

三津湾地域の物質収支モデルによる解析結果

目次

1. 本年度の物質循環モデルによる検討の概要	2
2. 物質循環モデルの構築状況	3
2-1 計算結果のまとめ	3
2-2 水質	3
2-3 底質	10
2-4 生物	17
3. 物質循環モデルによる施策の検討	22
3-1 モデルでの施策の取り扱い	22
3-2 ケース 1 : 耕耘+底質改善材の混合	24
3-3 ケース 2 : 下水処理水の放流調整	31
3-4 ケース 3 : カキ養殖量の調整	33
3-5 ケース 4 : 人工中層海底の設置	38
3-6 ケース 5 : 施肥 (感度実験)	48

1. 本年度の物質循環モデルによる検討の概要

三津湾の物質循環モデルによる検討のフローを図 1.1 に示す。昨年度は、物質循環モデルを構築し、物質循環状況の解明と管理方策案の効果検討を行った。

本年度第1回の地域検討委員会・統括検討委員会では、昨年度構築したモデルの課題について、再現性向上やパラメータを精査するとともに、管理方策の効果検討に対応できるような改変の進捗を報告した。本資料では、再現性向上の結果、実証試験およびその他の管理方策についてモデルを用いた効果検討を行った結果を示す。

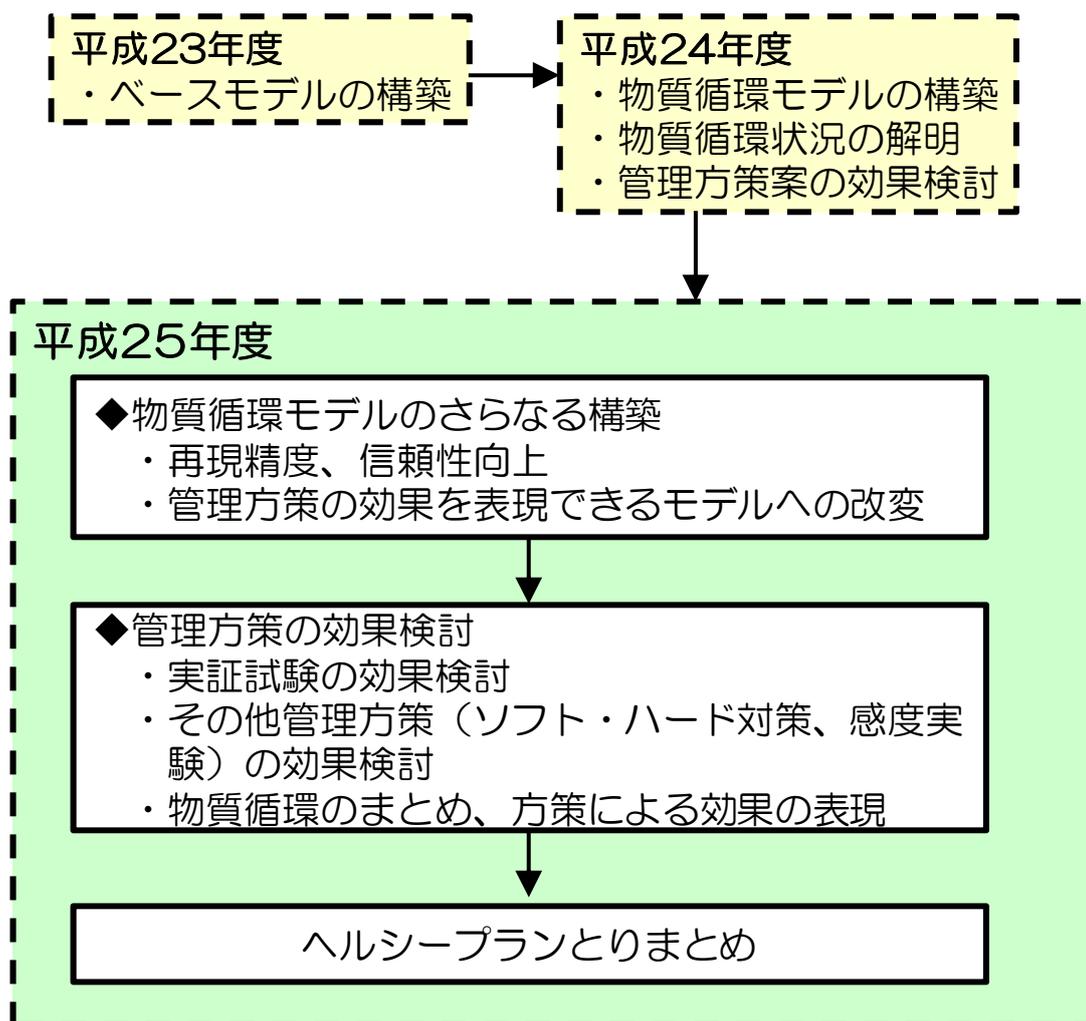


図 1.1 三津湾の物質循環モデル検討フロー

2. 物質循環モデルの構築状況

2-1 計算結果のまとめ

水質の計算結果は、第1回委員会までに概ね構築は完了しており、底質や生物の見直しでわずかな変化はあるものの、大きな変更点はない。湾奥ほど水質濃度は高いが、T-Nで0.2mg/l台、T-Pで0.02mg/l台と、都市部の閉鎖性海域に比べ濃度レベルは低い。また、Chl-aは概ね1~2 μ g/l程度ではあるが、夏季の湾奥部では増加し、7 μ g/l台に達する。

底質については、第1回統括委員会で指摘されたT-N濃度の過大傾向は残るものの、その度合いは改善した。また酸素拡散、分解速度などのパラメータを見直し、硫化物や硫化水素の状況を再現した。堆積量についても比較を行ったところ、冬季については概ね再現性は良かったが、夏季は過小であった。しかし、夏季の観測値は再懸濁などのモデルで考慮していない要因を捉えている可能性がある。

生物に関しては、シズクガイを計算項目に追加するとともに、ベントスの硫化水素による死亡効果を導入し、チューニングを行った。

2-2 水質

8月の水質濃度水平分布図を図2.1に示す。T-N、T-P、Chl-aは、湾口で低く、湾奥で高い分布傾向であった。DOは、湾奥東部では低く、湾奥西部で高かった。しかし、最大値でもT-Pが0.029mg/l、T-Nが0.25mg/l、Chl-aが7.5 μ g/l程度と一般的な都市域の沿岸部と比べると低く、濃度勾配も小さい。

水質濃度の時系列図を図2.2に示す。T-Nの冬季、DOの夏季、Chl-aの春季(6月)調査に比べ、計算値は過小な傾向にあるが、季節変化や地点による相対的な分布傾向は捉えられている。特に、Chl-aの夏季湾奥での増加はよく再現されている。

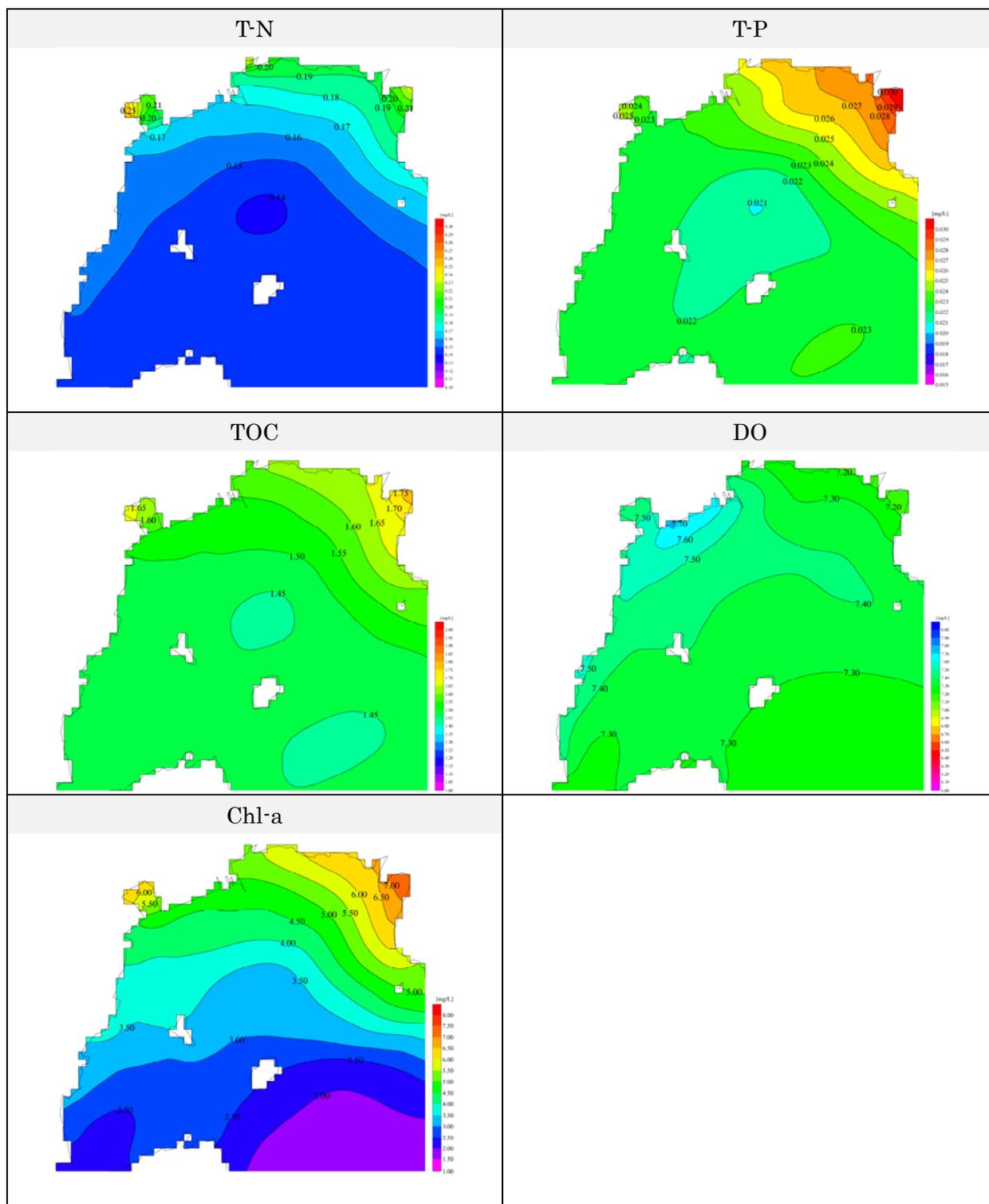


図 2.1 水質水平分布図と三津湾内の最大・最小値（8月平均値）

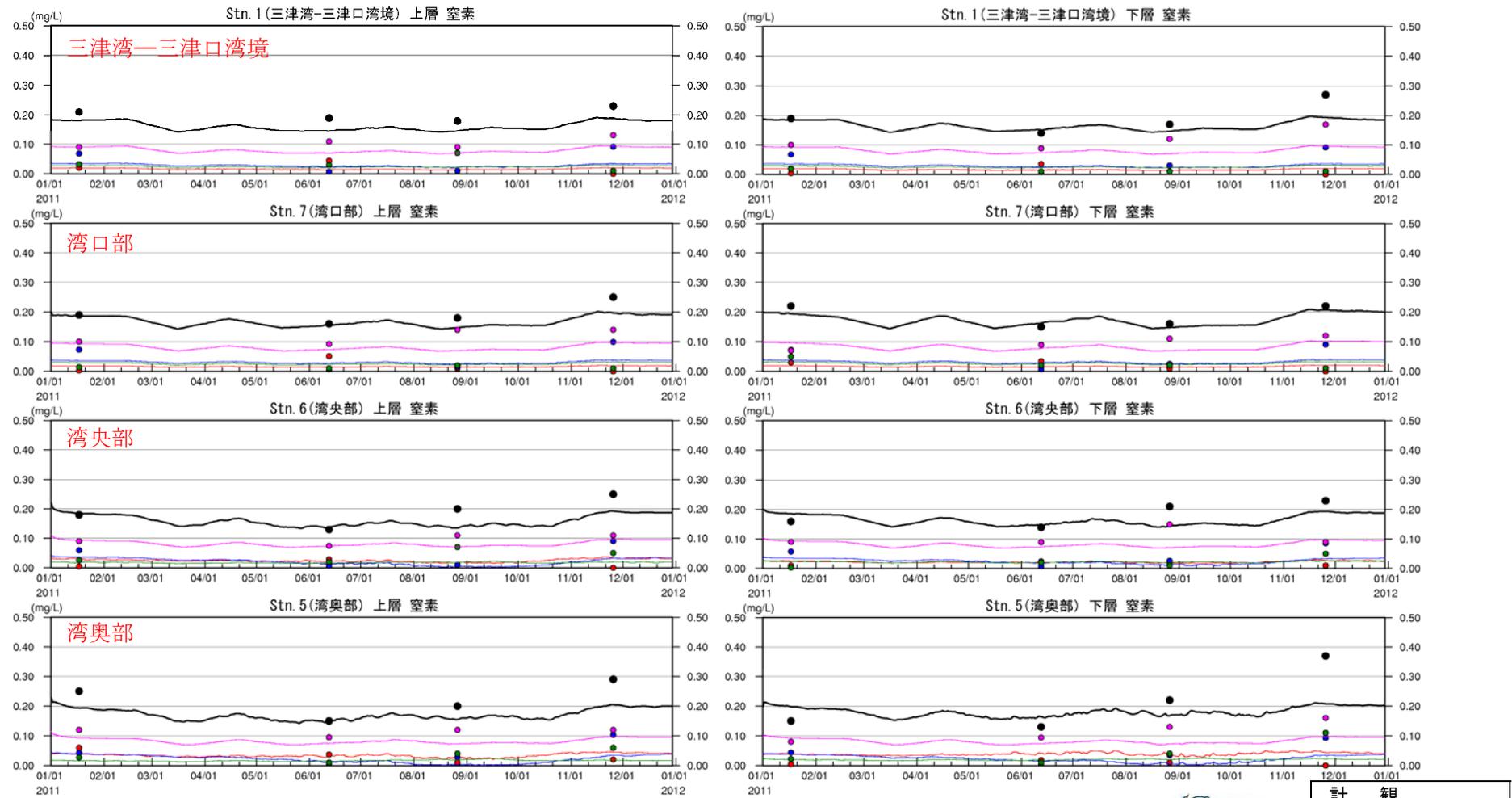
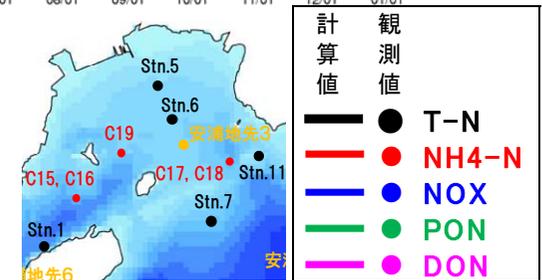


