無機態リンの半飽和定数添字 i: (1・珪藻, 2・緑藻, 3・藍藻)

(2)DIN の基礎式

$$\frac{d(DN \cdot V)}{dt} = L_{IN(DN)} - L_{OUT(DN)} \pm R_{SN} \quad (17)$$

DN:DIN 濃度(mg/l) L_{IN(DN)}:流入負荷(g/s) L_{OUT(DN)}:流出負荷(g/s)
RSN:藻類による吸収と死滅由来

(3)PO₄-P の基礎式

$$\frac{d(PP \cdot V)}{dt} = L_{IN(PP)} - L_{OUT(PP)} \pm R_{SP} \quad (18)$$

PP:PO₄-P 濃度(mg/l) L_{IN(PP)}:流入負荷(g/s) L_{OUT(PP)}:流出負荷(g/s)
RSP:藻類による吸収と死滅由来

(4)COD の基礎式

$$\frac{d(COD \cdot V)}{dt} = L_{IN(COD)} - L_{OUT(COD)} + K \cdot COD \cdot V - W_{COD} \cdot COD \cdot A \quad (19)$$

COD:COD 濃度(mg/l) L_{IN(COD)}:流入負荷(g/s) L_{OUT(COD)}:流出負荷(g/s)
K:一次反応速度(m/s) W_{COD}:沈降速度(m/s)

(5)SS の基礎式

$$\frac{d(SS \cdot V)}{dt} = L_{IN(SS)} - L_{OUT(SS)} - W_s \cdot SS \cdot A \quad (20)$$

SS:SS 濃度(mg/l) L_{IN(SS)}:流入負荷(g/s) L_{OUT(SS)}:流出負荷(g/s) W_s:沈降速度(m/s)

6.3 本ダムの物質保存式

(1)Chl-a の基礎式

$$\frac{d(CH_i \cdot V)}{dt} = L_{IN(CH_i)} - L_{OUT(CH_i)} - w_i \cdot CH_i \cdot A + P_{i(CH_i)} \cdot V - F_{i(CH_i)} \cdot V \pm L_{EXC(CH_i)} \quad (21)$$

藻類の増殖速度はモノー型を用いた。藻類の増殖及び死滅は、以下のように与えた。

$$\text{増殖} \quad P_{i(CH_i)} = \mu_{\max i} \cdot f_{Tm1i} \cdot \frac{IN}{IN + KN_i} \cdot \frac{IP}{IP + KP_i} \cdot CH_i \quad (22)$$

$$\text{死滅} \quad F_{i(CH_i)} = FF_i \cdot f_{Tm2i} \cdot CH_i \quad (23)$$

$L_{EXC(CH_i)}$: 下層との交換負荷(g/s)

(2) DIN の基礎式

$$\frac{d(DN \cdot V)}{dt} = L_{IN(DN)} - L_{OUT(DN)} \pm R_{SN} \pm L_{EXC(DN)} \quad (24)$$

$L_{EXC(DN)}$: 下層との交換負荷(g/s)

(3) PO₄-P の基礎式

$$\frac{d(PP \cdot V)}{dt} = L_{IN(PP)} - L_{OUT(PP)} \pm R_{SP} \pm L_{EXC(PP)} \quad (25)$$

$L_{EXC(PP)}$: 下層との交換負荷(g/s)

(4) COD の基礎式

$$\frac{d(COD \cdot V)}{dt} = L_{IN(COD)} - L_{OUT(COD)} + K \cdot COD \cdot V - W_{COD} \cdot COD \cdot A \pm L_{EXC(COD)} \quad (26)$$

$L_{EXC(COD)}$: 下層との交換負荷(g/s)

(5) SS の基礎式

$$\frac{d(SS \cdot V)}{dt} = L_{IN(SS)} - L_{OUT(SS)} - W_S \cdot SS \cdot A \pm L_{EXC(SS)} \quad (27)$$

$L_{EXC(SS)}$: 下層との交換負荷(g/s)

7 副ダムにおける水質解析

7.1 副ダムの再現結果

(1) Chl-a

副ダムの Chl-a の再現結果を図-17 に示す。2014 年 1 月～3 月及び 2015 年 6 月～7 月を除いて、概ね良好な結果が得られた。発生する藻類種の変化等に関する検討が今後の課題である。

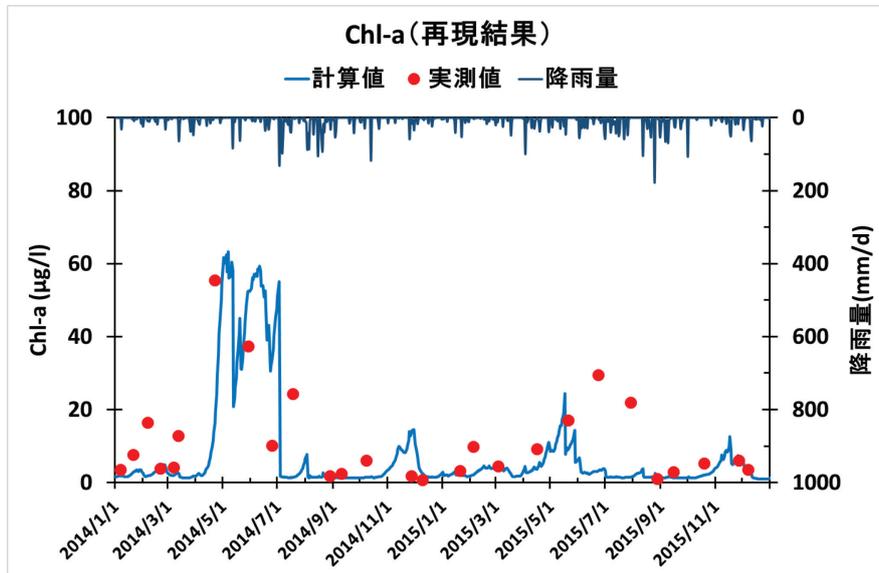


図-17 副ダムにおける Chl-a の再現結果

(2) DIN

副ダムの DIN の再現結果を図-18 に示す。概ね良好な結果が得られた。内部生産を考慮したことで再現性を向上させることができたことから藻類増殖に伴う窒素の消費が確認できる。

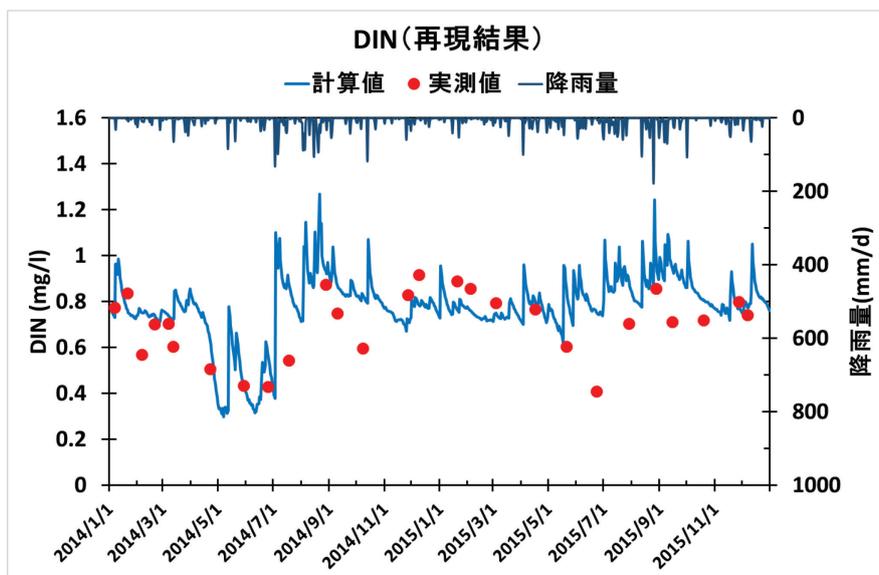


図-18 副ダムにおける DIN の再現結果

(3) PO4-P

副ダムの PO4-P の再現結果を図-19 に示す。再現結果に改善の余地があるが、藻類が増加する時期に PO4-P の減少傾向はほぼ再現できている。今後の課題として、吸着及び沈降を考慮する必要があると考えられる。

