

三津湾の物質収支モデルについて

1. 本年度の検討の概要

- 検討の流れ
- モデルに反映すべき課題

2. 物質収支モデル構築の現状

- 計算結果とモデルによる三津湾の現状

検討フロー

平成23年度

- ・ベースモデルの構築

平成24年度

- ・物質循環モデルの構築
- ・物質循環状況の解明
- ・管理方策案の効果検討

平成25年度

◆物質循環モデルのさらなる構築

- ・再現精度、信頼性向上
- ・管理方策の効果を変現できるモデルへの改変

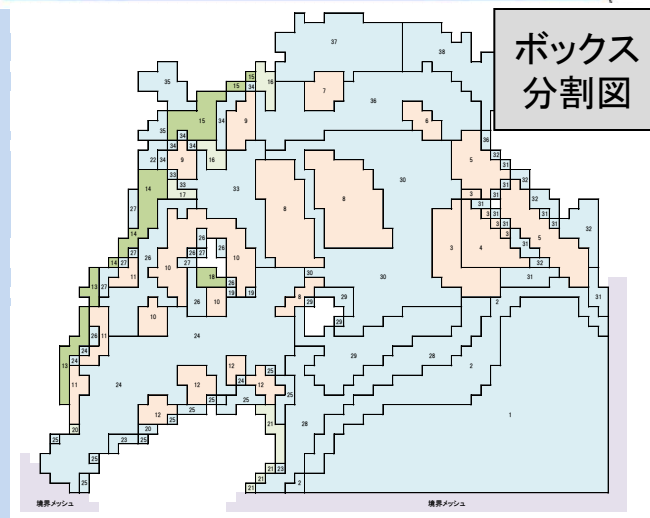
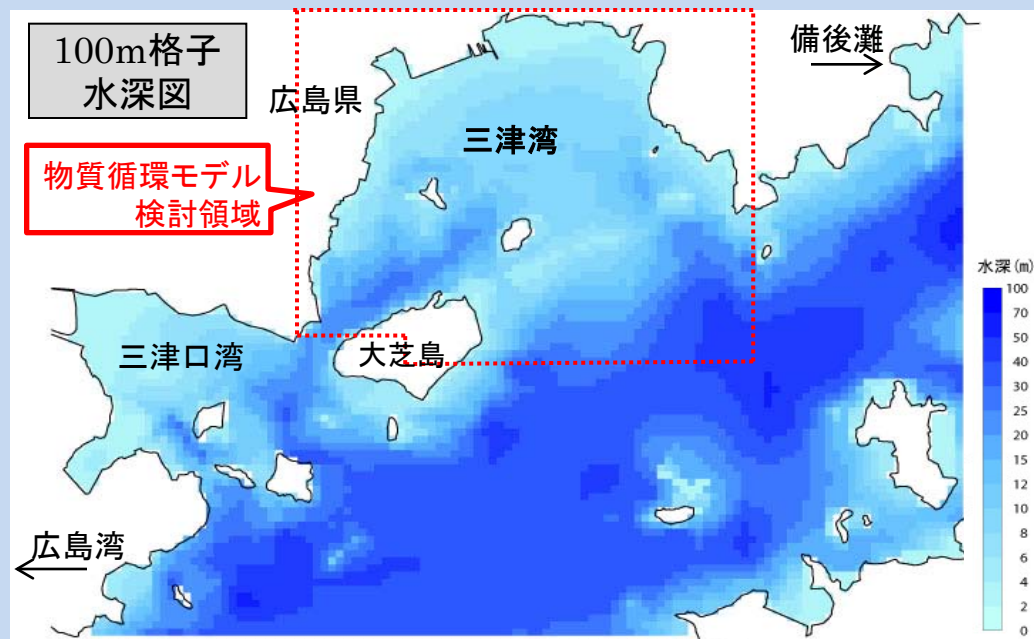
◆管理方策の効果検討

- ・実証試験の効果検討
- ・その他管理方策（ソフト・ハード対策、感度実験）の効果検討
- ・物質循環のまとめ、方策による効果の表現

ヘルシープランとりまとめ

三津湾の物質収支モデルの概要

- 三津湾周辺100m格子
- 水質-底質結合生態系モデル
- 多層レベルモデル
- カキ、底生生物、アマモ、付着藻類を考慮
- カキ筏は湾内に広く点在



カキ
アマモ(密度高)
アマモ(密度低)
※付着藻類、底生生物は全ボックスで計算

モデルに反映すべき課題

- ・昨年度構築したモデルの精度向上および管理方策評価のため、本年度は以下の課題をモデルに反映

①カキ筏による流れの抵抗（流動モデル）

- ▶ カキ筏による流れの抵抗が、湾内の生物に影響している可能性

②底泥の硫化水素による底生生物への影響把握

- ▶ 硫化水素による底生生物の死亡効果を追加

③底生生物の複数種検討

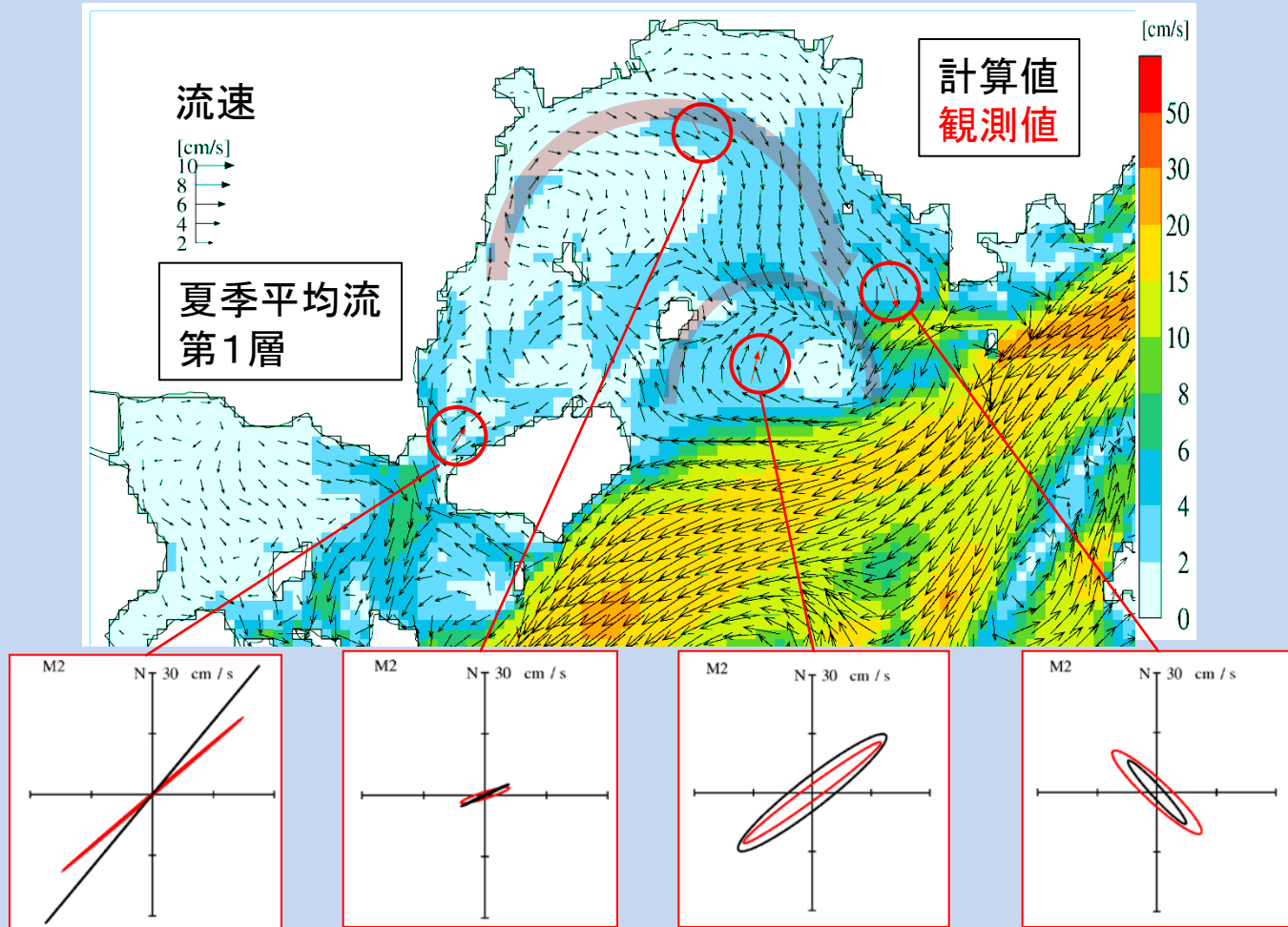
- ▶ 底質改善材による硫化物環境の変化の評価

④その他、再現性の向上

- ▶ 底質からのリン溶出過大
- ▶ 底質間隙水中の硫化水素濃度
- ▶ 周期定常性の向上
- ▶ その他、パラメータチューニング

流動モデルの検討結果（課題①）

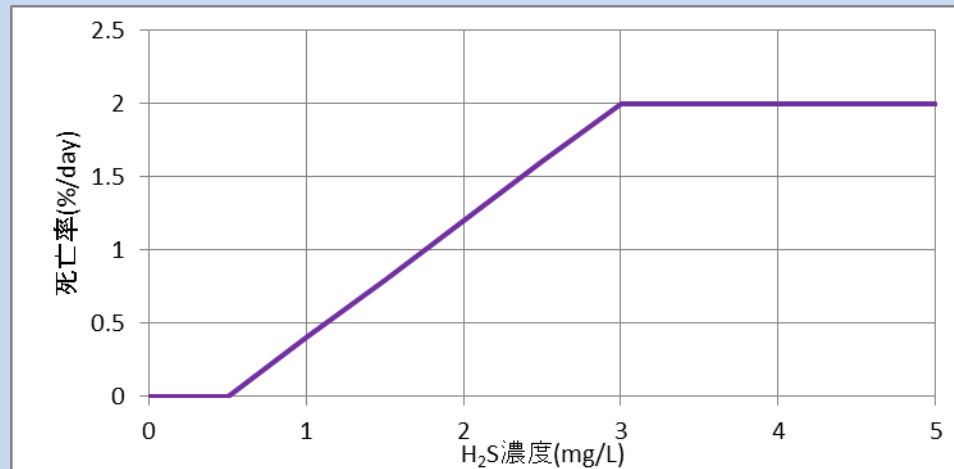
- ・ カキ筏による抵抗を考慮した結果、カキ筏の存在するメッシュで流速減少 → 再現性は良好



水質-底質結合生態系モデルの課題と対応（課題②、③）

- ・ 底泥の硫化水素による底生生物への影響把握
- ・ シズクガイとそれ以外の底生生物に分けた検討

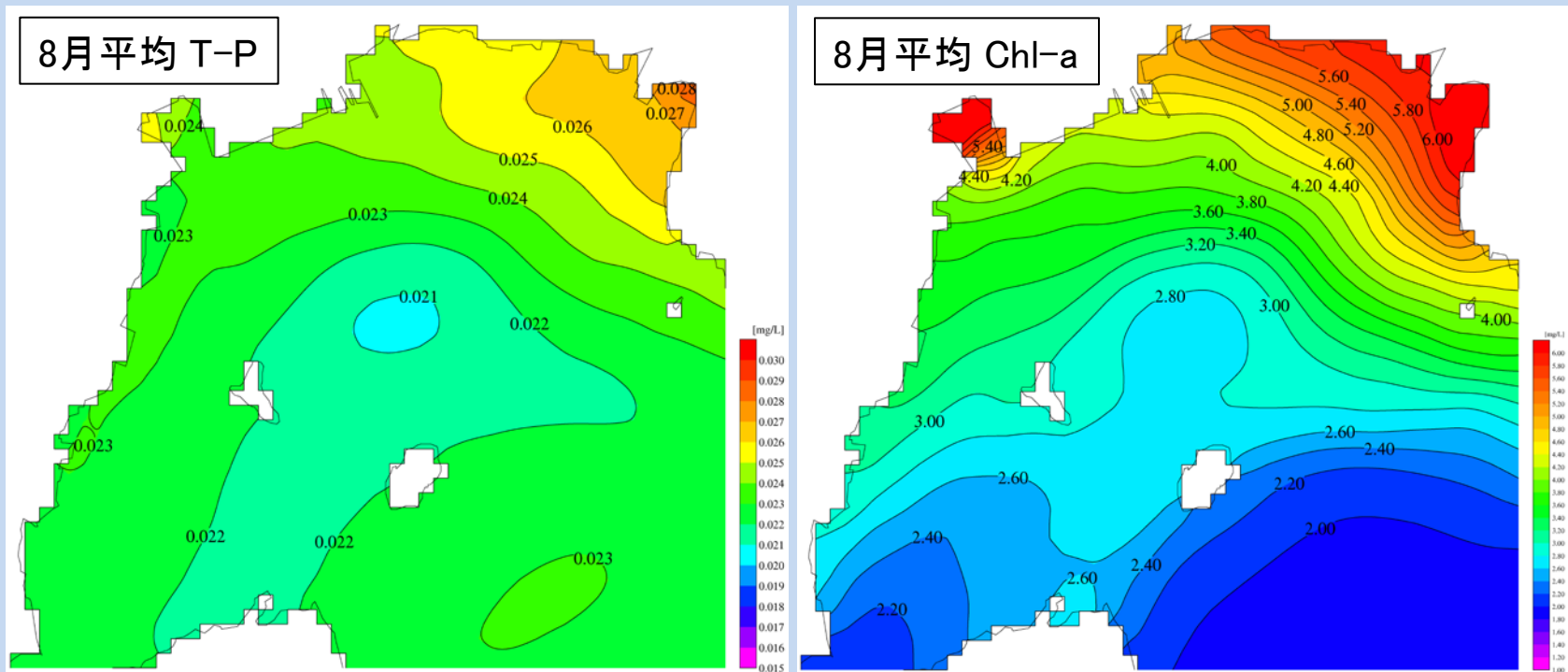
➤ 硫化水素による底生生物の死亡効果を追加



- 硫化水素耐性があり、三津湾で確認されたシズクガイを懸濁物食者として導入
- 生物の現存量、底泥内の硫黄濃度環境、各種パラメータ調整中

水質の検討結果①

- ・ 湾奥ほど栄養塩、クロロフィル-a濃度が高い
- ・ しかし、T-P : 0.02~0.03mg/L、
Chl-a : 1~6 $\mu\text{g/L}$ と低い