図 2.2 (1) 水質時系列図 (窒素)



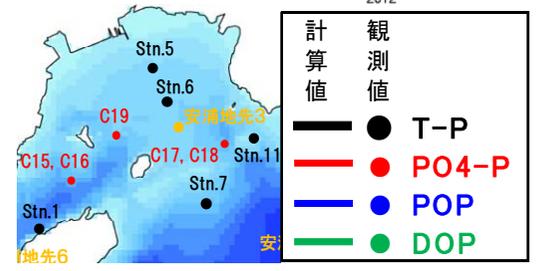
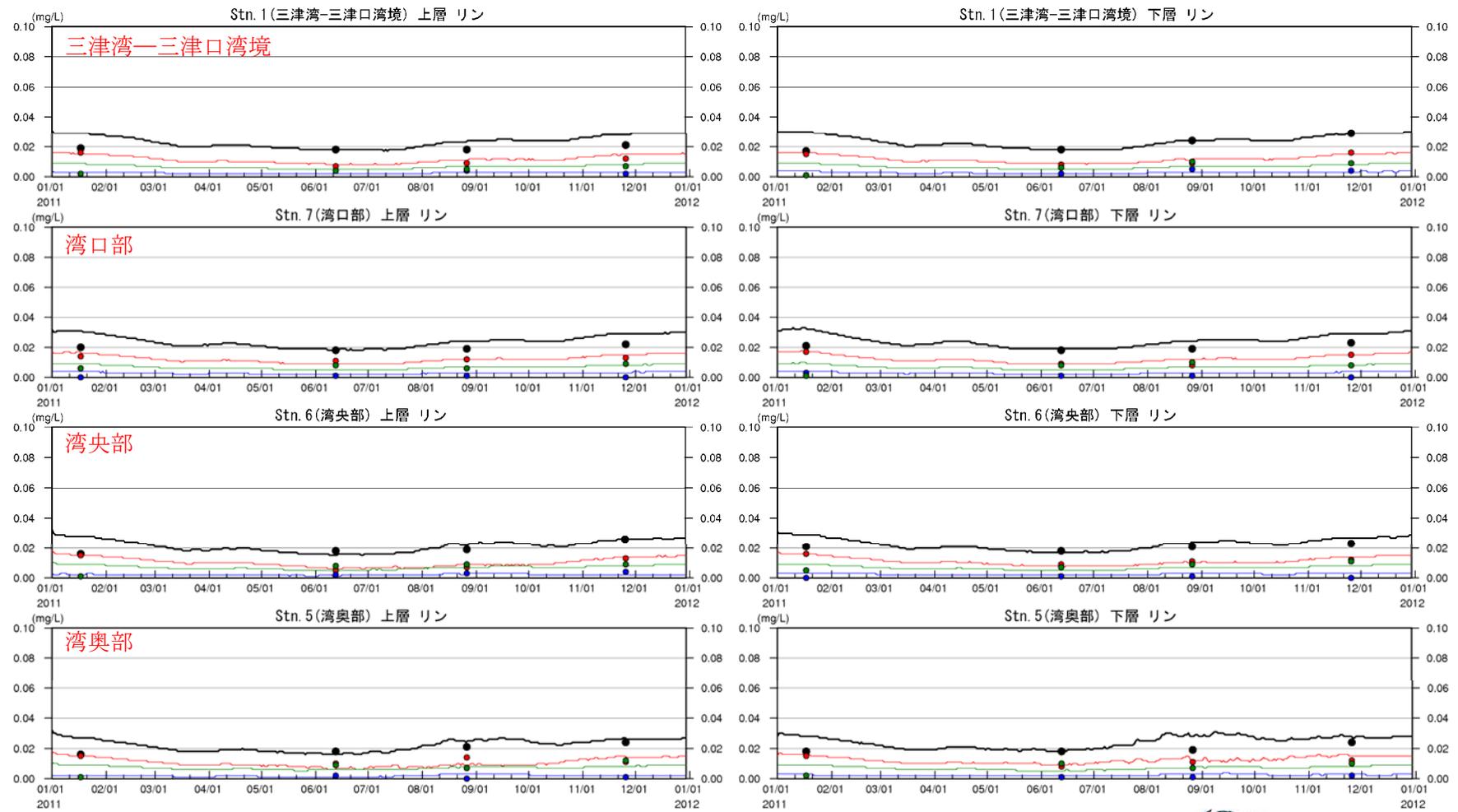


図 2.2 (2) 水質時系列図 (リン)

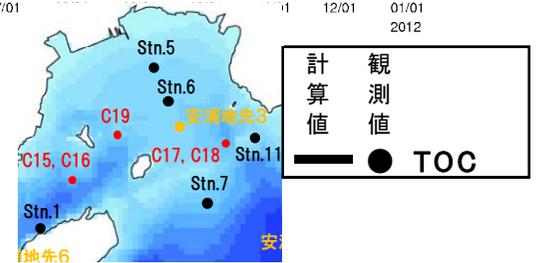
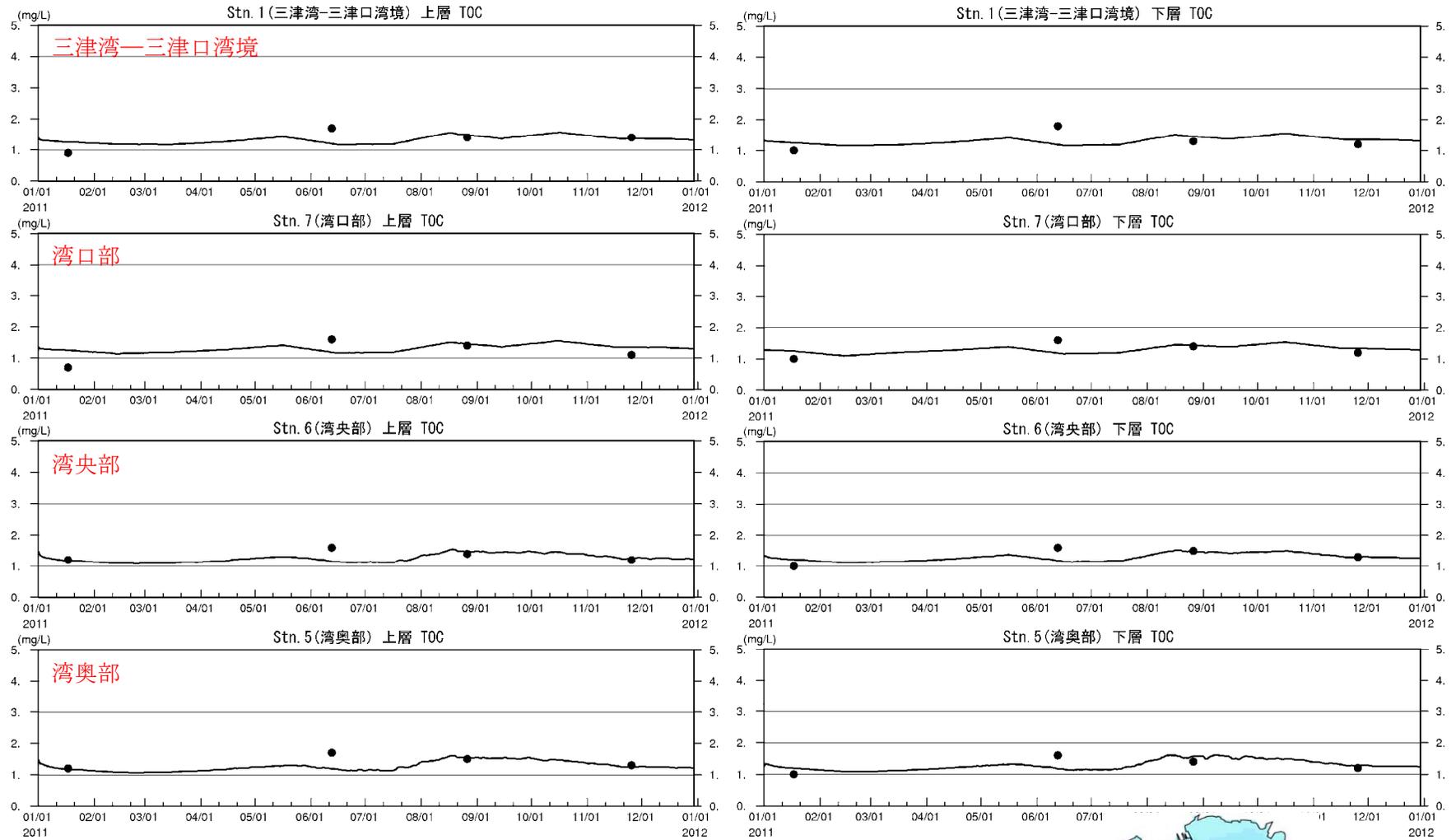


図 2.2 (3) 水質時系列図 (TOC)

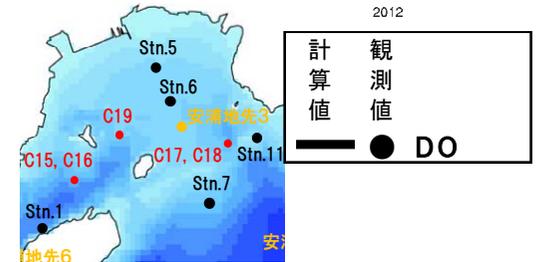
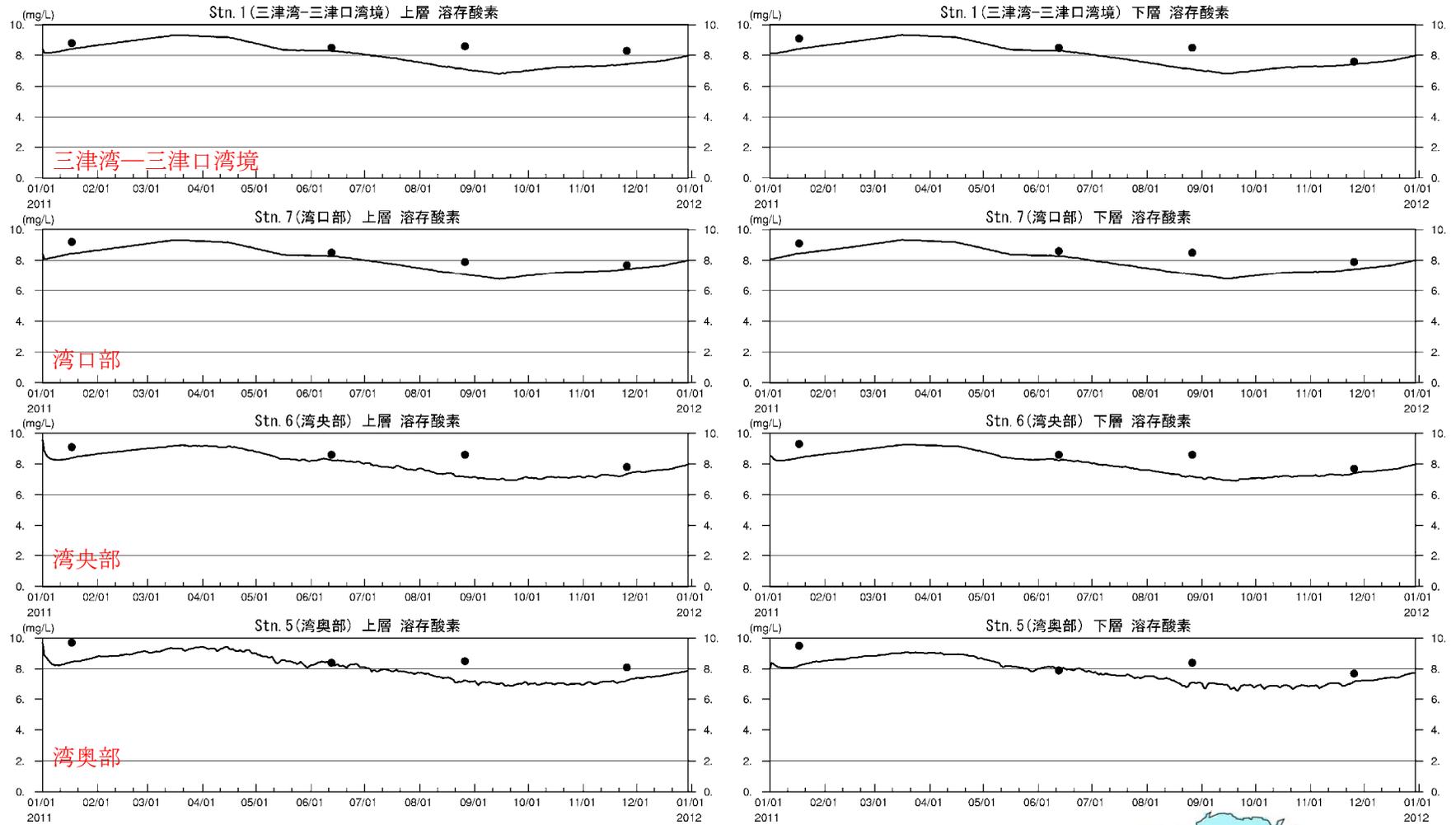


