

## モデル構築の現状

### 1. 検討の経緯と進捗状況

本資料では、三津湾の物質循環モデルの構築の現状を示す。

表 1.1 に、検討の経緯と進捗を示す。本年度第 1 回三津湾地域検討委員会（6 月）では、流動モデルの構築状況について報告したが、再現性に課題があった。その後、流動モデルの精度改善を行い、現在は物質循環モデルである水質-底質結合生態系モデルの構築を進めている。

なお、統括委員会（7 月、11 月に開催）でも、モデルの進捗状況について報告を行っている。

表 1.1 検討の経緯と進捗

流動モデル	
2011 年度第 3 回地域検討委員会	ベースモデルの作成（900-300m メッシュ）
2012 年度第 1 回地域検討委員会	詳細モデルの作成→再現性に課題
2012 年度第 2 回地域検討委員会	再現性の向上 →モデルの完成、施策の効果検討
水質-底質結合生態系モデル	
2011 年度第 3 回地域検討委員会	ベースモデルの作成（900-300m メッシュ）
2012 年度第 1 回地域検討委員会	なし
2012 年度第 2 回地域検討委員会	詳細モデルの作成 →モデルの完成、施策の効果検討
その他	
2012 年度第 2 回地域検討委員会	滞留時間の計算

## 2. 流動モデルの構築

### 2-1 課題への対応と計算条件

本年度第1回三津湾地域検討委員会で報告した流動モデルは、平均流として三津口湾から三津湾へ向かう流れが計算値では逆向きであるなど、一部再現性に課題があった。三津湾内の流れは、湾外からの流入を正確に表現することが重要であるとの観点から、100mメッシュと300mメッシュのモデルを結合し、300mメッシュの流れの場が持つ運動量が、100mメッシュに引き継がれるように変更した。また、三津湾内、特に湾口部の水深を精査し修正した。課題への対応を表2.1に示す。

表 2.1 流動モデルの課題への対応

<b>・ 計算方法の変更</b>
旧) 900-300mメッシュモデルから100mメッシュモデルの境界条件を作成 新) 300-100mメッシュで2-wayネスティング
<b>・ 水深の修正</b>
三津湾内の水深を、海図および現地調査結果を基に修正(図2.1)
<b>・ 夏季現地調査結果との比較</b>
湾口東側(Stn.11)の三津湾外への流出を確認

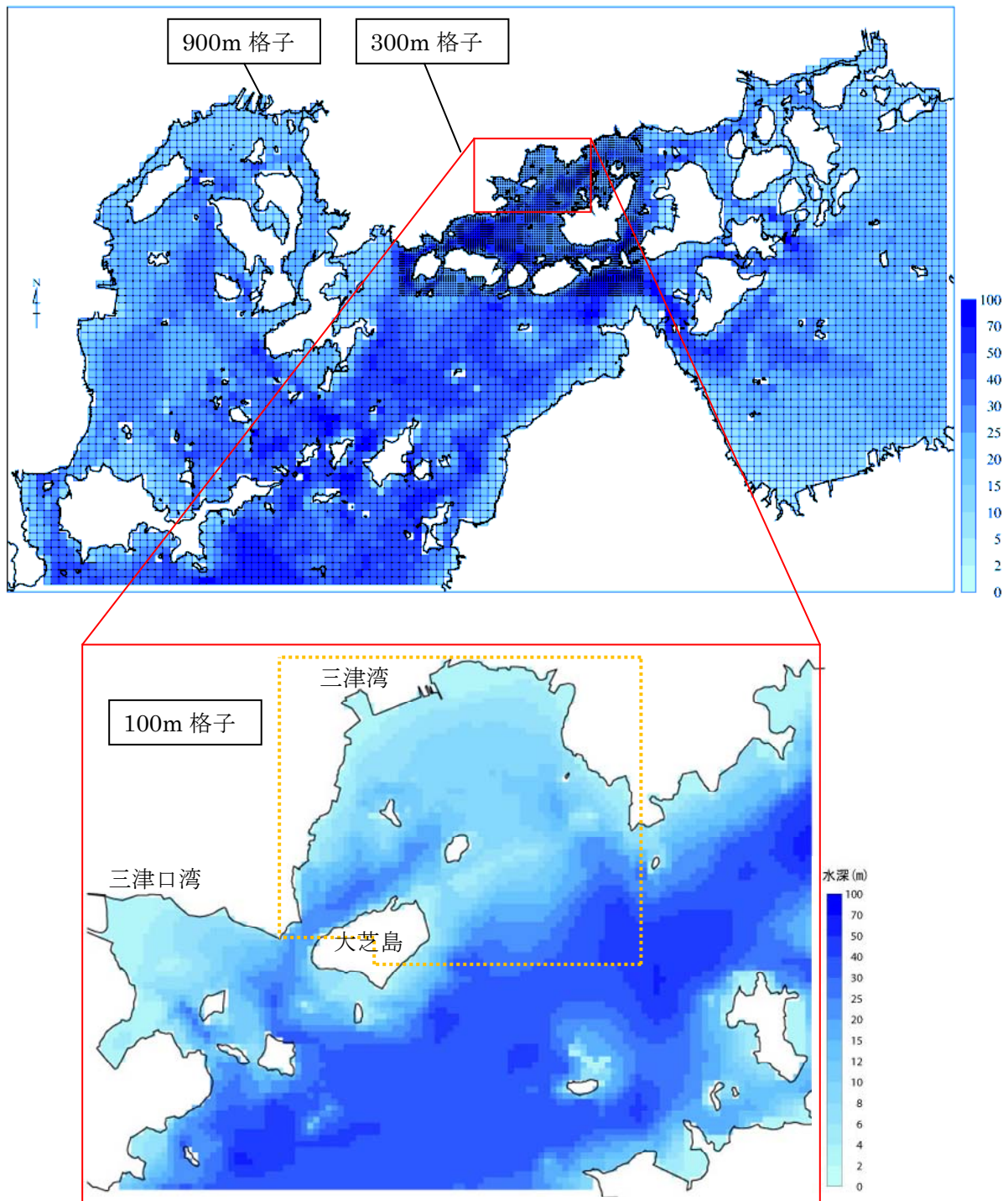


図 2.1 地形・水深条件 (水質-底質結合生態系モデルはオレンジ色点線内のみ計算)

流動モデルの設定条件は、表 2.2 に示す通りである。

表 2.2 流動モデルの設定

項目	設定内容
再現対象年	2011 年
計算期間	2010 年 12 月 1 日～2011 年 12 月 31 日 (最初の 1 カ月は準備計算期間)
鉛直層分割	13 層 (0-3、3-5、5-7、7-9、9-11、11-13、13-15、15-17、17-19、 19-22、22-25、25-30、30m 以深)
水平格子分割	三津湾周辺：100m、燧灘～伊予灘：900m-300m
淡水流入条件 (太田川、小瀬川)	2003～2007 年の日別平均流量
淡水流入条件 (三津大川、高野川、木谷郷川)	公共用水域水質データによる 2001～2009 年度の月平均流量
淡水流入条件 (三津湾内事業所等)	地域WG より提供された平均流量
気象条件	2011 年、計算範囲内 13 地点
水温・塩分境界条件	2011 年、広島県・山口県浅海定線
水温・塩分初期条件	上記両境界条件の平均
境界水位条件	調和定数 (気象庁) を基に設定

## 2-2 流動モデルの計算結果

流動モデルの計算結果について、三津湾地域検討委員会調査をはじめとする調査結果（表 2.3、図 2.2）との比較を行った。なお、計算結果は、三津湾周辺の 100m メッシュ領域のみ示す。

表 2.3 既往調査一覧

調査名	調査期間	地点数	項目
(独)産業技術総合研究所 潮流観測データ	2000年6～7月	三津湾内3地点 三津口湾内3地点	流れ
三津湾地域検討委員会 冬季調査	2012年1月18日～2月2日	三津湾内4地点	流れ、 水温、塩分
三津湾地域検討委員会 夏季調査※追加	2012年8月20日～9月5日	三津湾内4地点	流れ、 水温、塩分
公共用水域水質調査	2005～2009年度(各月1回)	三津湾内1地点 三津口湾内1地点 三津湾沖1地点	水温、塩分

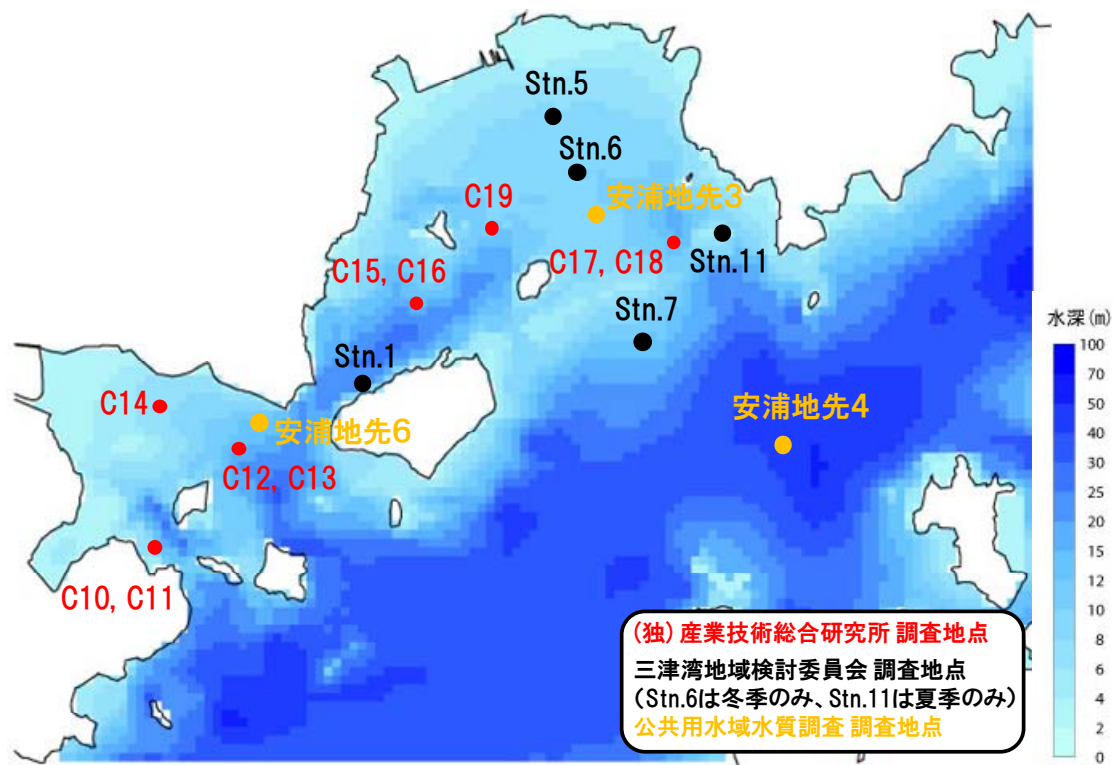


図 2.2 調査地点図

流動モデルから得られた三津湾の流れの概略図を図 2.3 に、計算結果と調査結果の比較の詳細を、次ページ以降の図 2.4～図 2.13 に示す。

潮流楕円から、どの地点でも M2 分潮が卓越し、次いで S2 分潮が強い という潮流の特徴はよく再現されていた。また長軸の向きも、全地点で概ね調査結果と合致していた。

平均流は、三津湾湾口中央部～西部、三津口湾から三津湾に流入し、概ね三津湾内を時計回りに流れて三津湾湾口東部から湾外へ流出する流れであり、調査結果をよく再現していた。

