

2. 流況

2.1 潮流シミュレーション

2.1.1 実施方針およびモデル概要

潮流シミュレーションでは、「三番瀬の流れの現況（2008年度）を表現し、観測値だけでは把握できない三番瀬の面的な流れの情報を提供する」ことを目的としている。そこで、以下の着目点に対応が可能なモデルとして、一般鉛直座標系（Generalized Coordinate System）を導入した「GCSモデル」を採用した。

【着目点】

- 三番瀬は 5m 以浅と浅い海域であり、護岸形状や市川航路、船橋航路、防泥柵や滯筋等の地形が複雑であり、**詳細な地形表現が必要**
- **海域の水塊構造の変化（成層期、混合期）を表現**すること。とくに夏季においては、躍層が時間的に変動する様子が補足調査で把握されており、鉛直層分割を工夫する必要がある。
- 2008年度（平成20年度）の現地調査では、江戸川放水路からの出水があり、**河川水の挙動を表現し、水温・塩分の水質変化の時空間的变化を把握**する必要がある。
- 風の影響によって生じる**吹送流の表現**（夏季と冬季の季節風の効き方など）



【モデルの選定条件】

- 水平格子間隔を詳細に表現することが可能（地形表現）
- 5m 以浅の浅海域を詳細な層区分が可能（吹送流および河川水の挙動の表現）
- 時々刻々と変化する風の影響を考慮（混合層厚の変化を表現）
- 浅海域での干出、水没を考慮することが可能

レベルモデル	シグマ座標モデル	GCSモデル
<ul style="list-style-type: none"> ・ 表層厚の制限により河川水の挙動の表現低下 ・ 海底地形に沿う流れの表現低下 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海底地形に沿う流れの表現向上 ・ 航路等の地形急変部で座標の歪みによる計算誤差が生じる ・ 水深の深い場所では上層が厚くなり表層近くの成層の表現低下 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自由度に富んだ鉛直格子の設定が可能 ・ 表層厚を薄くし、河川水の挙動の表現向上 ・ 層区分の工夫により地形急変部の表現向上

図 2.1 各モデルの鉛直層分割のイメージ

2.1.2 進捗状況の概要

表 2.1 潮流シミュレーションによる検討の進捗状況(平成 22 年 11 月 18 日現在)

計算格子	図 2.2 参照	
水深	図 2.3 参照 東京湾全域：海底地形デジタルデータ(M7001、海上保安庁) 三番瀬周辺：2008 年度(平成 20 年度)の深浅測量成果 1994 年度(平成 6 年度)の深浅測量結果(三番瀬の沖合)	
気象条件	<ul style="list-style-type: none"> 風条件：行徳²及び東京灯標、千葉灯標の風データを整理した結果、千葉灯標の風を採用 気温, 日射量, 雲量※, 相対湿度, 降水量：行徳 ※)雲量は千葉測候所(気象庁) 	
計算境界の水温・塩分	<ul style="list-style-type: none"> 千葉県水産総合研究センターが実施している東京湾(湾口)の水質調査データを採用(2008 年度) 	
淡水流入量	河川	<ul style="list-style-type: none"> 荒川、江戸川(可動堰を含む)、中川、多摩川、鶴見川：毎時流量を収集(行徳可動堰は 8/31 7:24 開放開始, 9/1 14:10 閉鎖開始) その他の河川：流域面積と降水量から季節毎の平均流量を算定
	下水処理場	<ul style="list-style-type: none"> 千葉県：2004 年度(平成 16 年度)データを収集 東京都及び神奈川県：2008 年度(平成 20 年度)データを収集
	工場・事業場	<ul style="list-style-type: none"> 1994 年度(平成 6 年度)データ(補足調査)を使用
再現の検証データ	【流況】 <ul style="list-style-type: none"> 2008 年度(平成 20 年度)調査結果及びその他の調査結果(1990 年度, 1996 年度, 1999 年度) 【水温・塩分】 <ul style="list-style-type: none"> 2008 年度(平成 20 年度)調査結果 	
2008 年度 夏季・秋季・冬季の 再現性	<ul style="list-style-type: none"> 潮位および潮流については概ね良好 平均流は概ね良好 水温・塩分の再現性に課題あり 夏季の出水時および青潮時の流況について解析 第 2 回作業部門検討会へ報告後、再現性について継続して検討中 	

2.1.3 計算条件

再現計算期間は、2008 年 6 月～2009 年 3 月のうち、夏季、秋季、冬季を対象に抽出した 1 ヶ月程度の代表期間とした(表 2.2)。再現計算期間の抽出については、江戸川放水路の出水時や冬季の季節風卓越時などのイベントを中心に選定した。

なお、密度の成層状況の再現の観点から、2 ヶ月程度の助走計算を実施した。

表 2.2 潮流モデルの再現対象期間

季節	再現対象期間の抽出の考え方
夏季 (6～9月)	行徳可動堰の開放及び青潮発生時が含まれる期間が妥当 ⇒ 2008 年 8 月中旬～9 月中旬の 1 ヶ月間
秋季 (10～12月)	気象条件の変化や現地調査結果で目立った違い、イベントなどがない ⇒ 2008 年 11 月の 1 ヶ月間
冬季 (1～3月)	冬季の季節風(北風)が卓越する時期 ⇒ 2009 年 1 月の 1 ヶ月間

計算範囲の水平格子分割を図 2.2 に、水深分布を図 2.3 に示す。

² 東京湾海象情報システム(千葉県漁業協同組合連合会)

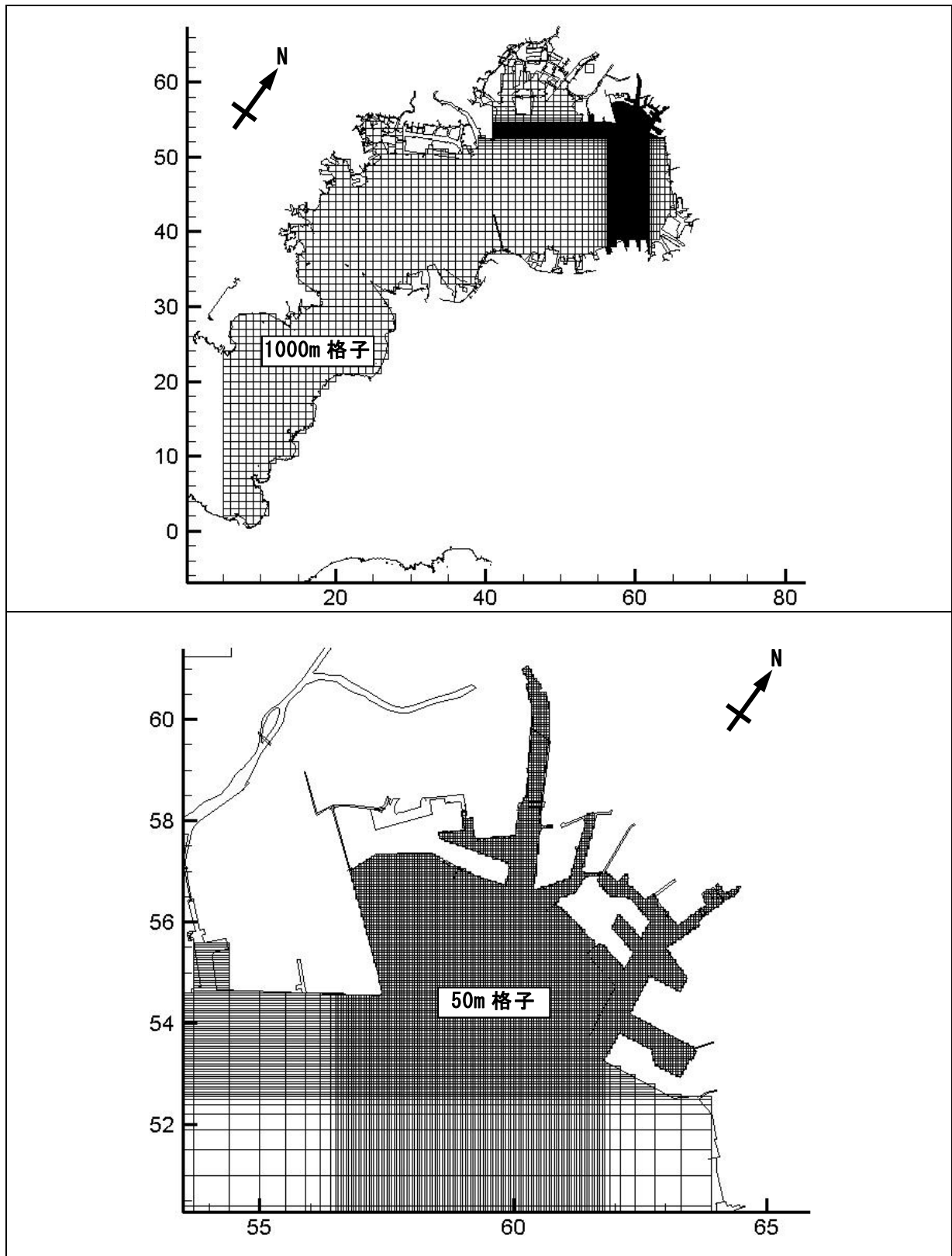


図 2.2 計算範囲の水平格子分割(可変長格子を採用)

