

図 II.1.26 三番瀬周辺の水準点の標高変化

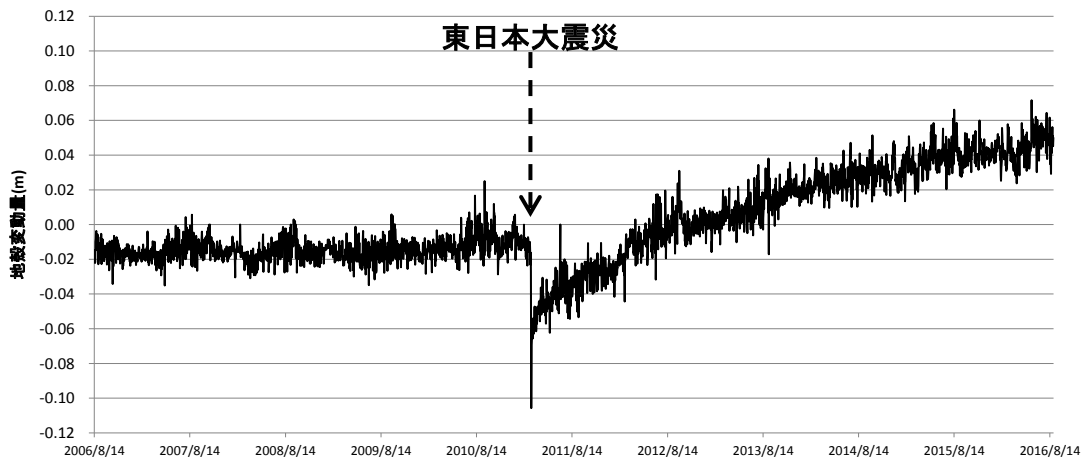
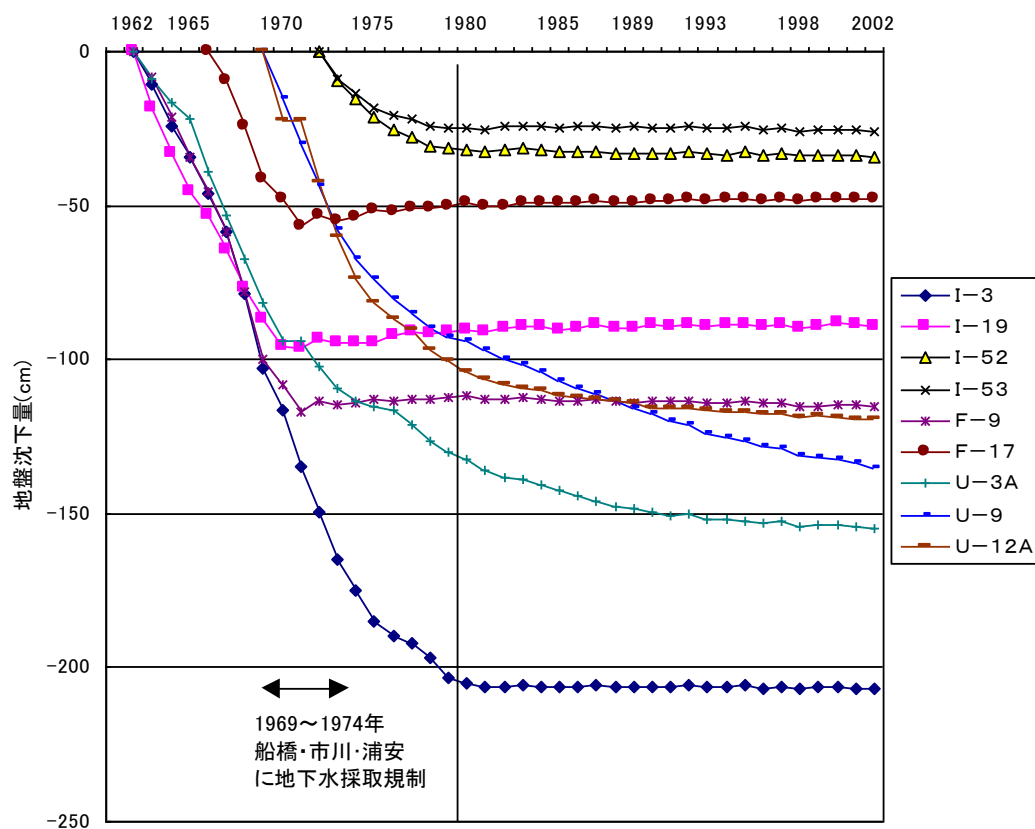


図 II.1.27 千葉市川 (国土地理院) の過去 10 年間の地殻変動量



出典) 千葉県(2004):平成15年度三番瀬自然環境総合解析「三番瀬の現状」報告書
 図 II.1.28 1960年代からの三番瀬周辺水準点の地盤沈下量

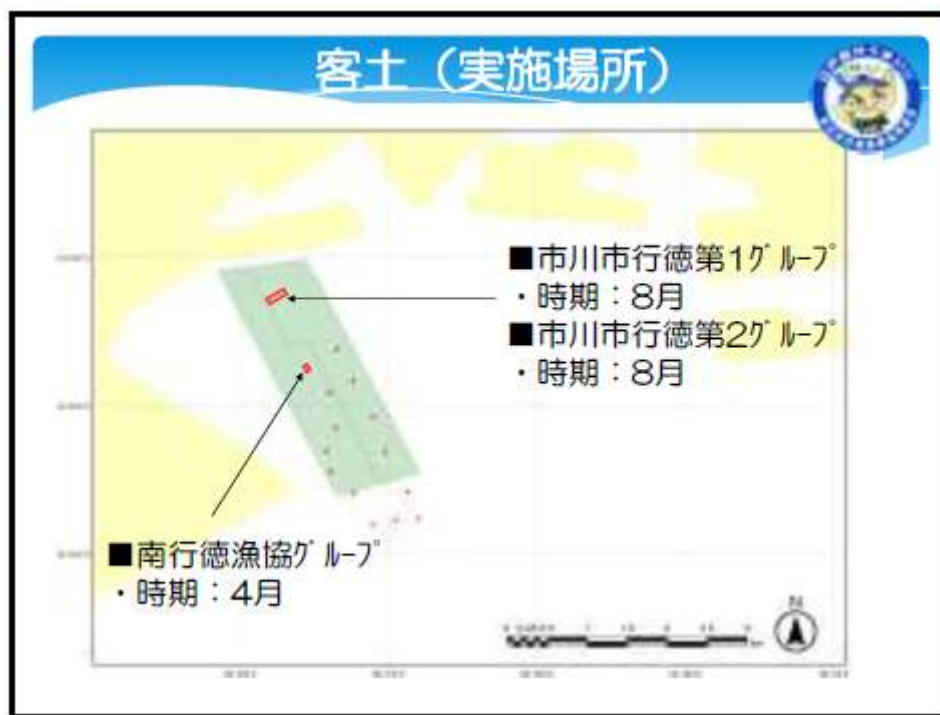
4.2 その他の人為的影響に係るデータ

4.2.1 客土（覆砂）

水産多面的機能発揮事業として漁業者が実施した、近年の客土（覆砂）の実績を以下に示す。覆砂は局所的かつ小規模であり、人為的な地形改変としては軽微なものである。

表 II.1.3 近年の客土（覆砂）実績

年度	事業主体	覆砂量(m ³)
平成23年度	南行徳漁協・市川市行徳漁協	1,932
平成24年度	南行徳漁協・市川市行徳漁協	2,998
平成25年度	市川市・船橋市の3活動グループ	840
平成26年度	市川市・船橋市の5活動グループ	1,299
平成27年度	市川市・船橋市の5活動グループ	882



出典：第6回三番瀬漁場再生事業連絡協議会 資料2（平成27年3月）

図 II.1.29 平成26年度における客土実施場所

4.2.2 構造物の改修

2010年度（平成22年度）以降、塩浜地区の護岸改修（石積護岸への改修）が引き続き行われており、現在は、塩浜2丁目の護岸整備が行われている（図II.1.30参照）。引き続きモニタリングが行われているが、現在までの地形の変化状況は軽微である。

今後の予定としては、以下の工事が予定されている。

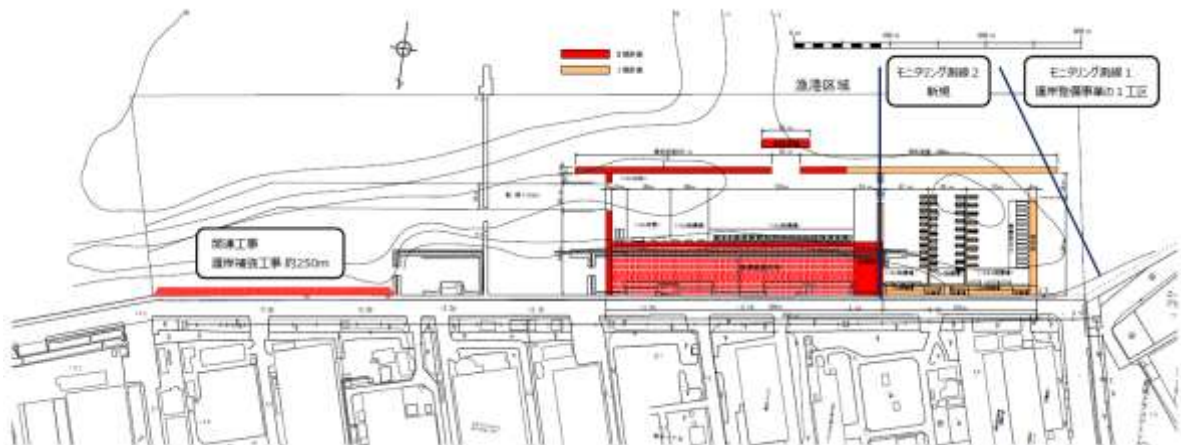
- ・市川漁港整備事業（平成28年度～平成32年度，図II.1.31参照）
- ・船橋航路付帯施設（防泥柵）の補修（平成29年4月～，図II.1.32参照）

市川漁港整備事業では、環境負荷低減のため、防波堤をジャケット式（傾斜板式）にするなどの反射波や流況への影響の少ない構造形式による設計が行われている。今年度からモニタリングが行われているが、地形への影響があるとしても局所的であると考えられる。防泥柵の補修に関しても、三番瀬の地形への影響は小さいものと考えられる。