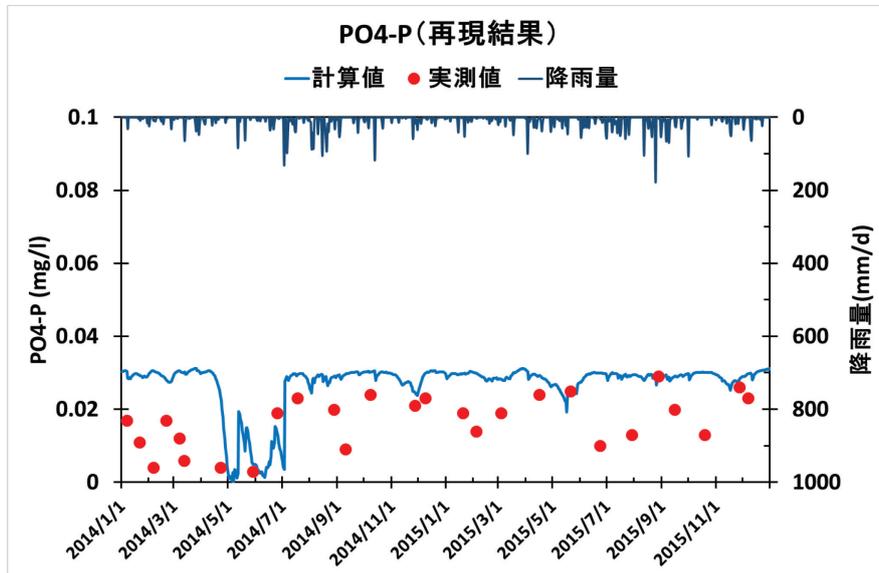


図-19 副ダムにおける PO4-P の再現結果

(4) COD

図-20 に示すように副ダムの COD の再現結果は概ね良好である。内部生産を考慮したことで再現性が向上されたことから内部生産の影響が確認できる。

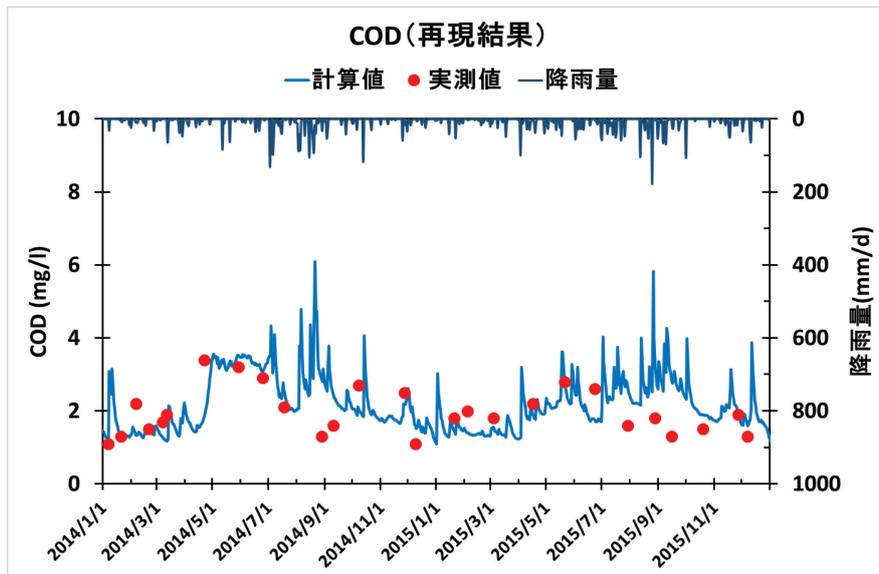


図-20 副ダムにおける COD の再現結果

(5) SS

副ダムの SS の再現結果を図-21 に示す。出水時を除いて、SS の再現結果は概ね良好である。実測値の分析で SS の増加は藻類増殖による影響が含まれていると指摘されたように、内部生産を考慮することで概ね良好な結果が得られることから藻類増殖による影響が確認できる。

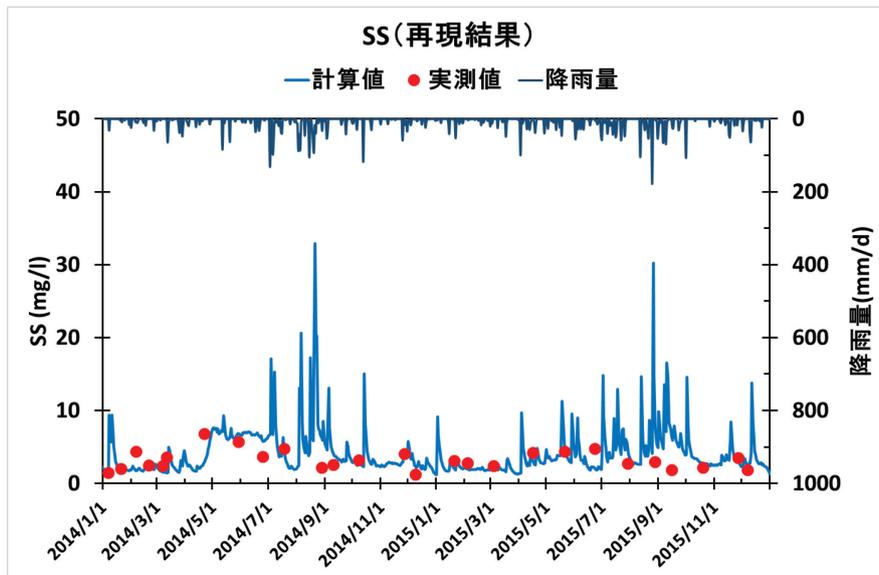


図-21 副ダムにおける SS の再現結果

副ダムにおける各水質パラメータを概ね再現できることから、本研究で作成された一池完全混合モデルは副ダムの水質を解析するツールとして使用可能であることが確認できた。

7.2 副ダムにおける流入負荷の影響に関する検討

流域から流入する負荷が副ダムの水質に及ぼす影響を検討するために、流入負荷のみ考慮するシナリオで一池完全混合モデルを用いて計算した。

(1) Chl-a

流入負荷のみ考慮した Chl-a の計算結果を図-22 に示す。計算結果から副ダムにおける流入負荷の影響は小さいことが確認できる。副ダムの Chl-a の増加は貯水池内の内部生産による影響であると考えられる。

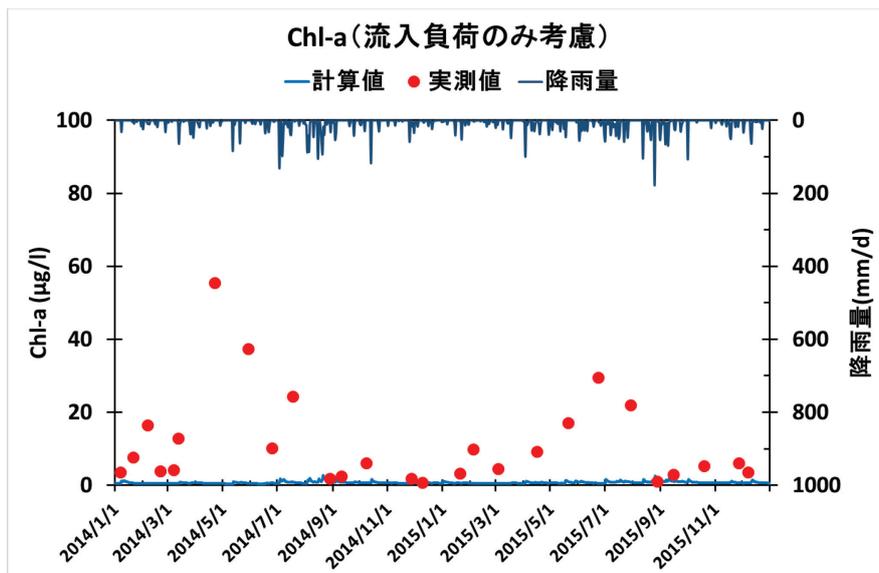


図-22 流入負荷のみ考慮した副ダムにおける Chl-a の計算結果

(2) DIN

流入負荷のみ考慮した副ダムの DIN の計算結果を図-23 に示す。流入負荷のみ考慮した計算結果が実測値を上回っており、流入負荷の影響を強く受けていることが確認できる。