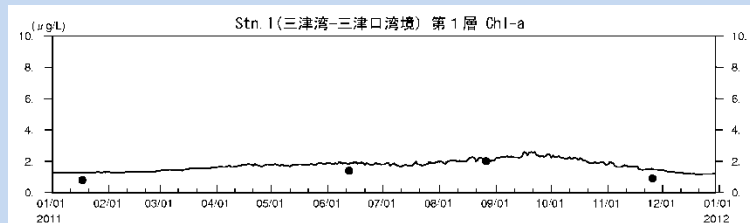
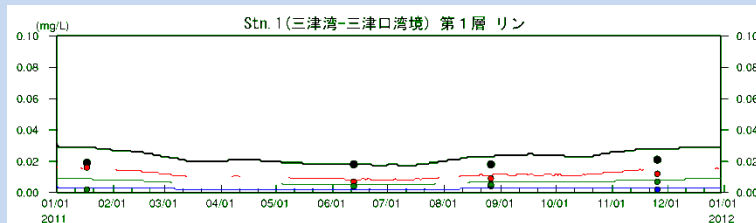
水質の検討結果②

- 三津湾の水質濃度の現状を概ね再現

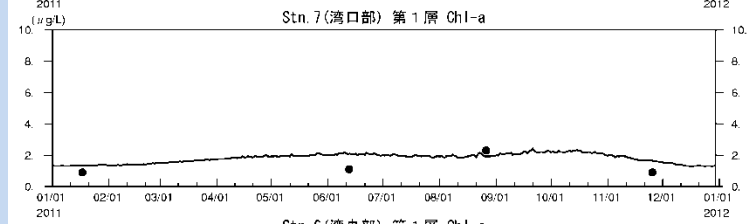
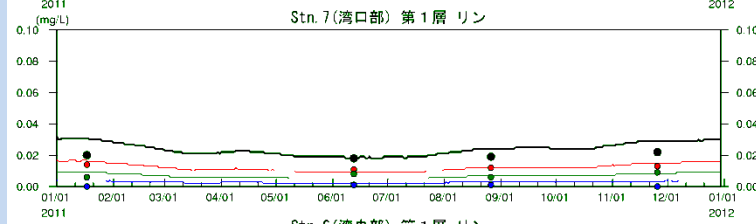
リン

Chl-a

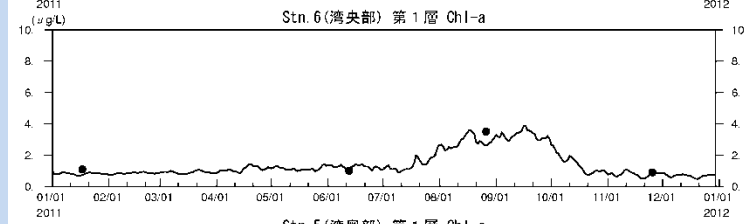
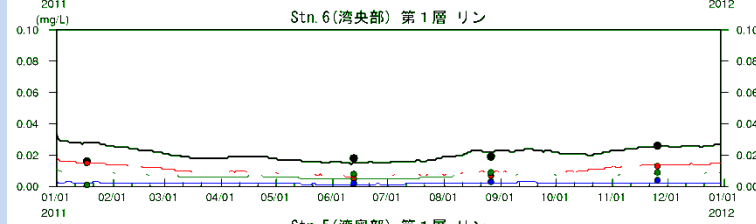
湾口西部



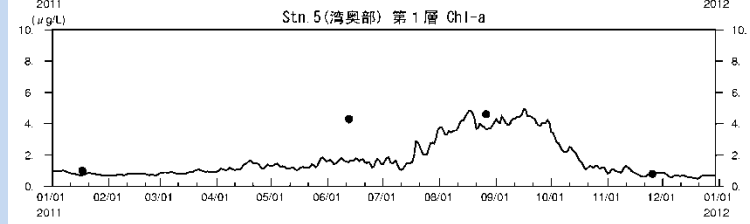
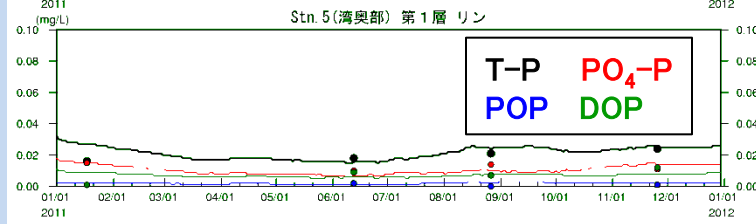
湾口中部



湾央部

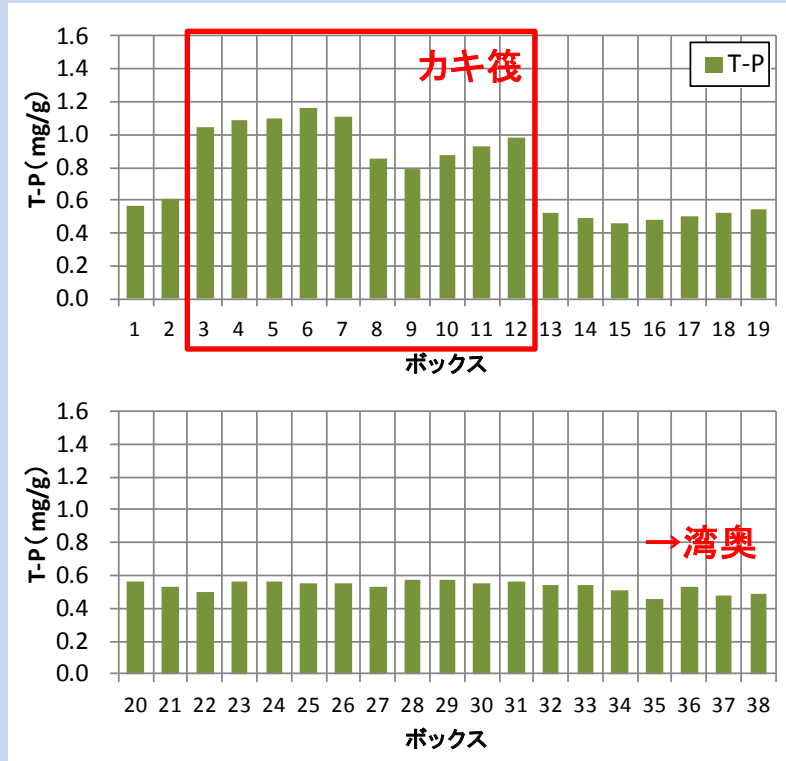


湾奥部

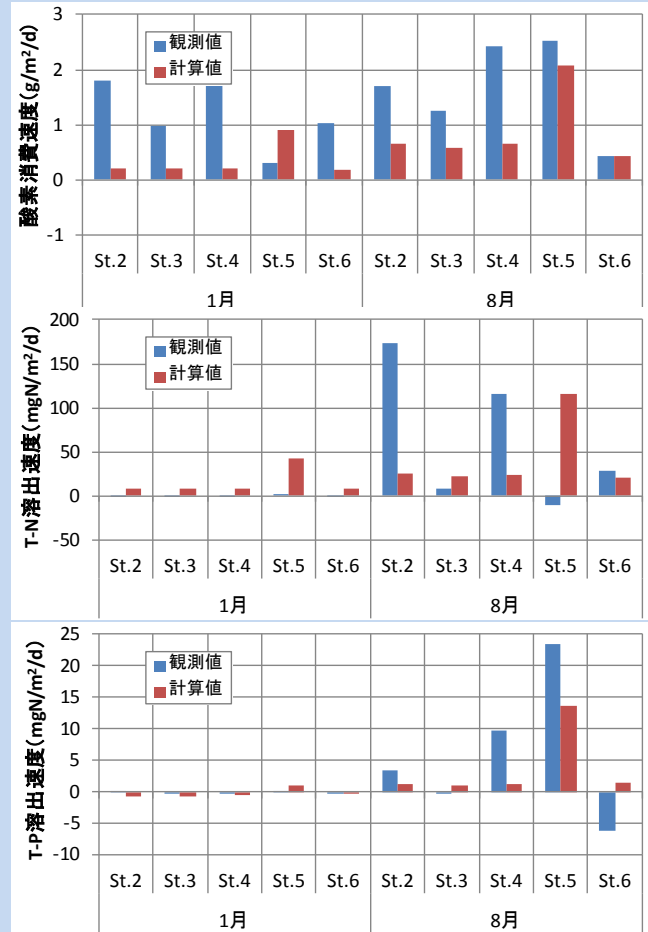


底質の検討結果

- ・ カキ筏直下のボックスで底泥濃度高
- ・ 酸素消費速度は過少傾向



底泥T-P濃度(8月、ボックス別)



酸素消費、溶出速度の再現性比較
St.2~4: 湾奥、St.5: カキ筏直下、St.6: 湾央

管理方策の効果検討

- ①底質改善対策：底質改善材（焼成力キ殻）の鋤き込み
 - ・底泥内の H_2S 濃度、リン溶出の削減効果
- ②栄養塩不足対策：下水処理水の放流調整
 - ・流入負荷量を調整し、計算
- ③栄養塩不足対策：力キ養殖量の調整
 - ・力キ現存量を調整し、計算
- ④底質改善対策：人工中層海底の設置
 - ・力キ筏からの沈降物を捕獲、長期計算
 - 底質、底生生物、力キの成長への影響等、物質循環の変化を評価

物質循環モデルの構築について

目次

1. 本年度の物質循環モデルによる検討の概要	2
2. 昨年度の検討結果のまとめ	3
3. 本年度の物質循環モデルの構築について	4
4. 物質循環モデルの構築状況	14
4-1 計算結果のまとめ	14
4-2 水質	14
4-3 底質	21

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。

本年度は、昨年度構築したモデル（以下、「昨年度モデル」とする）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を行う。現在、この構築作業を行っている。その後、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う。

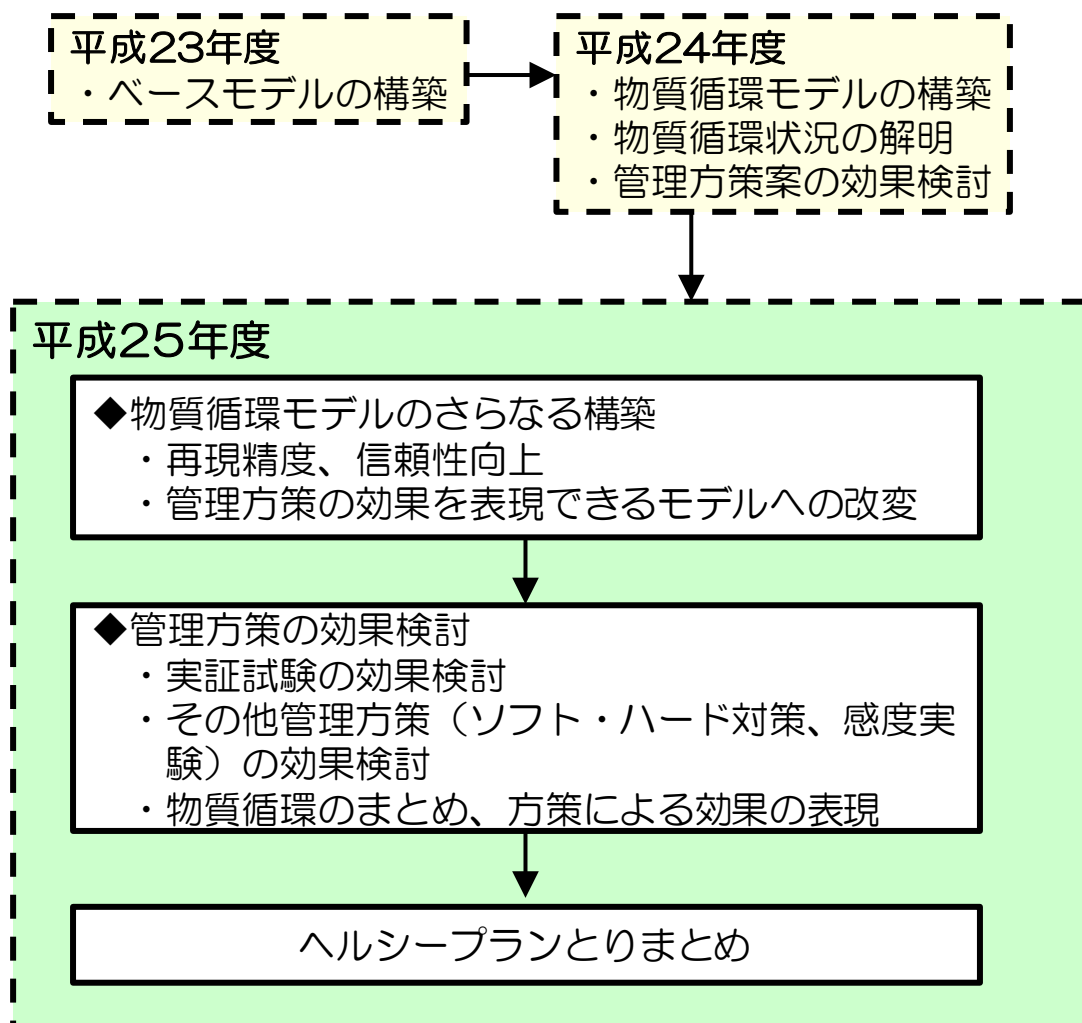


図 1.1 三津湾の物質循環モデル検討フロー

2. 昨年度の検討結果のまとめ

昨年度の検討によって、三津湾内の平均流は、三津口湾、三津湾湾口西部から流入し、湾口東部から流出する反時計回りであることがわかった。また、潮汐は平均流と概ね同じ方向の成分が強く、湾奥ほど弱い傾向にあった（図 2.1）。現況再現性は良好であった。

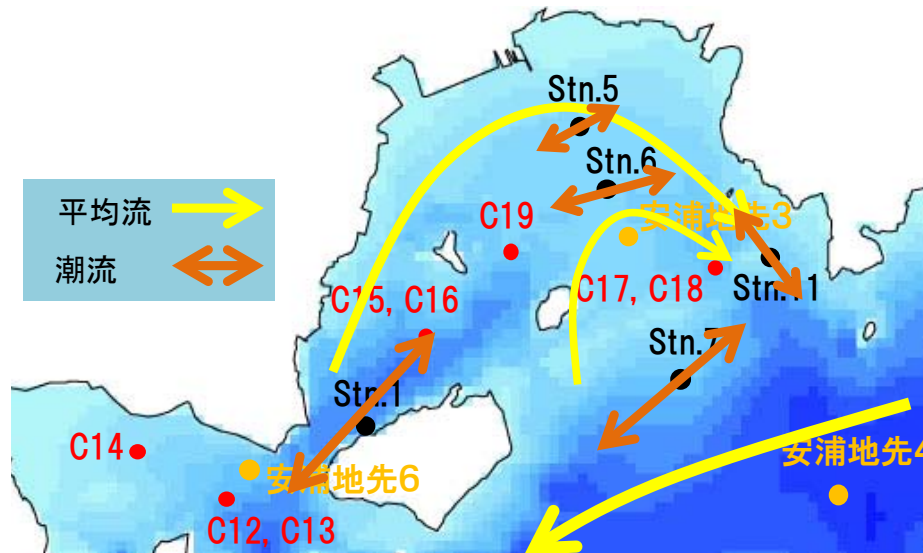


図 2.1 <参考>昨年度モデルで得られた三津湾の流動場の特徴

三津湾の物質循環状況は、三津湾の物質循環は湾外の影響が強く、湾内の水質濃度は河川や事業場の負荷よりも湾外からの移流の影響が支配的であることがわかった。また、カキ筏直下の底泥が局所的に悪化していることも判明した。（図 2.1）。