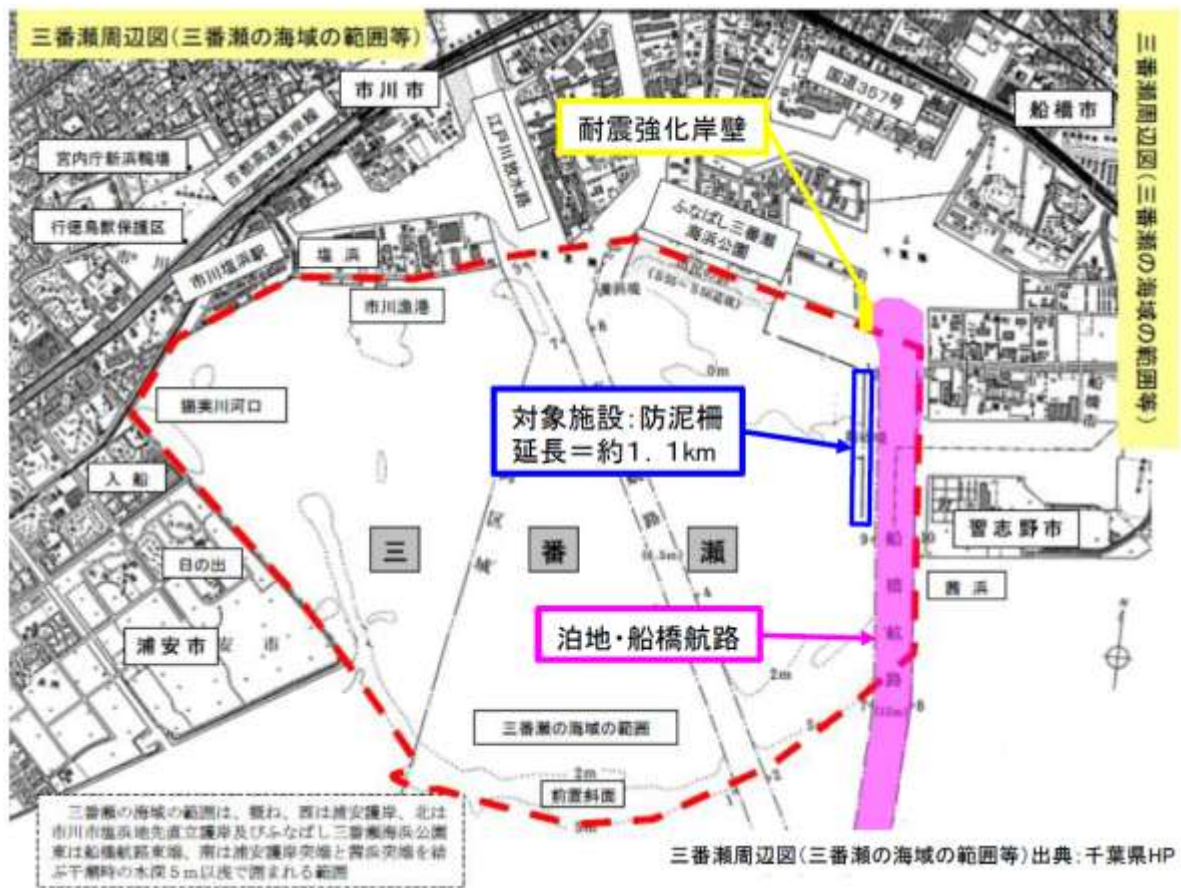
出典：平成27年度第2回「三番瀬専門家会議」【資料3】（平成28年2月）

図 II.1.30 塩浜2丁目護岸の位置



出典：平成27年度第2回「三番瀬専門家会議」【資料4】（平成28年2月）

図 II.1.31 市川漁港：全体計画平面図



出典：平成27年度第2回「三番瀬専門家会議」【資料5】（平成28年2月）

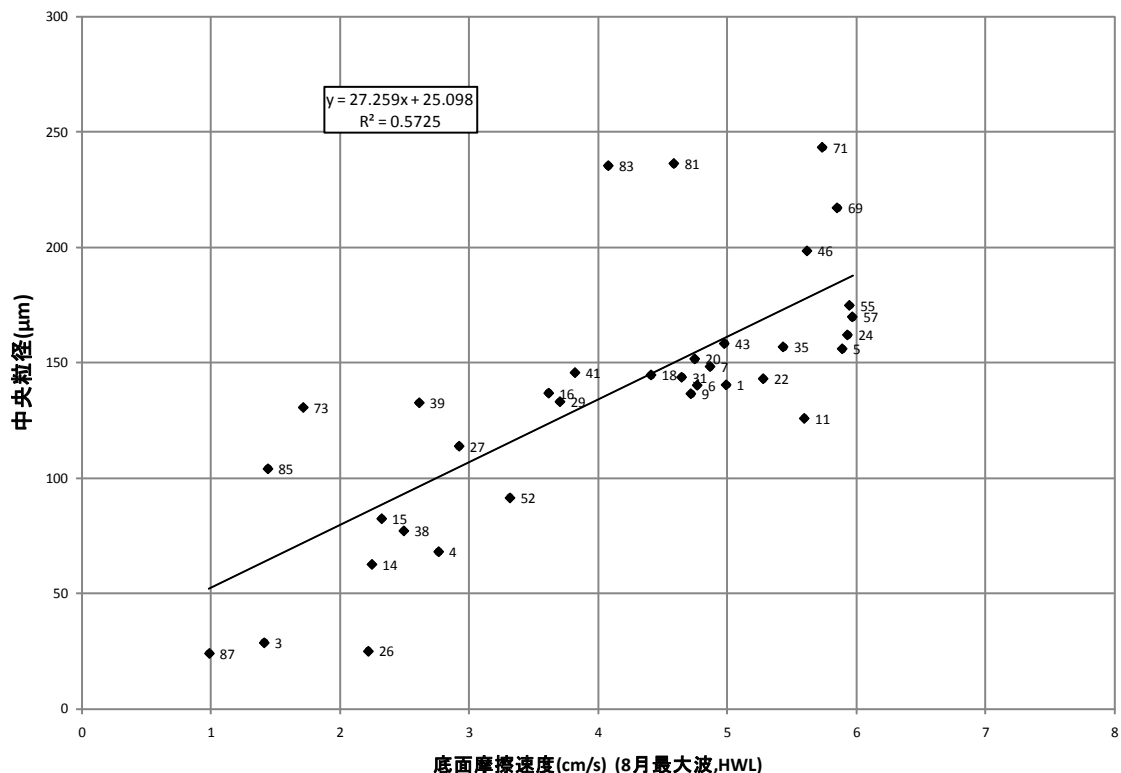
図 II.1.32 防泥柵の位置

II.1.5 底質変化との関連性

東日本大震災後の近年の調査結果（2014年5月）²によると、三番瀬全体でシルト・粘土分が減少している（詳細は、底質の章に記載）。この現象について、前節での地盤沈下との関連性について検討を行った。

5.1 検討方法

H22年度業務¹の結果では、波浪による底面摩擦速度と中央粒径の間に有意な正の相関性が見られた（下図参照）。そこで、2008dと2011dのそれぞれの測量結果に基づく水深条件で三番瀬内の波浪シミュレーションを行い、底面摩擦速度を比較する。



- ・ グラフ中の番号は地点番号
- ・ 波浪計算の水深条件：2008dの測量結果
- ・ 中央粒径：1994-1996, 2002, 2006年度の5年分の四季調査の平均中央粒径

図 II.1.33 8月最大波、H.W.Lにおける底面摩擦速度と中央粒径の比較¹

² 千葉県・エヌエス環境株式会社（2015）：平成26年度三番瀬海生生物現況調査（底生生物及び海域環境）報告書

5.1.1 波浪シミュレーション

波浪シミュレーション方法は、H22 年度業務¹において三番瀬以内での再現性の検証を行った SWAN を用いる。SWAN では、三番瀬を含む東京湾全体について、風による波の発達と地形による波浪変形を同時に扱うことができる。

5.1.2 底面摩擦速度

波浪計算結果をもとに底面摩擦速度 u_* を算定する方法を以下に示す。

$$u_* = \sqrt{0.5 f_w \hat{u}_b^2} \quad (16)$$

ここに、 f_w は摩擦係数、 \hat{u}_b は境界層外縁での流速 u_b の振幅である。 f_w の算定については、以下の Swart の式³を適用した。

$$f_w = \exp \left\{ -5.977 + 5.213 \left(\frac{a_m}{k_s} \right)^{-0.194} \right\} \quad \frac{a_m}{k_s} > 1.57$$
$$f_w = 0.30 \quad \frac{a_m}{k_s} < 1.57 \quad (17)$$

ここで、 a_m : 波動境界層外縁での水粒子軌道振幅（波高、周期、水深で決まる）、 k_s : 相当粗度である。

³ 本間仁・堀川清司（1985）：海岸環境工学，東京大学出版会，65p.

5.2 検討条件

5.2.1 波浪（風向・風速）

H22 年度業務¹では、高波浪時における地形変化外力と底質・生物分布の比較などを行うため、年最大波規模と月最大波規模の波浪外力計算を行った。年最大波及び月最大波に対する風速条件の推定結果を表 II.1.4 に示す。H22 年度業務¹では、月最大波の代表として、8月の条件を用いた。

表 II.1.4 年最大波及び月最大波に対する風速条件

	波高ランク ^{注1)} (ランク中央値)	波高ランクに対応する最 多出現波向 (=風向)	風速条件 ^{注2)}
通年	1.6~1.8m (1.7m)	S SW	23.1m/s
1月	1.0~1.2m (1.1m)	SW	17.8m/s
2月	1.0~1.2m (1.2m)	SW	18.8m/s
3月	1.2~1.4m (1.3m)	S SW	19.7m/s
4月	1.2~1.4m (1.3m)	S SW	19.7m/s
5月	1.2~1.4m (1.3m)	S SW	19.7m/s
6月	1.2~1.4m (1.3m)	S SW	19.7m/s
7月	1.0~1.2m (1.1m)	S SW	17.8m/s
8月	1.2~1.4m (1.3m)	S	19.7m/s
9月	1.4~1.6m (1.5m)	S	21.4m/s
10月	1.2~1.4m (1.3m)	S SW	19.7m/s
11月	1.2~1.4m (1.3m)	SW	19.7m/s
12月	1.2~1.4m (1.3m)	S SW	19.7m/s
全月で発生 し得る波浪	1.0~1.2m (1.1m) (1月~12月の月最大波最低値)	S SW (1月~12月の最多出現風向)	17.8m/s

注1) 三番瀬沖での波高

注2) 波浪シミュレーションでは、再現性の検討結果を踏まえて、この風速値を0.86倍する。

出典：平成22年度三番瀬自然環境総合解析 報告書（平成23年3月，千葉県・いであ株式会社）

5.2.2 地形条件

- ① 2008d（平成21年2~3月の測量結果）
- ② 2011d（平成24年2月の測量結果）

5.3 検討結果

5.3.1 波浪シミュレーション結果

以下の2波浪条件（風速条件）の結果を図 II.1.34～図 II.1.37 に示す。

- ・年最大波
- ・8月の月最大波

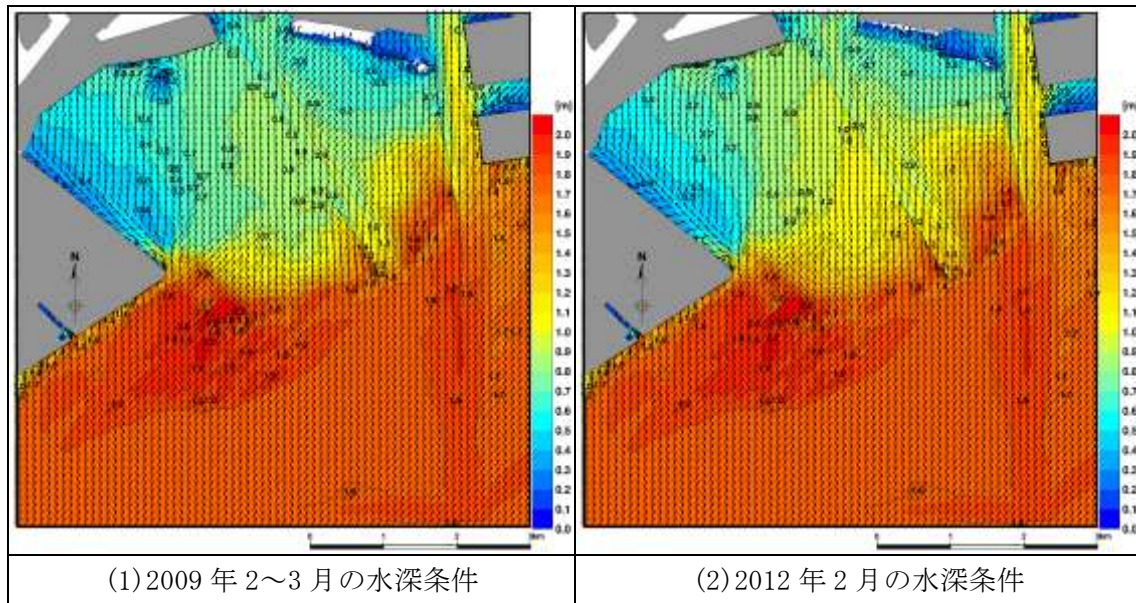


図 II.1.34 波高分布(年最大波, M. S. L)

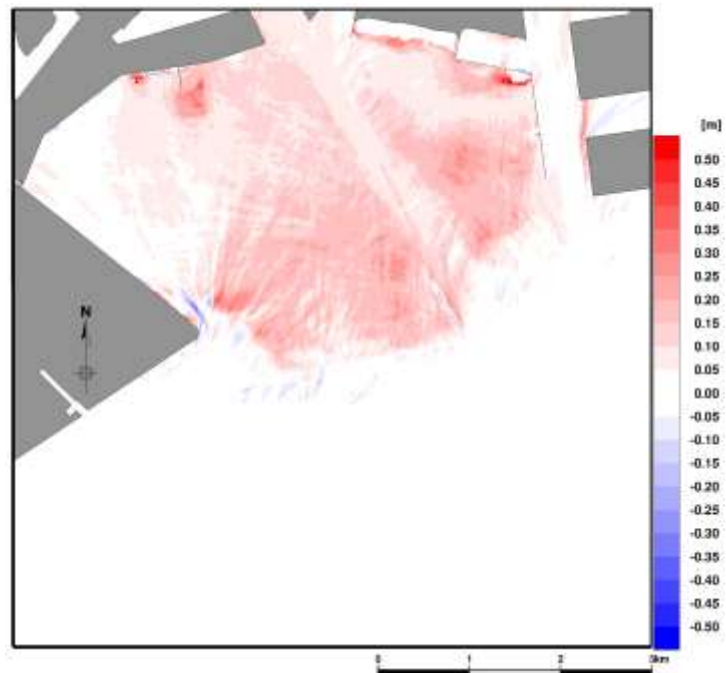


図 II.1.35 波高の差異の平面分布(年最大波, M. S. L) : $H_{2012.2} - H_{2009.2-3}$

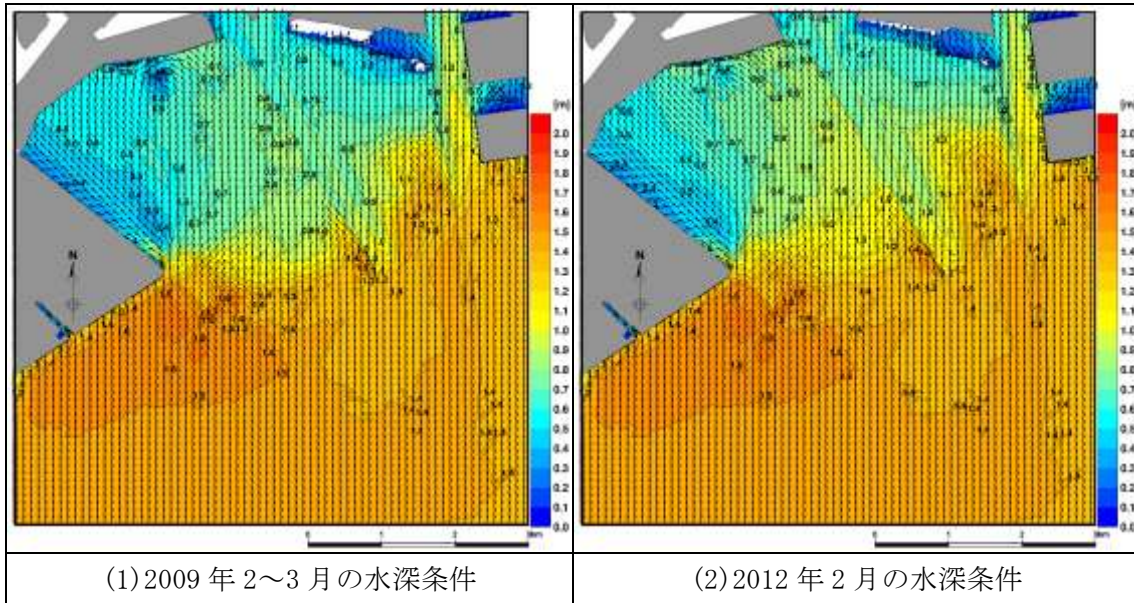


図 II.1.36 波高分布 (8月最大波, M. S. L)

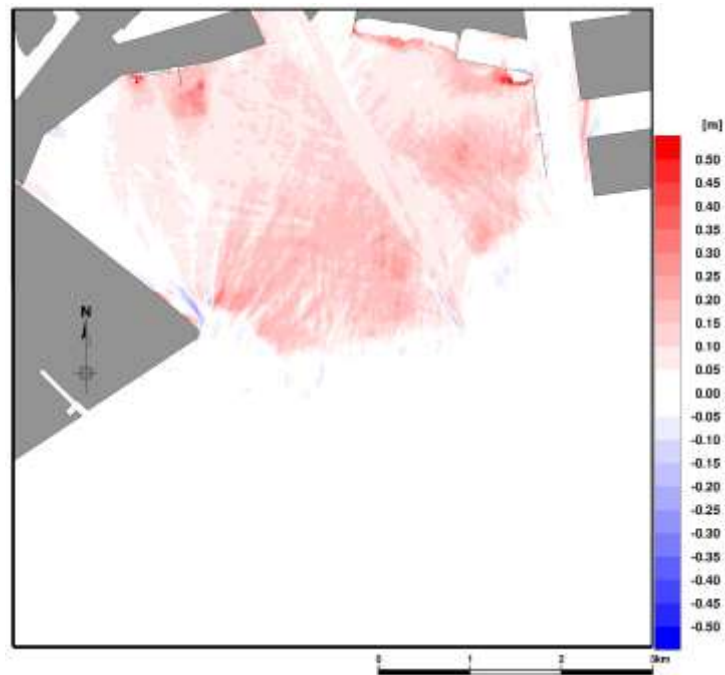


図 II.1.37 波高の差異の平面分布 (8月最大波, M. S. L) : $H_{2012.2} - H_{2009.2-3}$

5.3.2 底面摩擦速度

底面摩擦速度の平面分布を図 II. 1. 38～図 II. 1. 41 に示す。

地盤沈下により水深が深くなると、以下の二つの影響がある。

- ① 波浪の減衰率が低下して三番瀬内の波高が大きくなる。
- ② 水深が深くなることで、同じ波高ならば、底面上の軌道流速振幅が小さくなる。

図 II. 1. 39 及び図 II. 1. 41 をみると、猫実川河口部以外は、上記①の効果が大きく、底面摩擦速度が増加している。図 II. 1. 33 に示した関係を参照すると、シルト・粘土分が低下して中央粒径が大きくなることと整合する。