水温の計算値は、観測値に比べて若干夏季に高く、冬季に低い傾向にあるものの、概ね三津湾周辺の水温値を再現していた。塩分値も概ね観測値の再現ができていた。

以上より、構築した流動モデルは、三津湾の流れをよく再現できており、水質―底質結合生態系モデルを用いての施策検討が可能であると判断した。

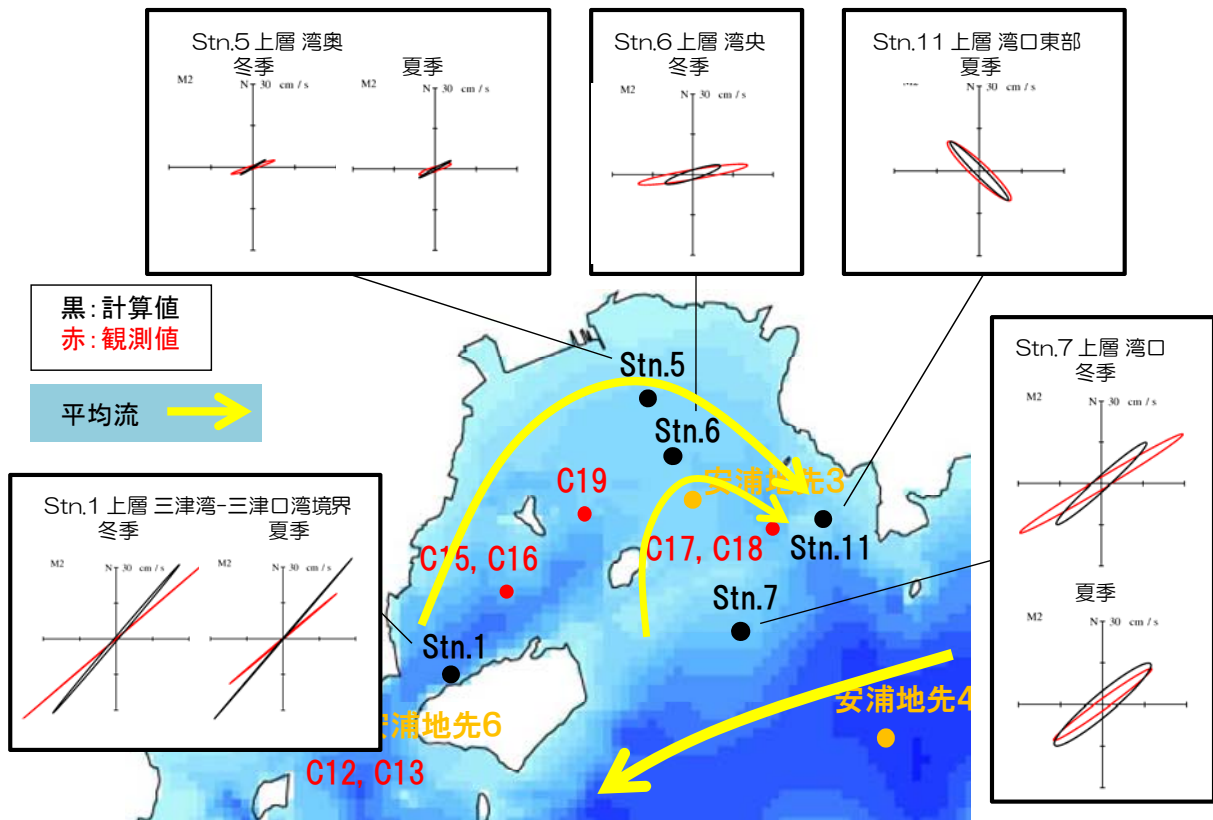


図 2.3 流動モデルによる三津湾の流れ（平均流、潮流楕円）の特徴

1) 潮流楕円

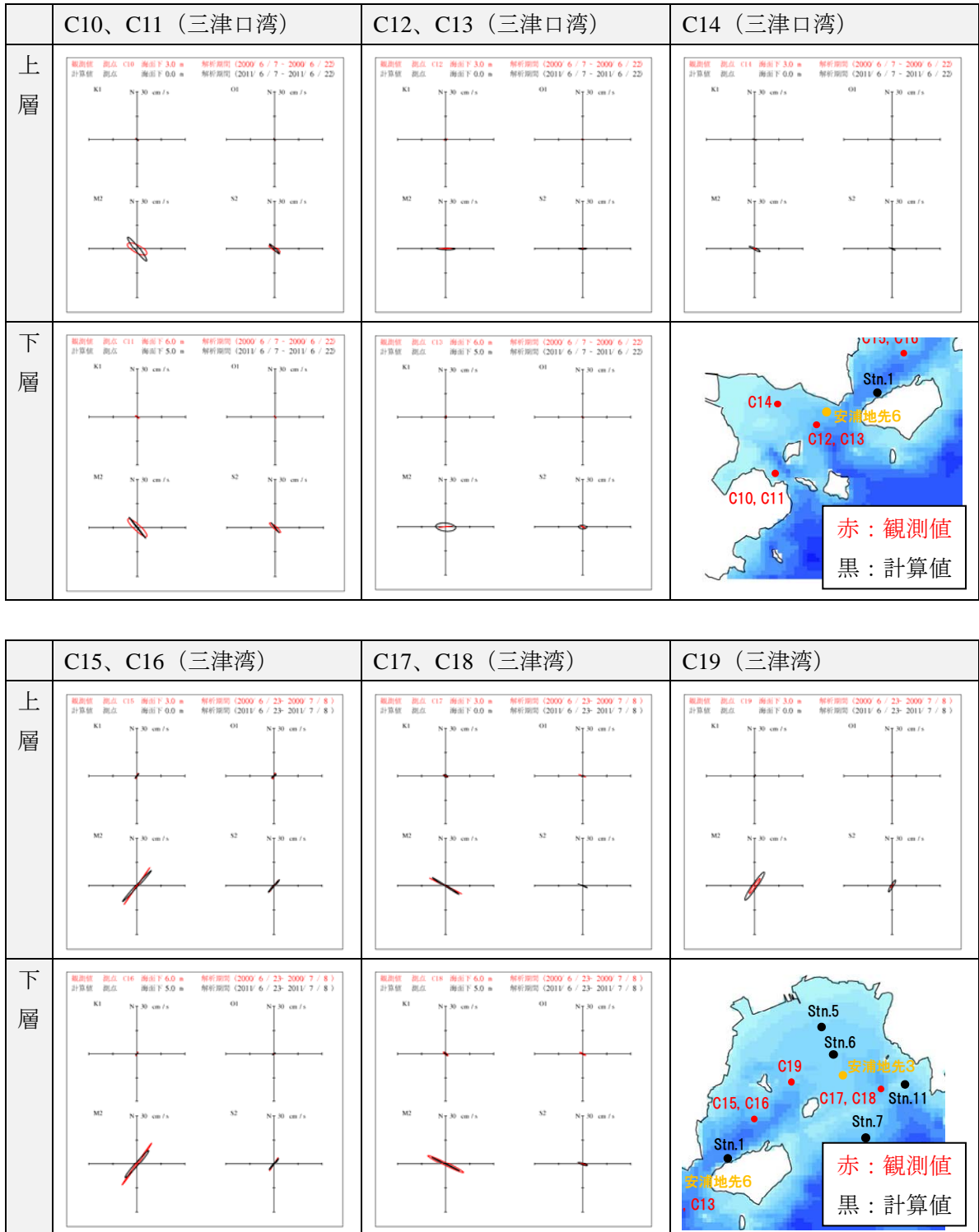
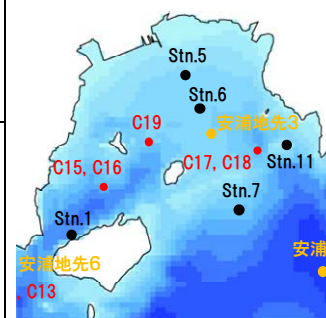
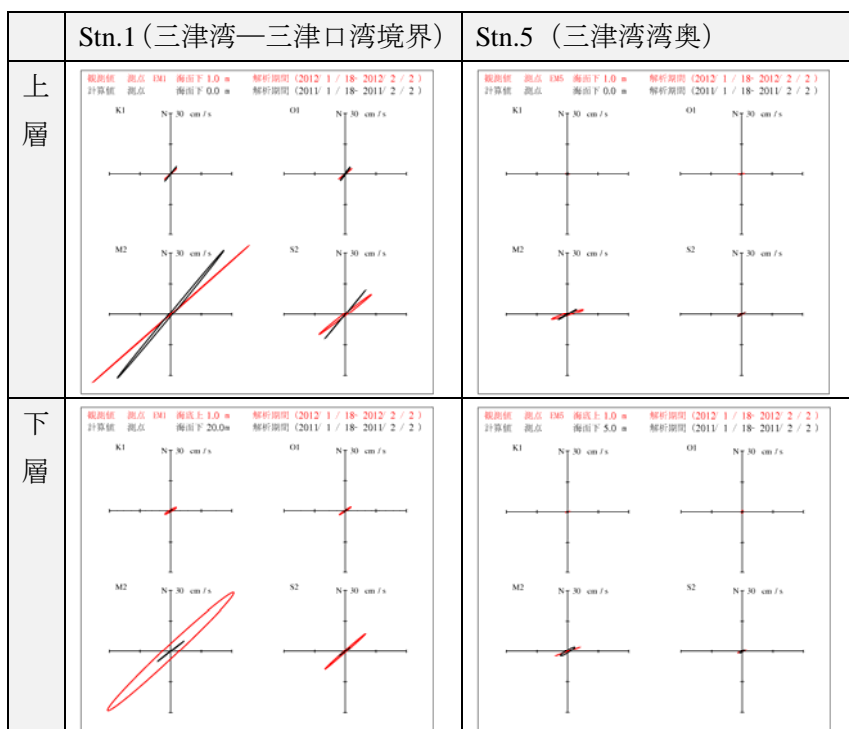
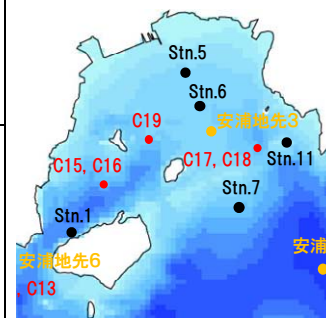
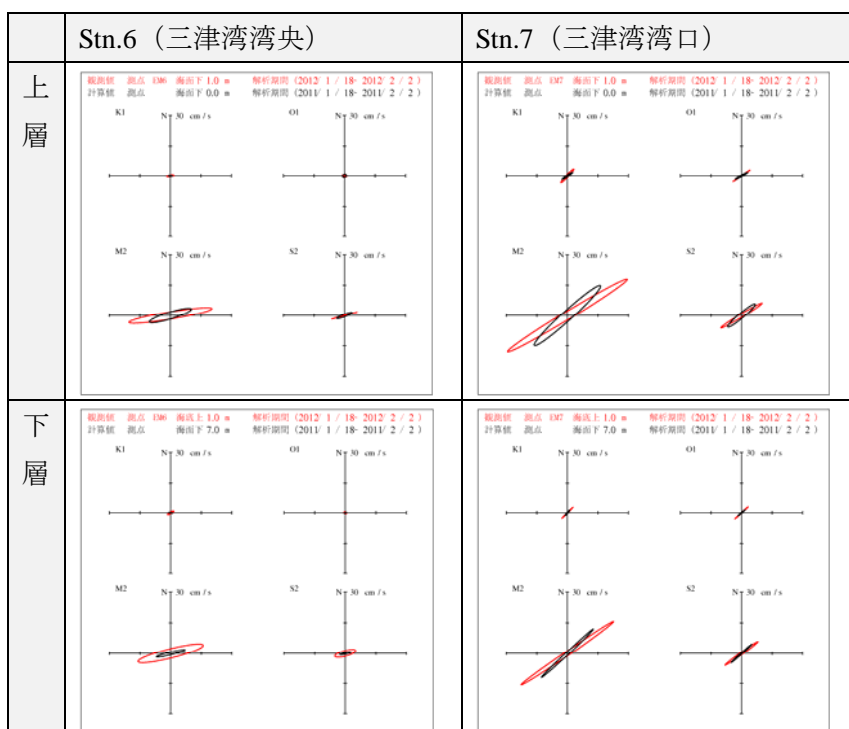


図 2.4 潮流楕円の比較図 (観測値は(独)産業技術総合研究所による、2000年6~7月)



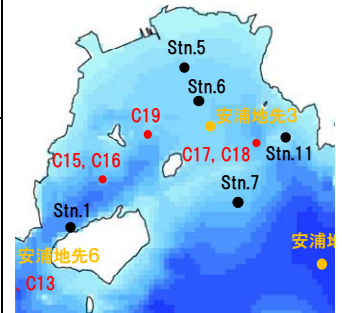
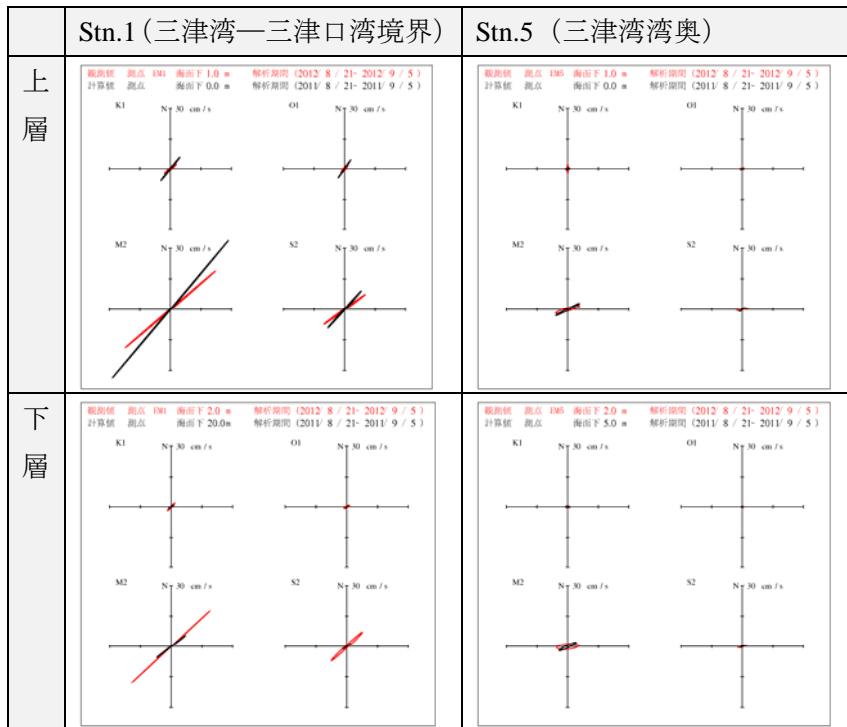
赤：観測値  
黒：計算値



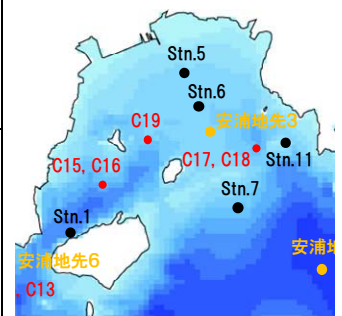
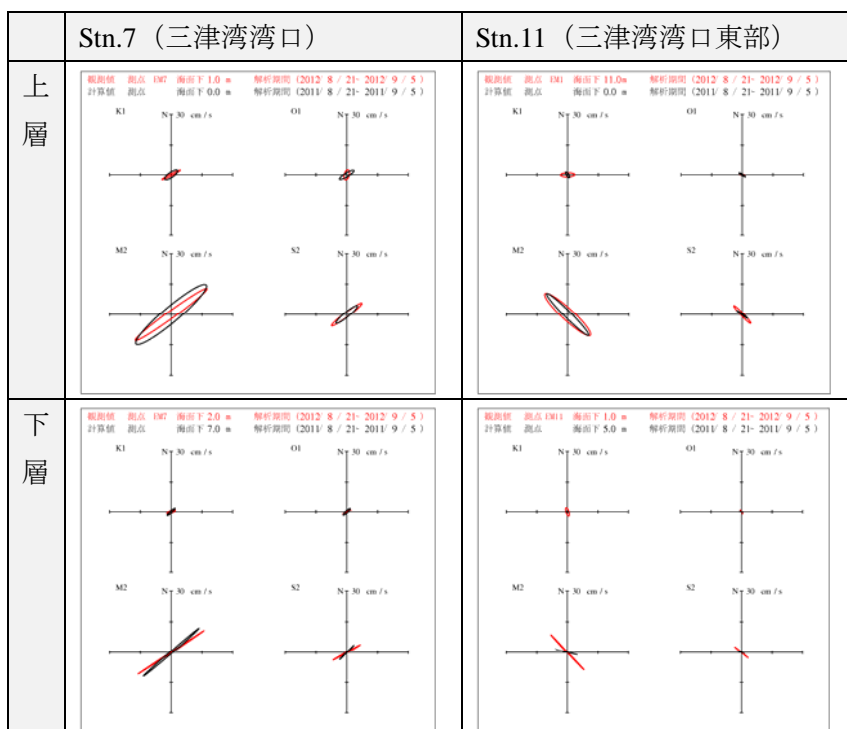
赤：観測値  
黒：計算値

図 2.5 潮流楕円の比較図（観測値は三津湾地域検討委員会による、2012年1～2月）





赤：観測値  
黒：計算値



赤：観測値  
黒：計算値

図 2.6 潮流楕円の比較図 (観測値は三津湾地域検討委員会による、2012 年 8~9 月)

2) 平均流

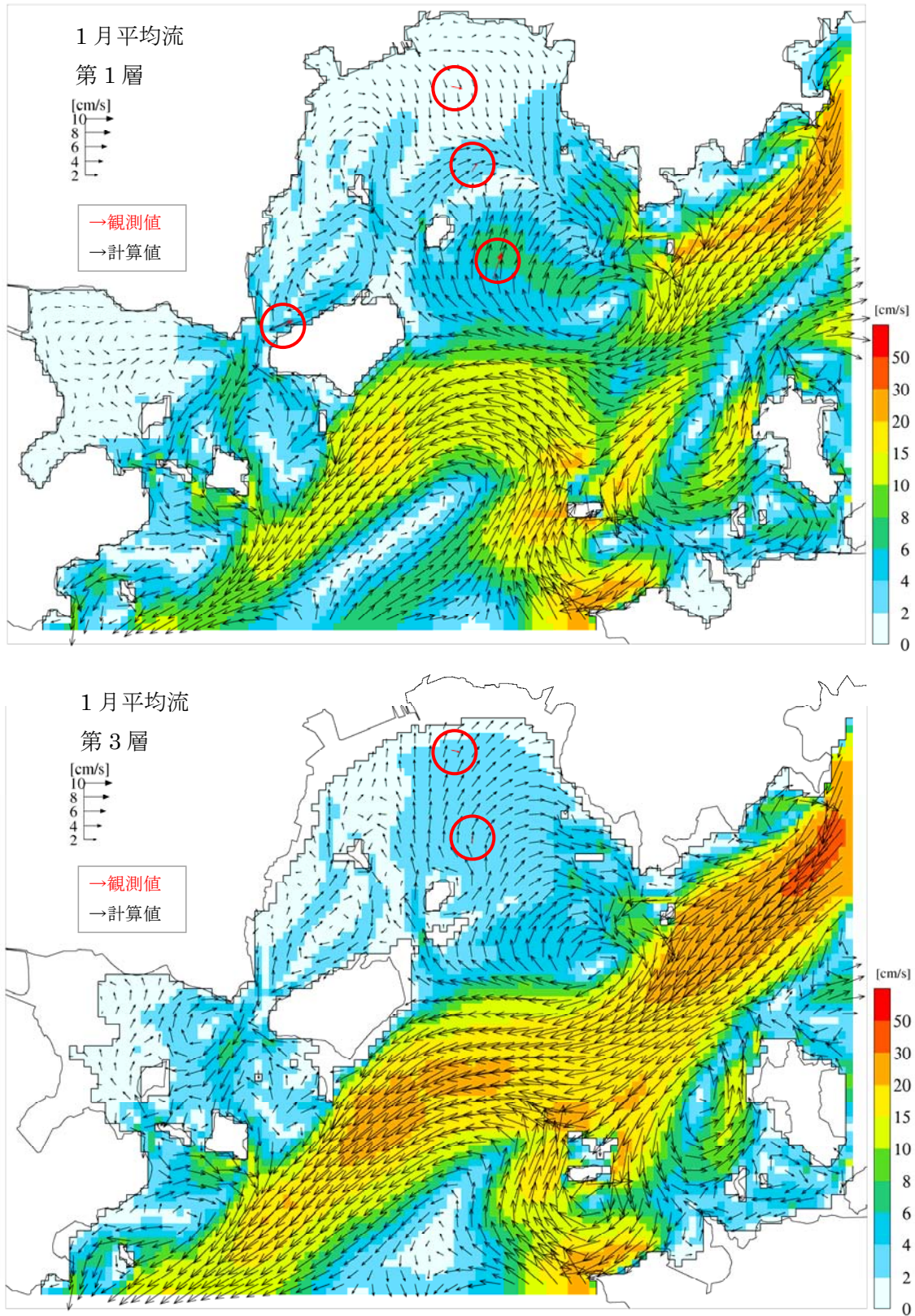


図 2.7(1) 平均流速、平均流ベクトル (1月、上：第1層、下：第3層、ベクトルは間引き表示)

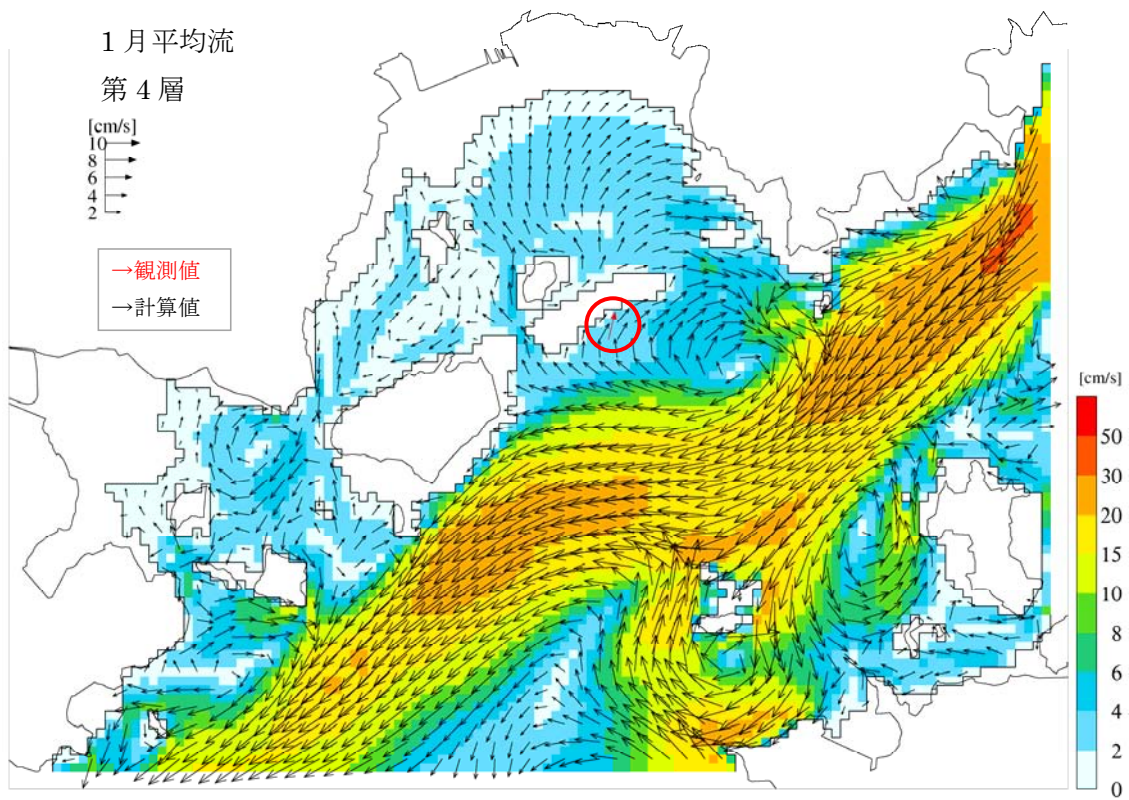


図 2.7(2) 平均流速、平均流ベクトル (1月、第4層、ベクトルは間引き表示)