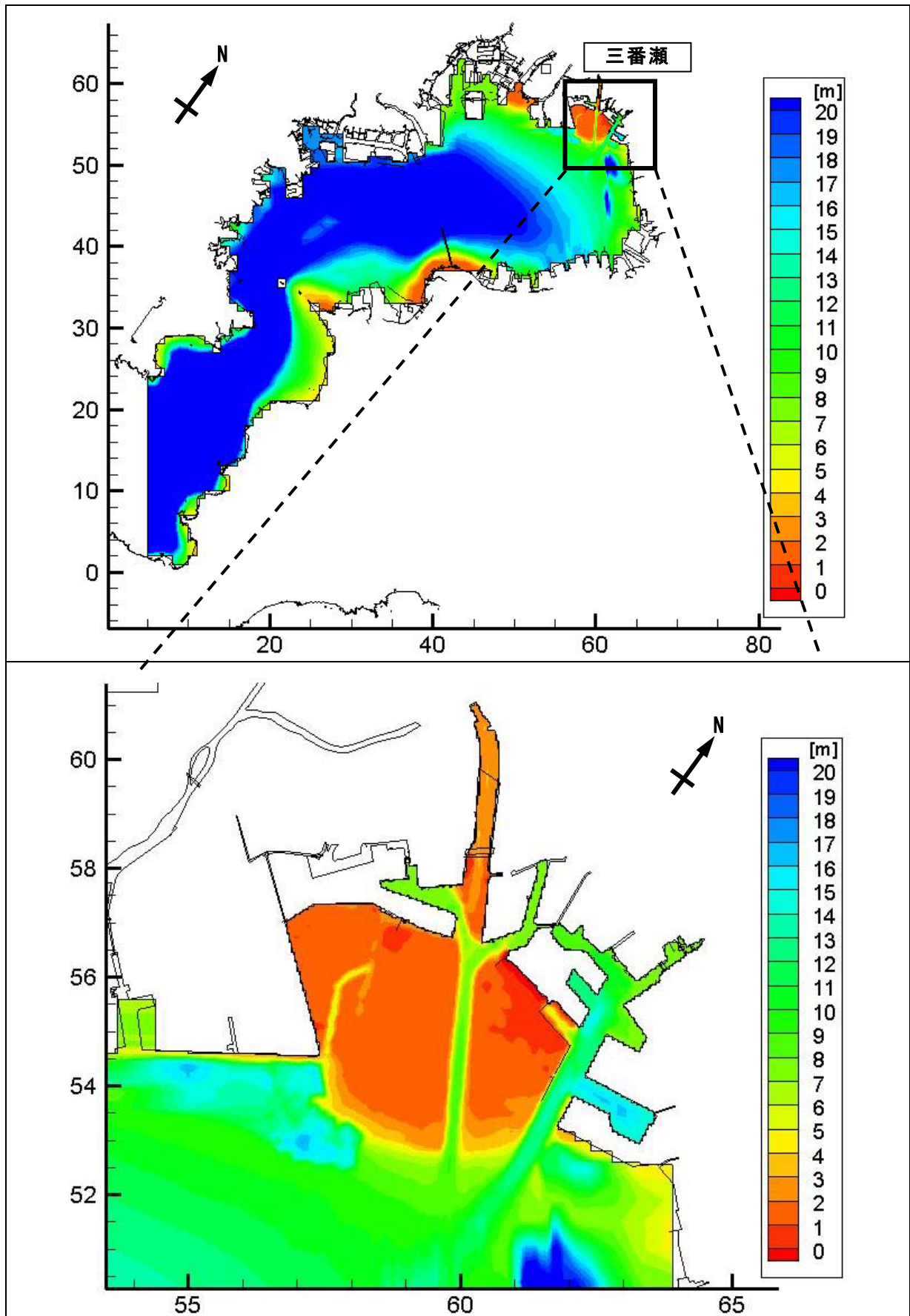


図 2.3 計算範囲の水深分布

代表断面の鉛直層分割（15層）を図 2.4 に示す。

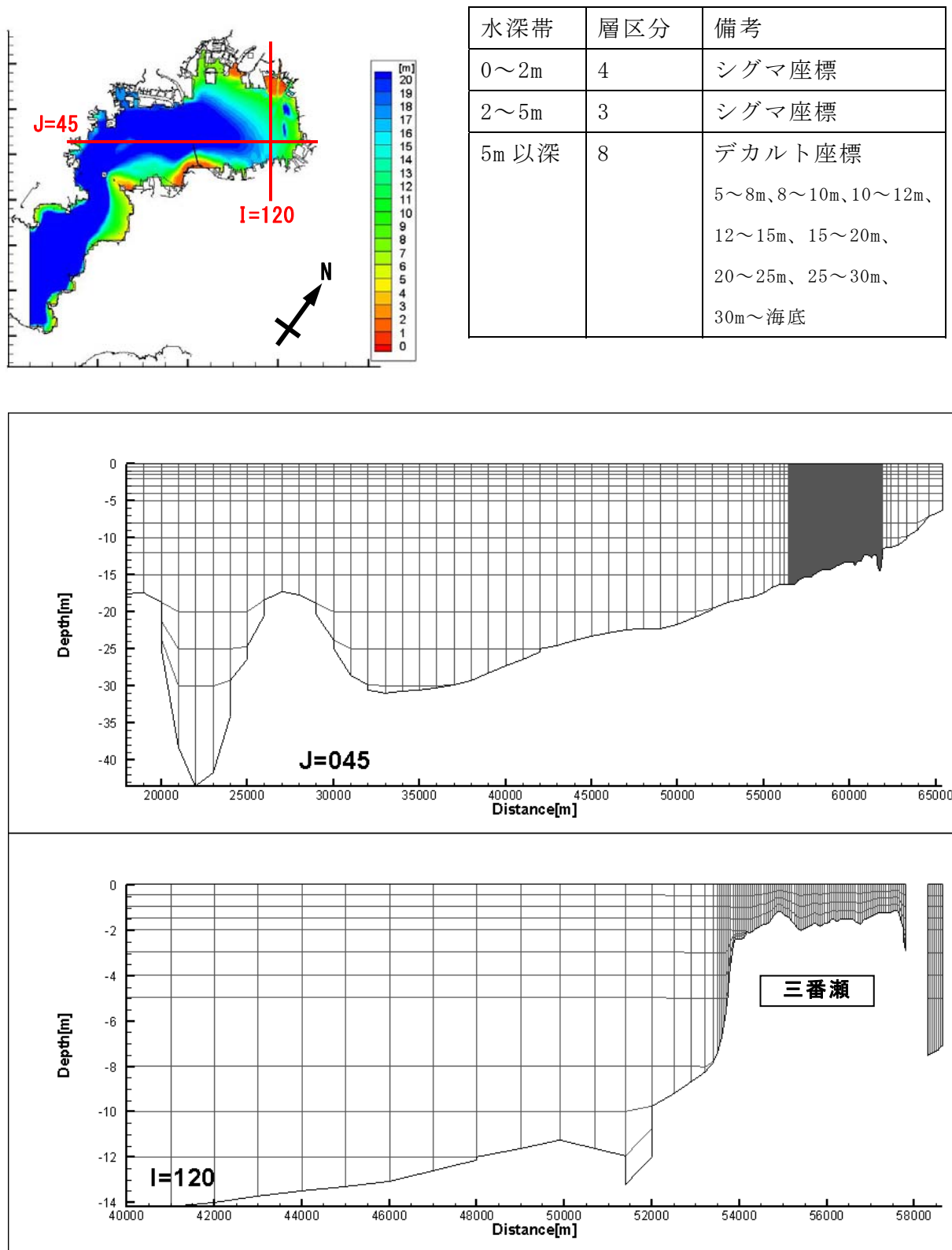


図 2.4 代表断面の鉛直層分割

2.1.4 モデルの再現性の検証

(1) 2008 年度夏季

1) 潮位

主要 4 分潮の潮位振幅と遅角の比較および潮位経時変化の比較を図 2.5 に示す。

各分潮の相対的な振幅の違いや湾口(横須賀)に比べて湾奥(千葉)で M_2 分潮の振幅が増幅している状況などが良好に再現できている。

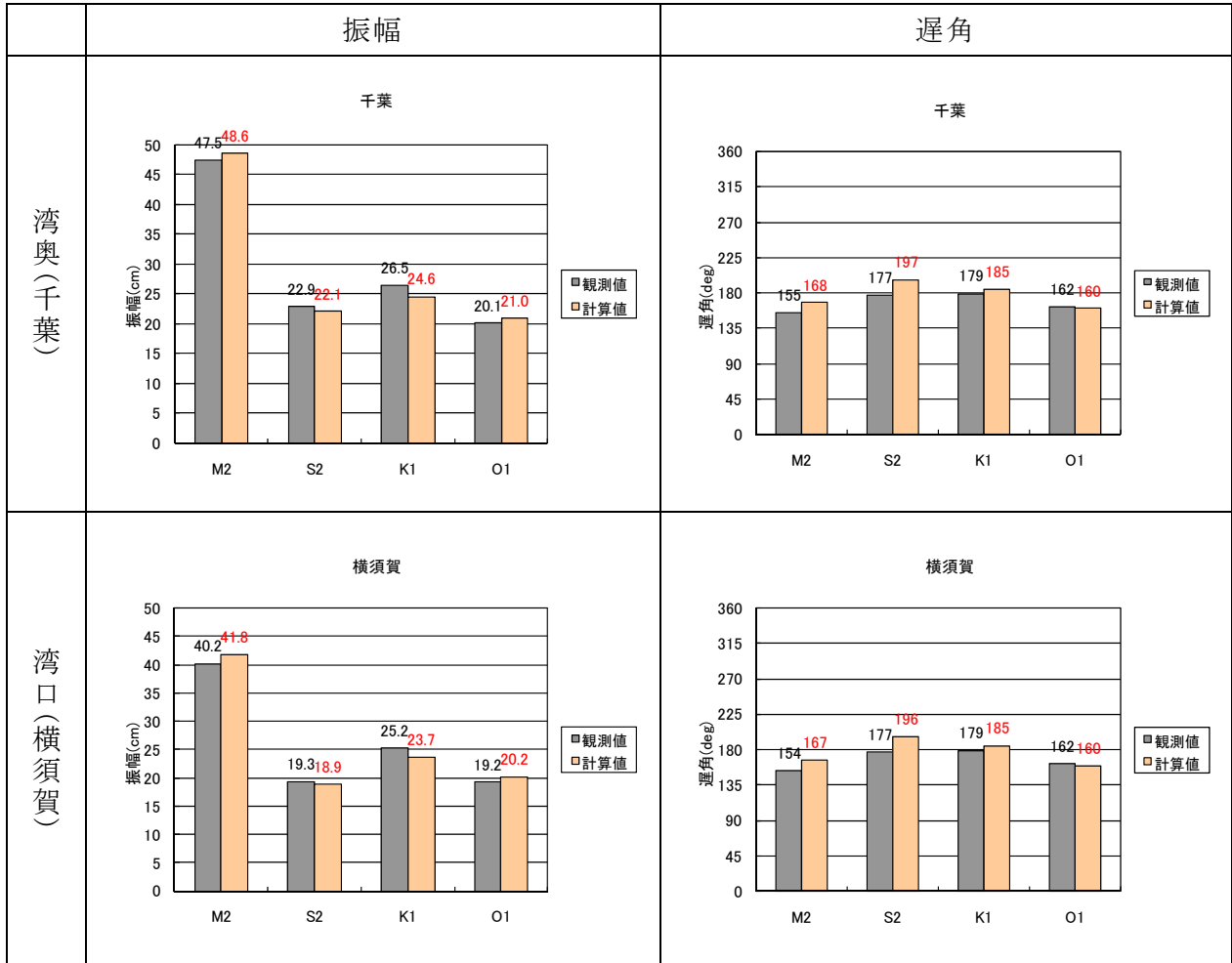
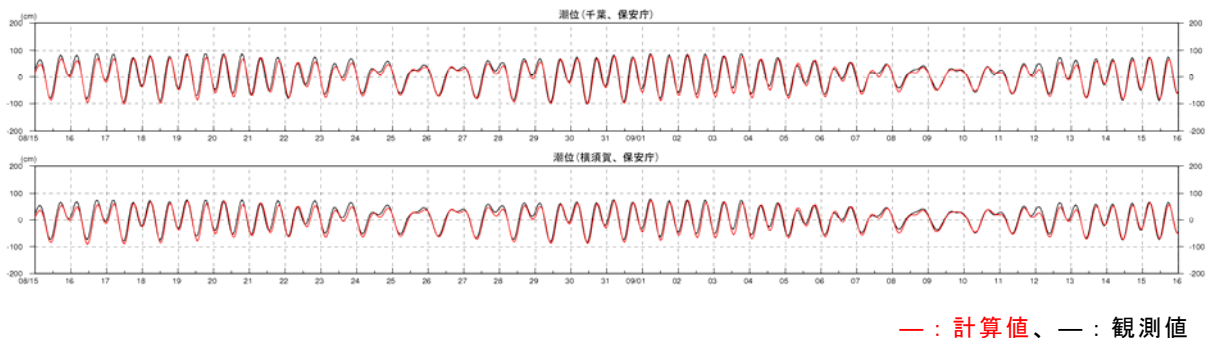


図 2.5(1) 主要 4 分潮の潮位振幅と遅角の再現性



— : 計算値、— : 観測値

図 2.5(2) 再現期間における潮位経時変化の再現性

2) 潮流

潮流は、表 2.3 に示すデータを用いて、三番瀬内および東京湾内(沖合)の再現性を検証した。三番瀬内の 3 地点における主要 4 分潮の潮流の比較を図 2.6(1)に、沖合の潮流の比較を図 2.6(2)に示す。

三番瀬内においては Stn.2 の M_2 分潮の計算値の大きくなっているが、Stn.1 に比べて Stn.2 や Stn.3 の潮流が大きいという地点間の傾向、潮流の回り方向などが良好に再現できていると考えられる。また、沖合の地点においても、潮流の計算値は観測値と概ね一致している。

表 2.3 潮流楕円の検証データ

検証エリア	観測年度	出典
三番瀬内	2008 年度	平成 20 年度 三番瀬水環境モニタリング調査
東京湾内	1990 年度	平成 2 年度 南地区流況現況調査
	1996 年度	平成 8 年度 環境対 検討調査 (その 7)

3) 平均流

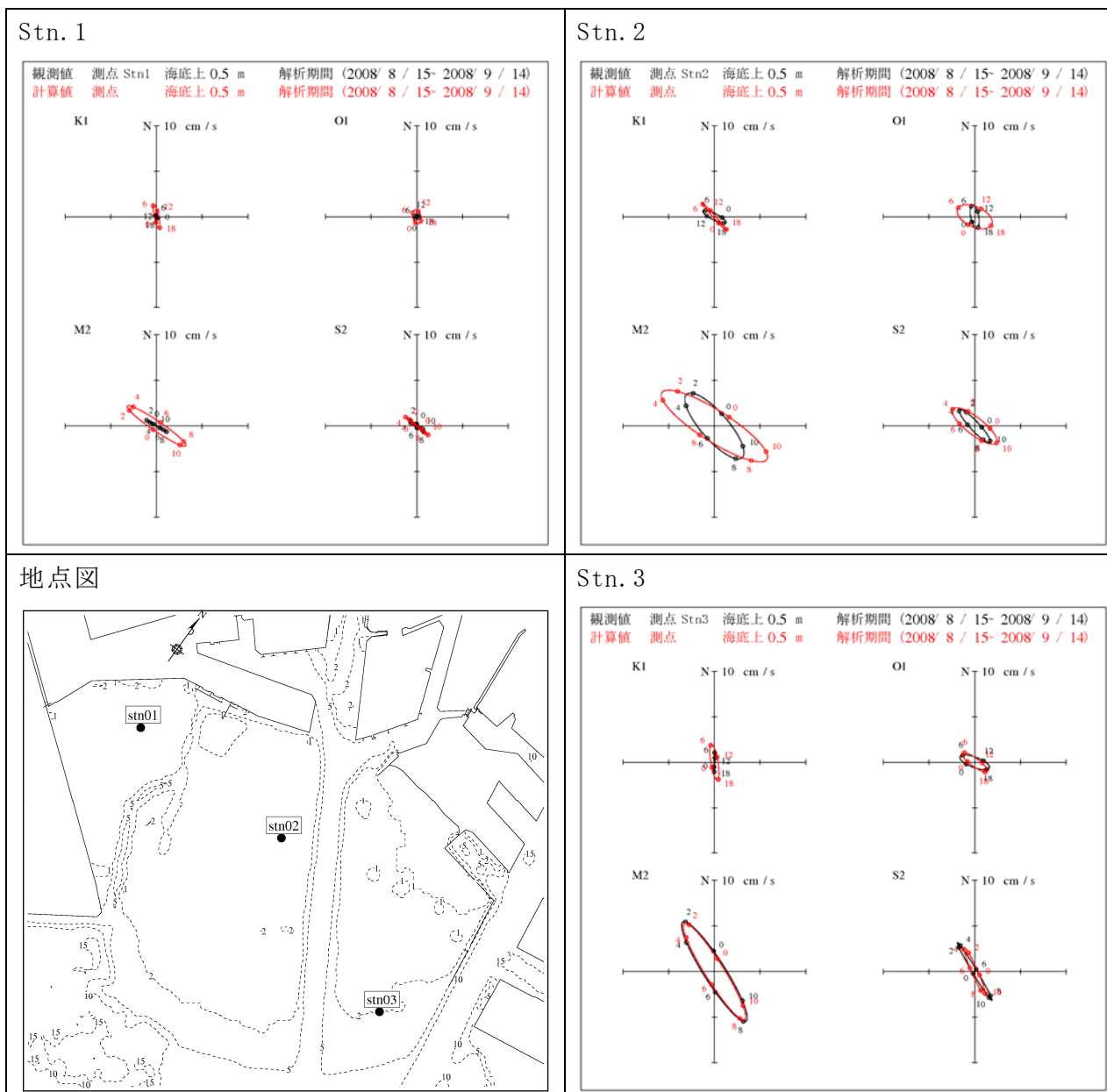
2008 年 8 月 15 日～9 月 14 日における平均流の観測値と計算値の比較を図 2.7 に示す。の平均流ベクトルを比較すると、Stn.1 の平均流、Stn.2 の南西流および Stn.3 の西流が概ね再現できていると考えられる。

4) 経時変化 (流速・水温・塩分)

再現期間における流速・水温・塩分の経時変化の比較を図 2.8 に示す。

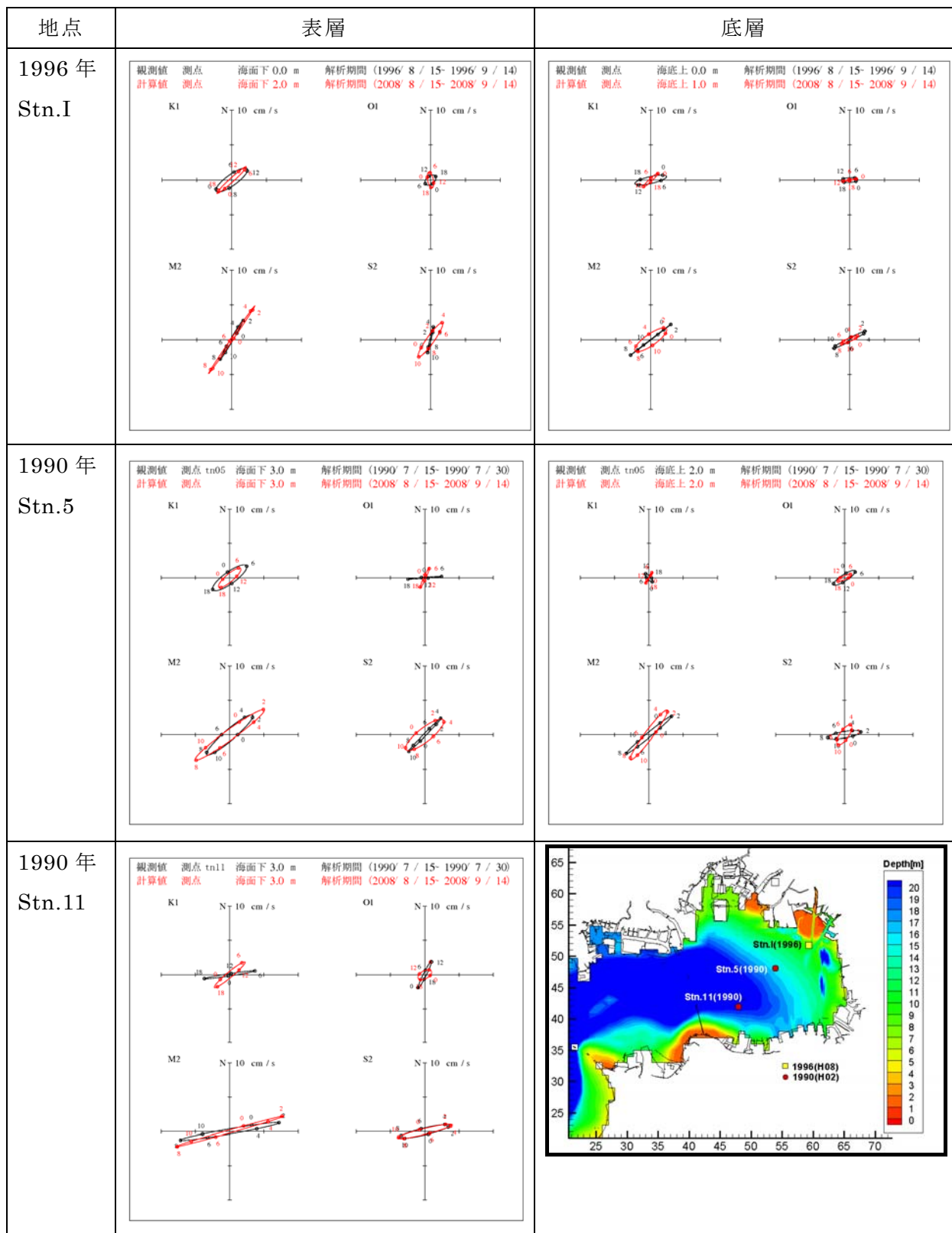
流速の経時変化をみると、Stn.1 では、観測値に比べて計算値の方がやや大きい傾向となっている。Stn.2 および Stn.3 では、流速の変動パターンや大きさは良い一を示している。