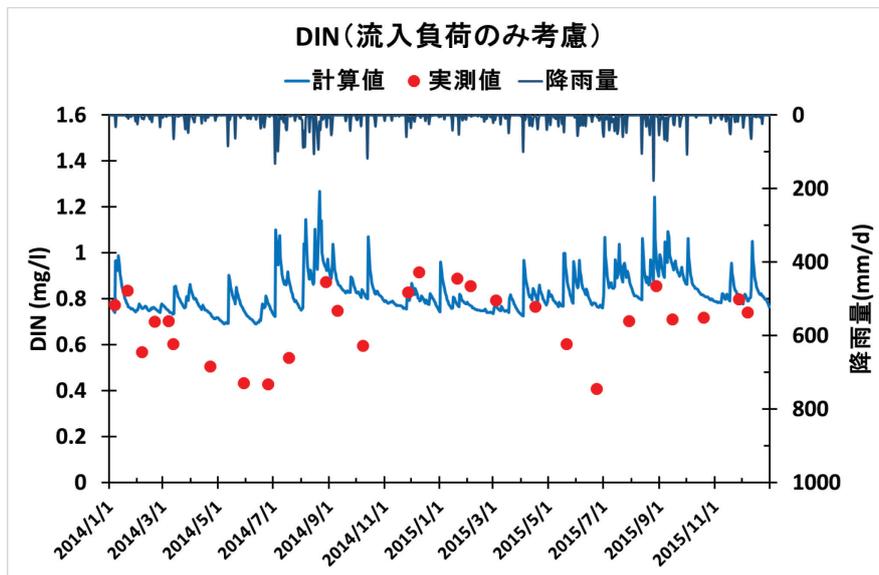


図-23 流入負荷のみ考慮した副ダムにおける DIN の計算結果

(3) PO4-P

副ダムの PO4-P の流入負荷のみ考慮した計算結果を図-24 に示す。流入負荷のみ考慮した計算結果が実測値より高い値を示していることから流入負荷の影響が強いことが確認できる。また、DIN と異なり平常時と出水時の変化が小さく、常に同じレベルの値である。

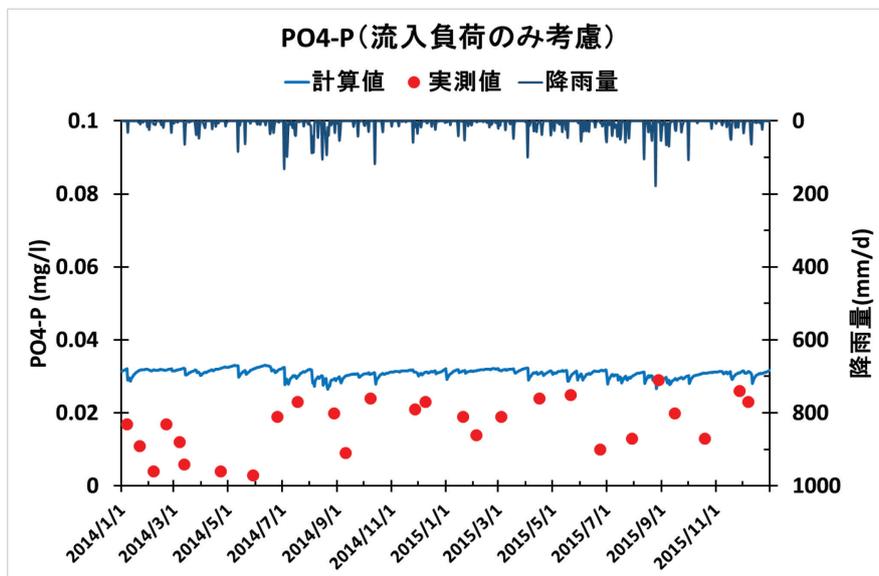


図-24 流入負荷のみ考慮した副ダムにおける PO4-P の計算結果

(4) COD

COD の流入負荷のみ考慮した計算結果を図-25 に示す。計算結果が実測値を上回っており、副ダムの COD は流入負荷の影響を強く受けていることが分かる。

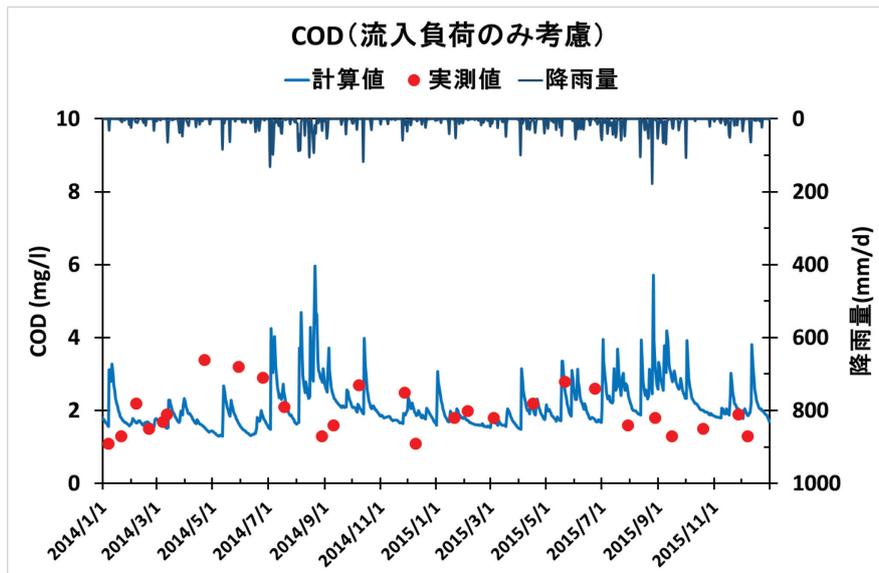


図-25 流入負荷のみ考慮した副ダムにおける COD の計算結果

(5) SS

流入負荷のみ考慮した SS の計算結果を図-26 に示す。計算結果から全体的に計算値と実測値の差が小さいこと及び出水時に大きく変化することから、副ダム上流の貯水池の SS は流入河川からの負荷に左右されることが分かる。

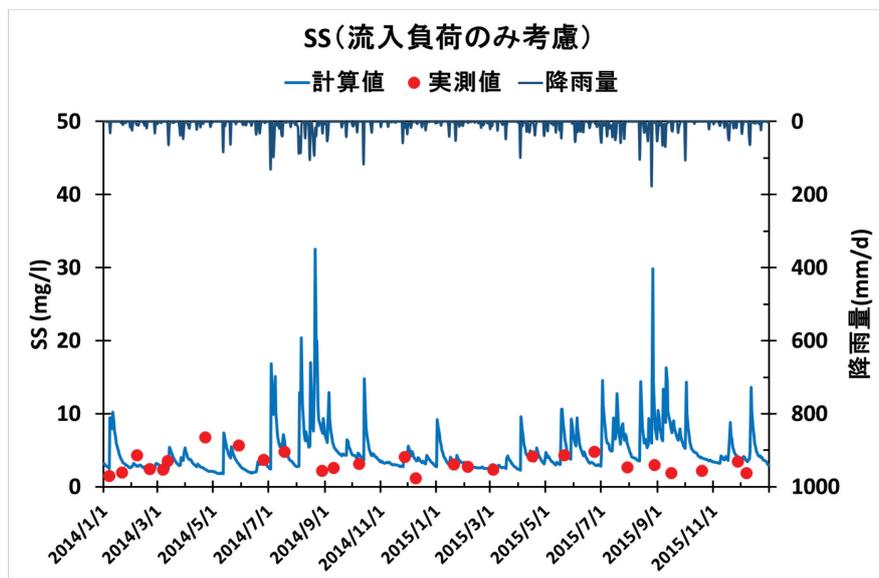


図-26 流入負荷のみ考慮した副ダムにおける SS の計算結果

8 本ダムにおける水質解析

8.1 本ダムの再現結果

(1) Chl-a

同一パラメータでは良好な再現結果が得られなかったため、藻類種の特性が異なることが考えられる。各年毎にパラメータを設定することで、**図-27** に示すように表水層において概ね良好な再現結果が得られた。本ダムにおける Chl-a の鉛直分布の再現結果を**図-28** に示す。この図より Chl-a の再現結果は概ね良好である。