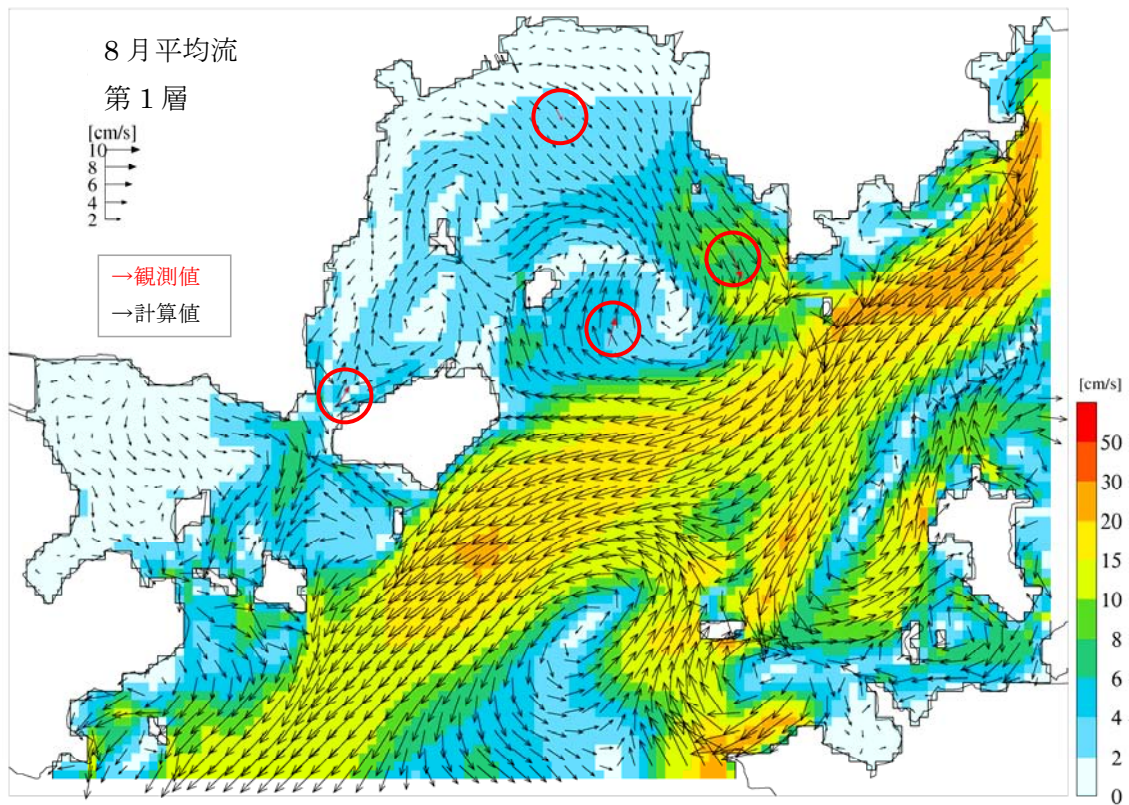


図 2.8(1) 平均流速、平均流ベクトル (8月、第1層、ベクトルは間引き表示)

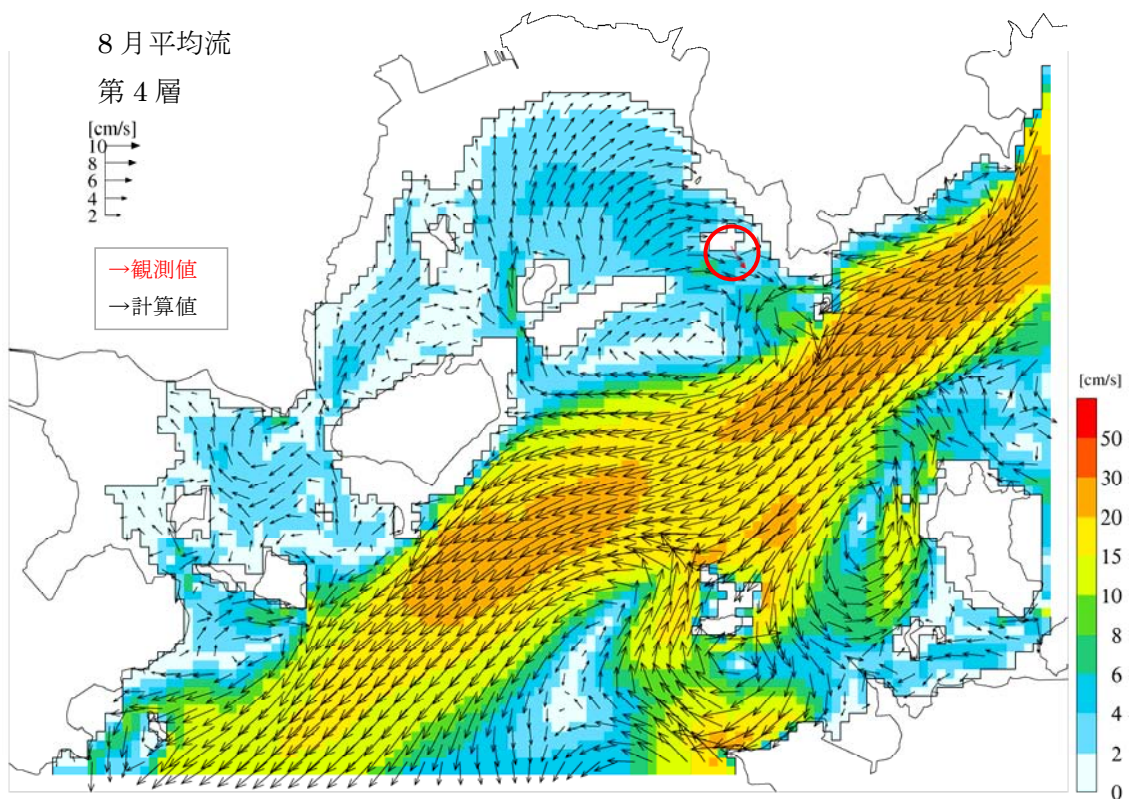
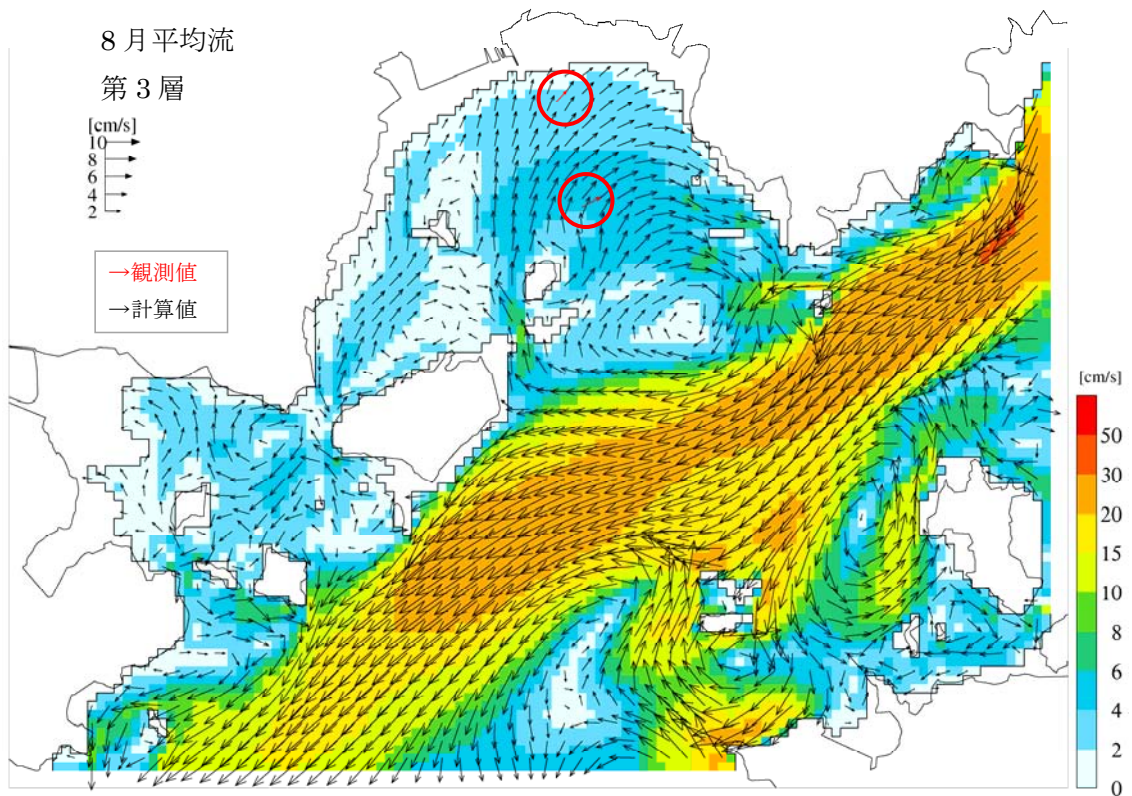


図 2.8(2) 平均流速、平均流ベクトル (8月、上：第3層、下：第4層、ベクトルは間引き表示)

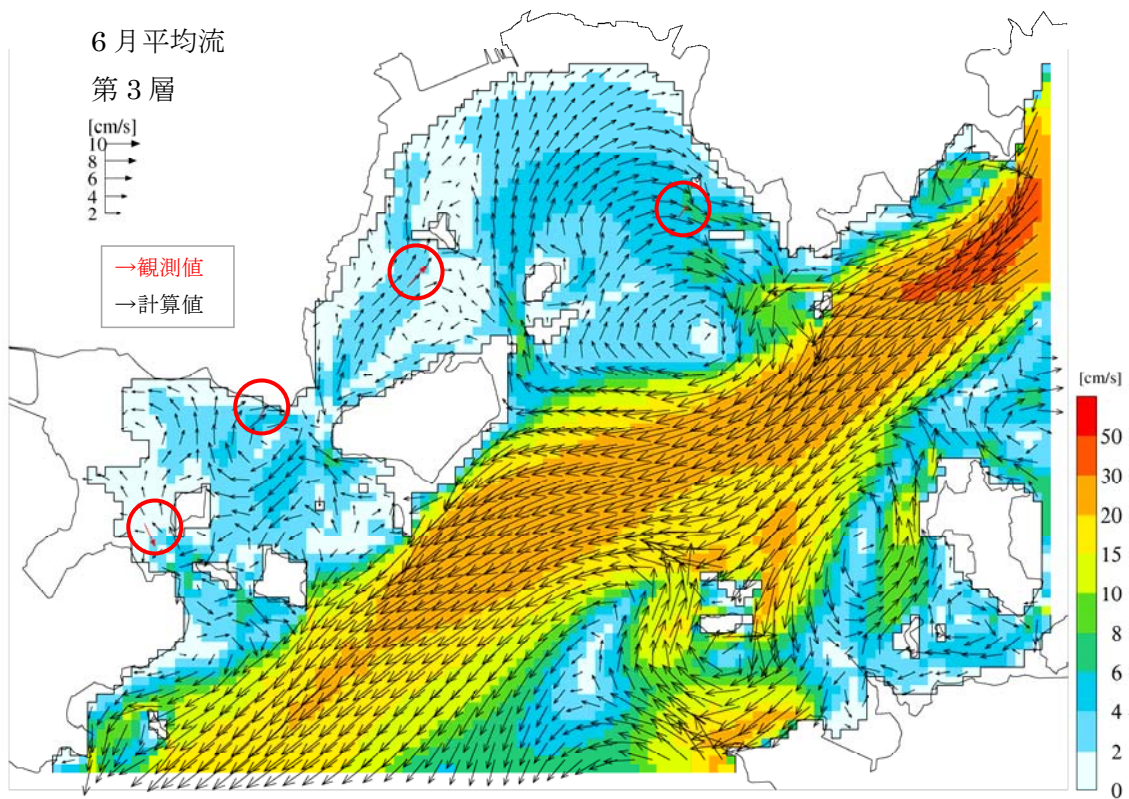
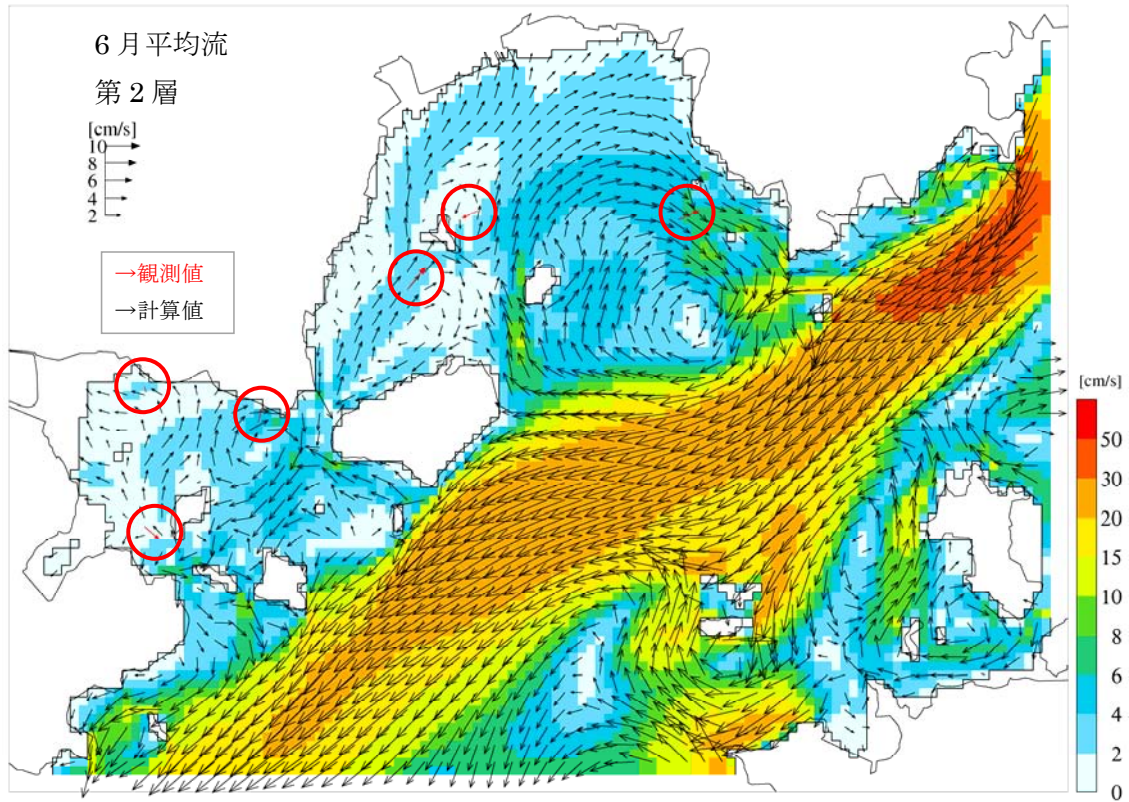


図 2.9 平均流速、平均流ベクトル (6月、上：第2層、下：第3層、ベクトルは間引き表示)

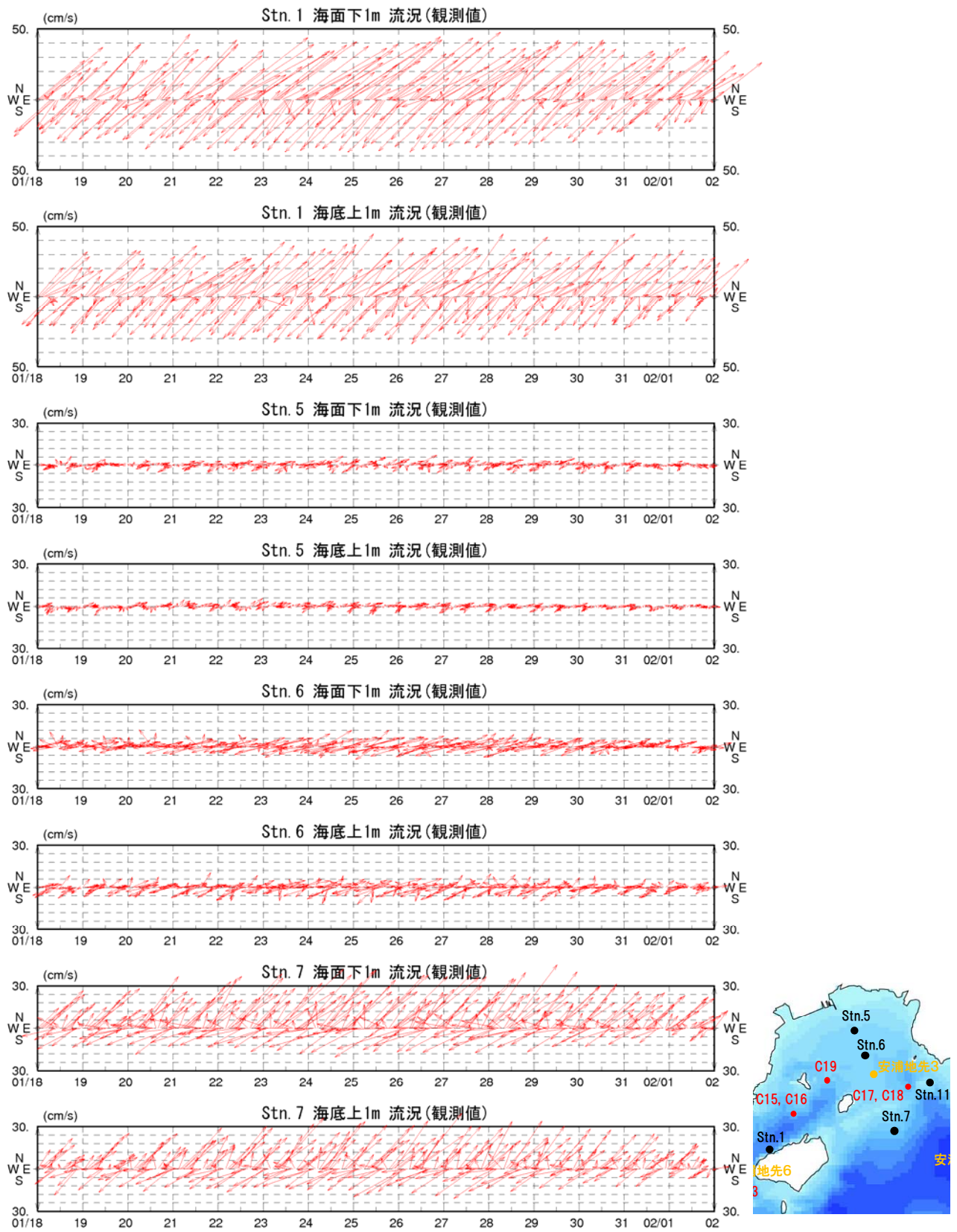


図 2.10(1) 流れの時系列図 (冬季、三津湾地域検討委員会観測値)