水温の計算値は観測値を概ね再現できているが、計算値の塩分が観測値よりも小傾向となっている。



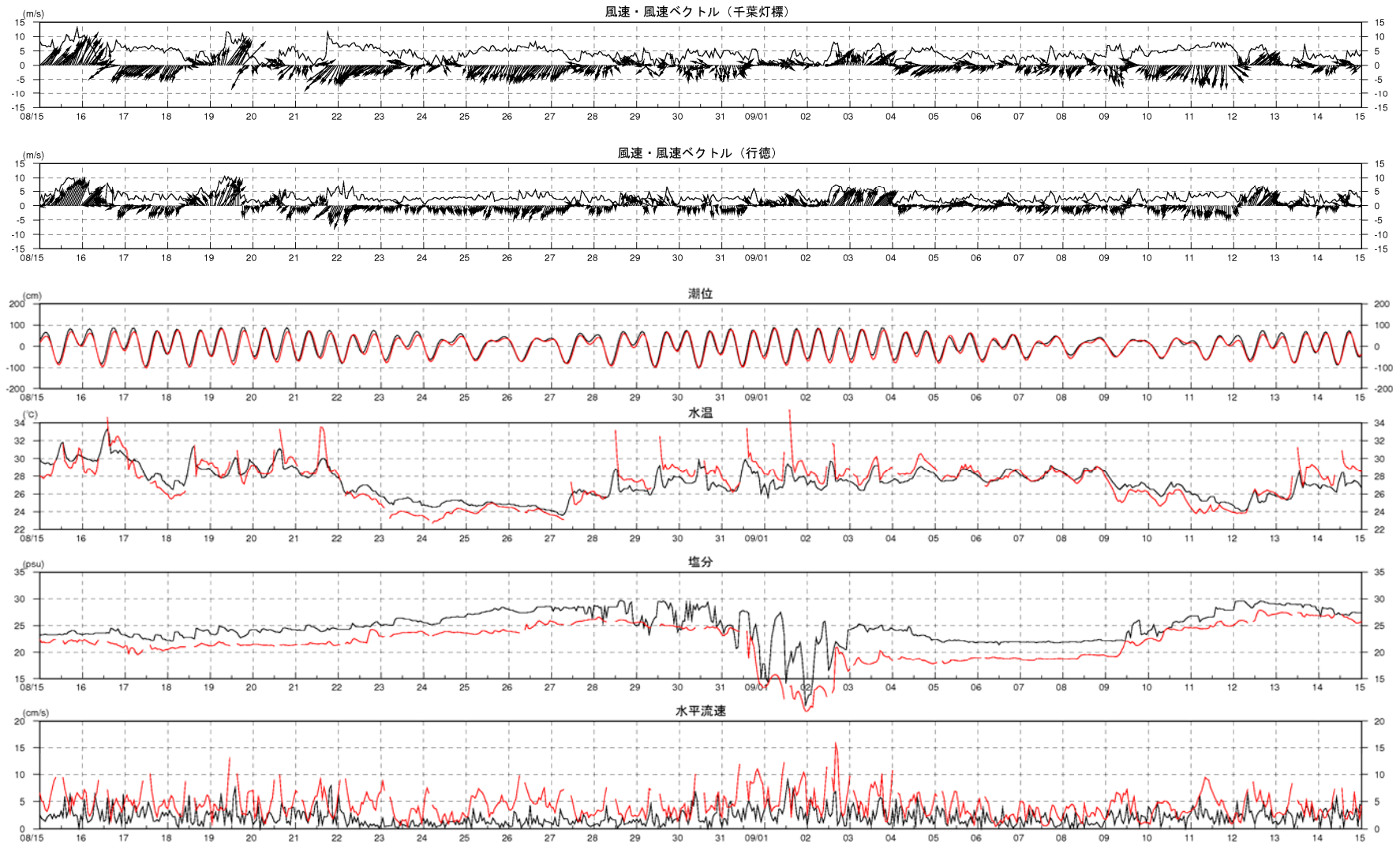
注) 観測値：平成 20 年度 三番瀬水環境モニタリング調査より

図 2.6(1) 主要 4 分潮の潮流楕円の再現性(2008 年度夏季、底層[海底上 0.5m])



注)観測値：平成2年度 南地区流況現況調査、平成8年度 環境対 検討調査（その7）より

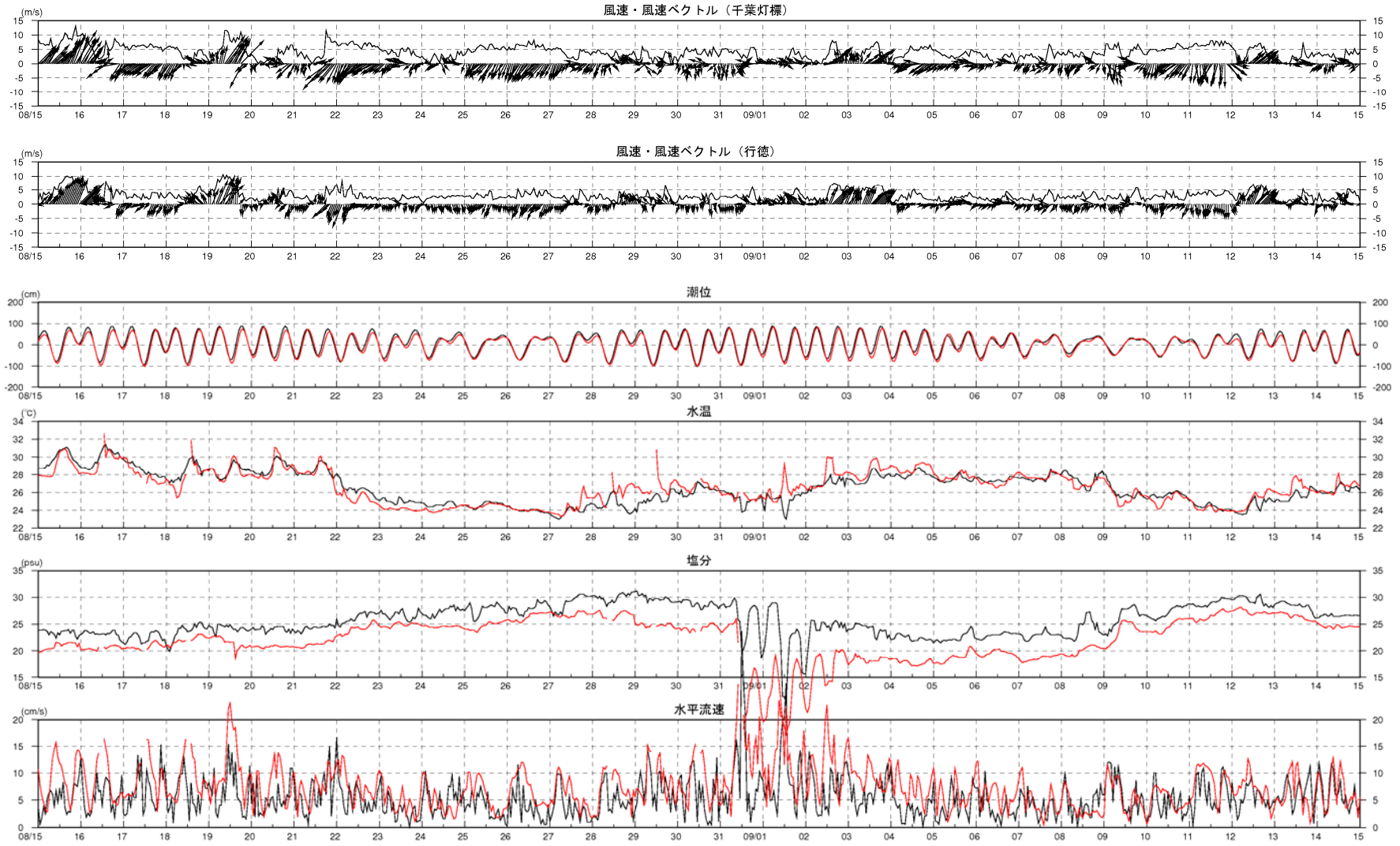
図 2.6(2) 主要4分潮の潮流楕円の再現性(2008年度夏季、沖合、参考)



注)再現性については継続して検討中であり、上図は検討の結果である。

—：観測値、- -：計算値

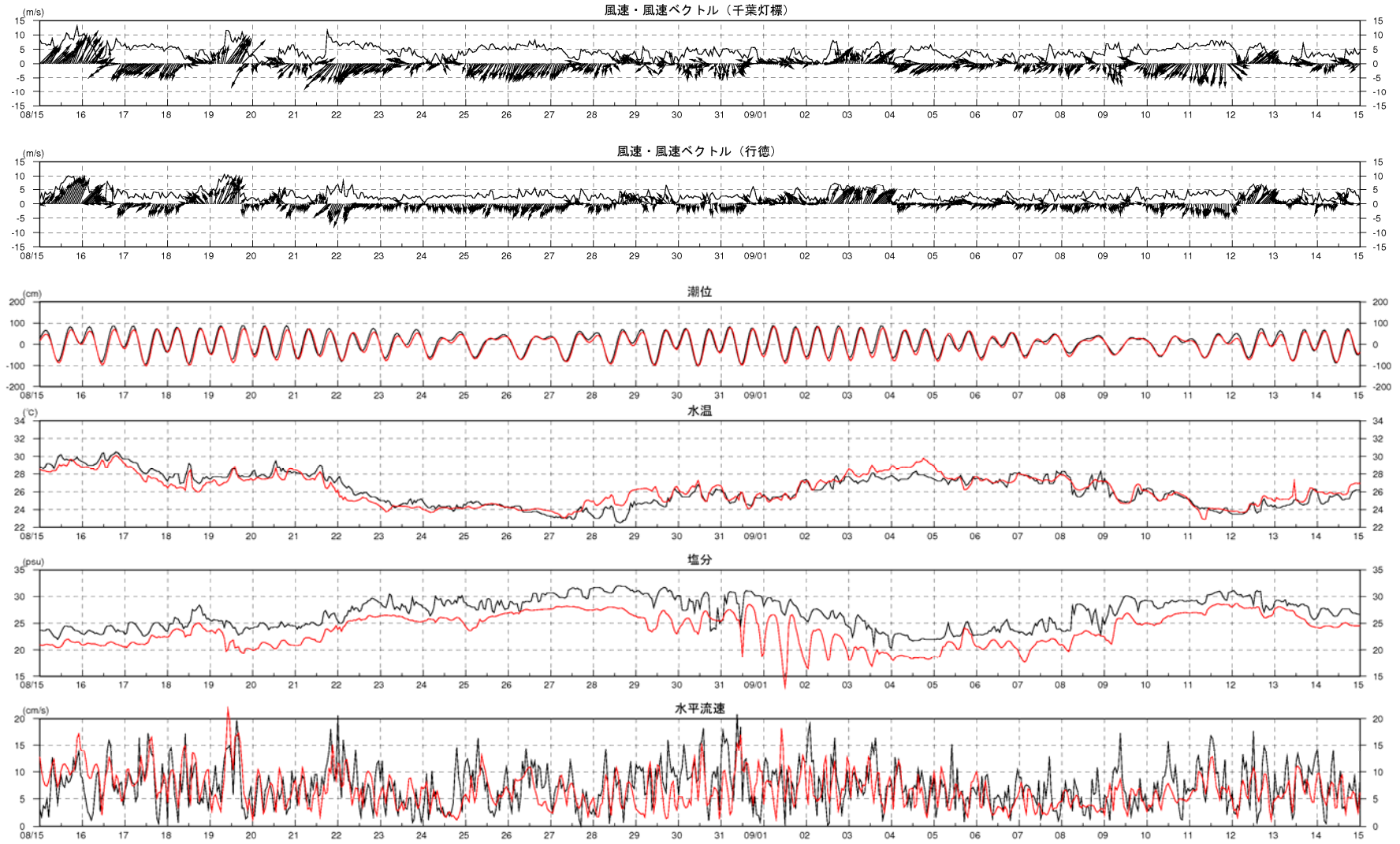
図 2.8 (1) 水温・塩分経時変化の再現性(2008年度夏季、Stn. 1、底層[海底上 0.5m])



注)再現性については継続して検討中であり、上図は検討の結果である。

—: 観測値、—: 計算値

図 2.8 (2) 水温・塩分経時変化の再現性(2008年度夏季、Stn. 2、底層[海底上 0.5m])



注)再現性については継続して検討中であり、上図は検討の結果である。

—: 観測値、—: 計算値

図 2.8 (3) 水温・塩分経時変化の再現性(2008年度夏季、Stn. 3、底層[海底上 0.5m])

(2) 2008 年度秋季

1) 潮位

主要 4 分潮の潮位振幅と遅角の比較および潮位経時変化の比較を図 2.9 に示す。

夏季と同様に、各分潮の相対的な振幅の違いや湾口(横須賀)に比べて湾奥(千葉)で M_2 分潮の振幅が増幅している状況などが良好に再現できている。

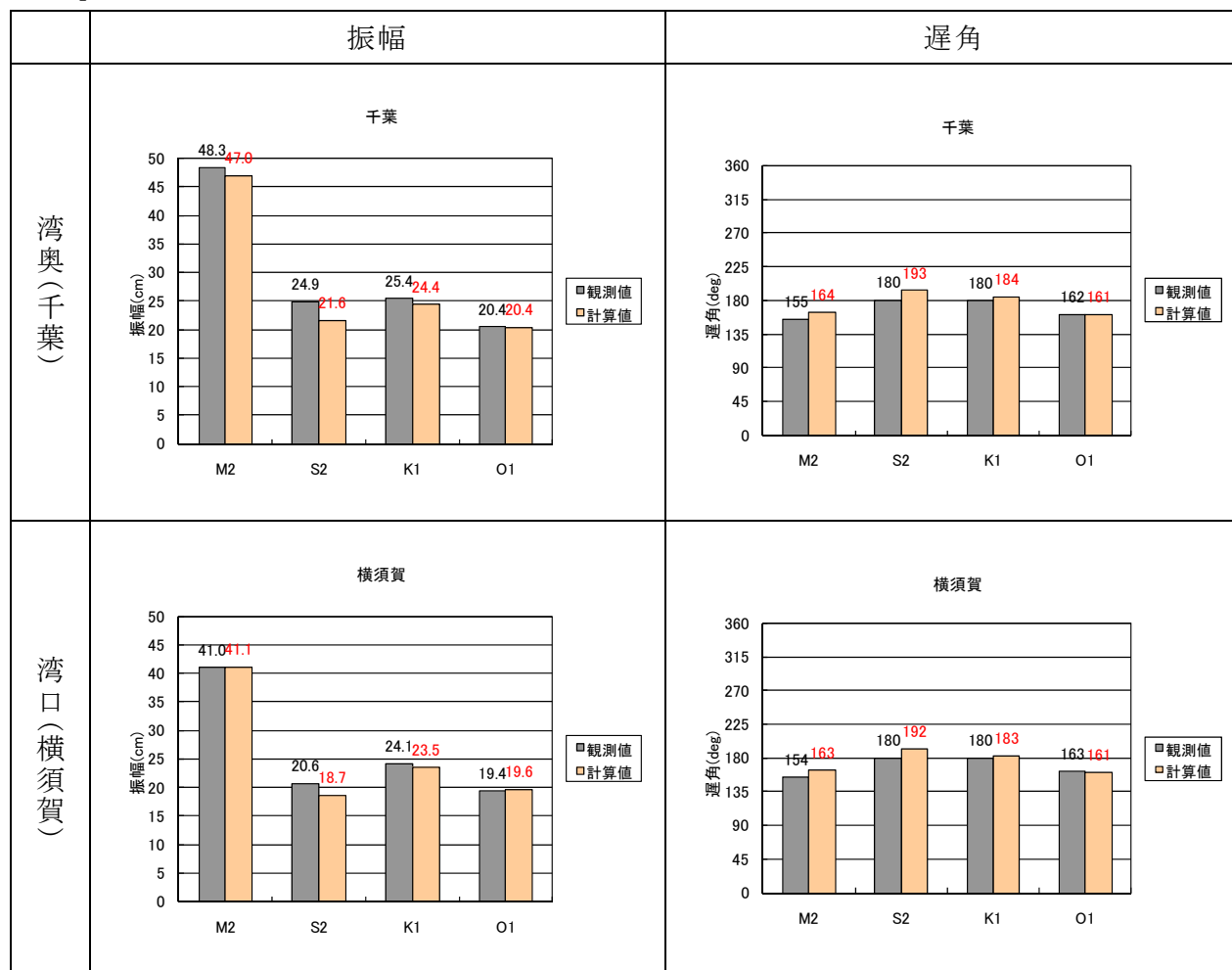


図 2.9(1) 主要 4 分潮の潮位振幅と遅角の再現性 (秋季)