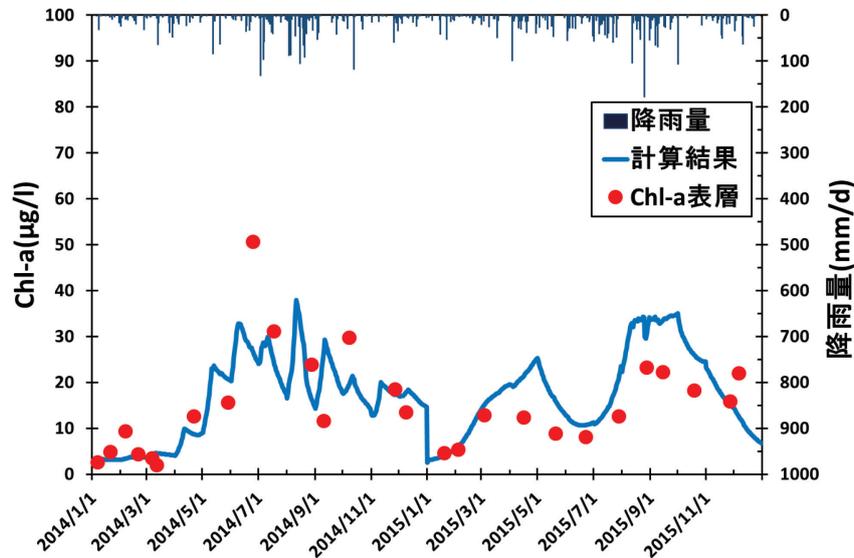
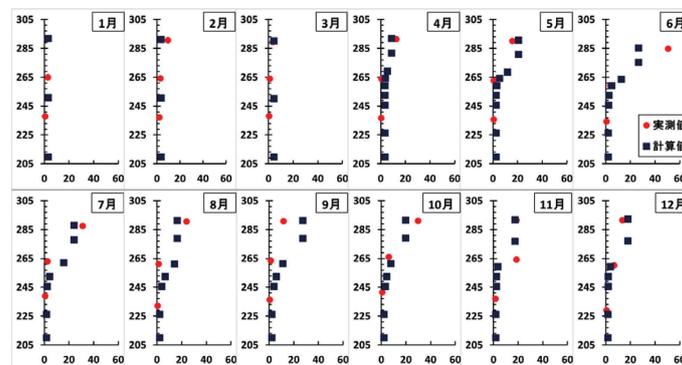
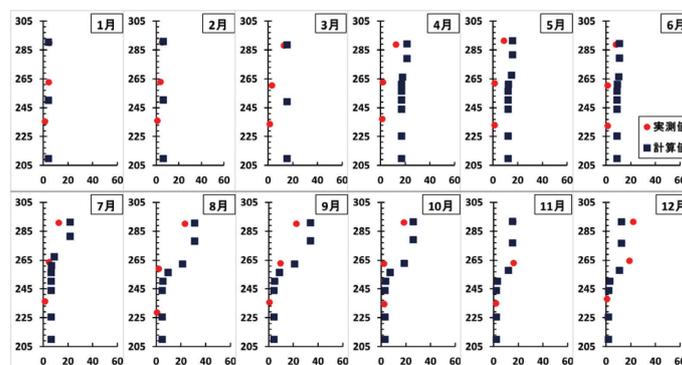


図-27 本ダムの表水層における Chl-a の再現結果



(a)



(b)

図-28 本ダムにおける Chl-a の鉛直分布の再現結果 [(a) 2014 年、(b) 2015 年]

(2) DIN

本ダムの表水層における DIN の再現結果を図-29 に示す。この図より、表水層における DIN の再現結果は概ね良好である。図-30 に DIN の鉛直分布の再現結果を示す。この図から概ね良好な再現結果が得られたといえる。

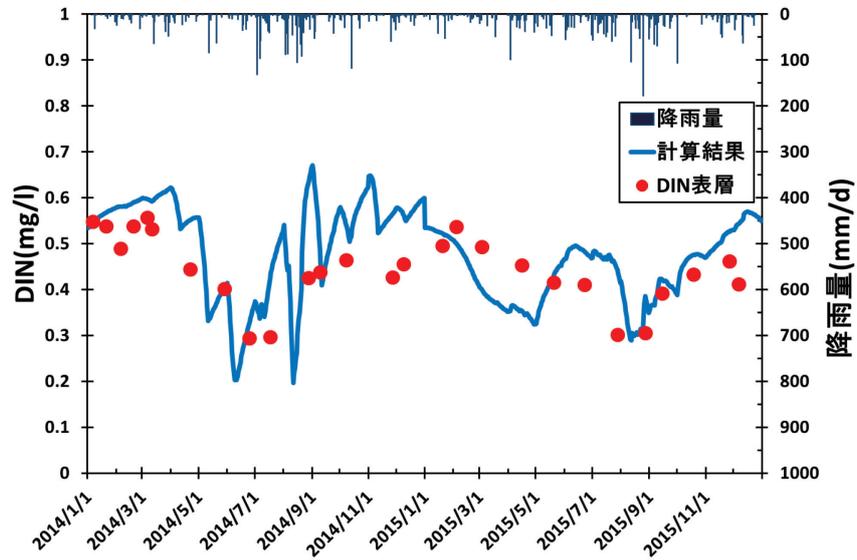
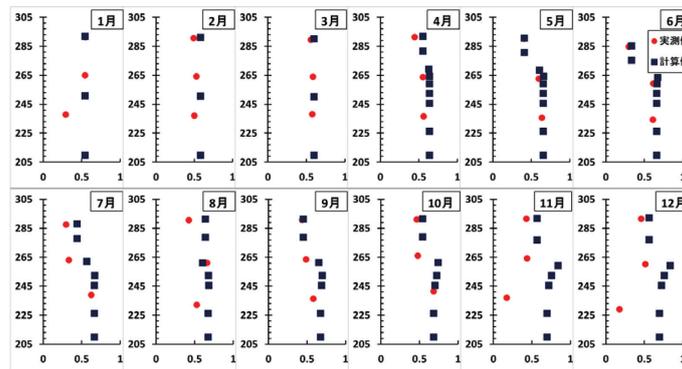
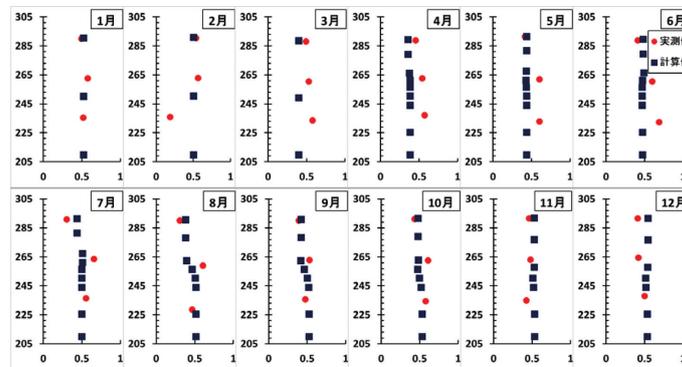


図-29 本ダムの表水層における DIN の再現結果



(a)



(b)

図-30 本ダムにおける DIN の鉛直分布の再現結果 [(a) 2014 年、(b) 2015 年]

(3) PO4-P

図-31 に本ダムの表水層における PO4-P の再現結果を示す。図-32 に PO4-P の鉛直分布の再現結果を示す。これらの図から PO4-P においては改善の余地があるといえる。吸着及び沈降に伴う影響の検討が必要であると考えられるが今後の課題としたい。