図 2.2 (4) 水質時系列図 (DO)

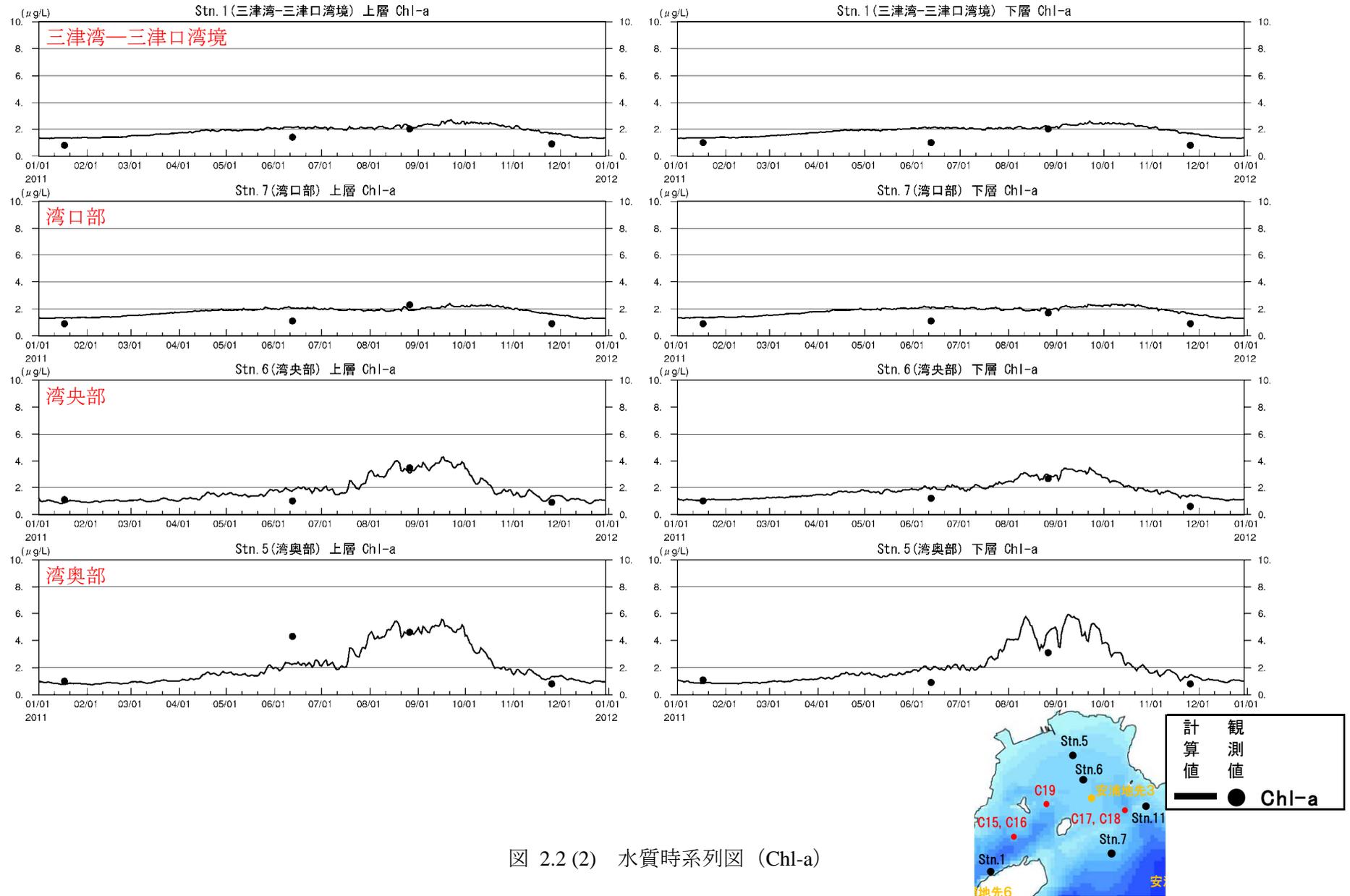


图 2.2 (2) 水质时系列图 (Chl-a)

2-3 底質

ボックス別の底質濃度を図 2.3 に示す。期間は 8 月平均、0~3cm 層の値である。いずれも、カキ直下のボックス(ボックス 3~12)で高い値を示した。なお、ボックスの分割図は図 2.4 に示す。

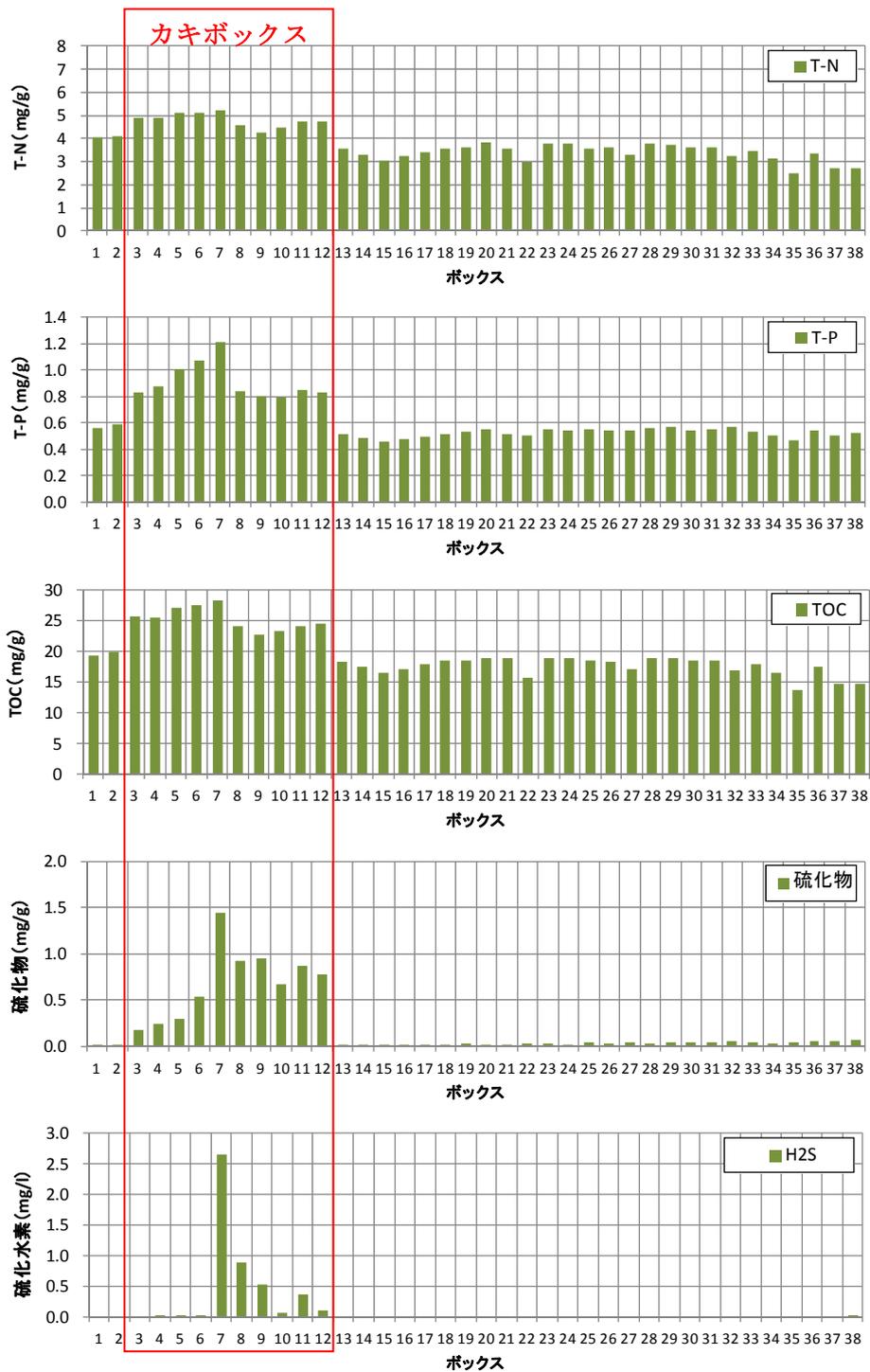


図 2.3 8 月、0~3cm 層のボックス別底質濃度

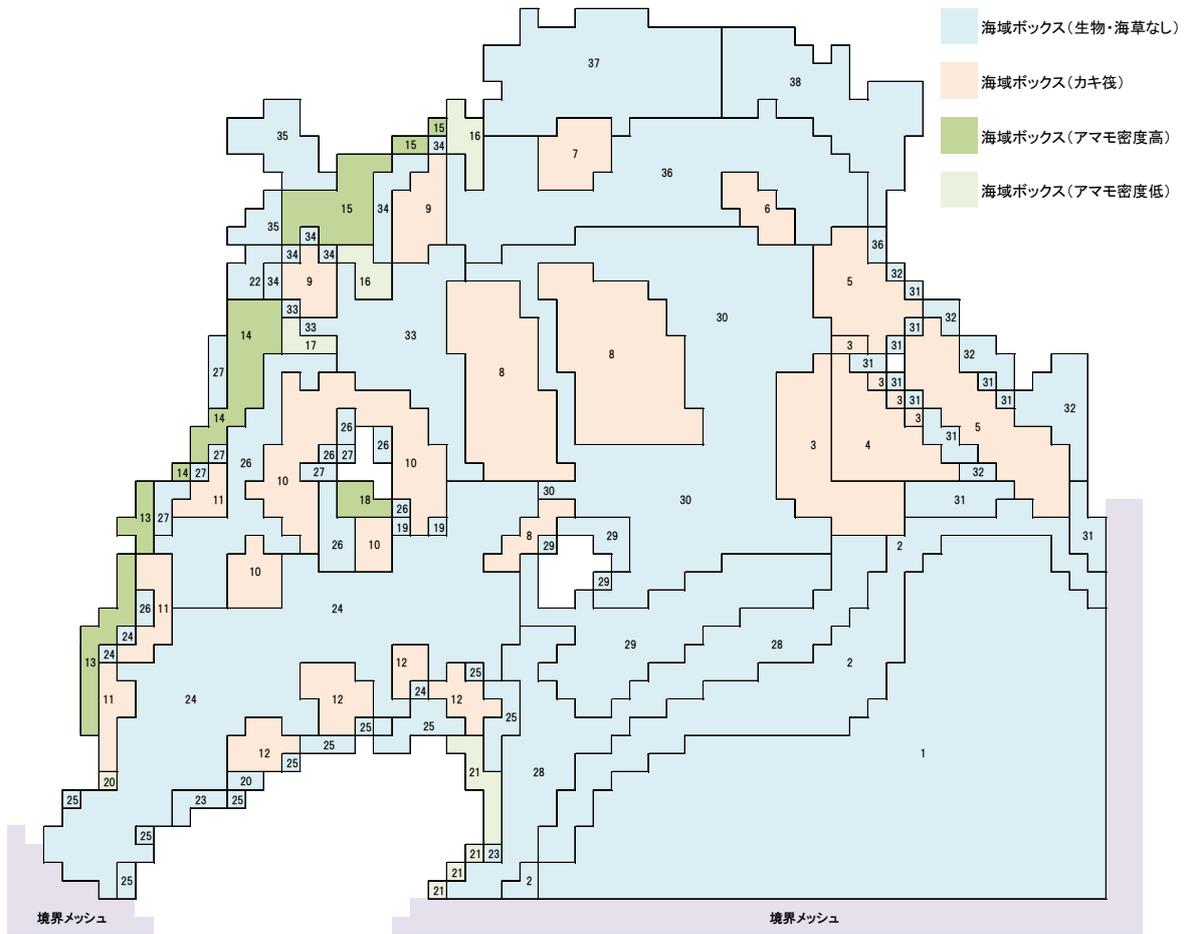


図 2.4 底泥・生物ボックス分割図

底質濃度の計算値と、三津湾WGによる観測値との比較を図 2.5 に示す。T-N は全域で、T-P、TOC、硫化物は St.5 で過大ではあるものの、概ね観測値と同等の濃度であり、地点間の相対的な多寡も捉えられている。

