

2021/02/18令和 2 年度汽水湖
汚濁メカニズム解明調査WG

資料 3 - 5

穴道湖・中海に係る 水質シミュレーションモデルの構築

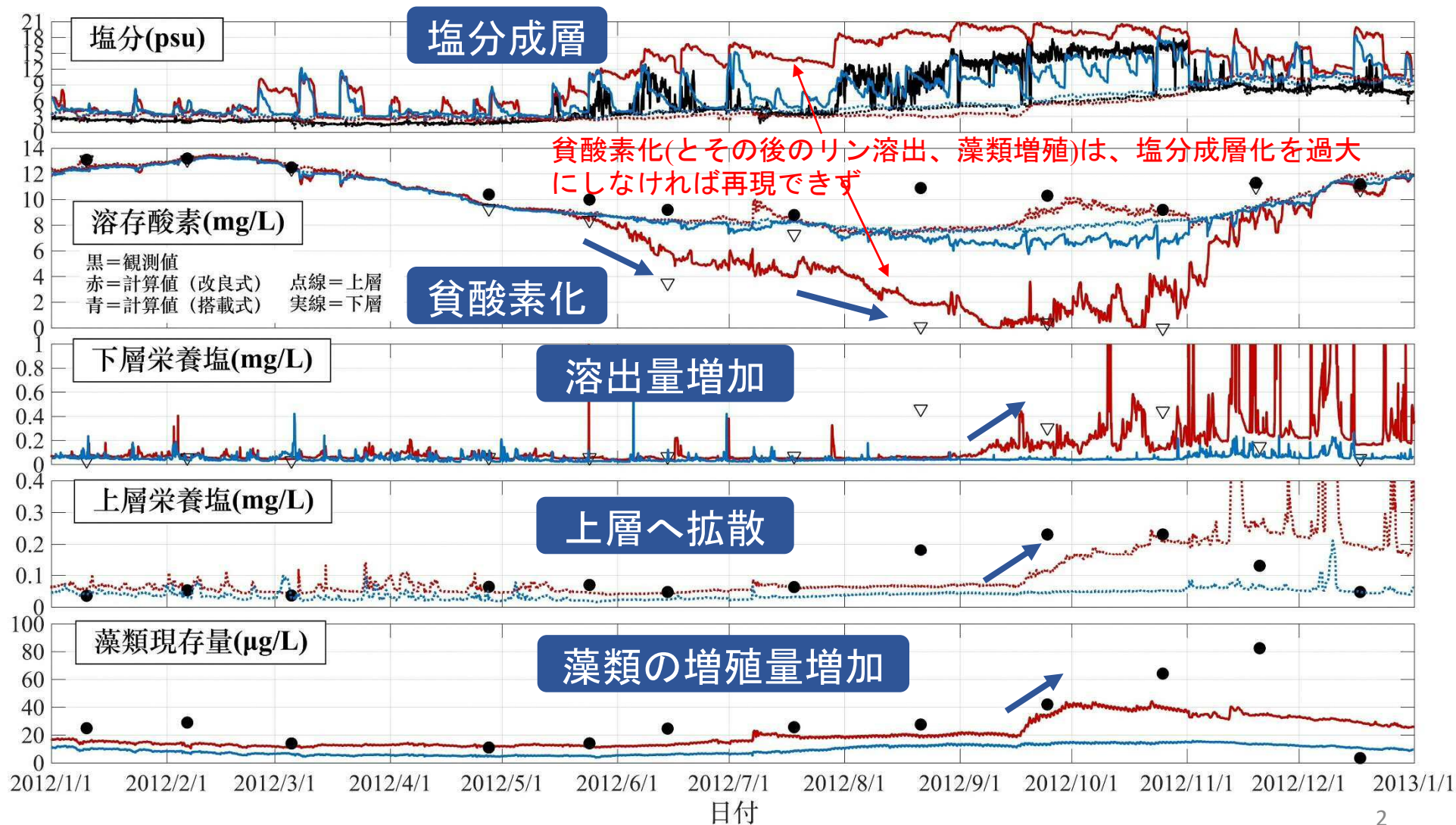
横浜国立大学大学院 中村由行
比嘉紘士 中村聖美

昨年度までの成果と課題

令和元年度WG資料より

2012年夏に宍道湖で長期間にわたって持続した塩分成層と貧酸素化の両者を同時に再現できていない。

➤ 宍道湖湖心での塩分成層と貧酸素化が継続した後の水質変動



昨年度までの再現性の課題と今年度の取り組み

- ・ 穴道湖湖底近傍の**塩分**成層の再現が不十分
→鉛直拡散係数の改良
- ・ **水温（特に表層）**が計算値の方が過大評価
→バルク係数の検討
- ・ 底層**DO**が、密度成層を過大にしなければ貧酸素化していない。
→成層化とも関連。さらに、底泥の酸素消費速度を変更
- ・ 底層から**栄養塩**が十分に溶出していない。
→底層が貧酸素化してくれれば溶出してくると予想。
- ・ **植物プランクトン**が増殖していない。
→栄養塩の溶出、その後の鉛直混合により、増殖すると予想。

モデル（伊勢湾シミュレーター）の変更点

○流動モデル

- ・流動モデル基礎方程式
- ・境界条件
- ・熱収支モデル → バルク係数(水温)
- ・乱流モデル
 - 水平方向
 - 鉛直方向 → 鉛直拡散係数(塩分)

○生態系モデル

- ・浮遊生態系モデル → 光の消散係数
藍藻の自然死亡速度
(植物プランクトン)
- ・底生生態系モデル → 底泥での酸素消費速度
(底層での貧酸素状態)

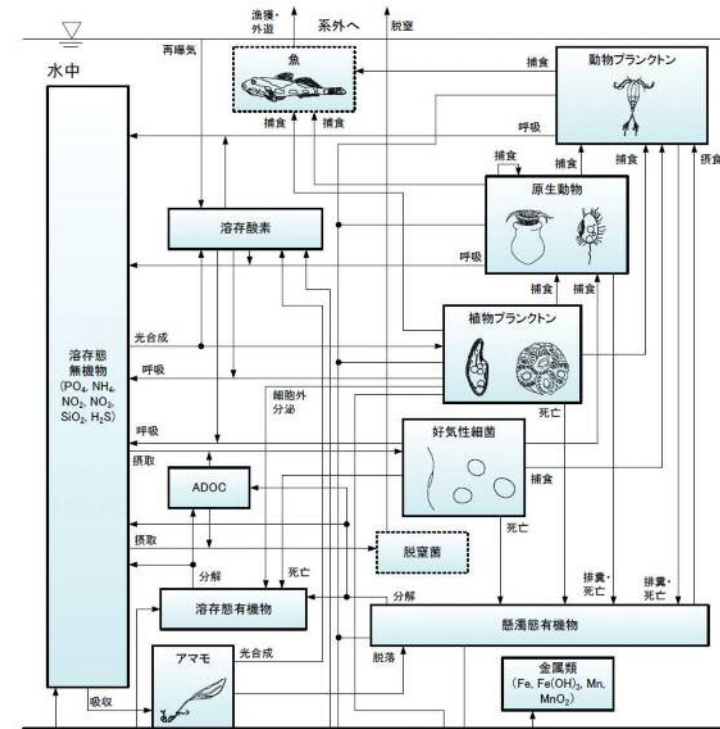
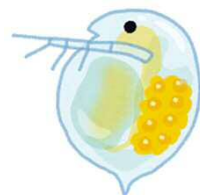