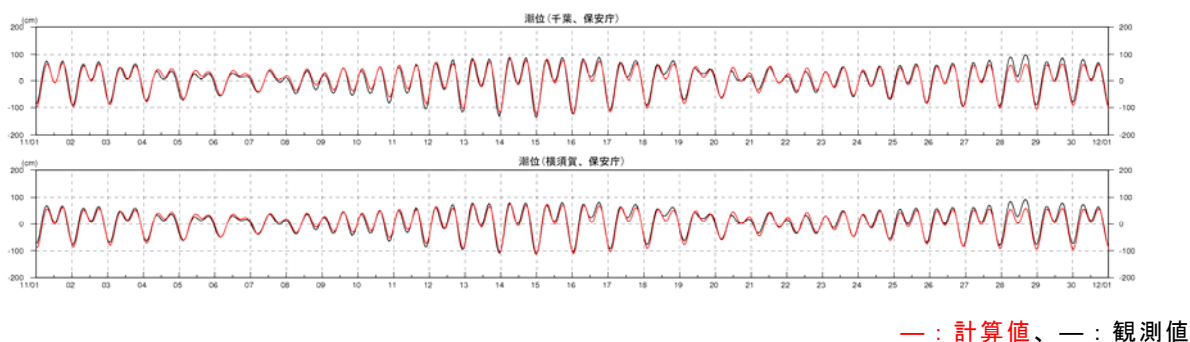


図 2.9(2) 再現期間における潮位経時変化の再現性 (秋季)

2) 潮流

潮流は、表 2.4 に示すデータを用いて、三番瀬内および東京湾内(沖合)の再現性を検証した。三番瀬内の 3 地点における主要 4 分潮の潮流の比較を図 2.10 に示す。

三番瀬内においては Stn.2 で主要 4 分潮の計算値の長 の向きがやや異なっているが、Stn.1 に比べて Stn.2 や Stn.3 の潮流が大きいという地点間の傾向、潮流の回り方向などが良好に再現できていると考えられる。

表 2.4 潮流楕円の検証データ

検証エリア	観測年度	出典
三番瀬内	2008 年度	平成 20 年度 三番瀬水環境モニタリング調査

3) 平均流

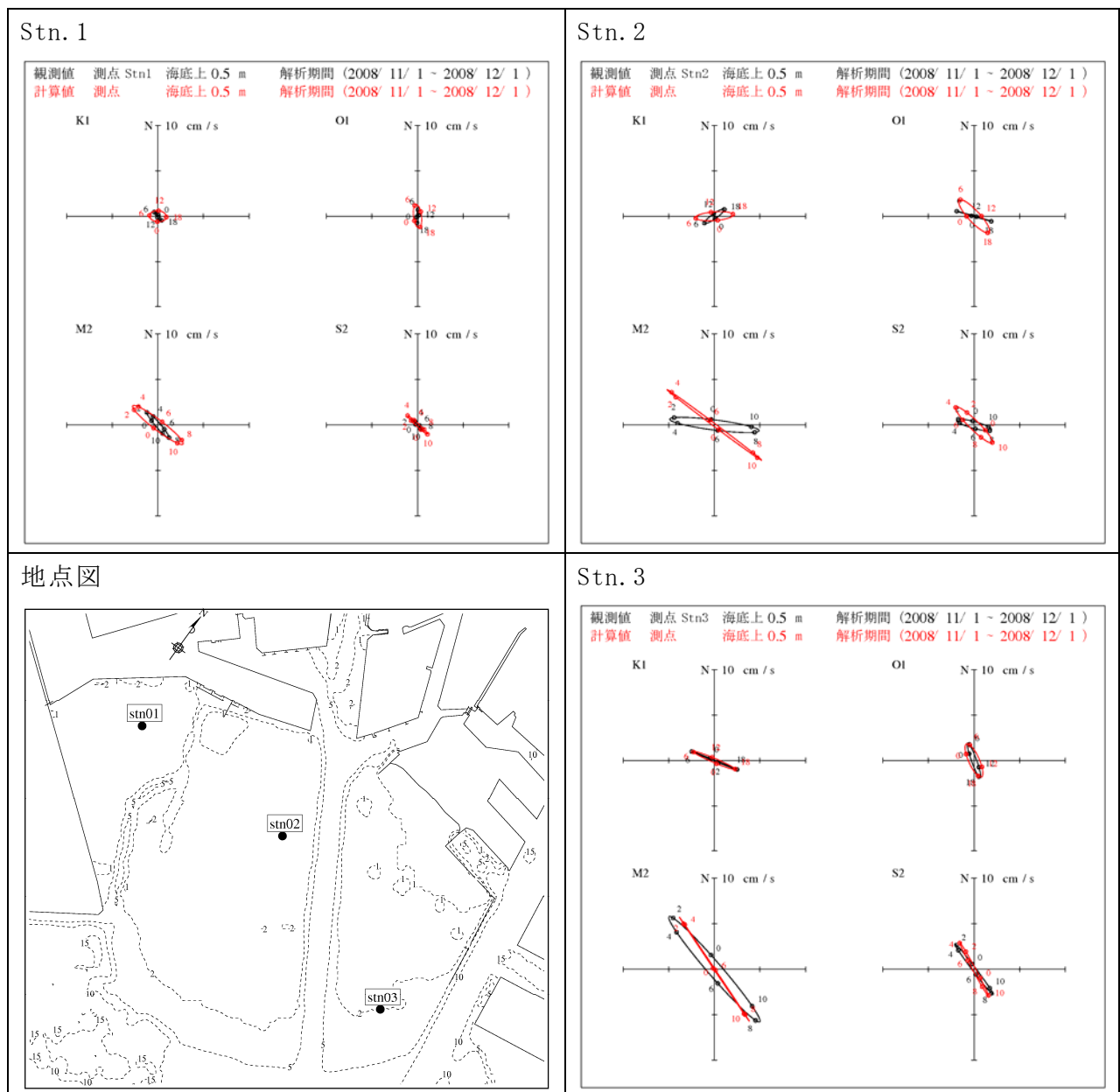
秋季(2008 年 11 月 1 日～11 月 30 日)における平均流の観測値と計算値の比較を図 2.11 に示す。の平均流ベクトルを比較すると、夏季と同様に、Stn.1 の平均流、Stn.2 の南西流および Stn.3 の西流が概ね再現できていると考えられる。

4) 経時変化(流速・水温・塩分)

再現期間における流速・水温・塩分の経時変化の比較を図 2.12 に示す。

流速の経時変化をみると、Stn.1 では計算値の方が観測値よりやや大きい傾向となっている。Stn.2 および Stn.3 では、流速の変動パターンや大きさは良いを示している。

水温の計算値は、秋季について観測値を概ね再現できているが、夏季と同様に計算値の塩分が観測値よりも小傾向となっている。



注) 観測値：平成 20 年度 三番瀬水環境モニタリング調査より

図 2.10 主要 4 分潮の潮流楕円の再現性 (2008 年度秋季、底層 [海底上 0.5m])

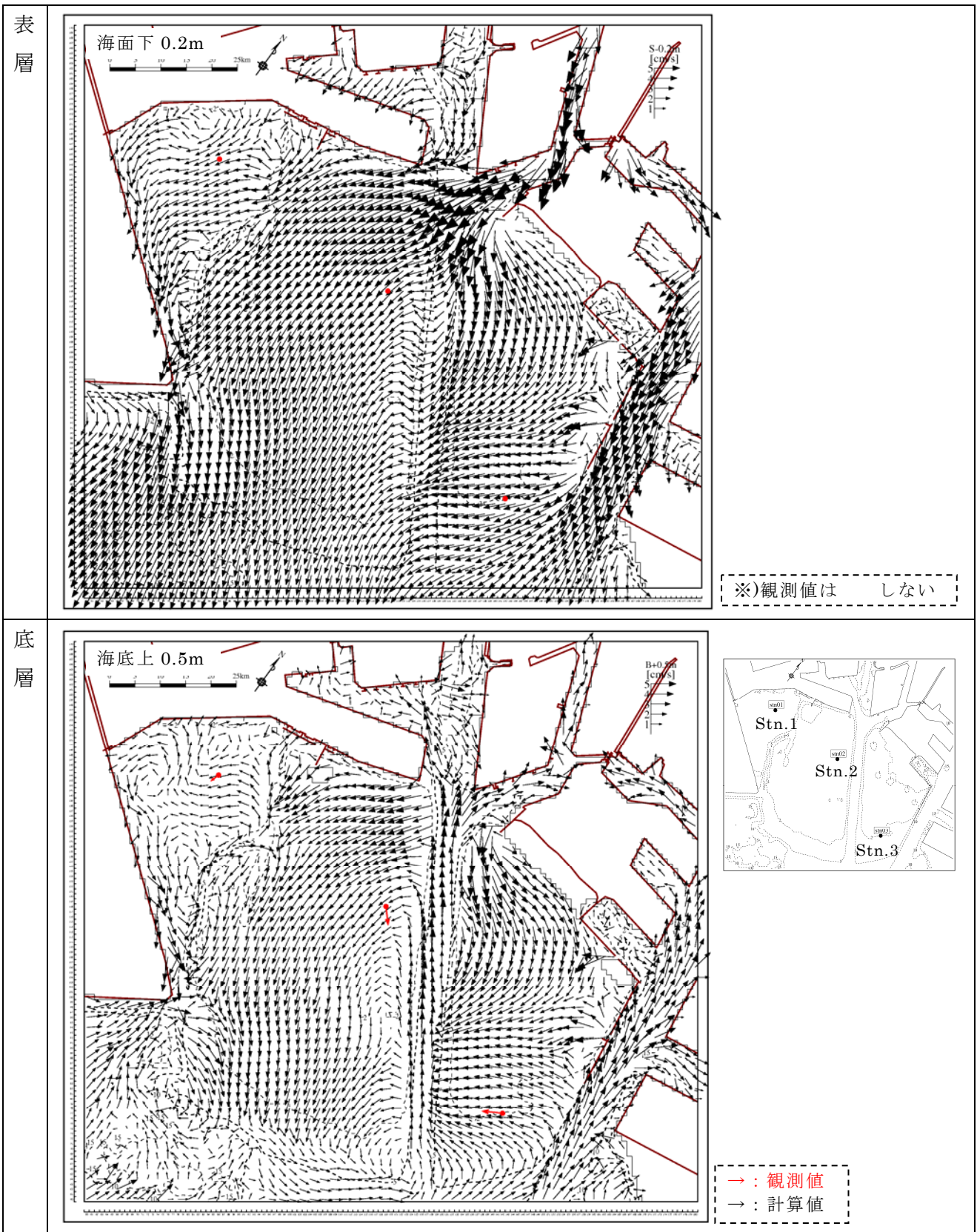
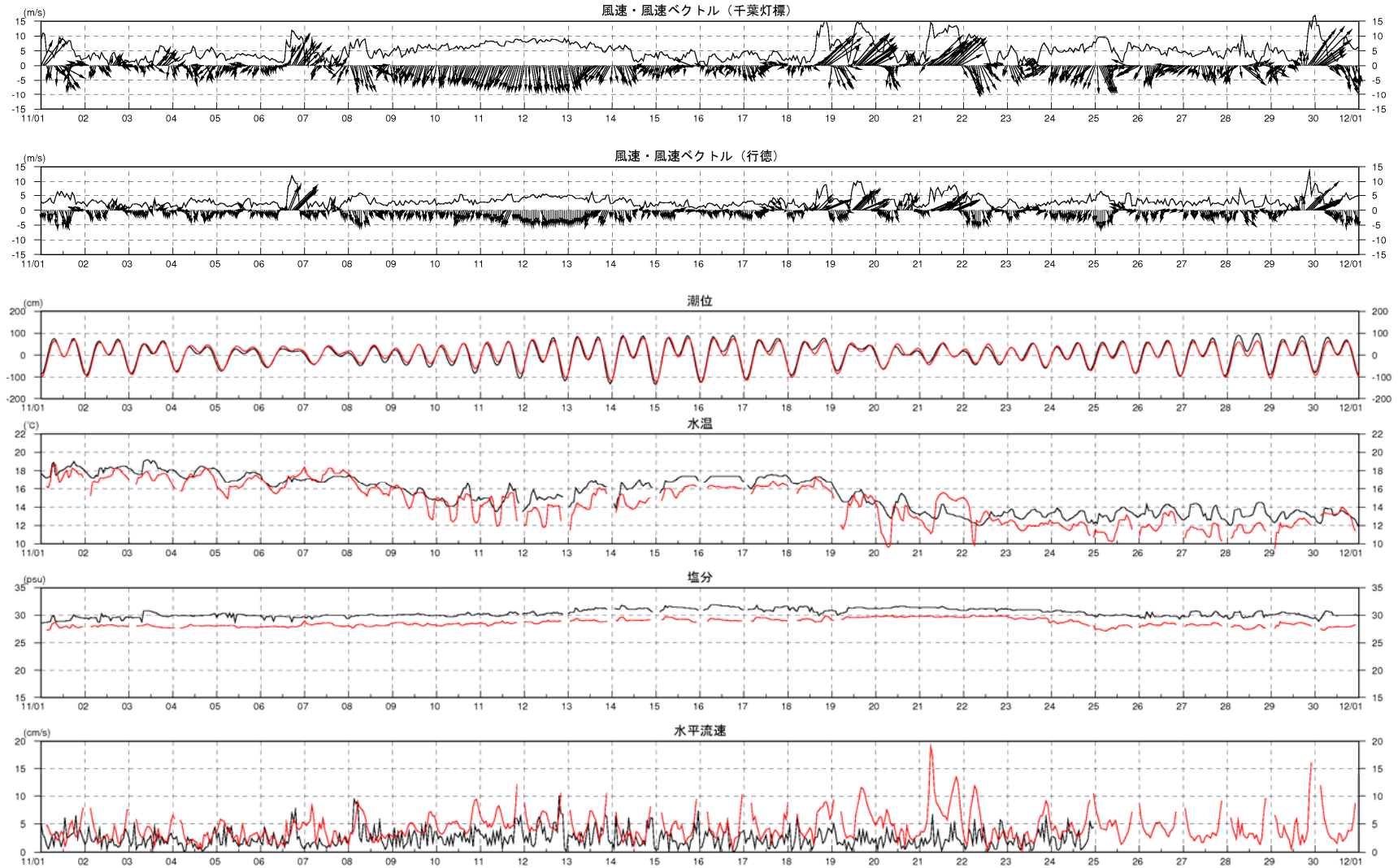