なお、各観測地点とボックス番号は表 2.1 のように対応している。St.2～4 は湾奥、St.5 はカキ養殖場に対応する。

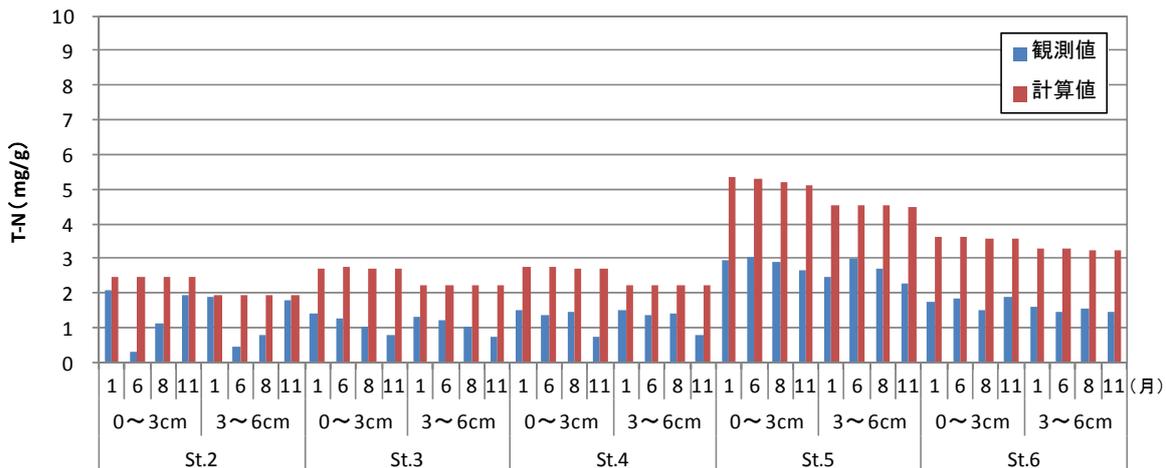


図 2.5(1) 底質の T-N 濃度比較

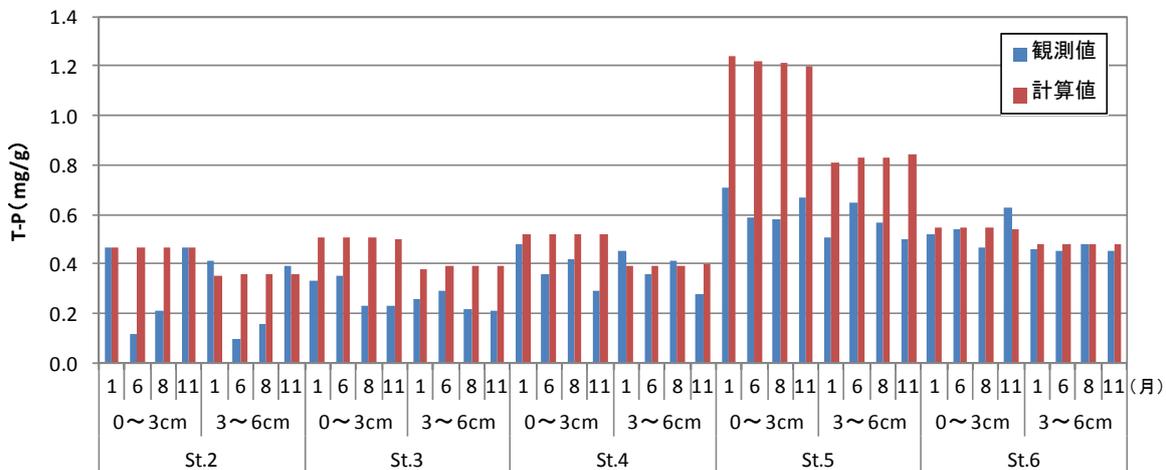


図 2.5 (2) 底質の T-P 濃度比較

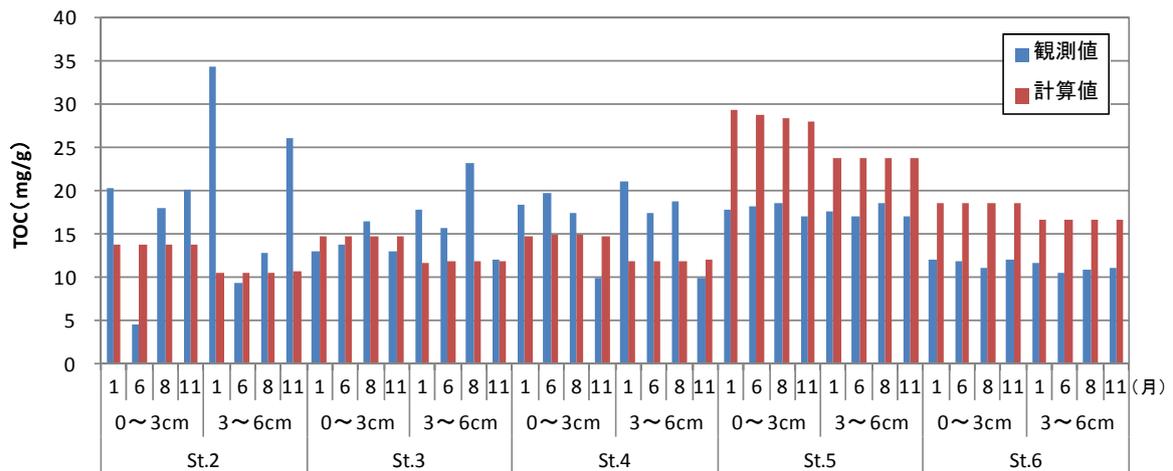


図 2.5 (3) 底質の TOC 濃度比較

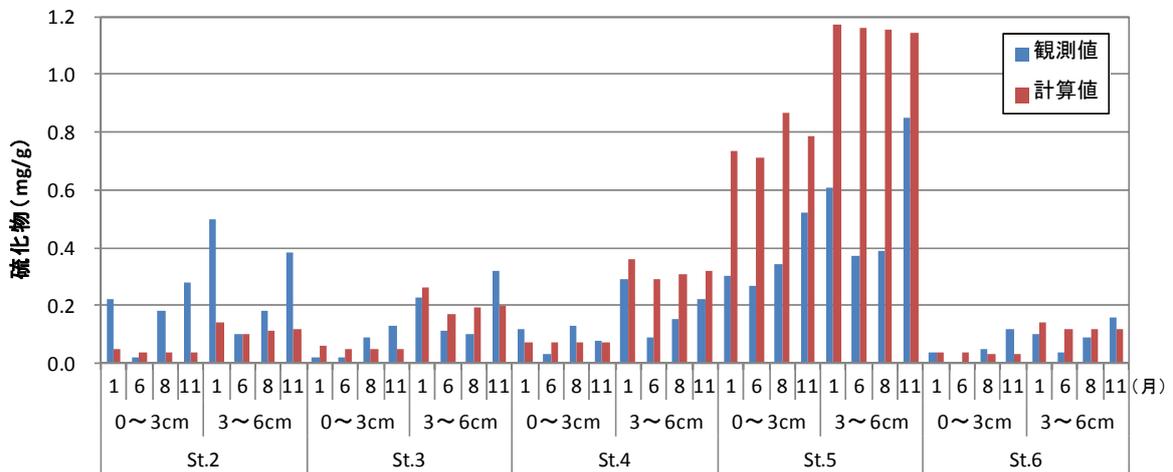


図 2.5 (4) 底質の硫化物濃度比較

表 2.1 観測地点と計算ボックスの対応

観測地点	地点の特徴	ボックス番号
St.2	浄化センター周辺	35
St.3	河口	37
St.4	浅場	38
St.5	カキ養殖場	7
St.6	湾内	30

底泥の酸素消費速度、IN および IP の溶出量の時系列変化図を図 2.6 に示す。いずれも夏季に高い傾向にあり、カキ直下のボックスが最も多かった。

図 2.7 に、酸素消費速度、IN および IP の溶出速度の比較結果を示す。St.5 のみカキ筏のあるボックスであり、計算値では他の地点よりも値が大きい。1月より8月に値が大きい傾向、地点間の大小や、観測値の算出誤差、水質・底質濃度の値などを考慮すると、概ね妥当な結果であると評価できる。