物質循環モデルの現況再現性は概ね良好であったが、湾奥の底泥からの溶出量が不安定であることが課題であった。また、生物量や考慮する種に関して改変が必要であった。

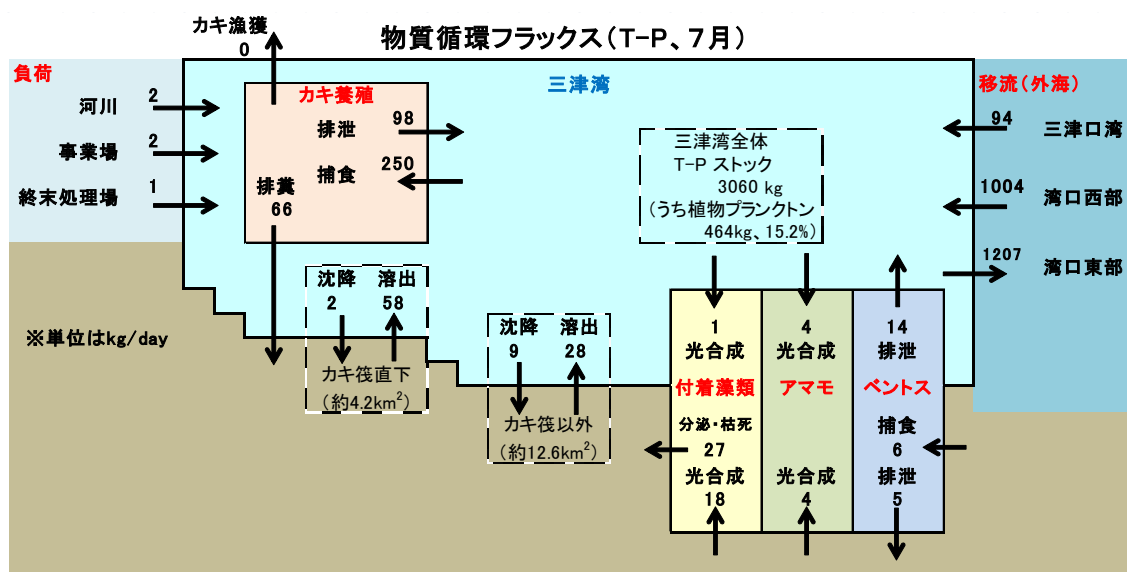


図 2.2 <参考>昨年度モデルで得られた三津湾の流動場の特徴

3. 本年度の物質循環モデルの構築について

本年度の物質循環モデルの構築について、具体的な内容と対応状況を表 3.1 に示す。それぞれの詳細は次ページ以降に記述する。

表 3.1 三津湾物質循環モデルの精度向上策および変更内容とその対応状況

課題	内容	対応状況
カキ筏による流れの抵抗の検討	カキ筏による流れへの抵抗を検討する。	対応済
湾奥部のリン溶出過大傾向の解消	昨年度モデルでは、湾奥部の一部で底泥が夏季に不安定となり、過大なリン溶出がみられたため、これを改善する。	対応、改善済
周期定常性の向上	昨年度モデルでは、完全な周期定常（1月1日の値と12月31日の値が連続している）には至っていなかった。本年度は、長期間の計算を行い、周期定常に至ったモデルを構築する。	対応中
底泥の硫化物による底生生物への影響把握	実証試験では硫化水素の抑制効果が期待されるため、硫化物（AVS）による底生生物の死亡効果を考慮するよう変更する。	モデル変更済、パラメータ等調整中
底生生物の複数種検討	昨年度は、底生生物として堆積物食者を1種として代表させ計算を行った。本年度は、硫化水素耐性のあるシズクガイを追加するとともに、堆積物食者を複数種検討できるようモデルを変更し、必要が生じた際には複数種の計算を行う。シズクガイは、堆積物食者の現存量によって成長速度が抑制される競合の効果を導入している。	モデル変更済、パラメータ等調整中
その他パラメータチューニング	その他、底泥、生物に関するパラメータについて、文献等を参照し、現況再現性およびモデルの信頼性向上のためにチューニングを行う。	対応中

①カキ筏による流動場への抵抗について

カキ筏による流動場への抵抗については、下記の式を元に抵抗力 F_w を設定した。

$$F_w = C_D \cdot a_w \cdot h \cdot U^2$$

ここで、 C_D : 抵抗係数(=1.2)、 a_w : カキ筏の投影面積、 h : 水深、 U : 流速である。 a_w は、 $20 \times 10\text{m}$ の筏に 600 レンのワイヤーが吊り下げられ、1 レンあたりの投影面積が 50cm^2 と仮定して算出した。

夏季の平均流水平分布図の計算結果を図 3.1 に示す。昨年度の現地調査結果と比較すると、カキ筏周辺で流速が小さくなった。しかし、再現性が大きく低下することはなく、カキ筏による抵抗の導入で三津湾の流動場の状況をより良く再現できたと言える。

平均流および潮流楕円の再現性比較図を図 3.2、図 3.3 に示す。

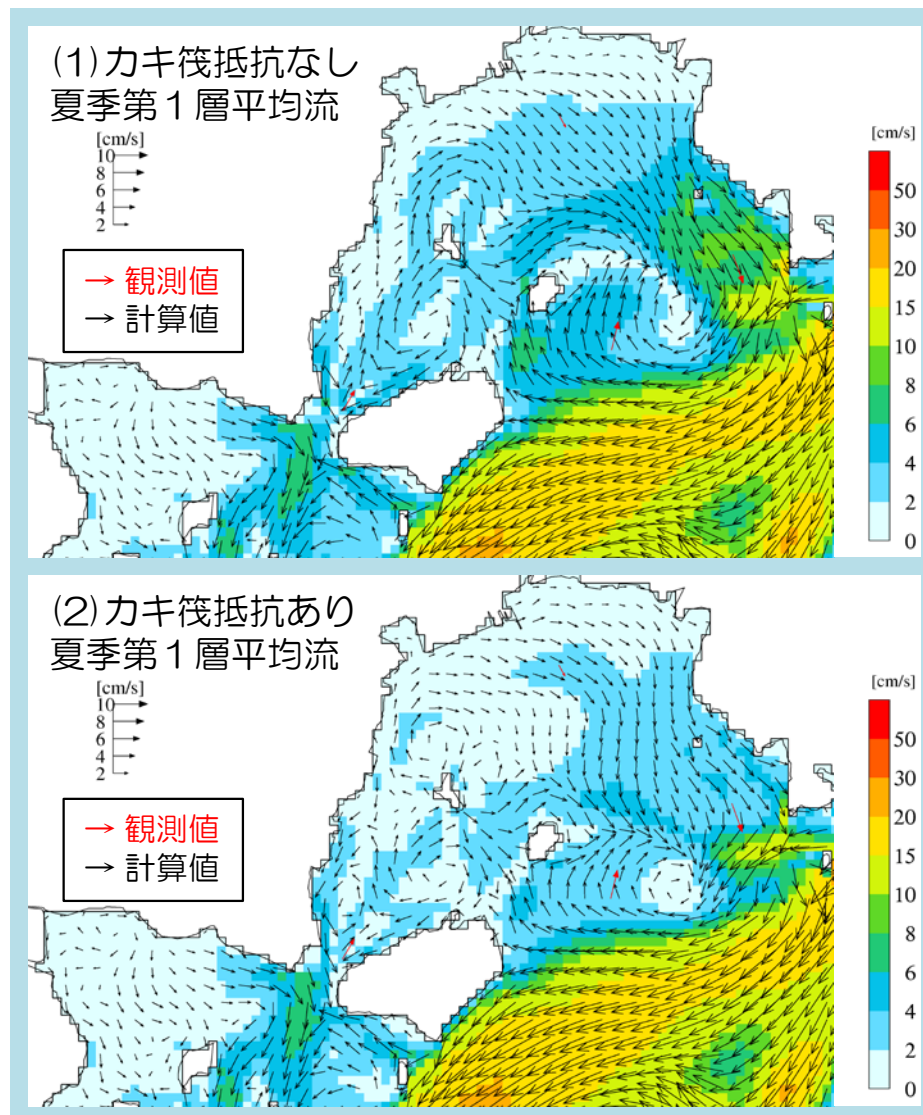


図 3.1 カキ筏による抵抗の考慮の有無による、夏季平均流の水平分布図

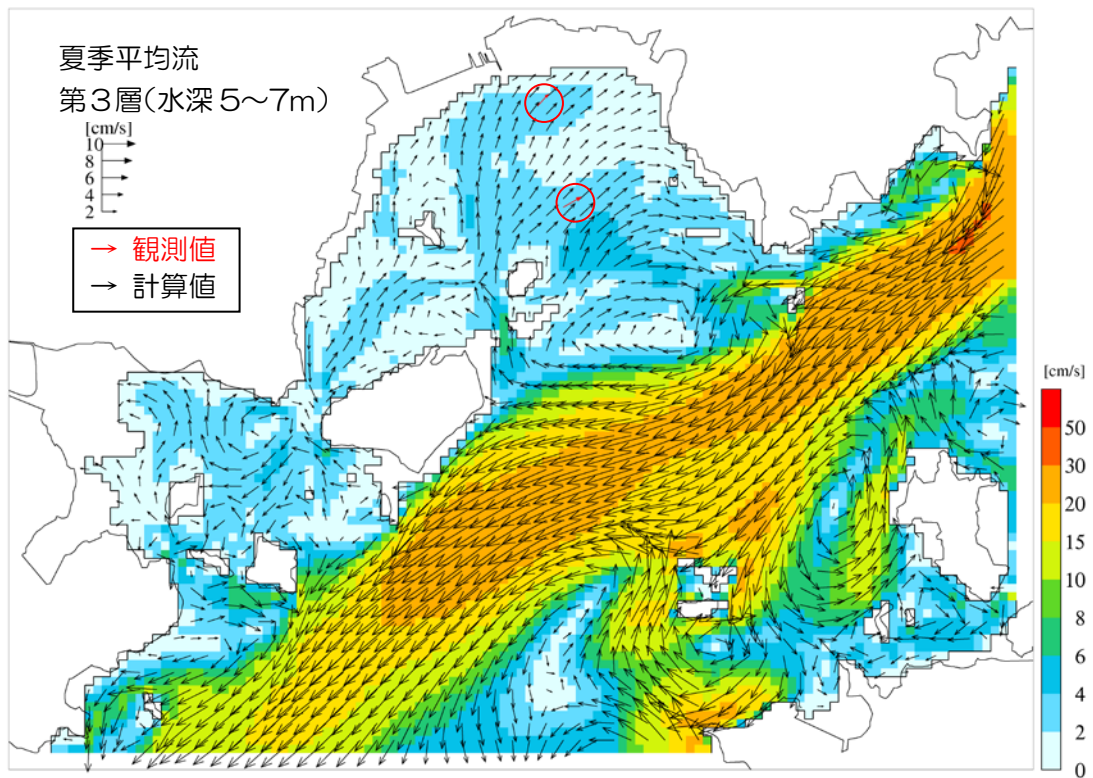
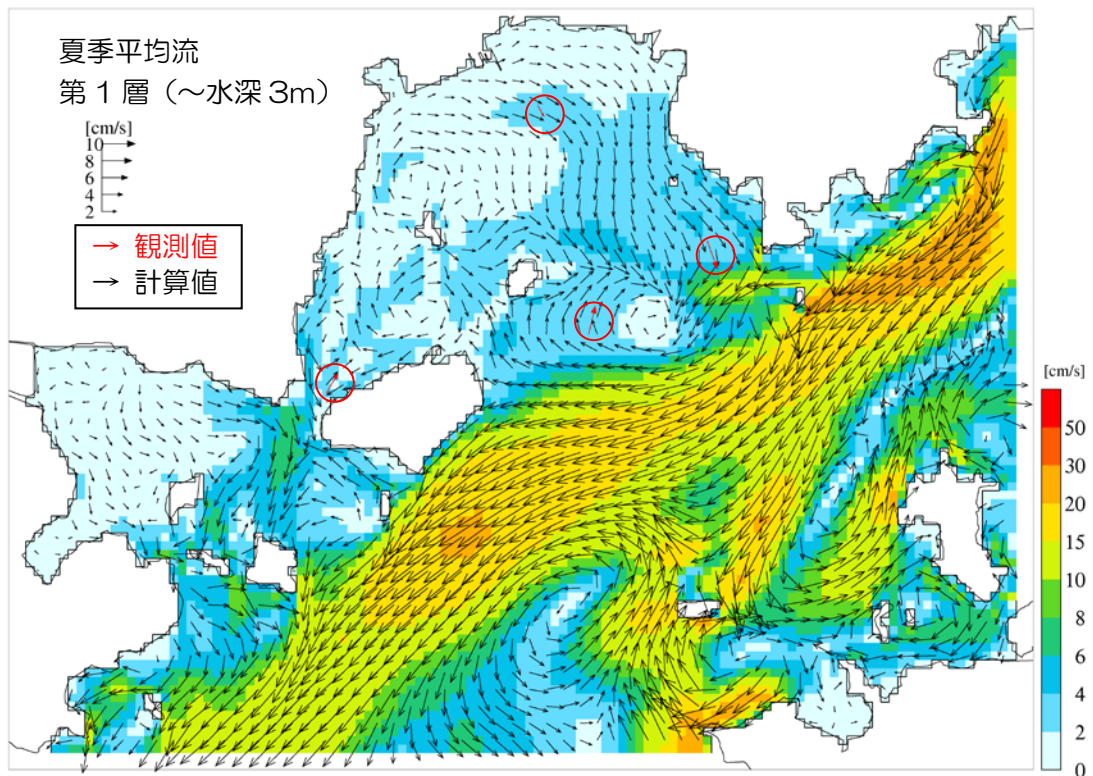


図 3.2(1) 平均流分布図 (夏季)