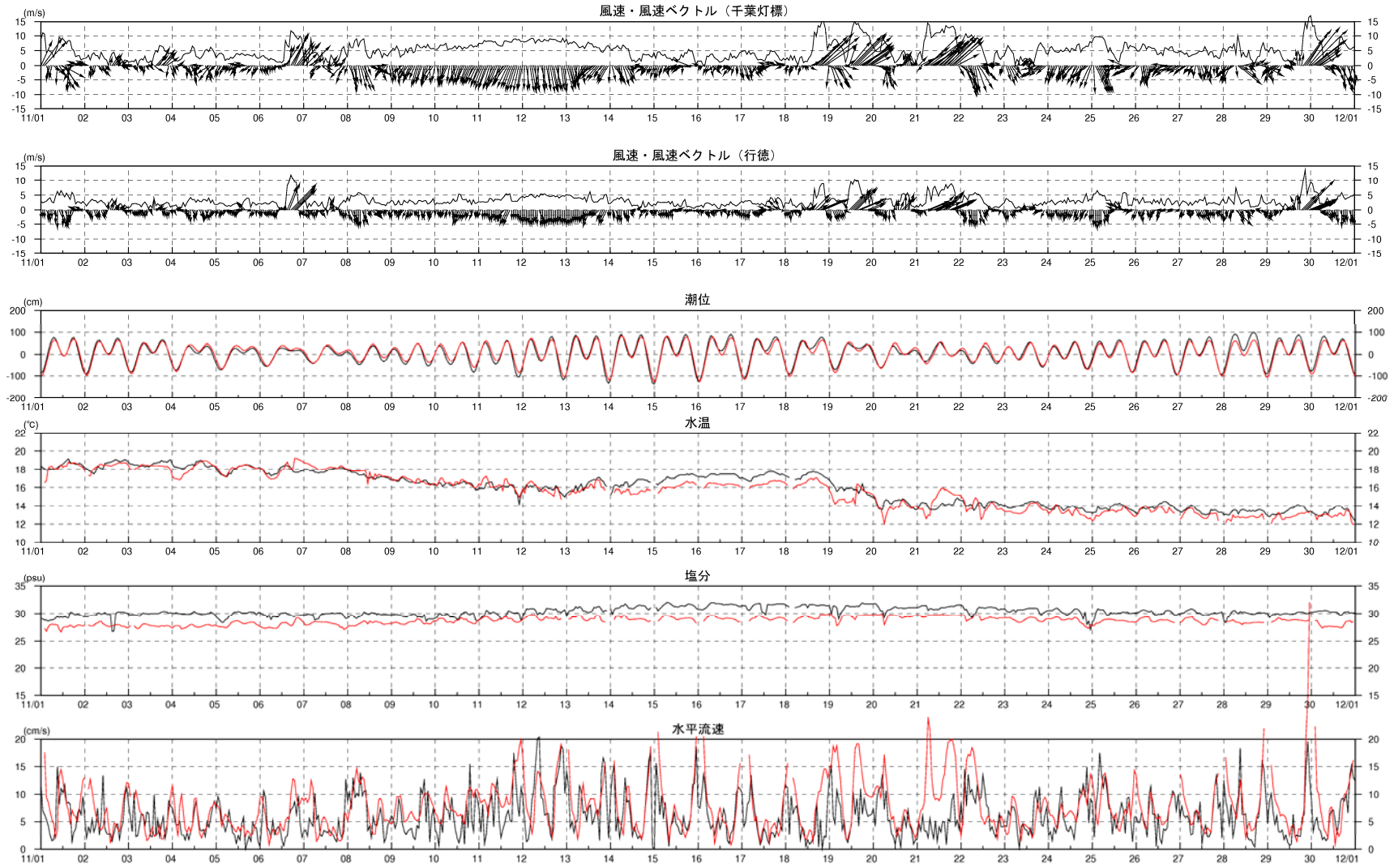
図 2.11 秋季 30 日間における平均流(残差流)の再現性



注)再現性については継続して検討中であり、上図は検討の結果である。

— : 観測値、— : 計算値

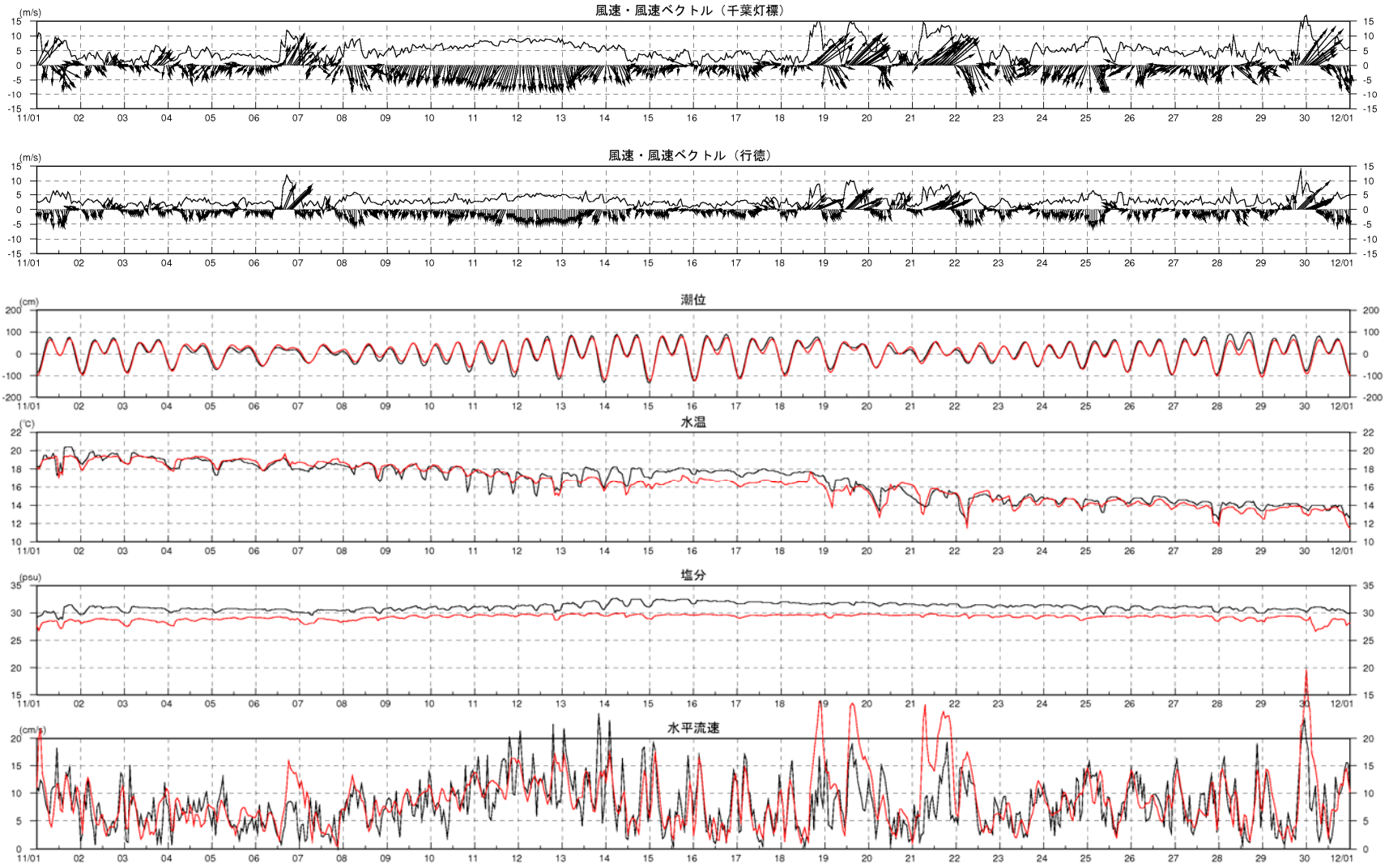
図 2.12 (1) 水温・塩分経時変化の再現性(2008年度秋季、Stn. 1、底層[海底上 0.5m])



注)再現性については継続して検討中であり、上図は検討の結果である。

— : 観測値、— : 計算値

図 2.12 (2) 水温・塩分経時変化の再現性(2008年度秋季、Stn. 2、底層[海底上0.5m])



注)再現性については継続して検討中であり、上図は検討の結果である。 — : 観測値、— : 計算値

図 2.12 (3) 水温・塩分経時変化の再現性(2008年度秋季、Stn. 3、底層[海底上 0.5m])

(3) 2008 年度冬季

1) 潮位

主要 4 分潮の潮位振幅と遅角の比較および潮位経時変化の比較を図 2.13 に示す。

夏季・秋季と同様に、各分潮の相対的な振幅の違いや湾口(横須賀)に比べて湾奥(千葉)で M_2 分潮の振幅が増幅している状況などが良好に再現できている。

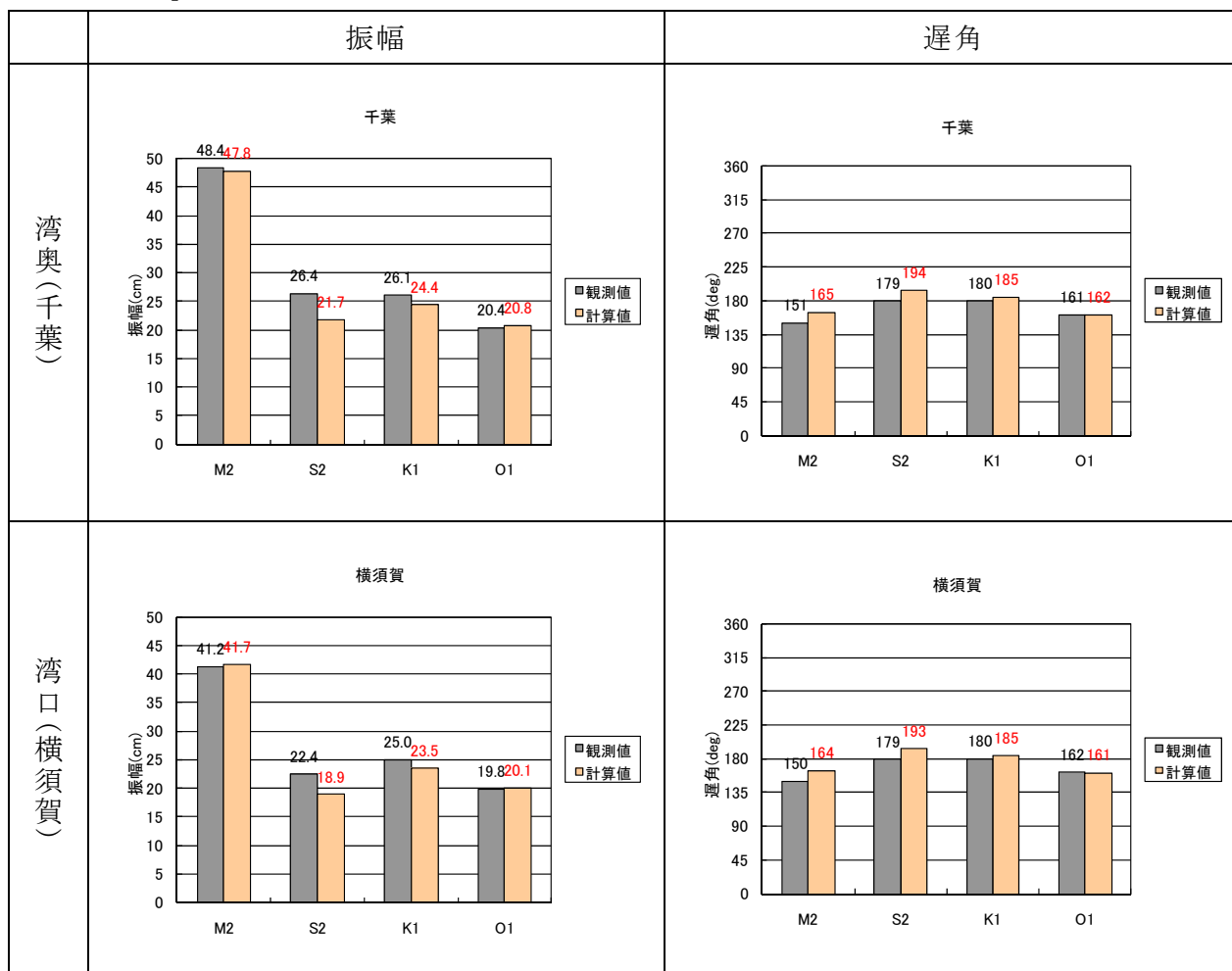


図 2.13(1) 主要 4 分潮の潮位振幅と遅角の再現性 (冬季)

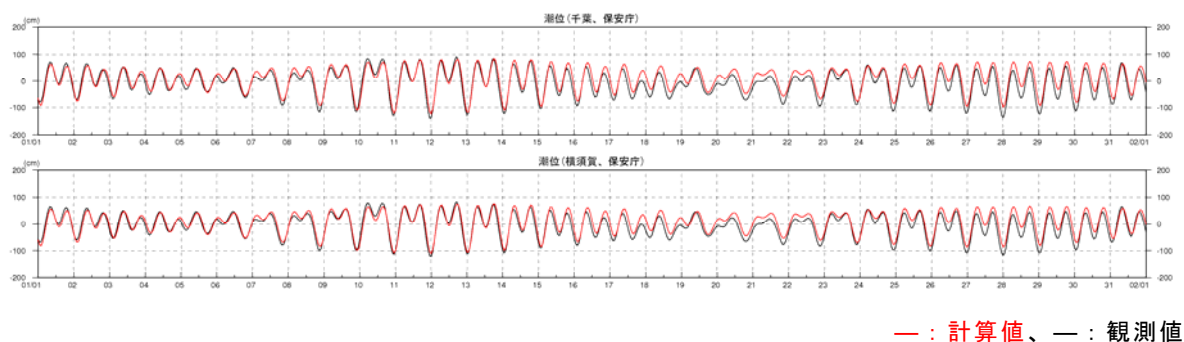


図 2.13(2) 再現期間における潮位経時変化の再現性 (冬季)

2) 潮流

潮流は、表 2.5 に示すデータを用いて、三番瀬内および東京湾内(沖合)の再現性を検証した。三番瀬内の 3 地点における主要 4 分潮の潮流の比較を図 2.14 に示す。

三番瀬内においては Stn.2 で主要 4 分潮の計算値の長の向きが異なっているものの、湾奥－沖合の往復流という傾向は表現されている。また、Stn.1 に比べて Stn.2 や Stn.3 の潮流が大きいという地点間の傾向、潮流の回り方向などが良好に再現できていると考えられる。

観測値でみられた Stn.2 の長の方向が夏季や秋季と比べて南北方向の往復流に変化している要因は、現時点では不明である。

表 2.5 潮流楕円の検証データ

検証エリア	観測年度	出典
三番瀬内	2008 年度	平成 20 年度 三番瀬水環境モニタリング調査

3) 平均流

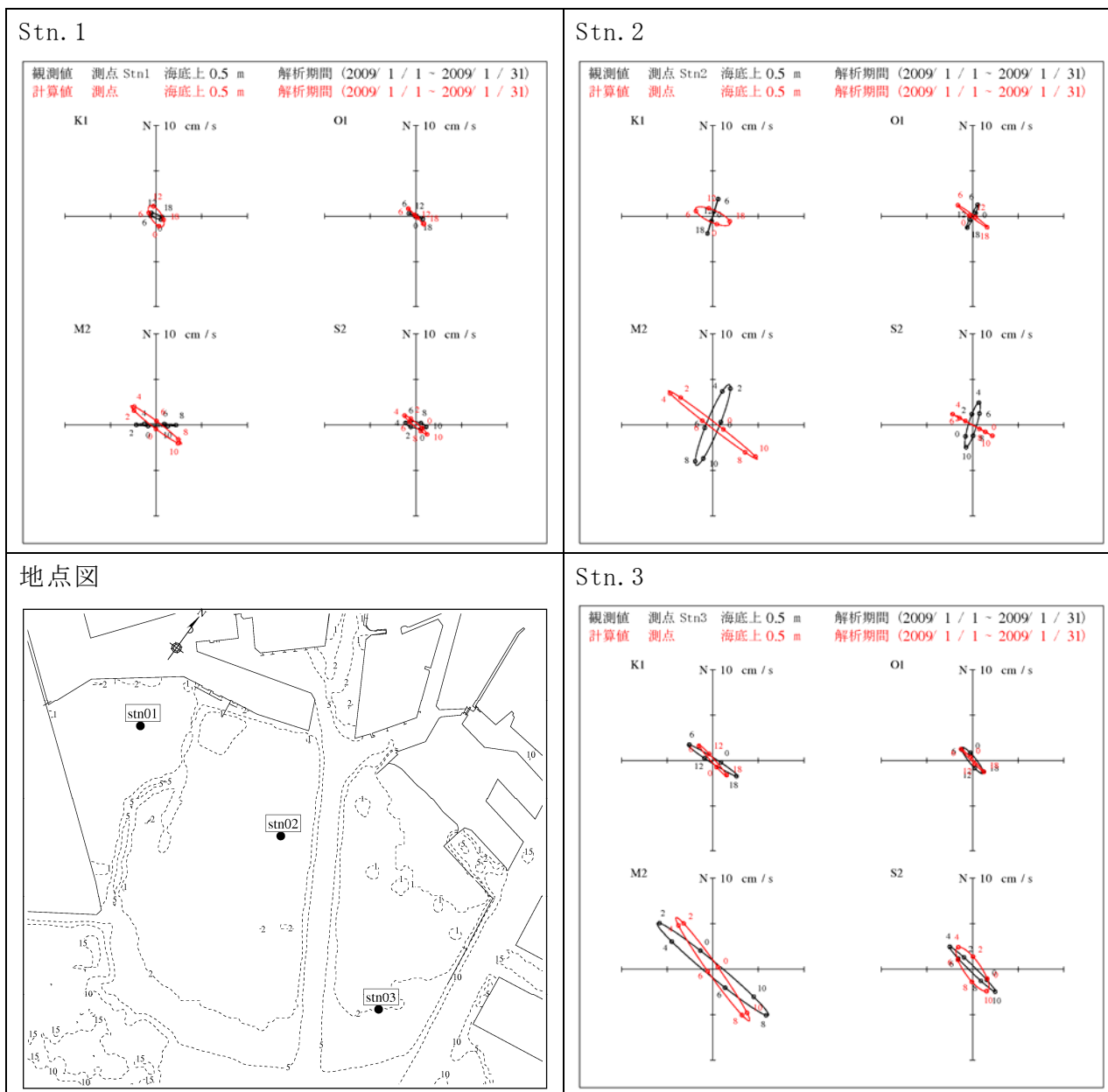
冬季(2009 年 1 月 1 日～1 月 31 日)における平均流の観測値と計算値の比較を図 2.15 に示す。の平均流ベクトルを比較すると、夏季・秋季と同様に、Stn.1 の平均流、Stn.2 の南西流および Stn.3 の西流が概ね再現できていると考えられる。また、季節進行に伴い、当海域の全測点で平均流の流速が大きくなる傾向も概ね再現できていると考えられる。