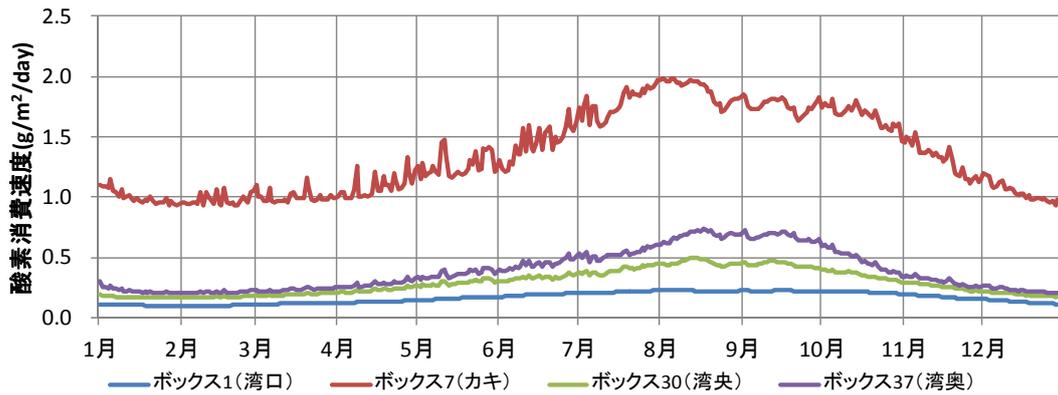


図 2.6(1) 酸素消費速度の時系列変化



図 2.6(2) 底泥からの IN 溶出量の時系列変化

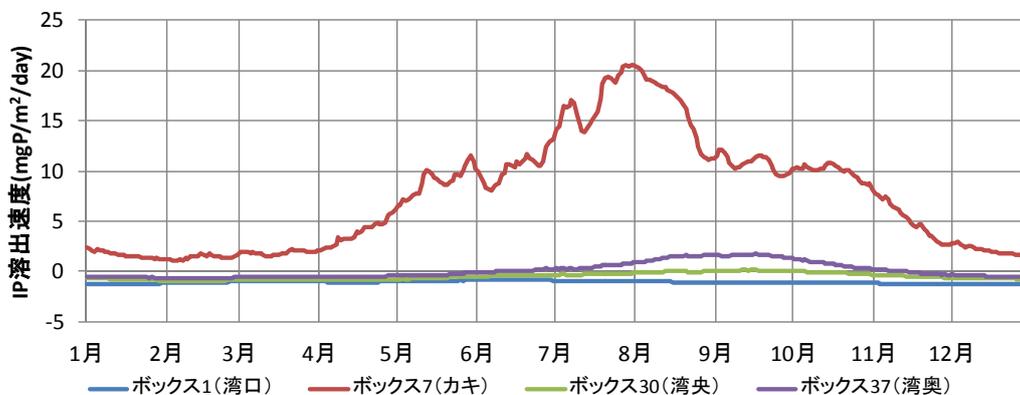


図 2.6(3) 底泥からの IP 溶出量の時系列変化

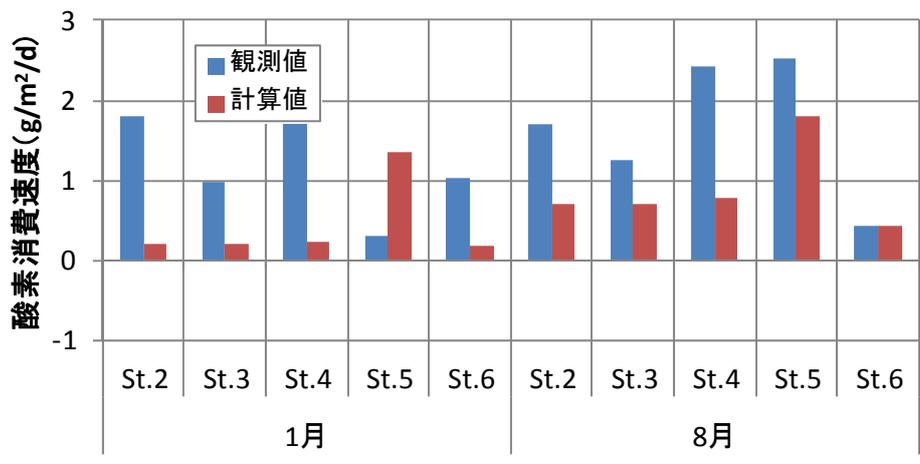


図 2.7(1) 酸素消費速度の比較

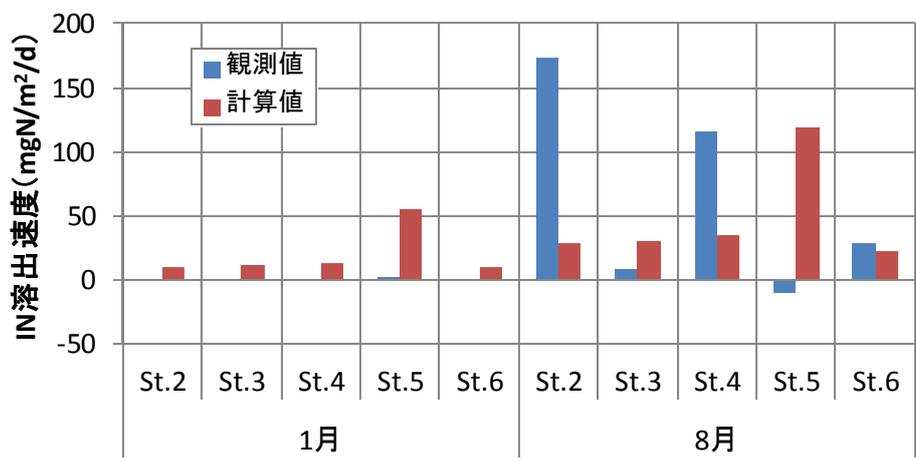


図 2.7(2) T-N 溶出速度の比較

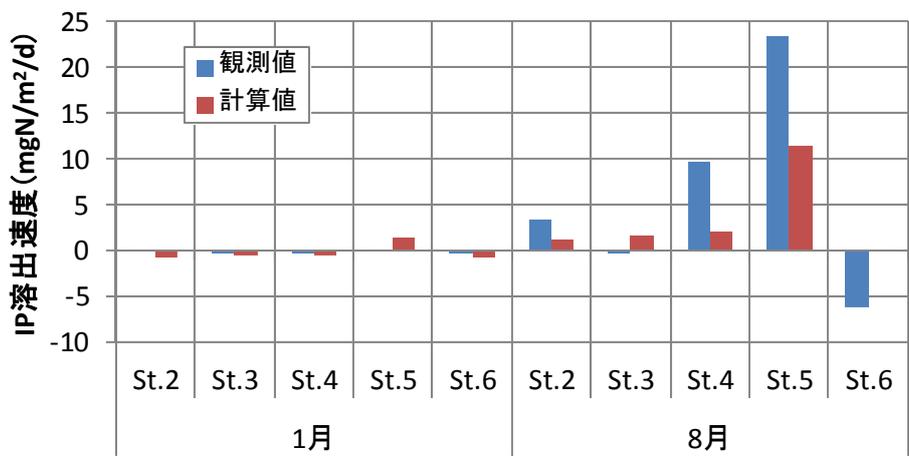


図 2.7(3) T-P 溶出速度の比較

堆積量について、比較を行った。結果を図 2.8 に示す。1 月は概ね再現性は良かったが、8 月の計算値は観測値の 1/6~1/8 倍であった。8 月にはモデルでは考慮されていない再懸濁された物質を捉えている可能性がある。また、観測値の堆積量では、底質が貧酸素状態となり硫化水素が劇的に増加することが予想されるが、実際の状況は異なっている。

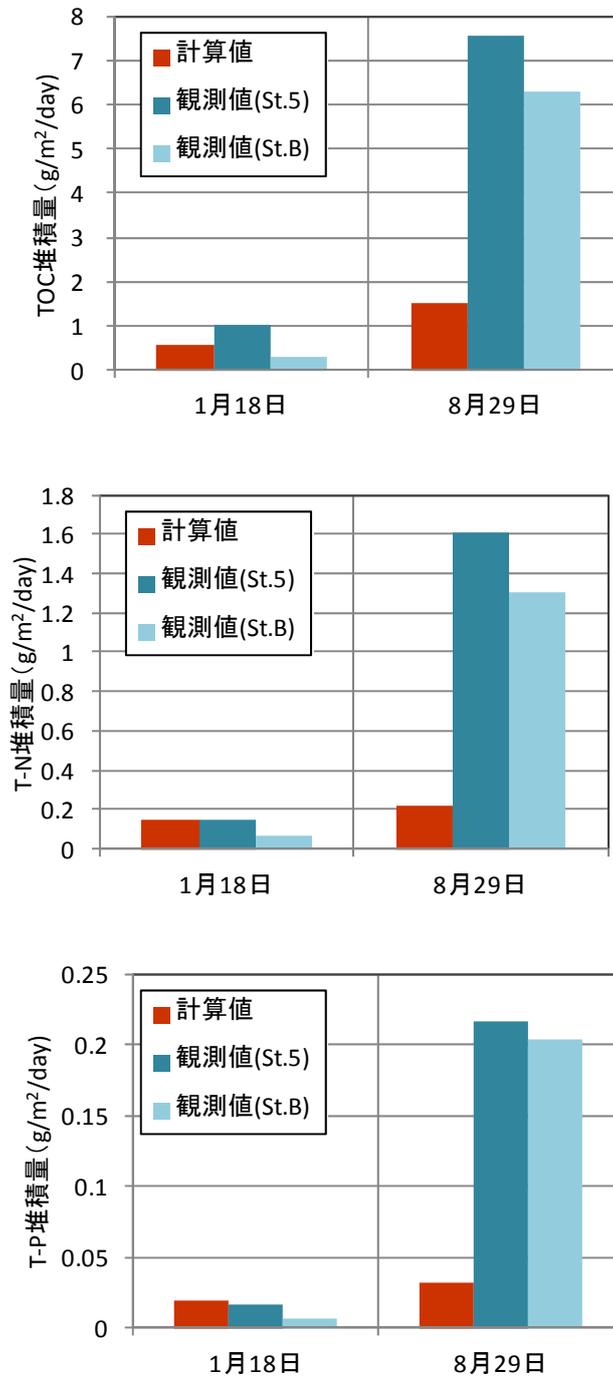


図 2.8 堆積量の比較

2-4 生物

図 2.9～図 2.13 に、生物の現存量の時系列図を示す。

カキは、11～5 月にかけて漁獲によって現存量は減少する。夏季は増加するが、水温の高い 8～9 月は成長が鈍化する。

アマモは、いずれのボックスでも 5 月に極大を持ち、秋季に極小となる。9～10 月には枯死するが、これはモデル領域から取り上げる（漁獲と同じ扱い）ことで表現している。

付着藻類は 5 月、ベントスは 6～7 月にかけて現存量が極大となり、カキ筏直下のボックスで多い。なお、ベントスには硫化水素による死亡効果を導入している。

シズクガイは、ベントスの現存量によって成長速度を変え、ベントスが多い場合に成長速度が減少する効果を導入している。現存量は夏季に極大を迎える。

いずれも、長期間の計算を行うことによって周期定常性は向上した。

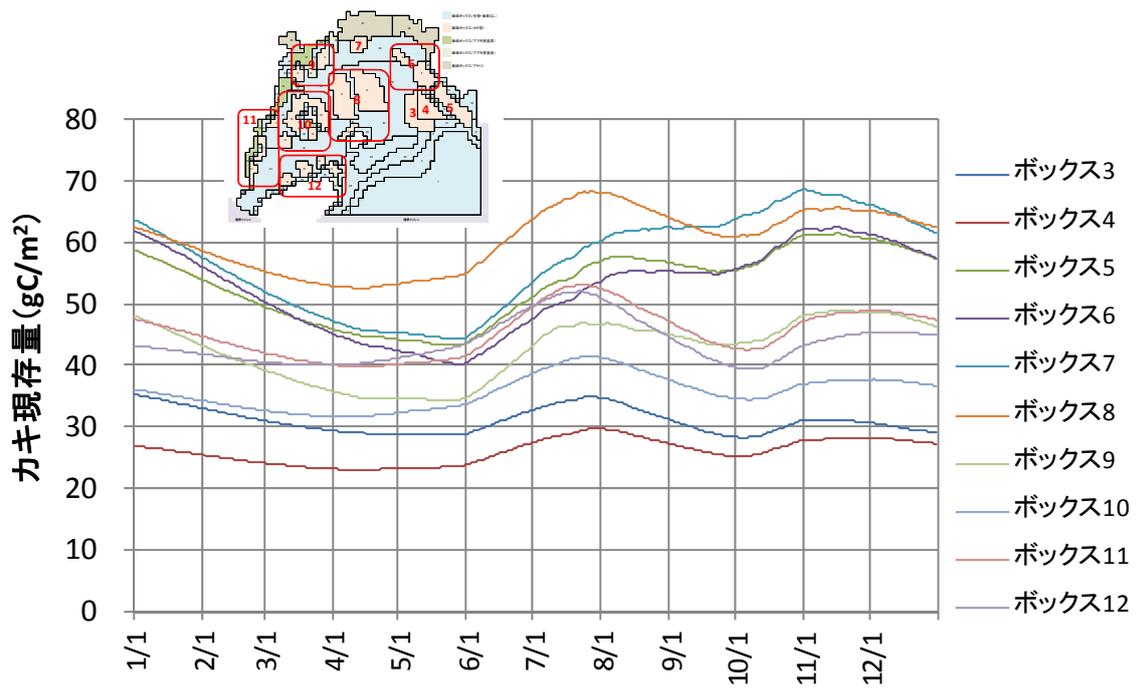


図 2.9 各ボックスにおけるカキの現存量時系列図

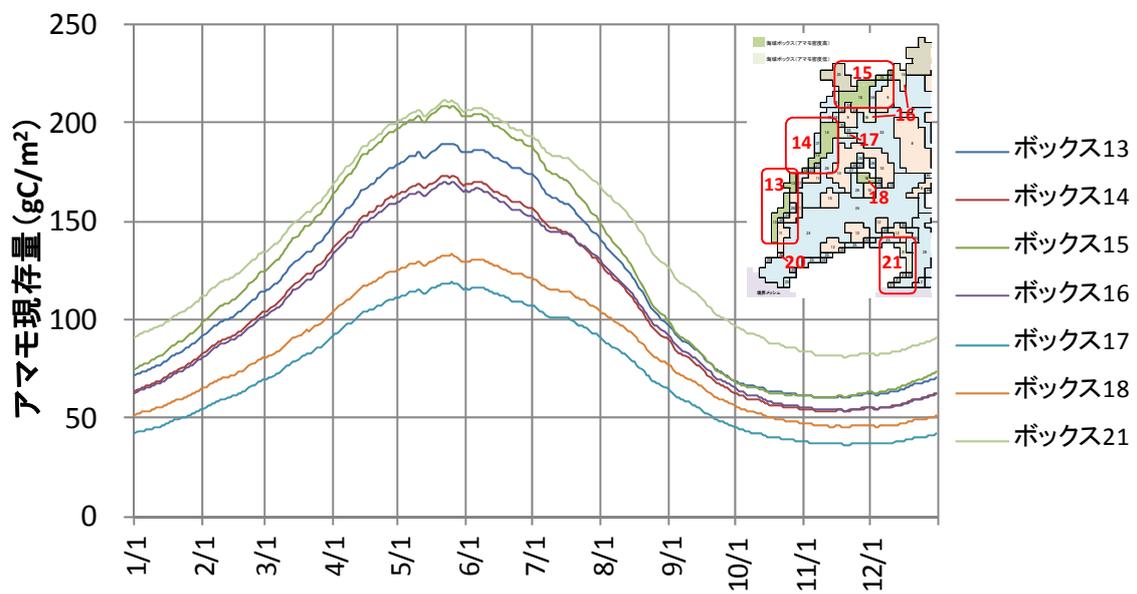


図 2.10 各ボックスにおけるアマモの現存量時系列図

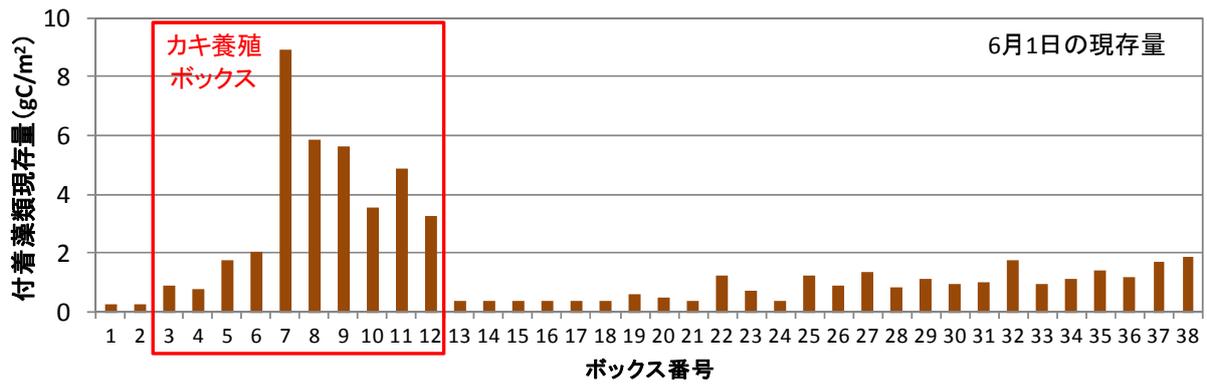
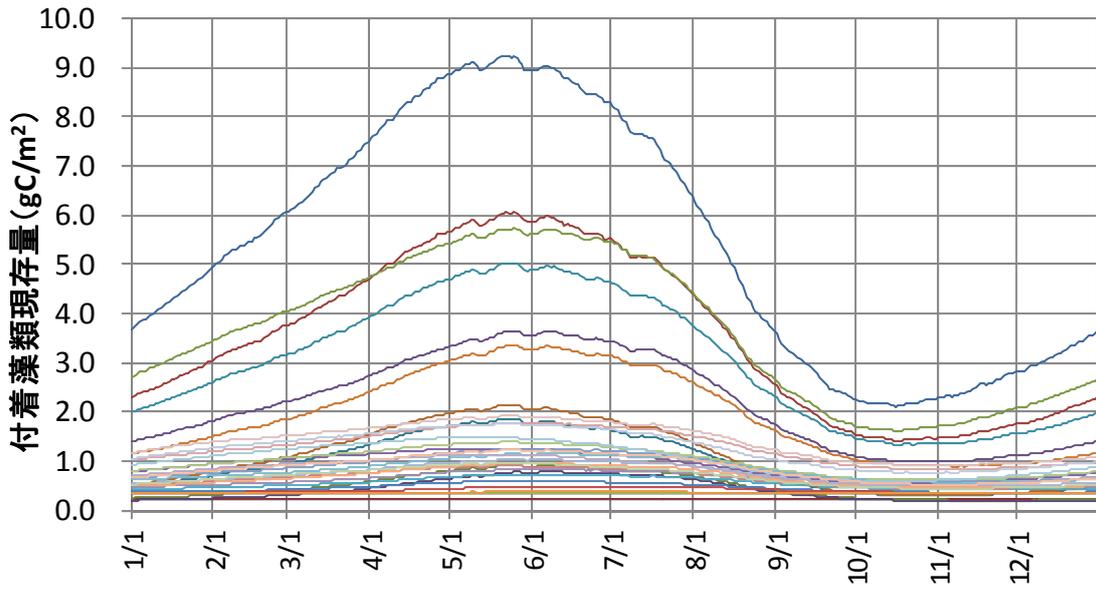