図1 浮遊生態系モデルの構成

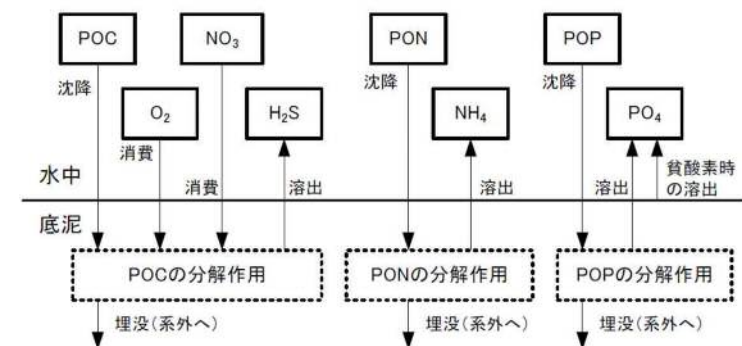


図 4.1: 簡易底生生態系モデルの構成

昨年度の計算結果と課題1：塩分成層の再現性

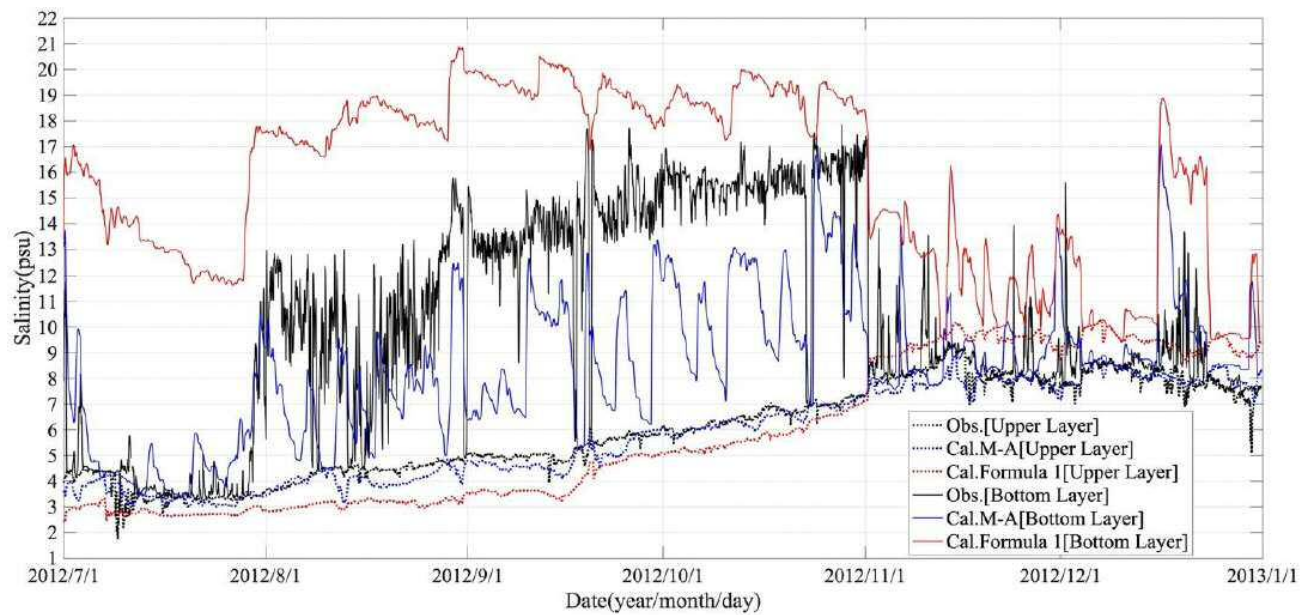


図1 塩分濃度計算結果(Formula1)

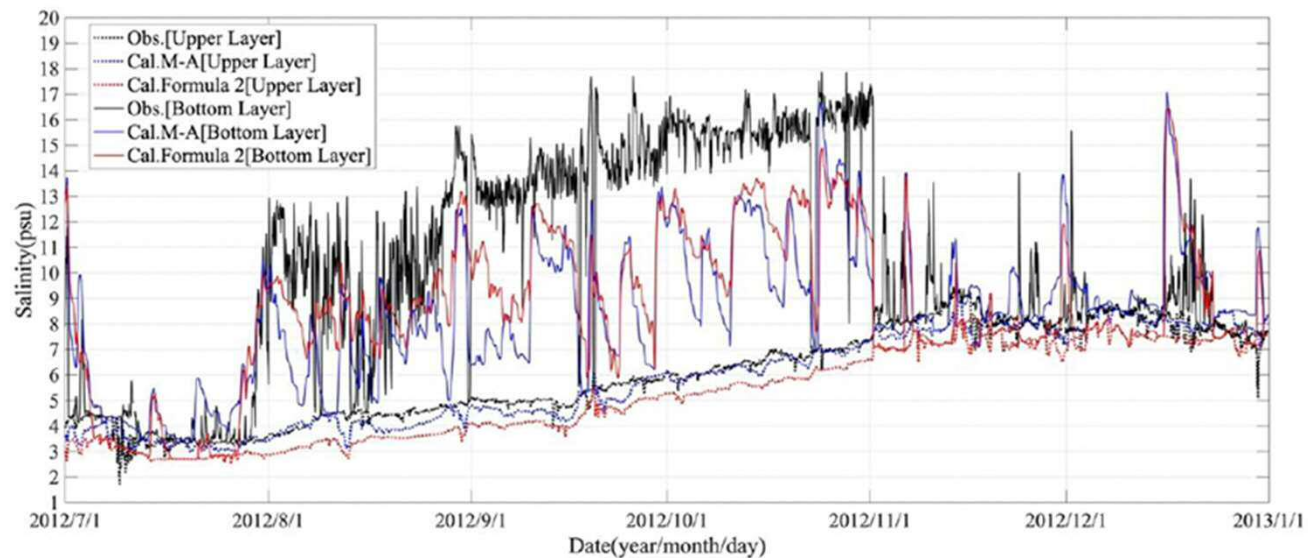


図2 塩分濃度計算結果(Formula2)