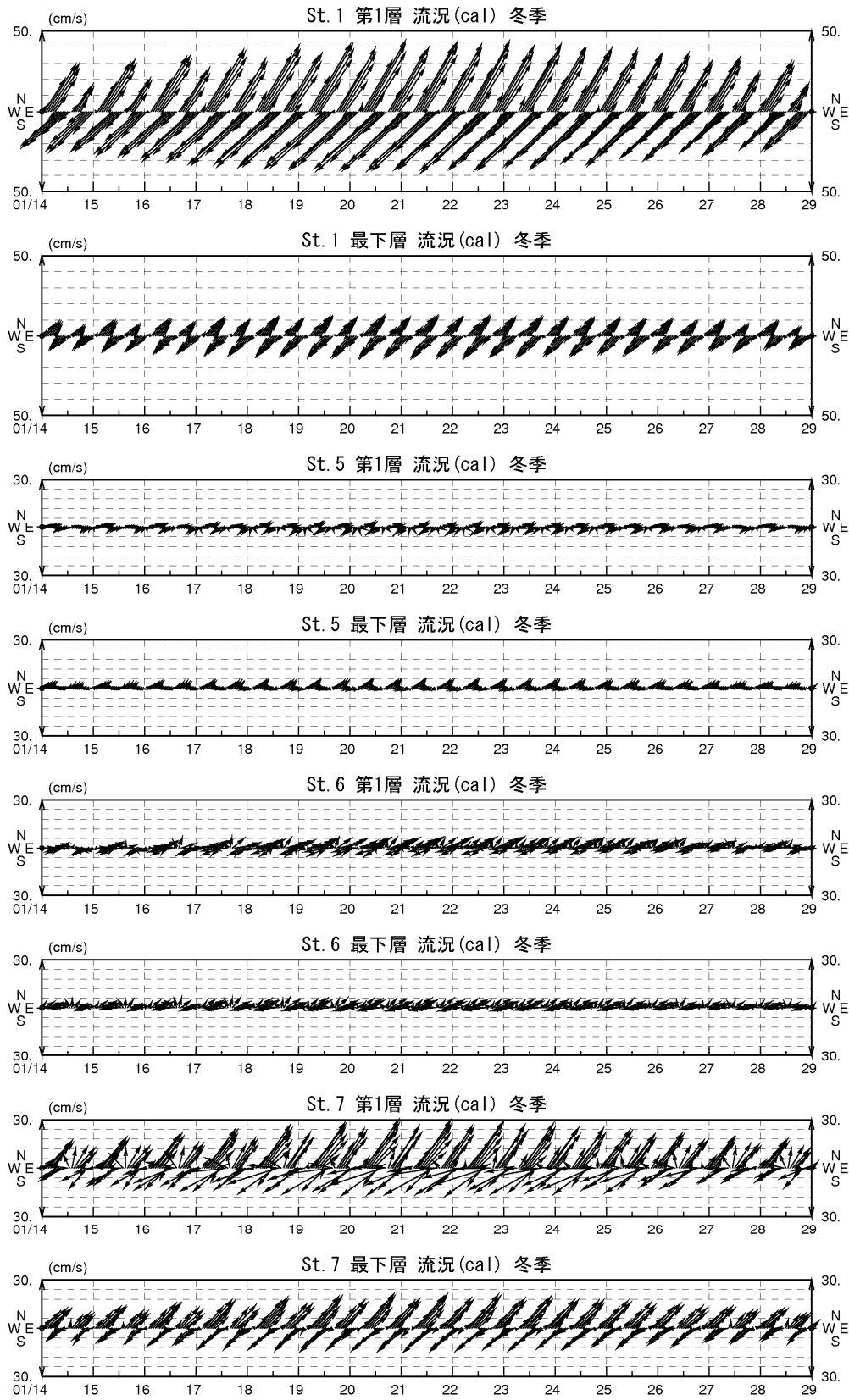


図 2.10 (2) 流れの時系列図 (冬季、計算値)

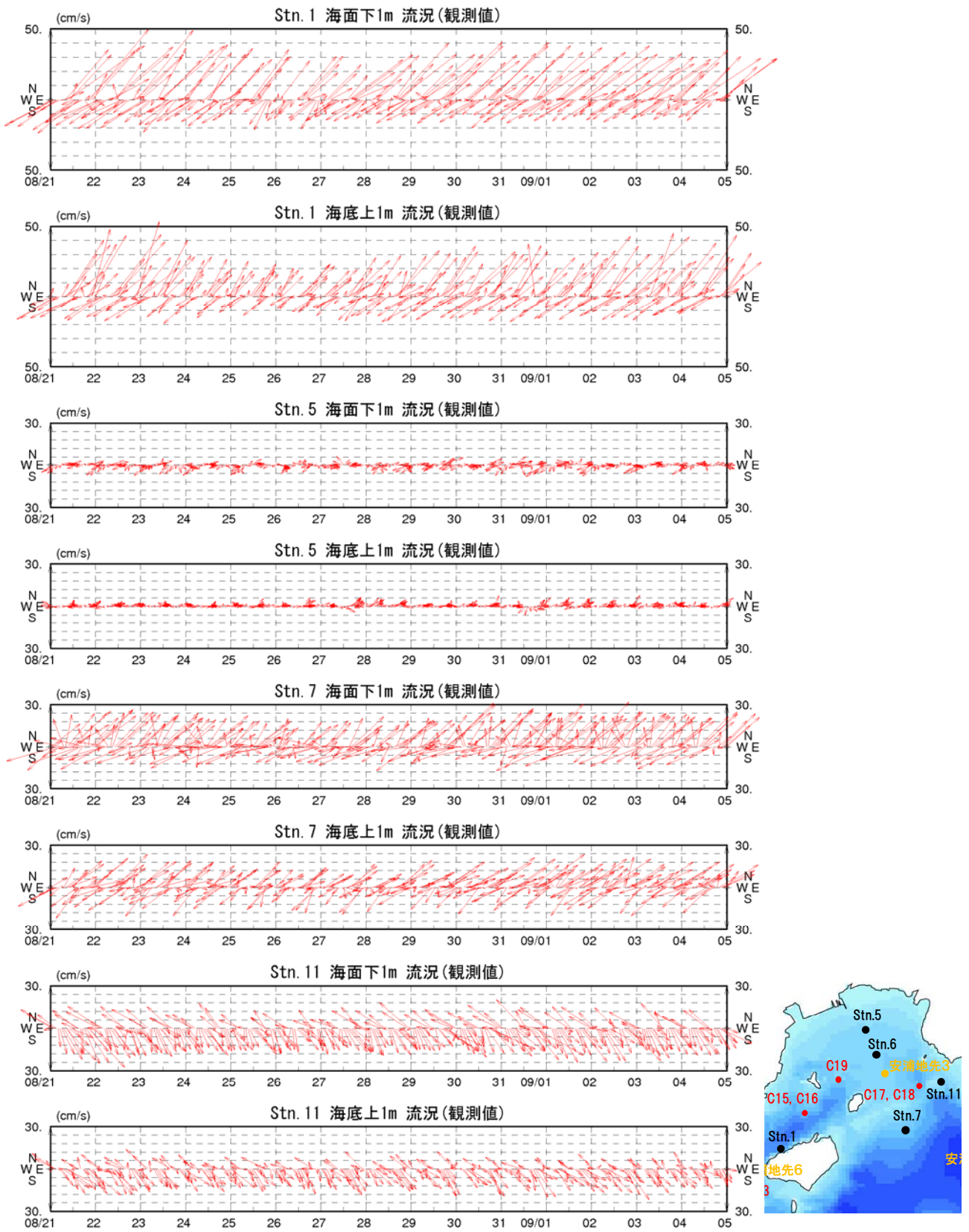


図 2.11(1) 流れの時系列図 (夏季、三津湾地域検討委員会観測値)



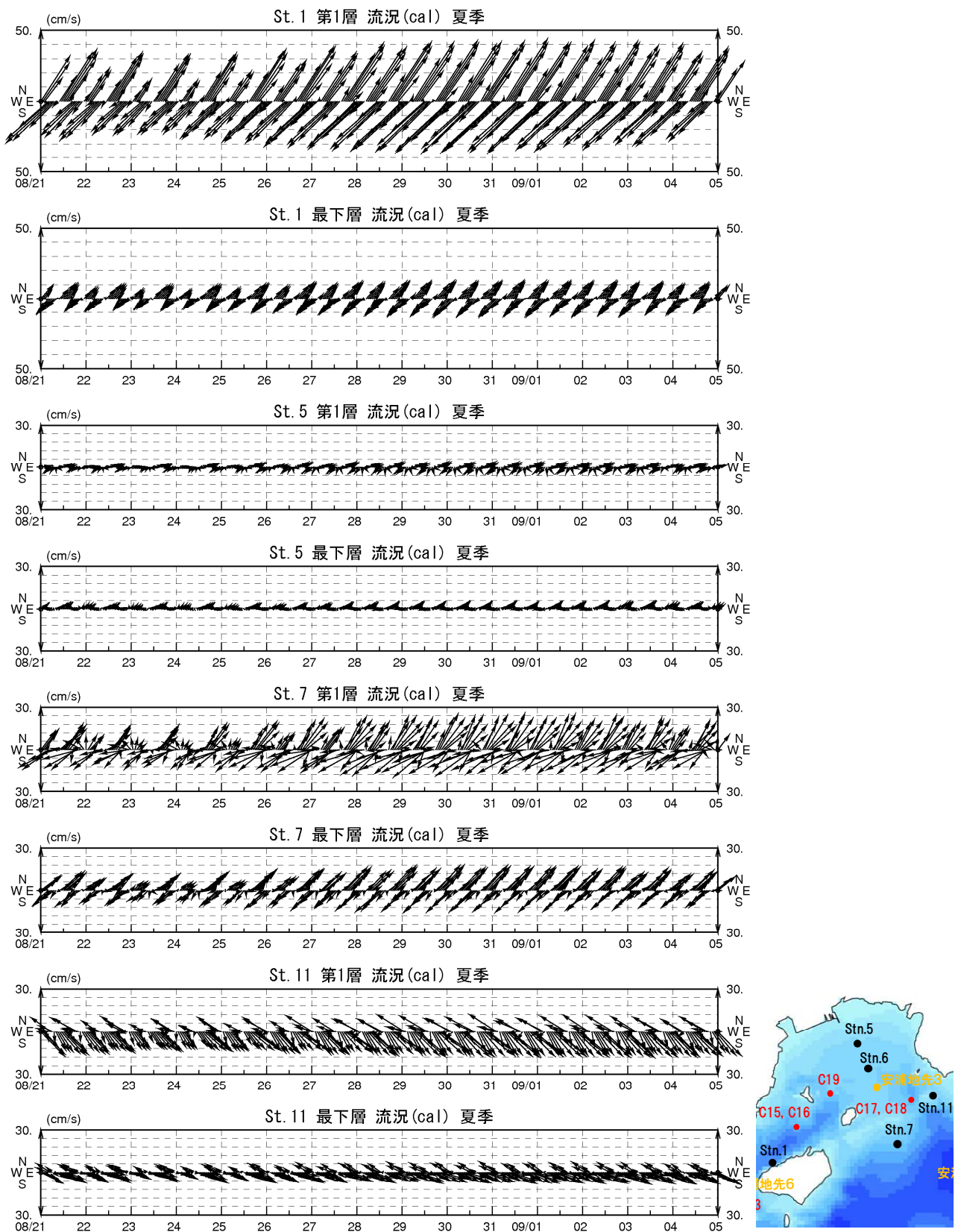


図 2.11 (2) 流れの時系列図 (夏季、計算値)

3) 水温、塩分

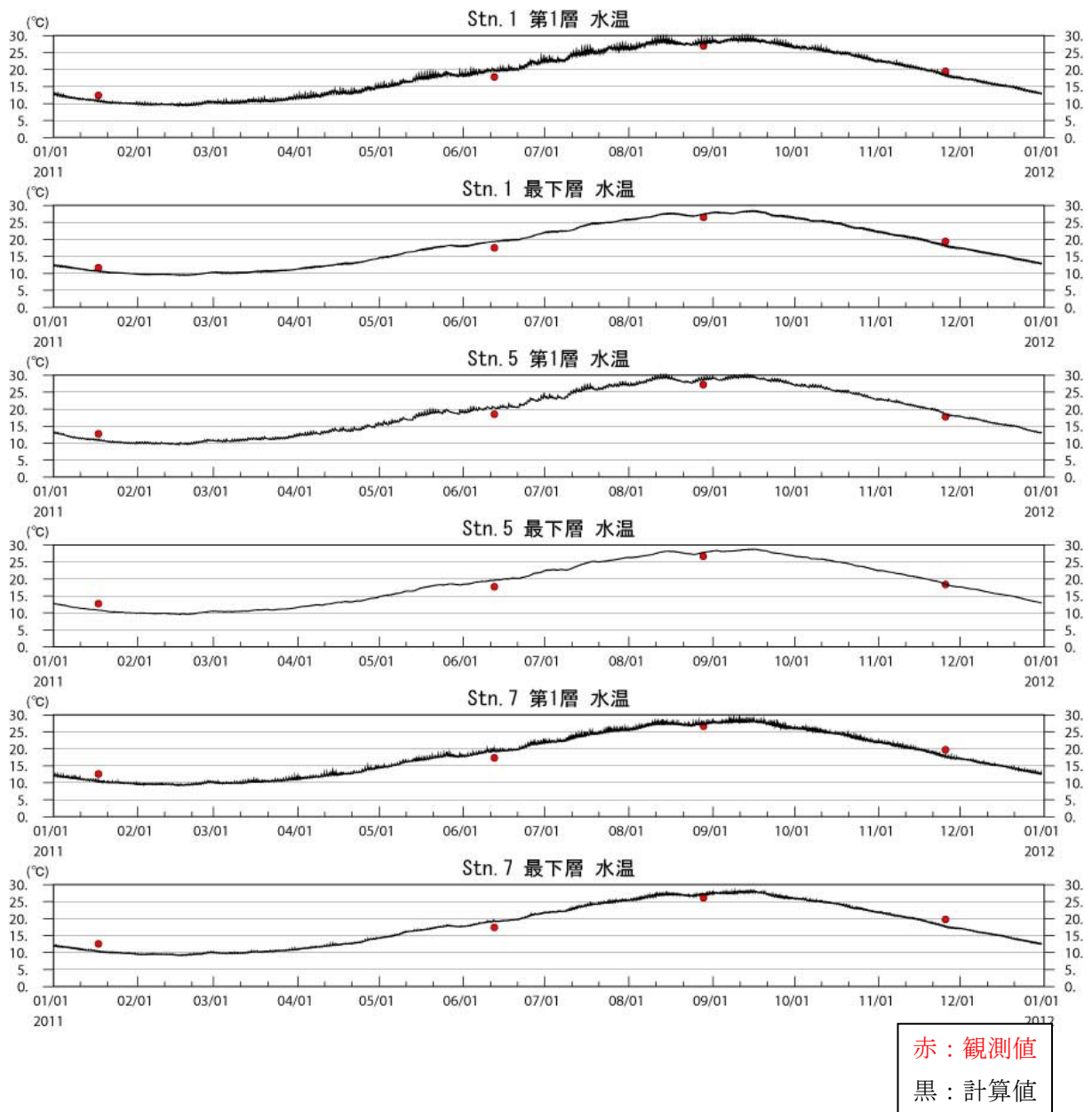


図 2.12(1) 水温の比較 (三津湾地域検討委員会調査)

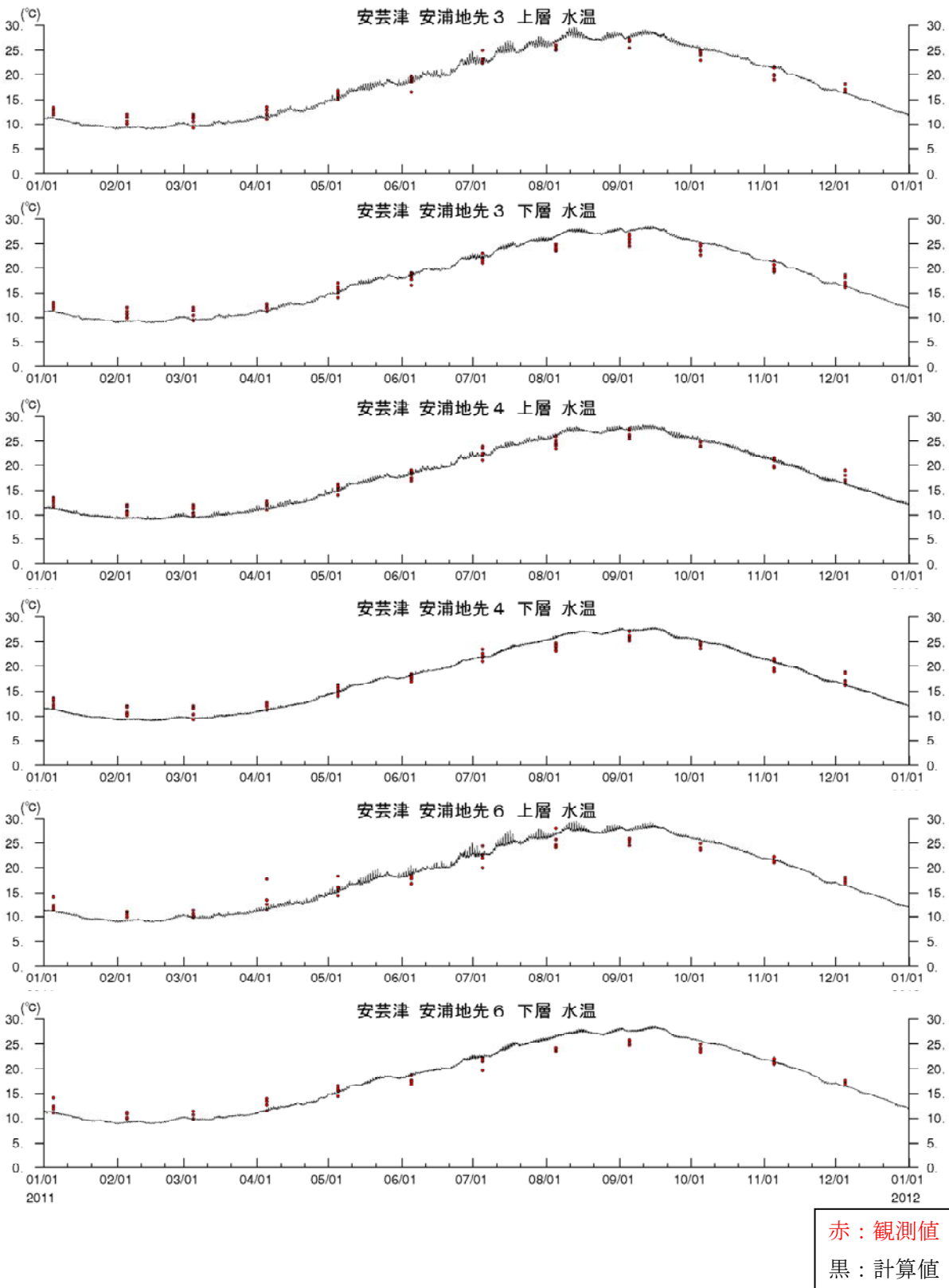


図 2.12 (2) 水温の比較 (三津湾沖、公共用水域水質調査)