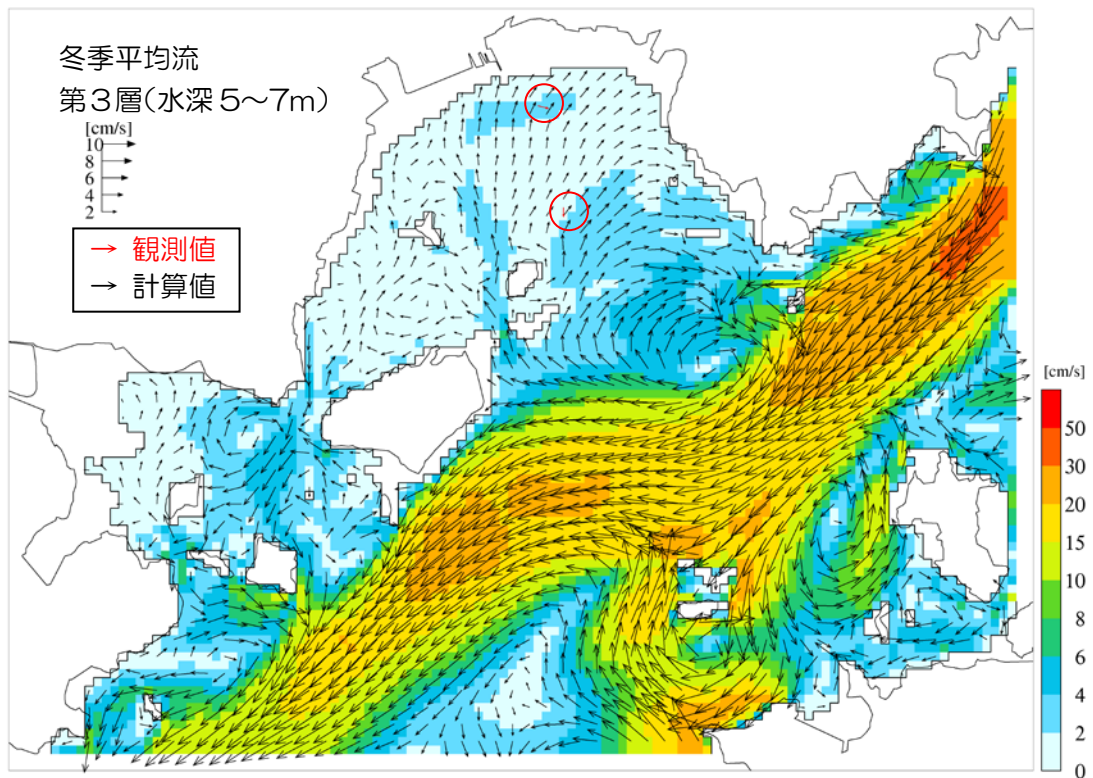
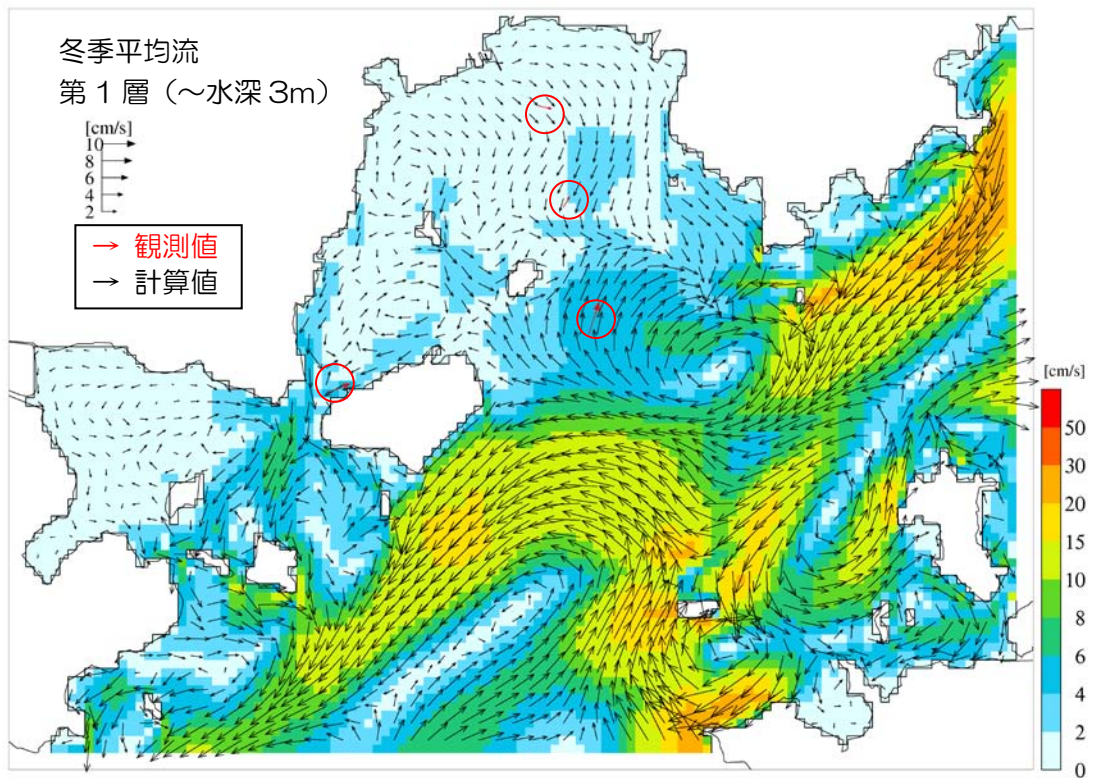
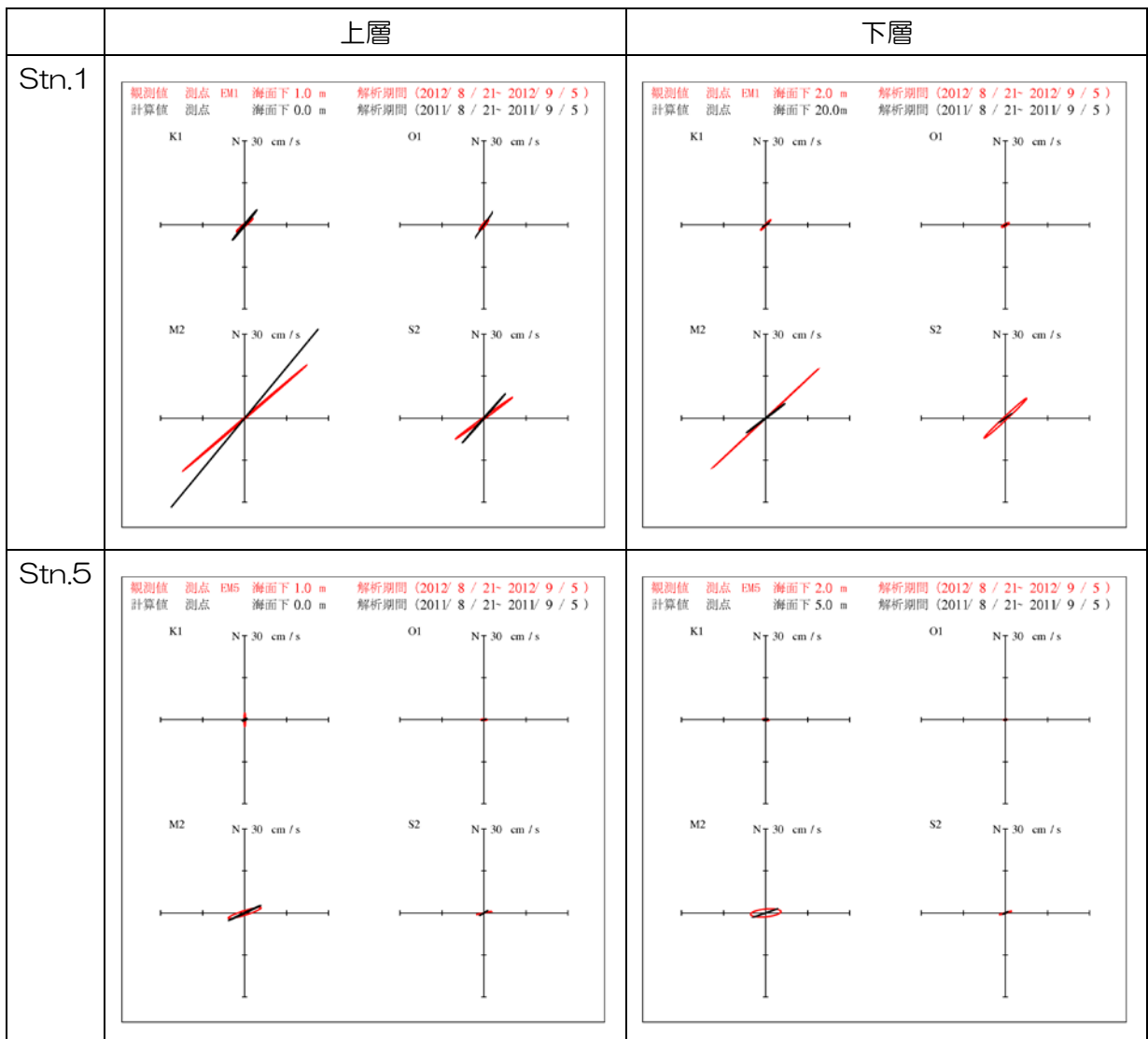


図 3.2(2) 平均流分布図 (冬季)



→ 観測値
 → 計算値

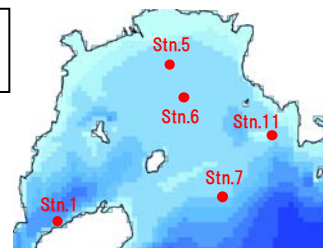
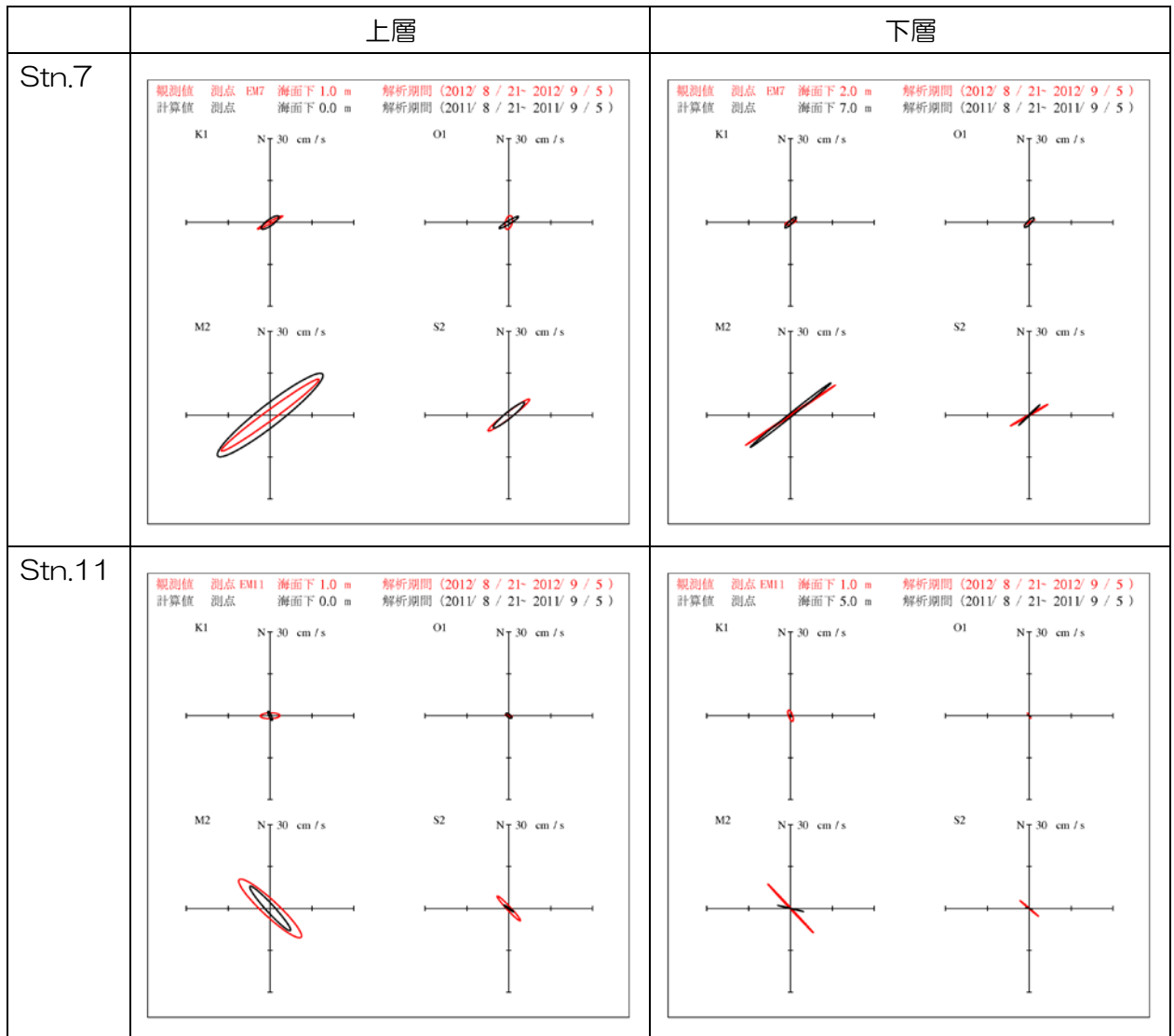


図 3.3(1) 潮流楕円比較図 (夏季)