図 2.11 各ボックスにおける付着藻類の現存量時系列図 (全ボックスに設定)

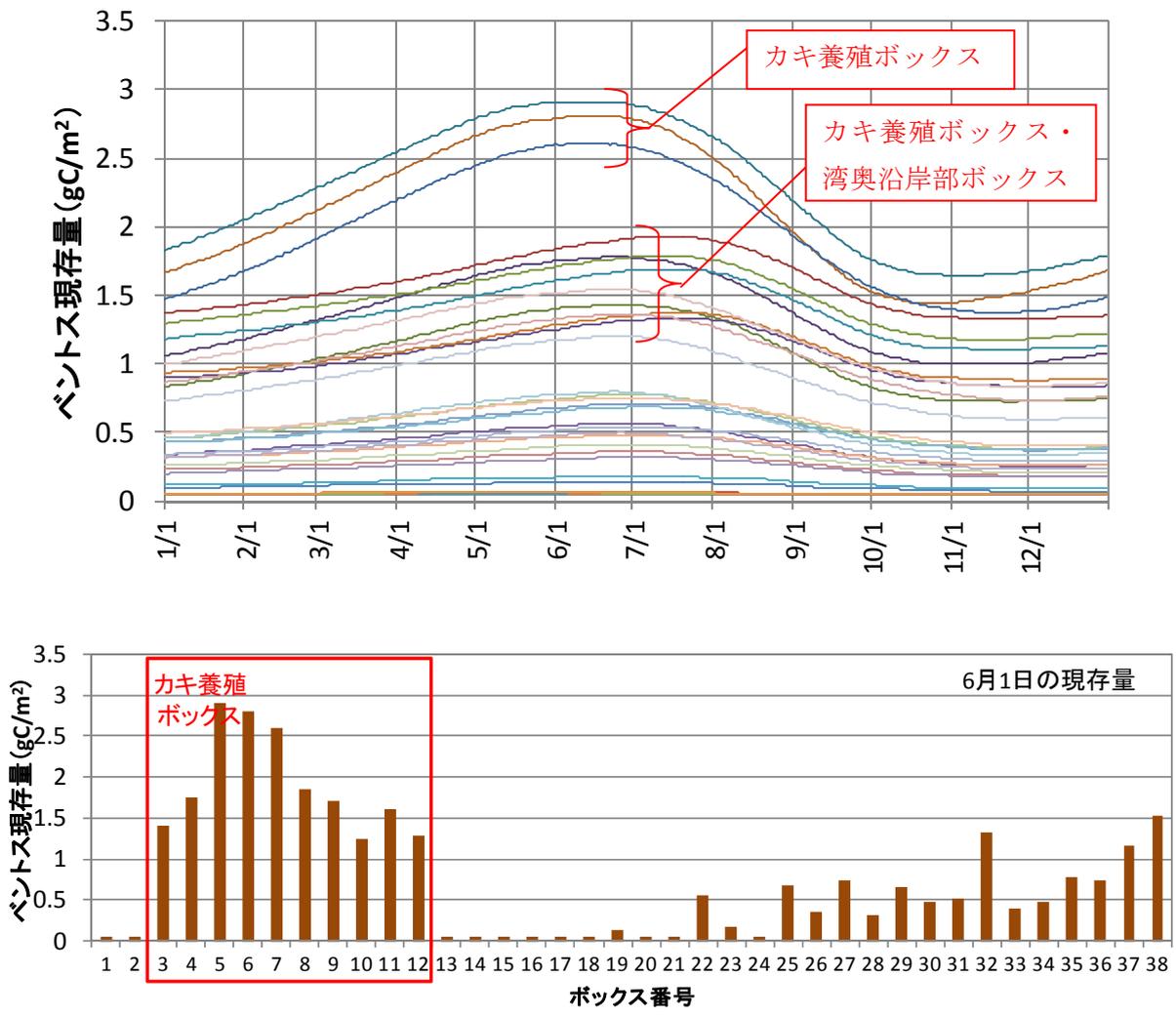


図 2.12 各ボックスにおける堆積物食者の現存量時系列図

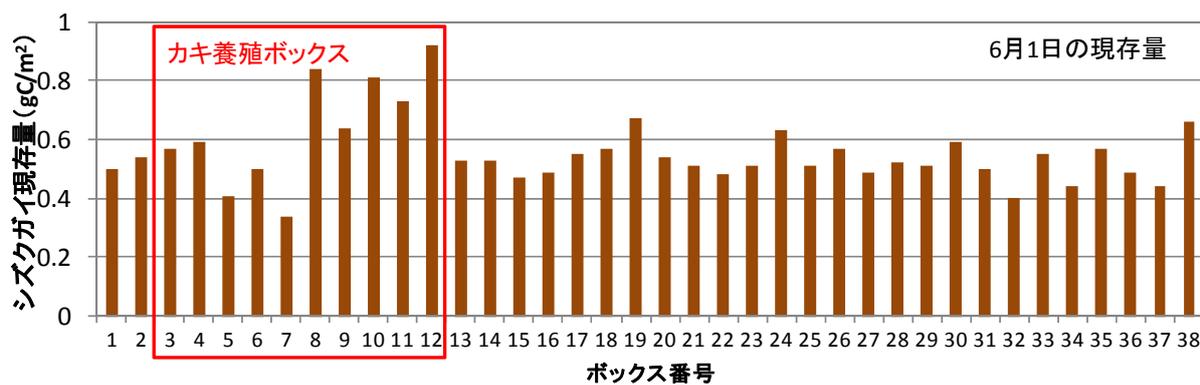
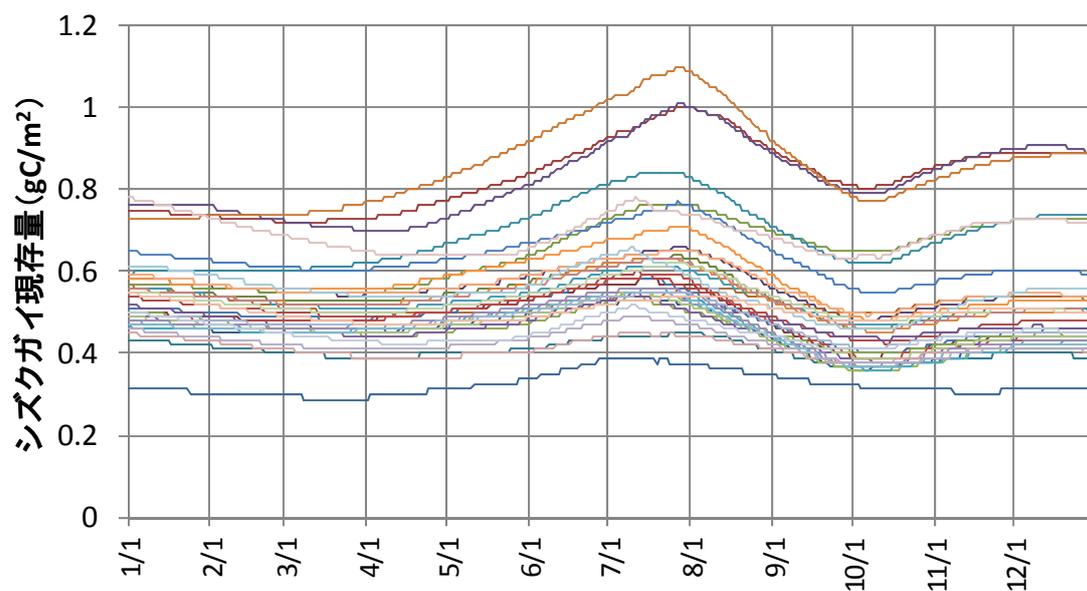


図 2.13 各ボックスにおけるシズクガイ（硫化水素耐性あり）の現存量時系列図

3. 物質循環モデルによる施策の検討

3-1 モデルでの施策の取り扱い

地域WGによる検討結果に従って、構築した物質循環モデルで施策の効果の予測を行った。施策は以下の5ケースである。計算条件の詳細を表 3.1 に示す。

- | |
|---------------------|
| ケース 1 : 耕耘+底質改善材の混合 |
| ケース 2 : 下水処理水の放流調整 |
| ケース 3 : カキ養殖量の調整 |
| ケース 4 : 人工中層海底の設置 |
| ケース 5 : 施肥 (感度実験) |

表 3.1(1) 施策の計算条件

ケース 1 : 耕耘+底質改善材の混合				
条件変更点	底泥間隙水中の硫化水素の吸着、リンの溶出削減			
設定方法	実証試験を元に決定した。 施工直後に底泥間隙水中の硫化水素が 87.2%減少、リンの溶出が 99.8%減少、その後 507 日後に減少率が 0%となるよう、減少率を直線的に変化			
計算ケース		H2S 吸着効果	リン溶出削減効果	設定ボックス
	ケース 1 ①A	あり	あり	BOX7、8、9
	ケース 1 ①B	あり	あり	BOX3~12
	ケース 1 ②A	あり	なし	BOX7、8、9
	ケース 1 ②B	あり	なし	BOX3~12
期間	7/1 に効果開始			
設定根拠	Yamamoto et al.(2012)など			
ケース 2 : 下水処理水の放流調整				
条件変更点	下水処理場から海域へ放流される負荷の濃度の変更			
設定方法	IN の負荷濃度を 20mg/l、IP の負荷量を 2mg/l とする			
期間	10 月 1 日~11 月 30 日に実施			

表 3.1 (2) 施策の計算条件

ケース 3 : カキ養殖量の調整					
条件変更点	現況再現計算に対し、カキの現存量と漁獲量を変更				
設定方法	カキの初期養殖量および全期間漁獲量に係数をかけて計算				
計算ケース			係数		
	ケース 3 ①		1.50 倍		
	ケース 3 ②		1.25 倍		
	ケース 3 ③		0.75 倍		
	ケース 3 ④		0.50 倍		
期間	初期の養殖量および全期間の漁獲量を変更				
ケース 4 : 人工中層海底の設置					
条件変更点	カキ筏からの沈降有機物（排糞）の捕捉				
設定方法	カキ筏（全ボックス）からの排糞量に下記係数をかけて増減				
計算ケース		冬季堆積量 増加	12～5 月	6、11 月	7～10 月
	ケース 4 ①	あり	1.29 倍	0.94 倍	0.906 倍
	ケース 4 ②	なし	1.00 倍	0.94 倍	0.906 倍
期間	計算全期間で設定				
設定根拠	山本ら(2009)				
ケース 5 : 施肥（感度実験）					
条件変更点	海域への直接負荷				
設定方法	BOX7 に負荷を投入				
目的	秋季に広島湾の Chl-a 濃度と等しくなるために必要な負荷量を推定				
期間	10 月 1 日～11 月 30 日に実施				

3-2 ケース 1：耕耘＋底質改善材の混合

焼成カキ殻を用いた底質改善材を底泥に耕耘とともに混ぜ込み、底泥間隙水中の硫化水素の削減およびリンの溶出削減効果による底泥や生物量への影響を調べる。計算条件を表 3.2 および図 3.1、図 3.2 に、結果を図 3.3～図 3.7 に示す。

ケース 1 ①A、①B は硫化水素の削減効果のみ、②A、②B は加えてリンの溶出削減効果も考慮した。なお、1 年目の 7 月 1 日に削減効果を開始し、実証試験の結果による濃度の勾配から、507 日後に減少率が 0% となるよう、減少率を直線的に変化させた。