猫実川河口部（領域(1)及び(2)、図 II. 1. 7 参照）については、平成 22 年度の総合解析¹で以下のように考察している。

- ・領域(1)～(3)は、流況シミュレーションで海水交換性が低い結果が認められた。また、出水時における行徳可動堰からの淡水流入後の回復も遅い。これらのことから、高波浪時や出水時の広域的な濁りが（航路や滞筋以外では）最終的に溜まりやすい場所となっているものと考えられる。平成 20 年度に行徳可動堰開放時においても、領域(1)の調査地点 1 では、濁度が比較的高い状態が断続的に続いていた。

底質調査が行われた 2014 年 5 月より前に行徳可動堰の開放は 2011 年 9 月であり（表 II. 1. 2 参照）、3 年近く出水の影響を受けていない。このことが、猫実川河口部におけるシルト・粘土分の低下の原因である可能性がある。ただし、下記に示すように、平成 22 年度の解析結果¹では、底質変化と行徳可動堰の開放との関連性は明確ではなかった。

過去にも 2002 年度に三番瀬では全般的な地盤低下（侵食）と底質のシルト・粘土分の低下（粗粒化）が見られたことがある。平成 22 年度の解析結果¹を図 II. 1. 42 に示す。2002 年度の現象では、底質調査の直前（2002 年 7 月、表 II. 1. 2 参照）に行徳可動堰の開放が行われており、底質粒度組成の変化と行徳可動堰の開放との関係は曖昧である。

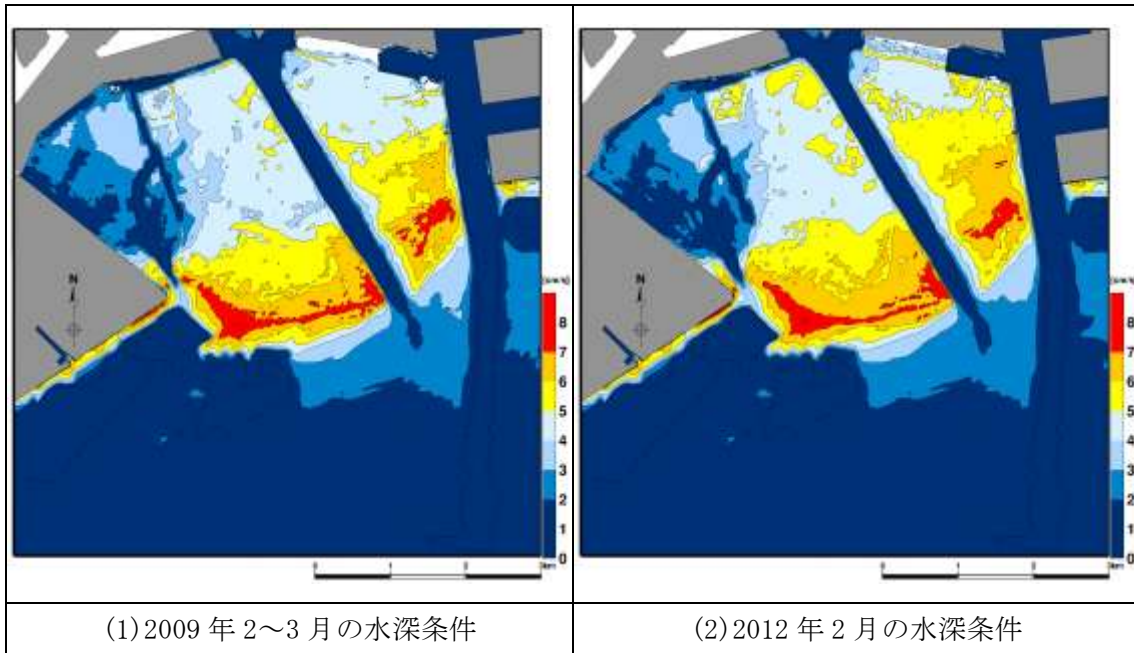


図 II.1.38 底面摩擦速度の平面分布 (年最大波, M. S. L)

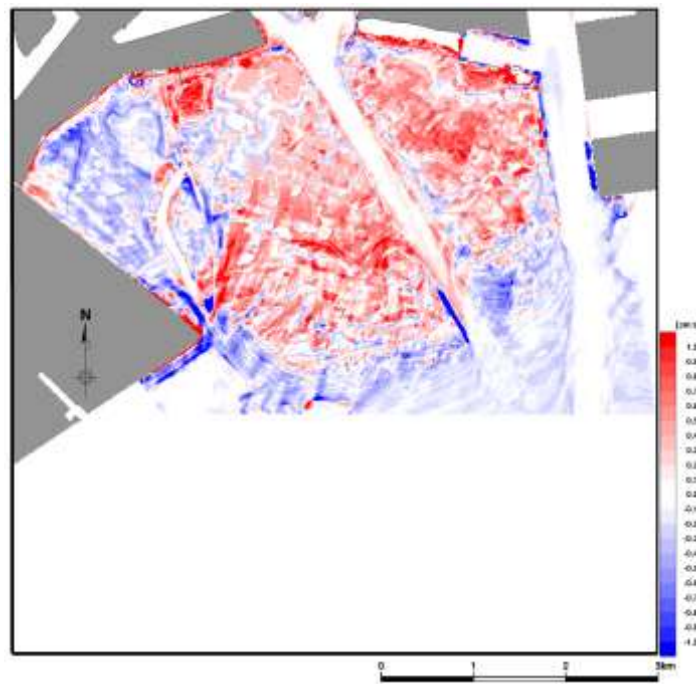


図 II.1.39 底面摩擦速度の差異の平面分布 (年最大波, M. S. L) : $U_{2012.2} - U_{2009.2-3}$

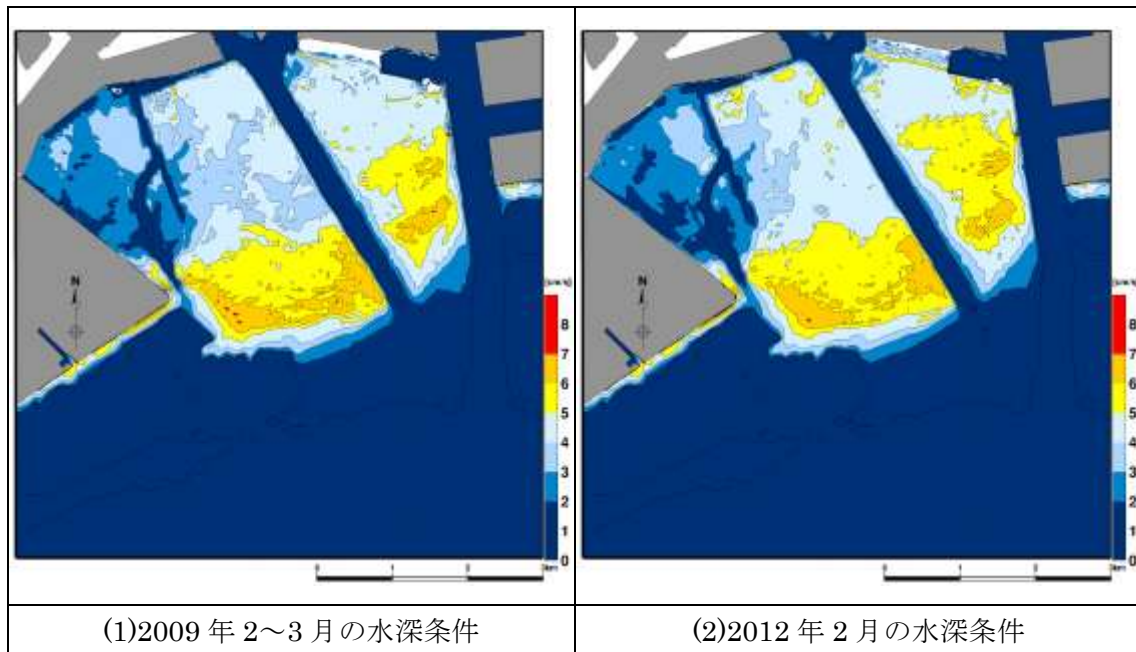


図 II.1.40 底面摩擦速度の平面分布(8月最大波, M. S. L)

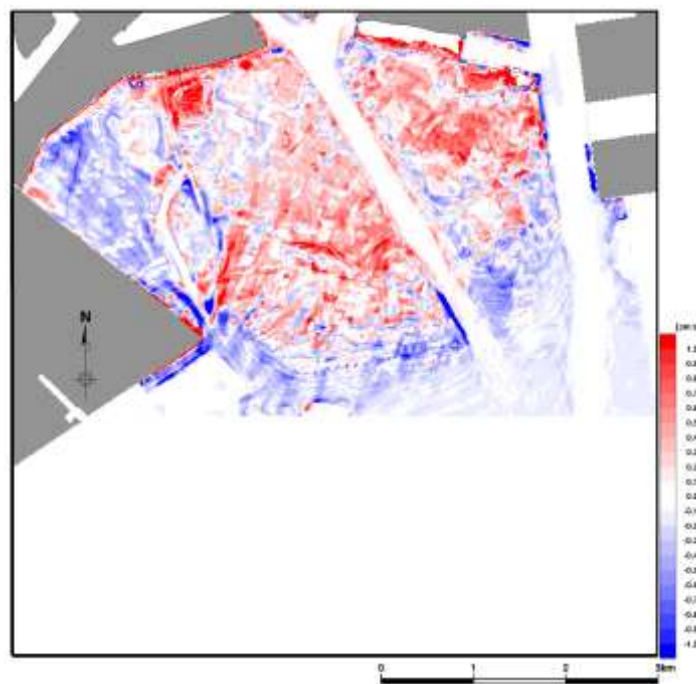
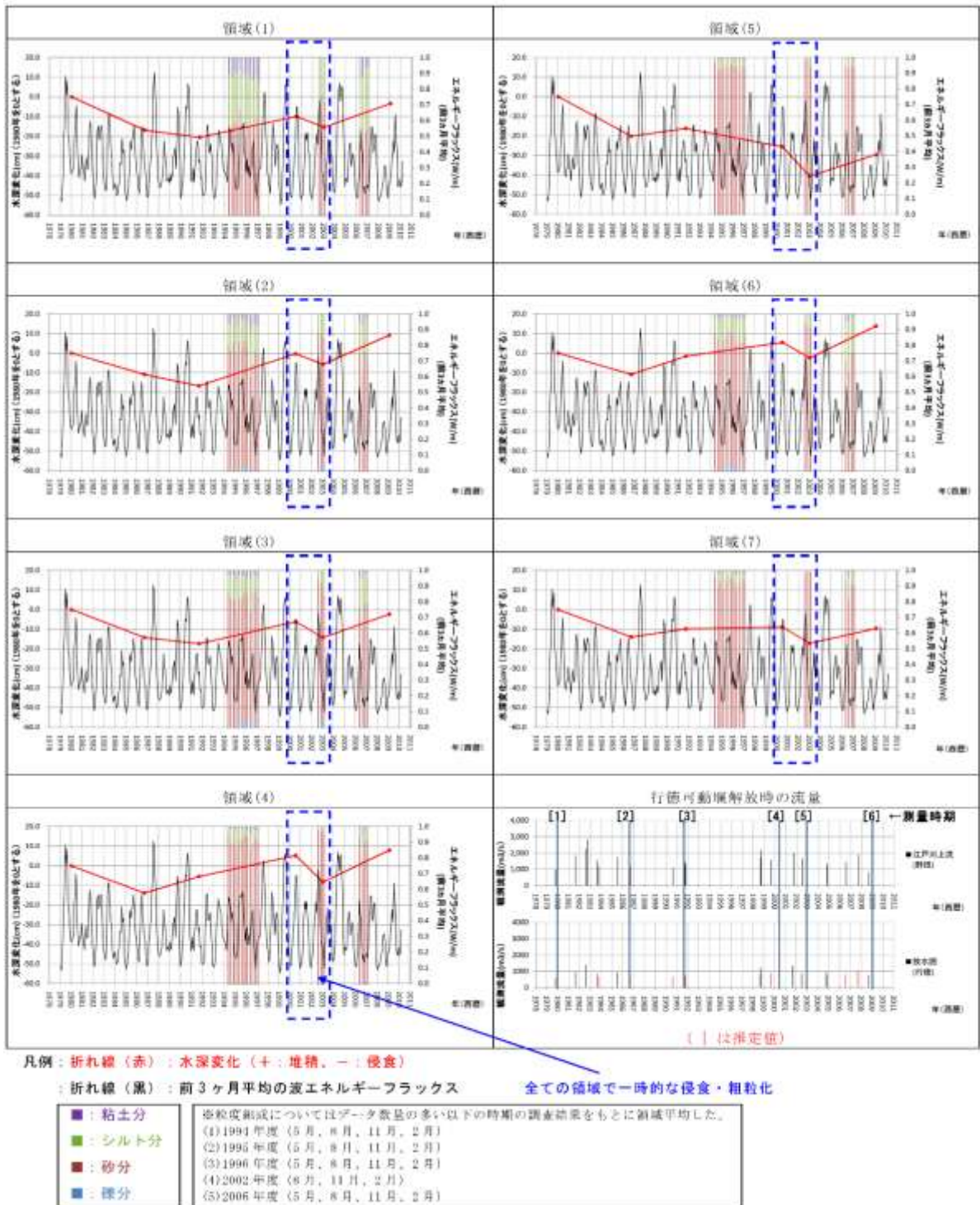