→ 観測値
 → 計算値

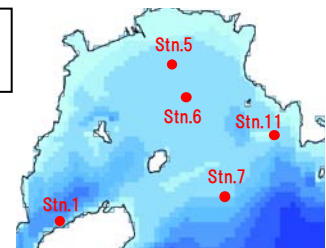
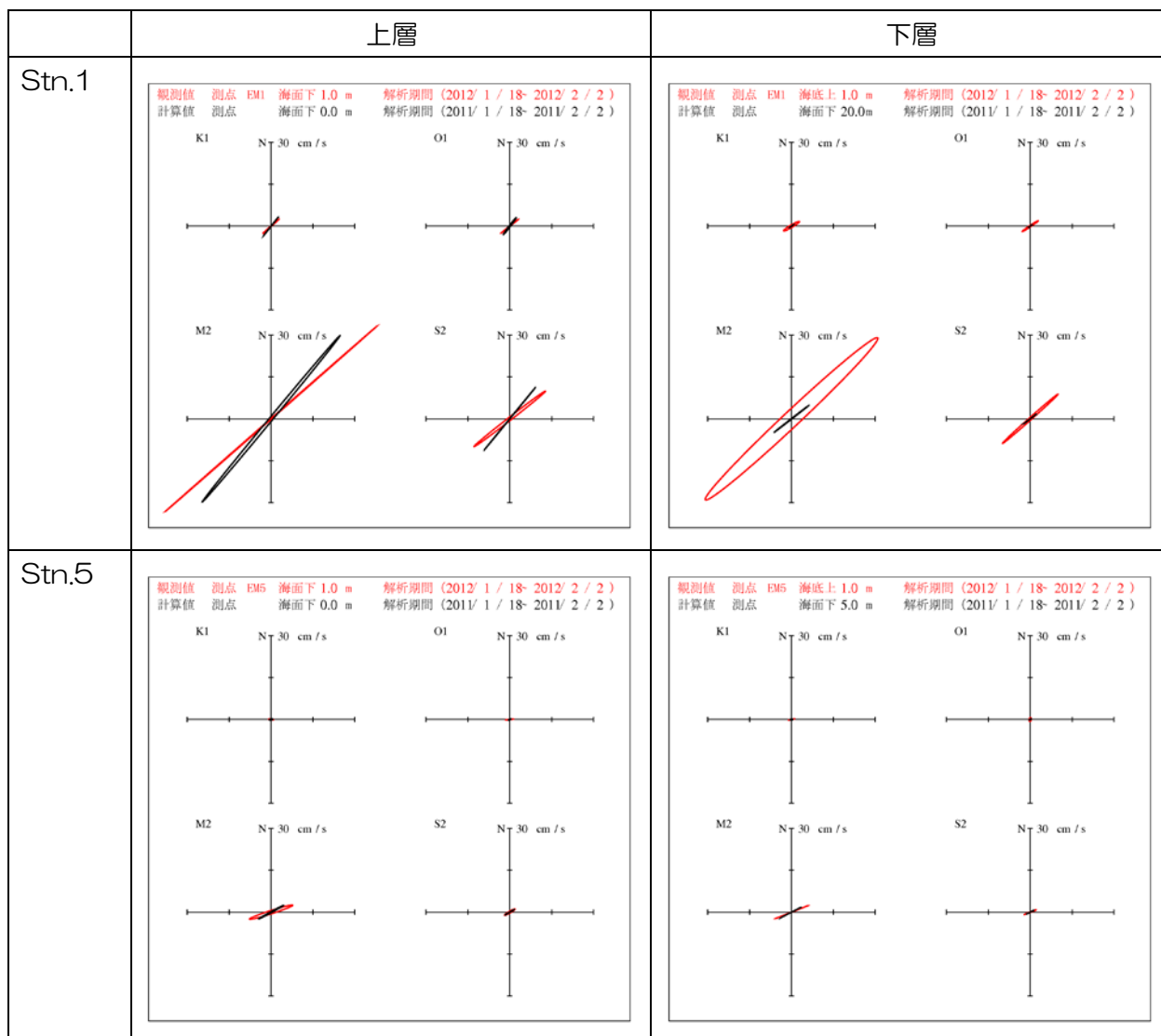


図 3.3(2) 潮流楕円比較図 (夏季)



→ 観測値
 → 計算値

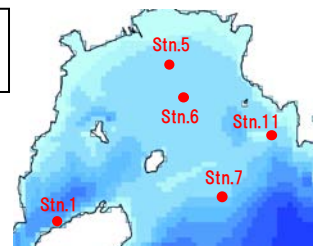
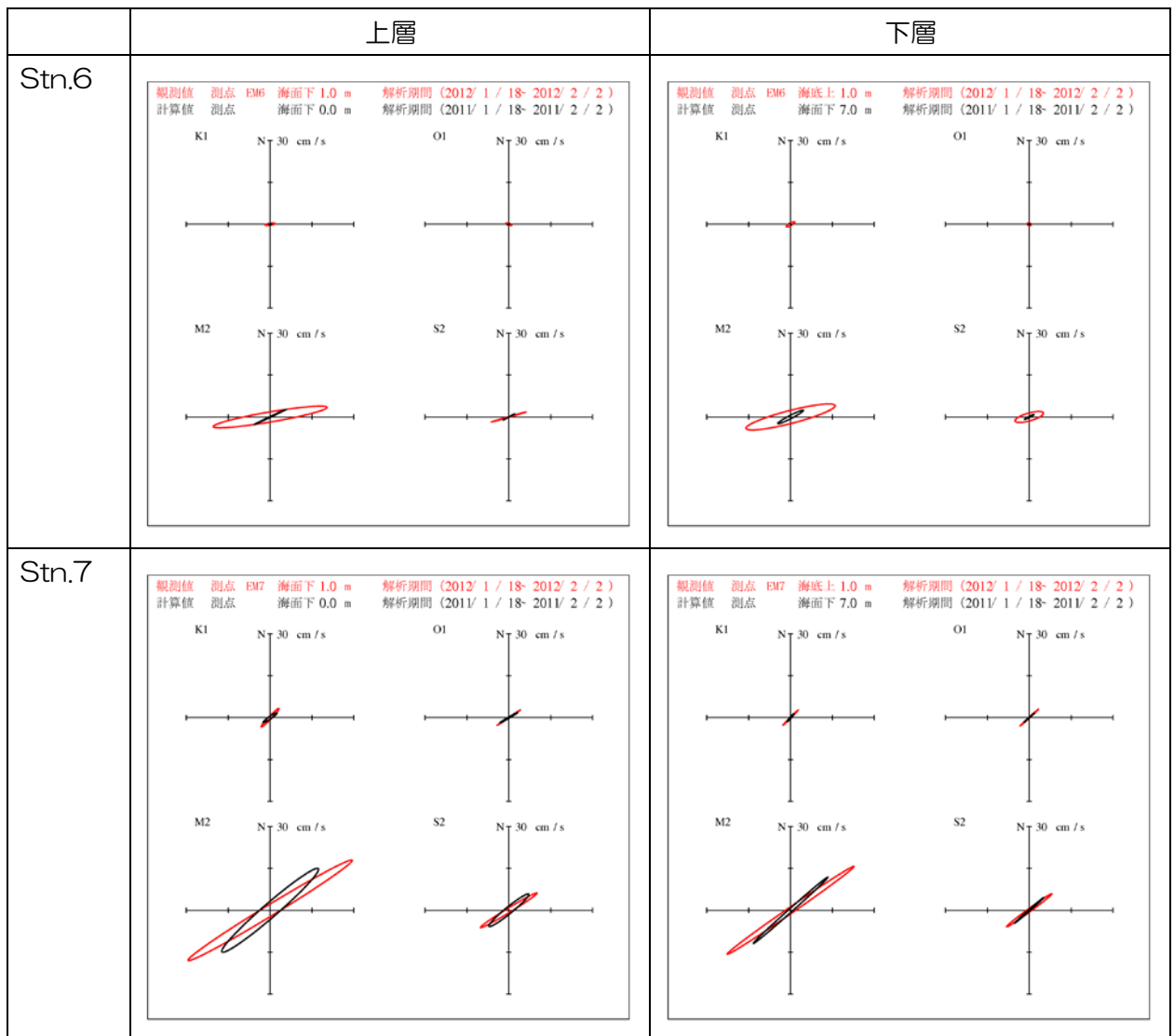


図 3.3(3) 潮流楕円比較図 (冬季)



→ 観測値
 → 計算値

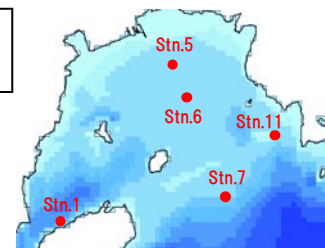


図 3.3(3) 潮流楕円比較図 (冬季)

②湾奥部のリン溶出過大傾向の解消

底泥のリン溶出に関して、昨年度モデルでは湾奥の一部のボックスで不安定になり、過大なリン溶出がみられた。本年度は、改めて底泥のスピンナップから構築し直した結果、図 3.4 に示すように、不安定な状況は改善された。

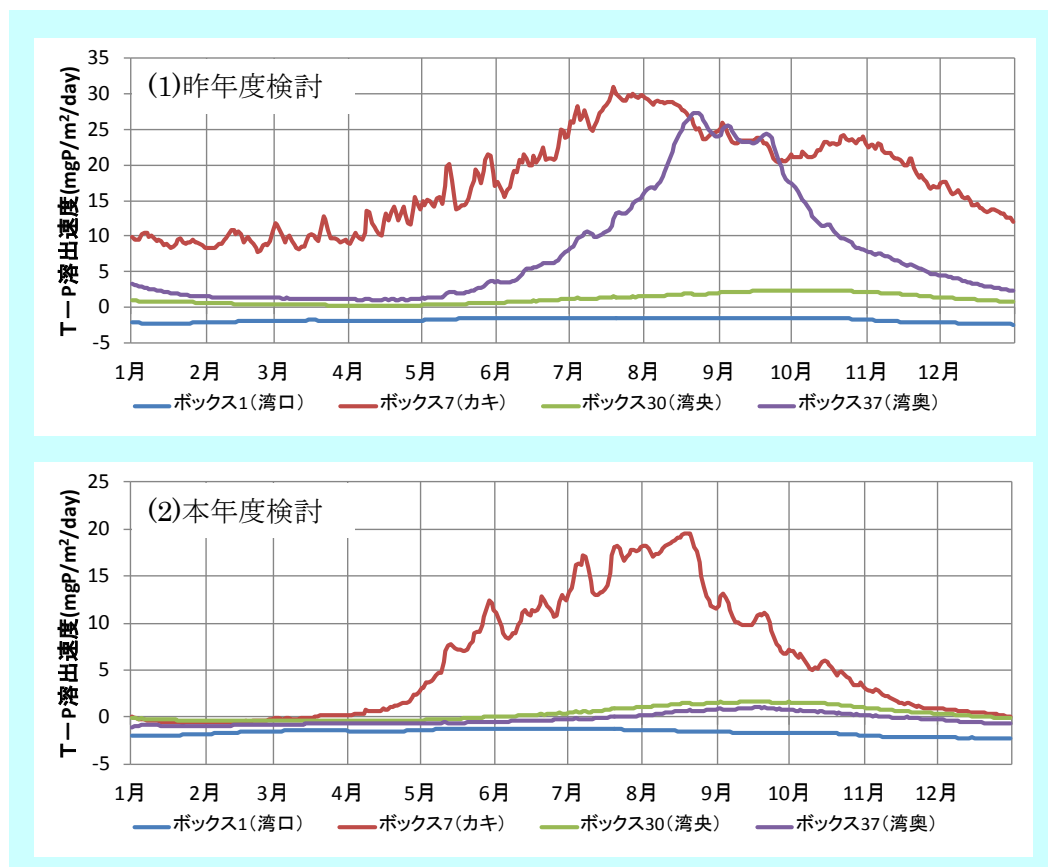


図 3.4 底泥からの T-P 溶出速度の時系列変化

③周期定常性の向上

昨年度は、カキの現存量が計算開始時より終了時の方が大きい等、周期定常性に課題があった。本年度は、定常状態での三津湾を再現するため、他の課題が概ねクリアされた段階で、十分長い期間の計算を行い、周期定常性を向上させることを予定している。

④底泥の硫化物による底生生物の死亡効果考慮について

底泥の硫化物による底生生物の死亡効果については、丸茂、横田（2012）に文献調査の結果がまとめられているが、種や文献によって死亡率に差がある。本モデルでは、図 3.5 のように死亡率を設定した。モデルは底泥中の硫化物と硫化水素が過大な傾向にあること、現場調査では硫化水素による死亡の影響が顕著ではなかったこと、硫化水素の値が得られていないことなど課題があるため、設定値はさらに検討を続ける。

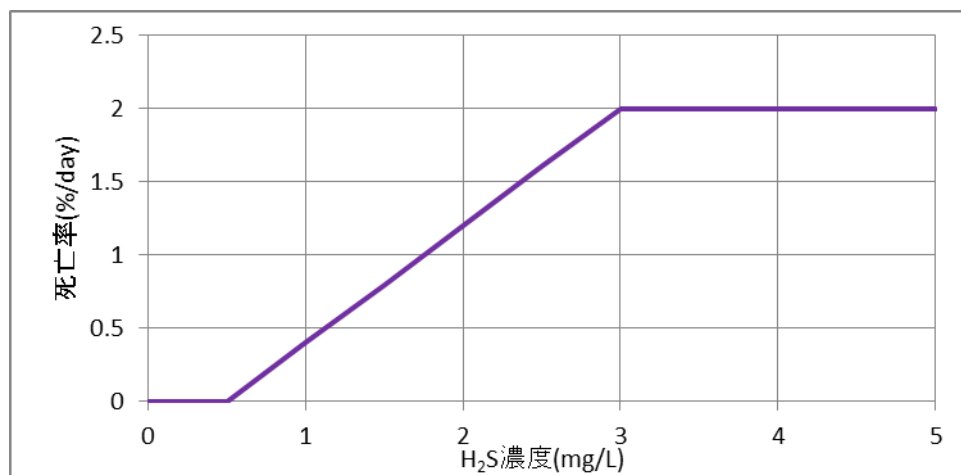


図 3.5 設定した AVS 濃度に対する堆積物食者の死亡率

⑤底生生物の複数種検討

昨年度は、底生生物として堆積物食者を1種に代表させ、計算を行った。

本年度は、実証試験や管理方策による環境の変化に伴う種組成の変動を考慮できるよう、懸濁物食者として硫化水素耐性のあるシズクガイを追加した。シズクガイは、堆積物食者の現存量によって成長速度が抑制される競合の効果を導入している。堆積物食者についても、必要があれば複数種考慮できるようモデルの改変を行っている。

4. 物質循環モデルの構築状況

4-1 計算結果のまとめ

水質の計算結果は、湾奥底泥からの過大なリン溶出によって、海水中のリン濃度も過大傾向にあったが、物質循環モデルの再構築によって解消されたため、再現性は改善した。

底質の計算結果は、まず上記のようにリン溶出の課題が解消された。硫化物濃度の過大傾向や溶出速度の再現性について、さらなる検討が必要ではあるものの、概ね三津湾の底質の状況は再現できている。

生物に関しては、モデルの改変を行った堆積物食者、懸濁物食者やカキを中心にチューニングを行っている。

4-2 水質

水質の計算結果の時系列図を図 4.1 に、8 月の水質濃度水平分布図を図 4.2 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。昨年度は、湾奥の T-P が底泥からの過大な溶出によって過大傾向にあったが、本年度の検討では解消され、再現性は向上した。

図 4.2 に、8 月の水質濃度水平分布図を示す。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 0.028mg/L、T-N が 0.25mg/L、Chl-a が 7.0 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。