4) 経時変化(流速・水温・塩分)

再現期間における流速・水温・塩分の経時変化の比較を図 2.16 に示す。

流速の経時変化をみると、各地点ともに、流速の変動パターンや大きさは観測値と良い一致を示している。

水温の計算値は、冬季については観測値よりもやや小傾向となっている。また、夏季・秋季と同様に、計算値の塩分が観測値よりもやや小傾向となっている。



注) 観測値：平成 20 年度 三番瀬水環境モニタリング調査より

図 2.14 主要 4 分潮の潮流楕円の再現性 (2008 年度冬季、底層 [海底上 0.5m])

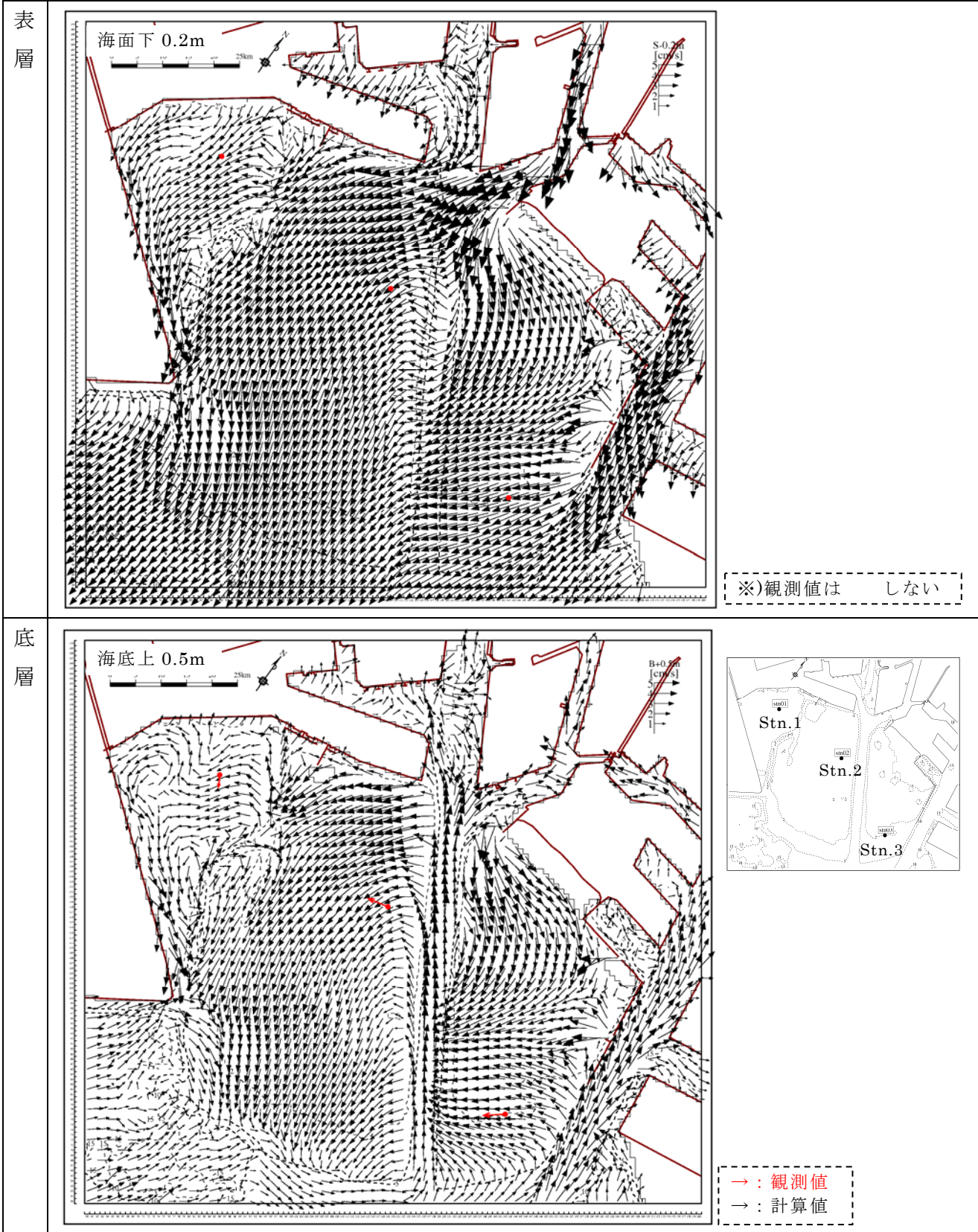
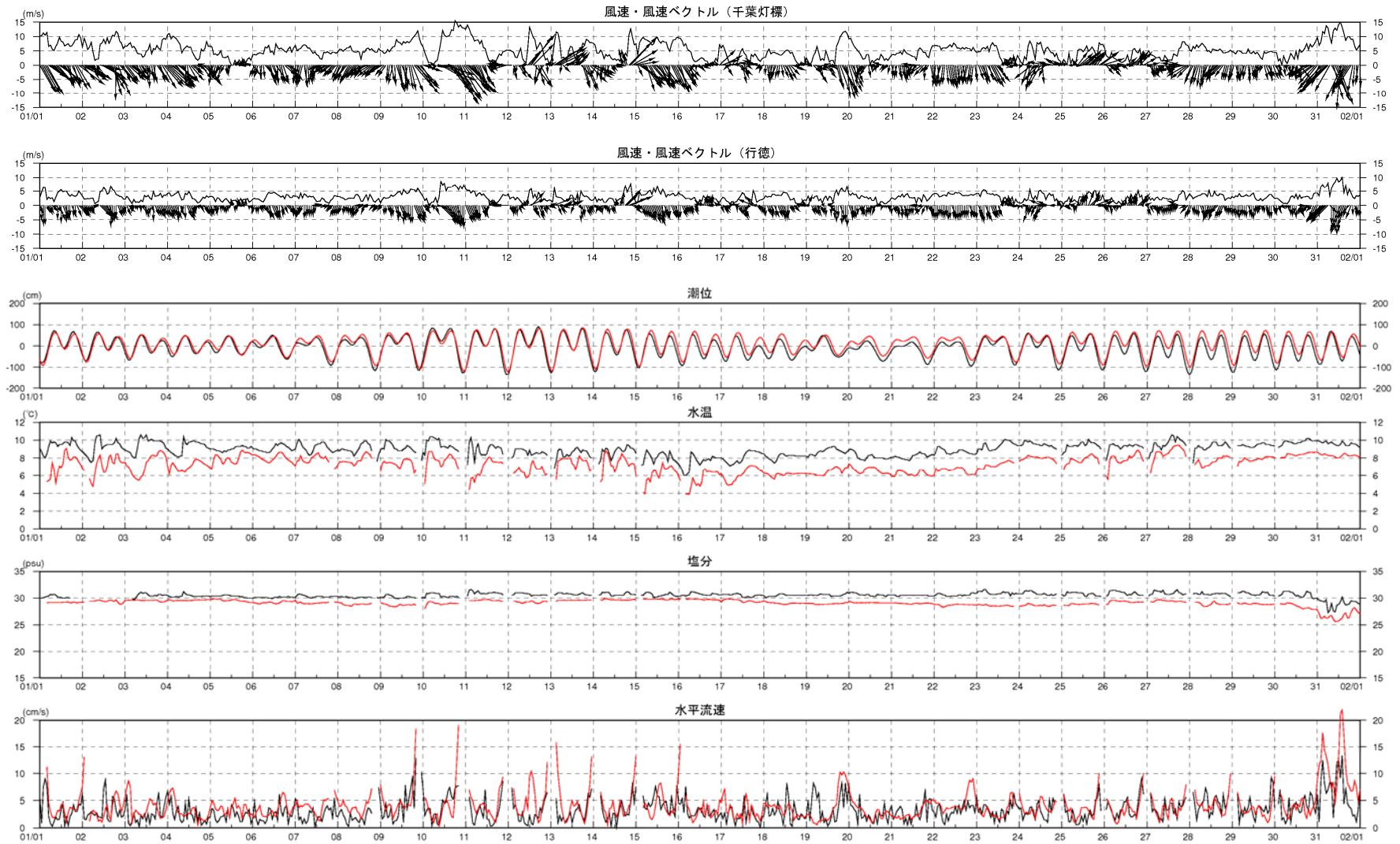


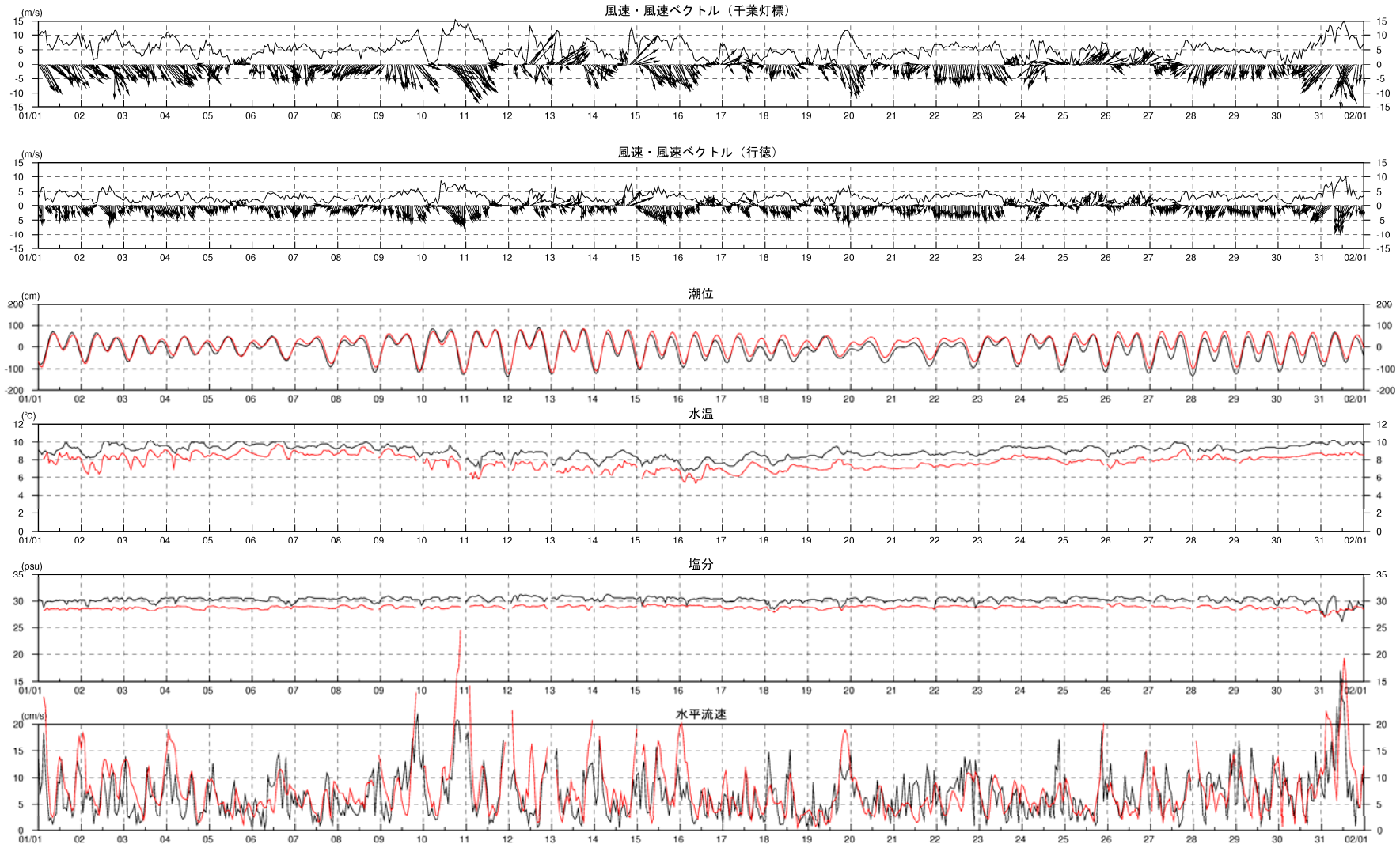
図 2.15 冬季 30 日間における平均流(残差流)の再現性



注)再現性については継続して検討中であり、上図は検討の結果である。

—：観測値、—：計算値

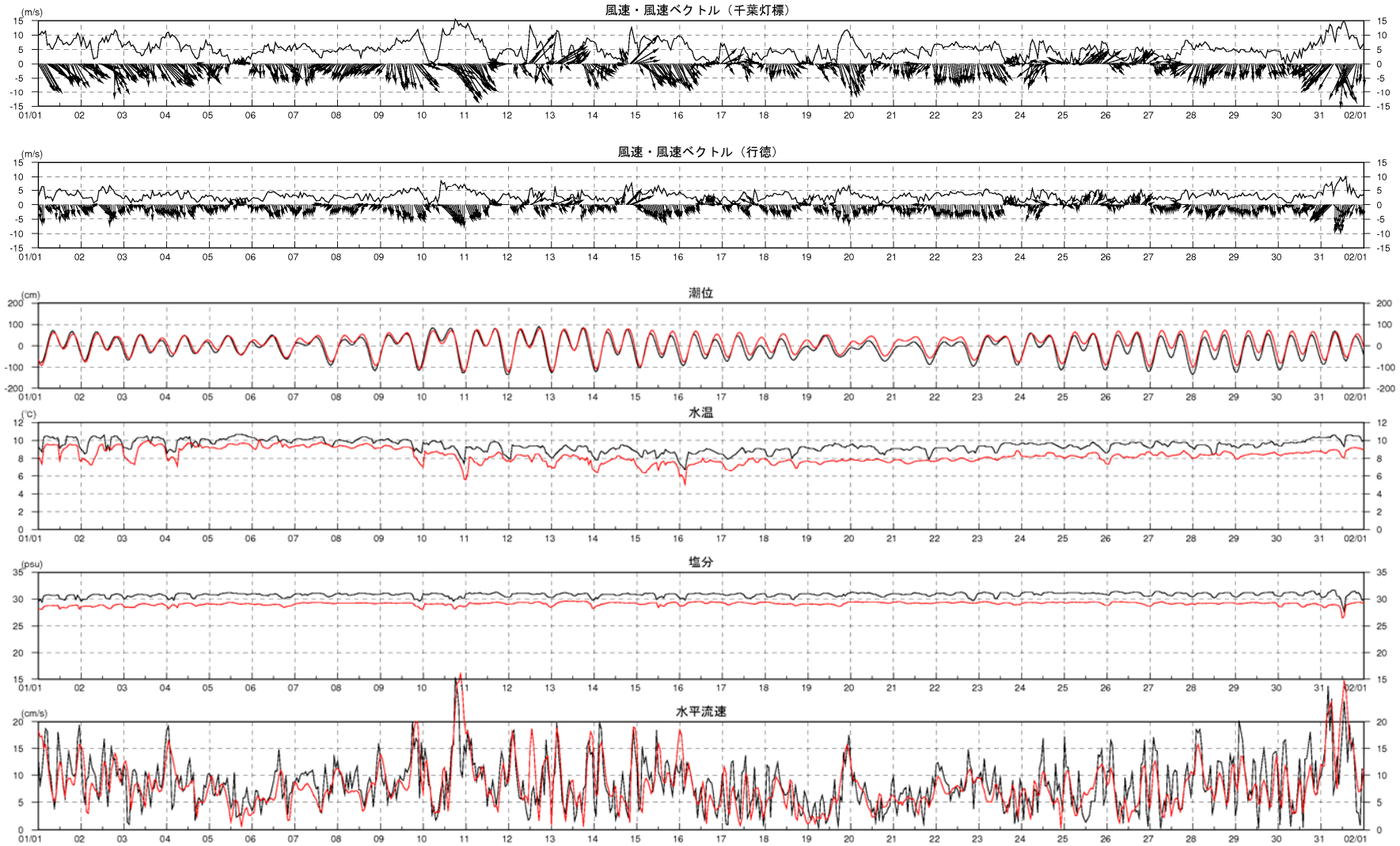
図 2.16 (1) 水温・塩分経時変化の再現性(2008年度冬季、Stn. 1、底層[海底上 0.5m])