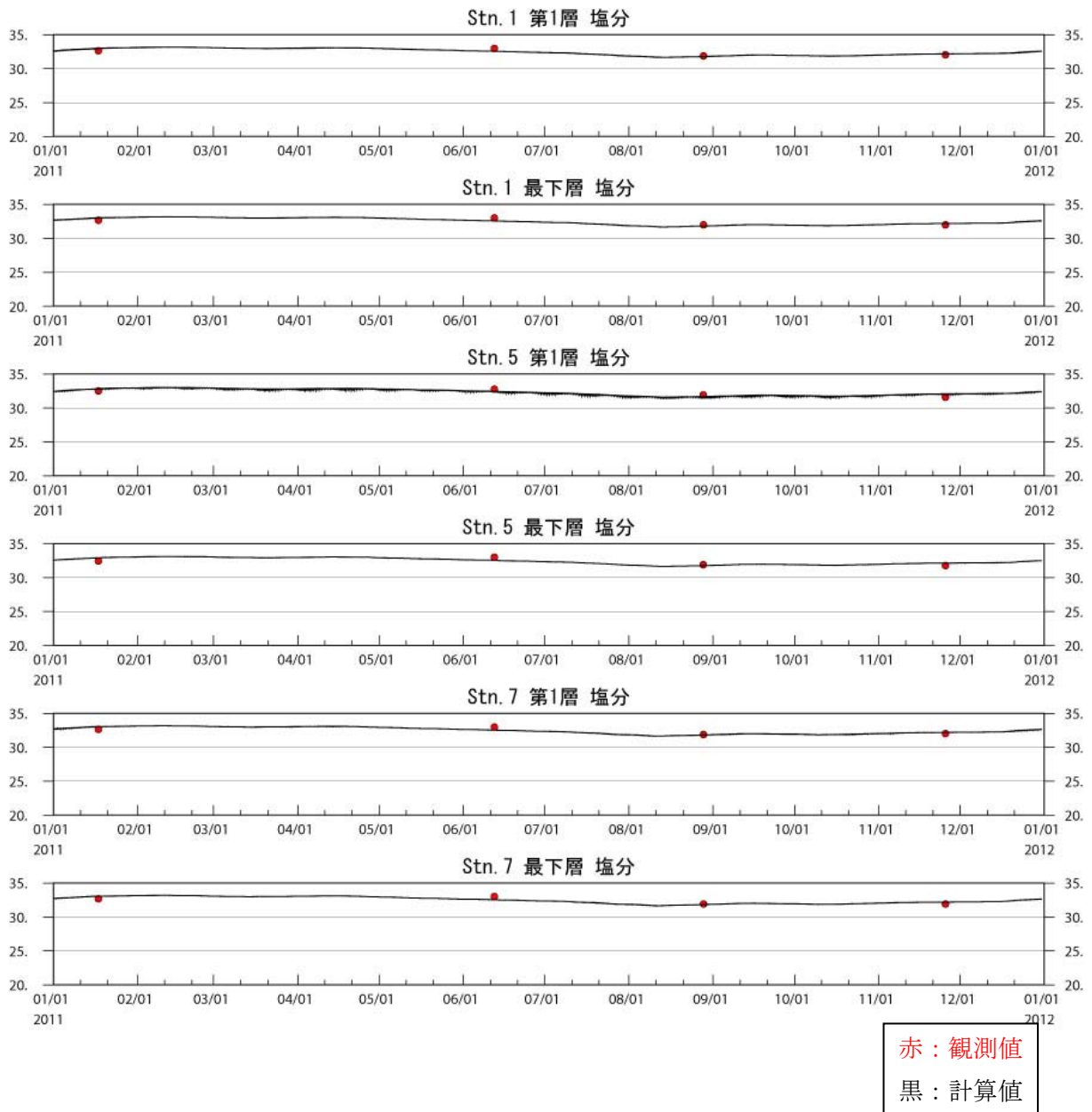


図 2.13 塩分の比較（三津湾地域検討委員会調査）

### 3. 滞留時間の計算

三津湾の滞留時間を把握するため、仮想的な拡散計算を行った。計算条件を表 3.1 に示す。本計算は、三津湾内の水が流動場によって拡散する際に、どれだけの期間三津湾内に留まっているかを計算したものであり、生物や底泥の影響は考慮していない。

各月で合計 12 ケースの計算を行った結果、三津湾の滞留時間（平均濃度が  $1/e$  と定義）は平均で約 **2.5 日**であった（図 3.1）。

滞留時間の定義によって異なるものの、一般的に東京湾が 30~50 日、三河湾が 15~30 日、広島湾北部海域が 5 日と言われており、三津湾は他の閉鎖性海域に比べて滞留時間が短い。

表 3.1 滞留時間の算出に用いた拡散計算の条件

計算条件	設定
初期条件	三津湾内 1、三津湾外 0
負荷条件	河川からの負荷濃度 0
流動条件	流動モデルの結果を使用
初期時刻	各月 1 日 0 時（12 ケース）
滞留時間の定義	三津湾内の平均濃度が $1/e$

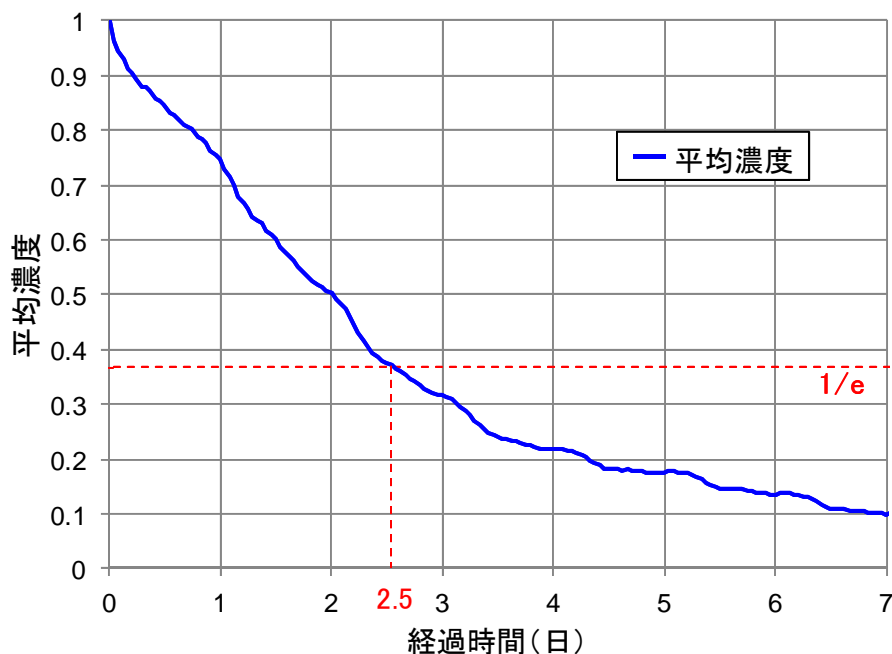


図 3.1 平均濃度の時系列変化（全ケース平均）

#### 4. 物質循環モデルの構築

地域検討委員会からのモデルに対する要望と三津湾の現況、これまでの検討経緯を踏まえ、三津湾地域における物質循環モデルについて、水質－底質結合生態系モデルの構築を行っている。

現在、地域検討委員会から提供された資料等を基に、境界濃度や負荷量を設定し計算を行った上、現地調査結果との比較、改善を通じて精度向上を図っている。また、底質、生態系についても、カキ・アサリ・アマモの計算を導入し、提供データや文献を基に再現を試みている。構築の途中経過ではあるが、現状の計算結果を次項以降に示す。

##### 1) 計算項目、計算領域

計算を行う項目、生物種を表 4.1、表 4.2 に、水質－底質結合生態系モデルの物質循環模式図を図 4.1 に示す。なお、改善方策の評価を行うために、物質循環のフロー・ストックの出力も行う。

表 4.1 三津湾地域で構築する物質循環モデルの計算項目

計算項目	
水質	植物プランクトン、動物プランクトン、有機物（デトリタス）、栄養塩類、溶存酸素、酸素消費物質（ODU）
底質	有機物、栄養塩類、マンガン、鉄、硫黄、メタン、溶存酸素
生物	付着藻類、懸濁物食者、堆積物食者、海草類、海藻類の現存量

表 4.2 三津湾地域で構築する物質循環モデルで考慮する生物種

構成要素	生態系モデルで考慮する生物種
植物プランクトン	大型、小型珪藻
動物プランクトン	カイアシ類
海草類（SGS）	アマモ
海藻類（SWD）	ガラモ（現在はゼロとしている）
付着藻類(DIA)	付着藻類（現在はゼロとしている）
懸濁物食者(BSF)	カキ、アサリ
堆積物食者(BDF)	ベントス（現在はゼロとしている）

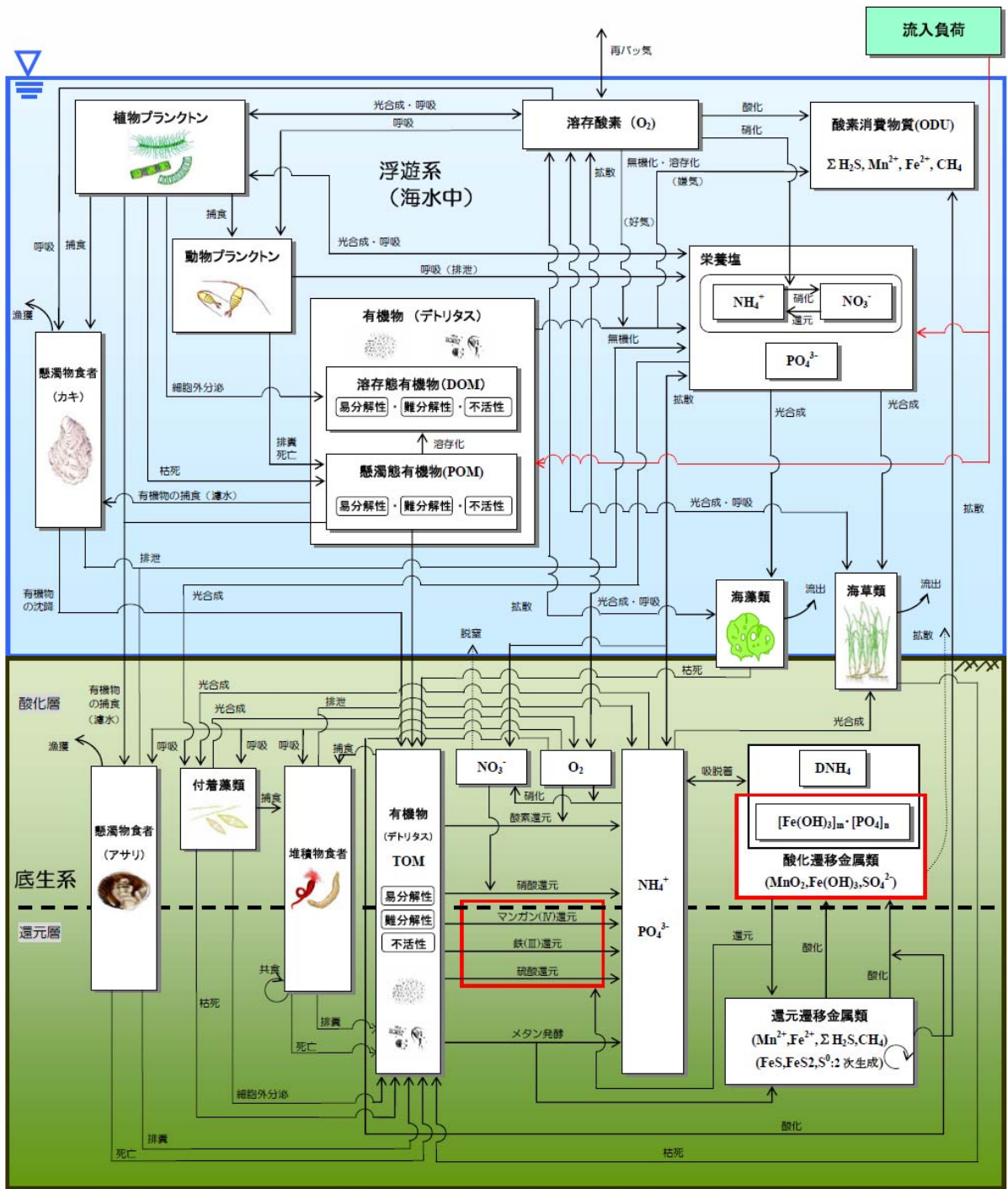


図 4.1 水質-底質結合生態系モデルの物質循環模式図

計算期間は流動モデルと同一とした。水平格子分割、鉛直層分割も流動モデルと同一である。ただし、計算対象領域は、水質濃度の勾配が小さい三津湾周辺の状況、調査結果の有無、流れの特徴を鑑みて、図 4.2 において赤線で囲んだ区域のみを計算するものとした。

表 4.3 物質循環モデルの計算条件

項目	設定内容
計算期間	流動モデルと同じ
鉛直層分割	流動モデルと同じ
水平格子分割	三津湾周辺：100m、図 4.2 に示す範囲

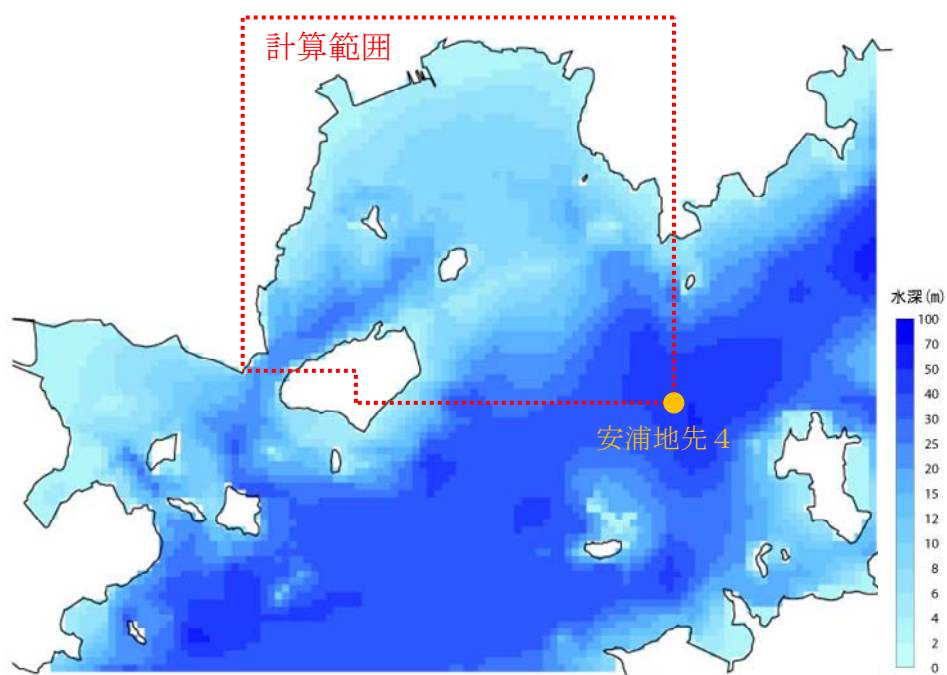


図 4.2 水質一底質結合生態系モデルの計算範囲 (100m メッシュ)



2) 計算条件 (水質関連)

表 4.4 に、水質に関連する項目の計算条件を示す。

境界濃度の設定値を図 4.3 に示す。境界値には、三津湾沖で観測された公共用水域水質データに、三津湾で観測された分画比を与えたものを設定した。

図 4.4 に負荷量を、図 4.5 に負荷の位置図を、表 4.5 に負荷の分画比を示す。年平均では、合計で COD 119kg/日、T-N 40kg/日、T-P 4.2kg/日の負荷量が三津湾に流入している。なお、T-P はうち約 59%が事業場・終末処理場によるものである。

表 4.4 物質循環モデルの計算条件 (水質関連項目)

項目	設定内容
負荷流入条件 (三津大川、高野川、木谷郷川)	公共用水域水質データによる 2001~2009 年度の月平均負荷量から負荷濃度を算出
負荷流入条件 (三津湾内事業所等)	地域WG より提供された平均負荷量、流量から、負荷濃度を算出
負荷分画比	三河湾海域の水質モデルより引用
気象条件 (日射量)	2011 年、広島アメダス
境界条件	2005~2009 年度公共用水域水質データ「安芸津・安浦地先 4」の月別平均値、分画比は秋季~春季調査データ Stn.7 より算出
初期条件	境界条件の初期値と同一