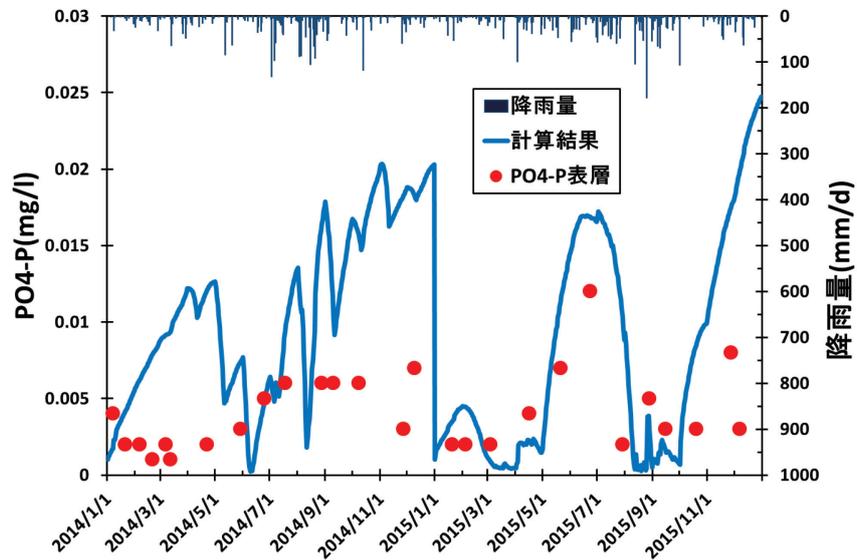
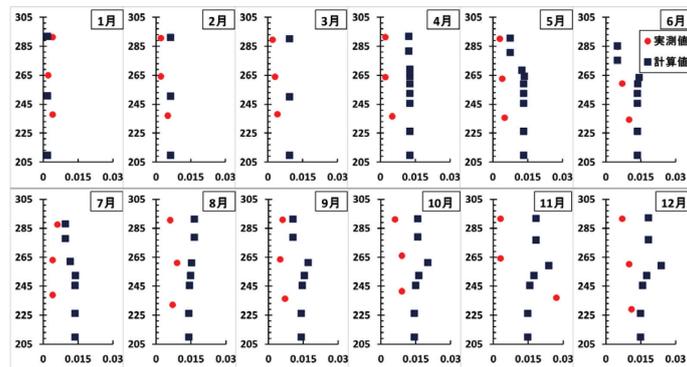
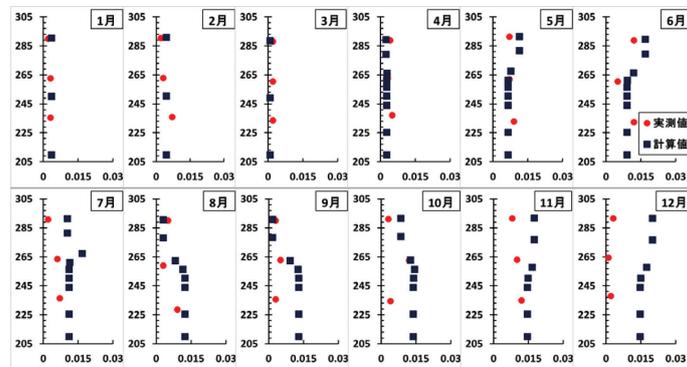


図-31 本ダムの表水層における PO4-P の再現結果



(a)



(b)

図-32 本ダムにおける PO4-P の鉛直分布の再現結果 [(a) 2014 年、(b) 2015 年]

(4) COD

本ダムの表水層におけるCODの再現結果を図-33に示す。この図より、表水層におけるCODの概ね良好な再現結果が得られた。図-34にCODの鉛直分布の再現結果を示す。鉛直分布の再現結果は概ね良好である。

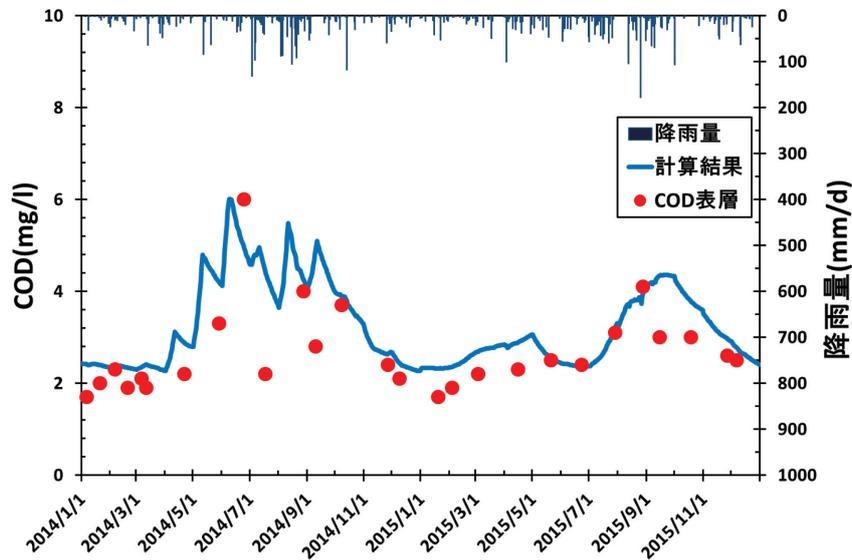
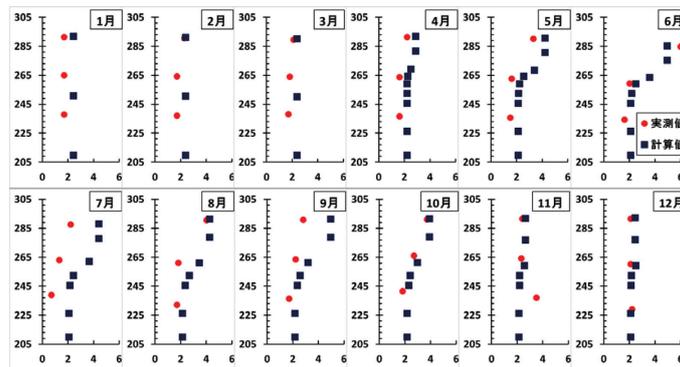
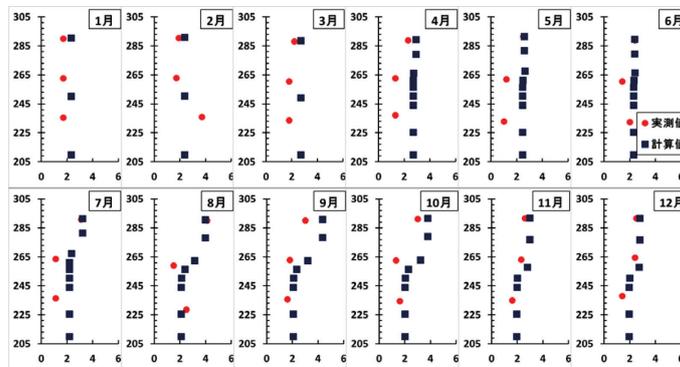


図-33 本ダムの表水層におけるCODの再現結果



(a)



(b)

図-34 本ダムにおけるCODの鉛直分布の再現結果 [(a) 2014年、(b) 2015年]

(5) SS

本ダムの表水層におけるSSの再現結果を図-35に、鉛直分布の再現結果を図-36に示す。SSの表水層において2014年6月～11月を除いて概ね良好な再現結果が得られた。この期間において、鉛直分布も実測値と計算値の乖離が見られた。この期間によって、副ダムの再現結果が不十分であることが原因と考えられる。