今年度の取り組み 1 : 鉛直拡散係数の改良

改良の方針

- ①Formula1とFormula2の鉛直拡散係数の間をとる係数
- ②N=0.1, W=10[m/s]の水深4.3m以深で鉛直拡散係数が小さくなる係数

ブランドヴァイサラ振動数

$$N = \sqrt{-\left(\frac{g}{\rho_0}\right)\left(\frac{d\rho}{dz}\right)}$$

鉛直拡散係数 k_z [m^2/s]

$$f(R_i) = (1 + \alpha R_i^\gamma)^{-\beta}$$

$$k_z = \frac{ku_{*s}z}{S_{co}} \exp(-k_*z) f(R_i)$$

表1 係数変更

	α	β	γ
変更前	0.5	1.5	2.0
変更後	0.5	1.25	2.0

成層していない

成層している

弱風

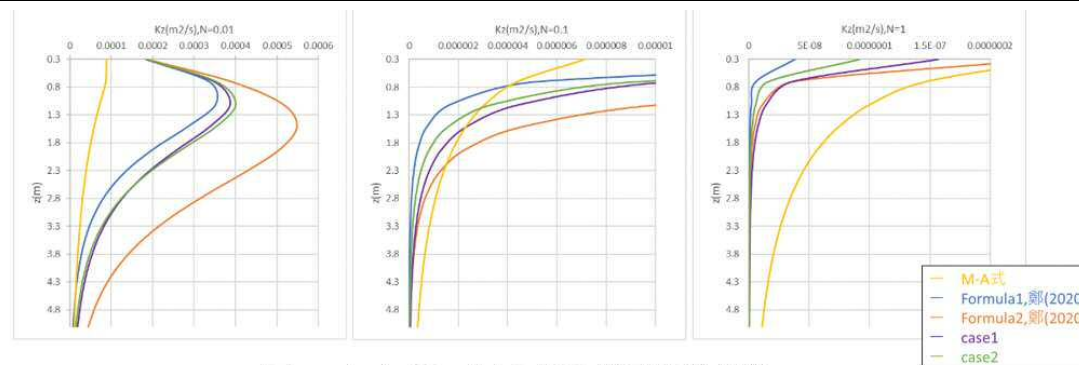


図 wind=2[m/s]の時の鉛直拡散係数

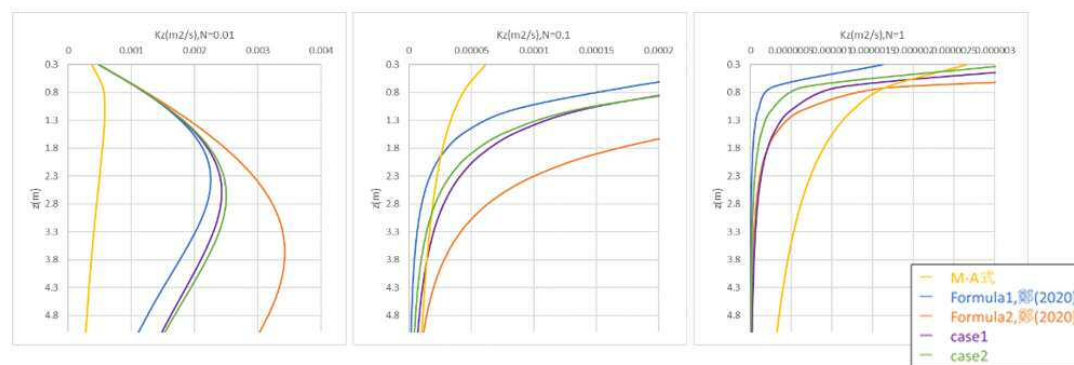


図 wind=5[m/s]の時の鉛直拡散係数

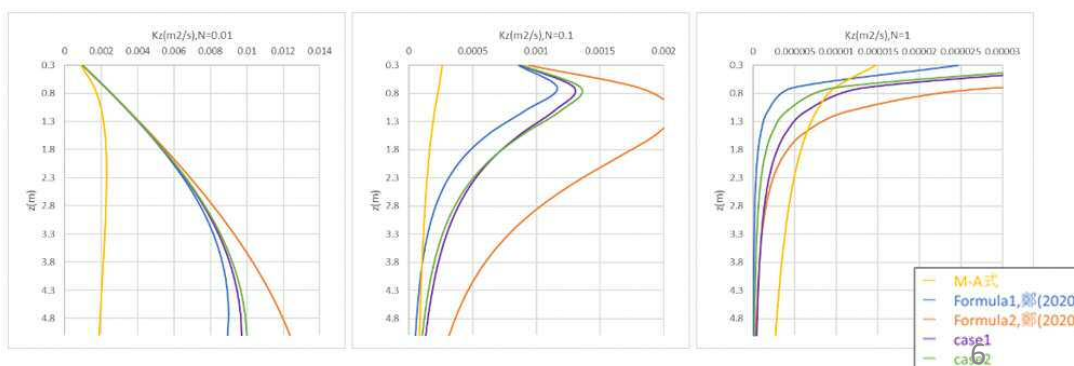


図 wind=10[m/s]の時の鉛直拡散係数

強風

昨年度研究の計算結果と課題2：水温の再現性

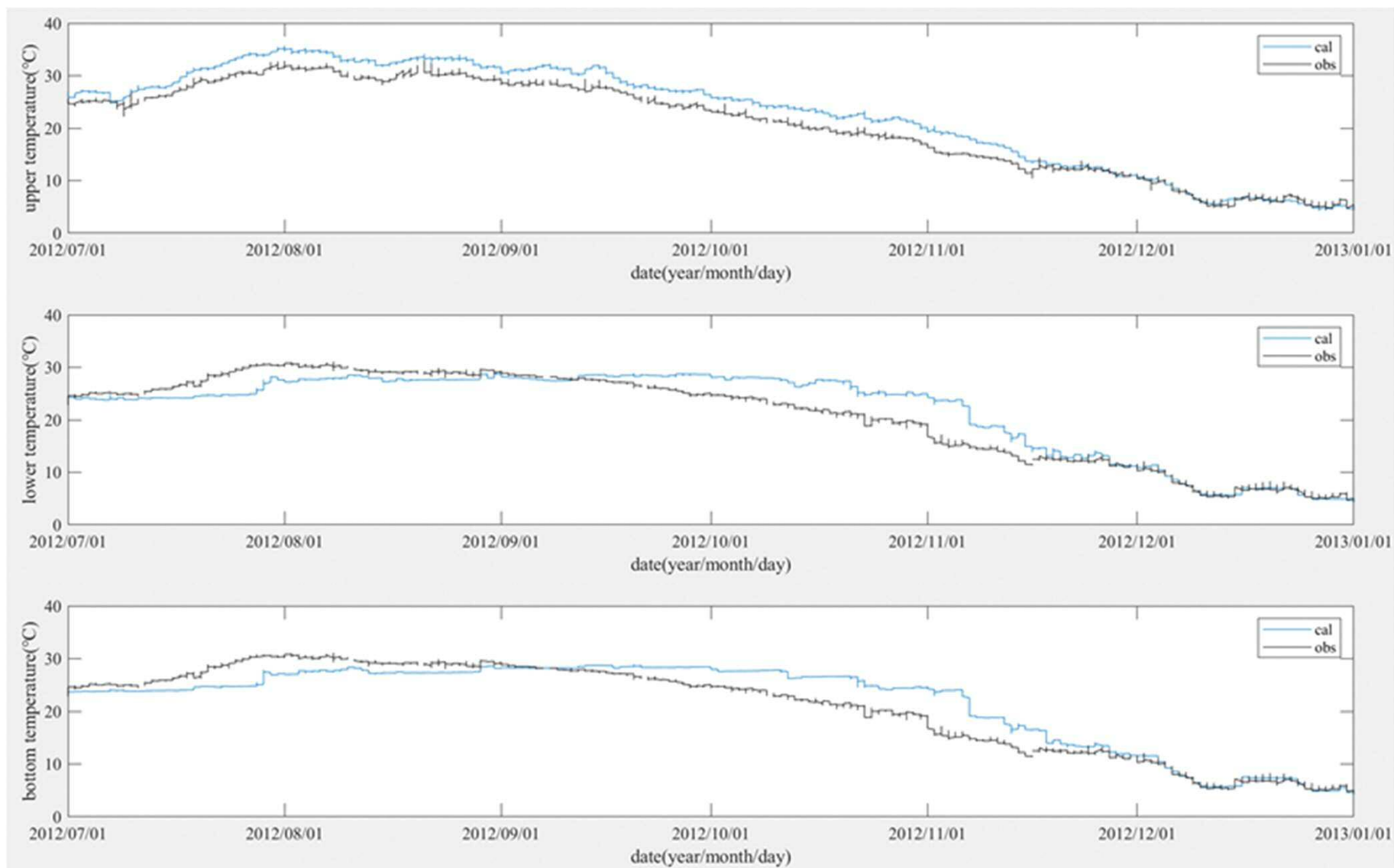


図3 既往研究での水温計算結果

今年度の取り組み 2：バルク係数の改良

バルク式を用いた湖面におけるフラックスの算出

宮野 愛子, 2010

筑波大学大学院修士学位論文

研究対象：霞ヶ浦湖 バルク係数：表層水/大気の温度差や湿度差によって放出される熱量の式にかかる係数

研究方法：国交省の霞ヶ浦湖心観測所の観測値(データ数は運動量:12467、顕熱:7185、潜熱:8206)からバルク係数を逆算し、それを真値と設定。

風速・大気の安定度・温度とバルク係数の関係性を考察し、バルク係数を式で表す。

研究結果： $C_{D_r2} \times 10^3 = 16.3/U - 2.94$ ($U < 3.92$)
 $= 1.51$ ($3.92 \leq U < 8.89$)
 $= 0.253U - 0.902$ ($U \geq 8.89$)

$C_{H_r2} \times 10^3 = 3.19Ri + 1.34$	CD: 運動量バルク係数
$C_{E_r2} \times 10^3 = 4.76Ri + 1.66$	CH: 顕熱バルク係数
	CE: 潜熱バルク係数

※ $Ri = \frac{gz}{273.1 + \frac{s-}{H^2}}$: リチャードソン数・・・大気の安定度を表している。