図 II.1.41 底面摩擦速度の差異の平面分布(8月最大波, M. S. L) : $U_{2012.2} - U_{2009.2-3}$



出典：平成 22 年度三番瀬自然環境総合解析 報告書（平成 23 年 3 月，千葉県・いであ株式会社）

図 II.1.42 領域別平均水深変化量及び粒度組成変化、前 3 ヶ月平均の波浪エネルギーフラックス

5.4 東日本大震災による津波の影響

東日本大震災前後の浦安沖モニタリングポストの流況を図 II.1.43 に示す。2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の地震発生後、津波の来襲により、押し波に伴う北流に続いて引き波に伴う南流が観測されている。引き波時の流速は 1 時間毎のデータでみても 100cm/s を超えおり、三番瀬内でも沖向きの流れが顕著であった可能性が高い。それに伴って細粒分が沖に流されて、(一時的に)シルト・粘土分が低下した可能性がある。

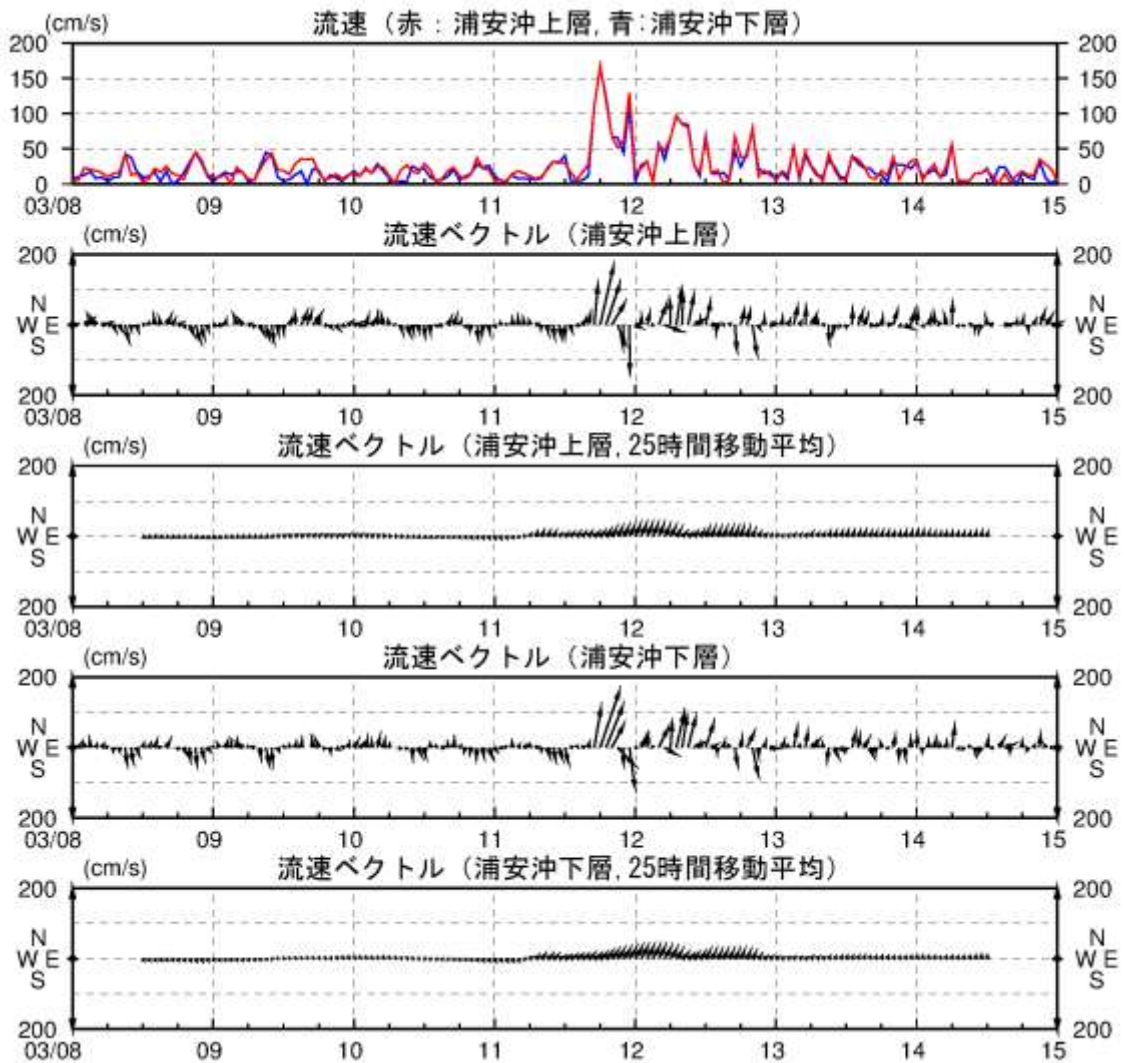


図 II.1.43 東日本大震災(2011/3/11)前後の浦安沖モニタリングポストの流況

II.1.6 波浪・地形のまとめ

「地形・波浪」の調査・解析結果のまとめを以下に示す。ここで、調査結果から**確実性が高いと考えられる事項はゴシック体**で記載し、推測の域を出ずに不確実性を伴う事項は、他の文章と同様に明朝体で記した。

- ✓ 2012年2月の測量結果によれば、これまでの地形変化傾向とは異なる地盤の低下が見られた。高波浪や出水による自然変動の影響とは考えられず、陸上水準点の沈下量との整合性から、東日本大震災による影響であると考えられる。
- ✓ 2011年3月の東日本大震災により三番瀬は全体的に地盤が20~30cm低下したものと考えられる。津波来襲時の強流による侵食の影響も多少あると考えられるが、地盤低下の主要因は、液状化による締固めであると考えられる。その後現在に至るまで、地盤の回復は見られない。
- ✓ 浦安側の前置斜面は、東日本大震災による地盤沈下とは別に、波の影響により侵食傾向が継続している。
- ✓ 限られた測線での解析結果ではあるが、東日本大震災による地盤沈下後も、猫実川河口部を除いて、今年度までは全般的に若干の侵食傾向がうかがえる。
- ✓ 数値シミュレーション結果によれば、地盤低下により水深が深くなって、三番瀬内の波は大きくなっている。
- ✓ 数値シミュレーション結果によれば、猫実川河口部を除いて、波による底面摩擦速度が大きくなっており、シルト・粘土分の低下（2014年5月調査）との関連性が示唆される。

II.2 流況・水質

II.2.1 流況

1.1 三番瀬の流況の特徴

2014年度の平成26年度三番瀬海生生物現況調査（底生生物及び海域環境）の結果を用いて、三番瀬の流況の特徴を整理し、2008年度の平成20年度三番瀬水環境モニタリング調査の結果と比較した。

1.1.1 2014年度の観測状況

(1) 流況の経時変化

2014年度（観測期間：2014年7月23日～10月23日）の2測点の流向・流速の経時変化は図II.2.2に示すとおりである。船橋（アメダス）の降水量、千葉測候所の潮位、浦安沖（モニタリングポスト）の風向・風速の経時変化も併せて示した。

なお、平成26年度三番瀬海生生物現況調査（底生生物及び海域環境）で実施した潮流調査の位置は、図II.2.1に示すとおりである。

測点2、3では、流速は10cm/s以下の流れが大部分を占めていたが、8月4日～11日にかけては、流速が10cm/s以上の比較的強い流れが卓越し、短い周期の変動となっていた。この期間は、次項で後述するとおり、台風第11号の接近に伴い、10m/sを超える南寄りのやや強い風が断続的に観測されており、台風の影響を強く受けていたものと考えられる。

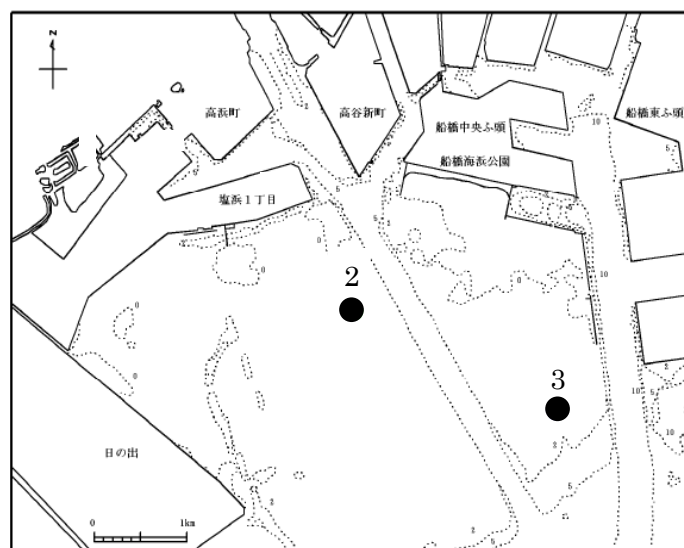
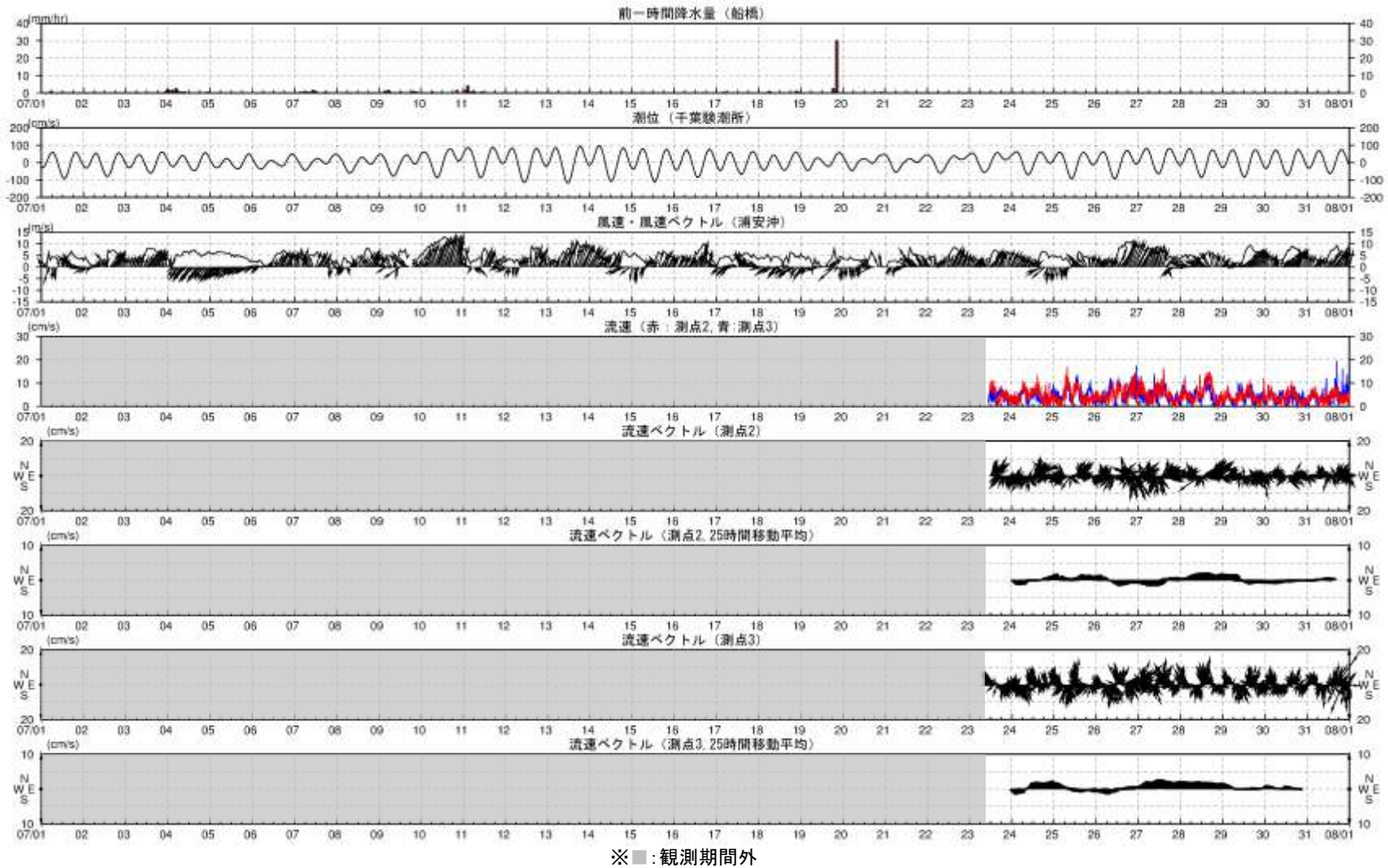


図 II.2.1 平成 26 年度の潮流調査位置



※■: 観測期間外
 図 II.2.2(1) 流況の経時変化 (2014年7月1日~7月31日)