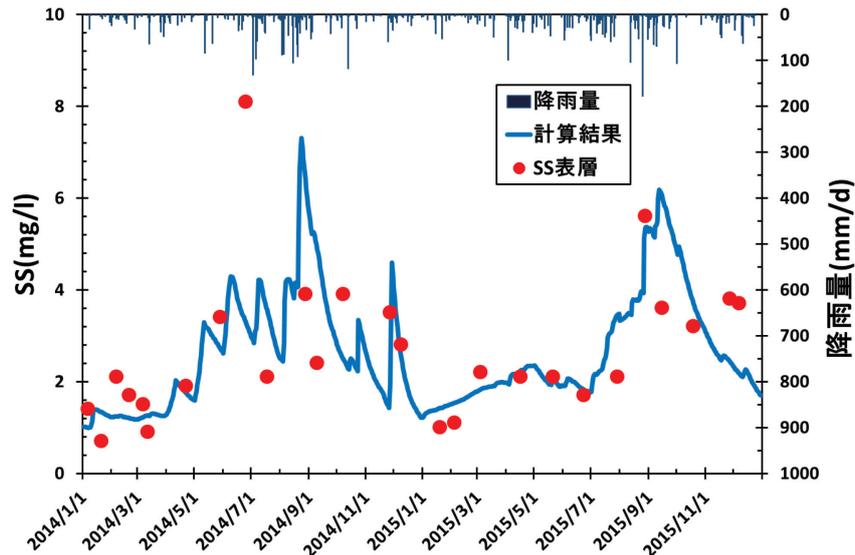
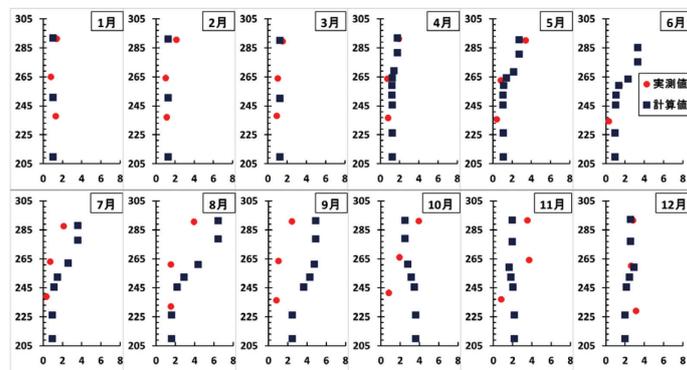
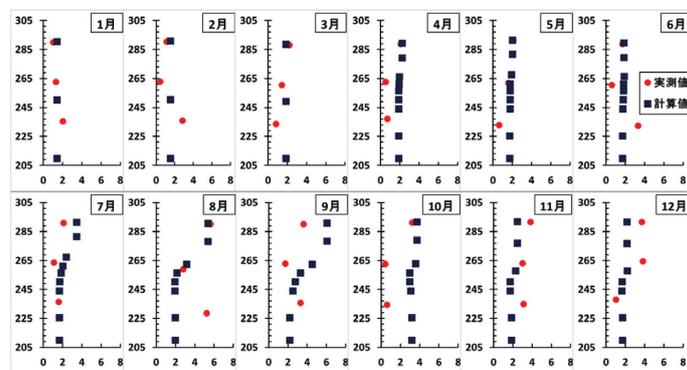


図-35 本ダムの表水層におけるSSの再現結果



(a)



(b)

図-36 本ダムにおけるSSの鉛直分布の再現結果 [(a) 2014年、(b) 2015年]

8.2 本ダムにおける流入負荷の影響に関する検討

副ダム及び流域から流入する負荷が本ダムの水質に及ぼす影響を検討するために、副ダムの流入負荷のみ考慮するシナリオ及び嘉瀬川の流入負荷のみ考慮するシナリオで鉛直次元モデルを用いて計算した。

(1) Chl-a

副ダムの流入負荷のみ考慮した Chl-a の計算結果を図-37 に、嘉瀬川の流入負荷のみ考慮した Chl-a の計算結果を図-38 に示す。これらの図から流入負荷の影響は小さいことが確認できる。また、副ダムの流入負荷の影響は嘉瀬川の流入負荷より強いといえる。

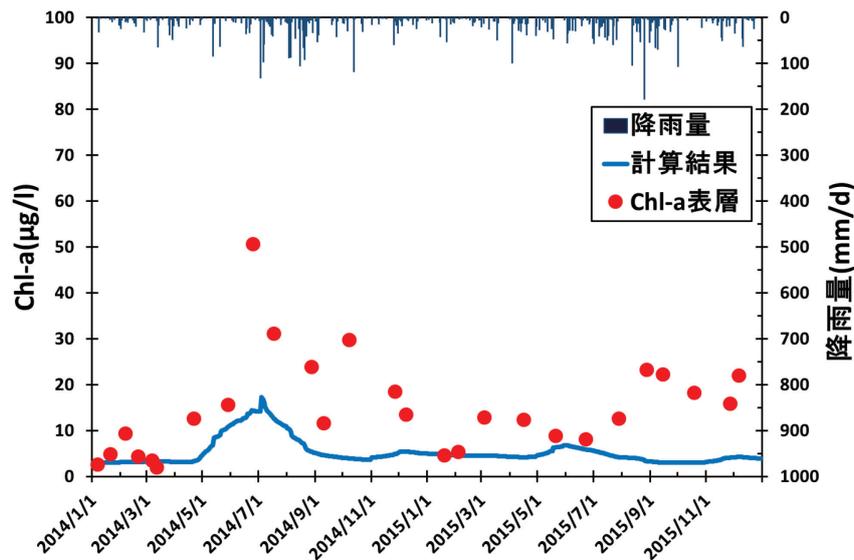


図-37 本ダムにおける Chl-a の計算結果(副ダムの流入負荷のみ考慮)

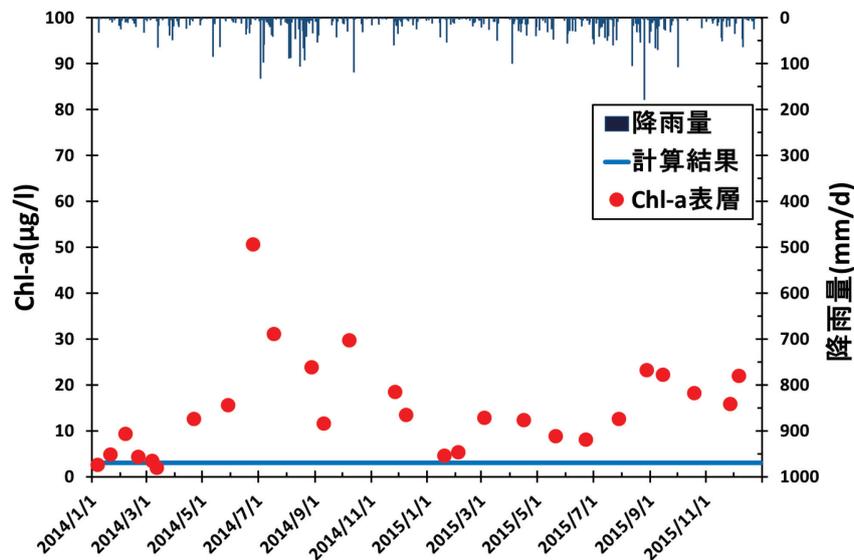


図-38 本ダムにおける Chl-a の計算結果(嘉瀬川の流入負荷のみ考慮)

(2) DIN

副ダムの流入負荷のみ考慮した DIN の計算結果を図-39 に、嘉瀬川の流入負荷のみ考慮した DIN の計算結果を図-40 に示す。図-39 から本ダムの DIN は副ダムの流入負荷の影響を強く受けていることが確認できる。これらの計算結果の比較から嘉瀬川の流入負荷の影響は副ダムの流入負荷より少ないことが分かる。