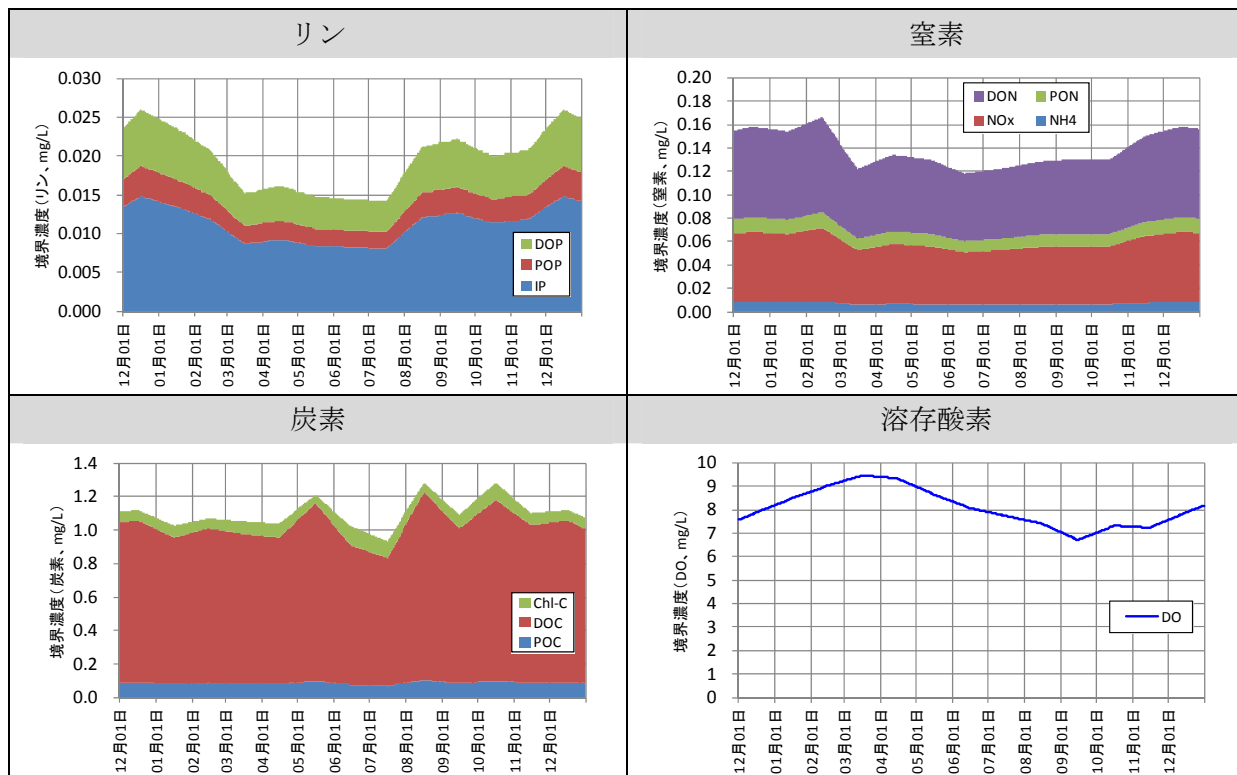


図 4.3 境界条件に設定した濃度

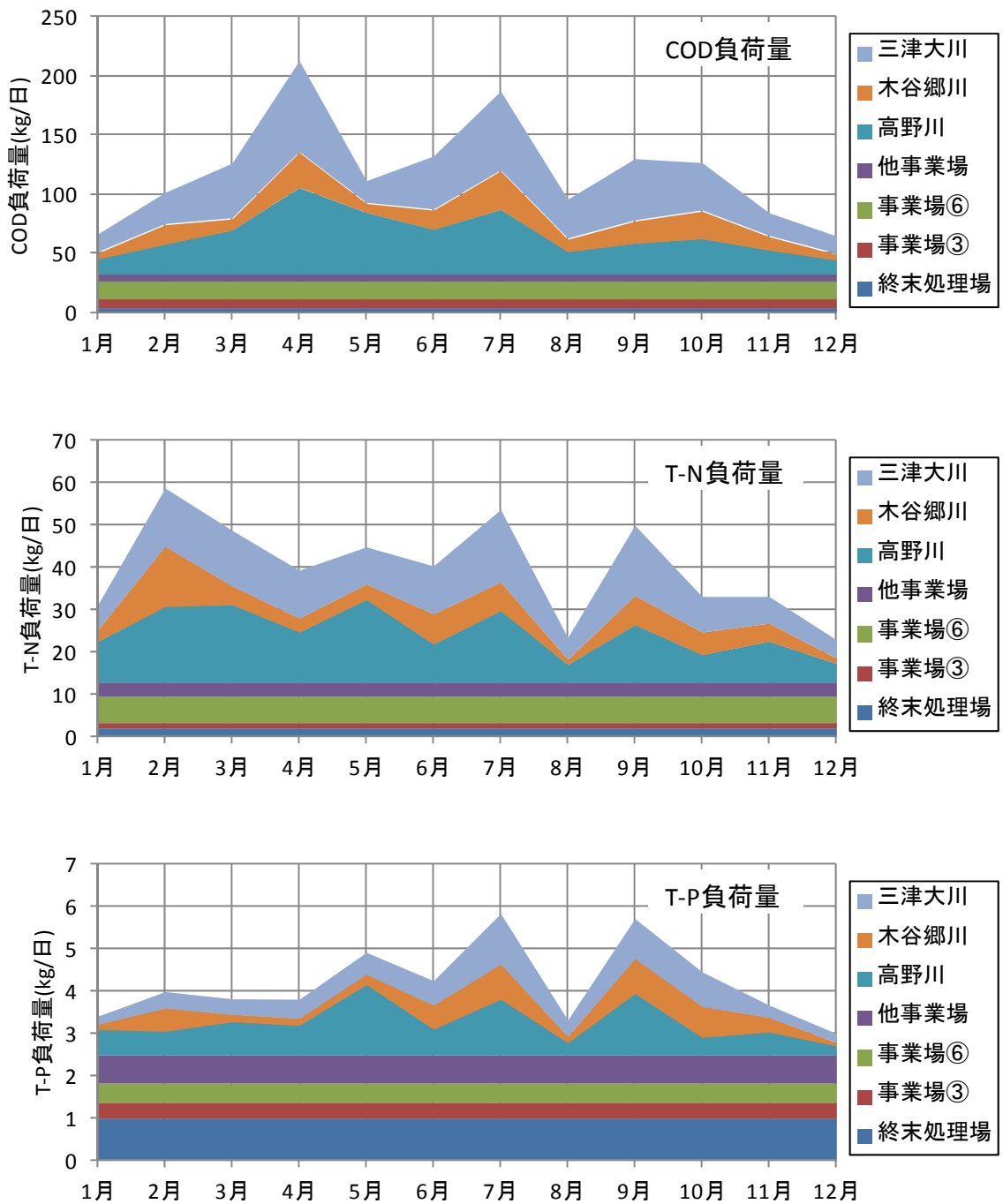


図 4.4 負荷量の時系列分布

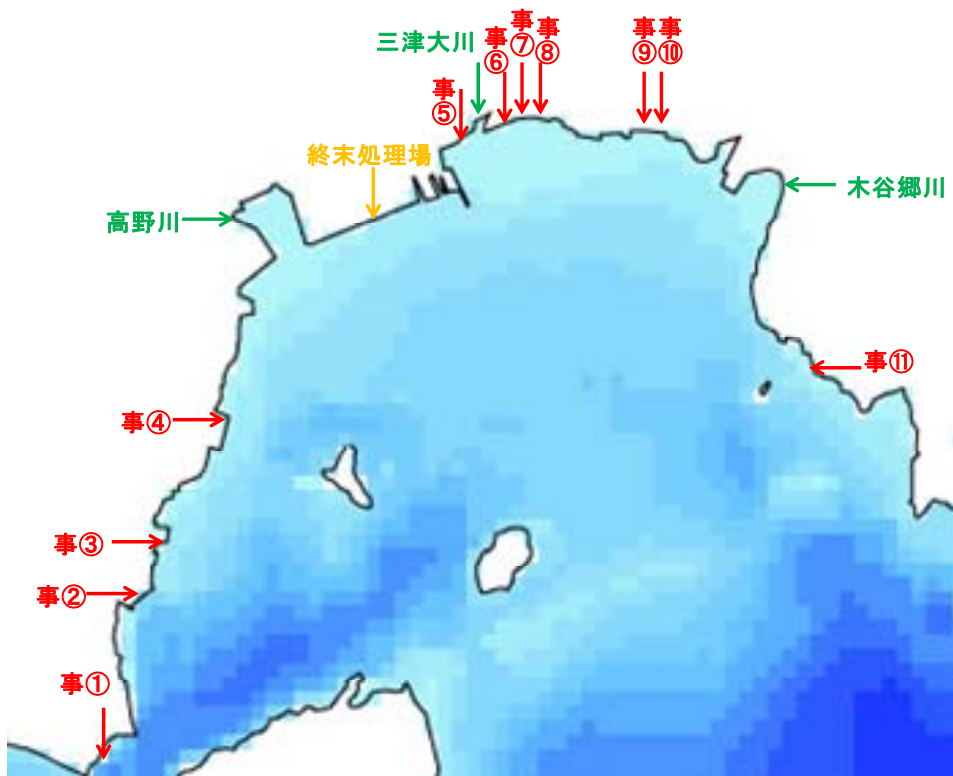


図 4.5 負荷点の位置図（「事」は事業場を表す）

表 4.5 負荷分画比(本業務他海域設定値より)

分画比	DIP/T-P	DIN/T-N	NH <sub>4</sub> -N/DIN	POP/TOP
設定値	0.54	0.73	0.42	0.68
分画比	PON/TON	PCOD/COD	POC/PCOD	DOC/DCOD
設定値	0.26	0.23	0.86	0.93

### 3) 計算条件（底質、生物関連）

表 4.6 に底質関連項目、表 4.7 に生物関連項目の計算条件を示す。

使用したモデルは、水質に関してはメッシュモデルであるが、底質、生物に関してはボックスモデルである。ボックスは図 4.6 のように、カキ・アマモ（疎・密）・アサリの生息域、水深、湾内位置を考慮し、38 ボックスに分割した。

アマモについては、一年生であり、秋季には激減するという報告から、7～9月にかけて強制的に現存量を減少させている。

表 4.6 物質循環モデルの主要な計算条件（底質関連項目）

項目	設定内容
鉛直層数	10 層（0～0.02、0.02～0.05、0.05～0.1、0.1～0.2、0.2～0.5、0.5～1、1～2.5、2.5～4.5、4.5～6.5、6.5～10cm）
初期値	間隙水中 H <sub>2</sub> S は 0.1mg/L、その他はゼロとした。pH は第 1 層 8.0、1 層毎に 0.1 増加、6 層目以降 7.5
準備計算	底質中の物質量が定常に達するまで準備計算を行う（現在実行中）

表 4.7 物質循環モデルの主要な計算条件（カキ関連項目）

項目	設定内容
生息層	第 1～3 層（海表～水深 5m）
レン数／筏	600 レン／筏（20m×10m）
個／レン	25
最適水温	20℃
同化効率	0.65
濾水速度	0.168 m <sup>3</sup> /ind/day
重量	0.416 gC/ind
生息密度に対する半飽和定数	600 gC/m <sup>2</sup>
自然死亡速度	0.001 /day

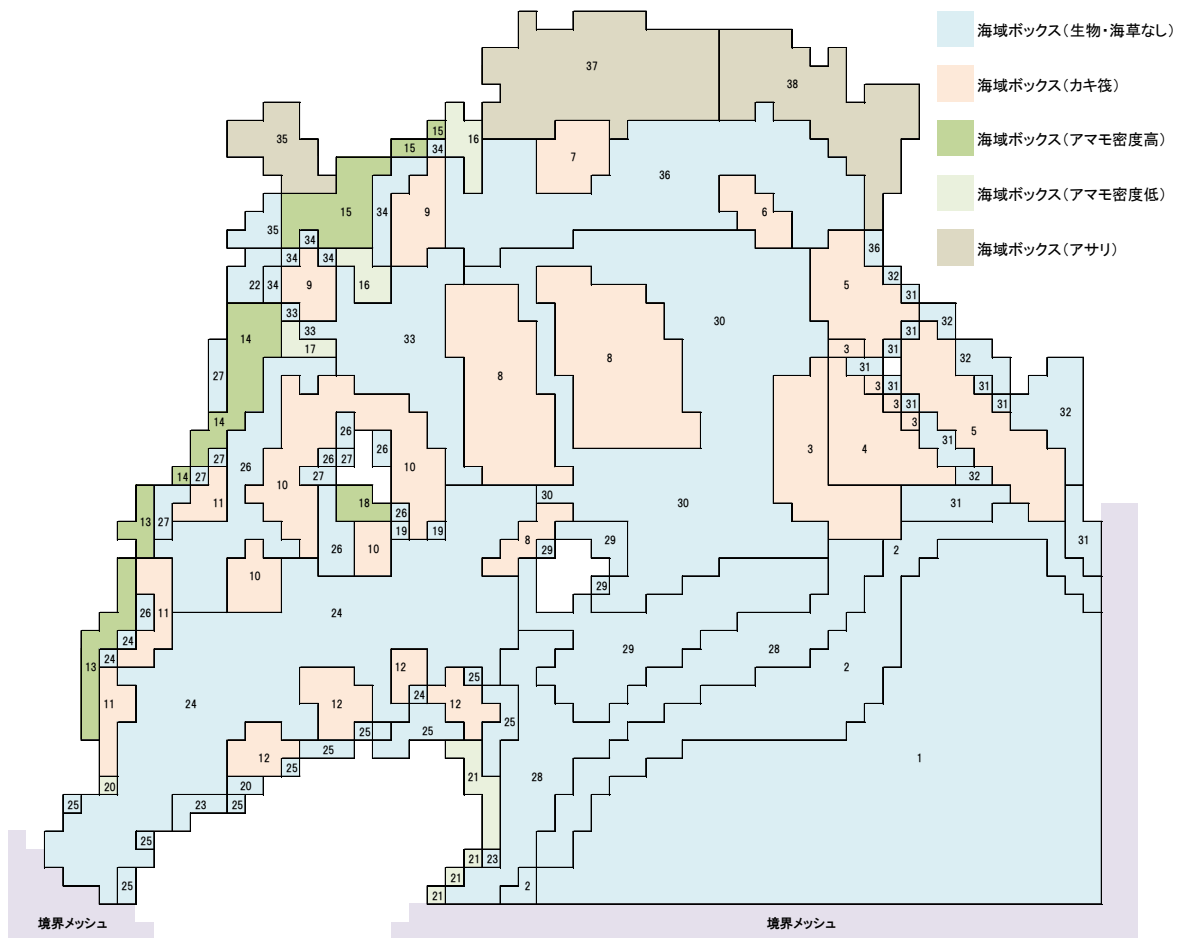


図 4.6 ボックス分割図

## 4-2 物質循環モデルの計算結果

### 1) 水質の計算結果

物質循環モデルの計算結果について、現況調査結果との比較を行った。水質項目の計算結果を図 4.2、図 4.8 に示す。

観測された三津湾の物質濃度は、概ね T-P が 0.01~0.02mg/L、T-N が 0.1~0.3mg/L、COD が 1~2mg/L、CHL が 1~4  $\mu$ g/L と、都市部の閉鎖性海域に比べて低い。

一方、計算値では、観測値に比べて湾奥で PO4-P が過大なため T-P も過大となっている。COD、DO は過小な傾向がある。しかし、各物質濃度のオーダーは概ね合っている。各点の濃度比較および水平分布図から、湾奥ほど栄養塩は濃度が高く、DO 濃度は低いことがわかるが、勾配は小さい。また、Chl-a は冬季は低く、夏季は高い傾向がある。ただし、これらは現在構築を進めている底質・生物の影響を受けていると考えられ、底質が安定していないこともあり、再現性は変わる可能性がある。

モデルの構築を通して得られた知見としては、境界濃度の設定値に三津湾内の物質濃度が大きく左右されるという点である。負荷量の増減や、底質・生物パラメータの変更では、三津湾全体の物質濃度への影響は小さい傾向にあった。ただし、カキは現存量が多いため、特にカキ筏周辺の底泥への影響は大きいと考えられる。したがって、カキの生息密度等は特に注意してモデルを構築する必要がある。

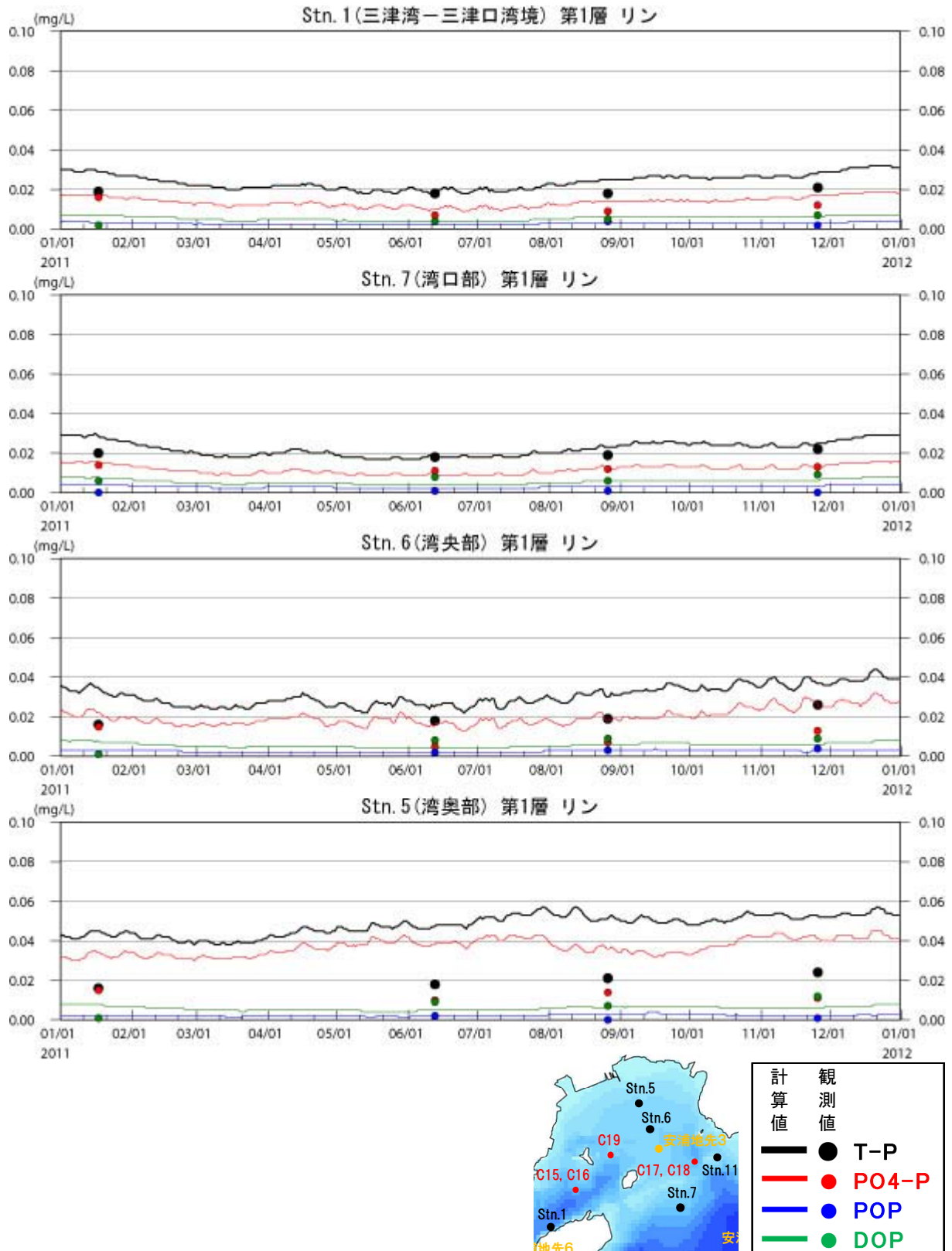


図 4.7(1) 水質時系列図 (リン)