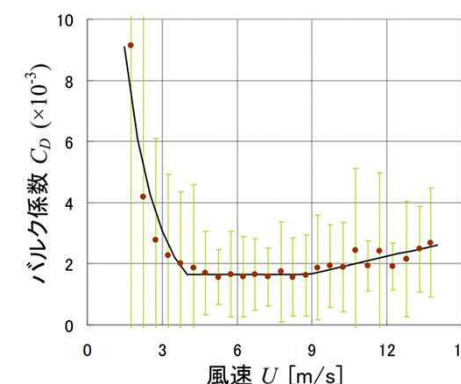


表2 計算に用いたバルク係数変更

	バルク係数	
	$1 \leq W < 5$	$5 \leq W$
改良前	1.15×10^{-3}	1.25×10^{-3}
改良後	1.70×10^{-3}	1.55×10^{-3}

今年度の取り組み 3：底泥での酸素消費速度の改良

タイトル：『宍道湖・中海底泥からの栄養塩回帰と酸素消費に関する研究』

著者：荒巻雅之 発行年：2005年

発行：島根大学大学院・生物資源科学研究科)

宍道湖湖心の底泥での酸素消費速度（SOD）の観測値

2003年 8月20日 1.83 [g/m²/day]

2003年11月25日 1.09[g/m²/day]

表3 計算に用いたSOD値（定常成分、ただし温度依存性あり）の変更

	底泥での酸素消費速度
改良前	—
改良後	2.0 [g/m ² /day]

昨年度は、有機物沈降量に依存した量のみを計算

$$J_{DO}^{sed} = \underbrace{u_{DOPOCSed} \cdot TOD_C^{POC} \cdot J_{POC}^{sed}}_{\text{有機懸濁物の沈降量に依存する項}} + \underbrace{u_{DOConstSed} \cdot f_{temp}(\alpha_{DO,Const}^{sed}, \beta_{DO,Const}^{sed})}_{\text{バックグラウンド項}}$$

SOD

今年度の取り組み4：光の消散係数(植物プランクトンに依存しない部分)の改良

$$k_{ext} = k_0 + \frac{0.0088CHL + 0.054(CHL)^{2/3}}{CHL} = k_{CHL}$$

k_0 ：植物プランクトンに依存しない消散係数
CHL：植物プランクトン量

2012年	6月14日	7月18日	8月21日	9月24日	10月25日	11月20日
Chl.a濃度観測値 [μg/L]	24.7	25.7	27.6	42	64.2	82.5
$k_{CHL}[m^{-1}]$	0.675	0.696	0.736	1.02	1.43	1.75
透明度(観測値)[m]	1	1.2	1.3	1.1	1.8	0.7
$k_0[m^{-1}]$	0.675	0.429	0.302	0.207	—	0.179
$k_{ext}[m^{-1}]$	1.03	1.05	1.09	1.37	1.78	2.1

→平均値：0.358

海洋では光の消散係数(K_d)と透明度(D_{SD})との間には

- ・一般的に海洋では $K_d \cdot D_{SD} = 1.7$
- ・陸水の影響の大きい沿岸域に関しては $K_d \cdot D_{SD} = 1.44$
- ・広島湾北部沿岸域では両者の積は $K_d \cdot D_{SD} = 1.27$