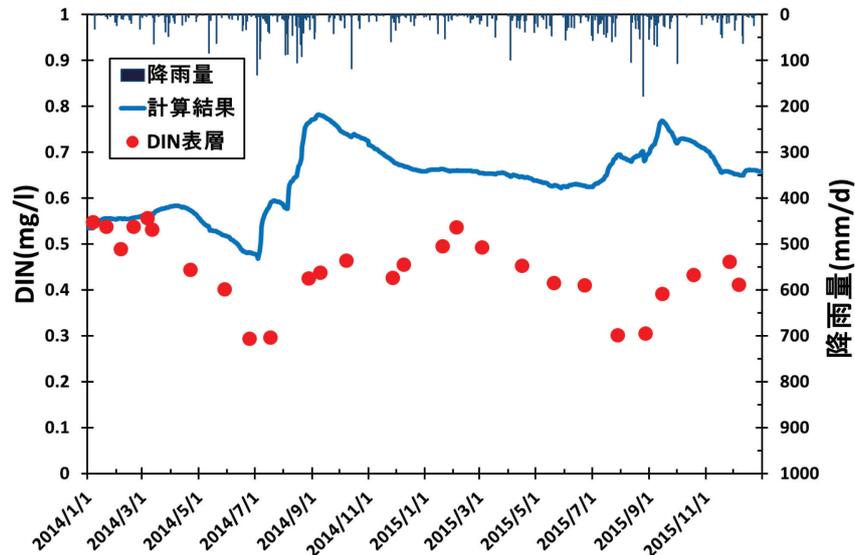


図-39 本ダムにおける DIN の計算結果(副ダムの流入負荷のみ考慮)

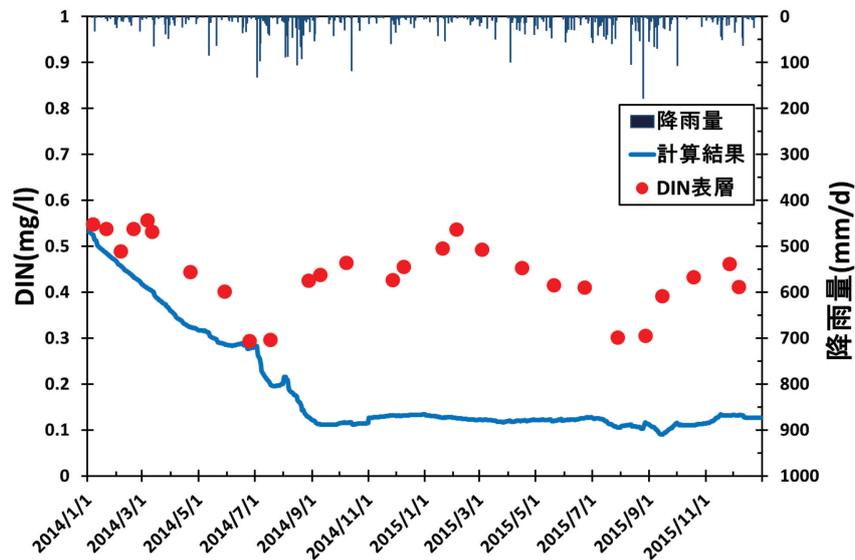


図-40 本ダムにおける DIN の計算結果(嘉瀬川の流入負荷のみ考慮)

(3) PO4-P

副ダムの流入負荷のみ考慮した PO4-P の計算結果を図-41 に、嘉瀬川の流入負荷のみ考慮した PO4-P の計算結果を図-42 に示す。DIN と同様、本ダムの PO4-P は副ダムの流入負荷の影響を強く受けていることが分かる。計算結果の比較から嘉瀬川の流入負荷の影響は副ダムの流入負荷より少ないことが確認できた。

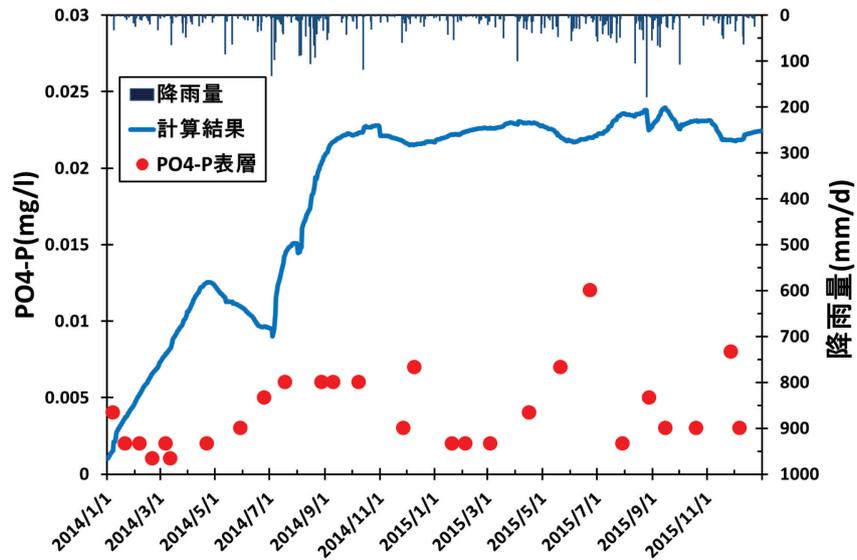


図-41 本ダムにおける PO4-P の計算結果(副ダムの流入負荷のみ考慮)

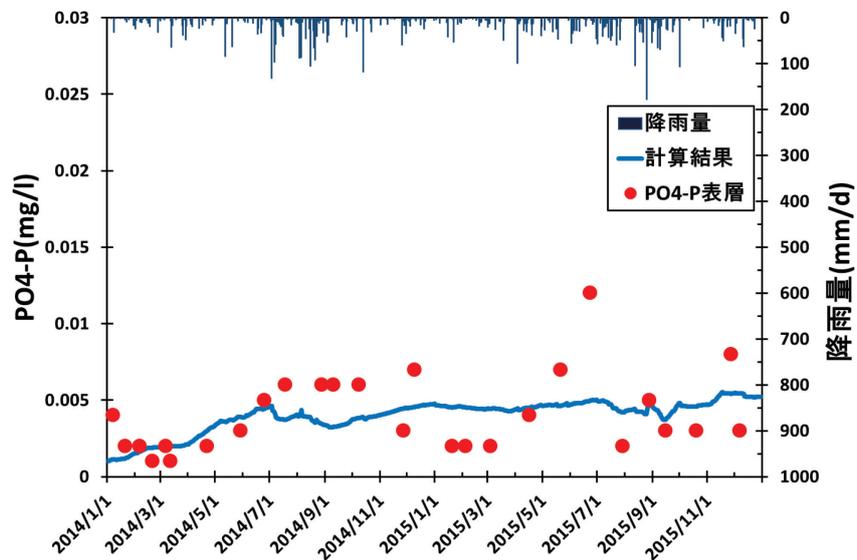


図-42 本ダムにおける PO4-P の計算結果(嘉瀬川の流入負荷のみ考慮)

(4) COD

副ダムの流入負荷のみ考慮した COD の計算結果を図-43 に、嘉瀬川の流入負荷のみ考慮した COD の計算結果を図-44 に示す。Chl-a と同様、流入負荷の影響は小さいことが確認できる。また、副ダムの流入負荷の影響は嘉瀬川の流入負荷より強いといえる。

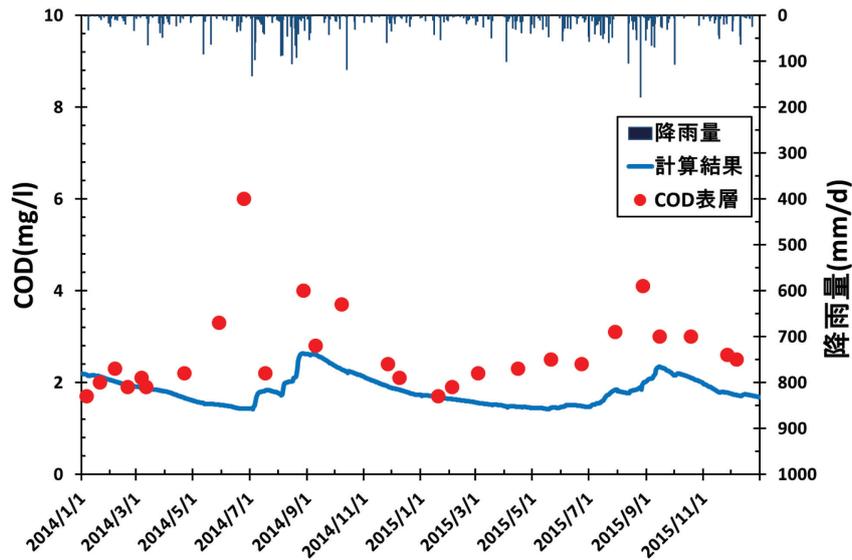


図-43 本ダムにおける COD の計算結果(副ダムの流入負荷のみ考慮)