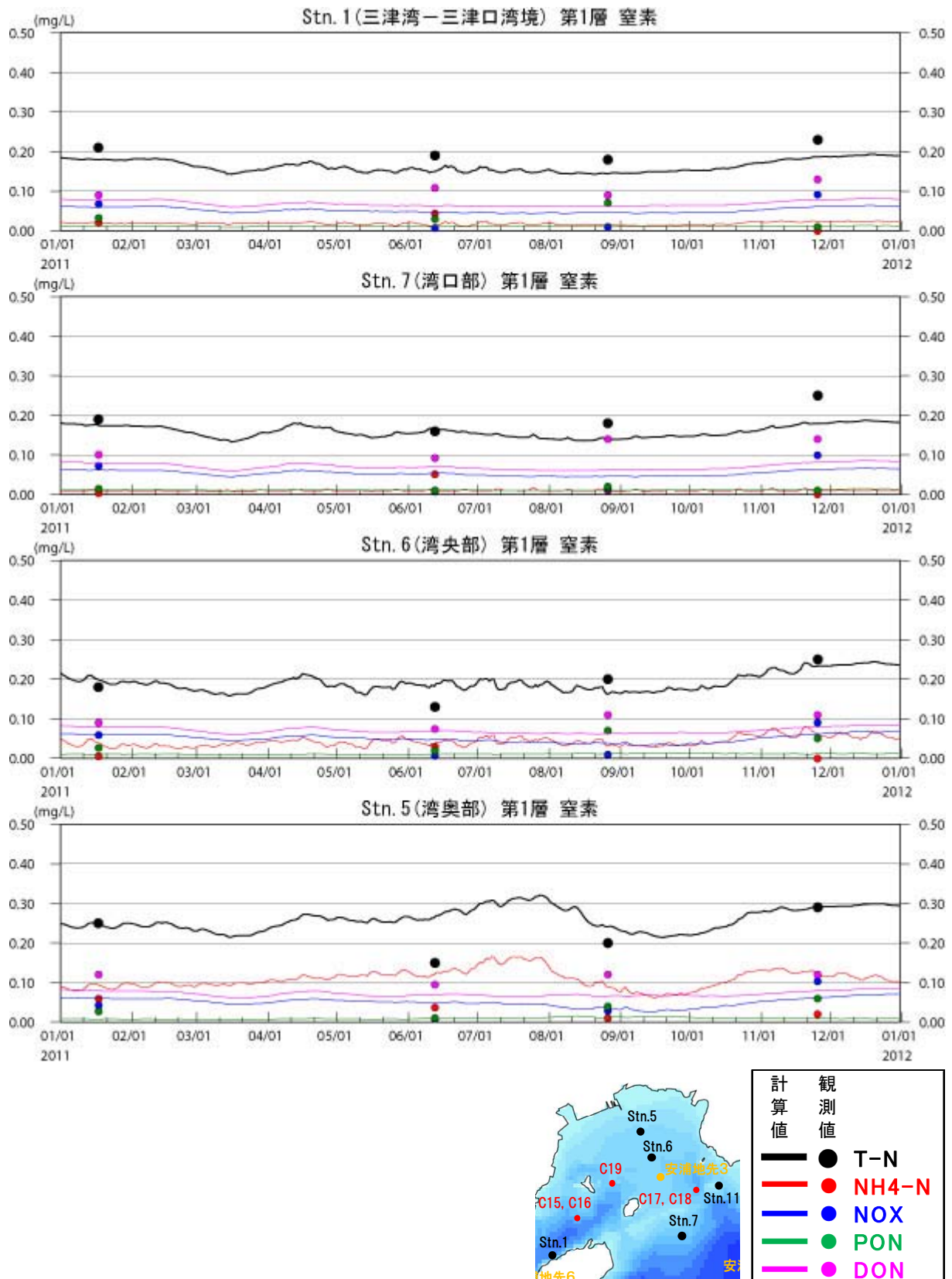


図 4.2 (2) 水質時系列図 (窒素)



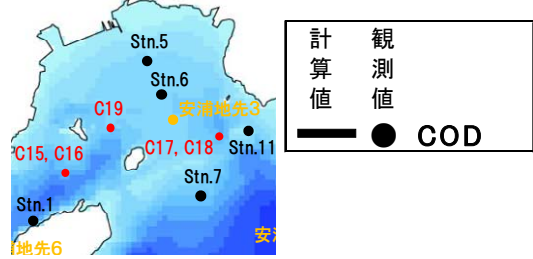
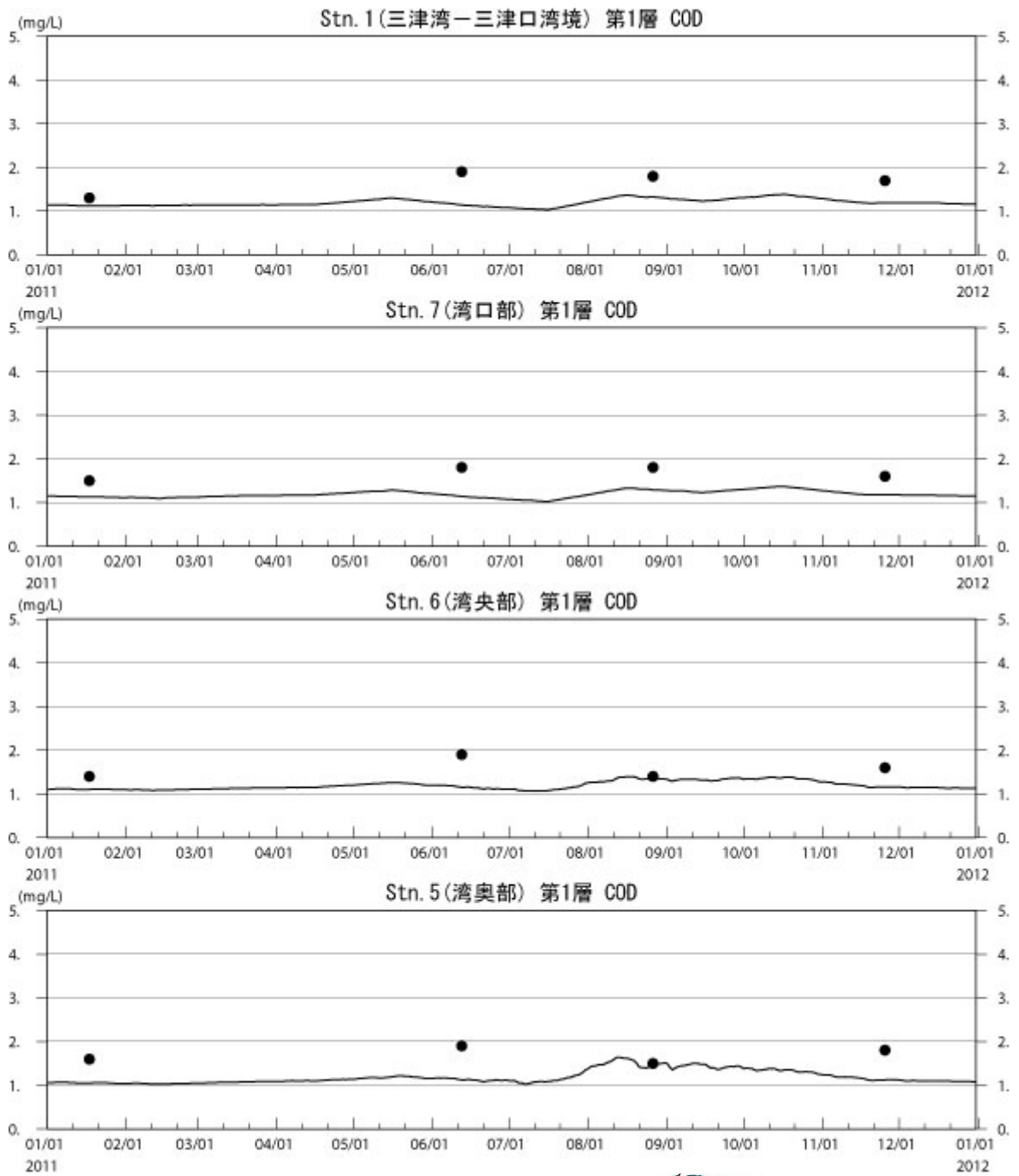


図 4.2 (3) 水質時系列図 (COD)

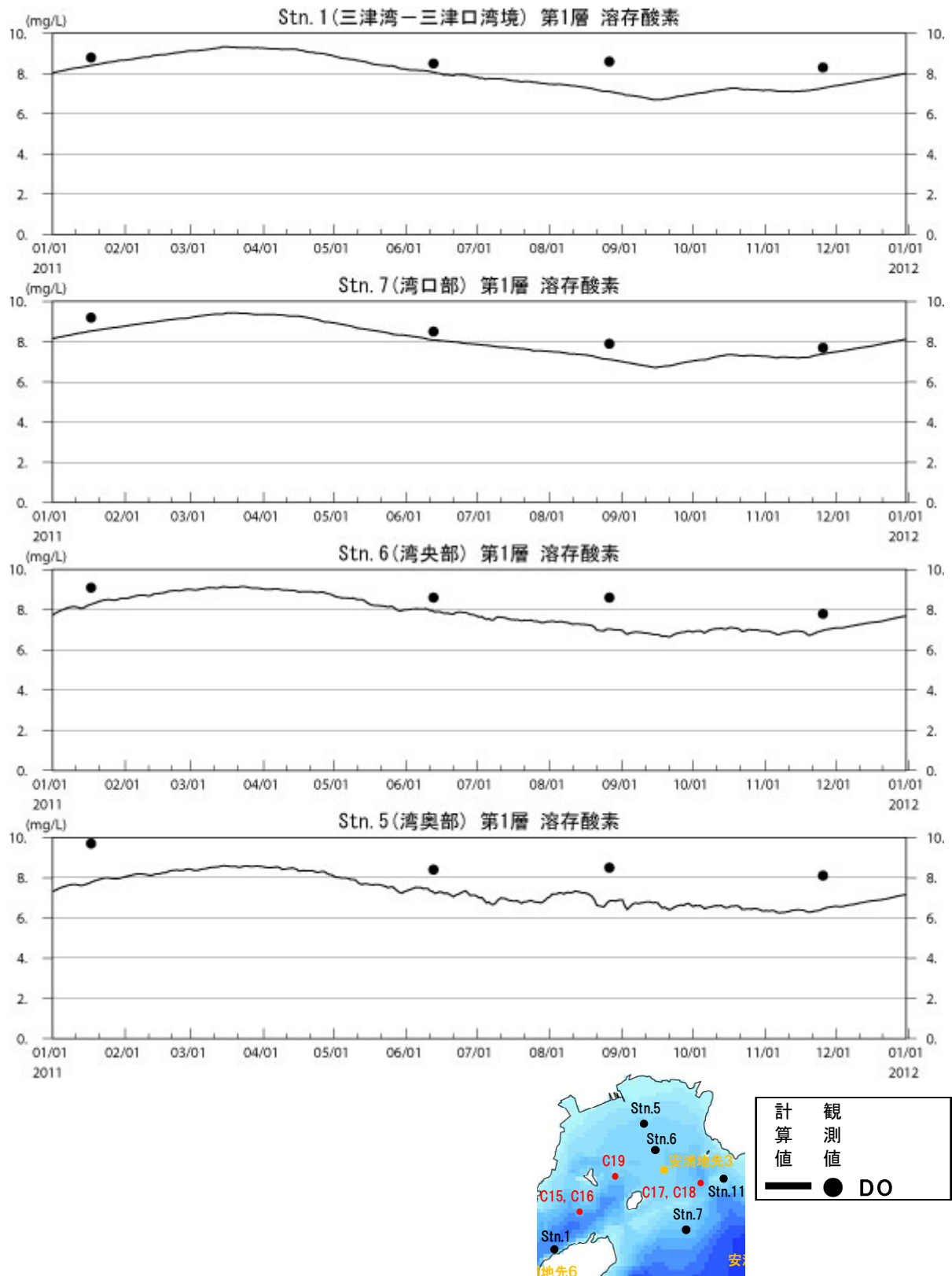


图 4.2 (4) 水质时系列图 (DO)

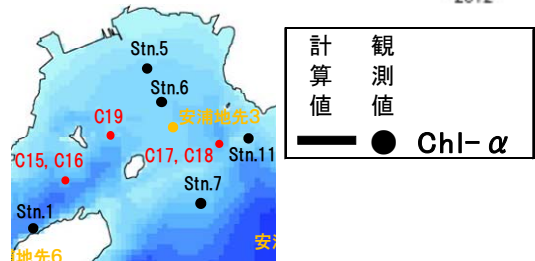
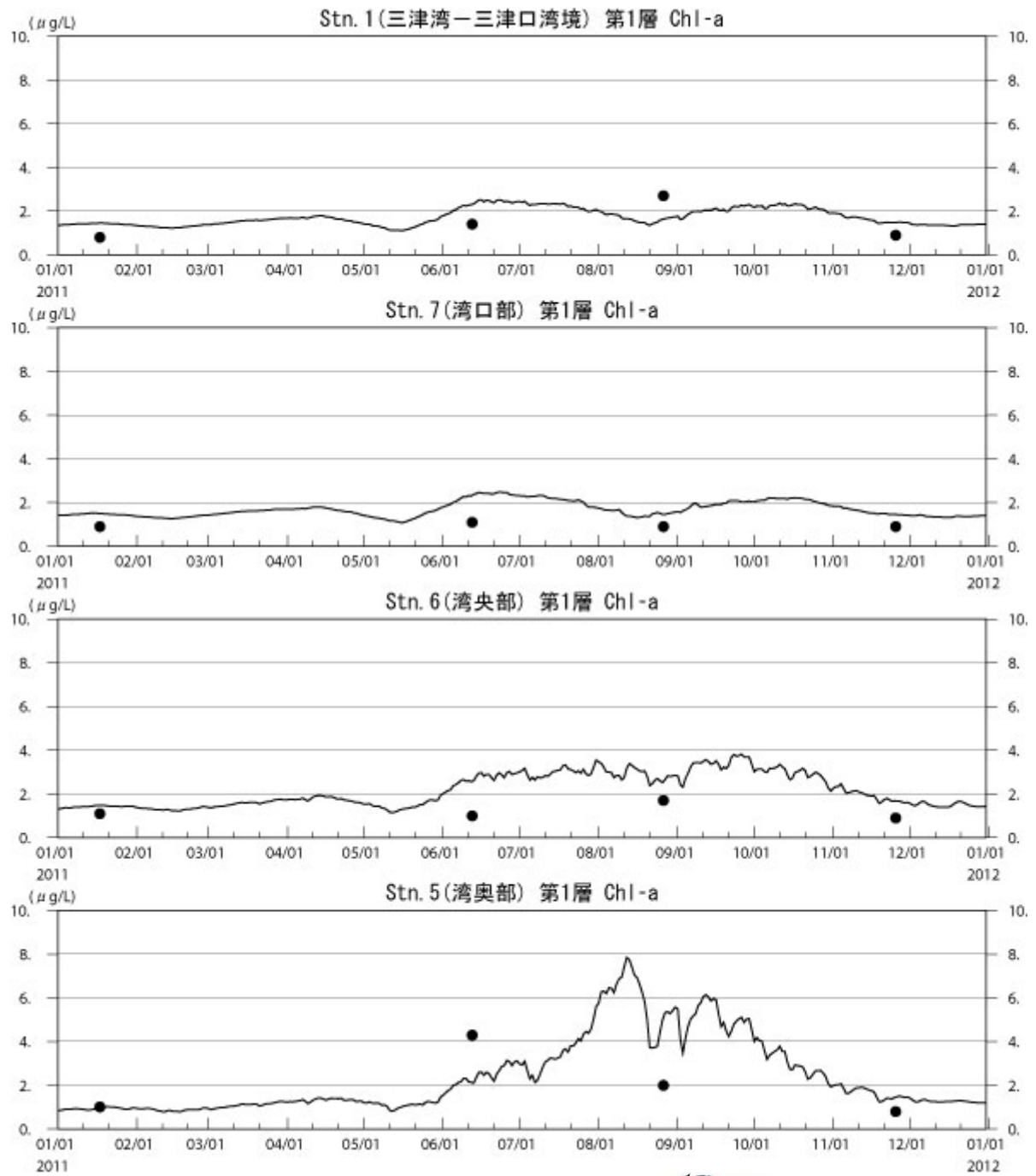


図 4.2 (5) 水質時系列図 (Chl-a)

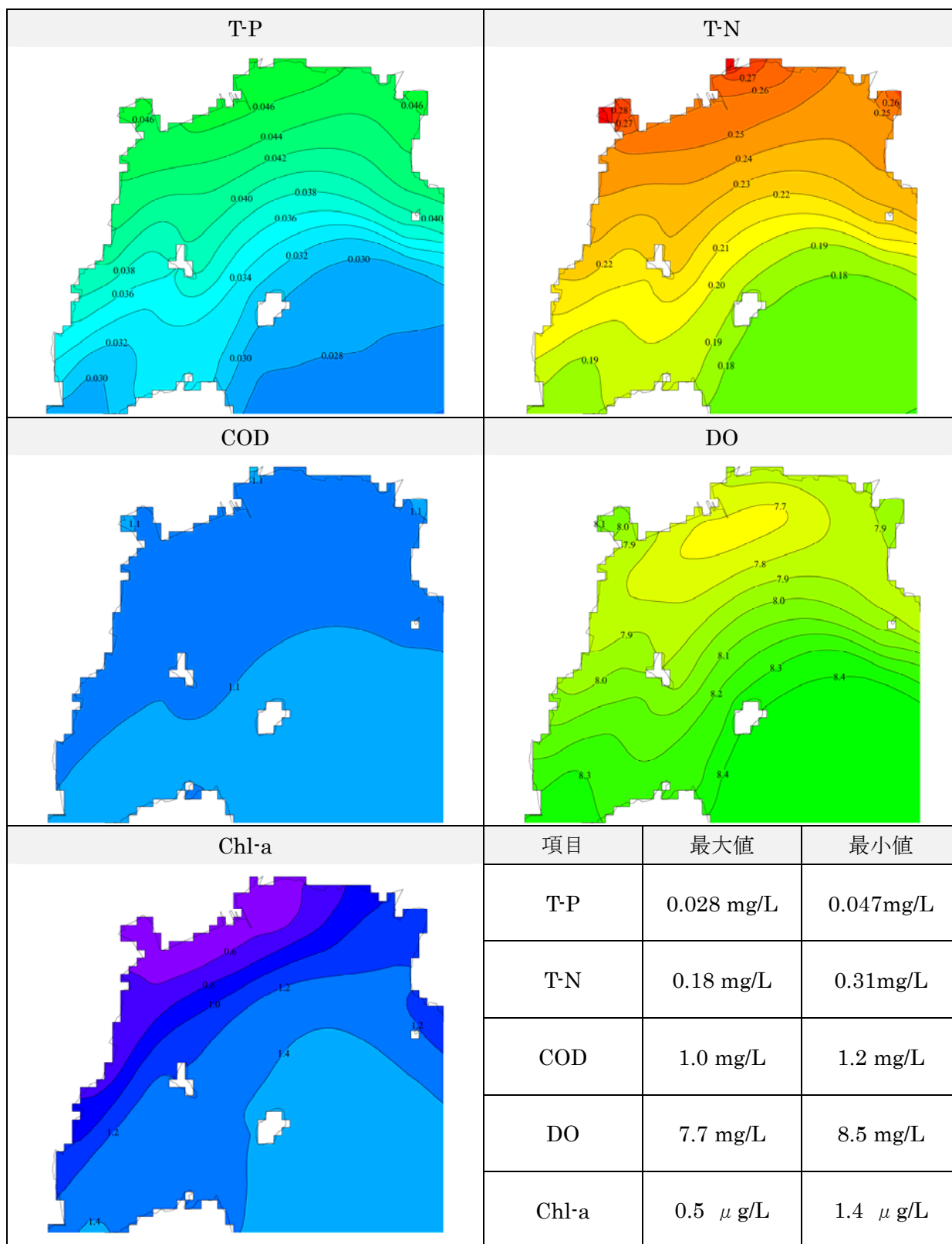


図 4.8 水質水平分布図と三津湾内の最大・最小値（1月平均値、モデル構築途中）

2) 底質・生物の計算結果

物質循環モデルの計算結果について、構築の途中ではあるが、図 4.9、図 4.10 にカキおよびアマモのボックス別現存量の時系列分布図を示す。今後は地域検討委員会より提供された資料や文献を基に、チューニングを行う。