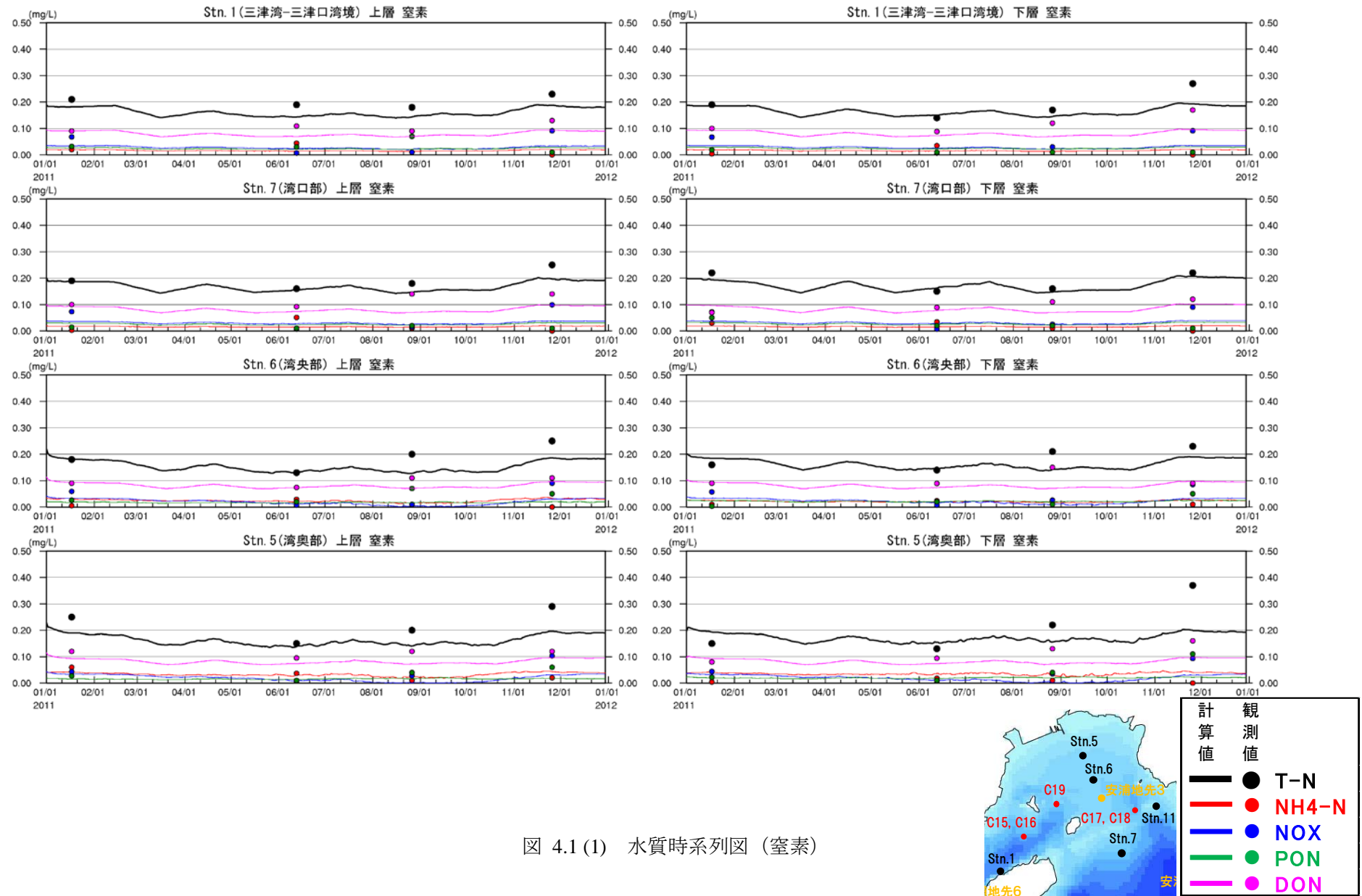


図 4.1 (1) 水質時系列図 (窒素)

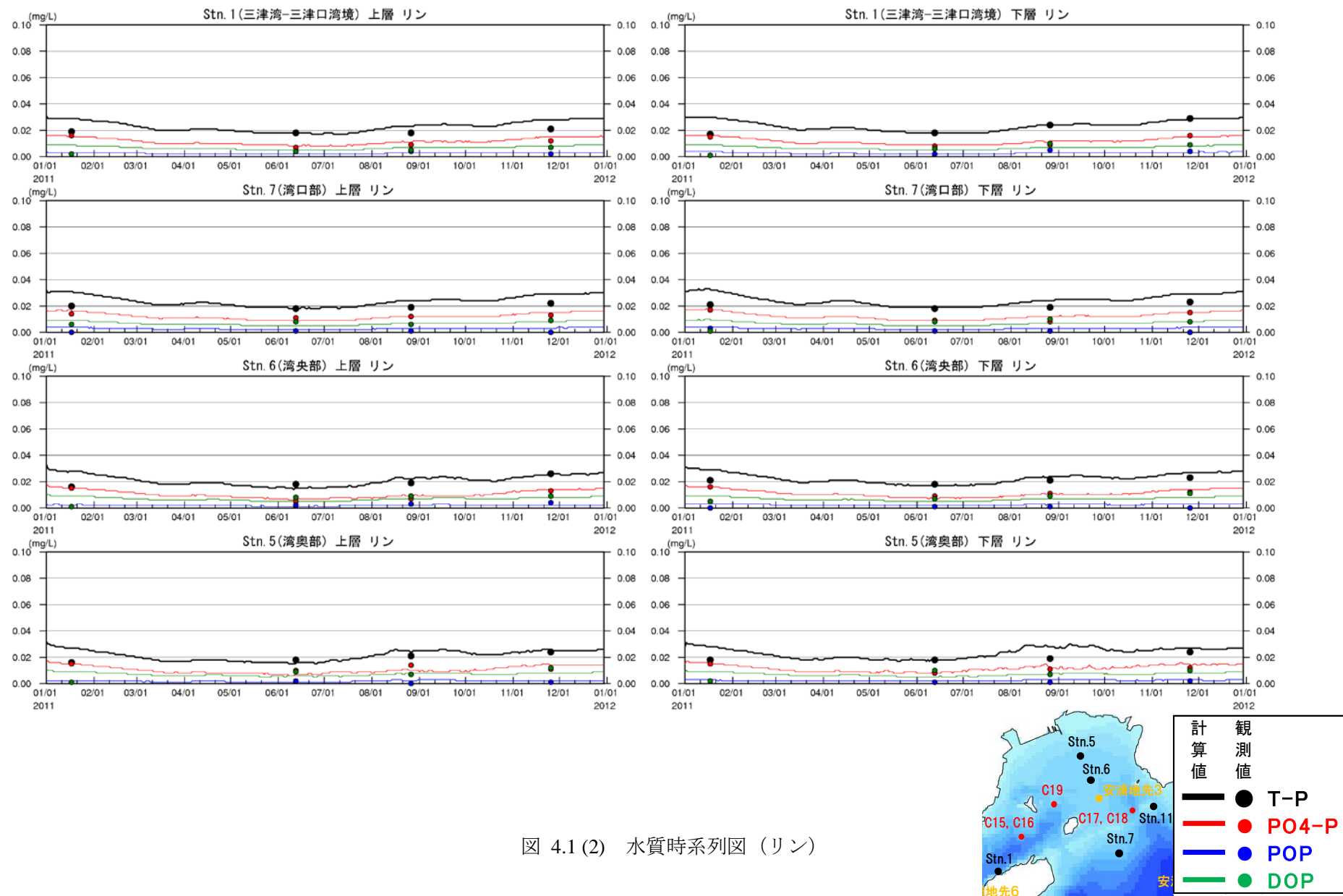


図 4.1 (2) 水質時系列図 (リン)

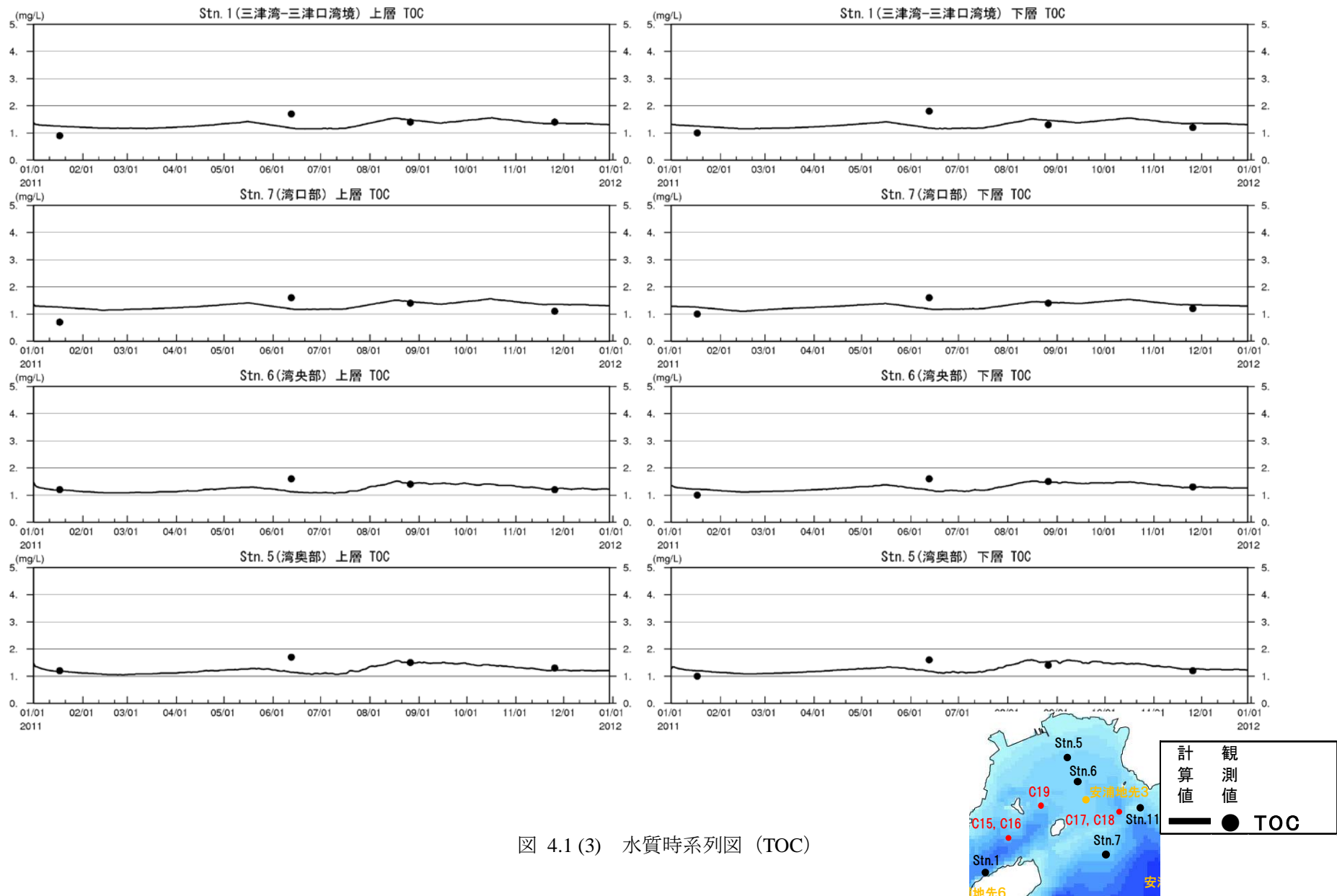


図 4.1 (3) 水質時系列図 (TOC)

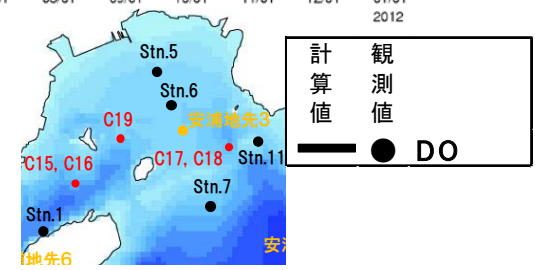
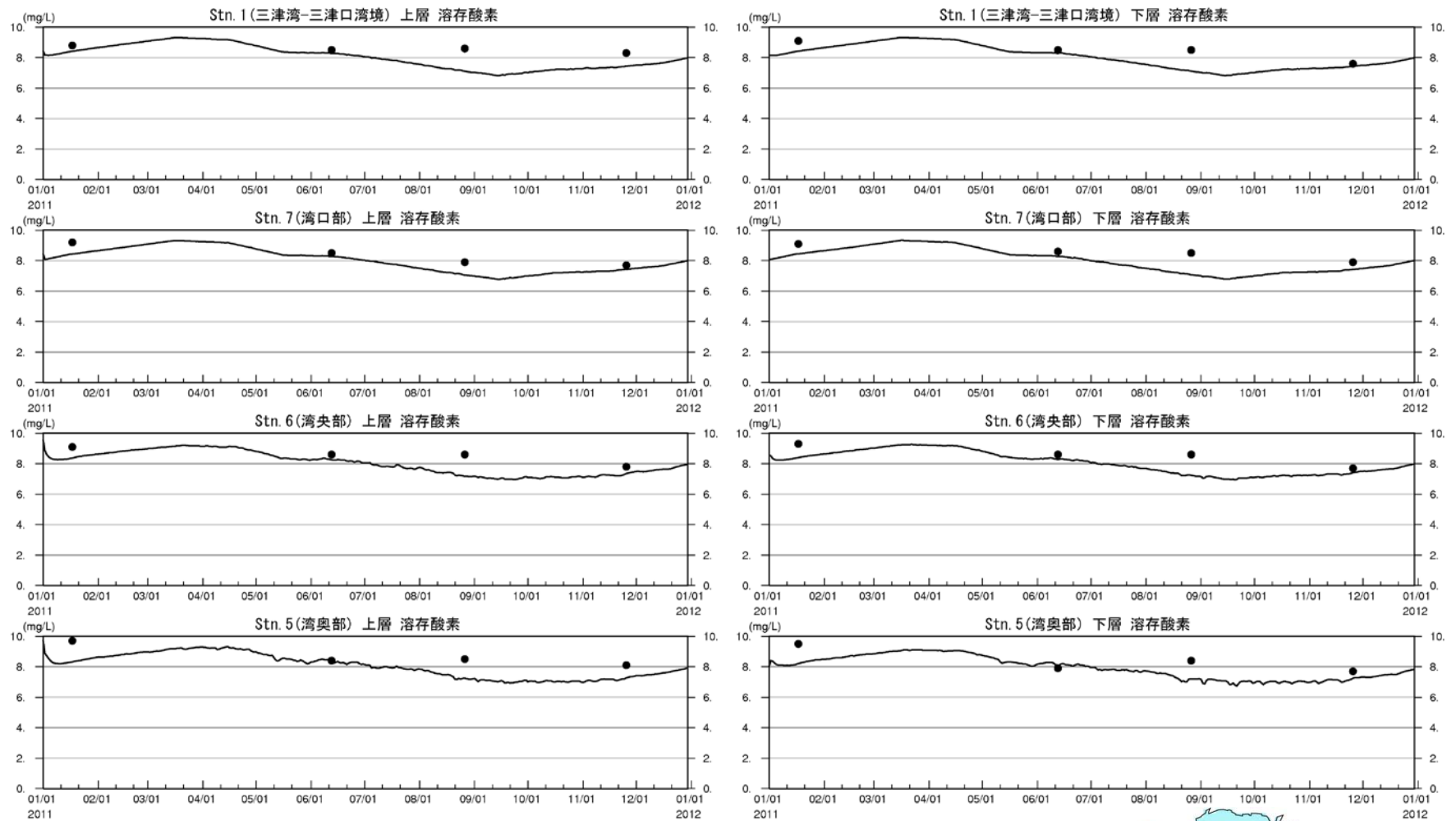