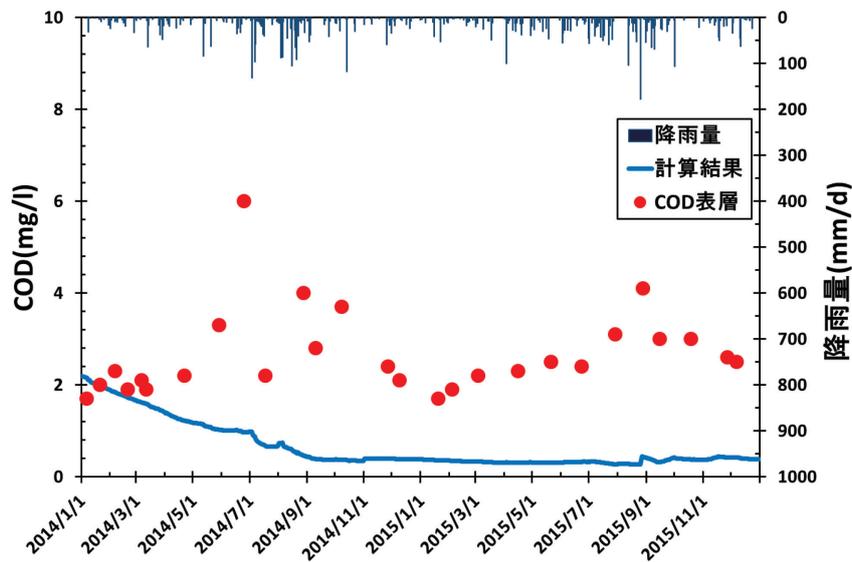


図-44 本ダムにおける COD の計算結果(嘉瀬川の流入負荷のみ考慮)

(5) SS

副ダムの流入負荷のみ考慮した SS の計算結果を図-45 に、嘉瀬川の流入負荷のみ考慮した SS の計算結果を図-46 に示す。図-45 に示すように計算値と実測値の差が小さいことから、本ダムの SS は副ダムの流入負荷に左右されることが分かる。また、嘉瀬川の流入負荷の影響は副ダムの流入負荷より少ないことが確認できた。

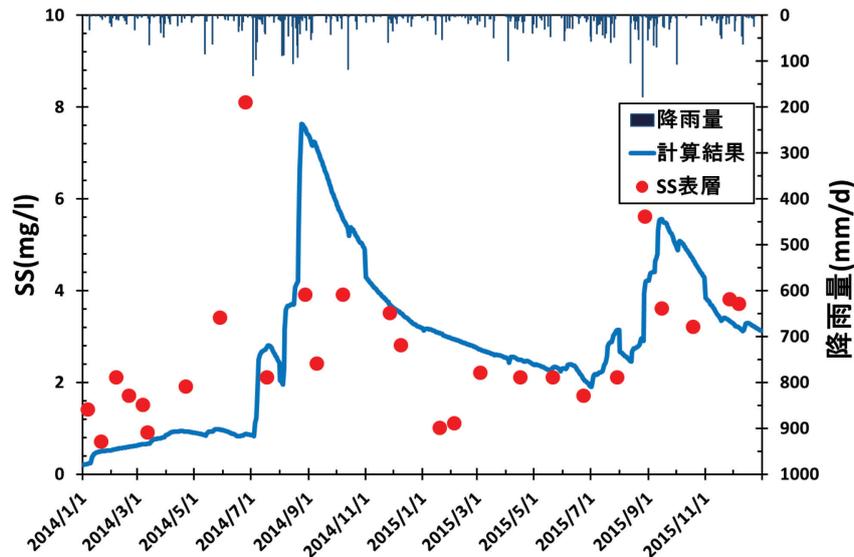


図-45 本ダムにおけるSSの計算結果(副ダムの流入負荷のみ考慮)

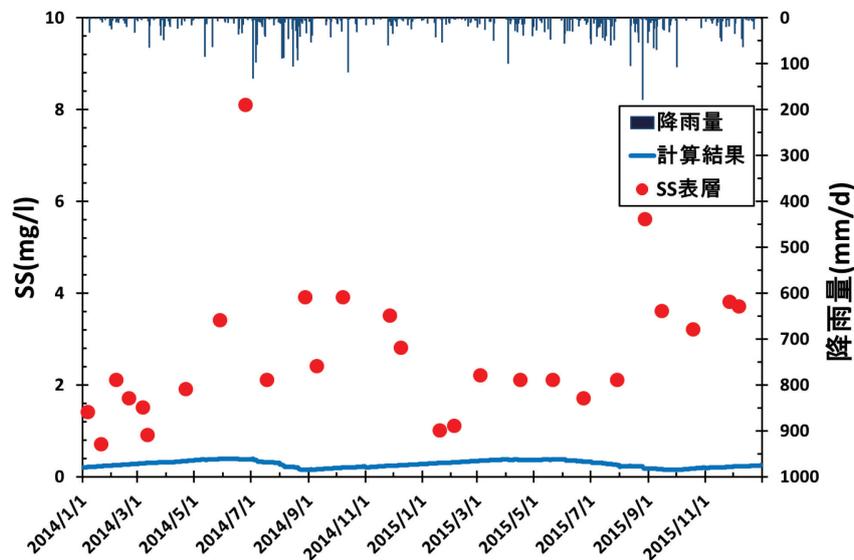


図-46 本ダムにおけるSSの計算結果(嘉瀬川の流入負荷のみ考慮)

まとめ

本研究では、一部の期間を除いて一池完全混合モデル及び鉛直一次元モデルから概ね良好な再現結果が得られた。

副ダムのChl-aにおいて、流入負荷の影響は小さく、貯水池内では内部生産の影響を強く受けていることが分かった。栄養塩に関しては、内部生産の影響に加えて、流入負荷の影響を強く受けている。CODとSSは流入河川の負荷に左右されており、春から秋にかけて内部生産の影響を無視できないことが確認された。

本ダムにおいて同一パラメータでChl-aの良好な結果が得られなかったため、2014年と2015年の藻類挙動に違いがあることが確認された。副ダムと同様、本ダムのChl-aに対する副ダムの流入負荷の影響は小さく、本ダムのDINとPO4-Pは副ダムの流入負荷の影響を強く受けていることが確認された。本ダムにおける藻類増殖をコントロールするには、副ダムの流入負荷、すなわち、副ダム上流の流入河川の負荷を制御することが効果的であると考えられる。

本ダムのSSも副ダムの流入負荷の影響を強く受けている。2014年6月～11月における再現結

果と実測値に乖離が見られ、副ダムの再現性が不十分であることが要因と考えられる。今後の課題は副ダムの一池完全混合モデルの改善及び鉛直一次元モデルの再現性の向上である。

参考文献

- 1) 平井 孝明:副ダムを考慮した嘉瀬川ダムの水質解析,佐賀大学卒業論文, 2017.
- 2) 国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所嘉瀬川ダム管理支所ホームページ:
<http://www.qsr.mlit.go.jp/kasegawa/>
- 3) 国土交通省九州地方整備局:嘉瀬川ダム水質調査計画, 2017.
- 4) 平井 孝明、V. Narumol、佐々木 広光、古賀 憲一、三樹 祐太、高木 洋輔:嘉瀬川ダムの副ダムによる水質改善効果に関する基礎研究、平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会、pp.771-772, 2017.
- 5) 永野 智己、宮崎 雅也、V. Narumol、佐々木 広光、古賀 憲一:嘉瀬川ダム水質管理のための鉛直一次元モデル、平成 29 年度土木学会西部支部研究発表会、pp.735-736, 2018.