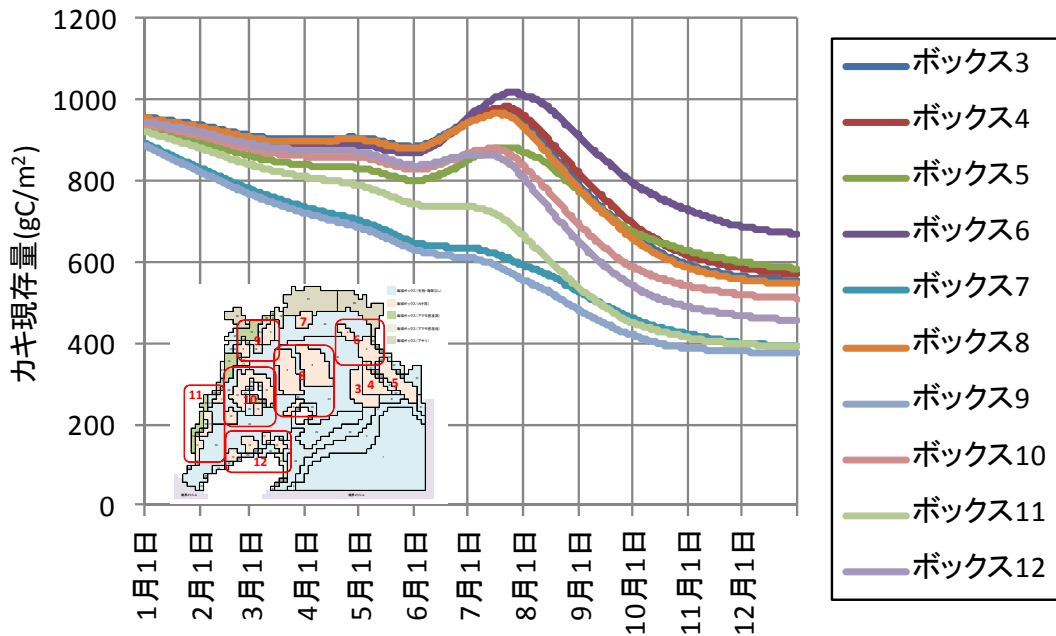


図 4.9 各ボックスにおけるカキの現存量時系列図

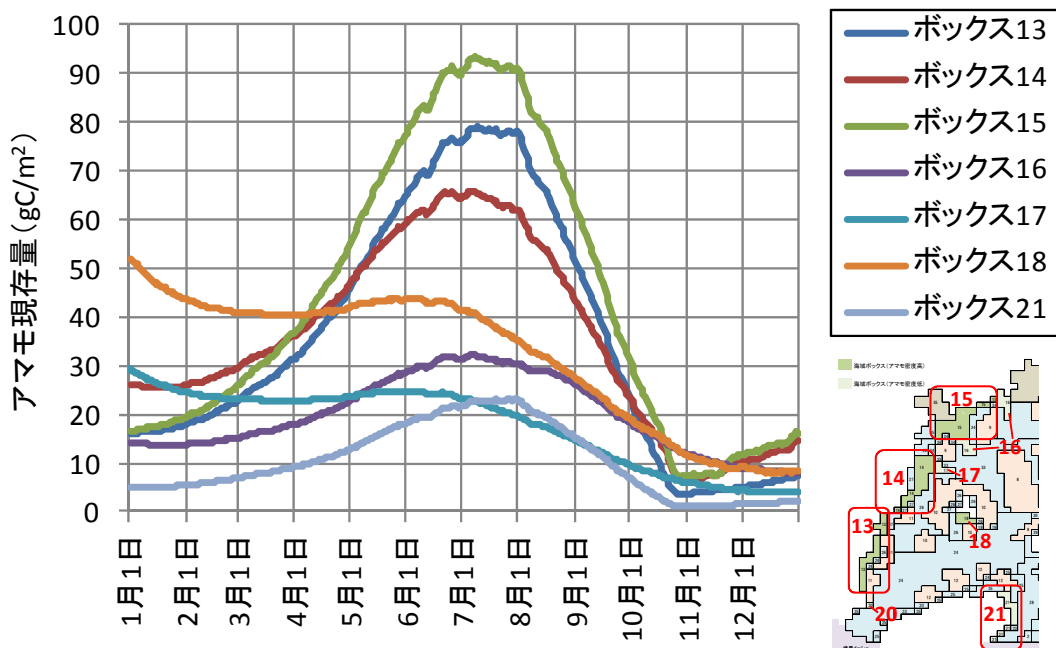


図 4.10 各ボックスにおけるアマモの現存量時系列図

### 3) 物質循環フラックスの計算結果

物質循環フラックスの計算結果について、構築の途中ではあるが、T-Nの結果を図 4.11 に示す。また、図 4.12 に T-N および各態の日平均移流フラックスの時系列変化を示す。三津湾への負荷は 30kg/日に対して、移流のオーダーが卓越している。また、移流フラックスは、大潮/小潮の周期で変化する。三津湾-三津口湾間は流れや湾内外の濃度勾配によって、流出・流入が変化する。三津湾湾口西部からは、日平均値では常に流入し、NOX、DON が卓越している。逆に、三津湾湾口東部からは常に流出し、同様に NOX、DON が卓越する傾向にあるものの、夏季は NH4 が窒素の各態の中で最も寄与が大きかった。

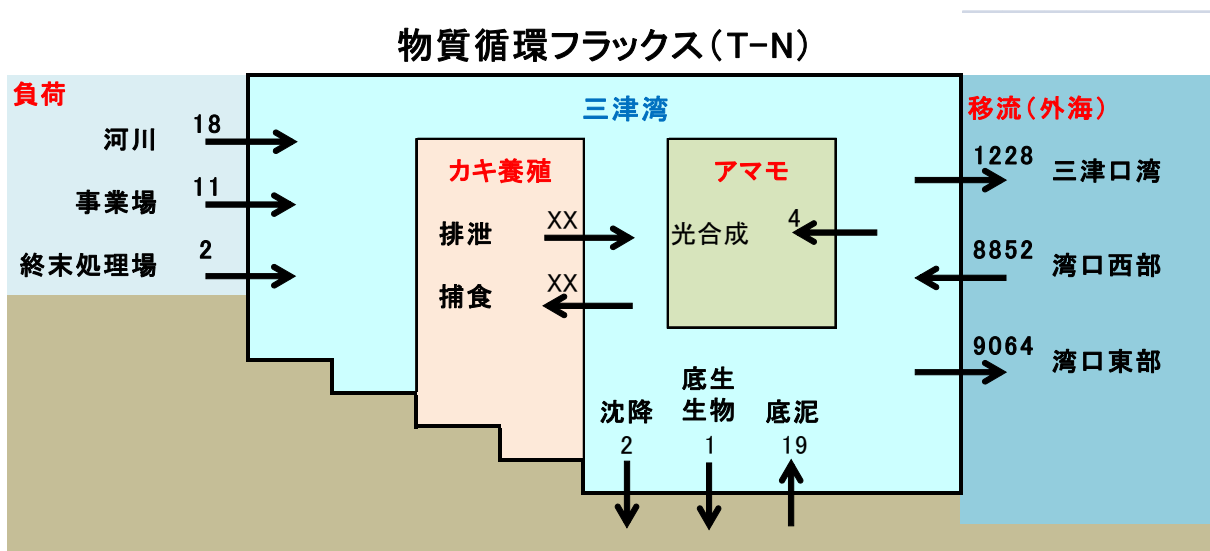


図 4.11 物質循環フラックス (T-N、構築途中)

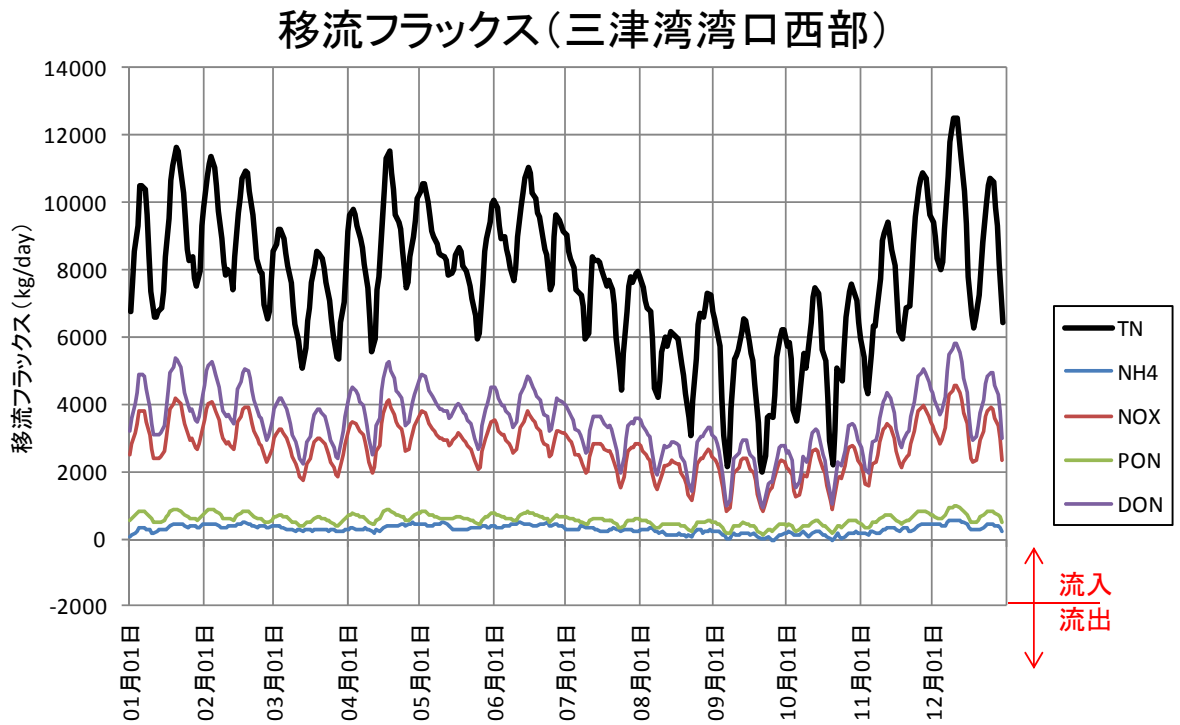
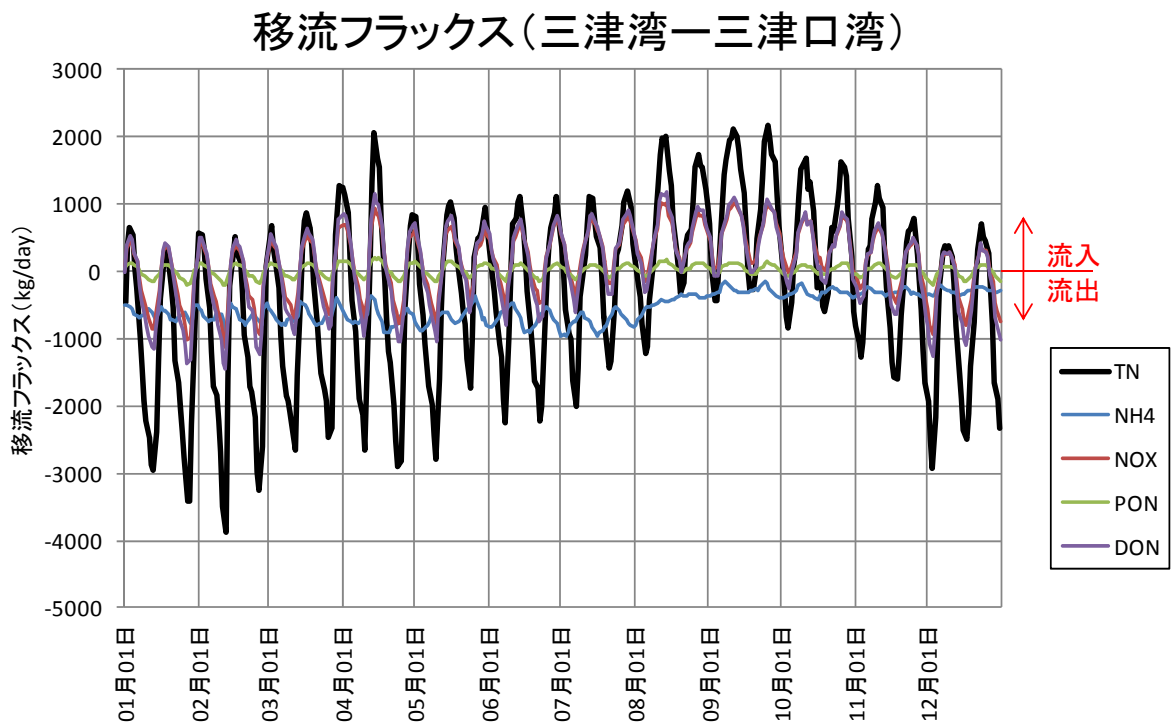


図 4.12(1) 移流フラックス (三津湾—三津口湾間、T-N、構築途中)

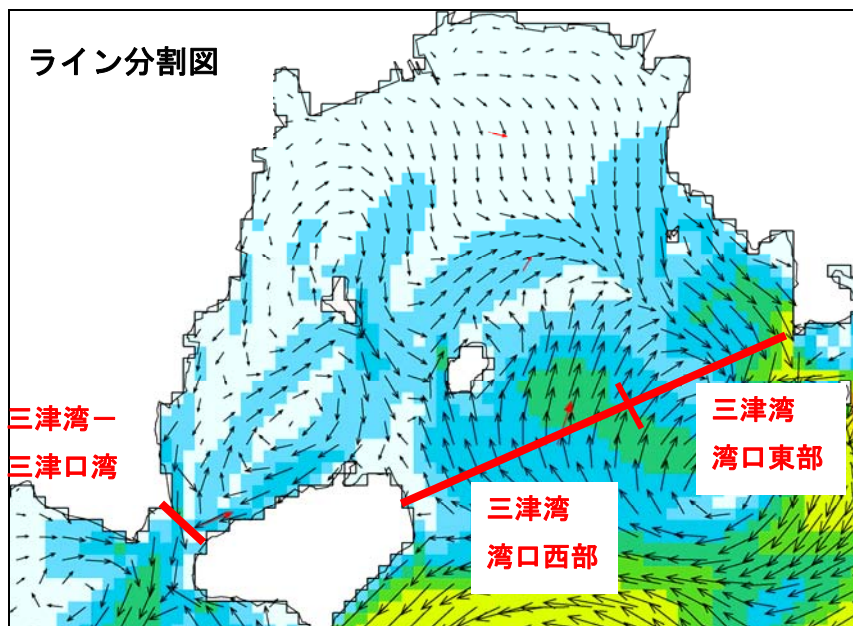
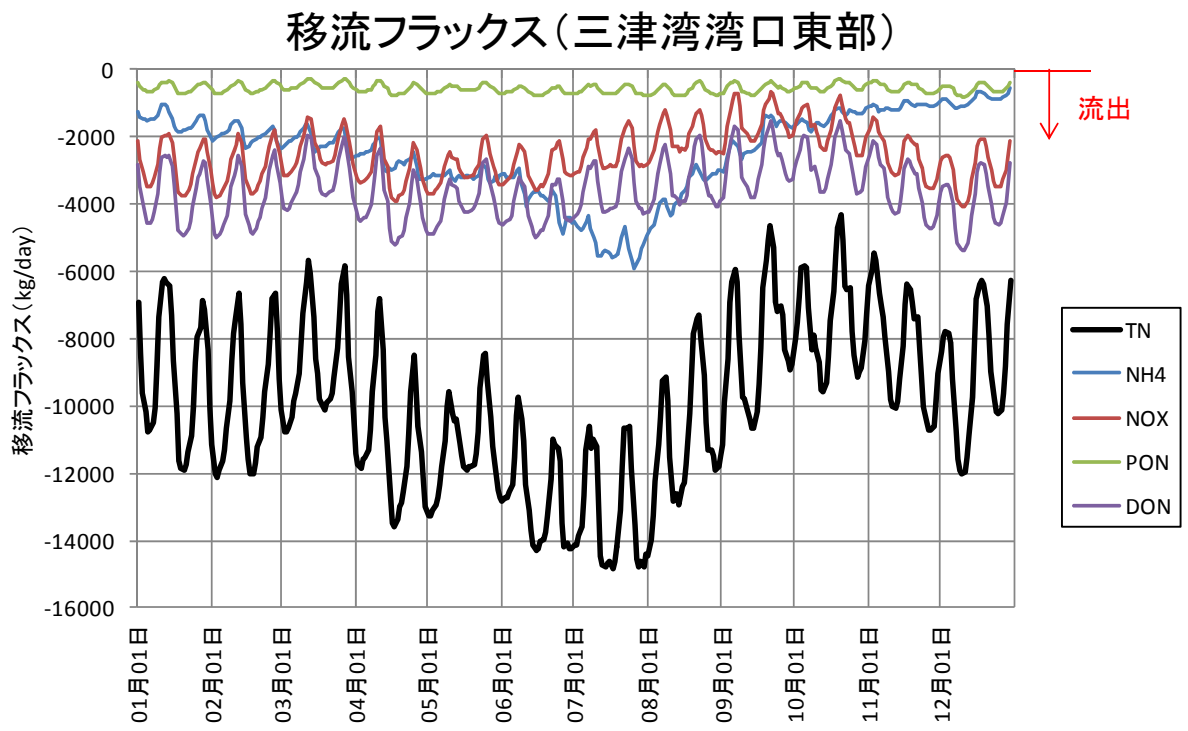


図 4.12(2) 移流フラックス (三津湾湾口東部、T-N、構築途中)



## 5. 今後の方針

今後は、物質循環モデルの構築（特に底質・生物関連）を進め、地域検討委員会と連携し、現地の情報、文献等からモデルの精度向上を図る。また、物質循環図等を用いて改善方策の評価を行い、実証試験の選定資料とする。