底泥中の T-N 濃度は、いずれのケースでも若干の増加となった。効果が終了する 2 年目 11 月以降は、概ね横ばいもしくは減少に転じた。底泥からの IN 溶出速度の増減はボックスによって異なり、約-5%～5% の変化となった。

T-N、硫化物濃度についても、夏季の減少とケース 4 ①では冬季の増加を繰り返し、ケース 4 ①では年々増加、ケース 4 ②では年々減少する傾向にあった。

カキの現存量は、ケース ①では IP 溶出の減少によって、施工直後に減少するものの、2 年目中盤からは一部のボックスを除き増加に転じ、最大 3% の増加となった。

ベントスの現存量は、死亡要因である硫化水素の削減によって大幅に増加し、最大約 55% の増加率となった。この増加は 3 年目 2 月まで継続した。逆にシズクガイは、ベントスの増加によって最大 30% 程度の減少となった。

表 3.2(1) 施策の計算条件

ケース 1：耕耘＋底質改善材の混合				
条件変更点	底泥間隙水中の硫化水素の吸着、リンの溶出削減			
設定方法	実証試験を元に決定した。 施工直後に底泥間隙水中の硫化水素が 87.2% 減少、リンの溶出が 99.8% 減少、その後 507 日後に減少率が 0% となるよう、減少率を直線的に変化			
計算ケース		H ₂ S 吸着効果	リン溶出削減効果	設定ボックス
	ケース 1 ①A	あり	あり	BOX7、8、9
	ケース 1 ①B	あり	あり	BOX3～12
	ケース 1 ②A	あり	なし	BOX7、8、9
	ケース 1 ②B	あり	なし	BOX3～12
期間	7/1 に効果開始			
設定根拠	Yamamoto et al.(2012) など			

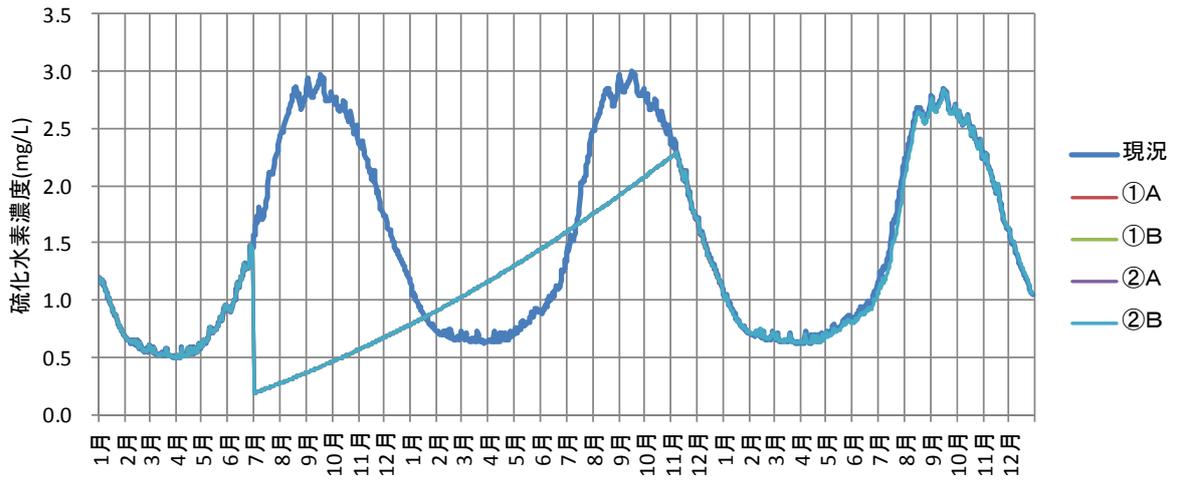


図 3.1 BOX7 における硫化水素濃度

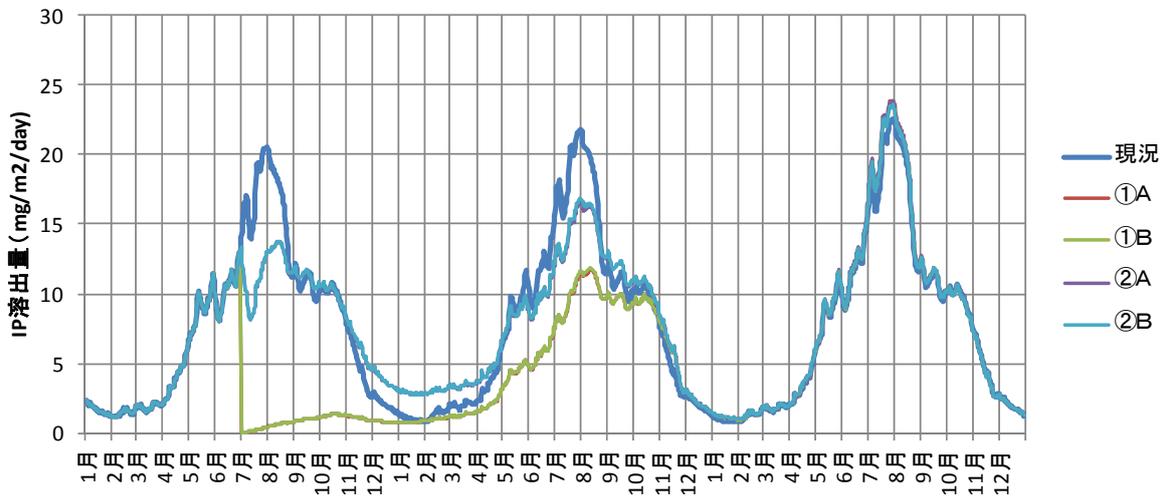


図 3.2 BOX7 における IP の溶出量

の倍数 (設定条件)

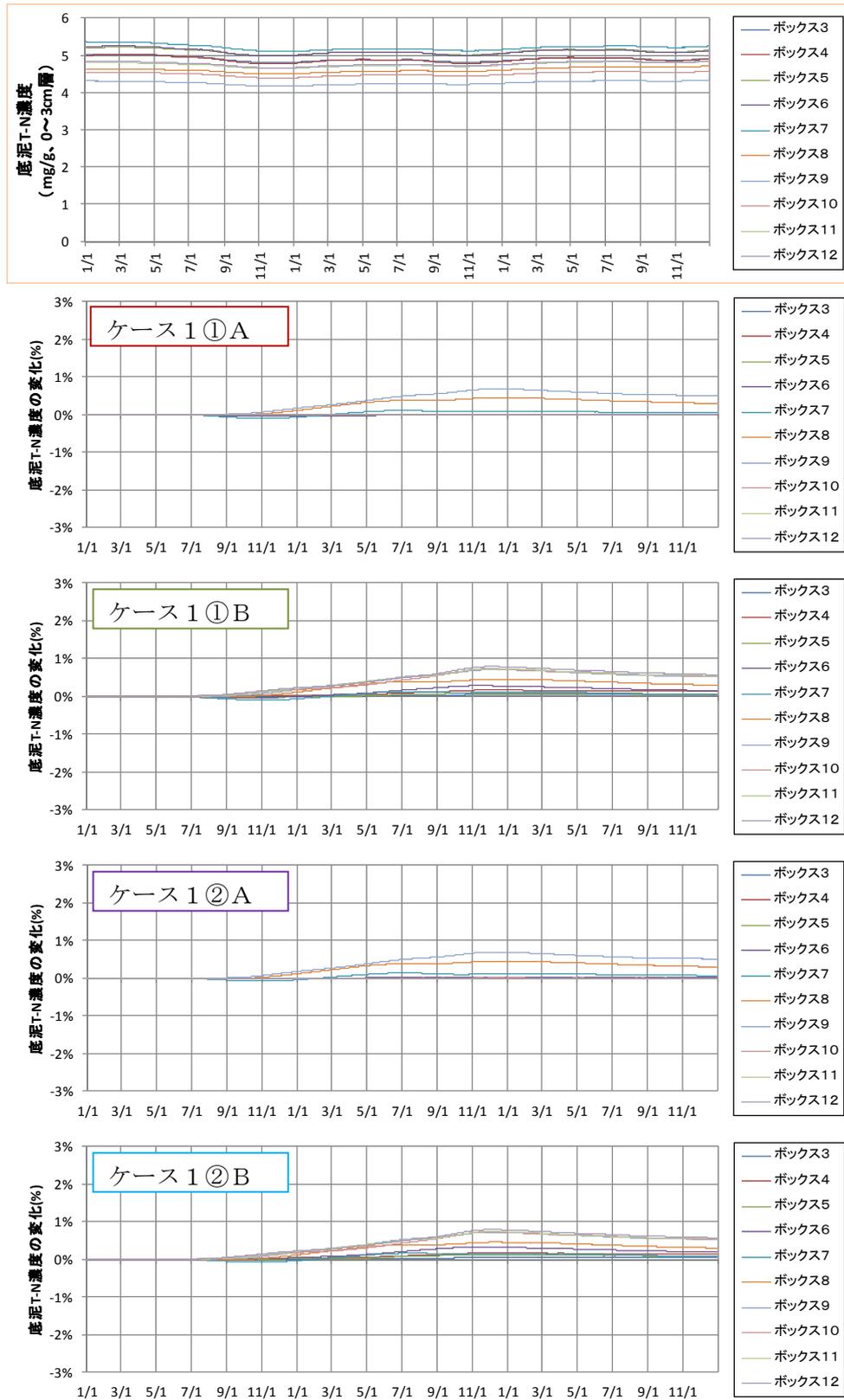


図 3.3 (最上段) 現況ケースの底泥中の T-N 濃度、(2 段目以降) ケース 1 ①A、①B、②A、②B の現況ケースに対する底泥中の T-N 濃度の変化率