→宍道湖において $K_d \cdot D_{SD} = 1.35$ と仮定

表4 計算に用いた光消散係数

	光の消散係数[/m] (植物プランクトンに依存しない部分)
改良前	0.8
改良後	0.35

今年度の取り組み5：藍藻の自然死亡速度の改良

島根県『宍道湖・中海におけるアオコおよび赤潮の発生状況』

2012年の記録として

8～12月にかけてアオコを確認。9月にMicrocystis ichthyoblabeが優占

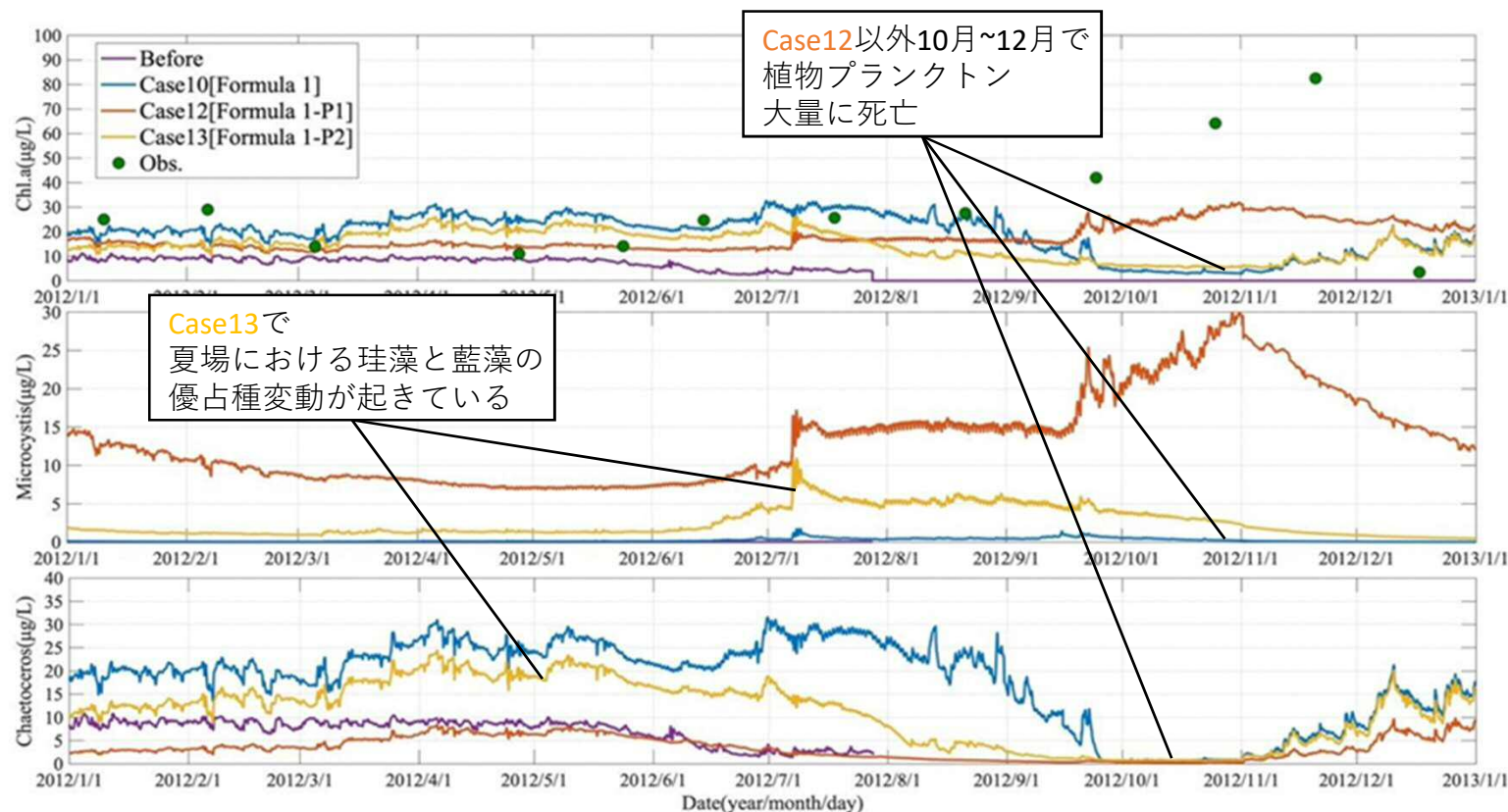


図4 既往研究での植物プランクトン計算結果

表5 今年度の係数変更

	鉛直拡散消係数			自然死亡速度[$s^{-1}molC^{-1}m^{-3}$]	
	α	β	γ	藍藻	珪藻
case10	0.5	1.5	2.0	8.20×10^{-4} (既定値)	4.34×10^{-7}
case12				4.34×10^{-7}	
case13				4.00×10^{-5}	

	自然死亡速度[$s^{-1}molC^{-1}m^{-3}$]	
	藍藻	珪藻
改良前	4.34×10^{-7}	4.34×10^{-7}
改良後	4.00×10^{-5}	11

今年度に変更した箇所のみ

表6 既往研究との係数比較表

			既定値	既往研究	case7
流動モデル	鉛直拡散係数	α	10/3	0.5	0.5
		β	1.5	1.5	1.25
		γ	1.0	2.0	2.0
	バルク係数	$1 \leq W < 5$	1.15		1.70
		$5 \leq W $	1.25		1.55
生態系モデル	塩分制限関数の制限値[psu]	藍藻	(2, 5)	(8, 9)	
		珪藻	(0, 2)	(0, 8)	
	温度依存性関数の係数[°C]	β (藍藻)	0.0633	0.105	
		β (珪藻)	0.0633		
	自然死亡速度 [$s^{-1}molC^{-1}m^{-3}$]	藍藻	8.20×10^{-4}	4.34×10^{-7}	4.00×10^{-5}
		珪藻	4.34×10^{-7}		
	光の消散係数 (Chl.aに依存しない部分) [m^{-1}]		0.35	0.8	0.35
	最適光量 [Wm^{-2}]	藍藻	99.07	130.7	
		珪藻	72.6		
	リン酸最大溶出フラックス [$molPm^{-2}s^{-1}$]		3.73×10^{-9}	7.47×10^{-9}	
	底泥での酸素消費速度 [$g\ m^{-1}day^{-1}$]		0.5	—	2.0