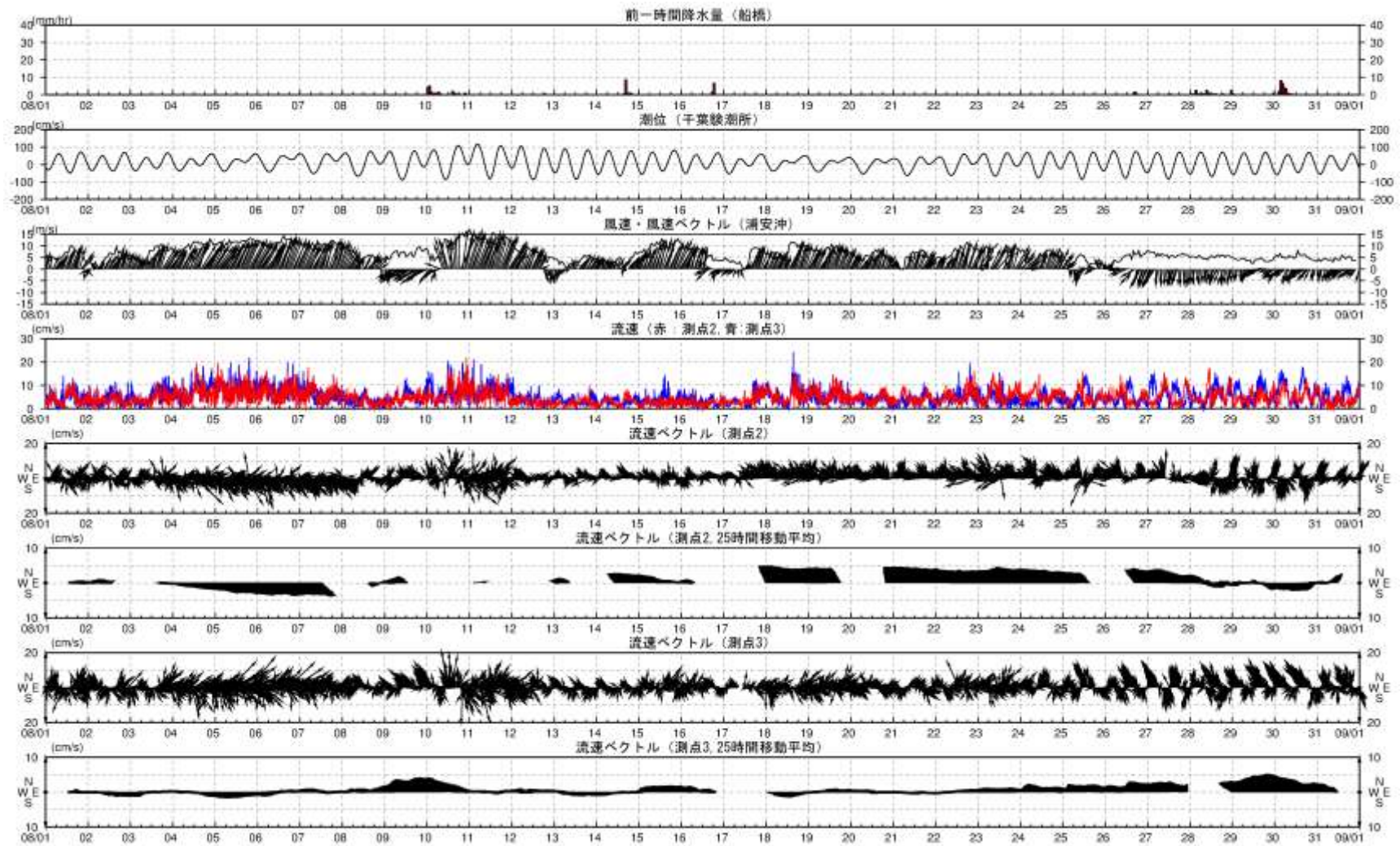


図 II.2.2(2) 流況の経時変化 (2014年8月1日~8月31日)

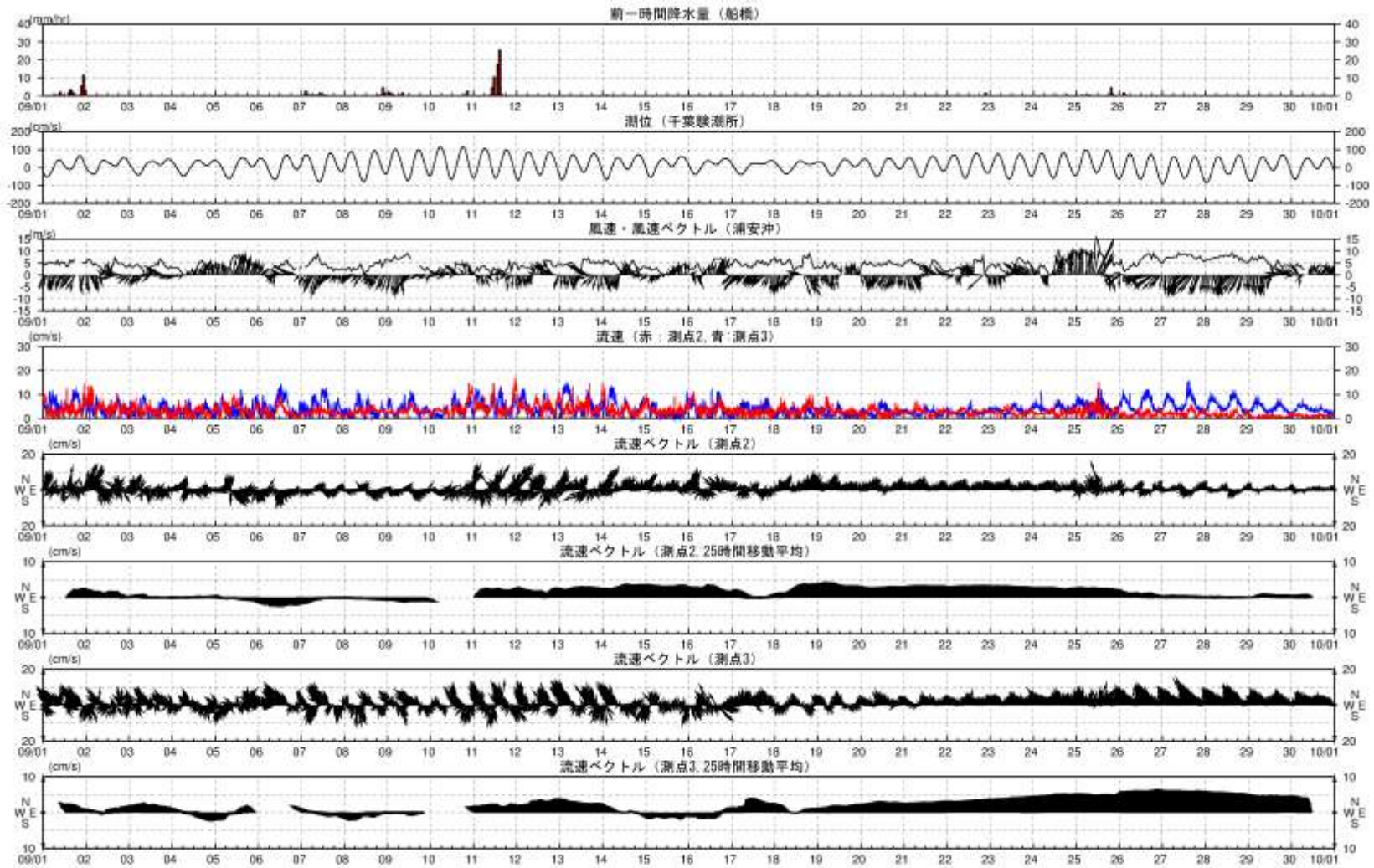
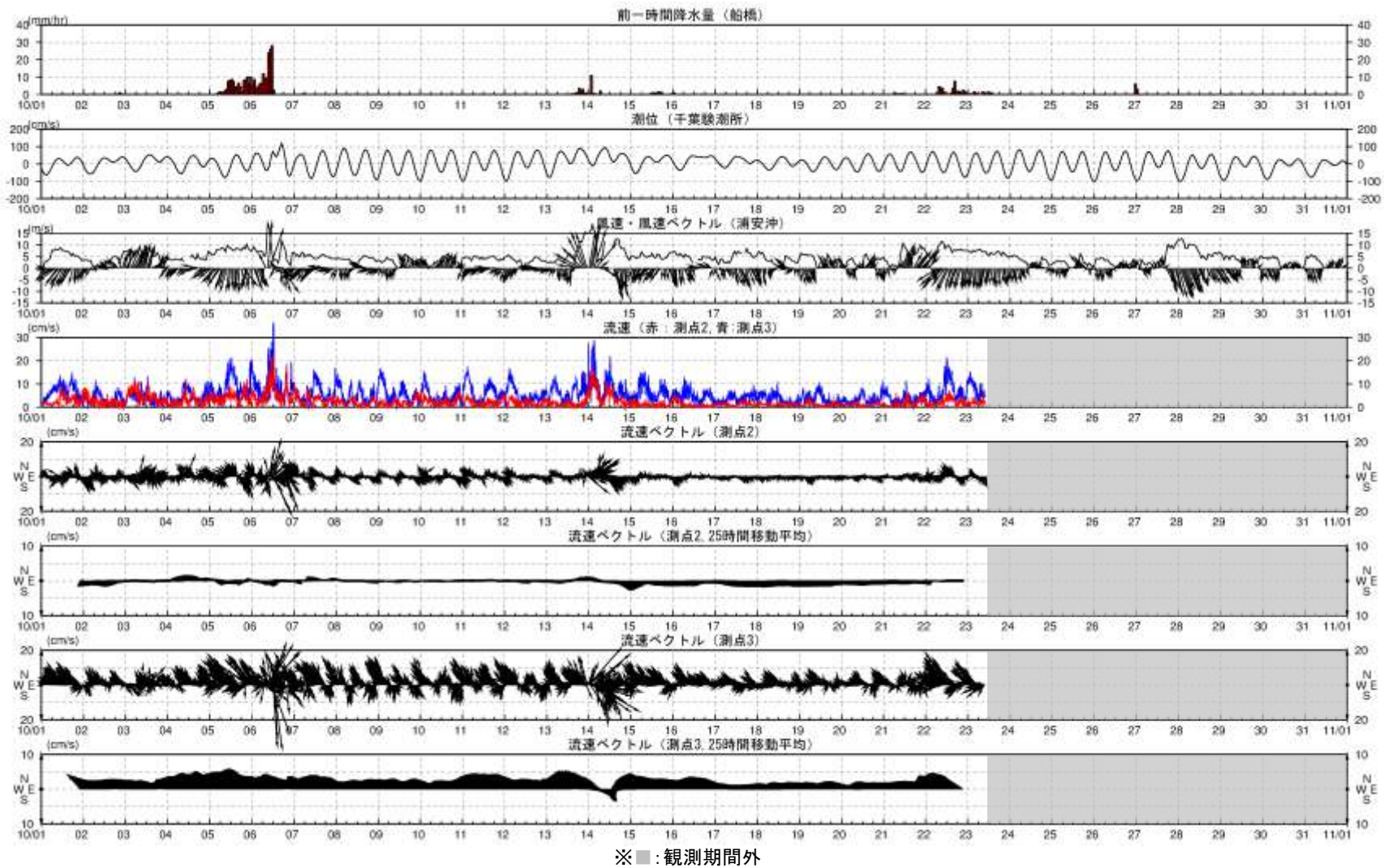


図 II.2.2(3) 流況の経時変化 (2014 年 9 月 1 日~9 月 30 日)



※■: 観測期間外
 図II.2.2(4) 流況の経時変化 (2014年10月1日~10月31日)

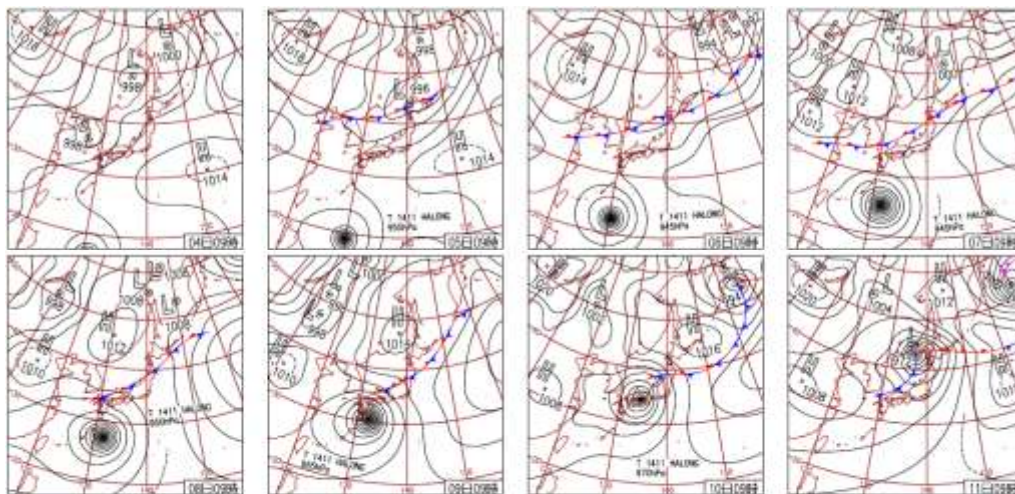
(2) 2014年夏季の気象概況

2014年8月の台風第11号接近時の地上天気図を図II.2.3に示す。

2014年の夏季は、7月31日～8月11日にかけて、台風第12号および台風第11号が相次いで日本列島に接近し、8月5日～26日にかけて、前線が日本付近に停滞した。また、7月30日～8月26日の期間を通じて、日本付近への暖かく非常に湿った空気の流れ込みが継続した。

これら台風や前線等の影響により全国各地で連日大雨となり、三番瀬付近ではとくに8月4日～11日頃にかけて南寄りの風が強まった。

このため、次頁以降の流れの出現傾向や周期性の解析では、台風の影響の大きな8月前半の期間を除外し、8月16日～9月14日の期間を解析対象とした。



※日々の天気図（気象庁）

図II.2.3 2014年8月4日～11日の午前9時の地上天気図

1.1.2 流れの出現傾向（流向・流速の頻度分布）

(1) 2008 年度の夏季・秋季・冬季および 2014 年度の夏季

2008 年度の 3 測点および 2014 年度の 2 測点の流向・流速、行徳地点（2014 年度は浦安沖）の風向・風速の出現頻度を図 II. 2. 4(1)に示す。

2008 年度の測点 1 では、期間を通して 5cm/s 以下の弱い流れが大部分を占め、秋季と冬季には南東方向の流れの出現頻度が増すものの、特定方向の流れの卓越はみられなかった。測点 2 では、夏季から秋季にかけて北西 - 南東方向の往復流、冬季には南西流が卓越する傾向がみられた。測点 3 では、期間を通して、北西 - 南東方向の往復流が卓越しており、秋季と冬季には特に西向きの流れの出現頻度が増す傾向がみられた。行徳地点の風向・風速をみると、夏季には南風、秋季から冬季にかけては北風が卓越しており、測点 3 でみられたような西向きの流れは吹送流の影響と考えられる。

一方、2014 年度夏季の測点 2 では、北西から北北東方向の流れの出現頻度が比較的高いものの、特定方向の流れの卓越はみられなかった。測点 3 では、北北西の出現頻度が高くなっていた。浦安沖地点の風向・風速をみると、南風と北風が卓越していた。