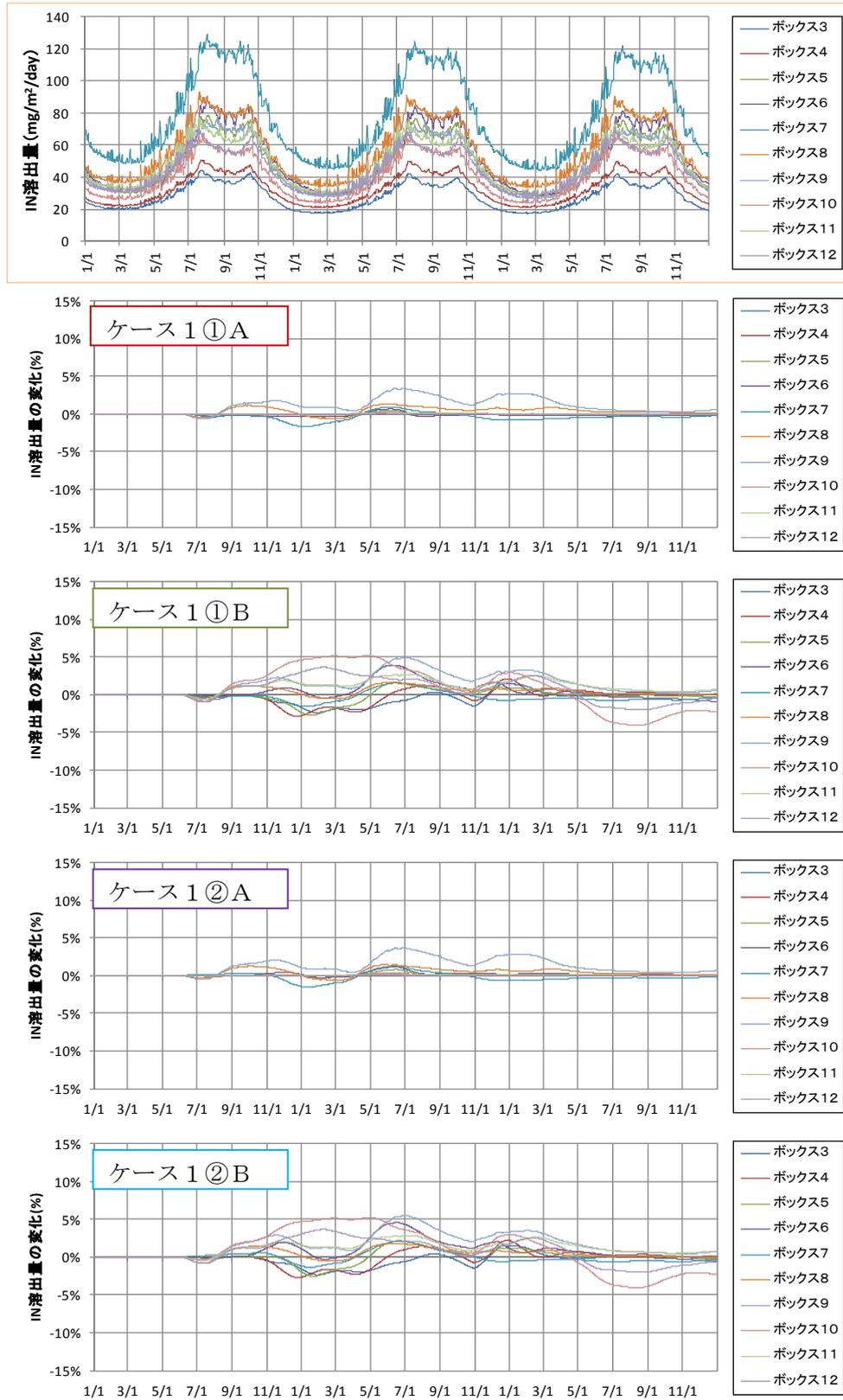


図 3.4 (最上段) 現況ケースの IN 溶出量、(2 段目以降) ケース 1 ①A、①B、②A、②B の現況ケースに対する IN 溶出量の変化率

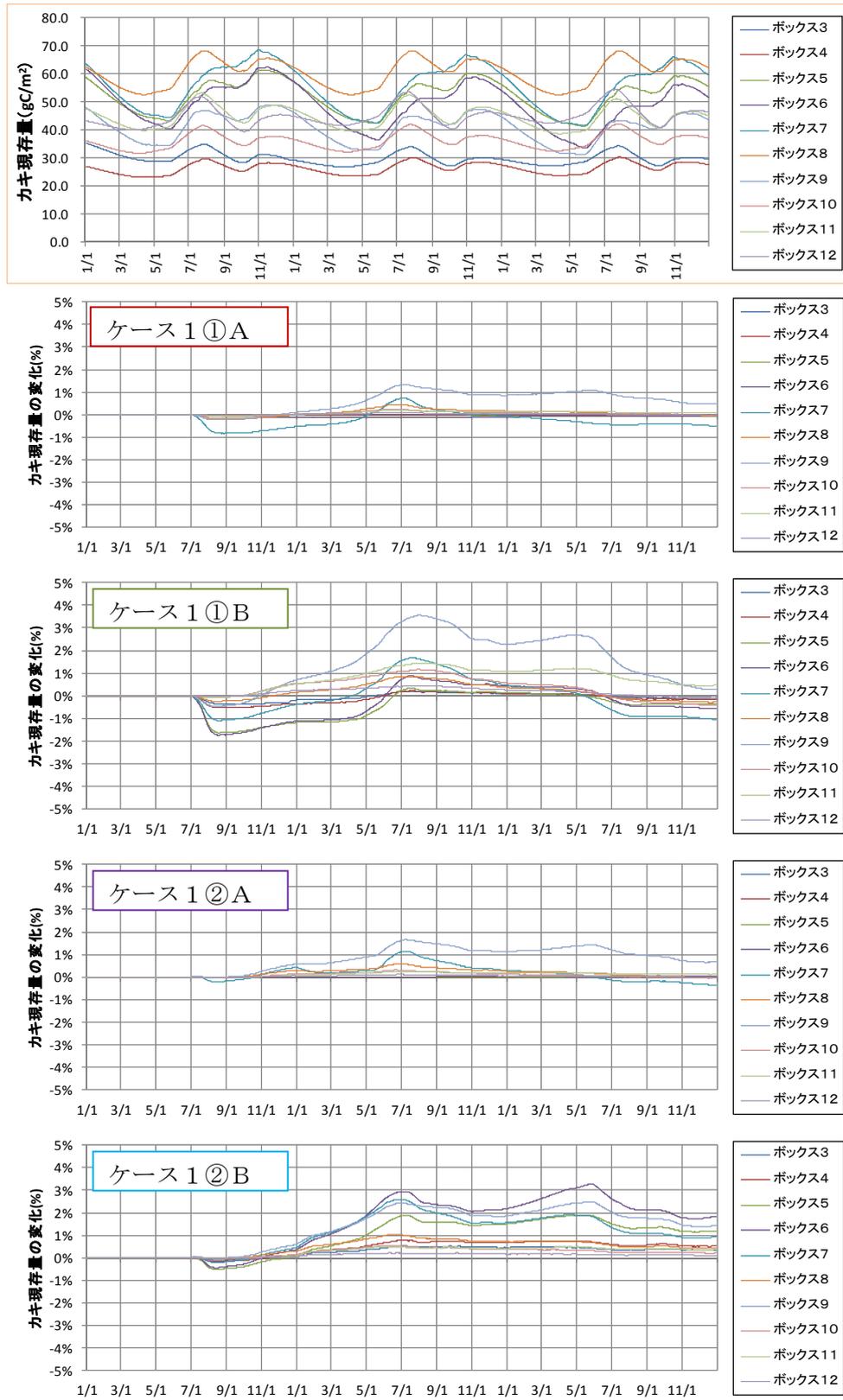


図 3.5 (最上段) 現況ケースのカキ現存量、(2段目以降) ケース 1 ①A、①B、②A、②B の現況ケースに対するカキ現存量の変化率

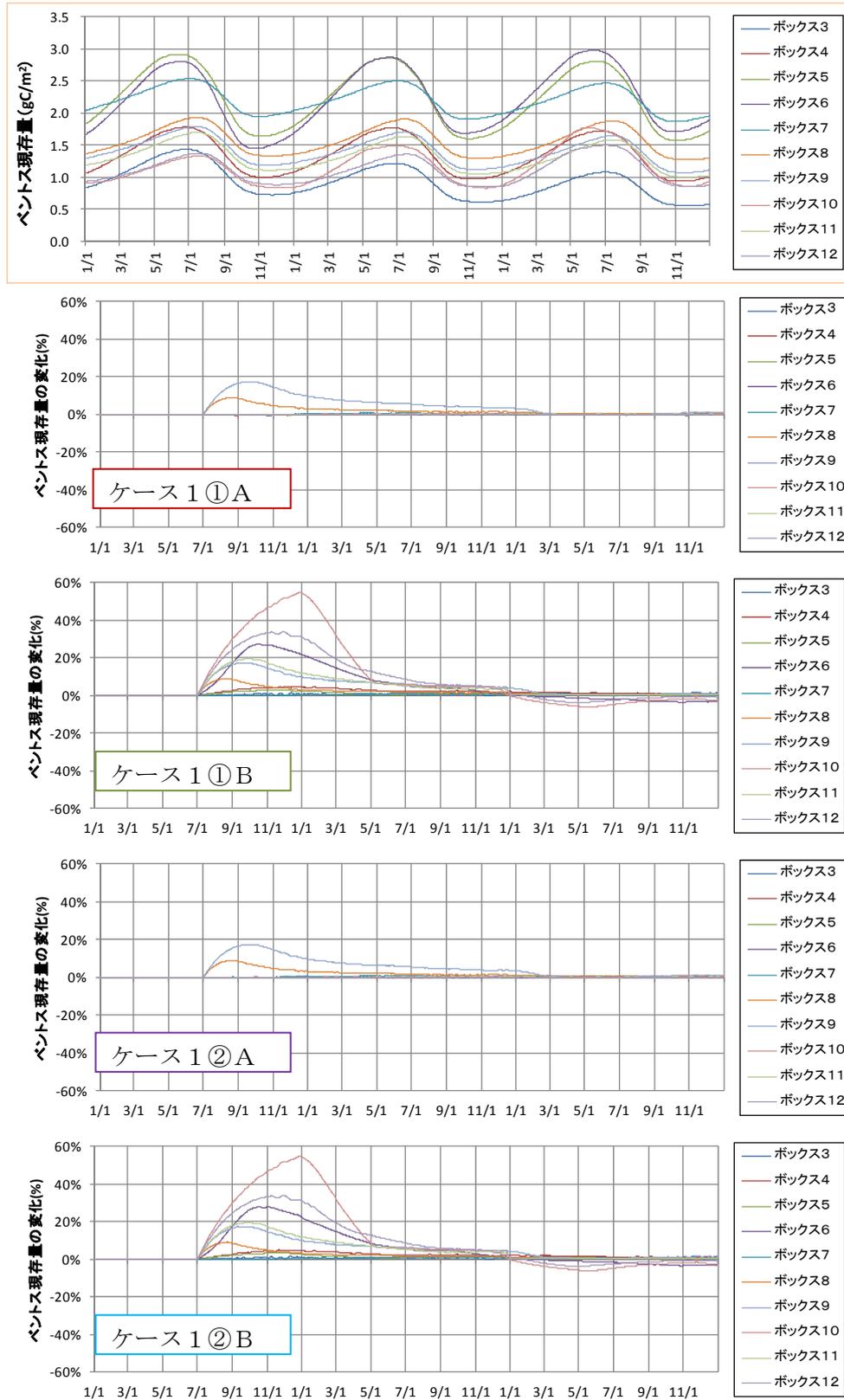


図 3.6 (最上段) 現況ケースのペントス現存量、(2段目以降) ケース 1 ①A、①B、②A、②Bの現況ケースに対するペントス現存量の変化率

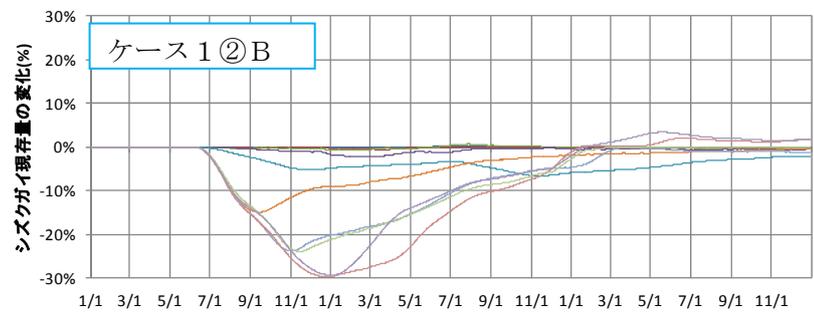
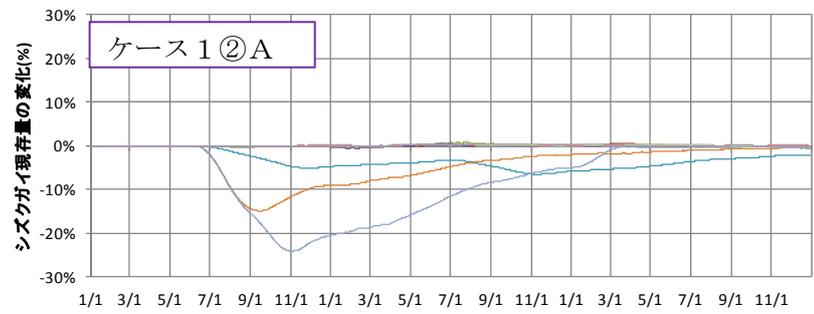
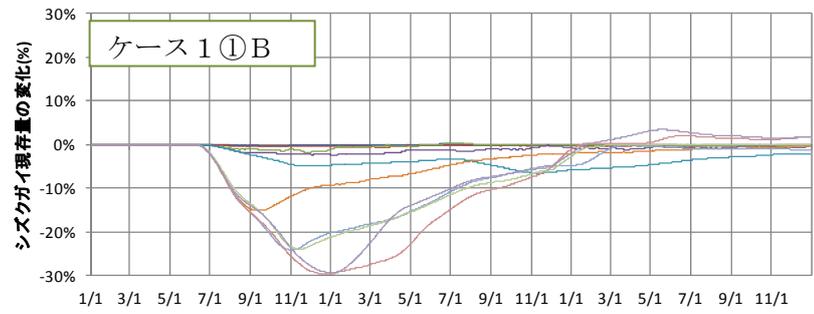
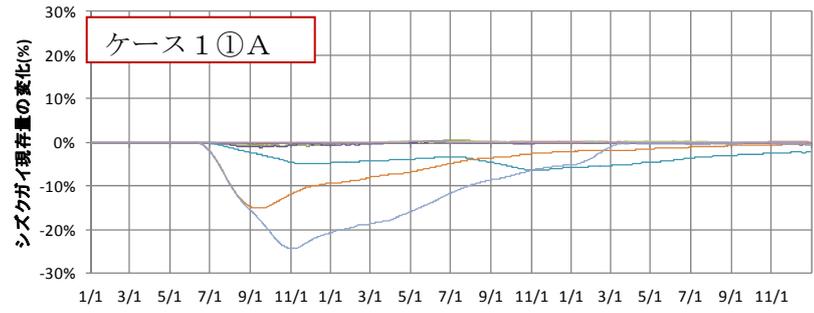
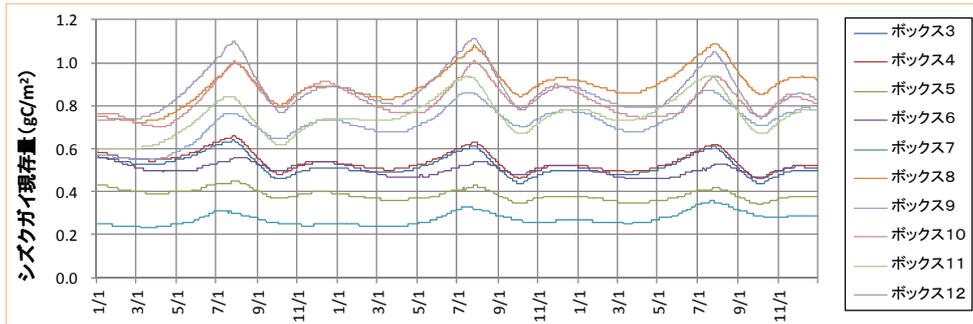


図 3.7 (最上段) 現況ケースのシズクガイ現存量、(2段目以降) ケース1①A、①B、②A、②Bの現況ケースに対するシズクガイ現存量の変化率