主要な計算結果＜既往研究との比較 1＞：塩分成層

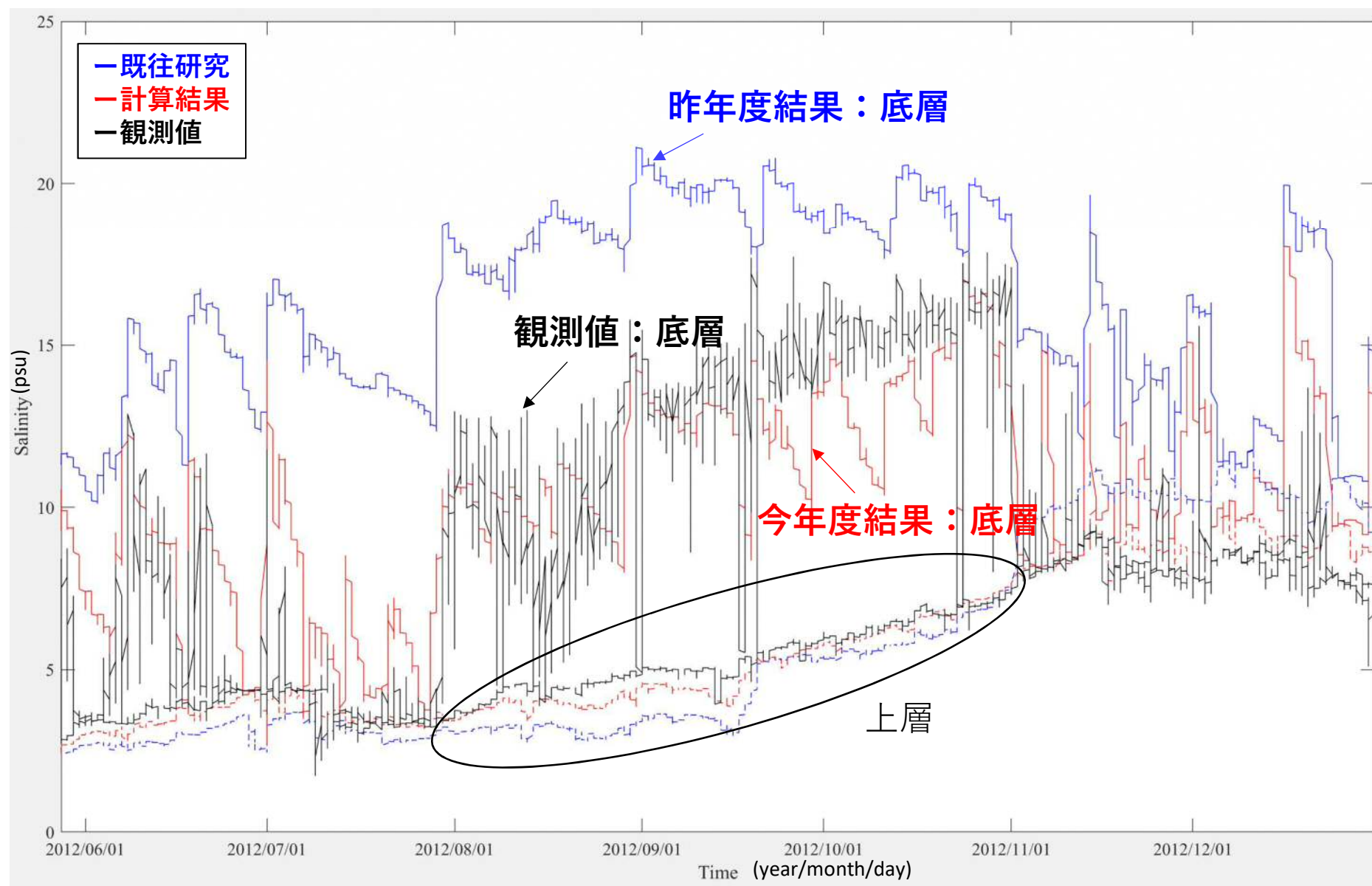


図5 塩分計算結果

2. 塩分成層化と底層DO（長期貧酸素化）

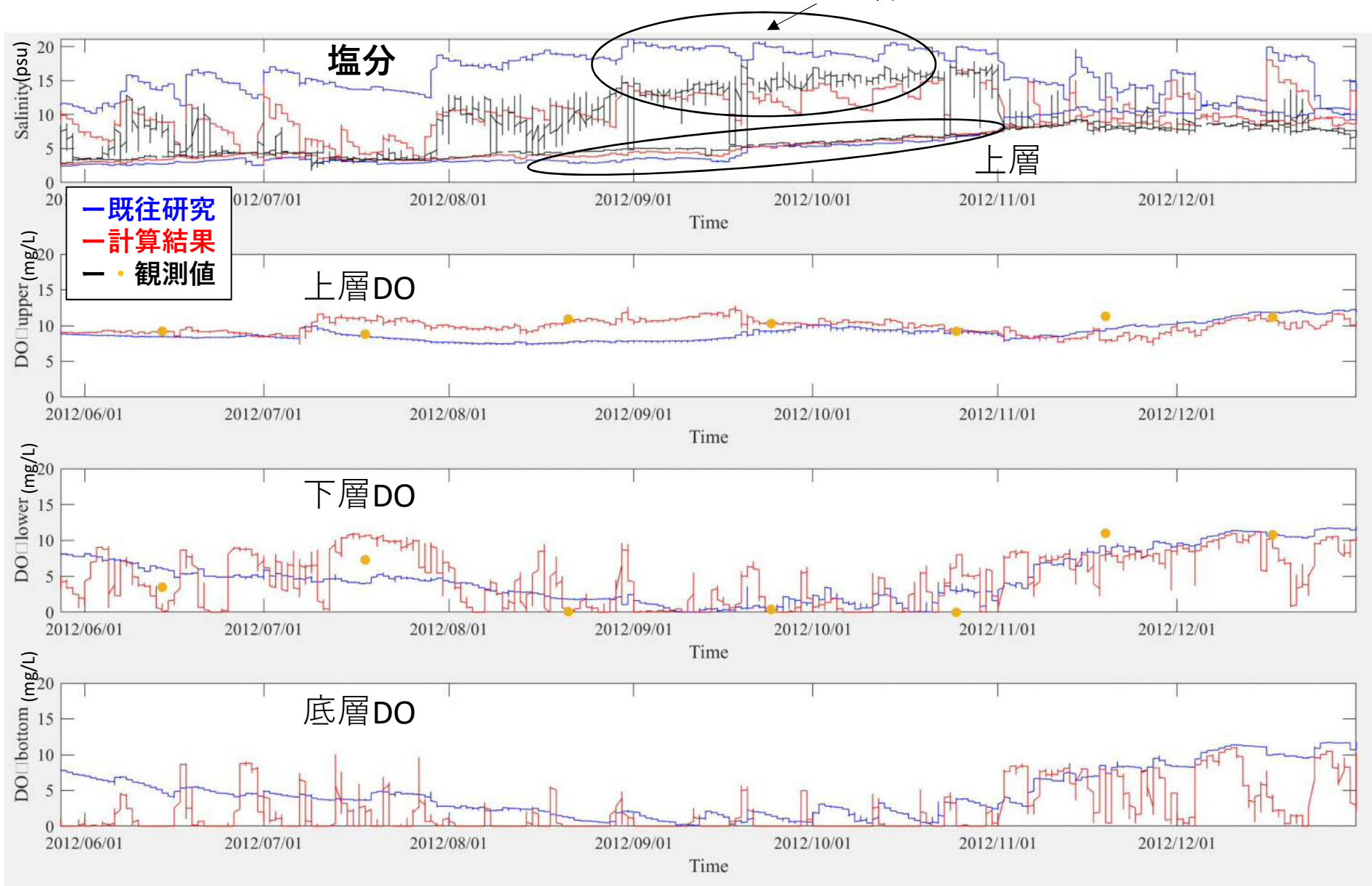


図6 塩分濃度とDO計算結果

3：水温

夏期の上層水温には大幅な改善がみられる

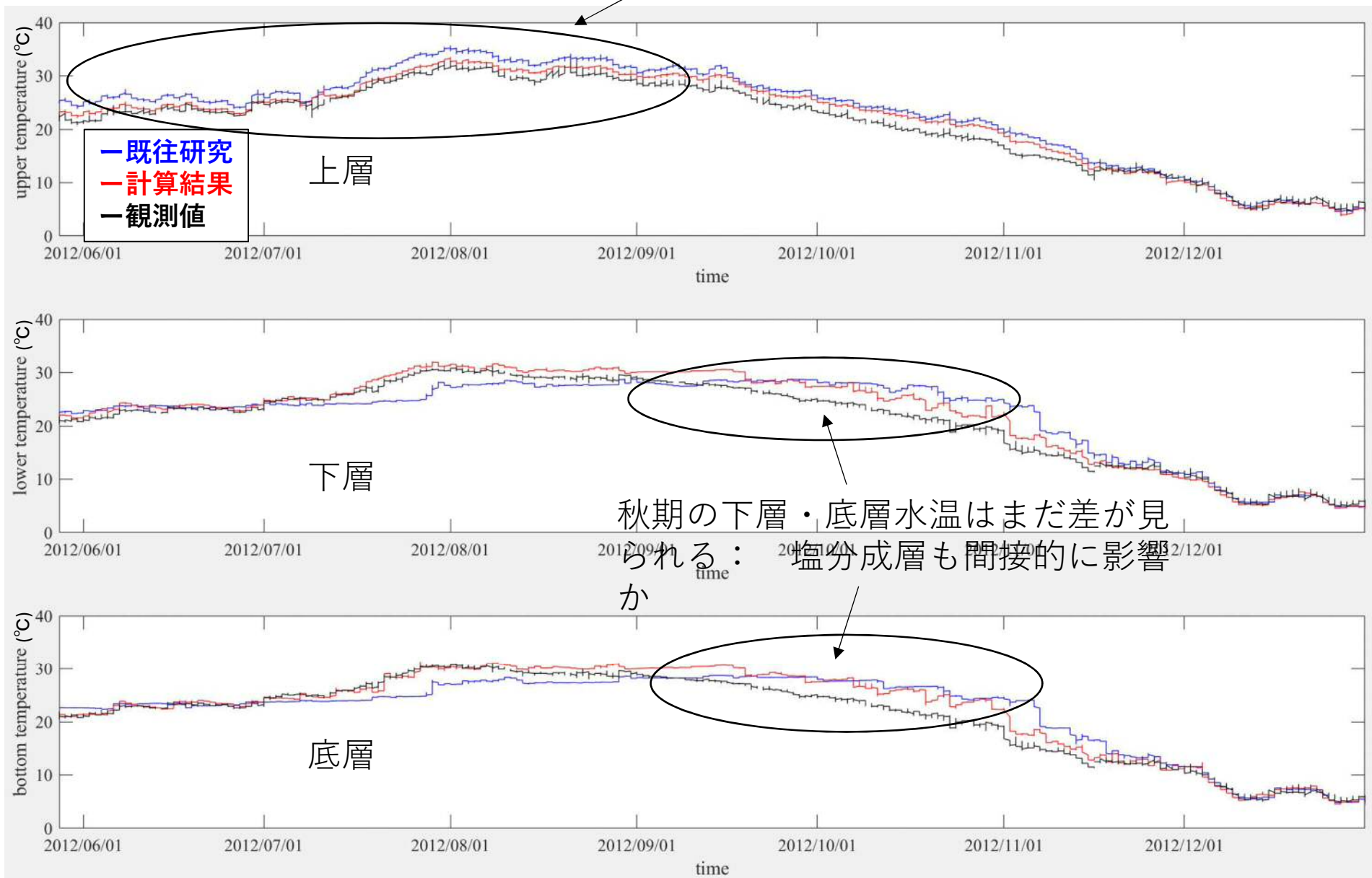


図7 水温計算結果

4 : TN