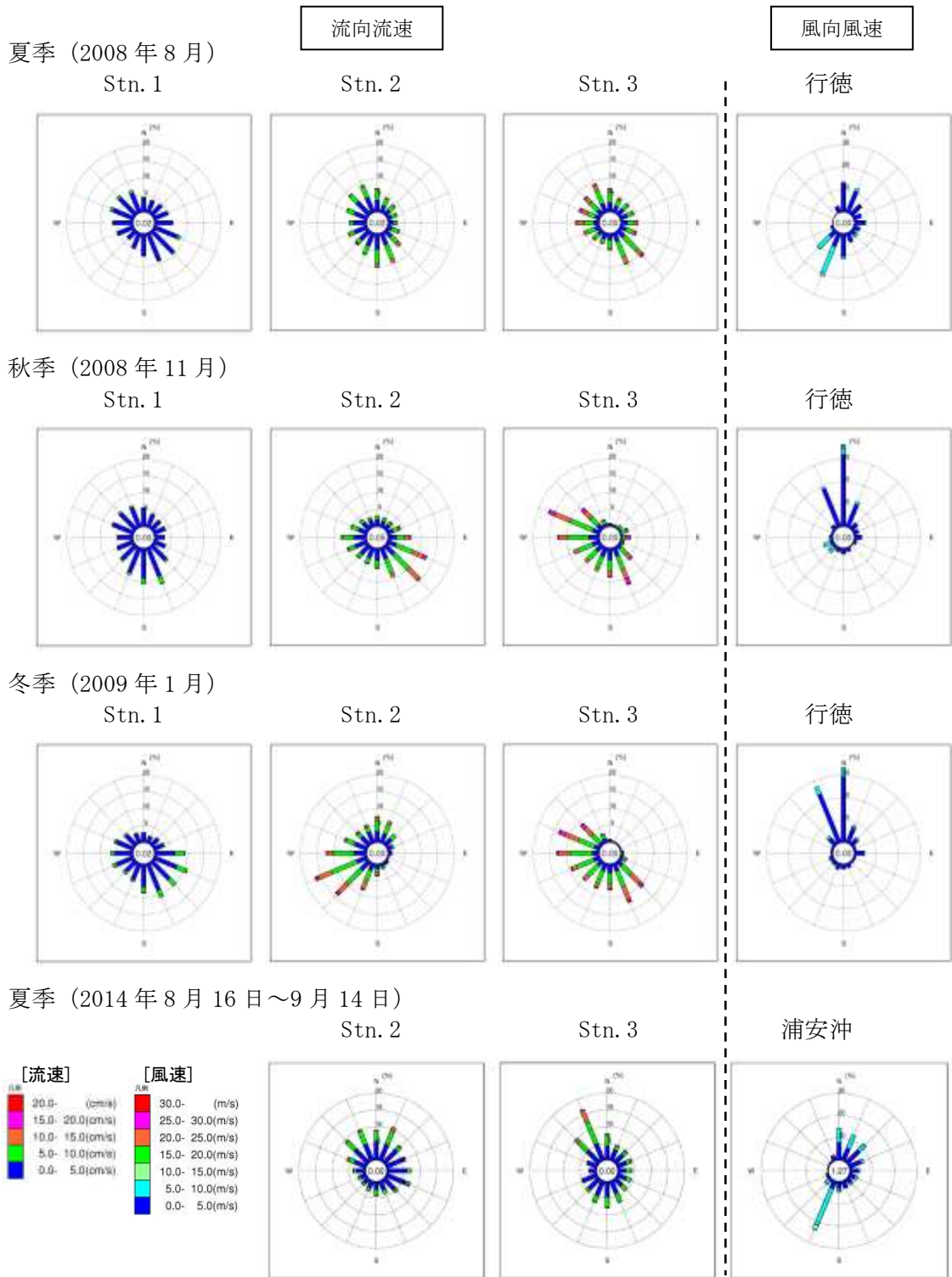
両年度の夏季で比較すると、測点 3 の北北西方向の流れが卓越する傾向は同様であったが、2014 年度夏季は 2008 年度夏季よりも南向きの流れの出現頻度が少ない傾向となっていた。また、測点 2 をみると、測点 3 と同様に南向きの流れの出現頻度が少ない傾向となっていた。これらの南向きの流れの出現頻度に違いがみられた要因は、2008 年度夏季とくらべて 2014 年度夏季は、北から北東寄りの風の出現頻度が高くなっているように、風の吹き方が異なっていたためと考えられる。

(2) 2014 年度の台風第 11 号接近時および青潮発生時

2014 年度の 2 測点の台風第 11 号接近時（8 月 4 日～11 日）および青潮発生時（8 月 27 日～9 月 3 日）の流向・流速、浦安沖地点の風向・風速の出現頻度を図 II. 2. 4 (2)に示す。

台風第 11 号接近時には、測点 2 で南東方向、測点 3 で北東～南東方向の流れが卓越しており、浦安沖地点の風向・風速をみると、10m/s を超える南南東のやや強い風の出現頻度が高くなっていた。

一方、青潮発生時には、測点 2 で北北東方向、測点 3 で北北西方向の流れが卓越しており、浦安沖地点の風向・風速をみると、北～北東の風の出現頻度が高くなっていた。



※Stn. 1~3 の流向は流れ去る向き、
 行徳・浦安沖地点の風向は吹いてくる向きを指す

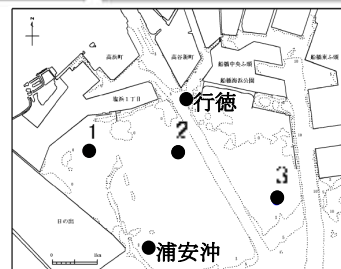
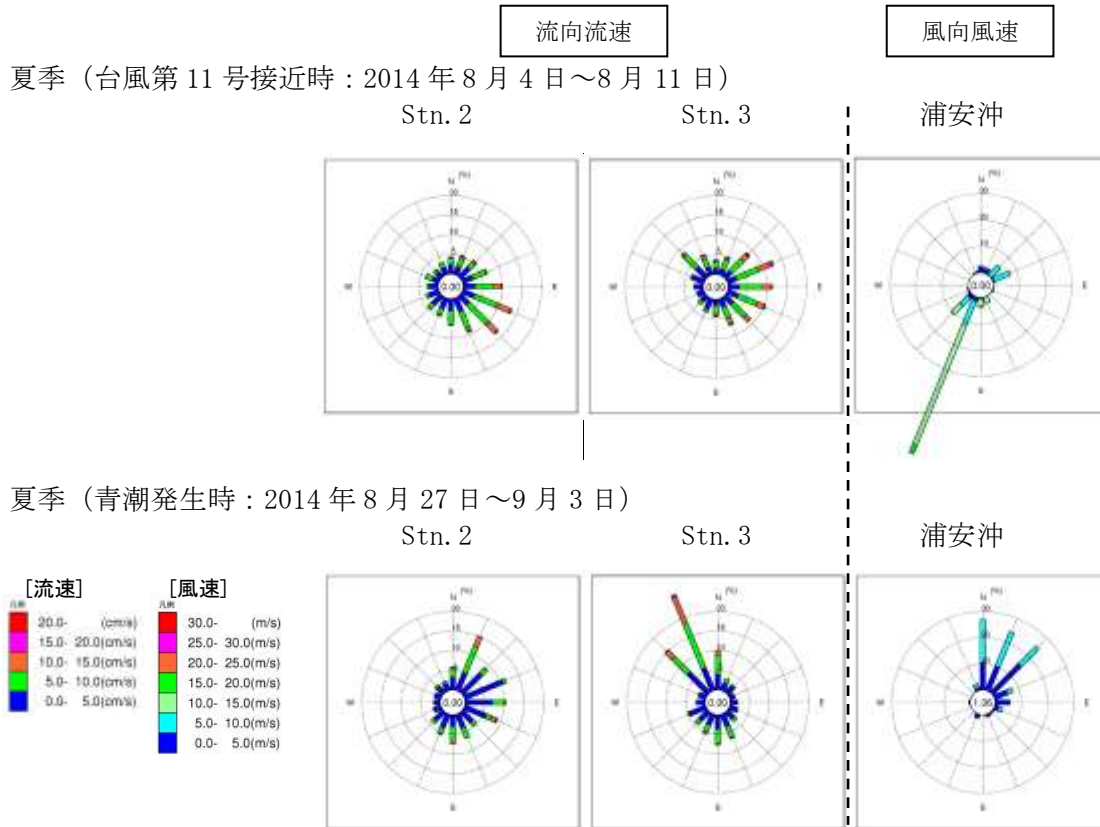


図 II.2.4(1) 流向流速および風向風速の出現頻度分布



※Stn. 2～3 の流向は流れ去る向き、
浦安沖地点の風向は吹いてくる向きを指す

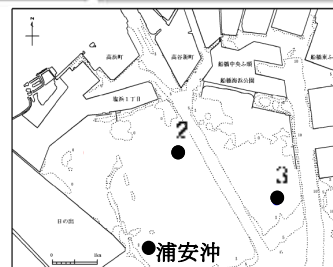


図 II.2.4 (2) 流向流速および風向風速の出現頻度分布
(上：台風第11号接近時、下：青潮発生時)

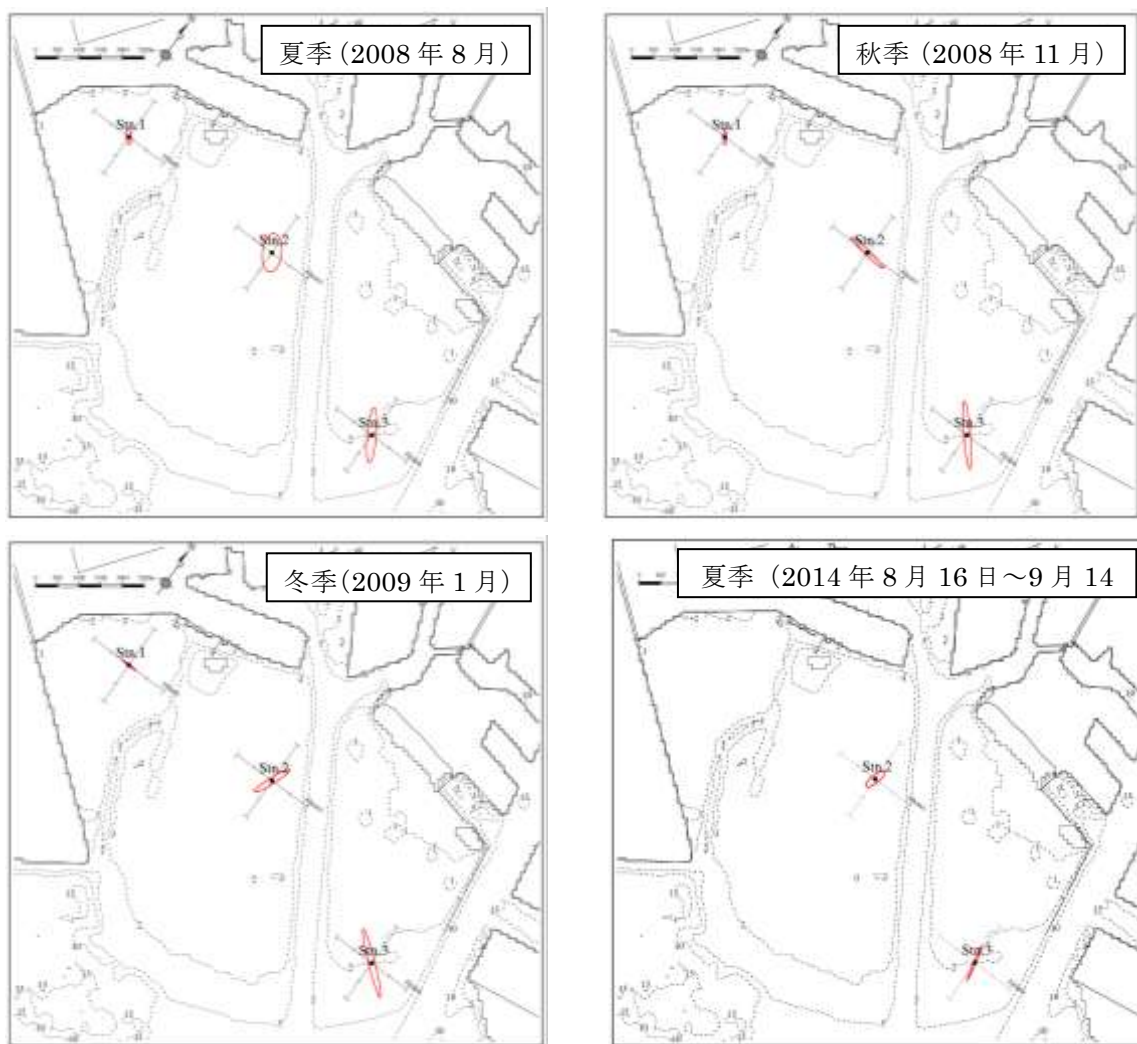
1.1.3 流れの周期性

(1) M_2 分潮の潮流楕円の分布

2008年度の3測点および2014年度の2測点で最も卓越していた M_2 分潮の潮流楕円は、図II.2.5に示すとおりである。

2008年度について、測点間で比較すると、期間を通して、測点1や測点2では相対的に往復流が小さく、測点3でより顕著な往復流がみられた。測点3では、期間を通して、北西-南東方向の往復流を示していた。一方で、測点2では、季節ごとに楕円の向きや扁平度が変化しており、測点2の M_2 分潮の潮流は複雑な季節変化を示していた。

2014年度の結果をみると、測点2および測点3で南北方向の往復流となっており、測点2とくらべて測点3の潮流楕円の方が大きく、2008年度と同様であった。また、測点3の潮流楕円の長軸方向は、2008年度とくらべてやや変化するものの、両年度ともに岸沖方向の往復流となっていた。



図II.2.5 M_2 分潮の潮流楕円分布

(2) 潮流の経年変化

2008年度の3測点と2014年度の2測点における潮流調和分解の結果から、半日周期の分潮 (M_2 、 S_2) の振幅の経年変化は、図 II. 2. 6 に示すとおりである。また、参考として、1999年度の3測点 (A~C) の M_2 分潮と S_2 分潮の振幅についても図 II. 2. 6 に併せて示した。

2008年度の3測点の M_2 分潮と S_2 分潮の振幅は、測点3が最も大きく、次に測点2、測点1の順に小さくなっていた。この傾向は2014年度の2測点でも同様であった。

2014年度の潮流の振幅は、2008年度とくらべて、2測点ともにそれぞれの分潮の振幅が1~2cm程度小さくなる傾向がみられた。参考として示した1999年度の結果をみると、測点B(1999年度)と測点2(2014年度)、測点C(1999年度)と測点3(2014年度)が場所的には近く、1999年度と2014年度の潮流の振幅は概ね同程度となっている。このことから、2008年度と2014年度の潮流の振幅の違いは、経年的な変化ではなく、自然変動の範囲内と考えられる。