注)再現性については継続して検討中であり、上図は検討の結果である。

—: 観測値、—: 計算値

図 2.16 (2) 水温・塩分経時変化の再現性(2008年度冬季、Stn. 2、底層[海底上 0.5m])



注)再現性については継続して検討中であり、上図は検討の結果である。

— : 観測値、— : 計算値

図 2.16 (3) 水温・塩分経時変化の再現性(2008年度冬季、Stn.3、底層[海底上0.5m])

2.1.5 解析結果

潮流シミュレーションの結果を用いて、2008年度の現地観測結果にみられた三番瀬の流況の季節変化の再現状況を確認し、行徳可動堰の開放に伴う出水や青潮などのイベント時における三番瀬の流況の面的な特徴を整理した。

(1) 三番瀬の流速の季節変化

2008年度の現地調査では、三番瀬内の3測点における流速が、夏季から秋季、冬季と季節進行に伴い北風が強化され、流速が速くなっている結果が得られている。

潮流シミュレーションでは、夏季、秋季、冬季の季節別に行った現況再現結果の平均流の分布を表層（海面下0.2m）と底層（海底上0.5m）について図2.17に示し、上記の季節変化の傾向を確認した。

潮流シミュレーションの結果をみると、観測結果と同様に、季節進行に伴い夏季から秋季、冬季へと流速が強まる様子がみられた。また、猫実川河口周辺（測点1）で相対的に流速が速く、測点2や測点3で流速が遅い様子が再現されていることを確認した。

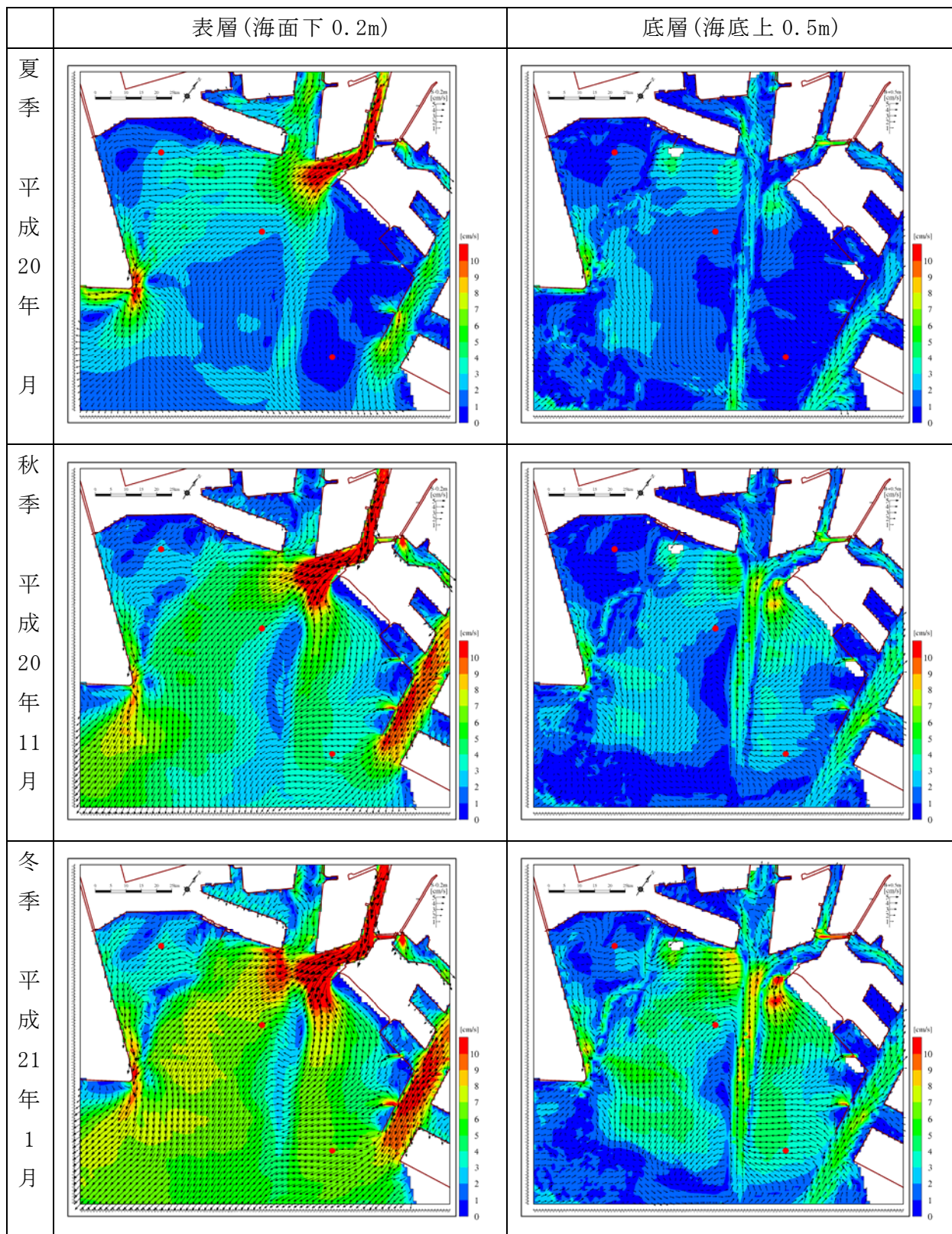


図 2.17 流速と流速ベクトル(平均流)の季節変化

(2)夏季の出水時の流況・水質の特

出水時(2008年8月31日～9月2日)における代表的な塩分と流況ベクトルの平面分布を図 2.18 に、出水時の塩分と流況ベクトルの代表的な断面分布を図 2.19 に示し、出水時の三番瀬の流況・水質の面的な特 を以下に整理した。

流況・水質の特 (観測結果より)		モデルによる現象の再現状況
①出水に対応した南西流の強化	行徳可動堰の開放に伴う流況への影響は、測点 2(江戸川放水路前面海域)で大きく、南西方向の流れが強まっていた。	計算値の流速が 小となっているが、行徳可動堰の開放に伴う南西流速の増加をよく再現できていた。
②出水直後の水質変化	下げ潮時の出水により、測点 2 および測点 1(猫実川河口 近)で水温・塩分が低下していたが、沖合の測点 3 では影響が比較的小さかった。	観測値に比べて塩分低下量は 大であったが、8/31 ぎの出水に伴う測点 2 の塩分低下は再現できていた。
③出水後の潮に伴う流況・水質の変化	測点 1、2 では上げ潮に塩分が増加し、下げ潮時に塩分が低下する周期的な変動が見られた。	潮 に伴う流況の変化は各地点とも良く再現できていた。また、塩分の周期的な変化傾向も概ね再現できていた。
④測点毎の出水影響期間の違い	出水による影響(塩分低下等)は、まず測点 2 でみられ、その後、遅れて測点 1 でみられた。出水に伴う塩分低下は、測点 1 では9月2日 ぎまで、測点 2 では9月1日の ぎまでみられた。測点 3 の出水の影響は短期的であった。	記に示す測点 1 および 2 の塩分の変化傾向は、概ね再現できていた。測点 3 については、計算の塩分が全体的に 小となっており、出水の影響がやや長期間みられた。
⑤出水時の浅海域における塩分の鉛直分布	—	<ul style="list-style-type: none"> 出水後、低塩分の河川水は表層を沖合に向かって拡 し、鉛直方向は概ね一様に低塩分化している。 上げ潮に じた時には、浅海域の下層に沖合の高塩分水が侵入して、上下層で塩分差が大きくなっている。

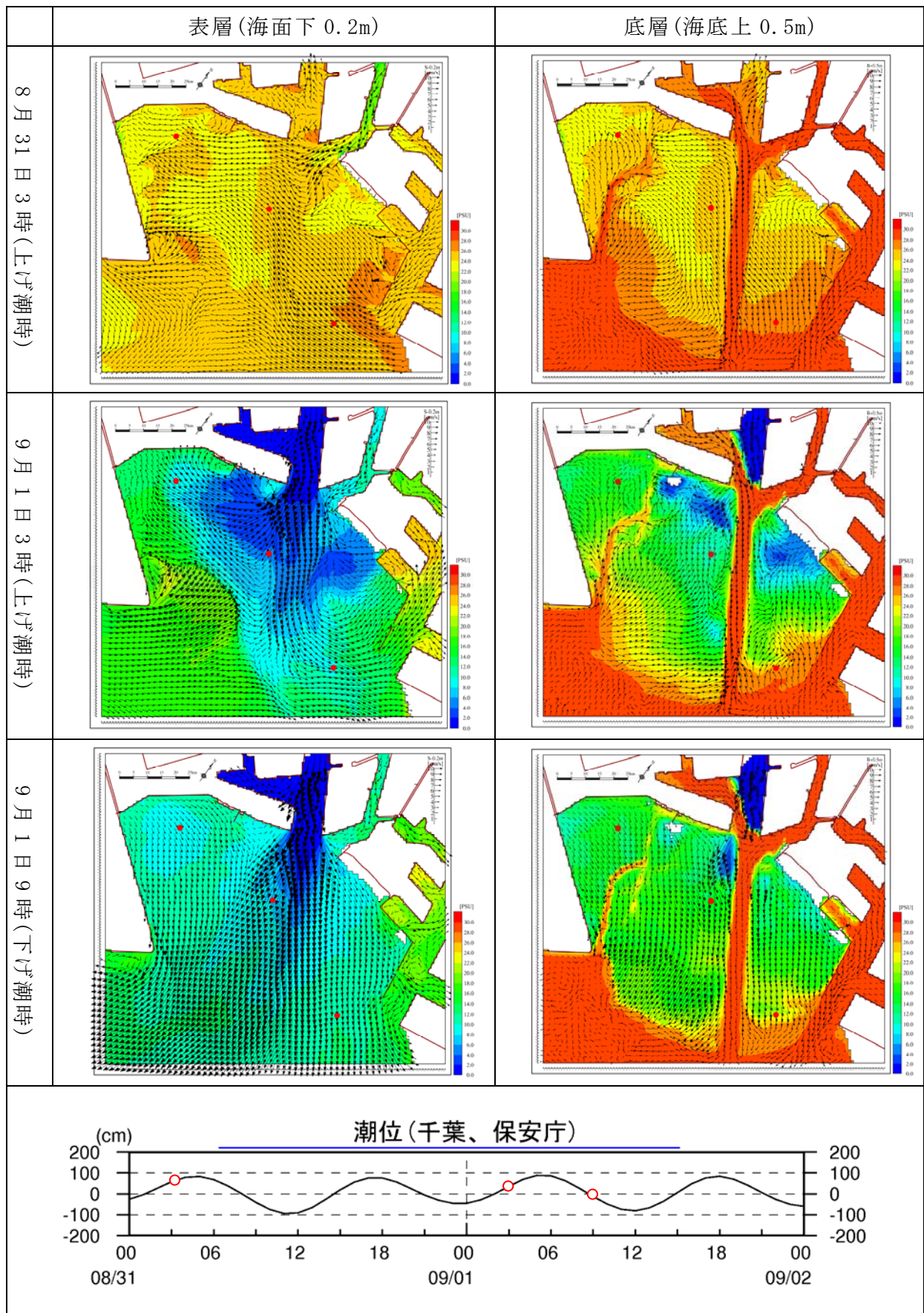
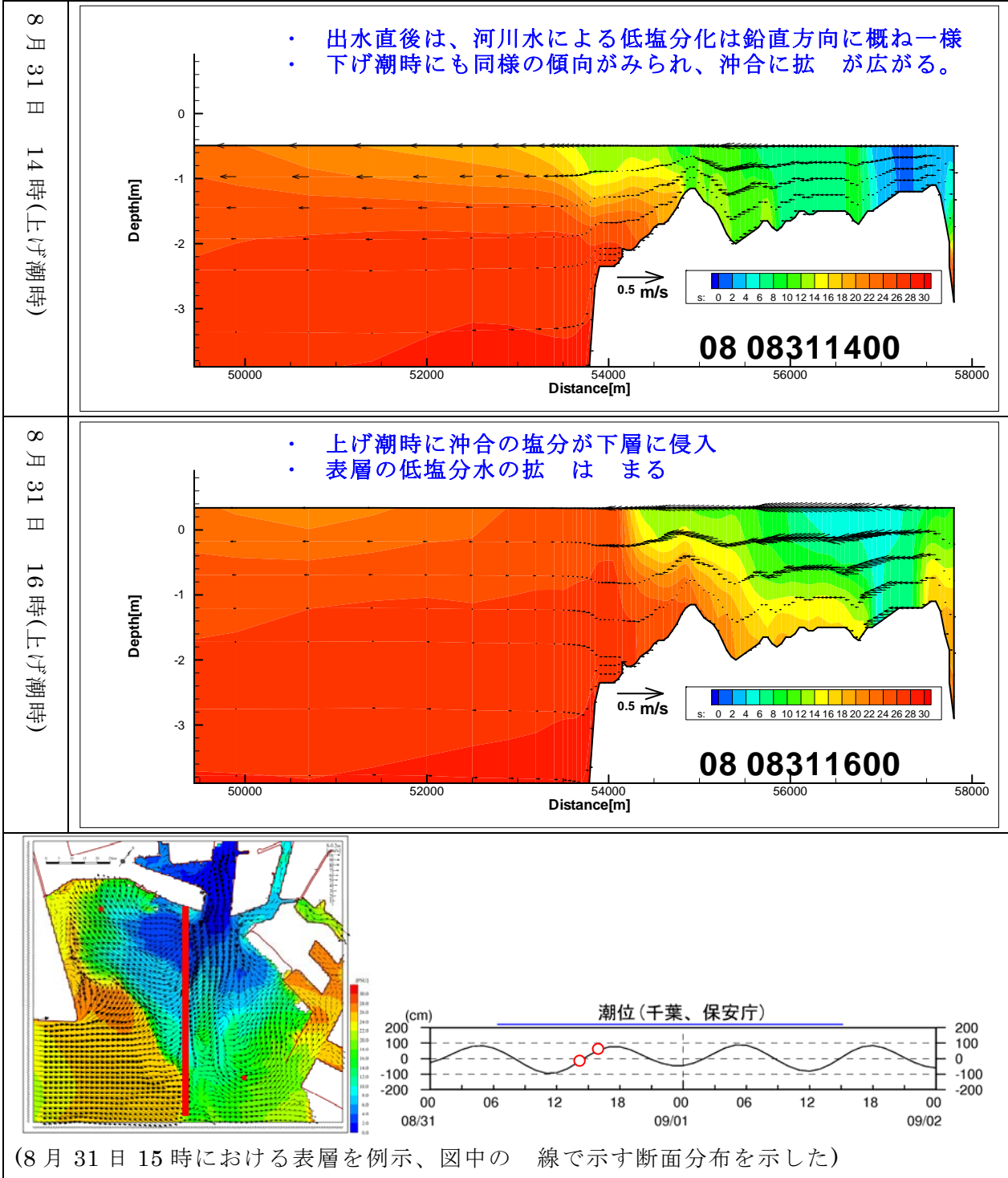


図 2.18 代表的な出水前後の流況と塩分の分布
(2008年8月31日~9月1日, —: 出水期間)

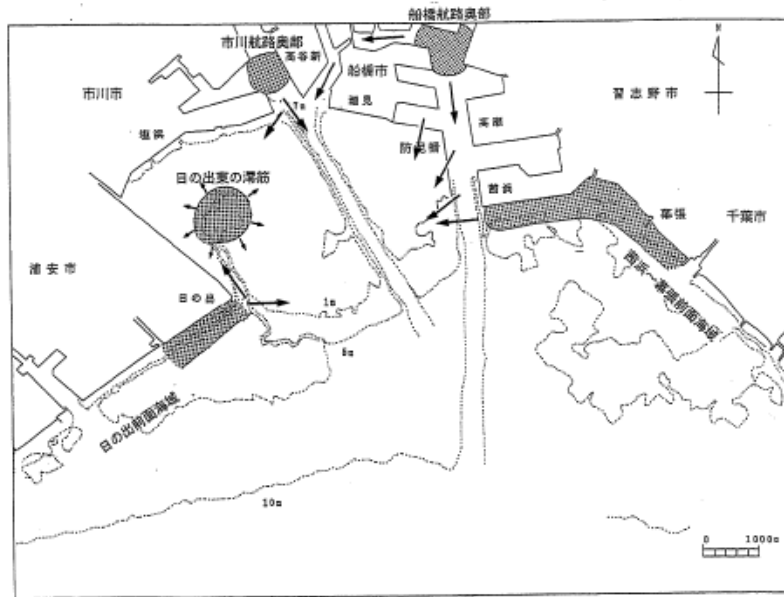


(3)夏季の青潮発生時の流況・水質の特

青潮発生時(2008年8月21日～8月31日)における代表的な塩分と流況ベクトルの平面分布を図2.21に示し、青潮発生時の三番瀬の流況・水質の面的な特を以下に整理した。