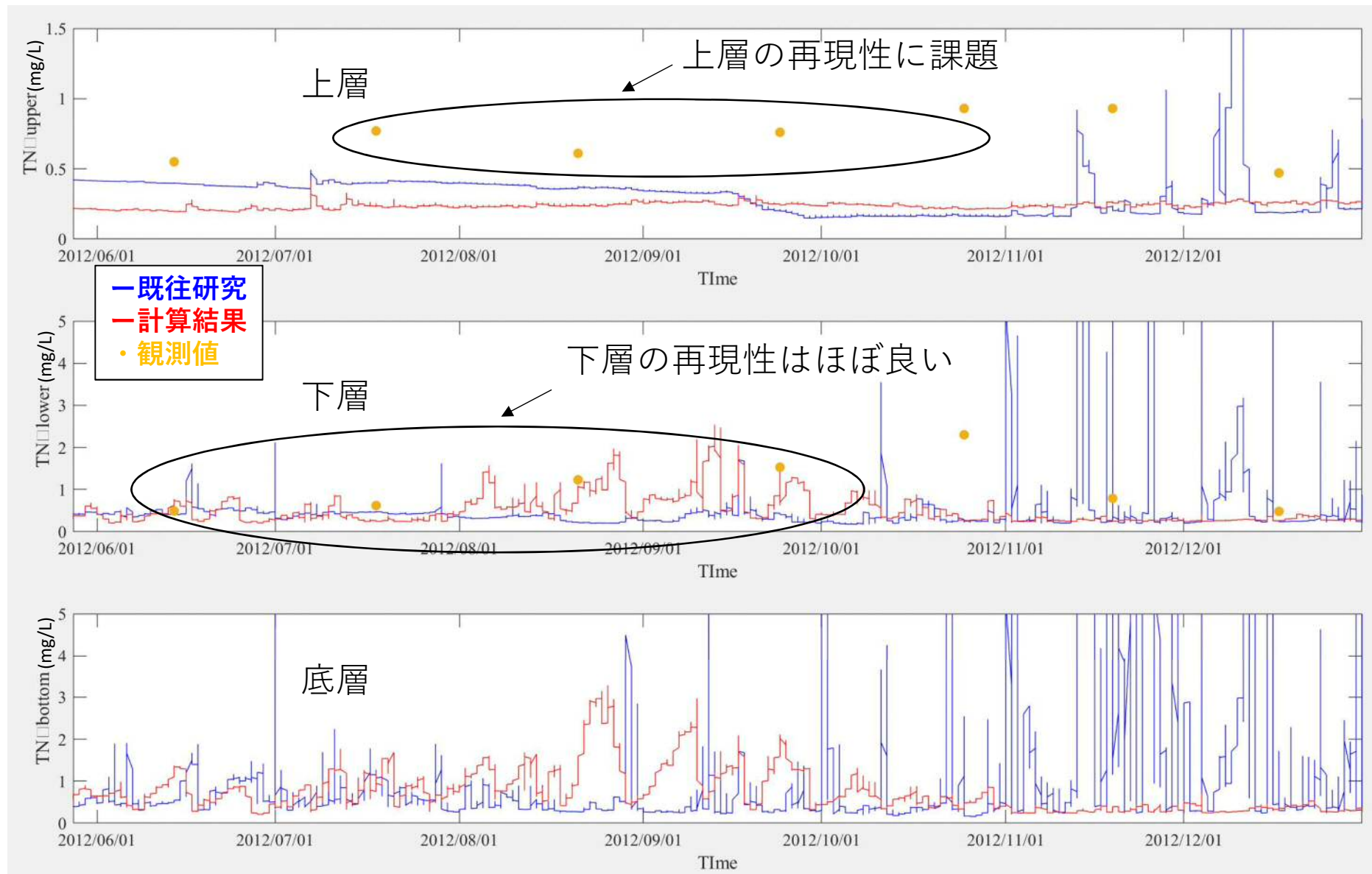


図8 TN計算結果

5 : TP

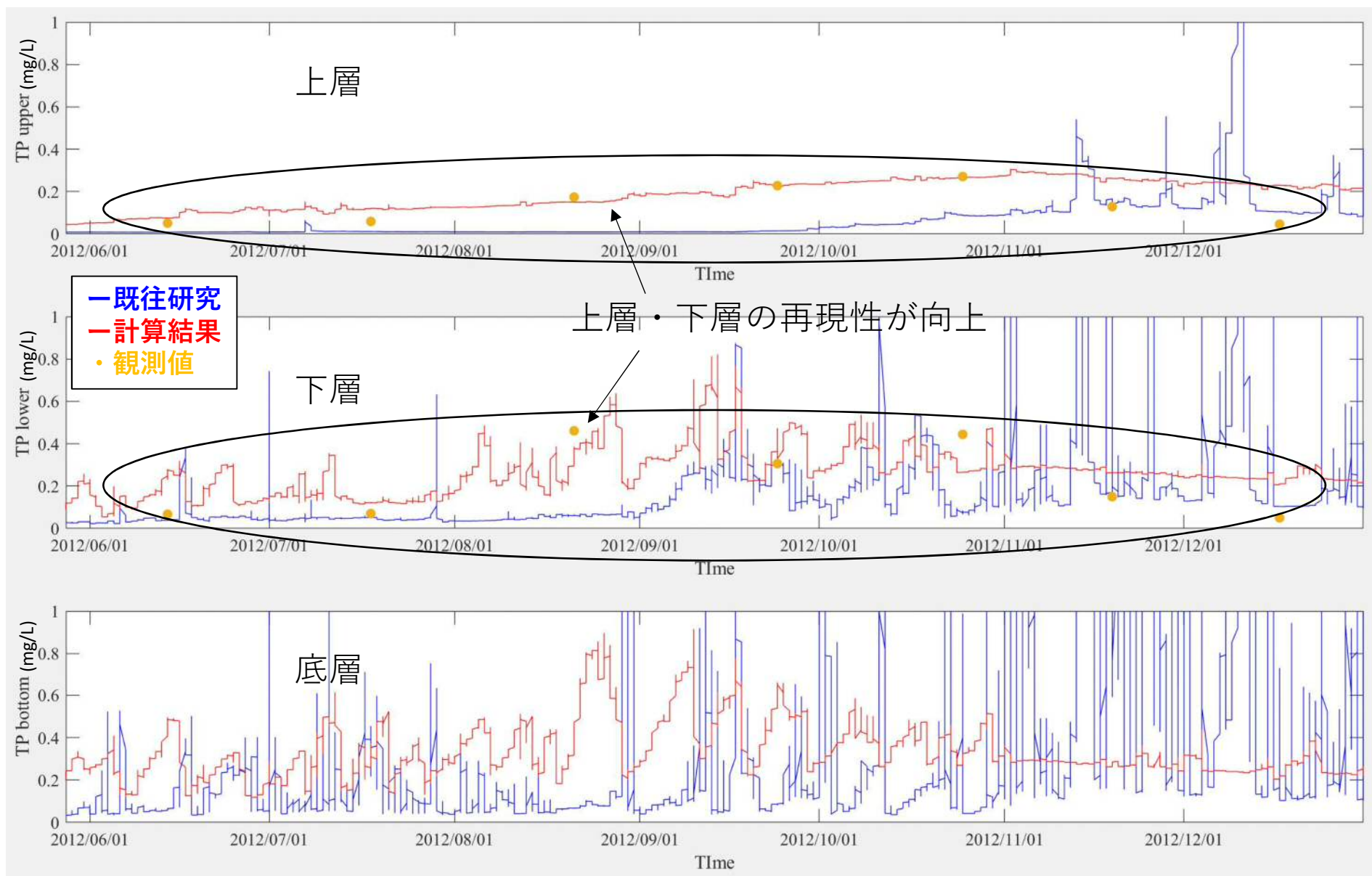


図9 TP計算結果

6：植物プランクトン

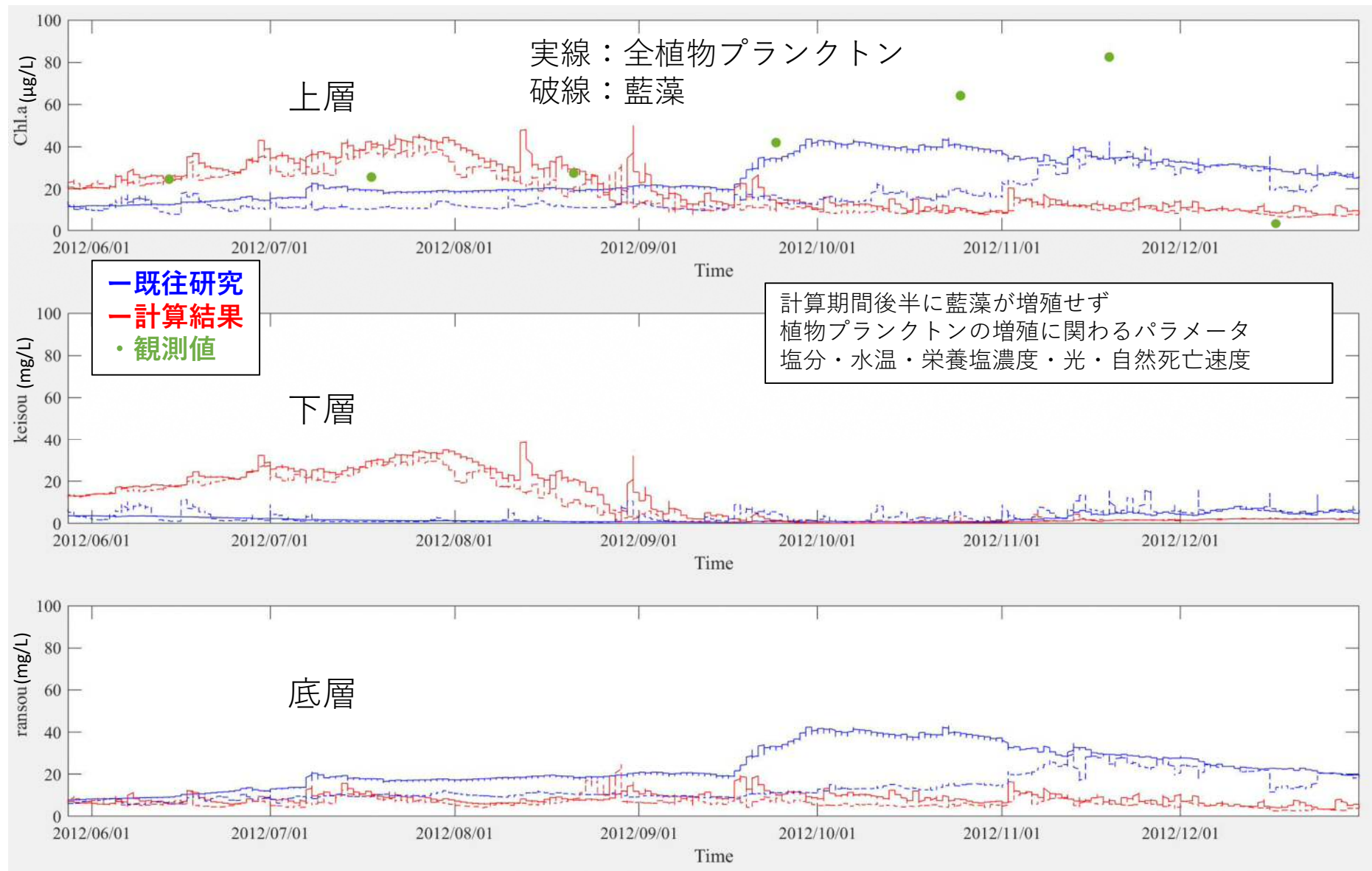


図10 植物プランクトン計算結果

今年度成果のまとめと今後の方針

- ・長年の懸念であった8月～10月末の長期塩分成層化の再現性に向上が見られ、あわせて底層DOの貧酸素化、溶出によるTPの増加という水質の応答も、概ね観測値の変動をよく再現することができた。
- ・夏期表層水温についても、バルク係数の変更により改善が見られた。
- ・秋期の（特に底層）水温、表層TN、植物プランクトンの再現性はやや低い。
 - 底層水温は、密度成層化にも関連（混合した後は観測値を再現）。TNについては負荷量や前年からの再現性、植物プランクトンについては、成長に係るパラメータや藍藻の自然死亡速度の影響等について、吟味が必要。
 - 水温のさらなる再現性の検討は後回しにし、植物プランクトンの再現を中心に注力したい。
- ・塩分成層化と水質の再現部分を中心に、論文投稿を考えたい。