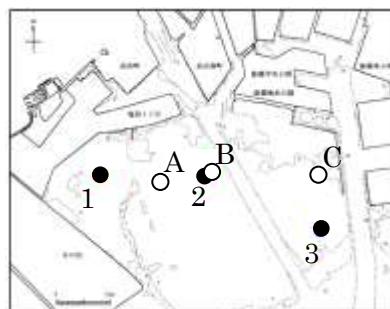
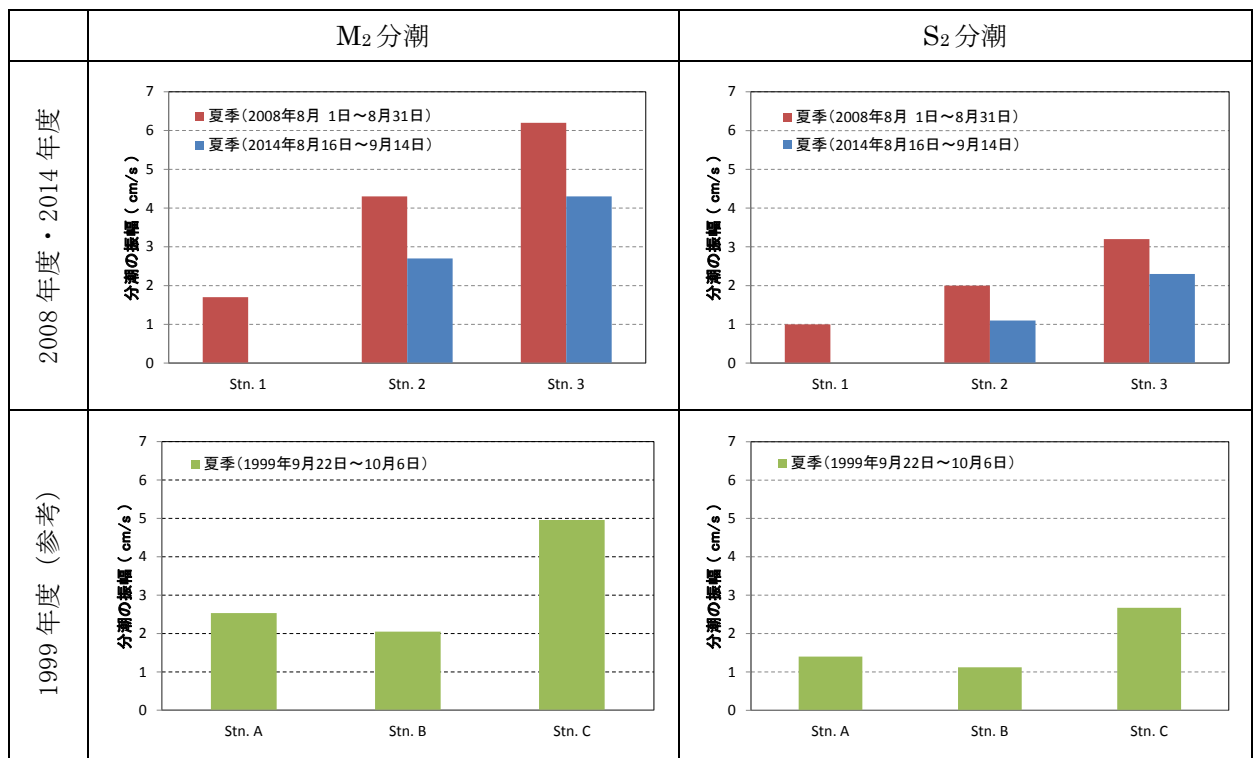


図 II.2.6 半日周期の分潮 (M_2 、 S_2) の振幅の経年変化

1.1.4 平均流

2008年度の3測点と2014年度の2測点における潮流調和分解で得られた結果から、各季節における平均流の分布を図II.2.7に示す。

2008年度について、測点間で比較すると、期間を通して、測点1では相対的に平均流が弱く、測点2、3でより強い平均流がみられた。季節変化をみると、3測点とも、夏季は流速が0.5cm/s未満と小さく、冬季にかけて流速が大きくなる傾向がみられた。

行徳地点の風向・風速の出現頻度をみると、秋季から北風が卓越しており、それに伴い、全体として平均流が強くなる傾向がみられた。また、夏季には南風の出現頻度が最も高くなるものの、北風の出現頻度も高く、風場が変動していたため、平均流が全体として弱かったと考えられる。

測点別にみると、測点3では、秋季以降、南西流傾向を示しており、これは北風の連吹による吹送流の影響と考えられる。測点2でも、冬季に西向きの流れが卓越するものの、冬季と同様、北風傾向であった秋季には南東流が卓越していた。測点1では、夏季は特定方向の流れはみられなかったが、秋季および冬季は南流傾向となっていた。

一方、2014年度夏季の平均流は、測点2、3ともに北流となっており、流速は1.0cm/s程度と小さく、2008年度夏季とくらべると、流向に違いがあり、流速は同程度となっていた。この流向の違いは、2008年度夏季とくらべて2014年度夏季は、北から北東寄りの風の出現頻度が高くなっているように、風の吹き方が異なっていたためと考えられる。

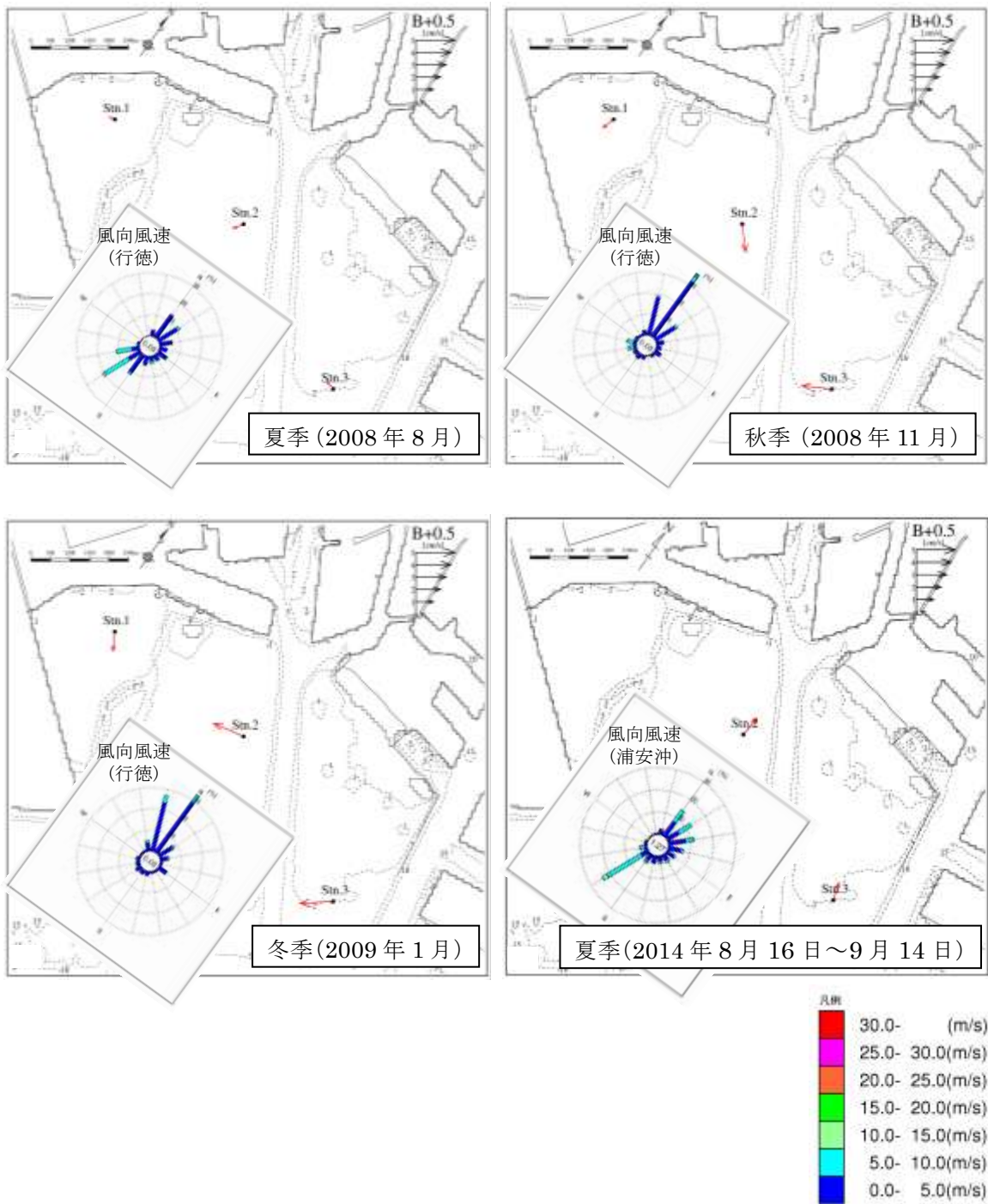


図 II.2.7 平均流と行徳地点の風向風速頻度分布

1.2 まとめ

2014 年度夏季の調査結果から三番瀬の流況の現況を整理し、2008 年度の調査結果と面的に比較することにより、三番瀬の流況の経年変化を把握し、三番瀬の流況の特徴を図 II.2.8 にまとめた。

○潮流

- ・ 最も卓越していた M_2 分潮の潮流楕円の大きさ、長軸方向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弱い往復流(2008 年度の検討結果より)、東部では南北方向(岸沖方向)の往復流が卓越し、中央部では東部ほど明瞭ではないものの、南北方向(岸沖方向)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・冬は北風に対応した南西向き**の強い平均流が確認されたが**(2008 年度の検討結果より)、夏は風の変動により平均流が弱くなっていた。
- ・ 当海域中央部は、秋・冬は流向にややばらつきがあるものの、強い平均流が確認され(2008 年度の検討結果より)、夏は平均流が弱くなっていた。

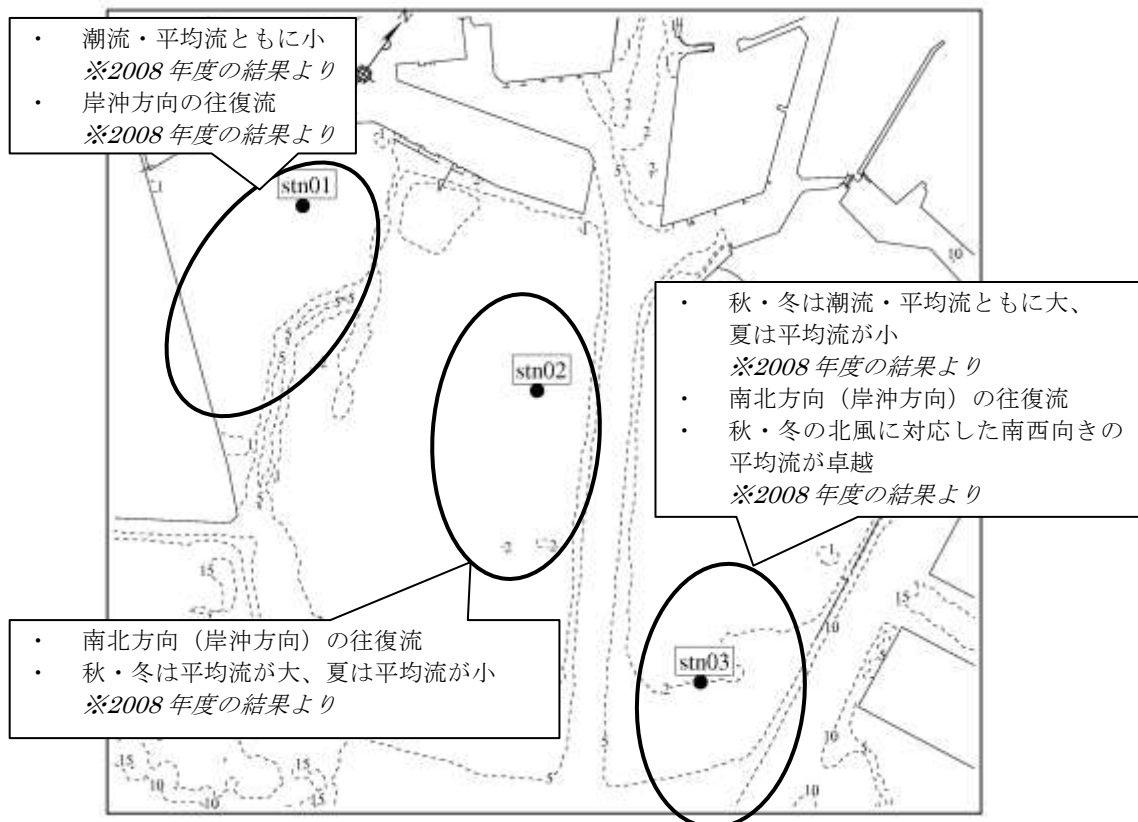


図 II.2.8 三番瀬の流況のまとめ(観測結果から把握した概況)