流況・水質の特 (観測結果より)		モデルによる現象の再現状況
①北風連吹時のD及び水温の低下と塩分上	8月21日～27日にる北風の連吹時には、全ての測点でD及び水温の低下、塩分上がみられた。	水温低下、塩分上の傾向をよく再現できていた。
②測点間の状態の回復傾向の違い	南風に風後、無状態が回復しており、解凍時期は、測点2で8月29日、測点3は8月28日であり、測点2の方が水の解凍が遅くなっていた。また、測点1では、8月31日まで水がみられ、流れがく性の強い奥部での回復が遅い傾向がみられた。	表層の塩分でみると、28日後に、北風の連吹から南風になったのに伴い、低塩分の沖合の水(荒川からの淡水)が三番瀬に流入する様子がみられた。この塩分変化の様子は、大潮の流れによってより顕著となっていた。 三番瀬の沖合水の流入は、測点3で早く、続いて測点2まで達していた。猫実川河口の測点1では沖合水の流入は明瞭にはみられなかったが、日の出の滞筋を通じて下層の高塩分水が上げ潮時に流入している様子を確認した。
③水の三番瀬内への移動経路	水の三番瀬内への移動経路については、1996年度(平成8年度)に実施された補足調査により図2.20のとおり推定されている。	塩分でみると、2008年8月の青潮の事例においては、補足調査により示された経路いに高塩分水が三番瀬に流入している様子を確認された。特に、浜もしくは沖合側から流入する様子が顕著にみられた。

- 1 船橋航路奥部から防泥柵の間およびその先端を通じて流入
- 2 浜～ 前面海域から岸沿いに流入
- 3 船橋航路奥部で した 水が水路部を通じて流入
市川航路奥部を通じて した 水が流入
日の出東の滞筋を通じて した 水が流入



出典：市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る補足調査結果報告書 現況編Ⅱ
 (青潮の発生機構,平成11年1月,千葉県土 部・千葉県 業庁)

図 2.20 貧酸素水の三番瀬内への移動経路

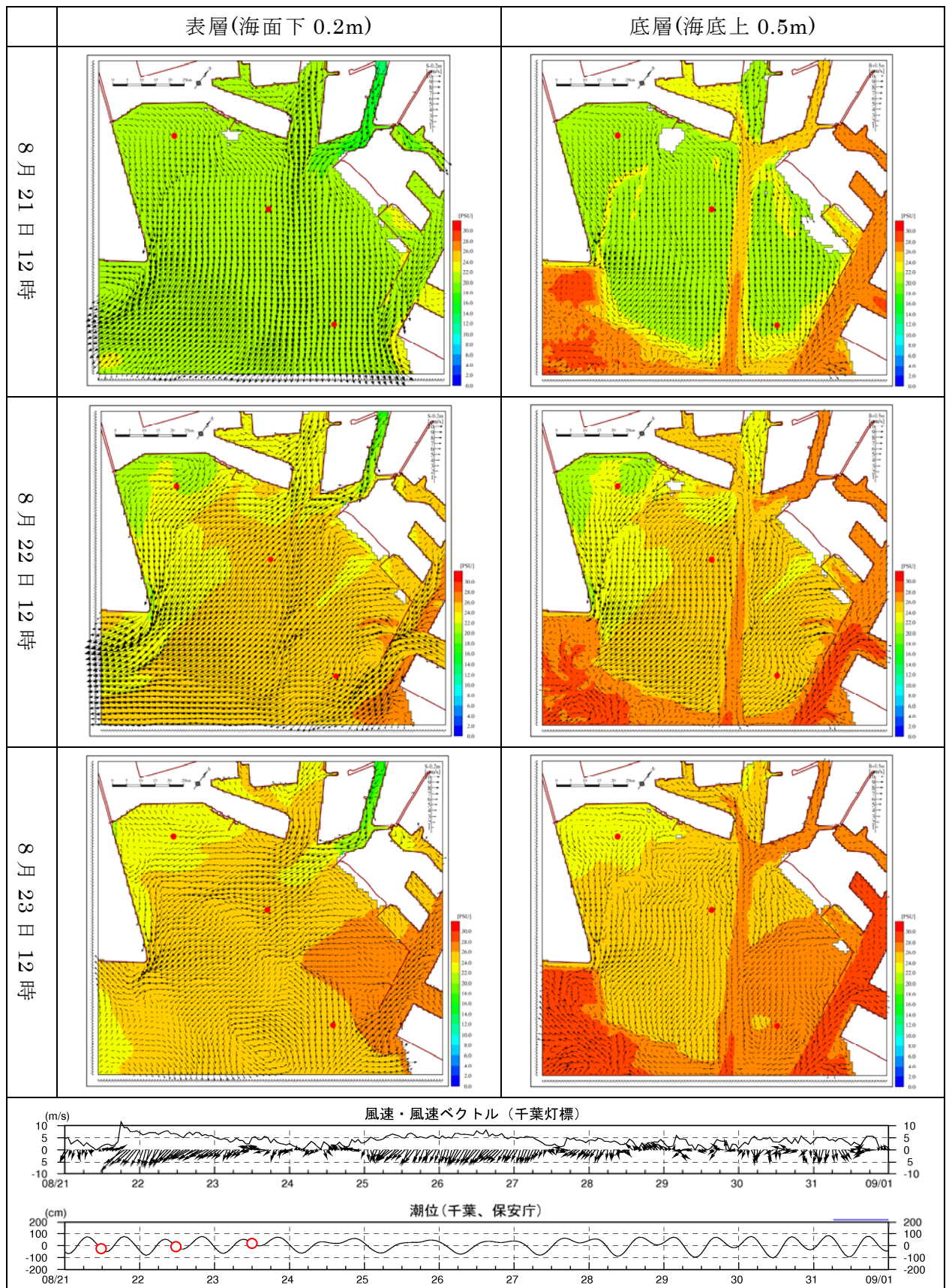


図 2. 21 (1) 青潮発生前後の流況と塩分の分布 (2008年8月21日~23日)

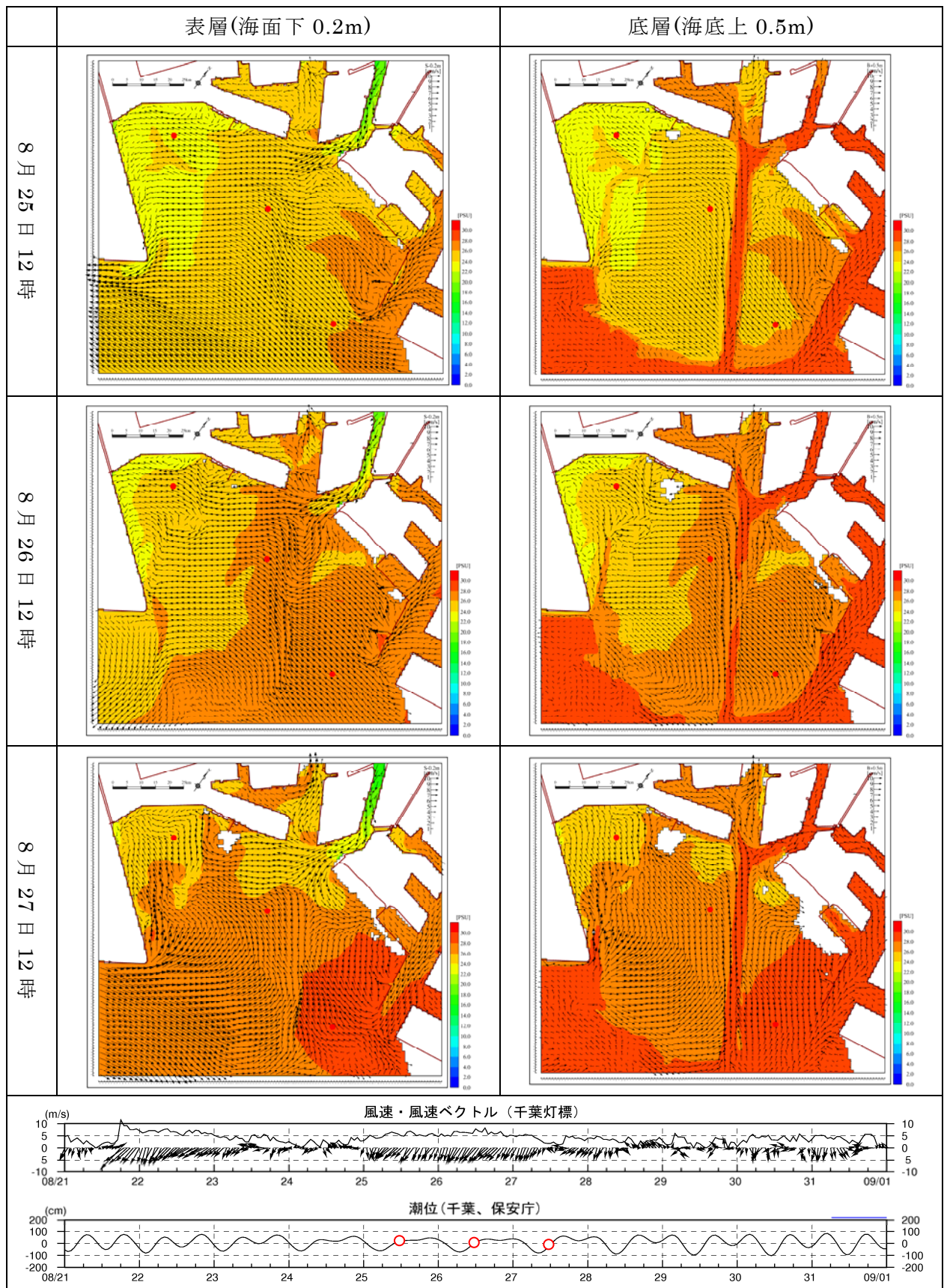


図 2.21(2) 青潮発生前後の流況と塩分の分布 (2008年8月25日~27日)

2.1.6 三番瀬の流況の概況（まとめ）

現地観測結果と潮流シミュレーション結果からみられた三番瀬の流況の特徴を図2.22にまとめた。

○潮流

- ・最も卓越していたM₂分潮の潮流の大きさ、長方向に大きな差異は認められず、潮流について明瞭な経年変化はみられなかった。
- ・当海域西部では岸沖方向の強い往復流、東部では北西-南東方向の強い往復流が卓越し、中央部では、東部ほど明瞭ではないものの、北西-南東方向の往復流が卓越していた。

○平均流

- ・平均流について明瞭な経年変化はみられなかった。
- ・当海域西部では平均流が弱く、特定方向の流れはみられず、東部では秋・冬の北風に対応した南西向き強い平均流が確認された。
- ・当海域中央部は、平均流の流向は測点間の差異が大きく、気象条件の違いによる変動が示され、複雑な分布を示していた。

○出水時の特徴

- ・当海域中央部で出水の影響が大きく、出水に伴い、南西流が強化され、水温の低下や塩分低下がみられた。
- ・当海域西部では、中央部と比べて、出水の影響が遅れる傾向にあり、比較的長期間が出水に伴った塩分低下がみられた。
- ・当海域東部では出水の影響が小さく、出水後の短期間のみ塩分低下がみられた。
- ・出水後、低塩分の河川水は表層を沖合に向かって拡散し、鉛直方向は概ね一様に塩分化しているが、上げ潮時には、浅海域の下層に沖合の高塩分水が侵入し、上下層で塩分差が大きくなっている。

○青潮発生時の特徴

- ・当海域全域で、北風の連吹時にDO及び水温の低下、塩分上昇がみられた。
- ・北風の連吹から南風への変化と大潮の流れにより、三番瀬の沖合の水が流入し、無酸素状態が回復する様子がみられた。
- ・三番瀬の沖合水の流入は、当海域東部で早く、続いて中央部まで達していた。
- ・西部の猫実川河口付近では、沖合水の流入は明瞭ではなく、日の出の濁筋を通じて下層の高塩分水が上げ潮時に流入する様子がみられた。
- ・沖合水の三番瀬内への移動経路は、塩分でみると、既往調査により示された経路通りに三番瀬内へ流入しており、2008年8月の青潮の事例においては、特に、浜もしくは沖合側から流入する様子が顕著にみられた。

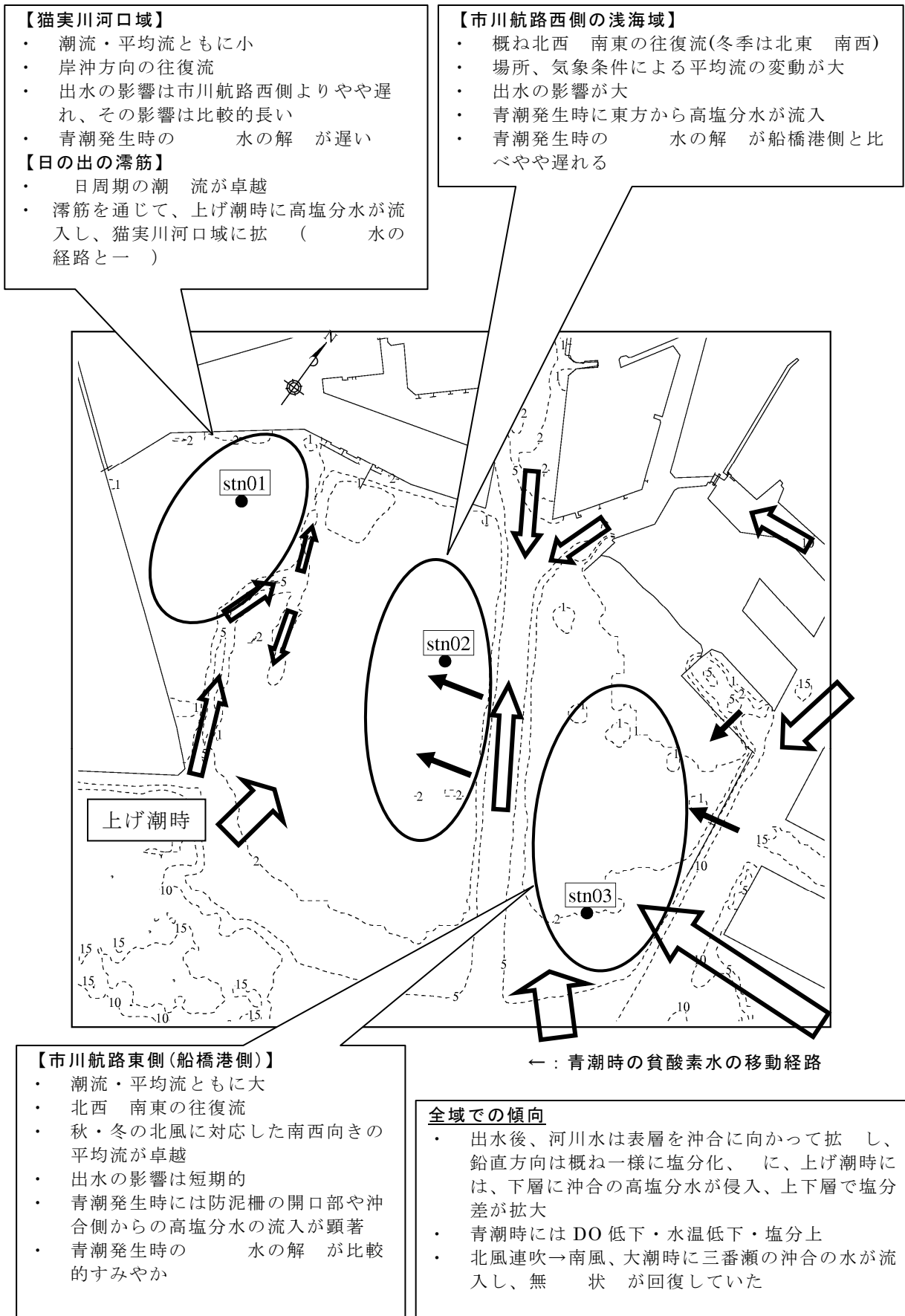


図 2.22 三番瀬の流況のまとめ (案)