図 4.1 (4) 水質時系列図 (DO)

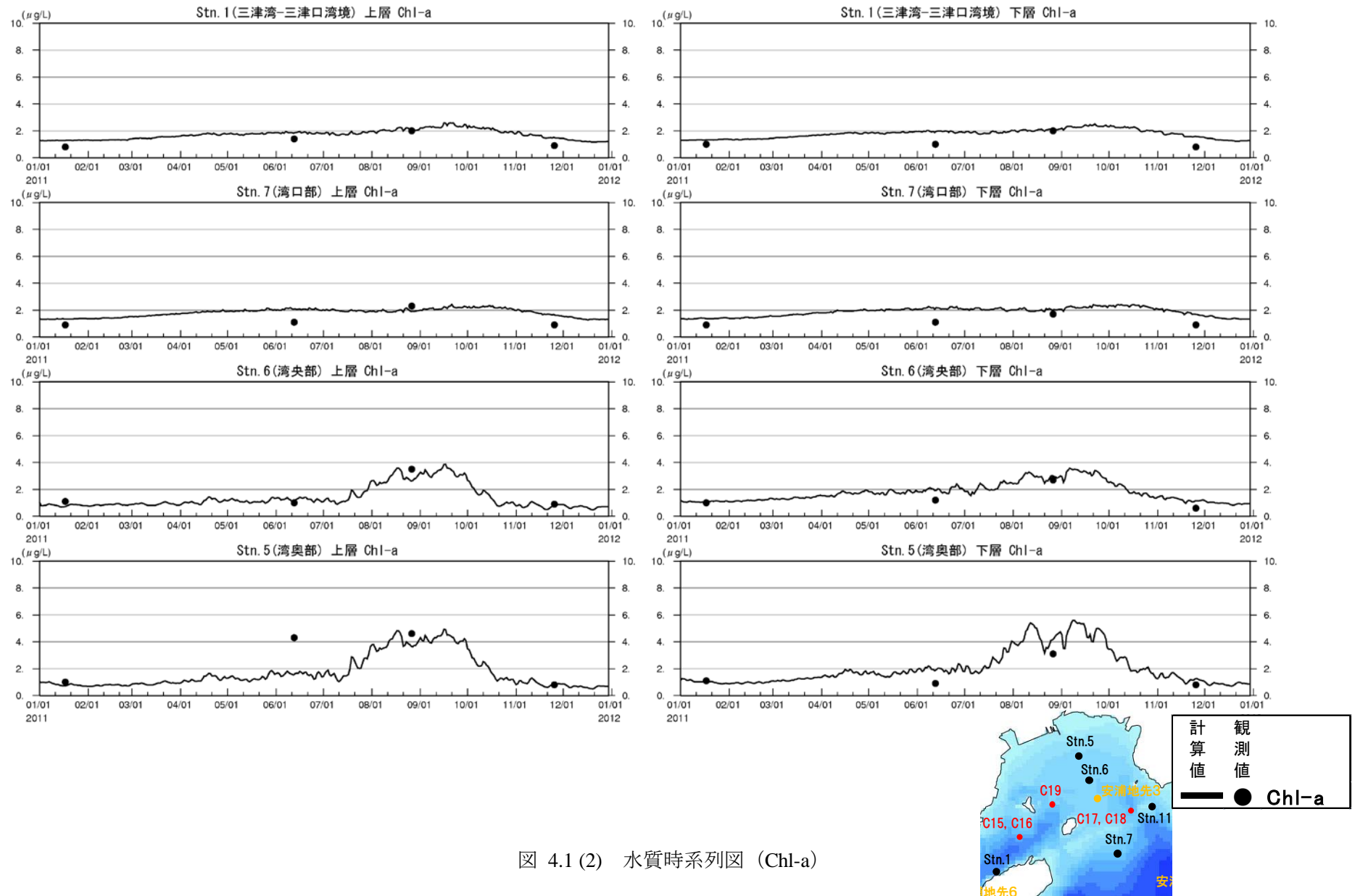


図 4.1 (2) 水質時系列図 (Chl-a)

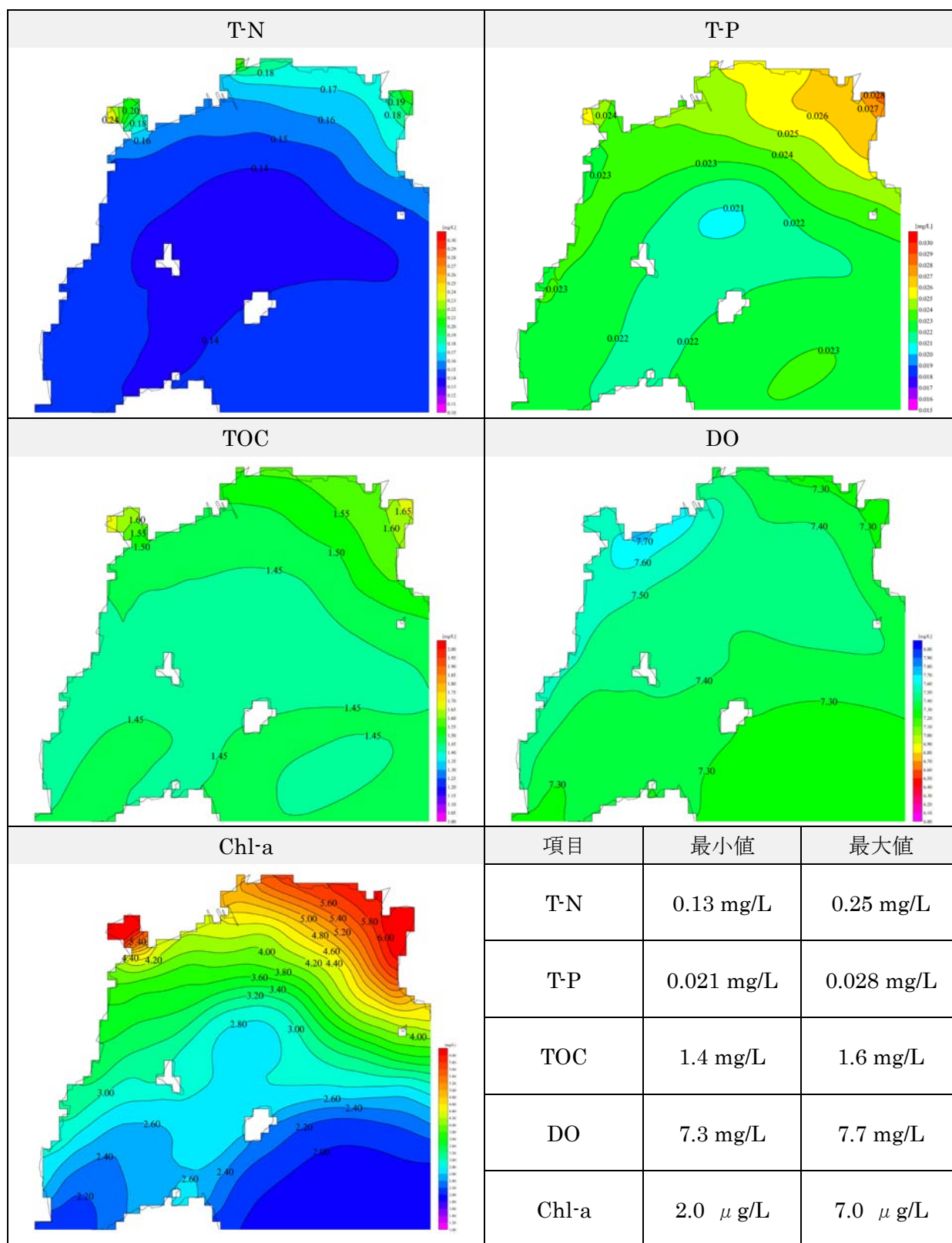


図 4.2 水質水平分布図と三津湾内の最大・最小値 (8月平均値)

4-3 底質

ボックス別の底質濃度を図 4.3 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。

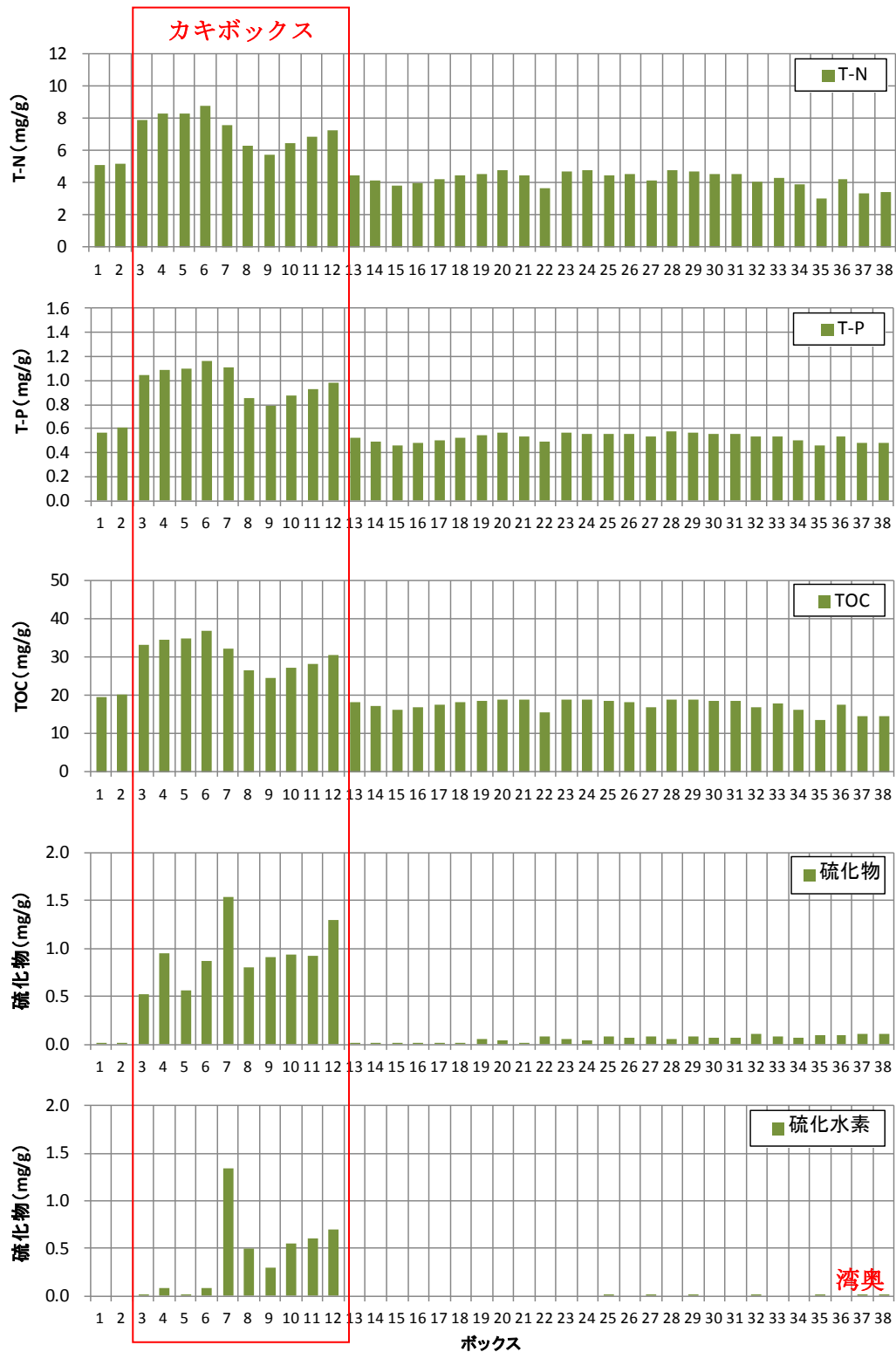


図 4.3 ボックス別底質濃度 (8 月平均、0~3cm 層)

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 4.4 に示す。T-N、硫化物が過大な傾向にあるものの、T-P、TOC は概ね観測値と同等の濃度であった。また、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 4.1 のように対応している。