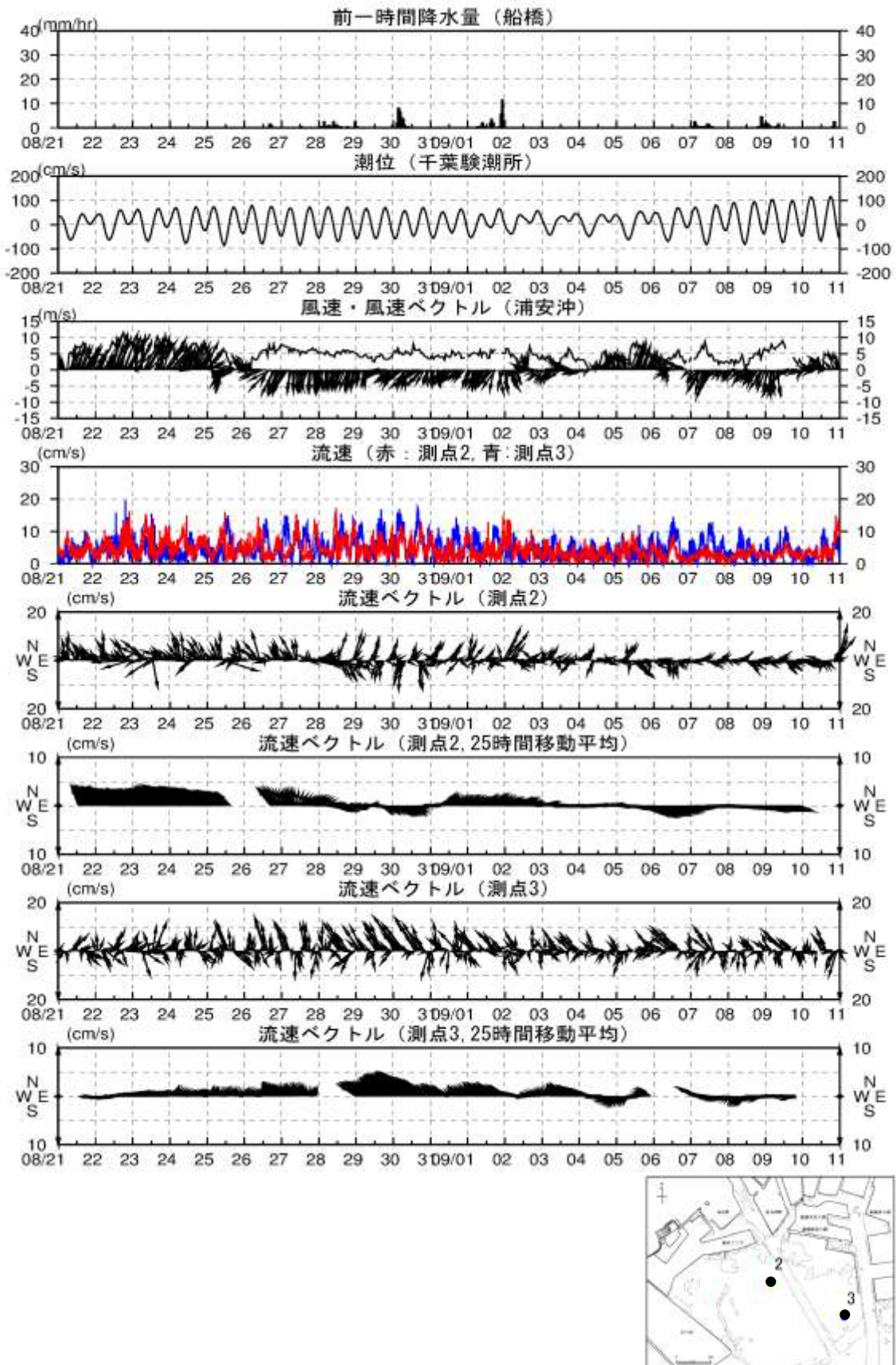


図 II.2.9 2014年8月～9月の貧酸素発生時の経時変化 (流況)

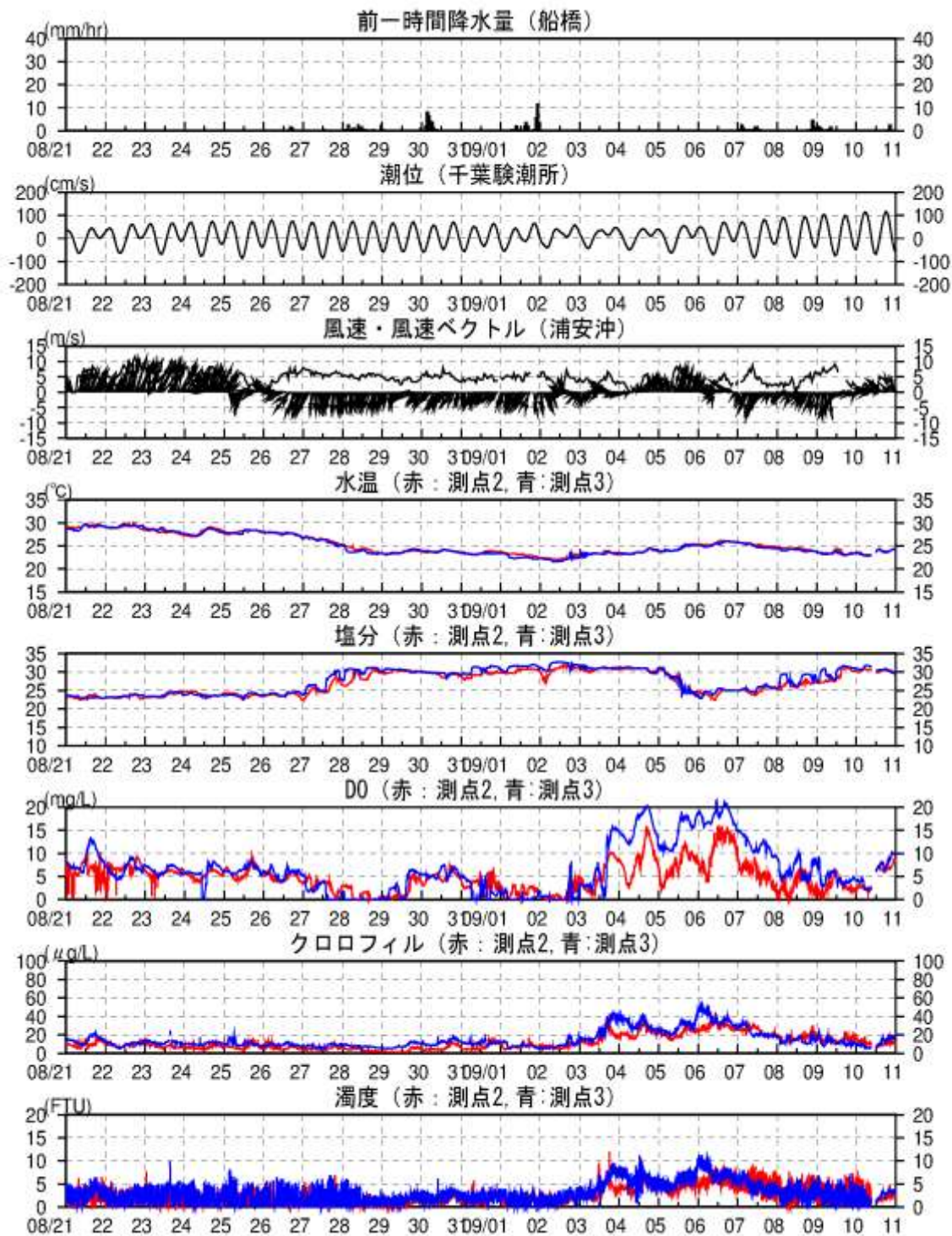


図 II.2.10 2014年8月～9月の貧酸素発生時の経時変化 (水質)

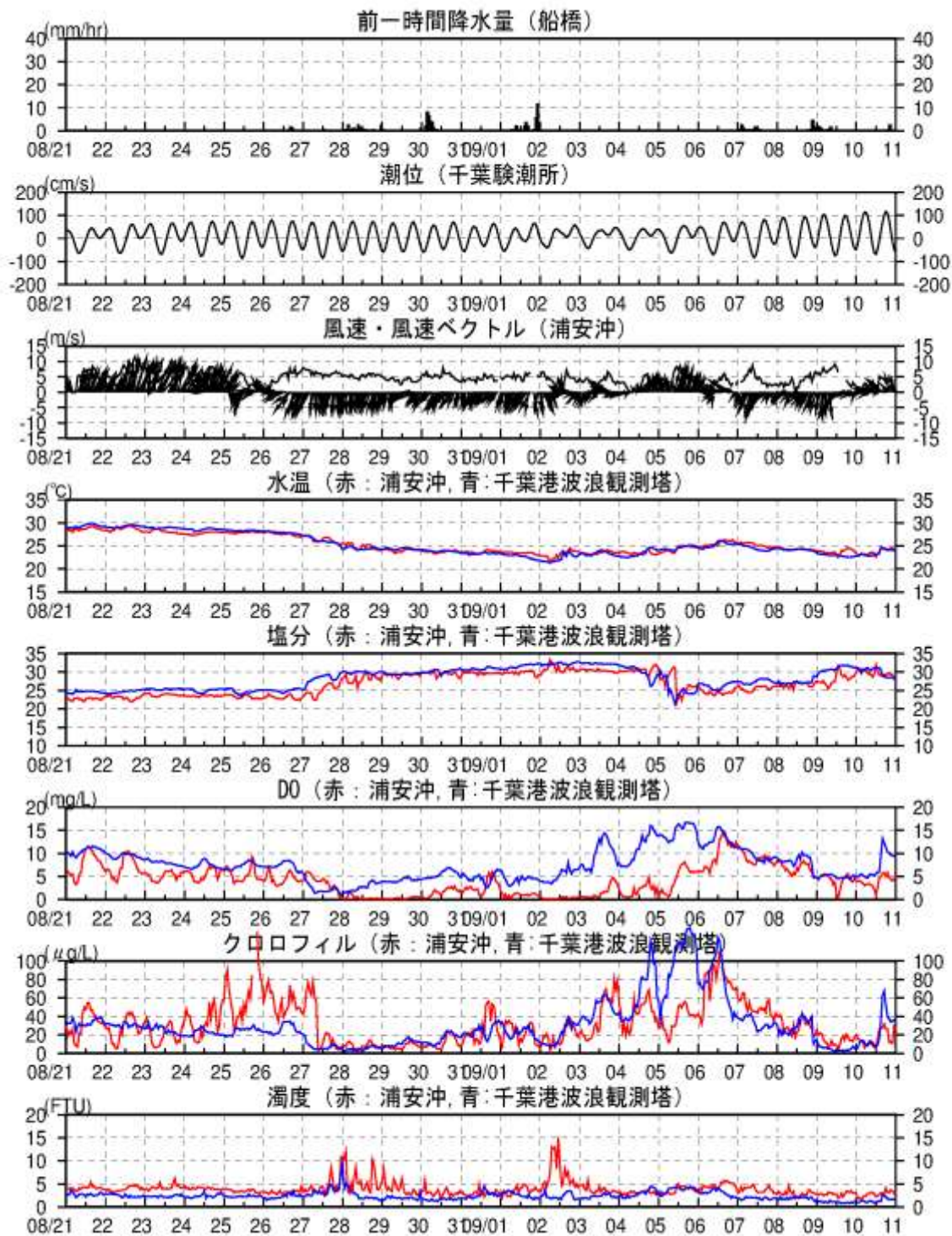


図 II.2.11 2014年8月～9月の貧酸素発生時の経時変化（浦安沖、千葉港波浪観測塔）

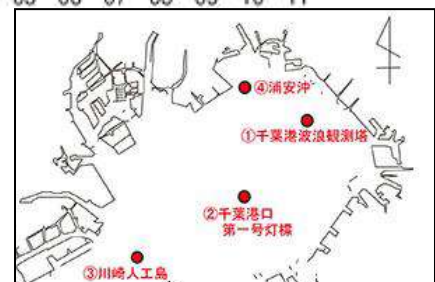
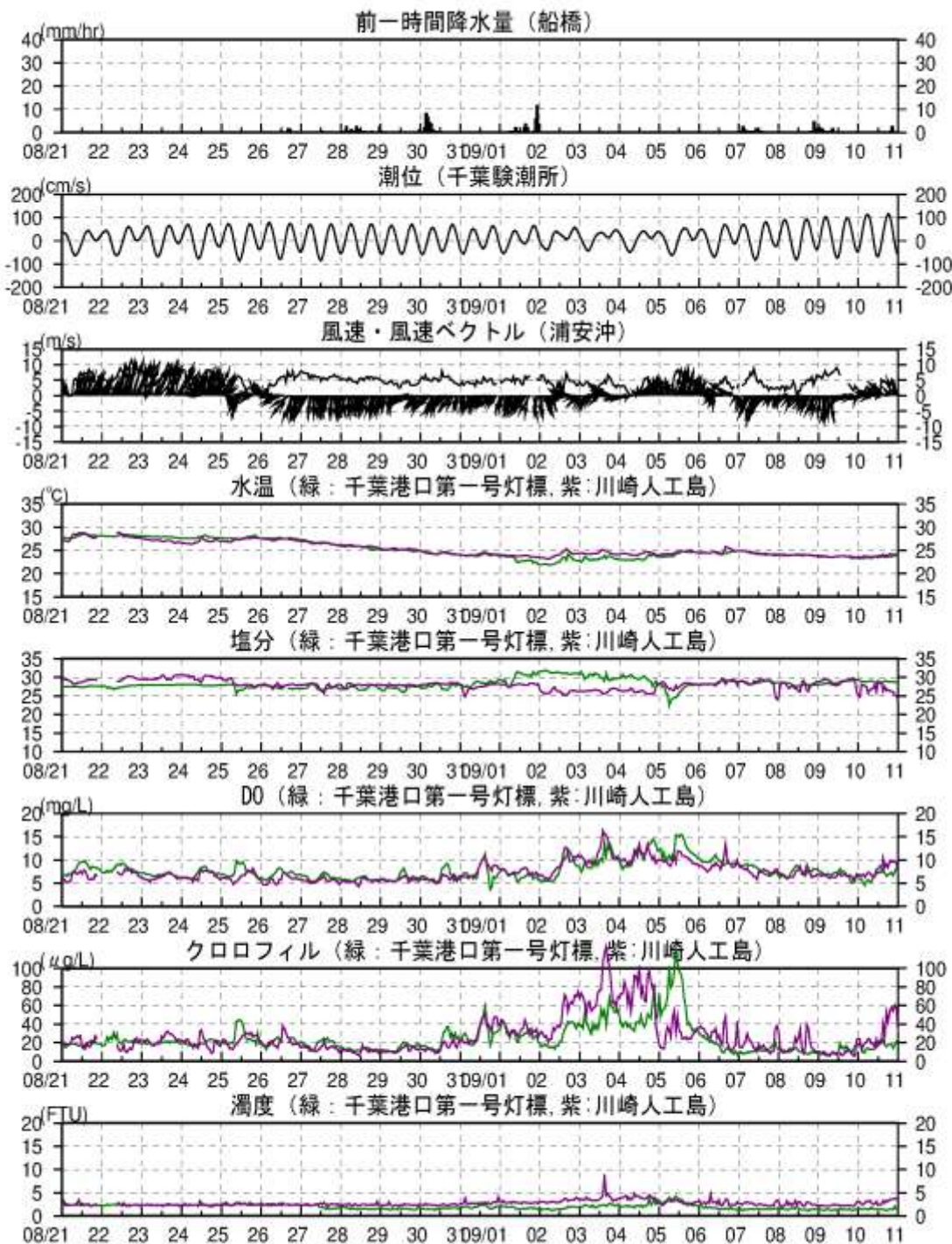


図 II.2.12 2014年8月～9月の貧酸素発生時の経時変化（千葉港口第1号灯標、川崎人工島）