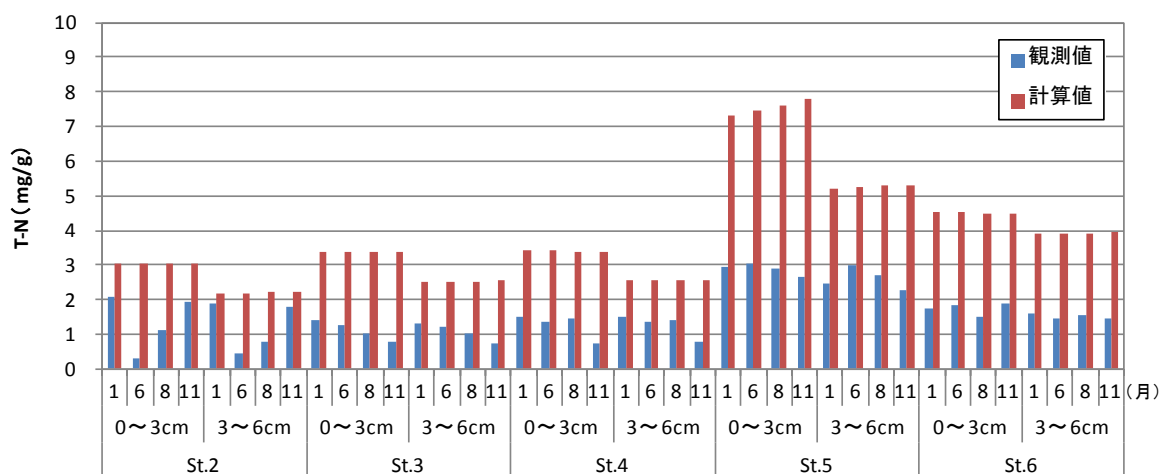


図 4.4(1) 底質の T-N 濃度比較

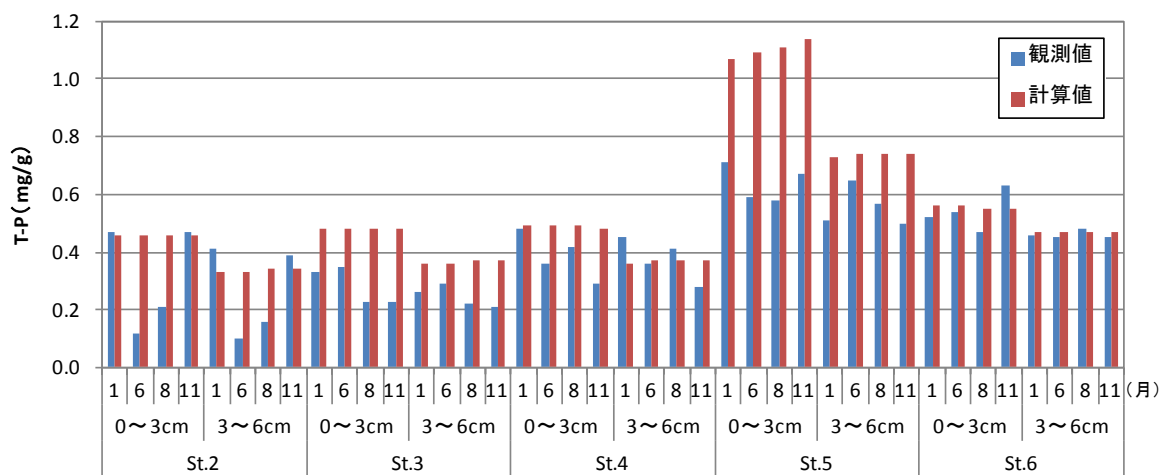


図 4.4 (2) 底質の T-P 濃度比較

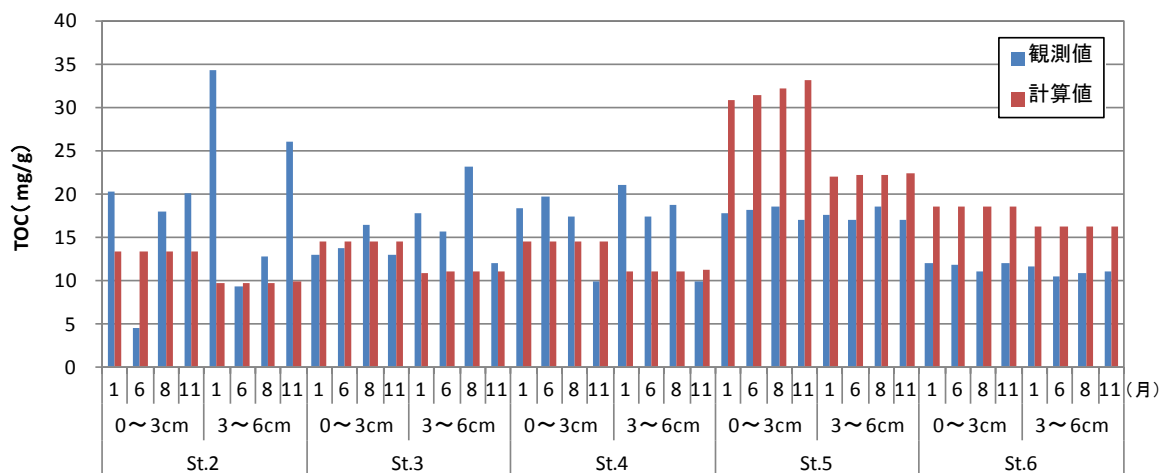


図 4.4 (3) 底質の TOC 濃度比較

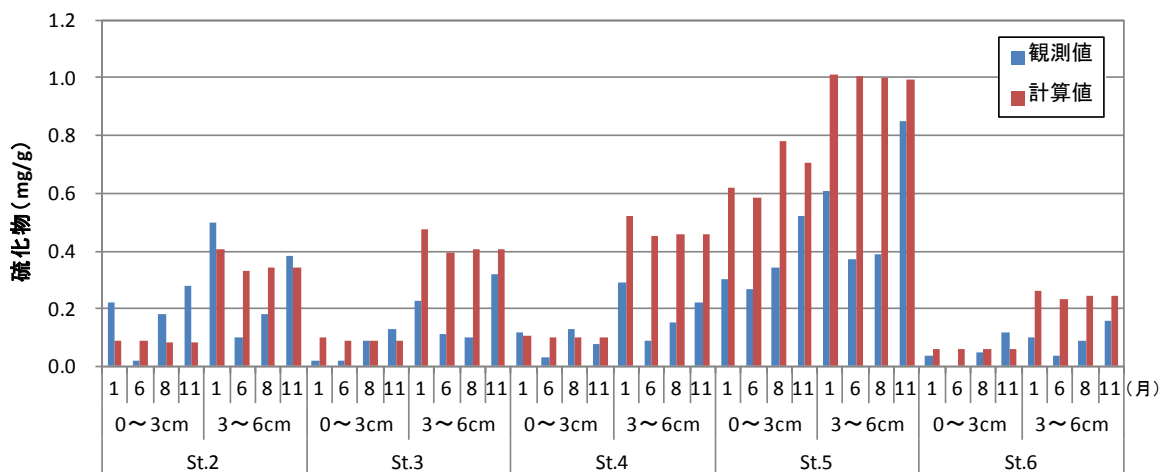


図 4.4 (4) 底質の硫化物濃度比較

表 4.1 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、T-N および T-P の溶出量の時系列変化図を、図 4.5 に示す。いずれも夏季に高く、冬季に低い傾向がある。また、いずれもカキ直下のボックスが最も多かった。

図 4.6 に、酸素消費速度、T-N および T-P の溶出速度の比較結果を示す。再現性には課題があるが、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。

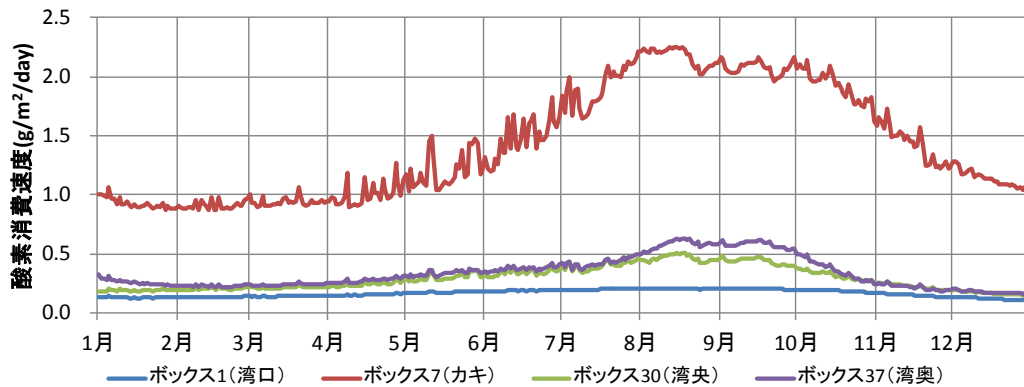


図 4.5(1) 酸素消費速度の時系列変化

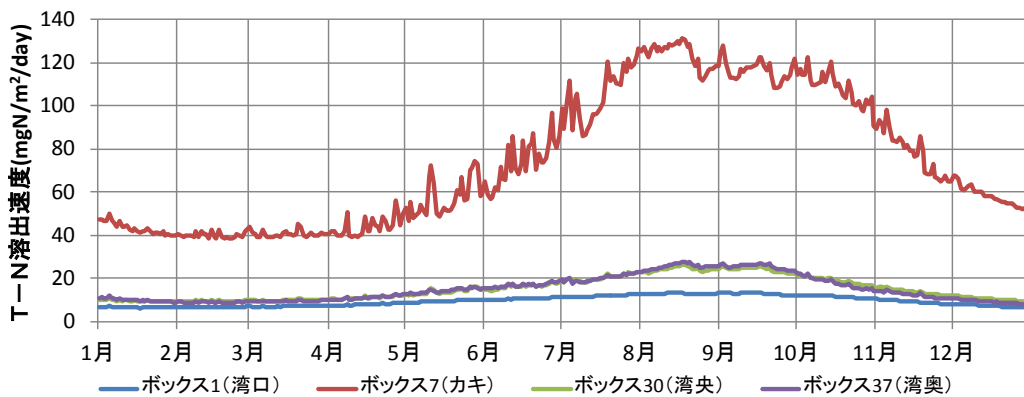


図 4.5(2) 底泥からの T-N 溶出量の時系列変化

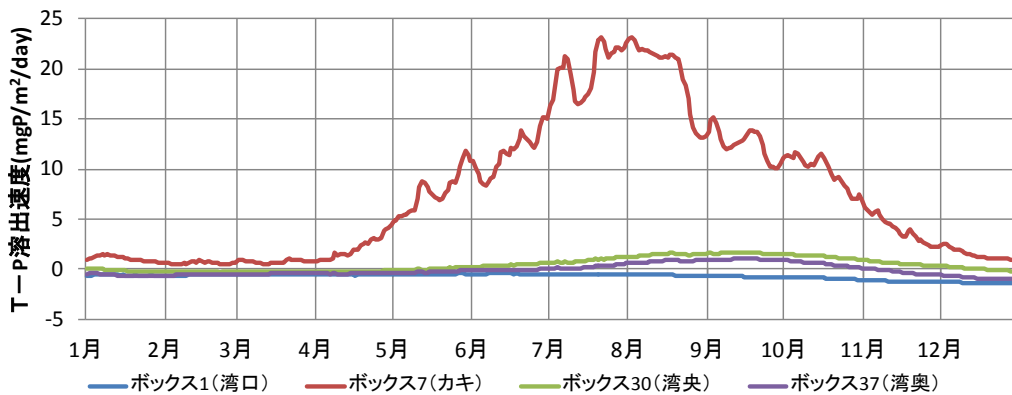


図 4.5(3) 底泥からの T-P 溶出量の時系列変化

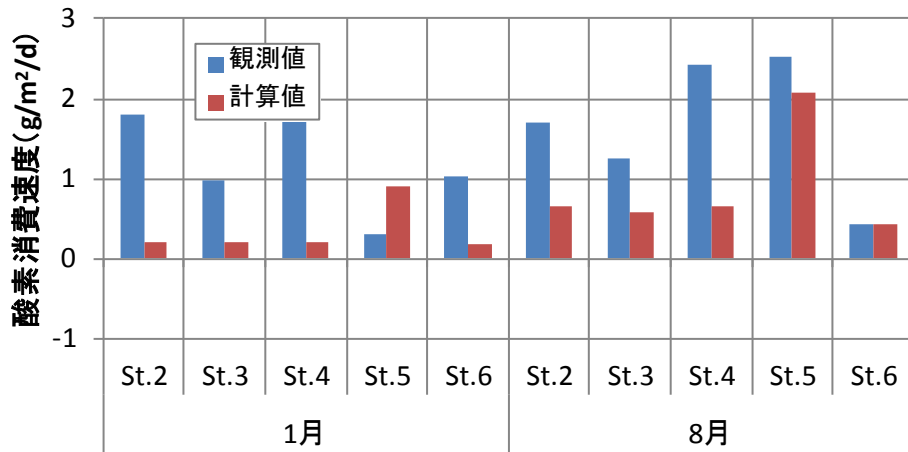


図 4.6(1) 酸素消費速度の比較

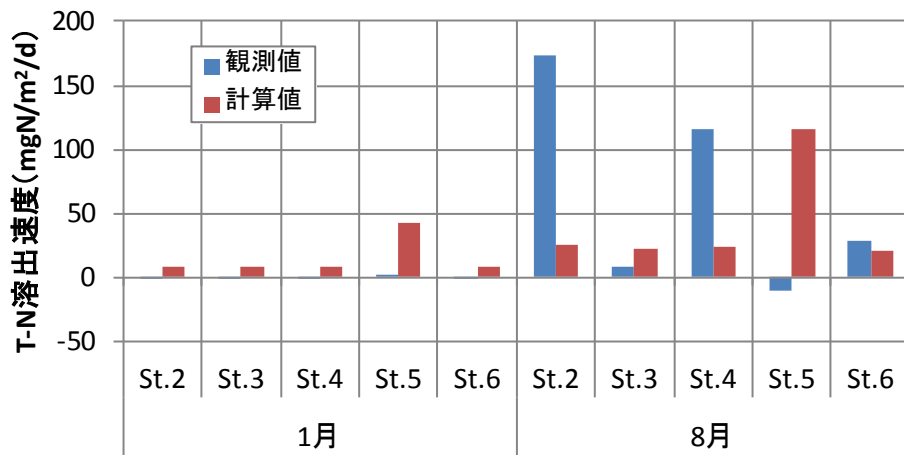


図 4.6(2) T-N 溶出速度の比較

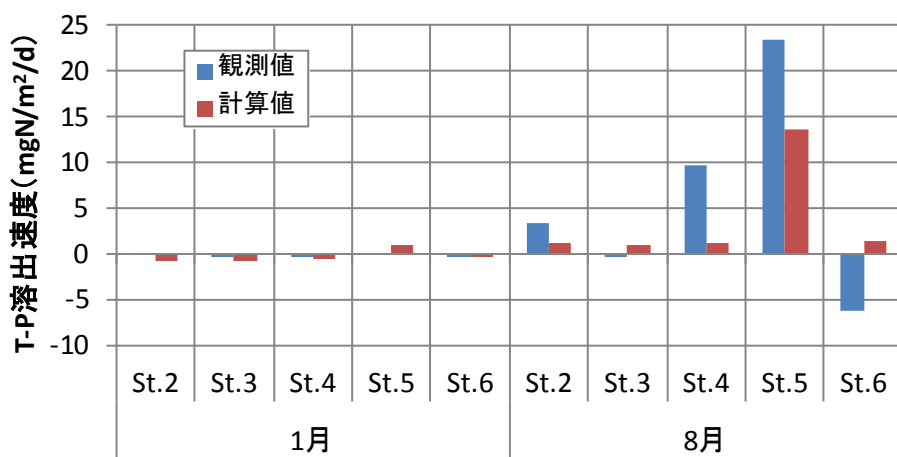


図 4.6(3) T-P 溶出速度の比較